

Relatório 2/3 - Descargas Atmosféricas no Estado de Santa Catarina: Variabilidade e Tendências do Clima Atual e em Cenários de Mudanças Climáticas Futuras

Ana Paula dos Santos

















Elaborado por:

Ana Paula Paes dos Santos Kleber Pinheiro Naccarato André Arruda Rodrigues de Morais

Essa publicação foi realizada por uma equipe formada por consultores independentes sob a coordenação da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por meio do projeto Ampliação dos Serviços Climáticos para Investimentos em Infraestrutura (CSI).

Este projeto foi pactuado no âmbito da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por meio da parceria entre o Ministério do Meio Ambiente do Brasil e a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ), no âmbito da Iniciativa Internacional para o Clima (IKI, sigla em alemão), do Ministério Federal do Meio Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear (BMU, sigla em alemão).

Participaram desse processo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a Empresa Eletrosul/ Eletrobrás e a Defesa Civil de Santa Catarina

Todas as opiniões aqui expressas são de inteira responsabilidade dos autores, não refletindo necessariamente a posição da GIZ e do MMA. Este documento não foi submetido à revisão editorial.

EQUIPE TÉCNICA - GIZ

Pablo Borges de Amorim

Ana Carolina Câmara (coordenação)

Eduarda Silva Rodrigues de Freitas

EQUIPE TÉCNICA - MMA

Hugo do Valle Mendes (coordenação) Adriana Brito da Silva Jaqueline Leal Madruga

EQUIPE TÉCNICA - DEFESA CIVIL/ SANTA CATARINA

Flavio Rene Brea Victoria Frederico Moraes Rudorff

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Chou Sin Chan

EQUIPE TÉCNICA - ELETROSUL

Diego Luis Tedesco Dandolini (coordenação)

André Luis Padovan

Bacira Prichula

Rogério Parrela de Amorim

Marcelo Kotani

Julian Luis Reis

Marisa Bender

Loriane Silveira

Giancarlo Maffezzolli

Márcelo Kotani

Julian Luis Reis

Claudia Teresa Pillatti

Raquel Carolina Chinchilla Cartagena

Ministério do Meio Ambiente

Esplanada dos Ministérios, Bloco B, Brasília/DF, CEP 70068-901 Telefone: + 55 61 2028-1206

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (G1Z) GmbH

Sede da GIZ: Bonn e Eschborn GIZ Agência Brasília SCN Quadra O1 Bloco C Sala 1501 Ed. Brasília Trade Center - 70.711-902 Brasília/DF T + 55-61-2101-2170 E giz-brasilien@giz.de www.giz.de/brasil

A encargo de:

Ministério Federal do Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear (BMU) da Alemanha

BMU Bonn:

Robert-Schuman-Platz 3 53175 Bonn, Alemanha T +49 (0) 228 99 305-0

Diretora de Projeto:

Ana Carolina Câmara

T:+55 61 9 99 89 71 71

T +55 61 2101 2098

E ana-carolina.camara@giz.de

Brasília, Janeiro de 2020



Sumário

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	DADOS E METODOLOGIA	2
2.1.	Dados	3
2.3.1	1 Lightning Imaging Sensor (LIS)	4
2.3.2	2 Rede Brasileira de Detecção de Descargas Atmosféricas (BrasilDAT)	4
2.2	Metodologia	5
2.2.1	1 Teste de Mann-Kendall	5
2.2.2	2 Método Sen	7
3.	resultados	10
3.1.	Padrões Espaciais de Densidade de Descargas Atmosféricas	10
3.2.	Variabilidade e Tendências Sazonais	18
3.3.	Anomalias de Densidade de Descargas	22
3.4.	Frequência de Classes	25
3.5.	Tendências Regionais	31
3.5.1	l Verão	32
3.5.2	2 Outono	34
3.5.3	3. Inverno	35
3.5.4	4 Primavera	37
3.4.5	5 Frequência de Classes	38
4.	CONCLUSÕES	43
DEEE	EDÊNICIA S DIDI IOCDÁ EICA S	15

1. INTRODUÇÃO

As descargas atmosféricas compõem o rol de fenômenos meteorológicos que mais causam impactos socioeconômicos à população, tais como fatalidades, lesões, desligamentos das linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica, avarias em torres de telecomunicações, em edifícios, queima de equipamentos eletrônicos, entre outros, causando prejuízos à sociedade estimados em 500 milhões de dólares por ano.

Fundamentado no fato de que os efeitos da mudança do clima afetarão a população de modo distinto e com intensidades variáveis, tanto o diagnóstico dos impactos observados e esperados das vulnerabilidades de Santa Catarina quanto a resposta do Estado à mudança do clima devem ser abrangentes, integrados, coordenados e, ao mesmo tempo, sensíveis às particularidades de cada região.

Sendo assim, o primeiro passo para a compreensão do que podemos esperar no clima futuro em relação a ocorrência de descargas atmosféricas é o entendimento do clima atual.

Desta forma, o presente relatório, elaborado a encargo do Projeto de Ampliação dos Serviços Climáticos em Investimentos de Infraestrutura – CSI, avalia a variabilidade espaço-temporal da ocorrência de descargas atmosféricas no Estado de Santa Catarina e possíveis riscos climáticos em infraestrutura de linhas de transmissão frente às mudanças do clima.

O escopo do relatório inclui os padrões espaciais da ocorrência de descargas atmosféricas sobre o Estado de Santa Catarina; análise da variabilidade temporal, contemplando suas respectivas tendências e classes de eventos; e aponta as regiões onde os casos anômalos vêm ocorrendo em maior frequência nas últimas décadas. Os resultados obtidos neste produto fornecem subsídios científicos para orientar estratégias de adaptação às mudanças climáticas.

2. DADOS E METODOLOGIA

O Estado de Santa Catarina (SC), está localizado na Região Sul do Brasil, fazendo limite ao sul com o Rio Grande do Sul, ao leste com o oceano Atlântico, ao norte com o Paraná e a oeste com a Argentina (Figura 2.1).

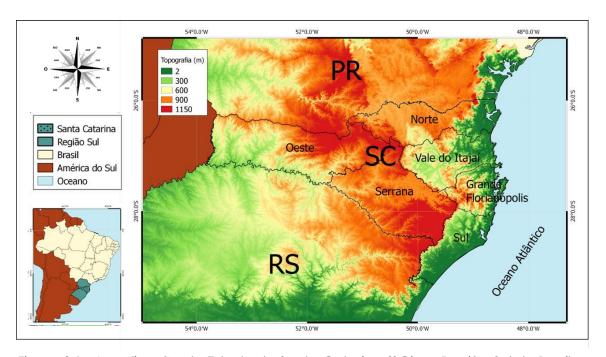


Figura 2.1 – Localização do Estado de Santa Catarina (SC) na Região Sul do Brasil e suas Mesorregiões.

Santa Catarina é composta por 295 municípios onde vivem cerca de 6,8 milhões de habitantes (conforme a estimativa do IBGE no ano de 2015) e tem como capital a cidade de Florianópolis. O clima predominante no Estado é o subtropical, sem estação seca e com temperatura do ar no mês mais quente superior a 22°C, conforme classificação climática de Koppen (PBMC). Durante o inverno, mais especificamente nos meses de junho e julho, é comum o registro de temperaturas negativas e ocorrência de geada em vários municípios. Na região Serrana (centro-sul do Estado), onde o frio é ainda mais intenso, há registros de neve ocasionais. O volume de chuva varia entre 1.000 e 2.000 mm anuais, regularmente divididos ao longo dos doze meses do ano.

A cobertura de terra é composta por vegetações típicas, com destaque para os campos meridionais, divididas por áreas de planalto que abrangem regiões desde o Paraná, passando por Santa Catarina até o Rio Grande do Sul. Nas porções de maior altitude dos planaltos e nos terrenos mais acidentados há a presença de matas de araucária. Já na região costeira, têm-se a Mata Atlântica, onde a vegetação é caracterizada por suas densidade e variedade (PBMC).

2.1. Dados

Esta seção apresenta uma breve descrição das fontes de dados utilizadas para a obtenção dos dados de descargas que compõe os resultados deste produto. Os dados utilizados são provenientes de duas fontes, a primeira composta pelo período de 1998 a 2013 do Lightning Imaging Sensor (LIS) e do período de 2014 a 2018 da Rede Brasileira de Detecção de Descargas Atmosféricas (BrasilDAT). Isso porque o LIS, lançado em novembro de 1997, foi desativado em abril de 2015, fornecendo dados confiáveis no período de 1998 até 2014. Por outro lado, a rede BrasilDAT, instalada em 2010 inicialmente na Região Sudeste do Brasil, atingiu sua configuração estável no Sul do país somente em meados de 2013, possibilitando assim fornecer dados precisos sobre descargas atmosféricas a partir de 2014 até os dias atuais.

Em vista do exposto, a base de dados histórica de descargas atmosféricas empregada neste trabalho é composta por informações oriundas de instrumentos de medidas com diferentes tecnologias e características de operação. Por essa razão, os dados passaram por um processamento de uniformização, incluindo correções pela eficiência de detecção de cada sistema. Este processo foi necessário para permitir comparações entre a incidência de descargas na região em estudo com outras regiões do mundo, em escala espacial e temporal, com o objetivo de mensurar o grau de ocorrência de descargas sobre o Estado de Santa Catarina. Nos subtópicos seguintes serão brevemente apresentadas essas duas fontes de dados.

2.3.1 Lightning Imaging Sensor (LIS)

O sensor Lightning Imaging Sensor (LIS) é um imageador, cuja função é a detecção de raios, que esteve integrado a bordo do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). O TRMM foi lançado em 28 de novembro de 1997 em órbita baixa, circulando a Terra em altitude de 350km e inclinação de 35° (órbita equatorial). Desativado em abril de 2015, o LIS era capaz de detectar os pulsos ópticos gerados pelas descargas atmosféricas a partir do espaço. Em função disso, esse sistema não diferenciava descargas do tipo nuvem-solo (NS) das descargas do tipo intranuvem (IN) e, portanto, fornecia informações de descargas totais com alto desempenho e uniformidade espaçotemporal em todo o território nacional, incluindo o Estado de SC.

