



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS FLORIANÓPOLIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESASTRES NATURAIS

Amanda Carolina de Mello

**Caracterização dos eventos meteorológicos extremos no nordeste de Santa Catarina**

Florianópolis

2022

Amanda Carolina de Mello

**Caracterização dos eventos meteorológicos extremos no nordeste de Santa Catarina**

Submetido ao Programa de Pós Graduação em Desastres Naturais da Universidade Federal de Santa Catarina como parte da Dissertação para a obtenção do título de Mestre em Desastres Naturais.  
Orientador: Prof. Renato Ramos da Silva, Dr.

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Mello, Amanda Carolina de  
Caracterização dos eventos meteorológicos extremos no  
nordeste de Santa Catarina / Amanda Carolina de Mello ;  
orientador, Renato Ramos da Silva, 2022.  
59 p.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade  
Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências  
Humanas, Programa de Pós-Graduação em Desastres Naturais,  
Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Desastres Naturais. I. Silva, Renato Ramos da. II.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós  
Graduação em Desastres Naturais. III. Título.

Amanda Carolina de Mello

**Caracterização dos eventos meteorológicos extremos no nordeste de Santa Catarina**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Renato Ramos da Silva, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Sylvio Luiz Mantelli Neto, Dr.  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof. Wendell Rondinelli Gomes Farias, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Desastres Naturais.

---

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

---

Prof. Renato Ramos da Silva, Dr.  
Orientador

Florianópolis, 2022.

Este trabalho é dedicado aos meus amados pais.

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Desastres Naturais, por ter possibilitado a minha formação em nível de mestrado;

Ao meu orientador Prof. Renato Ramos da Silva pelos conhecimentos compartilhados e esclarecimentos durante os momentos de dúvidas;

Aos membros da Banca examinadora de Qualificação e Defesa, que contribuíram para refinamento e melhorias no estudo;

Aos meus pais, Ildete e Osmar pelo suporte e encorajamento.

Às minhas irmãs, Ana Paula e Fernanda pela inspiração.

Ao meu companheiro Luiz pela paciência e incentivo.

## RESUMO

Santa Catarina tem sido afetada frequentemente por eventos meteorológicos extremos que têm causado muitas perdas humanas, econômicas e ambientais. Entender os mecanismos de formação destes eventos é de grande importância para minimizar seu impacto na sociedade. O objetivo deste estudo foi identificar e analisar as características físicas e atmosféricas de eventos adversos por precipitação que culminaram em desastres na região nordeste do estado de Santa Catarina. Inicialmente, foi feita a identificação dos eventos meteorológicos para o período entre 2008 e 2019 que resultaram em estado de calamidade pública ou situação de emergência, disponibilizados no banco de dados da Defesa Civil estadual. A pesquisa resultou em 200 eventos, distribuídos em 34 municípios, classificados como: alagamento, chuva intensa, deslizamento, enxurrada, granizo, inundação e tornado, sendo predominante os registros de enxurrada, com 149 casos. Os resultados mostraram que no ano de 2011 ocorreram o maior número de eventos, com 58 casos, seguido por 2008 com 33 casos. Os municípios que registraram maior número de desastres foram Penha, Camboriú, Araquari, Balneário Barra do Sul, Blumenau e Joinville. Após a identificação dos eventos, foi feita uma avaliação de suas características a partir de dados de sensoriamento remoto incluindo dados dos satélites Aqua e Terra, de precipitação do programa GPM IMERG; de relâmpago pelo sensor LIS do satélite TRMM; de reanálises atmosféricas do modelo MERRA-2. As características avaliadas foram da estimativa de precipitação média diária, da temperatura do topo das nuvens, do raio efetivo do tamanho das gotas e de gelo, da intensidade do vento zonal e da presença relâmpagos nas nuvens. Os resultados da avaliação da temperatura do topo das nuvens mostraram que 79% corresponderam a eventos com topos mais frios de 0°C, indicando que em sua maioria são nuvens profundas. O tamanho do raio efetivo médio das gotas líquidas foi de 16,5 µm, mostrando que estas gotas são similares às nuvens marinhas que possuem gotas maiores. Os dados de vento mostraram que sua direção é predominantemente de leste, indicando que a maior parte dos casos possuem transporte de vapor do Oceano Atlântico próximo. A distribuição de precipitação foi maior a leste das montanhas locais, mostrando que o relevo tem grande relevância na localização dos extremos. Estimativas do número de relâmpagos mostraram que ocorreram 28 casos com presença de nuvens eletrificadas. Os resultados apresentaram importantes características dos eventos extremos para a região de estudo e que poderão ser determinantes para os tomadores de decisão.

**Palavras-Chave:** 1. Precipitação intensa. 2. Inundação. 3. Sensoriamento remoto.

## ABSTRACT

The state of Santa Catarina has frequently been affected by extreme weather events that have caused many human, economic and environmental losses. Understanding the mechanisms of formation of these events is of great importance for minimizing its impact on society. The aim of this study was to identify and analyze the physical and atmospheric characteristics of adverse extreme events that caused disasters in the northeast region of Santa Catarina. Initially, an identification of these meteorological events was performed for the period between 2008 and 2019. The selected cases were considered the ones that resulted in a state of public calamity and emergency situation by the municipalities and which were made available in the state Civil Defense database. The research resulted in 200 events, distributed in 34 cities in the region, classified as: flooding, heavy rain, landslides, runoff, hail, and tornado, with predominant records of flooding, with 149 cases. The results inherent in the year 2011 had the highest number, totaling 58 events, followed by the year 2008 with 33 cases. The cities that registered the highest numbers of disasters were Penha, Camboriú, Araquari, Barra do Sul, Blumenau and Joinville. After identifying the events, an evaluation of their characteristics was carried out based on remote sensing data including data from the Aqua and Terra satellites, precipitation from the GPM IMERG program; lightning by TRMM satellite LIS sensor; atmospheric reanalysis from the MERRA-2 model. The characteristics evaluated were the average daily estimate of precipitation, the clouds top temperatures, the effective radius of the cloud droplet and the intensity of the zonal wind. The results for the cloud top temperature showed that tops colder than 0°C corresponded to 79% of the events and therefore corresponded to deep clouds. Analysis of the mean effective radius of the liquid droplets was about 16,5  $\mu\text{m}$ , showing that these droplets are similar to marine clouds that usually have larger droplets. The wind data indicated that its predominant direction was from the east, indicating that most cases have vapor transport from the nearby Atlantic Ocean. The distribution of precipitation showed that it was greater east of the local mountains, showing that topography is of great importance for the location of the extremes. Estimates of the number of lightning flashes showed that there were 28 cases with the presence of electrified clouds. The results showed important characteristics of extreme events for the study region and that are crucial for decision makers.

**Keywords:** 1. Heavy rain. 2. Flooding. 3. Remote sensing.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição dos desastres por regiões brasileiras entre os anos 1991 e 2012.....	18
Figura 2 - Concentração e tamanho de gotículas de nuvens marinhas e continentais.....	21
Figura 3 - Tamanhos relativos de gotas de chuva, gotículas de nuvens e núcleo de condensação. .....	22
Figura 4 - Tipos de nuvens e altura em relação à superfície da Terra.....	23
Figura 5- Localização geográfica do estudo.....	26
Figura 6 - Densidade Populacional da Região.....	27
Figura 7 – Informações do banco de dados da NASA - EOSDIS .....	29
Figura 8 – Banco de dados da NASA.....	30
Figura 9- Percentual de desastres meteorológicos na região entre os anos de 2008 e 2019. ...	32
Figura 10 - Número de registros de desastres meteorológicos por ano na região de estudo, entre os anos de 2008 e 2019.....	33
Figura 11 - Total de dias com registros de desastres por mês entre os anos 2008 e 2019. ....	34
Figura 12 - Número de registros de desastres meteorológicos por município na região de estudo, entre os anos de 2008 e 2019.....	35
Figura 13 - Estimativa de precipitação acumulada diária (mm).....	36
Figura 14 – Ocorrência das frequências de precipitação diária acumulada. ....	37
Figura 15 - Percentual de temperatura do topo das nuvens acima e abaixo de zero graus Celsius. .....	38
Figura 16 – Distribuição das temperaturas do topo de nuvem (°C).....	38
Figura 17 – Distribuição do raio efetivo de partículas de gelo das nuvens. ....	39
Figura 18 – Distribuição do raio efetivo de partícula líquida das nuvens. ....	40
Figura 19 – Distribuição da componente do vento zonal (m/s).....	41
Figura 20 - Mapa hipsométrico da região de estudo (SC).....	42
Figura 22 - Dias com presença de relâmpagos e temperatura do topo das nuvens. ....	44

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Eventos extremos por precipitação entre os anos de 2000 e 2018 no mundo. ....	16
Tabela 2 - Classificação de nuvens conforme gênero e nível.....	23
Tabela 3 - Precipitação diária acumulada máxima e média por tipo de evento registrado. ....	36
Tabela 4 - Número de relâmpagos (LIS) e temperatura do topo da nuvem (°C). ....	44

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AL - Alagamento

CI - Chuva Intensa

DE - Deslizamento

ECP - Estado de Calamidade Pública

EN - Enxurrada

GEOS - *Goddard Earth Observing System Model*

GMAO - *Global Modeling and Assimilation Office*

GPM - IMERG - *Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM*

GR - Granizo

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IN - Inundação

LIS - *Lightning Imaging Sensor*

MERRA-2 – *Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, version 2*

MODIS - *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*

NASA - *National Aeronautics and Space Administration*

SE - Situação de Emergência

TRMM - *Tropical Rainfall Measuring Mission*

TO - Tornado

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1	OBJETIVOS .....	15
1.1.1	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>15</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>16</b>
2.1	EVENTOS EXTREMOS.....	16
2.1.1	<b>Eventos extremos no mundo .....</b>	<b>16</b>
2.1.2	<b>Eventos extremos no Brasil.....</b>	<b>17</b>
2.1.3	<b>Eventos extremos em Santa Catarina .....</b>	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>21</b>
3.1	TIPOS DE NUVENS.....	21
3.2	PRECIPITAÇÃO OROGRÁFICA.....	25
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>26</b>
4.1	ÁREA DE ESTUDO .....	26
4.1.1	<b>Aspectos Gerais.....</b>	<b>26</b>
4.2	IDENTIFICAÇÃO DOS EVENTOS EXTREMOS.....	28
4.3	DADOS DE SATÉLITE.....	28
4.3.1	<b>AQUA E TERRA .....</b>	<b>29</b>
4.3.2	<b>TRMM – LIS.....</b>	<b>29</b>
4.3.3	<b>GPM.....</b>	<b>30</b>
4.4	DADOS REANÁLISE - MERRA-2 .....	31
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>32</b>
5.1	EVENTOS EXTREMOS NA REGIÃO.....	32
5.2	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS EVENTOS.....	35
5.2.1	<b>Precipitação diária acumulada.....</b>	<b>35</b>

5.2.2	Temperatura do topo de nuvem .....	37
5.2.3	Raio efetivo de partícula de gelo.....	39
5.2.4	Raio efetivo de partícula líquida .....	39
5.2.5	Componente do vento zonal .....	40
5.2.6	Relevo e Precipitação média .....	41
5.2.7	Relâmpagos .....	43
6	CONCLUSÕES.....	46
	REFERÊNCIAS.....	47
	APÊNDICE A – Tabela de desastres meteorológicos registrados na Defesa civil de SC na região de estudo entre os anos 2008 e 2019. ....	51
	APÊNDICE B – Tabela de características físicas das nuvens nos casos selecionados entre os anos 2008 e 2019, entre as latitudes 27S e 26S graus e as longitudes 49.5 W e 48.5 W graus.....	56

## 1 INTRODUÇÃO

Os fenômenos naturais, também conhecidos por eventos naturais extremos, quando associados à vulnerabilidade da população e causam perdas e impactos humanos, materiais, econômicos e ambientais, configuram-se como desastres (UNISDR, 2017). A ocorrência de desastres está relacionada aos eventos de estiagens e secas, inundações, enxurradas, alagamentos, movimentos de massa, erosões, granizos e geadas, incêndios, tornados e vendavais (BRASIL, 2013).

O estado de Santa Catarina (SC) tem sido afetado historicamente por desastres. A formação destes eventos extremos com potencial de causar danos é influenciada pelos sistemas meteorológicos (BRASIL, 2013; HERRMANN, 2014) e um fator comum desses eventos está associado à alta precipitação pluviométrica.

A pluviosidade no estado de Santa Catarina sofre a influência de alguns elementos: à presença da Serra do Mar, configurando as chuvas orográficas e também a proximidade com áreas marítimas, por conta do Oceano Atlântico (NUNES; DA SILVA, 2013). A região costeira de Santa Catarina é uma área com alto risco de ocorrência de desastres naturais, em decorrência de processos naturais de erosão e degradação em que está submetida, aliado às condições climáticas, geológicas, geomorfológicas e de uso da terra do estado (SILVA DIAS, 2009; RODRIGUES, 2015).

Dentre os eventos meteorológicos que causaram danos no estado podem ser citados o furacão Catarina em 2004, as inundações e deslizamentos de novembro de 2008 e os deslizamentos de 2011 (HERRMANN, 2014). Conforme o diagnóstico de desastres naturais de Santa Catarina disponível no Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, os eventos por precipitação mais recorrentes no estado, no período de 1991 a 2012 foram a enxurrada, a inundações e o granizo (BRASIL, 2013). O registro de inundações é regular em todo o estado, com maior incidência nas mesorregiões do Norte Catarinense, Vale do Itajaí e Grande Florianópolis. Nestas mesorregiões também estão concentrados os municípios com maior frequência em enxurradas e escorregamentos de Santa Catarina (CARDOSO, 2017).

Os desastres vivenciados confirmaram que a devastação da natureza pode trazer enormes prejuízos socioambientais e as consequências desta degradação ainda não são totalmente estimadas. Modelos climáticos têm mostrado que a região sul do Brasil poderá ter

uma frequência maior de eventos de precipitação extrema no futuro (NUNES; DA SILVA, 2013; RAMOS DA SILVA; HAAS, 2016).

Entender os mecanismos de formação destes eventos é importante para evoluirmos no controle de danos por eventos com condições climáticas severas no futuro, desta forma estes estudos podem tornar-se uma ferramenta relevante nas ações e decisões de órgãos públicos, como por exemplo, a Defesa Civil (ALVES, 2013).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar as características físicas e atmosféricas dos eventos meteorológicos extremos ocorridos na região nordeste do estado de Santa Catarina (SC).

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Identificar os eventos meteorológicos extremos com registro de desastre que ocorreram na região de estudo;

Entender as características atmosféricas dos eventos extremos identificados, incluindo os campos de ventos e precipitação;

Identificar as características físicas das nuvens, como temperatura do topo da nuvem, raio efetivo do tamanho das gotas e ocorrência de relâmpagos;

Avaliar o impacto do relevo na formação das nuvens e precipitação.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 EVENTOS EXTREMOS

Determinados eventos extremos têm apresentado um aumento em sua frequência nos últimos 20 anos, em uma escala global. Os eventos adversos causados pela chuva são um exemplo. Muitas pesquisas e cientistas atribuem a ocorrência de alguns destes eventos às mudanças climáticas provocadas pelo homem (COUMOU; RAHMSTORF, 2012; HASSOL et al., 2016; HERRING et al., 2020) que quando combinados com a variabilidade natural do sistema climático (GRIMM et al., 2020) podem levar a formação de extremos.

#### 2.1.1 Eventos extremos no mundo

A Tabela 1 abaixo traz uma lista de alguns dos eventos extremos por precipitação no mundo e que tiveram um grande impacto social e econômico entre os anos de 2000 e 2018. Os dados são da pesquisa “Uma década de extremos climáticos” de Coumou & Rahmstorf (2012) e dos Boletins anuais “Explicando eventos extremos” da Sociedade Americana de Meteorologia - BAMS (HERRING et al., 2020).

Tabela 1 - Eventos extremos por precipitação entre os anos de 2000 e 2018 no mundo.

Ano	Região	Evento meteorológico
2000	Inglaterra e País de Gales	O outono mais chuvoso registrado desde 1766.
2002	Europa Central	O maior recorde de precipitação diária na Alemanha desde 1901. Inundações de Praga e Dresden.
2004	Atlântico sul	Primeiro furacão no Atlântico Sul desde 1970.
2005	Atlântico Norte	Número recorde de tempestades tropicais, furacões e furacões de categoria 5 desde 1970. Furacão Katrina.
2007	Mar da Arábia	O ciclone tropical mais forte do Mar da Arábia desde 1970. Maior desastre natural da história de Omã.
	Inglaterra e País de Gales.	Maior- julho mais úmido desde o início dos registros em 1766. Grandes inundações.
2010	Paquistão	Recordes de precipitação. Pior enchente da história do Paquistão.
	Austrália Oriental	A maior precipitação registrada desde dezembro de 1900. Inundação de Brisbane.



<b>2011</b>	Sul dos EUA	Mês de tornado (abril) mais ativo registrado desde 1950.
	Nordeste dos EUA	Janeiro - outubro mais chuvoso registrado desde 1880.
	Europa	Inundações durante a passagem do furacão Irene. O verão mais chuvoso já registrado desde 1901- Holanda e Noruega.
	Japão	Inundação de Seul.
<b>2012</b>	República da Coréia	O verão mais chuvoso do registro desde 1908.
	Norte da China	Recorde histórico de precipitações. Beijing, Tianjin e parte da província de Hebei sofreram severas inundações entre 21 e 22 de julho.
<b>2013</b>	Austrália	Chuvas intensas.
	Nordeste da Austrália	Verão com severas inundações.
	Filipinas	Tufão Haiyan.
	Índia	Ciclone Phailin.
<b>2014</b>	Canadá	Inundação extrema nas pradarias do sudeste canadense.
	Reino Unido	Precipitação extrema durante o inverno de 2013/2014.
	Atlântico Norte	Furacão Gonzalo - Canadá, Porto Rico, Antilhas, Bermuda, Territórios britânicos, Ilhas britânicas e norte da Europa.
<b>2017</b>	Caribe	Depressão tropical ao furacão Maria categoria 5 - Porto Rico.
	América do Sul	Inundações e deslizamentos de terra. Março extremamente úmido - Peru.
<b>2018</b>	Estados Unidos	A precipitação total excepcional de janeiro a setembro contribuiu para inundações em Pensilvânia, Nova Jersey, Maryland, Washington, Delaware e oeste da Virgínia.
	Sul da África	Alta Precipitação em Moçambique, Zimbabué e Zâmbia em fevereiro.
	Japão	Chuvas intensas em julho.

