



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Instituto de Ciência e Tecnologia
Câmpus de Sorocaba

Rafael Vicente Donatelli Pereira

**ANÁLISE DE "LIGHTNING JUMPS" COMO INDICADORES DE TEMPESTADES
SEVERAS QUE LEVAM A DESASTRES NATURAIS**

Sorocaba/SP

2023

Rafael Vicente Donatelli Pereira

**Análise de "Lightning Jumps" como Indicadores de Tempestades Severas que
levam a Desastres Naturais**

Trabalho de graduação apresentado como
requisito parcial para a obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Ambiental pela
Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho".

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Varela
Saraiva.

Sorocaba/SP

2023

P436a Pereira, Rafael Vicente Donatelli

 Análise de "lightning jumps" como indicadores de tempestades severas que
 levam a desastres naturais / Rafael Vicente Donatelli Pereira. -- Sorocaba,
 2023

 59 f. : il., tabs., mapas

 Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Ambiental) -
 Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia,
 Sorocaba

 Orientador: Antonio Carlos Varela Saraiva

 Coorientador: Antonio Cesar Germano Martins

 1. Desastres. 2. Descargas Elétricas. 3. Tempo (Meteorologia). I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Ciência e
Tecnologia, Sorocaba. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

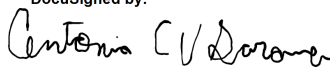
Rafael Vicente Donatelli Pereira

**Análise de "Lightning Jumps" como Indicadores de Tempestades Severas que
levam a Desastres Naturais**

Trabalho de graduação apresentado como
requisito parcial para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental pela
Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho".

Sorocaba, 30 de junho de 2023.

BANCA EXAMINADORA

DocuSigned by:

CE9939097C4D419...

Prof. Dr. Antonio Carlos Varela Saraiva (orientador)

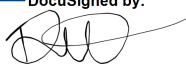
Departamento de Engenharia Ambiental, Instituto de Ciência e Tecnologia - UNESP

DocuSigned by:

D675391FA30B4AB...

Prof. Dr. Fernando Luiz de Campos Carvalho

Departamento de Engenharia Ambiental, Instituto de Ciência e Tecnologia - UNESP

DocuSigned by:

1421C123D581406...

Eng. Rayssa Martins Linhares

Egressa do Departamento de Engenharia Ambiental, Instituto de Ciência e Tecnologia - UNESP

Sorocaba/SP

2023

RESUMO

Houve um aumento significativo nos desastres naturais nos últimos anos, possivelmente devido ao crescimento populacional desordenado e ao aumento das temperaturas médias. No Brasil, os principais desastres estão relacionados a deslizamentos de terra e enchentes, que ocorrem com maior frequência em áreas de alta densidade populacional e vulnerabilidade social. Apesar da existência do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), responsável por monitorar e emitir alertas, ainda ocorrem numerosos desastres no país. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo analisar a metodologia do Lightning Jump como uma possível ferramenta complementar aos métodos existentes para a prevenção de desastres. O Lightning Jump é definido como uma taxa de raios que excede dois desvios padrões em relação aos últimos dez minutos. O estudo realizou uma análise utilizando algoritmos Sigma para eventos de deslizamentos em Petrópolis e enchentes/deslizamentos na Grande Recife, ambos ocorridos em 2022 e resultando em vítimas fatais. Os resultados mostraram que a mesma metodologia aplicada em diferentes regiões resultou em diferentes previsões, destacando a influência do contexto regional em tais eventos.

Palavras-chave: descargas elétricas; lightning jump; desastres naturais.

ABSTRACT

Natural disasters have been increasing in recent years, possibly due to uncontrolled population growth, rising average temperatures, among other factors. In Brazil, the main natural disasters are related to landslides and floods, which often occur in areas where population expansion and social vulnerability contribute to the severity of these events. Despite the existence of the specialized National Center for Monitoring and Alerts of Natural Disasters (CEMADEN), which works to monitor and issue warnings for potential disasters in Brazil, numerous disasters still occur. This study aimed to analyze the Lightning Jump methodology, which has been studied over the years as a possible approach for predicting storms and aiding in disaster prevention alongside existing methods. Lightning Jump is defined as a lightning rate that exceeds two standard deviations from the relative period of the previous ten minutes. The study conducted an analysis using Sigma algorithms for landslide events in Petrópolis and floods/landslides in the Greater Recife area, both occurring in 2022 and resulting in fatalities. The findings revealed that applying the same methodology in different locations produced different results, largely influenced by the specific regional characteristics of each area.

Keywords: Lightning; Lightning Jump; Natural Disaster.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tipos de desastres naturais classificados quanto à Natureza	12
Figura 2 – Esquema para previsões	16
Figura 3 – Localização Geográfica Petrópolis	17
Figura 4 – Localização Geográfica de Recife	18
Figura 5 - Mapa de precipitação Acumulada nas 24 horas antecedentes a manhã do dia 16/02/2022	21
Figura 6 – Precipitação Acumulada em 24 horas.	21
Figura 7 – Alertas para Risco Hidrológico em Recife	23
Figura 8 – Alertas para Movimentos de Massa em Recife	23
Figura 9 – Alertas para outros municípios do Estado de Pernambuco	24
Figura 10 – Localização do Morro da Oficina (Zona 23K Latitude: 7507171.44 m S, Longitude: 688176.13 m E)	30
Figura 11 – Buffers de 10, 20, 30, 50 e 100km para o ponto central do Morro da Oficina em Petrópolis	30
Figura 12 - Localização da Rua Paulo Brandão Cavalcante (Zona 25L Latitude: 9114605.34 m S, Longitude: 290997.39 m E)	31
Figura 13 – Buffers Para a Rua Paulo Brandão Cavalcante no Município de Recife	31
Figura 14 – Distribuição dos Raios no Buffer de Petrópolis	33
Figura 15 – Distribuição dos Raios no Buffer de Recife	33
Figura 16 – Incidência de Descargas Elétricas para o ano de 2022.	50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Gráfico de comparação entre o crescimento populacional e o crescimento dos desastres naturais no Brasil	13
Gráfico 2 – Precipitação, atividade elétrica e Lightning Jumps para o Evento de Petrópolis	37
Gráfico 3 – Corte do Gráfico de Precipitação, atividade elétrica e Lightning Jumps para o Evento de Petrópolis (04/02/2022 até 07/02/2022)	38
Gráfico 4 – Corte do Gráfico de Precipitação, atividade elétrica e Lightning Jumps para o Evento de Petrópolis (14/02/2022 até 15/02/2022)	39
Gráfico 5 – Corte do Gráfico de Precipitação, atividade elétrica e Lightning Jumps para o Evento de Petrópolis (15/02/2022 até 16/02/2022)	40
Gráfico 6 - Corte do Gráfico de Precipitação, atividade elétrica e Lightning Jumps para o Evento de Petrópolis (17/02/2022 até 18/02/2022)	41
Gráfico 7 – Gráfico de Precipitação, atividade elétrica e Lightning Jumps para o Evento de Recife	46
Gráfico 8 – Corte do Gráfico de Precipitação, atividade elétrica e Lightning Jumps para o Evento de Recife (20/05/2022 até 21/05/2022)	47
Gráfico 9 – Corte do Gráfico de Precipitação, atividade elétrica e Lightning Jumps para o Evento de Recife (22/05/2022 até 23/05/2022)	48
Gráfico 10 – Corte do Gráfico de Precipitação, atividade elétrica e Lightning Jumps para o Evento de Recife (30/05/2022 até 31/05/2022)	49

LISTA DE SIGLAS

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

CENAD – Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres

ELAT – Grupo de Eletricidade Atmosférica

WDTD – Warning Decision Training Division

GLM – Geostationary Lightning Mapper

UNISDR – United Nations International Strategy for Disaster Reduction

SINDEC – Sistema Nacional de Defesa Civil

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Desastres Naturais	9
1.2	Tempestades	13
1.3	Lightning Jump	15
2	ÁREA DE ESTUDO	17
2.1	Petrópolis	17
2.2	Recife	18
3	DESASTRES NATURAIS	20
3.1	Petrópolis	20
3.2	Recife	22
4	INSTRUMENTAÇÃO	27
4.1	Earth Networks Total Lightning Network (ENTLN)	27
4.2	BrasilDAT	27
5	METODOLOGIA	29
5.1	Escolha dos Pontos	29
5.2	Escolha das datas da Análise	32
5.3	Tratamento dos Dados de Descargas Elétricas	32
5.4	Análise dos Dados	34
6	RESULTADOS	36
6.1	Discussão dos Resultados	50
7	CONCLUSÃO	52
	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

Atualmente existem diversos estudos que perseguem a ideia do desenvolvimento das causas e efeitos das tempestades. No entanto, o Brasil carece de determinadas informações.

Se analisarmos profundamente, podemos encontrar uma série de dados que podem nos servir de informações extremamente valiosas para analisarmos como o Brasil se comporta frente a desastres ambientais.

O objetivo do presente trabalho é estudar a possibilidade da utilização dos eventos de Lightning Jump presentes em tempestades que precederam eventos de desastres naturais como uma forma de identificação destes durante o acontecimento das tempestades. Para tal, será analisado neste documento as descargas elétricas de dois desastres naturais recentes ocorridos no Brasil, em duas regiões diferentes, para que seja possível um estudo mais amplo do território brasileiro. As regiões possuem padrão pluviométrico e de formação de nuvens distintos, espera-se então uma diferença nos resultados encontrados

Os eventos escolhidos para o estudo serão os Desastres de Petrópolis (região serrana do Rio de Janeiro) e Recife (Pernambuco), ocorridos respectivamente em 15/02/2022 e 25/05/2022. Cada um desses desastres fora considerado os maiores desastres da história dessas duas cidades totalizando mais de 100 mortos em cada, além de milhares de desabrigados.

1.1 Desastres Naturais

A relação entre o homem e a natureza ao longo do tempo demonstrou que o homem utilizou de forma recorrente todos os recursos possíveis fazendo alterações na paisagem e características naturais dos ambientes naturais. Diversos foram os locais que foram totalmente degradados com o intuito do avanço tecnológico sem informações e estudos prévios para garantir que essas alterações não seriam prejudiciais.

A população mundial cresce progressivamente, isso se deve principalmente a evolução da espécie humana e progressão tecnológica. As principais razões para o crescimento populacional podem ser citados como a diminuição da taxa de mortalidade infantil e o aumento de expectativa de vida. Esses dois fatores somados

ao desenvolvimento tecnológico, desenvolvimento da medicina e a estabilidade criada com os avanços fizeram com que a população aumentasse.

A prerrogativa de que os desastres apenas atingem as populações mais vulneráveis ou de que em países mais evoluídos tecnologicamente não ocorrem desastres é falsa e alguns exemplos que comprovam isso é o rompimento de uma barragem em New Orleans devido a passagem do Furacão Katrina e o terremoto de Kobe no Japão, em 1995. O que deve estar claro é que o avanço tecnológico principalmente na área de contenção dos desastres ajuda a população fazendo com que os desastres tenham menor impacto, mesmo que com uma mesma intensidade.

Desastre pode ser classificado como uma perturbação do funcionamento de uma sociedade, envolvendo qualquer tipo de perda (humana, econômica entre outros), desde que os impactos sejam superiores a capacidade dessa sociedade arcar com os danos a partir de recursos próprios. (UNISDR, [20--])

A partir do momento em que um fenômeno natural atinge uma população, causando algum dano, é possível classificar como um desastre natural.

Os desastres podem ser a partir de causas naturais ou antropológicas, desta forma, os desastres que ocorrem a partir de uma causa natural, como terremotos, erupções vulcânicas, tempestades, avalanches, entre outros são classificados como desastres naturais. Enquanto os Desastres Antropológicos ou Humanos são aqueles que são causados a partir da ação ou omissão humana, casos de acidentes de trânsito, incêndios, entre outros. A Defesa Civil Brasileira classifica os desastres em naturais e tecnológicos, onde os desastres tecnológicos são aqueles originados por substâncias radioativas, produtos perigosos, incêndios urbanos, obras civis, entre outros. (BRASIL, 2022b)

O Marco de Sendai para a Redução de Riscos de Desastres (2015-2030) descreve sete metas e quatro prioridades de ação para prevenir novos riscos de desastres e reduzir os existentes (UNISDR, [20--]):

- i. Compreender o risco do desastre;
- ii. Fortalecimento da Governança para gerenciar os riscos de desastre
- iii. Investir na redução de desastres e resiliência;

- iv. Melhorar a preparação para desastres para uma resposta eficaz e para uma melhor recuperação, reabilitação e reconstrução.

Além de tudo mencionado acima, o Marco ainda visa alcançar a redução substancial do risco de desastres e perdas em vidas, meios de subsistência e saúde nos bens econômicos, físicos, sociais, culturais e ambientais de pessoas, empresas, comunidade e países.

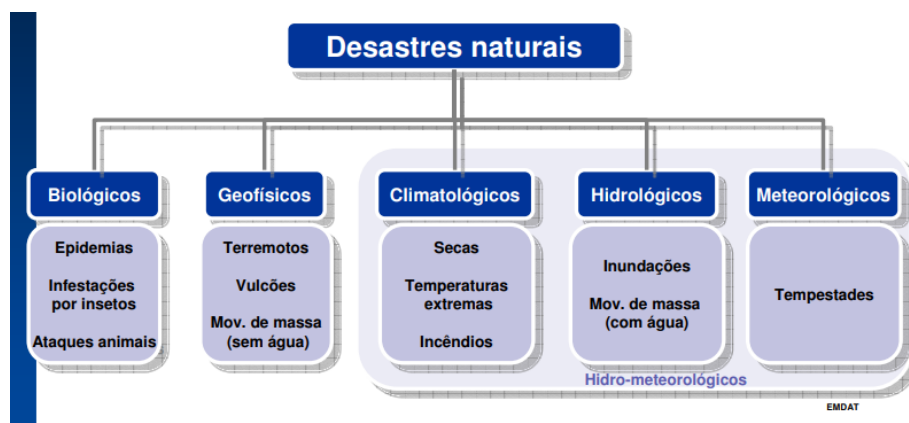
Alguns autores passaram a classificar alguns desastres naturais e que causam danos a populações como antropológicos devido a recorrência dos mesmos. Um exemplo é uma comunidade que vive em área íngreme, cujos movimentos de massa ocorrem de maneira recorrente e ainda assim a população se mantém na região, sabendo dos riscos de lá viver.

