



Ocorrência de relâmpagos associados a picos de chuvas acima de 30 mm/h durante a enchente de maio de 2024 no RS

Clarissa Felix Tavares¹; Wagner Loch²; Leonardo Calvetti³

Resumo:

Este estudo evidencia a enchente de maio de 2024 no Rio Grande do Sul, reconhecida como a maior na história do estado e uma das mais significativas no país, com impactos humanos e materiais devastadores. Visando auxiliar governos e sociedade na preparação para futuros eventos semelhantes, a pesquisa investiga os fenômenos meteorológicos associados, em particular a ocorrência de relâmpagos durante episódios de chuva intensa. Para a análise, foram considerados episódios de precipitação com intensidade superior a 30 mm/h, totalizando 30 eventos ao longo do mês. Destes, apenas um não apresentou números significativo de relâmpagos, indicando condições atmosféricas favoráveis à convecção profunda nos demais casos. No total, registraram-se 211.165 relâmpagos durante os eventos de chuva intensa, com a maior ocorrência às 01 UTC do dia 2 de maio de 2024. Os dados foram coletados na região compreendida entre as latitudes -58° e -34° e longitudes -49° e -27°, abrangendo o estado do Rio Grande do Sul. Os dados foram obtidos por meio do Geostationary Lightning Mapper (GLM), sensor embarcado nos satélites GOES-16 e GOES-17 da NOAA, que oferece monitoramento contínuo e em tempo real de relâmpagos em vasta área geográfica. A fundamentação teórica ressalta a relevância do estudo de relâmpagos devido aos potenciais danos à sociedade, incluindo interrupções elétricas, incêndios e riscos à vida. A metodologia envolveu a coleta e análise de dados de precipitação e relâmpagos durante os períodos identificados. Utilizando a linguagem Python e bibliotecas específicas para manipulação de dados, os registros foram segmentados por dia e hora para identificar associações qualitativas entre precipitação intensa e atividade elétrica. Esta abordagem permitiu mapear a distribuição

¹UFPe / clarissaftavares@hotmail.com.

²UFPe / wloch@inf.ufpel.edu.br.

³UFPe / lcalvetti@gmail.com.

espacial e temporal dos relâmpagos associados às chuvas intensas, oferecendo insights valiosos sobre a dinâmica dos sistemas convectivos durante a enchente. Os resultados contribuem para uma melhor compreensão dos processos atmosféricos envolvidos em eventos extremos, fornecendo informações essenciais para a melhoria dos modelos de previsão e para a implementação de medidas preventivas eficazes.

Palavras-chave: Relâmpagos; Enchente 2024; Geostationary Lightning Mapper (GLM); Chuvas; Rio Grande do Sul

1 INTRODUÇÃO

A enchente de maio de 2024 foi a maior da história do Rio Grande do Sul e uma das maiores do país, resultando em 182 mortos, 29 desaparecidos e mais de 2 milhões de pessoas afetadas, segundo o G1, 2024. Considerada um dos grandes eventos climáticos mundiais recentes, essa tragédia mobilizou todo o Brasil, influenciou a programação dos telejornais e permaneceu por muito tempo como tópico em destaque nas redes sociais. Eventos climáticos extremos, como enchentes e tempestades severas, ressaltam a importância de estudar fenômenos atmosféricos, incluindo os relâmpagos. Compreender a dinâmica dos relâmpagos é essencial para prever e mitigar os impactos desses eventos naturais, contribuindo para a segurança da população e para o desenvolvimento de estratégias de prevenção eficazes.

Por isso, os cientistas precisam estudar esse evento para auxiliar governos e a sociedade a lidar com futuros episódios e entender o clima mundial como um todo. Este trabalho contribuirá para o entendimento dos fenômenos meteorológicos que ocorreram nesse evento extremo, especificamente quanto a ocorrência de relâmpagos.

Para tanto, foi realizado um levantamento de relâmpagos durante os episódios de chuvas com intensidade acima de 30 mm/h. Foram analisados 30 eventos, nos quais apenas em um não foi registrado um número significativo de relâmpagos. Isso indica que a atmosfera estava favorável ao desenvolvimento de convecção profunda, ressaltando a importância de seu monitoramento e previsão.

Para obter os dados necessários neste estudo, utilizou-se o GLM (Geostationary Lightning Mapper), um instrumento a bordo dos satélites meteorológicos GOES (Geostationary Operational Environmental Satellites) operados pela NOAA (Administração Nacional Oceânica e Atmosférica dos EUA). O GLM foi projetado para detectar e mapear, em tempo real, relâmpagos na atmosfera, tanto entre nuvens quanto de nuvens para o solo, abrangendo uma extensa área geográfica.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As propriedades destrutivas dos relâmpagos e os inúmeros problemas que eles podem causar à sociedade como interrupções na rede elétrica, incêndios, acidentes em transportes aéreos e marítimos, danos a sistemas de telecomunicações, além de mortes de pessoas e animais, tornaram-se um foco central de diversas pesquisas conduzidas pela comunidade acadêmica global (Abreu (2023)).