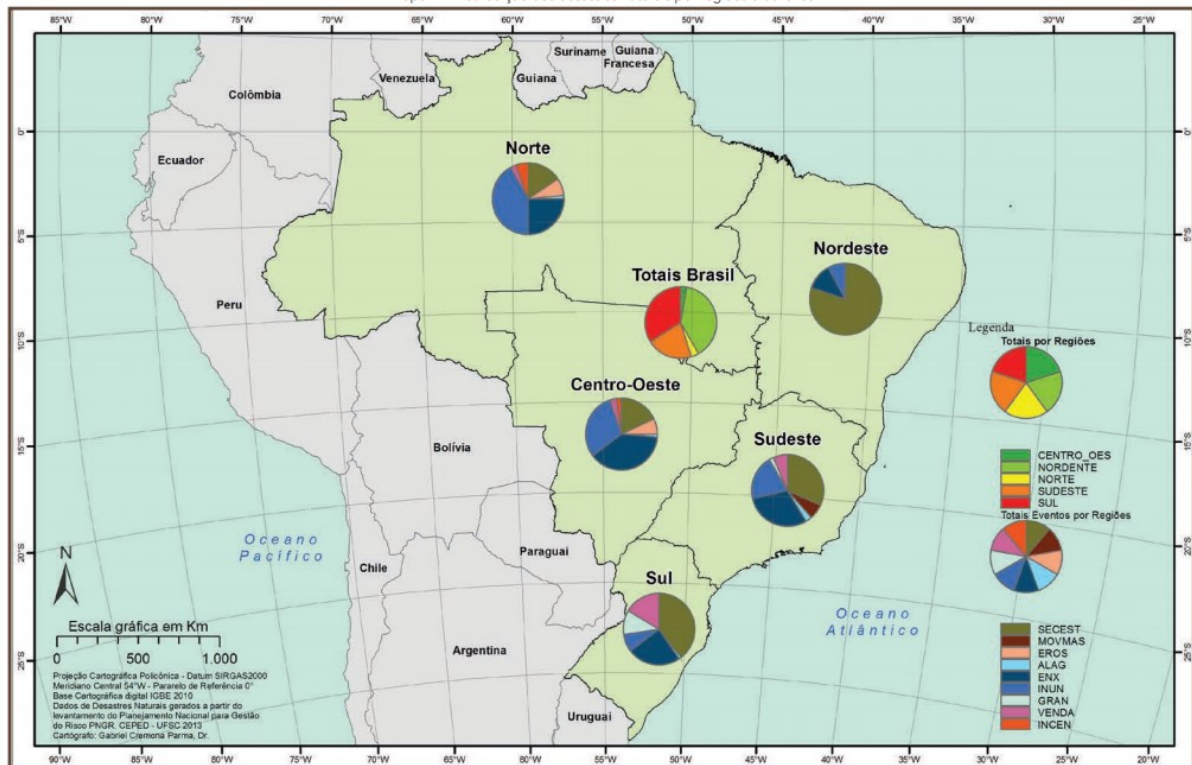
Fonte: Adaptado e elaborado de Coumou & Rahmstorf (2012) e BAMS (2012-2018).

### 2.1.2 Eventos extremos no Brasil

O Atlas Brasileiro de Desastres Naturais elaborado com base nos dados da Coordenadorias Estaduais de Defesa Civil e Defesa Civil Nacional, considerou onze fenômenos naturais relevantes em âmbito nacional e mapeou os registros oficiais de desastres nas cinco regiões brasileiras entre os anos 1991 e 2012, com o total de quase 39 mil documentos. Foram contabilizados na década de 1990 o total de 8.515 registros de desastres; 21.741 na década de

2000 e 8.740 entre 2010 e 2012. Durante este período houve um fortalecimento do sistema de registros de desastres, especialmente após os eventos das chuvas de novembro de 2008 no estado de Santa Catarina (BRASIL, 2013). O resultado deste levantamento foi compilado em um diagnóstico dos desastres naturais no Brasil e pode ser visualizado na Figura 1 abaixo.

Figura 1 - Distribuição dos desastres por regiões brasileiras entre os anos 1991 e 2012.



Legenda: SECEST: Seca e estiagem; MOVMAS: movimento de massa; EROS: erosão; ALAG: alagamento; ENX: enxurrada; INUN: inundação; GRAN: granizo; VENDA: vendaval; INCEN: incêndio.

Fonte: BRASIL (2013)

O diagnóstico mostrou que na região sul as enxurradas representam 23,7% das ocorrências de desastres, seguido das ocorrências de granizos com 10,9% e das inundações com 7,7%, (BRASIL, 2013), indicando a forte influência da precipitação nos eventos extremos na região.

É importante destacar que a Defesa Civil considera como enxurradas, as inundações bruscas (*flash flood*), ou seja, quando chuvas convectivas provocam o transbordamento dos rios de forma rápida e tem um escoamento violento. Por outro lado, nas inundações graduais (*flood*), também chamadas de enchentes, a elevação das águas acontece de forma lenta e permanecem em situação de cheia durante maior tempo antes de escoarem gradualmente (CASTRO, 2003).

A diferenciação entre a inundação brusca e a inundação gradual na prática nem sempre é tão fácil e alguns fatores de distinção podem ser subjetivos. A aplicação de algum método, como por exemplo, o método quantitativo proposto por Kobiyama & Goerl (2007) podem colaborar para este entendimento. A distinção do evento adverso é de grande importância, pois desta forma se pode alcançar uma melhor e mais efetiva gestão de desastres (KOBİYAMA; GOERL, 2007).

Recentemente, foi elaborado o Atlas digital de desastres no Brasil com as informações sistematizadas relacionadas às ocorrências de desastres e aos danos e seus prejuízos relacionados. Segundo o Atlas, no Brasil, entre os anos de 2008 e 2019 tiveram 11.869 ocorrências de eventos extremos relacionados à precipitação, sendo o total de pessoas afetadas superior à 58 mil habitantes, 1.909 óbitos e danos totais de mais de 44 bilhões de reais (UFSC, 2020).

### **2.1.3 Eventos extremos em Santa Catarina**

Em Santa Catarina, especificamente, os eventos extremos vêm causando historicamente inundações e deslizamentos (NUNES; DA SILVA, 2013; HERRMANN, 2014). Na última década, desastres como os que ocorreram na Bacia hidrográfica do Vale do Itajaí em 2008 e 2011 tiveram inúmeros impactos socioeconômicos. A formação destes eventos ainda não é totalmente compreendida e estudos têm buscado cada vez mais entender cada caso, no que diz respeito aos sistemas meteorológicos atuantes (ALVES, 2013; SILVA, 2016; SILVEIRA et al., 2016).

Entre os anos de 1980 e 2010 foram contabilizadas mais de 2.600 (duas mil e seiscentas) ocorrências de inundação no estado de Santa Catarina, sendo 1.344 (mil trezentos e quarenta e quatro) de inundações graduais e 1.257 (mil duzentos e cinquenta e sete) de inundações bruscas (enxurradas). Os municípios mais atingidos foram Blumenau, Canoinhas, Florianópolis, Ituporanga e Itajaí. Os municípios de Blumenau e Florianópolis também se destacam quanto à frequência de escorregamentos associados com os episódios de inundações por ocasião das chuvas intensas. Ainda, 52 (cinquenta e dois) episódios de tornados foram registrados em todo o estado no período mencionado (HERRMANN, 2014).

A forte influência dos fenômenos El Niño e La Niña nos eventos extremos em Santa Catarina, como em casos de chuva persistente na região costeira, também tem sido objeto de estudo por diversos autores (CARDOSO, 2011; FERNANDES; RODRIGUES, 2018).

Eventos de chuva forte ao longo da costa, nos anos de 1979, 2008 e 2010 apresentaram características de chuvas intensificadas pela orografia (RODRIGUES; YNOUE, 2016). O município de Joinville, especificamente, se desenvolveu sobre a Serra do Mar e uma área de sedimentação costeira. A oeste situa-se o planalto ocidental, com altitude média de 800 m. Destacam-se ainda na região as Serras do Quiriri, a Serra do Pirai e a Serra Queimada com mais de mil metros de altitude (SILVEIRA et al., 2009; MELLO et al, 2015). Devido aos altos índices de precipitação, a região é frequentemente atingida por desastres naturais por inundações e movimentos de massa (MELLO; OLIVEIRA, 2016).

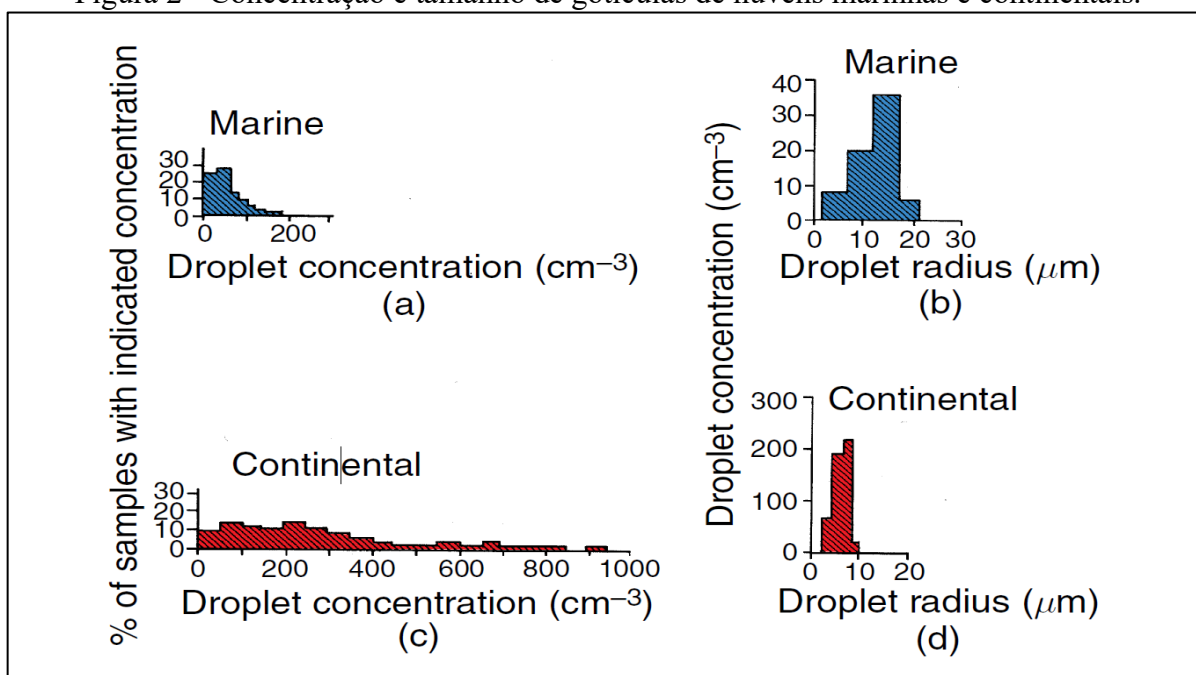
### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 TIPOS DE NUVENS

A formação das gotas de nuvem envolve processos microfísicos que se formam inicialmente a partir de núcleos de condensação que são partículas aerossóis presentes na atmosfera (PRUPPACHER; KLETT, 2010). Geralmente, nuvens marítimas possuem menor número de núcleos de condensação do que as regiões continentais (WALLACE; HOBBS, 2006) e, portanto, ocorre uma diferença do tipo de precipitação entre estas duas regiões (i.e. marítima e continental).

A maioria das nuvens marinhas tem gotículas com concentrações inferiores a  $100 \text{ cm}^{-3}$  e não há concentração maior que  $200 \text{ cm}^{-3}$  (Figura 2a). Por outro lado, em formações continentais algumas nuvens *Cumulus* excedem  $900 \text{ cm}^{-3}$  e a maioria tem concentrações entre  $100 \text{ cm}^{-3}$  e  $400 \text{ cm}^{-3}$  (Figura 2c). As gotículas de nuvens marinhas têm tamanho típico de raio entre 2-25  $\mu\text{m}$  (Figura 2b). As gotículas continentais entre 2-10  $\mu\text{m}$  (Figura 2d), (WALLACE; HOBBS, 2006).

Figura 2 - Concentração e tamanho de gotículas de nuvens marinhas e continentais.

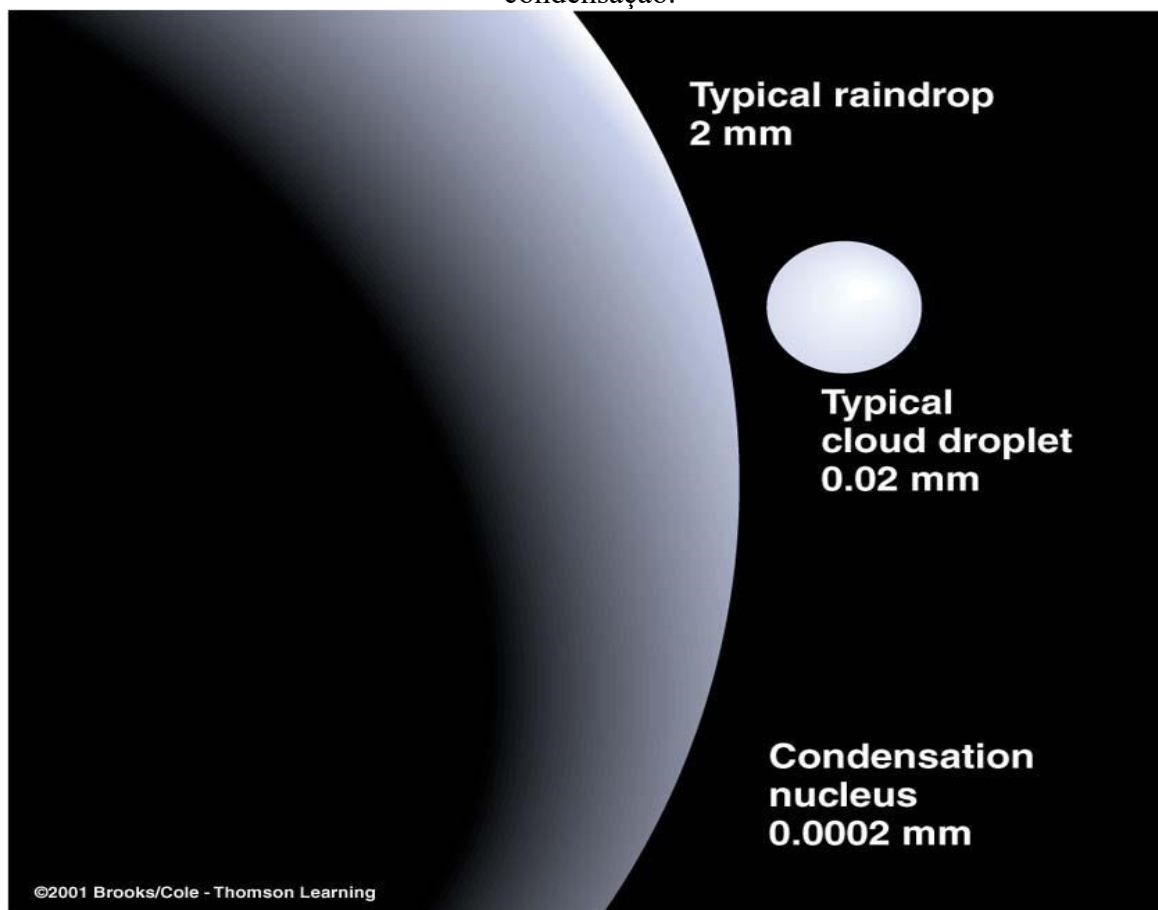


Legenda: (a) Porcentagem de nuvens cumulus marinhas com concentrações de gotículas. (b) Distribuição de tamanho de gotícula em nuvem cumulus marinha. (c) Porcentagem de nuvens cumulus continentais com concentrações de gotículas. (d) Distribuição de tamanho de gotícula em nuvem cumulus continental.

Fonte: Wallace & Robbs (2006).

A Figura 3 ilustra a diferença entre os tamanhos relativos das gotas de chuva (2000 $\mu$ m), gotículas de nuvem (20 $\mu$ m) e núcleos de condensação (0,20 $\mu$ m).

Figura 3 - Tamanhos relativos de gotas de chuva, gotículas de nuvens e núcleo de condensação.

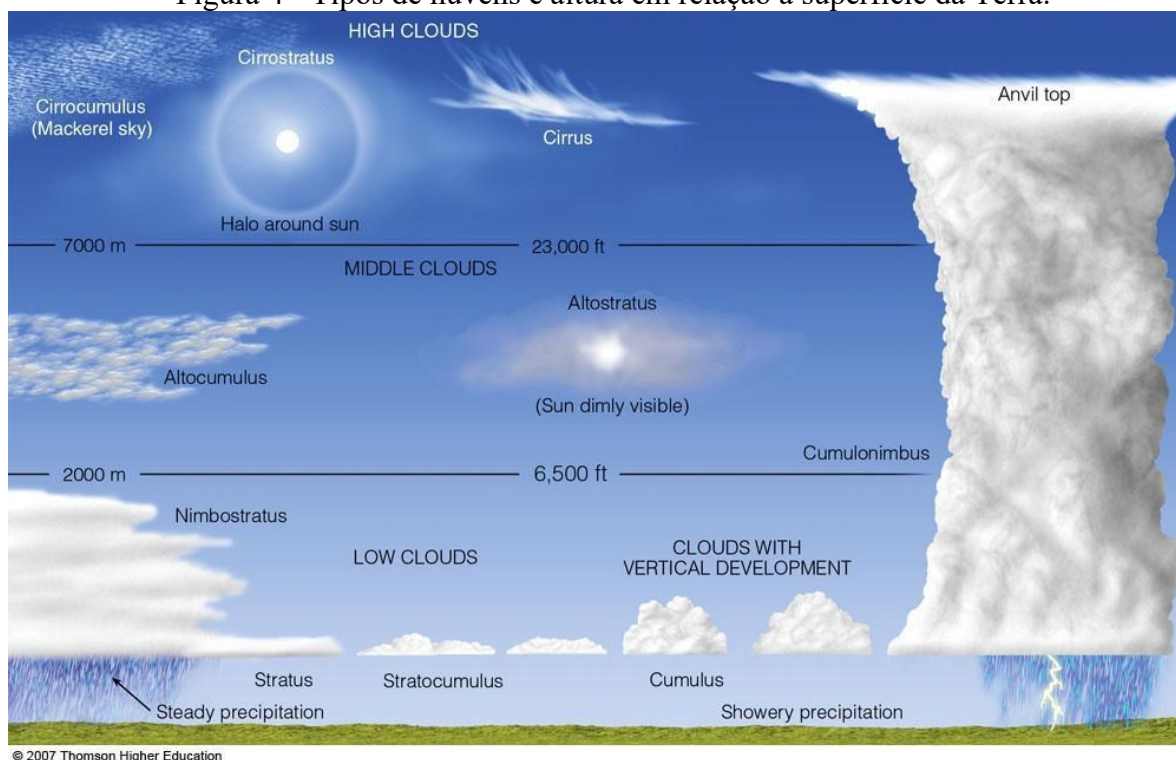


Fonte: Thomson Learning (2001).

