

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS

**UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

JÉSSICA LANA CORREIA

**CONSTRUÇÃO DA CURVA INTESIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA (IDF)
PARA A CIDADE DE SÃO LEOPOLDO A PARTIR DE DADOS DE
SENSORIAMENTO REMOTO**

**São Leopoldo
2018**

JÉSSICA LANA CORREIA

**CONSTRUÇÃO DA CURVA INTESIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA (IDF)
PARA A CIDADE DE SÃO LEOPOLDO A PARTIR DE DADOS DE
SENSORIAMENTO REMOTO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Graduado em
Engenharia Civil, pelo Curso de
Engenharia Civil da Universidade do Vale
do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Arthur da Fontoura Tschiedel

São Leopoldo

2018

RESUMO

A escassez de dados pluviométricos disponíveis faz com que se utilize as relações de intensidade, duração e frequência (IDF) de regiões próximas ao local para cálculo de dimensionamento de obras de drenagem urbana. Devido à inexistência de dados pluviométricos e de uma curva IDF estabelecida para a cidade de São Leopoldo, torna-se necessário a criação de uma curva para o município a partir de fontes alternativas de dados. A construção dessa IDF garantiria maior segurança e precisão na elaboração e dimensionamento de obras hidráulicas.

Esse estudo propõe a construção da IDF para a cidade de São Leopoldo a partir de dados do produto MERGE, disponibilizados pelo CPTEC/INPE. Foram encontradas diferenças estatísticas significativas na análise comparativa entre a curva elaborada no estudo e a curva estabelecida para a cidade de Porto Alegre. São Leopoldo apresentou, em geral, chuvas de intensidade maiores que as do município de Porto Alegre.

Palavras-chave: IDF. MERGE. Chuvas Intensas. TRMM.

ABSTRACT

The scarcity of available rainfall data makes it necessary to use the intensity, duration and frequency (IDF) relations of neighboring regions for urban stormwater drainage system design. Due to the inexistence of pluviometric data and an established IDF curve for the city of São Leopoldo, it is necessary to create a curve from alternative sources of data. The construction of this IDF would guarantee greater safety and precision in design of stormwater drainage projects.

This study proposes the construction of the IDF for São Leopoldo based on data from the MERGE product, made available by CPTEC / INPE. Significant statistical differences were found in the comparative analysis between the curve elaborated in this study and the curve established for the city of Porto Alegre. São Leopoldo presented, in general, greater rainfall intensity than those of Porto Alegre.

Keywords: IDF. MERGE. Intense rain. TRMM.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curvas intensidade-duração-frequência para a cidade de Porto Alegre ...	16
Figura 2 – Representação do processo de aquisição de dados do TRMM	20
Figura 3 - Limite urbano da cidade de São Leopoldo.....	27
Figura 4 - Bacia do Rio dos Sinos	28
Figura 5 – Mini-bacias e rede de drenagem da bacia Rio dos Sinos	29
Figura 6 – Mini-bacias pertencentes à cidade de São Leopoldo	30

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Validação do método de cálculo de IDF	41
Gráfico 2 - Curva IDF para cidade de São Leopoldo.....	43
Gráfico 3 – Comparação São Leopoldo x Porto Alegre consolidada.....	46
Gráfico 4 – Comparação São Leopoldo x Porto Alegre calculada.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valor crítico da distribuição Qui-Quadrado de Pearson.....	26
Tabela 2 - Áreas das mini-bacias da cidade de São Leopoldo.....	31
Tabela 3 - Valores de precipitações diárias máximas anuais.....	32
Tabela 4 - Valores de precipitações máximas em ordem decrescente	33
Tabela 5 – Parâmetros para a distribuição de Gumbel	35
Tabela 6 – Verificação da adequação da distribuição de Gumbel.....	36
Tabela 7 – Precipitações calculadas pela distribuição de Gumbel.....	36
Tabela 8 – Coeficientes de desagregação para o Brasil	37
Tabela 9 – Coeficientes de desagregação para o Rio Grande do Sul.....	38
Tabela 10 - Valores de intensidade mm/h de Porto alegre calculada pelo estudo (amostra observada)	39
Tabela 11 – Valores de intensidade (mm/h) consolidados para Porto Alegre (amostra esperada)	40
Tabela 12 - Teste Qui-Quadrado para validação do método	40
Tabela 13 - Erro médio para validação do método.....	41
Tabela 14 – Tabela de intensidades (mm/h) para São Leopoldo.....	42
Tabela 15 - Valores de intensidade (mm/h) para São Leopoldo (amostra observada)	44
Tabela 16 - Valores de intensidade (mm/h) consolidados para Porto Alegre (amostra esperada)	44
Tabela 17 – Teste Qui-Quadrado São Leopoldo x Porto Alegre consolidada	45
Tabela 18 – Erro médio São Leopoldo x Porto Alegre consolidada	45
Tabela 19- Valores de intensidade (mm/h) de São Leopoldo (amostra observada)..	47
Tabela 20 - Valores de intensidade (mm/h) de Porto Alegre calculada (amostra esperada)	47
Tabela 21 – Teste Qui-Quadrado São Leopoldo x Porto Alegre calculada	47
Tabela 22 – Erro médio São Leopoldo x Porto Alegre Calculada	48

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
CPTEC	Centro de previsão de tempo e Estudos Climáticos
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IDF	Intensidade, duração e frequência
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
NASA	National Aeronautics and Space Administration
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
MGB-IPH	Modelo de grandes bacias
SIG / GIS	Sistema de Informação Geográfica / Geographic Information System
MDE	Modelo Digital de Elevação
CGIAR	Conselho de Pesquisa Agrícola Internacional
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
ANA	Agência Nacional de Águas
UHE	Usina Hidrelétrica
QGIS	Software de Sistema de Informação Geográfica
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Tema	10
1.2 Delimitação do Tema	11
1.3 Problema	11
1.4 Objetivos	11
1.4.1 Objetivo Geral	11
1.4.2 Objetivos Específicos	11
1.5 Justificativa	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1 Precipitação	13
2.2 Tipos de Medição	13
2.3 Chuvas Intensas	14
2.4 As relações IDF	15
2.4.1 Conceitos de curvas intensidade, duração e frequência (IDF).	17
2.4.2 Determinação das curvas IDF em locais com dados pluviométricos.....	17
2.4.3 Determinação das curvas IDF em locais sem dados pluviométricos.....	18
2.5 A estimativa de precipitação através de sensoriamento remoto	19
2.5.1 Projeto TRMM	19
2.5.1 Produto MERGE.....	20
2.6 Estudos anteriores sobre IDF e dados de sensoriamento remoto	21
Intensidade-duração-frequência de chuvas para o estado de Mato Grosso do Sul. (GRIEBELER, Nori; OLIVEIRA, Luis; FIGUEIREDO, Cícero; SANTOS, Glenio, 2009).	23
Este trabalho se propôs a obter as relações de intensidades, duração e frequência de precipitações para o Estado do Mato Grosso do Sul através do método de desagregação a partir das informações obtidas na Agência Nacional de Águas (ANA, 2007). Utilizou-se a distribuição de Gumbel onde se mostrou adequada para as estimativas e utilização em projetos hidráulicos.....	23
2.7 Modelo hidrológico de grandes bacias MGB-IPH	24
2.8 Teste Qui-Quadrado de Pearson para comparação estatística	24
3 METODOLOGIA	27
3.1 Área de estudo: São Leopoldo	27

3.2 Construção da curva IDF	28
3.2.1 Modelo hidrológico MGB IPH (SIG- QGIS).....	28
3.2.2 Processamento dos dados de entrada	30
3.2.3 Cálculo dos Tempos de Retorno	32
3.2.4 Cálculo das precipitações pela distribuição de Gumbel	34
3.2.5 Coeficientes de desagregação	37
3.2.6 Tabelas de intensidade, duração e frequência e curvas IDF.....	38
4 RESULTADOS.....	39
4.1 Validação do método de construção de IDF	39
4.2 Curva IDF para a cidade de São Leopoldo.....	42
4.3 Comparação São Leopoldo x Porto Alegre Consolidada	44
4.4 Comparação São Leopoldo x Porto Alegre Calculada.....	46
5 CONCLUSÃO	50
REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

Para a determinação da chuva de projeto, usada em cálculos de obras de drenagem urbana, é necessário o conhecimento das relações entre intensidade, duração e frequência (relação IDF). Através destas relações é possível definir uma vazão máxima de projeto.

Tipicamente, uma curva IDF é obtida por meio de regressão não linear com base nas informações extraídas de dados de precipitação. Porém a disponibilidade destes dados é limitada, devido à escassez de registros pluviográficos.

Pluviógrafos ou pluviômetros (automáticos) são comumente utilizados para medir a quantidade de chuva sobre uma região, que pode ser também obtida por radares e satélites. Dessa forma, devido ao avanço do sensoriamento remoto e à carência de dados hidrológicos, a estimativa de precipitação a partir do uso de satélites pode ser considerada como uma alternativa para estimar a IDF em locais sem dados medidos.

O Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) disponibiliza um produto de precipitação chamado MERGE. O produto consiste em uma combinação de precipitação observada com dois tipos de estimativa de precipitação por satélite que são gerados a partir do Tropical Rainfall Measuring Mission: TRMM-TMPA 3B42RT e GPM-IMERG V04.

Devido à inexistência de uma IDF estabelecida para a cidade de São Leopoldo os projetos de drenagem urbana são realizados baseados em curvas consolidadas para outras cidades da região. O uso de IDFs de outros locais pode gerar subdimensionamento e inadequações nas obras de drenagem para o município, podendo resultar em alagamentos durante eventos de precipitação acentuada. Assim, este estudo propõe a elaboração da curva IDF para São Leopoldo baseada em dados do produto de precipitação MERGE.

1.1 Tema

Curvas de intensidade, duração e frequência para cálculo de precipitações intensas.

1.2 Delimitação do Tema

Em regiões onde há escassez de estações pluviométricas e falta de dados de chuva, pode ser viável a utilização de dados de precipitação obtidos por sensoriamento remoto, visando o estabelecimento de curvas IDF, que irão subsidiar, entre outros, obras de drenagem urbana.

1.3 Problema

É possível a utilização de uma IDF consolidada de regiões próximas para projetos de dimensionamento hidráulico de estruturas quando não há dados de chuva disponíveis para o local?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desse estudo é a proposição de uma curva IDF para a cidade de São Leopoldo, proporcionando dessa forma uma alternativa local a ser considerada em projetos de dimensionamento hidráulico de estruturas.

1.4.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste estudo são:

- a) Utilizar o modelo de simulação hidrológica MGB-IPH para a obtenção e processamento de dados do MERGE para a bacia do Rio dos Sinos;
- b) Utilizar dados de chuva obtidos por sensoriamento remoto no âmbito de geração de curvas IDF cujos dados de entrada são tipicamente dados diários observados em pluviômetros;
- c) Comparar estatisticamente a IDF gerada de São Leopoldo com a IDF consolidada de Porto Alegre.

1.5 Justificativa

Este trabalho justifica-se pela ausência de dados pluviométricos para a cidade de São Leopoldo. A utilização de dados de cidades próximas podem gerar erros significativos nos projetos de drenagem urbana, resultando em obras subdimensionadas ou de custos elevados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Precipitação

Entende-se por precipitação “água da atmosfera que atinge a superfície na forma de chuva, granizo, neve, orvalho, neblina ou geada é denominada precipitação. Na realidade brasileira a chuva é a forma mais importante de precipitação, embora grandes prejuízos possam advir da ocorrência de precipitação na forma de granizo e em alguns locais possa eventualmente ocorrer neve.” (COLLISCHONN; DORNELES, 2013).

No ciclo hidrológico as precipitações estão ligadas aos fenômenos meteorológicos e ao escoamento superficial, que depende da natureza geológica e climática, sendo necessária uma vazão de projeto para cada região. (GARCEZ e ALVAREZ, 1988).

As grandezas intensidade, duração e frequência, que caracterizam a precipitação possuem grande importância para estimativas de vazões de projeto. Esta estimativa de precipitação é estatística, pois sua frequência é incerta e a sua intensidade descontinua em toda a sua área. (TUCCI 2014).

Uma Chuva de Projeto é um evento idealizado em que associamos uma distribuição temporal e uma probabilidade de ocorrência. Ou seja, ela pode ser completamente definida por três elementos básicos: intensidade, período de retorno, duração. (BEMFICA; GOLDENFUM; SILVEIRA, 2000).

