



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Jéssica Aurora Bernardo

**ESTUDO DE INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA USANDO
SENSORIAMENTO REMOTO E DADOS DE SUPERFÍCIE EM FLORIANÓPOLIS/SC**

Florianópolis

2023

Jéssica Aurora Bernardo

**ESTUDO DE INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA USANDO
SENSORIAMENTO REMOTO E DADOS DE SUPERFÍCIE EM FLORIANÓPOLIS/SC**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como pré-requisito para a obtenção do título de Mestra em Engenharia Ambiental.
Orientadora: Profa. Alexandra Rodrigues Finotti, Dra.
Coorientadora: Profa. Patrícia Kazue Uda, Dra.

Florianópolis

2023

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

Bernardo, Jéssica Aurora

ESTUDO DE INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA USANDO
SENSORIAMENTO REMOTO E DADOS DE SUPERFÍCIE EM
FLORIANÓPOLIS/SC / Jéssica Aurora Bernardo ; orientador,
Alexandra Rodrigues Finotti, coorientador, Patrícia Kazue
Uda, 2023.

105 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Ambiental. 2. Chuvas intensas. 3. Relações
IDF. 4. Sensoriamento remoto. 5. Análise de tendência. I.
Finotti, Alexandra Rodrigues . II. Uda, Patrícia Kazue .
III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. IV. Título.

Jéssica Aurora Bernardo

Estudo de intensidade, duração e frequência usando sensoriamento remoto e dados de superfície em Florianópolis/SC

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 09 de fevereiro de 2023, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Otto Corrêa Rotunno Filho, Dr.
Instituição UFRJ

Profa. Maria Elisa Magri, Dra.
Instituição UFSC

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestra em Engenharia Ambiental.

Insira neste espaço a
assinatura digital

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Insira neste espaço a
assinatura digital

Profa. Alexandra Rodrigues Finotti, Dra.
Orientadora

Insira neste espaço a
assinatura digital

Profa. Patrícia Kazue Uda, Dra.
Coorientadora

Florianópolis, 2023.

In Memoriam de Meu Pai, Nivaldo João Bernardo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina, por me proporcionar ensino público e de qualidade durante todos os anos de graduação e de mestrado. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) pela bolsa de estudos que tornou este trabalho possível.

A minha orientadora, Profa. Alexandra Rodrigues Finotti, pelas oportunidades a mim ofertadas dentro do LAUTEC e por não ter desistido de mim, estendendo seu apoio e compreensão em inúmeras etapas desse processo.

Sou imensamente grata a minha coorientadora, Profa. Patrícia Kazue Uda, pela sua escuta, acolhimento e orientação. Sua dedicação e gentileza são exemplos a serem seguidos e me sinto imenso orgulho em partilhar minha trajetória contigo.

Aos Membros da banca: Profa. e Coord. Maria Elisa Magri, por me enxergar e me fazer acreditar que a pós-graduação precisava de pessoas como eu e com a minha vivência, sendo sempre doce, competente e assertiva; e ao Prof. Otto Correa Rotunno Filho, por suas contribuições valiosas com absoluta educação e gentileza.

Aos amigos consolidados dentro do PPGA, Gabriel Anzolin (um agradecimento mais que especial para esse amigo que divide linha de pesquisa comigo e foi sensacional no aporte a minhas dúvidas, reconhecendo meus processos), Alondra Perez, Thays Tsuji, Saman Belizário e Bianca Meotti, por me apoiarem no desenvolvimento da pesquisa, dividirem dúvidas e anseios, cafés e momentos que fazem tudo ficar mais leve.

Aos meus amigos Karol, Diego, Amanda, Fernando, Marcos, Maria Teresa e Matheus por me fazerem acreditar que eu sou sempre suficiente e sempre capaz. Por entenderem e acolherem minhas dores e por acreditarem em mim em momentos que nem eu mesma acreditei. Vocês são minha família.

Ao meu namorado Leonardo por todo acolhimento, por revisar meus textos e reduzir meus problemas com virgulas drasticamente. Por ser meu lugar seguro e estar sempre disposto a fazer da minha caminhada mais leve.

Agradeço a minha mãe Taciana por ter me apoiado a dar continuidade nos estudos e acreditar sempre no meu potencial.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para minha formação pessoal e acadêmica e a todas as famílias que foram por algum tempo minha família. Minha vitória também é de vocês.

Eu não estou aceitando as coisas que eu não posso mudar,
estou mudando as coisas que eu não posso aceitar.

Angela Davis

RESUMO

O conhecimento sobre a intensidade de eventos de precipitação de curta duração são fundamentais ao dimensionamento de estruturas hidráulicas e sistemas de manejo de águas pluviais. Logo, manter atualizada a relação intensidade-duração-frequência (IDF) para a chuva é fundamental ao processo de planejamento e gerenciamento de áreas urbanas. Devido à lacunas quanto à produção de relações IDF com a incorporação de histórico mais recente de eventos de precipitação para a cidade de Florianópolis, faz-se necessária a elaboração de novos estudos de chuvas intensas a partir de fontes potenciais e diversas de dados. Nesse sentido, o objetivo deste estudo é estabelecer relações IDF que caracterizem o município de Florianópolis/SC, testando a aplicabilidade de produto de sensoriamento remoto e de dados observados pouco aplicados na elaboração de relações IDF e análises de tendência de precipitação. Mais especificamente, avaliou-se o desempenho do produto de satélite CHIRPS, em escala diária (Pd) e diária máxima anual (Pd_{ma}), por meio do coeficiente de determinação (R^2), viés percentual (PBIAS), raiz do erro quadrático médio (REQM) e raiz do erro quadrático médio normalizado (REQMN), tomando como referência dados observados de doze (12) estações pluviométricas. Os dados das estações pluviométricas com porcentagem de falhas inferior a 20% foram aplicados na elaboração de novas relações IDF para o município, com aplicação do método de desagregação para durações entre 5 minutos e 24h, e períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos. As relações IDF estabelecidas para o município em 2014 foram empregadas como referencial de comparação para durações de 5, 30 e 120 minutos e períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos. Para avaliar possíveis tendências e a magnitude de sua inclinação, foram aplicados o teste de Mann-Kendall e os testes de curvatura de Sen e de regressão linear nas séries de precipitações máximas diárias anuais (Pd_{ma}). Os coeficientes utilizados para comparar observações *in situ* com as estimativas de precipitação CHIRPS correspondentes, indicam baixo desempenho na caracterização de eventos de precipitação em escala diária e nas séries de máximas anuais. Eventos de precipitação de mesma duração e período de retorno calculados com a relação IDF atual, realizada com os dados da estação INMET (83879), apresentam erro percentual entre os valores de intensidade, variando entre 11, 18% e 67, 28%, quando comparadas às relações IDF estabelecidas em 2014 para a mesma estação pluviométrica. Diante dos resultados obtidos, novas equações IDF são propostas para a região de estudo, com uso de dados específicos para as regiões central, norte e sul de Florianópolis. Quanto à presença de tendência nas séries temporais de chuva, identificaram-se mudanças estatisticamente significativas, no nível de 95%, em algumas das estações pluviométricas analisadas.

Palavras-chave: Chuvas intensas. Relações IDF. Sensoriamento remoto. Análise de tendência. Teste de Mann-Kendall.

ABSTRACT

Knowledge about the intensity of short duration rainfall events is fundamental to the design of hydraulic structures and stormwater management systems. Therefore, keeping the intensity-duration-frequency relationship (IDF) for rainfall up to date is fundamental to the planning and management process in urban areas. Due to the gaps in the production of IDF relations with the incorporation of more recent history of precipitation events for the city of Florianópolis, it is necessary to develop new studies of intense rainfall from potential and diverse data sources. In this sense, the objective of this study is to establish IDF relationships that characterize the city of Florianópolis/SC, testing the applicability of remote sensing product and observed data little applied in the elaboration of IDF relationships and precipitation trend analysis. More specifically, the performance of the CHIRPS satellite product was evaluated, at daily (Pd) and daily maximum annual (Pd_{ma}) scale, through the coefficient of determination (R^2), percentage bias (PBIAS), root mean square error (REQM) and root mean square error normalized (REQMN), taking as reference observed data from twelve (12) rainfall stations. The data from rainfall stations with a failure percentage lower than 20% were applied to the elaboration of new IDF relations for the municipality, with application of the disaggregation method for durations between 5 minutes and 24h, and return periods of 2, 5, 10, 25, 50 and 100 years. The IDF relationships established for the county in 2014 were employed as a benchmark for comparison for durations of 5, 30, and 120 minutes and return periods of 2, 5, 10, 25, 50, and 100 years. To evaluate possible trends and the magnitude of their slope, the Mann-Kendall test and Sen's curvature and linear regression tests were applied to the annual maximum daily precipitation (Pd_{ma}) series. The coefficients used to compare in situ observations with the corresponding CHIRPS precipitation estimates indicate poor performance in characterizing daily scale precipitation events and in the annual maximums series. Precipitation events of the same duration and return period calculated with the current IDF relationship, performed with data from the INMET station (83879), show percentage error between intensity values, ranging from 11, 18% to 67, 28%, when compared to the IDF relationships established in 2014 for the same rainfall station. Given the results obtained, new IDF equations are proposed for the study region, using specific data for the central, northern and southern regions of Florianópolis. Regarding the presence of a trend in the rainfall time series, statistically significant changes were identified at the 95% level in some of the rainfall stations analyzed.

Keywords: Heavy rainfall. IDF Relationships. Remote sensing. Trend analysis. Mann-Kendall test.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Fluxograma metodológico..... | 32 |
| Figura 2 - Mapa de localização do município de Florianópolis. | 34 |
| Figura 3 - Distribuição das Regiões e Distritos Administrativos de Florianópolis. | 35 |
| Figura 4 - Precipitação total anual Florianópolis-INMET entre 1962 e 2022..... | 36 |
| Figura 5 - Precipitação média mensal Florianópolis INMET entre 1962 e 2022..... | 36 |
| Figura 6 - Espacialização de características do relevo de Florianópolis..... | 38 |
| Figura 7 - Localização das estações pluviométricas e grade de pixel do CHIRPS. | 40 |
| Figura 8 - Porcentagem de falhas no período de observação por estação pluviométrica. | 54 |
| Figura 9 - Curva de dupla massa Grupo 1..... | 58 |
| Figura 10 - Curva de dupla massa Grupo 2..... | 59 |
| Figura 11 - Correlação diária entre observações <i>in situ</i> e as estações virtuais CHIRPS. | 60 |
| Figura 12 - Séries de Pdma de observações <i>in situ</i> e suas estações virtuais CHIRPS correspondentes | 64 |
| Figura 13 - Correlação entre as Pdma's das estações pluviométricas e as estações virtuais CHIRPS..... | 71 |
| Figura 14 - Curvas IDF por estação pluviométrica para durações de 5 minutos a 120 minutos... 78 | |
| Figura 15 - Curvas IDF por estação pluviométrica para durações de 120 minutos a 1440 minutos..... | 79 |
| Figura 16 - Curvas IDF por estação pluviométrica para durações de 5 minutos a 1440 minutos. .. | 80 |
| Figura 17 - Comparativo entre Curvas IDF estimadas por Back 2014 e Atualizadas para Florianópolis-São José. | 82 |
| Figura 18 - Curvas IDF estimadas por Back (2014) em comparação as estabelecidas para estação pluviométrica Florianópolis-CETRE..... | 84 |
| Figura 19 - Curvas IDF estimadas por Back (2014) em comparação as estabelecidas para estação pluviométrica Carijos..... | 85 |
| Figura 20 - Curvas IDF estimadas por Back (2014) em comparação as estabelecidas para estação pluviométrica Aeroporto | 86 |
| Figura 21 - Comportamento da variação interanual da série de Pdma das estações pluviométricas de acordo com seus períodos de observação. | 90 |
| Figura 22 - Comportamento da variação interanual da série de Pdma Aeroporto com relação a média entre as máximas. | 91 |
| Figura 23 - Gráfico de tendência de precipitação diária máxima anual por estação pluviométrica. | 92 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Síntese de estudos relevantes realizados no Brasil com produtos de sensoriamento remoto. | 11 |
| Tabela 2 - Síntese de estudos relevantes realizados no exterior com produtos de sensoriamento remoto. | 14 |
| Tabela 3 - Parâmetros das equações IDF para Florianópolis -SC | 31 |
| Tabela 4 - Vento predominante ao longo dos meses entre 1996 e 2011..... | 37 |
| Tabela 5 - Relação dos pluviômetros com séries disponíveis para análise..... | 39 |
| Tabela 6 - Dados das estações pluviométricas e estações virtuais CHIRPS. | 41 |
| Tabela 7 - Classificação dos indicadores estatísticos de desempenho..... | 43 |
| Tabela 8 - Fatores de desagregação sub-diários. | 48 |
| Tabela 9 - Resumo dos coeficientes de correlação para dados diários. | 62 |
| Tabela 10 - Indicadores estatísticos de desempenho para precipitação diária. | 62 |
| Tabela 11 - Resumo dos coeficientes de correlação para as séries de Pdma. | 73 |
| Tabela 12 - Indicadores estatísticos de desempenho para as séries de Pdma por estação. | 73 |
| Tabela 13 - Tamanho das séries de dados analisadas. | 74 |
| Tabela 14 - Análise de frequência Pdma por estação pluviométrica. | 75 |
| Tabela 15 - Ajuste das distribuições de probabilidade por estação pluviométrica..... | 76 |
| Tabela 16 - Parametros e índices de ajuste das equações IDF por estação para durações de 5 minutos a 120 minutos. | 77 |
| Tabela 17 - Parametros e índices de ajuste das equações IDF por estação para durações de 120 minutos a 1440 minutos. | 77 |
| Tabela 18 - Parametros e índices de ajuste das equações IDF por estação para durações de 5 minutos a 1440 minutos. | 77 |
| Tabela 19 - Comparativo de intensidade de precipitação em mm/h entre a equação IDF atual e a estimada por Back (2014) para Florianópolis-São José. | 83 |
| Tabela 20 - Comparativo de intensidade de precipitação em mm/h entre a equação IDF de Florianópolis-CETRE e a estimada por Back (2014) para Florianópolis-São José..... | 86 |
| Tabela 21 - Comparativo de intensidade de precipitação em mm/h entre a equação IDF de Carijós e a estimada por Back (2014) para Florianópolis-São José. | 87 |
| Tabela 22 - Comparativo de intensidade de precipitação em mm/h entre a equação IDF do Aeroporto e a estimada por Back (2014) para Florianópolis-São José..... | 87 |
| Tabela 23 - Resultado dos testes estatísticos não paramétricos para Pdma das estações pluviométricas de Florianópolis. | 89 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA - Agência Nacional de Água

CEDEP - Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais ligado ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CHIRP - Climate Hazards Group IR Precipitation

CHIRPS - Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations

CHPClim - Climate Hazards Group's Precipitation Climatology

DNMET - Departamento Nacional de Meteorologia

GEV - Generalizada de Valores Extremos

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDF - Intensidade-Duração-Frequência

IDW - Inverse Distance Weighted – Ponderação do Inverso da Distância

INEMA - Instituto do meio Ambiente e recursos hídricos

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

IRP - Precipitação infravermelha

KS - Teste estatístico não paramétrico Kolmogorov-Smirnov

LAUTEC - Laboratório de Águas Pluviais Urbanas e Técnicas Compensatórias

NERC - National Environmental Research Council

PBMC - Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas

PDMA - Precipitações diárias máximas

PMP - Precipitação máxima provável

PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

SEDEC - Secretaria Nacional de Defesa Civil

SMA - Séries de máximos anuais

TRMM - Tropical Rainfall Measuring Mission

UCSB - Climate Hazards Group at the University of California

USGC - United States Geological Survey

WMO - Organização Mundial de Meteorologia

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 | PERGUNTA DE PESQUISA, HIPOTHESES E OBJETIVOS | 2 |
| 1.1.1 | Perguntas de pesquisa..... | 3 |
| 1.1.2 | Hipóteses da dissertação | 3 |
| 1.2 | OBJETIVO GERAL | 3 |
| 1.2.1 | Objetivos Específicos | 3 |
| 1.3 | JUSTIFICATIVA | 4 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 6 |
| 2.1 | CHUVAS INTENSAS..... | 6 |
| 2.1.1 | Relações IDF | 7 |
| 2.1.2 | Determinação de relações IDF com observações insuficientes..... | 8 |
| | <i>Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS).....</i> | <i>20</i> |
| 2.2 | ANÁLISE DE FREQUÊNCIA | 21 |
| 2.2.1 | Verificação de dados amostrais | 22 |
| | <i>Testes de hipóteses não-paramétricos</i> | <i>23</i> |
| 2.2.2 | Distribuições probabilísticas | 24 |
| 2.2.3 | Testes de aderência | 25 |
| 2.3 | ANÁLISE DE TENDÊNCIA..... | 26 |
| 2.4 | ESTUDOS DE CHUVAS INTENSAS E RELAÇÕES IDF PARA FLORIANÓPOLIS | 27 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS..... | 32 |
| 3.1 | ÁREA DE ESTUDO | 34 |
| 3.2 | OBTENÇÃO DE DADOS E CONTROLE DE QUALIDADE | 38 |
| 3.2.1 | Obtenção dos dados | 38 |
| 3.2.2 | Análise de consistência das observações | 41 |
| 3.2.3 | Avaliação estatística de desempenho do produto CHIRPS | 42 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.2.4 | Testes não paramétricos para análise de frequência | 43 |
| 3.2.5 | Ajuste da distribuição probabilística | 45 |
| | <i>Log-normal</i> | 45 |
| | <i>Gumbel</i> 46 | |
| | <i>Weibull</i> 46 | |
| | <i>Generalizada de valores extremos (GEV)</i> | 47 |
| 3.2.6 | Aderência dos dados à distribuição..... | 47 |
| 3.2.7 | Desagregação das chuvas diárias em sub-diárias | 48 |
| 3.2.8 | Obtenção das relações IDF | 48 |
| 3.3 | AVALIAÇÃO DE ESTIMATIVAS DE CHUVAS INTENSAS DE FLORIANÓPOLIS OBTIDAS POR DIFERENTES METODOLOGIAS..... | 49 |
| 3.4 | ANÁLISE DE TENDÊNCIA NO REGIME DE CHUVAS AO LONGO DO TEMPO 50 | |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 53 |
| 4.1 | ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DAS OBSERVAÇÕES | 53 |
| 4.2 | ANÁLISE DE DESEMPENHO DO PRODUTO CHIRPS..... | 59 |
| 4.3 | ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DA PDMA..... | 75 |
| 4.4 | RELAÇÕES IDF | 76 |
| 4.5 | COMPARAÇÃO ENTRE RELACIONAMENTOS IDF PRÉ ESTABELECIDAS E ATUALIZADAS PARA FLORIANÓPOLIS | 82 |
| 4.6 | ANÁLISE DE TENDÊNCIA..... | 89 |
| 5 | CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 95 |
| | REFERÊNCIAS | 98 |

1 INTRODUÇÃO

A distribuição espacial da chuva é extremamente complexa e desafiadora, sendo que cerca de 70-80% das incertezas associadas a processos hidrológicos terrestres são atribuídas a sua alta variabilidade espaço-temporal (SYED *et al.*, 2004). As mudanças climáticas em curso acabam atribuindo um maior grau de dificuldade no entendimento desses processos, dado que fenômenos climáticos anômalos alteram o regime de chuva trazendo consigo uma série de problemas associados às águas pluviais urbanas (PBMC, 2016; CALDEIRA; LIMA, 2020).

Por essa razão, a obtenção de dados hidrometeorológicos de qualidade, com cobertura espacial e temporal adequadas são a componente chave em estudos de modelagem hidrológica, previsão de escoamento superficial, previsão de desastres naturais e gerenciamento de risco, subsidiando diversos instrumentos de planejamento urbano (SOARES; PAZ; PICCILLI, 2016).

O dimensionamento de estruturas hidráulicas e sistemas de manejo de águas pluviais geralmente baseia-se em dados de chuvas intensas, em função da aplicação das relações intensidade, duração e frequência (IDF) na estimativa das vazões de projeto, de modo que manter as relações IDF atualizadas é fundamental ao processo de planejamento e gerenciamento de áreas urbanas.

Construídas a partir de séries temporais de chuva, as relações IDF representam de forma simples a intensidade máxima de uma chuva, de acordo com sua duração e frequência. Contudo, a criação e atualização dessas relações acaba sendo comprometida, devido ao número reduzido ou até mesmo inexistente de redes de monitoramento pluviométrico contínuo nos municípios (BACK, 2006; FECHINE SOBRINHO *et al.*, 2014; SOARES; PAZ; PICCILLI, 2016; BASSO; ALLASIA; TASSI, 2019).

Uma alternativa para obter dados de chuva com maior cobertura territorial e estimar as relações de intensidade, duração e frequência seria a partir da utilização de séries históricas obtidas por meio de sensoriamento remoto. Esses produtos de precipitação possuem alta resolução espacial e temporal, acesso livre de custos e uma vasta gama de observações, sendo vistos como boas alternativas às observações terrestres para fornecer e promover estudos no campo da hidrologia (COLLISHONN; COLLISHONN; TUCCI, 2015).

Florianópolis tem se mostrado um município de elevada vulnerabilidade ambiental. Posicionada sobre a zona costeira, especificamente com parte de seu território em uma ilha oceânica, apresenta uma maior susceptibilidade a elevações de níveis, mudanças na distribuição de chuvas, alteração no comportamento dos ventos e ondas e ao aumento nos extremos

climáticos (PBMC, 2016). Além disso, a região é frequentemente afetada por anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM), com atuação de eventos de El Niño, La Niña, Oscilação decadal do Pacífico, entre outros fenômenos, que produzem fortes variabilidade de precipitação interanual (GRIMM; BARROS; DOYLE, 2000).

Segundo levantamento realizado por meio da Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC), em parceria com a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), a capital catarinense ocupa a 6^o posição entre os locais mais atingidos por desastres naturais no país, tendo registrado um número significativo de eventos de enxurradas, inundação, erosão e movimentos de terra dentro do período de 1991 e 2012 (CEDEP, 2013).

Atualmente, grande parte dos estudos de chuvas intensas conduzidos na capital, a exemplo de Back (2002), Pompêo e Hack (2003) e Fragoso Jr (2004), utilizam séries históricas oriundas de uma estação meteorológica do município adjacente (São José), o que pode trazer limitações quanto a representatividade das relações IDF na caracterização das chuvas.

Diante desse cenário, esta pesquisa busca estabelecer novas relações IDF para o município de Florianópolis/SC, avaliando a aplicabilidade do produto de sensoriamento remoto CHIRPS a estudos de chuvas intensas, bem como realizar uma análise de tendência nas séries históricas de precipitação, com o objetivo de identificar possíveis mudanças no regime de chuvas.

Esse trabalho da continuidade aos estudos de chuvas intensas realizados por Bernardo (2020), aprimorando a metodologia de obtenção de relações IDF para o município de Florianópolis/SC, explorando fontes alternativas dados e considerando o contexto de mudanças climáticas sobre eventos extremos de precipitação.

O desempenho de produtos de sensoriamento remoto em municípios costeiros brasileiros para estudos de chuvas intensas ainda não foi amplamente explorado e tem o potencial de preencher lacunas deixadas pela baixa qualidade e/ou ausência de séries históricas de precipitação, desafio enfrentado por diversas regiões do país. Além disso, o trabalho representa uma extensão dos objetos de estudo adotados pelo Laboratório de Águas Pluviais Urbanas e Técnicas Compensatórias – LAUTEC, no qual a pesquisadora está inserida.

1.1 PERGUNTA DE PESQUISA, HIPOTHESES E OBJETIVOS

Com base na exposição de motivos apresentada na seção introdutória, o desenvolvimento deste trabalho foi realizado de forma a responder a formulação do problema caracterizado a seguir:

1.1.1 Perguntas de pesquisa

Relações IDF geradas para diferentes regiões do município de Florianópolis são estatisticamente diferentes?

Em decorrência do atual cenário de mudanças climáticas, é possível encontrar tendências com significância estatística que indiquem mudanças no regime de chuvas de Florianópolis?

A fim de responder as perguntas de pesquisa, hipóteses foram levantadas, conforme discriminadas na sequência.

1.1.2 Hipóteses da dissertação

H1 – Produtos de precipitação baseados em dados de sensoriamento remoto apresentam bons índices de correlação com os dados observados e são uma alternativa viável para representar o comportamento de chuvas intensas em cidades costeiras que não dispõem de uma rede de pluviômetros com cobertura espacial apropriada e/ou registros de alta qualidade;

H2 – Devido a variabilidade espaço-temporal da precipitação e as mudanças climáticas em curso, a relação IDF desenvolvida por Back (2014) com dados da porção continental de Florianópolis pode estar subestimando a intensidade dos eventos de precipitação em sua porção insular;

H3 – É possível identificar e quantificar tendências na ocorrência de eventos extremos de precipitação com significância estatística para regiões distintas de Florianópolis.

Com base nessas premissas, apresenta-se, na próxima seção, o objetivo geral do trabalho com os correspondentes objetivos específicos.

1.2 OBJETIVO GERAL

Determinar relações IDF representativas espacialmente para o município de Florianópolis/SC, considerando o contexto de mudanças climáticas.

1.2.1 Objetivos Específicos

- ❖ Avaliar a aplicabilidade do produto de reanálise CHIRPS, em escala diária a estudos de chuvas intensas através de análises de correlação para o município de Florianópolis/SC;

- ❖ Estabelecer novas relações IDF para o município de Florianópolis/SC e avaliar seu desempenho com relação as estimativas de Back (2014).
- ❖ Realizar análises estatísticas para identificar possíveis mudanças no regime de chuvas intensas de Florianópolis.

1.3 JUSTIFICATIVA

Os impactos relacionados a mudanças climáticas representam um dos grandes desafios atribuídos à sociedade no século XXI (HANSON *et al.*, 2011). Com a intensificação do processo de urbanização e o avanço contínuo de áreas impermeáveis, o aumento da intensidade e frequência de eventos de precipitação pode comprometer o planejamento urbano, já que o dimensionamento de projetos hidráulicos e de infraestrutura são tradicionalmente realizados com base em observações históricas de eventos extremos de precipitação.

Diferentes estudos apontam que regiões em zonas de transição serão as mais afetadas pelas mudanças climáticas (LUCAS; TIMBAL; NGUYEN, 2014). A região sul do Brasil não só pertence à zona temperada sul, entre o Trópico de Capricórnio e a Zona Polar, como é uma das regiões subtropicais mais afetadas por anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM), sofrendo constantemente com fenômenos como El Niño Oscilação Sul (ENSO), Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA), Sistema de Monção da América do Sul (SMAS) e Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (VERA *et al.*, 2006; MARENGO *et al.*, 2012).

O município de Florianópolis, localizado no sul do Brasil, é uma capital com elevada vulnerabilidade ambiental, que tem sua problemática agravada pelo fato de ser uma cidade costeira. Segundo o último levantamento de desastres naturais do país, o município ficou na 6ª posição entre os locais mais atingidos, tendo registrado 34 eventos entre estiagem e seca, enxurradas, inundação, erosão e movimentos de massa, vendavais e tornados dentro do período de 1991 e 2012 (CEDEP, 2013).

De acordo com Silva (2016), entre os anos 1991 e 2011, ocorreram nove (9) episódios de inundações bruscas em Florianópolis. Os prejuízos vão desde implicações econômicas a perdas de vida humana. Segundo o Relatório de Avaliação de Danos (AVADAN) da Defesa Civil de Santa Catarina, esses nove eventos resultaram em 547.753 pessoas afetadas, 4.078 pessoas desalojadas, 2.378 desabrigados e três mortes. O prejuízo financeiro estimado pela instituição chegou a R\$ 1.586.638.651,44.

Alves e Silveira (2018) realizaram uma análise do episódio de 9 a 11 de janeiro de 2018, expondo os principais impactos ocasionados por esse evento. Os totais mensais de precipitação ultrapassaram 500 mm em todos os bairros do município, chovendo em 3 dias o esperado para todo o mês de janeiro. A estação meteorológica automática (EMA) de Carijós, localizada no norte da ilha, apresentou, no dia 11 de janeiro, o recorde de chuva acumulada em 24h entre todas as estações insulares (280 mm).

Esse evento extremo, que supera o evento registrado pela EMA do Itacorubi em 2008 (262 mm), culminou no decreto de situação de emergência nº18.278. Seus impactos afetaram cerca de 35 mil pessoas, deixando, em números aproximados, 1.230 desalojados, 500 desabrigados e causando prejuízos financeiros estimados em 54 milhões de reais (ALVES; SILVEIRA, 2018).

O estudo de vulnerabilidade e riscos naturais, realizado pela prefeitura de Florianópolis, destaca que o atual cenário das inundações exige urgência no investimento em medidas de controle e mitigação, uma vez que mais de 150 mil pessoas vivem, atualmente, na iminência de eventos de inundação (PMF-IDOM, 2015).

Contudo, para implementação de medidas de controle e mitigação de enchentes e inundações, sejam elas estruturais ou não estruturais, faz-se necessário um histórico dos eventos de precipitação nas áreas afetadas, geralmente obtido por meio de uma rede de pluviômetros e/ou pluviógrafos. Atualmente, Florianópolis conta com onze (11) estações pluviométricas, que pertencem a diferentes operadoras com períodos observados entre 9 e 21 anos; esse número é 67% inferior ao mínimo recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) (WMO, 2008), sendo 33 estações meteorológicas o número recomendado para Florianópolis, visto que cada pluviômetro, dentro de uma área urbana, deve ter área de cobertura de dez a vinte km.

Além disso, 8 das 11 estações em funcionamento possuem séries históricas inferiores a 10 anos, com número de falhas nas observações chegando a 42%. Essa conjuntura fez com que as relações IDF desenvolvidas em estudos de chuvas intensas para Florianópolis a exemplo de Back (2002), Pompêo (2003) e Fragoso Jr (2004), tenham sido realizadas utilizando dados da estação meteorológica automática de São José, município adjacente a porção continental de Florianópolis, dado que essa era a única, até o momento, com um período observado superior a 30 anos, como recomenda a Organização Meteorológica Mundial (OMM) (WMO, 2017).

Para tentar reduzir as lacunas ocasionadas pela insuficiência das séries históricas de dados observados, o presente trabalho busca atualizar as relações IDF para o município de Florianópolis, avaliando a aplicabilidade de produtos de precipitação baseados em

sensoriamento remoto nos estudos de chuvas intensas e analisando possíveis mudanças de tendência nas séries históricas de precipitação desse município costeiro frente a mudanças climáticas. Assim, espera-se atualizar as equações IDF estabelecidas para o município de São José e desenvolver 3 (três) equações de chuvas intensas para diferentes regiões da cidade, melhorando a representatividade espacial e a magnitude das chuvas intensas estimadas para aplicação em projetos hidráulicos e planejamento de sistemas de drenagem urbana do município.

Os resultados deste estudo aumentam a compreensão dos fenômenos pluviométricos e agregam conhecimento para a tomada de decisão dos gestores públicos, auxiliando o emprego de técnicas de manejo hídrico para medidas de prevenção, controle e mitigação de impactos relacionados a chuvas intensas. Ao mesmo tempo, oferece novos produtos que podem vir a ser usados no setor de recursos hídricos, qualificando a prática e trazendo benefícios para toda a sociedade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta os conceitos necessários para o entendimento dos processos envolvidos na análise de chuvas intensas e distribuição espacial de precipitações.

2.1 CHUVAS INTENSAS

As precipitações máximas, também conhecidas como chuvas intensas, são aquelas onde um mesmo evento de precipitação tem sua duração, distribuição temporal e espacial crítica com intensidade extrema em uma determinada área. Esse fenômeno é caracterizado pelo grande volume precipitado em um curto intervalo de tempo, que pode atuar negativamente sobre sua área de impacto, ocasionando a erosão do solo, cheias, inundações, entre outros problemas. (TUCCI, 2001).

Apesar da tentativa de alguns autores, não há um valor absoluto para que um evento seja caracterizado como uma precipitação máxima. O impacto que cada bacia recebe, em função de uma precipitação, depende do uso e ocupação do solo da mesma. Desse modo, uma precipitação considerada intensa para uma bacia, pode não ser para outra (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

O comportamento das precipitações máximas pode ser retratado por meio de equações matemáticas que relacionam as variáveis de intensidade, duração e frequência, sendo expressas através das curvas IDF e pelo método da precipitação máxima provável (PMP). Este último valor de referência é definido por WMO (1973, p.190) como “a maior coluna pluviométrica,

correspondente a uma dada duração, fisicamente possível de ocorrer sobre uma dada área de drenagem, em uma dada época do ano”.

O estudo de chuvas intensas e suas grandezas características é a chave para se desenvolver uma infraestrutura compatível com o atual processo de urbanização. A relação intensidade-duração-frequência (IDF) é uma metodologia valiosa na concepção de obras hidráulicas e uma ferramenta essencial para o processo de planejamento urbano, sendo utilizadas no dimensionamento de estruturas como sistemas de drenagem, galerias pluviais, vertedores de barragens, entre outras (TUCCI, 2001).

2.1.1 Relações IDF

As relações IDF devem ser obtidas a partir de observações das chuvas intensas, durante um período de tempo longo o suficiente para representar os eventos extremos da área de interesse, podendo ser expressas por meio de equações ou graficamente pelas curvas IDF (TUCCI, 2001).

Sua análise pode seguir por dois diferentes enfoques: séries anuais ou de durações parciais, dependendo do tipo de estudo e do tamanho da série de dados disponível. A metodologia de séries anuais tem como base a seleção das maiores precipitações anuais para uma determinada duração, aplicando-se o devido ajuste de distribuição estatística aos maiores valores de precipitação para cada duração. As durações amplamente utilizadas são: 5, 10, 15, 30 e 60 min, e 1, 2, 4, 6, 12, 18 e 24 horas. Já o método de durações parciais é utilizado quando a série de dados é inferior a 12 anos e os tempos de retorno utilizados são inferiores a 5 anos. (TUCCI, 2001).

No Brasil, Pfafstetter (1957) protagonizou um estudo pioneiro de chuvas intensas, estabelecendo curvas IDF para 98 pontos. Seu estudo desenvolveu uma equação empírica para estimar precipitações máximas em função de sua duração e tempo de recorrência e aplicou dados pontuais de pluviográficos e pluviométricos distribuídos em todo país.

A partir dos anos 1970 novas metodologias foram desenvolvidas, e o número de estudos de chuvas intensas passou a crescer no Brasil. Entre eles pode-se destacar a definição de isozonas de chuvas intensas, realizada por Torrico (1974), o método de desagregação de chuvas, desenvolvido pela CETESB (1979), e o estudo de características fundamentais da chuva no Brasil, desenvolvido por Denardin e Freitas (1982). Entre os estudos realizados para o estado de Santa Catarina, podem-se destacar o estudo de pluviometria e chuvas intensas realizado por

Nerilo (1999) e os estudos de determinação de equações IDF realizados por Nerilo, Medeiros e Cordero (2002), Pompêo e Hack (2003), Back, Henn e Oliveira (2011) e Back e Bonetti (2014).

2.1.2 Determinação de relações IDF com observações insuficientes

Quando não há disponibilidade de dados observados em quantidade e qualidade suficiente para caracterizar as chuvas intensas de uma área, é comum a utilização de dados pluviométricos de regiões próximas, com condições climáticas semelhantes, na determinação de novas relações IDF (PRUSKI *et al.*, 2006; MELLO *et al.*, 2008).

A espacialização de chuvas intensas permite que observações pontuais sejam convertidas em campos contínuos, produzindo padrões passíveis de serem comparados com outros conjuntos de informações espaciais, o que viabiliza a obtenção de equações IDF em localidades que não dispõem de séries históricas de precipitação (LOURENÇO, 1998).

Nesse contexto, a aplicação de interpoladores sobre os parâmetros de equações IDF obtidas em estações meteorológicas adjacentes é uma técnica amplamente difundida no Brasil, tendo sido aplicada em diversos estados brasileiros, como São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Minas Gerais, entre outros (CECILIO; PRUSKI, 2003; MELLO *et al.*, 2008; FIORIO *et al.*, 2012; BRAGA *et al.*, 2018).

É possível encontrar diversos métodos de interpolação aplicados à espacialização de dados pluviométricos. Dentre os interpoladores mais utilizados na literatura, encontram-se o inverso da distância ponderada (IDP), Krigagem (KG) e polígonos de Thiessen (PT). Não há um consenso nos trabalhos desenvolvidos até o momento, sobre o método de interpolação mais indicado, de modo que sua escolha é geralmente realizada com base em avaliações de desempenho por localidade.

Estudos que comparam valores de precipitações intensas obtidas por diferentes metodologias indicam que equações obtidas com a aplicação de interpoladores apresentam um bom desempenho para grande parte das áreas analisadas, podendo haver superestimação e subestimação da precipitação em determinados pontos, geralmente relacionada com o número de estações pluviométricas disponíveis, sua distribuição e tamanho das séries históricas bem como características topográficas da área de estudo (FIORIO *et al.*, 2012; ANJOS; CANDEIA; NOBREGA, 2017).

Nos últimos anos, o emprego de estimas de precipitação obtidas por meio de sensoriamento remoto tem ganhado espaço em estudos hidrológicos. Contudo, seu potencial

ainda não foi amplamente explorado, exigindo pesquisas mais abrangentes (KUMAR *et al.*, 2021; NOOR *et al.*, 2021).

Por se tratar de uma fonte potencial de dados com alta cobertura global e resolução espaço-temporal, uma vasta gama desses produtos vem sendo analisada em estudos de chuvas intensas. Entre eles, pode-se destacar: Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), Climate Prediction Center Morphing Method (CMORPH), o satélite Global Precipitation Measurement (GPM) com seu algoritmo Integrated Multi-satellite Retrievals (IMERG), Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP), Precipitation Estimative from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks – Climate Data Record (PERSIANN - CDR) e Climate Hazards group Infrared Precipitation with Stations (CHIRPS).

