

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

WELBER EDGAR GOMES DA SILVA

ESTUDO COMPARATIVO DAS EQUAÇÕES DE INTENSIDADE DURAÇÃO
FREQUÊNCIA DO MUNICÍPIO DE JOINVILLE/SC

Joinville

2022

WELBER EDGAR GOMES DA SILVA

ESTUDO COMPARATIVO DAS EQUAÇÕES DE INTENSIDADE DURAÇÃO
FREQUÊNCIA DO MUNICÍPIO DE JOINVILLE/SC

Trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel no Curso de Graduação em Engenharia Civil de Infraestrutura do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Dra. Simone Malutta.

Joinville

2022

WELBER EDGAR GOMES DA SILVA

ESTUDO COMPARATIVO DAS EQUAÇÕES DE INTENSIDADE DURAÇÃO
FREQUÊNCIA DO MUNICÍPIO DE JOINVILLE/SC

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 15 de dezembro de 2022.

Banca Examinadora:

Dra. Simone Malutta
Orientadora/Presidente
Universidade Federal de Santa Catarina

Me. Franciele Maria Vanelli
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Me. Juliana Cristina Frankowiak
Membro
Prefeitura Municipal de Joinville/SC

Dedico este trabalho à minha família, amigos que sempre me apoiou e acreditou no meu potencial. Dedico também ao ensino público, professores que contribuem para uma educação inclusiva e de qualidade.

RESUMO

O processo de urbanização prejudica severamente os recursos naturais e hídricos disponíveis. Nesse contexto, ocorrem modificações expressivas no regime de chuvas, especialmente no escoamento superficial da região impactando drasticamente os sistemas de drenagem. A quantificação dessas chuvas, relacionadas à intensidade, duração e frequência de um evento em um determinado período é fundamental para o dimensionamento econômico e seguro de estruturas hidráulicas, prevenção de enchentes e gerenciamento dos recursos hídricos. Desse modo, é expressivamente importante a revisão dessas equações. A existência de séries históricas de precipitações suficientemente longas e representativas, obtidas através de pluviômetros, permite o ajuste de equações intensidade-duração-frequência (IDF). O presente trabalho tem o objetivo de através do ajuste à distribuição de Chow-Gumbel estabelecer uma relação intensidade-duração-frequência (IDF) a partir de dados pluviométricos desagregados, com o uso de tabelas de desagregação para a cidade de Joinville de duas estações disponíveis no banco de dados da Agência Nacional de Águas - ANA. As estimativas intensidades máximas através de modelos probabilísticos para cada duração e período de retorno de 5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos foram desagregadas em duração de 5; 10; 15; 20; 25; 30; 60; 360; 480; 600; 720 e 1.440 minutos, fez-se o ajuste dos parâmetros (K, a, b e c) através do emprego de regressão linear. Chuvas intensas obtidas pelo método citado anteriormente foram comparadas às chuvas intensas geradas pela IDFs existentes na tentativa de auxiliar na escolha de uma equação a ser adotada para os projetos de drenagem pluvial e estudos hidrológicos a serem desenvolvidos para a região de Joinville/SC.

Palavras-chave: Chuvas intensas. Equação IDF. Distribuição de Gumbel.

ABSTRACT

The urbanization process severely damages the available natural and hydric resources. In this context, significant modifications occur in the rainfall regime, especially in the runoff of the region, drastically impacting the drainage systems. The quantification of this rainfall, related to the intensity, duration and frequency of an event in a given period is fundamental for the economic and safe sizing of hydraulic structures, flood prevention and management of water resources. Thus, it is expressively important to review these equations. The existence of sufficiently long and representative historical rainfall series, obtained through rain gauges, allows the adjustment of intensity-duration-frequency (IDF) equations. The present work has the objective of, through the adjustment to the Chow-Gumbel distribution, establishing an intensity-duration-frequency relation (IDF) from disaggregated rainfall data, using disaggregation tables for the city of Joinville from two stations available in the database of the National Water Agency – ANW. The maximum intensity estimates through probabilistic models for each duration and return period of 5, 10, 15, 25, 50 and 100 years were disaggregated into durations of 5; 10; 15; 20; 25; 30; 60; 360; 480; 600; 720 and 1,440 minutes, the parameters (K, a, b and c) were fitted through the use of linear regression. Intense rainfall obtained by the method was compared to the intense rainfall generated by the existing IDFs to help in the choice of an equation to be adopted for storm drainage projects and hydrological studies to be developed for the Joinville/SC region.

Keywords: Intense rains. IDF Equation. Distribution of Gumbel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - População afetada pelas chuvas de 2008/2009 por município	18
Figura 2 - Esquema de funcionamento de um pluviômetro	20
Figura 3 - Pluviógrafo de cubas basculantes.....	22
Figura 4 - Pluviograma	23
Figura 5 - Alguns casos típicos relativos à aplicação da análise de Dupla Massa	27
Figura 6 - Localização das estações pluviométricas analisadas	48
Figura 7 - Resultado do teste de Dupla Massa para a estação Joinville (RVPSC) ...	51
Figura 8 - Resultado do teste de Dupla Massa para a estação Estrada dos Morros.	52
Figura 9 - Regressão linear dos logaritmos das intensidades versus logaritmos da duração mais o coeficiente “b” da Estação Estrada dos Morros	54
Figura 10 - Regressão linear dos logaritmos das intensidades versus logaritmos da duração mais o coeficiente “b” da Estação RVPSC	55
Figura 11 - Regressão linear para definir os coeficientes K e m da equação IDF Estação Estrada dos Morros	56
Figura 12 - Regressão linear para definir os coeficientes K e m da equação IDF Estação RVPSC	56
Figura 13 - Curva IDF Estação Estrada dos Morros.....	58
Figura 14 - Curva IDF Estação RVPSC	58
Figura 15 - Comparação de curvas das equações IDF referente à Estação RVPSC com período de retorno de 5 anos	60
Figura 16 - Comparação de curvas das equações IDF referente à Estação Estrada dos Morros com período de retorno de 5 anos.....	60
Figura 17 - Comparação de curvas das equações IDF referente à Estação RVPSC com período de retorno de 10 anos	61
Figura 18 - Comparação de curvas das equações IDF referente à Estação Estrada dos Morros com período de retorno de 10 anos.....	62
Figura 19 - Comparação de curvas das equações IDF referente à Estação RVPSC com período de retorno de 100 anos	63
Figura 20 -Comparação de curvas das equações IDF referente à Estação Estrada dos Morros com período de retorno de 100 anos.....	63

Figura 21 - Diferença absoluta entre as intensidades das curvas da Estação RVPSC	64
Figura 22 - Diferença absoluta entre as intensidades das curvas da Estação Estrada dos Morros	64
Figura 23 - Diferença absoluta entre as intensidades das curvas da Estação Estrada dos Morros e RVPSC	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites mínimos de precipitação de chuvas intensas.....	28
Tabela 2 - Valores do coeficiente α	29
Tabela 3 - Critérios de classificação de precipitação segundo a intensidade	29
Tabela 4 - Média e desvio padrão da variável Gumbel “y” em função do número de observações	33
Tabela 5 - Coeficientes de desagregação de chuva de 24 horas utilizando o método das Relações de Durações	36
Tabela 6 - Relações entre as alturas pluviométricas de 24h e de 1 dia de duração .	36
Tabela 7 - Relações entre durações observadas em Santa Catarina	37
Tabela 8 - Intensidades máximas de chuva estação automática Casan	41
Tabela 9 - Relações IDF da estação 2648014 (RVPSC)	42
Tabela 10 - Equações de chuvas intensas estabelecidas a partir dos dados pluviográficos das estações da Defesa Civil	44
Tabela 11 - Equações de chuvas intensas estabelecidas a partir dos dados das estações pluviométricas da ANA e Epagri	45
Tabela 12 - Informações das estações pluviográficas analisada	47
Tabela 13 - Fator de frequência “kT” para o tempo de retorno (método de distribuição de Gumbel)	50
Tabela 14 - Intensidades máximas diárias previstas na Estação Estrada dos Morros	53
Tabela 15 - Intensidade máximas previstas na Estação RVPSC	53
Tabela 16 - Parâmetros C, e Log (T) para cálculo da IDF das Estações Estrada dos Morros e RVPSC	55
Tabela 17 - Coeficientes IDF ajustados para as Estações Estrada dos Morros e RVPSC (K, m, b, n)	57
Tabela 18 - Erro percentual relativo para a Estação RVPSC	66
Tabela 19 - Erro percentual relativo para a Estação Estrada dos Morros	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

SEINFRA – Secretaria de Infraestrutura do Município de Joinville

WMO - Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation

CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental

CASAN – Companhia Catarinense de Águas e Saneamento

UDESC-Universidade do Estado de Santa Catarina

UNIVILLE – Universidade da Região de Joinville

TR - Período de retorno

IDF – Intensidade – Duração – Frequência

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 JUSTIFICATIVA	13
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1. IMPACTOS DAS PRECIPITAÇÕES INTENSAS NO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA	15
2.3 CHUVAS INTENSAS EM SANTA CATARINA	17
2.4 OBTENÇÃO, PROCESSOS E ANÁLISE DE DADOS HIDROLÓGICOS	19
2.4.1 Grandezas Características	19
2.4.2 Monitoramento Convencional das Precipitações	20
2.4.3 Preenchimento das falhas nas séries de chuvas	24
2.4.3.1 Método de Ponderação Regional	24
2.4.3.2 Método da Regressão Linear	25
2.4.3.3 Método de Ponderação Regional com base em Regressão Linear	25
2.4.4 Verificação da Homogeneidade dos Dados	26
2.4.5 Precipitação de Chuvas Intensas – Relação Intensidade – Duração – Frequência	28
2.4.5.1 Formulação da Equação de Chuvas Intensas IDF	33
2.4.6 Desagregação da Chuva Diária	35
3. RELAÇÕES IDF EXISTENTES PARA JOINVILLE/SC	39
3.1 EQUAÇÕES DE CHUVAS PROPOSTAS POR NEGRI E RAMOS (2002)	39
3.3 EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS PROPOSTAS POR SIMÕES E RAMOS (2003)	40
3.5 EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS PROPOSTAS POR LOPES E RAMOS (2006)	42

3.2 DESENVOLVIMENTO DE EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS A PARTIR DE DADOS PLUVIOGRÁFICOS NO MUNICÍPIO DE JOINVILLE STEINKE JÚNIOR (2017).....	43
3.3 CHUVAS INTENSAS E ESTIMATIVAS DA CHUVA DE PROJETO PARA O ESTADO DE SANTA CATARINA BACK (2022).....	44
4. METODOLOGIA	46
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	46
4.1.1 JOINVILLE.....	46
4.2 ESCOLHA DAS ESTAÇÕES DE TRABALHO	46
4.3 APLICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL À SÉRIE DE DADOS.....	48
4.4 GERAÇÃO DAS CURVAS IDF	49
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	51
5.1 ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS NAS ESTAÇÕES RVPSC E ESTRADA DOS MORROS	51
5.2 ESTIMATIVAS DE INTENSIDADES MÁXIMAS.....	52
5.2.1 Coeficientes das curvas IDF.....	53
5.3 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS EQUAÇÕES IDF EXISTENTES PARA JOINVILLE/SC	59
6. CONCLUSÃO	68
REFERÊNCIAS.....	70

1 INTRODUÇÃO

A precipitação é definida como vapor de água depositada na superfície da terra sob a forma de chuva, granizo, neve ou geada. A precipitação em forma de chuva é a mais comum no Brasil, tal como o agente mais importante dos processos hidrológicos de interesse da engenharia e é caracterizada por uma aleatoriedade no tempo e no espaço (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

O estudo e comportamento das precipitações máximas esperadas são fundamentais para dimensionamento de obras hidráulicas de infraestrutura, tais como vertedores, galerias de águas pluviais, bueiros e dimensionamento de canais, em vista do crescimento da urbanização. As estações meteorológicas e pluviométricas desempenham um papel importante na obtenção dos volumes precipitados e informações sobre a dinâmica atmosférica (BASTOS et al., 2014)

A relativa ausência dessas estações e/ou postos pluviométricos, pelo amplo espaço do território brasileiro, justifica o aproveitamento ao máximo dos dados existentes, o que pode ser feito, até certa medida, corrigindo as falhas através de procedimentos estatísticos (SILVA; JARDIM, 2017). Segundo Barbosa (2004), as causas das falhas podem ser inerentes ao funcionamento dos aparelhos de registros, ou até mesmo da ausência do operador na estação.

Para obter valores confiáveis de projeto, utiliza-se a relação de intensidade-duração-frequência (IDF) das chuvas, ou curva intensidade (I), duração (D) e frequência (F). As IDF são capazes de fornecer, sobre um posto de medição, informações a respeito das intensidades máximas de chuva, as durações e o tempo de retorno em anos (SILVA JÚNIOR et al., 2020).

Através das equações IDF, pode-se representar estas três variáveis juntas. Estas equações permitem estimar uma intensidade de precipitação, fixando-se o período de retorno e o tempo de duração. Dessa maneira, as equações IDF fornecem melhores resultados quando obtidas a partir de séries de dados extensas, ajustando-se, *a priori*, um modelo de distribuição de probabilidade aos dados de intensidade de chuvas (TUCCI, 2001).

Nesse cenário, tendo em vista a importância do conhecimento e atualização das relações IDF, esta pesquisa tem como objetivo a aplicação de metodologia consolidada para obtenção da relação IDF, utilizando o método Chow-Gumbel com

auxílio de dados pluviométricos de chuvas intensas atuais disponibilizados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

1.1 JUSTIFICATIVA

A implantação do município de Joinville foi às margens do Rio Cachoeira na Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira (BHRC) que gerou intensa impermeabilização do solo, juntamente com a influência da maré que ciclicamente represa e “avança” no Rio Cachoeira (MALUTTA et al., 2021).

Alagamentos, enchentes e inundações, na cidade de Joinville/SC ocorrem com frequência, uma vez que, apresenta elevados valores de precipitação ao longo do ano sendo, durante os meses de maiores medidas de chuva, dezembro a abril.

Eventos em 2022 fez com que o município decretasse estado de emergência devido às fortes chuvas. A passagem do Ciclone em 10 de agosto deixou a cidade em destaque em diversos noticiários.

Em 48h, as estações meteorológicas registraram 224 milímetros de chuva na região de Pirabeiraba, 160 milímetros na região central da cidade e 189 milímetros no Vila Nova (JOINVILLE, 2022). O Rio Cachoeira que atravessa a cidade, transbordou em vários pontos. O centro da cidade ficou alagado inclusive o principal terminal de ônibus da cidade, 90% das linhas do transporte coletivo pararam de operar, com as ruas tomadas pela água, muita gente não conseguiu chegar ao trabalho ou voltar para casa, 60 mil consumidores ficaram sem energia (RUAS..., 2022).

O jornal G1 (2022), publicou uma matéria referente ao evento que ocorreu em novembro de 2022, onde destaca:

Entre os dias 26 e 28 de novembro de 2022 choveu 340 milímetros em Joinville. Esse acumulado é mais do que a média esperada para o mês de novembro, que é de até 190 milímetros, conforme a Epagri/Ciram, órgão que monitora as condições meteorológicas do estado. Além da área urbana, na zona rural, os alagamentos impediram a passagem dos moradores sobre ponte e galerias para chegarem às próprias casas. Outra preocupação é com o grande volume de chuva na serra. O que traz volume de água para Joinville. Isso tende a aumentar rapidamente o volume dos rios e prejudicar o escoamento (CALDAS, 2022)

Visto isto e, a questão da vulnerabilidade da cidade que, supostamente, demonstra estar sendo afetada por tempestades cada vez mais frequentes, é necessário a revisão periódica, pelo menos uma vez em cada década, das equações

IDFs, uma vez que é de suma importância para obras de micro e macrodrenagem, uso de recursos hídricos e estudos hidrológicos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar e quantificar as chuvas intensas sob a perspectiva da equação IDF na região do município de Joinville/SC. A partir das equações geradas, avaliar a diferença entre as intensidades geradas pelas diferentes curvas com estudos já realizados no município.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Selecionar e analisar dados pluviométricos de chuvas disponibilizados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) de duas estações pluviométricas (Estrada dos Morros e Joinville – RVPSC) do município de Joinville/SC;
- Estimar, por meio do método de Gumbel, equações atualizadas de intensidade-duração-frequência (IDF) para as estações Estrada dos Morros e Joinville – RVPSC;
- Comparar os erros percentuais relativos e as diferenças absolutas obtidos com outras equação intensidade-duração-frequência (IDF) já existentes na região.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica está subdividida em três partes. A primeira relaciona os impactos das chuvas intensas no sistema de drenagem urbana. Na segunda, apresenta-se eventos de chuvas intensas em Santa Catarina (SC) e as dimensões desses acontecimentos. Por fim, faz-se a análise de chuvas intensas e o estabelecimento e aplicação de equações IDF de precipitações, assim como, comparativo entre as relações de IDF existentes para Joinville/SC.

2.1. IMPACTOS DAS PRECIPITAÇÕES INTENSAS NO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA

Segundo Cruz e Tucci (2000), o sistema de drenagem urbana é considerado um conjunto de elementos destinados às águas pluviais precipitadas sobre uma determinada região e que escorrem sobre sua superfície, conduzindo-as a um destino final, a fim de minimizar os riscos que a população está sujeita, diminuir os prejuízos causados por alagamentos e possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável. A drenagem nada mais é do que a gestão das águas de chuva no meio urbano.

Tucci e Collischonn (1998) explicam que, quando a precipitação é intensa e o solo não tem permeabilidade, grande parte do volume esco para o sistema de drenagem, superando a capacidade natural de escoamento. Desse modo, há o aceleração do escoamento por condutos e canais, aumento da vazão máxima e sua frequência das inundações, também, aumento da velocidade do escoamento, resultando em erosão do solo e produção de sedimentos para o sistema de drenagem, conseqüentemente entupimento e reduzem a capacidade de escoamento de condutos e canais, produzindo maiores inundações, enchentes e alagamentos.

As redes de drenagem são as mais complicadas de dimensionar, embora se resume a diâmetros internos e materiais, na maioria dos projetos falta estudos e parâmetros para que os cálculos sejam feitos de forma correta. Nesse sentido, os alagamentos urbanos estão associados às falhas na infraestrutura de drenagem, seja por redes de drenagem deficitárias ou subdimensionamento do sistema, ausência de manutenção ou aumento da impermeabilização do solo com a

urbanização das cidades que reduz a cobertura vegetal, modificando o ciclo hidrológico (SOARES et al., 2015). Tal situação é agravada nas planícies urbanas, como no caso de Joinville/SC, que tem uma rede de drenagem suscetível às oscilações diárias das marés, podendo provocar problemas de alagamentos na ocorrência de chuvas intensas combinadas com maré alta (JOINVILLE, 2013).