O escoamento superficial resultante das precipitações de chuva é um componente importante para fornecer subsídios para a quantificação de água disponível em uma bacia, assim como o controle de inundação e a erosão do solo. (TUCCI, 2014).

2.2 Tipos de Medição

Os problemas de alagamentos em áreas urbanas estão, muitas vezes, relacionados às chuvas, pois são nessas áreas que as precipitações possuem menor duração e maior intensidade. (TUCCI, 2014). A obtenção desses dados de precipitação pode ser feita por meio de equipamentos chamados pluviômetros para

medidas diárias, pluviógrafos para medidas no tempo, podendo ser eles, gráficos ou eletrônicos, ou seja, possuir um registro automático. (CONTI, 2002).

Porém, Melati e Marcuzzo (2015) concluíram que “a rede hidrometeorológica nacional contendo estações pluviométricas e pluviográficas deve ser melhor dimensionada para proporcionar um número mínimo de estações que irá evitar falhas na construção de séries históricas confiáveis e bem distribuídas para a adequada gestão dos recursos hídricos”.

Devido à precariedade do número de postos bem distribuídos e dados pluviométricos, surge a necessidade de melhores estimativas de precipitação através de dados de sensoriamento remoto, que podem contribuir significativamente na estimativa de relações IDF. (CONTI, 2002). As estimativas de precipitação por sensoriamento remoto são baseadas em medições de radiação eletromagnética refletida ou emitida pelas nuvens e pela chuva, principalmente nos espectros de frequências correspondentes ao infravermelho, micro-ondas e visível. (ARAUJO; GUETTER, 2007).

Na década de 90 também foram disponibilizados dados de sensores de radar, implantados em satélites. Em geral, as medições provenientes de diversos sensores são combinadas através de algoritmos e, a partir destes, é possível obter estimativas de precipitação para uma determinada região. (ARAUJO; GUETTER, 2007). As imagens obtidas por sensores instalados em satélites estimam a precipitação pela associação de temperaturas de topo de nuvem e pela luz do sol refletida na nuvem. (COLLISCHONN; TASSI, 2008).

A aplicação de sensores de micro-ondas aprimorou a estimativa de precipitação por satélite, que são sensíveis a discriminação de água e/ou cristais de gelo contidas nas nuvens. Podendo-se considerar que as imagens obtidas através de micro-ondas são melhores que as obtidas com base no infravermelho. (TUCCI et al., 2014).

2.3 Chuvas Intensas

Entendida como extrema por obter grandezas críticas para uma determinada área ou bacia hidrográfica, precipitações máximas ou chuvas intensas são definidas como aquelas que precipitam grandes volumes de água em um pequeno espaço de

tempo. As três características das chuvas intensas são a sua intensidade, duração e frequência ou tempo de retorno. (TUCCI, 2014).

Segundo Tucci (2014), o conhecimento das relações IDF tem grande importância para a determinação da chuva, pois através delas é possível definir uma vazão máxima de projeto, contribuindo para obras hidráulicas e utilizadas em projetos de drenagem urbana de águas pluviais, tais como: dimensionamento de bueiros, galerias pluviais, sistemas de drenagem, entre outros.

As características de distribuição temporal e espacial da precipitação são necessárias para obter o hidrograma de projeto característico do escoamento superficial direto, resultante de uma chuva efetiva e a partir dele gerar a vazão da bacia. Usualmente utilizam-se os dados de chuvas intensas para gerar essas vazões. (COLLISCHONN et al., 2007).

A estimativa de vazão de projeto é obtida quando a chuva intensa é associada à duração e ao tempo de retorno, então passa a se chamar chuva de projeto. (MELLO et al., 2008). Para a determinação de chuva de projeto, são utilizadas as equações de chuvas intensas, podendo assim obter vazões de cheias. (TUCCI, 1998). Porém, torna-se difícil obtê-las nos locais que não possuem dados pluviométricos. (MELLO, et al., 2003). Existem vários métodos para obter a chuva de projeto através da IDF, como o método de Chicago, método dos blocos alternados e método do hietograma triangular. (BEMFICA; GOLDENFUM; SILVEIRA, 2000).

2.4 As relações IDF

As grandezas IDF que caracterizam as chuvas máximas devem ser obtidas pela análise de precipitações de um longo período de tempo, de maneira que se estabeleça uma frequência como probabilidades, que irão tornar-se curvas de intensidade x duração para diferentes períodos de retorno. (TUCCI, 2014).

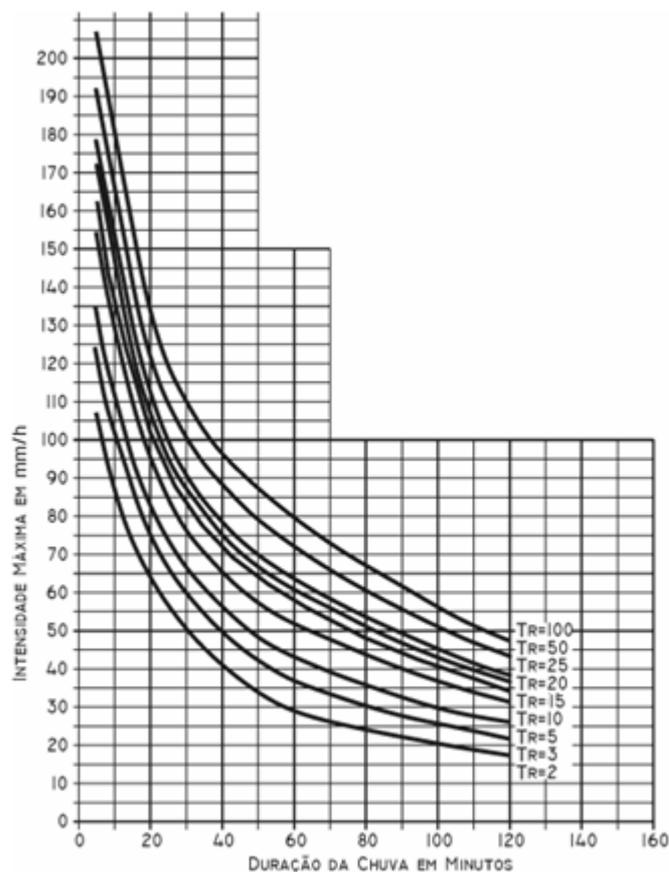
As relações de intensidade, duração e frequência são analisadas com base em dados de precipitação, observando as probabilidades das chuvas intensas que podem ocorrer com determinada periodicidade. (TUCCI, 2014).

Na figura 1 é apresentada uma curva IDF, obtida a partir dos dados pluviográficos, para um posto em Porto Alegre. Cada uma das linhas representa um tempo de retorno, no eixo horizontal estão as durações e no eixo vertical estão as

intensidades. Podemos perceber que quanto mais intensa for uma precipitação, menor será sua duração, assim, podemos observar que a duração é inversamente proporcional à intensidade. (TUCCI, 2014).

Sabendo-se que o tempo de recorrência (Tr) é fundamental para o dimensionamento de obras de drenagem, e também que a intensidade da precipitação é diretamente proporcional ao tempo de retorno, conclui-se que quanto maior for o tempo de retorno, maior as chances de ocorrência de uma chuva de grande magnitude. Mas, ressalta-se que chuvas de alto tempo de retorno estão associadas a eventos intensos (BERTOLDI et al., 2016).

Figura 1 - Curvas intensidade-duração-frequência para a cidade de Porto Alegre



Fonte: Tucci (2014).

2.4.1 Conceitos de curvas intensidade, duração e frequência (IDF).

Existem diversos métodos aceitáveis que geram as relações IDF e determinam a intensidade que se deve considerar na elaboração de projetos de drenagem. (FREITAS, 2016).

De acordo com Tucci (2014, p.181),

Altura pluviométrica (P ou r): é a espessura média da lâmina de água precipitada que recobriria a região atingida pela precipitação admitindo-se que essa água não se infiltrasse, não se evaporasse, nem se escoasse para fora dos limites da região. A unidade de medição habitual é o milímetro de chuva, definido como a quantidade de precipitação correspondente ao volume de 1 litro por metro quadrado de superfície;

Duração: é o período de tempo durante o qual a chuva cai. As unidades normalmente utilizadas são o minuto ou a hora;

Intensidade (i): é a precipitação por unidade de tempo, obtida como a relação $i=P/t$. Expressa-se normalmente em mm/h ou mm/min. A intensidade de uma precipitação apresenta variabilidade temporal, mas, para análise dos processos hidrológicos, geralmente são definidos intervalos de tempo nos quais é considerada constante.

Frequência de probabilidade e tempo de recorrência (Tr): a precipitação é um fenômeno de tipo aleatório. Na análise de alturas pluviométricas (ou intensidades) máximas, o Tr é interpretado como o número médio de anos durante o qual espera-se que a precipitação analisada seja igualada ou superada.

2.4.2 Determinação das curvas IDF em locais com dados pluviométricos

Para determinar a curva intensidade, duração e frequência, devem-se analisar as chuvas máximas acumuladas durante um longo intervalo de tempo. (TUCCI, 2014). Normalmente, as curvas de intensidade, duração e frequência (IDF) são obtidas através do ajuste de uma distribuição estatística de valores extremos de precipitação realizada, com os valores de precipitações máximas anuais para cada período de tempo. As durações normalmente utilizadas são: 5, 10, 15, 30 minutos, 1, 2, 6, 12 e 24 horas. (SCHARDONG; SRIVASTAV, 2014).

Segundo Tucci, é possível obter as relações intensidade, duração e frequência e gerar as curvas por equações genéricas:

$$i = \frac{a \cdot Tr^b}{(t+c)^d} \quad (1)$$

Onde:

i = intensidade, em mm/h;

T_r = tempo de retorno, em anos;

t = duração da chuva, em minutos;

a, b, c, d = parâmetros determinados para cada local.

Também podem ser empregadas as equações obtidas por Otto Pfafstetter (1957), que elaborou equações de chuvas máximas para diversos postos pluviográficos e determinou as curvas IDF. A equação por ele ajustada tem o seguinte modelo:

$$P = R \cdot [a \cdot t + b \cdot \log(1 + c \cdot t)] \quad (2)$$

Onde:

P = precipitação máxima em mm;

t = duração da precipitação em horas;

a, b e c = constantes para cada posto;

R = um fator de probabilidade.

O fator de probabilidade R é definido como:

$$R = T_r^{(\alpha + \frac{\beta}{T_r^\gamma})} \quad (3)$$

Onde:

T_r = tempo de retorno em anos;

α e β = valores que dependem da duração da precipitação;

γ = constante (adotada para todos os postos igual a 0,25).

2.4.3 Determinação das curvas IDF em locais sem dados pluviométricos

No caso de ausência de dados para o local de estudo ou de projeto, pode-se utilizar a precipitação média, através dos métodos de interpolação de chuva de outros postos próximos, desde que possua características climáticas similares à área

desejada. Na falta de dados pluviográficos, pode-se empregar dados de um pluviômetro mais próximo ao local, porém o mesmo deve apresentar no mínimo 10 anos de observação. (DNIT, 2005). Tucci (2014) reafirma que é possível determinar as relações de intensidade, duração e frequência aplicando metodologias a partir de dados acessíveis na região.

2.5 A estimativa de precipitação através de sensoriamento remoto

As imagens de satélite tem se tornado um recurso para monitorar e gerar informação do tempo e do clima. Para a estimativa de precipitações o sensoriamento remoto se dá a partir da fonte de energia ou iluminação, que pode ser pela luz do sol ou pode ser emitida pelo alvo, havendo um registro de energia pelo sensor instalado no satélite. No caso do estudo da meteorologia, a luz do sol reflete por nuvens e a radiação transmite a informação do volume de água no seu interior.