Diferentes pesquisadores afirmam que esses produtos têm o potencial de se tornar uma fonte alternativa para locais onde os dados pluviométricos convencionais são escassos ou inexistentes (FUNK *et al.*, 2015; PRAKASH, 2019; KUMAR *et al.*, 2021). Embora sejam encontradas discrepâncias entre as intensidades observadas e estimadas por produtos de sensoriamento remoto, análises feitas por diferentes pesquisadores validam a aplicabilidade desses dados como alternativas viáveis na geração de relações IDF (ENDRENY; IMBEAH, 2009; COLLISHONN; COLLISHONN; e TUCCI, 2015; OMBADI *et al.*, 2018; NOOR *et al.*, 2021; ISLAM, YU; CARTWRIGHT, 2022; VENKATESH; MAHESWARAN; DEVACHARAN, 2022).

Estudos que comparam relações IDF baseadas em produtos de sensoriamento remoto com dados observados indicaram, em alguns casos, uma tendência de superestimação das intensidades de precipitação (ENDRENY; IMBEAH, 2009; CRUZ, 2019; VENKATESH; MAHESWARAN; DEVACHARAN, 2022) enquanto, em outros casos, subestimação das intensidades de precipitação com relação as observações (CRUZ *et al.*, 2019; NOOR *et al.*, 2021; SANJAYA; YUNDIANTO, 2021).

Endreny e Imbeah, (2009) e Sanjaya e Yundianto (2021) afirmam que combinar dados observados com dados de satélite permite a obtenção de relações IDF mais robustas e com melhor desempenho. Estudos realizados em áreas remotas e sem cobertura de postos pluviométricos mostraram ser possível obter relações IDF em escala sub-horária com desempenho satisfatório sem dispor de observações em solo.

As Tabelas 1 e 2 apresentam uma síntese de artigos científicos publicados nos últimos anos voltados à análise de precipitações e estudos de chuvas intensas a partir de produtos de sensoriamento remoto. O fato de que as publicações são recentes, de 2009 a 2022, e apresentam

uma crescente aplicação desses estudos de precipitações intensas, indicam uma abordagem promissora, configurando-se como um recurso com potencial a ser explorado em estudos hidrometeorológicos.

Ao analisar características gerais desses trabalhos, é possível observar que países da Ásia e América se destacam na publicação de estudos com aplicação de produtos de sensoriamento remoto. O Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) é o produto de precipitação mais citado em estudos hidrológicos, seguido do produto CHIRPS, que se destaca nas pesquisas nacionais.

É possível notar, também, que o emprego de produtos de sensoriamento remoto é predominante em áreas com ampla extensão territorial, abrangendo países inteiros, conjuntos de cidades ou grandes bacias hidrográficas, tendo sido pouco explorados em menores escalas a exemplo de áreas urbanas de pequeno e médio porte.

Observa-se que quanto maior a resolução espacial e temporal dos produtos de sensoriamento remoto, melhor é seu desempenho quando comparados com dados *in situ*. O desempenho estatístico desse tipo de produto também melhora em escala mensal e anual, apresentando menor precisão em análises diárias.

Grande parte dos estudos que comparam relações IDF, obtidas por dados de satélite com as obtidas por dados de campo, observam uma superestimação de chuvas de maior intensidade e subestimação de chuvas de baixa intensidade, e as discrepâncias entre as bases também tendem a aumentar e a ser diretamente proporcionais ao período de retorno.

Há uma melhora significativa do desempenho deste tipo de dado quando submetido a algum processo de ajuste ou calibração, com base nos dados observados. Estudos que avaliam a sazonalidade de precipitações demonstram que esses produtos representam, de forma satisfatória, características e padrões de sazonalidade das regiões em que são aplicados.

De modo geral, produtos de sensoriamento remoto apresentam bom desempenho em estudos no campo da hidrologia e hidrometeorologia. Em estudos de chuvas intensas, a aplicação desses produtos de precipitação tem apresentado boas métricas estatísticas, mostrando-se uma fonte alternativa de dados para medições *in situ*.

Tabela 1 - Síntese de estudos relevantes realizados no Brasil com produtos de sensoriamento remoto.

| ESTUDOS RELEVANTES REALIZADOS NO BRASIL | | | |
|--|---------------------|---|--|
| AUTOR | PRODUTO DE SATELITE | AREA DE ESTUDO (km ²) | OUTRA FONTES DE DADOS |
| Collishchonn, L., Collishchonn, B. e Tucci (2015) | TRMM | Todas as sedes municipais brasileiras – \cong 8.516.000 km ² | 12 anos de observações - estações meteorológicas |
| OBJETIVO: Propor um método de interpolação denominado CHUVSAT que combina chuva obtida por pluviômetros com dados de chuva por satélite e estimar relações IDF para todas as sedes municipais brasileiras a partir de estimativas de precipitação do satélite TRMM. | | RESULTADO: Em bacias maiores, os resultados de CHUVSAT foram semelhantes aos obtidos utilizando apenas os dados de chuva observados em pluviômetros, enquanto os resultados utilizando dados de satélite foram inferiores. Conclui-se que a combinação de dados de satélite e pluviômetros tem potencial para aplicações hidrológicas, com ênfase na previsão de vazões em rios de grande porte. | |
| Paredes-Trejo, Barbosa e Lakshmi (2017) | CHIRPS | Região Nordeste do Brasil – \cong 1.558.000 km ² | 32 anos de observações - estações meteorológicas |
| OBJETIVO: Avaliar as estimativas mensais de pluviosidade derivadas de satélite do produto CHIRPS para nordeste do Brasil, comparando as estimativas de pluviosidade baseadas no CHIRPS com as observações do pluviômetro. | | RESULTADO: Os dados CHIRPS correlacionam bem com as observações de todas as estações ($r = 0,94$), mas tendem a superestimar valores de chuva de baixa intensidade e subestimar valores de chuva de intensidade elevada (>100 mm/mês). O estudo concluiu que o conjunto de dados CHIRPS pode ser um substituto útil para os dados de precipitação pluviométrica fora do semiárido do Nordeste brasileiro. | |
| Cruz <i>et al.</i> (2019) | CHORPH | Altamira - 159.533 km ² | 19 anos de observações - estações meteorológicas |
| OBJETIVO: Utilizar dados de precipitação obtidos por satélite como uma nova alternativa para gerar equações de chuvas intensas. | | RESULTADO: As curvas IDF derivadas das equações tiveram coeficiente de ajustes satisfatórios. Deste modo, é possível afirmar que os dados de satélite são alternativas viáveis na geração de curvas IDF, sendo essenciais para locais onde não existem registros históricos de precipitação. | |

| | | | |
|---|-------------------------------------|---|--|
| Correia e Tschiedel (2019) | MERGE (combinação TRMM e GPM-IMERG) | São Leopoldo (RS) - 102,7 km ² | - |
| OBJETIVO: Construir uma curva IDF para a cidade de São Leopoldo a partir de dados do produto de precipitação por satélite MERGE, disponibilizados pelo CPTEC/INPE. | | RESULTADO: Foram encontradas diferenças estatísticas significativas na análise comparativa entre a curva IDF elaborada no estudo e a curva estabelecida para cidade de Porto Alegre, tipicamente utilizada para a região. O estudo recomenda a aplicação da nova curva para o dimensionamento de obras hidráulicas em São Leopoldo, sobretudo para obras onde o tempo de retorno adotado é menor do que 50 anos. | |
| Freitas <i>et al.</i> (2020) | GPM-IMERG | Brasil – 8.516.000 km ² | 3 anos de observações – estações meteorológicas |
| OBJETIVO: Avaliar o desempenho do produto IMERG Final Run (V06B) na captura de eventos de chuva sub-diárias e as suas propriedades (duração e intensidade) sobre o Brasil. | | RESULTADO: O produto IMERG representa uma boa fonte de dados de precipitação sub-diária para hidrologia e aplicações hidroclimáticas no Brasil. Por outro lado, a avaliação mostra grandes superestimções e subestimções do produto IMERG nas propriedades de duração e intensidade. | |
| Silva <i>et al.</i> (2020) | CHIRPS | Sub-bacia hidrográfica do rio Apeú (PA) – ≅ 320 km ² | 16 anos de observações – estações meteorológicas |
| OBJETIVO: Avaliar o desempenho dos dados de precipitação estimados pelo produto CHIRPS, para sub-bacia do rio Apeú em relação aos dados observacionais das estações meteorológicas do INMET e ANA. | | RESULTADO: Em geral, os dados do produto tenderam a superestimar a precipitação pluvial medida na região de interesse, principalmente no período chuvoso, embora haja um ajuste melhor ao observado no período menos chuvoso. Contudo, os resultados mostraram que o CHIRPS conseguiu reproduzir com fidelidade a variabilidade sazonal da precipitação na região de interesse, com correlações significativas. Entretanto, são necessárias mais avaliações utilizando dados de superfície de outras fontes de dados, de forma a compor uma grade mais homogênea e corroborar com a metodologia apresentada. | |

| | | | |
|--|------------|---|--|
| Aguiar e Lobo (2020) | NASA POWER | Brasil –8.516.000 km ² | 10 anos de observações – estações meteorológicas |
| OBJETIVO: Comparar conjuntos de dados meteorológicos, estimados a partir de estações meteorológicas de satélite e terrestres em latitudes de 0 a 33°S, para apoiar a investigação agrícola no Brasil. | | Os dados mensais de precipitação mostraram coeficientes de correlação satisfatórios para quase todos os locais. As temperaturas máximas e mínimas estimadas por sensoriamento remoto na Região Sul do Brasil foram também apoiadas estatisticamente, mas foram encontrados resultados inadequados especialmente em latitudes mais baixas, com base em RMSE mais elevado. O coeficiente de correlação de Pearson para as temperaturas aumentou proporcionalmente com a latitude, enquanto a precipitação não mostrou esta correlação. Estes resultados mostraram que a qualidade dos dados de satélite varia regionalmente e é afetada pela variação sazonal. Os sensores remotos podem não detectar eventos climáticos extremos, tais como chuvas fortes ou correntes de ar e, por conseguinte, precisam de ser cuidadosamente avaliados. | |
| Sikora de Souza <i>et al.</i> (2020) | CHIRPS | Bacia do rio Madeira – 1.324.727 km ² | - |
| OBJETIVO: Investigar a frequência de eventos pluviométricos extremos na maior sub-bacia amazônica, a bacia do rio Madeira, utilizando informações do conjunto de dados de produtos CHIRPS. | | RESULTADO: A série cronológica histórica revelou que a precipitação média máxima de 1 dia, examinada em toda a bacia, mostrou variações entre aproximadamente 30 a 300 mm/dia. Os resultados também mostraram uma redução da magnitude da precipitação extrema em regiões sem cobertura vegetal na zona estudada, em conformidade com a escala de observação do balanço hídrico. | |
| Sikora de Souza <i>et al.</i> (2021) | CHIRPS | Porção brasileira da Bacia do rio Madeira – 607.033 km ² | 15 anos de observações – estações meteorológicas |
| OBJETIVO: Avaliar o emprego de dados satelitais do tipo Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS) para a geração de curvas de intensidade-duração-frequência (IDF) na bacia do rio Madeira. | | RESULTADO: A comparação das bases de dados observacionais e de satélite permitiu estabelecer a confiabilidade do uso de dados do satélite CHIRPS na construção de relações IDF para situações em que não se dispõe de informações pluviométricas locais, embora as discrepâncias entre as bases tendam a aumentar e a ser diretamente proporcionais ao período de retorno. | |

Tabela 2 - Síntese de estudos relevantes realizados no exterior com produtos de sensoriamento remoto.

| ESTUDOS RELEVANTES REALIZADOS NO EXTERIOR | | | |
|---|---------------------|---|---|
| AUTOR | PRODUTO DE SATELITE | AREA DE ESTUDO (km ²) | OUTRA FONTES DE DADOS |
| Endreny e Imbeah (2009) | TRMM | Gana - 238,539 km ² | 9 anos de observações – estações meteorológicas |
| OBJETIVO: Testar a precisão de registros curtos de precipitação na determinação de relação IDF a partir de 2 métodos (Global e regional). | | RESULTADO: O melhor ajuste e o menor erro foram obtidos com o método global aplicado regionalmente, que utilizava dados GMSD para derivar parâmetros baseados no tempo e TRMM para derivar os parâmetros de distribuição mostrando que era essencial combinar dados GMSD e TRMM para a geração de IDF em Gana. | |
| Lu <i>et al.</i> (2016) | TRMM | Fazenda no deserto da Namibia – 16.6 km ² | 6 anos de observações – estações meteorológicas |
| OBJETIVO: Descobrir se os dados de precipitação por satélite são úteis para o estudo das características pluviométricas em regiões com falta de observações tradicionais do solo? Em caso afirmativo, quais são as escalas de tempo em que os dados de pluviosidade dos satélites são comparáveis com as observações no terreno? E existem alterações significativas a longo prazo na pluviosidade características em múltiplos locais na Namíbia através de um gradiente de pluviosidade? | | RESULTADO: Os resultados mostraram uma variabilidade espacial das tendências pluviométricas ao longo do gradiente de precipitação. Foram observadas alterações significativas na frequência, juntamente com alterações insignificantes na intensidade e nenhuma alteração na quantidade total para o local mais seco, mas nenhuma alteração em nenhuma das chuvas foram observados parâmetros para os três locais mais úmidos. Os resultados também mostraram um aumento da variabilidade da precipitação para o local mais seco. Este estudo proporcionou uma abordagem útil da utilização de Dados da TMPA associados à análise de tendências para ampliar o registro de dados para estudos na eco-hidrologia em condições de escassez de dados semelhantes. | |
| Gado, Hsu e Sorooshian (2017) | PERSIANN-CDR | 29 cidades dos EUA - 9.834.000 km ² | 20 a 34 anos de observações – estações meteorológicas |
| OBJETIVO: Apresentar um novo método de análise da frequência de precipitação regional para sítios não inundados baseado em séries máximas anuais corrigidas obtidas a partir de um produto de precipitação de satélite. | | RESULTADO: Os resultados mostram que as estimativas quantitativas obtidas a partir da nova abordagem são mais precisas e mais robustas do que as fornecidas pelo método tradicional. | |

| | | | |
|---|----------------------------------|---|--|
| Ombadi <i>et al.</i> (2018) | PERSIANN-CDR. | EUA - 9.834.000 km ² | 35 anos de observações - Redes Neurais Atlas 14 (NOAA) |
| OBJETIVO: Desenvolver um Framework que inclua a correção de enviesamento para o desenvolvimento de curvas IDF utilizando dados PERSIANN-CDR e comparar as IDFS em relação a Redes Neurais Atlas 14 (NOAA) para fornecer uma estimativa quantitativa da sua precisão. | | RESULTADO: Resultados mostram que erros medianos estão entre (17-22%), (6-12%), e (3-8%) para IDFs de um dia, dois dias e três dias, respectivamente, e períodos de retorno entre (2-100) anos. Um percentual considerável de IDFs baseados em satélite estão alinhadas com o intervalo de confiança do NOAA Atlas 14. | |
| Sun <i>et al.</i> (2019) | GSMaP | Singapura (China) - 728,6 km ² | 50 anos de observações – estações meteorológicas |
| OBJETIVO: Utilizar precipitação sub-diária de detecção remota (GSMaP), integrado com o modelo Bartlett-Lewis de pulsos retangulares (BLRP), para desagregar a precipitação diária <i>in situ</i> e obter curvas IDF. | | RESULTADO: Aplicação do método proposto em Singapura indica que a precipitação horária desagregada, conservando tanto a precipitação horária como características estatísticas diárias, produz curvas IDF com uma precisão significativamente melhorada; em média mais de 70% do RMSE é reduzida em comparação com as curvas IDF derivadas das observações diárias da precipitação. | |
| Prakash (2019) | CHIRPS, MSWEP, SMRAIN-CCI e TMPA | Índia - 3.287.000 km ² | 17 anos de observações – estações meteorológicas |
| OBJETIVO: Avaliar o desempenho das últimas versões de quatro produtos de precipitação multi-satélite em toda a Índia usando observações baseadas em gabaritos para o período de 1998-2015 à escala mensal. | | Os resultados indicam que CHIRPS e TMPA são comparáveis a estimativas de precipitação baseadas em pluviômetros em todas as escalas - Índia e subregionais seguidas de estimativas MSWEP. No entanto, O SM2RAIN-CCI subestima largamente a precipitação em todo o país em comparação com as observações. O componente de erro sistemático no SM2RAIN-CCI domina em comparação com a componente de erro aleatório, o que sugere a necessidade de uma correção de enviesamento adequada ao SM2RAIN-CCI antes de o integrar em qualquer aplicação. Os resultados globais indicam que o conjunto de dados CHIRPS poderia ser utilizado para análises de precipitação de longo prazo com bastante mais confiança. | |

| | | | |
|--|------------|---|--|
| Elhamid <i>et al.</i> (2020) | REF E TRMM | sub-bacia do rio Blue (Sudão) - 330,000 km ² | 15 anos de observações – estações meteorológicas |
| OBJETIVO: Avaliar os dois produtos de precipitação por satélite; RainFall Estimate (RFE) e Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) usando a precipitação observações no solo em toda a sub-bacia do rio Blue Nile, durante o período (2001- 2016). | | Em geral, pode concluir-se que os produtos de precipitação baseados em satélite podem ser utilizados em áreas inacessíveis, o TRMM mostra melhores resultados na estimativa dos dados pluviométricos na bacia do Nilo Azul no Sudão, especialmente nas zonas da bacia que têm alta intensidade de chuva. | |
| Yang et al (2020) | GPM-IMERG | província de Sichuan 486,000 - km ² | 3 anos de observações – estações meteorológicas |
| OBJETIVO: Avaliar de forma exaustiva o produto de precipitação IMERG, especialmente em eventos de precipitação intensa e extrema, utilizando 144 observações diárias/horárias sobre a província de Sichuan. | | Os resultados mostram que para a análise geral, IMERG_F tende a superestimar os eventos de precipitação especialmente leves eventos de chuva, o que é contrário a IMERG_E e IMERG_L. A capacidade de detecção de precipitação de IMERG é influenciado pelo tipo de precipitação e topografia. Para a análise de indicadores extremos, o IMERG tem uma melhor estimativa da intensidade da precipitação do que a capacidade de detecção da precipitação. Para um evento pluviométrico extremo específico, todos os três produtos IMERG poderiam captar o centro pluviométrico e as alterações espaciais básicas. Mas a quantidade de precipitação tem uma maior incerteza, especialmente no início e no fim de uma chuva. O produto Final Run tem um melhor desempenho, mas a diferença é insignificante. Estas descobertas fornecem feedbacks valiosos aos satélites pesados estudos de pluviosidade em região de terreno complexo relativamente ao desenvolvimento do algoritmo IMERG e à utilização de dados. | |

| | | | |
|---|--|--|--|
| Wu <i>et al.</i> (2020) | TRMM | China - 9.597.000 km ² | 20 a 70 anos de observações – estações meteorológicas e rede neural (LSTM) |
| OBJETIVO: Desenvolver um modelo de fusão dos dados de satélite TRMM 3B42 V7, dados de pluviômetros e imagens de infravermelhos térmicos, explorando as suas correlações espaciais e temporais simultaneamente. | | RESULTADO: O modelo proposto CNN-LSTM tem um desempenho superior ao dos modelos comparativos (CNN, LSTM, Percepção Multi-Layer). Pode melhorar a precisão do TRMM original dados na China (reduzindo o erro quadrático médio (RMSE) e erro médio absoluto (MAE) em 17,0% e 14,7%, respectivamente e aumentando o Coeficiente de Correlação para 0,72), mesmo para diferentes intensidades de precipitação e medir regiões esparsas. Finalmente, um conjunto de dados de precipitação diária fundida de 2001 a 2005 com um é produzida uma resolução mais alta de 0,05° e uma maior precisão sobre a China. Este estudo fornece uma ferramenta útil e um valioso conjunto de dados para o QPE na China, que beneficiaria a investigação sobre a água e a gestão dos recursos hídricos. | |
| Sanjaya e Yundianto (2021) | TRMM | Bandung (Indonésia) – 167,3 km ² | 20 anos de observações – estações meteorológicas |
| OBJETIVO: Aplicar o TRMM para derivar uma melhor curva IDF numa região com escassez de dados para a gestão de águas urbanas. | | RESULTADO: O resultado mostra que a curva IDF derivada de TRMM demonstra uma intensidade de precipitação subestimada em comparação com a medida do solo. Consequentemente, a correção dos dados diários TRMM é necessária para melhorar o desempenho de IDF derivada de TRMM. A correção do TRMM diário melhorou estatisticamente o desempenho da IDF. É exibido pelo valor decrescente de RMSE e RE. | |
| Noor <i>et al.</i> (2021) | GSMaP_NRT, GSMaP_GC, PERSIANN-CDR e TRMM | Malásia - 329.847 km ² | 18 anos de observações – estações meteorológicas |
| OBJETIVO: Avaliar o desempenho das curvas de intensidade-duração-frequência (IDF) desenvolvidas por meio de diferentes conjuntos de dados de precipitação por satélite. | | RESULTADO: Os resultados revelaram que uma distribuição de valor extremo generalizado (GEV) teve a melhor adequação à intensidade da precipitação para diferentes durações em 62% das estações. A comparação destas curvas IDF derivadas da detecção remota com os dados IDF observados revelou que o produto GSMaP_GC teve o melhor desempenho. Em geral, os produtos de precipitação por satélite tenderam a subestimar as curvas IDF. | |

| | | | |
|---|-----------------------------|--|---|
| Zhang <i>et al.</i> (2022) | CHIRPS, TRMM e PERSIANN-CDR | Bacia do rio Beijiang (BRB) - 46.710 km ² , bacia do rio Huai (HRB) - 121.330 km ² , e bacia do rio Liao (LRB) - 120.800 km ² . | 6 anos de observações – estações meteorológicas |
| OBJETIVO: Realizar uma avaliação abrangente sobre 3 produtos de alta resolução QPEs, CHIRPS, TRMM 3B42 V7 e PERSIANN-CDR em 3 bacias com climas diferentes na China. | | RESULTADO: Os 3 QPEs mostram geralmente uma elevada precisão na estimativa de precipitação mensal em 3 bacias, entre as quais TRMM 3B42 V7 tem o melhor desempenho (coeficiente de determinação $R^2 < 0,94$) seguido de CHIRPS ($R^2 < 0,91$). Contudo, todos os QPEs tendem a sobrestimar a precipitação diária de 3 bacias, resultando numa baixa precisão na escala diária ($R^2 < 0,35$). Para a estimativa dos índices de PR extremos, os 3 QPEs mostram grandes diferenças na precisão espaço-temporal, mas todos com melhor desempenho em bacias húmidas ($R^2 < 0,86$) do que áridas ($R^2 < 0,7$). | |
| Venkatesh, Maheswaran e Devacharan (2022) | GPM-IMERG | Distrito de Vizianagaram (Índia) - 6539 km ² | 19 anos de observações – estações meteorológicas |
| Desenvolver um Framework que inclua a correção de enviesamento para o desenvolvimento de curvas IDF robustas utilizando dados GPM-IMERG V6. | | RESULTADO: Os resultados mostram que a correlação espacial entre o IDF de satélite e o IDF baseado em dados observados melhora significativamente após a correção da enviesamento, e o valor é tão alto como 0,75 para um período de retorno de 2-10 anos. O enviesamento entre a IDF de satélite e a IDF de dados observados é baixo na parte norte da região de estudo e alto na parte sudeste, propensa a precipitações extremas. Além disso, uma percentagem significativa das IDFs de satélites (com e sem correção de enviesamento) encontram-se dentro do intervalo de confiança dos dados baseados no gabarito. Assim, os dados GPM V6 têm potencial para serem utilizados como fonte de dados alternativa para a geração de FDI nos países em desenvolvimento. | |
| Islam, Yu e Cartwright. (2022) | GPM-IMERG | Australia (zonas climáticas) – 7.692.000 km ² | 18 anos de observações – estações meteorológicas |
| OBJETIVO: Propõe uma nova estrutura de Curvas IDF derivada de satélite para combinar dados de medição diária de longo prazo e subproduto de precipitação sub-horário para estimar curvas IDF para intervalos de tempo de 0,5 a 24 h. | | RESULTADO: Globalmente, os resultados indicam que o SIFD proposto pode constituir uma alternativa viável para estimar curvas de IFD imparciais na escala de tempo sub-horária na ausência de observações adequadas baseadas em sub-horas. | |
| Reder <i>et al.</i> (2022) | ERA5 - 2km | 20 cidades em países distintos | 30 anos de observações – estações meteorológicas |

| | | | |
|--|--------|--|--|
| <p>OBJETIVO: Caracterização de valores extremos de precipitação em muito alta resolução aplicando pela primeira vez o conjunto de dados de precipitação ERA5@2km com o objetivo de apoiar a comunidade de Redução do Risco de Desastres (DRR) envolvida na avaliação do risco de inundações pluviais.</p> | | <p>RESULTADO: Confirmou-se o valor e relevância de produtos de precipitação de alta resolução para a avaliação de eventos atmosféricos extremos (tais como precipitações extremas).</p> | |
| Lópes-Bermeo <i>et al.</i> (2022) | CHIRPS | Antioquia, (Colômbia) – 63.612 km ² | 37 anos de observações – estações meteorológicas |
| <p>OBJETIVO: Validar a exatidão do conjunto de dados do Grupo de Precipitação por Infravermelhos com Estações (CHIRPS) sobre a variabilidade climática em várias escalas temporais.</p> | | <p>RESULTADO: A precisão das estimativas CHIRPS é condicionada pelas características geográficas e climáticas da região em que ocorrem os eventos de precipitação. CHIRPS funciona bem na maioria das condições meteorológicas em Antioquia, mesmo durante os períodos mais intensos de ENSO. No entanto, funciona melhor nas subregiões andinas e tem um desempenho inferior nas regiões mais quentes. Este estudo conclui que CHIRPS é uma fonte de dados pluviométricos que pode ser considerada para analisar a variabilidade sazonal e interanual e os padrões de precipitação espacial. Fornece uma boa cobertura espaço-temporal e é particularmente adequado para áreas com poucos pluviômetros. No entanto, a sua precisão é mínima para análises diárias.</p> | |

Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS)

Desenvolvido pelo United States Geological Survey (USGS) e pelo Climate Hazards Group at the University of California, Santa Barbara (UCSB), o Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS) é um produto de precipitação com cobertura quase global, desenvolvido com base em um modelo combinado entre dados observacionais de estações meteorológicas e estimativas de precipitação infravermelha (IRP). Devido a essa característica, esse produto também pode ser denominado como produto de reanálise (FUNK *et al.*, 2015).

Além de contar com elevada resolução espacial ($0,05^\circ$) e abranger latitudes entre 50°S e 50°N , esse produto possui uma série histórica de mais de 40 anos (de 1981 até a atualidade) e é disponibilizado gratuitamente nos formatos NetCDF, GeoTiff e Esri BIL com resolução temporal em escala diária e mensal (FUNK *et al.*, 2015).

Prakash (2019) investigou o desempenho de 4 produtos distintos, oriundos de sensoriamento remoto, e concluiu que o CHIRPS é comparável em todas as escalas temporais a observações em solo, sendo indicado como o melhor conjunto de dados para análises de precipitação de longo prazo com confiabilidade.

Ao comparar observações em solo com as estimativas de precipitação por satélite, os pesquisadores López-Bermeo (2022) e Zhang *et al.* (2022) concluíram que o produto CHIRPS pode ser aplicado para analisar padrões de precipitação espacial e apresenta boa precisão em análises de precipitações mensais. Contudo sua precisão não é satisfatória para análises diárias e estimativas de precipitações extremas no noroeste da Colômbia.

Em estudos realizados no Brasil, Paredes-Trejo, Barbosa e Lakshmi (2017) e Silva *et al.* (2020) demonstram em suas avaliações de desempenho que, em geral, os dados CHIRPS tendem a superestimar os valores de chuva. Contudo, para a região nordeste, o conjunto de dados se relacionou bem com todas as 21 estações pluviométricas analisadas, mostrando-se um substituto útil para os dados de precipitação pluviométrica fora do semiárido do nordeste brasileiro (PAREDES-TREJO; BARBOSA; LAKSHMI, 2017).

Souza *et al.* (2020) investigou a frequência de eventos extremos de precipitação na bacia do rio Madeira, sub-bacia amazônica, e conseguiram representar, a partir da série histórica do CHIRPS, as variações de intensidade de precipitação em toda a bacia. Os resultados também mostraram uma redução da magnitude da precipitação extrema em regiões sem cobertura vegetal na zona estudada.

Relações IDF baseadas nesse mesmo produto de precipitação foram estabelecidas por Souza *et al.* (2020) para a porção brasileira da bacia do rio Madeira. Os autores ressaltam que, embora haja discrepâncias entre as bases de dados observacionais e de satélite, existe confiabilidade no uso de dados do satélite CHIRPS na construção de relações IDF. Os autores afirmam ainda que tais relações IDF podem ser empregadas para situações em que não se dispõe de observações pluviométricas.

2.2 ANÁLISE DE FREQUÊNCIA

Segundo Naghettini e Pinto (2007), os processos associados ao ciclo hidrológico podem ser considerados determinísticos ou estocásticos, embora os autores acreditem que sejam uma combinação de ambos os fatores. Um processo determinístico não leva em consideração as componentes aleatórias do ciclo hidrológico. Dessa forma, para um mesmo conjunto de dados de entrada, o modelo sempre resulta em um conjunto conhecido de saídas. Por sua vez, um processo estocástico é um fenômeno governado pela lei da aleatoriedade, imprimindo assim, a necessidade da aplicação de teorias probabilísticas para investigá-las (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Em processos hidrológicos raramente ocorrem regularidades inerentes a processos puramente determinísticos, onde variações espaço-temporais sejam integralmente explicadas por relações funcionais.

Alguns dos fatores interdependentes que podem influenciar a formação e a intensificação da precipitação são: a distribuição espaço-temporal, a velocidade e direção de deslocamento da tempestade sobre a área de estudo, as variações temporais e espaciais das perdas por interceptação, evapotranspiração, infiltração e teores de umidade do solo (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Na impossibilidade de definir esses fatores com precisão, embora haja diversos avanços tecnológicos em curso, a identificação e a interpretação da aleatoriedade em tais processos ocorre na aplicação de modelos matemáticos que buscam estabelecer as possíveis conexões sequenciais, no tempo e/ou no espaço, entre suas realizações. A matemática estatística também observa as amostras e faz as deduções sobre o fenômeno na ocorrência de seus eventos dentro da população (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

A análise de frequência tem como finalidade encontrar a relação entre a magnitude de um evento extremo e seu tempo de retorno correspondente, bem como um intervalo que descreva

a incerteza relativa a essa estimativa. Essa estimativa ocorre a partir de informações obtidas de eventos observados em um determinado ponto da área de estudo (FERNANDES, 2005).

Em modelos baseados nas séries de máximos anuais (SMA) somente o maior valor anual é considerado. Segundo Cândido (2003), o procedimento regular para análise de frequência de eventos máximos anuais pode ser dividido em quatro etapas:

- ❖ verificação dos dados amostrais;
- ❖ escolha da distribuição probabilística;
- ❖ estimativas dos parâmetros das distribuições; e
- ❖ identificação e tratamento de pontos atípicos ou *outliers*.

Os tópicos seguintes apresentam uma breve descrição das etapas mencionadas acima.

2.2.1 Verificação de dados amostrais

Identificar alterações em séries hidrológicas é de grande importância para estudos na engenharia, visto que na maioria das aplicações da hidrologia estatística, as séries hidrológicas reduzidas devem ter como pré-requisito os atributos de estacionariedade e homogeneidade (BACK, 2001; NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Pressupõe-se dentro da análise de frequência convencional que uma amostra aleatória, extraída de uma população única, seja representativa e satisfaça as condições de aleatoriedade, independência, homogeneidade e estacionariedade. Tais características podem ser testadas com o emprego de testes de hipóteses (CÂNDIDO, 2003; FERNANDES, 2005; NAGHETTINI; PINTO, 2007).

As incertezas associadas aos dados amostrados dependem principalmente do tamanho e da representatividade da amostra, visto que a representatividade de uma série de dados se dá pela sua capacidade de retratar a variabilidade inerente ao processo natural de formação do evento analisado (CÂNDIDO, 2003; FERNANDES, 2005; NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Segundo Naghettini e Pinto (2007), “testes de hipóteses são procedimentos usuais da inferência estatística, úteis na tomada de decisões que concernem à forma, ou ao valor de um certo parâmetro, de uma distribuição de probabilidades, da qual se conhece apenas uma amostra de observações”, sendo estes classificados em *paramétricos* ou *não-paramétricos*.

Os testes de hipóteses *paramétricos* são aqueles em que os dados amostrais são extraídos de uma população Normal ou de qualquer outra população cujo modelo distributivo seja conhecido ou previamente especificado. Já os testes *não-paramétricos* não necessitam da especificação prévia do modelo distributivo da população, sendo formulados com base em algumas características ou atributos relativos aos dados (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Testes de hipóteses não-paramétricos

Entre os procedimentos *não paramétricos* mais utilizados para séries de dados hidrológicos, podemos destacar os testes de hipóteses de *aleatoriedade, independência, homogeneidade e estacionariedade*.

Dentro do contexto da hidrologia estatística, a aleatoriedade de uma série de dados significa que as flutuações da variável hidrológica analisada decorrem de causas naturais, não sofrendo alterações por ação de quaisquer estruturas hidráulicas ou intervenções de natureza não aleatória. O National Environmental Research Council – NERC, 1975, sugere que a rejeição/não-rejeição da hipótese de aleatoriedade de uma série hidrológica possa ser decidida por meio do *teste não-paramétrico do número de inflexões* (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

O fato de uma amostra ser considerada aleatória não garante que a mesma seja independente, deste modo, para a determinação desta propriedade em uma série de variáveis hidrológicas, se faz necessária à aplicação de um teste de hipótese de independência (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

“O termo ‘independência’ significa, essencialmente, que nenhuma observação presente na amostra pode influenciar a ocorrência, ou a não ocorrência, de qualquer outra observação seguinte” (NAGHETTINI; PINTO, 2007, p.264). Para séries de precipitações máximas, a amostra será independente quando a máxima de um determinado ano não tiver influência sobre qualquer outra máxima observada. A rejeição ou não rejeição da hipótese de independência pode ser realizada por meio do teste *não-paramétrico* proposto por Wald e Wolfowitz em 1943 (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Uma amostra pode ser considerada homogênea quando todos os seus elementos são originados de uma mesma população. Em uma série de vazões máximas anuais, por exemplo, pode acontecer que alguns de seus valores tenham origem em eventos locais de precipitação, como medições em zonas de alta pressão ou mesmo originários de eventos climáticos extremos regionais ou globais, como o fenômeno El niño, resultando em precipitações extremas. Caso a amostra não seja homogênea, isto é, os mecanismos de formação das precipitações são

diferentes, a amostra deve ser subdividida e analisada sobre diferentes contextos. O teste *não-paramétrico* indicado por Mann e Whitney, em 1947, é amplamente utilizado nesse tipo de análise (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

E por fim, podemos dizer que uma amostra é estacionaria quando as características estatísticas da série são conservadas ao longo do tempo, sem a ocorrência de alterações por saltos ou ciclos. Onde os “saltos” estão relacionados a alterações bruscas em uma bacia hidrográfica ou seguimento de rio, e os “ciclos” geralmente estão ligados a flutuações climáticas de longo período. O teste *não-paramétrico* apresentado por Charles Spearman parte essencialmente da ideia de que uma tendência temporal, presente em uma série hidrológica X_t , ao longo do tempo t , pode ser identificada ao se correlacionar os dados da série e o índice de tempo, sendo este comumente usado para verificar a estacionariedade de uma amostra de dados hidrológicos (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

2.2.2 Distribuições probabilísticas

Distribuições probabilísticas são funções analíticas utilizadas para descrever o comportamento de algumas variáveis. Segundo Naghettini e Pinto (2007), há um conjunto limitado de funções de distribuição probabilística que podem ser aplicados a estudos de chuvas intensas, que podem ser distinguidas entre as funções oriundas da teoria clássica de valores, a Generalizada de Valores Extremos (GEV), e aquelas ditas não-extremais. A adequação da distribuição probabilística pode depender de critérios distintos, mas o autor ressalta que a sua capacidade de reproduzir características amostrais relevantes geralmente é a mais desejada.

“A inexistência de leis dedutivas para a seleção de uma função de distribuição de probabilidades ou de uma família de distribuições para análise de frequência de eventos” (NAGHETTINI; PINTO, 2007) de precipitações extremas, faz com que geralmente o analista baseie sua escolha em análise multicritério, ponderando fatores subjetivos, a exemplo do exame visual do ajuste entre a distribuição candidata e os dados observados e fatores estatísticos (CÂNDIDO, 2003).

As distribuições oriundas da teoria clássica de valores extremos, independentemente do modelo, são as únicas para as quais existem justificativas teóricas para seu emprego na modelação de valores máximos (ou mínimos) de dados empíricos. Seus fundamentos definiram os três tipos possíveis de distribuições assintóticas de valores extremos: Gumbel (Tipo I), Fréchet (tipo II) e Weibull (tipo III) (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Jenkinson (1995) introduziu a distribuição Generalizada de valores extremos (GEV), que combina as distribuições assintóticas de valores extremos (Tipo I, Tipo II e Tipo III) em uma única forma. A distribuição GEV vem sendo amplamente aplicada no campo da hidrologia, com destaque para modelagem de eventos extremos naturais (MARTINS; STEDINGER, 2000).