Os desastres naturais, segundo Saito (2008), podem ser classificados quanto ao prejuízo causado a comunidade, quanto à evolução, quanto à intensidade e quanto à sua natureza.

- Prejuízo
 - Nível I – Quando o prejuízo for menor ou igual a 5% do PIB;
 - Nível II – Quando o prejuízo for superior que 5% e inferior ou igual a 10% do PIB;
 - Nível III – Quando o prejuízo for superior a 10% e inferior ou igual a 30% do PIB;
 - Nível IV – Quando o prejuízo for superior a 30% do PIB.
- Evolução
 - Desastres súbitos ou de evolução aguda;
 - Desastres graduais ou de evolução crônica;
 - Desastres por somação de eventos parciais.
- Intensidade
 - Nível I – Desastres pouco vultuosos e que podem ser facilmente suportados ou superados pela comunidade atingida;
 - Nível II – Desastres cujos danos causados têm alguma importância, porém não são vultuosos e são significativos;

- Nível III – Desastres cujos danos causados são importantes e seus prejuízos vultuosos. A normalidade pode ser restabelecida, mas desde que com aporte estadual ou federal;
- Nível IV – Desastres não podem ser superados ou suportados pela comunidade, o restabelecimento da normalidade depende de mobilização e ação coordenada dos três níveis do SINDEC e, em alguns casos, ajuda internacional.
- Natureza
 - Biológico
 - Geofísico
 - Hidro-Meteorológico

Figura 1 – Tipos de desastres naturais classificados quanto à Natureza

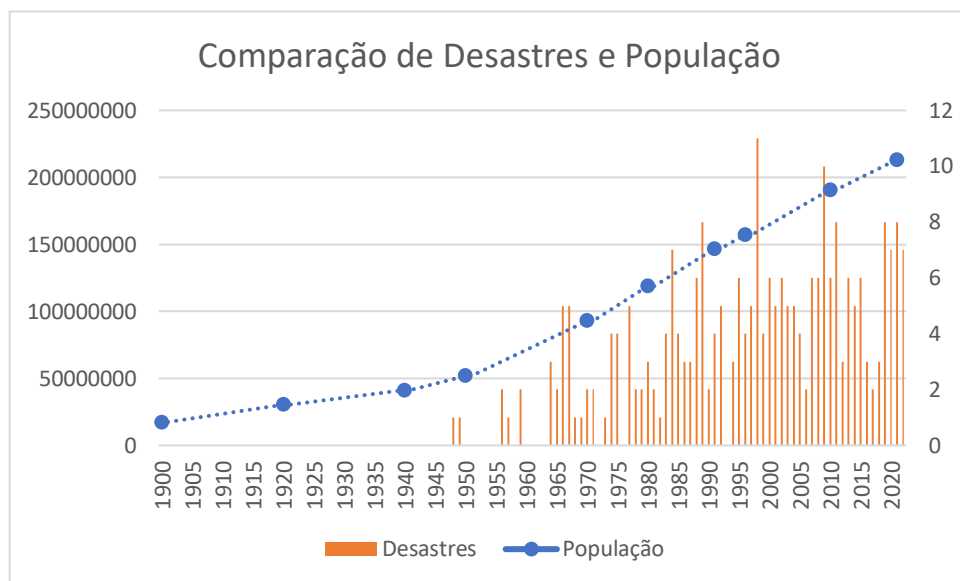


Fonte: Saito (2008)

Diversos autores discutem a relação entre o aumento populacional e as mudanças climáticas, o desmatamento, entre outros. Todos estes elementos contribuem para o aumento dos desastres naturais. O crescimento populacional desordenado em áreas de risco, o aumento das temperaturas médias da Terra, tudo isso acaba por indiretamente contribuir também para o aumento dos desastres naturais.

A partir de dados obtidos no EM-DAT (THE INTERNATIONAL DISASTER DATABASE, 2022) foi possível criar um gráfico demonstrando o crescimento dos desastres naturais no Brasil com o passar dos anos, juntamente o histórico da população brasileira obtido no IBGE.

Gráfico 1 – Gráfico de comparação entre o crescimento populacional e o crescimento dos desastres naturais no Brasil



Fonte: Elaborado pelo autor.

No Brasil é produzido um documento chamado de Anuário de Desastres Naturais pelo CENAD, o documento é responsável por retratar os principais desastres que ocorrem anualmente no Brasil. Segundo a última versão do Atlas de Desastres Naturais (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 2013), as tempestades severas vêm sendo responsável ou estão diretamente ligadas aos principais desastres naturais no Brasil entre 1991 e 2012, sendo as principais: enxurradas, alagamentos e movimentos de massa. Apesar de não ser considerado uma espécie de desastre natural, entre 2000 e 2019 foram registradas 2194 mortes por raios no Brasil, sendo que a cada 50 mortes no mundo, 1 ocorre no Brasil. (BRASIL, [202-])

1.2 Tempestades

De uma maneira geral, uma tempestade pode ser caracterizada por precipitações intensas, ventos, relâmpagos e precipitações de granizo. As nuvens de tempestade, conhecidas como cumulonimbus, pode ser diferenciada de nuvens comuns, principalmente, devido a sua extensão vertical, ela é composta por granizo, graupel, cristais de gelo e água, dentro dessas nuvens é comum a presença de eletricidade que ocorre, normalmente, por conta do atrito interno entre as partículas de gelo combinadas a correntes de ar.

Segundo a Defesa Civil do Estado do Rio de Janeiro (BRASIL, [20--a]), a qualquer momento, por volta de 2000 tempestades ocorrem ao redor do globo, sendo por volta de 50 mil tempestades todos os dias e 16 milhões durante um ano. Tempestades costumam ser mais comuns durante o verão e em regiões tropicais.

As nuvens de uma tempestade podem se apresentar de duas maneiras diferentes: isoladas, chamadas de tempestades isoladas ou em grupo, chamadas de tempestades organizadas. Essas costumam ser mais severas, apresentando precipitações e ventos mais intensos, com possibilidade de granizo. As tempestades costumam ser mais frequentes no período vespertino. Em geral, as tempestades estão associadas as tempestades organizadas. Apesar de relâmpagos não estarem diretamente relacionados como uma das principais características de uma tempestade severa, muitas dessas tempestades possuem uma grande quantidade de relâmpagos.

Os raios são descargas elétricas que ligam as nuvens de tempestade presentes na atmosfera, diretamente ao solo. Com o aumento das cargas no centro positivo e negativo de uma nuvem, geram uma descarga elétrica que pode percorrer aproximadamente até 5 km e intensidade de até 30 mil Ampères. (BRASIL, [20--b])

Essas descargas, pode ter três formações:

- Raios Ascendentes: Partem do chão e através de picos de altura, retornam às nuvens. É considerado um fenômeno raro.
- Raios Intranuvens: Surge através da polaridade das cargas dentro das nuvens e é o mais comum.
- Raios Descendentes: Formam-se diretamente nas nuvens e sua descarga é diretamente no solo. É considerado o mais perigoso.

Para que a formação dos raios aconteça, diversos fatores são levados em consideração. Por exemplo: proximidade do mar, altitude, umidade e frentes frias.

O Brasil é o maior país localizado na zona tropical do planeta e segundo Osmar Pinto Junior, coordenador do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), “sendo a região tropical a mais quente no globo, favorece a formação de mais tempestades e conseqüentemente há maior queda de raios”. (EGUES, 2022)

Devido a localidade do nosso país e a variação de temperatura constante, alguns fenômenos podem se tornar bastante perigosos. Por isto, novas tecnologias se tornaram indispensáveis para que a previsão seja precisa como por exemplo, análises através de Satélites de nova geração (série GOES-R, Meteosat Terceira Geração [MTG]) carregam novos sensores de localização de raios.

Com 70 a 80 milhões de descargas elétricas por ano, o Brasil é considerado o país com maior incidência de raios no mundo devido à sua localização geográfica que contribui diretamente neste número.

1.3 Lightning Jump

Segundo o Department of Commerce - WDTD, o Lightning Jump pode ser definido como uma taxa de raios superior a dois desvios padrões do período relativo aos últimos dez minutos.

Segundo Schultz, Petersen e Carey (2009) são diversos os métodos para prever tempestades severas, porém existem três algoritmos principais e cada tipo de algoritmo se baseia na taxa de variação temporal da taxa total de raios dentro de uma tempestade, também conhecida como DFRDT.

O primeiro algoritmo é baseado no algoritmo inicial de salto de raios apresentado por Gatlin (2006). Este algoritmo utiliza uma taxa de variação temporal média e um limiar de desvio-padrão de um sigma médio para determinar se ocorreu um salto de raios.

O segundo algoritmo explorado é um processo de duas etapas denominado algoritmo de limiar. Este algoritmo utiliza um limiar de taxa de raios de 10 raios por minuto e um segundo limiar de DFRDT para determinar um comportamento anormal de raios totais em uma tempestade.

O último conjunto de algoritmos é chamado de algoritmos sigma. O primeiro algoritmo sigma é chamado de algoritmo 2σ e o segundo é chamado de algoritmo 3σ . Assim como os algoritmos de limiar, ambos os algoritmos requerem uma taxa total de raios de 10 raios por minuto antes de iniciar qualquer cálculo de salto. O algoritmo 2σ utiliza um limiar de salto de duas vezes o desvio-padrão dos dados anteriores de raios totais nos últimos 10 minutos, enquanto o algoritmo 3σ utiliza três vezes o desvio-padrão dos dados anteriores nos últimos 10 minutos.

Estudos de Williams *et al.* (1999), Gatlin e Goodman (2010), Carey *et al.* (2009), Schultz *et al.* (2009, 2011), e Rudlosky e Fuelberg (2013) documentam que estatísticas como lead time, probabilidade de detecção e a taxa de falsos alarmes podem ser melhoradas com base no uso de raios totais como uma métrica para a intensidade da tempestade.

Portanto, seria razoável sugerir que uma mudança temporal abrupta na ordem de alguns minutos no total relâmpago atividade é considerada um indicador de clima severo. (SCHULTZ *et al.*, 2009, 2011)

No entanto, esses métodos podem ser prejudicados por problemas relacionados a incertezas em observações de clima severo na superfície (TRAPP *et al.*, 2006; KEENE *et al.*, 2008; SCHULTZ *et al.*, 2011).

Figura 2 – Esquema para previsões.



Fonte: Erdmann *et al.* (2022).

Segundo o Department of Commerce - WDTD, o Lightning Jump tem, atualmente, como suas principais aplicações:

- Avaliar as tendências na intensidade da tempestade (aplicação principal);
- Detectar tempestades em áreas com pouca ou nenhuma cobertura de radar;
- Ajudar na tomada de decisão de roteamento de tráfego aéreo tático e de curto prazo;
- Útil para o fornecimento de serviços integrados de suporte à decisão (IDSS) para locais e/ou eventos ao ar livre.

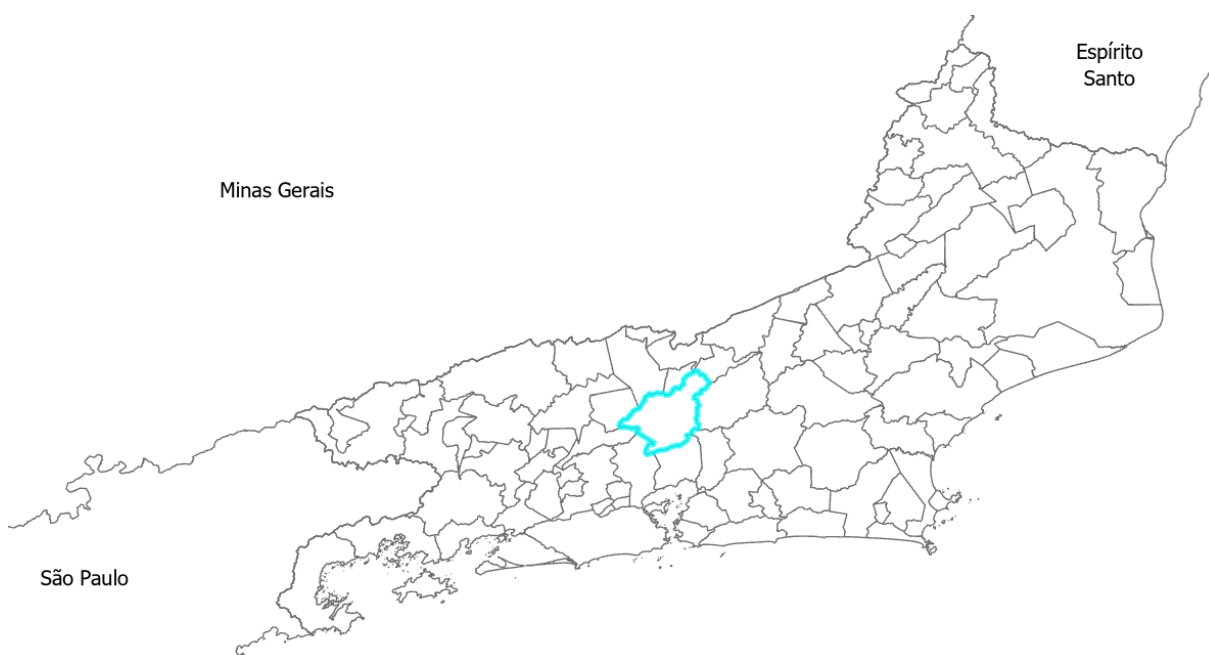
2 ÁREA DE ESTUDO

O tópico será o responsável por trazer algumas informações de cada um dos municípios que foram escolhidos para o estudo, trazendo informações úteis para análises posteriores.

2.1 Petrópolis

Petrópolis é um município situado na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, com 791,144km² de área de unidade territorial.

Figura 3 – Localização Geográfica Petrópolis



Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo dados do censo do IBGE (2010), Petrópolis possuía 295.917 habitantes, o nono maior município do Rio de Janeiro. O município apresenta uma dentre as maiores populações com exposição a riscos, classificada na décima nona no Brasil e a terceira no Rio de Janeiro com 72.070 pessoas exposta a riscos. Essa quantidade totaliza aproximadamente 24% de toda a população do município.

Segundo o site Ecoturismo Aventura ([20--]), o clima oceânico marítimo da cidade imperial de Petrópolis, no Estado do Rio de Janeiro, é caracterizado por uma estação úmida - quente e outra seca - fria, com uma temperatura anual média de 18 °C (classificação climática Cwb de Köppen - Geiger).