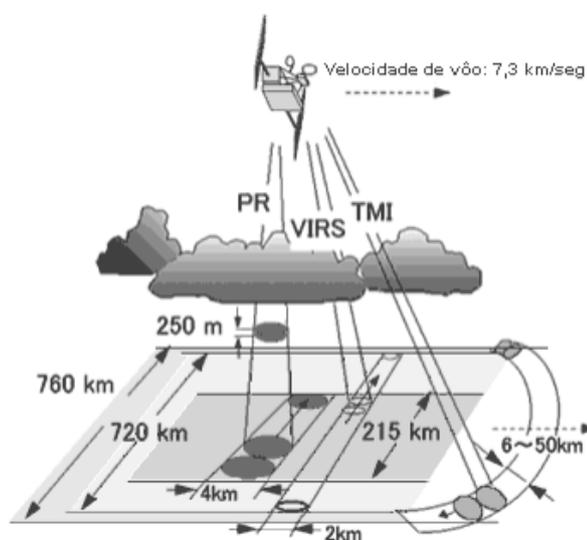
Além disso, existe a estimativa associada à temperatura de topo, que se relaciona à quantidade de precipitação, podendo ser adquirida por medições de radiação e reflexão em bandas de infravermelho. As temperaturas de topo de uma nuvem estão relacionadas a uma quantidade maior de precipitação. Isso não quer dizer que toda nuvem com refletância baixa está produzindo precipitação. (TUCCI et al., 2014).

2.5.1 Projeto TRMM

O satélite TRMM é um projeto em parceria entre a NASA e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA) e foi lançado em 27 de novembro de 1997 com o objetivo específico de monitorar e estudar a precipitação obtendo dados científicos valiosos. O conjunto de dados da TRMM tornou-se o padrão espacial para medir a precipitação e levou a pesquisa que melhorou a nossa compreensão da estrutura e evolução do ciclone tropical, propriedades do sistema convectivo, relações relâmpago-tempestade, modelagem climática e impactos humanos nas chuvas. Os dados também apoiaram aplicações operacionais, como o

monitoramento de inundações e secas e a previsão do tempo. A figura 2, abaixo, a representação de aquisição de dados do TRMM. (TRMM NASA).

Figura 2 – Representação do processo de aquisição de dados do TRMM



Fonte: daac.gsfc.nasa.gov.

2.5.1 Produto MERGE

O produto de precipitação MERGE consiste em uma combinação de precipitação observada com estimativa de precipitação por satélite. Este produto é gerado e disponibilizado operacionalmente pelo CPTEC/INPE utilizando dois tipos de estimativa de precipitação por satélite gerado a partir do The Tropical Rainfall Measuring Mission TRMM-TMPA 3B42RT e GPM-IMERG V04. A base de dados é disponibilizada em formato binário com resolução de 20 km e as saídas são diárias (acumulado em 24 horas) cobrindo a América do Sul (82.8°W-34°W e 52.2°S-12.2°N) (ROZANTE, 2010).

Segundo o Manual de exemplo de aplicação do Modelo MGB-IPH, os dados MERGE cobrem toda a região da América do Sul e podem servir para regiões com escassez de dados de chuva. A base de dados contém registros diários desde 02/01/1998 e é disponibilizada no site do Grupo de Pesquisa de Hidrologia de Grande

Escala que faz parte do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.¹ Os arquivos baixados no formato .ftp são compostos por um arquivo em formato .ctl e um arquivo .bin diário, ou seja, estão em formato binário sendo necessário utilizar um leitor de binários para a decodificação dos dados.

2.6 Estudos anteriores sobre IDF e dados de sensoriamento remoto

Estudos anteriores envolvendo a construção de curvas IDF e utilização de dados de sensoriamento remoto são citados a seguir:

Análise comparativa entre dados de precipitação e de níveis de água estimados via produto MERGE e satélite ENVISAT bacia Amazônica. (VERGASTA, Leonardo; OLIVEIRA, Robson; FIGLIUOLO, Guilherme; SOUSA, Aline; PEREIRA, Phillipe; CORREIA, Francis; SILVA, Joecila; CALMANT, Atéphane, SEYLER, Frederique, 2013).

Através de uma análise comparativa dos dados de chuva do MERGE e dados de satélite, este trabalho objetivou o entendimento e estimação dos regimes pluviométricos e hidrológicos. Para Vergasta et al. (2013), pode-se afirmar que “os dados do produto MERGE e do satélite ENVISAT podem ser uma alternativa para obtenção de dados in situ”.

Uso de dados de precipitação de satélite MERGE/CPTEC para modelagem hidrológica de grandes bacias. (FLEISCHMANN, Ayan; FAN, Fernando; SIQUEIRA, Vinícius; PONTES; Paulo; COLLISCHONN, Walter, 2014).

Devido à carência de dados em determinadas regiões, neste estudo são abordados modelos hidrológicos do tipo chuva-vazão através do desenvolvimento de ferramentas que permitam o uso e visualização dos dados de chuva de satélite do produto MERGE/CPTEC. Fleischmann et al. (2014) relata no seu estudo que “os resultados obtidos indicaram que os hidrogramas obtidos com a simulação para a

¹ Disponível em: <https://www.ufrgs.br/hge/>

bacia do Rio Uruguai foram satisfatórios, apresentando vazões calculadas semelhantes às observadas”.

Simulação Hidrológica na Bacia do rio Piratini, Rio Grande do Sul, a partir de dados de chuva observada e dados de chuva derivados do produto MERGE. (MUNAR, Andrés; COLLISCHONN, Walter, 2014).

Este trabalho apresenta uma avaliação do Modelo de Grandes Bacias MGB-IPH na bacia do rio Piratini utilizando uma base de dados pluviométricos e dados de chuva derivados do produto MERGE. De acordo com Collischonn e Munar (2014), “o modelo permite avaliar resultados e estimar vazões mínimas, médias e máximas de maneira consistente, na bacia hidrográfica do rio Piratini”.

Análise Hidrológica da região de São Miguel do Oeste para Obtenção de uma equação de chuvas intensas (IDF). (TUMELERO, Tatiana; BERTOLDI, Loivo; SANTOS, Andre; LEZONIER, Leonardo, 2016).

Este trabalho objetivou a construção e análise da curva da IDF utilizando o método da desagregação de chuvas diárias que emprega o uso de coeficientes para obter chuvas menores, a partir de dados pertencentes a Agência Nacional de Águas (ANA).

Análise da aplicabilidade de padrões de chuva de projeto a Porto Alegre. (BEMFICA, Daniela; GOLDENFUM, Joel; SILVEIRA, André, 2000).

Neste trabalho foram obtidas as chuvas de projeto a partir de duas estações pluviométrica da cidade de Porto Alegre. A partir de um ajuste estatístico analisou-se a aplicação da chuva de projeto em cada estação pluviométrica e foram gerados hietogramas utilizando os métodos de Chicago, blocos alternados e hietograma triangular podendo assim comparar as vazões e concluir que as chuvas de diferentes projetos apresentaram volumes parecidos.

Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior. (COLLISCHONN, Bruno; ALLASIA, Daniel; COLLISCHONN, Walter; TUCCI, Carlos, 2007).

Devido ao baixo número de pluviômetros na bacia, neste trabalho foram analisadas as precipitações médias obtidas do satélite TRMM. Foram feitas interpolações de dados de pluviômetros e de satélite e extraídas as precipitações médias. Os resultados a partir de satélite se mostraram eficientes quanto as estações pluviométricas.

Intensidade-duração-frequência de chuvas para o estado de Mato Grosso do Sul. (GRIEBELER, Nori; OLIVEIRA, Luis; FIGUEIREDO, Cícero; SANTOS, Glenio, 2009).

Este trabalho se propôs a obter as relações de intensidades, duração e frequência de precipitações para o Estado do Mato Grosso do Sul através do método de desagregação a partir das informações obtidas na Agência Nacional de Águas (ANA, 2007). Utilizou-se a distribuição de Gumbel onde se mostrou adequada para as estimativas e utilização em projetos hidráulicos.

Validação da Chuva Estimada por satélite na modelagem hidrológica do Alto Iguaçu. (ARAUJO, Anderson; GUETTER, Alexandre, 2007).

Buscou-se avaliar o uso de estimativas de precipitação por satélites (polares e geoestacionários) e por pluviômetros (método inverso do quadrado da distância). Observou-se que o resultado depende do tipo de dado de entrada utilizado, da escala da bacia e do monitoramento pluviométrico. A estimativa por satélite foi satisfatória para previsão de cheias e para obtenção de modelos de chuva-vazão onde há escassez de estações pluviométricas.

Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído. (COLLISCHONN, Bruno).

Neste trabalho avalia-se se as estimativas de precipitação obtidas por satélites TRMM em bacias hidrográficas brasileiras são válidas e se podem ser estimadas através de dados pluviométricos. Analisando a bacia do rio São Francisco

até a UHE Três Marias. Pode-se observar que em regiões onde há a escassez de dados, as estimativas de satélite podem ser uma boa alternativa para a estimativa de precipitação.

2.7 Modelo hidrológico de grandes bacias MGB-IPH

O Modelo Hidrológico de Grandes Bacias MGB-IPH é um modelo de simulação hidrológica, que tem o objetivo de representar o processo de transformação da chuva em vazão, para em uma determinada área simulada a partir de dados hidrológicos de entrada. (COLLISCHONN; 2001).

No modelo MGB-IPH adota-se uma divisão da área em fragmentos menores, essa discretização da bacia é denominada mini-bacias utilizando as ferramentas do IPH Hydro Tools. (BUARQUE et al., 2013).

O IPH Hydro Tools é um pacote de ferramentas que funciona como um plugin de um software de SIG e permite extrair informações como rede de drenagem, delimitação de bacias hidrográficas e mini-bacias a partir do processamento de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) em softwares comerciais de SIG (Sistemas de Informações Geográficas), como o Mapwindow e o QGIS. (SIQUEIRA, 2016).

O Modelo Digital de Elevação (MDE) consiste em um arquivo do tipo raster onde cada célula apresenta a cota do terreno para uma certa resolução espacial. Através do CGIAR é possível obter o MDE a partir de imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) com resolução espacial de aproximadamente 90 metros. (Manual MGB, 2017). Além disso, o modelo MGB conta com um pacote de download e extração de dados do MERGE que possibilita a coleta de dados de precipitação diária para cotas do terreno, bacias hidrográficas e mini-bacias.

2.8 Teste Qui-Quadrado de Pearson para comparação estatística

Para realizar as devidas comparações entre os produtos avaliados no âmbito deste trabalho foi utilizado o teste Qui-Quadrado de Pearson. (VIALI, 2008). Esse teste compara estatisticamente um grupo observado com um grupo esperado. O teste é determinado através da equação:

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}, \quad (4)$$

Onde:

O_i = n de casos observados na linha "i";

E_i = n de casos esperados, sob H_0 , na linha "i".

Os valores de X^2 obtidos possuem uma distribuição com grau de liberdade $gl = k - 1$ onde k é o número total dos dados. O nível de significância (α), usualmente fixado em 5% ($\alpha = 0,05$), é uma a probabilidade de rejeitar uma hipótese verdadeira. Após estabelecido o nível de significância (α) e determinado os graus de liberdade (gl), é possível encontrar o valor crítico X^2_c na tabela de distribuição a seguir:

Graus de liberdade	α									
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,90	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005
1	—	—	0,001	0,004	0,016	2,706	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,010	0,020	0,051	0,103	0,211	4,605	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,072	0,115	0,216	0,352	0,584	6,251	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	1,064	7,779	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	1,145	1,610	9,236	11,071	12,833	15,086	16,750
6	0,676	0,872	1,237	1,635	2,204	10,645	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,690	2,167	2,833	12,017	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,180	2,733	3,490	13,362	15,507	17,535	20,090	21,955
9	1,735	2,088	2,700	3,325	4,168	14,684	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	3,940	4,865	15,987	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,053	3,816	4,575	5,578	17,275	19,675	21,920	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	6,304	18,549	21,026	23,337	26,217	28,299
13	3,565	4,107	5,009	5,892	7,042	19,812	22,362	24,736	27,688	29,819
14	4,075	4,660	5,629	6,571	7,790	21,064	23,685	26,119	29,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	8,547	22,307	24,996	27,488	30,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	9,312	23,542	26,296	28,845	32,000	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	10,085	24,769	27,587	30,191	33,409	35,718
18	6,265	7,015	8,231	9,390	10,865	25,989	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	11,651	27,204	30,144	32,852	36,191	38,582
20	7,434	8,260	9,591	10,851	12,443	28,412	31,410	34,170	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	13,240	29,615	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	14,042	30,813	33,924	36,781	40,289	42,796
23	9,260	10,196	11,689	13,091	14,848	32,007	35,172	38,076	41,638	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	15,659	33,196	36,415	39,364	42,980	45,559
25	10,520	11,524	13,120	14,611	16,473	34,382	37,652	40,646	44,314	46,928
26	11,160	12,198	13,844	15,379	17,292	35,563	38,885	41,923	45,642	48,290
27	11,808	12,879	14,573	16,151	18,114	36,741	40,113	43,194	46,963	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	18,939	37,916	41,337	44,461	48,278	50,993
29	13,121	14,257	16,047	17,708	19,768	39,087	42,557	45,722	49,588	52,336
30	13,787	14,954	16,791	18,493	20,599	40,256	43,773	46,979	50,892	53,672
40	20,707	22,164	24,433	26,509	29,051	51,805	55,758	59,342	63,691	66,766
50	27,991	29,707	32,357	34,764	37,689	63,167	67,505	71,420	76,154	79,490
60	35,534	37,485	40,482	43,188	46,459	74,397	79,082	83,298	88,379	91,952
70	43,275	45,442	48,758	51,739	55,329	85,527	90,531	95,023	100,425	104,215
80	51,172	53,540	57,153	60,391	64,278	96,578	101,879	106,629	112,329	116,321
90	59,196	61,754	65,647	69,126	73,291	107,565	113,145	118,136	124,116	128,299
100	67,328	70,065	74,222	77,929	82,358	118,498	124,342	129,561	135,807	140,169

Fonte: OWEN, D. B. Handbook of Statistical Tables.