A formação de altas precipitações ocorre por nuvens de vários tipos que podem ser nuvens quentes ou nuvens frias. As nuvens quentes são baixas, formam-se a temperaturas acima do nível de congelamento (0°C) e geralmente produzem precipitação líquida. Por outro lado, nuvens frias são mais profundas, possuem níveis com temperaturas abaixo do nível de congelamento e produzem hidrometeoros no estado de gelo, como por exemplo, as nuvens Cumulonimbus (WALLACE; HOBBS, 2006).

As nuvens profundas podem produzir raios e relâmpagos devido à presença de fortes movimentos verticais e partículas de gelo. A representação dessas nuvens pode ser conferida na Figura 4.

Figura 4 - Tipos de nuvens e altura em relação à superfície da Terra.



Fonte: Thomson Higher Education (2007)

A Organização Meteorológica Mundial por meio do Atlas Internacional de Nuvens (WMO, 2017) define alguns termos para diferenciação de nuvens. A tabela 2 abaixo descreve cada tipo de nuvem de acordo com a sua classificação de Gênero - *Altostratus*, *Altostratus*, *Cirrus*, *Cirruscumulus*, *Cirrustratus*, *Cumulus*, *Cumulonimbus*, *Nimbostratus*, *Stratus* e *Stratocumulus*; e Nível – Baixo, Médio e Alto.

Tabela 2 - Classificação de nuvens conforme gênero e nível.

Gênero de Nuvem	Descrição	Nível
<i>Stratus (St)</i>	Camada de nuvens geralmente cinza com uma base bastante uniforme, que pode resultar em <b>garoa, neve ou grãos de neve.</b>	<b>Baixo</b> Da superfície da Terra a 2 km.
<i>Stratocumulus (Sc)</i>	Mancha, folha ou camada de nuvem cinza ou esbranquiçada.	
<i>Cumulus (Cu)</i>	Nuvens destacadas, geralmente densas e de contornos nítidos, assemelham-se à couve-flor. As partes iluminadas pelo sol são de um branco brilhante. Podem ser orográficas ou	

	térmicas e <b>apresentam precipitação em forma de pancadas.</b>	
<i>Cumulonimbus (Cb)</i>	<b>Nuvem de trovoadas</b> , pesada e densa, de considerável extensão vertical, com topo de até 20 km de altura, em forma de enormes torres. Parte de sua porção superior é geralmente lisa, fibrosa ou estriada.	
<i>Altostratus (As)</i>	Nuvem branca em massas arredondadas ou rolos, parcialmente fibrosos ou difusos. Constituem o chamado "céu encarneirado".	<b>Médio</b> Base 2 a 4 km de altura nos Pólos; 2 a 7 km em Região temperada; e 2 a 8 km em região tropical.
<i>Altostratus (As)</i>	Nuvem acinzentada ou azulada com aparência fibrosa ou uniforme, encobre total ou parcialmente o céu, com partes finas o suficiente para revelar o Sol. <b>Precipitação leve e contínua.</b>	
<i>Nimbostratus (Ns)</i>	Camada de nuvens escuras e cinzentas que produzem <b>precipitação intermitente de chuva ou neve</b> . É espesso o suficiente para bloquear o sol.	
<i>Cirrus (Ci)</i>	Forma de filamentos delicados brancos, aparência fibrosa ou um brilho sedoso, ou ambos.	<b>Alto</b> Base 3 a 8 km de altura nos Pólos; 5 a 13 km em Região temperada; e 6 a 18 km em região tropical.
<i>Cirrocumulus (Cc)</i>	Composta de elementos muito pequenos na forma de grãos, ondulações.	
<i>Cirrostratus (Cs)</i>	Véu de nuvem esbranquiçada e transparente de aparência fibrosa ou lisa, cobrindo total ou parcialmente o céu e produzindo fenômenos de halo.	

Fonte: WMO – Atlas Internacional de Nuvem (2017). Elaborado e adaptado pelo autor.

Para classificação do Nível foi considerada a frequência em que cada gênero ocorre em determinada altura (km), sendo a altura definida como a distância vertical do ponto de observação na superfície da Terra até a base da nuvem. Os níveis se sobrepõem, pois, variam com a latitude (WMO, 2017).

A grande maioria das nuvens se forma e permanece no nível indicado na tabela 2 apresentada, mas existem exceções: a *Altostratus* geralmente é encontrada no nível médio, mas frequentemente se estende ao nível alto; a *Nimbostratus* é quase sempre encontrada no nível médio, mas geralmente se estende para os outros dois níveis; as nuvens *Cumulus* e *Cumulonimbus* geralmente têm suas bases no nível baixo, mas sua extensão vertical pode ser grande o suficiente para seus topos alcançarem os níveis médio e alto (WMO, 2017).



### 3.2 PRECIPITAÇÃO OROGRÁFICA

As montanhas têm um papel importante na formação de nuvens e precipitação (RODRIGUES; YNOUE, 2016). Elas são obstáculos ao fluxo atmosférico, ou seja, à medida que o fluxo de ar se aproxima de uma barreira montanhosa, ele é forçado a desviar e subir a montanha, sob a influência de condições de estabilidade e umidade, esta elevação orográfica forçada do ar pode produzir nuvens e precipitação. Uma região de maior instabilidade também pode ser formada pela deflexão de fluxo, neste caso, o fluxo de ar estável pode ser forçado a se dividir e fluir ao redor da montanha e assim regiões de convergência de massa horizontal são produzidas em um local diferente (RIFE, 1996; COUTO; SALGADO; COSTA, 2012).

Apesar das nuvens orográficas na troposfera muitas vezes diferirem notavelmente das características mais comuns aos gêneros de nuvens apresentados no item 3.1, elas são sempre classificadas como um desses gêneros e comumente pertencem aos tipos *Autocumulus*, *Stratocumulus* e *Cumulus* (WMO, 2017).

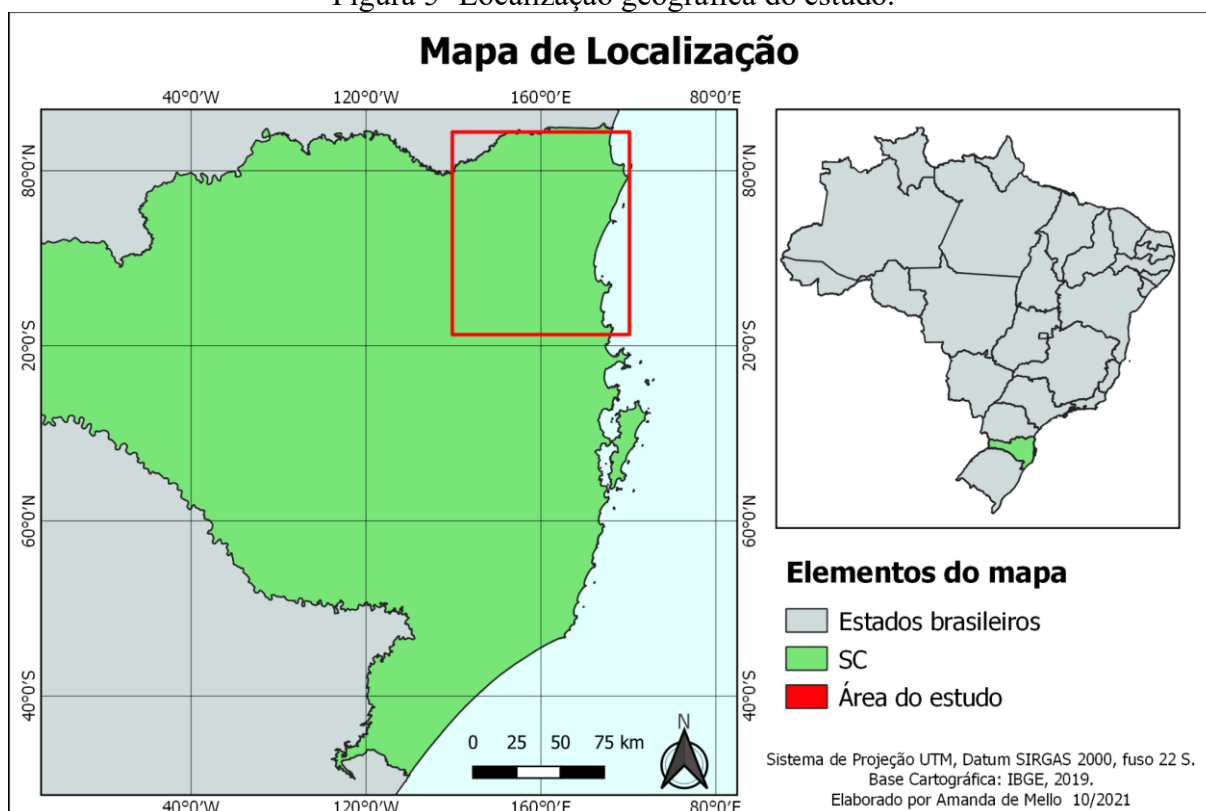
A observação das nuvens em locais montanhosos se torna de extrema importância, pois elas podem fornecer uma indicação de mudanças no clima que podem ter consequências na segurança de determinada população (WMO, 2017). De acordo com Couto et al. (2012), a precipitação orográfica é o tipo de interação mais forte entre a superfície e o fluxo em grande escala.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área do estudo delimitada foi a região nordeste de Santa Catarina, considerando os municípios entre as latitudes 27 S e 26 S graus e as longitudes 49.5 W e 48.5 W graus, em destaque no mapa (Figura 5).

Figura 5- Localização geográfica do estudo.

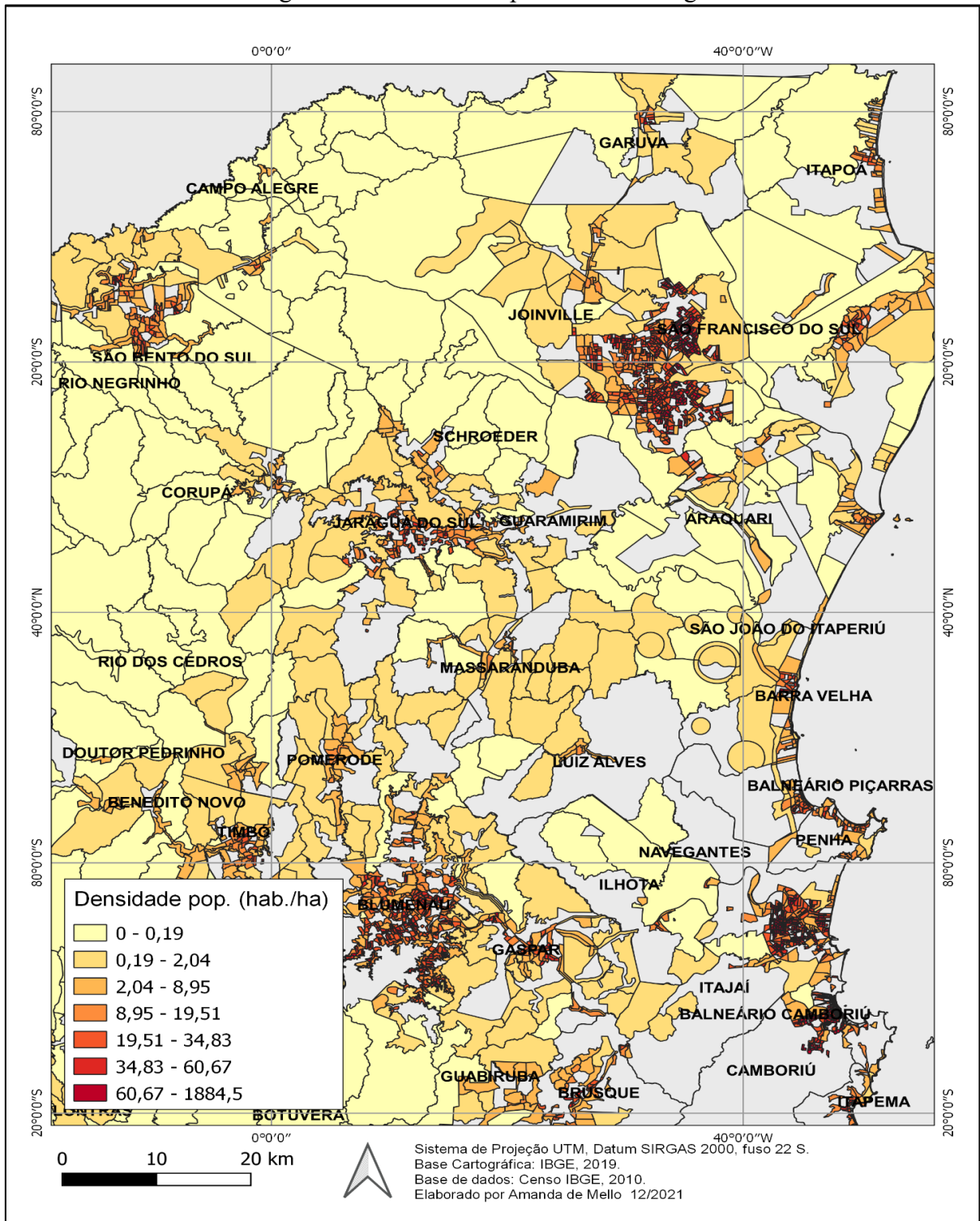


Fonte: Base cartográfica IBGE, 2019. Elaborado e adaptado pelo autor (2021).

#### 4.1.1 Aspectos Gerais

A área delimitada abrange integral ou parcialmente o território de 34 (trinta e quatro) municípios, somando uma população de cerca de 1.975.155 habitantes, segundo o Censo Demográfico de 2010. Os municípios com maiores populações são Joinville, com o total de 515.250 habitantes, seguido de Blumenau com 309.011 hab., Jaraguá do Sul com 143.123 hab. e Balneário Camboriú com 108.089 hab. (IBGE, 2010). A Figura 6 apresenta um mapa da distribuição populacional da região de estudo mostrando a alta densidade na área.

Figura 6 - Densidade Populacional da Região



Fonte: Base cartográfica IBGE, 2019. Elaborado e adaptado pelo autor (2021).

## 4.2 IDENTIFICAÇÃO DOS EVENTOS EXTREMOS

Inicialmente foi feito um resgate histórico dos eventos meteorológicos extremos ocorridos na região de estudo. Para isto, foi considerado como evento meteorológico extremo todo registro por precipitação, que resultou em declaração de Estado de calamidade pública (ECP) ou Situação de emergência (SE) pelo município.

Os registros foram disponibilizados pelo banco de dados da Defesa civil estadual em <<http://www.defesacivil.sc.gov.br/municipios/documentos/>> em formato de planilhas anuais. Nesta primeira etapa foram identificados os eventos ocorridos no período entre os anos 2000 e 2019, na área determinada previamente.

Para melhor entendimento é importante esclarecer que consideramos neste estudo eventos extremos e desastres naturais como sinônimos, tendo em vista que os dados extraídos da Defesa civil trazem a nomenclatura de desastres naturais.

Na segunda etapa da pesquisa, foi feita uma análise de todos os registros obtidos e então foram selecionados para continuidade do estudo, os eventos ocorridos somente entre os anos 2008 e 2019. A causa da redução do espaço temporal inicialmente determinado foi a evolução no detalhamento dos registros disponibilizados pela Defesa Civil após os eventos ocorridos no Vale do Itajaí em novembro de 2008. A partir do ano de 2009, as planilhas passaram a incluir além da data do pedido de ECP/SE pelo município, também a data de ocorrência do desastre, informação considerada primordial para este estudo.

## 4.3 DADOS DE SATÉLITE

A pesquisa se desenvolveu por meio do banco de dados online da NASA em <<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>>, para obtenção de informações como: temperatura do topo da nuvem, raio efetivo do tamanho das gotas líquidas e de partículas de gelo, precipitação diária acumulada e direção dos ventos (Figura 7). Os dados de satélite foram avaliados por mapas e médias espaciais diárias foram estimadas para a região de estudo (i.e. 26-27 latitude sul e 48,5-49,5 longitude oeste) para todos os dias de eventos selecionados anteriormente.