O relâmpago é um fenômeno natural que consiste em uma descarga elétrica de grande intensidade e comprimento que ocorre na atmosfera, geralmente durante tempestades (Silva, 2023). Esse processo ocorre quando há uma separação de cargas elétricas dentro de uma nuvem, geralmente *cumulonimbus*, ou entre a nuvem e o solo, criando um campo elétrico muito forte. Segundo Junior e Almeida Pinto (2008), quando a diferença de potencial elétrico é suficientemente alta, o ar, que normalmente é um isolante, se ioniza,

permitindo que a corrente elétrica flua, resultando em um relâmpago.

Dado o impacto significativo que eventos extremos de precipitação podem ter na sociedade, é crucial aprimorar o monitoramento e a previsão desses fenômenos. Neste contexto, o monitoramento de relâmpagos torna-se uma ferramenta valiosa, pois eles são indicadores diretos e precisos da atividade convectiva nas nuvens. No entanto, monitorar relâmpagos com sensores terrestres é uma prática comum que enfrenta limitações; cobrir grandes áreas requer uma rede densa de sensores, o que pode ser economicamente inviável segundo Abreu *et al.* (2020). Além disso, em regiões de difícil acesso, como áreas oceânicas e florestas tropicais, a infraestrutura de monitoramento muitas vezes não está presente.

Para superar essas limitações, uma solução viável é o uso de sensores avançados, como o Geostationary Lightning Mapper (GLM), que está a bordo dos satélites GOES-16, 17, 18 e em breve no GOES-18. Esses satélites cobrem a região das Américas, bem como os oceanos Pacífico e Atlântico, permitindo um monitoramento contínuo e abrangente. A integração dos dados de relâmpagos obtidos pelo GLM com sistemas de observação de nuvens por sensoriamento remoto pode ser extremamente útil para o diagnóstico e a previsão da intensidade das tempestades (Formenton *et al.*, 2013).

Dessa forma, diversos estudos foram conduzidos ao redor do mundo com o objetivo de aprofundar o entendimento sobre a relação entre relâmpagos e precipitação. Algumas pesquisas sugerem que, embora exista uma forte dependência entre o regime de precipitação e a ocorrência de relâmpagos, uma associação qualitativa mais significativa pode ser observada entre os relâmpagos e a microfísica das nuvens de tempestade (Abreu, 2023). Isso indica que o estudo detalhado dos relâmpagos pode fornecer valiosos insights sobre os processos físicos que ocorrem dentro das nuvens, contribuindo para a melhoria dos modelos de previsão meteorológica.

Também, de acordo com Junior e Almeida Pinto (2008), os relâmpagos podem ser classificados principalmente com base no local onde ocorrem as descargas elétricas. São eles: entre nuvem e solo, entre nuvens diferentes, intra-nuvem e entre a nuvem e o ar. Sabe-se que os relâmpagos da nuvem para o solo são os mais estudados devido ao seu caráter destrutivo, sendo esses divididos em três tipos: negativos, positivos e bipolares.

- O relâmpago negativo nuvem-solo (-CG) é o tipo mais comum de descarga elétrica entre nuvem e solo, caracterizado pela transferência de carga negativa da nuvem para a terra. Embora geralmente seja menos energético que o relâmpago positivo, ocorre com maior frequência. A maioria dos relâmpagos que atinge o solo é deste tipo, representando aproximadamente 90 % de todas as ocorrências.
- O relâmpago positivo nuvem-solo (+CG) é menos comum, representando 9 % do total de ocorrências, porém mais poderoso e destrutivo. Ocorre quando a descarga transporta carga positiva da nuvem para o solo. Estes relâmpagos são tipicamente mais intensos e duradouros que os negativos, podendo transportar mais energia e ser mais perigoso. São mais comuns em tempestades severas e na parte final de uma tempestade.

- O relâmpago bipolar nuvem-solo (bipolar CG) é o mais raro, a ponto de representar 1 % das ocorrências, este tipo apresenta características tanto de relâmpagos positivos quanto negativos. Durante a descarga, há uma mudança de polaridade, onde inicialmente pode transportar carga positiva e depois negativa, ou vice-versa. Por ser raro, este tipo de relâmpago é menos compreendido, mas a mudança de polaridade durante a descarga o torna um fenômeno interessante e complexo para estudo.

Conforme mostra a Figura 1, as descargas elétricas podem ocorrer entre nuvens (inter-nuvens), dentro de uma mesma nuvem (intra-nuvem) ou entre a nuvem e o solo (nuvem-solo). Além disso, um raio geralmente é constituído por múltiplas descargas.