2.3.2 Rede Brasileira de Detecção de Descargas Atmosféricas (BrasilDAT)

A rede BrasilDAT é composta por diversos sensores em solo que operam na faixa de frequência de VLF/LF (do inglês – very low and low frequency) ou seja, de alguns kHz até alguns MHz, e possibilita a detecção de descargas atmosféricas totais, ou seja, a detecção e identificação de descargas NS e IN, com alta precisão para metade do território nacional, excluindo as Regiões Norte e Nordeste, com ótimo desempenho em toda região centro-sul do Brasil, incluindo o Estado de SC. Em operação inicialmente na Região Sudeste a partir do final de 2010, somente em meados de 2013 a rede de sensores estendeu-se para as Regiões Sul, Centro-Oeste e parte do Nordeste do país. Dados de descargas atmosféricas totais possibilitam conhecer a fração de descargas que atingem o chão em relação às descargas no céu, o que possibilita avaliar a severidade das tempestades, bem como determinar e entender melhor a distribuição espacial das descargas sobre o Estado.

2.2 Metodologia

Além da análise dos padrões climatológicos espaciais das descargas, a distribuição temporal da série histórica foi avaliada, buscando identificar possíveis tendências da incidência de descargas sobre o Estado, e classificar a severidade dos eventos, em especial os eventos extremos, em todas as escalas temporais supracitadas. Para a identificação de possíveis tendências dos dados e identificação dos eventos extremos de descargas, foi necessário o emprego de técnicas e ferramentas estatísticas, as quais serão descritas a seguir.

Para análise da tendência dos dados observados das descargas atmosféricas, foi utilizado o teste estatístico não paramétrico de Mann-Kendall. Este método foi escolhido por não exigir que a série de dados apresente uma distribuição normal (gaussiana), característica típica dos dados de descargas atmosféricas, e também pelo resultado ser menos influenciado por valores "outliers" (ou seja, pontos extremos da série de dados), visto que seu cálculo é baseado no sinal das diferenças entre os valores da série de dados analisada.

Sendo assim, neste trabalho, aplicou-se a mesma metodologia usada por Santos et al., (2016a), Fan e Wang (2011) e Silva (2014), a qual emprega um template denominado de MAKENSENS (Mann-Kendall test for trend and Sen's method for the magnitude of the trend) desenvolvido pelo Instituto Meteorológico Finlandês (SALMI et al. 2002). Esse método possui dois componentes complementares: o teste não paramétrico de Mann-Kendall, que determina a presença de uma tendência monotônica crescente ou decrescente nos dados; e o método não paramétrico de Sen, que estima a inclinação e magnitude da tendência linear (GILBERT, 1987).

2.2.1 Teste de Mann-Kendall

Originalmente criado por Mann (1945) e reformulado por Kendall (1948), o teste de Mann-Kendall consiste em comparar cada valor da série de dados com os valores seguintes, calculando o número de vezes

em que os termos restantes são maiores que o valor analisado. O teste não paramétrico é usado para analisar a existência de uma tendência monotônica crescente ou decrescente, sendo o método mais indicado para analisar alterações climáticas em séries de dados climatológicos (GOOSSENS; BERGER, 1986). O teste estatístico de Mann-Kendall é determinado da seguinte forma:

$$Z = \begin{array}{cc} S - 1 \\ \hline VAR S \\ O \\ S + 1 \\ \hline \hline VAR (S) \end{array} \quad \begin{array}{c} se \ S > 0 \\ se \ S = 0 \\ \hline \hline VAR (S) \end{array}$$
 (2.1)

sendo que:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n} sign(x_j - x_k)$$
 (2.2)

onde x_j e x_k são valores (anuais/sazonais/mensais) nos anos j e k (para j > k), respectivamente; n é o tamanho da série de dados; e a função sing é a variância de S, denotada por [VAR (S)], assume o valor de 1 quando x_j - $x_k > 0$; valor 0, quando x_j - $x_k = 0$; e valor -1, quando x_j - $x_k < 0$, sendo definida por:

$$VAR(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$$
 (2.3)

E quando há repetições de dados, a variância assume a expressão:

$$VAR S = \frac{1}{18} [n \ n-1 \ 2n+5 - \frac{g}{p-1} t (t-1)(t-1)(t-1) + 5)]$$
(2.4)

onde g é o número de grupos com dados repetidos e t_p é o número de dados no

p-ésimo grupo.

Para análise da tendência utiliza-se o valor de Z (equação 2.1), no qual, o valor positivo refere-se a uma tendência crescente e o valor negativo refere-se a uma tendência decrescente.

2.2.2 Método Sen

O método não paramétrico de Sen (SEN, 1968; SNEYERS, 1975) é empregado para calcular a estimativa da inclinação e magnitude da tendência dos dados. Utiliza um modelo linear para estimar a inclinação da tendência e da variância dos resíduos, sendo constante no tempo. O teste foi utilizado por ser insensível aos valores de "outliers", provendo uma medida mais realística das tendências em uma série temporal de dados, o que o torna mais rigoroso que a usual regressão linear. O método é determinado por:

$$f t = Qt - B \tag{2.5}$$

onde Q é o valor referente a inclinação da reta e B é uma constante.

Para obter a estimativa de inclinação Q, primeiro calculam-se as inclinações de todos os pares de dados, definidos por:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \tag{2.6}$$

para j > k.

Caso a série temporal seja composta por n valores x_j , obtêm-se N = n - 1/2 estimativas de inclinação Q_i . Deste modo, a inclinação estimada pelo método Sen é a mediana dos valores N de Q_i , os quais são classificados em ordem crescente e a estimativa Sen é dada por:

$$Q = Q_{[(N+1)/2]}$$
, se N for impar e
 $Q = \frac{1}{2} (Q_{[N/2]} + Q_{[(N+2)/2]})$, se N for par. (2.7)

Para obter uma estimativa de B na equação 2.5, são considerados n valores da diferença x_i - Q_{ti} .

Outros trabalhos que também utilizaram os métodos de Mann-Kendall e da estimativa de inclinação Sen foram Fan e Wang (2011), Oliveira (2011), Silva e Derecznski (2014), e Santos et. al. (2016b 2016c e 2016d).

Após o cálculo das tendências foi aplicado o Método dos Percentis aos dados de descargas com o objetivo de classificar e determinar os eventos extremos. A explanação deste método será apresentada na subseção seguinte.

2.2.3. Método dos Percentis

Proposto por Pinkayan em 1966 e amplamente utilizado por Santos et al. (2014) e Santos et al. (2016a), o Método dos Percentis baseia-se na distribuição da frequência acumulada, sendo que a aproximação da função densidade de probabilidade que descreve o fenômeno é tanto melhor quanto maior é o número de observações disponíveis.

O Método dos Percentis é uma técnica estatística que consiste estritamente na distribuição em ordem crescente de uma série amostral de dados contínuos, para o qual se atribui uma probabilidade p

univocamente definida para cada valor amostral (XAVIER, 1999; XAVIER et al., 2002). A denominação "Percentil" foi dada pois a divisão da séria amostrar ser realizada em percentuais, conforme ilustra o esquema da Figura 2.1. A série temporal de dados pode ser distribuída sob a forma x_1 , x_2 , x_3 , ..., x_n , na qual x_1 representa o menor valor e x_n o maior valor da série.

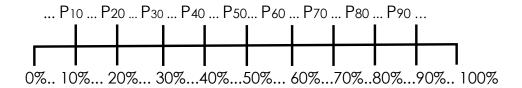


Figura 2.1 - Esquema ilustrativo da divisão dos Percentis em relação à série de dados.

Fonte: Produção dos autores.

O primeiro procedimento para a obtenção do evento extremo é calcular a posição do Percentil desejado dentro da série temporal. A equação utilizada para obter o p-ésimo percentil de n valores ordenados é correspondente ao valor que ocupa a posição L_{Px} , arredondada para o inteiro mais próximo:

$$L_{P_x} = \frac{k}{100} \cdot n \tag{2.8}$$

Onde: k = percentil desejado e n = tamanho da amostra

Posteriormente, identifica-se o valor do Percentil, utilizando a frequência acumulada de probabilidade, conforme a equação a seguir:

$$P_x = l \qquad \frac{+h. L_{P_x} - FacANT}{f_a}$$
(2.9)

Onde: l_i = limite inferior; h = amplitude de classe; FacANT = frequência acumulada até a classe anterior a classe do percentil; f_a = frequência absoluta da classe do percentil.

Desta forma, o método dos percentis permite selecionar de forma objetiva e rápida os eventos de interesse. O uso desta metodologia é adequado, pois não exige qualquer suposição sobre a forma da distribuição. Este trabalho utilizou os seguintes percentis para estabelecer as classes de eventos de descargas em relação aos valores observados (x_i):

Tabela 1 - Intervalos de classe para categorização dos eventos de descargas atmosféricas.

Percentis	Classes
$x_i \leq P_{25}$	abaixo do normal
$\geq P_{26}x_i \leq P_{74}$	dentro do normal
$\geq P_{75} x_i \leq P_{94}$	acima do normal
$x_i \ge P_{95}$	extremo

3. RESULTADOS

3.1. Padrões Espaciais de Densidade de Descargas Atmosféricas

A densidade de descargas atmosféricas representa o número de descargas observadas por quilômetro quadrado por ano. A Figura 3.1 apresenta o padrão climatológico sazonal da densidade de descargas em cada estação: Verão, Primavera, Outono e Inverno. Esses mapas

também apresentam a localização das linhas de transmissão de energia elétrica da Eletrosul no Estado.

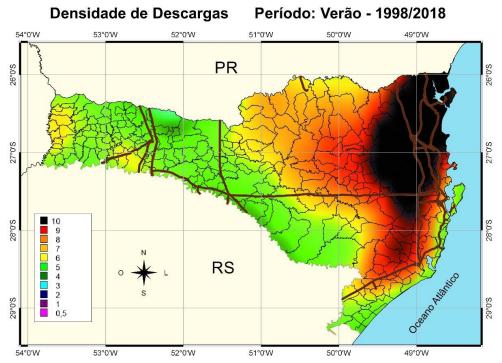


Figura 3.1 – (a) Mapa de densidade sazonal (Verão) de descargas (descargas.km⁻².ano⁻¹) com resolução espacial de 25x25km para o Estado de SC tendo como base histórica o período de 1998 a 2018. São mostradas também as linhas de transmissão da Eletrosul.