Figura 7 – Informações do banco de dados da NASA - EOSDIS

The screenshot shows the NASA GIOVANNI data search interface. The search criteria are as follows:

- Select Plot:** Histogram
- Select Date Range (UTC):** 2008 - 11 - 21 00 : 00 to 2008 - 11 - 21 23 : 59
- Select Region (Bounding Box or Shape):** -49.5,-27,-48.5,-26
- Select Variables:**
  - Observations:** Model (93), Observation (5)
  - Disciplines:** Aerosols (10), Atmospheric Chemistry (4), Atmospheric Dynamics (67), Hydrology (17), Oceanography (5), Water and Energy Cycle (21)
  - Measurements:** Platform / Instrument, Spatial Resolutions, Temporal Resolutions

The table of matching variables is as follows:

Variable	Units	Source	Temp. Res.	Spat. Res.	Begin Date	End Date	Vert. Slice
<input checked="" type="checkbox"/> Daily accumulated precipitation (combined microwave-IR) estimate - Final Run (GPM_3IMERGDF_v06)	mm	GPM	Daily	0.1 °	2000-06-01	2021-09-30	-
<input checked="" type="checkbox"/> Cloud Top Temperature (Day): Mean of Daily Mean (MOD08_D3_v6.1)	K	MODIS-Terra	Daily	1 °	2000-02-24	2022-01-31	-
<input checked="" type="checkbox"/> Ice Cloud Effective Particle Radius: Mean of Daily Mean (MYD08_D3_v6.1)	microns	MODIS-Aqua	Daily	1 °	2002-07-04	2022-01-31	-
<input checked="" type="checkbox"/> Liquid Water Cloud Effective Particle Radius: Mean of Daily Mean (MYD08_D3_v6.1)	microns	MODIS-Aqua	Daily	1 °	2002-07-04	2022-01-31	-
<input checked="" type="checkbox"/> 50-meter eastward wind, time average (M2T1NXSLV_v5.12.4)	m/s	MERRA-2 Model	Hourly	0.5 x 0.625 °	1980-01-01	2021-12-31	-
<input type="checkbox"/> Wind Speed (AQUARIUS_L3_WIND_SPEED_CAP_MONTHLY_V5_v5.0)	m s-1	Aquarius	Monthly	1 °	2011-09-01	2015-05-31	-
<input type="checkbox"/> 10-meter above ground Meridional wind	m s-1	NLDAS	Hourly	0.125 °	1979-01-01	2021-12-31	-

Fonte: NASA - EOSDIS

#### 4.3.1 AQUA E TERRA

A temperatura do topo da nuvem (K) foi estimada do sensor MODIS do satélite de órbita polar TERRA. A temperatura no topo da nuvem é produzida pelo método de recuperação por infravermelho dia e noite com resolução 5x5 de 1 km de pixel.

O raio médio ( $\mu\text{m}$ ) das gotas líquidas e das partículas de gelo nas nuvens foi estimado do sensor MODIS do satélite de órbita polar AQUA. O raio efetivo de partícula de nuvem e espessura óptica da nuvem é derivado usando as radiações do sensor MODIS nos canais de espectro visível e infravermelho próximo.

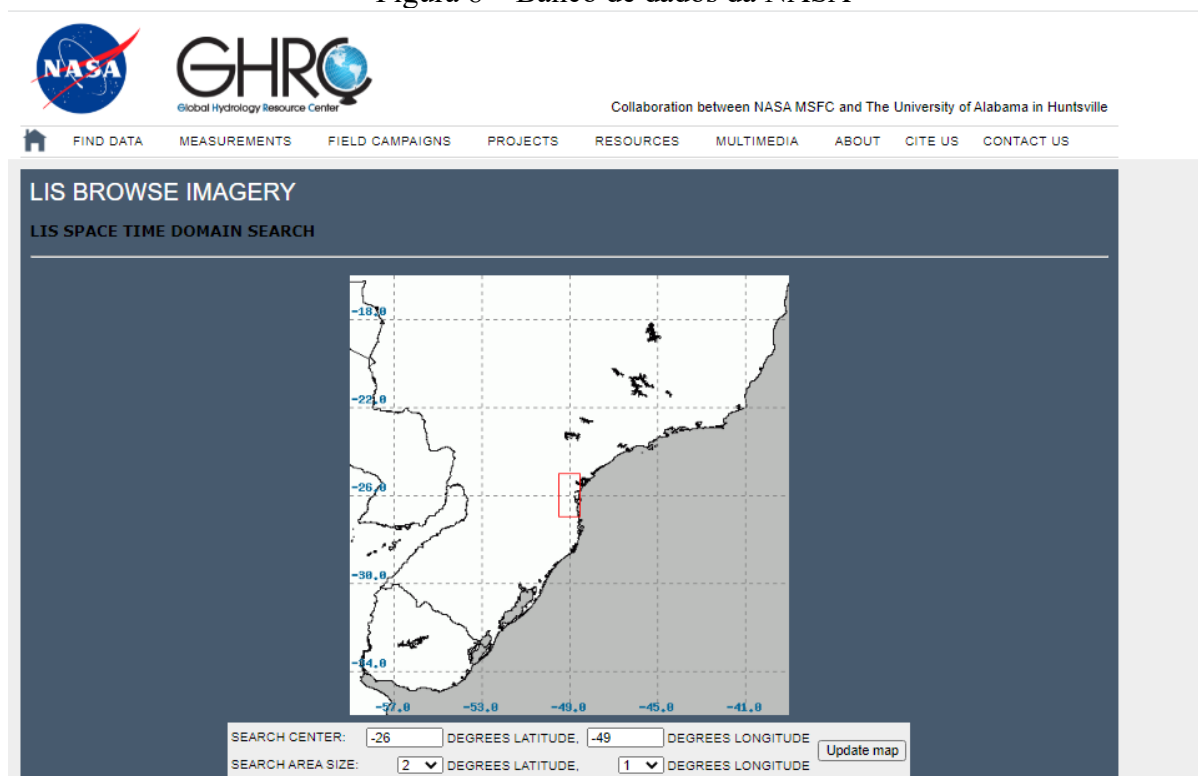
#### 4.3.2 TRMM – LIS

O satélite TRMM percorre uma distância de 7 km/s enquanto orbita a Terra. Apesar da curta duração da observação, ela é longa o suficiente para estimar a taxa de intermitência da maioria das tempestades. O Lightning Imaging Sensor (LIS) é um sensor de raios baseado no espaço e esteve a bordo do satélite Earth Observing System (EOS) Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) da NASA. O instrumento LIS detecta a distribuição e variabilidade do total de raios (nuvem-nuvem, intra-nuvem e nuvem-solo) e registra o tempo de ocorrência do evento de raio, mede a energia radiante e estima a localização durante o dia e a noite. A eficiência de

detecção do TRMM LIS varia de 69% perto do meio-dia à 88% à noite. O TRMM LIS operou desde 1997 até abril de 2015 (CECIL et al., 2014).

Os dados de raios para este estudo foram obtidos do sensor LIS do satélite TRMM para o período entre os anos de 2008 e 2014 pelo portal da NASA (Figura 8) em <<https://lightning.nsstc.nasa.gov/>>.

Figura 8 – Banco de dados da NASA



Fonte: NASA TRMM – LIS.

### 4.3.3 GPM

Global Precipitation Measurement (GPM) é uma missão de satélite internacional entre a NASA e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA) para fornecer observações de última geração de chuva e neve em todo o mundo a cada três horas. O satélite GPM Core Observatory foi lançado em fevereiro de 2014 com instrumentos avançados para medições de precipitação do espaço. Os dados fornecidos são usados para unificar as medições de precipitação feitas por uma rede internacional de satélites parceiros e quantificar quando, onde e o volume que chove ou neva em todo o mundo (HUFFMAN et al., 2019).

A precipitação média espacial foi estimada através dos dados do Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM IMERG versão 06 por meio do banco de dados online da NASA em <<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>>. GPM IMERG é um algoritmo unificado que fornece os campos de precipitação multi-satélite. Este conjunto de dados é o GPM Nível 3 IMERG \*Final\* diário -GPM\_3IMERGDF derivado do GPM\_3IMERGHH com resolução temporal de meia hora. O resultado derivado representa a estimativa final da precipitação acumulada diária. O conjunto de dados é produzido no Centro de Serviços de Informações e Dados Goddard Earth Sciences da NASA somando os dados de precipitação válidos para o dia em GPM\_3IMERGHH e fornecendo o resultado em milímetros (mm). As estimativas de precipitação têm uma grade de  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$  (cerca de  $10 \times 10$  km) sobre o globo. A fase de precipitação é calculada usando análises de temperatura, umidade e pressão da superfície (HUFFMAN et al., 2019).

Os dados de satélite foram avaliados por mapas e séries temporais em termos da média espacial. Mapas espaciais de campos diários foram analisados para verificar a relação com o relevo local.

#### 4.4 DADOS REANÁLISE - MERRA-2

O MERRA-2 é a versão mais recente da reanálise atmosférica global produzido pela NASA Global Modeling and Assimilation Office (GMAO, 2015) usando o Goddard Earth Observing System Model (GEOS) versão 5.12.4. O conjunto de dados cobre o período de 1980 até o presente com uma latência de aproximadamente 3 semanas após o final de um mês.

Os dados de reanálises do projeto MERRA foram usados para estimar o vento zonal a uma altitude de 50 metros. Estes campos possuem resolução temporal de horária e resolução espacial de  $0,5^\circ \times 0,625^\circ$  (GMAO, 2015).

Estes dados foram usados para avaliar a direção dos ventos com indicativo dos fluxos de vapor que influenciaram a formação dos eventos extremos observados. Médias espaciais diárias foram estimadas para a região de estudo (i.e. 26-27 latitude sul e 48,5-49,5 longitude oeste). Os dados estão disponíveis no banco de dados da NASA em <<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>>.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados resultados da avaliação dos eventos extremos ocorridos na região de estudo.

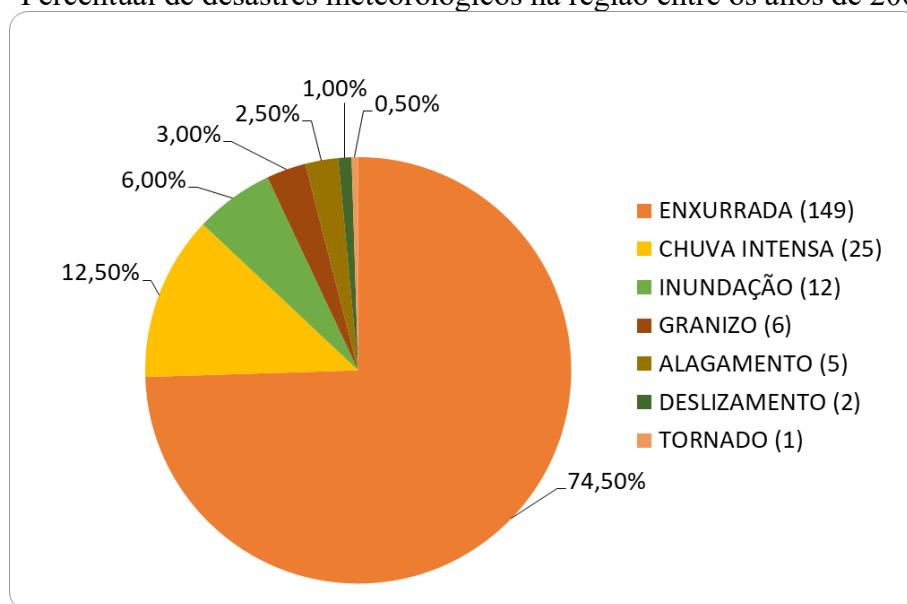
### 5.1 EVENTOS EXTREMOS NA REGIÃO

Silveira et al. (2009) mostraram a importância de se registrar a ocorrência de desastres naturais independente de sua intensidade para o melhor gerenciamento de todo tipo de desastre natural.

No total foram contabilizados 200 (duzentos) casos de ECP e SE que resultaram em registro de desastres, no banco de dados da Defesa Civil. Os dados mostraram que ocorreram eventos extremos de alagamento, chuva intensa, deslizamento, enxurrada, granizo, inundação e tornado. A tabela completa se encontra no Apêndice A.

Conforme apresentado na Figura 9, o desastre com maior número de registros entre os anos de 2008 e 2019 na região de estudo foi o de enxurrada, com o total de 149 (centro e quarenta e nove) registros, seguido de chuva intensa com 25 (vinte e cinco), inundação com 12 (doze), granizo com 6 (seis), alagamento com 5 (cinco), deslizamento com 2 (dois) e 1 evento de tornado. Faz-se importante ressaltar que, somente a partir do ano de 2013 houve início dos registros com a nomenclatura chuva intensa pela Defesa Civil.

Figura 9- Percentual de desastres meteorológicos na região entre os anos de 2008 e 2019.

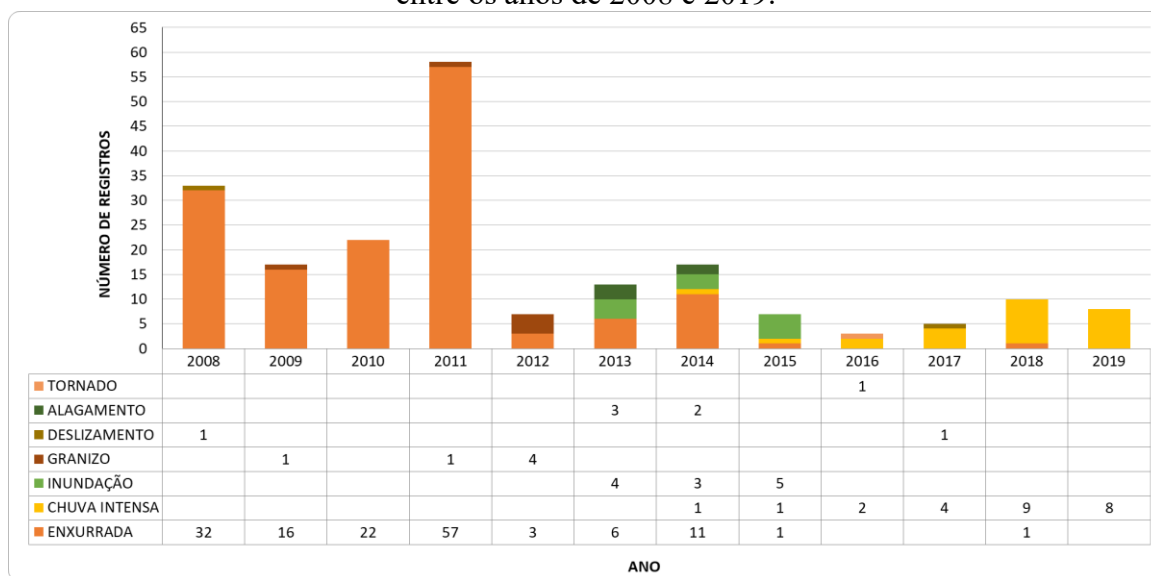


Fonte: Defesa Civil de SC (2008-2019). Elaborado pelo autor (2021).



A Figura 10 apresenta a frequência de desastres por ano na região para o período estudado. Os resultados mostraram que o ano de 2011 apresentou o maior número de registros, somando 58 (cinquenta e oito), seguido pelo ano de 2008 com 33 (trinta e três). Nos primeiros anos entre 2008 e 2014 ocorreram muitas enxurradas e posteriormente, os registros de sua ocorrência diminuiu, e aumentaram os registros de inundação e chuva intensa.

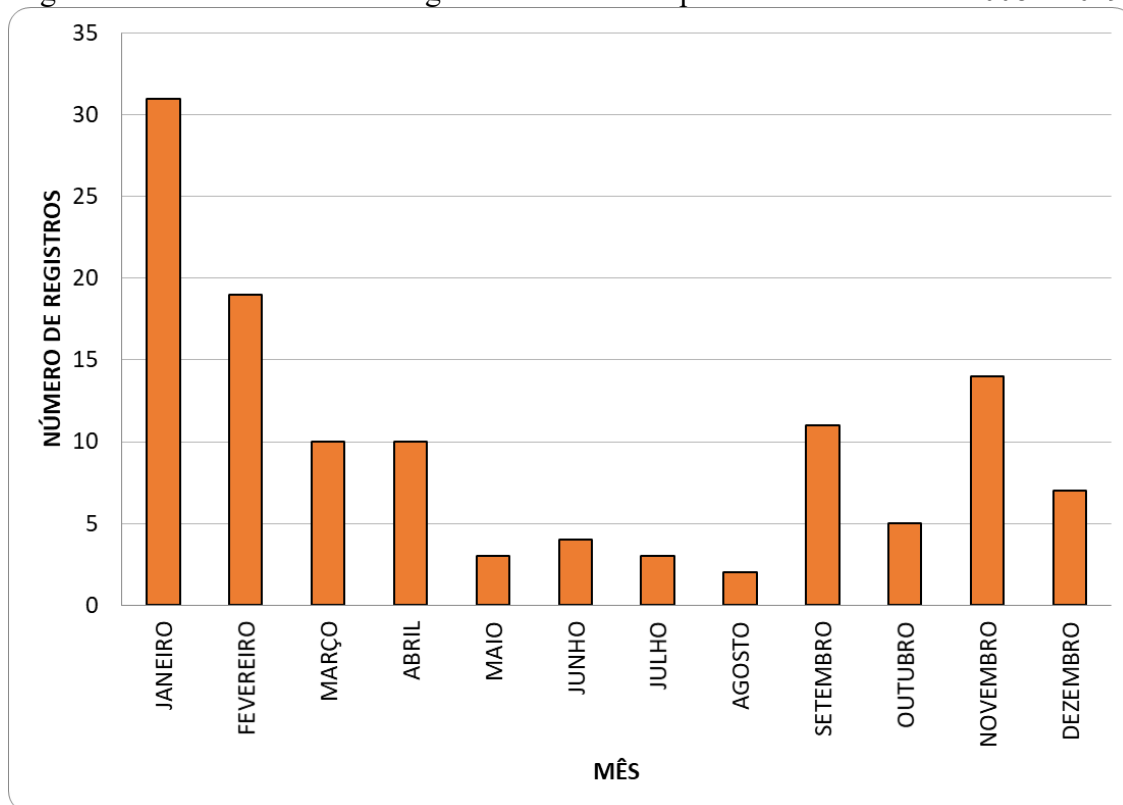
Figura 10 - Número de registros de desastres meteorológicos por ano na região de estudo, entre os anos de 2008 e 2019.



Fonte: Defesa Civil de SC (2008-2019). Elaborado pelo autor (2021).

A Figura 11 mostra o total de dias com registros de desastres separados por mês no período do estudo. Para esta análise foi contabilizado como 1 (um) as datas que continham vários registros em diferentes municípios. É possível observar que os meses com maior número de registros foram janeiro, fevereiro, novembro e setembro, respectivamente. Estes meses coincidem com o período de primavera e verão no Hemisfério Sul, época com maior incidência de radiação, aquecimento e chuvas convectivas na região Sul do Brasil.

Figura 11 - Total de dias com registros de desastres por mês entre os anos 2008 e 2019.