A cidade ainda é muito conhecida por ter sido a primeira cidade planejada das Américas, isso se deve ao fato de que na segunda metade do século XIX, devido a beleza da região serrana fluminense, houve a mudança da corte imperial para a região, as viagens eram tão frequentes que o Imperador decidiu, então, fundar a cidade de Petrópolis. (GREGÓRIO, 2014)

2.2 Recife

O município de Recife, capital do Estado de Pernambuco é também o município mais populoso do Estado com 1.537.704 pessoas e o nono mais populoso do Brasil, possui uma pequena área de unidade territorial, com apenas 218,843km², o que implica em uma alta demográfica de 7.039,64 hab/km². (IBGE, 2010)

Com uma alta população no município, existe também uma alta quantidade da população exposta a riscos, são 206.761 pessoas expostas, o que implica em aproximadamente 13% da população nessa condição.

O município de Recife se localiza na em posição central do litoral nordeste brasileiro. Possui um clima tropical-úmido, fortemente influenciado pela umidade que descende do oceano.

Figura 4 – Localização Geográfica de Recife



Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo a classificação de Köppen o clima de Recife é do tipo Am, (clima de monção), segundo a classificação de Thornthwaite para o município Recife é caracterizado como megatérmico com moderado excesso de verão, pequena ou nenhuma deficiência de água (wrA'a'). (SABOYA *et al.*, 2021)

3 DESASTRES NATURAIS

3.1 Petrópolis

No dia 15 de fevereiro de 2022, região Serrana do Rio de Janeiro fortes chuvas causaram alagamentos e deslizamentos de terra no município de Petrópolis. A região já era conhecida por ser suscetível a deslizamentos de terra devido a fortes chuvas na região, em 2011 já tinha ocorrido deslizamentos com 73 mortes.

Mesmo sendo uma região suscetível aos deslizamentos ocasionados pelo excesso de precipitação, um deslizamento posterior ao desastre de 2011 ocorreu, em proporções ainda maiores. Por estes motivos, alguns especialistas não considerarem que os motivos pelos quais o desastre ocorreu não podem ser considerados naturais. O principal motivo está diretamente relacionado com o fato de que na mesma região já teria acontecido um desastre natural pelo mesmo motivo do desastre de 2022.

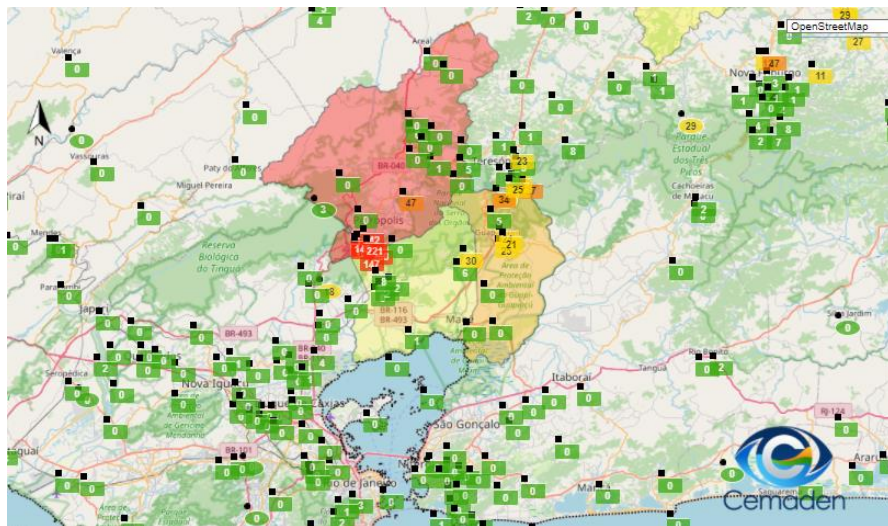
Segundo Raul Amorim, docente do departamento de geografia do IG da UNICAMP, “Petrópolis está localizada em uma região serrana, com encostas muito íngremes e rios entre elas. A probabilidade de ocorrência de chuvas concentradas ali é alta. Quando há movimentos de massa, e se o evento tem maior magnitude, isso contribui para a elevação das águas dos rios e alagamentos nas áreas impermeabilizadas. Dificilmente ocorre só movimento de massa ou só a inundação. A chuva que cai na encosta desce para o fundo do vale.” (DARÉ, 2022)

Isabelle Alves, aluna de pós-graduação em Geografia, explica que as pessoas não estão lá pois querem, e sim por não terem aonde ir, explicando ainda que historicamente a população se estabeleceu no fundo do vale, porém com o aumento populacional que nos últimos 70 anos a população triplicou.

O volume de precipitação acumulado na região superou a média histórica do mês de fevereiro marcando 260mm, sendo que a média para fevereiro 200mm. O CEMADEN mostra registros de 230mm em menos de 3 horas, sendo assim em aproximadamente 3 horas choveu mais do que a média mensal para o mês de fevereiro. (CEMADEN, 2022a)

A figura abaixo apresenta a precipitação acumulada registrada pelo CEMADEN e INMET nas 24 horas anteriores ao dia 16/02/2022, nela é possível verificar a alta de acumulado de precipitação.

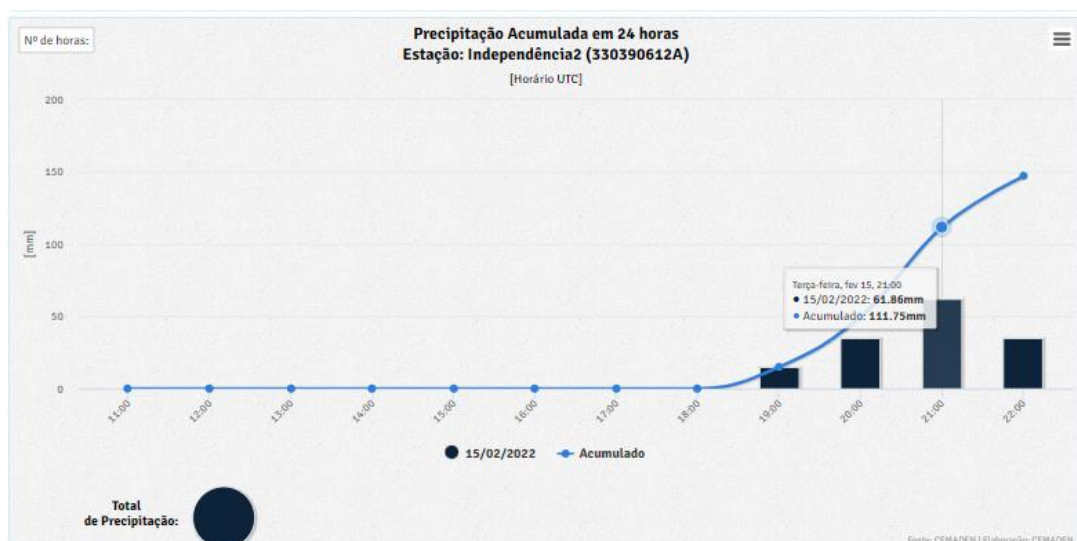
Figura 5 - Mapa de precipitação Acumulada nas 24 horas antecedentes a manhã do dia 16/02/2022



Fonte: CEMADEN (2022a)

Na sequência, podemos analisar o gráfico que demonstra a precipitação acumulada na estação Independência 2 para o dia 15/02/2022, evidenciando o aumento das chuvas no período da tarde e noite.

Figura 6 – Precipitação Acumulada em 24 horas.



Fonte: CEMADEN (2022a)

O CEMADEN enviou alertas de risco hidrológicos e de movimentos de massa nos dias 14 e 15 de fevereiro de 2022 para o município de Petrópolis/RJ. Os alertas de movimento de massa foram todos emitidos no dia 15, sendo a abertura, de nível moderado as 17:05, evoluindo para nível alto as 17:30 e por último evoluindo para muito alto as 18:24. Os alertas de risco hidrológicos se iniciaram com nível moderado no dia 14 de fevereiro às 17:20 evoluindo para nível alto às 18:48 do dia 15 de fevereiro e evoluindo ainda no dia 15 para muito alto às 19:05.

Segundo dados do Portal de Notícias G1, no dia 17 de fevereiro de 2022 novos deslizamentos ocorreram no bairro 24 de maio em Petrópolis. Na noite de 21 de fevereiro de 2022 os órgãos indicavam mais de 150 mortos e 100 desaparecidos. (G1- PETRÓPOLIS, 2022)

3.2 Recife

No mês de maio de 2022, a Grande Recife (municípios localizados no entorno de Recife) foi vítima de uma grande quantidade de precipitação acumulada. Em Recife, segundo a estação hidrológica UR-12 COHAB II, entre os dias 23 e 28 de maio, com aproximadamente 489mm de precipitação acumulada para o período. (CEMADEN, 2022b)

Tabela 1 – Precipitação acumulada aproximada para o período na estação hidrológica UR12-COHAB II

	23/05/2022	24/05/2022	25/05/2022	26/05/2022	27/05/2022	28/05/2022
Precipitação (mm)	76,6	47,2	97,4	25,8	54,6	187,6

Fonte: Adaptado de CEMADEN (2022b).

No dia 23 de maio, o CEMADEN emitiu alertas de risco hidrológico e de movimentos de massa as 16:01 e 16:23 respectivamente. Durante a semana os alertas foram atualizados, demonstrando o aumento do risco de deslizamentos, enxurradas e inundações, como é mostrado nas figuras a seguir.

Figura 7 – Alertas para Risco Hidrológico em Recife

Código Alerta	Versão	Data Criação	Data Atualização	Localidade	UF	Evento	Status	Ocorrência	Visualiz	Editar	Atualizar	Clonar Alerta
1938	Abertura	23/05/2022 16:01	23/05/2022 16:01	RECIFE	PE	Risco Hidrológico - Moderado	●	▲				✓
1938	Atualização 1	23/05/2022 16:01	25/05/2022 05:08	RECIFE	PE	Risco Hidrológico - Alto	●	▲				✓
1938	Atualização 2	23/05/2022 16:01	28/05/2022 13:31	RECIFE	PE	Risco Hidrológico - Muito Alto	●	▲				✓

Fonte: CEMADEN (2022b).

Figura 8 – Alertas para Movimentos de Massa em Recife

Código Alerta	Versão	Data Criação	Data Atualização	Localidade	UF	Evento	Status	Ocorrência	Visualiz	Editar	Atualizar	Clonar Alerta
1941	Abertura	23/05/2022 16:23	23/05/2022 16:23	RECIFE	PE	Movimentos de Massa - Moderado	●	▲				✓
1941	Atualização 1	23/05/2022 16:23	23/05/2022 20:25	RECIFE	PE	Movimentos de Massa - Alto	●	▲				✓
1941	Atualização 2	23/05/2022 16:23	28/05/2022 06:13	RECIFE	PE	Movimentos de Massa - Muito Alto	●	▲				✓

Ativar

Fonte: CEMADEN (2022b).

Para os municípios da Grande Recife e a Leste do Estado de Pernambuco foram emitidos alertas até mesmo antes dos alertas de Recife como é demonstrado na figura a seguir:

Figura 9 – Alertas para outros municípios do Estado de Pernambuco

	Estado	Município	Evento	Abertura	Maior Nível
1936	PE	Jaboatão dos Guararapes	H	22/05/2022	Muito Alto
1938	PE	Recife	H	23/05/2022	Muito Alto
1939	PE	Olinda	H	23/05/2022	Muito Alto
1940	PE	Paulista	H	23/05/2022	Alto
1941	PE	Recife	MM	23/05/2022	Muito Alto
1942	PE	Olinda	MM	23/05/2022	Muito Alto
1943	PE	Goiana	MM	23/05/2022	Moderado
1944	PE	Ipojuca	MM	23/05/2022	Alto
1945	PE	Ipojuca	H	23/05/2022	Alto
1946	PE	Cabo de Santo Agostinho	MM	23/05/2022	Muito Alto
1947	PE	Jaboatão dos Guararapes	MM	23/05/2022	Muito Alto
1948	PE	São Lourenço da Mata	MM	23/05/2022	Muito Alto
1949	PE	Cabo de Santo Agostinho	H	23/05/2022	Alto
1953	PE	Sirinhaém	MM	24/05/2022	Alto
1954	PE	Rio Formoso	MM	24/05/2022	Alto
1955	PE	Barreiros	MM	24/05/2022	Moderado
1957	PE	Camargibe	MM	25/05/2022	Muito Alto
1958	PE	Abreu e Lima	MM	25/05/2022	Moderado
1959	PE	Igarassu	MM	25/05/2022	Muito Alto
1962	PE	Ilha de Itamaracá	MM	25/05/2022	Moderado
1963	PE	Paulista	MM	25/05/2022	Muito Alto
1971	PE	Itapissuma	H	25/05/2022	Alto
1972	PE	Ilha de Itamaracá	H	25/05/2022	Alto
1973	PE	Igarassu	H	25/05/2022	Alto
1974	PE	Abreu e Lima	H	25/05/2022	Alto
1975	PE	Nazaré da Mata	MM	25/05/2022	Moderado
1987	PE	Barreiros	H	25/05/2022	Alto
1989	PE	Ribeirão	H	25/05/2022	Alto
1990	PE	Paripueira	H	25/05/2022	Moderado
1992	PE	Maraial	MM	26/05/2022	Moderado

Figura 9 – Alertas para outros municípios do Estado de Pernambuco

1993	PE	Gameleira	MM	26/05/2022	Moderado
1994	PE	Água Preta	MM	26/05/2022	Moderado
1995	PE	Palmares	MM	26/05/2022	Moderado
1996	PE	Gameleira	H	26/05/2022	Alto
1997	PE	Escada	MM	26/05/2022	Alto
1998	PE	Amaraji	MM	26/05/2022	Moderado
2000	PE	Sirinhaém	H	27/05/2022	Alto
2001	PE	Rio Formoso	H	27/05/2022	Alto
2004	PE	Moreno	MM	27/05/2022	Alto
2005	PE	São Vicente Ferrer	MM	27/05/2022	Moderado
2006	PE	São Vicente Ferrer	H	28/05/2022	Alto
2007	PE	Vicência	MM	28/05/2022	Moderado
2008	PE	Cortês	MM	28/05/2022	Moderado
2010	PE	Moreno	H	28/05/2022	Alto
2011	PE	Camaragibe	H	28/05/2022	Alto
2012	PE	São Lourenço da Mata	H	28/05/2022	Alto
2013	PE	Nazaré da Mata	H	28/05/2022	Alto
2014	PE	Vicência	H	28/05/2022	Alto
2015	PE	Escada	H	28/05/2022	Moderado
2016	PE	Goiana	H	28/05/2022	Alto
2017	PE	Vitória de Santo Antão	MM	28/05/2022	Moderado
2019	PE	Ribeirão	MM	28/05/2022	Moderado

Fonte: CEMADEN (2022b).