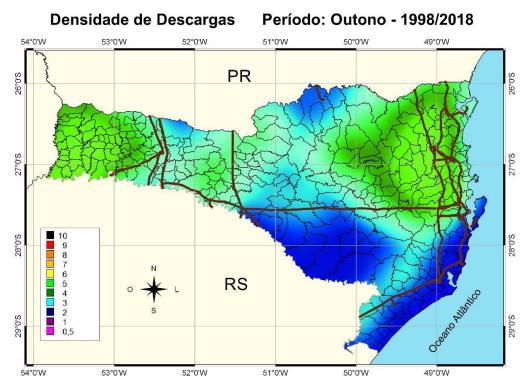


Figura 3.1 – (b) Idem ao anterior para o Outono.

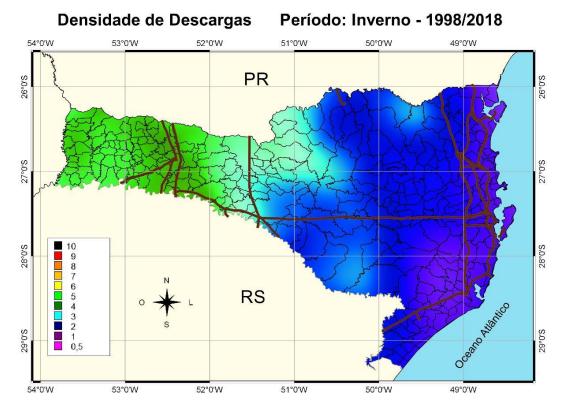


Figura 3.1 – (c) Idem ao anterior para o Inverno.

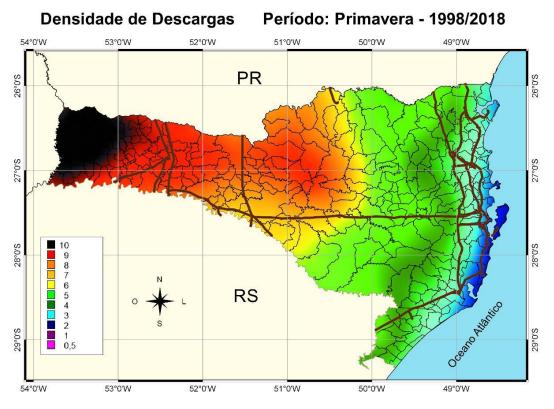


Figura 3.1 – (e) Idem ao anterior para o Primavera.

29°0'S

Período: Anual - 1998/2018

Densidade de Descargas

53°0'W

Figura 3.1 – (e) Mapa de densidade anual de descargas (descargas.km⁻².ano⁻¹) com resolução espacial de 25x25km para o Estado de SC tendo como base histórica o período de 1998 a 2018. São mostradas também as linhas de transmissão da Eletrosul.

RS

Durante o Verão, verifica-se que a maior densidade de descargas, com valores acima de 10 descargas.km⁻².ano⁻¹, ocorre no Nordeste do Estado, passando pelo Vale do Itajaí e áreas da Grande Florianópolis até a porção norte do Sul de Santa Catarina. Observa-se que, exatamente nessa região, encontram-se diversas linhas de transmissão, principalmente entre o Nordeste e a Grande Florianópolis e, por isso, recomenda-se maior atenção a esta região durante o período do verão. A medida que se avança para o oeste do Estado, nota-se que a densidade se reduz gradativamente, até valores em torno de 5 descargas.km⁻².ano⁻¹.

Uma das principais causas desse perfil de densidade de descargas sobre a região litorânea e adjacente a esta pode estar associado à posição da Alta subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que nesta época do ano encontra-se deslocada para leste de sua posição climatológica e a circulação no lado oeste não penetra muito o continente (Cavalcanti, 2009). Este fator de grande escala pode também contribuir

com a influência da circulação de brisa (Braga e Krusche, 2000) para o aumento da densidade de descargas nessa região. A brisa é originada devido ao aquecimento diferenciado entre continente e oceano, gerando gradientes de temperatura, que produzem uma célula de circulação (Atikson, 1981). Durante o dia, a superfície terrestre se aquece mais rapidamente que o oceano, a circulação próxima à superfície é dirigida do oceano para o continente, e neste caso, tem-se a brisa marítima. Já à noite, a direção do escoamento é oposta, ou seja, o oceano encontra-se mais aquecido que a superfície continental, dando origem à brisa terrestre. Desta forma, o transporte de umidade pela brisa marítima para o continente durante o dia, pode fornecer umidade para outros sistemas meteorológicos, como por exemplo, para um sistema frontal e causar maior incidência de descargas nessa região. Aliado com o efeito da brisa marítima, a topografia da região, especialmente próximo ao litoral centro-norte do Estado, composta por serras, auxiliam o processo de ascensão do ar vindo do mar, formando nuvens convectivas que são predominantes no verão, gerando uma grande ocorrência de descargas.

No Inverno, a região de máxima densidade de descargas é contrária ao padrão do verão e os máximos em torno de 5 descargas.km⁻².ano⁻¹ ocorrem no oeste de Santa Catarina e reduz gradativamente à medida que se aproxima do litoral. Vale destacar que nesta última região também há uma concentração de linhas de transmissão da Eletrosul e por isso deve-se dar atenção a elas durante esse período do ano.

A maior concentração de descargas sobre o oeste do Estado no inverno pode também ter influência da ASAS, pois nesta época do ano o sistema avança mais sobre o continente em virtude de seu posicionamento mais a oeste de sua posição climatológica, transportando maior teor de umidade para esta região, o que favorece a formação e o desenvolvimento de nuvens convectivas. Além disso, a atuação de sistemas frontais sobre essa região pode ser intensificada em função do Jato de Baixos Níveis (JBN). Estudos realizados (Lemos e

Calbete, 1996; Britto e Saraiva, 2001) e de Rodrigues et al. (2004) e o monitoramento climático realizado pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), publicado mensalmente na Revista Climanálise (http://www6.cptec.inpe.br/revclima/revista/) mostraram que no Sul do Brasil ocorrem, no mínimo, 4 sistemas frontais por mês no inverno, que podem ter adentrado ou se formado na região. Isto corresponde a uma média de 12 sistemas frontais no trimestre do inverno (junho-julho-agosto). Estes fatores podem contribuir para justificar a elevada densidade de descargas no Oeste de Santa Catarina.

A Primavera apresenta um padrão muito semelhante ao do Inverno, com maior concentração de descargas sobre o Oeste do Estado e menor no litoral, porém com valores mais intensos, máximos entre 9 e 10 descargas.km⁻².ano⁻¹ e mínimos de 2 a 5 descargas.km⁻².ano⁻¹. A maior incidência de descargas nessa estação é devido a atuação de Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), que são predominantes nesse período sobre Paraguai, Nordeste da Argentina e Oeste da Região Sul do Brasil (Azambuja, 2017).

O Outono, por sua vez, apresenta-se como uma estação de transição entre os máximos de verão nas regiões Norte, Vale do Itajaí e parte da Grande Florianópolis e os máximos de inverno sobe o Oeste de Santa Catarina, ambos com valores em torno de 4 e 5 descargas.km⁻².ano⁻¹.

O mapa de densidade em escala anual revela a preponderância de ocorrência de descargas atmosféricas no extremo Oeste do Estado, com valores em torno ou mesmo acima de 25 descargas.km⁻².ano⁻¹. Valores elevados de aproximadamente 22 a 23 descargas.km⁻².ano⁻¹ também podem ser observados nas porções Norte e Nordeste do Estado. Os menores valores são observados na porção Sudeste do Estado. É possível comparar esses resultados com o mapa de densidade da norma NBR-5419-2:2015 (Figura 3.2). Observa-se que, de modo geral, a distribuição espacial da densidade de descargas atmosféricas é bastante similar entre os dois mapas, mostrando as mesmas

características para as diferentes regiões do Estado, ou seja, maior incidência nas porções Nordeste, Norte e Oeste e menor incidência na porção Sudeste do Estado. Por outro lado, os valores mostrados no mapa em escala anual deste relatório (Figura 3.1e) são relativamente maiores, particularmente nas porções Norte e Nordeste de Santa Catarina. Na porção Oeste, os valores da norma indicam densidades acima de 13 descargas.km⁻².ano⁻¹, contra 25 descargas.km⁻².ano⁻¹ deste relatório. Já nas porções Norte e Nordeste, o mapa da norma indicam valores entre 9 e 11 descargas.km⁻².ano⁻¹, enquanto que o mapa anual deste relatório mostram valores acima de 22 descargas.km⁻².ano⁻¹, ou seja, duas vezes maiores.

O motivo para essas diferenças é justamente as bases de dados de descargas atmosféricas utilizadas nos diferentes mapas. Para a norma, devido à necessidade de se produzir um mapa para todo o território nacional, havia apenas uma base de dados disponível na época de sua confecção: o sensor LIS, a bordo do satélite TRMM. Em 2011, quando o mapa da norma foi gerado, a rede BrasilDAT cobria apenas a Região Sudeste do País e uma segunda possível base de dados, produzida pela rede WWLLN (Worldwide Lightning Location Network), a qual opera na faixa de VLF e possibilita detecção em escala global, ainda não tinha uma boa cobertura de todo o Brasil, apresentando uma eficiência de detecção média inferior a 5%. Inclusive, foi por esse motivo que a base de dados da rede WWLLN não foi usada nesse relatório, pois seu desempenho somente se tornou satisfatório no Brasil a partir de 2015, perfazendo assimuma série histórica muito pequena, que não contribuiria efetivamente com as análises.