Além das distribuições de valores extremos, as distribuições Log normal e Person III também são funções difundidas para descrever eventos raros de distribuição (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

2.2.3 Testes de aderência

Além dos testes que se referem aos parâmetros de uma população, existe outra classe importante de testes de hipóteses, constituída pelos chamados testes de aderência, referentes a verificação da forma do modelo distributivo. Por meio dos testes de aderência é possível verificar a eventual adequação entre as probabilidades ou frequências calculadas por um modelo distributivo, e as correspondentes frequências dos valores amostrais observados (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

No que diz respeito a variáveis hidrológicas aleatórias, é comum que inicialmente não se conheça a distribuição de probabilidades que descreve a população da qual se extraiu um certo conjunto de observações. Nessas circunstâncias, a seleção das distribuições de probabilidades acontece com base nas características físicas do fenômeno em foco, em teorias relacionadas às propriedades distributivas da variável em questão e na aderência da distribuição proposta à distribuição empírica dos valores amostrais (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Dentro da hidrologia estatística, existem alguns testes de aderência usualmente aplicados a estudos de chuvas intensas, tais como os testes de comparação de médias como o teste T, testes de comparação de desvio padrão, como o teste F, testes de intervalo de confiança, entre outros. Contudo, para comparar frequências de dados agrupados destacam-se os testes do qui-quadrado e do Kolmogorov-Smirnov (CÂNDIDO, 2003; FERNANDES, 2005; NAGHETTINI; PINTO, 2007; SAMPAIO, 2011).

O teste do qui-quadrado é aplicado para verificar o ajuste de uma distribuição probabilística conhecida, no caso distribuição gama, de uma amostra de dados de distribuição de probabilidade desconhecida, analisando o somatório das diferenças quadráticas entre as realizações das variáveis aleatórias e suas médias populacionais (NAGHETTINI; PINTO,

2007). O resultado desse somatório é comparado com valores tabelados para esse teste, que variam de acordo com o nível de significância α e os graus de liberdades da amostra.

O teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) é um teste de aderência não paramétrico baseado na diferença máxima entre funções de probabilidades acumuladas, empírica e teórica, de variáveis aleatórias contínuas. Nesse teste a hipótese de adequação do ajuste é rejeitada caso a diferença máxima entre os valores observados e ajustados seja superior a um valor crítico, especificado para um determinado nível de significância (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

2.3 ANÁLISE DE TENDÊNCIA

O teste para análise de tendências em séries temporais de Mann-Kendall é comumente utilizado em estudos de precipitações e é aplicado em diversas pesquisas direcionadas a diferentes localidades do país. Algumas dessas pesquisas serão citadas a seguir e demonstram a efetividade desse teste não paramétrico para tal linha de estudo.

Lopes e da Silva (2013) aplicaram o teste de Mann-Kendall a 55 anos de dados, referentes a oito macrorregiões cearenses. A aplicação desse teste propiciou a constatação de variações de precipitações em períodos de chuva e seca em tais regiões, indicando a prevalência da diminuição das chuvas no período seco. Notou-se que o aumento das precipitações, em tal período, aconteceu apenas em uma das oito regiões abordadas.

Em um estudo em que foram colocadas em foco precipitações em cidades do litoral norte de São Paulo, Scofield, Angelis e Sousa Jr. (2014) utilizaram o mencionado teste para análises anuais e sazonais das tendências, executando-o em sete estações meteorológicas com 30 anos de dados. Nessa pesquisa, foi possível observar a alteração de percentagens médias de dias com chuva nas localidades, e notou-se uma distinção de tais percentagens na estação meteorológica da cidade que se encontrava a 200 metros de altitude, em comparação às outras estações, localizadas ao nível do mar.

Pinheiro, Graciano e Severo (2013) propuseram um estudo de análise de tendências nos três estados da região sul do Brasil a partir da seleção de dados de 18 estações pluviométricas, com 30 anos de séries. As análises mensais e anuais de tais séries evidenciaram um aumento na quantidade dos eventos de precipitação em 5%. Foram observadas também tendências significativas de 95% para 16 das 18 séries referidas, o que corrobora com estudos prévios de diferentes pesquisadores, como argumentam os autores.

Sá *et al.* (2018) buscou identificar tendências da precipitação diária na região serrana de Santa Catarina, identificando tendências sazonais nos municípios de Lages e São Joaquim.

Avaliando a correlação entre El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e os índices de anomalia de precipitação (IAP) para ambas as cidades, os autores observaram que, quanto maior a intensidade do fenômeno ENOS, maior a ocorrência de anomalia.

Back e Della (2014), em sua análise aos pluviogramas da Estação Meteorológica de Florianópolis com dados que cobrem os anos de 1985 a 2012, aplicaram dois testes: Mann-Kendall, para analisar a tendência de mudanças climáticas; Theil-Sen, para alcançar a estimativa robusta da inclinação. A partir do teste Mann-Kendall, foi possível observar que não houve tendência significativa nos índices de precipitação diária empregados. A não existência de tendências nas séries foi confirmada pela análise da curvatura de Sen.

Outro método não paramétrico aplicado na presente dissertação é o da curvatura de Sen. Esse método auxilia no cálculo das tendências, ajudando a determinar a taxa de variação de parâmetros em séries temporais, precisando a magnitude da inclinação. Como elucidado por Santos (2016, p. 37), o coeficiente de regressão de Sen é obtida pelo cálculo dos pares de valores da série $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$.

O teste paramétrico de regressão linear pode ser usado para indicar alterações no clima por meio da significância do coeficiente angular (SANTOS, 2016, p. 34) e é usada para prever o valor de uma variável com base no valor de outra. Contudo a análise da regressão linear “não fornece subsídios suficientes para identificar a tendência de uma série temporal” (PENNEREIRO, 2012, p. 8). Seu uso demanda, assim, a aplicação de outras metodologias.

2.4 ESTUDOS DE CHUVAS INTENSAS E RELAÇÕES IDF PARA FLORIANÓPOLIS

Pode-se encontrar, na literatura, diversos trabalhos sobre chuvas intensas, sejam eles desenvolvidos a partir de metodologias convencionais, a partir da análise de dados pluviográficos ou aplicando metodologias de desagregação para utilização de registros pluviométricos e produtos de sensoriamento remoto. Neste item, pretende-se descrever os trabalhos que se destacam na estimativa de chuvas intensas para a região de Florianópolis.

Back (2002) determinou equações IDF para o município de Florianópolis a partir de uma estação pluviométrica (EPAGRI) localizada no município de São José, município adjacente a Florianópolis. Séries máximas anuais foram determinadas com base nos 12 anos de dados disponíveis (de 1986 a 1998), por meio das quais os parâmetros das equações IDF foram obtidos para durações entre 5 minutos e 1.440 minutos e período de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos. Três faixas de valores foram adotadas para enquadrar as séries analisadas,

sendo a primeira para durações até 120 minutos, a segunda para durações entre 120 e 480 minutos e a terceira para durações entre 480 e 1.440 minutos, resultando em três equações de chuvas intensas com coeficientes distintos para cada faixa.

Pompêo e Hack (2003) elaboraram a equação de chuvas intensas do município de Florianópolis a partir de fotocópias dos pluviogramas da estação meteorológica de São José, cedidos pelo Departamento Nacional de Meteorologia DNMET. Os pesquisadores selecionaram 48 anos de dados com o menor número de falhas possíveis, dentre os registros existentes de 1921 a 1972 e do ano de 1987.

As análises foram feitas para durações de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 90, 120, 240, 360, 720 e 1.440 minutos, para tempo de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50 anos. As informações extraídas dos pluviogramas deram origem a tabelas com as máximas intensidades anuais para cada uma das durações. Subsequentemente, realizou-se os ajustes das intensidades observadas à distribuição de extremos de Gumbel, permitindo, então, a obtenção de duas equações de chuvas intensas para a região, sendo a primeira para durações inferiores a 60 minutos e a segunda para durações superiores a 60 minutos (POMPÊO; HACK, 2003).

Fragoso Jr (2004) realizou um trabalho de regionalização de vazão máxima instantânea com base na precipitação de projeto abrangendo 24 cidades, incluindo Florianópolis. Para atender seu objetivo o pesquisador também determinou equações IDF para o município a partir de uma estação pluviométrica (EPAGRI) localizada no município de São José.

O método das relações de durações foi aplicado desagregando as precipitações máximas diárias em precipitações de menor duração para o ajuste das equações de chuvas intensas. As séries máximas anuais foram determinadas para o período de 1949 a 1998, por meio das quais os parâmetros das equações IDF foram obtidos para durações entre 5 minutos e 1440 minutos e período de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos.

Gonçalves (2011) determinou a primeira equação IDF para Florianópolis a partir de um produto de precipitação obtido por meio de sensoriamento remoto, aplicando dados do TRMM. A série de precipitações máximas anuais (Pd_{ma}) foi criada referente ao período de 1998 a 2009, realizando o ajuste à distribuição probabilística de Gumbel. Como o produto conta com resolução de 3 horas, a pesquisadora aplicou o método das relações entre durações na obtenção de chuvas de menores durações e os parâmetros da equação IDF foram obtidos para durações de 3,6, 9, 12 e 24h e período de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos.

As IDF geradas foram comparadas com as relações IDF clássicas estabelecidas por Fragoso Jr (2004), e o autor conclui que, apesar das incertezas, as curvas IDF geradas a partir

do TRMM são uma alternativa tão eficiente quanto relações geradas por dados pluviométricos desagregados.

Back, Henn e Oliveira (2011) desenvolveram equações de chuvas intensas para o município de Florianópolis com base nos gráficos diários de dados pluviométricos registrados no município de São José, pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) referente ao período de 1984 a 2005. Os pluviogramas diários da estação foram digitalizados, e, posteriormente, foi determinada a série de precipitações máximas anuais (Pd_{ma}) para durações de 5 a 1.440 min.

A distribuição de Gumbel foi aplicada para encontrar as chuvas máximas com durações variando de 5 minutos a 24 horas, considerando-se os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos. A aderência e distribuição probabilística foi comprovada por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov no nível de significância de 5 %. Duas faixas de valores foram adotadas para enquadrar as séries analisadas, a primeira para durações até 120 minutos e a segunda para durações entre 120 e 1440 minutos, resultando em duas equações de chuvas intensas com coeficientes distintos para cada faixa.

Back e Bonetti (2014) estabeleceram relações IDF para 147 cidades de Santa Catarina com o objetivo determinar a intensidade da chuva para ser usada em projetos de instalações prediais de águas pluviais no estado. As chuvas máximas com duração de 24h e a obtenção das alturas de chuvas de menores durações foram obtidas conforme recomendação da Cetesb (1986).

Foram ajustadas equações válidas para durações de 5 minutos a 120 minutos e período de retorno de 1, 5 e 25 anos. A aderência das séries de máximas anuais à distribuição da Gumbel-Chow foi verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov com significância de 5%. Para Florianópolis, foram aplicados dados da estação 83897 – Florianópolis, localizada no município de São José e operada pela INMET, com série histórica de 33 anos, tendo início em 1951 e término em 1989.

A relação IDF desenvolvida por Back e Bonetti (2014) foi escolhida como equação de referência na etapa de comparação entre relações IDF pré-estabelecidas e atualizadas pelo presente estudo para Florianópolis.

Além de apresentar a equação IDF mais recente divulgada em estudos de chuvas intensas para região, as escolhas de equipamento de medição, localização do posto pluviométrico, tipo de dado e metodologia de desagregação aplicadas por Back e Bonetti (2014) na obtenção de sua equação IDF são análogas as escolhas metodológicas do presente trabalho, tornando a etapa comparativa mais equilibrada.

Não há um manual técnico que estabeleça critérios para elaboração de projetos hidráulicos e de drenagem urbana oficialmente estabelecido pela Secretaria de Infraestrutura de Florianópolis, de modo que cada empresa contratada para prestação de serviços define a metodologia a ser aplicada e a equação de chuvas intensa a ser utilizada. Em geral é uma situação que ocorre em muitos locais no Brasil. Da mesma forma não existe uma norma geral brasileira para o tema. Mas existem as literaturas nacionais correntes na área de hidrologia que são normalmente usadas.

Uma síntese dos trabalhos envolvendo estabelecimento de IDFs para a região de Florianópolis é apresentada na Tabela 3, em que são mostrados os parâmetros das equações IDF, os períodos de dados e a estação.

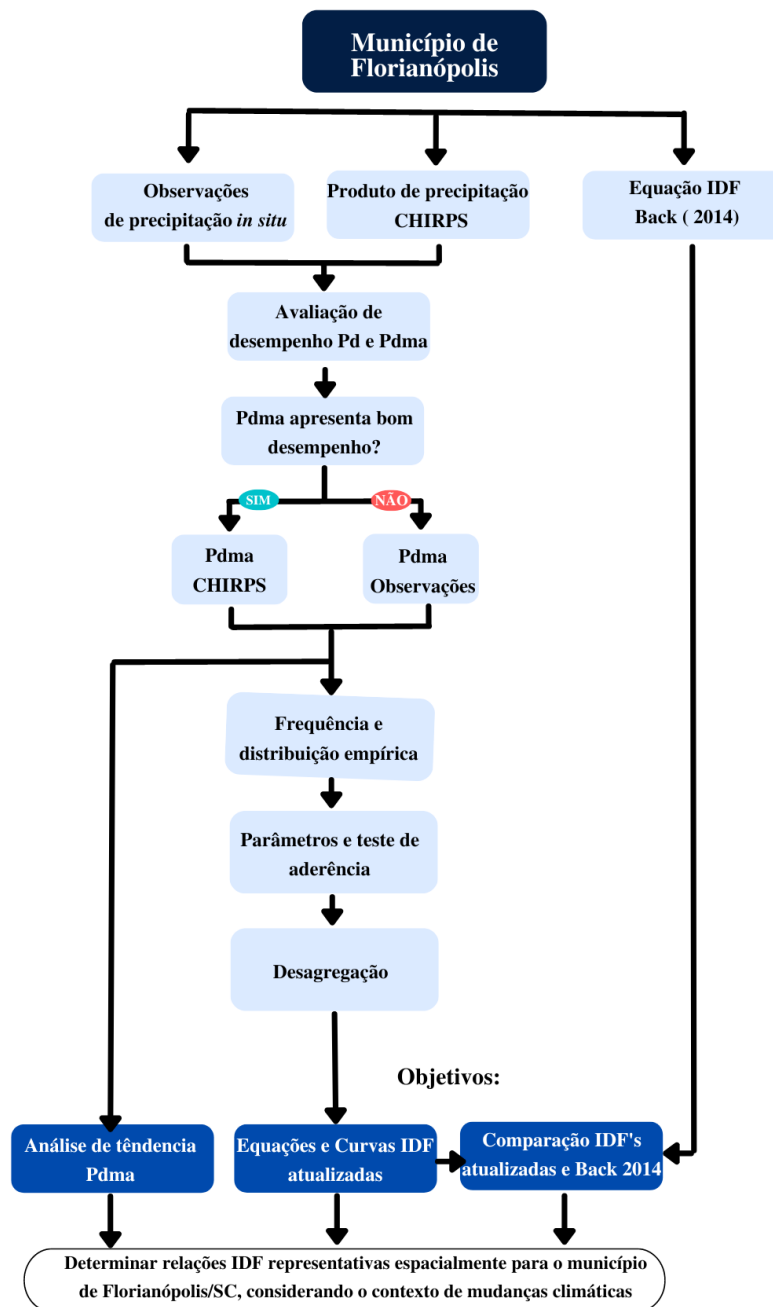
Tabela 3 - Parâmetros das equações IDF para Florianópolis/SC.

| Autor | Estação Pluviométrica | Equação | Período | Parâmetros da equação | | | | Validade (t em minutos) |
|-------------------------------------|-------------------------------------|---------|--------------------|-----------------------|--------|-------|--------|----------------------------|
| | | | | a | b | c | d | |
| Back (2002) | 83897 – INMET – Florianópolis/SJ | Geral | 1986 - 1998 | 190,9 | 0,149 | 0,0 | 0,339 | $5 \leq t \leq 120$ |
| | | | | 338,9 | 0,236 | 0,0 | 0,509 | $120 \leq t \leq 1480$ |
| | | | | 104,9 | 0,297 | 0,0 | 0,379 | $480 \leq t \leq 1440$ |
| Pompêo e Hack (2003) | 83897 – INMET – Florianópolis/SJ | Geral | 1921 a 1972 e 1987 | 145 | 0,25 | -1,18 | 0,34 | $5 \leq t \leq 60$ |
| | | | | 597 | 0,32 | 3,0 | 0,73 | $60 \leq t \leq 1440$ |
| Fragoso Jr (2004) | 83897 – INMET – Florianópolis/SJ | Geral | 1949 - 1998 | 1754,24 | 0,187 | 36 | 0,823 | $5 \leq t \leq 1440$ |
| Gonçalves (2011) | TRMM | Geral | 1998 - 2009 | 852 | 0,18 | 7,4 | 0,70 | $180 \leq t \leq 1440$ |
| Back, Henn e Oliveira (2011) | 83897 – INMET – Florianópolis/SJ | Geral | 1984 - 2005 | 222,0 | 0,1648 | 0,0 | 0,3835 | $5 \leq t \leq 1440$ |
| | | | | 465,5 | 0,1695 | 0,0 | 0,5391 | $480 \leq t \leq 1440$ |
| | | | | 1431,25 | 0,237 | 5,6 | 0,7049 | $120 \leq t \leq 1440$ |
| Back e Bonetti (2014) | 83897 – INMET – Florianópolis/SJ | Geral | 1951 - 1989 | 861,1 | 0,195 | 8,9 | 0,699 | $5 \leq t \leq 120$ |

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, serão detalhados os dados de entrada, bem como os passos metodológicos a serem empregados para testar o uso do produto de reanálise CHIRPS, propor novas equações IDF e analisar a presença de tendência das séries históricas de precipitação. A Figura 1 apresenta o fluxograma metodológico deste estudo.

Figura 1 - Fluxograma metodológico.



Para realização deste estudo, foram utilizados dados de precipitação obtidos em doze (12) estações meteorológicas em escala diária, bem como dados diários de precipitação obtidos por meio do produto de sensoriamento remoto CHIRPS. O método da dupla massa foi aplicado no período em comum entre as estações para avaliar a consistência e homogeneidade dos dados observados.

O desempenho do produto CHIRPS, com relação aos dados observados, foi avaliado através dos índices coeficiente de determinação (R^2), viés percentual (PBIAS) e raiz do erro quadrático médio normalizado (REQMN), para a série integral de precipitação em escala diária (Pd) e diária máxima anual (Pd_{ma}). Apresentando desempenho satisfatório, o produto de satélite será aplicado nas etapas seguintes, do contrário, as observações *in situ* deverão ser utilizadas.

Para obtenção das relações IDF atualizadas, a Pd_{ma} escolhida foi submetida a análise de frequência com aplicação de testes não paramétricos de aleatoriedade, independência e estacionariedade. Uma vez finalizada a análise de frequência, as séries de dados serão ajustadas a distribuição empírica de probabilidade por meio dos valores que apresentam o melhor desempenho segundo os seguintes índices: coeficiente de determinação (R^2), qui-quadrado (X^2) e raiz do erro quadrático médio (REQM).

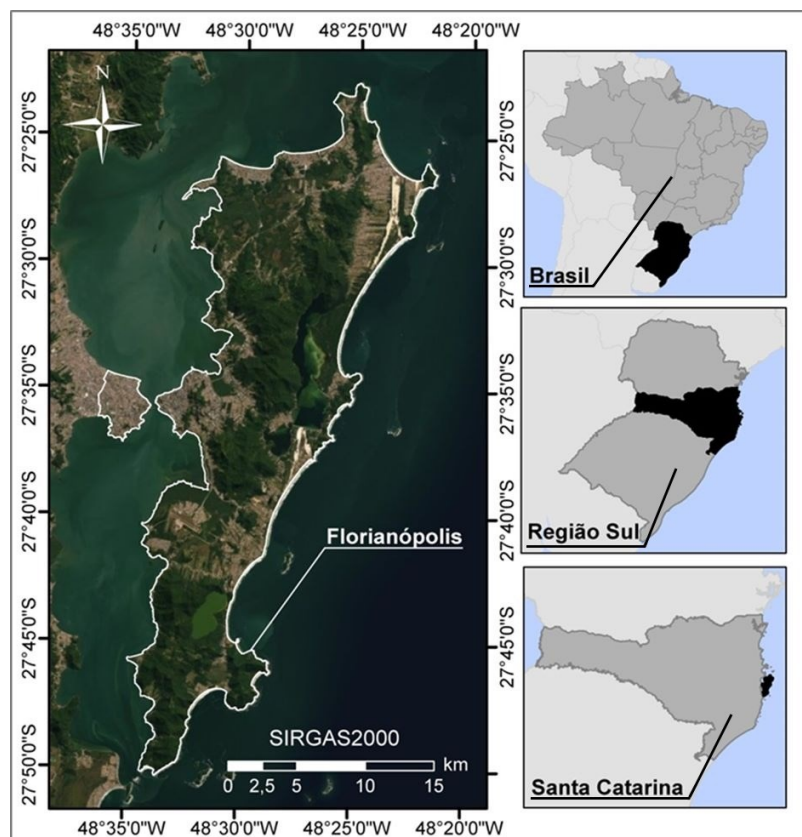
A partir dessa etapa, é possível realizar a estimativa dos parâmetros da distribuição de probabilidade escolhida. Sua aderência será avaliada com base no índice do teste qui-quadrado (X^2) e o método de desagregação da CETESB 1979 será realizado para obtenção de chuvas de menores durações. Aplicando essa metodologia, obtém-se, então, as novas equações IDF e curvas IDF para Florianópolis.

As novas equações IDF serão comparadas por meio de análises estatísticas à equação gerada por Back (2014) com o intuito de verificar se há diferença significativa ao adotar dados de um município adjacente na aplicação estudos de chuvas intensas de nossa área de estudo. Em paralelo aos processos de estabelecimento das relações IDF, também será realizada uma análise de tendência com as séries de precipitação diária e precipitação diária máxima anual, com a aplicação do teste não paramétrico de Mann-Kendall, conforme descrito por Lopes e da Silva (2013). Para estimativa da inclinação inferior e superior será aplicado o teste da curvatura de Sen (1968) e o método de regressão linear e, com o objetivo de identificar possíveis mudanças no regime de chuvas.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O município de Florianópolis, capital de Santa Catarina (SC), localizado no litoral central da Região Sul do Brasil (Figura 2), possui 674,88 km² de área territorial (IBGE,2022). Posicionado entre os paralelos 27°22'30" e 27°50'40" de latitude sul e os meridianos 48°37'16" e 48°20'20" de longitude oeste, Florianópolis conta com uma parte insular (Ilha de Santa Catarina) de 656,19 km², pequena área continental de 18,69 km².

Figura 2 - Mapa de localização do município de Florianópolis.

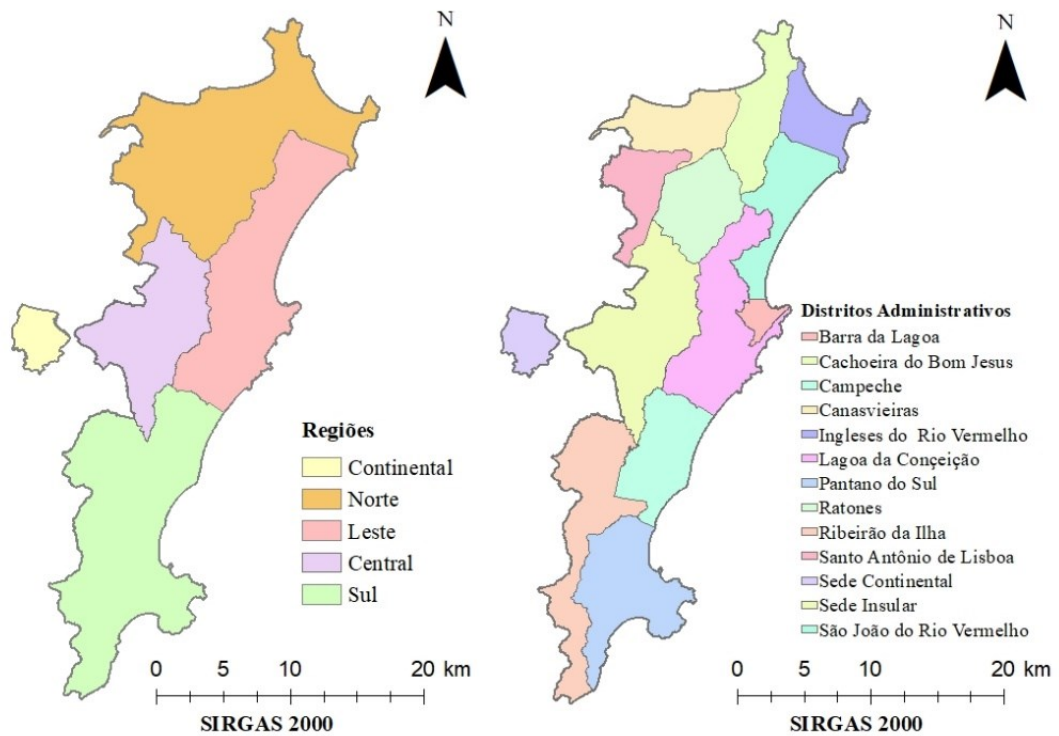


Entre a parte insular e a continental, está a Baía de Florianópolis, compartimentada em Baía Norte e Baía Sul. Essas baias interligam-se por meio de um estreito canal de aproximadamente 500 metros, sobre o qual foram construídas 3 pontes de acesso entre a ilha e o continente (COVELLO *et al.*, 2018).

O município destaca-se entre os destinos turísticos do Brasil por suas múltiplas facetas. Além de suas belas praias, apresenta ambientes diversos, como lagoas, dunas, restingas, costões e mangues, tornando-se marcante para os turistas de todo mundo (COVELLO *et al.*, 2018). A população estimada para 2022, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), é de 516.524 habitantes (IBGE, 2022).

No nível organizacional, encontra-se dividido em cinco (5) regiões e treze (13) distritos administrativos (Figura 3), que comportam seus 44 bairros e 36 unidades espaciais de planejamento (UEP's), que delimitam o zoneamento urbano.

Figura 3 - Distribuição das regiões e distritos administrativos de Florianópolis.



Segundo o Sistema de Classificação Climática de Wladimir Köppen, a área de estudo enquadra-se em climas do Grupo C-mesotérmico, sendo subtropical, dado que a média das temperaturas mínimas encontra-se entre o intervalo de 3 a 18°C. Já o clima da região costeira recebe a subclassificação tipo (f) – úmida, dentro do Grupo C, pois seus índices pluviométricos mensais são superiores a 60 mm (RAIMUNDO, 1998).

A classificação climática de Köppen-Geiger também considera a altitude como fator relevante. Devido a seus verões quentes, característicos de regiões litorâneas, a região costeira de Florianópolis recebe o subtipo (a), sendo, então, definida por subtropical, pertencente ao Grupo C e tipo Cfa.

Quanto ao regime de precipitação, a precipitação anual média da área de estudo é de aproximadamente 1.550 mm, sendo que a estação chuvosa se mostra nos meses mais quentes, onde o mês mais chuvoso é janeiro com média mensal superior a 190 mm (RAIMUNDO, 1998).

Corroborando com essas informações, com base na série histórica do posto pluviométrico Florianópolis-INMET, os totais anuais de precipitação podem ser observados na Figura 4, e médias mensais de precipitação são apresentadas na Figura 5.

Figura 4 - Precipitação total anual Florianópolis-INMET entre 1962 e 2022.

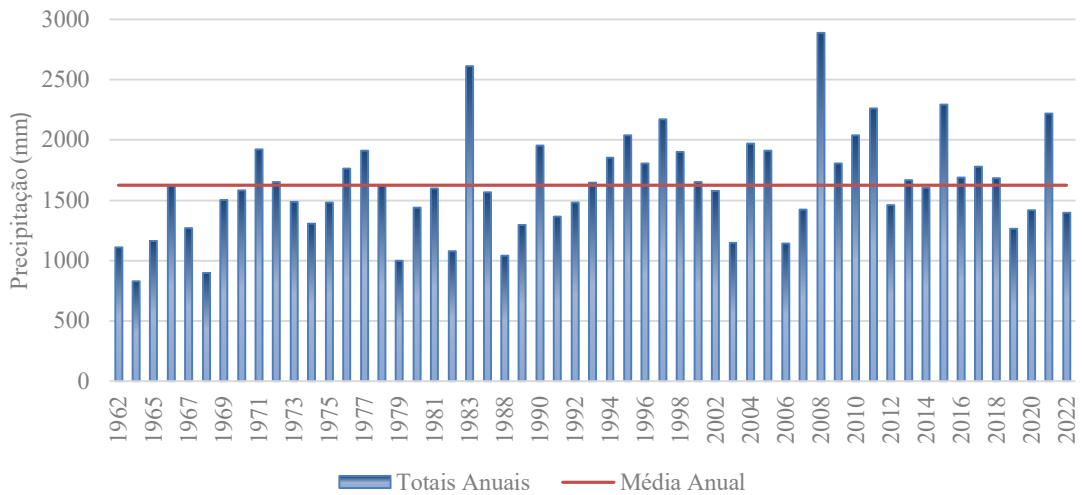
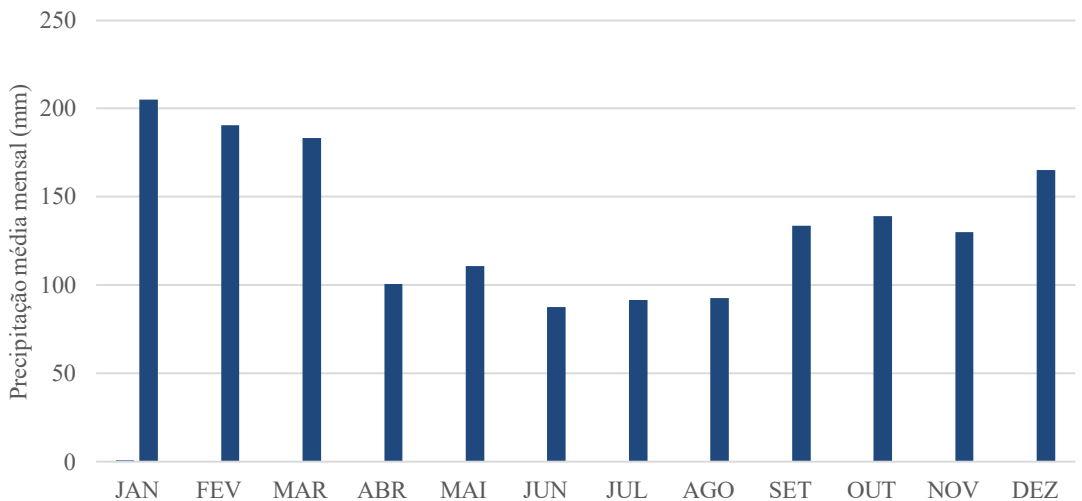


Figura 5 - Precipitação média mensal Florianópolis INMET entre 1962 e 2022.



Quanto às massas de ar no litoral, “a massa polar atlântica (mPa), com a sua descontinuidade, a frente polar (FPA), e a massa tropical atlântica (mTa) alternam-se durante todo o ano, predominando, contudo, a mTa no decorrer do ano” (MORAES *et al.*, 2009). Silveira (2014) aponta que o regime de ventos apresenta uma pequena variação durante o ano, sendo o vento norte o que mais recorre, predominando em dez dos doze meses do ano (Tabela 4).

Tabela 4 - Vento predominante ao longo dos meses entre 1996 e 2011.

(D – Direção do Vento/ % - porcentagem de ocorrência do vento mensal ao longo dos anos).

| Estação meteorológica | | Mês | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|
| | | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
| Florianópolis | D | N | N.SE | N | S. N | S | N | N | N | N | N | SE | N |
| | % | 41,2 | 70,5 | 41,2 | 70,5 | 41,2 | 88,2 | 58,8 | 82,3 | 47 | 47 | 41,2 | 41,2 |

Fonte: adaptado de Silveira (2014).

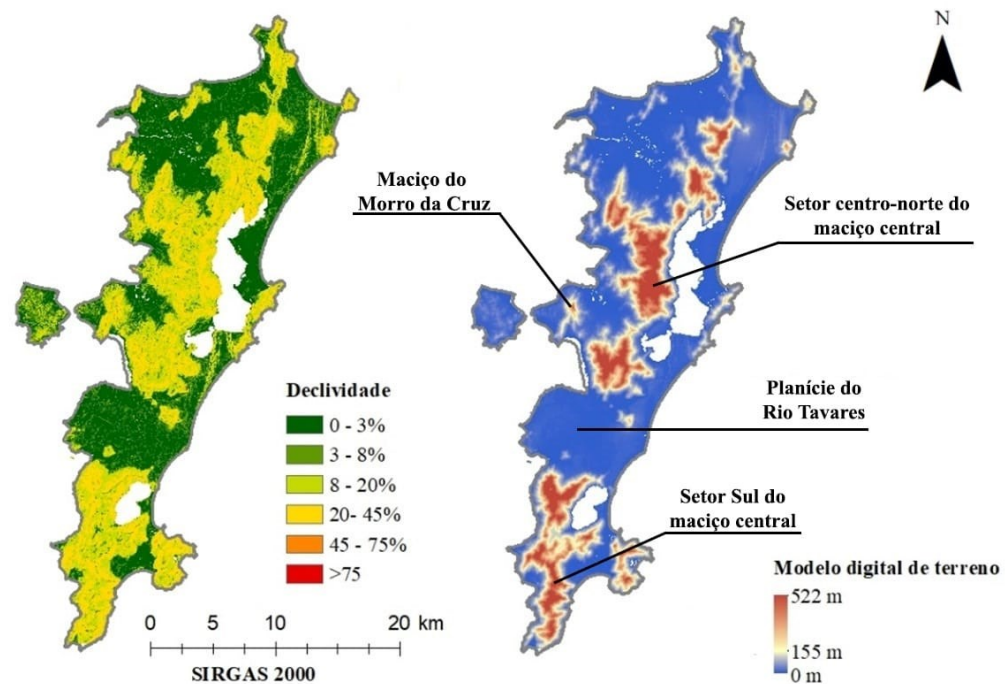
“Sob o ponto de vista da morfologia, o município de Florianópolis pode ser dividido em maciços rochosos, ocorrendo sob a forma de morros altos, escarpados, que contrastam com planícies sedimentares de origem marinha e costeira” (RAIMUNDO, 1998, p.64). Dessa forma sua geodiversidade pode ser enquadrada em dois domínios geomorfológicos principais: o embasamento cristalino representado pelas unidades geológicas do Escudo Catarinense e Formação Serra Geral e a planície costeira representada pelos sedimentos de origem continental, transicional e marinha (ALBINO *et al.*, 2006).

Sobre a geodiversidade da parte continental, Cruz (1998 apud COVELLO, 2018) afirma que embora não exista um mapeamento detalhado da parte continental de Florianópolis, a parte continental possui as mesmas características da ilha de Santa Catarina.

A área central de Florianópolis é embasada por maciços rochosos de composição granítica que “ocorrem em forma de cristas e atravessam a Ilha de Santa Catarina em toda sua extensão, por uma dorsal central orientada, predominantemente, na direção NNE-SSW” (COVELLO *et al.*, 2018, p.4).

Essa central é separada pela planície do Rio Tavares e pode ser subdividida em setor sul e setor centro-norte (Figura 6). O setor sul compreende o morro do Ribeirão e possui altitudes que variam entre 300 m e 532 m, e o setor centro-norte abrange a porção sul do morro do Campeche até o morro do Rapa, sendo o morro da Costa da Lagoa o de maior altitude do setor, chegando a 492 m (COVELLO *et al.*, 2018).

Figura 6 - Espacialização de características do relevo de Florianópolis.



3.2 OBTENÇÃO DE DADOS E CONTROLE DE QUALIDADE

3.2.1 Obtenção dos dados

Para o desenvolvimento deste estudo, foram selecionados dados de precipitação diários de observações *in situ* obtidos através de estações meteorológicas atualmente instaladas em no município de Florianópolis e dados de precipitação obtidos por meio do produto de satélite CHIRPS.

A fim de obter as séries disponíveis de chuvas diárias de estações em solo, foram consultados os bancos de dados da Agência Nacional de Águas (ANA), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), do Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (CIRAM), pertencente à Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN) e do Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA).

Foram encontradas 12 estações pluviométricas com dados disponíveis, variando entre 8 e 71 anos. A relação das estações pluviométricas com registros disponibilizados é apresentada na Tabela 5, enquanto a localização pode ser observada na Figura 7.

Tabela 5 - Relação dos pluviômetros com séries disponíveis para análise.

| ID | Código | Estação Pluviométrica | Coordenadas (graus) | | Operadora | Período de dados | |
|----|------------|--------------------------|---------------------|--------|-----------|------------------|------|
| | | | Lat. | Long. | | Início | Fim |
| 1 | 420540704A | Agronômica | -27,58 | -48,53 | CEMADEN | 2014 | 2022 |
| 2 | 420540703A | Areias Campeche | -27,71 | -48,50 | CEMADEN | 2014 | 2022 |
| 3 | 420540707A | Canasvieiras | -27,43 | -48,46 | CEMADEN | 2014 | 2022 |
| 4 | 420540702A | Coqueiros | -27,60 | -48,57 | CEMADEN | 2014 | 2022 |
| 5 | 420540706A | Costeira do Pirajubaé | -27,63 | -48,52 | CEMADEN | 2014 | 2021 |
| 6 | 420540708A | Rio Vermelho | -27,49 | -48,42 | CEMADEN | 2014 | 2022 |
| 7 | 420540705A | Rodovia SC 406 | -27,75 | -48,51 | CEMADEN | 2014 | 2022 |
| 8 | 2469 | Lagoa do Peri | -27,73 | -48,51 | CASAN | 2002 | 2022 |
| 9 | 125/1006 | Florianópolis – CETRE | -27,58 | -48,51 | EPAGRI | 2002 | 2022 |
| 10 | 2424 | Carijós | -27,47 | -48,49 | EPAGRI | 2013 | 2022 |
| 11 | 83897 | Florianópolis (São José) | -27,67 | -48,55 | INMET | 1961 | 2022 |
| 12 | 83899 | Aeroporto | -27,40 | -48,33 | ICEA | 1951 | 2021 |

Embora as estações do CEMADEN e a unidade Carijós, operada pelo INMET, tenham sido instaladas recentemente, apresentando menos de 10 anos de dados, suas séries históricas foram aplicadas no contexto da metodologia proposta neste trabalho objetivando uma maior cobertura da área de estudo.