Como aponta Bell (1969) apud Leite (2019), uma chuva concentrada de 40 mm, por exemplo, com duração de tempo de 30 minutos em uma área de 2 km², pesaria mais de 90 mil toneladas, assim, a probabilidade ou indício de ocorrência de inúmeros impactos pluviométricos é inevitável. Trechos de drenagens sujeitos a enchentes, enxurradas com alta energia de escoamento e capacidade de erosão lateral, representam situações potenciais de rompimento de ramais de galeria pluviais, tubulações, ou até vitimar pessoas e destruir moradias situadas nos taludes (ribanceiras), tanto pelo impacto direto das águas, quanto pela ação erosiva, que causa o solapamento, isso é, a perda da base e rupturas dos taludes marginais dos cursos d'água, processos desencadeados quando ocorre eventos de enchentes (BRASIL, 2007).

De acordo com o Ministério das Cidades (BRASIL, 2007), pode-se classificar as inundações, as enchentes, os alagamentos e as enxurradas da seguinte maneira:

- Inundação representa o extravasamento das águas do canal de drenagem, atingindo a planície de inundação ou área de várzea, quando a enchente atinge cota acima do nível máximo da calha principal do rio;

- As enchentes ou cheias são definidas pela elevação temporária do nível d'água em um canal de drenagem devida ao aumento da vazão ou descarga, atingindo a cota máxima do canal, porém, sem extravasar;

- O alagamento é um acúmulo momentâneo de águas em determinados locais por deficiência no sistema de drenagem, podendo ter ou não relação com processos de natureza fluvial;

- A enxurrada é escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte.

2.3 CHUVAS INTENSAS EM SANTA CATARINA

Enchentes catastróficas fazem parte da história de muitas cidades de Santa Catarina, episódios de cheias dos rios são constatados desde a chegada dos primeiros imigrantes em 1850, como as cheias de 1974, 1983, 1995, 2008 e 2011, que deixaram vítimas e arruinaram cidades (HÁ..., 2008; SANTOS et al., 2014) e, em virtude desses acontecimentos, diversos trabalhos abordaram a problemática das inundações em diferentes escalas, mostrando a distribuição espacial das inundações bem como a frequência e os danos provocados por elas.

Acontecimentos catastróficos ocorreram em Tubarão em março de 1974, quando choveu excessivamente na região Sul de Santa Catarina e o Rio Tubarão transbordou, subindo 10 metros depois de dois dias de chuvas ininterruptas, deixando a cidade cerca de 90% debaixo da água. Em toda a região, 32 pontes foram carregadas, essa foi considerada uma das maiores enchentes do século XX (ENCHENTE..., 2014; SANTOS et al., 2014).

Entre janeiro e fevereiro de 1983, a Região Sul do Brasil foi atingida por grandes chuvas, Santa Catarina foi o estado mais atingido, localizado no epicentro das tempestades e do transbordamento dos rios Negro, Canoinhas e Itajaí. A população de Santa Catarina era de 3,6 milhões de habitantes, e teve 150 de seus 199 municípios inundados e declarados em situação de calamidade pública. 90% da área do território de SC ficou coberto por águas (AGUIAR, 2005).

Em 23 de dezembro de 1995, uma chuva forte e constante arrasou toda a região da Grande Florianópolis e o Sul do Estado. Florianópolis chegou a acumular mais de 500 milímetros, e no sul de Santa Catarina, a chuva que alcançou até 600 milímetros, vitimou 28 pessoas. 50 municípios foram atingidos e decretaram situação de emergência ou estado de calamidade pública, os municípios que apresentaram maior número de pessoas afetadas foram Joinville, Florianópolis, São José e Criciúma (AGUIAR, 2005; SANTOS et al., 2014; HÁ..., 2008).

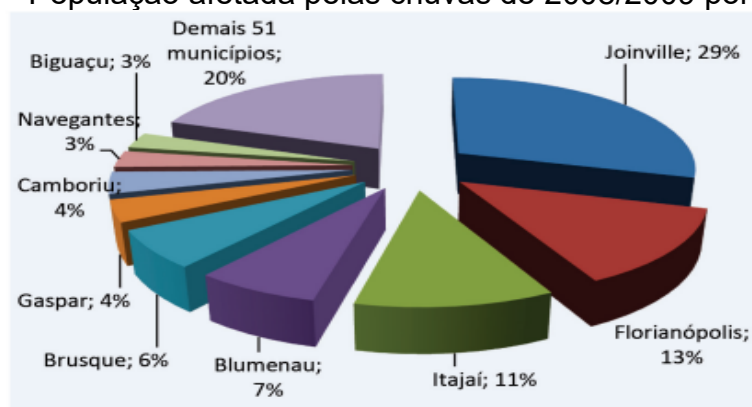
Em 2008, a região do litoral centro-norte do estado foi submetida a um grande volume de chuva, embora os três primeiros trimestres não tivessem apresentado precipitações significativas, sendo que em vários meses os valores observados ficaram abaixo da média histórica, mas em outubro, a situação começou a mudar e as chuvas chegaram a ser o dobro do usual, atingindo toda a bacia do Vale do Itajaí e não apenas alguns pontos. As chuvas aumentaram de proporção,

com uma precipitação diária muito maior do que as médias mensais usuais logo após, o resultado desse fenômeno foi o encharcamento do solo já no início de novembro, houve alguns deslizamentos, queda de rochas e até rachaduras em residências (GUIMARÃES, 2012).

Dados do Banco Mundial (2012) informam que, o maior registro histórico de chuvas para o estado de Santa Catarina compreende o período de 20 a 24 de novembro de 2008, quando as cidades de Blumenau e Joinville registraram cerca de 1.000 mm, enquanto a média mensal histórica para o mês de novembro nos referidos municípios é de 150 mm, além disso, à maré alta, comum no município Joinville, contribui para que os danos no município fossem ainda maiores. Cidades do litoral norte do estado apresentaram os maiores totais pluviométricos, dessa forma, 85 municípios decretaram situação de emergência em torno de 1,5 milhão de pessoas foram afetadas, e 135 pessoas perderam a vida. De uma forma geral, o evento configurou-se como um dos piores desastres na história do estado (BANCO MUNDIAL, 2012; GUIMARÃES, 2012; JOINVILLE, 2013).

A Figura 1 apresenta a distribuição da população afetada, por município. Foram classificados os 10 municípios com maior quantidade de pessoas afetadas, Joinville e Florianópolis concentraram 29% e 13%, respectivamente.

Figura 1 - População afetada pelas chuvas de 2008/2009 por município



Fonte: Brasil e Santa Catarina (2008/2009) apud Banco Mundial (2012, p. 17).

Novos eventos de chuvas intensas ocorreram em 2011, o mês de agosto teve um volume de chuvas significativo, encharcando o solo e elevando o nível dos rios. Em apenas 3 dias o volume superou 200 mm em algumas localidades, mais do que o dobro da média do mês no estado, que é de 90 mm, sendo as regiões mais

atingidas Vale do Itajaí, Norte e a Grande Florianópolis, mais de 800 mil pessoas foram afetadas, assim, o número de cidades atingidas chegou a 43, e 25 municípios decretaram situação de emergência (DEFESA CIVIL DO ESTADO DE SANTA CATARINA, 2011a e 2011b).

Segundo Guimarães (2012), a pluviosidade sofre forte influência de fatores locais, regiões como Vale do Itajaí, Litoral Norte e Sul apresentam condições favoráveis à ocorrência de intensas precipitações, concentradas principalmente na primavera e no verão, por estarem subordinadas à condição climática quente e úmido. Em anos influenciados pelos fenômenos conhecidos como La Niña e El Niño, as condições climáticas podem ser alteradas (Silva, 2016), uma vez que a La Niña é conhecida pelo período de seca que provoca, já o El Niño é conhecido pela ocorrência de precipitação acima da média.

2.4 OBTENÇÃO, PROCESSOS E ANÁLISE DE DADOS HIDROLÓGICOS

Com a análise dos dados hidrológicos, pode-se obter informações que nos permitem estimar não só a altura do volume precipitado, mas também outras variáveis importantes para a compreensão do comportamento meteorológico. Porém ao obter os dados, várias falhas podem ocorrer, limitando os estudos e previsões hidrológicas, sendo necessário utilizar-se de metodologias adequadas para o preenchimento das referidas falhas e verificar a consistência das séries de dados pluviométricas.

2.4.1 Grandezas Características

As grandezas que caracterizam as chuvas são (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013; TUCCI, 2001):

- **Altura pluviométrica (h):** Representa a quantidade de chuva que cai em uma determinada região atingida, admitindo-se que essa água não se infiltrasse, evaporasse e escoasse fora dos limites da região. A unidade de medida normalmente, em mm;
- **Duração (t):** período decorrido entre o início e término da chuva. Normalmente, em minutos ou horas;

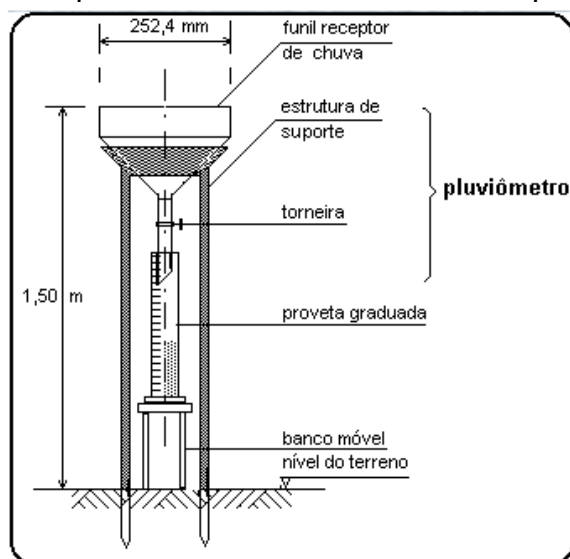
- **Intensidade (i):** velocidade de chuva, a intensidade representa uma taxa de ocorrência ao longo do tempo, isto é $i = h/t$. Expressa-se, normalmente, em mm/h ou mm/min;
- **Frequência (F):** Quantidade de ocorrências de uma determinada precipitação no decorrer de um intervalo de tempo fixo. Chuvas muito intensas tem baixa frequência, isto é, ocorrem raramente;
- **Tempo de Retorno ou Período de Recorrência (TR):** é uma estimativa tempo médio de anos que a precipitação analisada seja igualada ou superada.

2.4.2 Monitoramento Convencional das Precipitações

Os instrumentos usados comumente no Brasil para leitura direta e quantificação das precipitações é conduzido com auxílio de pluviômetros e pluviógrafos.

O pluviômetro apresenta características simples de instalação e operação, tem uma forma cilíndrica com uma área de captação superior a 400 cm² de chuva (Figura 2), de modo que o volume de 40 ml de água acumulado no pluviômetro corresponda a 1mm de chuva, é realizada a leitura da lâmina d'água acumulada em determinado período (usualmente leituras diárias, realizadas às 7h) (SANTOS et al., 2001).

Figura 2 - Esquema de funcionamento de um pluviômetro



Fonte: Agência Nacional de Águas (2011).

A função do pluviômetro resume-se na coleta do total de chuva precipitada (P), geralmente em um período de 24 horas, a unidade de medida adotada representa a espessura da camada de água precipitada que se formaria sobre uma superfície de 1 m², nesse sentido, cada 1 mm de precipitação pluviométrica equivale a 1 L/m² (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

Quando não se dispõe de uma proveta graduada, a precipitação pode ser calculada pela Equação 1 (SANTOS et al., 2001):

$$P = 10 \cdot \frac{V}{A} \quad (1)$$

Onde:

P - é a precipitação em (mm);

V - volume recolhido em cm³ ou em ml; e

A - área de interceptação do anel em cm².

SANTOS et al. (2001) destacam que, pluviômetros não são adequados para medir chuvas de pequena duração, o máximo que se consegue são precipitações de seis horas de duração, isso implica em quatro leituras diárias, uma vez que esses aparelhos necessitam de intervalos de tempo fixos, para só assim determinar e totalizar a altura pluviométrica da chuva.

Alguns dos erros normalmente identificados são (SANTOS et al., 2001):

- a) registro de coleta em dias inexistentes (exemplo, 30 de fevereiro);
- b) valores extremamente altos e incoerentes com a época do ano;
- c) margem de precisão.

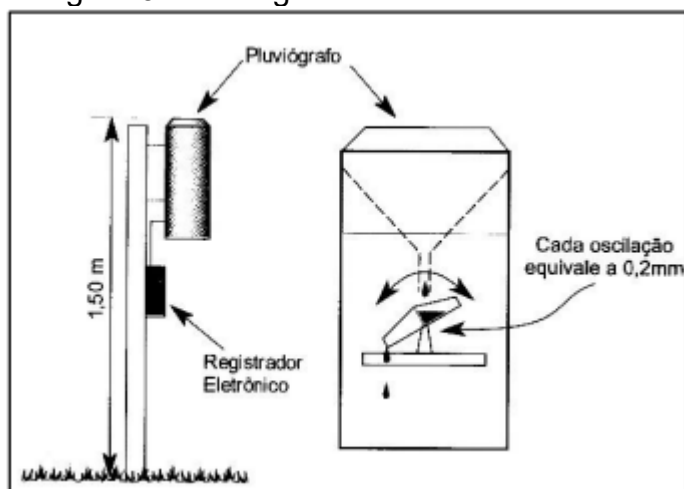
Segundo Tucci (2001), algumas das causas mais comuns dos erros grosseiros são:

- a) preenchimento errado do valor na caderneta de campo;
- b) soma errada do número de provetas, quando a precipitação é alta;
- c) valor estimado pelo observador, por não se encontrar no local no dia da amostragem.

Os pluviógrafos são aparelhos que permitem estimar não só a altura do volume precipitado (pluviometria), mas também a intensidade e a frequência das chuvas no espaço e no tempo (pluviosidade). Os princípios fundamentais de funcionamento dos pluviógrafos são a medição com um sistema de transmissão de dados via rádio ou telefone celular, a fim de facilitar a operação de sistemas de alerta de eventos hidrológicos extremos e registro discreto da precipitação (TUCCI, 2001).

O pluviógrafo basculante, mais comum nos dias de hoje, tem seu funcionamento a partir da captura da chuva por um funil que é levada para um mecanismo basculante (Figura 3) que ao acumular um certo volume de água, o mecanismo se desequilibra, tombando para o lado, despejando-a em seguida e emitindo um pulso eletrônico que será registrado no *datalogger*. Além disso, esses equipamentos são especialmente importantes em chuvas convectivas, cuja duração e intensidade é alta, e em bacias urbanas, que são áreas em que esse tipo de chuva causas os maiores problemas (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

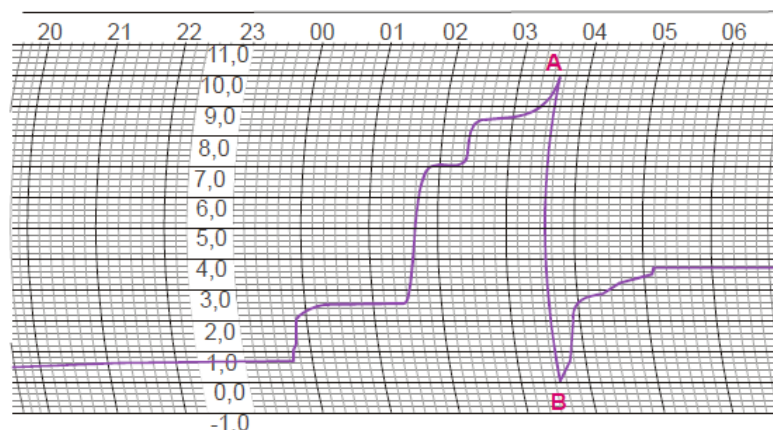
Figura 3 - Pluviógrafo de cubas basculantes



Fonte: Collischonn e Dornelles (2013).

O resultado da informação coletada no pluviógrafo é um gráfico chamado de pluviograma (Figura 4), que tem o tempo no eixo das abscissas e a altura da precipitação no eixo das coordenadas (VARJÃO-SILVA, 2006).

Figura 4 - Pluviograma



Fonte: Varjão-Silva (2006).

Sentelhas e Caramori (2002) explicam que os erros cometidos pelos pluviógrafos de balança estão associados à incapacidade do sistema em medir a chuva na mesma intensidade com que ocorre. Desse modo, os erros, em termos absolutos, são diretamente proporcionais à intensidade da chuva. Segundo Seibert e Móren (1999) apud Sentelhas e Caramori (2002) a ação de ventos com forte intensidade promovem a movimentação da balança sem que haja deposição de água sobre elas.

O Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation of the World Meteorological Organization (WMO) nº8 (2014), aponta as seguintes causas de erros para pluviógrafos:

- Basculadas com volumes maiores do que a resolução do fabricante, principalmente durante precipitações intensas;
- Momento de maior vazão do funil sobre a bacia da balança;
- Perda por transbordamento ou evaporação da água pluvial acumulada no funil devido entupimento;
- Em chuvas de baixa intensidade o funil não coleta volume suficiente para gerar movimento da balança, nesse caso a água fica na bacia da balança podendo ser evaporada ou somará com o volume de uma chuva posterior inferindo em imprecisão na série temporal;
- Condensação interna na parede do funil, o escoamento cairia na bacia da balança falsificando os dados;

- Erros no desnivelamento do instrumento e na fixação do aparelho em suportes imprecisos podem evitar basculadas que não representam chuva;
- Falta de regulagem no relógio do pluviógrafo, variações aleatórias do relógio e/ou problemas mecânicos no registrador gráfico.

Uma análise preliminar deve ser feita com o intuito de identificar erros grosseiros e corrigi-los, é importante ressaltar que a detecção de erros é uma avaliação relativa que depende do tipo de erro e da pessoa que está analisando. Quando se verifica a presença de discrepâncias ou falhas, para quantidades significantes de erros pode-se anular o dado e realizar o preenchimento de falha. (SANTOS et al., 2001).

2.4.3 Preenchimento das falhas nas séries de chuvas

Para executar o preenchimento dessas falhas, utiliza-se dados de postos pluviométricos da vizinhança, por outro lado, esse tipo de preenchimento não substitui os dados originais, e somente pode ser aplicado para dados em intervalo de tempo mensal e anual e pode ser realizado através de três métodos diferentes (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

- Método de Ponderação Regional;
- Método da Regressão Linear;
- Método de Ponderação Regional com base em Regressão Linear.