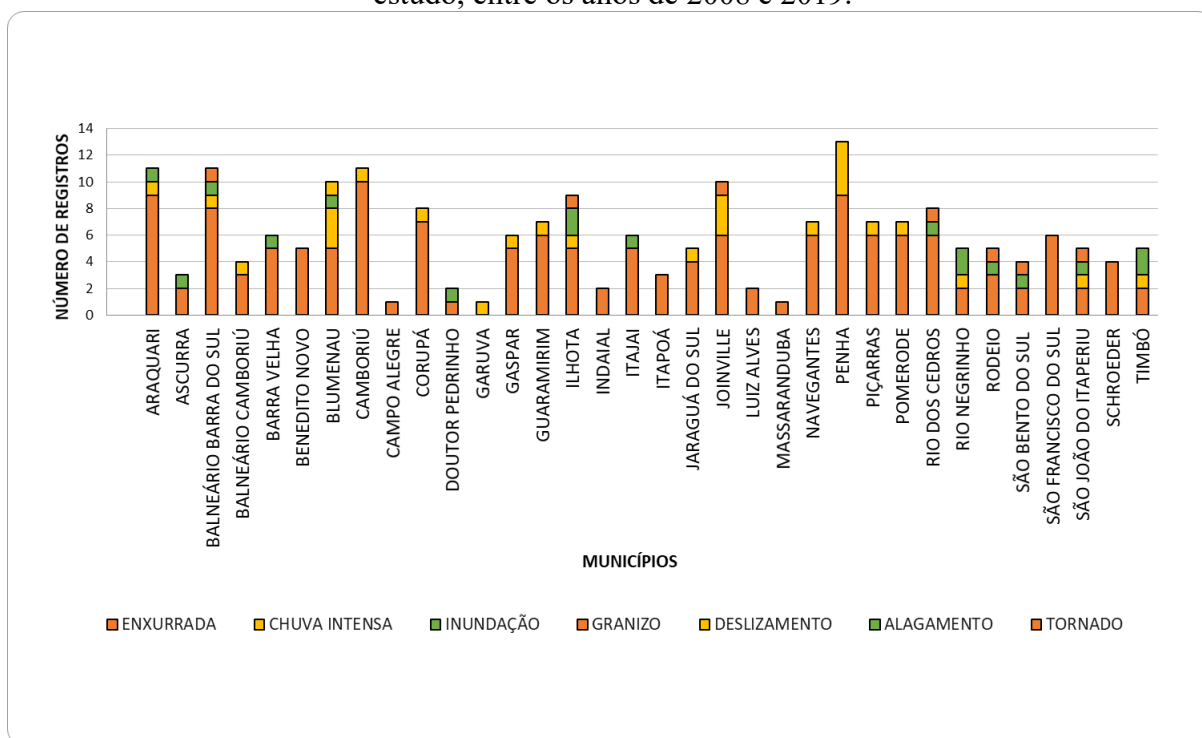


Fonte: Defesa Civil de SC (2008-2019). Elaborado pelo autor (2021).

Houve registros de ECP e/ou SE em decorrência de desastres meteorológicos em todos os trinta e quatro municípios situados na região do estado, no período proposto.

Analisando os dados compilados na Figura 12 percebe-se que o município que registrou o maior número de desastres foi Penha, com 13 (treze) registros, seguido por Araquari, Balneário Barra do Sul e Camboriú com 11 (onze) registros cada um, e na sequência Blumenau e Joinville, ambos com 10 (dez) registros. Os demais municípios registraram entre 9 (nove) e 1 (um) evento. Também foi possível notar que majoritariamente, a enxurrada foi o evento extremo de maior ocorrência nos municípios.

Figura 12 - Número de registros de desastres meteorológicos por município na região de estudo, entre os anos de 2008 e 2019.



Fonte: Defesa Civil de SC (2008-2019). Elaborado pelo autor.

## 5.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS EVENTOS

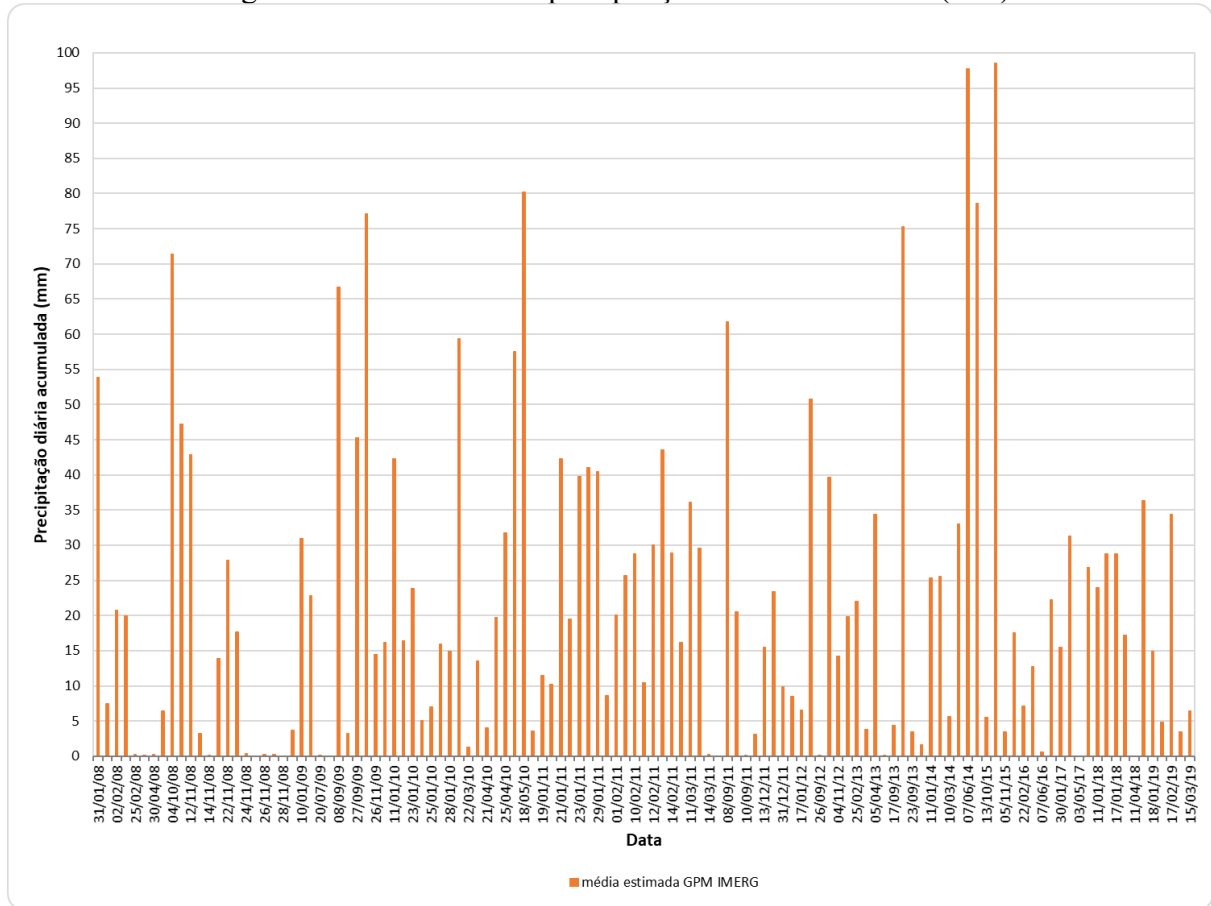
Para maior clareza na análise das características físicas de nuvem optou-se por compilar os casos por data de ocorrência, tendo em vista que os dados de satélite obtidos compreendem a área entre as latitudes 27S e 26S graus e as longitudes 49.5 W e 48.5 W graus e houveram casos de mais de 1 (um) registro no mesmo dia, por diferentes municípios. A tabela completa se encontra no Apêndice B.

### 5.2.1 Precipitação diária acumulada

A Figura 13 apresenta a distribuição temporal da estimativa da precipitação média espacial acumulada diária para os dias registrados. A máxima estimada para o período foi de 98,57 mm no dia 22/10/2015. Nesta data houve registros de inundação nos municípios de Ascurra e Rio dos Cedros e registro de enxurrada em Benedito Novo. O período entre 06 e 08/06/2014 também mostrou alta estimativa de precipitação, somando 209,37 mm e resultou

em eventos de alagamento, chuva intensa, enxurradas e inundações em 14 (quatorze) municípios.

Figura 13 - Estimativa de precipitação acumulada diária (mm)



Fonte: NASA GPM-IMERG. Elaborado pelo autor (2021).

A média de precipitação estimada para todo o período ficou em  $\approx 22$  mm. A tabela 3 abaixo mostra a máxima e média de precipitação por tipo de evento registrado.

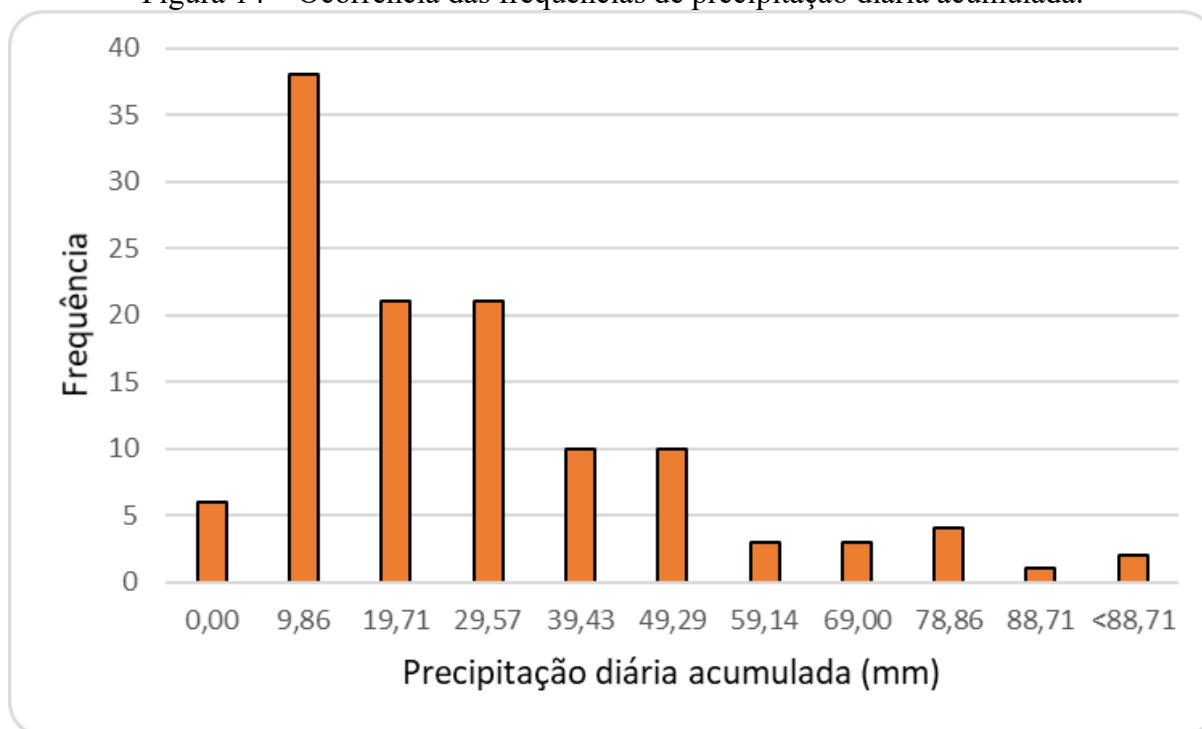
Tabela 3 - Precipitação diária acumulada máxima e média por tipo de evento registrado.

<b>Evento</b>	<b>Precipitação máxima (mm)</b>	<b>Precipitação média (mm)</b>
<b>alagamento</b>	25,54	22,71
<b>chuva intensa</b>	36,38	16,67
<b>deslizamento</b>	47,18	34,76
<b>enxurrada</b>	98,57	24,26
<b>granizo</b>	39,72	17,37
<b>inundação</b>	75,26	20,69
<b>tornado</b>	12,73	12,73

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A distribuição de precipitação mostra que a maior frequência ocorre em aproximadamente 10 mm (Figura 14), mas houveram também casos com precipitação maior do que 88,7 mm.

Figura 14 – Ocorrência das frequências de precipitação diária acumulada.

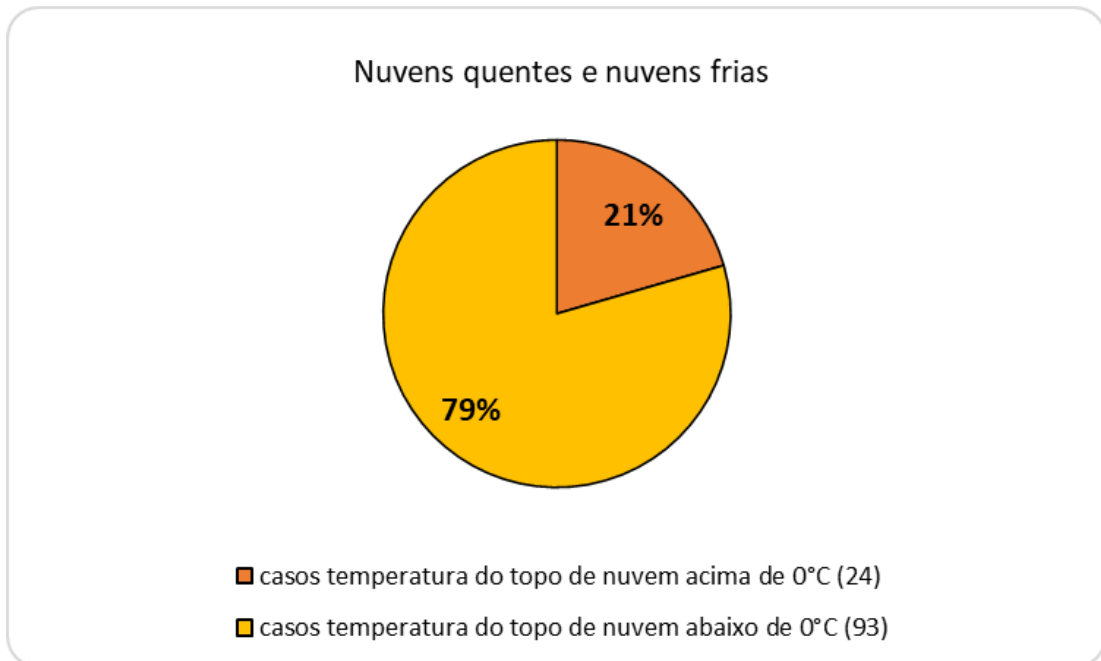


Fonte: NASA GPM-IMERG. Elaborado pelo autor (2021).

### 5.2.2 Temperatura do topo de nuvem

Dos 119 (cento e dezenove) dias analisados, 117 (cento e dezessete) apresentaram dados para temperatura do topo de nuvem, sendo que 93 (noventa e três) eventos foram de temperatura abaixo de 0°C e somente 24 (vinte e quatro) acima de 0°C. Sendo assim, conforme a Figura 15, a avaliação da temperatura do topo das nuvens mostrou que 79% corresponderam a nuvens frias, indicando que em sua maioria corresponde a nuvens profundas. Em geral, nuvens profundas possuem maior desenvolvimento vertical e altas taxas de precipitação em curtos espaços de tempo.

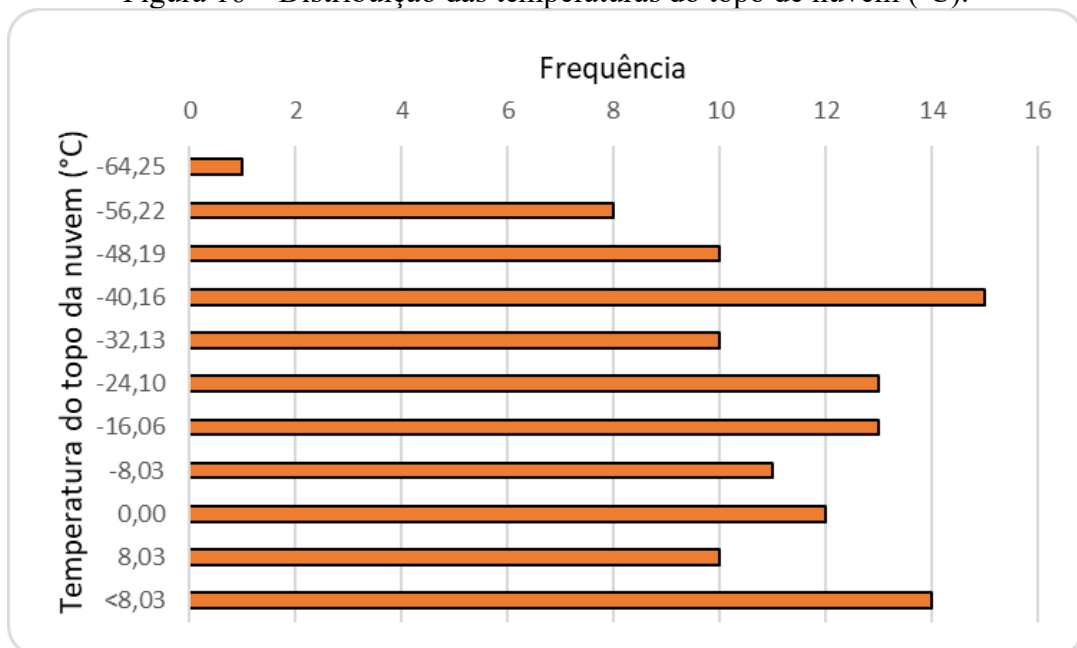
Figura 15 - Percentual de temperatura do topo das nuvens acima e abaixo de zero graus Celsius.



Fonte: NASA MODIS TERRA. Elaborado pelo autor (2021).

A distribuição de temperatura do topo da nuvem apresentada na Figura 16 mostrou que a maior frequência ocorreu em aproximadamente -40°C. Além disto, houveram casos ainda mais frios chegando a temperaturas de -64°C.

Figura 16 – Distribuição das temperaturas do topo de nuvem (°C).