Abrangendo os anos de 1981 a 2022, a versão diária do CHIRPS, disponibilizada no Google Earth Engine (Version 2.0 Final), foi escolhida para este trabalho. Por apresentar uma boa resolução espacial disponível, o produto possibilita um aporte adequado a uma pesquisa realizada a nível municipal.

Segundo a Organização Mundial de Meteorologia (WMO) (2008), a densidade mínima necessária para garantir a representatividade de redes pluviométricas e pluviográficas varia de acordo com suas unidades fisiográficas, sendo recomendado, para áreas urbanas, que cada estação hidrometeorológica atenda uma área de 10 a 20 km².

A coleção de imagens desse produto disponibiliza 31 pixels para a área de estudo, com cobertura de $\cong 6$ km² por pixel, chegando em $\cong 93\%$ ao número mínimo de estações pluviométricas que seria recomendado pela WMO para representar a precipitação de forma adequada em Florianópolis.

O produto de precipitação por satélite foi obtido a partir das coleções de imagens do satélite CHIRPS. A extração dos dados diários do produto na versão final 2.0 foi executada por meio do software *Google Earth Engine* (GEE). Criou-se uma função levando em consideração as características espaço-temporais dos dados de interesse, bem como as coordenadas das estações pluviométricas contidas na área de estudo.

Para que os dados de ambas as fontes pudessem ser comparadas em escala pontual, cada píxel que compõe a coleção de imagens CHIRPS foi transformado em uma estação, onde, através da média de sua área de abrangência (5,5 km x 5,5 km), foram obtidos dados pontuais centrais. Esse processo, aplicado à grade de píxeis contidos na área de estudo, resultou em 32 séries com 41 anos de dados de precipitação.

Entende-se que as séries de dados espaciais que passam por esse processo de transformação, para se tornarem comparáveis em escala a observações pontuais *in situ*, visto que são obtidas por metodologias distintas, requerem um maior cuidado na avaliação dos resultados provenientes da aplicação desses dados. Figura 7 mostra a localização das estações pluviométricas com relação a grade de píxeis CHIRPS, e a Tabela 6 apresenta a localização das estações pluviométricas e virtuais bem como as distâncias entre elas.

Figura 7 - Localização das estações pluviométricas e grade de píxeis do CHIRPS.

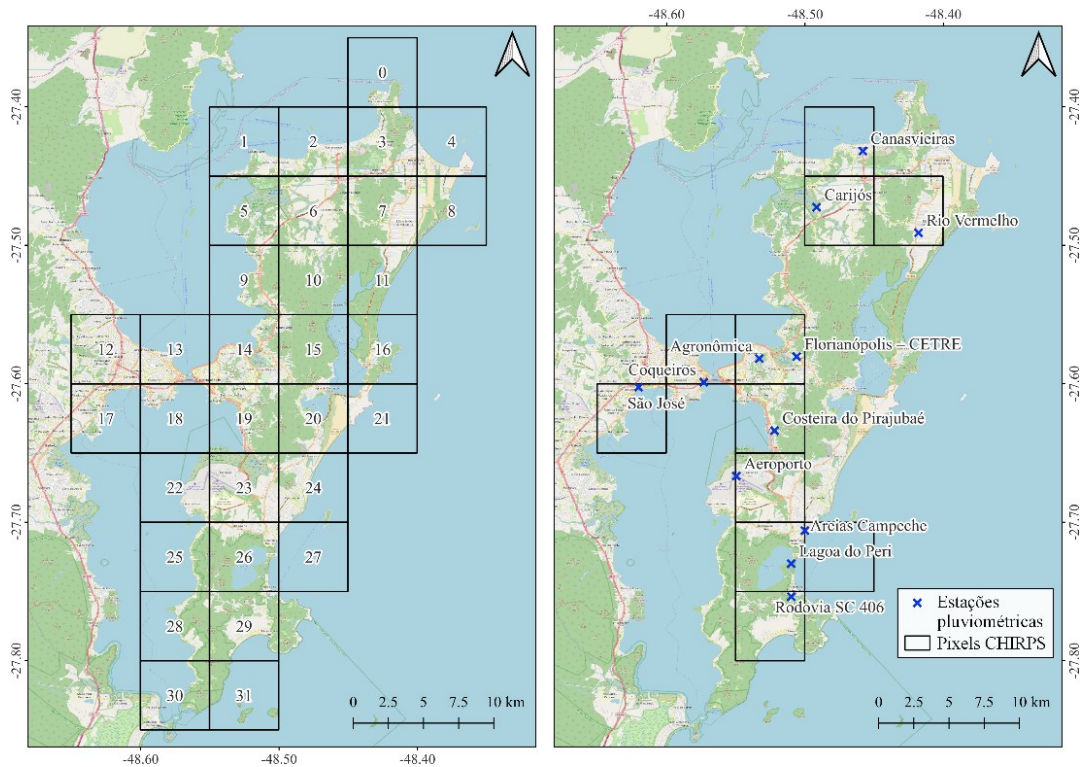


Tabela 6 - Dados das estações pluviométricas e estações virtuais CHIRPS.

| Estações Pluviométricas | Coordenadas (graus) | | Estações Virtuais | Coordenadas (graus) | | Período comum | Distância (km) |
|---------------------------------|---------------------|---------|-------------------|---------------------|--------|---------------|----------------|
| | Lat. | Long. | | Lat. | Long. | | |
| Agrônômica | -27,58 | -48,53 | CHIRPS-14 | -27,57 | -48,52 | 2014 a 2022 | 2,551 |
| Areias Campeche | -27,71 | -48,50 | CHIRPS-26 | -27,72 | -48,52 | 2014 a 2022 | 1,076 |
| Canasvieiras | -27,43 | -48,46 | CHIRPS-2 | -27,42 | -48,47 | 2014 a 2022 | 3,231 |
| Coqueiros | -27,60 | -48,57 | CHIRPS-13 | -27,57 | -48,57 | 2014 a 2022 | 1,852 |
| Costeira do Pirajubaé | -27,63 | -48,52 | CHIRPS-19 | -27,62 | -48,52 | 2014 a 2021 | 2,645 |
| Rio Vermelho | -27,49 | -48,42 | CHIRPS-7 | -27,47 | -48,42 | 2014 a 2022 | 1,024 |
| Rodovia SC 406 | -27,75 | -48,51 | CHIRPS-29 | -27,77 | -48,52 | 2014 a 2022 | 1,902 |
| Lagoa do Peri | -27,73 | -48,51 | CHIRPS-26 | -27,72 | -48,52 | 2002 a 2022 | 2,797 |
| Florianópolis – CETRE | -27,58 | -48,51 | CHIRPS-14 | -27,57 | -48,52 | 1995 a 2022 | 1,595 |
| Carijós | -27,47 | -48,49 | CHIRPS-6 | -27,47 | -48,47 | 2013 a 2022 | 1,980 |
| Florianópolis (São José) | -27,67 | -48, 55 | CHIRPS-17 | -27,62 | -48,62 | 1981 a 2022 | 1,644 |
| Aeroporto | -27,40 | -48,33 | CHIRPS-23 | -27,67 | -48,52 | 19781 a 2021 | 2,578 |

3.2.2 Análise de consistência das observações

Para avaliar a consistência das séries de dados pluviométricos em escala municipal, utilizou-se o método da dupla massa. Esse método tem por objetivo demonstrar a homogeneidade das séries de dados de uma estação pluviométrica a partir de sua relação com as observações de uma ou mais estações vizinhas, podendo ser aplicado nos dados em sua forma bruta ou corrigidos com técnicas de preenchimento de falhas observacionais (BERTONI; TUCCI, 2013).

O histórico acumulado de precipitação da estação analisada é comparado aos históricos acumulados das estações vizinhas. Esses dados são plotados em gráfico de dispersão e a consistência dos totais anuais da estação analisada é confirmada quando a relação apresenta uma tendência linear com relação as demais estações.

3.2.3 Avaliação estatística de desempenho do produto CHIRPS

Os índices calculados para avaliar o desempenho dos dados estimados pelo produto de satélite CHIRPS são: o coeficiente de determinação (R^2) (Equação 1), viés percentual (PBIAS) (Equação 2), raiz do erro quadrático médio (REQM) (Equação 3) e raiz do erro quadrático médio normalizado (REQMN) (Equação 4).

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{sim(i)} - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{obs(i)} - \bar{Y})^2} \right] \quad (1)$$

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{sim(i)} - Y_{obs(i)}) \times 100}{\sum_{i=1}^n (Y_{obs(i)})} \quad (2)$$

$$REQM = \left[\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{obs(i)} - Y_{sim(i)})^2}}{n} \right] \quad (3)$$

$$REQMN = \frac{REQM}{DESVPAD_{OBS}} = \left[\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{obs(i)} - Y_{sim(i)})^2}}{\sum_{i=1}^n (Y_{obs(i)} - \bar{Y})^2} \right] \quad (4)$$

onde:

$Y_{obs(i)}$ - valor observado na estação ou posto pluviométrico em análise;

$Y_{sim(i)}$ - valor estimado pelo CHIRPS;

Y - média dos valores observados; e

n - número de observações.

Para interpretação da qualidade dos resultados, foi considerada a classificação sugerida por Rauf e Ghuman (2018), que pode ser observada na Tabela 7.

Tabela 7 - Classificação dos indicadores estatísticos de desempenho.

| Classes | R ² | PBIAS | REQMN |
|----------------|----------------|---------|-------------|
| Muito bom | 0,85 – 1,00 | < 5 | 0,00 – 0,50 |
| Bom | 0,70 – 0,85 | 5 – 10 | 0,50 – 0,60 |
| Satisfatório | 0,60 – 0,70 | 10 – 15 | 0,60 – 0,70 |
| Aceitável | 0,40 – 0,60 | – | – |
| Insatisfatório | ≤ 0,40 | ≥ 15 | > 0,70 |

Fonte: adaptado de Rauf e Ghumman (2018).

3.2.4 Testes não paramétricos para análise de frequência

Após a avaliação estatística de desempenho, será realizada a análise de frequência das precipitações para avaliar se os dados de cada Pdma são aleatórios, independentes e estacionários, identificando possíveis *outliers*.

Seguindo a rotina disponibilizada por Weschenfelder (2017), foi realizado o teste do número de inflexões de NERC para verificação da aleatoriedade, o teste de Wald e Wolfowitz para verificação da independência, o teste Mann Whitney para verificação da homogeneidade, e Spearman para avaliação da estacionariedade. A sequência de testes escolhida será descrita de acordo com Naguetinni e Pinto (2007).

Se uma amostra N de observações é aleatória, o valor esperado pelo número de inflexões denotado por p é dado por

$$E[p] = \left(\frac{N-2}{3}\right) \quad (5)$$

com variância aproximada pela Equação 6.

$$Var [p] = \frac{16N-29}{90} \quad (6)$$

e a estatística do teste estimada pela Equação 7.

$$T = \frac{p - E[p]}{\sqrt{Var[p]}} \quad (7)$$

Para a rejeição ou não rejeição da hipótese de independência a estatística do teste de Wald-Wolfowitz é dada por:

(8)

$$R = \sum_{i=1}^{N-1} X'_i X'_{i+1} + X'_1 X'_N$$

De modo que a estatística distribuição Normal da média igual dada pela Equação 9.

(9)

$$E[R] = \frac{S_2}{N-1}$$

e variância dada pela Equação 10.

(14)

$$E[V] = \frac{N_1 N_2}{2}$$

(10)

$$Var[R] = \frac{S_2^2 - S_4}{N-1} + \frac{S_2^2 - S_{s4}}{(N-1)(N-2)} - \frac{S_2^2}{(N-1)^2}$$

e a estatística do teste estimada pela Equação 11.

(11)

$$T = \frac{R - E[R]}{\sqrt{Var[R]}}$$

Para realização do teste de homogeneidade, subdivide-se a amostra em 2 subamostras V_1 e V_2 . A estatística do teste de homogeneidade é dada pelo menor valor entre as quantidades V

(12)

$$V_1 = N_1 N_2 + \frac{N_1(N_1 + 1)}{2} - R_1$$

(13)

$$V_1 = N_1 N_2 - V_1$$

de modo que a estatística distribuição Normal do teste é dada pela Equação 15.

A estatística do teste de estacionariedade de Spearman parte do coeficiente dado pela Equação 16

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{t=1}^N (m_t - T_t)^2}{N^3 - N} \quad (16)$$

com variância dada pela Equação 17.

$$Var[r_s] = \frac{1}{N - 1} \quad (17)$$

de modo que a estatística distribuição Normal do teste é dada pela Equação 18.

$$T = \frac{r_s}{\sqrt{Var[r_s]}} \quad (18)$$

Para todos os testes, foi considerado um nível de significância $\alpha=5\%$, onde a decisão

$$T = \frac{V - E[V]}{\sqrt{Var[V]}} \quad (15)$$

deve ser de rejeitar a hipótese nula quando $|T| > Z_{1-\alpha/2}$.

3.2.5 Ajuste da distribuição probabilística

Após a análise de frequência, os seguintes métodos de distribuição estatística foram avaliados para realizar o ajuste das séries de precipitação diária máxima anual.

Log-normal

Na distribuição log-normal a 3 parâmetros, deduz-se da variável X a quantidade a que representa um limite inferior; se o valor de $a = 0$ tem-se uma distribuição log-normal de 2 parâmetros (NAGHETTINI; PINTO, 2007). A função de distribuição acumulada da log-normal é descrita pela Equação 19.

$$f(x) = \frac{1}{(x-a)\sqrt{2\pi}\sigma^2} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{\ln(x-a) - \mu}{\sigma^2} \right]^2} dx \quad (19)$$

onde:

μ - média da variável dos logaritmos da variável x ;

σ - desvio padrão da variável dos logaritmos da variável x ; e

a - valor limite da amostra.

Gumbel

O modelo de valores extremos Gumbel (Tipo I) é a distribuição assintótica do maior valor de uma sequência ilimitada de variáveis aleatórias independentes e igualmente distribuídas. Segundo Naghettini e Pinto (2007), esse é o modelo de distribuição mais usado na análise de frequência de variáveis hidrológicas, tendo inúmeras aplicações na determinação das relações intensidade-duração-frequência, precipitações intensas e estudos de vazões de enchentes.

Pelo modelo de distribuição de Gumbel, a probabilidade de ocorrer no futuro um evento menor ou igual a x , a cada 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, é dada que pela Equação 20.

$$P[X \leq x] = F(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}} \quad (20)$$

onde:

P - probabilidade;

F - frequência;

α - parâmetro de escala; e

u - parâmetro de posição (moda).

Weibull

A distribuição de Weibull para análise de mínimos refere-se à forma assintótica limite para um conjunto de N variáveis aleatórias originais independentes e igualmente distribuídas conforme um modelo $F_X(x)$ de cauda inferior limitada (NAGHETTINI; PINTO, 2007). A função de probabilidade acumulada de Weibull é descrita pela Equação 21.

(21)

$$F_x(x) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{z}{\beta} \right)^\alpha \right] \text{ para } z \geq 0, \beta \geq \alpha > 0$$

onde:

β - parâmetro de escala; e

α - parâmetro de forma para $\alpha = 1$.

A distribuição de Weibull é a exponencial com parâmetro de escala β .

Generalizada de valores extremos (GEV)

A função de densidade de probabilidade (FDP) da distribuição GEV é dada pela Equação 22.

$$F(x) = \frac{1}{\sigma} \left[1 - \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-\left(\frac{1}{\xi} + 1\right)} \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-\frac{1}{\xi}} \right\} \quad (22)$$

onde:

μ - parâmetro de localização;

σ - parâmetro de escala; e

ξ - parâmetro de forma.

3.2.6 Aderência dos dados à distribuição

O ajuste da distribuição probabilística foi avaliado por meio do teste qui-quadrado X^2 (Equação 23), com nível de significância de 5%, onde a distribuição que proporcionar índice mais próximo de zero será selecionada para iniciar o processo de desagregação de chuvas de 1 dia em chuvas de menores durações.

(23)

$$X^2 = \sum_{i=1}^{i-k} \frac{(Fo_i - Fe_i)^2}{Fe_i}$$

onde:

k - número de classes;

Fo_i - frequência observada; e

Fe_i - frequência esperada.

3.2.7 Desagregação das chuvas diárias em sub-diárias

Para transformar os acumulados diários em chuvas de menores durações, foi aplicado o método de desagregação desenvolvido pela CETESB (1979). Foram adotadas durações entre 5 minutos e 24h, permitindo uma melhor visualização do comportamento da precipitação ao longo do tempo e períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, dada sua aplicação frequente a sistemas urbanos de microdrenagem, macrodrenagem e zoneamento de áreas ribeirinhas (CETESB 1980; SMDU, 2012; TUCCI, 2005). Os fatores de desagregação utilizados foram recomendados pela CETESB e são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Fatores de desagregação sub-diários.

| RELAÇÃO DE DURAÇÕES | RELAÇÃO DE CHUVAS | RELAÇÃO DE DURAÇÕES | RELAÇÃO DE CHUVAS |
|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| 5 min/ 30 min | 0,34 | 1 hora / 24 horas | 0,42 |
| 10 min/ 30min | 0,54 | 2 horas / 24 horas | 0,48 |
| 15 min/ 30 min | 0,70 | 4 horas / 24 horas | 0,66 |
| 20 min/ 30 min | 0,81 | 6 horas / 24 horas | 0,72 |
| 25 min/ 30min | 0,91 | 8 horas / 24 horas | 0,78 |
| 30min/ 30 min | 0,74 | 12 horas / 24 horas | 0,85 |
| 1 hora / 24 horas | 0,42 | 24 horas / 1 dia | 1,14 |

Fonte: Adaptado CETESB, 1980.

3.2.8 Obtenção das relações IDF

Após o ajuste da distribuição probabilística e obtenção das séries de precipitações sub-diárias, o método da verossimilhança foi aplicado para a estimativa do conjunto de parâmetros que compõem as relações IDF.

A família de curvas IDF por estação pode ser obtida através da relação simultânea entre os parâmetros a, b, c e d, sendo essa relação expressa por meio da Equação 24.

$$i = \frac{a \cdot Tr^b}{(t + c)^d} \quad (24)$$

onde:

i - intensidade máxima de precipitação (mm/h);

Tr - período de retorno (anos);

t - duração da precipitação (minutos); e

a, b, c, d - parâmetros de ajuste para cada local.

A qualidade do ajuste da equação IDF foi avaliada através dos testes R^2 e REQM.

3.3 AVALIAÇÃO DE ESTIMATIVAS DE CHUVAS INTENSAS DE FLORIANÓPOLIS OBTIDAS POR DIFERENTES METODOLOGIAS

Definidas as relações IDF para Florianópolis, com dados obtidos dentro dos limites do município e atualizada a relação IDF com dados do município vizinho (Florianópolis-São José), foram realizadas comparações entre as famílias de curvas e equações estabelecidas nesse estudo com as estabelecidas por Back (2014), sendo essa a equação de chuvas intensas mais recentemente a ser disponibilizada em estudos de chuvas intensas para a região.

Primeiramente, as relações IDF, atualizadas e estimadas por Back (2014), foram comparadas de forma visual através da representação gráfica de sua família de curvas. Em seguida, foram calculadas as intensidades de precipitação com base nas equações IDF pré-estabelecida e atualizada para tempo de retorno (T_r) de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos e durações de 5, 30 e 120 minutos, com o objetivo de estimar a diferença entre elas.

O erro relativo percentual entre as intensidades estimadas pelas relações IDF nesse estudo com relação as pré-estabelecidas por Back (2014) foram obtidas através da Equação 25.

$$\epsilon = \frac{|x - \bar{x}|}{\bar{x}} \times 100 \quad (25)$$

Onde:

ϵ - erro relativo em %;

x - Intensidade de precipitação estimada (mm/h); e

\bar{x} - Intensidade de precipitação pré-estabelecida (mm/h).

As curvas e equações estabelecidas por Back (2014) também foram comparadas com as estabelecidas dentro dos limites do município para avaliar se há diferenças significativas entre as intensidades de precipitação calculadas com dados de São José em relação àquelas calculadas com dados de Florianópolis.

Com base no erro relativo percentual (ϵ), na localização das estações pluviométricas e nas características das séries de dados, será indicado se o emprego das relações IDF pré-estabelecidas por Back (2014) seria recomendável para dimensionamento de projetos de engenharia e obras hidráulicas em cada região.

3.4 ANÁLISE DE TENDÊNCIA NO REGIME DE CHUVAS AO LONGO DO TEMPO

Para verificar se existem tendências estatísticas que podem iniciar algum tipo de mudança no regime de chuvas da região, aplicou-se o teste não paramétrico de Mann-Kendall. Assumindo-se séries de Pdma homogêneas e independentes, a estatística do teste de Mann-Kendall é dada pela Equação 26.

$$S = \sum_{k=1}^{nj-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (26)$$

onde:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & x > 0 \\ 0 & x = 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases} \quad (26)$$

Em seguida, calcula-se a variância da estatística de S através da Equação 27.

$$\text{Var}[S] = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^p (t_j-1)(2t_j) + 5}{18} \quad (27)$$

onde:

n - número de observações, caso a série tenha grupos de observações iguais;

p - número de grupos com observações iguais;

t_j - número de dados com valores iguais em um certo grupo j;

Mesmo que para poucas observações, pode-se assumir uma distribuição normal, na qual o valor da estatística ZMK pode ser obtido através da Equação 28.

$$ZMK = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{Var[S]}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{Var[S]}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (28)$$

O resultado de ZMK indica a tendência da amostra analisada. Os valores de $Z > 0$ indicam tendências crescentes, e, quando $ZMK < 0$, o teste indica tendência decrescentes se $Z = 0$, não há tendência significativa.

Nesta pesquisa, assumiu-se nível de significância $\alpha = 0,05$. Sendo assim, para rejeitar a hipótese H_0 , é preciso que o valor absoluto de ZMK seja superior a 1,96.

O método não paramétrico da curvatura de Sen - *Sens slope* (SEN, 1968) será aplicado para calcular a magnitude das tendências a partir do cálculo dos pares da série $\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$. A curvatura de Sen (S_e) pode ser obtida através da Equação 29.

$$S_e = \frac{x_j - x_i}{j - i} \quad (29)$$

O modelo de regressão linear também será aplicado com o objetivo de avaliar a possível existência de tendências lineares nas séries de Pdma, analisando a relação entre o tempo e os eventos extremos de precipitação.

O gradiente de regressão linear pode ser obtido através da Equação 30.

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - xm)(y_i - ym)}{\sum_{i=1}^n (x_i - xm)} \quad (30)$$

onde:

x_i - posição original;

y_i - posição da variável de interesse; e

xm e ym - média entre as posições x_i e y_i .

O coeficiente linear (intercepto) é dado pela Equação 31.

$$a = ym - b.xm \quad (31)$$

Sendo a estatística do teste S obtida através da Equação 32.

$$S = \frac{b}{\sqrt{\frac{12 \sum_{i=1}^n (y_i - a - b.x_i)}{n(n-2)(n^2-1)}}} \quad (32)$$

Em uma análise simples, o coeficiente angular (b) pode indicar tendência crescente quando “b” >0, e tendência decrescente quando “b”. A estatística do teste S segue uma distribuição de t-student com 2 graus de liberdade.

O conjunto de testes aplicados para análise de tendência da série temporal de precipitação em escala de máximos diárias anuais será realizado assumindo um nível de significância $\alpha = 0,05$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

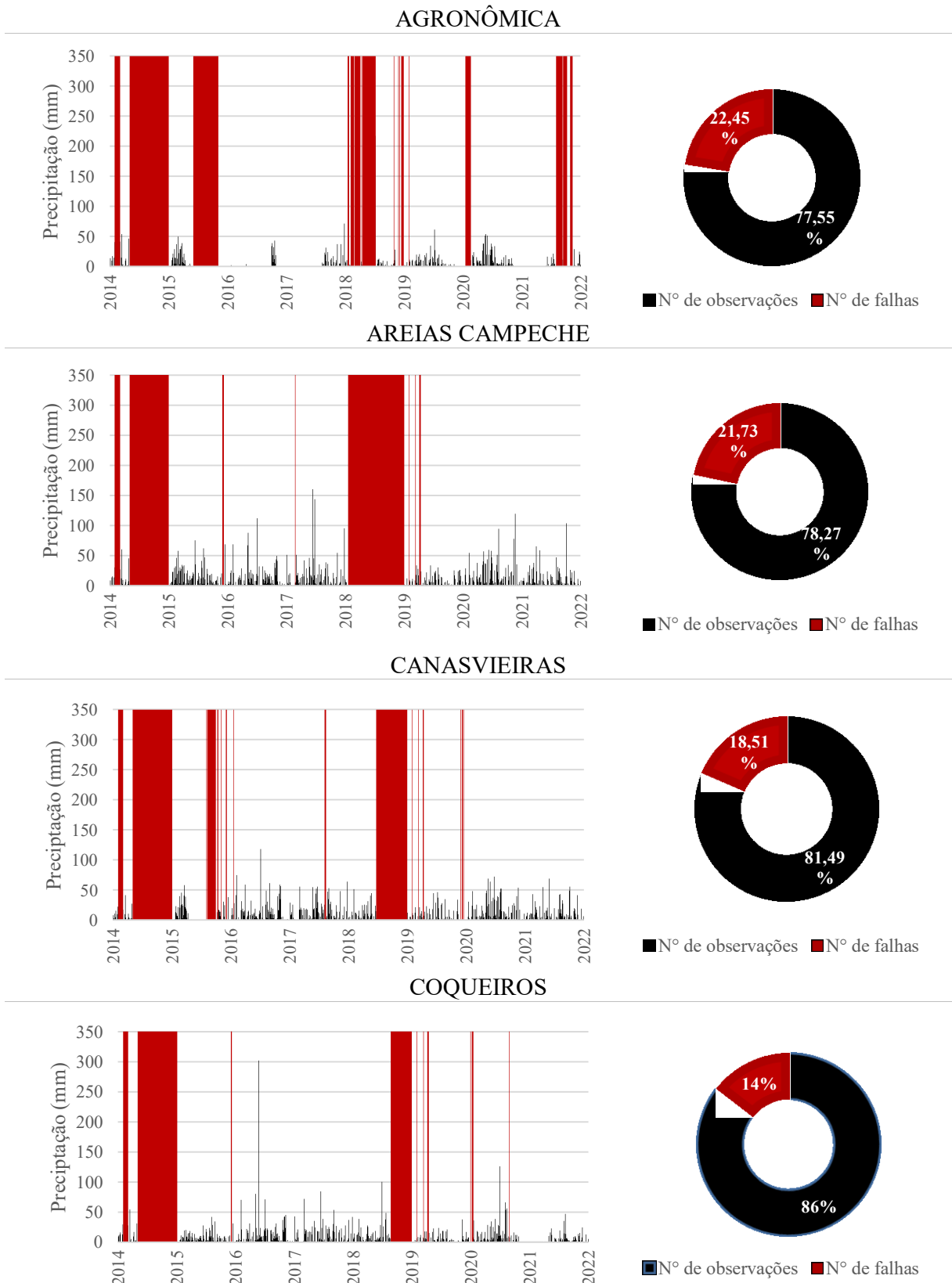
4.1 ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DAS OBSERVAÇÕES

Dentre as 12 estações meteorológicas com dados disponíveis para realização deste estudo, apenas 4 possuem séries históricas superiores a 10 anos. Lacunas de dados de precipitação foram observadas em todas as séries disponíveis, com porcentagem de falhas variando entre 0,44% e 42,20%.

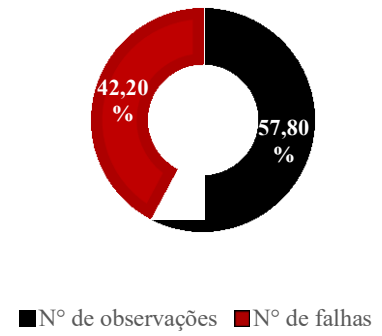
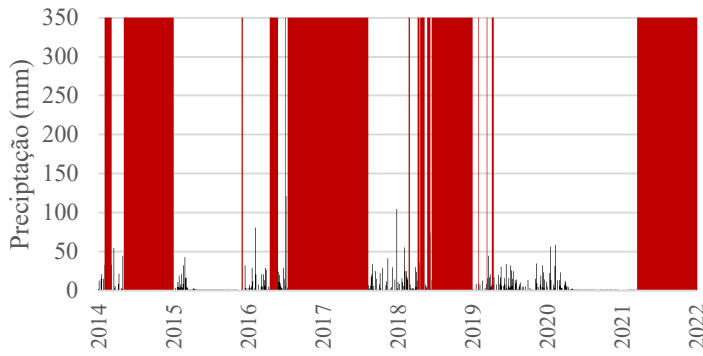
O conjunto de estações meteorológicas operadas pelo CEMADEN (7 postos) em Florianópolis apresenta as menores séries (≈ 8 anos) e os maiores períodos de falha proporcionalmente, sendo que, em média, suas séries apresentam 24,17% de dados ausentes. A estação pluviométrica da Costeira apresentou a maior porcentagem de falhas dentre todas as estações: 42,20%.

As estações Carijós (norte da ilha) e Aeroporto (sul da ilha) possuem as séries de dados mais completas, com porcentagem de falhas de 0,44% e 2,21% respectivamente. A Figura 8 apresenta um panorama da porcentagem de falhas dentro das séries de observações pontuais por estação pluviométrica.

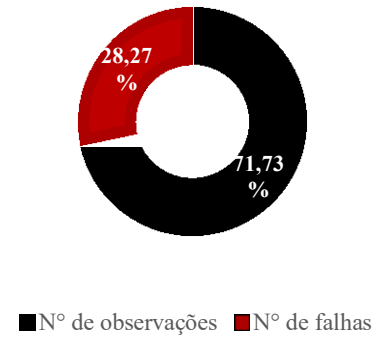
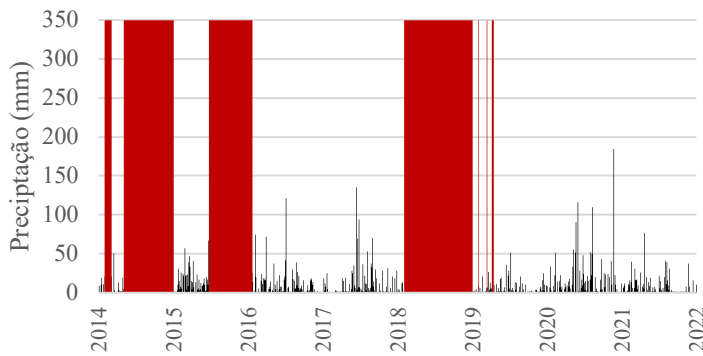
Figura 8 - Porcentagem de falhas no período de observação por estação pluviométrica.



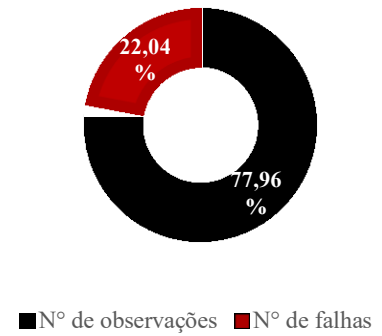
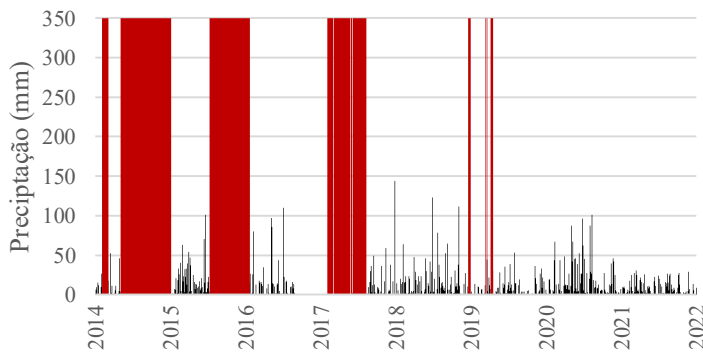
COSTEIRA DO PIRAJUBAE



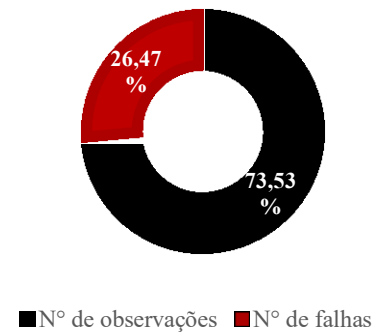
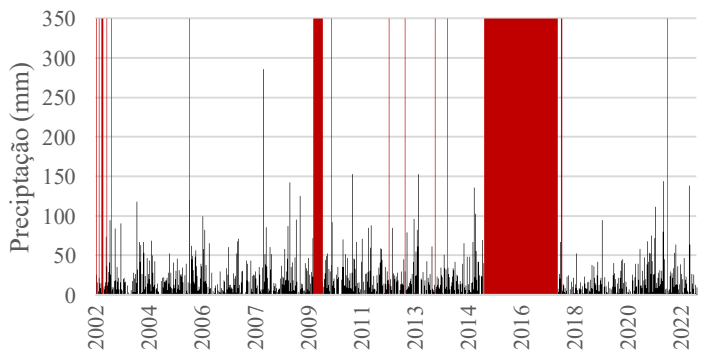
RIO VERMELHO



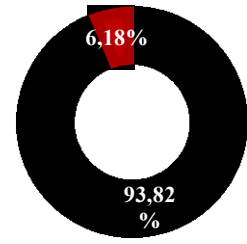
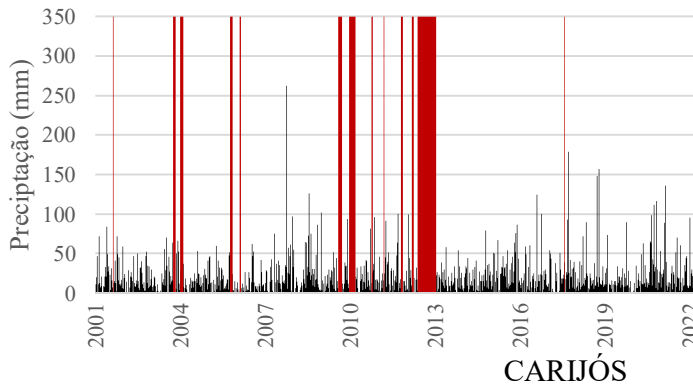
SC 406



LAGOA DO PERI

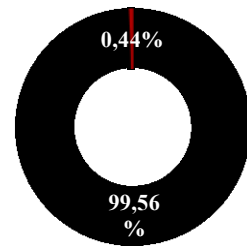
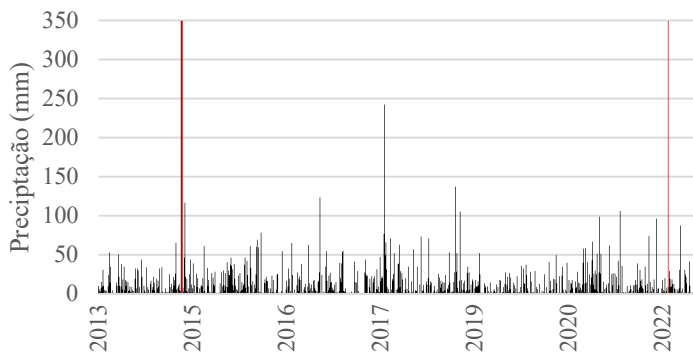


FLORIANÓPOLIS – CETRE



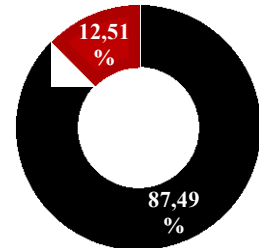
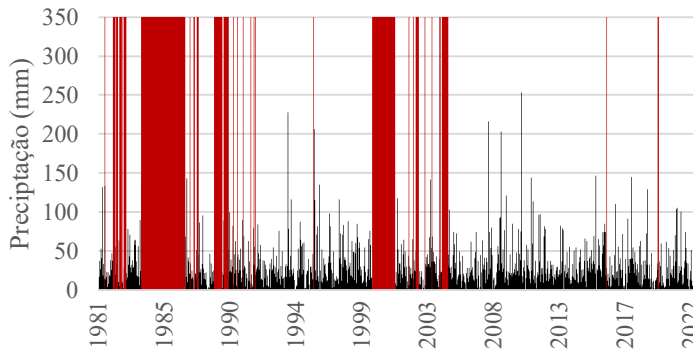
■ Nº de observações ■ Nº de falhas

CARIJÓS



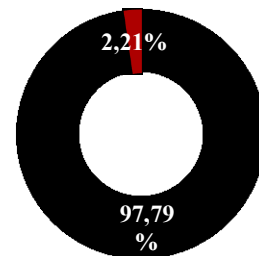
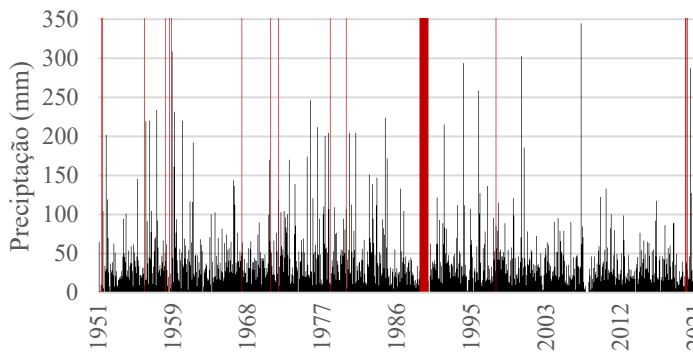
■ Nº de observações ■ Nº de falhas

FLORIANÓPOLIS – (SÃO JOSÉ)



■ Nº de observações ■ Nº de falhas

AEROPORTO



■ Nº de observações ■ Nº de falhas

Para análise de consistência e homogeneidade dos dados observados, foi realizado um teste de dupla massa. As séries de dados foram divididas em dois grupos, sendo o Grupo 1 composto pelas 8 séries com períodos observados inferiores a 10 anos (Agrônômica, Areias Campeche, Canasvieiras, Coqueiros, Costeira do Pirajubaé, Rio Vermelho, Rodovia SC 406 e Carijós) e o Grupo 2 composto pelas 4 séries com períodos observados superiores a 10 anos (Lagoa do Peri, Florianópolis CETRE, Florianópolis (São José) e Aeroporto).