Para a aplicação deste teste estatístico, é preciso estabelecer uma hipótese nula (H_0): Não existe diferença estatística entre as frequências observadas e esperadas para um determinado nível de significância. Tendo formulado a hipótese nula deve-se estabelecer o nível de significância, que é a probabilidade do erro acontecer, e o grau de liberdade da amostra, podendo assim encontrar o valor crítico, que é tabelado. Desta forma, realiza-se uma comparação dos valores de X^2 e X^2_c . Se o valor calculado estiver na região crítica, ou seja, for maior ou igual ao valor crítico, rejeita-se a hipótese nula, caso contrário aceita-se a hipótese.

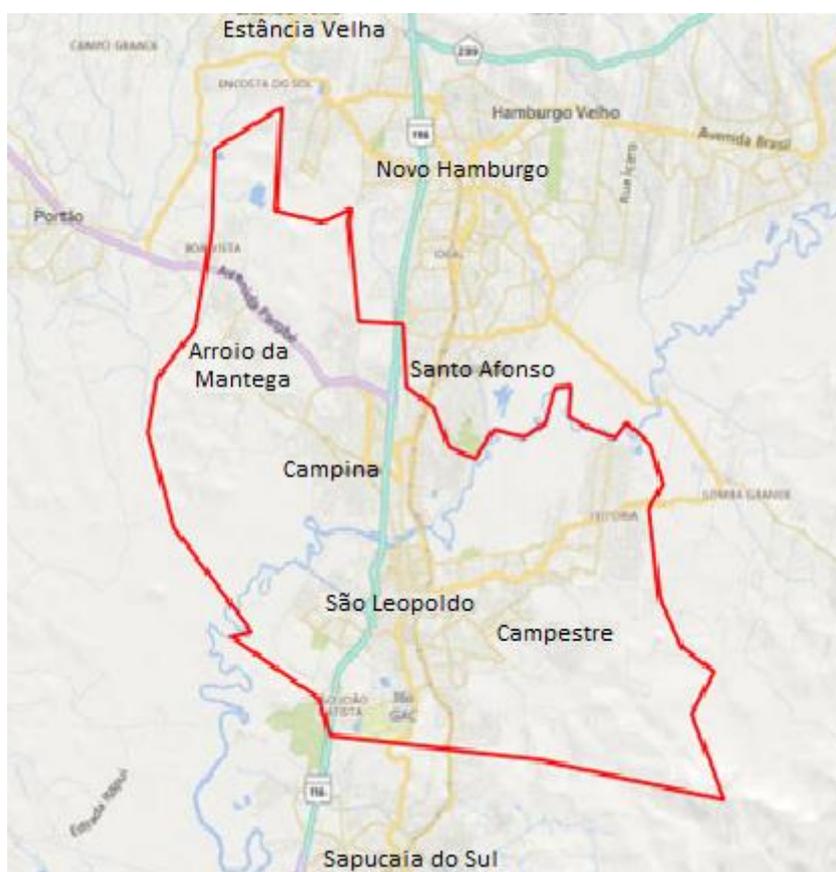
3 METODOLOGIA

Este item se divide em duas partes. Na primeira parte é apresentada a área de estudo, na segunda parte é mostrado, em seis subitens, como a curva IDF foi estabelecida.

3.1 Área de estudo: São Leopoldo

De acordo com o Censo Demográfico de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, o município de São Leopoldo possui uma população de 214.087 habitantes, com uma estimativa para 2018 de 234.947 habitantes. Possui uma unidade territorial de 102.31km². (IBGE, 2018). Na figura 3 abaixo, está a localização e limite urbano da cidade de São Leopoldo.

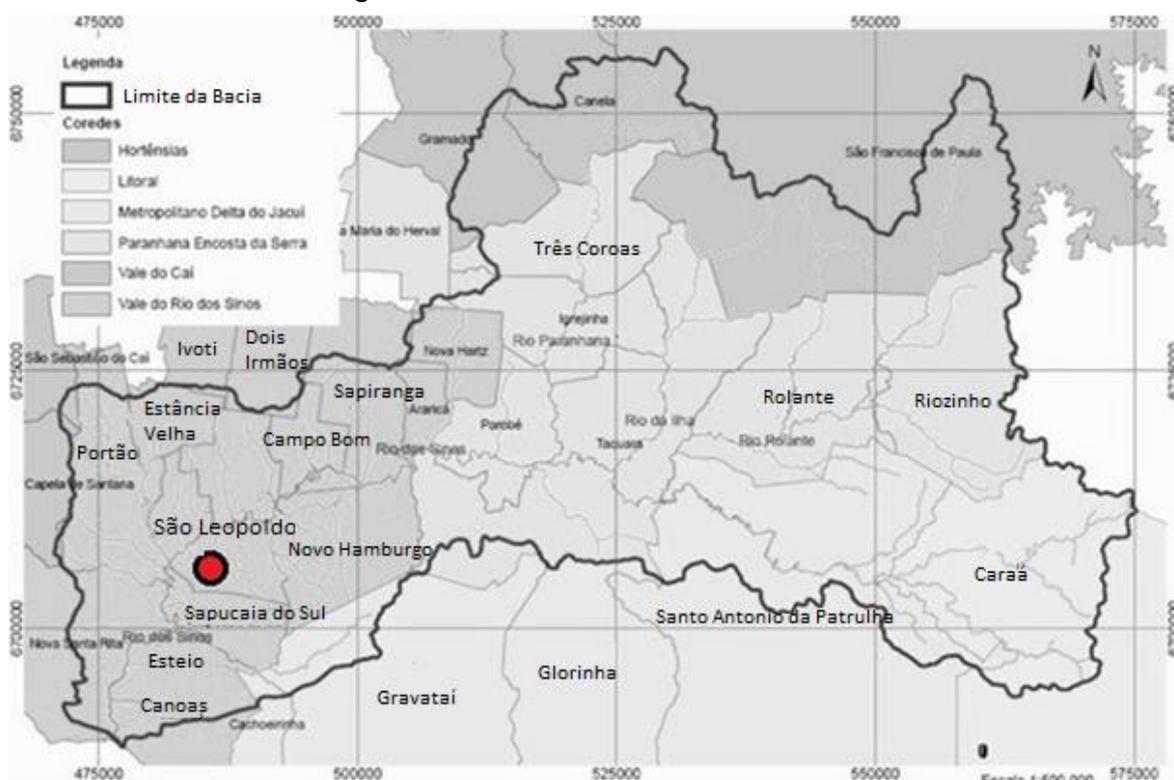
Figura 3 - Limite urbano da cidade de São Leopoldo



Fonte: Elaborada pela autora.

A região analisada compreende a bacia hidrográfica do rio dos Sinos, localizada no nordeste do estado do Rio Grande do Sul entre as coordenadas geográficas 29°20' a 30°10' de latitude sul 50°15' a 51°20' de longitude oeste, envolvendo os municípios como Campo Bom, Canoas, Gramado, Igrejinha, Novo Hamburgo, São Leopoldo, Sapucaia do Sul, Caraá, Taquara e Três Coroas, conforme a figura 4.

Figura 4 - Bacia do Rio dos Sinos



Fonte: PROSINOS (2009).

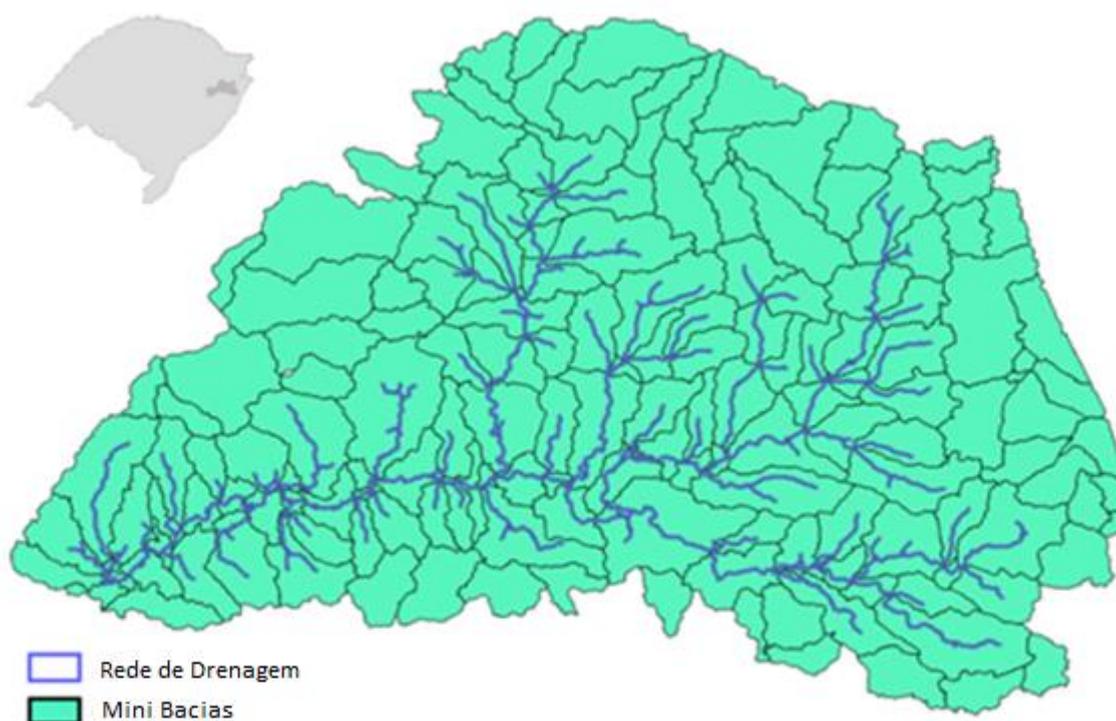
3.2 Construção da curva IDF

3.2.1 Modelo hidrológico MGB IPH (SIG- QGIS)

A metodologia adotada neste trabalho integra um software de Sistemas de Informações Geográficas chamado Quantum GIS e um modelo hidrológico chuva-vazão de grandes bacias chamado MGB-IPH (Colischonn et al., 2012). Foi realizada uma aplicação do modelo MGB-IPH para a bacia do Rio dos Sinos. Partindo do uso

do MGB foi utilizado o conjunto de ferramentas IPH-Hydro Tools, construindo arquivos como discretização da bacia hidrográfica em mini-bacias e rede de drenagem. A Figura 5 apresenta o resultado da discretização da bacia do rio dos Sinos em mini-bacias e trechos de rio, totalizando 171 mini-bacias.

Figura 5 – Mini-bacias e rede de drenagem da bacia Rio dos Sinos



Fonte: Elaborada pela autora.

Montando um MGB para a área de São Leopoldo através da realização das etapas de pré-processamento foi possível utilizar como dados de entrada de chuva os dados MERGE e gerar dados históricos de precipitação para cada mini-bacia.