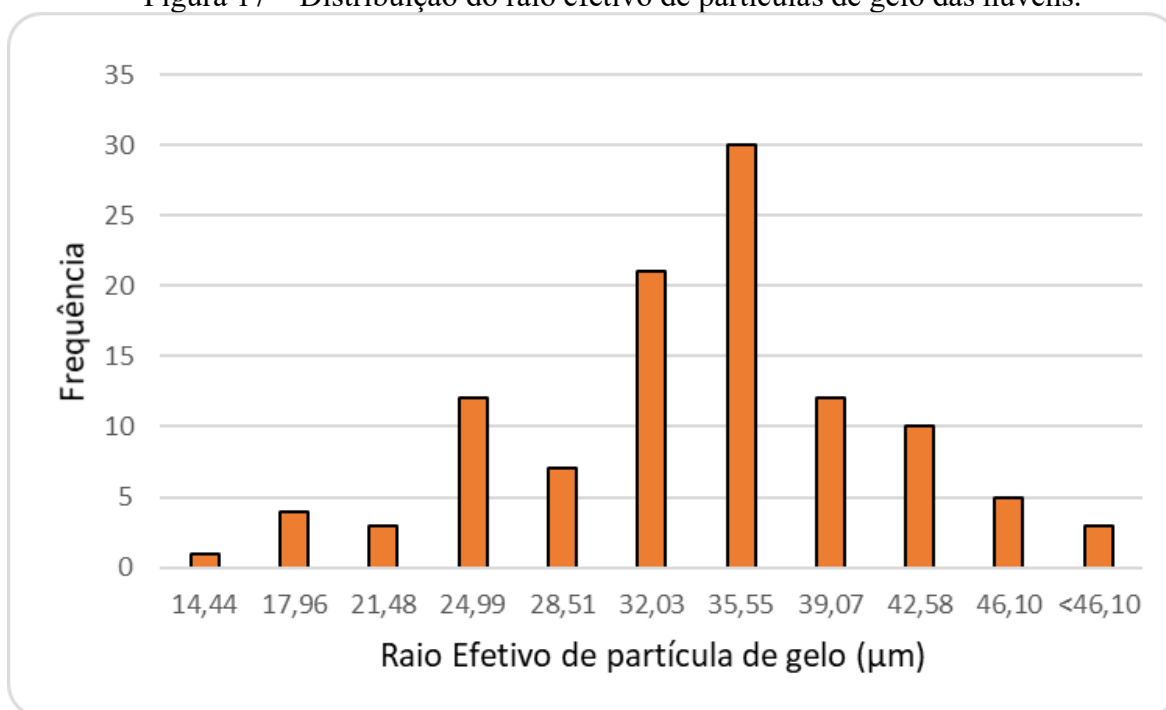


Fonte: NASA MODIS TERRA. Elaborado pelo autor (2021).

### 5.2.3 Raio efetivo de partícula de gelo

A frequência do tamanho do raio efetivo médio das partículas de gelo foi de aproximadamente 35,00  $\mu\text{m}$ , como pode ser visto na Figura 17 abaixo. Além disto, nota-se que houveram também casos com raio da ordem de 46,00  $\mu\text{m}$ .

Figura 17 – Distribuição do raio efetivo de partículas de gelo das nuvens.

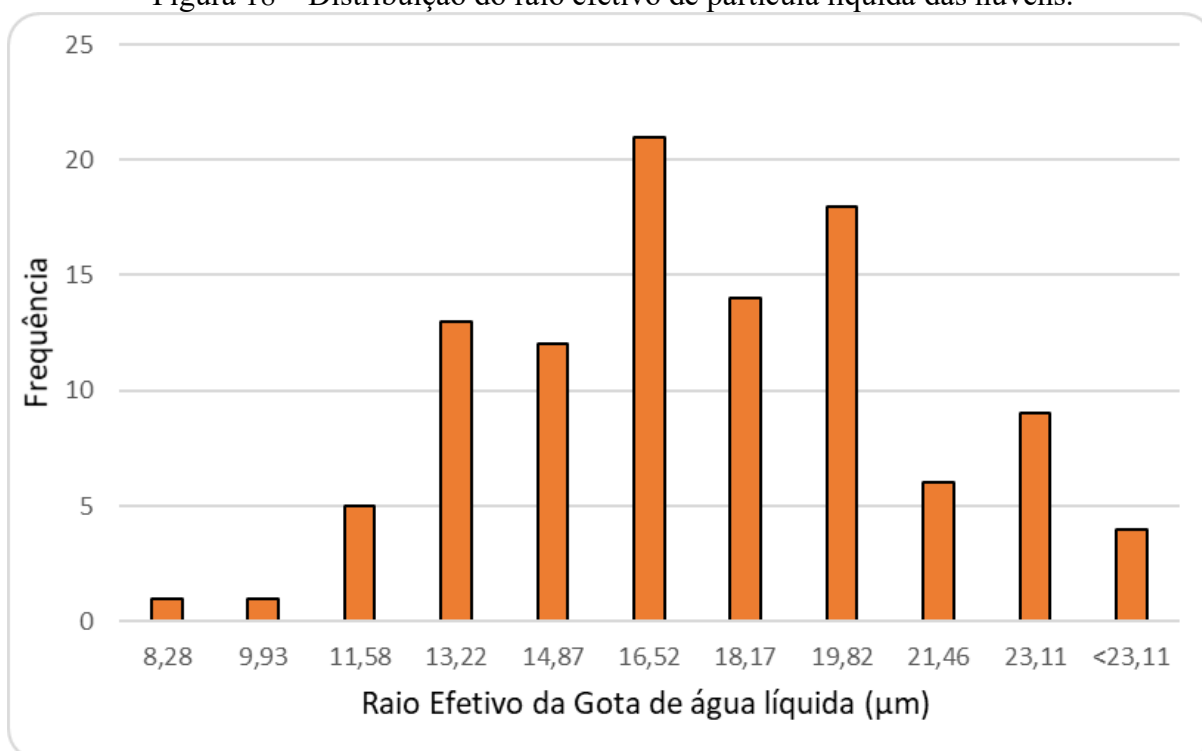


Fonte: NASA MODIS AQUA. Elaborado pelo autor (2021).

### 5.2.4 Raio efetivo de partícula líquida

A Figura 18 mostra que o tamanho do raio efetivo médio das gotas líquidas foi de aproximadamente 16,50  $\mu\text{m}$ . Estes resultados indicam que estas gotas são similares às nuvens marinhas que possuem gotas maiores quando comparadas com gotas continentais.

Figura 18 – Distribuição do raio efetivo de partícula líquida das nuvens.



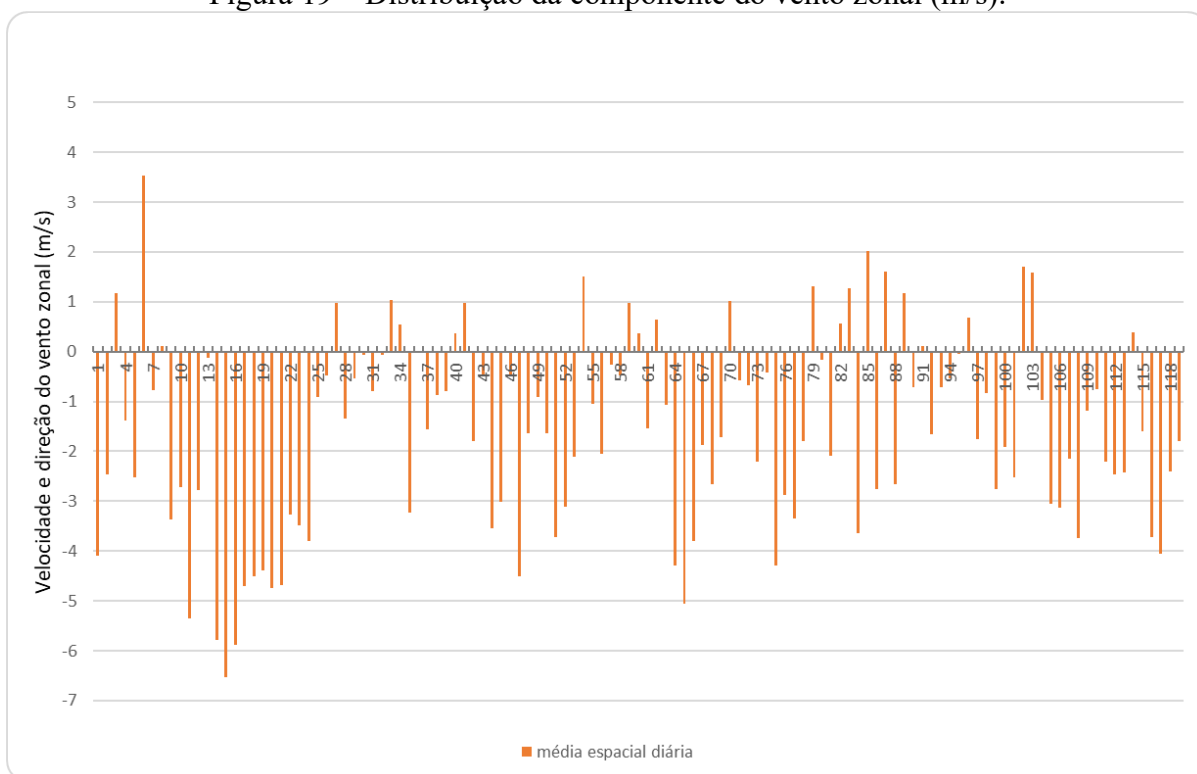
Fonte: NASA MODIS AQUA. Elaborado pelo autor (2021).

### 5.2.5 Componente do vento zonal

A componente do vento zonal (m/s) apresentado na figura 19 apresenta valores negativos que correspondem a vento de leste e valores positivos que correspondem a vento de oeste. Os resultados deste vento zonal mostraram que sua direção é predominantemente de leste, indicando que a maior parte dos casos possuem transporte de vapor do Oceano Atlântico próximo. Os registros apontaram 94 (noventa e quatro) dias com ventos de leste e 24 (vinte e quatro) dias com ventos de oeste.



Figura 19 – Distribuição da componente do vento zonal (m/s).



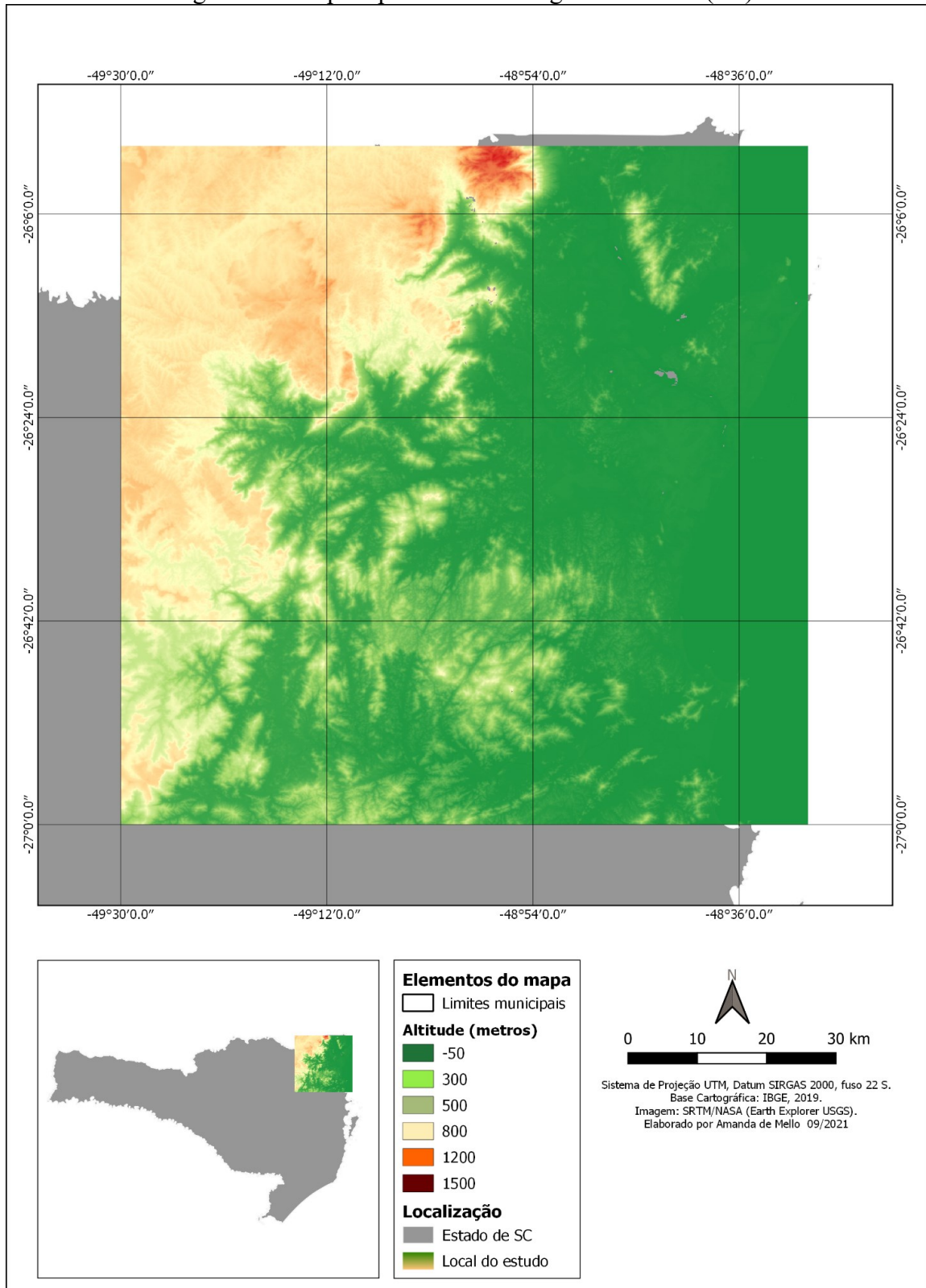
Fonte: NASA- MERRA-2. Adaptado pelo autor (2021).

### 5.2.6 Relevo e Precipitação média

A alta pluviosidade na região está também associada à altitude. A Figura 20 abaixo apresenta o mapa hipsométrico da região de estudo. Este mapa mostra que o relevo possui maior altitude na região noroeste e oeste do domínio estudado.

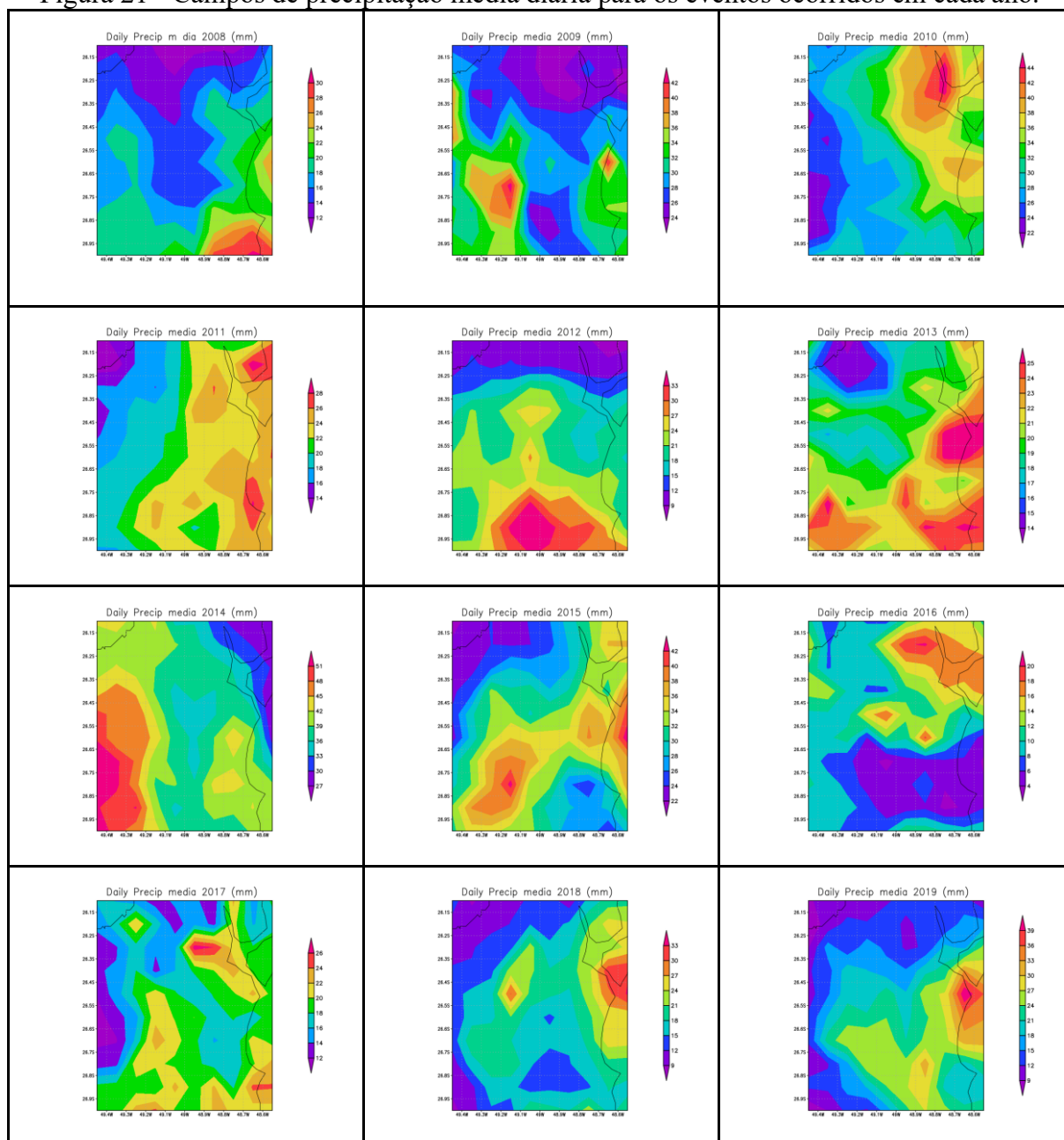
A Figura 21 apresenta os campos de precipitação média diária para os eventos que ocorreram nos respectivos anos de 2008 a 2019. Estes resultados mostram que as precipitações ocorreram principalmente na região próxima da costa à leste das montanhas. Estes resultados mostram que o relevo tem efeito importante na distribuição da precipitação nesta região.

Figura 20 - Mapa hipsométrico da região de estudo (SC).



Fonte: Base cartográfica IBGE, 2019. Elaborado e adaptado pelo autor.