Em Olinda, município integrante da Grande Recife, deslizamentos ocorreram já na manhã do dia 25/05/2022 no Córrego do Abacate, onde duas pessoas ficaram soterradas, sendo que uma dessas faleceu e outras duas ficaram levemente feridas. (ALVES, 2022)

Segundo o portal de Notícias G1, em Recife, a Avenida Recife ficou alagada. Em Tejipió, o Rio Tejipió transbordou atingindo os moradores locais. O canal da Avenida Agamenon Magalhães transbordou e deixou o bairro do Derby alagado. Além de registros de quedas de árvores.

Segundo o Jornal do Comércio, JC, digital a tragédia de 2022 superou a tragédia de 1975 em número de mortos. Ainda segundo o jornal, as chuvas intensas somadas a falta de infraestrutura e de controle urbano são fatores que culminaram no que se pode considerar o maior desastre natural, em número de mortos, de toda a história no Pernambuco. Na tarde do dia 31 de maio contabilizavam 106 vítimas e 10 desaparecidos, número superior as 104 vítimas das cheias que ocorreram em

1975 quando o município de Recife ficou submerso. A principal diferença dos dois eventos quanto as vítimas é que no evento de 1975 as mortes foram contabilizadas por afogamento, morte súbita, mortes naturais e suicídio, enquanto que no evento de 2022 a grande maioria das vítimas foram mortas soterradas pelos deslizamentos de terra. (JORNAL DO COMÉRCIO, 2022a)

4 INSTRUMENTAÇÃO

Para o presente estudo serão utilizados dados de estações de superfície de monitoramento de descargas elétricas, o BrasilDAT, para observar a existência do Lightning Jump para os eventos de Petrópolis e Recife.

As redes de detecção estão presentes em mais de 100 países e suas informações são utilizadas por diversas instituições, sendo elas de pesquisa, de educação ou privadas. Esses dados alimentam diversos serviços, como o de meteorologia, o setor elétrico e o agropecuário. Em alguns casos ajudam a possibilitar que vidas sejam salvas.

O presente estudo tenta trazer uma nova forma de previsão de eventos drásticos, sendo possível utilizá-lo para salvar a vida de pessoas atingidas por tais eventos.

4.1 Earth Networks Total Lightning Network (ENTLN)

O ENTLN incorpora as melhores tecnologias avançadas de localização de descargas entregando uma eficiência de detecção de descargas e precisão de localização insuperáveis. A ENTLN é a primeira rede de detecção de descargas capaz de detectar uma grande proporção de descargas nuvem solo e intranuvem.

A detecção de descargas em eficiências muito altas é crítica para a previsão avançada de fenômenos meteorológicos severos, como: Tornados, tempestades entre outros.

4.2 BrasilDAT

O BrasilDAT é uma rede de monitoramento e detecção de descargas elétricas nuvem solo ou intranuvem. Ela é a terceira maior rede do mundo e a maior na região tropical do globo, contando com 56 sensores nas regiões Sul, Sudeste, Nordeste e Centro-Oeste (NACARATTO, 2014) e é operada pelo ELAT. Os dados são obtidos a partir dos sensores supracitados, que são os responsáveis por captar a radiação eletromagnética emitidas pelas descargas elétricas com o Time of Arrival (tempo de chegada).

A rede de detecção registra com precisão o local de impacto, horário e as características das descargas, como intensidade, multiplicidade e polaridade de

descargas nuvem solo. Enquanto que para as descargas intranuvem são registradas a localização aproximada e o instante da descarga.

Em regiões onde sensores estão instalados as descargas nuvem solo são registrada por meio de ondas LF e VHF, sua eficiência é de 1km. Em regiões onde os sensores não estão instalados ou são em menores quantidades as descargas são registradas por meio de ondas VLF, sendo menos precisas chegando até 10km.

A rede apresenta dados de medição de: latitude, longitude, data e horário, discriminação do evento (Intranuvem, nuvem-solo), picos de corrente e o número de sensores participantes.

5 METODOLOGIA

Este tópico abordará as metodologias utilizadas para a escolha dos pontos centrais, datas, tratamento dos dados e a análise dos dados, assim como os softwares utilizados em cada uma das etapas.

5.1 Escolha dos Pontos

Inicialmente deve ser pontuado que para este trabalho, por se tratar de duas áreas de estudo distintas, para cada desastre natural foi necessária uma área de interesse, dessa forma para ambos os municípios: Petrópolis e Recife, a metodologia para a delimitação da área de interesse foi igual.

A aplicação de buffers que delimitam a área de interesse, onde descargas elétricas serão estudadas, foram feitos a partir dos locais mais afetados, sendo assim, o centro dos buffers em ambos será um ponto do município a ser estudado. Os buffers aplicados tanto para Recife como para Petrópolis, onde os municípios estão em destaque, serão apresentados a seguir. Foram feitos 5 buffers de 10, 20, 30, 50 e 100km de distância de um ponto central do evento.

Segundo reportagem veiculada no Jornal da Band e disponível em vídeo na internet do dia 16 de fevereiro de 2022 o local mais afetado pelas chuvas no município de Petrópolis foi o Morro da Oficina, onde “mais de 80 casas foram engolidas”. Por este motivo o ponto escolhido como centro dos buffers foi o Morro da Oficina, como mostrado na figura a seguir. A figura subsequente mostra os buffers criados a partir do ponto anteriormente citado. (JORNAL DA BAND, 2022)

Figura 10 – Localização do Morro da Oficina (Zona 23K Latitude: 7507171.44 m S, Longitude: 688176.13 m E)



Fonte: MORRO [...] (2022).

Figura 11 – Buffers de 10, 20, 30, 50 e 100km para o ponto central do Morro da Oficina em Petrópolis

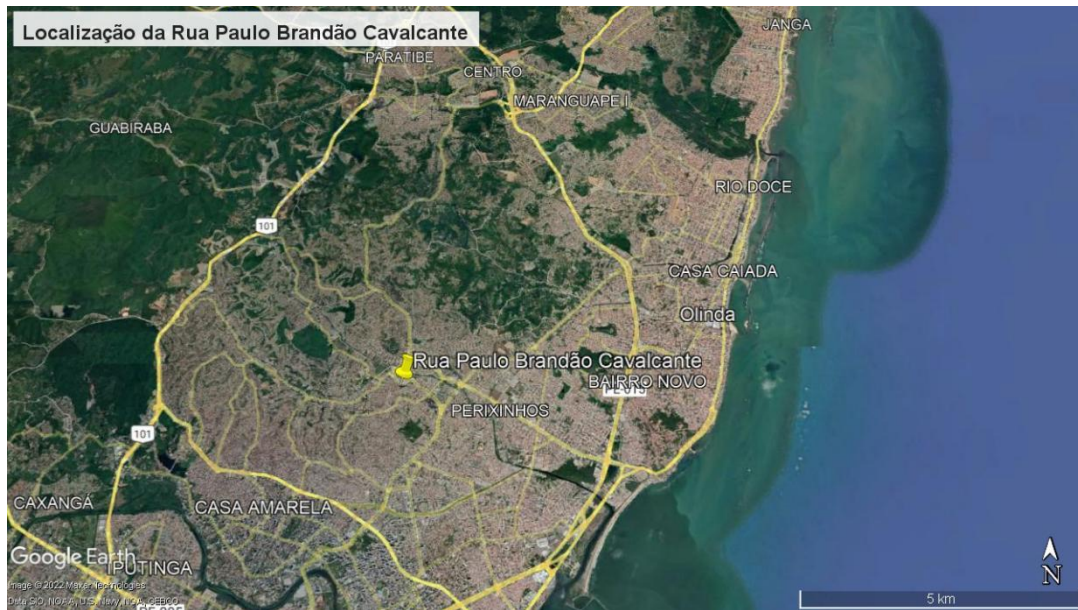


Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o município de Recife, segundo o portal de notícias G1, durante a madrugada do dia 25, ocorreu deslizamento na Rua Paulo Brandão Cavalcante, sem feridos, porém algumas casas foram danificadas. Desta forma o ponto escolhido foi

a Rua Paulo Brandão Cavalcante, mostrada na figura a seguir. A figura subsequente mostra os buffers criados que foram centrados na Rua Paulo Brandão Cavalcante. (G1-PE, 2022)

Figura 12 - Localização da Rua Paulo Brandão Cavalcante (Zona 25L Latitude: 9114605.34 m S, Longitude: 290997.39 m E)



Fonte: RUA [...] (2022).

Figura 13 – Buffers Para a Rua Paulo Brandão Cavalcante no Município de Recife



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2 Escolha das datas da Análise

A partir dos dados obtidos em Nota técnica do CEMADEN, o primeiro alerta de risco hidrológico para Petrópolis foi no dia 14/02/2022 e para Recife no dia 23/05/2022. A partir desta informação, a análise foi feita anterior ao primeiro alerta. (CEMADEN 2022a, 2022b)

Em Petrópolis, por tratar-se de uma região mais propensa a descargas elétricas, onde uma análise do período anterior poderia demonstrar um padrão para a comparação de quantidade de precipitação e quantidade de descargas elétricas, a data inicial da análise foi no dia 05/02/2022 e a data final, considerando que o segundo evento ocorreu no dia 17/02/2022, a análise foi encerrada no dia 20/02/2022.

Em Recife, a quantidade de descargas elétricas na região é normalmente menor e muitas vezes a precipitação não é acompanhada por descargas elétricas, por isso, para que fosse possível essa visualização a data inicial para a análise em Recife foi no dia 12/05/2022 e o fim da análise ocorre no último dia de maio (31/05/2022).

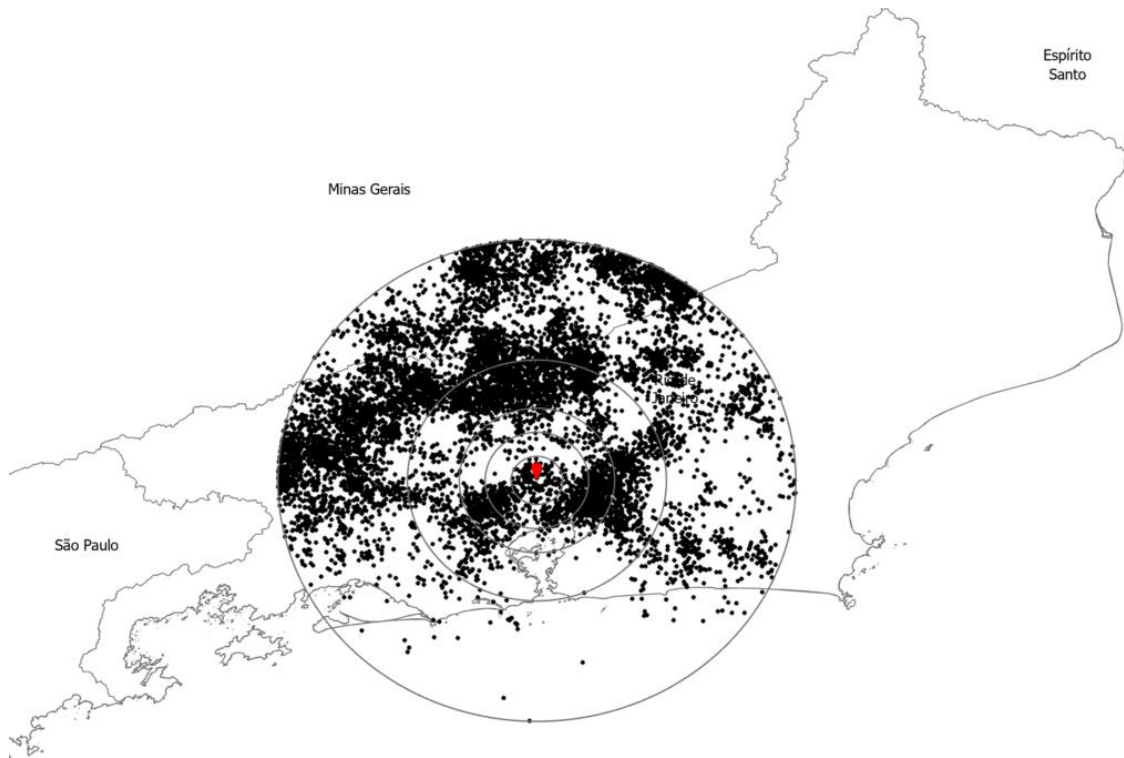
5.3 Tratamento dos Dados de Descargas Elétricas

Os dados da GLM obtidos tratavam-se de todas as descargas para uma região separadas por meses, dessa forma, os dados precisavam ser filtrados para as datas escolhidas dentro de cada um dos buffers criados.

A ferramenta utilizada tanto para a criação dos buffers como para separar apenas dos dados que se encontravam dentro do buffer foi o ArcGIS. Nele foi possível criar o buffer a partir do ponto já georreferenciado obtido no Google Earth e depois cortar a camada que foi criada a partir da tabela de dados da GLM.