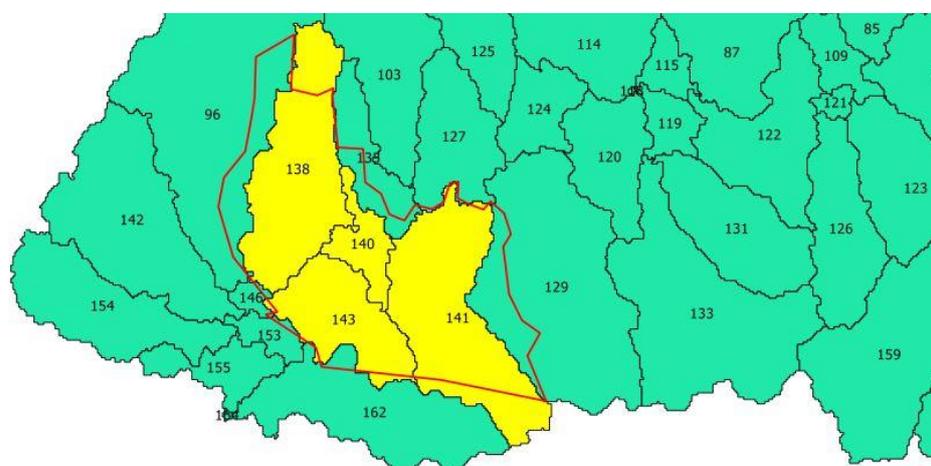
A partir dos dados de saída condizentes de chuva para o local foi utilizado o programa Leitor de Binários (IPH UFRGS, 2018) para a conversão dos dados binários para formato texto (.txt) obtidos através do uso do modelo Hidrológico MGB-IPH, assim obtendo os dados de chuva.

3.2.2 Processamento dos dados de entrada

Na cidade de São Leopoldo existem cinco estações pluviométricas nos Bairros: Santa Teresa, Vicentina, Feitoria, Unisinos e Arroio da Mantega. Porém, não há registros de precipitações para estes postos no sistema ANA/HidroWeb. Portanto, para o presente estudo, foram coletados dados meteorológicos da região disponíveis na base de dados MERGE disponibilizado pelo CPTEC/INPE no período de Janeiro de 1998 a Dezembro de 2014, totalizando 17 anos.

Por meio do software Quantum GIS foram identificadas as mini-bacias e suas áreas contidas no limite administrativo de São Leopoldo com suas respectivas numerações, 138, 140, 141 e 143 conforme figura 6. Para este estudo foram utilizados apenas os dados de precipitações das quatro mini-bacias que correspondem à cidade de São Leopoldo.

Figura 6 – Mini-bacias pertencentes à cidade de São Leopoldo



Fonte: Elaborada pela autora.

Na figura 6 a linha em vermelho representa o limite geográfico do município de São Leopoldo, em amarelo estão as quatro mini-bacias que mais se aproximam do limite geográfico da cidade e, em verde, outras mini-bacias pertencentes à bacia do Rio dos Sinos.

Considerando as mini-bacias 138, 140, 141 e 143 obteve-se uma área total de 93,147 km² que será utilizada neste estudo. Abaixo, na tabela 2, as áreas geradas pelo software QGIS de cada mini-bacia:

Tabela 2 - Áreas das mini-bacias da cidade de São Leopoldo

Mini-bacia	Área (km ²)
138	31,48
140	7,37
141	36,13
143	18,15

Fonte: Elaborada pela autora.

Segundo Tucci (2014), a determinação da relação entre estas três variáveis (curvas i-d-f) deve ser deduzida das observações das chuvas intensas durante um período de tempo suficientemente longo e representativo dos eventos extremos do local. Na análise estatística da estrutura hidrológica das séries de chuva podem ser seguidos dois enfoques alternativos: séries anuais ou séries parciais.

A escolha de um ou outro tipo de série depende do tamanho da série disponível e do objetivo do estudo. A metodologia de séries anuais é utilizada quando o número de anos de dados é superior a 12 anos.

A partir da série histórica de chuvas diárias entre os anos de 1998 a 2014, foi calculada a média ponderada das precipitações pelas áreas das mini-bacias para encontrar uma precipitação para São Leopoldo. Conforme mostra na tabela 3, os dados foram organizados utilizando a metodologia de séries anuais e somente os valores de precipitações máximas diárias foram escolhidos, resultando em 17 valores de precipitações.

Tabela 3 - Valores de precipitações diárias máximas anuais

ANO	MÁXIMAS ANUAIS DIÁRIAS (mm)
1998	111,64
1999	83,70
2000	132,17
2001	84,57
2002	103,49
2003	156,92
2004	98,86
2005	76,89
2006	63,65
2007	119,58
2008	79,96
2009	84,21
2010	72,55
2011	94,44
2012	100,79
2013	83,11
2014	68,12

Fonte: Elaborada pela autora.

3.2.3 Cálculo dos Tempos de Retorno

Para o estudo de séries de máximos, os valores observados em cada ano foram ordenados do evento mais raro para o menos raro, ou seja, no sentido decrescente e ordenados também pela colocação do valor da amostra de 1 a 17, conforme a tabela 4.

Tabela 4 - Valores de precipitações máximas em ordem decrescente

ORDEM (i)	ANO	MÁXIMAS ANUAIS
1	2003	156,92
2	2000	132,17
3	2007	119,58
4	1998	111,64
5	2002	103,49
6	2012	100,79
7	2004	98,86
8	2011	94,44
9	2001	84,57
10	2009	84,21
11	1999	83,70
12	2013	83,11
13	2008	79,96
14	2005	76,89
15	2010	72,55
16	2014	68,12
17	2006	63,65

Fonte: Elaborada pela autora.

A partir da tabela 4, podemos calcular o Tempo de Retorno (Tr). Existem diversas fórmulas para o cálculo do Tr . A fórmula de Weibull é a mais utilizada na prática hidrológica. Porém, segundo Tucci (2014) existem indícios, de que se trata da pior escolha.

Fórmula de Weibull:

$$Tr = (n + 1)/i \quad (5)$$

Onde:

n = número de anos da amostra;

i = ordem da colocação dos valores da amostra.

Para o cálculo da estimativa de tempo de retorno para a amostra ordenada deste estudo, foi utilizada a fórmula de Cunnane, que dá bons resultados com a maioria das distribuições utilizadas na prática hidrológica. (TUCCI, 2014).

Fórmula de Cunnane:

$$Tr = (n + 0,2)/(i - 0,4) \quad (6)$$

Onde:

n = número de anos da amostra;

i = ordem da colocação dos valores da amostra.

O número de anos da amostra é obtido através do número de dados diários da amostra dividido pelo número de dias por ano considerando-se os anos bissextos.

3.3.4 Cálculo das precipitações pela distribuição de Gumbel

Para distribuições de probabilidade em uma análise de dados climatológicos de uma variável de máximo observado para um determinado período, a distribuição de Gumbel fornece os melhores resultados e é de uso generalizado em hidrologia. Esta distribuição é também conhecida como distribuição de eventos extremos, de Fischer-Tippett ou dupla exponencial.

Para a utilização da distribuição de Gumbel é utilizada a seguinte função cumulativa de probabilidades:

$$P[Y \leq y] = -e^{-y}, \text{ com } y = \alpha \cdot (p - \mu) \quad (7)$$

Onde:

P = probabilidade de não excedência;

α e μ = parâmetros da distribuição;

p = precipitação em mm.

Toma-se o logaritmo natural de ambos os lados da equação, inverte-se o sinal e toma-se outra vez o logaritmo natural de ambos os lados. Sabendo que o tempo de retorno é o inverso da probabilidade de não-excedências, $Tr = 1/1-P$, o resultado tem grande aplicação em hidrologia no ajuste de chuvas e vazões máximas, permitindo a

obtenção dos valores de vazão máxima em função dos tempos de retorno padrão: 2, 5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos. (TUCCI, 2014).

$$P[Y \leq y] = -e^{-y}, \text{ com } y = \alpha \cdot (p - \mu) \quad (8)$$

$$y = \alpha (p - \mu) = -\text{Ln}\{-\text{Ln}(P[Y \leq y])\} \text{ ou } p = \mu + \left(-\frac{1}{\alpha}\right) \text{Ln}\{-\text{Ln}(P[Y \leq y])\} \quad (9)$$

$$p = \mu - \left(\frac{1}{\alpha}\right) \cdot \text{Ln}\left[-\text{Ln}\left(1 - \frac{1}{T_r}\right)\right] \quad (10)$$

Os dois primeiros momentos da distribuição de Gumbel, que deverão ser usados para estimativas dos parâmetros α e μ são:

$$E(Y) = \mu + \frac{0,577}{\alpha} \quad (11)$$

$$\text{Var}(Y) = \frac{\pi^2}{6\alpha^2} = \frac{1,645}{\alpha^2} \quad (12)$$

O ajuste dos parâmetros pelo método dos momentos é realizado pela solução do sistema de equações obtido pela substituição de $E[Y]$ e $\text{VAR}[Y]$ por suas estimativas amostrais \bar{X} e s . Como resultado de \bar{X} (média aritmética) e s (desvio padrão) das precipitações máximas anuais obtém-se:

$$\alpha = \frac{1,2826}{s} \quad (13)$$

$$\mu = \bar{X} - 0,451 \cdot s \quad (14)$$

Na tabela abaixo, podemos observar os valores da média, desvio padrão e dos parâmetros calculados para a série de precipitações máximas anuais diárias:

Tabela 5 – Parâmetros para a distribuição de Gumbel

MÉDIA (\bar{X})	94.98
DESV. PADRÃO (s)	24.34
μ	84.004
α	0.053

Fonte: Elaborada pela autora.

A partir da tabela 6 verificou-se que a distribuição de Gumbel se ajustou adequadamente à curva de precipitações máximas anuais observadas.

Tabela 6 – Verificação da adequação da distribuição de Gumbel

ORDEM (i)	ANO	MÁXIMAS ANUAIS DIÁRIAS (mm)	TR (Cunnane)	p (mm) Gumbel
1	2003	156,92	28,66	147,33
2	2000	132,17	10,75	128,14
3	2007	119,58	6,61	118,31
4	1998	111,64	4,78	111,49
5	2002	103,49	3,74	106,15
6	2012	100,79	3,07	101,68
7	2004	98,86	2,61	97,77
8	2011	94,44	2,26	94,23
9	2001	84,57	2,00	90,95
10	2009	84,21	1,79	87,84
11	1999	83,70	1,62	84,82
12	2013	83,11	1,48	81,81
13	2008	79,96	1,36	78,75
14	2005	76,89	1,26	75,51
15	2010	72,55	1,18	71,92
16	2014	68,12	1,10	67,58
17	2006	63,65	1,04	61,00

Fonte: Elaborado pela autora.

Aplicando à equação de Gumbel algebricamente manipulada os parâmetros para a distribuição, foram calculados os períodos de retorno padrão de 2, 5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos respectivamente, retratados na tabela abaixo:

Tabela 7 – Precipitações calculadas pela distribuição de Gumbel

TR	p (mm)
100	171.28
50	158.04
25	144.69
15	134.73
10	126.70
5	112.46
2	90.96

Fonte: Elaborado pela autora.

3.2.5 Coeficientes de desagregação

Os dados do MERGE são disponibilizados em formato binário com resolução de 20km. As saídas são diárias (acumulado em 24h) cobrindo a América do Sul (82.8°W-34°W e 52.2°S-12.2°N). Portanto, é necessário utilizar coeficientes de desagregação, um método que busca desagregar os dados diários para durações menores por meio do uso de coeficientes. Existem inúmeros coeficientes de desagregação da chuva diária, um dos mais utilizados foi gerado pelo CETESB (1979) pela sua simples compreensão, pois possuem valores médios para todo o Brasil conforme mostra a tabela abaixo:

Tabela 8 – Coeficientes de desagregação para o Brasil

Relação de durações	Relação de chuvas
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
30 min / 1h	0,74
1 h / 24 h	0,42
6 h / 24 h	0,72
8 h / 24 h	0,78
10 h / 24h	0,82
12 h / 24 h	0,85

Fonte: DAEE/CETESB, 1979.

Robaina e Peiter (1992) propuseram um modelo de desagregação para chuvas com duração de 24h medidas em pluviômetros no estado do Rio Grande do Sul e concluíram que “a desagregação gerada para a região apresentou resultados satisfatórios, fazendo com que os dados de precipitação desagregados fossem bem semelhantes aos dados observados na região, o que permite encontrar curvas IDF bem mais confiáveis para esta região”.