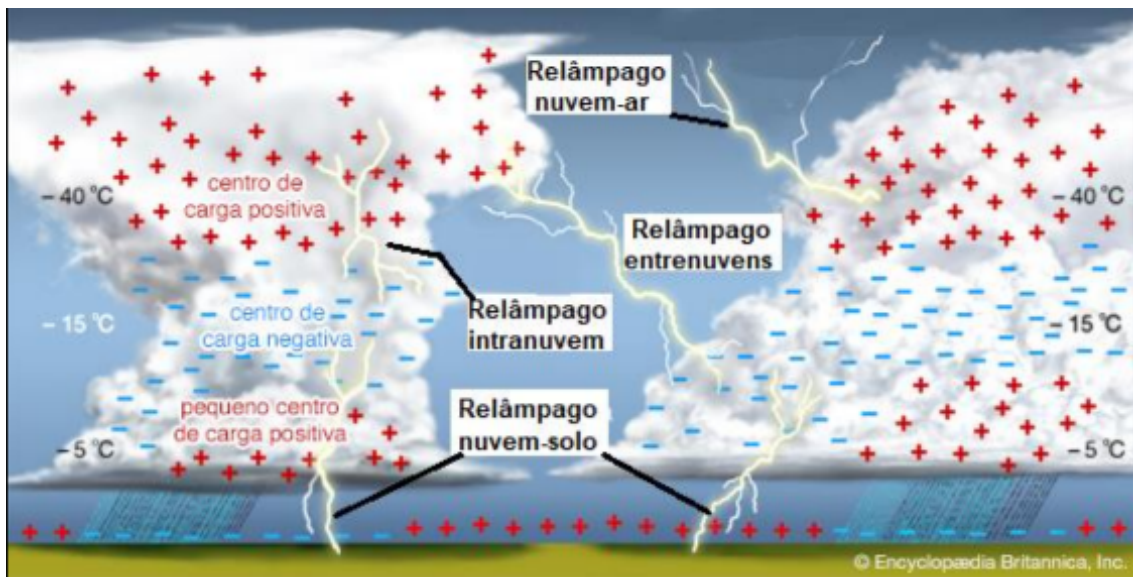


Figura 1: Representação dos tipos de relâmpagos existentes Stypulkowski, 2019.

Para tal, o líder escalonado (em inglês, "stepped leader") é uma fase crucial no processo de formação do relâmpago, particularmente no caso dos relâmpagos nuvem-solo (cloud-to-ground - CG). É um precursor da descarga principal do relâmpago. Ele é uma série de avanços descontínuos e em etapas, que ocorrem quando uma carga negativa (ou positiva, no caso de um líder positivo) começa a se mover da nuvem em direção ao solo. O líder escalonado é essencial para a formação do canal de baixa resistência que permite a passagem da corrente principal do relâmpago. Sem o líder escalonado, a descarga não poderia ocorrer de forma eficiente (Junior e Almeida Pinto, 2008).

Com relação aos picos de corrente em relâmpagos, estes apresentam uma ampla variabilidade dependendo do tipo de relâmpago e suas características específicas. Para os relâmpagos negativos nuvem-solo (-CG), os valores típicos de pico de corrente variam entre 10 a 30 kA conforme explica Abreu, 2018, com picos superiores a 100 kA sendo raros.

Em contraste, os relâmpagos positivos nuvem-solo (+CG) geralmente possuem picos de corrente mais elevados, que variam de 30 a 300 kA, sendo mais energéticos e potencialmente mais danosos apesar de sua menor frequência. Relâmpagos intra-nuvem

(IC) e nuvem-nuvem (CC) tendem a apresentar picos de corrente menores, tipicamente na faixa de 10 a 50 kA. Já os raros relâmpagos bipolares nuvem-solo (bipolar CG) podem apresentar uma variação considerável nos picos de corrente, dependendo da predominância das fases positiva ou negativa durante o evento.

Como método de acompanhamento, o GLM é um sensor de última geração com monitoramento de descargas elétricas atmosféricas, instalado a bordo dos satélites GOES. Os satélites GOES são colocados em órbita pela Agência Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA) em parceria com a NASA. A geração atual é conhecida como GOES-R, constituída por GOES R, S, T e U. O satélite, depois de lançado e após sua entrada operacional, muda de letra para um número. Assim, os dois GOES atuais, GOES R e T, estão como GOES-16 e GOES-18. O primeiro está sobre as Américas na longitude 75,2° Oeste, e o segundo sobre o Pacífico na longitude 137° Oeste. O GOES-U foi lançado em 25 de junho de 2024 e em 2025 substituirá o GOES-16 passando a se chamar de GOES-19.

O Global Lightning Mapper (GLM) monitora continuamente a atividade total de relâmpagos, tanto durante o dia quanto à noite, com uma resolução espacial quase uniforme de 8 km em escala de tempestade nas Américas e regiões oceânicas próximas. Esta capacidade é fundamental para a previsão de tempestades severas, atividade de tornados e os impactos do clima convectivo na segurança e eficiência da aviação (Goodman *et al.*, 2013a).