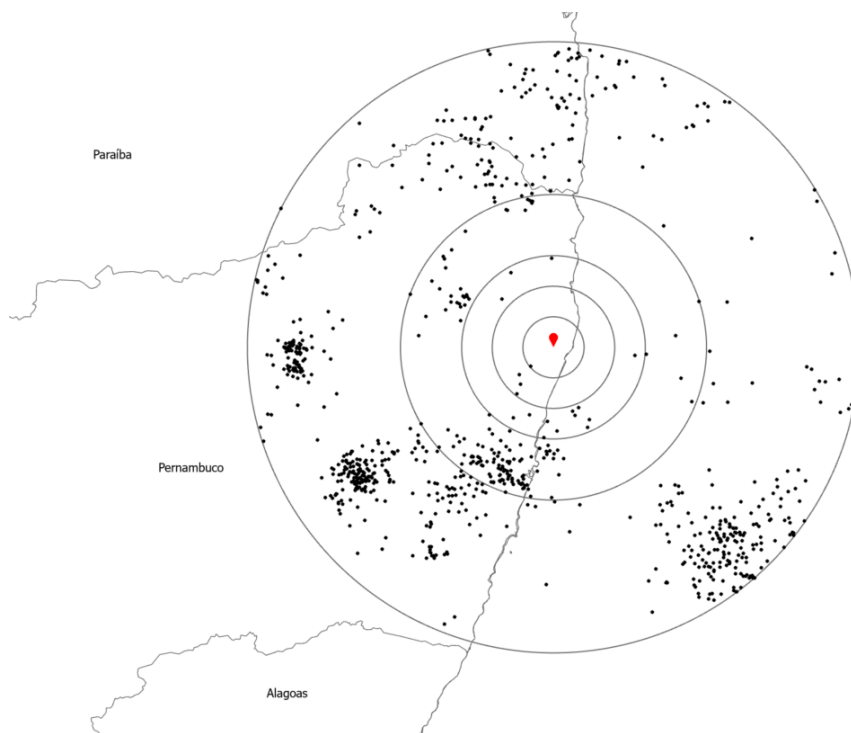
A distribuição dos raios para os eventos de Petrópolis e Recife para as datas selecionadas é demonstrada nos mapas a seguir.

Figura 14 – Distribuição dos Raios no Buffer de Petrópolis



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 15 – Distribuição dos Raios no Buffer de Recife



Fonte: Elaborado pelo autor.

A camada obtida foi transformada novamente em tabelas, uma para cada buffer, porém os dados eram mensais, dessa forma foi necessário aplicar um filtro para as tabelas criadas, onde apenas os dados para as datas escolhidas anteriormente restassem.

5.4 Análise dos Dados

A partir dos dados de descargas, agora em tabelas e seguindo a metodologia de Schultz, Petersen e Carey (2009) a partir do algoritmo sigma.

Os algoritmos "sigma" (σ = desvio padrão) que desenvolvemos são uma variante do algoritmo Gatlin; no entanto, eles envolvem menos suavização dos dados e um limiar de salto mais alto para reduzir as taxas de falsos alarmes. As taxas de flashes de 1 minuto são calculadas conforme a Equação (1) e valores DFRDT são computados a partir desses totais médios de 1 minuto. O cálculo do desvio padrão é baseado nos cinco períodos de tempo mais recentes (ou seja, nos últimos 10 minutos de atividade total de raios), excluindo o período de interesse. Em seguida, consideramos uma variação de 2σ em relação ao comportamento médio em execução para identificar comportamentos anormais de raios. O valor de 2σ foi escolhido com base em tentativa e erro para reduzir o número de falsos alarmes, mantendo ao mesmo tempo uma alta probabilidade de detecção. Uma variação de 2σ elimina saltos menores, permitindo, ainda, a detecção de aumentos significativos na atividade de raios. Da mesma forma, uma configuração de algoritmo de salto de raios de 3σ também foi desenvolvida para testes adicionais.

Por fim, um limiar de taxa de flashes de 10 min^{-1} é aplicado aos algoritmos de 2σ e 3σ , para que comportamentos normais associados a tempestades não severas e estágios não severos de tempestades severas não sejam classificados erroneamente como severos. Esse limiar é baseado na taxa média de flashes determinada para tempestades não severas discutidas na seção anterior. Para os algoritmos sigma, um "salto" ocorre quando o valor de DFRDT excede o limiar de 2σ ou 3σ , respectivamente. Um salto termina quando o valor de DFRDT é menor ou igual a 0, a menos que dois saltos estejam separados por 6 minutos ou menos. Se dois saltos estiverem separados por 6 minutos ou menos (ou seja, salto, sem salto e salto em períodos consecutivos), isso é contado como um único salto. (SCHULTZ; PETERSEN; CAREY, 2009)

Os dados precisaram ser contados individualmente em intervalos de 2 minutos, para tal a ferramenta Excel foi utilizada. No Excel foi criada uma fórmula onde as descargas foram buscadas em intervalos de 2 em 2 minutos seguindo em ordem para cada dia da análise. Essa fórmula é aplicada para cada planilha dos buffers, obtendo como resultado uma contagem de descargas elétricas em todos os buffers.

A fórmula a seguir apresenta a fórmula de contagem na planilha nomeada como "buffer 100km" na coluna D, contando a quantidade de descargas que está entre 00:00 e 00:02 no dia 05/02/2022.

=COUNTIFS('buffer 100km'!D:D;">=05/02/2022 00:00";'buffer
100km'!D:D;"<05/02/2022 00:02")

O segundo passo para a análise dos dados foi a criação de uma média móvel de 10 minutos e o desvio padrão dos intervalos anteriormente citados.

Por fim, uma fórmula foi criada para a comparação de dois desvios padrões, onde divisões (sigma) superiores a 2,0 demonstram um Lightning Jump. Para evitar Jumps com falso positivo, essa fórmula precisou que apenas onde o resultado da subtração de duas médias móveis maiores que zero fossem considerados.

=SE((Diferença das Médias Móveis>0);(SEERRO(Divisão dos Desv.Pad.;0));0)

Os resultados dessa análise foram planilhados e colocados em gráfico que será apresentado na seção a seguir.

6 RESULTADOS

A tabela a seguir mostra a quantidade total de descargas elétricas por buffer em Petrópolis e Recife para a rede BrasilDAT.

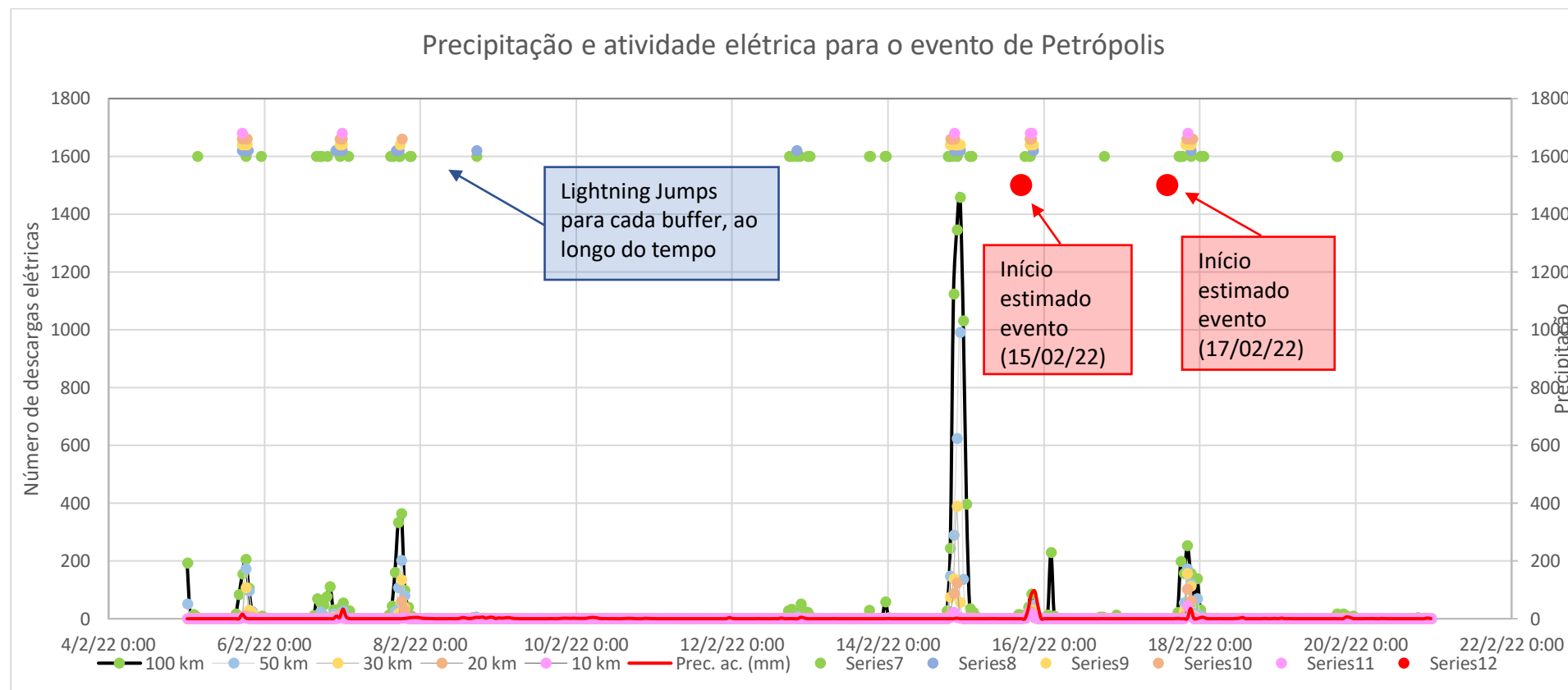
Tabela 2 – Quantidade de raios por buffer por região

	Petrópolis					Recife				
Buffer										
(km)	10	20	30	50	100	10	20	30	50	100
Raios	136	591	1415	3627	9977	1	4	18	160	836

Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico a seguir mostram a distribuição de precipitação e de descargas elétricas por hora durante o período escolhido, assim como os Lightning Jumps identificados para o evento em Petrópolis. Logo em seguida, os gráficos para períodos menores são mostrados para que seja possível visualizar eventos específicos dentro do período inteiro. Por fim é apresentada uma tabela com todos os Lightning Jumps identificados para o período estudado.

Gráfico 2 – Precipitação, atividade elétrica e Lightning Jumps para o Evento de Petrópolis



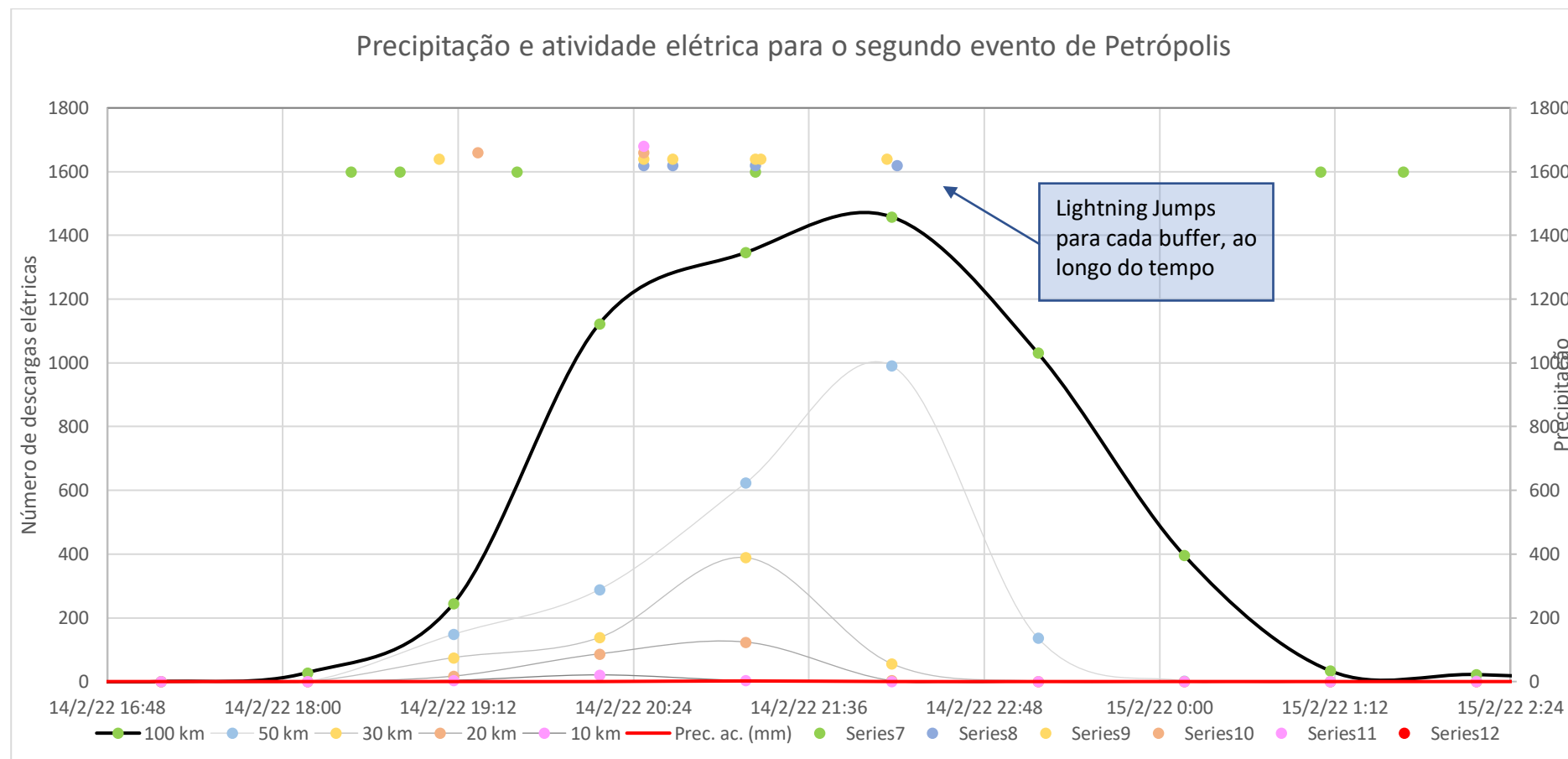
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 3 – Corte do Gráfico de Precipitação, atividade elétrica e Lightning Jumps para o Evento de Petrópolis (04/02/2022 até 07/02/2022)