Neste estudo para a desagregação de chuvas diárias foi aplicada a função proposta por Robaina e Peiter a cada valor de precipitação. A função proposta está descrita abaixo:

$$f(t) = 0,00008 \cdot t + 0,144 \cdot \ln(1 + 0,33 \cdot t) \quad (15)$$

onde:

t = duração expressa em minutos.

A partir da equação de Robaina e Peiter foram calculados os coeficientes de desagregação para as durações utilizadas.

Tabela 9 – Coeficientes de desagregação para o Rio Grande do Sul

Duração (min)	5	10	15	30	60	360	720	1440
Coeficiente de desagregação	0.1368	0.2050	0.2509	0.3368	0.4297	0.6988	0.8241	0.9784

Fonte: Elaborada pela autora.

3.2.6 Tabelas de intensidade, duração e frequência e curvas IDF

A partir das precipitações calculadas pela distribuição de Gumbel da tabela 7 e os coeficientes de desagregação de Robaina e Peiter da tabela 9 foi possível o cálculo das precipitações para cada duração e cada tempo de retorno estabelecidos e assim, calcular as intensidades em mm/h.

As durações utilizadas para a construção da tabela de intensidades da cidade de São Leopoldo foram: 5, 10, 15, 30, 60, 360, 720 e 1440 minutos. E as frequências de recorrência: 2, 5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos. Esses valores de tempos de retorno são aplicados usualmente em projetos de obras de drenagem urbanas. Utiliza-se 2 a 5 anos para obras de micro drenagem, 5 a 25 para obras de macrodrenagem e 10 a 100 anos para obras de pontes e bueiros.

A partir da tabela de intensidades gerada foi possível a construção do gráfico que representa as curvas das relações intensidade, duração e frequência para o município de São Leopoldo.

4 RESULTADOS

4.1 Validação do método de construção de IDF

A fim de validar o método utilizado para construção da IDF de São Leopoldo, foi realizado um teste estatístico chamado qui-quadrado de Pearson aplicado à IDF consolidada de Porto Alegre e à uma IDF calculada pelo método deste estudo com base nos mesmo dados utilizados para a IDF estabelecida de Porto Alegre. Para criação de uma curva IDF para a cidade de Porto Alegre foram obtidos dados pluviométricos disponíveis do Atlas pluviométrico do Brasil, através da estação meteorológica nacional oficial de Porto Alegre, códigos 03051011 (ANA) e 83967 (INMET), que está localizada nas coordenadas 30°03'13" S e 51°10'24" W, no bairro JardimBotânico, na cidade de Porto Alegre. Desta forma, foi gerada a tabela de intensidades para a cidade de Porto Alegre pelo método deste estudo.

Tabela 10 - Valores de intensidade mm/h de Porto alegre calculada pelo estudo (amostra observada)

Tr / d	5	10	15	30	60	1440
TR 100	225,76	175,01	148,27	109,75	73,21	6,07
TR 50	207,98	160,75	136,22	100,60	66,74	5,61
TR 25	190,07	146,39	124,08	91,38	60,21	5,15
TR 15	176,71	135,68	115,02	84,50	55,35	4,81
TR 10	165,93	127,03	107,72	78,95	51,42	4,53
TR 5	146,82	111,71	94,76	69,12	44,46	4,04
TR 2	117,96	88,57	75,20	54,26	33,95	3,29

Fonte: Elaborada pela autora.

A seguir, na tabela 11, os valores de intensidade fornecidos pelo Atlas Pluviométrico do Brasil para a cidade de Porto Alegre:

Tabela 11 – Valores de intensidade (mm/h) consolidados para Porto Alegre (amostra esperada)

Tr / d	5	10	15	30	60	1440
100	245,50	206,80	178,20	125,00	76,90	7,00
50	212,30	178,80	154,10	108,10	66,50	6,10
25	183,60	154,60	133,30	93,40	57,50	5,40
15	164,90	138,90	119,70	83,90	51,60	4,90
10	151,50	127,60	110,00	77,10	47,40	4,50
5	131,00	110,40	95,10	66,70	41,00	4,00
2	108,10	91,10	78,50	55,00	33,80	3,30

Fonte: Atlas Pluviométrico do Brasil (2015).

Para um nível de significância de 5% e 5 graus de liberdade foi obtido na tabela de distribuição Qui-Quadrado um valor crítico (X_c) de 11,07. Foi feita a comparação de cada curva de tempo de retorno partindo da hipótese nula de que não existe diferença estatística entre a amostra observada, que são as intensidades calculadas pelo método deste estudo, e a amostra esperada, que são as intensidades consolidadas para Porto Alegre.

Sabendo que se X^2 for maior ou igual ao valor crítico retirado da tabela de distribuição, rejeita-se a hipótese nula e, portanto, existe diferença estatística entre as amostras. Comparando o valor encontrado no cálculo Qui-Quadrado com o valor crítico foram obtidos os seguintes resultados:

Tabela 12 - Teste Qui-Quadrado para validação do método

Tr / d	5	10	15	30	60	1440	X^2	X_c ($\alpha=0.05, gl=5$)	Resultado
100	1,587	4,888	5,027	1,859	0,177	0,123	13,661	11,07	diferente
50	0,088	1,822	2,075	0,520	0,001	0,039	4,544		semelhante
25	0,228	0,436	0,638	0,044	0,128	0,012	1,485		semelhante
15	0,846	0,075	0,183	0,004	0,272	0,002	1,382		semelhante
10	1,375	0,003	0,047	0,045	0,341	0,000	1,811		semelhante
5	1,911	0,016	0,001	0,088	0,292	0,000	2,309		semelhante
2	0,900	0,070	0,139	0,010	0,001	0,000	1,119		semelhante

Fonte: Elaborada pela autora.

Foram também calculados os erros médios percentuais entre as duas amostras para cada valor de duração e tempo de retorno, conforme a tabela a seguir:

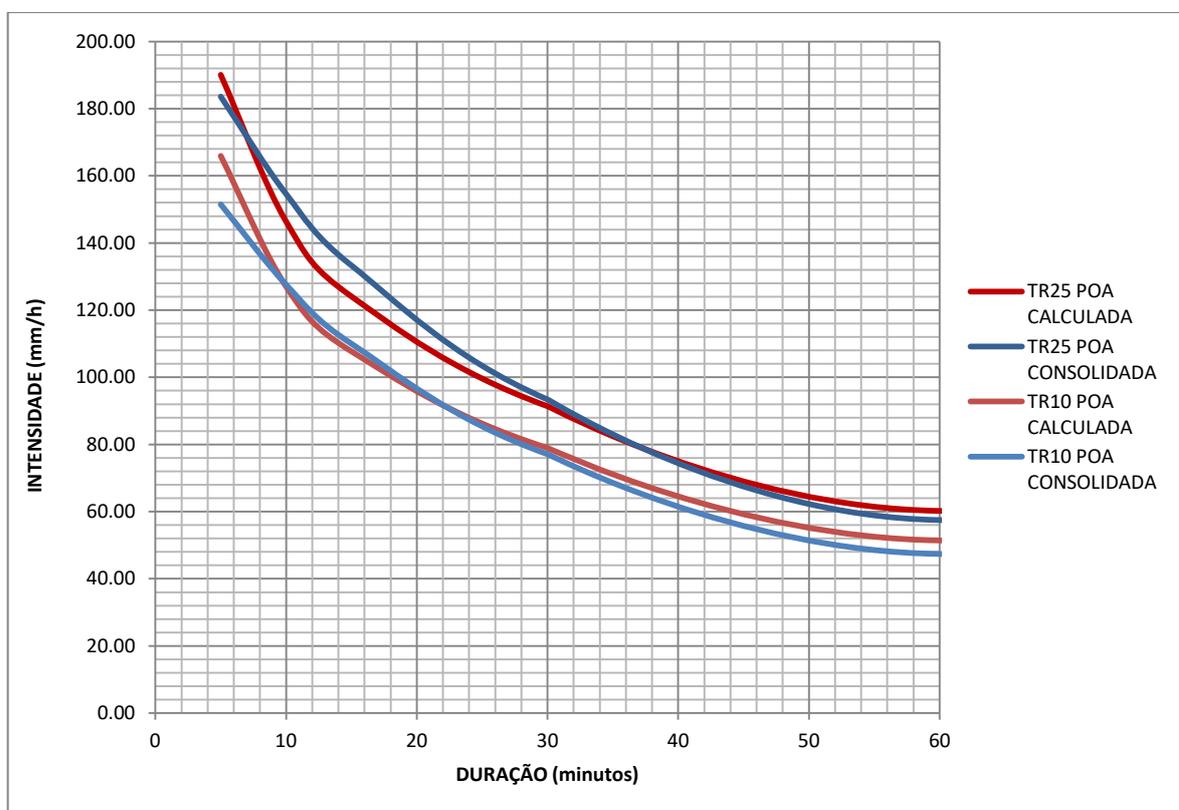
Tabela 13 - Erro médio para validação do método

Tr	Resultado	Erro Médio
100	diferente	11.75%
50	semelhante	6.50%
25	semelhante	4.54%
15	semelhante	3.88%
10	semelhante	3.93%
5	semelhante	4.43%
2	semelhante	3.03%

Fonte: Elaborada pela autora.

É possível observar graficamente a semelhança entre o par de curvas com tempo de retorno de 25 anos e a semelhança do par de curvas com tempo de retorno de 10 anos:

Gráfico 1 – Validação do método de cálculo de IDF



Fonte: Elaborado pela autora.

Os erros entre as duas curvas IDF, observados na tabela 13 e no gráfico 1, são provenientes de diferença na distribuição estatística escolhida para adequação às precipitações máximas anuais observadas, visto que todos os outros fatores que poderiam influenciar o resultado foram os mesmos nas duas situações.

Para tempos de retorno de 50 e 100 anos, os dados podem apresentar imprecisão devido ao número de dados anuais disponíveis. A IDF de estabelecida para Porto Alegre é baseada em projeções estatísticas para os Trs maiores, pois a estação pluviométrica fornece apenas 40 anos de dados de observação. Além disso, existem diversos métodos aceitáveis que geram as relações IDF e determinam a intensidade que se deve considerar na elaboração de projetos de drenagem.

Portanto, pode-se considerar o método utilizado neste estudo válido para construção de IDF, pois as curvas geradas com tempos de retorno de até 50 anos apresentaram semelhança estatística com a curva estabelecida e utilizada para os projetos de drenagem para a cidade de Porto Alegre segundo um nível de significância de 5% no teste Qui-Quadrado de Pearson.

4.2 Curva IDF para a cidade de São Leopoldo

Com o método de construção de IDF validado, a partir dos dados de precipitações máximas anuais calculados pela equação de Gumbel da tabela 7, com base em dados MERGE, e os coeficientes de desagregação para o Rio Grande do Sul de Robaina e Peiter da tabela 9, foram calculadas as intensidades de precipitação em mm/h para cada duração e tempo de retorno estabelecidos para a cidade de São Leopoldo como mostra a tabela 14:

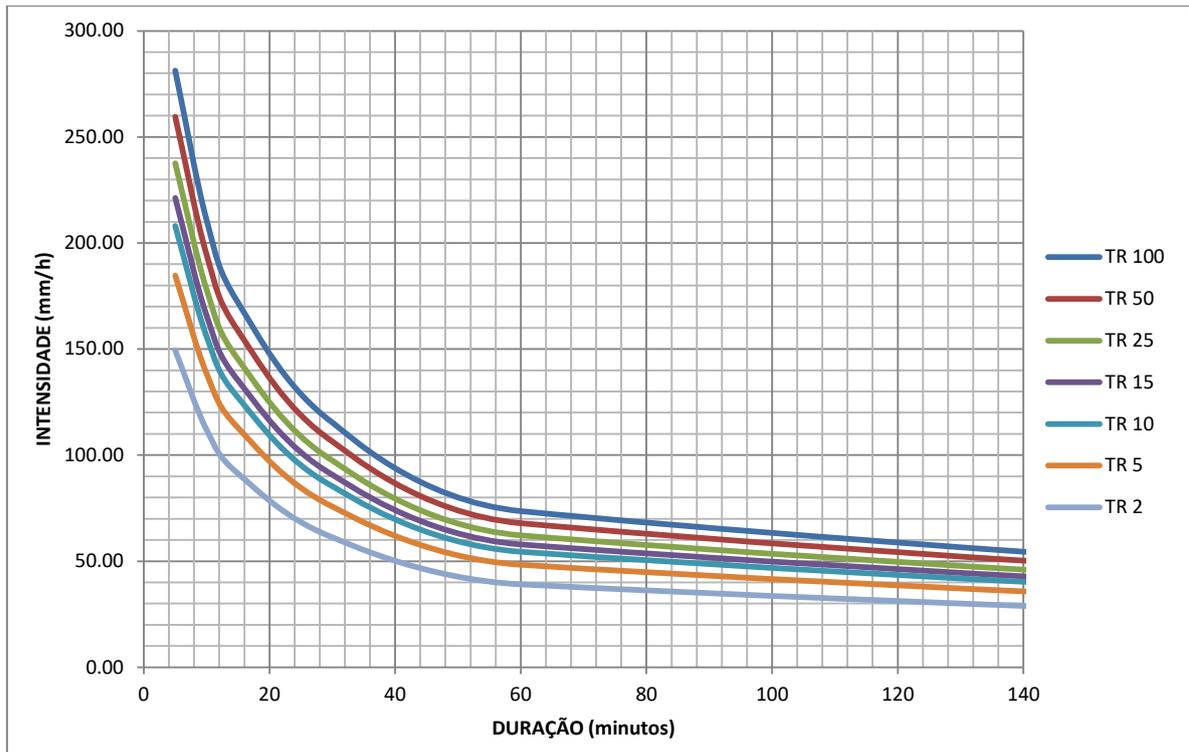
Tabela 14 – Tabela de intensidades (mm/h) para São Leopoldo