Segundo Peterson (2019), eventos, grupos e séries são categorias utilizadas para descrever a evolução e a estrutura de relâmpagos individuais. A definição de um relâmpago em conjuntos de dados provenientes de geradores de imagens de relâmpagos baseados no espaço tem sofrido variações; entretanto, todas as versões compartilham a característica de considerar grupos localizados dentro de um intervalo de 330 ms e uma distância de 5,5 km a 16,5 km como pertencentes a um único relâmpago. As especificidades do algoritmo de clustering de relâmpagos do GLM são descritas em Goodman *et al.* (2010).

Os conceitos relativos ao Geostationary Lightning Mapper (GLM) de grupo, flash e evento, são conceitos fundamentais para a interpretação dos dados coletados pelo GLM. Tais conceitos permitem a decomposição detalhada dos fenômenos de relâmpagos em suas partes constituintes, facilitando análises meteorológicas e climatológicas avançadas.

Evento: No contexto do GLM, um evento é a menor unidade de detecção de relâmpagos. Um evento corresponde à identificação de um único pixel onde a luz emitida por um relâmpago foi detectada pelo sensor óptico do GLM. Esses eventos representam a incidência de descargas elétricas na atmosfera, registradas em uma resolução temporal muito alta.

Grupo: Um grupo é um conjunto de eventos que ocorrem em um intervalo de tempo muito curto e em uma área geograficamente próxima. Esses eventos são agrupados para formar um grupo, representando uma fase inicial ou secundária de um relâmpago. A formação de grupos permite a distinção de diferentes segmentos de uma descarga elétrica,

proporcionando uma compreensão mais detalhada da dinâmica dos relâmpagos.

Flash: Um flash é composto por um ou mais grupos que ocorrem em proximidade espacial e temporal suficiente para serem considerados parte da mesma descarga de relâmpago. Os flashes são a unidade mais macroscópica de medição de relâmpagos pelo GLM, representando a totalidade de uma descarga elétrica complexa, que pode envolver múltiplas ramificações e interações entre nuvens ou entre nuvem e solo.

A Figura 2 apresenta uma representação visual do conceito de Eventos, Grupos e Flashes.

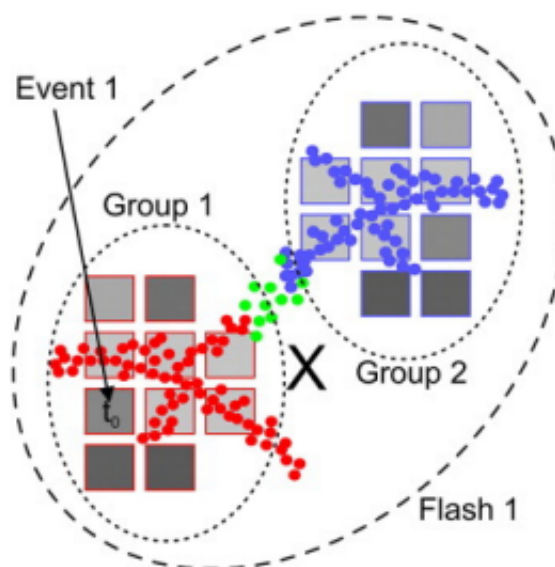


Figura 2: Conceito de de eventos, grupos e flashes do sensor GLM. Goodman *et al.*, 2013b

Embora os eventos detectados pelo GLM sejam relatados como pontos centrais dos pixels do GLM, os locais dos grupos e dos flashes representam centróides ponderados por radiância. Isso significa que a posição registrada para grupos e flashes considera a intensidade luminosa dos eventos individuais, resultando em uma localização que reflete a parte mais brilhante da descarga elétrica.

Na Figura 2, os pontos vermelhos, verdes e azuis representam um relâmpago em uma matriz de mapeamento de relâmpagos. Os quadrados vermelhos com tons de cinza indicam eventos detectados pelo GLM, com tons mais claros correspondendo a eventos mais brilhantes.

A localização do flash detectado pelo GLM leva em consideração o brilho de todos os eventos de ambos os grupos para determinar a parte mais brilhante do flash, ou centróide de brilho ponderado, indicado pelo X preto na imagem.

É importante observar que a localização do flash nem sempre coincide exatamente com o canal do raio, mas sempre estará dentro da área de abrangência do flash.

3 METODOLOGIA

Este estudo investigou as ocorrências de relâmpagos durante as precipitações acima de 30 mm/h no período de uma hora ocorridas no mês de maio de 2024, no estado do Rio Grande do Sul, em um momento caracterizado por uma catástrofe natural. As cidades que tiveram tais ocorrências estão descritas na Figura 3. Os dados foram obtidos através do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN (2024)) e de dados de satélite do sensor GLM do satélite GOES-16.