2.4.3.1 Método de Ponderação Regional

O preenchimento por essa metodologia é simples, de fácil aplicação, e consiste na escolha de três postos vizinhos na mesma região climatológica e que possuem no mínimo dez anos de dados. É possível estimar as precipitações ocorridas para regiões que não possuem postos pluviométricos. Portanto, empregado para preenchimento de séries mensais ou anuais de precipitações (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

O método adota a Equação 2:

$$PY = \left(\frac{PMY}{PMX1} \cdot PX1 + \frac{PMY}{PMX2} \cdot PX2 + \frac{PMY}{PMX3} \cdot PX3 \right) \cdot \frac{1}{3} \quad (2)$$

Onde:

PY - é a precipitação no posto Y a ser estimada;

PX1, PX2 e PX3 - são as precipitações nos postos vizinhos num mesmo período;

PMY - é a precipitação média do posto Y;

PMX1, PMX2 e PMX3 - são as precipitações médias nos três postos vizinhos.

2.4.3.2 Método da Regressão Linear

Um método mais simplificado dividido em regressão simples ou múltipla. Na regressão simples são correlacionadas as precipitações do posto com falhas (Y) e de um posto vizinho (X), linearmente ($Y = A + BX$) através da plotagem de um gráfico dos pares de valores (X, Y), ou por método de mínimos quadrados, que consiste em encontrar valores de A e B que melhor represente a equação. O método de regressão linear múltipla associa as informações pluviométricas do posto Y com as de vários postos vizinhos (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

A Equação 3 é utilizada para correlacionar informações com postos vizinhos:

$$Y = a + b.X1 + c.X2 + d.X3 + \dots \quad (3)$$

Onde:

a, b, c e d são coeficientes a serem estimados a partir de dados disponíveis;

X1, X2 e X3 são observações correspondentes registradas nas estações vizinhas.

2.4.3.3 Método de Ponderação Regional com base em Regressão Linear

Esse método consiste em estabelecer regressões lineares entre postos, é a junção dos dois métodos anteriores. Inicialmente faz-se regressão linear de cada posto e obtém-se o valor do coeficiente de correlação (r), em seguida, calcula-se os

fatores de peso (W_{xj}), um para cada posto utilizando a Equação 4 (BERTONI; TUCCI,2001):

$$W_{xj} = \frac{R_j}{R_1 + R_2 + \dots + R_n} \quad (4)$$

Por fim, pode-se calcular o valor da precipitação no posto (Y) pela Equação 5 (BERTONI; TUCCI,2001):

$$Y = x_1 W_{x1} + x_2 W_{x2} + \dots + x_n W_{xn} \quad (5)$$

Onde:

x_1, x_2, \dots, x_n são as precipitações dos postos escolhido correspondente ao mesmo ano ou (mês);

W_1, W_2, \dots, W_n são seus respectivos pesos.

2.4.4 Verificação da Homogeneidade dos Dados

Para análise das séries de dados de precipitação, um dos métodos mais conhecidos é o método da Dupla Massa, descrito por Tucci (2001) e por Collischonn e Dornelles (2013), de maneira a identificar se ocorreram mudanças no comportamento da precipitação ao longo do tempo e consistência dos dados, seja para dados brutos ou após o preenchimento da série dos postos em estudo.

Conforme Collischonn e Dornelles (2013), para esse método devem ser selecionados postos de uma região homogênea, acumula-se para cada um deles os totais mensais ou anuais (no eixo das ordenadas), com valores médios acumulados em cada mês (ou ano) de todos os postos em estudo (no eixo das abscissas) faz-se a construção dos gráficos, posteriormente, adiciona-se uma linha de tendência linear resultando em um coeficiente de determinação (R^2), quanto mais próximo de 1 (um) for o coeficiente de determinação melhor será a aderência da reta teórica aos dados.

Quando há mudanças de declividade ou inconsistência nos dados, nesse caso, pode ter ocorrido mudança das condições de observação do aparelho ou de alterações climáticas no local. Tucci (2001) propõe que os valores inconsistentes podem ser corrigidos de acordo com a Equação 6:

$$P_c = P_a + \frac{M_a}{M_o} \cdot (P_o - P_a) \quad (6)$$

Onde:

P_c - é a precipitação acumulada ajustada à tendência desejada;

P_a - é o valor da ordenada correspondente à interseção das duas tendências;

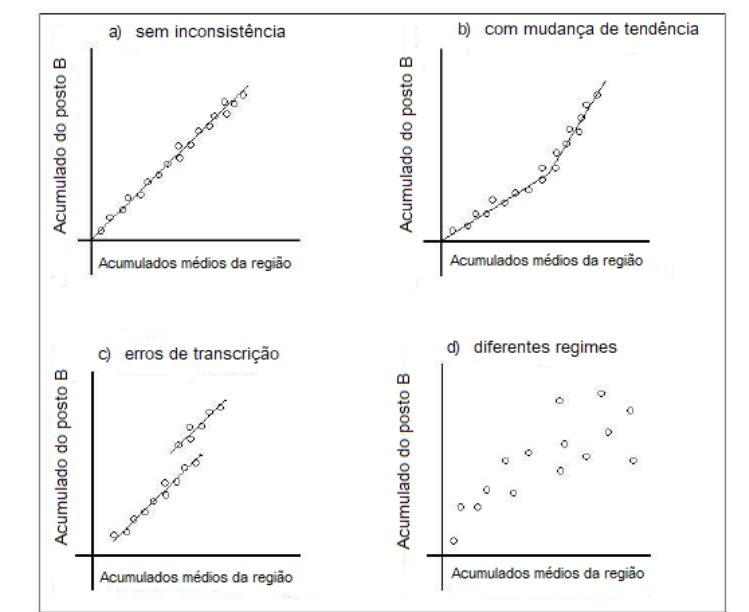
M_a - o coeficiente angular da tendência desejada;

M_o - o coeficiente angular da tendência a ser corrigida; e

P_o - o valor acumulado a ser corrigido.

Na Figura 5 são apresentados casos típicos dos comportamentos das precipitações de acordo com o método da Dupla Massa.

Figura 5 - Alguns casos típicos relativos à aplicação da análise de Dupla Massa



Fonte: adaptado de Tucci (2001).

Como Tucci, 2001 explica, o caso A indica uma proporcionalidade entre os dados, podendo ser verificada essa linearidade através do ajuste da equação da reta e do coeficiente de determinação. No caso B, erros sistemáticos, alterações climáticas podem ter ocorridos na região ou construção de largo artificial próximo ao local.

Para o caso C, significa que existem erros de transição ou a existência de anos extremos nos dados plotados, bem como, distribuição errática dos pontos significa que a comparação está equivocada, pois os postos escolhidos possuem características pluviométricas diferentes (TUCCI,2001).

Por fim, no caso D indica, geralmente, que os postos em questão apresentam regimes pluviométricos distintos, e, não devem ser usados conjuntamente nos estudos hidrológicos (TUCCI, 2001).

2.4.5 Precipitação de Chuvas Intensas – Relação Intensidade – Duração – Frequência

Como aponta Tucci (2001), as precipitações máximas, são definidas como aquelas chuvas cujas intensidades ultrapassam um determinado valor mínimo, com distribuição temporal (duração), espacial e frequência de ocorrência crítica. A intensidade e duração são inversamente proporcionais e a relação entre elas pode ser obtida da análise de registros pluviográficos, que permitem discretização de até 5 min, em geral as durações usuais são de 5, 10, 15, 30 e 45 minutos e 1, 2, 3, 6, 12 e 24 horas.

Um trabalho importante e pioneiro, que até hoje é utilizado para o estudo das chuvas intensas, se deve a Otto Pfafstetter (1957), desse modo, definiu-se que uma chuva pode ser considerada intensa desde que para qualquer duração ocorreu uma precipitação superior aos limites estabelecidos na Tabela 1.

Tabela 1 - Limites mínimos de precipitação de chuvas intensas

Duração (min)	Precipitação (mm)	Duração (h)	Precipitação (mm)
5	8	4	25
15	15	8	40
30	20	14	47
60	25	24	55
120	30	48	70

Fonte: Pfafstetter (1957).

Pfafstetter (1957) elaborou, para diferentes regiões do Brasil, um estudo de chuvas intensas com base em observações de 98 postos pluviográficos e determinou as precipitações máximas em função de sua duração e tempo de recorrência. A Equação 7 empírica, estabelecida, tem o seguinte formato:

$$P = Tr^{(\alpha+\beta/Tr^{0,25})} \cdot [a \cdot t + b \cdot \log(1 + c \cdot t)] \quad (7)$$

Onde:

P - precipitação máxima, em mm;

Tr - período de retorno, em anos;

t - duração da chuva, em horas;

α - parâmetro que depende da duração da chuva (tabelado);

β - parâmetro que depende da duração da chuva e variável de posto para posto (tabelado); e

a, b e c - constantes para cada posto.

Na Tabela 2 são apresentados os coeficientes α de acordo com a duração da precipitação.

Tabela 2 - Valores do coeficiente α

Duração	α	Duração	α
5 min	0,108	14 h	0,74
15 min	0,122	24 h	0,17
30 min	0,138	48 h	0,166
1 h	0,156	3 d	0,16
2 h	0,166	4 d	0,156
4 h	0,174	6 d	0,152
8 h	0,176		

Fonte: Bertoni e Tucci (2001).

O WMO (2014) aborda que a intensidade da precipitação é definida como a quantidade de precipitação recolhida por unidade de intervalo de tempo. Nesse sentido, a intensidade da precipitação é um parâmetro secundário, derivado da quantidade de precipitação do parâmetro primário, ou seja, da medição de precipitação.

Na Tabela 3 é apresentada a classificação da intensidade da chuva conforme Organização Mundial de Meteorologia.

Tabela 3 - Critérios de classificação de precipitação segundo a intensidade

Intensidade	Classificação
$i < 2,5$ mm/h	Leve
$2.5 \leq i < 10.0$ mm/h	Moderada
$10.0 \leq i < 50.0$ mm/h	Forte
≥ 50.0 mm/h	Extrema/Intensa

Fonte: Organização Mundial de Meteorologia (2014).

Collischonn e Dornelles (2013) declaram que, a dificuldade de analisar a frequência de chuvas máximas é realizar o cálculo da precipitação que abrange uma área em uma duração, com uma probabilidade determinada de ocorrência para um ano qualquer, e que, a melhor forma de associar todas essas variáveis é a curva de Intensidade-Duração-Frequência (IDF).

Para a determinação da relação entre a intensidade, a duração e a frequência (curva i-d-f), deve ser feita observações das chuvas intensas durante um período suficientemente longo e com alto grau de confiabilidade de dados observados para a conformação mais eficiente das equações (TUCCI,2001).

Na análise estatística da estrutura hidrológica das séries de chuva podem ser seguidos dois enfoques alternativos: séries anuais ou séries parciais, portanto, a escolha de um outro tipo de série depende do tamanho da série disponível e do objetivo do estudo. A metodologia de séries parciais é utilizada quando o número de anos de registro é pequeno (menos de 12 anos de registro) e os períodos de retorno que serão utilizados são inferiores a 5 anos (TUCCI,2001).

A metodologia de séries anuais baseia-se na seleção das maiores precipitações anuais de uma duração escolhida. Com base nesta série de valores, realiza-se um ajuste na distribuição de frequência que represente da melhor forma a distribuição dos valores observados. Na construção da curva i-d-f é necessário ajustar uma distribuição estatística aos maiores valores anuais de precipitação para cada duração escolhida (TUCCI, 2001). Neste trabalho é empregada a série anual por se tratar de um estudo de chuvas intensas.

Existem diversas metodologias aplicáveis para construir curvas IDF a fim de determinar a intensidade que deve ser considerada na elaboração de projetos de estruturas hidráulicas. Naghettini e Pinto (2007), destacam a distribuição de Gumbel (máximos) como a distribuição extremal mais usada na análise de frequência de variáveis hidrológicas, em virtude de o método utilizar dados pluviométricos locais com máxima precipitação diária, tendo inúmeras aplicações na determinação de relações intensidade-duração-frequência de precipitações intensas e estudos de vazões de enchentes.

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 1980), Penner e Lima (2016), Pinheiro e Naghettini (1997) e Pinto et al., (1995) reproduziram procedimentos proposto pelo método de Chow-Gumbel para a obtenção da equação

de chuva intensa. Assim, a distribuição de Gumbel para valores extremos é expressa pela seguinte Equação 8:

$$P(X \geq x) = 1 - e^{-e^{-y}} \quad (8)$$

Sendo a probabilidade de um valor extremo qualquer “X” da série ser maior ou igual a “x”, ou seja, $P(X \geq x) = [1 - F(x)]$, e “y” é a variável reduzida ou variável Gumbel, estabelecida pela Equação 9 como:

$$y = (X - x_f) \cdot \frac{\sigma_n}{\sigma_x} \quad (9)$$

Onde:

σ_n - é o desvio padrão da variável reduzida y;

σ_x - é o desvio padrão da variável X;

x_f - é a moda dos valores extremos X, é expressa pela Equação 10:

$$x_f = \bar{X} - \sigma_x \cdot \frac{\bar{y}_n}{\sigma_n} \quad (10)$$

Onde:

\bar{X} - é a média aritmética da variável X;

\bar{y}_n - é a média aritmética da variável reduzida y.

Após a substituição das Equações 9 e 10 e substituição dos valores $\bar{y}_n = 0,57$ e $\sigma_n = 1,28$, para $n = \infty$, esses valores encontram-se na tabela 4, em função do período de observação “n”, temos a seguinte Equação 11:

$$y = (X - \bar{X} + 0,45 \cdot \sigma_x) \cdot \frac{1}{0,7797 \cdot \sigma_x} \quad (11)$$

A Equação 11 ainda pode ser reescrita e representada pela Equação 12:

$$X = \bar{X} + \left(\frac{y - \bar{y}_n}{\sigma_n} \right) \cdot \sigma_x \quad (12)$$

Ao substituir a Equação 12 na Equação 13 de Chow-Gumbel (1964), que na prática para pouco tempo de observação mostra-se bastante aplicável na análise hidrológica das funções de frequência teóricas (PENNER; LIMA, 2016; PINTO et al., 1995):

$$x_T = \bar{X} + k_T \cdot s \quad (13)$$

Onde:

x_T - altura precipitada para o período de retorno utilizado (mm);

\bar{X} - altura média da série histórica das precipitações (mm);

k_T - fator de frequência, função do período de retorno e da distribuição probabilística utilizada;

s - desvio padrão da série histórica das precipitações (mm).

Onde k_T é determinado pela Equação 14:

$$k_T = \frac{y - \bar{y}_n}{\sigma_n} \quad (14)$$

k_T - fator de frequência, função do período de retorno, e do número n de valores extremos que constituem a série, assim, $k_T = 0,7797y - 0,45$ obtido dos valores de chuva para os valores de período de retorno 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 75 e 100 anos.

A partir da Equação 8, e considerando que o período de retorno $TR=1/P(X \geq x)$ tem-se que y é determinado pela Equação 15:

$$y = -\ln \left[-\ln \left(\frac{T-1}{T} \right) \right] \quad (15)$$

Onde T é o período de retorno.

Tabela 4 - Média e desvio padrão da variável Gumbel “y” em função do número de observações

<i>n</i>	\bar{y}_n	σ_n	<i>n</i>	\bar{y}_n	σ_n	<i>n</i>	\bar{y}_n	σ_n
8	0,4843	0,9043	35	0,5403	1,1285	64	0,5533	1,1793
9	0,4902	0,9288	36	0,5410	1,1313	66	0,5538	1,1814
10	0,4952	0,9497	37	0,5418	1,1339	68	0,5543	1,1834
11	0,4996	0,9676	38	0,5424	1,1363	70	0,5548	1,1854
12	0,5035	0,9883	39	0,5430	1,1388	72	0,5552	1,1873
13	0,5070	0,9972	40	0,5436	1,1413	74	0,5557	1,1890
14	0,5100	1,0095	41	0,5442	1,1436	76	0,5561	1,1906
15	0,5128	1,0206	42	0,5448	1,1458	78	0,5565	1,1923
16	0,5157	1,0316	43	0,5453	1,1480	80	0,5569	1,1938
17	0,5181	1,0411	44	0,5458	1,1499	82	0,5572	1,1953
18	0,5202	1,0498	45	0,5463	1,1519	84	0,5576	1,1967
19	0,5220	1,0566	46	0,5468	1,1538	86	0,5580	1,1980
20	0,5236	1,0628	47	0,5473	1,1557	88	0,5583	1,1994
21	0,5252	1,0696	48	0,5477	1,1574	90	0,5586	1,2007
22	0,5268	1,0754	49	0,5481	1,1590	92	0,5589	1,2020
23	0,5283	1,0811	50	0,5485	1,1607	94	0,5592	1,2032
24	0,5296	1,0864	51	0,5489	1,1623	96	0,5595	1,2044
25	0,5309	1,0915	52	0,5493	1,1638	98	0,5598	1,2055
26	0,5320	1,0961	53	0,5497	1,1653	100	0,5600	1,2065
27	0,5332	1,1004	54	0,5501	1,1667	150	0,5646	1,2253
28	0,5343	1,1047	55	0,5504	1,1681	200	0,5672	1,2360
29	0,5353	1,1086	56	0,5508	1,1696	250	0,5688	1,2429
30	0,5362	1,1124	57	0,5511	1,1708	300	0,5699	1,2479
31	0,5371	1,1159	58	0,5515	1,1721	400	0,5714	1,2545
32	0,5380	1,1193	59	0,5518	1,1734	500	0,5724	1,2588
33	0,5388	1,1226	60	0,5521	1,1747	750	0,5738	1,2651
34	0,5389	1,1255	62	0,5527	1,1770	1000	0,5745	1,2685

Fonte: Gumbel (1958) apud Penner e Lima (2016).

2.4.5.1 Formulação da Equação de Chuvas Intensas IDF

As curvas IDF podem ser representadas por equações genéricas que na maioria dos casos, é representada pela Equação 16 (PINTO et al., 1995):

$$i = \frac{K \cdot Tr^m}{(t + b)^n} \quad (16)$$

Onde:

i - é a intensidade máxima dada em mm/h;

Tr - é o período de retorno em anos;

t - é a duração do evento em min,

K , m , b e n - são coeficientes determinados por análise de regressão ajustados aos dados observados.

Para estimar os parâmetros k , m , b e n dessa equação, pode-se seguir o método proposto por Naghettini e Pinto (2007) e, partindo da Equação 16, pode-se reescrevê-la de maneira simplificada na Equação 17:

$$i = \frac{K \cdot Tr^m}{(t + b)^n} \quad \rightarrow \quad i = \frac{C}{(t + b)^n} \quad (17)$$

Por linearização da Equação 17, tem-se a seguinte forma da relação IDF na Equação 18:

$$\text{Log}(i) = \log(C) - n \cdot \log(t + b) \quad (18)$$

A representação gráfica dos logaritmos naturais das intensidades em relação aos logaritmos naturais das durações " $t + b$ ", produz, por anamorfose logarítmica (isto é, substituindo valores diferentes para " b ") funções lineares (retas) para as curvas de intensidade-duração. Nesse procedimento, b é uma constante escolhida levando-se em consideração a linearização adequada da reta, determinada pelo valor de R^2 da regressão linear que mais se aproxima de 1.