Essa divisão permite que o maior número de anos em comum seja comparado entre as estações vizinhas, proporcionando maior confiança ao teste.

Devido ao fato de as falhas de observações serem distribuídas por toda a série de dados para a maioria das estações, em ambos os grupos foram analisadas séries descontínuas mensais, onde, tanto para o período em comum de observações do grupo 1 (2014 a 2021), quanto para o período em comum de observações do grupo 2 (2002 a 2021), utilizaram-se apenas os meses que não apresentavam falhas nas observações.

O gráfico duplo acumulativo e seu respectivo coeficiente de correlação R^2 é apresentado na Figura 9 para o Grupo 1 e na Figura 10 para o Grupo 2.

Figura 9 - Curva de dupla massa Grupo 1.

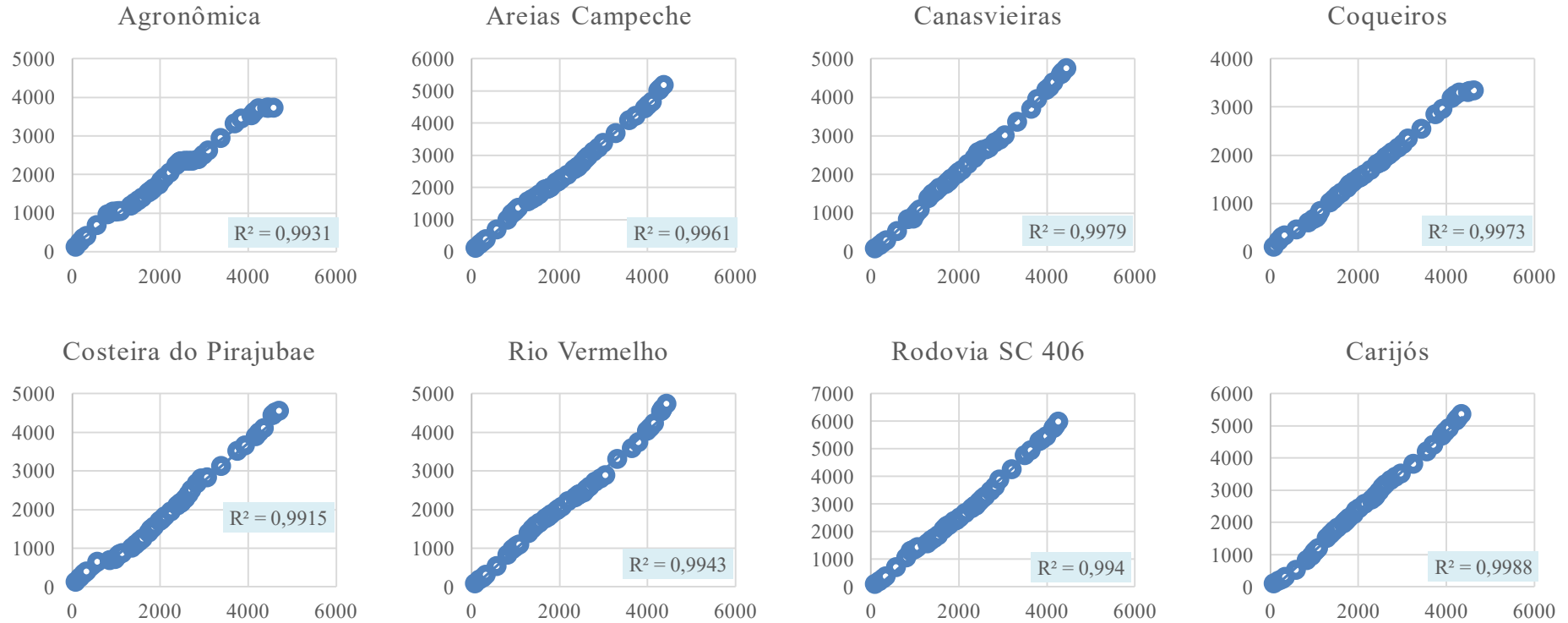
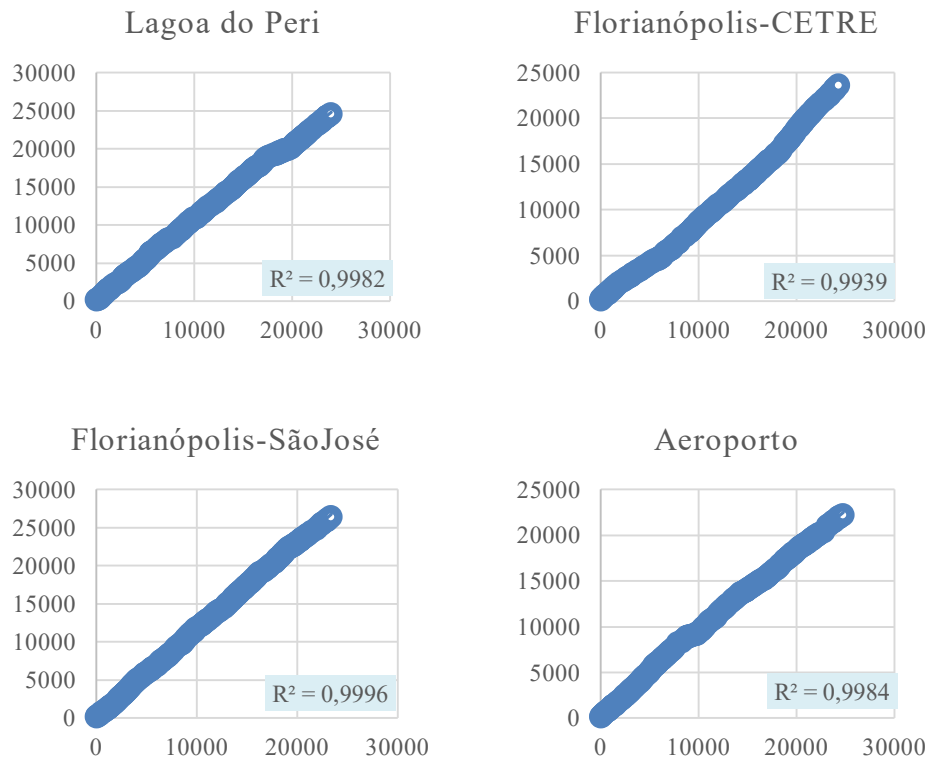


Figura 10 - Curva de dupla massa Grupo 2.



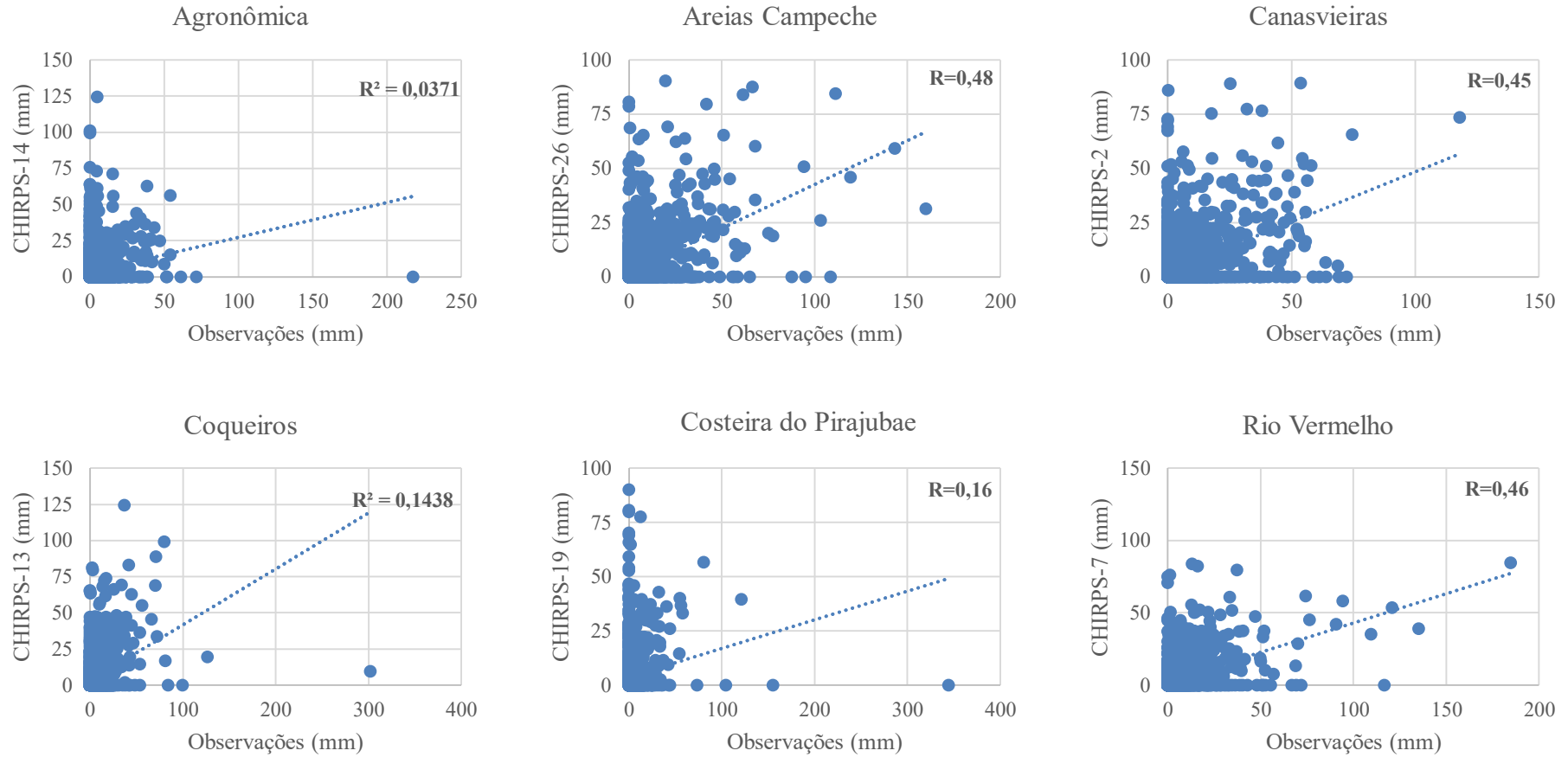
Todas as séries de dados em ambos os grupos apresentam uma clara correlação linear com R^2 superior a 0,99, indicando que há consistência entre as séries históricas de observações dentre os meses avaliados, de modo que podem ser consideradas homogêneas.

4.2 ANÁLISE DE DESEMPENHO DO PRODUTO CHIRPS

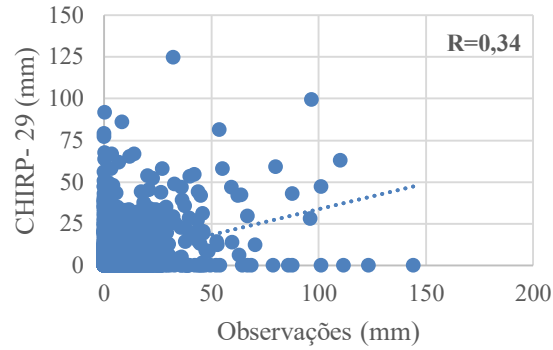
Na análise de desempenho, as séries de observações de precipitação em seu formato bruto (sem aplicação de procedimentos de preenchimento) foram comparadas às séries obtidas por meio do produto de sensoriamento remoto, em períodos equivalentes de precipitação.

A relação linear entre os dados diários observados e estimadas pelo produto CHIRPS pode ser avaliada a partir dos gráficos de dispersão apresentados na Figura 11. A Tabela 9 mostra o resumo dos coeficientes de determinação (R) apresentados nos gráficos abaixo.

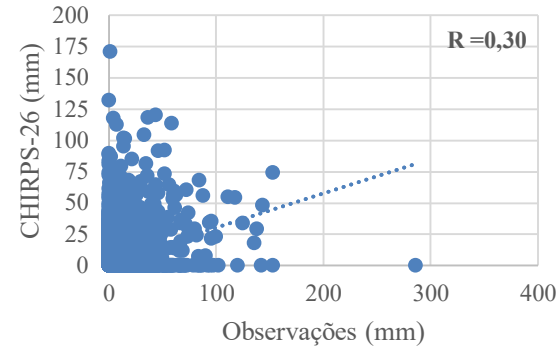
Figura 11 - Correlação diária entre observações *in situ* e as estações virtuais CHIRPS.



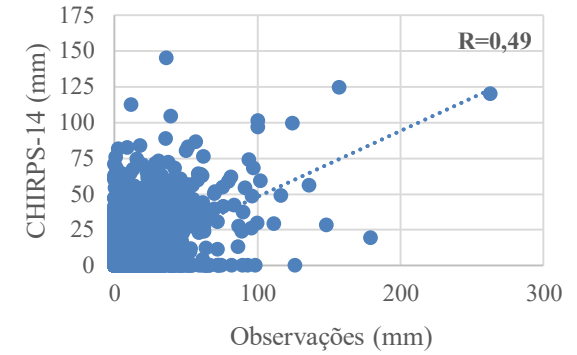
Rodovia SC406



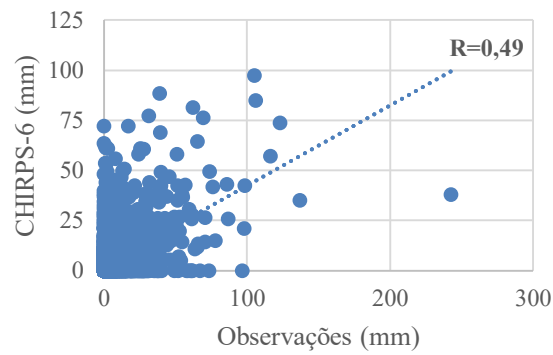
Lagoa do Peri



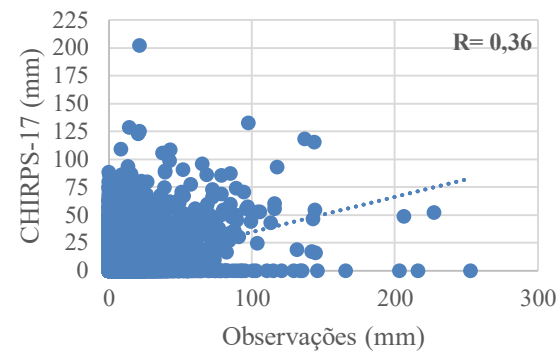
Florianópolis-CETRE



Carijós



Florianópolis - São José



Aeroporto

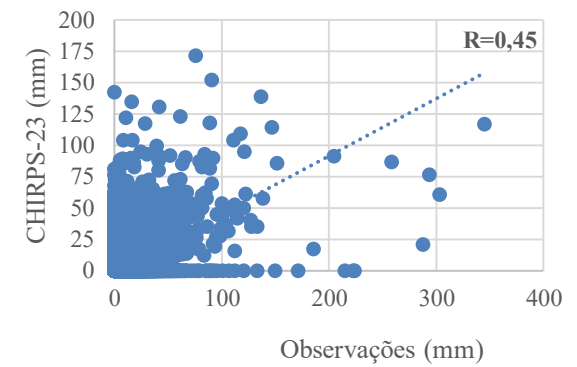


Tabela 9 - Resumo dos coeficientes de correlação para dados diários.

| Estação pluviométrica | R | Interpretação R |
|------------------------------------|----------|------------------------|
| Agronômica x CHIRPS-14 | 0,19 | desprezível |
| Areias Campeche x CHIRPS-26 | 0,48 | fraca |
| Canasvieiras x CHIRPS-2 | 0,45 | fraca |
| Coqueiros x CHIRPS-13 | 0,38 | fraca |
| Costeira do Pirajubaé - CHIRPS-19 | 0,16 | desprezível |
| Rio Vermelho x CHIRPS-7 | 0,46 | fraca |
| Rodovia SC 406 x CHIRPS-29 | 0,34 | fraca |
| Lagoa do Peri x CHIRPS-26 | 0,30 | desprezível |
| Florianópolis – CETRE x CHIRPS-14 | 0,49 | fraca |
| Carijós x CHIRPS-6 | 0,49 | fraca |
| Florianópolis-São José x CHIRPS-17 | 0,36 | fraca |
| Aeroporto x CHIRPS-23 | 0,45 | fraca |

Em geral, as correlações entre as observações *in situ* e as estações virtuais CHIRPS não expressaram um bom desempenho para caracterizar os dados de chuva em escala diária, apresentando coeficientes que variam entre 0,16 e 0,49.

Além do coeficiente de correlação R, também foram calculados os indicadores R², PBIAS, REQM e QMN. Esses indicadores estatísticos de desempenho são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Indicadores estatísticos de desempenho para precipitação diária.

| Estações | R² | PBIAS (%) | REQM (mm) | REQMN |
|------------------------------------|----------------------|------------------|------------------|--------------|
| Agronômica x CHIRPS-14 | 0,03 | 89,47 | 11,59 | 1,48 |
| Areias Campeche x CHIRPS-26 | 0,23 | -13,17 | 11,19 | 0,95 |
| Canasvieiras x CHIRPS-2 | 0,20 | 3,82 | 10,48 | 1,07 |
| Coqueiros x CHIRPS-13 | 0,14 | 30,14 | 11,49 | 1,13 |
| Costeira do Pirajubaé - CHIRPS-19 | 0,03 | 48,63 | 14,25 | 1,19 |
| Rio Vermelho x CHIRPS-7 | 0,21 | -0,92 | 10,73 | 0,98 |
| Rodovia SC 406 x CHIRPS-29 | 0,11 | 21,94 | 12,71 | 1,08 |
| Lagoa do Peri x CHIRPS-26 | 0,09 | -3,45 | 13,93 | 1,13 |
| Florianópolis – CETRE x CHIRPS-14 | 0,22 | -1,30 | 11,30 | 0,97 |
| Carijós x CHIRPS-6 | 0,24 | -13,43 | 11,22 | 0,93 |
| Florianópolis-São José x CHIRPS-17 | 0,13 | -5,96 | 13,39 | 1,08 |
| Aeroporto x CHIRPS-23 | 0,27 | 6,55 | 12,66 | 0,99 |

Aplicando a classificação sugerida por Rauf e Ghumman (2018) (Tabela 7), observa-se que todas as séries de dados diários do produto de precipitação CHIRPS avaliadas são apontadas classificadas como insatisfatórias para os índices REQMN e R². Os valores de R² variando entre 0,03 e 0,27 apontam que não há uma relação linear positiva entre as séries de

dados, indicando que o produto CHIRPS, para os pontos analisados, oferece um ajuste insatisfatório às observações *in situ*. Ao se analisar os valores de REQM, observa-se que, a magnitude média dos erros estimados varia entre 10,48 mm e 14,25 mm, valores expressivos para escala diária.

Embora as estações virtuais CHIRPS de nº 6, 17 e 26 tenham seus desempenhos de PBIAS classificados como satisfatórios, seus valores indicam uma leve tendência de subestimar os dados observados. Já as estações nº 2, 13, 14, 23 e 29, que compõem 50% das estações virtuais analisadas, tende a superestimar os eventos de diários de precipitação, apresentando valores positivos variando entre 3,82% e 89,47%, indicando uma maior tendência do produto CHIRPS de superestimar os dados observados.

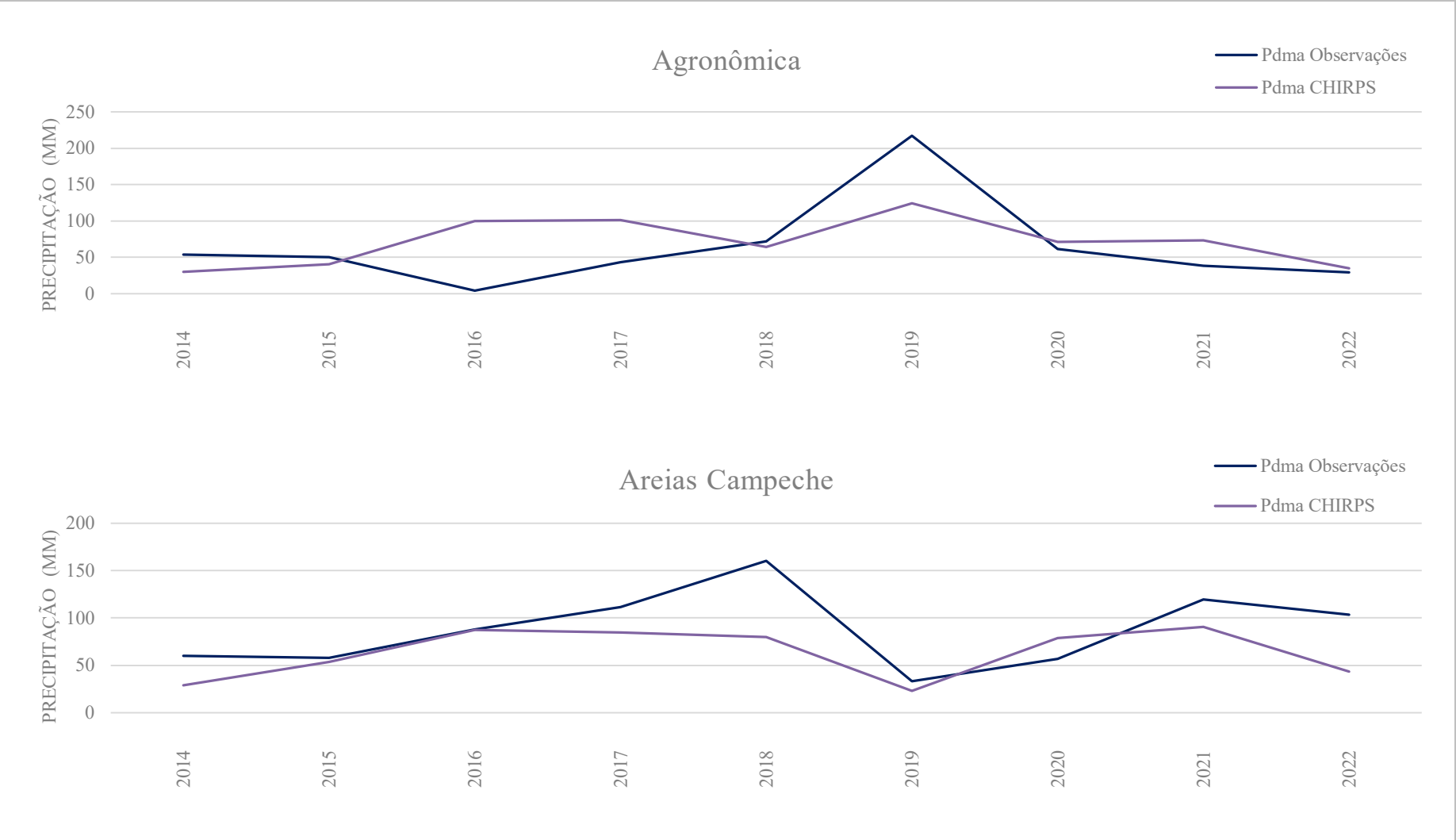
As estações nº 7, 14 e 26 apresentaram respectivamente os melhores desempenhos de PBIAS, considerado “muito bom” dentro da classificação de Raulf e Ghumman (2018), indicando que, para esses pontos, há um baixo percentual de viés entre a amostra do produto de satélite e as observações correspondentes; sendo assim, o produto CHIRPS não apresenta uma tendência significativa na estimativa dos valores de precipitação para esses pontos.

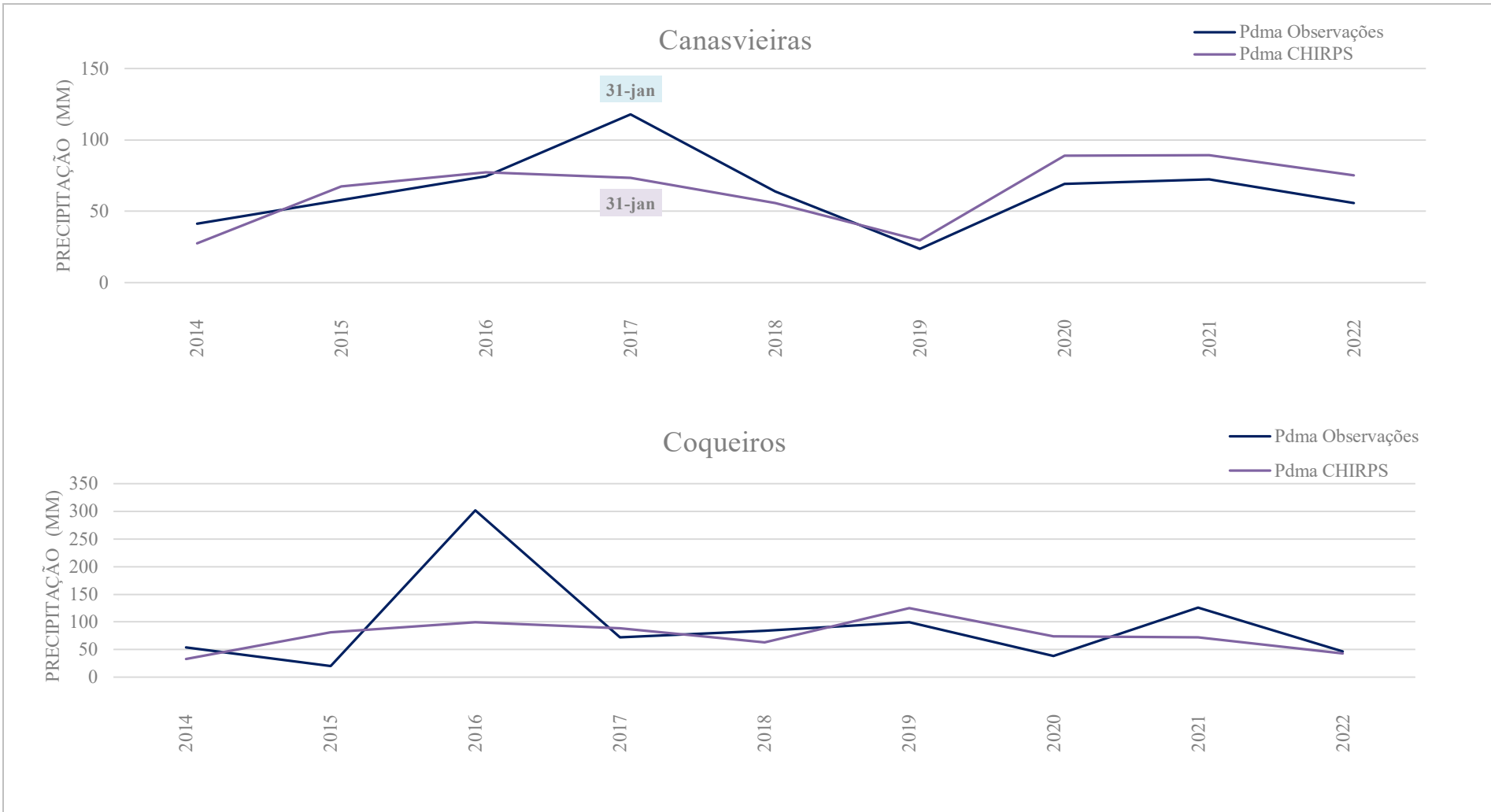
De modo geral, as amostras do produto CHIRPS, analisadas nesse estudo, apresentam desempenho insatisfatório em escala diária, apresentando erros com variância superior a 10 mm em todas as amostras e uma tendência expressiva de superestimativa das intensidades de precipitação. Esse resultado se aproxima daqueles encontrados por Lopes-Bermeo *et al.* (2022) e Zhang *et al.* (2022).

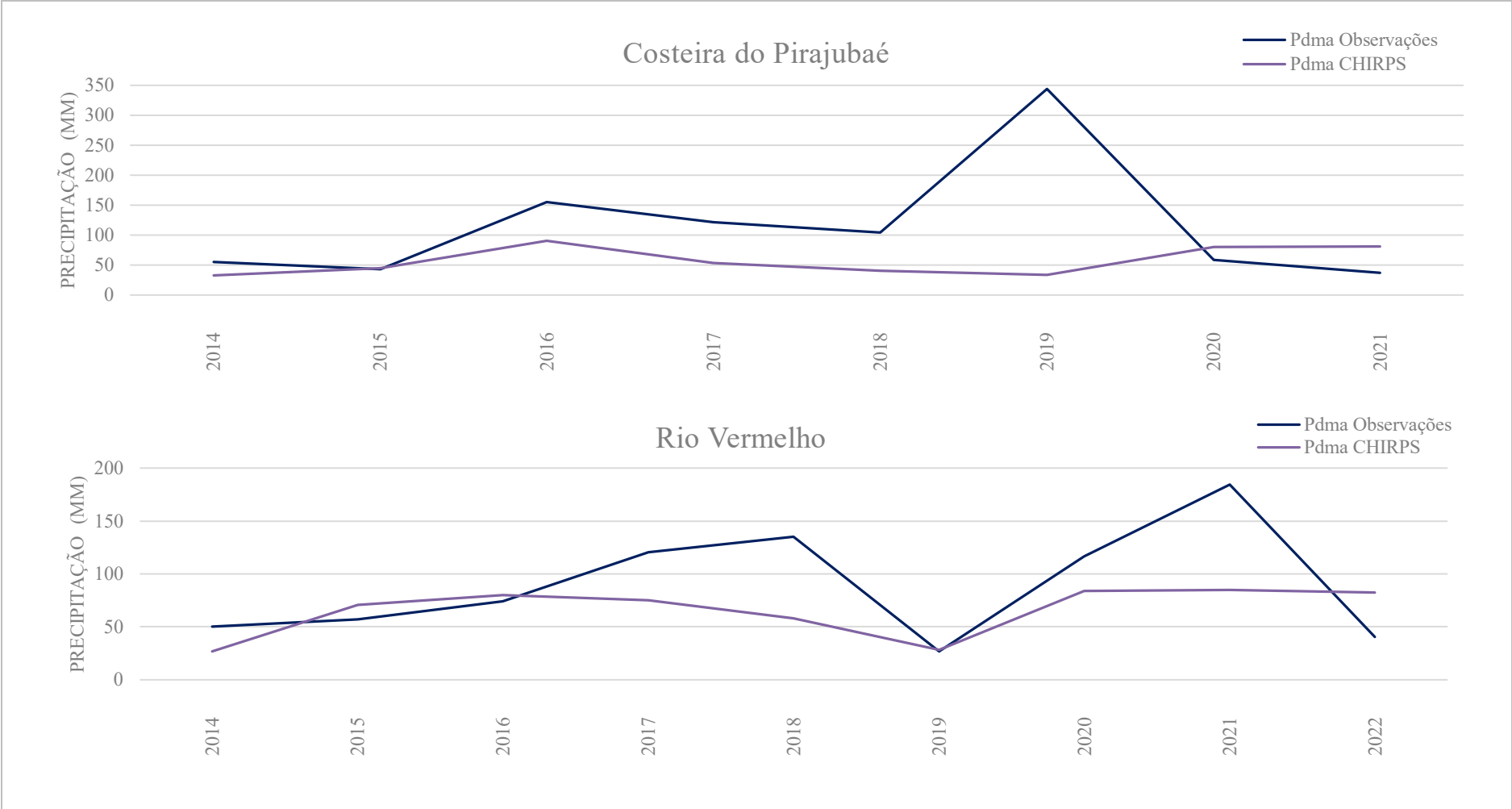
A análise da Pdma foi realizada com maior detalhamento, visto que esse é o formato em que as séries de dados são aplicadas na obtenção das relações IDF. Além disso, por apresentar uma menor densidade, as representações gráficas desses dados possibilitam a visualização de detalhes que seriam dificilmente perceptíveis em escala diária.

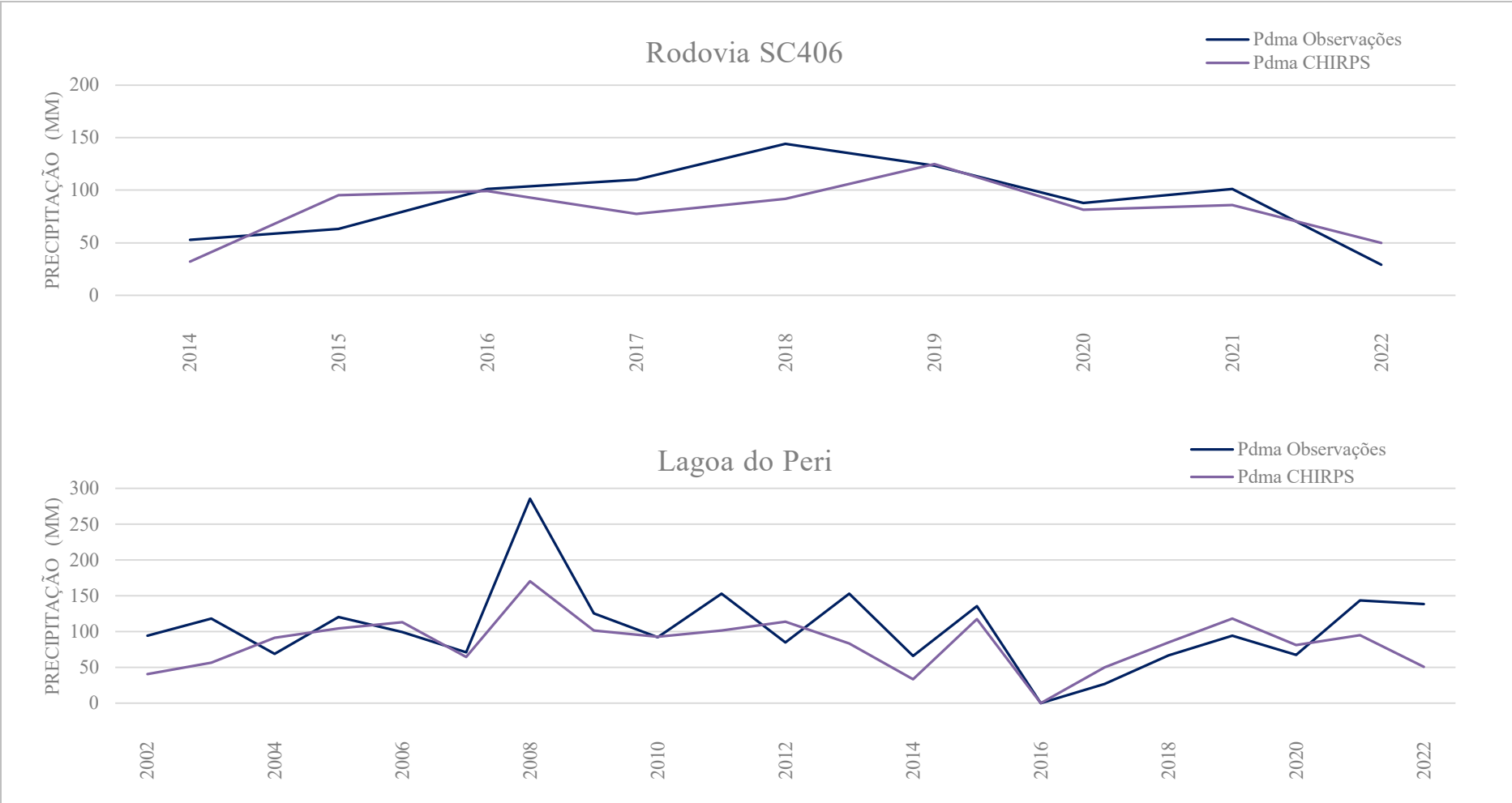
Para uma análise de consistência, a Pdma do produto CHIRPS foi sobreposta graficamente à Pdma de observações *in situ* (Tabela 12), os rótulos de cada série de dados indicam as datas em que os eventos de precipitação máxima são coincidentes. Para comparar amostras de períodos análogos, as datas com falhas nas observações foram removidas das séries obtidas por meio do produto CHIRPS.

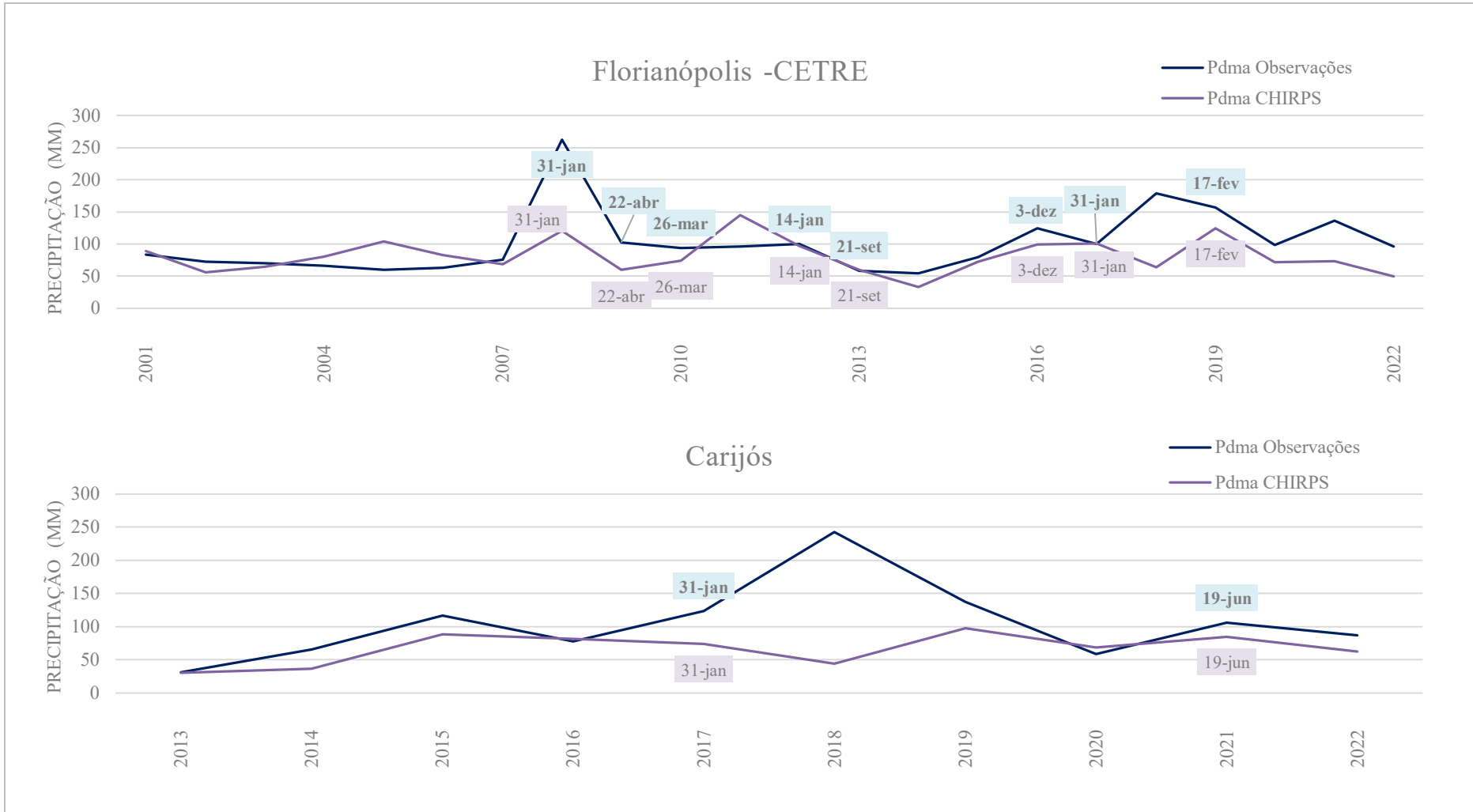
Figura 12 - Séries de Pdma de observações *in situ* e suas estações virtuais CHIRPS correspondentes.