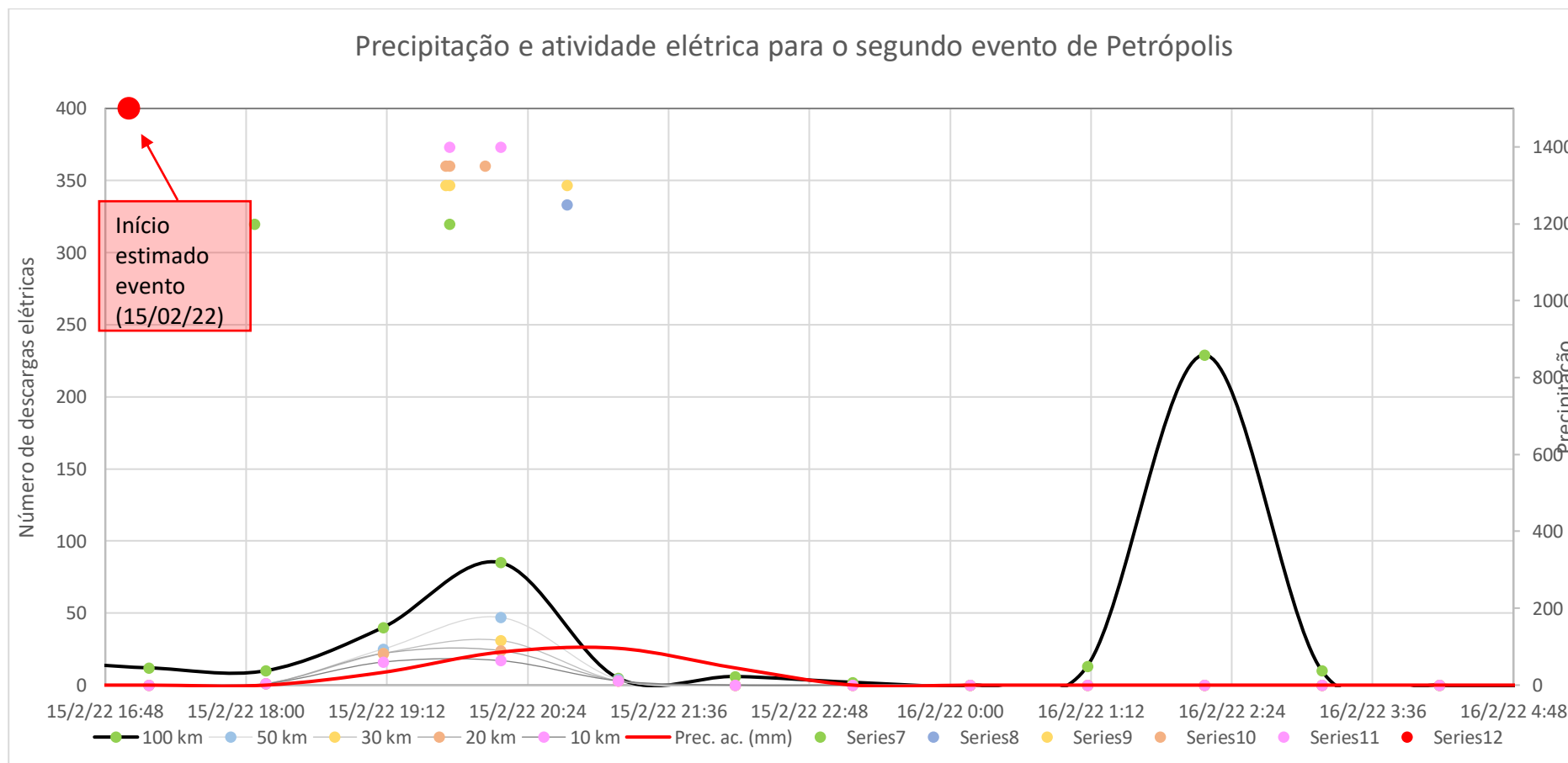
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 4 – Corte do Gráfico de Precipitação, atividade elétrica e Lightning Jumps para o Evento de Petrópolis (14/02/2022 até 15/02/2022)



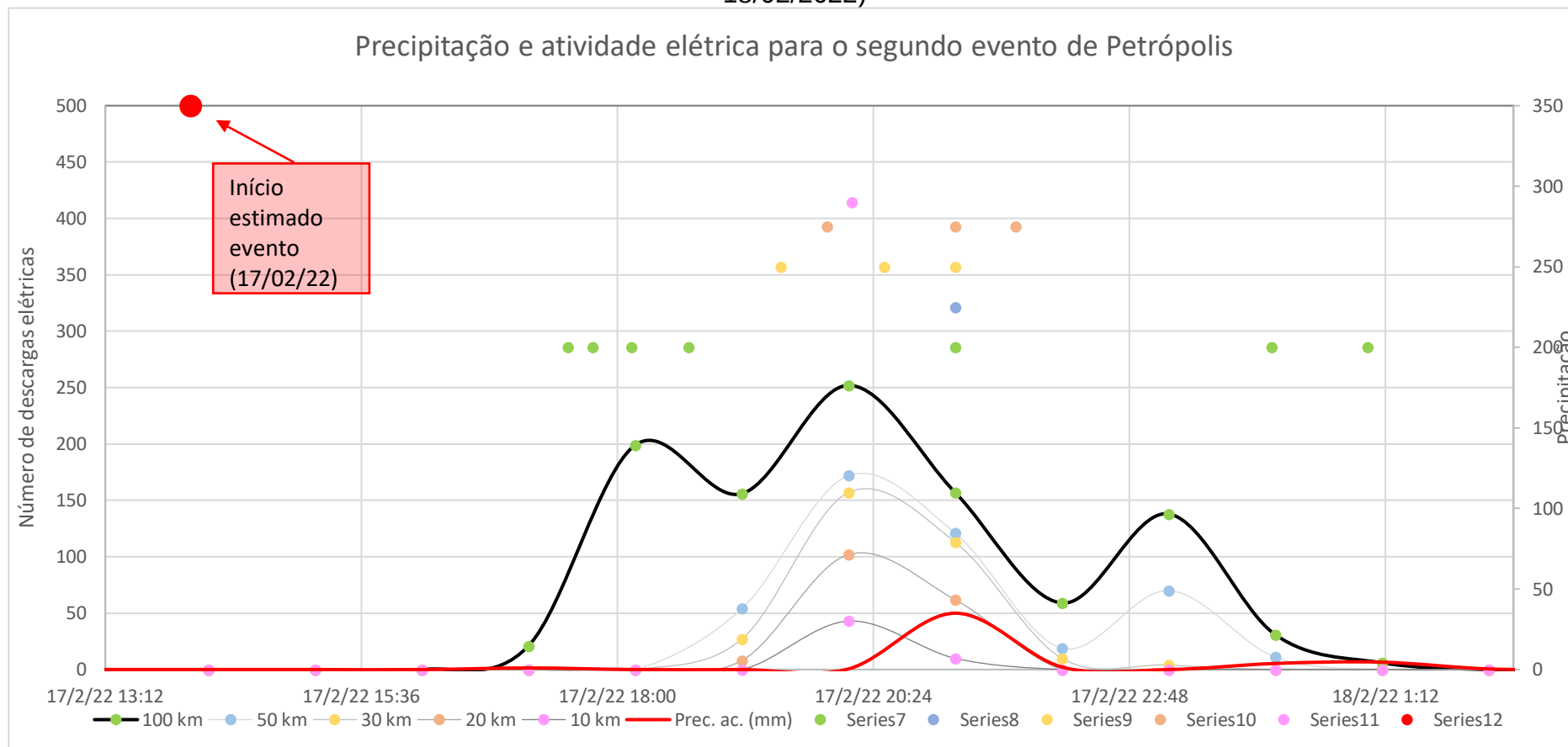
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 5 – Corte do Gráfico de Precipitação, atividade elétrica e Lightning Jumps para o Evento de Petrópolis (15/02/2022 até 16/02/2022)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 6 - Corte do Gráfico de Precipitação, atividade elétrica e Lightning Jumps para o Evento de Petrópolis (17/02/2022 até 18/02/2022)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 3 – Lightning Jumps identificados para o período verificado em Petrópolis

(continua)

Buffer de 100	Buffer de 50	Buffer de 30	Buffer de 20	Buffer de 10
km	km	km	km	km
05/02/2022	05/02/2022	05/02/2022	05/02/2022	05/02/2022
03:16:00	17:00:00	17:00:00	17:00:00	17:00:00
05/02/2022	05/02/2022	05/02/2022	05/02/2022	06/02/2022
18:10:00	17:50:00	18:10:00	18:32:00	23:46:00
05/02/2022	05/02/2022	05/02/2022	06/02/2022	14/02/2022
22:54:00	18:08:00	18:32:00	23:12:00	20:28:00
06/02/2022	05/02/2022	06/02/2022	06/02/2022	15/02/2022
15:56:00	18:10:00	23:12:00	23:46:00	19:44:00
06/02/2022	05/02/2022	06/02/2022	07/02/2022	15/02/2022
17:04:00	18:54:00	23:46:00	18:14:00	20:10:00
06/02/2022	06/02/2022	07/02/2022	14/02/2022	17/02/2022
17:30:00	21:52:00	17:36:00	19:20:00	20:12:00
06/02/2022	06/02/2022	14/02/2022	14/02/2022	
19:14:00	23:12:00	19:04:00	20:28:00	
06/02/2022	06/02/2022	14/02/2022	15/02/2022	
23:12:00	23:46:00	20:28:00	19:42:00	
07/02/2022	07/02/2022	14/02/2022	15/02/2022	
01:50:00	16:32:00	20:40:00	19:44:00	
07/02/2022	07/02/2022	14/02/2022	15/02/2022	
14:42:00	16:52:00	21:14:00	20:02:00	
07/02/2022	07/02/2022	14/02/2022	17/02/2022	
15:28:00	17:22:00	21:16:00	19:58:00	
07/02/2022	08/02/2022	14/02/2022	17/02/2022	
17:22:00	17:12:00	22:08:00	21:10:00	
07/02/2022	12/02/2022	15/02/2022	17/02/2022	
17:36:00	19:54:00	19:42:00	21:44:00	
07/02/2022	14/02/2022	15/02/2022		
20:44:00	20:28:00	19:44:00		

Tabela 3 – Lightning Jumps identificados para o período verificado em Petrópolis
(continuação)

07/02/2022	14/02/2022	15/02/2022
21:06:00	20:40:00	20:44:00
08/02/2022	14/02/2022	17/02/2022
17:12:00	21:14:00	19:32:00
12/02/2022	14/02/2022	17/02/2022
17:32:00	22:12:00	20:30:00
12/02/2022	15/02/2022	17/02/2022
18:20:00	20:44:00	21:10:00
12/02/2022	17/02/2022	
19:54:00	21:10:00	
12/02/2022		
20:46:00		
12/02/2022		
23:14:00		
12/02/2022		
23:48:00		
13/02/2022		
18:12:00		
13/02/2022		
18:28:00		
13/02/2022		
23:04:00		
13/02/2022		
23:18:00		
14/02/2022		
18:28:00		
14/02/2022		
18:48:00		
14/02/2022		
19:36:00		

Tabela 3 – Lightning Jumps identificados para o período verificado em Petrópolis
(conclusão)

14/02/2022

21:14:00

15/02/2022

01:06:00

15/02/2022

01:40:00

15/02/2022

18:04:00

15/02/2022

19:44:00

16/02/2022

18:28:00

17/02/2022

17:32:00

17/02/2022

17:46:00

17/02/2022

18:08:00

17/02/2022

18:40:00

17/02/2022

21:10:00

18/02/2022

00:08:00

18/02/2022

01:02:00

19/02/2022

18:02:00

19/02/2022

18:24:00

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela a seguir está preenchida com todos os Lightning Jumps identificados para o período estudado em Recife. Como é possível verificar, não foram identificados Lightning Jumps para os buffers de 10, 20 e 30 km.

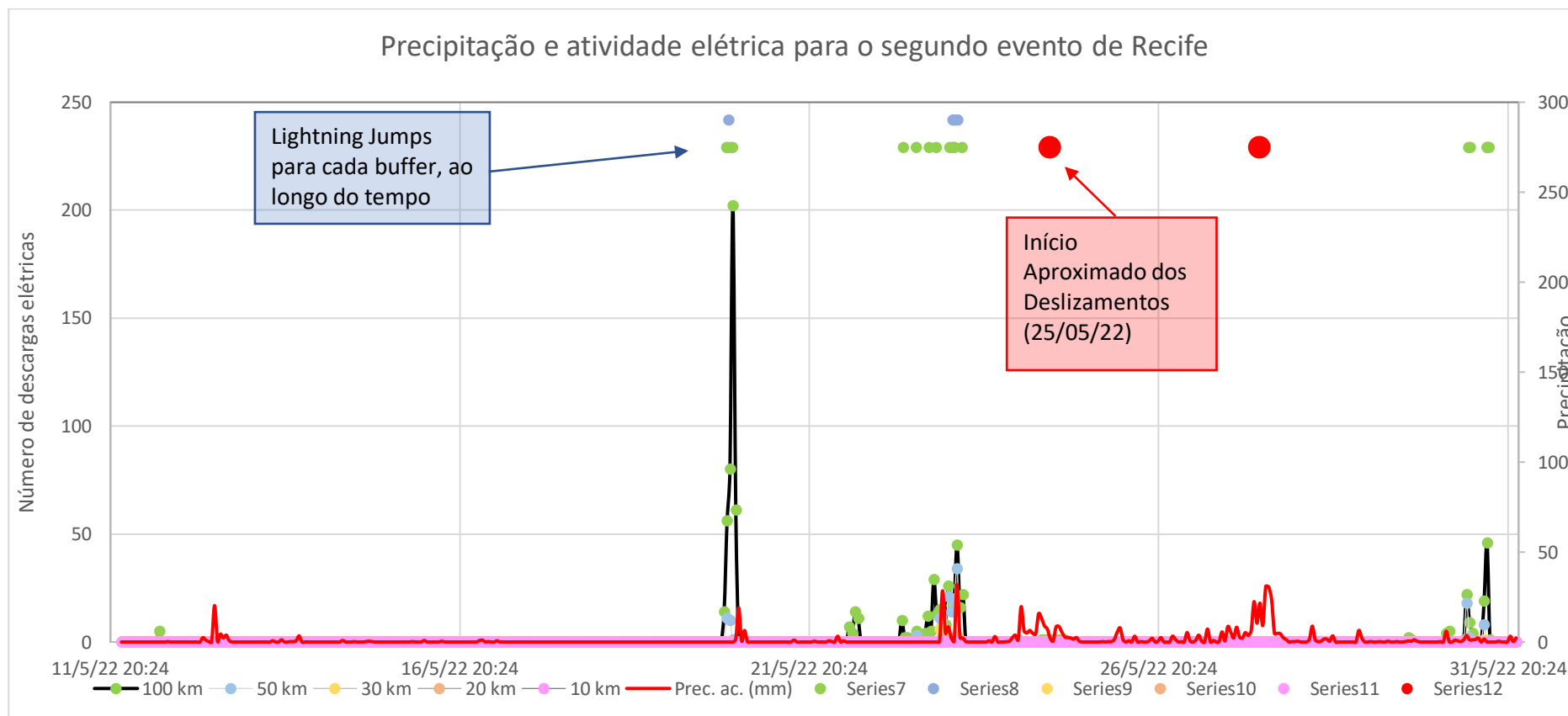
Tabela 4 - Lightning Jumps identificados para o período verificado em Recife

Buffer de 100 km	Buffer de 50 km
20/05/2022 15:56:00	20/05/2022 16:34:00
20/05/2022 16:52:00	23/05/2022 21:40:00
20/05/2022 17:56:00	23/05/2022 22:08:00
23/05/2022 04:32:00	23/05/2022 23:14:00
23/05/2022 09:02:00	
23/05/2022 13:30:00	
23/05/2022 15:50:00	
23/05/2022 20:28:00	
23/05/2022 21:40:00	
23/05/2022 22:08:00	
24/05/2022 00:44:00	
31/05/2022 06:48:00	
31/05/2022 07:20:00	
31/05/2022 12:56:00	
31/05/2022 13:10:00	
31/05/2022 13:44:00	

Fonte: Elaborado pelo autor.