As retas assim obtidas têm a forma geral da Equação 19:

$$\text{Log}(i) = \log(C) - n \cdot \log(t + b) \quad (19)$$

Onde:

n – coeficiente angular das retas;

$C = K \cdot Tr^m$ – coeficiente linear das retas.

Como $C = K \cdot Tr^m$, é necessário novamente aplicar uma regressão linear para a determinação dos coeficientes Equação 20.

$$\log(C) = \log(K) + m \cdot \log(Tr) \quad (20)$$

Onde:

m - coeficiente angular da reta;

log (K) - coeficiente linear da reta.

O parâmetro “m” é estimado diretamente da função do gráfico da curva de ajuste, sendo o coeficiente angular e o parâmetro “k” obtidos calculando o inverso de “log K”.

2.4.6 Desagregação da Chuva Diária

Alguns métodos foram desenvolvidos buscando obtenção de precipitação de eventos com determinada duração a partir de outros eventos com durações distintas. Estes métodos são conhecidos como métodos de desagregação de chuvas, normalmente diárias, a análise das chuvas intensas é, em princípio, feita para as chuvas com duração de 1 dia.

No Método das Relações de Durações CETESB (1980); Bertoni e Tucci (2001) desenvolveram relações entre as alturas pluviométricas das chuvas máximas de "1 dia" e de "24 horas", as chuvas de 24 horas são transformadas em chuvas de menores durações pelo emprego de coeficientes de desagregação, independentemente do tempo de retorno (Tabelas 5 e 6).

Tabela 5 - Coeficientes de desagregação de chuva de 24 horas utilizando o método das Relações de Durações

Relação entre Alturas Pluviométricas	Coeficiente de Desagregação
5 min/30 min	0,34
10 min/30 min	0,54
15 min/30 min	0,70
20 min/30 min	0,81
25 min/30 min	0,91
30min/1h	0,74
1h/24h	0,42
6h/24h	0,72
8h/24h	0,78
10h/24h	0,82
12h/24h	0,85
24h/1dia	1,14

Fonte: CETESB (1979) apud Bertoni e Tucci (2001).

Tabela 6 - Relações entre as alturas pluviométricas de 24h e de 1 dia de duração

Relação entre as alturas pluviométricas para chuvas máximas de 24h e 1 dia de duração	Período de retorno (anos)
1,13	5
1,13	10
1,14	25
1,15	50
1,14	75
1,15	100

Fonte: CETESB (1980)

Back (2022) apresenta relações entre durações ajustadas para os dados pluviográficos de Santa Catarina (Tabela 7), onde se observa que para as relações entre chuvas de duração inferior a 60 minutos com a chuva de 1 hora são praticamente semelhantes às de CETESB (Tabela 5). No entanto, a relação da chuva citadas pela CETESB para durações de chuvas entre 1 e 12 horas superestimam os valores observados em Santa Catarina.

Tabela 7 - Relações entre durações observadas em Santa Catarina

Relação entre Alturas Pluviométricas	Coefficiente de Desagregação	Relação entre Alturas Pluviométricas	Coefficiente de Desagregação
5min/30min	0,35	2,5h/24h	0,49
10min/30min	0,53	3h/24h	0,51
15min/30min	0,68	4h/24h	0,55
20min/30min	0,81	5h/24h	0,58
25min/30min	0,91	6h/24h	0,61
30min/1h	0,75	7h/24h	0,64
35min/1h	0,8	8h/24h	0,66
40min/1h	0,85	10h/24h	0,71
45min/1h	0,89	12h/24h	0,76
50min/1h	0,93	14h/24h	0,81
55min/1h	0,96	16h/24h	0,85
1h/24h	0,35	18h/24h	0,89
1,25h/24h	0,38	20h/24h	0,93
1,50h/24h	0,41	22h/24h	0,97
1,75h/24h	0,44	24h/1dia	1,16
2h/24h	0,46		

Fonte: adaptado Back (2022)

Segundo Bertoni e Tucci (2001), o método baseia-se em duas características observadas nas curvas das equações (IDF) de chuvas intensas, obtidas em postos localizados em diversas partes do mundo: i) existe a tendência das curvas de probabilidade de diferentes durações manterem-se paralelas entre si; e ii) para diferentes locais, existe uma grande similaridade nas relações entre intensidade média máxima de diferentes durações, havendo leves variações com o tempo de retorno.

As relações entre as durações são obtidas pela Equação 21:

$$R_{t1/t2} = \frac{\text{duração } t1}{\text{duração } t2} \quad (21)$$

Como aponta Bertoni e Tucci (2001), a precipitação de 1 dia corresponde ao total de chuva medido entre os horários de observação pluviométrica, por outro lado, a chuva de 24 horas é o total máximo precipitado em um período consecutivo de 24 horas, e não necessariamente ao período de observação. Assim sendo, é necessário multiplicar o valor da precipitação diária pelo coeficiente 1,14 (Tabela 5). Essa multiplicação permite encontrar o valor da chuva de 24 horas.

A partir da precipitação de 24 horas determina-se a precipitação de 12 horas multiplicando-se pelo coeficiente 0,85, também mostrado na Tabela 5, este procedimento deve ser feito para cada tempo de recorrência separadamente, obtendo para cada um deles a lâmina de precipitação para diferentes durações (BERTONI; TUCCI, 2001).

O método das relações entre durações tem grande aplicabilidade em locais onde existe um posto pluviográfico nas proximidades e cujas relações de durações são conhecidas. Essas relações são mantidas para locais próximos, tornando esse método muito útil no processo de regionalização de dados pluviográficos, assim, quando não há dados pluviográficos em determinadas localidades, podem ser utilizadas relações já conhecidas de uma região próxima e com características semelhantes à do local (BERTONI; TUCCI, 2001).

3. RELAÇÕES IDF EXISTENTES PARA JOINVILLE/SC

Para realização de um estudo comparativo foram pesquisadas equações de chuvas já desenvolvidas para cidade de Joinville/SC, a partir de trabalhos realizados.

3.1 EQUAÇÕES DE CHUVAS PROPOSTAS POR NEGRI E RAMOS (2002)

Negri e Ramos (2002) desenvolveram equações de chuvas a partir de dados de pluviômetros coletados na estação 2648036 UDESC-UNIVILLE utilizando-se uma série anual de 7 (sete) anos (1995-2001) e na estação CASAN-JOINVILLE com uma série anual de 14 (quatorze) anos (1987-2001). Foi utilizada a distribuição de probabilidade de Gumbel a partir da série anual de precipitações máximas diárias, como se dispunha somente de dados pluviométricos, para encontrar as alturas de chuva nas diversas durações fez-se utilização do método da desagregação de chuva diária proposto pela CETESB (1980).

As Equações 22, 23 e 24 de chuvas obtida a partir de dados da estação UDESC-UNIVILLE são:

$$i = \frac{e^{1,5 \ln\left(\frac{\ln(t)}{7,3}\right) \left[96,67 + 25,38 \left(-\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right) \right]}{t} \quad (22)$$

$$i = \frac{[5,4489 \ln(T) + 18,241]}{(t+13,6)^{0,779}} \quad (23)$$

$$i = \frac{20,503 T^{0,166}}{(t+13,6)^{0,779}} \quad (24)$$

Onde:

i - intensidade da chuva (mm/min);

T – período de retorno (anos);

t – duração da chuva (min).

As Equações 25, 26 e 27 de chuvas a partir de dados da estação CASAN-JOINVILLE são:

$$i = \frac{e^{1,5Ln\left(\frac{Ln(t)}{7,3}\right) \cdot \left[111,26 + 22,57 \left(-Ln\left(-Ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right)\right)\right]}{t}$$

(25)

$$i = \frac{[4,929Ln(T) + 21,762]}{(t+14)^{0,7819}} \quad (26)$$

$$i = \frac{23,561T^{0,1408}}{(t+14)^{0,7819}} \quad (27)$$

Onde:

i - intensidade da chuva (mm/min);

T – período de retorno (anos);

t – duração da chuva (min).

3.3 EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS PROPOSTAS POR SIMÕES E RAMOS (2003)

Foram analisados os pluviogramas da estação automática da CASAN, a série histórica de totais diários precipitados se refere ao período (1987- 2001). Para o estabelecimento das séries históricas foi o das séries anuais, que consiste em estabelecer as séries de intensidades de precipitações com as máximas observadas em cada ano, assim, utilizando as relações entre precipitações de diferentes durações proposto pela CETESB (1980) e, a Equação 28 desenvolvida por Silveira (2000) apud Simões e Ramos (2003) deduzida com base nessa relação que é de grande utilidade para fins computacionais.

$$C_{24}(t) = e^{1,5Ln\left(\frac{Lnt}{7,3}\right)} \quad (28)$$

Simões e Ramos (2003), determinou as alturas das precipitações com duração de 5, 10, 15 20, 25, 30 e 60 minutos, essas alturas foram transformadas em intensidades de precipitações conforme Tabela 8.

Tabela 8 - Intensidades máximas de chuva estação automática Casan

T (anos)	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min	1 hora	2 horas
5	2,915	2,494	2,121	1,851	1,649	1,493	0,986	0,623
10	3,247	2,778	2,362	2,061	1,837	1,662	1,098	0,694
15	3,434	2,938	2,498	2,180	1,943	1,758	1,161	0,734
20	3,565	3,050	2,594	2,263	2,017	1,825	1,205	0,762
25	3,666	3,137	2,667	2,328	2,074	1,877	1,240	0,784
50	3,977	3,403	2,894	2,525	2,250	2,036	1,345	0,850
75	4,158	3,558	3,025	2,640	2,352	2,129	1,406	0,889
100	4,286	3,667	3,118	2,721	2,424	2,194	1,449	0,916

Fonte: Simões e Ramos (2003)

Aplicando a distribuição de Gumbel para cada duração estudada e seguindo a análise de regressão linear e, através da análise gráfica para os cálculos dos parâmetros da equação procedeu-se o ajustamento, pelo método dos mínimos quadrados resultando nas Equações 29, 30 e 31:

$$i = \frac{e^{1,14 \ln\left(\frac{\ln(t)}{7,3}\right)} \left[95,403 + 18,735 \left(-\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right)\right) \right]}{t}$$

(29)

$$i = \frac{[5,2374 \ln(T) + 25,758]}{(t+15)^{0,8715}} \quad (30)$$

$$i = \frac{29,43 T^{0,1117}}{(t+15)^{0,8715}} \quad (31)$$

Onde:

i - intensidade da chuva (mm/min);

T – período de retorno (anos);

t – duração da chuva (min).

Simões e Ramos (2003) também estabeleceram equações a partir de relações para Joinville/SC apresentados por Nerilo, Medeiro e Cordeiro (2002) da estação 2648014 (RVPSC) operada Agência Nacional de Águas (ANA) conforme Tabela 9.

Tabela 9 - Relações IDF da estação 2648014 (RVPSC)

t/T	5	10	20	50	100
5	2,77	3,41	4,02	4,90	5,50
10	2,20	2,71	3,19	3,89	4,37
15	1,90	2,34	2,76	3,36	3,78
20	1,65	2,03	2,40	2,92	3,28
25	1,48	1,82	2,15	2,62	2,95
30	1,37	1,67	1,97	2,40	2,70
60	0,92	1,13	1,33	1,62	1,82

Fonte: Simões e Ramos (2003)

As Equações 32 e 33 para a estação referida são:

$$i = \frac{[5,0097Ln(T)+7,098]}{(t+8)^{0,6644}} \quad (32)$$

$$i = \frac{10,844T^{0,2277}}{(t+8)^{0,6644}} \quad (33)$$

Onde:

i - intensidade da chuva (mm/min);

T – período de retorno (anos);

t – duração da chuva (min).

3.5 EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS PROPOSTAS POR LOPES E RAMOS (2006)

Lopes e Ramos (2006), aplicaram a distribuição de Gumbel e a relação entre durações de chuva desenvolvida por Silveira (2000) obtida empiricamente que retorna com boa precisão o valor do coeficiente de desagregação da chuva para qualquer duração inferior a 24 horas. Para transformar a chuva de 1 dia em 24 horas foram adotados dois coeficientes, 1,14 proposto por CETESB (1986) apud Lopes e Ramos (2006) e 1,10 TABORGA apud Lopes e Ramos, 2006)

A partir dos dados brutos das estações 2648014 (RVPSC) a série histórica de totais diários precipitados se refere ao período (1938- 2002) e 648036 (UDESC-UNIVILLE) com série histórica (1996-2004) foi realizada a análise matemática dos dados obteve-se as seguintes Equações:

- Estação 2648014 (RVPS)

$$i = \frac{1,14e^{1,5Ln\left(\frac{Ln(t)}{7,3}\right)} \left[75,802 - 20,068 \left(-Ln \left(-Ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right) - 15,622 \right]}{d} \quad (34)$$

$$i = \frac{1,10e^{1,5Ln\left(\frac{Ln(t)}{7,3}\right)} \left[75,802 - 20,068 \left(-Ln \left(-Ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right) - 15,622 \right]}{d} \quad (35)$$

Onde:

T – período de retorno (anos);

d – duração da chuva (min ou horas).

- Estação 648036 (UDESC-UNIVILLE)

$$i = \frac{1,14e^{1,5Ln\left(\frac{Ln(t)}{7,3}\right)} \left[97,756 - 19,068 \left(-Ln \left(-Ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right) - 11,005 \right]}{d} \quad (36)$$

$$i = \frac{1,10e^{1,5Ln\left(\frac{Ln(t)}{7,3}\right)} \left[97,756 - 19,068 \left(-Ln \left(-Ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right) - 11,005 \right]}{d} \quad (37)$$

Onde:

T – período de retorno (anos);

d – duração da chuva (min ou horas).

3.2 DESENVOLVIMENTO DE EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS A PARTIR DE DADOS PLUVIOGRÁFICOS NO MUNICÍPIO DE JOINVILLE STEINKE JÚNIOR (2017)

Steinke Júnior (2017) desenvolveu equações IDF para Joinville, a partir de dados pluviográficos das estações da Defesa Civil do município. Foram desenvolvidas curvas para as durações de 5, 10, 15, 20, 25, 30 minutos e 1, 6, 8, 10, 12 e 24 horas.

A série de dados abrangida foi pequena (entre 3 e 4 anos), optou-se, de forma consciente, por utilizar a metodologia das séries anuais. Para cada série de valores máximos, ajustou-se uma distribuição teórica de probabilidade do tipo normal, log-normal, Gumbel e log-Pearson tipo III e com o método dos mínimos quadrados estabeleceu as equações.

A tabela 10 apresenta as equações estabelecidas por Steike Júnior (2017).

Tabela 10 - Equações de chuvas intensas estabelecidas a partir dos dados pluviográficos das estações da Defesa Civil

Estação	Número da Estação	Equação IDF
Cubatão	1	$i = \frac{200,48 \cdot \ln(T) + 1507,5}{(t + 16)^{-0,016 \cdot \ln(T) + 0,8582}}$
Cachoeira área Central	2	$i = \frac{129,79 \cdot \ln(T) + 3811,6}{(t + 25)^{-0,007 \cdot \ln(T) + 1,0174}}$
Joinville Iate Clube	3	$i = \frac{321,66 \cdot \ln(T) + 1222,4}{(t + 16)^{-0,0075 \cdot \ln(T) + 0,8151}}$
Itaum	7	$i = \frac{712,22 \cdot \ln(T) + 1775,8}{(t + 22)^{8 \times 10^{-5} \cdot \ln(T) + 0,9131}}$
Paraiso	9	$i = \frac{217,65 \cdot \ln(T) + 1090,7}{(t + 16)^{-0,012 \cdot \ln(T) + 0,8312}}$
Unidade de Obras	10	$i = \frac{526,04 \cdot \ln(T) + 1701,1}{(t + 20)^{-0,006 \cdot \ln(T) + 0,9075}}$
Guanabara	11	$i = \frac{925,86 \cdot \ln(T) + 3925,6}{(t + 42)^{-0,018 \cdot \ln(T) + 1,0108}}$

Fonte: Autor (2022)

3.3 CHUVAS INTENSAS E ESTIMATIVAS DA CHUVA DE PROJETO PARA O ESTADO DE SANTA CATARINA BACK (2022)

Back (2022) analisou os dados das estações pluviométricas da ANA (2020) e da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - Epagri (2020). Para cada série foram ajustados os parâmetros da distribuição Gumbel e GEV pelo método dos Momentos, Máxima Verossimilhança e L-Momentos.

Para o ajuste dos coeficientes da equação de chuvas intensas foram utilizadas as estimativas da chuva máxima com duração de 1 dia e período de retorno de 2 a 100 anos. As chuvas diárias foram desagregadas para durações de 5

a 1440 minutos, assim, realizada com os coeficientes observados nas estações pluviográficas de Santa Catarina (Tabela 7) e foram usados os coeficientes observados no Brasil (CETESB, 1986).

A Tabela 11 foi elaborada a partir de dados apresentados por Back (2022) das estações pluviométricas da ANA e Epagri.

Tabela 11 - Equações de chuvas intensas estabelecidas a partir dos dados das estações pluviométricas da ANA e Epagri

Estação	Equação com coeficientes desagregação CETESB	Equação com coeficientes desagregação Santa Catarina
2648005	$i = \frac{1091,13T^{0,2007}}{(t + 11,84)^{0,7580}}$	$i = \frac{743,84T^{0,2007}}{(t + 9,17)^{0,7117}}$
2648014	$i = \frac{879,99T^{0,2316}}{(t + 11,84)^{0,7580}}$	$i = \frac{599,94T^{0,2316}}{(t + 9,17)^{0,7117}}$
2648021	$i = \frac{1317,15T^{0,2210}}{(t + 11,84)^{0,7580}}$	$i = \frac{898,03T^{0,2162}}{(t + 9,17)^{0,7117}}$
2648033	$i = \frac{1169,63T^{0,2064}}{(t + 11,84)^{0,7580}}$	$i = \frac{797,51T^{0,2064}}{(t + 9,17)^{0,7117}}$
2648034	$i = \frac{1446,50T^{0,1685}}{(t + 11,84)^{0,7580}}$	$i = \frac{986,21T^{0,1685}}{(t + 9,16)^{0,7117}}$
2649014	$i = \frac{890,36T^{0,2173}}{(t + 11,84)^{0,7580}}$	$i = \frac{606,94T^{0,2173}}{(t + 9,17)^{0,7117}}$
2649042	$i = \frac{788,85T^{0,2554}}{(t + 11,84)^{0,7580}}$	$i = \frac{537,76T^{0,2554}}{(t + 9,17)^{0,7117}}$
2649060	$i = \frac{1169,91T^{0,1753}}{(t + 11,84)^{0,7580}}$	$i = \frac{797,55T^{0,1753}}{(t + 9,16)^{0,7117}}$

Fonte: Autor (2022)

4. METODOLOGIA

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

4.1.1 JOINVILLE

Entre as décadas de 1950 e 1980, Joinville viveu um pico de crescimento, o perfil da população modificou-se radicalmente formando uma população de cerca de 515.288 mil habitantes, em uma área de 1.125,70 km² a 4,5 metros de altitude em sua sede (JOINVILLE, 2011; IBGE, 2010).