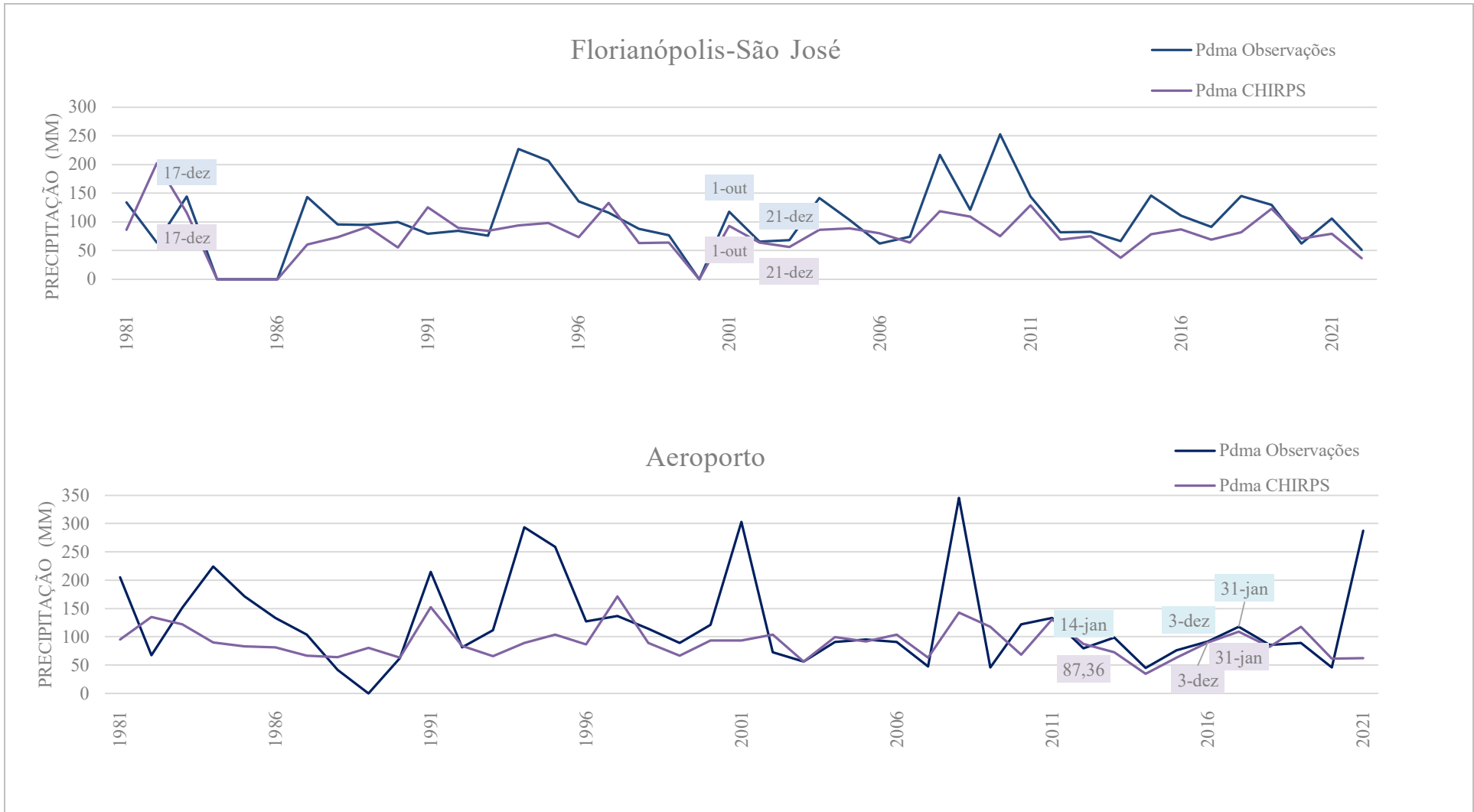










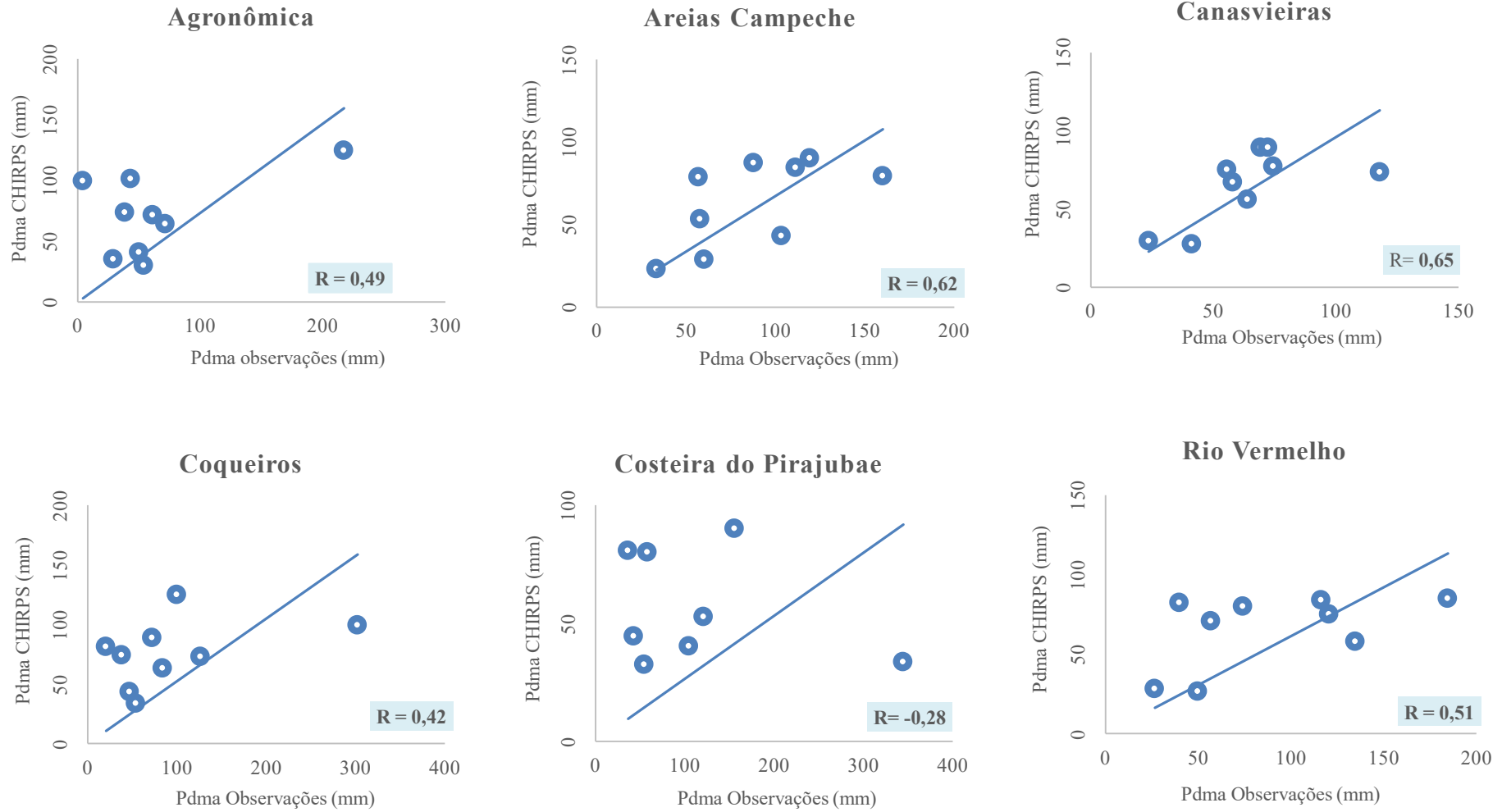


É possível observar que, de modo geral, os picos e vales da Pdma observada e estimada coincidem para a grande maioria dos eventos extremos, contudo, ao comparar as datas de registro de cada evento é notável que o evento de precipitação identificado como máxima anual *in situ* não é o mesmo identificado pelo produto CHIRPS, tendo essa correspondência ocorrido em menos de 10% das máximas analisadas.

A comparação também mostra uma diferença notável na amplitude dos eventos extremos entre as séries de dados. De modo geral, os eventos extremos captados pelo produto CHIRPS apresentam menores intensidades, embora para as estações operadas pelo CEMADEN, a subestimativa do Produto CHIRPS ocorra com maior frequência.

A relação linear entre as Pdma's observadas e estimadas pode ser avaliada a partir dos gráficos de dispersão apresentados na Figura 13. A Tabela 11 mostra o resumo dos coeficientes de correlação apresentados nos gráficos que seguem.

Figura 13 - Correlação entre as Pdma's das estações pluviométricas e as estações virtuais CHIRPS.



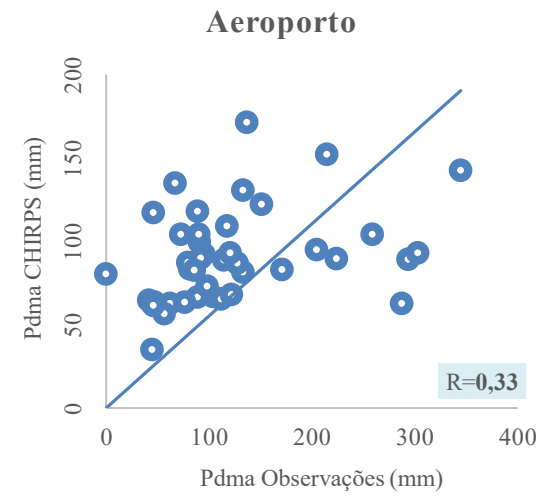
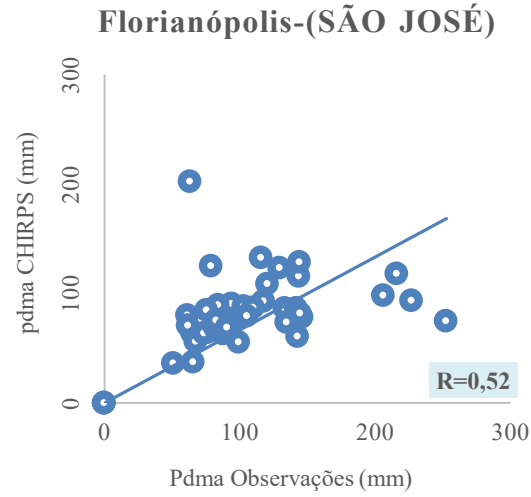
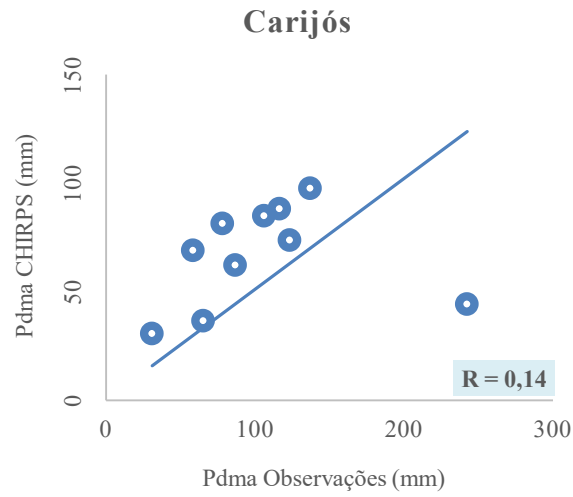
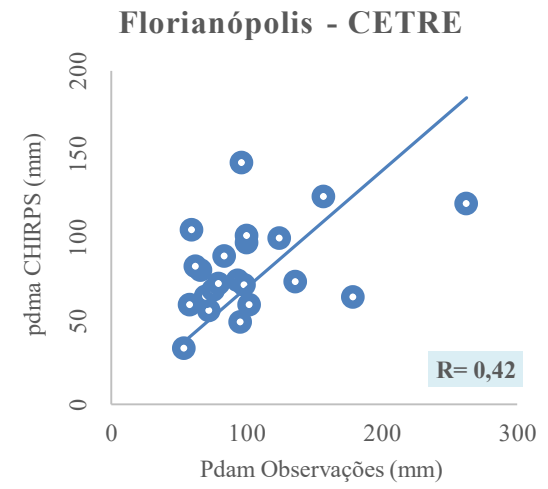
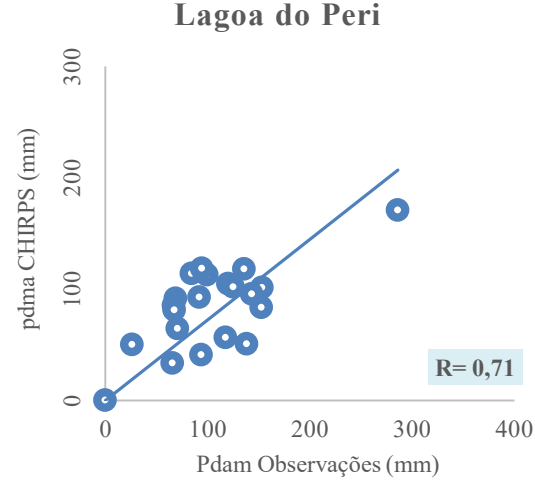
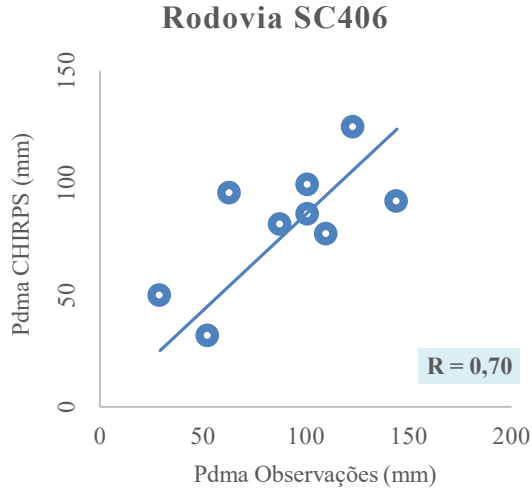


Tabela 11 - Resumo dos coeficientes de correlação para as séries de Pdma.

| Estações | R | Interpretação R |
|------------------------------------|----------|------------------------|
| Agronômica x CHIRPS-14 | 0,49 | fraca |
| Areias Campeche x CHIRPS-26 | 0,62 | moderada |
| Canasvieiras x CHIRPS-2 | 0,65 | moderada |
| Coqueiros x CHIRPS-13 | 0,42 | fraca |
| Costeira do Pirajubaé - CHIRPS-19 | -0,28 | desprezível |
| Rio Vermelho x CHIRPS-7 | 0,51 | moderada |
| Rodovia SC 406 x CHIRPS-29 | 0,70 | forte |
| Lagoa do Peri x CHIRPS-26 | 0,71 | forte |
| Florianópolis – CETRE x CHIRPS-14 | 0,42 | fraca |
| Carijós x CHIRPS-26 | 0,14 | desprezível |
| Florianópolis-São José x CHIRPS-17 | 0,51 | moderada |
| Aeroporto x CHIRPS-23 | 0,33 | fraca |

Em geral, as correlações entre as séries Pdma observadas e estimadas pelas estações virtuais CHIRPS mostram-se de moderadas a fracas, apresentando coeficientes que variam entre 0,14 e 0,71.

Os indicadores estatísticos de desempenho R^2 , PBIAS, REQM e QMN também foram calculados para essas mesmas séries e são apresentados Tabela 12.

Tabela 12 - Indicadores estatísticos de desempenho para as séries de Pdma por estação

| Estação pluviométrica | R^2 | PBIAS (%) | REQM (mm) | REQMN |
|-------------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|--------------|
| Agronômica x CHIRPS-14 | 0,66 | 12,17 | 50,72 | 0,83 |
| Areias Campeche x CHIRPS-26 | 0,89 | -27,98 | 38,36 | 0,97 |
| Canasvieiras x CHIRPS-2 | 0,92 | 1,45 | 19,54 | 0,75 |
| Coqueiros x CHIRPS-13 | 0,65 | -19,41 | 75,07 | 0,89 |
| Costeira do Pirajubaé x CHIRPS-19 | 0,43 | -50,50 | 118,64 | 1,16 |
| Rio Vermelho x CHIRPS-7 | 0,82 | -26,81 | 48,98 | 0,93 |
| Rodovia SC 406 x CHIRPS-29 | 0,93 | -9,24 | 25,85 | 0,71 |
| Lagoa do Peri x CHIRPS-6 | 0,89 | -19,88 | 45,19 | 0,78 |
| Florianópolis – CETRE x CHIRPS-14 | 0,84 | -19,75 | 47,70 | 0,99 |
| Carijós x CHIRPS-26 | 0,74 | -36,15 | 68,05 | 1,16 |
| Florianópolis -São José x CHIRPS-17 | 0,80 | -23,84 | 54,83 | 1,13 |
| Aeroporto x CHIRPS-23 | 0,74 | -27,23 | 82,41 | 1,02 |

Quando comparamos o R e o R^2 da Pd com a Pdma vemos uma melhora no grau de correlação linear dos dados de satélite aos dados observados para eventos extremos, tendo o R^2 dentro da classificação de Rauf e Ghumman (2018) assumindo valores entre as classes aceitável e muito bom.

Contudo o PBIAS indica que as séries de Pdma CHIRPS, em 10 das 12 estações virtuais, subestima a intensidade dos eventos extremos e 75% das estações apresentam valores classificados como insatisfatórios.

O REQMN também não atende bons desempenhos em nenhuma das estações virtuais, com REQM variando 29,54 mm e 118,54 mm, onde o REQM médio das estações virtuais é superior a 50 mm.

Finalizada a análise de desempenho das séries de estimativas de precipitação oriundas das estações virtuais CHIRPS em escala diária e diária máxima anual, concluímos que ambas apresentam desempenho insatisfatório em caracterizar as observações *in situ* de suas estações pluviométricas correspondentes.

Não foi possível encontrar qualquer relação direta entre a distância das estações virtuais e estações pluviométricas no solo com o comportamento dos índices estatísticos de desempenho. Essa constatação pode ser justificada pelo fato dessas distâncias serem pequenas, com valor médio de 2,07 km, valores que atenderiam o raio de cobertura recomendado pela OMM para uma estação pluviométrica (1,78 km a 25,52 km) em áreas urbanas.

Com base nos resultados da avaliação estatística de desempenho, optou-se por estabelecer as relações IDF a partir de séries de Pdma obtidas por meio de observações *in situ*. Para dar sequência às etapas metodológicas, foram selecionadas as estações Florianópolis-CETRE (Região Central), Carijós (Região Norte), Florianópolis-São José (Região Continental) e Aeroporto (Região Sul), visto que essas são estações pluviométricas com séries históricas com as menores porcentagens de falhas nas observações.

Para um maior rigor com relação à qualidade das relações IDF a serem estabelecidas, foram selecionados para compor a série de Pdma de cada estação, apenas os anos com porcentagem de falhas inferior a 20%. O período de observações de cada série e os anos selecionados para cada série de Pdma são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Tamanho das séries de dados analisadas

| ID | Posto Pluviométrico | Período de dados | | Anos removidos (Nº de falhas < 20%) | Nº de anos analisados |
|----|---------------------------|------------------|------|---|-----------------------|
| | | Início | Fim | | |
| 9 | Florianópolis – CETRE | 2001 | 2022 | 2001, 2012 e 2013 | 19 |
| 10 | Carijós | 2013 | 2022 | 2013 | 9 |
| 11 | Florianópolis- (São José) | 1961 | 2022 | 1961, 1963, 1984, 1985, 1986, 2000 e 2001 | 55 |
| 12 | Aeroporto | 1951 | 2021 | 1989 e 2008 | 69 |

4.3 ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DA PDMA

A análise de frequência da PDMA foi realizada aplicando os testes não paramétricos. Para rejeição da hipótese H_0 , considera-se a estatística de teste T para nível de significância $\alpha=0,05$ $z = 1,960$. O resultado dos testes para cada estação analisada pode ser observado na Tabela 14.

Tabela 14 - Análise de frequência Pdma por estação pluviométrica.

| Estações Pluviométricas | Aleatoriedade | | Independência | | Homogeneidade | | Estacionariedade | |
|-------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------|---------------|
| | H_0 | <i>Pvalor</i> | H_0 | <i>pvalor</i> | H_0 | <i>pvalor</i> | H_0 | <i>pvalor</i> |
| Florianópolis-CETRE | Aceita | 0,428 | Aceita | 0,415 | Aceita | 0,420 | Aceita | 0,389 |
| Carijós | Aceita | 0,119 | Aceita | 0,656 | Aceita | 0,686 | Aceita | 0,750 |
| Florianópolis-S. José | Aceita | 0,236 | Aceita | 0,260 | Aceita | 0,140 | Aceita | 0,782 |
| Aeroporto | Aceita | 0,196 | Aceita | 0,300 | Rejeita | 0,005 | Aceita | 0,099 |

A série de Pdma da estação pluviométrica do Aeroporto rejeita a hipótese nula do teste T, sendo assim, não pode ser considerada homogênea segundo Mann Whitney. Indicando que a diferença entre as medianas da amostra subdividida é estatisticamente significativa.

Essa estação passou por uma análise inicial de homogeneidade por meio do teste de Dupla Massa em escala diária, sendo comparada as demais séries da vizinhança e apresentou um excelente desempenho ($R^2 = 0,998$). Sendo assim, e considerando que não houve rejeições a hipótese H_0 em nenhum dos outros testes estatísticos, mantém-se a Pdma oriunda da estação pluviométrica do Aeroporto para obtenção de relações IDF.

Cabe ressaltar que sua análise será realizada com uma maior cautela como resposta ao resultado do teste não paramétrico de Mann Whitney.

Considerando que a estação pluviométrica Aeroporto possui a maior série histórica de observações e, conseqüentemente, de precipitações máximas anuais, é possível que a rejeição a hipótese H_0 possa ser um indicativo de uma mudança de tendência nos eventos extremos amostrados pela série de Pdma. Essa suposição poderá ser verificada no tópico 4.6.

As demais séries de Pdma aceitaram a hipótese H_0 para os testes, podendo então ser consideradas, Aleatórias, Independentes, homogêneas e estacionárias.

4.4 RELAÇÕES IDF

As séries de Pdma foram submetidas a diferentes distribuições probabilísticas com o objetivo de encontrar o melhor ajuste, e sua aderência a cada uma delas foi verificada por meio do teste qui-quadrado com nível de significância α de 5%. A rejeição a hipótese H_0 e o resultado do teste χ^2 para cada série Pdma é apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 - Ajuste das distriuições de probabilidade por estação pluviométrica.

| Estação pluviométrica | Distribuição de probabilidade | H_0 | χ^2 |
|------------------------|-------------------------------|---------|----------|
| Florianópolis-CETRE | Log Normal | Aceita | 0,000 |
| | Weibull | Aceita | 0,111 |
| | Gumbel | Aceita | 2,085 |
| | GEV | Aceita | 1,169 |
| Carijós | Log Normal | Aceita | 0,365 |
| | Weibull | Aceita | 0,084 |
| | Gumbel | Aceita | 0,524 |
| | GEV | Aceita | 0,629 |
| Florianópolis-São José | Log Normal | Rejeita | 8,639 |
| | Weibull | Rejeita | 16,528 |
| | Gumbel | Rejeita | 45,207 |
| | GEV | Aceita | 3,058 |
| Aeroporto | Log Normal | Aceita | 5,519 |
| | Weibull | Rejeita | 10,738 |
| | Gumbel | Rejeita | 33,340 |
| | GEV | Aceita | 1,781 |

Dentre as distribuições probabilísticas avaliadas, GEV apresentou os melhores índices χ^2 para as séries de Pdma das estações pluviométricas Florianópolis-São José e Aeroporto, Weibull apresentou o melhor índices χ^2 para a Pdma da estação Carijós e Log-Normal apresentou o índice χ^2 para Florianópolis-CETRE.

Os parâmetros das equações IDF foram estabelecidos com base nas séries Pdma ajustadas para durações de 5 minutos a 120 minutos (Tabela 16), de 120 a 1440 minutos (Tabela 17) e de 5 a 1440 minutos (Tabela 18), com o ajuste das equações IDF avaliado através dos índices R^2 e REQM.

Tabela 16 - Parametros e índices de ajuste das equações IDF por estação para durações de 5 minutos a 120 minutos.

| Estações Pluviométricas | Parâmetros | | | | Ajuste IDF | |
|-------------------------|------------|-------|--------|-------|----------------|-------|
| | a | b | c | d | R ² | REQM |
| Florianópolis-CETRE | 1200,656 | 0,222 | 12,656 | 0,784 | 0,993 | 4,541 |
| Carijós | 1489,529 | 0,167 | 12,656 | 0,784 | 0,986 | 6,209 |
| Florianópolis-São José | 1039,628 | 0,269 | 12,656 | 0,784 | 0,998 | 2,388 |
| Aeroporto | 1387,595 | 0,286 | 12,656 | 0,784 | 0,995 | 8,006 |

Tabela 17 - Parametros e índices de ajuste das equações IDF por estação para durações de 120 minutos a 1440 minutos.

| Estações Pluviométricas | Parâmetros | | | | Ajuste IDF | |
|-------------------------|------------|-------|--------|-------|----------------|-------|
| | a | b | c | d | R ² | REQM |
| Florianópolis-CETRE | 1334,105 | 0,222 | 21,508 | 0,793 | 0,994 | 0,785 |
| Carijós | 1655,077 | 0,167 | 21,508 | 0,793 | 0,989 | 1,084 |
| Florianópolis-São José | 1155,180 | 0,269 | 21,508 | 0,793 | 0,999 | 0,388 |
| Aeroporto | 1541,821 | 0,286 | 21,508 | 0,793 | 0,996 | 1,009 |

Tabela 18 - Parametros e índices de ajuste das equações IDF por estação para durações de 5 minutos a 1440 minutos.

| Estações Pluviométricas | Parâmetros | | | | Ajuste IDF | |
|-------------------------|------------|-------|--------|-------|----------------|-------|
| | a | b | c | d | R ² | REQM |
| Florianópolis-CETRE | 1113,756 | 0,222 | 11,992 | 0,767 | 0,997 | 1,501 |
| Carijós | 1381,714 | 0,167 | 11,992 | 0,767 | 0,995 | 2,053 |
| Florianópolis-São José | 964,383 | 0,269 | 11,992 | 0,767 | 0,999 | 0,787 |
| Aeroporto | 1287,164 | 0,286 | 11,992 | 0,767 | 0,998 | 1,937 |

A representação gráfica das equações IDF, que estabelece a família de Curvas IDF referente a cada estação pluviométrica analisada é apresentada na Figura 14 para durações de 5 minutos a 120 minutos, na Figura 15 para durações de 120 a 1440 minutos e na Figura 16 para durações de 5 a 1440 minutos, todas as curvas foram realizadas para períodos de retorno de 2 a 100 anos.

Figura 14 - Curvas IDF por estação pluviométrica para durações de 5 minutos a 120 minutos.

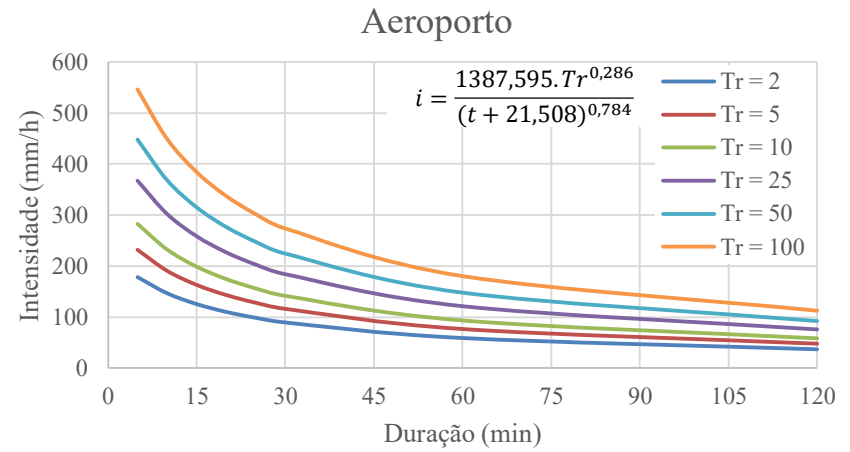
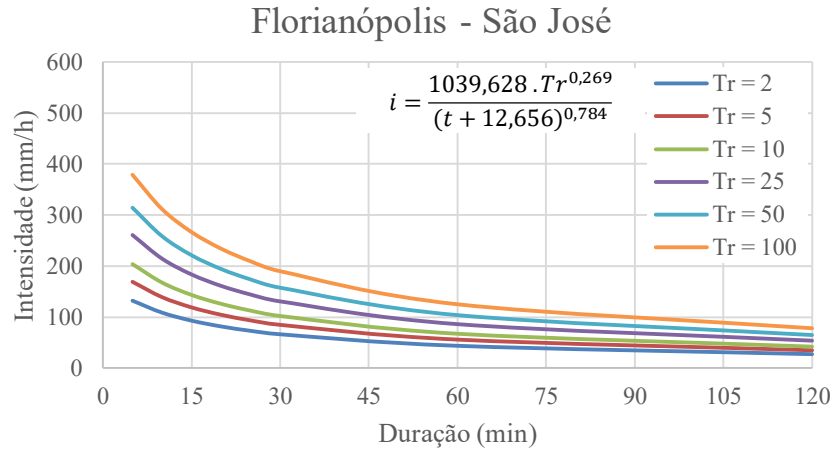
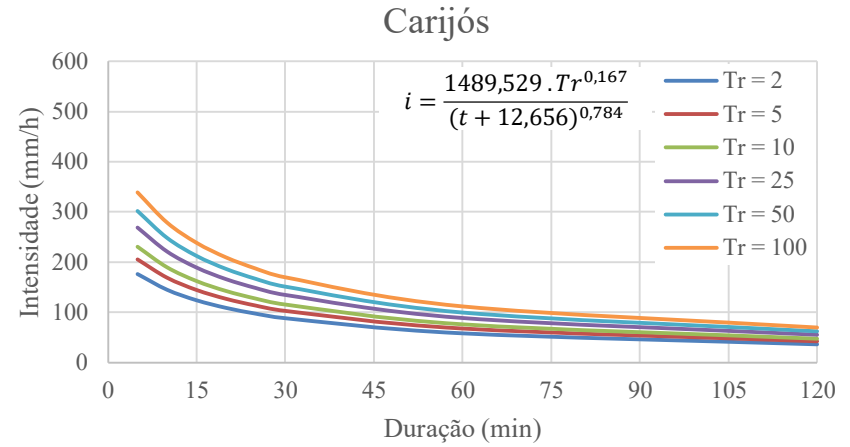
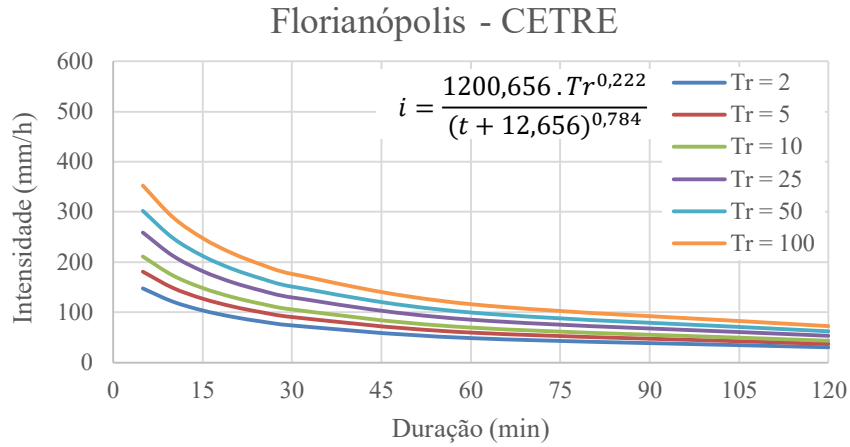


Figura 15 - Curvas IDF por estação pluviométrica para durações de 120 minutos a 1440 minutos.