Dessa forma, para o mapa da norma, havia apenas os dados do sensor LIS disponíveis, e não havia uma segunda base de dados que pudesse ser usada como referência. Os dados do sensor LIS tem limitações em função da órbita assíncrona do satélite, o qual passava sobre o mesmo ponto da superfície apenas duas vezes ao dia por apenas 90 segundos. Com isso, a "janela" de observação de descargas atmosféricas era muito pequena, exigindo diversas correções e ajustes

nos dados para compensar as variações na eficiência de detecção do sensor em função da variação diurna (dia e noite) e da latitude (variação da velocidade de amostragem). Mesmo com todas as correções, o mapa produzido apenas com dados do LIS acabava subestimando os valores de densidade, conforme se comprova nesse relatório. A utilização de um mapa composto pela base de dados do sensor LIS e uma segunda base de dados produzida por uma rede de detecção de superfície com alto desempenho possibilitou corrigir de forma mais efetiva os valores de densidade, produzindo assim, mapas mais realísticos da incidência de descargas atmosféricas no Estado de Santa Catarina (Figura 3.1).

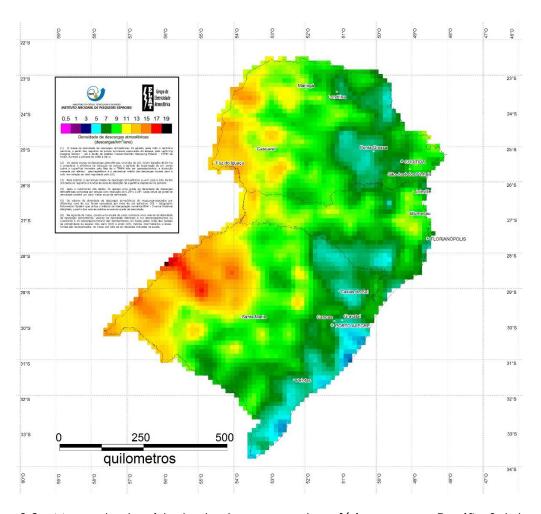


Figura 3.2 – Mapa de densidade de descargas atmosféricas para a Região Sul do Brasil obtido a partir de uma série histórica de dados de 14 anos (1998 a 2011) o qual substituiu o antigo mapa isoceraunico na revisão da norma de proteção contra descargas atmosféricas NBR-5419-2:2015 - Parte 2: Gerenciamento de risco (ABNT, 2015).

3.2. Variabilidade e Tendências Sazonais

A distribuição sazonal da frequência de ocorrência de descargas atmosféricas em Santa Catarina está apresentada na Figura 3.2. Basicamente o Estado apresenta duas estações do ano composta pelo período mais ativo de ocorrência de descargas entre a primavera e o verão, e o período menos ativo entre o outono e o inverno. No primeiro caso (período ativo) a frequência total de descargas é de aproximadamente 70%, dividida entre 36,05% no verão e 33,49% na primavera. Logo, o segundo caso (período menos ativo) apresenta cerca de 30% de ocorrência de descargas no total, dividido entre 16,85% no outono e 13,61% no inverno, este último representando o trimestre de menor densidade de descargas.

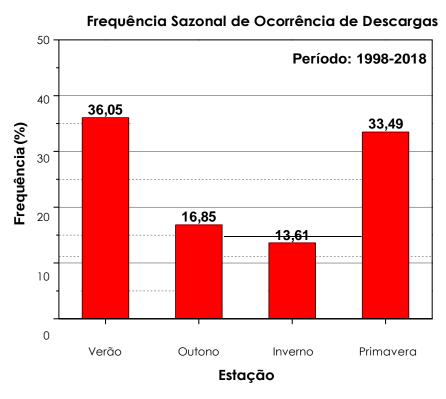


Figura 3.2 – Frequência sazonal de ocorrência de descargas em Santa Catarina, tendo por base climatológica o período entre os anos de 1998 a 2018.

As variabilidades e as tendências sazonais das descargas atmosféricas no Estado de Santa Catarina são apresentadas na Figura 3.3.

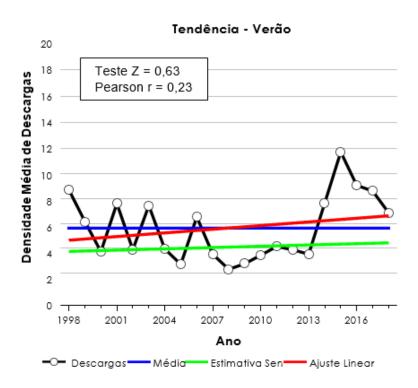


Figura 3.3 – (a) Série temporal de densidade sazonal (Verão) de descargas para o Estado de SC (descargas.km⁻².ano⁻¹) tendo por base histórica o período entre os anos de 1998 a 2018. A tendência foi analisada utilizando os testes de Mann-Kendall, estimativa Sen e Pearson.

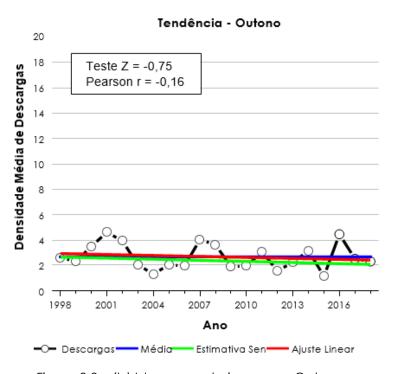


Figura 3.3 – (b) Idem ao anterior para o Outono.

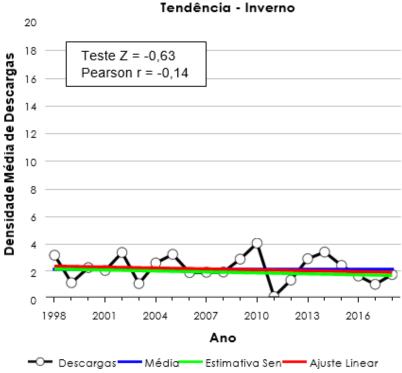


Figura 3.3 – (c) Idem ao anterior para o Inverno.

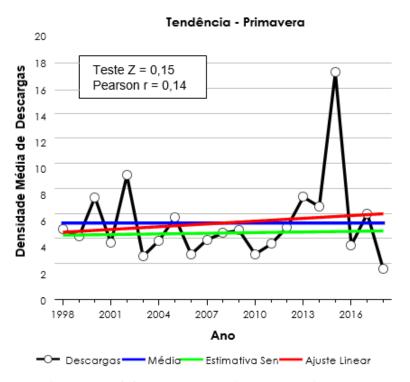


Figura 3.3 – (d) Idem ao anterior para o Primavera.

Para o Verão, estação com maior incidência total de descargas (conforme discutido nas Figuras 3.1 e 3.2), observou-se que os eventos oscilam bastante em torno da média, principalmente entre o início da

série e o ano de 2007 e entre os anos de 2014 a 2016, indicando uma espécie de ciclo aproximadamente bianual entre máximos e mínimos da ocorrência de descargas em Santa Catarina. Este ciclo já havia sido observado na ocorrência de descargas para o Sudeste do Brasil por Naccarato (2005) e para o Estado de São Paulo por Santos (2017). Entretanto, vale destacar que houve um tipo de quebra nesse ciclo entre os anos de 2008 a 2013, onde foi observada uma sucessão de eventos abaixo da média. A análise da tendência realizada em conjunto pelos testes de Mann- Kendall, Sen e Pearson reportou tendência de aumento de ocorrência de descargas em ambos os testes nesta estação, com Z = 0,63 e Pearson = 0,23, representando uma tendência relativamente baixa.

Para o Outono, observa-se que, em quase toda a série, os valores oscilaram em torno de aproximadamente de 1 a 5 descargas.km².ano¹¹. Para esse período, os resultados dos testes de tendência apresentam tendência de redução da incidência de descargas, com Z = -0,75 e Pearson = -0,16. Similarmente, para o Inverno, estação com a menor incidência de descargas, foi observada uma tendência de redução na densidade de descargas, com valor de Z (tendência) igual a -0,63 e Pearson igual a -0,14.

Para a Primavera foi observada uma tendência de aumento da densidade de descargas, contudo, a tendência reportada pelos testes foi pequena, com valor de Z = 0.15 Pearson = 0.14. Entretanto um ponto a se destacar nessa série diz respeito ao ano de 2015 que apresentou valor mais expressivo de todo o período, ultrapassando 17 descargas.km².ano-1. Este valor muito acima da média pode estar associado, dentre outros fatores, ao fenômeno El Niño que neste ano particularmente apresentou intensidade forte, conforme dados do CPTEC/INPE (http://enos.cptec.inpe.br/), o que fez com que em quase todas as estações apresentasse valor de densidade de descargas acima do normal.

3.3. Anomalias de Densidade de Descargas

As anomalias nos valores de densidade de descargas atmosféricas observadas sobre o Estado de Santa Catarina em escala sazonal são apresentadas na Figura 3.4. Elas foram determinadas para cada ponto de grande calculando-se o percentual de aumento ou redução do valor de densidade de descargas atmosféricas observado naquele ponto de grade em relação à média de valores de todos os pontos de grande do Estado.

A primeira informação importante que se pode tirar desses mapas é que as anomalias positivas mais expressivas são observadas nas estações do Outono e Inverno. No Outono, essas anomalias ocorreram principalmente na região central e Sul do Estado. Já no Inverno essas anomalias ocorreram principalmente na região centro-sul de Santa Catarina, com destaque principalmente à região Serrana do Estado, onde observou-se uma anomalia positiva máxima (em tons de preto). Esses resultados podem ser um indicativo de que, apesar do Outono e Inverno terem apontado para uma série temporal com ausência de tendência, pode-se esperar ocorrência de descargas acima do normal nas regiões que vêm apresentando anomalias positivas.

Na Primavera e no Verão foram observados valores de anomalias negativas de descargas em grande parte do Estado, de acordo com o observado na Figura 3.3, sendo que a Primavera mostrou tendências negativas um pouco maiores. Entretanto, ressaltam-se as anomalias positivas no Verão, que ocorrem sobre a porção do extremo leste e no oeste do Estado, regiões onde coincidentemente se localizam várias linhas de transmissão da Eletrosul, o que pode representar regiões de alerta a possíveis impactos futuros à empresa durante o Verão. Na Primavera, por sua vez, as anomalias positivas ficaram isoladas no extremo norte do Estado e uma pequena porção à Noroeste, regiões onde não existem linhas de transmissão.