Localizada em uma região com alta densidade de drenagem, à margem da baía da Babitonga, Joinville cresceu e desenvolveu-se sem o planejamento necessário para que o uso e a ocupação do solo levassem em conta as questões de drenagem e preservação do escoamento hídrico (JOINVILLE, 2018).

Historicamente, os projetos de drenagem pluvial no município costumavam privilegiar a microdrenagem, em detrimento da macrodrenagem. Isso significa observar apenas o escoamento da água em uma determinada região, sem levar em conta todo o sistema hídrico, ou seja, a bacia hidrográfica. Essas soluções localizadas apenas transferem os problemas de montante (ponto mais alto) para jusante (ponto mais baixo) da bacia (JOINVILLE, 2018).

Parte dos principais córregos da bacia se encontram retificados e canalizados em galerias projetadas em diversas épocas com emprego de conceitos ultrapassados, assim, as canalizações foram executadas ao longo dos anos para uma condição que não representava a condição futura de ocupação, ou seja, subestimaram-se as vazões e o resultado é uma rede de drenagem com capacidade insuficiente para as condições atuais (JOINVILLE, 2018).

4.2 ESCOLHA DAS ESTAÇÕES DE TRABALHO

Os dados neste trabalho foram coletados a partir de pluviômetros disponibilizados pela ANA. Os dados das 2 estações incluem 25 anos de registros (1996 a 2020).

É comum em estações pluviométricas apresentar falhas, assim, uma análise foi feita para que obtivesse a maior série contínua de dados para construção da curva IDF e, escolhidas as estações que possuíam dados mais completos em cada

ano. Em seguida, realizou-se o preenchimento das falhas utilizando metodologias apresentadas anteriormente com dados pluviométricos das estações mais próximas.

Diante desta situação, realizou-se uma nova etapa, incluindo a análise de consistência dos dados pluviométricos das estações de acordo com o método da Dupla Massa (TUCCI, 2011). Os procedimentos/técnicas adotados para o preenchimento de falhas no estudo se mostrou eficiente conforme dados apresentados no item 5.1.

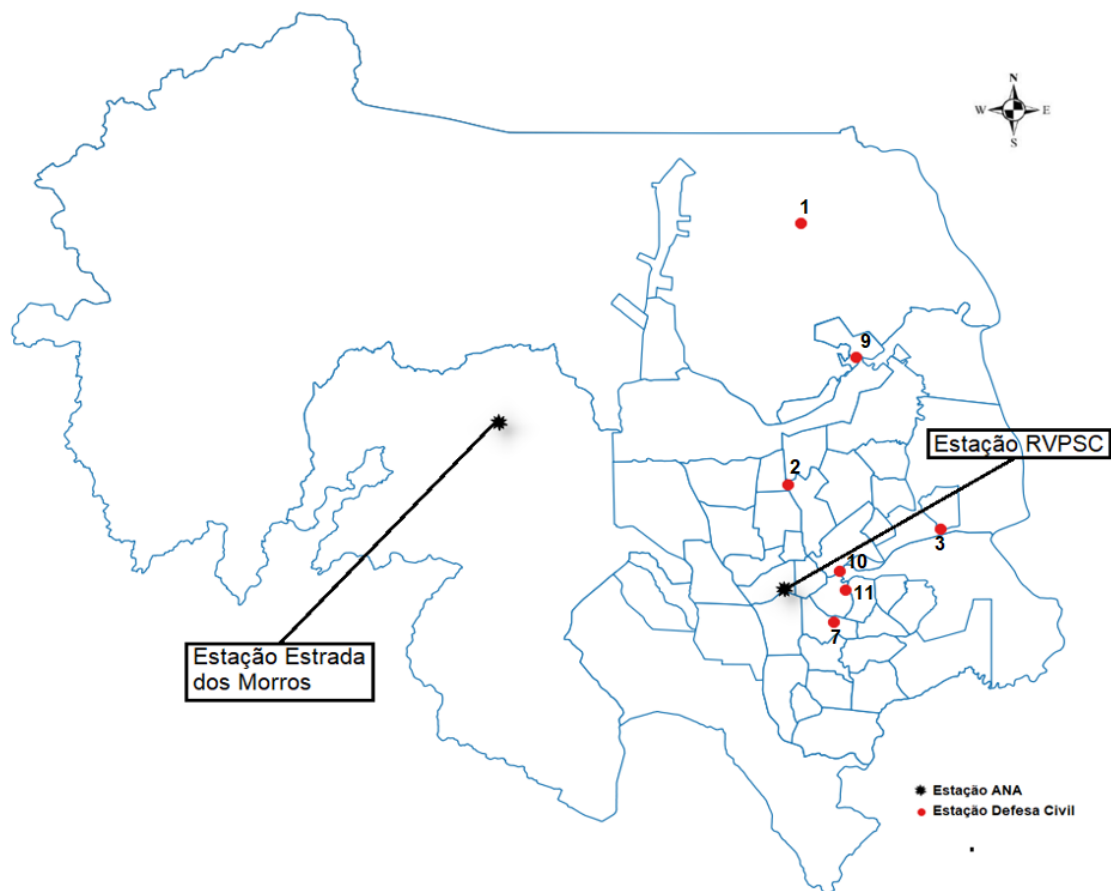
A Tabela 12 caracteriza as estações cujos dados foram analisados neste trabalho e na Figura 6 foram ilustradas a localização no município das estações deste estudo e estações da defesa civil.

Tabela 12 - Informações das estações pluviográficas analisada

Estação	Código	Altitude (m)	Período
Estrada dos Morros	02648034	117	1996 a 2020
Joinville (RVPSC)	02648014	6	1996 a 2020

Fonte: Autor (2022)

Figura 6 - Localização das estações pluviométricas analisadas



Fonte: Autor (2022)

4.3 APLICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL À SÉRIE DE DADOS

A distribuição de Gumbel, conhecida também como função de valores extremos do tipo I, tem se mostrado adequada para descrever eventos extremos, principalmente quando se trata de precipitações máximas diárias.

Para a análise estatística da probabilidade e do período de retorno das chuvas intensas pela distribuição de Gumbel, obteve-se, em cada ano da série histórica, a altura máxima de chuva de “um dia”, constituindo, dessa forma, a série de chuvas máximas anuais.

De posse destes dados ordenados, calcula-se frequência com que cada evento foi igualado ou superado dentro da série de dados a partir da Equação 38.

$$P = \frac{m}{n+1} \quad (38)$$

Onde:

P – é a frequência observada;

m – é o número de ordem da chuva máxima anual; e

n – é o número total de dados da série.

Designando a frequência do evento, determina-se o período de retorno (Tr), que é o inverso da frequência, calculado pela Equação 39:

$$Tr = \frac{1}{P} \quad (39)$$

Onde:

Tr = período de retorno; e

P = Frequência observada ou probabilidade teórica de Gumbel.

De posse do período de retorno, pode-se calcular a variável reduzida de Gumbel que é utilizada na distribuição, esta é dada pela Equação 40.

$$y = -Ln[-\ln(1 - \frac{1}{Tr})] \quad (40)$$

Onde:

y - é a variável reduzida da distribuição; e

Tr - é o período de retorno em anos.

4.4 GERAÇÃO DAS CURVAS IDF

De acordo com Ven-Te-Chow (1951), Gumbel propôs uma metodologia para computar a frequência anual de cheias com base na teoria dos valores extremos, assim, as equações que relacionam intensidade, duração e frequência das precipitações para cada localidade, simplificada para uso prático e, atualmente, pode ser expressa pela Equação 13, admitindo-se que as precipitações intensas atendam à distribuição estatística de tipo I.

O valor do parâmetro de ajuste k_T pode ser obtido em tabela (Haan, 2002) elaborada por Gumbel (1958), com os valores dos fatores de frequência " k_T " com base no número "N" de anos de dados de cada posto pluviométrico, ou calculado

pela Equação 14. Neste trabalho foram determinados utilizando a tabela de (Haan, 2002) conforme apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Fator de frequência " K_T " para o tempo de retorno (método de distribuição de Gumbel)

N	Tempos de Retorno – TRs (anos)					
	5	10	15	25	50	100
25	0,888	1,575	1,963	2,444	3,088	3,729

Fonte: Haan (2002)

Com isso, foi elaborada uma tabela de precipitação relacionada com o tempo de retorno (T_r , em anos) para um dia, considerando 5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos. Com as alturas de chuvas obtidas, aplica-se as constantes de desagregação de chuvas diárias proposto pela CETESB Tabela 5, encontrando as alturas máximas esperadas para tempo de duração entre 24 horas e 5 minutos e suas respectivas intensidades máximas de chuvas correspondentes.

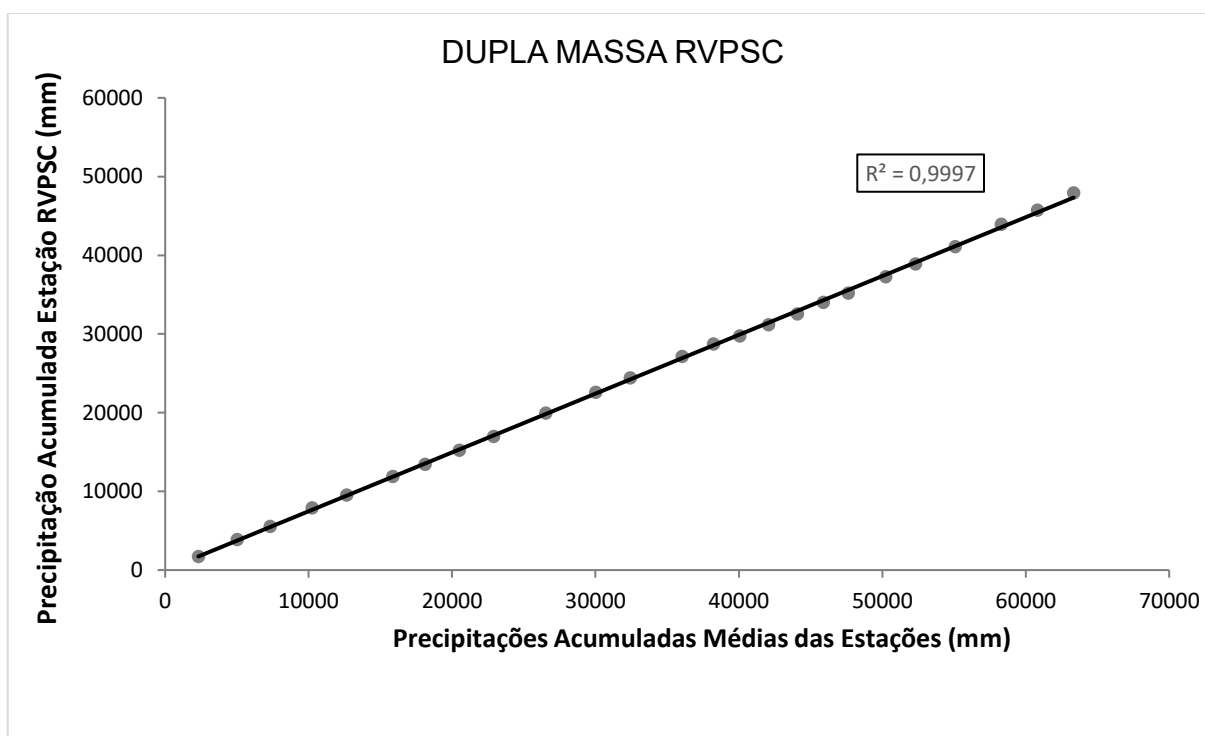
Para obter as curvas, é necessário principalmente a intensidade de precipitação para a duração definida e período de retorno, assim, o procedimento geral consiste em ajustar uma curva aos dados. Como a equação da curva IDF é uma equação exponencial, as propriedades que relacionam a equação potencial à equação logarítmica podem ser aplicadas para determinar os coeficientes.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS NAS ESTAÇÕES RVPSC E ESTRADA DOS MORROS

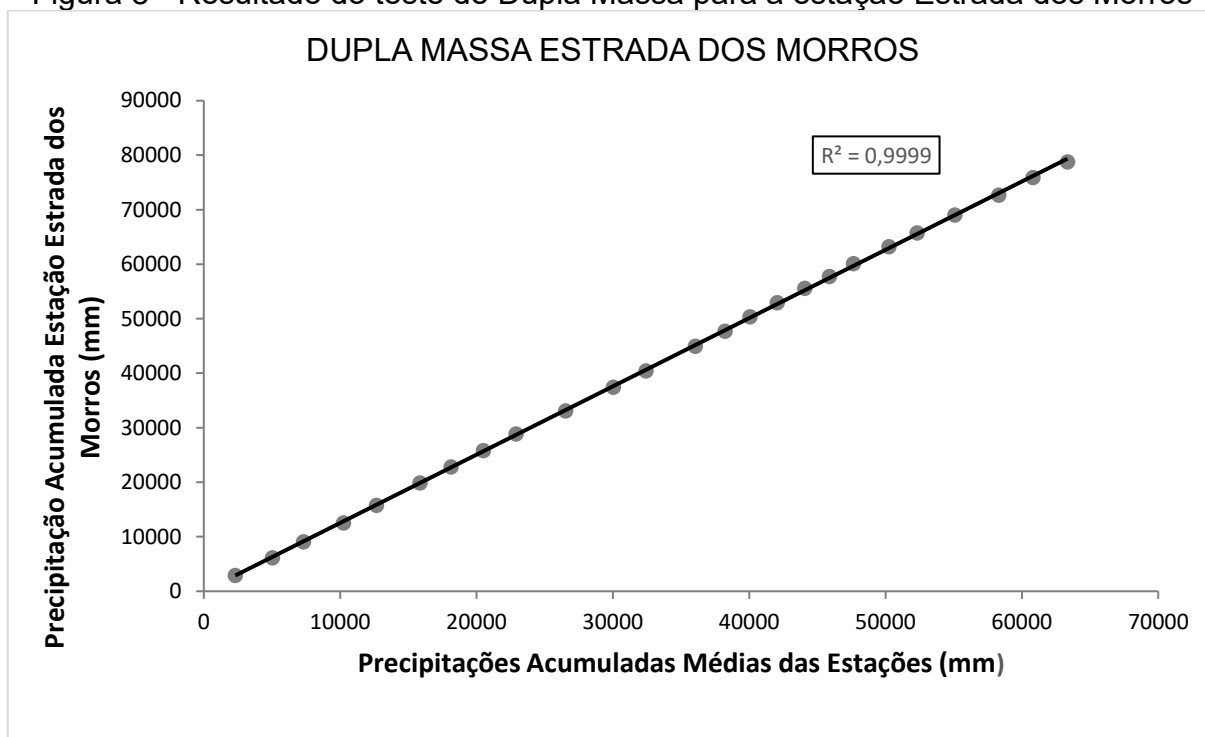
Os resultados do teste de dupla massa apontaram dados satisfatórios, ambos com R^2 acima de 0,99, onde foi verificada a consistência dos dados das estações em estudo entre os anos de 1996 e 2020, como pode ser observado nas Figuras 7 e 8.

Figura 7 - Resultado do teste de Dupla Massa para a estação Joinville (RVPSC)



Fonte: Autor (2022)

Figura 8 - Resultado do teste de Dupla Massa para a estação Estrada dos Morros



Fonte: Autor (2022)

5.2 ESTIMATIVAS DE INTENSIDADES MÁXIMAS

Sendo assim, com resultados satisfatórios para a análise de consistência dos dados foram calculados as médias e os desvios-padrões das precipitações máximas diárias de todos os anos, e substituindo na equação geral Chow-Gumbel (Equação 13), foram obtidas as precipitações máximas para diferentes durações e dividindo-se pela duração obteve-se a intensidade.

Para melhor organização dos dados, estes foram dispostos em uma planilha no *software Excel*®. Nas Tabelas 14 e 15 apresentam os valores das intensidades máximas diárias empregando-se os coeficientes propostos pela CETESB (1980), procedeu-se a desagregação das precipitações máximas de um dia para duração de 5, 10, 15, 30, 60, 360, 480, 600, 720 e 1440 min.

Realizada a estimativa da precipitação máxima, e em seguida, o ajuste dos parâmetros K, m, b e n da equação de intensidade duração e frequência por ajuste por regressão linear.

Tabela 14 - Intensidades máximas diárias previstas na Estação Estrada dos Morros

t (min)	Tempos de Retorno – TRs (anos)					
	5	10	15	25	50	100
i (mm/h)						
5	240,368	281,470	305,513	335,804	376,905	418,007
10	190,881	223,520	242,613	266,668	299,307	331,947
15	164,959	193,166	209,666	230,453	258,661	286,868
20	143,161	167,640	181,960	200,001	224,480	248,960
25	128,668	150,669	163,539	179,754	201,755	223,757
30	117,828	137,976	149,761	164,610	184,758	204,905
60	79,613	93,227	101,190	111,223	124,836	138,450
360	22,747	26,636	28,911	31,778	35,667	39,557
480	18,482	21,642	23,491	25,820	28,980	32,140
600	13,427	15,723	17,066	18,758	21,054	27,745
720	12,637	14,798	16,062	17,654	19,815	23,350
1440	7,898	9,249	10,039	11,034	12,385	13,735

Fonte: Autor (2022)

Tabela 15 - Intensidade máximas previstas na Estação RVPSC

t (min)	Tempos de Retorno – TRs (anos)					
	5	10	15	25	50	100
i (mm/h)						
5	183,840	209,063	221,039	258,237	307,411	344,609
10	145,991	166,021	175,531	205,071	244,120	273,660
15	126,165	143,475	151,693	177,221	210,968	236,496
20	109,493	124,516	131,648	153,803	183,090	205,245
25	98,409	111,910	118,321	138,233	164,555	184,467
30	90,118	102,482	108,352	126,587	150,691	168,926
60	60,890	69,245	73,211	85,532	101,819	114,139
360	17,397	19,784	20,917	24,438	29,091	32,611
480	14,135	16,075	16,995	19,856	23,636	26,497
600	10,269	11,678	12,347	14,425	17,172	19,250
720	9,665	10,991	11,621	13,576	16,162	18,117
1440	6,041	6,870	7,263	8,485	10,101	11,323

Fonte: Autor (2022)

5.2.1 Coeficientes das curvas IDF

Para a determinação do valor de c utilizou-se o método de tentativa e erro, onde o valor de “ b ” foi definido levando-se em consideração o valor de R^2 que mais se aproximava de 1. Nas figuras 9 e 10 estão plotados no eixo Y logaritmos das

intensidades, e no eixo X os valores dos logaritmos de suas respectivas durações (t) somadas ao parâmetro “b”.