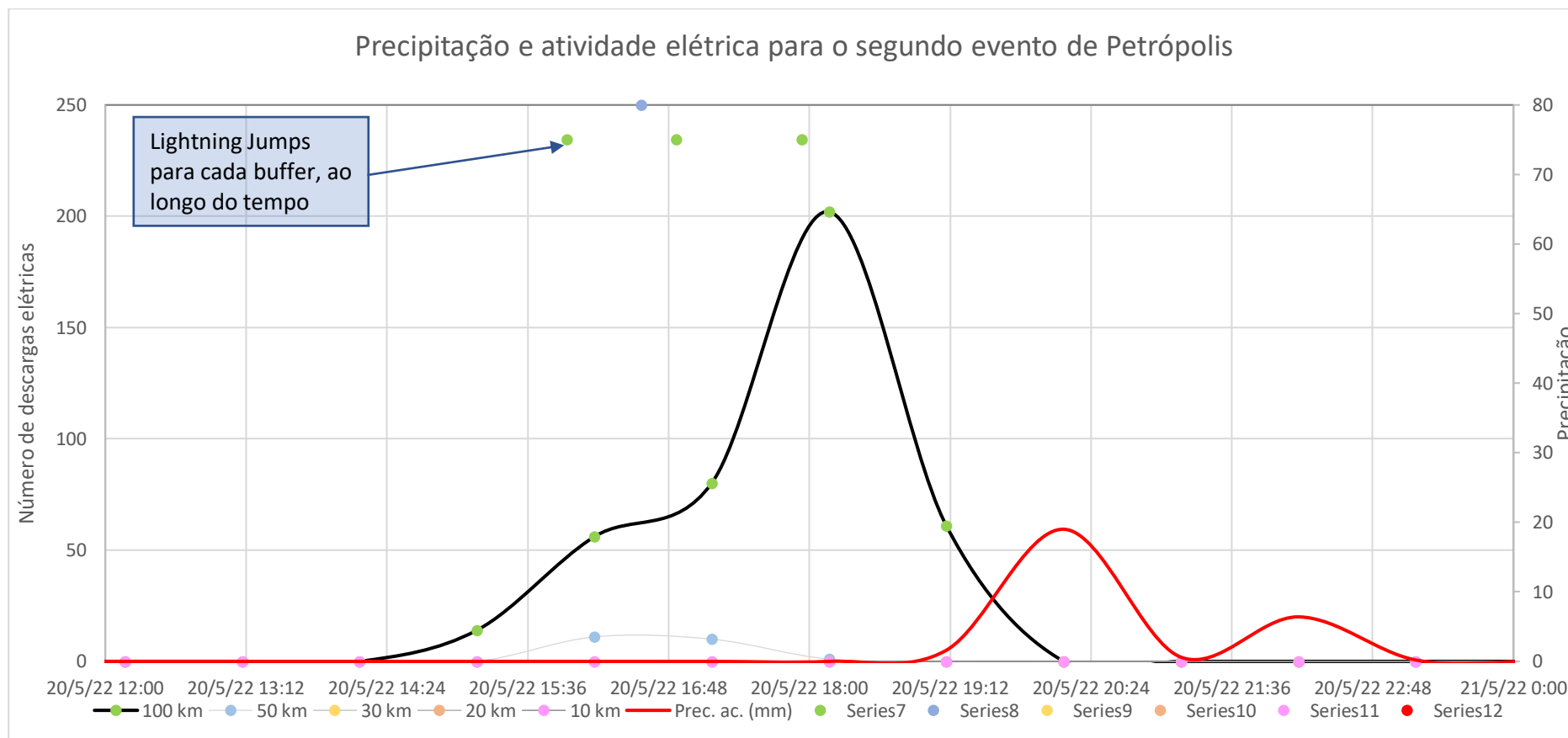
Assim como feito para o evento em Petrópolis, o gráfico a seguir mostra a distribuição de precipitação e descargas elétricas por hora durante o período escolhido, assim como os Lightning Jumps identificados para o evento em Recife. Logo em seguida, os gráficos para períodos menores são mostrados para que seja possível visualizar eventos específicos dentro do período inteiro.

Gráfico 7 – Gráfico de Precipitação, atividade elétrica e Lightning Jumps para o Evento de Recife



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 8 – Corte do Gráfico de Precipitação, atividade elétrica e Lightning Jumps para o Evento de Recife (20/05/2022 até 21/05/2022)



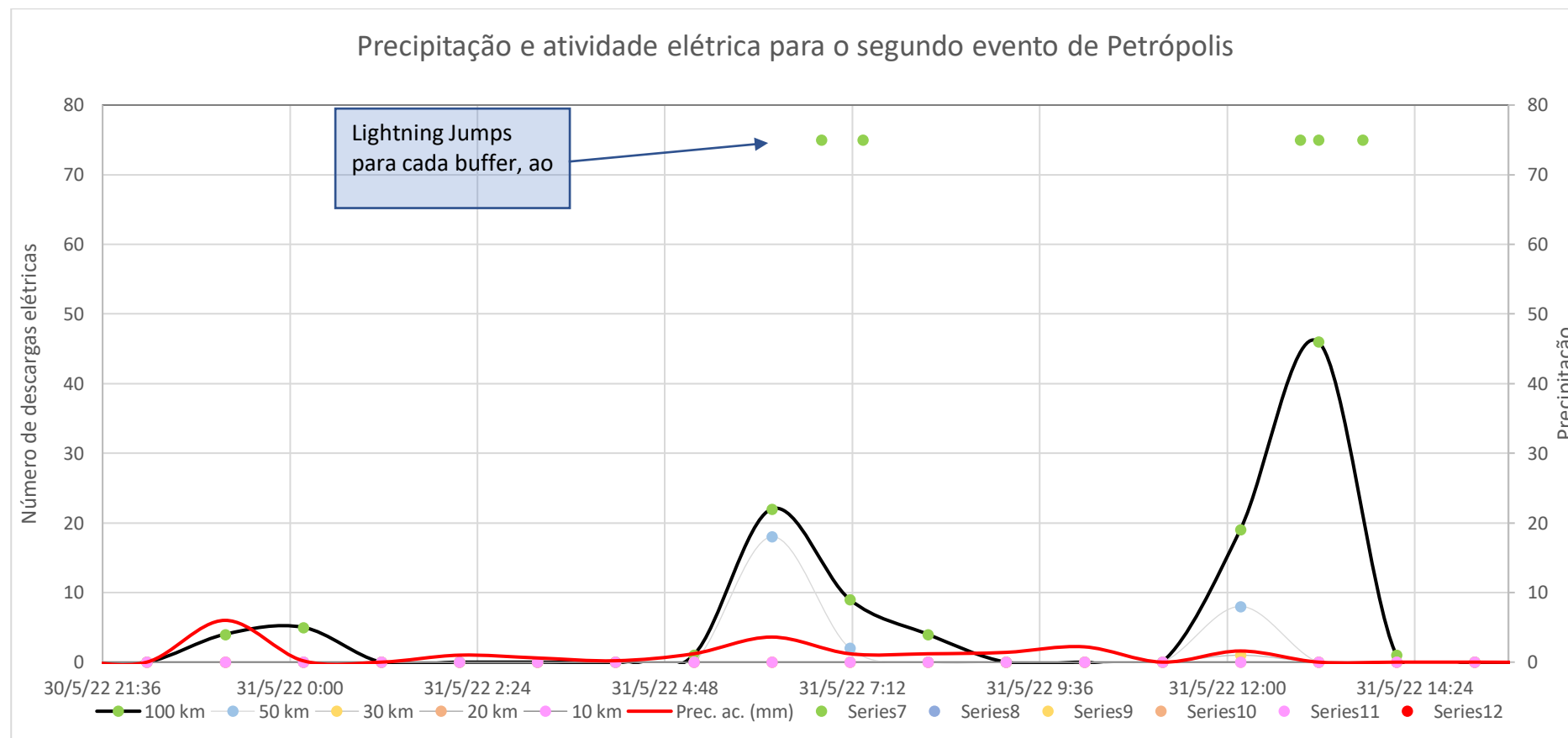
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 9 – Corte do Gráfico de Precipitação, atividade elétrica e Lightning Jumps para o Evento de Recife (22/05/2022 até 23/05/2022)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 10 – Corte do Gráfico de Precipitação, atividade elétrica e Lightning Jumps para o Evento de Recife (30/05/2022 até 31/05/2022)



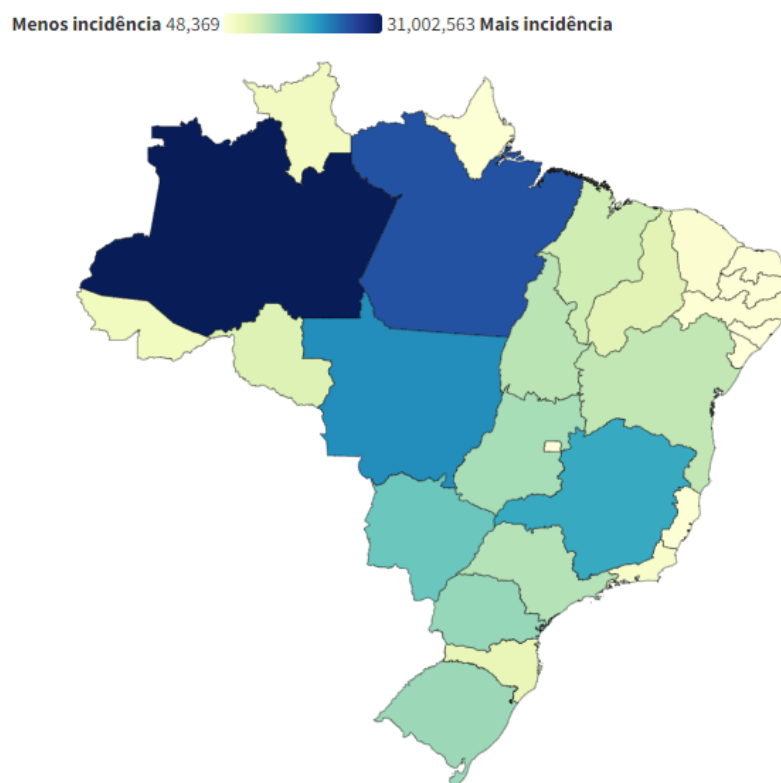
Fonte: Elaborado pelo autor

6.1 Discussão dos Resultados

Os resultados mostrados nos eventos de Petrópolis e Recife eram diferenças esperadas. Ao comprar dois eventos em regiões diferentes do Brasil, um país de dimensões continentais e que seu território se estende desde baixas latitudes na região Norte e Nordeste até altas latitudes como na região Sul, deve-se esperar que o resultado para um evento de características similares, no caso, eventos causados pelo excesso de precipitação terão resultados diferentes devido ao clima em cada localidade.

Nos dois casos analisados, tanto para Petrópolis como para Recife, ocorreram Jumps para os buffers de 100km e 50km, porém em Petrópolis ainda foram identificados Jumps em todos os outros buffers, enquanto que em Recife apenas nos buffers supracitados são identificados.

Figura 16 – Incidência de Descargas Elétricas para o ano de 2022.



Fonte: Germano (2022).

Como é possível verificar no mapa acima, a região Nordeste brasileira possui como característica precipitações com pouca incidência de descargas elétricas, fato identificado nos gráficos e tabelas neste documento. A quantidade de raios em todos

os buffers é sempre muito inferior a quantidade de descargas em Petrópolis. Enquanto que na Região Sudeste é comum tempestades com descargas elétricas, a região conhecida como Vale do Paraíba por estar localizada em parte da bacia do Rio Paraíba do Sul é uma das regiões com maior incidência de descargas elétricas no Brasil, fato que pode também influenciar a grande quantidade de descargas encontrada nos buffers de Petrópolis.

Analisando os gráficos é possível verificar que em diversos casos existe um aumento da quantidade de descargas elétricas quando antecede uma precipitação em ambas localizações para ambos os eventos. Apesar disso, o evento em Recife possui um longo tempo sem descargas e com precipitação, porém anteriormente ao início das precipitações que se mantiveram constantes por um longo tempo é possível verificar a incidência de descargas e presença de Jump.

7 CONCLUSÃO

Nesse documento foram analisados dois desastres naturais ocorridos no ano de 2022, utilizando os dados de descargas elétricas da rede BrasilDAT. O intuito foi trazer uma possibilidade de previsão de eventos severos, no caso, desastres naturais. Foram escolhidas duas regiões brasileiras com climas diferentes para se verificar a possibilidade da utilização dos Lightning Jumps em todo o território nacional.

Como esperado, em Petrópolis a quantidade de descargas foi muito alta chegando a picos superiores a 1400 descargas em uma hora para o buffer de 100km, enquanto os buffers de 50km, 30 km e 20km trazem uma quantidade muito próxima. Em todos os buffers foi possível a identificação de Jumps e boa quantidade de descargas.

Em Recife os buffers de 10km e 20km e 30km possuem uma quantidade de descargas muito baixa e ausência de Jumps o que implica no fato de que para este evento não foi possível a utilização dos mesmos como forma de prever um evento severo. Enquanto para os buffers de 50km e 100km, a quantidade de descargas pode ser considerada boa, apresentando até mesmo alguns Jumps.