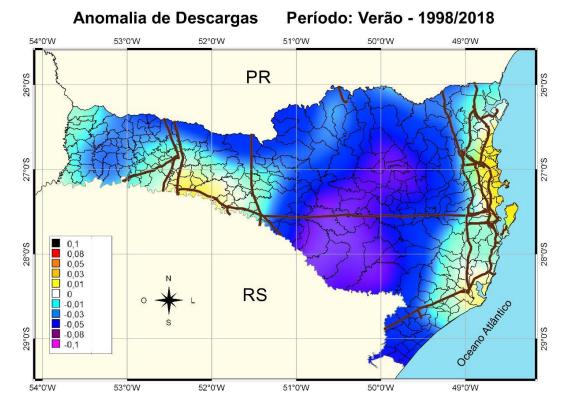


Figura 3.4 – (a) Mapa de anomalia sazonal (Verão) de densidade de descargas para o Estado de SC (descargas.km⁻².ano⁻¹) com resolução espacial de 25x25km tendo por base histórica o período de 1998 a 2018. No mapa são mostradas também as LTs da Eletrosul.

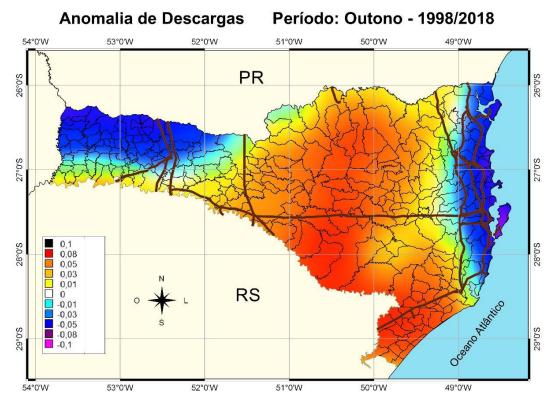


Figura 3.4 – (b) Idem ao anterior para o Outono.

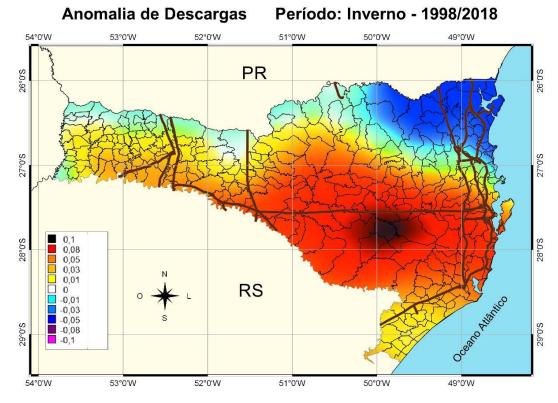


Figura 3.4 – (c) Idem ao anterior para o Inverno.

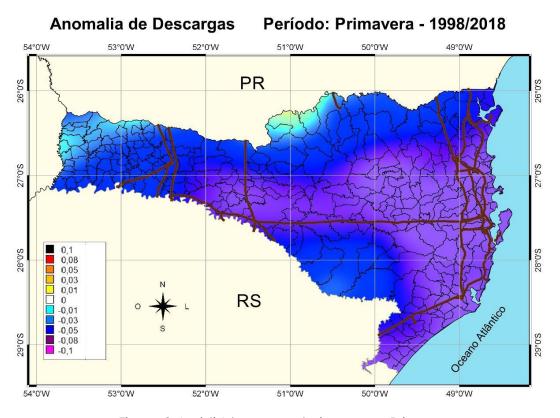


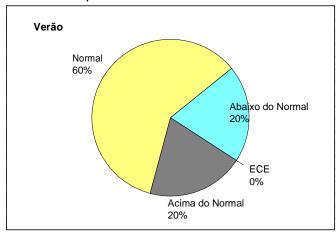
Figura 3.4 – (d) Idem ao anterior para a Primavera.

3.4. Frequência de Classes

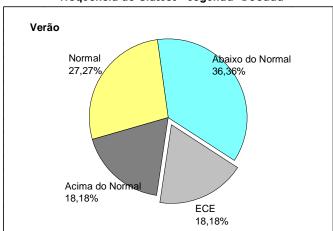
A análise da frequência de classes de eventos de descargas atmosféricas no clima atual é apresentada nas Figuras 3.5 a 3.8. Por meio dessas Figuras é possível identificar a frequência de classes em cada década e a frequência de classes do período total. Uma síntese das classes de eventos em cada ano é apontada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Classes de eventos de descargas atmosféricas no Estado de SC tendo por base histórica o período de 1998 a 2018. A numeração representa as seguintes classes: 1 - Abaixo do normal; 2 - Normal; 3 - Acima do normal; 4 - Evento climático extremo.

	Estação do Ano / Classe de Evento															
Ano		Verã o			Outono			Inverno				Primavera				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1998																
1999																
2000																
2001																
2002																
2003																
2004																
2005																
2006																
2007																
2008																
2009																
2010																
2011																
2012																
2013																
2014																
2015																
2016																
2017																
2018																



Frequência de Classes - Segunda Década



Frequência de Classes - Total

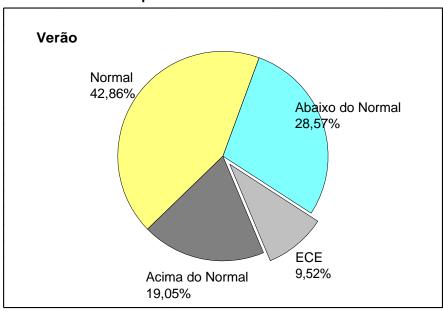
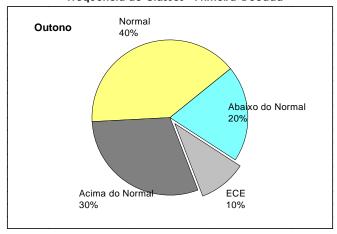
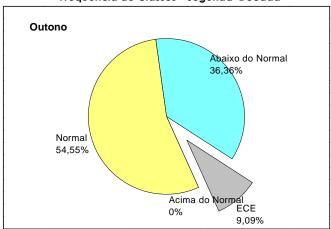


Figura 3.5 – Frequência de classes de eventos de descargas atmosféricas observadas no Verão no Estado de Santa Catarina tendo por base histórica o período de 1998 a 2018. As classes de eventos foram computadas aplicando o método dos Percentis.



Frequência de Classes - Segunda Década



Frequência de Classes - Total

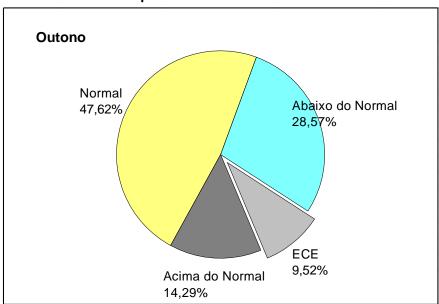
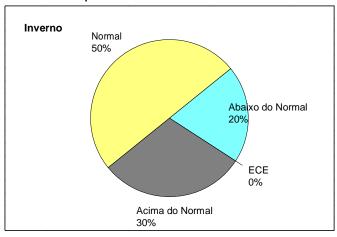
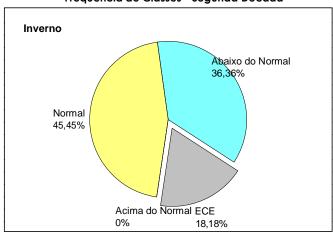


Figura 3.6 – Frequência de classes de eventos de descargas atmosféricas observadas no Outono no Estado de Santa Catarina tendo por base histórica o período de 1998 a 2018.

As classes de eventos foram computadas aplicando o método dos Percentis.



Frequência de Classes - Segunda Década



Frequência de Classes - Total

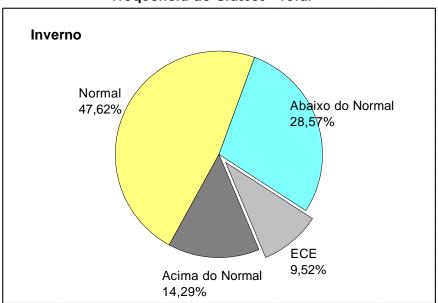
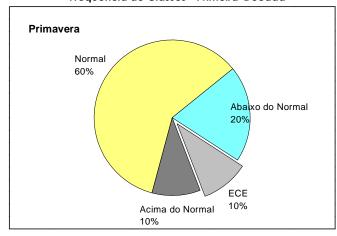
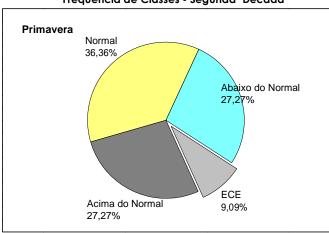


Figura 3.7 – Frequência de classes de eventos de descargas atmosféricas observadas no Inverno no Estado de Santa Catarina tendo por base histórica o período de 1998 a 2018.

As classes de eventos foram computadas aplicando o método dos Percentis.



Frequência de Classes - Segunda Década



Frequência de Classes - Total

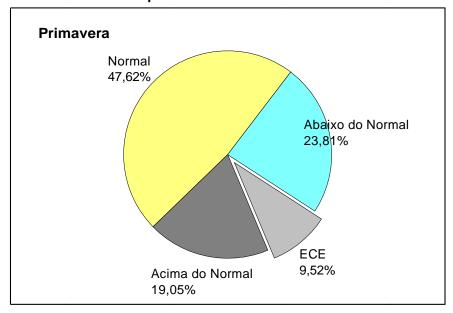


Figura 3.8 – Frequência de classes de eventos de descargas atmosféricas observadas no Primavera no Estado de Santa Catarina tendo por base histórica o período de 1998 a 2018. As classes de eventos foram computadas aplicando o método dos Percentis.