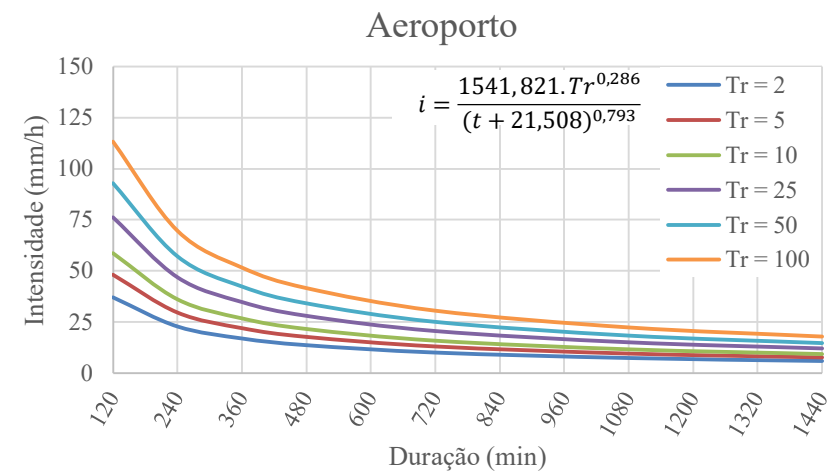
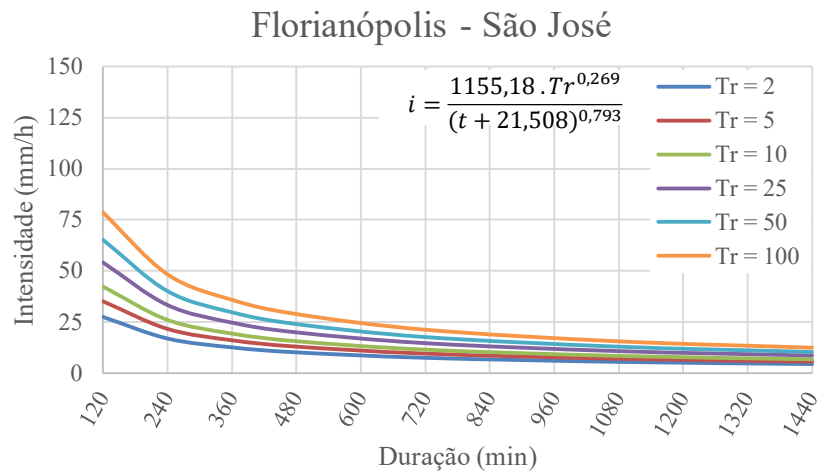
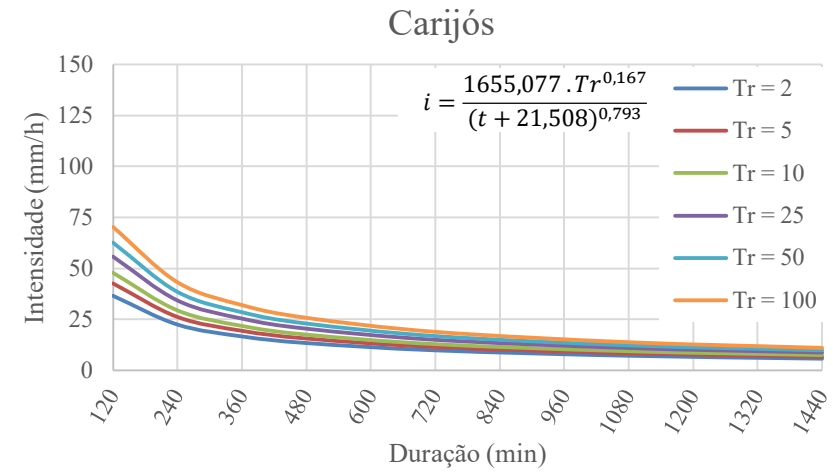
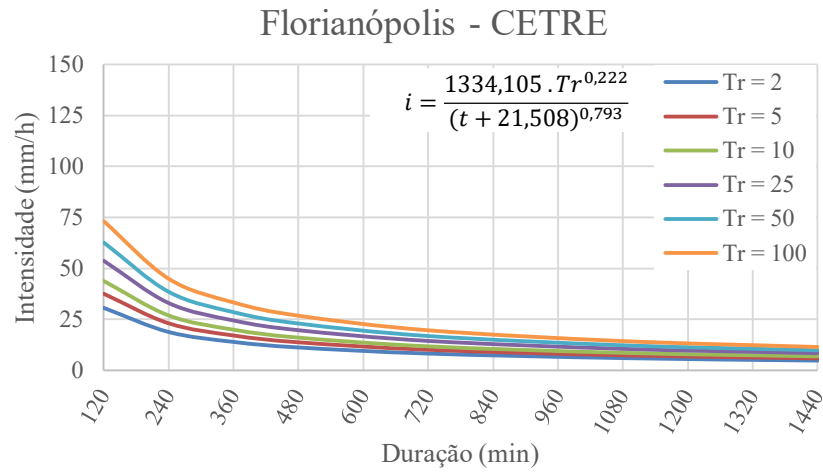
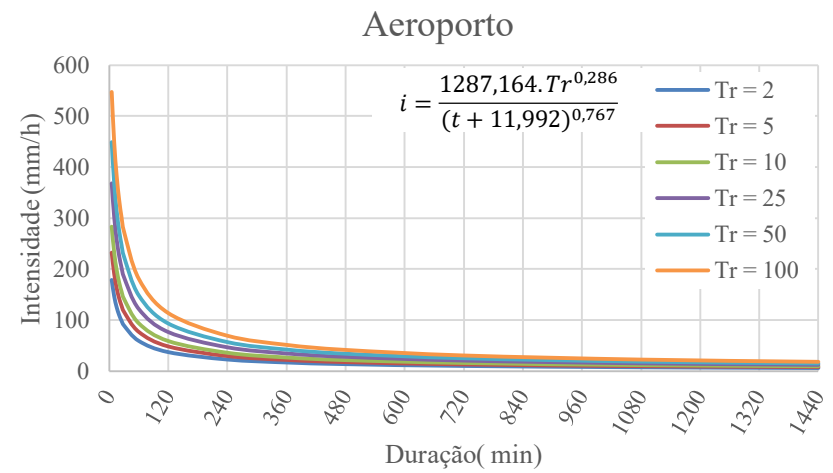
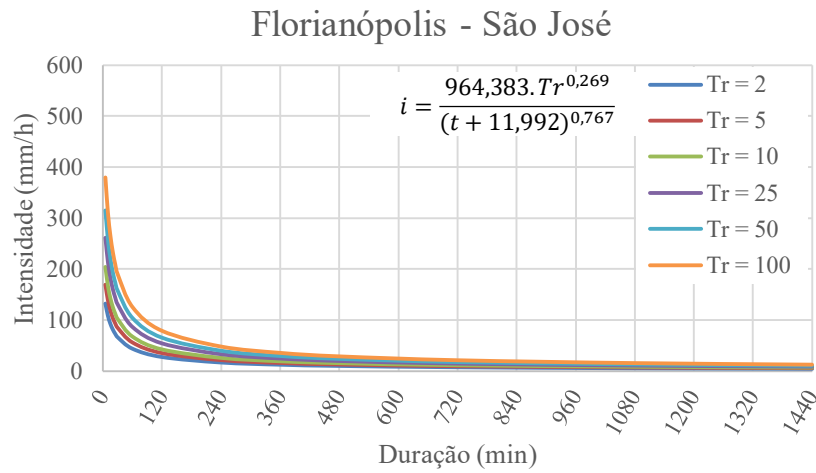
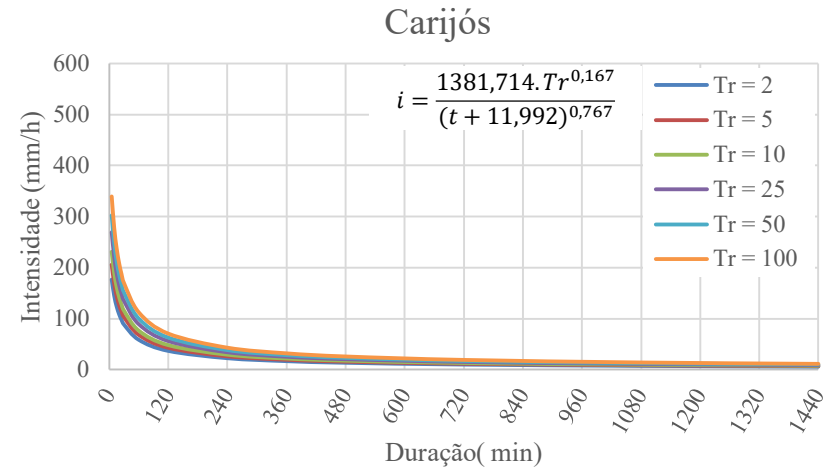
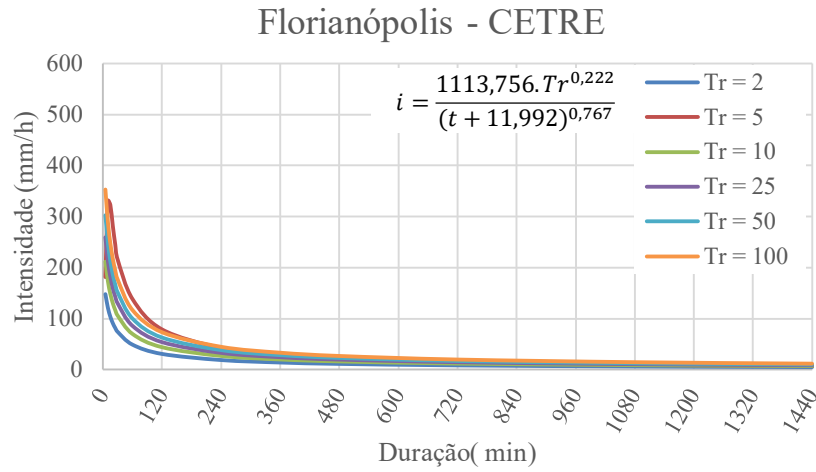


Figura 16 - Curvas IDF por estação pluviométrica para durações de 5 minutos a 1440 minutos.



Pode-se observar que as curvas IDF oriundas da estação pluviométricas Florianópolis–São José e Florianópolis–CETRE possuem comportamentos similares de intensidade de precipitação para eventos de mesma duração e período de retorno, indicando que a porção continental do município e a região central da porção insular apresentam chuvas com comportamentos similares dentro do raio de cobertura de suas estações pluviométricas.

Esse comportamento foi observado por Bernardo (2020) ao interpolar as intensidades máximas de precipitação obtidos para diferentes pontos do município de Florianópolis. O estudo apontou que a posição do maciço rochoso denominado Maciço do Morro da Cruz, unida ao comportamento de massas de ar atuantes na região, teria influência sobre o comportamento da precipitação na porção continental e região central do município.

As curvas IDF correspondentes a estação pluviométrica Aeroporto, destacam-se das demais por apresentar maiores intensidades, mostrando que, em caso de ocorrência de um evento de precipitação de mesma duração e período de retorno, a região sul seria acometida por uma chuva mais intensa quando comparada às regiões norte, central e continental.

Ao avaliar um período inferior a 6 anos para a estação pluviométrica Areias Campeche, também localizada na região sul, Bernardo (2020) obteve as menores intensidades entre os postos pluviométricos do estudo. As diferenças entre as intensidades de precipitação observadas nas curvas IDF deste estudo com relação a Bernardo 2020 indicam que uma série de dados mais robusta apresenta uma maior confiabilidade na caracterização de eventos extremos, sendo 6 anos um período muito curto de observação.

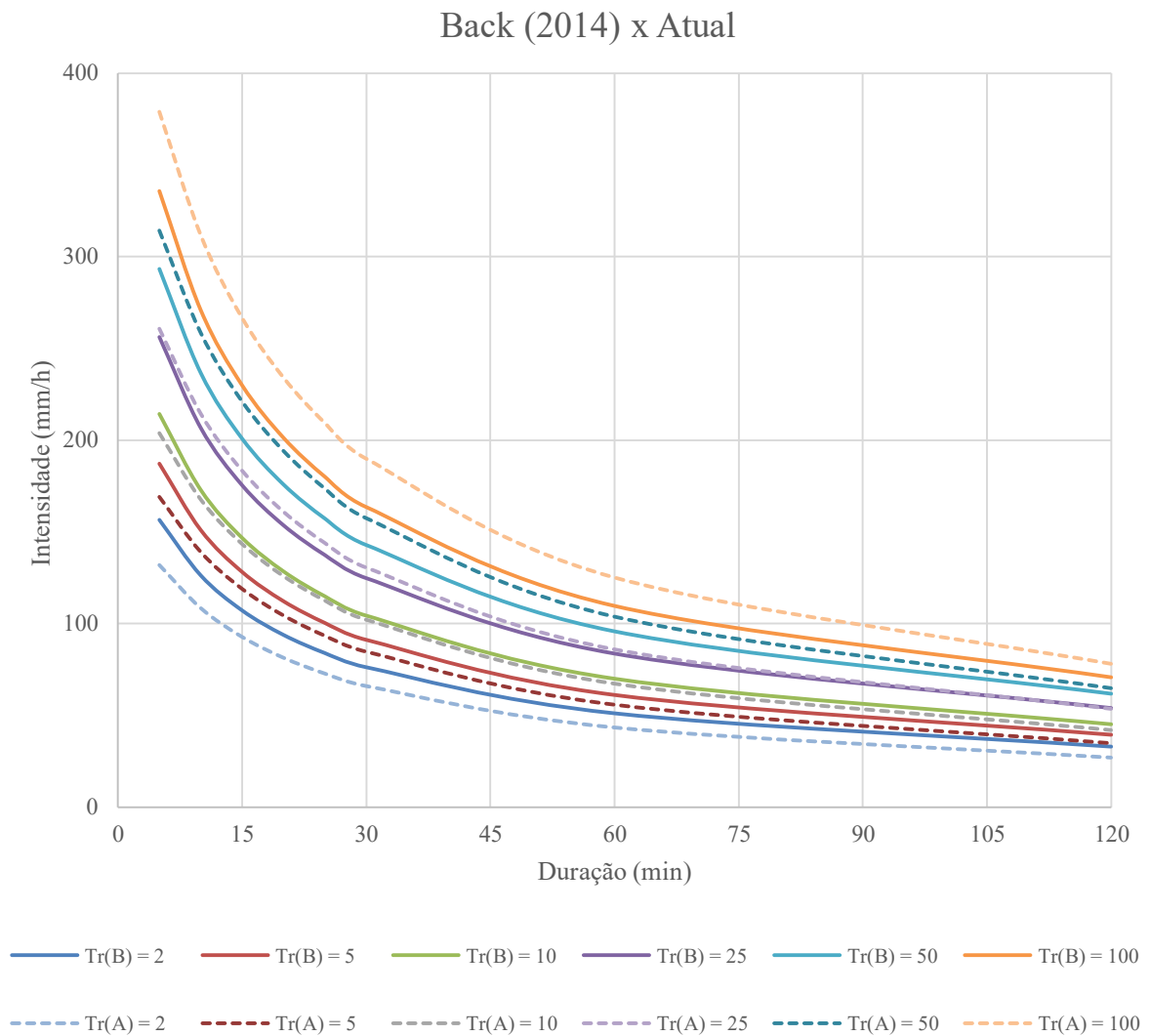
As intensidades observadas pelas curvas IDF obtidas para a região norte, representada pela estação pluviométrica Carijós, apresentaram, para período de retorno de 2, 5 e 10 anos, intensidades ligeiramente superiores às regiões central e continental. Para períodos de retorno de 25 a 100 anos, o comportamento de suas curvas assemelha-se visualmente ao observado em ambas as regiões.

Por apresentar uma série histórica curta, com período de observações inferior a 10 anos entende-se que sua representatividade pode ser afetada, especialmente para períodos de retorno maiores que 10 anos. Contudo suas curvas IDF apresentam valores coerentes com os observados nas regiões vizinhas, tendo os parâmetros de sua equação IDF se mostrado muito próximos aos obtidos para a estação pluviométrica Florianópolis-CETRE.

4.5 COMPARAÇÃO ENTRE RELAÇÕES IDF PRÉ ESTABELECIDAS E ATUALIZADAS PARA FLORIANÓPOLIS

Como as amostras aplicadas nas relações IDF estabelecidas por Back (2014) e por esse estudo apresentam período de observação distintos, inicialmente realizou-se uma comparação entre as famílias de curvas obtidas para estação pluviométrica Florianópolis-São José apresentada na Figura 17. Posteriormente, a Tabela 19 apresenta um comparativo das intensidades de precipitação por equação IDF.

Figura 17 - Comparativo entre curvas IDF estimadas por Back 2014 e atualizadas para Florianópolis-São José.



Ao comparar visualmente os conjuntos de curvas, é possível observar que as intensidades de precipitação correspondentes aos períodos de retorno de 2, 5 e 10 anos da família de curvas IDF atualizadas mostram menores intensidades de precipitação com relação às geradas por Back (2014). Para período de retorno igual a 25 anos, as curvas apresentam um comportamento muito similar, chegando quase a uma sobreposição dos valores de intensidade de precipitação em eventos com duração superior a 60 minutos. Em períodos de retorno maiores que 25 anos, as intensidades dos eventos das relações IDF da família de curvas atualizadas mostram um aumento em relação a Back (2014) para os mesmos eventos.

É importante destacar que, embora as curvas tenham sido realizadas com dados de um mesmo posto pluviométrico, há uma diferença significativa no tamanho das amostras aplicadas em cada estudo, tendo a equação de Back (2014) uma série histórica com período de observações 22 anos, inferior a atual, sendo esse um fator de impacto sobre a variação entre as intensidades observadas.

Tabela 19 - Comparativo de intensidade de precipitação em mm/h entre a equação IDF atual e a estimada por Back (2014) para Florianópolis-São José.

| Tr (anos) | Duração (minutos) | | | | | | | | |
|--------------|-------------------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | 5 | | | 30 | | | 120 | | |
| | Atual | Back | €(%) | Atual | Back | €(%) | Atual | Back | €% |
| 2 | 132,05 | 156,60 | 15,68 | 66,14 | 76,27 | 13,28 | 27,18 | 33,01 | 17,66 |
| 5 | 169,02 | 187,23 | 9,73 | 84,66 | 91,20 | 7,16 | 34,79 | 39,47 | 11,85 |
| 10 | 203,73 | 214,33 | 4,95 | 102,05 | 104,39 | 2,25 | 41,94 | 45,18 | 7,18 |
| 25 | 260,78 | 256,26 | 1,76 | 130,63 | 124,82 | 4,65 | 53,68 | 54,02 | 0,63 |
| 50 | 314,33 | 293,35 | 7,15 | 157,45 | 142,88 | 10,19 | 64,71 | 61,84 | 4,63 |
| 100 | 378,88 | 335,80 | 12,83 | 189,78 | 163,56 | 16,03 | 77,99 | 70,79 | 10,17 |

A Tabela 19 ajuda a quantificar as diferenças observadas na análise visual das curvas IDF. As intensidades calculadas com base nas equações IDF apresentaram valores com diferenças que podem ser superiores a 17%, evidenciando a importância de estudos com dados atualizados. Para período de retorno igual a 25 anos, observam-se os menores valores de erro percentual, e, em períodos de retorno maiores que 25 anos, as intensidades dos eventos de precipitação sobrepõem-se às estimadas por Back (2014).

A estação Florianópolis-São José é mais próxima da porção continental de Florianópolis (≈ 5 km), e sua área de cobertura abrange quase que totalmente a região, atendendo a recomendação da OMM (de 10 a 20 km²) para estações pluviométricas. Sendo assim, devidamente atualizadas, essas relações seriam mais adequadas para dimensionamento de obras de engenharia na região.

Para visualizar possíveis diferenças na aplicação das relações IDF estabelecidas por um município vizinho, as famílias de curvas IDF estabelecidas Back (2014) foram comparadas com as curvas IDF obtidas para as estações Florianópolis-CETRE (Figura 18), Carijós (Figura 19) e Aeroporto (Figura 20).

Figura 18 - Curvas IDF estimadas por Back (2014) em comparação com as estabelecidas para estação pluviométrica Florianópolis-CETRE

Back (2014) x Florianópolis - CETRE

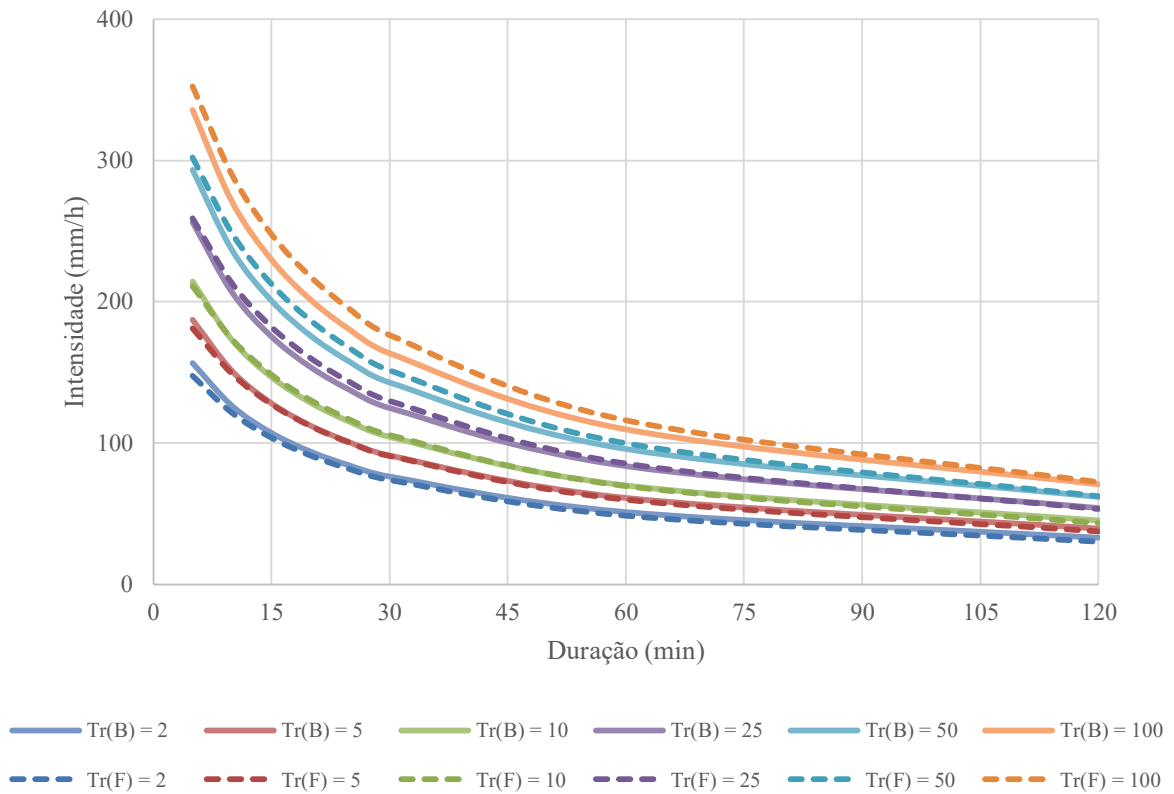


Figura 19 - Curvas IDF estimadas por Back (2014) em comparação com as estabelecidas para estação pluviométrica Carijós

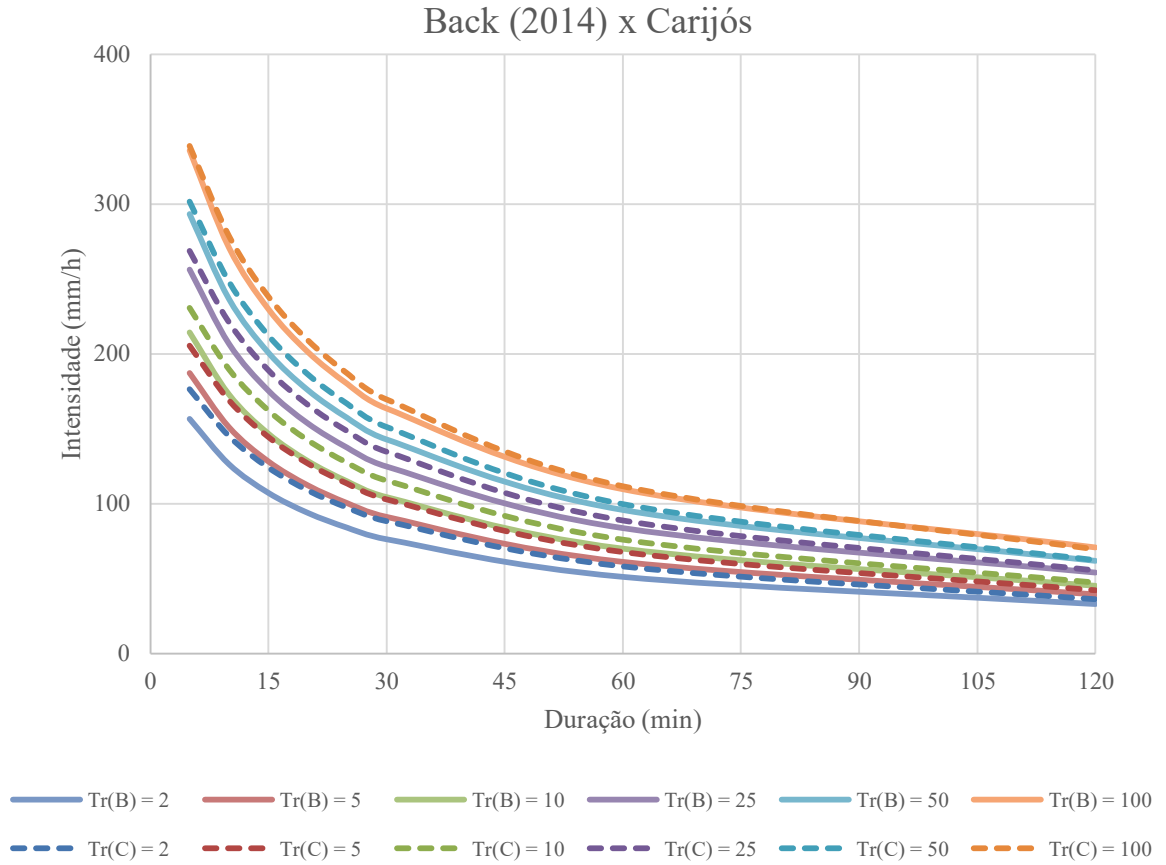
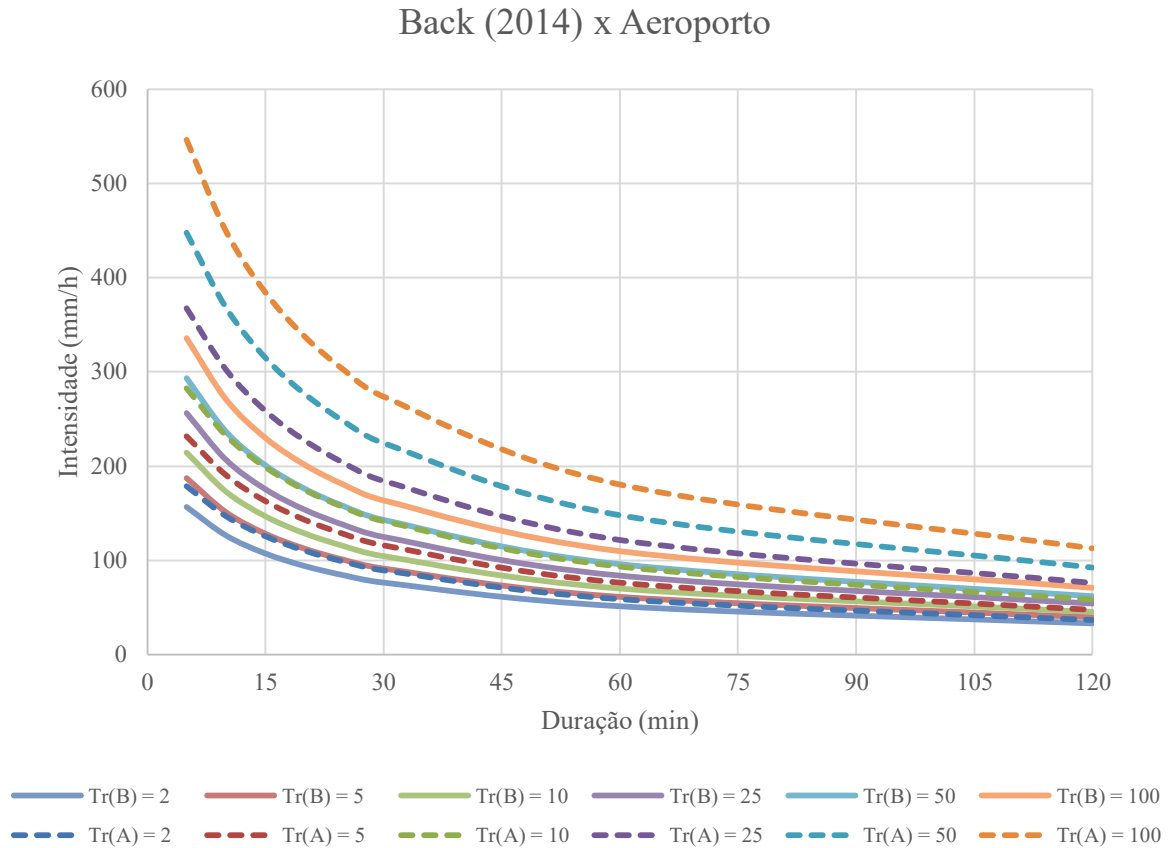


Figura 20 - Curvas IDF estimadas por Back (2014) em comparação com as estabelecidas para estação pluviométrica Aeroporto



A fim de quantificar as diferenças entre as famílias de curvas geradas neste estudo com relação a Back (2014), as Tabelas 20, 21 e 22 apresentam um comparativo das intensidades de precipitação para cada equação IDF para durações de 5, 30 e 120 minutos e período de retorno de 2 a 100 anos.

Tabela 20 - Comparativo de intensidade de precipitação em mm/h entre a equação IDF de Florianópolis-CETRE e a estimada por Back (2014) para Florianópolis-São José.

| Tr (anos) | Duração (minutos) | | | | | | | | |
|--------------|-------------------|--------|------|--------|--------|------|-------|-------|------|
| | 5 | | | 30 | | | 120 | | |
| | CETRE | Back | €(%) | CETRE | Back | €(%) | CETRE | Back | €(%) |
| 2 | 147,61 | 156,60 | 5,74 | 73,94 | 76,27 | 3,06 | 30,39 | 33,01 | 7,96 |
| 5 | 180,98 | 187,23 | 3,34 | 90,65 | 91,20 | 0,59 | 37,26 | 39,47 | 5,61 |
| 10 | 211,16 | 214,33 | 1,48 | 105,77 | 104,39 | 1,32 | 43,47 | 45,18 | 3,80 |
| 25 | 258,90 | 256,26 | 1,03 | 129,68 | 124,82 | 3,90 | 53,29 | 54,02 | 1,35 |
| 50 | 302,06 | 293,35 | 2,97 | 151,30 | 142,88 | 5,89 | 62,18 | 61,84 | 0,55 |
| 100 | 352,42 | 335,80 | 4,95 | 176,53 | 163,56 | 7,93 | 72,55 | 70,79 | 2,48 |

Tabela 21 - Comparativo de intensidade de precipitação em mm/h entre a equação IDF de Carijós e a estimada por Back (2014) para Florianópolis-São José.

| Tr (anos) | Duração (minutos) | | | | | | | | |
|--------------|-------------------|--------|-------|---------|--------|-------|---------|-------|------|
| | 5 | | | 30 | | | 120 | | |
| | Carijós | Back | €(%) | Carijós | Back | €(%) | Carijós | Back | €% |
| 2 | 176,24 | 156,60 | 12,54 | 88,28 | 76,27 | 15,74 | 36,28 | 33,01 | 9,89 |
| 5 | 205,40 | 187,23 | 9,70 | 102,89 | 91,20 | 12,82 | 42,28 | 39,47 | 7,12 |
| 10 | 230,63 | 214,33 | 7,61 | 115,52 | 104,39 | 10,66 | 47,48 | 45,18 | 5,07 |
| 25 | 268,80 | 256,26 | 4,89 | 134,64 | 124,82 | 7,87 | 55,33 | 54,02 | 2,42 |
| 50 | 301,82 | 293,35 | 2,89 | 151,18 | 142,88 | 5,81 | 62,13 | 61,84 | 0,46 |
| 100 | 338,89 | 335,80 | 0,92 | 169,75 | 163,56 | 3,78 | 69,76 | 70,79 | 1,46 |

Tabela 22 - Comparativo de intensidade de precipitação em mm/h entre a equação IDF do Aeroporto e a estimada por Back (2014) para Florianópolis-São José.

| Tr (anos) | Duração (minutos) | | | | | | | | |
|--------------|-------------------|--------|-------|-----------|--------|-------|-----------|-------|-------|
| | 5 | | | 30 | | | 120 | | |
| | Aeroporto | Back | €(%) | Aeroporto | Back | €(%) | Aeroporto | Back | €% |
| 2 | 178,30 | 156,60 | 13,86 | 89,31 | 76,27 | 17,09 | 36,70 | 33,01 | 11,18 |
| 5 | 231,76 | 187,23 | 23,78 | 116,09 | 91,20 | 27,29 | 47,71 | 39,47 | 20,87 |
| 10 | 282,61 | 214,33 | 31,86 | 141,56 | 104,39 | 35,60 | 58,18 | 45,18 | 28,75 |
| 25 | 367,34 | 256,26 | 43,35 | 184,00 | 124,82 | 47,42 | 75,62 | 54,02 | 39,97 |
| 50 | 447,94 | 293,35 | 52,70 | 224,37 | 142,88 | 57,03 | 92,21 | 61,84 | 49,10 |
| 100 | 546,22 | 335,80 | 62,66 | 273,60 | 163,56 | 67,28 | 112,44 | 70,79 | 58,83 |

Quando comparadas visualmente, as famílias de curvas IDF de Back (2014) e Florianópolis-CETRE (Figura 18) não apresentam diferenças expressivas nas intensidades das precipitações para eventos de mesma duração e período de retorno.

Na Tabela 20 podemos observar que o erro relativo percentual estimados pelas equações IDF varia entre 0,55% e 7,96%, sendo para tempo de retorno de 2, 5 e 10 anos os maiores valores de intensidade são relativos à equação IDF de Back (2014). Para períodos de retorno superiores a 10 anos esse comportamento sofre uma mudança e as intensidades obtidas por meio da equação de Florianópolis CETRE passam a ser maiores quando comparadas a Back (2014).

É importante destacar que as amostras aplicadas para gerar as equações se interseccionam, dado que a série temporal da equação de Back (2014) utiliza o período de 1951 a 1989, e a série temporal da equação estabelecida para Florianópolis-CETRE conta com metade do número de observações contemplando apenas o período de 2001 a 2022.

Contudo, dentre as estações pluviométricas analisadas, Florianópolis-CETRE é a mais próxima da estação Florianópolis-São José (≈ 12 km), o que por sua vez pode justificar a

proximidade das intensidades analisadas. Sendo assim podemos assumir que para o dimensionamento de obras hidráulicas na região Central de Florianópolis, que exigem $Tr \leq 10$ anos, a exemplo de obras de microdrenagem, a equação de Back (2014) poderia ser utilizada sem subdimensionar eventos extremos de precipitação; para obras com $Tr > 10$ anos, dado que o erro relativo é baixo, seu emprego poderia ser adotado sem prejuízos instituindo-se uma margem de segurança.

A família de curvas que corresponde à estação pluviométrica Carijós não apresenta diferenças que possam ser facilmente observadas, visualmente, nas intensidades das precipitações, para eventos de mesma duração e período de retorno. Observamos na Tabela 21 que o erro relativo percentual estimados pelas equações IDF varia entre 0,46 % e 15,74% e que as intensidades estimadas pela equação IDF de Back são inferiores as estimadas pela equação estabelecida para Carijós para todos os períodos de retorno avaliados.

Vale destacar que, assim como Florianópolis-CETRE, o período da série de dados aplicado para gerar as relações IDF de Carijós (de 2014 a 2022) não se intersecciona em nenhum momento com o período utilizado na obtenção da equação para Florianópolis-São José por Back (2014). Além disso, essa é a série de que conta com o menor número de observações e sua localização é a mais distante de Florianópolis-São José ($\approx 30\text{km}$) entre as estações pluviométricas analisadas nesse estudo.

Nesse sentido, indica-se cautela no uso das equações IDF estabelecidas por Back (2014), para dimensionamento de projetos de engenharia na região Norte, visto que há possibilidade desta equação levar a valores não tão precisos, subestimando as intensidades de eventos extremos de precipitação

Contudo é importante destacar que há uma limitação no tamanho do conjunto amostral aplicado as relações IDF de Carijós, de modo que, a equação aqui estabelecida por si só, pode não atender a precisão necessária ao dimensionamento seguro de obras hidráulicas, exigindo estudos de chuvas intensas mais detalhados e com dados locais.

As curvas obtidas através da estação pluviométrica Aeroporto apresentam a diferenças expressivas nas intensidades das precipitações, para eventos de mesma duração em todos os períodos de retorno analisados. Na Tabela 22 as intensidades calculadas pelas equações IDF apresentaram valores com diferenças que podem ser superiores a 67%, indicando a necessidade do ajuste de relações IDF com dados locais e atualizados.

A estação pluviométrica Aeroporto apresenta a maior série histórica analisada e conta com baixo percentual de falhas nas observações. Sua amostra se intersecciona em todos os anos

com a amostra utilizada na obtenção das equações IDF geradas por Back (2014), compondo o melhor cenário de comparação entre as relações IDF analisado até o momento. Nesse sentido, o emprego de uma IDF com dados locais robustos, atribui uma maior precisão, em relação a aplicação das equações IDF de Back (2014) no dimensionamento de projetos de engenharia e obras hidráulicas na região sul, reduzindo possíveis riscos de subdimensionamento.

4.6 ANÁLISE DE TENDÊNCIA

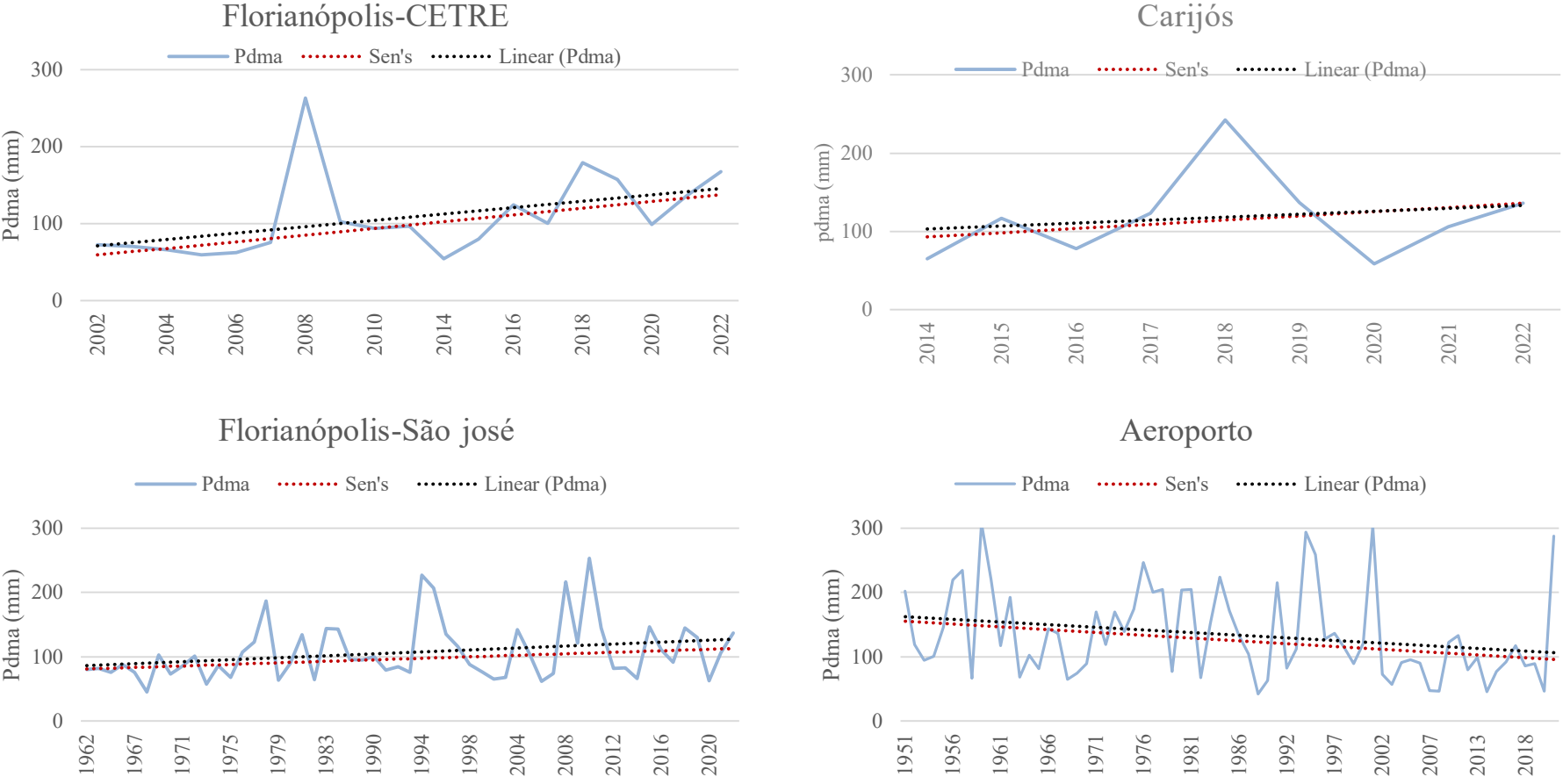
Os resultados dos testes de Mann-Kendall, regressão linear e curvatura de Sen são apresentados na Tabela 23 e correspondem à análise de tendência e magnitude, aplicados nas séries de Pdma das estações pluviométricas de Florianópolis.