3.1 Análise de chuvas acima de 30mm/h

A coleta de dados de precipitação incluiu registros de precipitação acumulada em uma hora adquirida através do site do CEMADEN. Os dados de relâmpagos de satélite utilizados neste estudo foram obtidos a partir do sensor Geostationary Lightning Mapper (GLM), que está a bordo dos satélite GOES-16. O GLM é um sensor inovador que fornece observações contínuas de relâmpagos em tempo real, cobrindo as Américas e regiões oceânicas adjacentes.

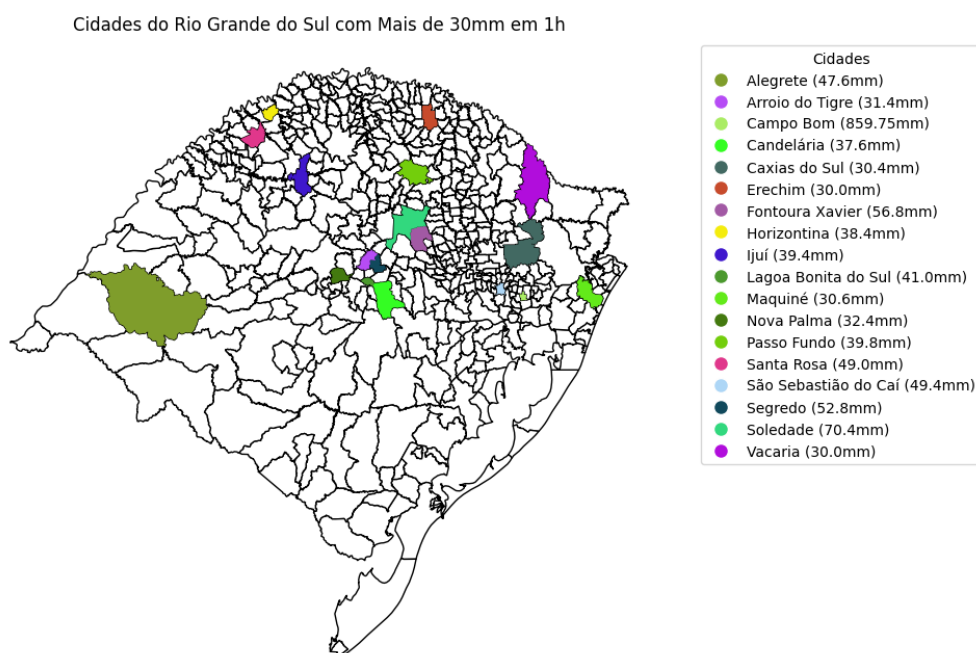


Figura 3: Cidades do Rio Grande do Sul com valores maiores que 30 mm/h no mês de maio de 2024.

A análise dos dados foi realizada utilizando a linguagem de programação Python, com ênfase nas bibliotecas pandas, numpy e matplotlib para manipulação e visualização dos dados.

Os dados foram primeiramente separados por dia (1, 2, 3 e 12 de maio) e, em seguida, segmentados por hora. O critério de separação considerou períodos de uma hora em que

a precipitação acumulada foi de 30 mm ou mais. Este limiar foi escolhido para identificar períodos de chuva intensa, que frequentemente estão associados a atividades convectivas e ocorrências de relâmpagos. A Tabela 1 apresenta os dias e horários das ocorrências de precipitação acima de 30mm/h.

Tabela 1: Dia e hora de ocorrência de precipitação acima de 30mm/h

01.05.2024	02.05.2024	03.05.2024	12.05.2024
06 UTC	00 UTC	03 UTC	06 UTC
13 UTC	01 UTC		
14 UTC	03 UTC		
15 UTC	04 UTC		
18 UTC	05 UTC		
	08 UTC		
	09 UTC		
	10 UTC		
	11 UTC		

3.2 Análise da ocorrência de Relâmpagos

Para cada período identificado com chuva maior ou igual que 30 mm/h, foram analisadas as ocorrências de relâmpagos, utilizando os dados de coordenadas geográficas e intensidade fornecidos pelo sensor GLM. Esta análise permitiu mapear a distribuição espacial e temporal dos relâmpagos durante os eventos de precipitação intensa dentro do estado do Rio Grande do Sul. A localização dos relâmpagos registrados neste estudo situou-se entre as latitudes mínimas de -58° e máximas de -34° , e longitudes mínimas de -49° e máximas de -27° , abrangendo a área do estado do Rio Grande do Sul.