Tr / d	5	10	15	30	60	360	720	1440
TR 100	281,26	210,69	171,88	115,39	73,60	19,95	11,76	6,98
TR 50	259,51	194,39	158,59	106,46	67,91	18,41	10,85	6,44
TR 25	237,59	177,98	145,20	97,47	62,17	16,85	9,94	5,90
TR 15	221,24	165,73	135,21	90,76	57,89	15,69	9,25	5,49
TR 10	208,05	155,85	127,14	85,35	54,44	14,76	8,70	5,17
TR 5	184,67	138,33	112,86	75,76	48,32	13,10	7,72	4,58
TR 2	149,36	111,88	91,8	61,27	39,08	10,59	6,25	3,71

Fonte: Elaborada pela autora.

A partir da tabela das intensidades foram geradas as curvas IDF para São Leopoldo, como mostra o gráfico a seguir:

Gráfico 2 - Curva IDF para cidade de São Leopoldo



Fonte: Elaborado pela Autora.

A equação que descreve as curvas de relação de intensidade, duração e frequência para a cidade São Leopoldo foi elaborada a partir da distribuição de Gumbel e da equação de Robaina e Peiter (1992) realizadas neste estudo. A equação abaixo possibilita encontrar o valor da intensidade para qualquer valor de duração e qualquer tempo de retorno.

$$i(t, Tr) = 0,39 - 0,09 \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{Tr} \right) \right] + \frac{1}{t} \ln(1 + 0,33t) \left[707,65 - 158,94 \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{Tr} \right) \right] \right] \quad (16)$$

Onde:

i = intensidade em mm/h;

t = duração em minutos;

Tr = tempo de retorno em anos.

4.3 Comparação São Leopoldo x Porto Alegre Consolidada

A partir da tabela 15 de intensidade, duração e frequência da cidade de São Leopoldo e da tabela 16 de intensidade, duração e frequência da cidade de Porto Alegre, apresentada no Atlas Pluviométrico do Brasil (2015), foi realizada a comparação estatística utilizando o método Qui-Quadrado de Pearson.

Tabela 15 - Valores de intensidade (mm/h) para São Leopoldo (amostra observada)

Tr / d	5	10	15	30	60	360	720	1440
TR 100	281,26	210,69	171,88	115,39	73,60	19,95	11,76	6,98
TR 50	259,51	194,39	158,59	106,46	67,91	18,41	10,85	6,44
TR 25	237,59	177,98	145,20	97,47	62,17	16,85	9,94	5,90
TR 15	221,24	165,73	135,21	90,76	57,89	15,69	9,25	5,49
TR 10	208,05	155,85	127,14	85,35	54,44	14,76	8,70	5,17
TR 5	184,67	138,33	112,86	75,76	48,32	13,10	7,72	4,58
TR 2	149,36	111,88	91,28	61,27	39,08	10,59	6,25	3,71

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 16 - Valores de intensidade (mm/h) consolidados para Porto Alegre (amostra esperada)

Tr / d	5	10	15	30	60	360	720	1440
100	245,50	206,80	178,20	125,00	76,90	19,10	11,60	7,00
50	212,30	178,80	154,10	108,10	66,50	16,80	10,10	6,10
25	183,60	154,60	133,30	93,40	57,50	14,70	8,90	5,40
15	164,90	138,90	119,70	83,90	51,60	13,40	8,10	4,90
10	151,50	127,60	110,00	77,10	47,40	12,40	7,50	4,50
5	131,00	110,40	95,10	66,70	41,00	10,80	6,60	4,00
2	108,10	91,10	78,50	55,00	33,80	9,10	5,50	3,30

Fonte: Atlas Pluviométrico do Brasil (2015).

As tabelas foram ajustadas para a comparação de cada par de durações disponíveis e foi encontrado, para um nível de significância de 5% e 7 graus de liberdade, um valor crítico de 14,07. Comparando o valor encontrado do cálculo Qui-Quadrado com o valor crítico obtivemos o seguinte resultado:

Tabela 17 – Teste Qui-Quadrado São Leopoldo x Porto Alegre consolidada

Tr / d	5	10	15	30	60	360	720	1440	X ²	X ² c	Resultado
100	5.20	0.07	0.22	0.73	0.14	0.03	0.00	0.00	6.426	14.07	semelhante
50	10.49	1.36	0.13	0.02	0.03	0.15	0.05	0.01	12.271		semelhante
25	15.87	3.53	1.06	0.17	0.38	0.31	0.12	0.04	21.513		diferente
15	19.25	5.18	2.00	0.56	0.76	0.39	0.16	0.07	28.398		diferente
10	21.10	6.25	2.67	0.88	1.04	0.44	0.19	0.09	32.703		diferente
5	21.98	7.06	3.31	1.23	1.30	0.48	0.19	0.08	35.678		diferente
2	15.74	4.74	2.07	0.71	0.82	0.24	0.10	0.05	24.506		diferente

Fonte: Elaborada pela autora.

Foi realizado, ainda, um cálculo de erros absolutos médios para cada par de curva de determinado tempo de retorno:

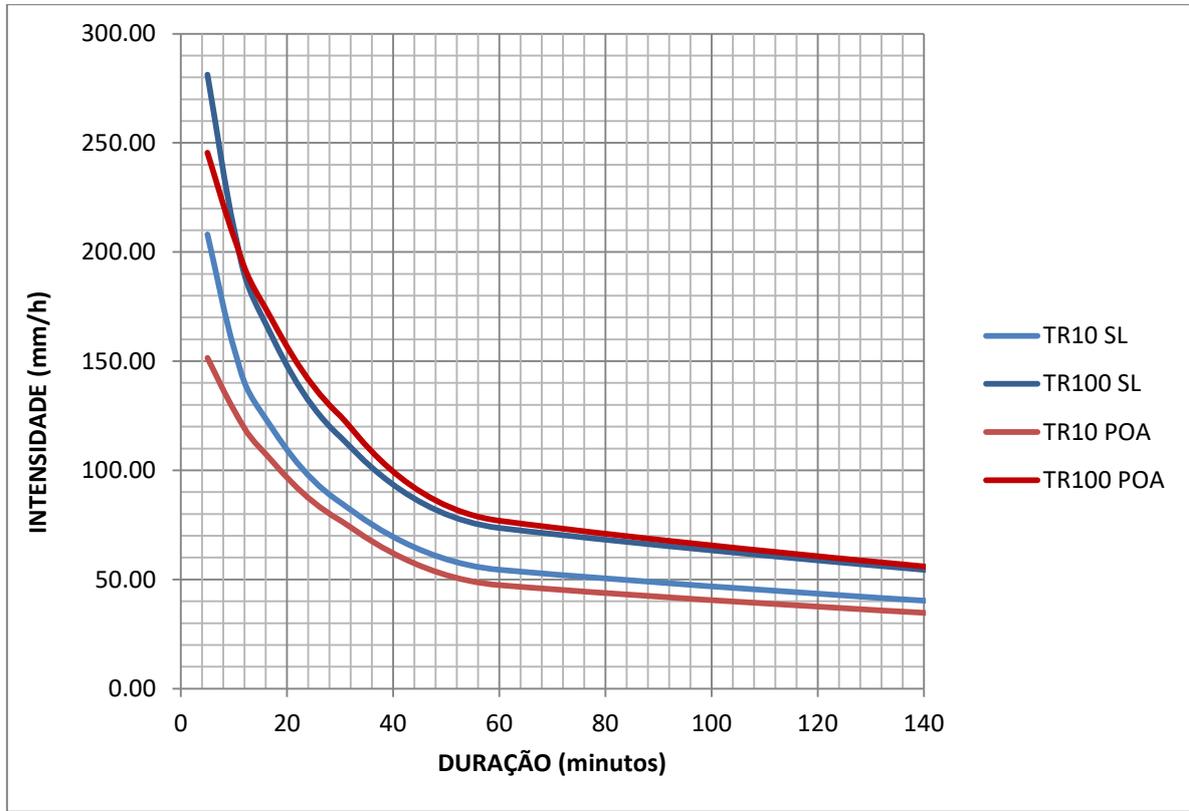
Tabela 18 – Erro médio São Leopoldo x Porto Alegre consolidada

Tr	Resultado	Erro Médio
100	semelhante	5.88%
50	semelhante	6.90%
25	diferente	11.42%
15	diferente	14.36%
10	diferente	16.23%
5	diferente	18.28%
2	diferente	16.34%

Fonte: Elaborada pela autora.

Podemos observar graficamente as diferenças e semelhanças das curvas de Tr 10 anos e Tr 100 anos, respectivamente, de São Leopoldo e Porto Alegre. No teste Qui-Quadrado as curvas de Tr 100 e 50 anos apresentaram semelhança estatística, enquanto as demais curvas apresentaram diferença estatística.

Gráfico 3 – Comparação São Leopoldo x Porto Alegre consolidada



Fonte: Elaborado pela autora.

Para tempos de retorno de 50 e 100 anos os dados podem ser imprecisos devido ao número de dados disponíveis. A IDF para a cidade de São Leopoldo foi construída neste estudo com 17 anos de dados MERGE e a IDF estabelecida para a cidade de Porto Alegre fornece apenas 40 anos de dados de observação.

Outro fator que pode influenciar na diferença entre as curvas é a metodologia para o cálculo da IDF, principalmente para as projeções de precipitação para os tempos de retorno maiores, de 50 e 100 anos.

4.4 Comparação São Leopoldo x Porto Alegre Calculada

A fim de excluir as diferenças metodológicas de cálculo de IDF, foi realizado um teste comparativo adicional Qui-Quadrado a partir da tabela 19 de intensidades para a cidade de São Leopoldo e da tabela 20 de intensidades para Porto Alegre, que foram calculadas com o método deste estudo.

Tabela 19- Valores de intensidade (mm/h) de São Leopoldo (amostra observada)

Tr / d	5	10	15	30	60	1440
TR 100	281,26	210,69	171,88	115,39	73,60	6,98
TR 50	259,51	194,39	158,59	106,46	67,91	6,44
TR 25	237,59	177,98	145,20	97,47	62,17	5,90
TR 15	221,24	165,73	135,21	90,76	57,89	5,49
TR 10	208,05	155,85	127,14	85,35	54,44	5,17
TR 5	184,67	138,33	112,86	75,76	48,32	4,58
TR 2	149,36	111,88	91,28	61,27	39,08	3,71

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 20 - Valores de intensidade (mm/h) de Porto Alegre calculada (amostra esperada)

Tr / d	5	10	15	30	60	1440
TR 100	225,76	175,01	148,27	109,75	73,21	6,07
TR 50	207,98	160,75	136,22	100,60	66,74	5,61
TR 25	190,07	146,39	124,08	91,38	60,21	5,15
TR 15	176,71	135,68	115,02	84,50	55,35	4,81
TR 10	165,93	127,03	107,72	78,95	51,42	4,53
TR 5	146,82	111,71	94,76	69,12	44,46	4,04
TR 2	117,96	88,57	75,20	54,26	33,95	3,29

Fonte: Elaborada pela autora.