Tabela 23 - Resultado dos testes estatísticos não paramétricos para Pdma das estações pluviométricas de Florianópolis.

| Teste paramétrico | | | | | |
|--|-----------------------------|----------------------|--------------------|----------------------------------|------------------|
| <i>Regressão linear</i> | | | | | |
| Pdma | Coefficiente angular | R² | p-valor | Significância estatística | Tendência |
| Florianópolis-CETRE | 3,410 | 0,178 | 0,072 | Insignificante | - |
| Carijós | 3,787 | 0,035 | 0,628 | Insignificante | - |
| Florianópolis-São José | 0,659 | 0,071 | 0,045 | Significativa | Positiva |
| Aeroporto | -0,808 | 0,059 | 0,045 | Significativa | Negativa |
| Testes não paramétricos | | | | | |
| <i>Mann-Kendall e Curvatura de Sen</i> | | | | | |
| Pdma | Kendall's tau | p-valor | Sen's slope | Significância | Tendência |
| Florianópolis-CETRE | 0,462 | 0,006 | 4,341 | Significativa | Positiva |
| Carijós | 0,222 | 0,465 | 5,395 | Insignificante | - |
| Florianópolis-São José | 0,186 | 0,045 | 0,588 | Significativa | Positiva |
| Aeroporto | -0,194 | 0,019 | -0,875 | Significativa | Negativa |

A Figura 21 apresenta o comportamento da variação interanual da série de Pdma das estações pluviométricas, de acordo com seus períodos de observação da cidade, juntamente com o resultado obtido no teste de curvatura de teste de Curvatura de Sen (1968) e a função de regressão linear, que indicam o coeficiente angular das linhas de tendência.

Figura 21 - Comportamento da variação interanual da série de Pdma das estações pluviométricas de acordo com seus períodos de observação.



A estação pluviométrica Carijós não possui uma série histórica com dados suficientes para caracterizar possíveis mudanças de tendência nos eventos extremos de precipitação, tendo o p-valor dos testes aplicados maior que o nível de significância $\alpha=0,05$.

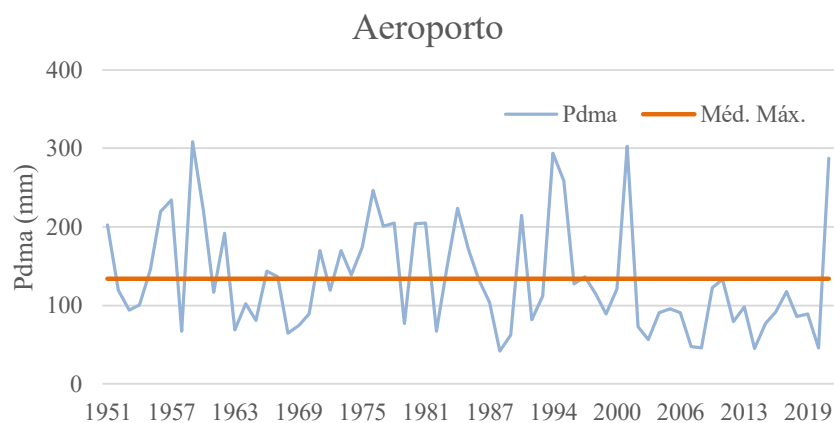
As linhas de tendência sobrepostas a sua Pdma na Figura 21 quase não se distinguem, se sobrepondo ao longo da série de dados, apresentando um ligeira inclinação. Sendo assim, tanto os testes não paramétricos quanto o teste paramétrico não encontram evidências o suficiente para indicar representação estatística significativa na tendência da Pdma.

Pela análise de regressão linear, a Pdma correspondente a Florianópolis CETRE não apresentou tendência significativa, com p-valor indicado pelo teste t-Student superior a 0,05. Contudo o teste de Mann-Kendall para a mesma série de dados indicou significância estatística com magnitude crescente apontada por meio do teste de curvatura de Sen (1968).

Florianópolis-São José rejeita a hipótese nula do teste de Mann-Kendall, apresentando tendência positiva de acordo com o teste de Curvatura de Sen (1968), indicando uma crescente nas séries de precipitação diária máxima anual. Esse resultado é coerente com as diferenças nas intensidades estimadas pelas relações IDF estabelecidas previamente por Back (2014) e atualizadas nesse estudo, para esse ponto.

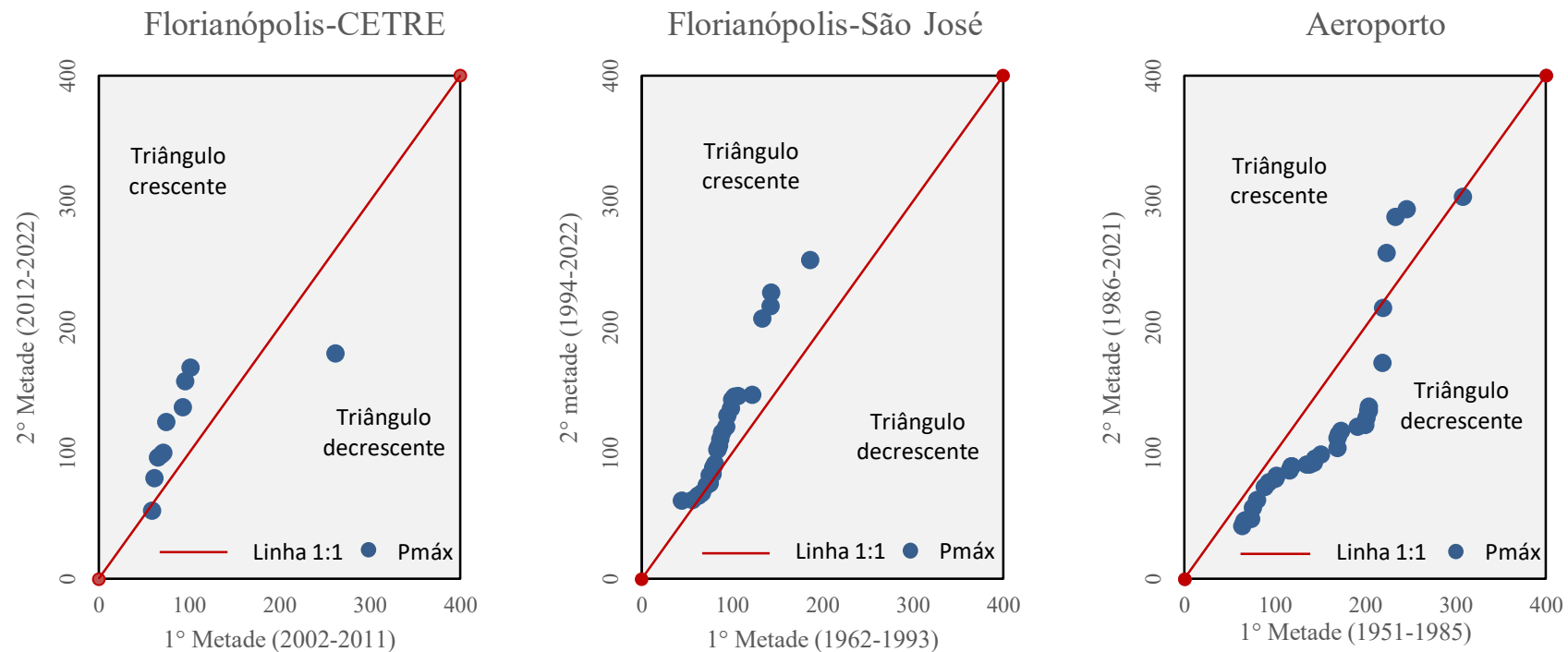
Já a Pdma da estação pluviométrica Aeroporto mostra uma tendência negativa moderada em sua série de dados, indicando uma redução das intensidades de precipitações máximas na porção sul do município. Podemos observar, na Figura 22, que, entre os anos de 2002 a 2019, existe uma sequência de precipitações máximas anuais com intensidades abaixo da média entre os eventos extremos da série de dados, levando a série a declinar.

Figura 22 - Comportamento da variação interanual da série de Pdma Aeroporto com relação a média entre as máximas.



Esse comportamento pode esclarecer a rejeição da hipótese nula no teste de homogeneidade de Mann Whitney, dado que o procedimento do teste consiste na divisão da amostra em duas sub-amostras para que se analise as variações entre elas. Para a Pdma Aeroporto, a sub-amostra 1 (indicada na Figura 23 como 1º metade) possui eventos extremos com intensidades visivelmente diferentes da sub-amostra 2 (indicada na Figura 23 como 2º metade), evidenciando a heterogeneidade das amostras.

Figura 23 - Gráfico de tendência de precipitação diária máxima anual por estação pluviométrica.



As tendências positivas identificadas nas séries Pdma das estações Florianópolis-São José e Florianópolis-CETRE, bem como a tendência negativa indicada na série de dados da estação Aeroporto, nos permite afirmar que o regime de precipitação intensas no município de Florianópolis está mudando.

Existe uma diversidade de fatores a serem investigados em escala global que podem estar relacionados as mudanças no regime de precipitação. Dentro da temática de mudanças climáticas, o aquecimento global é um dos assuntos mais discutidos ao longo dos anos, dado que, quanto maior a temperatura da região, maior a atividade atmosférica para transporte de água em suas diferentes formas físicas e mais frequentes e intensos os eventos de precipitação.

Alterações na temperatura terrestre também ampliam as diferenças entre a temperatura do mar e das regiões continentais, afetando a intensidade de monções marítimas e continentais e outras anomalias de temperatura da superfície do mar, que podem alterar o comportamento de precipitação de uma área.

Fatores antrópicos, associados ao uso e ocupação do solo e a intensificação do processo de urbanização, também tem influência sobre a dinâmica da precipitação, ampliando os impactos de evento de inundação, enxurdas e deslizamentos de terra. Contudo, para avaliação da influência de fatores globais e seus impactos no regime de precipitação local, faz-se necessária a elaboração de um estudo mais detalhado que leve essa perspectiva em consideração.

Trazendo os fatores de influência para escala regional, podemos associar os resultados encontrados na análise de tendência desse estudo com os fatores indicados em outros estudos relacionados ao tema na região sul do Brasil. Fenômenos como os eventos de El Niño, La Niña e Oscilação Decadal do Pacífico são indicados por diferentes autores como possíveis fatores de influência na intensificação do regime de precipitações (PINHEIRO, GRACIANO E SEVERO, 2013; SÁ *et al.*, 2018 ; GUEDES, PRIEBE E MANKE, 2019).

Por tratar-se de uma cidade costeira, Florianópolis fica mais exposta aos efeitos desses eventos e suas possíveis alterações, o que tornaria sua dinâmica hidrológica mais vulnerável a mudanças de tendência.

As características geomorfológicas da cidade, e seu regime de ventos como indicado por Bernardo (2020), também podem inferir no comportamento das precipitações intensas da região. A Frente polar Atlântica (FPA) e Massa Polar Atlântica (mPa) são responsáveis pelos ventos sul e sudeste, e a Massa Tropical Atlântica (mTa) pelos ventos norte e nordeste. O

encontro dessas massas de ar resulta em eventos de precipitações frontais na região litorânea de Florianópolis (SILVEIRA, 2014).

De posse dessa informação, pode-se deduzir que as massas de ar atuantes no município, interagindo com faces dos maciços rochosos da porção insular de Florianópolis, podem impor uma barreira física ao longo de sua extensão, influenciando a dinâmica das chuvas. Contudo, para confirmar essa pressuposição seria necessário o estudo dos fatores topográficos e climatológicos que influenciam o comportamento e distribuição de precipitações do município.

A mudança de tendência no regime de precipitações intensas também afeta a aplicabilidade das relações IDF estabelecidas no que diz respeito a seu potencial de caracterizar a chuva para maiores períodos de retorno.

Se as intensidades dos eventos extremos estão aumentando ou diminuindo, de modo a exceder de forma significativa a média das máximas ao longo do tempo, projetos outrora dimensionados se tornarão sua eficiência reduzida para comportar a vazão de pico de uma chuva dentro do período de retorno ao qual foi projetado, podendo causar diversos prejuízos entre as esferas social, ambiental e econômica.

Esse cenário reforça não só a necessidade constante de atualização das relações IDF para o processo de gestão urbana, como institui a necessidade de abordagens sob a ótica de não estacionariedade.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho aplicou um histórico de dados, medidos na superfície terrestre, que se estendeu de 1961 até os dias atuais. A partir desses dados estabeleceram-se novas relações IDF espacialmente representativas para o município de Florianópolis/SC.

Ficou evidente que Florianópolis carece de séries históricas de precipitação em quantidade e qualidade suficiente para caracterizar seu comportamento hidrológico de forma adequada. O número de postos pluviométricos, dentro dos limites do município, é dois terços inferior ao recomendado pela OMM e as sete (7) entre as onze (11) estações pluviométricas operadas pelo CEMADEN possuem menos de 10 anos de observações com percentual média de falhas de observação superior a 24%.

Embora o produto de precipitação baseado em dados de sensoriamento remoto CHIRPS apresente a melhor resolução espacial disponível para a área de estudo, seu desempenho em escala diária (Pd) e em escala diária máxima anual (Pd_{ma}) não apresentam ajustes suficientemente precisos para caracterizar as observações *in situ*, quando comparado a observações pontuais de suas estações pluviométricas correspondentes.

Ao estabelecer as relações IDF atualizadas para a estação pluviométrica Florianópolis-São José e comparar com a preestabelecida por Back (2014), foram encontrados valores com diferenças superiores a 17%, evidenciando a importância de estudos com séries de dados atualizadas.

Novas relações IDF foram estabelecidas para as estações Florianópolis CETRE, Carijós e Aeroporto, e, ao compará-las com as equações IDF pré-estabelecidas por Back (2014), foram encontrados valores de intensidade de precipitação com diferenças superiores a 67%, evidenciando a importância da aplicação de dados locais a estudos de chuvas intensas, visando o dimensionamento adequado de projetos de engenharia e obras hidráulicas, especialmente nas regiões norte e sul, que indicaram os maiores valores de erro relativo percentual.

A diferença entre os parâmetros estimadas para as equações IDF de cada região, bem como os valores de erro relativo percentual identificados na etapa comparativa, mostram que relações IDF geradas para diferentes regiões do município de Florianópolis são estatisticamente diferentes em contraste com a equação que utiliza dados da estação Florianópolis-São José, relação amplamente aplicada para a determinação da chuva de projetos utilizada no dimensionamento de projetos de obras de engenharia no município.

A análise de tendência permitiu concluir que a Pdma Carijós não possui uma série histórica com dados suficientes para caracterizar possíveis mudanças de tendência nos eventos extremos de precipitação. O teste Mann-Kendall unido ao teste de curvatura de Sen indicam uma tendência crescente nas séries de precipitação diária máxima anual para as Pdma's Florianópolis-CETRE e Florianópolis-São José.

A Pdma da estação pluviométrica Aeroporto mostra uma sutil tendência decrescente em sua série de dados, indicando uma redução das intensidades de precipitações máximas na porção sul do município. Conclui-se que eventos extremos da série entre os anos de 2002 e 2019, abaixo da média de máximas anuais, corroboram com a tendência negativa, justificando a rejeição da hipótese nula no teste de homogeneidade de Mann Whitney, mesmo com $R^2 = 0,99$ no teste de dupla massa em comparação com as estações vizinhas.

As tendências crescentes encontradas nas séries Pdma das estações Florianópolis-São José e Florianópolis-CETRE, bem como a tendência decrescente encontrada na série de dados da estação Aeroporto, indicam que, possivelmente em decorrência ao atual cenário de mudanças climáticas, existe uma mudança na tendência do regime de precipitações intensas do município de Florianópolis, podendo ser resultado de uma combinação de fatores regionais e globais.

Por fim, entende-se que esse trabalho foi realizado com limitações, como as seguintes: no que diz respeito ao número de estações pluviométricas e sua capacidade de cobertura diante da área territorial do município; com séries de dados de curto período de observação, dentro do campo da hidrologia, para a caracterização do comportamento da precipitação; e no conhecimento de que outros produtos de sensoriamento remoto poderiam ser integrados à etapa de análise de acurácia, ampliando, assim, as possibilidades de ajustamento para análise de eventos extremos. Entende-se também que a inserção de outras variáveis traria uma maior compreensão da dinâmica hidrológica municipal, tornando esse estudo mais robusto. Entre essas variáveis, podemos citar: o uso e ocupação do solo, características topográficas, temperatura da superfície da superfície do mar, humidade relativa, massas de ar atuantes, entre outros possíveis fatores de influência no comportamento e distribuições de precipitações intensas.

Considerando tais pontos, recomenda-se que sejam realizados estudos para avaliar possíveis fatores topográficos e climatológicos que podem impactar o comportamento e distribuição de precipitações do município, bem como influência de fatores globais e seus impactos no regime de precipitação local. Também são recomendadas, como medidas necessárias ao planejamento urbano adequado do município, a complementação da uma rede de monitoramento pluviométrico e a adequada operação das estações existentes, de forma a

reduzir as falhas nos dados observados; a instituição de um manual técnico que estabeleça critérios para a elaboração de projetos hidráulicos e de drenagem urbana; e a aplicação das relações IDF aqui estabelecidas, de acordo com sua área de cobertura ou região de locação.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, J.T; LOBO, M. Reliability and discrepancies of rainfall and temperatures from remote sensing and Brazilian ground weather stations. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 18, p. 100301, 2020.

ALBINO, J.; GIRARDI, G.E.; NASCIMENTO, K.A. Erosão e progradação do litoral do Espírito Santo. In: MUEHE, D. (Org). **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, v. 1, 2006.

ALVES, M. P. A.; SILVEIRA, R. B. Análise espacial das chuvas em Florianópolis – SC: O caso de 2018. In: **A Climatologia Geográfica Brasileira: o ensino, os métodos, as técnicas e os desafios para o século XXI**. 2018, Juiz de Fora. Anais[...]. p. 1469-1478. Disponível em: <<http://www.abclima.ggf.br/sbcg2018/site/anais/arquivos/281/e48b68eaf0d7b24301c8ab91e3009f9d.pdf>>. Acesso em: dez. 2022.

ANJOS, R. S.; CANDEIAS, A. L. B.; NOBREGA, R. S. Mapeamento da precipitação estimada e observada no semiárido pernambucano e sua relação com a modelagem de dados espaciais. **Revista Brasileira De Cartografia**, v. 69/3, p. 447, 2017.

BACK, A J. Relação Intensidade-duração frequência de chuvas intensas de Chapecó, estado de Santa Catarina. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 4, p. 575-581, 2006.

BACK, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 5, p. 717-726. 2001.

BACK, A. J. Chuvas intensas e chuva de projeto de drenagem superficial no Estado de Santa Catarina. **Epagri Boletim Técnico**, 123. Florianópolis: Epagri, 2002.

BACK, A. J.; BONETTI, A. V. Chuva de projeto para instalações prediais de águas pluviais de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19. n. 4, p. 260-267, 2014.

BACK, A. J.; HENN, A.; OLIVEIRA, J. L. R. Heavy Rainfall equations for Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 35, p. 2127-2134, 2011.

BACK, Á.J. Alterações no regime pluviométrico de Santa Catarina. In: 6º **Encontro Internacional das Águas**, 2011, Recife. Anais do 6º EIA, 2011.

BACK, Á.J. Avaliação de estimativas de chuvas intensas de Florianópolis, SC obtidas por diferentes métodos. **Anais do XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA**, Campo Grande – MS. 2014.

BACK, Á.J. **Chuvas intensas e chuva para dimensionamento de estruturas de drenagem para o Estado de Santa Catarina (Com programa HidroChuSC para cálculos)**. Florianópolis: Epagri. 2013.

BACK, Á.J.; DELLA BRUNA, E.; DALBÓ, M.A. Mudanças climáticas e a produção de uva no vale do Rio do Peixe -SC. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.35, p.159 - 169, 2013.

BACK, Álvaro J.; DELLA, Juliano P. Análise de tendências nos índices de precipitação de curta duração de Florianópolis. **X Encontro Nacional De Águas Urbanas (ENAU)**, São Paulo, 2014.

BASSO, Raviel E.; ALLASIA, Daniel G.; TASSI, Rutinéia. Vazão de projeto na microdrenagem em locais sem dados de precipitação: estudo para o Rio Grande do Sul. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 3, pp. 233-247, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000300335>>.

BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M. Precipitação. In: TUCCI, C.E.M. **Hidrologia Ciência e BRAGA, Raphael. N. d. S.; HORA, Mônica de A. G. M. da; LYRA, Gustavo. B.; NASCENTES, Alexandre L. (2018). Determinação e interpolação dos coeficientes das equações de chuvas intensas para cidade do rio de janeiro. Revista Ambiente & Água. Taubaté, v. 13, n. (1), p.1-14, 2018.**

CALDEIRA, Luiz Antonio Cardoso e LIMA, Diego Pedreira. Drenagem urbana: uma revisão de literatura. **Engineering Sciences**, v. 8, n. 2, p. 1-9, 2020.

CÂNDIDO, M. O. SEAF. **Um protótipo de um sistema especialista para análise de frequência local de eventos hidrológicos máximos anuais**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, UFMG, Belo Horizonte, 2003.

CECILIO, Roberto; PRUSKI, Fernando. (2003). Interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas com uso do inverso de potências da distância. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 501-504, 2003.

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

CETESB - COMPANHIA DE PROMOÇÃO DE PESQUISA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA (SP). **Drenagem urbana: Manual de projeto**. São Paulo: DAEE/CTESB, 1979. 466p.

CETESB - COMPANHIA DE PROMOÇÃO DE PESQUISA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA (SP). **Drenagem urbana: manual de projeto**. 2. ed. São Paulo: CETESB, 1980.

COLLISCHONN, Lidiane G; COLLISCHONN, Bruno; TUCCI, Carlos E. M. Estabelecimento de relações idf com base em estimativas de precipitação por satélite. **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, São Leopoldo, 2013.

CONTI, Guilherme Nobel. **Estimativa da precipitação através de técnicas de sensoriamento remoto: Estudo de caso para o estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). 2002.

CORREIA, J. L.; TSCHIEDEL, A. F. Construção da curva intensidade, duração e frequência (IDF) para a cidade de São Leopoldo a partir de dados de sensoriamento remoto. In: **XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Foz do Iguaçu, 2019.

COVELLO, C; HORN FILHO, N.O; BRILHA, J. O patrimônio geológico do município de Florianópolis, Ilha de Santa Catarina, Santa Catarina, Brasil: inventário dos geossítios. **Pesquisas em Geociências**, 45(e0668): 1-24. 2018.

CRUZ, Josias S.; ALVES, Igor H. C.; SILVA, Cleidson da; FIGUEIREDO, Nélío M. de; GOMES, Evanice P.; SOUZA COSTA, Carlos E. A. de. Equações de chuvas intensas com dados CPC Morphing Technique (CMORPH) para o município de Altamira-PA. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 24, n. 1, p. 192-207, 2019.

DENARDIN, J.; FREITAS, P. L. Características fundamentais da chuva no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 17, n. 10, p. 1409-1416, 1982.

ELHAMID, Ahmed M.I. Abd; ELTAHAN, Abdelhamid M.H; MOHAMED, Lamees M.E; HAMOUDA, Ismail A. Assessment of the two satellite-based precipitation products TRMM and RFE rainfall records using ground-based measurements. **Alexandria Engineering Journal**, v. 59, n. 2, p. 1049-1058, 2020.

ENDRENY, Theodore A.; IMBEAH, Nana. Generating robust rainfall intensity–duration–frequency estimates with short-record satellite data. **Journal of hydrology**, v. 371, n. 1-4, p. 182-191, 2009.

FECHINE SOBRINHO, V.; RODRIGUES, J. O.; MENDONÇA, L. A.; DE ANDRADE, E. M.; TAVARES, P. R. Desenvolvimento de equações Intensidade-Duração-Frequência sem dados pluviográficos em regiões semiáridas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 7, p. 727-734, 2014.

FERNANDES, W. S. **Metodologia unificada para análise de frequência de vazões máximas anuais a partir da agregação da informação hidrometeorologia regionalizada**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. – UFMG, Belo Horizonte, 2005.
FIORIO, P. R.; DUARTE, S. N.; RODRIGUES, G. DE O.; MIRANDA, J. H. DE; COOKE, R. A. Comparação de equações de chuvas intensas para localidades do estado de São Paulo. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 6, p. 1080-1088, 2012.

FRAGOSO JR., C. R. 2004. Regionalização da Vazão Máxima Instantânea com base na Precipitação de Projeto. **ReRH: Revista Eletrônica de Recursos Hídricos**, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 5-13, 2004.

FREITAS, Emerson da S.; COELHO, Victor Hugo R.; XUAN, Yunqing; MELO, Davi de C.D.; GADELHA, André N.; SANTOS, Elias A.; GALVÃO, Carlos de O.; FILHO, Geraldo M. Ramos; BARBOSA, Luis Romero; HUFFMAN, George J.; PETERSEN, Walt A.; ALMEIDA, Cristiano das N. The performance of the IMERG satellite-based product in identifying sub-daily rainfall events and their properties. **Journal of Hydrology**, v. 589, p. 125128, 2020.

FUNK, C. C; PETERSON, P. J; LANDSFELD, M. F; PEDREROS, D. H; VERDIN, J. P; ROWLAND, J. D; HARRISON, L.; HOELL, A.; MICHAELSEN, J. The climate hazards

infrared precipitation with stations – a new environment record for monitoring extremes. **Scientific Data**, n. 150066, p. 1-21, 2015.

GARCEZ, L. N; ALVAREZ, Guillermo Acosta. **Hidrologia**. 2a edição. São Paulo: Edgard Blücher, 291p. 1998.

GUEDES, Hugo A. S; PRIEBE, Priscila dos S.; MANKE, Emanuele B. Tendências em Séries Temporais de Precipitação no Norte do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de meteorologia**, v. 34, n. 2, 2019.

HANSON, S; NICHOLLS, R; RANGER, N; HALLEGATTE, S; CORFEEMORLOT, J; HERWEIJER, C; CHATEAU, J. A global ranking of port cities with high exposure to climate extremes. **Climatic Change**, Southampton, p. 89-111, 2011.

ISLAM, Md Atiqul; YU, Bofu; CARTWRIGHT, Nick. Coupling of satellite-derived precipitation products with Bartlett-Lewis model to estimate intensity-frequency-duration curves for remote areas. **Journal of Hydrology**, 2022.

JENKINSON, A. F. The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) of meteorological elements. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, London, v.81, n.551.501.45, p.158-171, 1955.

KUMAR, Manish; Hodnebrog, Øivind; Daloz, Anne Sophie; Sen, Sumit; Badiger, Shrinivas; Krishnaswamy, Jagdish. Measuring precipitation in Eastern Himalaya: Ground validation of eleven satellite, model and gauge interpolated gridded products. **Journal of Hydrology**, v. 599, p. 126252, 2021.

LOPES, José Ricardo Ferreira; SILVA, Djane Fonseca da. Aplicação de teste de Mann-Kendall para análise de tendência pluviométrica no estado do Ceará. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 30, nº. 3, 2013.

LÓPEZ-BERMEO, Carlos; MONTOYA, Rubén D.; CARO-LOPERA, Francisco J.; DÍAZ-GARCÍA, José A. Validation of the accuracy of the CHIRPS precipitation dataset at representing climate variability in a tropical mountainous region of South America. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 127, 2022.

LOURENÇO, R.W. **Comparação entre métodos de interpolação para Sistemas de Informações Geográficas**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, São Paulo, 1998.

MARENGO, J.A., LIEBMANN, B., GRIMM, A.M., MISRA, V., SILVA DIAS, P.L., CAVALCANTI, I.F.A., CARVALHO, L.M.V., BERBERY, E.H., AMBRIZZI, T., VERA, C.S., SAULO, A.C., NOGUES-PAEGLE, J., ZIPSER, E., SETH, A. e ALVES, L.M., 2012. Recent developments on the South American monsoon system. **Int. J. Climatol.** 32, 1–21. <https://doi.org/10.1002/joc.2254>

MARTINS, E. S.; STEDINGER, J. R. Generalized maximum-likelihood generalized extreme-value quantile estimators for hydrologic data. **Water Resources, Research**, Washington, v.36, n.3, p.737-744, 2000.

MELLO, Carlos de; VIOLA, Marcelo; MELLO, José; SILVA, Antônio. Continuidade espacial de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia - CIENC AGROTEC**. Lavras, v. 32, n. 2, p. 532-539, mar./abr., 2008.

MORAES, E. C.; CARDOZO, F. S.; KRIEGER, G. P.; PEREIRA, G.; PRADO, B. R. Estudo da Evolução Urbana da Região Conurbada da Grande Florianópolis/SC (1985 a 2009). In: **XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada (SBGFA)**, Viçosa - MG.

NAGHETTINI, M; PINTO, E. J DE A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 552p, 2007.

NERILO, N. **Pluviometria e chuvas intensas no estado de Santa Catarina**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1999. 152p.

NERILO, N., MEDEIROS, P. A. e CORDERO, A. **Chuvas Intensas no Estado de Santa Catarina**. Blumenau: Edifurb, 2002.

NOOR, Muhammad; ISMAIL, Tarmizi; SHAHID, Shamsuddin; ASADUZZAMAN, Md; DEWAN, Ashraf. Evaluating intensity-duration-frequency (IDF) curves of satellite-based precipitation datasets in Peninsular Malaysia. **Atmospheric Research**, v. 248, p. 105203, 2021.

OKAMOTO, K.; IGUCHI, T.; TAKAHASHI, N.; IWANAMI, K.; USHIO, T. **The Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) Project**, 25th IGRSS. Proceedings, p. 3414-3416, 2015.

OMBADI, M.; NGUYEN, P.; SOROOSHIAN, S.; & HSU, K. Developing intensity-duration-frequency (IDF) curves from satellite-based precipitation: Methodology and evaluation. **Water Resources Research**, v54, 7752– 7766, 2018.

PAREDES-TREJO, F., BARBOSA H. A. e LAKSHMI, T. V. KUMAR. Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. **Journal of Arid Environments**.139:26-40, 2017.

PBMC (Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas). Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: **Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. Marengo, J.A., Scarano, F.R. (Eds.]. PBMC, COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, 184 p, 2016.

PENEREIRO, J. C. *et. al.* Caracterização estatísticas de tendências climáticas em séries anuais de temperatura média e precipitação para as capitais estaduais do Brasil. **Revista Geintec**. São Cristovão/SE, v.3, p. 01-15, 2012.

PFAFSTETTER, O. **Chuvas Intensas no Brasil**. Brasília, 1957.

PINHEIRO, Adilson; GRACIANO, Regina L. G.; SEVERO, Dirceu L. Tendência Das Séries Temporais De Precipitação Da Região Sul Do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.3, p. 281-290, 2013.

PMF-IDOM - Consórcio Prefeitura Municipal de Florianópolis. Relatório Final - Estudo 2: Vulnerabilidade E Riscos Naturais. **Estudos base iniciativa cidades emergentes e sustentáveis**. 2015.

POMPÊO, C. A; HACK, J. L. **Equação de chuvas intensas para Florianópolis**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

PRAKASH, S., 2019. Performance assessment of CHIRPS, MSWEP, SM2RAIN-CCI, and precipitation sources for flash flood forecasting. **Journal of Hydrology**. 340, 183–196, 2007.

PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D.; TEIXEIRA, A.F.; CECÍLIO, R.A.; SILVA, J.M.A.; GRIEBELER, N.P. **Hidros: Dimensionamento de sistemas hidroagrícolas**. Editora UFV. Viçosa. 2006. P. 259.

RAIMUNDO, H. **Aspectos Geotécnicos e Pluviométricos Associados a Instabilidade de Encostas em Florianópolis – SC**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1998. 325p.

RAUF, A. GHUMMAN, A. Impact assessment of rainfall-runoff simulations on the flow duration curve of the Upper Indus River—a comparison of data-driven and hydrologic models. **Water**, v. 10, n. 7, p. 876. 2018.

REDER, Alfredo; RAFFA, Mario; PADULANO, Roberta; RIANNA, Guido. Characterizing extreme values of precipitation at very high resolution: an experiment over twenty European cities. **Weather and Climate Extremes**, p. 100407, 2022.

SÁ, Eder A. S.; MOURA, Carolina N. de; PADILHA, Victor L.; CAMPOS, Cláudia G. C. Trends in daily precipitation in highlands region of Santa Catarina, southern Brazil. **Revista Ambiente e Água**, v. 13, n. 1, 2018.

SAMPAIO, M. V. **Determinação e espacialização equações de chuvas intensas em bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria, 2011.

SANJAYA, S e YUDIANTO, D. Application of TRMM in Deriving Intensity-Duration-Frequency Curve in Bandung Area. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, Indonesia, v. 832, 3rd International Conference on Sustainable Infrastructure, 2020.

SANTOS, Vítor de O. **Identificação e análise de tendências das variáveis hidrológicas e mudanças no uso e ocupação das terras no alto curso da bacia hidrográfica do rio Uberaba, em Minas Gerais**. Dissertação. Uberlândia. p. 129. 1988.

SCOFIELD, Graziela Balda; ANGELIS, Carlos Frederico de; SOUSA JR, Wilson Cabral de. Estudo das tendências do total de Precipitação e do número de Dias chuvosos no Litoral Norte de São Paulo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 19, n.3, p. 19-31, Jul/Set, 2014.

SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. **Journal of the American Statistical Association**. v. 63, p. 1379-1389, 1968.

SIKORA DE SOUZA, VINICIUS ALEXANDRE; MOREIRA, DANIEL MEDEIROS; ROTUNNO FILHO, OTTO CORRÊA; RUDKE, ANDERSON PAULO. Extreme rainfall events in Amazonia: The Madeira river basin. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 1, p. 100316, 2020.

SIKORA DE SOUZA, VINICIUS; MOREIRA, DANIEL; ROTUNNO FILHO, OTTO & RUDKE, ANDERSON; ANDRADE, CLAUDIA; SILVA, FABRICIO. Potencial uso das informações de chuvas obtidas por sensoriamento remoto na análise não paramétrica de eventos extremos na bacia do rio Madeira. **Revista DAE**. 69. 231-110. 10.36659/dae.2021.050, (2021).

SILVA, C. R. **Análise espaço-temporal das inundações bruscas no período de 1991 a novembro 2011 em Florianópolis – Santa Catarina**. Monografia. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2016. 111p.

SILVA, Emerson. R. M. da; BARBOSA, Ivan C. da C.; SILVA, Helder J. F. da; COSTA, Luiz Gonzaga da S; ROCHA, Edson J. P. da. Análise do Desempenho da Estimativa de Precipitação do Produto CHIRPS para Sub-Bacia do Rio Apeú. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Castanhal-PA, v. 13, n. 3, 2020.

SILVEIRA, R. B.; ALVES, M. P. A.; MURARA, P. Estudo de caracterização da direção predominante dos ventos no litoral de Santa Catarina. In: **X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA**, Curitiba, p. 380–392, 2014.

SMDU – Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. **Manual de drenagem urbana e manejo de águas pluviais – Aspectos tecnológicos: diretrizes para projetos**. São Paulo: Prefeitura de São Paulo, 2012. V3, 128p.

SOARES, Alexleide; PAZ, Adriano; PICCILLI, Daniel. Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba / Assessment of rainfall estimates of TRMM satellite on Paraíba state. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, p. 288-299, 2016.

SUN, Yabin; WENDI, Dadiyorto; KIM, Dong Eon; LIONG, Shie-Yui. Deriving intensity–duration–frequency (IDF) curves using downscaled *in situ* rainfall assimilated with remote sensing data. **Geoscience Letters**, v. 6, n. 1, p. 1-12, 2019.

SYED, TAJDARUL & LAKSHMI, VENKAT & PALEOLOGOS, EVAN & LOHMANN, DAG & MITCHELL, KENNETH & FAMIGLIETTI, JAMES. (2004). Analysis of process controls in land surface hydrological cycle of the continental United States. **Journal of Geophysical Research (Atmospheres)**. 109. 22105-. 10.1029/2004JD004640.

TORRICO, J. T. **Práticas hidrológicas**. Rio de Janeiro, Trascon, 120p.1974.

TROVATI, L.R.; ANTONIO, M. A. Balanço hídrico distribuído com medidas de chuva por radar meteorológico. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**, 9, 1996, Campos do Jordão. v.2, p.1148-51.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Água Pluviais Urbanas**. Ministério das Cidades – Global Water Partnership – World Bank – Unesco, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2a edição. Porto Alegre: Ed UFRGS, 943 p. 2001.

VENKATESH, Kasi; MAHESWARAN, Rathinasamy; DEVACHARAN, Jarajapu. Framework for developing IDF curves using satellite precipitation: a case study using GPM-IMERG V6 data. **Earth Science Informatics**, v. 15, n. 1, p. 671-687, 2022.

VERA, C.; HIGGINS, W.; AMADOR, J.; AMBRIZZI, T.; GARREAUD, R.; GOCHIS, D.; GUTZLER, D.; LETTENMAIER, D.; MARENGO, J.; MECHOSO, C.R.; NOGUES-PAEGLE, J.; DIAS, P.L.S.; ZHANG, C. Toward a Unified View of the American Monsoon Systems. **J. Clim.** 19, 4977–5000. 2006. <https://doi.org/10.1175/JCLI3896.1>

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guidelines on the calculation of climate normals: n° 1.203**. Geneva: Secretariat of the World Meteorological Organization, p. 29, 2017.

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Manual for estimation of probable maximum precipitation**. Geneva. p. 190, 1973.

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Methods of observation. In: **Guide to Hydrological Practices: hydrology from measurement to hydrological information**. 6. ed. Geneva, Switzerland, 2008.

WU, Hongcai; YANG, Qinli; LIU, Jiaming; WANG, Guoqing. A spatiotemporal deep fusion model for merging satellite and gauge precipitation in China. **Journal of Hydrology**, v. 584, 2020.

YANG, Mengxi; LIU, Guodong; CHEN, Ting; CHEN, Yu; XIA, Chengcheng. Evaluation of GPM IMERG precipitation products with the point rain gauge records over Sichuan, China. **Atmospheric Research**, v. 246, p. 105101, 2020.

ZHANG, Yuefen; WU, Chuanhao; YEH, Pat J.-F.; LI, Jianzhu; HU, Bill X.; FENG, Ping; JUN, Changyun. Evaluation and comparison of precipitation estimates and hydrologic utility of CHIRPS, TRMM 3B42 V7 and PERSIANN-CDR products in various climate regimes. **Atmospheric Research**, v. 265, p. 105881, 2022.