No Verão (Figura 3.5), a análise por décadas (1998 – 2007 e 2008 – 2018) revelou um aumento expressivo na incidência de Eventos Climáticos Extremos (ECE). Nos primeiros 10 anos de análise, não houve nenhum ECE e os eventos de descargas foram classificados com percentual de ocorrência de 60% dentro da faixa "Normal", 20% "Abaixo do normal" e 20% "Acima do normal". Já na segunda metade, foi observado um grande aumento dos ECE, de zero na primeira década para 18,18% e redução de eventos considerados "Normais". A Tabela 3.1 mostra que os eventos climáticos extremos dessa estação ocorreram nos sucessivos anos de 2015 e 2016. Eventos na classe "Abaixo do normal" também apresentaram um pequeno aumento de 20% na primeira década 36,36% na segunda década. Na análise de todo o período, os eventos que ocorreram na classe "Abaixo do normal" tiveram percentual em torno de 28,57% e dentro do "Normal" 42,86%. Já os eventos que excederam o limite do normal, sendo, portanto, classificados na categoria "Acima do normal" ocorreram com percentual de 19,05% e cerca de 9,52% foram "ECE".

A análise decadal para o Outono (Figura 3.6) revela um aumento de eventos classificados como "Normal" e "Abaixo do normal" com percentual de 40% para 54,55% e de 20% para 36,36%, respectivamente. Também ocorreu leve redução da classe "ECE" de 10 para 9,09. Apesar da classe "ECE" também ser considerada um evento anômalo positivo, a classe "Acima do normal", onde está localizada na faixa entre eventos normais e extremos, não foram observados eventos na segunda década. Uma vez que, os ECE permaneceram essencialmente constantes no período e considerando que não foi observado eventos acima do normal, pode-se concluir que a incidência de descargas no Estado ficou mais amena na segunda década nesta estação, com maior parte dos eventos com severidade próximo da média. Ao analisar todo o período, observaram-se que os eventos que ocorreram na classe "Abaixo do normal" obtiveram percentual de 28,57% e na classe "Normal", 47,62%. Já os eventos na categoria "Acima do normal" ocorreram com percentual de 14,29% e cerca de 9,52% foram classificados como "ECE".

Similarmente ao que foi observado no Verão, a análise decadal para o Inverno (Figura 3.7) não verificou a presença de ECE na primeira metade do período de análise. 50% dos eventos que ocorreram nesse período foram classificados como "Normal", 30% "Acima do normal" e 20% "Abaixo do normal". Porém, na década seguinte, foi observado a proeminência dos eventos climáticos extremos, os quais foram registrados nos anos de 2010 e 2014 (Tabela 3.1). Entretanto, os eventos na classe "Acima do normal" não foram observados nessa década. Eventos classificados como "Abaixo do normal" também apresentaram aumento durante o período, de 20% na primeira década para 36,36% na segunda. Na análise de todo o período, notou-se que os eventos classificados como "Abaixo do normal" totalizaram cerca de 28,57% e na classe "Normal" em torno de 47,62%. Os eventos "Acima do normal" ocorreram com percentual de 14,29% e cerca de 9,52% foram classificados como "ECE".

Na Primavera, observa-se que, na primeira década, cerca de 60% dos eventos de descarga foram classificados como "Normais", 20% na classe "Abaixo do normal", 10% "Acima do normal" e 10% como "ECE". Na segunda década, a frequência de eventos das classes "Abaixo do normal" e "Acima do normal" aumentou para 36,36% e 27,27%, respectivamente. Isso fez com que a frequência de eventos na classe "Normal" reduzisse, de 60% no primeiro período para 36,36% no segundo. Os ECE permaneceram constantes em ambos os períodos, com aproximadamente 10% dos casos. Estes eventos ocorreram nas primaveras de 2002 e 2015 (Tabela 3.1).

3.5. Tendências Regionais

A análise regional foi elaborada para identificar particularidades nas tendências de incidência de descargas atmosféricas sobre duas linhas de transmissão (LTs) de interesse nesse projeto: Itá-Salto Santiago, no Oeste do Estado, e Biguaçu-Blumenau na região Litorânea (Figura

3.9). Por praticidade e conveniência de escrita, daqui em diante a LT Itá-Salto Santiago será denominada simplesmente como LT Oeste e a LT Biguaçu-Blumenau, como LT Litoral, uma vez que as análises se referem à apenas essas duas LTs.

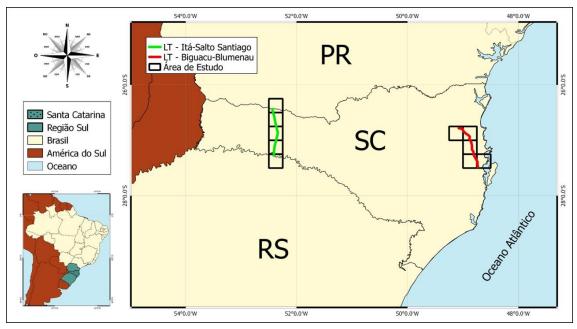
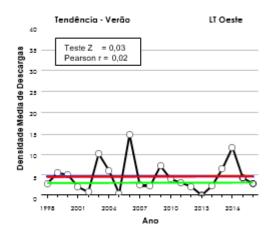


Figura 3.9 – Localização das LTs Itá-Salto Santiago (Oeste) e Biguaçu-Blumenau (Litoral) e as áreas utilizadas para o cálculo das tendências regionais.

3.5.1 Verão

A análise regional de tendências para o Verão revelou resultados consideravelmente diferentes em relação ao comportamento observado para todo o Estado. A Figura 3.10 mostra a série temporal de densidade de descargas atmosféricas para as LTs Oeste e Litoral, durante o período de 1998 a 2018.



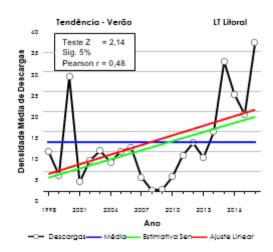


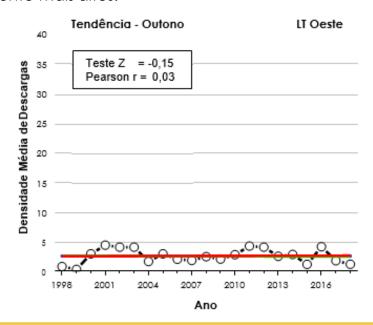
Figura 3.10 – Série temporal de densidade de descargas (descargas.km⁻².ano⁻¹) no Verão para as LTs Oeste e Litoral tendo por base histórica o período entre os anos de 1998 a 2018. A tendência foi analisada utilizando os testes de Mann-Kendall, estimativa Sen e Pearson.

Para a LT Oeste, observa-se uma larga variabilidade na densidade de descargas atmosféricas ao longo dos anos, porém, sem nenhuma tendência significativa, iustamente por causa da variação aproximadamente bianual observada, com exceção do período entre 2010 a 2014, onde os valores ficaram abaixo da média. Por outro lado, analisando os resultados para a LT Litoral, observa-se também uma alta variabilidade na densidade, porém com uma forte tendência de aumento (Z = 2,14 com significância estatística ao nível de 5%), claramente impulsionada pelo aumento da atividade de descargas atmosféricas a partir de 2014, quando todos os valores ficaram acima da média. Não se observa, nesse caso, a variação bianual dos dados, ao contrário, todos os valores anteriores a 2014 permaneceram abaixo da média, a exceção do ano 2000. Por fim, é importante destacar também a grande diferença nos valores absolutos de densidade entre as duas LTs (Oeste e Litoral). Na LT Oeste, para os anos em que se registrou valores de picos acima da média, todos eles apresentaram magnitude inferior (máximo de quase 16 descargas.km⁻².ano⁻¹) aos valores de pico acima da média da LT Litoral (máximo de quase 40 descargas.km⁻².ano⁻¹).

3.5.2 Outono

A análise regional de tendências para o Outono (Figura 3.11) não revelou resultados muito diferentes na incidência de descargas atmosféricas sobre as LTs em comparação com o comportamento geral do Estado de SC. No entanto, os comportamentos entre as duas LTs apresentaram diferenças significativas.

Enquanto que para a LT Oeste, os valores de densidade praticamente não variaram, não apresentando, portanto, qualquer tendência, os valores absolutos dos picos tiveram magnitudes bem inferiores (máximos menores que 5 descargas.km⁻².ano⁻¹) aos valores observados na LT Litoral (máximos superiores a 30 descargas.km⁻².ano⁻¹). Por outro lado, na LT Litoral, registrou-se uma leve tendência de queda (Z = -0,03) na atividade de descargas atmosféricas por conta dos valores de pico muito baixos em 2014 e 2016 comparados com as anomalias de 2001, 2007 e 2008. Um outro comportamento observado para a LT Litoral que merece destaque são os valores de densidade extremamente baixos nos anos de incidência abaixo da média (2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2015, 2017 e 2018). Para esses anos, os valores absolutos são todos inferiores aos valores registrados na LT Oeste. Isso mostra que a baixa atividade na LT Litoral representa praticamente um "switch off" na atividade de descargas atmosféricas, o que por sua vez não acontece na LT Oeste, onde os valores registrados nos períodos abaixo da média são relativamente mais altos.



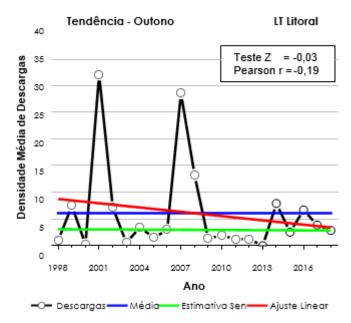


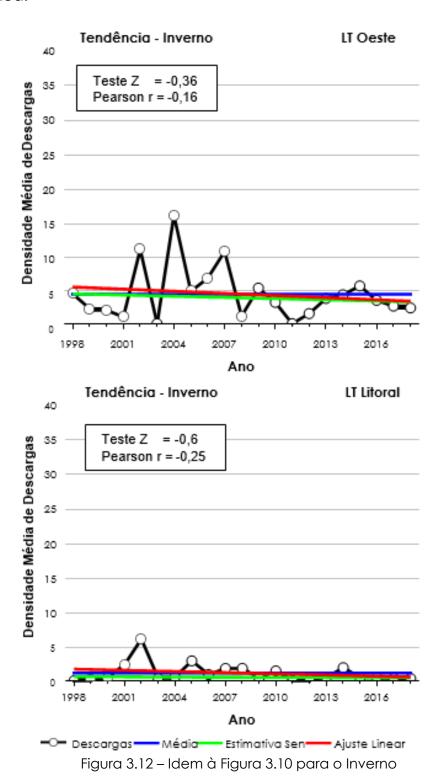
Figura 3.11 – Idem à Figura 3.10 para o Outono

3.5.3. Inverno

No Inverno, a análise regional de tendências (Figura 3.12) mostrou um comportamento oposto entre as LTs Oeste e Litoral em relação as estações anteriores. No Verão e Outono, a maior atividade de descargas atmosféricas (valores absolutos de densidade) ocorria na LT Litoral; no Inverno, a maior atividade ocorreu na LT Oeste.