Figura 21 - Campos de precipitação média diária para os eventos ocorridos em cada ano.

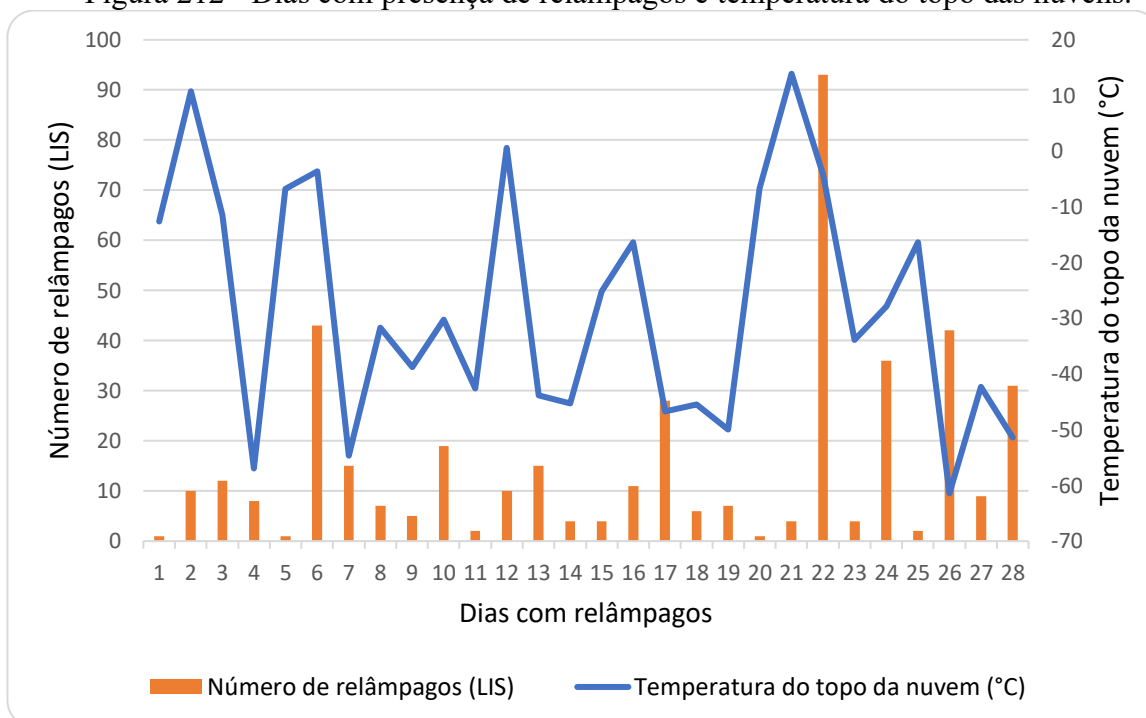


Fonte: Fonte: NASA GPM-IMERG. Elaborado pelo autor (2021).

### 5.2.7 Relâmpagos

Estimativas de número de relâmpagos a partir do sensor LIS do satélite TRMM mostram que ocorreram 28 (vinte e oito) casos com presença de nuvens eletrificadas. Nos dias de ocorrência de relâmpagos geralmente as temperaturas de topo de nuvens são do tipo de nuvens frias (Figura 22, Tabela 4) e portanto, mais profundas.

Figura 212 - Dias com presença de relâmpagos e temperatura do topo das nuvens.



Fonte: NASA TRMM – LIS. Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 4 - Número de relâmpagos (LIS) e temperatura do topo da nuvem (°C).

Data	Número de relâmpagos (LIS)	Temperatura do topo da nuvem (°C)
<b>31/01/2008</b>	1	-12,57
<b>02/02/2008</b>	10	10,72
<b>21/02/2008</b>	12	-11,47
<b>04/10/2008</b>	8	-56,99
<b>23/11/2008</b>	1	-6,78
<b>27/09/2009</b>	43	-3,59
<b>28/09/2009</b>	15	-54,64
<b>10/01/2010</b>	7	-31,63
<b>11/01/2010</b>	5	-38,8
<b>12/01/2010</b>	19	-30,22
<b>23/01/2010</b>	2	-42,6
<b>08/02/2010</b>	10	0,63
<b>25/04/2010</b>	15	-43,8
<b>26/04/2010</b>	4	-45,26
<b>20/01/2011</b>	4	-25,13
<b>21/01/2011</b>	11	-16,36
<b>22/01/2011</b>	28	-46,72
<b>29/01/2011</b>	6	-45,49

<b>01/02/2011</b>	7	-49,98
<b>10/03/2011</b>	1	-6,67
<b>12/12/2011</b>	4	13,91
<b>13/12/2011</b>	93	-4,14
<b>27/07/2012</b>	4	-33,9
<b>14/02/2013</b>	36	-27,84
<b>17/09/2013</b>	2	-16,36
<b>22/09/2013</b>	42	-61,42
<b>11/01/2014</b>	9	-42,27
<b>12/01/2014</b>	31	-51,39

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

## 6 CONCLUSÕES

O estudo mostrou que ocorreram 200 (duzentos) eventos extremos com registros de desastres na região nordeste de Santa Catarina entre os anos 2008 e 2019. Todos os 34 (trinta e quatro) municípios da área de estudo registraram pelo menos 1 (um) evento no período estudado.

Houve formação de precipitação intensa que resultaram principalmente em enxurradas. A grande maioria dos casos constituíram de gotas líquidas de tamanho grande, similar a nuvens marinhas. A frequência do tamanho do raio efetivo médio das partículas de gelo foi de aproximadamente  $35,00\mu\text{m}$ . O número de relâmpagos a partir do sensor LIS do satélite TRMM mostrou que ocorreram 28 (vinte e oito) casos com presença de nuvens eletrificadas.

Deve-se ressaltar no entanto, que muitos destes dados foram obtidos com os satélites de órbita polar como o Terra, o Aqua e o TRMM. Como estes satélites tem órbita com duas passagens por dia em um dado local, as suas imagens podem não ser registradas nos momentos de maior (ou menor) intensidade dos eventos registrados. Desta forma, fica como sugestão futuros monitoramentos utilizando outras fontes de dados, como por exemplo, por aeronaves, radares e dados in situ.

O predomínio dos casos foi com fluxo de vapor de leste próximo da superfície, vindo do oceano Atlântico. A influência do relevo nas precipitações foi observada por mapas de campos de precipitação média e indicou que a precipitação ocorre principalmente na região próximo da costa. No entanto, deve-se ressaltar que os jatos de baixos níveis podem também contribuir com fluxos de vapor vindos de oeste. Estes fluxos combinados com ventos de superfície de leste podem também provocar fortes precipitações locais. Portanto, fica como possibilidade para estudos próximos, a avaliação destes fluxos de oeste conhecidos atualmente como “rios voadores” ou “rios atmosféricos”.

De forma geral, o estudo conseguiu atingir os objetivos propostos inicialmente e acredita-se que, os dados levantados possam ser úteis para outras pesquisas, onde se é possível por exemplo, ter continuidade no estudo para avaliar as características meteorológicas associadas aos eventos.

## REFERÊNCIAS

ALVES, M. P. A. **Análise comparativa dos fatores ambientais nos eventos de inundações na Bacia Hidrográfica do Vale do Itajaí**: novembro de 2008 e setembro de 2011. Orientadora: Magaly Mendonça, Dra. 2013. 157 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

BRASIL. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012**. 2 ed. rev. ampl. Vol. Brasil. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED), 2013. 126p. Disponível em: <<https://s2id.mi.gov.br/paginas/atlas/>>.

CARDOSO, C. de S. **A influência dos ciclones extratropicais nas mesorregiões serrana e do leste catarinense**. Orientadora: Magaly Mendonça, Dra. 2011. 139 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

CARDOSO, C. de S. **Abrangência e persistência de eventos extremos de precipitação no sul do Brasil**: el niño oscilação sul e padrões atmosféricos. Orientador: Carla Van Der Haagen Custodio Bonetti. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina. 204 f. Florianópolis, 2017.

CASTRO, A. L. C. **Manual de Desastres: desastres naturais**. V.1. 174f. Brasília: Ministério da Integração Nacional. Brasília, 2003. Disponível em: <[https://www.campinas.sp.gov.br/governo/secretaria-de-governo/defesa-civil/desastres\\_naturais\\_vol1.pdf](https://www.campinas.sp.gov.br/governo/secretaria-de-governo/defesa-civil/desastres_naturais_vol1.pdf)>.

CECIL, DJ.; BUECHLER, D.; BLAKESLEE, R. Coleta de Dados de Climatologia de Relâmpagos em Grade LIS/OTD. Conjunto de dados disponível online no Centro de Recursos Hidrológicos Globais da NASA DAAC, Huntsville, Alabama, EUA, 2014.

COUMOU, D.; RAHMSTORF, S. A decade of weather extremes. **Nature Climate Change**, Potsdam, Alemanha, v. 2, n. 7, p. 491–496, 25 jul. 2012. Disponível em: <<http://www.nature.com/articles/nclimate1452>>.

COUTO, F. T.; SALGADO, R.; COSTA, M. J. Analysis of intense rainfall events on Madeira Island during the 2009/2010 winter. **Natural Hazards and Earth System Science**, Portugal, v. 12, n. 7, p. 2225–2240, 19 jul. 2012. Disponível em: <<https://nhess.copernicus.org/articles/12/2225/2012/>>.

FERNANDES, L. G. ; RODRIGUES, R. R. Changes in the patterns of extreme rainfall events in southern Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 3, p. 1337–1352, mar. 2018. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/joc.5248>>.

GRIMM, A. M.; ALMEIRA, A. S.; BENETI, A. A.; LEITE, E. A. The combined effect of climate oscillations in producing extremes: the 2020 drought in southern Brazil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 25, n. 48, p. 1-12, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.252020200116>.

**GMAO** - Global Modeling and Assimilation Office. **MERRA-2** tavg1\_2d\_slv\_Nx: 2d, 1-Hourly, Time-Averaged, Single-Level, Assimilation, Single-Level Diagnostics V5.12.4, Greenbelt, MD, EUA, Goddard Earth Sciences (GES DISC), 2015.

HASSOL, S. J.; TOROK, S.; LEWIS, S.; LUGANDA, P. (Un)Natural Disasters: Communicating Linkages Between Extreme Events and Climate Change. **WMO Bulletin**, v. 65 (2), p. 2–9, 2016. Disponível em: <<https://public.wmo.int/en/resources/bulletin/unnatural-disasters-communicating-linkages-between-extreme-events-and-climate>>.

HERRING, S. C.; HOERLING, M. P.; PETERSON, T. C.; STOTT, P. A Explaining Extreme Events of 2018 from a Climate Perspective. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 101, n. 1, p. S1–S140, 1 jan. 2020. Disponível em: <<https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/95/9/1520-0477-95.9.s1.1.xml>>.

HERRMANN, M. L. de P. **Atlas de desastres naturais do estado de Santa Catarina**. 1. ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED), 146 p. ISBN 978-85-6469508-5. Florianópolis, 2005.

HERRMANN, M. L. de P. **Atlas de desastres naturais do estado de Santa Catarina: período de 1980 a 2010**. 2 ed. atual. e rev. Florianópolis: IHGSC/Cadernos Geográficos, 219 p. ISBN 978-85-67768-00-7. Florianópolis, 2014. Disponível em: <<http://www.labclima.ufsc.br/files/2010/04/Atlas-2010.pdf>>.

HUFFMAN, G.J.; STOCKER, E.F.; BOLVIN, D.T.; NELKIN, E.J.; TAN, Jackson **GPM IMERG Final Precipitation L3 1 day 0.1 degree x 0.1 degree V06**, Edited by Andrey Savtchenko, Greenbelt, MD, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), 2019.

**IBGE** – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Brasileiro de 2010. Rio de Janeiro: **IBGE**, 2012. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/>>

KOBIYAMA, M.; GOERL, R. F. Quantitative method to distinguish flood and flash flood as disasters. **SUISUI Hydrological Research Letters**, v. 1, n. October, p. 11–14, 2007. Disponível em: <[https://www.jstage.jst.go.jp/article/suisui/1/0/1\\_0\\_11/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/suisui/1/0/1_0_11/_pdf)>.

MCTAGGART-COWAN, R; BOSART, L. F.; DAVIS, C. A.; ATALLAH, E. H.; GYAKUM, J. R.; EMANUEL, K. A. Analysis of Hurricane Catarina (2004). **Monthly Weather Review**, v. 134, n. 11, p. 3029–3053, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1175/MWR3330.1>>.

MELLO, Y. de; KOEHNTOPP, P. I.; OLIVEIRA, T. M. N. de. Distribuição pluviométrica na região de Joinville (SC). **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia** (ISSN 1678-698X / DOI 10.5016), v. 13, n. 1, p. 78–93, 11 set. 2015. Disponível em: <<http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/estgeo/article/view/10151>>.

MELLO, Y. de; OLIVEIRA, T. M. N. de. Análise estatística e geoestatística da



precipitação média para o município de Joinville (SC). **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 229–239, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0102-778631220150040>>.

NUNES, A. B.; DA SILVA, G. C. Climatology of extreme rainfall events in eastern and northern Santa Catarina state, Brazil: present and future climate. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 31, n. 3, p. 413, 1 set. 2013. Disponível em: <<http://sbgf.org.br/revista/index.php/rbgf/article/view/314>>.

PRUPPACHER, H. R.; KLETT, J. D. **Microphysics of Clouds and Precipitation**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010. v. 18. 954 p. ISBN 978-0-7923-4211-3.

RAMOS DA SILVA, R.; HAAS, R. Ocean Global Warming Impacts on the South America Climate. **Frontiers in Earth Science**, v. 4, 29 mar. 2016. Disponível em: <<http://journal.frontiersin.org/Article/10.3389/feart.2016.00030/abstract>>.

RIFE, D. L. The effects of mountains and complex terrain on airflow and development of clouds and precipitation. n. 96–16, p. 8, 1996. Disponível em: <[https://www.weather.gov/media/wrh/online\\_publications/TAs/ta9616.pdf](https://www.weather.gov/media/wrh/online_publications/TAs/ta9616.pdf)>.

RODRIGUES, M. L. G. **Eventos de chuva orográfica em santa catarina: climatologia e simulações numéricas**. Orientadora: Rita Yuri Ynoue, Dra. 2015. 128 f. Dissertação/Tese (Mestrado/Doutorado em Ciências) - Área de Concentração Meteorologia - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: <[https://www.iag.usp.br/pos/sites/default/files/t\\_maria\\_l\\_g\\_rodrigues\\_original.pdf](https://www.iag.usp.br/pos/sites/default/files/t_maria_l_g_rodrigues_original.pdf)>.

RODRIGUES, M. L. G.; YNOUE, R. Y. Mesoscale and synoptic environment in three orographically enhanced rain events on the coast of Santa Catarina (Brazil). **Weather and Forecasting**, v. 31, n. 5, p. 1529–1546, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1175/WAF-D-15-0003.1>>.

SILVA, C. R. **Análise Espaço-Temporal das inundações bruscas no período de 1991 a novembro 2011 em Florianópolis – Santa Catarina**. Orientador: Alberto Elvino Franke, Dr. 2016. 111 f. Monografia (Bacharel em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

SILVA DIAS, M. A. F. **As chuvas de novembro de 2008 em Santa Catarina: um estudo de caso visando à melhoria do monitoramento e da previsão de eventos extremos**. São José dos Campos: INPE, 2009.

SILVEIRA, R. B.; BITENCOURT, V. J. B. de; ALVES, M. P. A.; FRANKE, A. E. Distribuição das chuvas nos casos de eventos extremos no município de Itapoá/SC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE REDUÇÃO DE RISCOS DE DESASTRES: Gestão Integrada em RRD no Brasil e o Marco de SENDAI, 1., 2016, Curitiba. **Anais [...]** Curitiba: Universidade Positivo; UNESPAR; CEPEDPR, 2016. p. 92. Disponível em: <[https://abp-rrd.com.br/files/anais\\_2016.pdf](https://abp-rrd.com.br/files/anais_2016.pdf)>.

SILVEIRA, W. N.; KOBAYAMA, M.; GOERL, R. F.; BRANDENBURG, B. **História**

**das inundações em Joinville:** 1851-2008. 1. ed. Curitiba: Ed. Organic Trading, 2009. 153p. ISBN - 978.85.87755-06-3.

**UNISDR** - United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction. 41 p., 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC. Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil – Ceped/UFSC. Atlas Digital de Desastres no Brasil. Site. 2020. Disponível em: <[www.atlas.ceped.ufsc.br](http://www.atlas.ceped.ufsc.br)>.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. **Atmospheric Science:** an Introductory Survey. 2. ed. Estados Unidos: Elsevier. 61 p. ISBN: 9780127329512.

**WMO** - World Meteorological Organization. International Cloud Atlas: Manual on the Observation of Clouds and Other Meteors, 407., 2017. (Nota técnica).