Os dados do GLM são fornecidos no formato NetCDF (Network Common Data Form). Este formato é amplamente utilizado na comunidade científica, especialmente em estudos meteorológicos e ambientais, devido às suas características de eficiência e flexibilidade. O sensor GLM tem a capacidade de detectar relâmpagos com alta frequência temporal. Ele atualiza os dados a cada 2 milissegundos e acumula os registros a cada 20 segundos em arquivos NetCDF, gerando um grupo de 180 arquivos por hora. Essa frequência permite a observação quase em tempo real de eventos de relâmpagos, fornecendo informações rápidas e precisas que são essenciais para a previsão de tempestades severas e outros fenômenos meteorológicos.

A Figura 4 apresenta as ocorrências de eventos, grupos e flashes registradas às 06 UTC do dia 2 de maio de 2024 sobre o Estado do Rio Grande do Sul em comparação com a precipitação no mesmo horário.

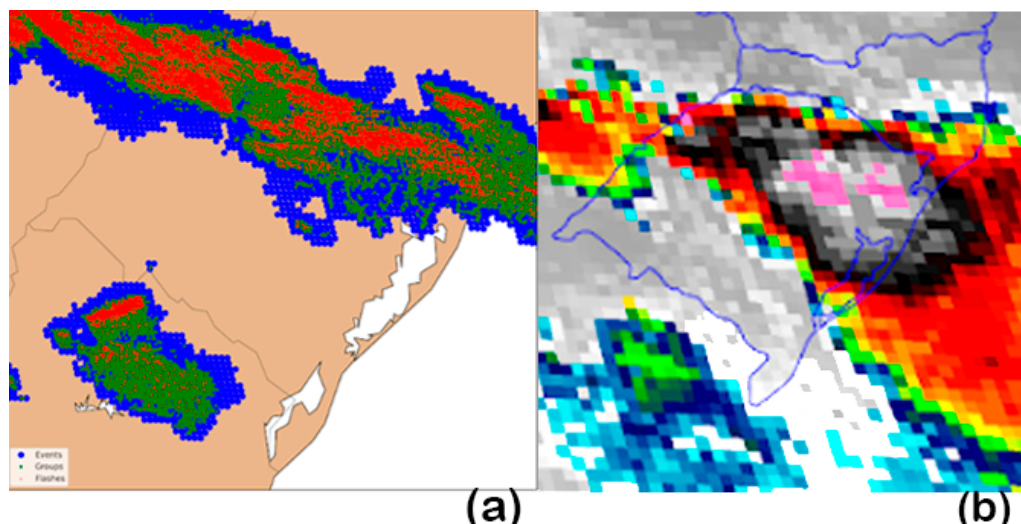


Figura 4: Imagens de satélite obtidas relativas aos relâmpagos (a) e a precipitação (b) que ocorreu às 06 UTC do dia 2 de maio de 2024.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a enchente de maio de 2024 no estado do Rio Grande do Sul, observou-se uma alta incidência de relâmpagos associados a picos de chuvas superiores a 30 mm/h.

Em 01.05.2024, a precipitação de 30 mm/h às 07 UTC foi acompanhada por uma elevada ocorrência de flashes de relâmpagos detectados pelo satélite GLM conforme Figura 5, cerca de 22 mil flashes em uma hora. Pode-se observar na Figura 6 que no dia 02.05.2024, o horário de maior ocorrência de relâmpagos foi no horário de 06 UTC. Foi capturada as imagens de satélite deste horário para a precipitação e os relâmpagos ocorridos como mostra a Figura 4. Esse padrão foi observado em vários horários durante as datas estudadas do evento de enchente neste mês de maio, sugerindo que as condições atmosféricas associadas a chuvas intensas também promovem a ocorrência de relâmpagos.

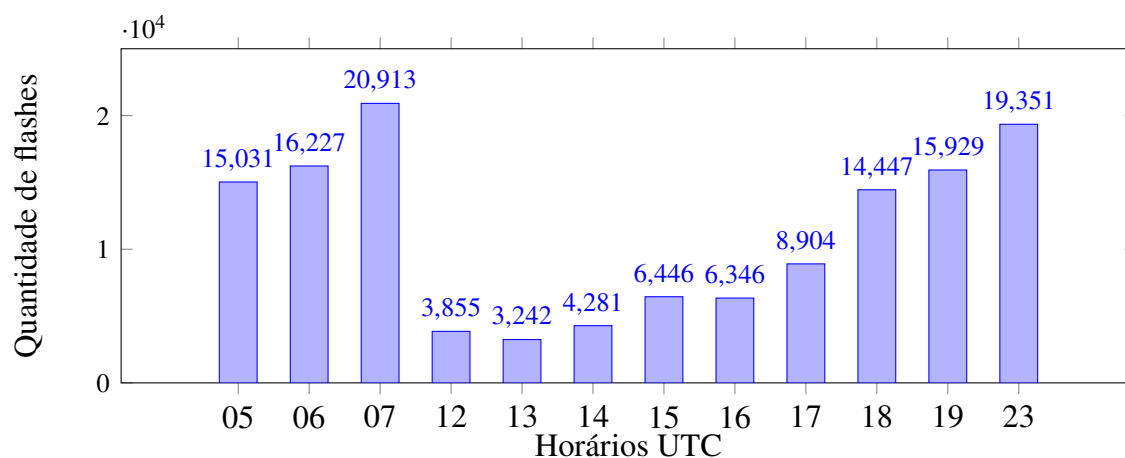


Figura 5: Número de flashes de relâmpagos acumulados em uma hora durante o dia 01 de maio de 2024 sobre o RS.