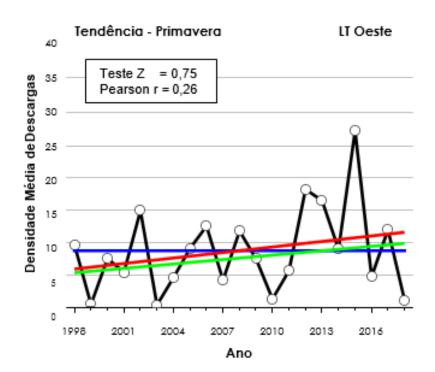
Na série histórica da LT Oeste observa-se valores de densidade de pico ultrapassando 10 descargas.km⁻².ano⁻¹ (nos anos de 2002, 2004 e 2007). No entanto, a variação ao longo do período apresentou uma leve tendência de redução (Z = -0,36). Novamente, observa-se uma certa variação bianual da atividade de descargas atmosféricas, principalmente na primeira metade do período (de 2001 a 2009), com valores de pico elevados. Na segunda metade do período (a partir de 2010), os valores de densidade oscilaram levemente ao redor média, permanecendo na maior parte dos anos abaixo da média. Por outro lado, para a LT Litoral não se observou nenhum comportamento específico da atividade de descargas atmosféricas. Os valores foram muito baixos em quase todo período, a exceção dos anos de 2002 e 2005 cujos valores de pico foram mais altos, porém registrando máximos inferiores a aproxidamente 6 descargas.km⁻².ano⁻¹. Nesse caso,

observou-se uma pequena tendência de queda na atividade de descargas atmosféricas (Z = -0.6), porém com baixa significância estatística.



3.5.4 Primavera

A Primavera (Figura 3.13), de forma semelhante ao Inverno, apresentou maior atividade e variação na ocorrência de descargas observadas na LT Oeste em comparação com a LT Litoral, embora em uma escala de magnitude maior, com valores de pico atingindo máximos de até 25 descargas.km⁻².ano⁻¹ durante a segunda metade do período analisado. Observa-se, para a LT Oeste, uma certa variação bianual (não contínua) os valores de densidade, além de uma pequena tendência de aumento na atividade de descargas (Z = 0,75). Para a LT Litoral, os valores de pico das densidades são cerca de duas vezes menores, com valores de pico atingindo máximos de até 10 descargas.km⁻².ano⁻¹. Observa-se também uma tendência moderada (Z = 1,21) no aumento da atividade de descargas atmosféricas nessa região, ainda que os valores de densidade não sejam elevados, de um modo geral.



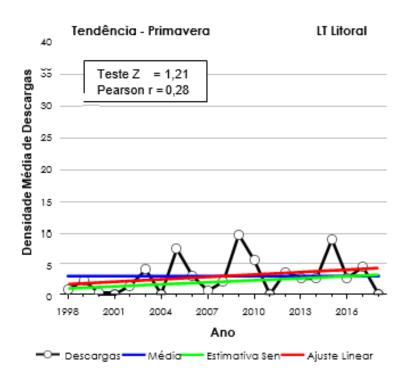


Figura 3.13 – Idem à Figura 3.10 para a Primavera

3.4.5 Frequência de Classes

A frequência de classes indica a distribuição temporal e a classificação da severidade dos eventos. A metodologia utilizada para essa classificação é a mesma utilizada na classificação dos eventos para todo o Estado de Santa Catarina e encontra-se descrita na Seção 2.2.3 deste relatório. Nesta Seção são classificados os eventos para as duas LTs de interesse (LT Oeste e LT Litoral) e os resultados de todos os eventos para todas as estações do ano encontram-se na Tabela 3.4. Graficamente, por uma questão de objetividade, foram apresentados somente os resultados mais relevantes, no caso, para as estações do Verão (LT Litoral) e Primavera (LTs Oeste e Litoral), os quais serão discutidos a seguir.

Tabela 3.4 – Frequência de classes de eventos de descargas atmosféricas para as LTs Oeste e Litoral tendo por base histórica o período de 1998 a 2018. A numeração representa as seguintes classes: 1 – Abaixo do normal; 2 – Normal; 3 – Acima do normal; 4 – Evento Climático Extremo (ECE).

FREQUÊNCIA DE CLASSES (%)

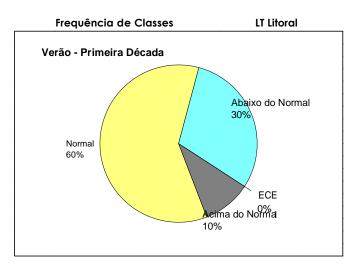
LT OESTE	1	2	3	4	LT LITORAL	1	2	3	4
VERÃO									
1° Década	30,00	40,00	20,00	10,00	1º Década	30,00	60,00	10,00	0,00
2º Década	27,27	45,45	18,18	9,09	2° Década	27,27	27,27	27,27	18,18
Total	28,57	42,86	19,05	9,52	Total	28,57	42,86	19,05	9,52
OUTONO									
1º Década	30,00	40,00	20,00	10,00	1º Década	30,00	30,00	20,00	20,00
2º Década	27,27	45,75	18,18	9,09	2º Década	27,27	54,55	18,18	0,00
Total	28,57	42,86	19,05	9,52	Total	28,57	42,86	19,05	9,52
INVERNO									
1° Década	30,00	30,00	20,00	20,00	1º Década	30,00	30,00	20,00	20,00
2º Década	27,27	54,55	18,18	0,00	2° Década	27,27	54,55	18,18	0,00
Total	28,57	42,86	19,05	9,52	Total	28,57	42,86	19,05	9,52
PRIMAVERA									
1º Década	40,00	40,00	10,00	10,00	1º Década	40,00	40,00	20,00	0,00
2º Década	18,18	45,45	27,27	9,09	2º Década	18,18	45,45	18,18	18,18
Total	28,57	42,86	19,05	9,52	Total	28,57	42,86	19,05	9,52

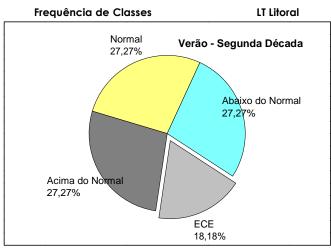
No Verão, para a LT Litoral, durante a primeira década de análise, a maioria dos eventos (60%) foram classificados como "Normal", enquanto 30% deles foram "Abaixo do Normal" e 10% ficaram "Acima do Normal", conforme mostra a Figura 3.14. Já na segunda década, essa distribuição muda drasticamente. A quantidade de eventos classificados como "Normais" diminuiu pela metade (pouco menos de 30%) e eventos "Acima do Normal" passaram para 27%, sendo 18% deles classificados como ECEs, classe que não havia sido obtida na primeira década.

Na Primavera, a LT Oeste apresentou uma distribuição com 80% dos eventos de pouca severidade durante a primeira década

("Normal" e "Abaixo do Normal"), conforme mostra a Figura 3.15. Apenas 10% deles foram classificados como "Acima do Normal" e outros 10% como ECEs. Durante a segunda década, no entanto, a quantidade de eventos "Acima do Normal" quase triplicou, passando para cerca de 30%, e eventos classificados como "Abaixo do Normal" reduziram para, aproximadamente, 20%. Já a frequência de ECEs permaneceu essencialmente a mesma. Para a LT Litoral, por sua vez, observou-se um comportamento similar, com a maioria dos eventos (80%) com baixa severidade, sem nenhum registro de ECEs, na primeira década, conforme mostra a Figura

3.16. Na segunda metade do período, no entanto, observou-se cerca de 20% de eventos classificados como ECEs e uma redução dos eventos classificados como "Abaixo do Normal" para cerca de 20%, indicando que este período apresentou maior severidade de eventos com descargas atmosféricas.





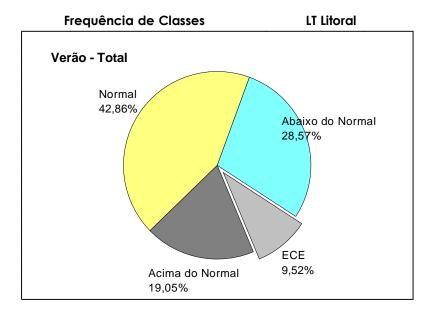
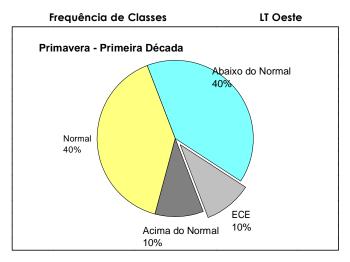
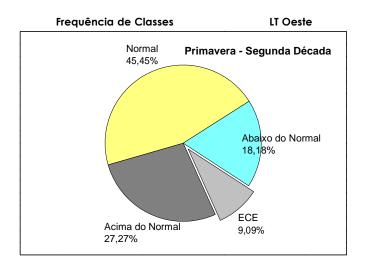


Figura 3.14 – Frequência de classes de eventos de descargas atmosféricas observadas para a LT Litoral no Verão, tendo por base histórica o período de 1998 a 2018. As classes de eventos foram computadas aplicando o Método dos Percentis.