**APÊNDICE A – Tabela de desastres meteorológicos registrados na Defesa civil de SC na região de estudo entre os anos 2008 e 2019.**

<b>DATA DO DESASTRE</b>	<b>TIPO DE DESASTRE</b>	<b>MUNICÍPIO DE OCORRÊNCIA</b>
31/01/2008	EN	CORUPÁ
31/01/2008	EN	ITAJAI
31/01/2008	EN	ITAPOÁ
31/01/2008	EN	BALNEÁRIO CAMBORIÚ
01/02/2008	EN	JARAGUÁ DO SUL
01/02/2008	EN	PENHA
01/02/2008	EN	SÃO FRANCISCO DO SUL
02/02/2008	EN	PIÇARRAS
02/02/2008	EN	CAMBORIÚ
21/02/2008	EN	ITAJAI
25/02/2008	EN	SCHROEDER
03/03/2008	EN	JOINVILLE
30/04/2008	EN	PENHA
30/04/2008	EN	PIÇARRAS
31/07/2008	EN	ILHOTA
04/10/2008	EN	GUARAMIRIM
29/10/2008	DE	CORUPÁ
12/11/2008	EN	GUARAMIRIM
14/11/2008	EN	GASPAR
22/11/2008	EN	NAVEGANTES
22/11/2008	EN	PENHA
22/11/2008	EN	SÃO FRANCISCO DO SUL
22/11/2008	EN	BALNEÁRIO CAMBORIÚ
24/11/2008	EN	ARAQUARI
24/11/2008	EN	BALNEÁRIO BARRA DO SUL
24/11/2008	EN	BARRA VELHA
24/11/2008	EN	BLUMENAU
24/11/2008	EN	CAMBORIÚ
24/11/2008	EN	ITAJAI
26/11/2008	EN	ITAJAI
28/11/2008	EN	JOINVILLE
15/12/2008	EN	JOINVILLE
15/12/2008	EN	SÃO FRANCISCO DO SUL
10/01/2009	EN	BALNEÁRIO BARRA DO SUL
10/01/2009	EN	SÃO FRANCISCO DO SUL
22/04/2009	EN	NAVEGANTES
22/04/2009	EN	PENHA
22/04/2009	EN	PIÇARRAS
20/07/2009	EN	BALNEÁRIO BARRA DO SUL

27/08/2009	EN	CAMBORIÚ
08/09/2009	EN	PENHA
26/09/2009	EN	ILHOTA
27/09/2009	EN	BENEDITO NOVO
27/09/2009	EN	GASPAR
28/09/2009	EN	NAVEGANTES
28/09/2009	EN	PIÇARRAS
28/09/2009	EN	POMERODE
28/09/2009	EN	RIO DOS CEDROS
28/09/2009	GR	SÃO BENTO DO SUL
26/11/2009	EN	BLUMENAU
10/01/2010	EN	ILHOTA
12/01/2010	EN	ARAQUARI
23/01/2010	EN	ITAPOÁ
23/01/2010	EN	JOINVILLE
23/01/2010	EN	SÃO FRANCISCO DO SUL
25/01/2010	EN	JARAGUÁ DO SUL
26/01/2010	EN	POMERODE
26/01/2010	EN	RIO DOS CEDROS
28/01/2010	EN	CAMBORIÚ
08/02/2010	EN	CORUPÁ
22/03/2010	EN	GASPAR
23/03/2010	EN	ILHOTA
21/04/2010	EN	SÃO BENTO DO SUL
24/04/2010	EN	PENHA
24/04/2010	EN	PIÇARRAS
24/04/2010	EN	RIO NEGRINHO
25/04/2010	EN	BARRA VELHA
25/04/2010	EN	CORUPÁ
26/04/2010	EN	BALNEÁRIO BARRA DO SUL
26/04/2010	EN	JARAGUÁ DO SUL
18/05/2010	EN	ARAQUARI
18/05/2010	EN	CAMBORIÚ
14/01/2011	EN	SCHROEDER
19/01/2011	EN	CORUPÁ
19/01/2011	EN	ILHOTA
19/01/2011	EN	JARAGUÁ DO SUL
20/01/2011	EN	BALNEÁRIO BARRA DO SUL
20/01/2011	EN	BARRA VELHA
20/01/2011	EN	CAMBORIÚ
20/01/2011	EN	JOINVILLE
21/01/2011	EN	ARAQUARI
21/01/2011	EN	GASPAR
21/01/2011	EN	ITAPOÁ
21/01/2011	EN	LUIZ ALVES

21/01/2011	EN	MASSARANDUBA
21/01/2011	EN	SÃO FRANCISCO DO SUL
23/01/2011	EN	GUARAMIRIM
23/01/2011	EN	SÃO BENTO DO SUL
28/01/2011	EN	BLUMENAU
28/01/2011	EN	INDAIAL
30/01/2011	EN	RIO DOS CEDROS
01/02/2011	EN	BENEDITO NOVO
06/02/2011	EN	PENHA
10/02/2011	EN	POMERODE
11/02/2011	EN	ASCURRA
11/02/2011	EN	RODEIO
12/02/2011	EN	NAVEGANTES
14/02/2011	EN	TIMBÓ
10/03/2011	EN	BLUMENAU
10/03/2011	EN	JOINVILLE
10/03/2011	EN	POMERODE
10/03/2011	EN	RIO DOS CEDROS
10/03/2011	EN	SCHROEDER
11/03/2011	EN	CORUPÁ
12/03/2011	EN	ARAQUARI
12/03/2011	EN	CAMBORIÚ
12/03/2011	EN	GUARAMIRIM
14/03/2011	EN	RIO NEGRINHO
27/08/2011	EN	CAMBORIÚ
08/09/2011	EN	ARAQUARI
08/09/2011	EN	BLUMENAU
08/09/2011	EN	CAMBORIÚ
08/09/2011	EN	CORUPÁ
08/09/2011	EN	DOUTOR PEDRINHO
08/09/2011	EN	INDAIAL
08/09/2011	EN	ITAJAI
08/09/2011	EN	NAVEGANTES
08/09/2011	EN	RIO DOS CEDROS
08/09/2011	EN	RODEIO
08/09/2011	EN	TIMBÓ
09/09/2011	EN	ASCURRA
09/09/2011	EN	BALNEÁRIO BARRA DO SUL
09/09/2011	EN	BENEDITO NOVO
09/09/2011	EN	GASPAR
09/09/2011	EN	POMERODE
10/09/2011	EN	POMERODE
12/12/2011	EN	SCHROEDER
13/12/2011	GR	BALNEÁRIO BARRA DO SUL
14/12/2011	EN	PENHA

31/12/2011	EN	SÃO JOÃO DO ITAPERIU
11/01/2012	EN	GUARAMIRIM
17/01/2012	EN	BARRA VELHA
27/07/2012	EN	NAVEGANTES
26/09/2012	GR	JOINVILLE
22/10/2012	GR	ILHOTA
22/10/2012	GR	SÃO JOÃO DO ITAPERIU
04/11/2012	GR	RIO DOS CEDROS
14/02/2013	AL	ARAQUARI
14/02/2013	AL	BARRA VELHA
25/02/2013	EN	BALNEÁRIO BARRA DO SUL
04/04/2013	EN	CAMBORIÚ
05/04/2013	EN	BALNEÁRIO CAMBORIÚ
10/04/2013	EN	BARRA VELHA
10/04/2013	EN	PIÇARRAS
17/09/2013	EN	ARAQUARI
22/09/2013	IN	ILHOTA
22/09/2013	AL	RIO NEGRINHO
23/09/2013	IN	BLUMENAU
23/09/2013	IN	TIMBÓ
02/12/2013	IN	ILHOTA
11/01/2014	EN	PENHA
12/01/2014	AL	RODEIO
10/03/2014	EN	ARAQUARI
06/06/2014	AL	RIO NEGRINHO
07/06/2014	EN	CORUPÁ
08/06/2014	EN	ARAQUARI
08/06/2014	EN	BALNEÁRIO BARRA DO SUL
08/06/2014	EN	BENEDITO NOVO
08/06/2014	IN	DOUTOR PEDRINHO
08/06/2014	EN	GUARAMIRIM
08/06/2014	CI	JARAGUÁ DO SUL
08/06/2014	EN	RIO DOS CEDROS
08/06/2014	EN	RODEIO
08/06/2014	EN	SÃO JOÃO DO ITAPERIU
08/06/2014	IN	TIMBÓ
08/06/2014	EN	CAMPO ALEGRE
08/06/2014	IN	SÃO BENTO DO SUL
13/10/2015	IN	ITAJAI
22/10/2015	IN	ASCURRA
22/10/2015	EN	BENEDITO NOVO
22/10/2015	IN	RIO DOS CEDROS
05/11/2015	CI	ILHOTA
05/11/2015	IN	SÃO JOÃO DO ITAPERIU
28/12/2015	IN	BALNEÁRIO BARRA DO SUL

22/02/2016	CI	GARUVA
27/02/2016	TO	RODEIO
07/06/2016	CI	RIO NEGRINHO
04/01/2017	DE	BLUMENAU
30/01/2017	CI	JOINVILLE
31/01/2017	CI	SÃO JOÃO DO ITAPERIU
03/05/2017	CI	PENHA
31/05/2017	CI	PENHA
11/01/2018	CI	BALNEÁRIO CAMBORIÚ
11/01/2018	CI	CAMBORIÚ
11/01/2018	CI	PENHA
16/01/2018	CI	BLUMENAU
16/01/2018	CI	GASPAR
17/01/2018	CI	JOINVILLE
31/03/2018	CI	BLUMENAU
31/03/2018	EN	LUIZ ALVES
31/03/2018	CI	POMERODE
11/04/2018	CI	TIMBÓ
17/01/2019	CI	BLUMENAU
18/01/2019	CI	PENHA
16/02/2019	CI	ARAQUARI
17/02/2019	CI	BALNEÁRIO BARRA DO SUL
18/02/2019	CI	GUARAMIRIM
18/02/2019	CI	NAVEGANTES
18/02/2019	CI	PIÇARRAS
15/03/2019	CI	JOINVILLE

**Legenda:** Alagamento = AL; Chuva intensa = CI; Deslizamento = DE; Enxurrada = EN; Granizo = GR; Inundação = IN; Tornado=TO.

Fonte: Defesa Civil de SC (2008-2019). Elaborado pelo autor (2021).

**APÊNDICE B – Tabela de características físicas das nuvens nos casos selecionados entre os anos 2008 e 2019, entre as latitudes 27S e 26S graus e as longitudes 49.5 W e 48.5 W graus.**

<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
1	31/01/2008	53,83	-12,57	41,91	18,15	-4,09
2	01/02/2008	7,52	-1,98		15,82	-2,47
3	02/02/2008	20,79	10,72	32,39	14,18	1,17
4	21/02/2008	19,98	-11,47	47,6	17,75	-1,39
5	25/02/2008	0,21	16,07	37,71	17,6	-2,53
6	03/03/2008	0,08	15,07		10,83	3,53
7	30/04/2008	0,21	-6,15	40,16	12,94	-0,77
8	31/07/2008	6,44	-48,97	25,56	11,13	0,11
9	04/10/2008	71,41	-56,99	33,47	23,02	-3,36
10	29/10/2008	47,18	-62,26	24,24		-2,72
11	12/11/2008	42,86	-31,28	27,78	16,18	-5,36
12	13/11/2008	3,21	-10,08	34,79	17,8	-2,77
13	14/11/2008	0,13	16,07	31,13	12,96	-0,13
14	21/11/2008	13,86	-14,18	44,8	14,91	-5,79
15	22/11/2008	27,9	-14,53	39,56	22,34	-6,53
16	23/11/2008	17,72	-6,78	49,62	15,38	-5,88
17	24/11/2008	0,35	6,47		19,29	-4,7
18	25/11/2008	0	9,25	15,09	18,48	-4,5
19	26/11/2008	0,27	10,08	43,88	22,16	-4,39
20	27/11/2008	0,24	7,44	39,95	18,15	-4,74
21	28/11/2008	0	10,78		18,96	-4,69
22	15/12/2008	3,66	-35,4	30,36	14,03	-3,26
23	10/01/2009	31,02	-13,46	33,88	12,25	-3,48
24	22/04/2009	22,85	-47,29	35,5		-3,8
25	20/07/2009	0,15	5,1	14,71	14,46	-0,9
26	27/08/2009	0	13,51	30,33	11,24	-0,48
27	08/09/2009	66,68	-55,52	25,91	12,37	0,97
28	26/09/2009	3,21	3,22	40,16	11,89	-1,34
29	27/09/2009	45,23	-3,59	29,01	21,89	-0,54
30	28/09/2009	77,12	-54,64	14,44	10,08	-0,07
31	26/11/2009	14,48	-1,96	24,86	15,48	-0,79
32	10/01/2010	16,16	-31,63	22,95	19,91	-0,06
33	11/01/2010	42,3	-38,8	35,29		1,03
34	12/01/2010	16,38	-30,22	33,7	18,27	0,54



35	23/01/2010	23,89	-42,6	43,36	20,48	-3,22
36	24/01/2010	5,12	-36,94	33,01	16,74	0,02
37	25/01/2010	7,05	6,27	30,37	19,26	-1,55
38	26/01/2010	15,97	-39,85	38,38	15,97	-0,88
39	28/01/2010	14,89	-51,18	32,93	21,53	-0,79
40	08/02/2010	59,32	0,63	35,34	13,6	0,36
41	22/03/2010	1,31	-5,61	35,56	18,23	0,97
42	23/03/2010	13,52	-30,43	27,49		-1,79
43	21/04/2010	4	-64,24	20,53		-0,45
44	24/04/2010	19,75	-20,96	32,6		-3,54
45	25/04/2010	31,73	-43,8	32,68		-3,01
46	26/04/2010	57,56	-45,26	33,29		-0,49
47	18/05/2010	80,25	-51,49	33,38	18,9	-4,51
48	14/01/2011	3,58	15,36	42,44	16,51	-1,64
49	19/01/2011	11,52	-14,22	39,67	21,29	-0,9
50	20/01/2011	10,18	-25,13	34,97	14,74	-1,63
51	21/01/2011	42,31	-16,36	45,99	19	-3,71
52	22/01/2011	19,56	-46,72	38,95	16,27	-3,12
53	23/01/2011	39,76	-8,01	32,21	18,42	-2,11
54	28/01/2011	41,01	-22,69	45,64	14	1,5
55	29/01/2011	40,52	-45,49	24,2	16,34	-1,05
56	30/01/2011	8,61	-8,18	31,51	15,32	-2,05
57	01/02/2011	20,06	-49,98	32,15	21,94	-0,26
58	06/02/2011	25,69	-31,78	33,5	20,02	-0,47
59	10/02/2011	28,77	-24,66	31,49	17,76	0,97
60	11/02/2011	10,45	-16,84	34,64	15,81	0,36
61	12/02/2011	30,02	-21,01	34,35	19,32	-1,54
62	13/02/2011	43,6	-25,23	35,22	22,42	0,64
63	14/02/2011	28,92	-51,2	35,53	22,43	-1,06
64	10/03/2011	16,21	-6,67	39,15	23,83	-4,28
65	11/03/2011	36,11	-29,95	38,15	18,73	-5,05
66	12/03/2011	29,64	-43,78	34,5	24,76	-3,79
67	14/03/2011	0,24	13,59		18,63	-1,87
68	27/08/2011	0	-0,31	15,74	12,05	-2,65
69	08/09/2011	61,77	-63,9	23,6		-1,71
70	09/09/2011	20,59	-56,49	34,93		1,02
71	10/09/2011	0,08	-40		9,66	-0,58
72	12/12/2011	3,15	13,91	36,51	12,23	-0,68
73	13/12/2011	15,47	-4,14	28,48	12,03	-2,2
74	14/12/2011	23,42	-17,29	37,33	14,47	-0,41

75	31/12/2011	9,89	-17,5	29,28	17,33	-4,28
76	11/01/2012	8,51	-9,69	35,21	18,34	-2,88
77	17/01/2012	6,51	-13,67	33,81	15,39	-3,34
78	27/07/2012	50,79	-33,9	21,3	14,88	-1,8
79	26/09/2012	0,02	0,59		8,28	1,32
80	22/10/2012	39,72	-36,51	21,8		-0,17
81	04/11/2012	14,29	7,76	25,89	12,02	-2,09
82	14/02/2013	19,88	-27,84	33,04	21,13	0,57
83	25/02/2013	22,01	-26,2	37,66	16,43	1,27
84	04/04/2013	3,85	-57,72	22,58	17,87	-3,64
85	05/04/2013	34,37	-21,07		14,51	2,01
86	10/04/2013	0,15	-23,77		15,11	-2,75
87	17/09/2013	4,44	-16,36	22,35	13,98	1,61
88	22/09/2013	75,26	-61,42	35,6	13,76	-2,65
89	23/09/2013	3,43	-41,94	19,78	10,66	1,17
90	02/12/2013	1,68	-49,25	29,42	12,55	-0,71
91	11/01/2014	25,39	-42,27	48,76	18,63	0,12
92	12/01/2014	25,54	-51,39	30,99	17,33	-1,66
93	10/03/2014	5,65	9,66	34,97	11,95	-0,72
94	06/06/2014	33,01	-22,65	24,62	15,56	-0,53
95	07/06/2014	97,7	-60,44	31,29		-0,04
96	08/06/2014	78,66	-58,63	38,99		0,69
97	13/10/2015	5,54	-0,65		12,41	-1,75
98	22/10/2015	98,57	-47,29	29,13		-0,84
99	05/11/2015	3,45	-0,19		12,06	-2,75
100	28/12/2015	17,57	-52,13	29,37	22,29	-1,92
101	22/02/2016	7,17		28,11	19,09	-2,52
102	27/02/2016	12,73		33,05	17,09	1,71
103	07/06/2016	0,64	-46,65	40,1		1,59
104	04/01/2017	22,29	-42,76	31,15	14,71	-0,97
105	30/01/2017	15,48	-40,15	36,23	18,59	-3,06
106	31/01/2017	31,32	-39,42	29,31	17,68	-3,13
107	03/05/2017	0	10,04	30,91	15,68	-2,14
108	31/05/2017	26,82	-18,42	30,77	15,43	-3,74
109	11/01/2018	23,98	-44,34	31,15	19,34	-1,18
110	16/01/2018	28,79	-43,73	32	18,62	-0,75
111	17/01/2018	28,76	-15,45	30,41	20,38	-2,2
112	31/03/2018	17,25	-33,26	28,57	24,57	-2,46
113	11/04/2018	0	13,1	17,78	15,12	-2,42
114	17/01/2019	36,38	-38,92	23,89	14,94	0,39

<b>115</b>	18/01/2019	14,92	-25,6	24,66	13,29	-1,6
<b>116</b>	16/02/2019	4,88	3,36	41,89	17,53	-3,72
<b>117</b>	17/02/2019	34,43	-25,46	35,79	23,4	-4,06
<b>118</b>	18/02/2019	3,42	0,87	34,28	15,04	-2,41
<b>119</b>	15/03/2019	6,45	-22,73	21,58	17,23	-1,79

**Legenda:** A – número do evento; B - data com registro(s) de desastre(s); C - precipitação média estimada (mm); D - temperatura do topo da nuvem (°C); E - raio efetivo de partícula de gelo ( $\mu\text{m}$ ); F - raio efetivo de partícula líquida ( $\mu\text{m}$ ); G - componente do vento zonal (m/s). Campos em branco - indisponibilidade de dados dos satélites. Fonte: NASA- GPM IMERG, MODIS TERRA, MODIS AQUA, MERRA-2. Elaborado pelo autor (2021).