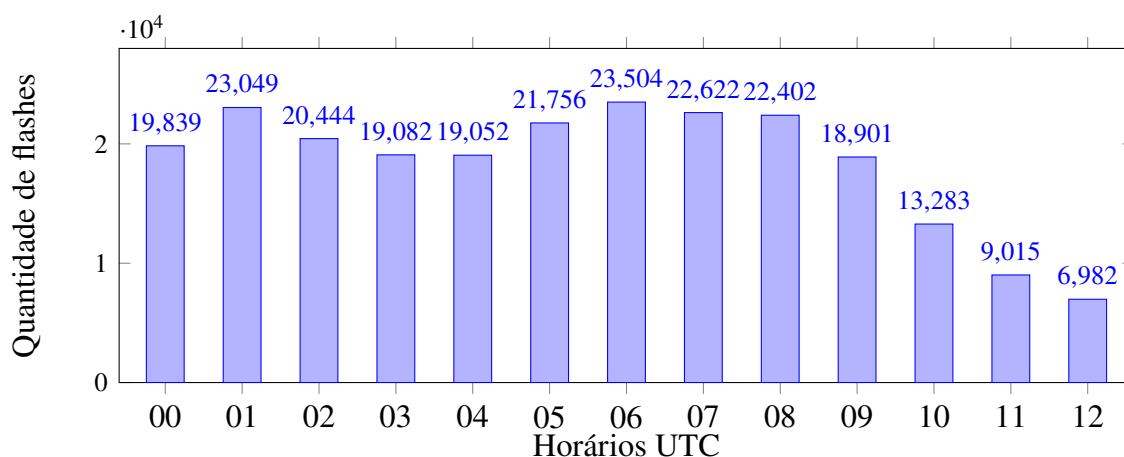


Figura 6: Número de flashes de relâmpagos acumulados em uma hora durante o dia 02 de maio de 2024 sobre o RS.

Observou-se que no dia 3 de maio de 2024, apesar de haver um registro de chuva às 03 UTC na estação Dona Elisa, em Passo Fundo - RS, não houve nenhum registro de flashes no estado. Esse fato sugere que, embora a precipitação tenha sido significativa, as condições atmosféricas necessárias para a formação de relâmpagos não estavam presentes.

A ausência de flashes pode estar associada a diversos fatores meteorológicos, como a falta de instabilidade atmosférica suficiente ou a ausência de nuvens do tipo cumulonimbus, que são geralmente responsáveis pela geração de relâmpagos. Além disso, essa observação destaca a complexidade dos fenômenos meteorológicos, onde a presença de chuva intensa nem sempre coincide com a atividade elétrica na atmosfera. Estudos adicionais poderiam focar na análise detalhada das condições atmosféricas específicas desse evento para compreender melhor as razões por trás da ausência de relâmpagos, contribuindo assim para um entendimento mais aprofundado sobre a dinâmica entre chuvas intensas e a ocorrência de relâmpagos.

Os dados analisados indicam uma forte associação entre picos de chuvas intensas e a ocorrência de relâmpagos durante a enchente de maio de 2024 no RS. Essas descobertas contribuem para o entendimento dos fenômenos meteorológicos extremos e suas consequências, destacando a necessidade de monitoramento contínuo e estudos adicionais para aprofundar o conhecimento sobre tais eventos. Os dias 01 e 02 foram os dias em que ocorreram o maior volume de chuva e o maior número de flashes durante o mês de maio, corroborando a ideia de associação entre máximos de relâmpagos e máximos volumes de precipitação.

5 CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo analisar a ocorrência de relâmpagos associados a picos de chuvas acima de 30 mm/h durante a enchente de maio de 2024 no Rio Grande do Sul. Os resultados mostraram uma associação significativa entre a intensidade das chuvas e a frequência de relâmpagos na maioria dos eventos analisados. Esta associação sugere

que condições atmosféricas severas durante eventos de enchente contribuem para um aumento na atividade elétrica na atmosfera. Embora esta associação seja qualitativa e não uma correlação estatística, os dados evidenciam claramente a atividade de convecção profunda devido ao número expressivo de flashes.