Figura 9 - Regressão linear dos logaritmos das intensidades versus logaritmos da duração mais o coeficiente “b” da Estação Estrada dos Morros

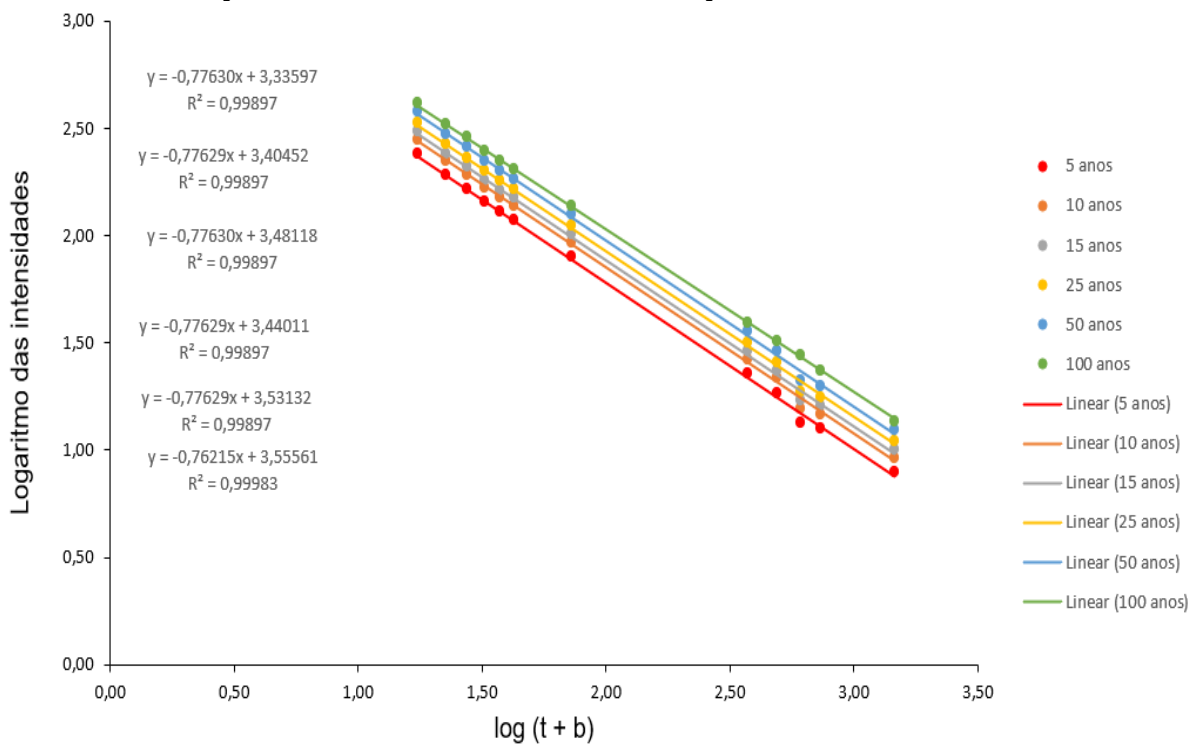
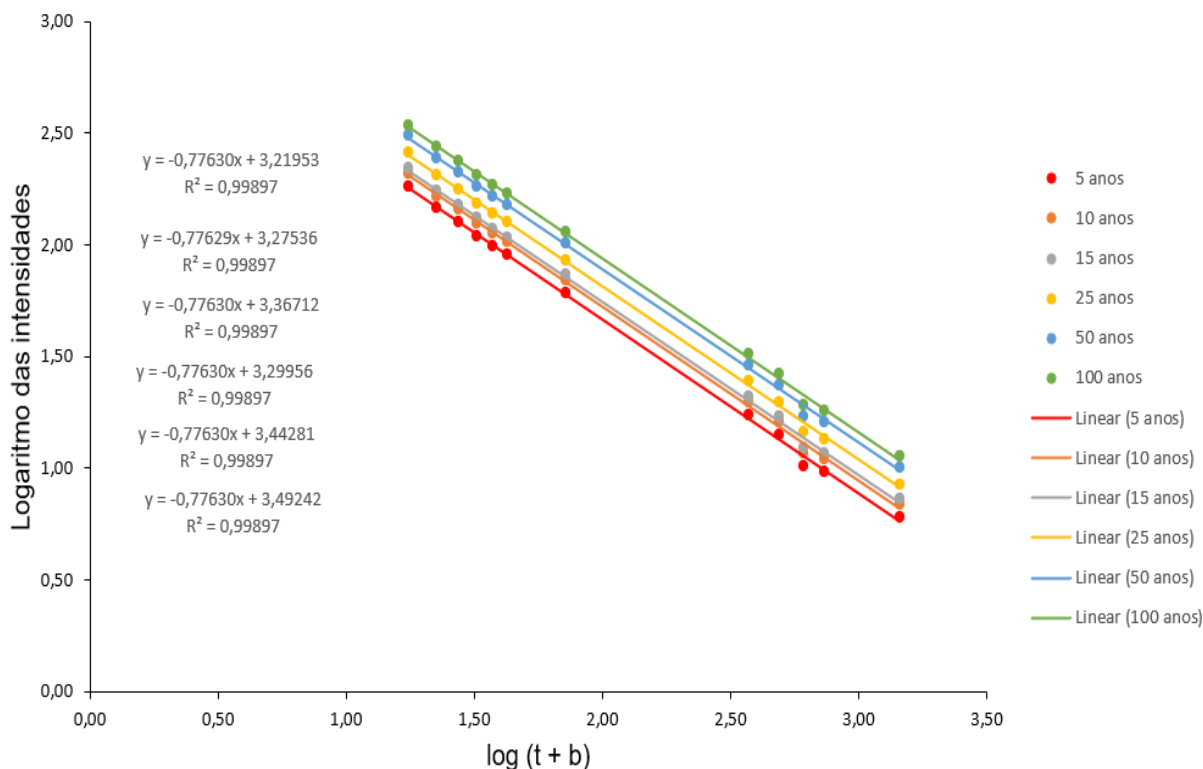


Figura 10 - Regressão linear dos logaritmos das intensidades versus logaritmos da duração mais o coeficiente "b" da Estação RVPSC



Fonte: Autor (2022)

Na sequência, pode-se obter os valores de Log C, apresentados na Tabela 16, a partir os valores dos coeficientes lineares das regressões das Figuras 9 e 10. O coeficiente "n" da curva IDF é o coeficiente angular das retas, como todas as retas apresentaram o mesmo valor, adotou-se para curva final $n = 0,7763$.

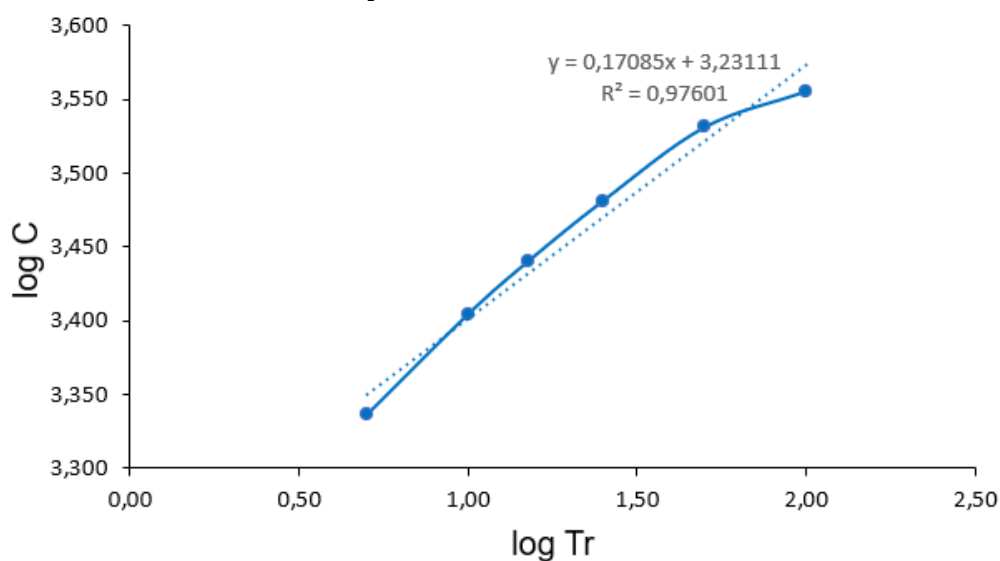
Tabela 16 - Parâmetros C, e Log (T) para cálculo da IDF das Estações Estrada dos Morros e RVPSC

		Estação Estrada dos Morros		Estação RVPSC	
Tr	log Tr	log C	C	log C	C
5	0,69897	3,336	2167,554	3,220	1657,792
10	1	3,405	2538,166	3,275	1885,255
15	1,17609	3,440	2754,863	3,300	1993,242
25	1,39794	3,481	3028,168	3,367	2328,681
50	1,69897	3,531	3398,600	3,443	2772,107
100	2	3,556	3594,264	3,492	3107,563

Fonte: Autor (2022)

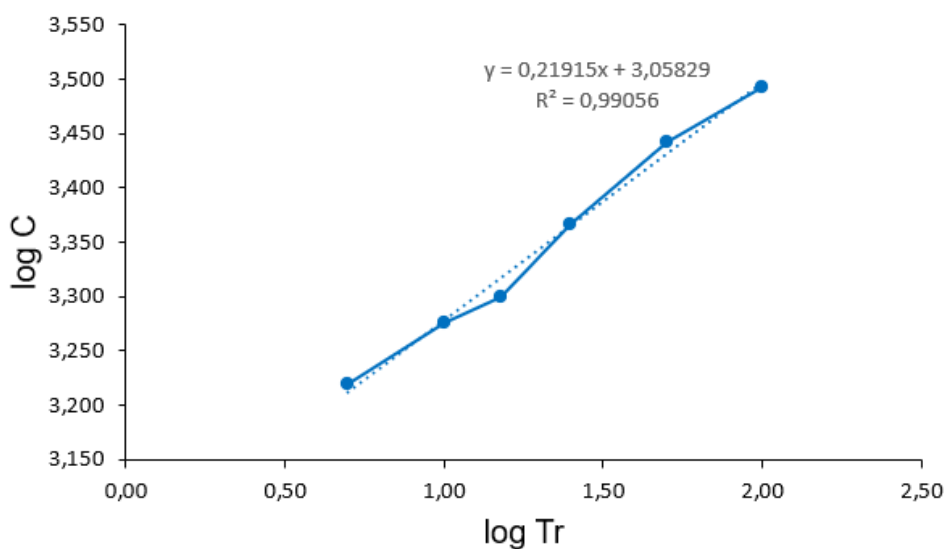
Para determinar os parâmetros K e m, foram lançados em gráfico conforme figuras 11 e 12 como função dos logaritmos dos períodos de retorno de cada curva, procedendo-se a regressão linear de log Tr versus log C nos eixos X e Y, de modo que o coeficiente linear dessa reta é K e o coeficiente angular é o m, ajustados a partir da Equação 20.

Figura 11 - Regressão linear para definir os coeficientes K e m da equação IDF Estação Estrada dos Morros



Fonte: Autor (2022)

Figura 12 - Regressão linear para definir os coeficientes K e m da equação IDF Estação RVPSC



Fonte: Autor (2022)

Na Tabela 17 é possível observar os coeficientes obtidos para as estações Estrada dos Morros e RVPSC.

Tabela 17 - Coeficientes IDF ajustados para as Estações Estrada dos Morros e RVPSC (K, m, b, n)

Estação		
	Estrada dos Morros	RVPSC
log C	3,231	3,058
K	1702,59	1143,642
m	0,171	0,219
b	12,500	12,500
n	0,776	0,776

Fonte: Autor (2022)

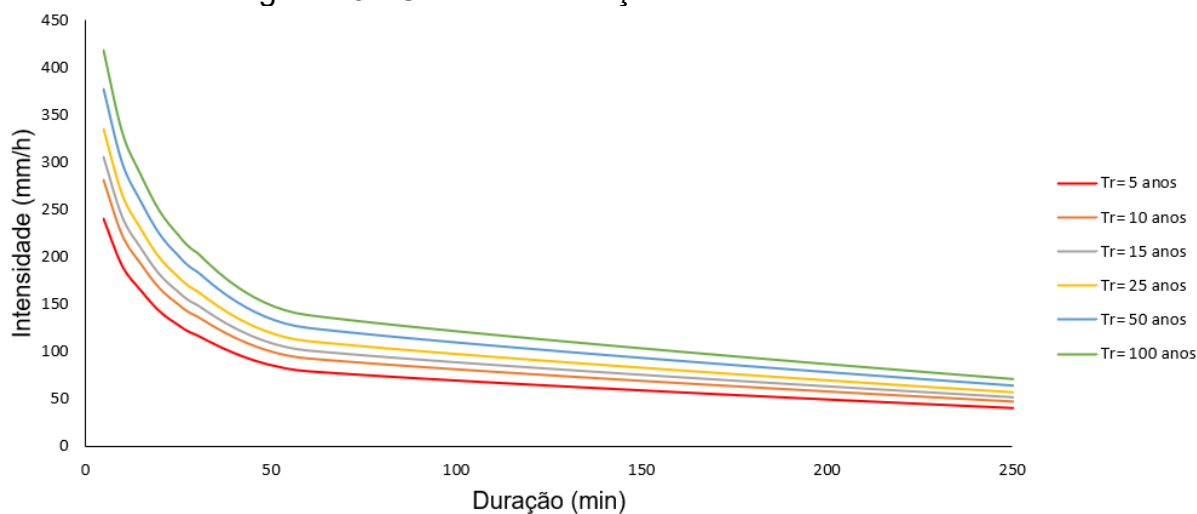
Com isso, obteve-se a relação IDF para as estações Estrada dos Morros e RVPSC, conforme pode ser visto nas Equação 42 e 43 respectivamente.

$$i = \frac{K \cdot T_r^m}{(t + b)^n} \quad \rightarrow \quad i = \frac{1702,59 \cdot T_r^{0,171}}{(t + 12,50)^{0,776}} \quad (42)$$

$$i = \frac{K \cdot T_r^m}{(t + b)^n} \quad \rightarrow \quad i = \frac{1143,642 \cdot T_r^{0,219}}{(t + 12,50)^{0,776}} \quad (43)$$

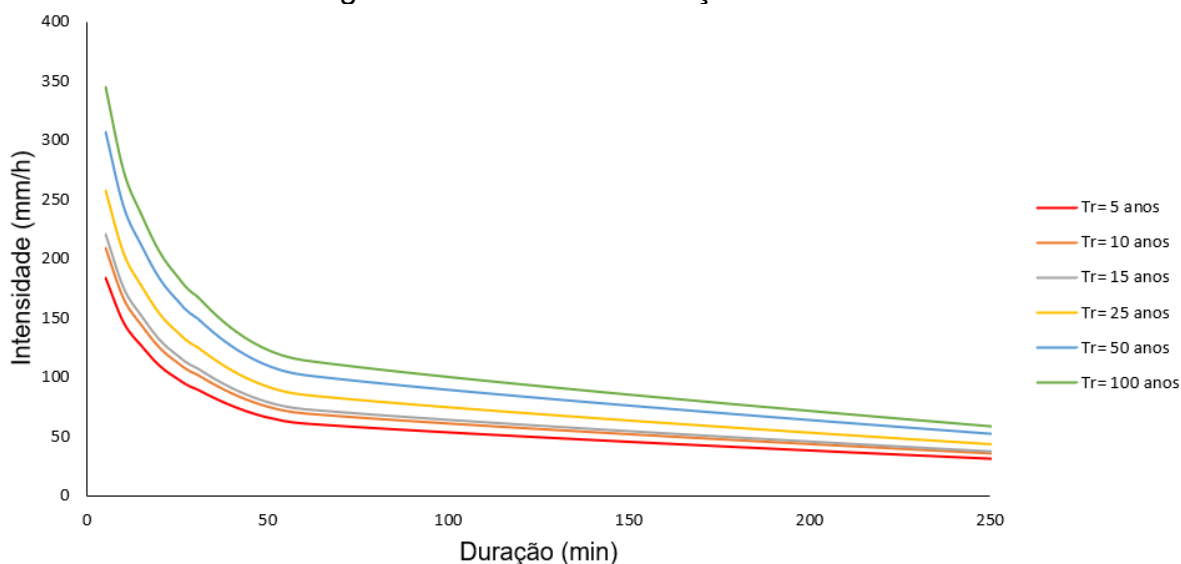
As Figuras 13 e 14, apresentam as curvas IDF geradas para as estações considerando as equações estabelecidas.

Figura 13 - Curva IDF Estação Estrada dos Morros



Fonte: Autor (2022)

Figura 14 - Curva IDF Estação RVPSC



Fonte: Autor (2022)

É sabido que a intensidade de precipitação é inversamente proporcional à duração, comportamento também típico das curvas IDF, onde, quanto maior a intensidade da precipitação, menor é a sua duração. Pode-se afirmar também, que o tempo de retorno é diretamente proporcional à intensidade, quanto maior o tempo de retorno, maiores as chances da ocorrência de uma grande intensidade de precipitação de curta duração, deixando evidente que o tempo de retorno é essencial para o dimensionamento de obras hidráulicas.

5.3 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS EQUAÇÕES IDF EXISTENTES PARA JOINVILLE/SC

Com as equações IDF geradas, calcularam-se as intensidades para cada período de retorno e durações estabelecidas, de forma a compará-las com as fornecidas pelas equações IDF de Simões e Ramos (2003), Steinke Júnior (2017) e Back (2022), considerando as mesmas durações e períodos de retornos. Para comparativo com as equações geradas com os dados da Defesa Civil foi utilizadas as equações das Estações Guanabara 11 e Cubatão 1.