O estudo demonstrou um potencial à previsão de eventos severos. No caso do estudo de Petrópolis a grande quantidade de Jumps quase sempre prevê uma precipitação e em muitos casos as descargas permanecem durante o período de precipitação. Enquanto isso em Recife, quando a maior quantidade de precipitação está acontecendo, é possível verificar que não existem jumps e as descargas são poucas ou inexistentes, porém anteriormente a essa grande quantidade de precipitação existe um pico de descargas e a presença de Jump.

O aumento dos desastres naturais em todo o globo devido ao crescimento populacional, o desmatamento, as alterações climáticas fazem com que seja necessário que os métodos de detecção de eventos severos, como o caso dos desastres naturais, se torne mais preciso e mais rápido. No presente estudo foi possível demonstrar que os Lightning Jumps possuem potencial para ajudarem na previsão de eventos severos juntamente dos métodos convencionais já existentes.

Para que seja possível verificar qual o melhor buffer faz-se necessária a análise de eventos similares nas mesmas localizações com intuito de encontrar semelhanças e assim ser possível criar uma forma de análise mais precisa.

Os eventos foram analisados de forma individual em duas regiões diferentes, porém para ser possível afirmar que esse método é aplicável para todo o território nacional, faz-se necessário um estudo em todas as regiões.

Este método traz uma nova possibilidade, não é possível dizer que ele substituirá os métodos já existentes, mas é possível verificar que ele pode agregar na análise e que é aplicável juntamente dos métodos já existentes para previsão de eventos severos e desastres naturais.

Assim sendo, é aconselhável que trabalhos futuros analisem novos eventos para verificar a possibilidade da aplicação em todo o território nacional ou analisem outros eventos que tenham ocorrido nas mesmas áreas para que seja possível determinar com maior precisão qual o buffer que trabalha melhor nas localidades desse presente estudo.

REFERÊNCIAS

ALVES, P. Uma pessoa morre e outras ficam feridas em deslizamento de barreira no Córrego do Abacate, em Olinda. **G1 - Pernambuco**, Pernambuco, 25 mai. 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2022/05/25/morte-feridos-deslizamento-de-barreira-corrego-de-olinda.ghtml>. Acesso em: 20 jul. 2022.

BARBON, J. Número de mortos em Petrópolis chega a 204, e o total de desaparecidos cai para 51. **FOLHA DE SÃO PAULO**, Rio de Janeiro, 22 fev. 2022. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2022/02/numero-de-mortos-em-petropolis-sobe-para-183-e-o-total-de-desaparecidos-cai-para-85.shtml#:~:text=At%C3%A9%20o%20final%20da%20tarde,chuva%20reportadas%20%C3%A0%20Pol%C3%ADcia%20Civil>. Acesso em: 12 jul. 2022.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Proteção contra raios**. 2022a. Disponível em: https://www.inpe.br/weblat/docs/Cartilha_Protecao_Contra_Raios_Brasil_2020.pdf. Acesso em: 15 jun 2022.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Tipos de Tempestades**. São José dos Campos: INPE, [20--c]. Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/infor/tempestades/tipos.php>. Acesso em: 07 jul. 2022.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Mortes por raios - infográfico**. São José dos Campos: INPE, [202-]. Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/el.atm/mortes.por.raios.-.infografico.php>. Acesso em: 25 jun. 2023.

BRASIL. Governo do Estado do Rio de Janeiro. Defesa Civil do Estado do Rio de Janeiro. **Raios e Tempestades**. Rio de Janeiro, [20--a]. Disponível em: <http://defesacivil.rj.gov.br/index.php/para-o-cidadao/como-agir-em-desastres/21-raios-e-tempestades>. Acesso em: 07 set. 2022.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Descargas atmosféricas**. São José dos Campos: INPE, [20--b]. *Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/rindat/menu/desc.atm/>*. Acesso em: 12 ago. 2022.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. **Entenda a diferença entre os tipos de desastres naturais e tecnológicos registrados no Brasil**. Brasília, [2022b]. *Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/ultimas-noticias/entenda-a-diferenca-entre-os-tipos-de-desastres-naturais-e-tecnologicos-registrados-no-brasil>*. Acesso em: 07 set. 2022.

CEMADEN. **Nota Técnica: Evento do dia 15/02/2022 em Petrópolis/RJ**. São José dos Campos, 16 fev. 2022a.

CEMADEN. **Nota Técnica: Alertas de riscos de desastres em pernambuco, Alagoas e Paraíba**. São José dos Campos, 30 mai. 2022b.

CUMMINS, K. L.; KRIDER, E. P.; MALONE, M. D. The US National Lightning Detection Network/sup TM/and applications of cloud-to-ground lightning data by electric power utilities. **IEEE Transactions On Electromagnetic Compatibility**, v. 40, n. 4, p. 465-480, 1998.

DARÉ, E. F. Petrópolis: não foi um desastre natural!. **JORNAL DA UNICAMP**. Campinas, 2022. *Disponível em: <https://www.unicamp.br/unicamp/ju/noticias/2022/02/22/petropolis-nao-foi-um-desastre-natural>*. Acesso em: 12 jul. 2022.

DEPARTMENT OF COMMERCE (Estados Unidos). **National Oceanic and Atmospheric Administration**. Virtual Lab. *Disponível em: <https://vlab.noaa.gov/>*. Acesso em: 01 jul. 2022.

EARTH NETWORKS. **Total lightning networks**. *Disponível em: <https://www.earthnetworks.com/why-us/networks/lightning>*. Acesso em: 14 jun. 2023.

ECOTURISMO AVENTURA. **Climograma de Petrópolis**. *Disponível em: <http://www.ecoturismoaventura.com.br/climograma/petropolis.htm#:~:text=Passeios%20Ecol%C3%B3gicos%20%2F%20Clima%20%E2%80%93%20O%20clima,Cwb%20de%20K%C3%B6ppen%20%2D%20Geiger>*. Acesso em: 22 out. 2022.

EGUES, J. Por que o Brasil é o país com maior incidência de raios no mundo?. **Tecmundo**, 2022. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/ciencia/235487-brasil-o-pais-maior-incidencia-raios-mundo.htm>. Acesso em: 15 ago 2022.

ERDMANN, F. et al. Analyzing automatically detected lightning jumps from optical Geostationary Lightning Mapper (GLM) lightning observations. **EUMETSAT Annual Fellow Day**. Bélgica, 07 mar. 2022. Disponível em: <https://www-cdn.eumetsat.int/files/2022-03/06%20-%20ERDMANN%20-%20Analyzing%20automatically%20detected%20lightning%20jumps%20from%20optical%20Geostationary%20Lightning%20Mapper%20%28GLM%29%20lightning%20observations.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2022.

G1 PERNAMBUCO. Chuva no Grande Recife causa deslizamentos de barreiras, alagamentos e transtornos. **G1 - Pernambuco**, Pernambuco, 28 mai. 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2022/05/28/chuva-no-grande-recife-causa-deslizamentos-de-barreiras-alagamentos-e-transtornos.ghtml>. Acesso em: 22 jul. 2022.

G1 PERNAMBUCO; TV Globo. Sobe para dois número de mortos neste sábado em deslizamentos de barreira por causa da chuva no Recife. **G1 - Pernambuco**, Pernambuco, 28 mai. 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2022/05/28/sobe-para-dois-numero-de-mortos-neste-sabado-em-deslizamentos-de-barreira-por-causa-da-chuva-no-recife.ghtml>. Acesso em: 20 jul. 2022.

G1-PE; TV GLOBO. Fortes chuvas no Grande Recife: moradores ficam ilhados e ruas são tomadas pela água. **G1 - Pernambuco**, [S.L], 25 mai. 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2022/05/25/fortes-chuvas-grande-recife.ghtml>. Acesso em: 20 jul. 2022.

G1- PETRÓPOLIS. Temporal em Petrópolis deixa 120 mortos; Polícia Civil confirma 116 desaparecidos. **G1 - Região Serrana**, Petrópolis, 17 fev. 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/regiao-serrana/noticia/2022/02/17/temporal-em-petropolis-deixa-mortos-buscas-por-desaparecidos-sao-retomadas.ghtml>. Acesso em: 4 jul. 2022.

GATLIN, P. **Severe weather precursors in the lightning activity of Tennessee Valley thunderstorms**. M.S. thesis, The University of Alabama in Huntsville, 2006.

GERMANO. C. Nuvem de tempestade? Brasil teve 190 milhões de raios em 2022; veja ranking. **Correio Braziliense**, [S.L], 30 dez. 2022. Disponível em: <https://www.correiobraziliense.com.br/brasil/2022/12/5062422-nuvem-de-tempestade-brasil-teve-190-milhoes-de-raios-em-2022-veja-ranking.html>. Acesso em: 12 fev. 2023.

GREGÓRIO, R. S. **Petrópolis - Cidade Imperial? Da Representação Do Espaço Aos Espaços De Representação**, 2014. Disponível: Microsoft Word - ArtigoEgal_RobertaGregorio.doc (observatoriogeograficoamericalatina.org.mx). Acesso em: 17 de Ago. de 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Brasil: 500 anos de povoamento**. Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <https://brasil500anos.ibge.gov.br/estatisticas-do-povoamento/evolucao-da-populacao-brasileira.html>. Acesso em: 07 jul. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**, [20--]. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 10 set. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2010**, [201-]. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 10 out. 2022.

JORNAL DA BAND. Vídeo: Veja antes e depois da destruição causada pelas chuvas em Petrópolis. **BAND**, Petrópolis, 16 fev. 2022. Disponível em: <https://www.band.uol.com.br/noticias/jornal-da-band/ultimas/video-veja-antes-e-depois-do-temporal-que-atingiu-petropolis-16478922>. Acesso em: 4 jul. 2022.

JORNAL DO COMMERCIO. **CHUVA NO RECIFE: há risco de algo parecido com a cheia de 1975? Relembre o que ocorreu**, 2022a. Disponível em: <https://jc.ne10.uol.com.br/peernambuco/2022/05/15016693-chuva-no-recife-ha-risco-de-algo-parecido-com-a-cheia-de-1975-relembre-o-que-ocorreu.html>. Acesso em: 28 ago. 2022.

JORNAL DO COMMERCIO. **CHUVAS EM PERNAMBUCO: tragédia em 2022 supera cheia de 1975 em número de mortos**, 2022b. Disponível em: <https://jc.ne10.uol.com.br/peernambuco/2022/05/15017762-chuvas-em-peernambuco->

tragedia-em-2022-supera-cheia-de-1975-em-numero-de-mortos.html. Acesso em: 28 ago. 2022.

LEWIS, E. A.; HARVEY, R. B.; RASMUSSEN, J. E. Hyperbolic direction finding with sferics of transatlantic origin. **Journal of Geophysical Research**, v. 65, n. 7, p. 1879-1905, 1960.

MEIRELLES, E. *et al.* **Como se formam os raios?** [S.l.] Nova Escola, 2022. Disponível em: <<https://novaescola.org.br/conteudo/2288/como-se-formam-os-raios>>. Acesso em: 15 jun 2022.

MORRO da Oficina.: Google, 2022. 1 imagem de satélite, color., 2D. Google Câmera: 28 km, Lat. 22o31'54.00"S43o10'13.00"O, 916 m. Disponível em: https://earth.google.com/web/@-22.50909442,-43.17963077,834.94310478a,27117.27800617d,35y,-0.00000022h,1.36145955t,0.00000001r?utm_source=earth7&utm_campaign=vine&hl=pt-BR. Acesso em: 03 ago. 2022.

NACCARATO, K. P. *et al.* Evaluation of BrasilDAT relative detection efficiency based on LIS observations and a numeric model. **(ICLP)**, Shangai, 2014. p. 1814-1819.

PINTO JUNIOR, O. **A arte da guerra contra os raios**. Oficina de Textos, 2005.

PINTO JUNIOR, O.; PINTO, I. R. C. A. **Tempestades e Relâmpagos no Brasil**. 1. ed. São José dos Campos, SP: INPE, 2000.

PINTO, O. **Lightning in the tropics: from a source of fire to a monitoring system of climatic changes**. Nova Science Publishers, 2009.

RUA Paulo Brandão Cavalcante: Google, 2022. 1 imagem de satélite, color., 2D. Google Câmera: 19 km, Lat. 8o0'20.03"S34o53'46.61"O, 38 m. Disponível em: https://earth.google.com/web/@-7.9946863,-34.88387913,41.94366186a,19343.16407318d,35y,0.00000001h,7.01356315t,359.9999999r?utm_source=earth7&utm_campaign=vine&hl=pt-BR. Acesso em: 03 ago. 2022.

SABOYA, L. M. F.; MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; FRANÇA, M.V; ARAÚJO, W.R.; ROLIM NETO, F. C. **MÉTODOS DAS CLASSIFICAÇÕES CLIMÁTICAS DE**

THORNTWAITE E KÖPPEN PARA RECIFE – PE, BRASIL. RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar - ISSN 2675-6218, [S. l.], v. 2, n. 8, p. e28575, 2021.

SAITO, S. **Desastres Naturais: conceitos básicos.** São José dos Campos: INPE, 2008. Disponível em: http://www3.inpe.br/crs/crectalc/pdf/silvia_saito.pdf. Acesso em: 10 ago. 2023.

SCHULTZ, C. J.; PETERSEN, W. A.; CAREY, L. D. Preliminary Development and Evaluation of Lightning Jump Algorithms for the Real-Time Detection of Severe Weather. **Journal Of Applied Meteorology And Climatology**, [S.L.], v. 48, n. 12, p. 2543-2563, 1 dez. 2009. American Meteorological Society. <http://dx.doi.org/10.1175/2009jamc2237.1>.

THE INTERNATIONAL DISASTER DATABASE. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. Inventorying hazards & disasters worldwide since 1988. **EM-DAT**, 2022. Disponível em: <https://www.emdat.be/>. Acesso em: 20 jun. 2022.

TORRES, C.; ALVES, P. Homem morre soterrado em deslizamento de barreira causado pela chuva no Recife. **G1 Globo**, 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/pe/peernambuco/noticia/2022/05/28/homem-morre-soterrado-em-deslizamento-de-barreira-causado-pela-chuva-no-recife.ghtml>. Acesso em: 20 jul. 2022.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION (Estados Unidos). **Disaster**. UNDRR, [20--]. Disponível em: <https://www.undrr.org/terminology/disaster>.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012.** Florianópolis: CEPED UFSC, 2013.