Apenas no dia 3 de maio ocorreu precipitação intensa acima de 30 mm/h onde não foram registrados relâmpagos no período de maior volume de chuva. Este fato indica que a relação entre chuvas intensas e atividade elétrica não é absoluta e pode ser influenciada por outros fatores atmosféricos, como a estabilidade da atmosfera, a presença de inversões térmicas ou a ausência de estruturas convectivas profundas.

A análise detalhada dos dados coletados por meio de imagens de satélite revelou que nos dias 1, 2 e 12 de maio, os maiores picos de precipitação estavam frequentemente associados a uma maior incidência de relâmpagos, com registros acima de 23 mil flashes por hora em períodos de grande atividade convectiva. Este achado está em consonância com a literatura existente sobre a relação entre eventos meteorológicos extremos e atividade elétrica atmosférica, reforçando a importância de monitorar tais fenômenos para a previsão de eventos severos.

Para futuras pesquisas, seria benéfico investigar os fatores que contribuíram para a ausência de relâmpagos durante a precipitação intensa do dia 3 de maio, bem como realizar estudos que considerem outras variáveis atmosféricas, como perfis de vento e umidade em diferentes níveis da atmosfera. A utilização de dados de múltiplas fontes, como estações meteorológicas terrestres, radares e sondagens atmosféricas, pode proporcionar uma compreensão mais completa dos fenômenos estudados.

Em suma, este estudo contribui para a compreensão dos fenômenos meteorológicos extremos no contexto do Rio Grande do Sul, destacando que, embora haja uma tendência geral de aumento na atividade elétrica associada a chuvas intensas, existem exceções que devem ser investigadas. Os resultados ressaltam a importância do monitoramento contínuo e da análise detalhada dos eventos meteorológicos para o desenvolvimento de estratégias eficazes de mitigação e resposta a eventos severos.

REFERÊNCIAS

- Abreu, L. P. *et al.* (2020). “Assessment of the total lightning Relâmpago rate density (FRD) in northeast Brazil (NEB) based on TRMM orbital data from 1998 to 2013”. Em: *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 93, p. 1.
- Abreu, L. P. d. (2018). “Relâmpagos no Nordeste do Brasil: Ocorrência, Variabilidade espaço-temporal e relação com microfísica das nuvens”. Diss. de mest. Brasil.
- Abreu, L. P. d. (2023). “Caracterização dos relâmpagos ocorridos na região Nordeste do Brasil, por meio de sensoriamento remoto”. Em.
- Formenton, M., G. Panegrossi, D. Casella, S. Dietrich, A. Mugnai, P. Sanò, F. Di Paola, H. D. Betz, C. Price, e Y. Yair (2013). “Using a cloud electrification model to study

- relationships between lightning activity and cloud microphysical structure”. Em: *Natural Hazards and Earth System Science* 13.4, pp. 1085–1104.
- G1 (2024). *Enchentes no RS: Total de Mortos e Desaparecidos*. Accessed: 2024-08-18. URL: <https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2024/07/02/enchentes-no-rs-total-de-mortos-e-desaparecidos.ghtml>.
- Goodman, S., D Mach, W. Koshak, e R. Blakeslee (2010). “GLM lightning cluster-filter algorithm (LCFA) algorithm theoretical basis document (ATBD)”. Em: *NOAA NES-DIS Center for Satellite Applications and Research*. (Available as https://www.goes-r.gov/products/ATBDs/baseline/Lightning_v2.0_no_color.pdf, posted 24 Sept. 2010).
- Goodman, S. J., R. J. Blakeslee, W. J. Koshak, D. Mach, J. Bailey, D. Buechler, L. Carey, C. Schultz, M. Bateman, E. McCaul, e G. Stano (2013a). “The GOES-R Geostationary Lightning Mapper (GLM)”. Em: *Atmospheric Research* 125-126, pp. 34–49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.01.006>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809513000434>.
- Goodman, S. J., R. J. Blakeslee, W. J. Koshak, D. Mach, J. Bailey, D. Buechler, L. Carey, C. Schultz, M. Bateman, E. McCaul, e G. Stano (2013b). “The GOES-R Geostationary Lightning Mapper (GLM)”. Em: *Atmospheric Research* 125-126, pp. 34–49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.01.006>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809513000434>.
- Junior, O. P. e I. de Almeida Pinto (2008). *Relâmpagos*. 2ª. Editora Brasiliense.
- Peterson, M. (2019). “Research applications for the Geostationary Lightning Mapper operational lightning flash data product”. Em: *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 124.17-18, pp. 10205–10231.
- Silva, S. A. (2023). “Avaliação dos relâmpagos totais na bacia do Rio São Francisco com o uso do sensoriamento remoto”. B.S. thesis. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Stypulkowski, Y. S. (2019). *Proteção contra descargas atmosféricas*. Accessed: 2024-10-04. URL: <https://pt.linkedin.com/pulse/artigo-prote%C3%A7%C3%A3o-contradescargas-atmosf%C3%A9ricas-yuri-solis-stypulkowski>.