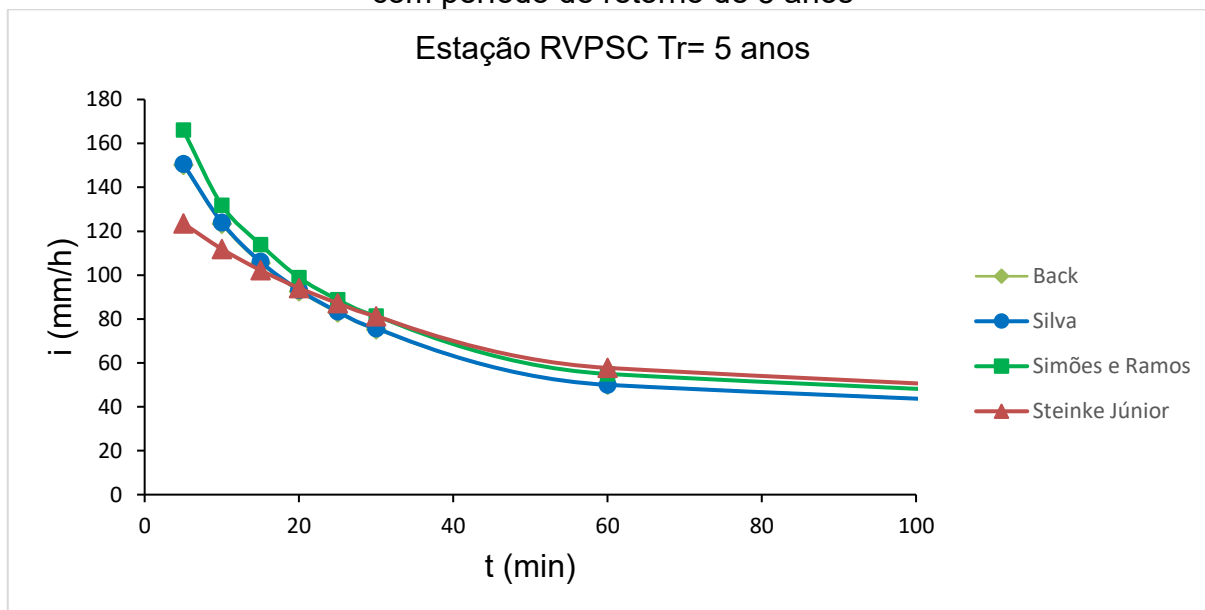
Na sequência, foram analisados os gráficos plotados no *software Excel*®, desvio padrão, diferença absoluta e erro relativos, a fim de comparar as intensidades de chuva resultantes dessas equações. Um baixo valor de desvio padrão e erro indica que os dados tendem a estar próximos da média ou do valor esperado.

As comparações foram feitas para três períodos de retorno: 5 anos, 10 anos e 100 anos foram apresentadas curvas para tempos de duração de até 100 minutos com objetivo de tornar mais clara a interpretação dos dados.

Conforme apresentado nas Figuras 15, é possível verificar que a IDF de da Estação RVPSC ajustada, considerando o Tempo de Retorno de 5 anos apresenta valores de intensidade, em média, 10% inferiores à proposta por Simões e Ramos, em média, 10% superiores para durações 5 min, 10min e 15 min e, 6% inferiores para durações de 20 min a 480 min e, 6% superiores a 600 min, 720 min e 1440 min à IDF proposta por Steinke Júnior.

Ainda para 5 anos de Tempo de Retorno, em média, 0,5% superiores para durações 5 min a 60 min, e 3% inferiores 360 min a 1440 min à IDF proposta por Back.

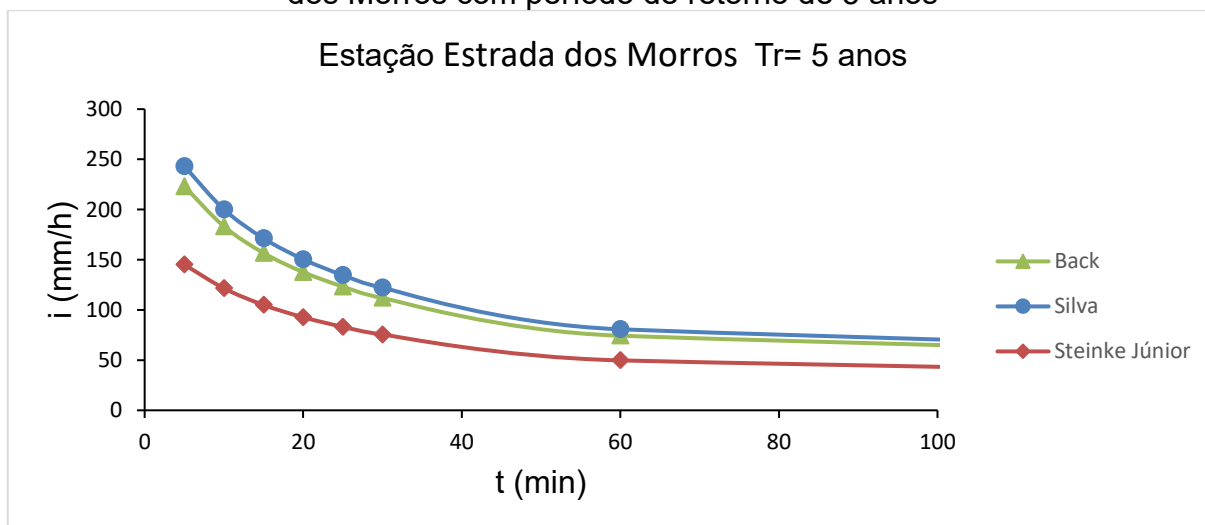
Figura 15 - Comparação de curvas das equações IDF referente à Estação RVPSC com período de retorno de 5 anos



Fonte: Autor (2022)

Para a Estação Estrada dos Morros apresentado na Figura 16, no tempo de retorno de 5 anos as intensidades da IDF ajustada, apresenta valores superiores, em média, 40% à IDF proposta por Steinke Júnior e, em média, 7% superiores à IDF proposta por Back.

Figura 16 - Comparação de curvas das equações IDF referente à Estação Estrada dos Morros com período de retorno de 5 anos

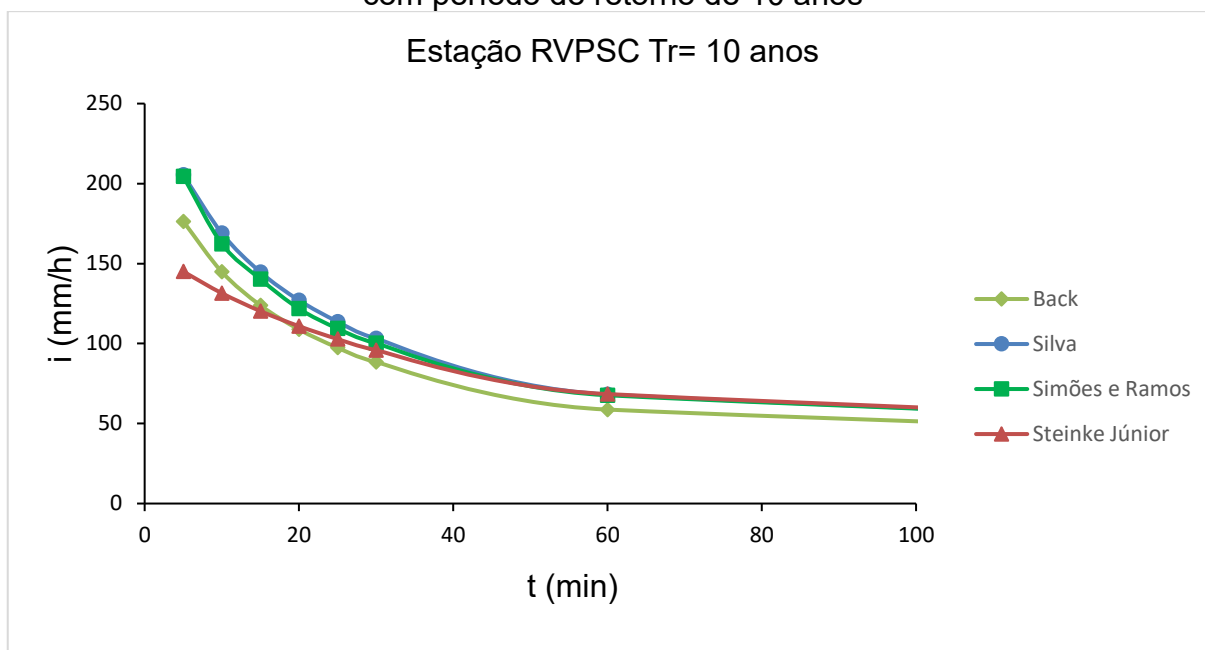


Fonte: Autor (2022)

Para o tempo de retorno de 10 anos conforme o gráfico da Figura 17, novamente a IDF ajustada para Estação RVPSC apresenta valores, em média, 3%

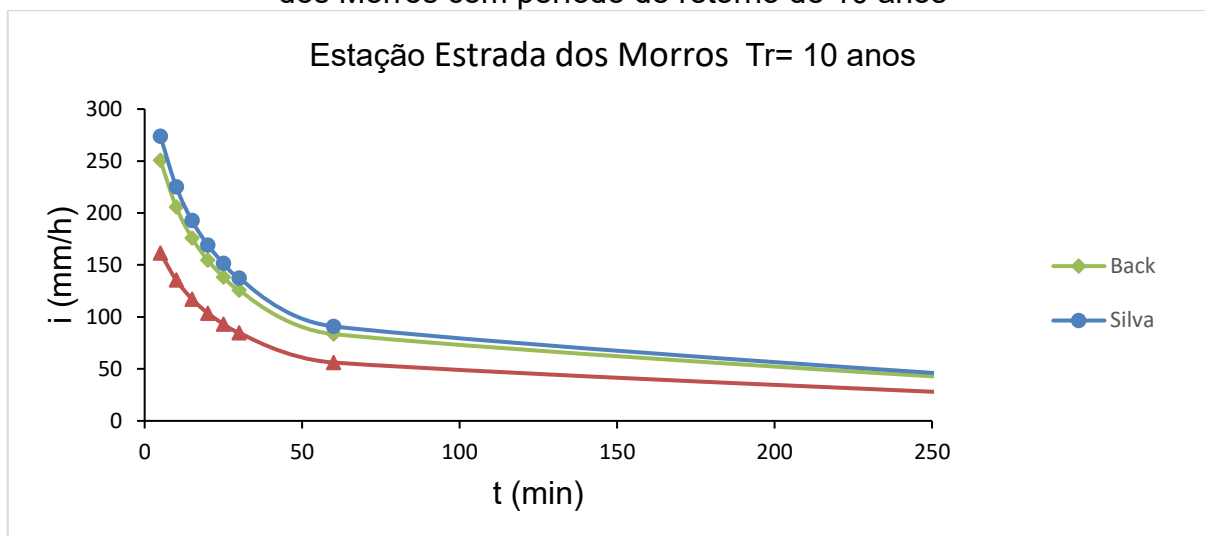
superiores para durações 5 min, 10min, 15 min até 30 min e, 1% inferiores para durações superiores a 360 min à proposta por Simões e Ramos, em média, 18 % superiores para durações de 5 min a 20 min e 600 min a 1440 min, à IDF proposta por Steinke Júnior e, em média, 12% superiores à IDF proposta por Back.

Figura 17 - Comparação de curvas das equações IDF referente à Estação RVPSC com período de retorno de 10 anos



Para a Estação Estrada dos Morros, tempo de retorno de 10 anos apresentado na Figura 18, as intensidades da IDF ajustada apresenta o mesmo comportamento tempo de retorno de 5 anos, em média, 40% superiores à IDF proposta por Steinke Júnior e, em média, 7% superiores à IDF proposta por Back.

Figura 18 - Comparação de curvas das equações IDF referente à Estação Estrada dos Morros com período de retorno de 10 anos



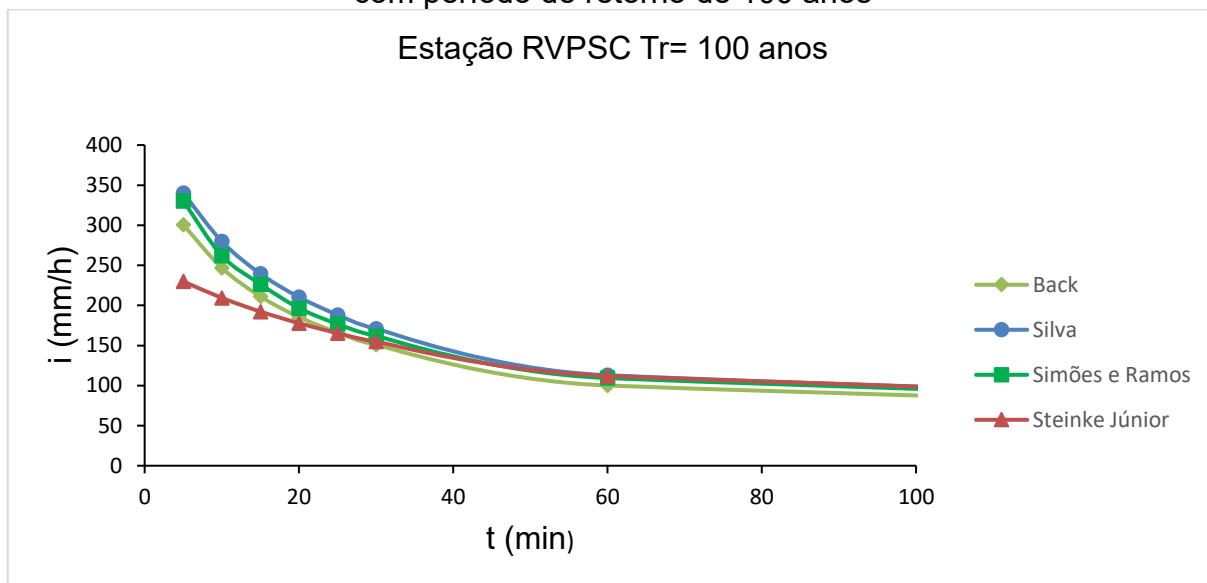
Fonte: Autor (2022)

Os gráficos apresentados nas Figuras 19 e 20, que correspondem aos tempos de retorno de 100 anos. As IDF's ajustadas para Estação RVPSC e Estrada dos Morros apresentam valores de intensidades superiores as demais.

Para a Estação RVPSC, em média, 5% superiores para durações 5 min, 10min, 15 min até 60 min e, 1% superiores para durações de 360 min até 1440 min à proposta por Simões e Ramos, em média, 20% superiores para durações 5 min, 10min, 15 min até 25 min e 1440 min, já para durações entre 30 min e 720 min 4% superiores a proposta por Steinke Júnior e, em média 10% superiores à IDF proposta por Back.

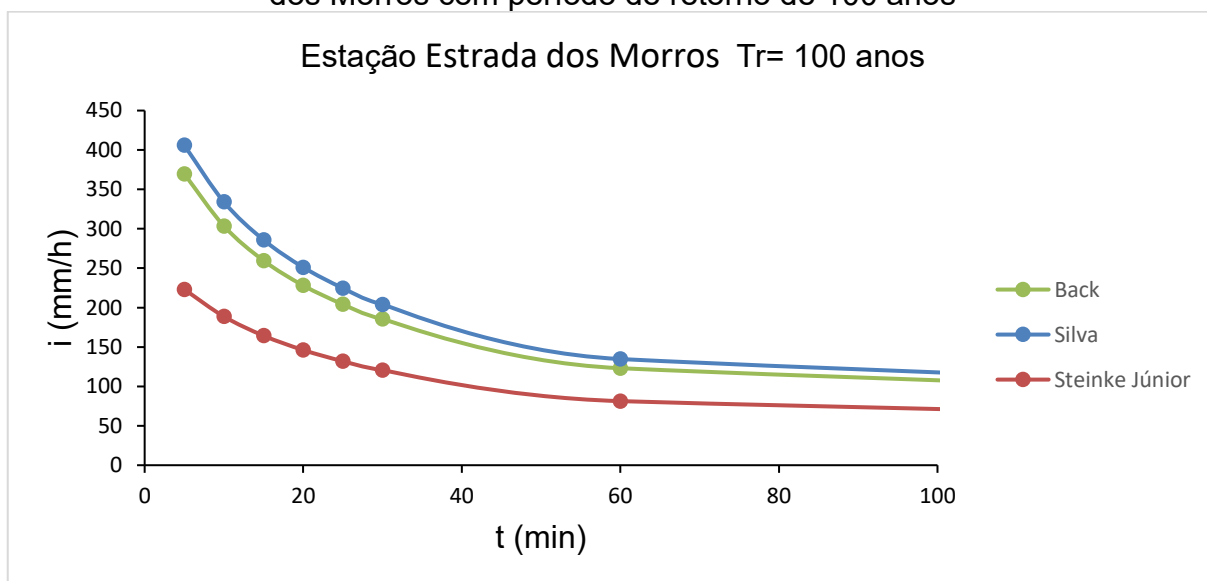
Finalmente, no gráfico da Estação Estrada dos Morros as intensidades da IDF ajustada apresenta o mesmo comportamento tempo de retorno de 5 anos e 10 anos média, 40% superiores à IDF proposta por Steinke Júnior e, em média, 8 % superiores à IDF proposta por Back.

Figura 19 - Comparação de curvas das equações IDF referente à Estação RVPSC com período de retorno de 100 anos



Fonte: Autor (2022)

Figura 20 - Comparação de curvas das equações IDF referente à Estação Estrada dos Morros com período de retorno de 100 anos

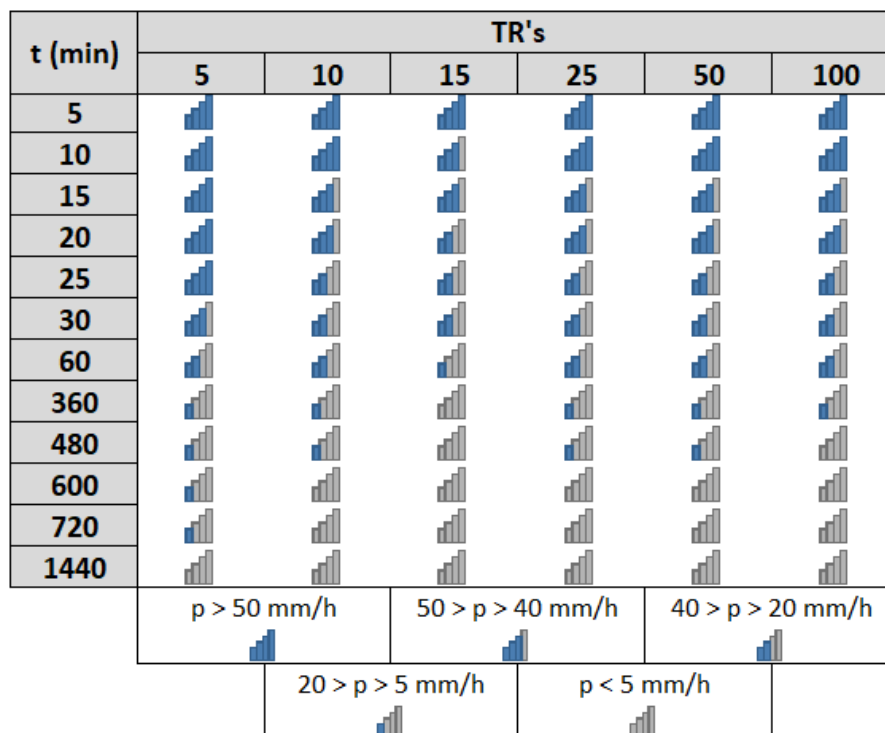


Fonte: Autor (2022)

Para melhor análise dos resultados foi elaborado as tabelas conforme Figuras 21 e 22 contendo as classes da diferença absoluta “p” entre as intensidades obtidas pelas curvas, para os mesmos períodos de recorrência e durações das Estações.