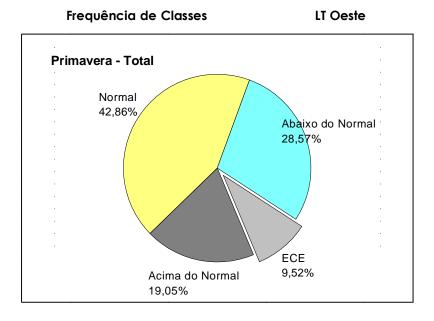
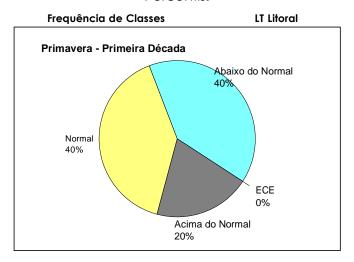
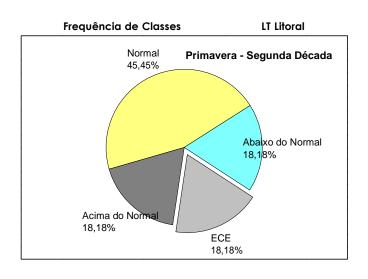


Figura 3.15 – Frequência de classes de eventos de descargas atmosféricas observadas para a LT Oeste na Primavera, tendo por base histórica o período de 1998 a 2018. As classes de eventos foram computadas aplicando o Método dos Percentis.





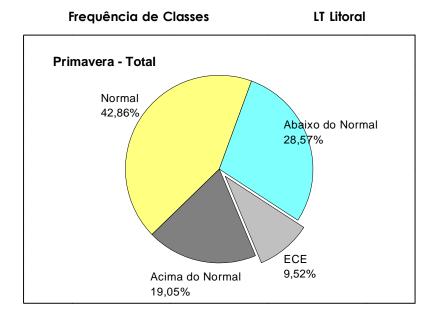


Figura 3.16 – Idem à Figura 3.16 para a LT Litoral

4. CONCLUSÕES

O presente relatório apresentou os resultados obtidos no Produto II deste projeto, compreendendo a análise da variabilidade espaçotemporal da ocorrência de descargas no Estado de Santa Catarina, em escala sazonal, tendo por base histórica o período de 1998 a 2018.

Concluiu-se que, na análise espacial, o Verão apresentou a maior densidade de descargas na região Nordeste, Vale do Itajaí e áreas da Grande Florianópolis até a porção norte do Sul do Estado. Nessas áreas encontram-se diversas linhas de transmissão da Eletrosul. No Inverno e na Primavera, a região de máxima densidade de descargas é contrária ao padrão do Verão e os máximos ocorrem no oeste de Santa Catarina e reduz gradativamente à medida que se aproxima do litoral. Vale destacar que no Oeste também há uma concentração de linhas de transmissão da Eletrosul. Já o Outono apresentou-se com uma estação de transição entre os máximos de Verão nas regiões Norte, Vale do Itajaí e parte da Grande Florianópolis e os máximos de Inverno sobre o Oeste de Santa Catarina.

Na análise temporal, verificou-se que o Estado apresenta basicamente duas estações, uma de maior atividade elétrica entre a Primavera e o Verão e a outra de menor atividade elétrica entre o Outono e o Inverno. Os testes de tendência reportaram leve aumento

na ocorrência de descargas nas estações do Verão e Primavera e pequena redução no Outono e Inverno considerando a série histórica de dados de 20 anos.

Os mapas de anomalias mostraram que os eventos anômalos vêm ocorrendo em regiões específicas do Estado, e desta forma sugerese que futuramente sejam realizados estudos regionais de tendência para Santa Catarina, visando identificar peculiaridades regionais do clima atual.

O estudo de frequência de classes indicou uma leve tendência de aumento na frequência dos eventos "Acima do normal" e "ECE" no Verão e na Primavera. Por outro lado, no Outono e Inverno, observou-se uma leve redução na frequência dessas classes.

Com relação às analises regionais, foram estudadas duas linhas de transmissão (LTs) específicas de interesse da Eletrosul: a LT Itá-Salto Santiago, denominada simplesmente como LT Oeste, e a LT Biguaçu-Blumenau, denominada como LT Litoral. O estudo das séries temporais de densidade de descargas atmosféricas para o período de 1998 a 2018 mostrou que, no Inverno e no Outono, a atividade de descargas permaneceu neutra para ambas LTs, sem qualquer tendência de aumento ou redução na atividade de descargas.

Por outro lado, no Verão, observou-se uma tendência significativa no aumento na atividade de descargas (Z = 2,14) para a LT Litoral, fato que foi confirmado pela análise da frequência das classes de eventos, onde a segunda década do período registrou um aumento significativo da quantidade de eventos de maior severidade ("Acima do Normal" e ECE), passando de 10% para cerca de 45%. Na Primavera, de forma similar, observou-se que a atividade de descargas tanto na LT Oeste como na LT Litoral apresentou tendências moderadas de aumento (Z = 0,75 e Z = 1,21, respectivamente), o que foi comprovado pela análise da frequência de classes, onde a segunda década do período registrou um aumento na quantidade de eventos de maior severidade, passando de 20% para pouco mais de 35%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. NBR-5419-2:2015. **Proteção contra descargas atmosféricas. Parte 2: Gerenciamento de risco**, Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 104 p., ISBN 978-85-07-05502-0, 2015
- ATKINSON, B. W. **Mesoescale Atmospheric Circulations**. London Academic Press, 495 p., 1981.
- AZAMBUJA, R. Estudo da atividade de relâmpagos na região Sul do Brasil a partir de dados de sistema de detecção. Tese (Doutorado), p. 47, 2017.
- BRAGA, M F S; KRUSCHE, N. Padrão de Ventos em Rio Grande, RS, no período de 1992 a 1995. **Revista Atlântica**, Rio Grande, v. 22, p. 27-40, 2000.
- BRITTO, F. P.; SARAIVA, J. M. B. Estudo da Precipitação Associada aos sistemas frontais na cidade do Rio Grande na estação de Inverno. **Geografia em Atos**, UNESP-Presidente Prudente, v. 1, n. 3, p. 107-122, 2001.
- CAVALCANTI, I. F.A. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2009.
- FAN, X.; WANG, M. Change trends of air temperature and precipitation over Shanxi Province, China. **Theoretical and applied climatology**, v. 103, n. 3-4, p. 519-531, 2011.
- GILBERT, R.O. **Statistical methods for environmental pollution monitoring**. New York: Van Nostrand Rienhold Company, Inc., 1987. 320 p.
- GOOSSENS, C.; BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. **Annales Geophysicae**, Berlin, v.4, n. B4, p.385-400, 1986.
- KENDALL, M.G. **Rank correlation methods.** 4. ed. London: Charles Griffin, 1948.
- LEMOS, C. F.; CALBETE, N. O. Sistemas Frontais que Atuaram no Litoral de 1987 a 1995. In **Climanálise Especial de 10 anos**. CPTEC, 1996.
- MANN, H.B. Non-parametric tests against trend. **Econometric**a, 1945, 13p.
- OLIVEIRA, R.A.J. Análises das tendências da precipitação sobre o Brasil e impactos do desmatamento no regime de chuvas na Amazônia Legal. 2011. 120 p. IBI: <8JMKD3MGP8W/3AU5T4P>. (sid.inpe.br/mtc-m18/2011/12.08.10.56-TDI). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011. Disponível em: http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/3AU5T4P>.

- PINKAYAN, S. Conditional probabilities of occurrence of wet and dry years over a large continental area. Fort-Collins: Colorado State University, 1966. 54p. (Hydrology Papers, 12).
- RODRIGUES, M. L. G.; FRANCO, D.; SUGAHARA, S. Climatologia de Frentes Frias no Litoral de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.22, n. 2, p. 135-151, 2004.
- SALMI, T.; MÄÄTTÄ, A.; ANTTILA, P.; RUOHO-AIROLA, T.; AMNELL, T.

 Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the

 Mann-Kendall test and Sen's slope estimates the Excel template
 application MAKESENS. Helsinki, 2002. (Publications on Air Quality No.
 31, Report code FMI-AQ-31).
- SANTOS, A. P. P. D.; SOUZA, J. R. S. D.; SOUZA, E. B. D.; CARMO, A. D. M. C. D.; RIBEIRO, W. M. D. N. Electric systems failures produced by CG lightning in Eastern Amazonia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. SPE, p. 31-40, 2014.
- SANTOS, A. P. P.; ARAGÃO, M. R. D. S.; CORREIA, M. D. F.; SANTOS, S. R. Q. D.; SILVA, F. D. D. S.; ARAÚJO, H. A. D. Precipitation in Salvador city: temporal variability and classification in quantis. **Revista Brasileira de Meteorologia**, (AHEAD), v. 31, n. 4, 454-467, 2016a.
- SANTOS, A. P. P.; PINTO JÚNIOR, O.; SOUZA, E. B.; AZAMBUJA, R.; SANTOS, S. R. Q. Spatiotemporal variability and identify Extreme Events of Lightning in the State of São Paulo during the Summer. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 2, 2016b.
- SANTOS, A. P. P.; PINTO JÚNIOR, O.; SOUZA, E. B.; AZAMBUJA, R.; LIMA, F. J. L.; SANTOS, S. R. Q. Eventos climáticos extremos de descargas atmosféricas sobre o Estado de São Paulo. Parte I: aspectos anuais e sazonais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 5, p. 1346-1356, 2016c.
- SANTOS, A. P. P.; PINTO JÚNIOR, O.; SOUZA, E. B.; AZAMBUJA, R.; LIMA, F. J. L.; SANTOS, S. R. Q. Eventos climáticos extremos de descargas atmosféricas sobre o Estado de São Paulo. Parte II: Aspectos mensais e frequências em múltiplas escalas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 5, p. 1346-1356, 2016d.
- SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. **Journal of the American Statistical Association**, v. 63, n. 324, p. 1379-1389, 1968.
- SILVA, W. L.; DERECZYNSKI, C. P. Caracterização climatológica e tendências observadas em extremos climáticos no Estado do Rio de Janeiro. **Anuário do Instituto de Geociências**, n. 37, p. 123-138, 2014.

- SNEYERS, R. Sur L'analyse Statistique des Series Dóbservations.Gênevè: Organisation Méteorologique Mondial: 192 p., 1975.
- XAVIER, T. M. B. S. A técnica dos quantis e suas aplicações em meteorologia, climatologia e hidrologia, com ênfase para as regiões brasileiras. Brasília: Thesaurus, 2002. 140p.
- XAVIER, T. M. B. S. Caracterização de períodos secos ou excessivamente chuvosos no Estado do Ceará através da Técnica dos Quantis: 1964-1998. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.14, p. 63-78, 1999.