Na Figura 23 contendo as classes da diferença absoluta “p” entre as intensidades obtidas pelas curvas das Estações Estrada dos Morros e RVPSC, para os mesmos períodos de recorrência e durações das Estações.

Figura 23 - Diferença absoluta entre as intensidades das curvas da Estação Estrada dos Morros e RVPSC



Fonte: Autor (2022)

Observa-se maiores valores de intensidades da Estação Estrada dos Morros, uma vez que, apresenta elevados índices pluviométricos durante todo o ano. Esta variação pode ser justificada, que, de acordo com Monteiro (2001), áreas mais próximas às encostas de montanhas, do lado barlavento, as precipitações são mais abundantes, pois a elevação do ar úmido e quente favorece a formação de nuvens de grande desenvolvimento vertical, resultando no aumento do volume de precipitação local.

Neste sentido, a Serra do Mar por ser muito próxima do mar que se torna uma espécie de barreira para as nuvens que chegam do mar e do Sul são observados índices maiores de precipitação próximos à encosta (Monteiro, 2001).

Nas Tabelas 18 e 19, podemos ver os desvios percentuais relativos para as estações RVPSC e Estrada dos Morros.

Tabela 18 - Erro percentual relativo para a Estação RVPSC

D	5			10			100		
	Steinke Júnior	Back	Simões e Ramos	Steinke Júnior	Back	Simões e Ramos	Steinke Júnior	Back	Simões e Ramos
5	18,0%	0,3%	-10,2%	29,4%	14,1%	0,5%	32,4%	11,6%	2,9%
10	9,8%	0,5%	-6,3%	22,2%	14,3%	3,9%	25,2%	11,8%	6,3%
15	3,7%	0,6%	-7,4%	16,9%	14,4%	3,0%	19,7%	11,8%	5,4%
20	-1,0%	0,6%	-6,1%	12,8%	14,3%	4,2%	15,5%	11,8%	6,5%
25	-4,6%	0,5%	-6,5%	9,6%	14,3%	3,8%	12,1%	11,8%	6,1%
30	-7,4%	0,5%	-7,5%	7,1%	14,2%	2,9%	9,4%	11,7%	5,2%
60	-15,4%	0,0%	-9,9%	-0,4%	13,8%	0,7%	0,7%	11,3%	3,1%
360	-6,9%	-2,4%	-11,7%	5,4%	11,8%	-0,8%	1,0%	9,2%	1,6%
480	-2,8%	-2,9%	-13,1%	8,8%	11,3%	-1,8%	3,5%	8,7%	0,5%
600	0,7%	-3,3%	-12,0%	11,6%	11,0%	-1,4%	5,7%	8,4%	0,7%
720	3,6%	-3,6%	-11,9%	14,0%	10,7%	-0,6%	7,6%	8,1%	1,9%
1440	14,6%	-4,8%	-12,5%	23,2%	9,7%	-0,6%	15,2%	7,0%	1,2%

Fonte: Autor (2022)

Tabela 19 - Erro percentual relativo para a Estação Estrada dos Morros

D	5		10		100	
	Steinke Júnior	Back	Steinke Júnior	Back	Steinke Júnior	Back
5	40%	8%	41%	8%	45%	9%
10	39%	8%	40%	9%	44%	9%
15	39%	9%	39%	9%	43%	9%
20	38%	8%	39%	9%	42%	9%
25	38%	8%	38%	9%	41%	9%
30	38%	8%	38%	9%	41%	9%
60	38%	8%	38%	8%	40%	9%
360	42%	6%	41%	6%	39%	6%
480	43%	5%	41%	5%	39%	6%
600	43%	5%	42%	5%	39%	6%
720	44%	5%	42%	5%	39%	5%
1440	46%	3%	44%	4%	39%	4%

Fonte: Autor (2022)

Através da análise, tanto da Tabela 18 como da Tabela 19, verificou-se que as intensidades de precipitação obtidas pelas Equações de Chuvas Intensas ajustadas produzem valores mais distantes das equações estabelecidas por Steinke Júnior (2017). Assim demonstram que a utilização das equações com dados da Defesa Civil deve ser revista.

Observou-se que os valores obtidos pelas equações ajustadas apresentaram menores erros em comparação com as equações determinadas por Simões e Ramos (2003) e Back (2022).

Os erros não impossibilitam o uso, porém é algo que se deve ter atenção, pois pode gerar diferenças no dimensionamento de alguma obra hidráulica.

Pode-se pensar que a partir do momento que os dados são maximizados, os valores de intensidades estariam a favor da segurança para utilização em projetos. Porém, é necessário verificar o desvio padrão, diferenças absolutas e erros das intensidades, evitando o superdimensionamento da estrutura.

De forma geral, permite inferir que as equações ajustadas são aceitáveis e atende às necessidades locais, não houve diferenças significativas nas estimativas, sendo importante atentar para a diferença entre os valores de intensidade para o tempo de retorno de 100 anos que podem apresentar maior amplitude.

6. CONCLUSÃO

O estudo desenvolvido compreendeu que o uso de metodologia alternativa de determinação da equação IDF utilizando dados pluviométricos de séries históricas de precipitação implementados em ferramentas computacionais apresentou ajuste satisfatório dos coeficientes das equações IDF, com baixos valores de erros e diferenças absolutas se comparadas a curvas estabelecidas com série de dados longas e, boa correlação dos dados, com R^2 superior a 99,7 %.

Em relação aos trabalhos de equações IDF já publicadas para Joinville/SC, observa-se diferença significativa de intensidades quando comparadas as utilizada a equação proposta por Steinke Júnior (2017) e similares entre as demais equações citadas. Provavelmente as diferenças verificadas são devidas à série histórica utilizada pelo autor, de 3 a 4 anos, enquanto neste estudo os dados analisados foram superiores a 20 anos. Ressalta-se a importância das comparações entre as equações IDF para que possam ser atualizadas e modificadas.

As curvas apresentaram um típico comportamento das curvas IDF, mostrando que quanto maior o tempo de retorno, maiores as chances de uma chuva de grande magnitude, e maior será sua intensidade em um período muito curto de duração.

Mesmo com valores um pouco maiores de intensidade de precipitação pela equação da Estação Estrada dos Morros comparado a outras formulações apresentam resultados aceitável. Por isso, o tomador de decisão deve ser cuidadoso ao escolher a IDF, dado as variações das precipitações e intensidades máximas das chuvas.

As equações de chuvas intensas apresentam um bom resultado, principalmente quando os valores dos parâmetros m , n e b são interpolados para a região em estudo, foi possível perceber a similaridade nos parâmetros devido semelhança climática e altitudes parecidas.

Assim, os resultados permitem concluir que há a necessidade de revisão e atualização das equações, de forma a evitar defasagem no dimensionamento de estruturas de drenagem, sendo essencial para reduzir riscos de perdas econômicas decorrentes das oscilações das precipitações pluviais, como problemas relacionados a inundações.

Pode-se concluir que o estudo realizado apresentou resultados satisfatórios e pode ser utilizado como referência para estudos hidrológicos e projetos hidráulicos. Além disso, reforça o estudo de Zuffo (2004), locais que passaram por alto crescimento e desenvolvimento populacional, gerando aumento da área impermeabilizada e temperatura local é indispensável a atualização das IDFs.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. **Natal de 1995 X Natal de 2005**: enchente no Sul do Brasil. Disponível em: <https://www.abaixodezero.com/index.php?/topic/1966-natal-de-1995-x-natal-de-2005-enchente-no-sul-do-brasil/>. Acesso em: 02 fev. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. **Orientações para elaboração do relatório de instalação de estações hidrométricas**. Brasília: ANA, 2011. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/cadastro/OrientacoesparaElaboracaodoRelat%C3%B3riodelInstalacaodeEstacoesHidrometricas-VersaoDez11.pdf>. Acesso em: 21 maio 2022.

BACK, Á. J. **Chuvas intensas e estimativas da chuva de projeto para o estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2022.

BANCO MUNDIAL. **Avaliação de perdas e danos**: inundações bruscas em Santa Catarina, 11/2012. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosDefesaCivil/ArquivosPDF/publicacoes/Inundaes-Bruscas-em-Santa-Catarina.pdf>. Acesso em :19 jan. 2022.

BARBOSA, S. E. S. **Análise de dados hidrológicos e regionalização de vazões da bacia do rio do Carmo**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Núcleo de Pesquisa em Recursos Hídricos – Proáqua, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2004.

BASTOS, S. B.; FUENTES, M. C. Análise da rede 'meteorológica da Bahia e sua importância para as práticas agrícolas no semiárido baiano. *In*: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEÓGRAFOS. **Anais [...]** 2014. Disponível em: http://www.cbg2014.agb.org.br/resources/anais/1/1405607025_ARQUIVO_ArtigoCongressoAGB.pdf. Acesso em: 18 dez. 2021.

BRASIL. Ministério das Cidades. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios**. Brasília: Ministério das Cidades, 2007. 176 p. Disponível em: <http://planodiretor.mprs.mp.br/arquivos/mapeamento.pdf>. Acesso em: 21 maio 2022.

CALDAS, J. Maior cidade de SC decreta emergência por causa das chuvas. 2022. **G1**. Disponível em: <https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2022/11/28/maior-cidade-de-sc-decreta-emergencia-por-causa-das-chuvas.ghtml> .Acesso em: 16 dez 2022.

CASTRO, A. S. **Uso de pavimentos permeáveis e coberturas verdes no controle quali-quantitativo do escoamento superficial urbano**. 2011. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Drenagem urbana**: manual de projeto. 2. ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1980.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia: para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos 2013.

CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade, 2000.

DEFESA CIVIL DO ESTADO DE SANTA CATARINA. **Avisos meteorológicos**. 2011a. Disponível em: <https://www.defesacivil.sc.gov.br/noticias/volumes-de-chuva-em-santa-catarina-das-ultimas-80-horas/>. Acesso em: 29 jan. 2022.

DEFESA CIVIL DO ESTADO DE SANTA CATARINA. **Avisos meteorológicos**. 2011b. Disponível em: <https://www.defesacivil.sc.gov.br/noticias/chuvas-afetam-mais-de-440-mil-catarinenses-em-46-municipios/>. Acesso em: 29 jan. 2022.

ENCHENTE que deixou cidades do Sul embaixo d'água completa 40 anos. 24/03/2014. **G1 SC**. Disponível em: <https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2014/03/enchente-que-deixou-cidades-do-sul-embaixo-dagua-completa-40-anos.html>. Acesso em: 02 fev. 2022.

GUIMARÃES, P. C. V. **As enchentes em Santa Catarina e o aprendizado em políticas públicas**. Enap. 2012. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/285/1/As%20enchentes%20em%20Santa%20Catarina%20e%20o%20aprendizado%20em%20pol%C3%ADticas%20p%C3%ABlicas.pdf>. Acesso em: 23 jan.2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2010**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/joinville/panorama>. Acesso em: 29 ago. 2022.

HÁ 25 anos, outra calamidade. 28/11/2008. **Revista Veja**. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/brasil/arquivo-veja-ha-25-anos-outra-calamidade/> . Acesso em: 02 fev. 2022.

HAAN, C. T. *Statistical methods in hydrology*. 2. ed. Ames: The Iowa State University, 2002. 377 p

JOINVILLE registra acumulado de chuva acima de 220 milímetros e Prefeitura atende população emergencialmente.10/08/2022. Prefeitura de Joinville. Disponível em:<https://www.joinville.sc.gov.br/noticias/joinville-registra-acumulado-de-chuva-acima-de-220-milimetros-e-prefeitura-atende-populacao-emergencialmente/> Acesso em: 16 dez 22.

JOINVILLE. Secretaria de Infraestrutura Urbana. **Secretaria de planejamento urbano e desenvolvimento sustentável**. 2011. Disponível em: <https://www.joinville.sc.gov.br/wp-content/uploads/2018/09/Joinville-Cidade-em-Dados-2018-Characterísticas-Gerais.pdf> . Acesso em: 29 ago. 2022.

JOINVILLE. Secretaria de Infraestrutura Urbana. **Plano de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas Joinville-SC**. 2013. Disponível em: <https://www.joinville.sc.gov.br/wp-content/uploads/2021/10/Plano-de-Drenagem-e-Manejo-de-%C3%81guas-Pluviais-Urbanas.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2022.

JOINVILLE. Plano Diretor de Drenagem Urbana da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira. **Drenagem urbana: Joinville enfrenta o desafio**.2018. Disponível em: https://www.joinville.sc.gov.br/wp-content/uploads/2017/11/PDDU-BHRC_Cartilha-Drenagem-Urbana-Joinville-enfrenta-o-desafio_2011-00-00.pdf Acesso em: 29 ago. 2022.

LEITE, E. S. **Sistemas atmosféricos, precipitações intensas e impactos na cidade de Uberlândia - MG**. 2019. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

LOPES, F. H. Y. **Estudo comparativo entre equações de chuvas para o município de Joinville, SC**. 2006. Trabalho de Conclusão de Curso - (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2006.

MALUTTA et al. Diagnóstico da implantação das medidas estruturais e não estruturais para a prevenção e combate a inundação no município de Joinville – Santa Catarina. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.10, p. 100770-100795 oct. 2021

MONTEIRO, M. A. Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que. *In: XXII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Anais [...]* Florianópolis, 2017. Geosul. Florianópolis, v.16, n.31, p 69-78, jan./jun. 2001.

NAGHETTINI, M; PINTO, É. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2007.

NASCIMENTO, D. A. et al. Análise comparativa de dados pluviométricos com pluviômetro e pluviógrafo de báscula. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=2274> Acesso em: 15 maio 2022.

NEGRI, R.; RAMOS, D. A. **Análise de chuvas intensas na região de Joinville – SC**. 2002.51 p. Relatório final de pesquisa (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2002.

NEGRI, R.; PIRATH, C, E, H; RAMOS, D. A. Comparação de equação de chuvas de Joinville/SC, aplicadas a projetos de drenagem urbana. *In: 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Anais [...]* Joinville, 2003.

PENNER, G. C.; LIMA, M. P. Comparação entre métodos de determinação da equação de chuvas intensas para a cidade de Ribeirão Preto. **Revista Geociências**, v. 35, n. 4, p.542-559, 2016.

PFAFSTETTER, O. **Chuvas intensas no Brasil: relação entre precipitação, duração e frequência de chuvas em 98 postos com pluviografos**, 1957. Departamento Nacional de Obras de Saneamento. Rio de Janeiro.

PINTO, E. J. A. **Metodologia para definição das equações Intensidade-Duração-Frequência do projeto atlas pluviométrico**. Belo Horizonte: CPRM, 2013.

PINTO, N. L. S. et al. **Hidrologia básica**. 5. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1995.

RUAS de Joinville são tomadas pela água durante passagem de ciclone.10/08/2022. O Presente. Disponível em: <https://www.opresente.com.br/geral/ruas-de-joinville-sao-tomadas-pela-agua-durante-passagem-de-ciclone/> Acesso em: 16 dez 2022.

SANTOS, C. F. et al. **Indústria das enchentes**: Impasses e desafios dos desastres socioambientais no Vale do Itajaí. **Geosul**. Florianópolis, v. 29, n. 57, p.197-216 jan./jun. 2014.

SANTOS, I. dos et al. **Hidrometria aplicada**. Curitiba: Lactec, 2001.

SENTELHAS, P. C.; CARAMORI, P. H. Inconsistências na medida da chuva com pluviômetros de balsa, utilizados em estações meteorológicas automáticas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 301-304, 2002.

STEINKE JÚNIOR, R. **Desenvolvimento de equações de chuvas intensas a partir de dados pluviográficos no município de Joinville**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville.

SILVA JUNIOR, J. A. et al. Curvas Intensidade-Duração-Frequência para chuva do Projeto no Sertão Alagoano. *In: XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE. Anais [...] Recife, 2020. Disponível em: <http://abrh.s3.amazonaws.com/Eventos/Trabalhos/130/XV-SRHNE0077-1-20200921-212415.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2022.*

SILVA, A. A. F.; JARDIM, C. H. Aplicação de técnicas de preenchimento de falhas de dados de pluviosidade mensal e anual para o noroeste do estado de Minas Gerais – Brasil. **Geografia**, Belo Horizonte v.15, n. 2, p. 83-106, jul./dez. 2017.

SILVA, C. R. **Análise espaço-temporal das inundações bruscas no período de 1991 a novembro 2011 em Florianópolis – Santa Catarina. 2016**. Monografia (Geografia) - Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

SIMÕES, J. C. X.; RAMOS, D. A. Equações de chuvas intensas para Joinville/SC. *In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Anais [...] Curitiba, 2003.*

SOARES, A. B. et al. Drenagem urbana influência da drenagem urbana nas enchentes e inundações. *In: XXIII Seminário de Iniciação Científica. Anais [...] Apucarana, 2015. Disponível em: <https://www.publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaconhecimento/article/view/5020> Acesso em: 10 maio. 2022.*

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 2. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2001.

TUCCI, C.E.M.; COLLISCHONN, W. Drenagem urbana e Controle de Erosão. VI Simpósio nacional de controle da erosão. 29/3 a 1/4 de 1998. Presidente Prudente, 1998.

TUCCI, C. E. M. Inundação e drenagem urbana. *In*: TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. (org). **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: ABRH: Ed. da UFRGS, 2003. p. 45-129.

TUCCI, C. E. M. **Água Doce**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. Disponível em: http://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/dados-da-atuacao/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outros_documentos_tecnicos/curso-gestao-do-territorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/aguanomeio%20urbano.pdf. Acesso em: 28 maio 2022.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. Recife: INMET, 2006.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guide to meteorological instruments and methods of observation**. Geneva, 2014. Disponível em: <https://community.wmo.int/activity-areas/imop/cimo-guide>. Acesso em: 21 maio 2022.

ZUFFO, Antônio Carlos. Equações de chuvas são eternas? *In*: Congresso Latinoamericano de Hidráulica, São Pedro, 2004. **Anais [...]** Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~zuffo/b407.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2022.