As tabelas foram ajustadas para a comparação de cada par de durações disponíveis e foi encontrado, para um nível de significância de 5% e 5 graus de liberdade, um valor crítico de 11,07. Obteve-se o seguinte resultado para o teste Qui-Quadrado das duas amostras:

Tabela 21 – Teste Qui-Quadrado São Leopoldo x Porto Alegre calculada

Tr / d	5	10	15	30	60	1440	X ²	Xc(α=0.05,gl=5)	Resultado
100	13,642	7,274	3,761	0,289	0,002	0,137	25,106	11.07	diferente
50	12,763	7,040	3,674	0,341	0,020	0,123	23,962		diferente
25	11,879	6,815	3,594	0,406	0,064	0,109	22,866		diferente
15	11,221	6,656	3,542	0,464	0,117	0,098	22,098		diferente
10	10,692	6,536	3,505	0,518	0,177	0,090	21,518		diferente
5	9,756	6,344	3,454	0,638	0,335	0,075	20,604		diferente
2	8,356	6,135	3,436	0,906	0,776	0,053	19,662		diferente

Fonte: Elaborada pela autora.

Além disso, o mesmo cálculo de erros absolutos médios foi efetuado para uma melhor visualização das diferenças entre cada par de curvas de determinado tempo de retorno, conforme a tabela abaixo.

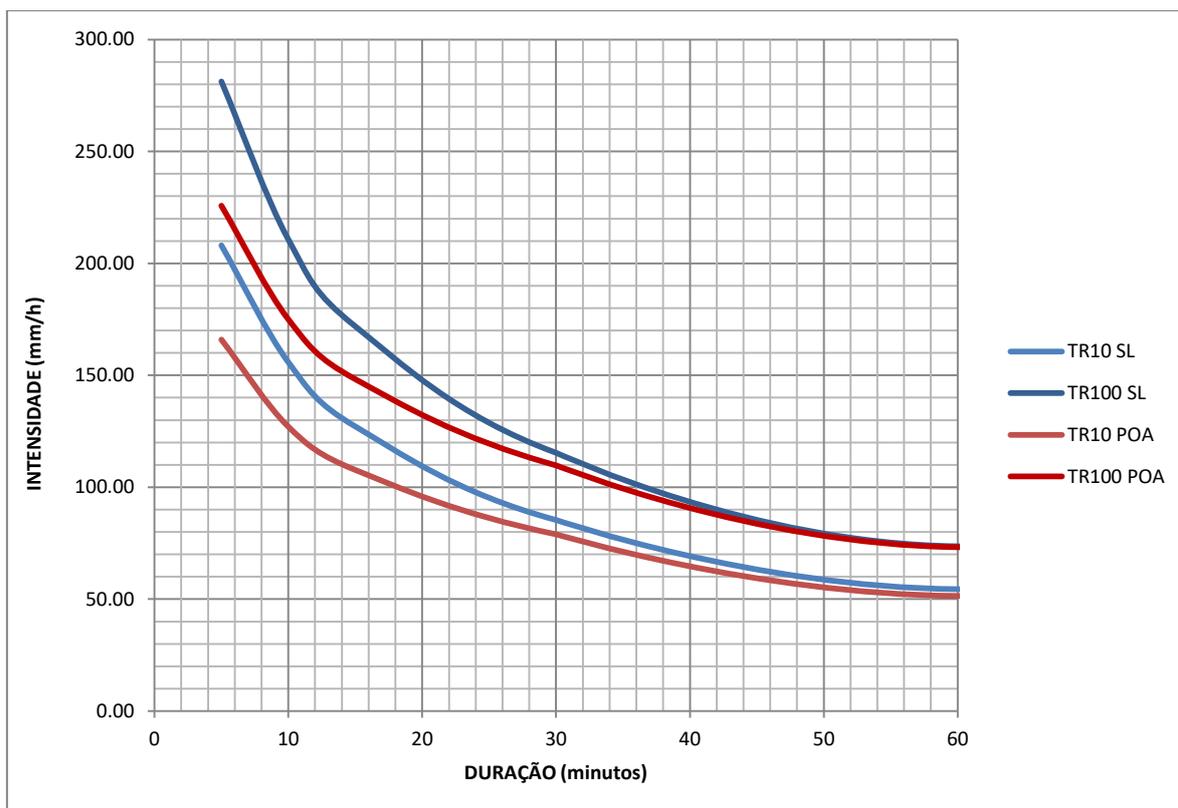
Tabela 22 – Erro médio São Leopoldo x Porto Alegre Calculada

Tr	Resultado	Erro Médio
100	diferente	11.48%
50	diferente	11.90%
25	diferente	12.40%
15	diferente	12.83%
10	diferente	13.23%
5	diferente	14.09%
2	diferente	15.88%

Fonte: Elaborada pela autora.

Podemos também observar graficamente a diferença entre as curvas de Tr 100 anos e Tr 10 anos para as duas cidades, ambas calculadas pelo método deste estudo.

Gráfico 4 – Comparação São Leopoldo x Porto Alegre calculada



Fonte: Elaborado pela autora.

Excluindo-se a diferença na metodologia de cálculo de IDF vemos que as diferenças nessa comparação são mais consistentes do que na comparação anterior da IDF de São Leopoldo com a IDF estabelecida para Porto Alegre. Considerando que existem vários métodos diferentes para ajuste estatístico das curvas de precipitações máximas anuais e que na validação do método já havíamos constatado diferença metodológica para tempos de retorno projetados de 50 e 100 anos, essa última comparação torna-se relevante.

Constatamos no teste Qui-Quadrado diferença estatística para todos os tempos de retorno e obtivemos, em geral, precipitações significativamente maiores para São Leopoldo.

5 CONCLUSÃO

Pela carência de dados pluviométricos e ausência de uma curva IDF para a cidade de São Leopoldo, o objetivo principal deste trabalho foi construir curvas da relação intensidade, duração e frequência, para tempos de retorno de 2, 5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos, a partir de dados do produto de precipitação MERGE. Utilizando o mesmo método deste estudo para a construção de curvas IDFs foi construída uma IDF para Porto Alegre com os dados fornecidos pelo Atlas Pluviométrico do Brasil (2015) e foi realizada uma análise comparativa entre essa IDF calculada e a IDF existente para Porto Alegre com o objetivo de validar a metodologia.

O teste estatístico Qui-Quadrado de Pearson mostrou semelhança entre as duas IDFs de Porto Alegre para tempos de retorno de até 50 anos. A diferença encontrada no tempo de retorno de 100 anos é resultado das diferentes metodologias adotadas, porém em ambas as IDFs a curva de tempo de retorno de 100 anos e 50 anos são projeções estatísticas.

Após o método validado para Trs de até 50 anos, foi realizado o teste estatístico entre a IDF de São Leopoldo e a IDF consolidada para cidade de Porto Alegre. Adicionalmente, com intuito de descartar as diferenças metodológicas, também foi realizado o teste comparativo entre a IDF de São Leopoldo e a IDF de Porto Alegre calculada pelo método deste estudo.

Deve-se considerar que para tempos de retorno de 50 e 100 anos os dados podem ser imprecisos devido ao número de dados anuais disponíveis. A IDF para a cidade de São Leopoldo foi construída neste estudo com 17 anos de dados MERGE disponíveis e a IDF estabelecida para a cidade de Porto Alegre também é baseada em projeções estatísticas para as Trs maiores, pois a estação pluviométrica fornece 40 anos de dados de observação, logo mesmo dados pluviométricos podem apresentar imprecisão considerando Tr maiores.

Outro fator que pode influenciar na diferença entre as curvas é a metodologia para o cálculo da IDF. A distribuição escolhida para adequação à curva observada, a fórmula para cálculo de tempo de retorno e os coeficientes de desagregação possuem influência direta nos resultados, principalmente para as projeções de precipitação para os tempos de retorno maiores, de 50 e 100 anos.

Apesar das limitações da metodologia presentes na realização deste trabalho, os resultados a partir do MERGE são uma alternativa eficiente quando não há

disponibilidade de dados pluviométricos. Para aprimorar as medições o projeto TRMM possui uma validação em campo, assim minorando as diferenças entre estimativas por satélite e medições observadas. No entanto, as estimativas por sensoriamento remoto não substituem os dados pluviográficos.

Acredita-se que os resultados apresentados mostraram-se relevantes, pois através do teste estatístico para comparação das curvas, verificou-se que a diferença entre as IDF's são significantes. As chuvas de projeto para São Leopoldo se mostraram de intensidades superiores às chuvas de projeto fornecidas pelo Atlas Pluviométrico do Brasil para a cidade de Porto Alegre. Essa diferença pode causar um subdimensionamento nas obras de drenagem urbana caso a curva IDF de Porto Alegre seja aplicada para os projetos na cidade de São Leopoldo.

É preciso salientar que as curvas IDF's desse estudo podem apresentar imprecisões para tempos de retorno maiores, já que a amostra de dados MERGE analisada foi de dezessete anos. Porém, a favor da segurança, sobretudo para obras onde o tempo de retorno adotado é menor do que a amostra analisada, é recomendável a utilização da IDF calculada neste estudo.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, Anderson; GUETTER, Alexandre. **Validação da Chuva Estimada por Satélite “CMORPH” na Modelagem Hidrológica do Alto Iguaçu**. 12. ed. RBRH, 2007.

Banco de Dados. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Instituto de Pesquisas Espaciais. CPTEC, 2018. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/modelos/io/produtos/MERGE/>. Acessado em: 28 de agosto de 2018.

BEMFICA, Daniela; GOLDENFUM, Joel; SILVEIRA, André. **Análise da Aplicabilidade de Padrões de Chuva de Projeto a Porto Alegre**. 5. ed. RBRH, 2000.

BRASIL. Consórcio Público de Saneamento Pro Sinos. **Mapa da Bacia Rio dos Sinos**. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/305490050_fig1_FIGURA-1-Mapa-da-Bacia-do-Rio-dos-Sinos-com-delimitacoes-municipais-e-Coredes-Fonte. Acessado em: 02 de novembro de 2018.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatístico IBGE. **População da Cidade de São Leopoldo**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/sao-leopoldo/panorama>. Acessado em 17 de outubro de 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas ANA. Séries Histórias de Estações. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf. Acessado em: 21 de setembro de 2018.

BRASIL. **Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (DNIT)**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, 2005.

BUARQUE, Diogo; PAIVA, Rodrigo; COLLISCHON, Walter. **Modelagem Hidrológica-hidrodinâmica da Bacia Amazônica**, 2013.

COLLISCHONN, Bruno; ALLASIA, Daniel; COLLISCHONN, Walter; TUCCI, Carlos. **Desempenho do Satélite TRMM na estimativa de Precipitação sobre a Bacia do Paraguai Superior**. 59. ed. RBC, 2007.

COLLISCHONN, Bruno. **Uso de Precipitação Estimada pelo Satélite TRMM em Modelo Hidrológico Distribuído**. Porto Alegre, 2006.

COLLISCHONN, Walter; KAYSER, Rafael; PEREIRA, Margarita. **Integração do Modelo Hidrológico para Grandes Bacias MGB-IPH e Sistemas de Informação Geográfica para Suporte à Decisão de Outorga de Direito de Uso de Água**. Rio Grande do Sul, 2012.

COLLISCHONN, Walter. **Simulação Hidrológica de Grandes Bacias**. Porto Alegre, 2001.

COLLISCHONN, Walter; TASSI, Rutinéia. **Introduzindo Hidrologia**. 5. ed. Porto Alegre, 2008.

CONTI, Guilherme. **Estimativa da Precipitação Através de Técnicas de Sensoriamento Remoto: Estudo de Caso para o Estado do Rio Grande do Sul**, 2002.

FLEISCHMANN, Ayan; FAN, Fernando; SIQUEIRA, Vinícius; PONTES, Paulo; COLLISCHONN, Walter. **Uso de Dados de Precipitação de Satélite MERGE/CPTEC para Modelagem Hidrológica de Grandes Bacias**. Porto Alegre, 2014.

FREITAS, Emerson. **Determinação e Comparação de curvas IDF com Dados Pluviográficos e Pluviométricos na Bacia Hidrográfica Experimental do Riacho Guaraíba-PB**. João Pessoa, 2016.

GARCEZ, Lucas Nogueira; ALVAREZ, Guillermo Acosta. **Hidrologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1998.

GRIEBELER, Nori; OLIVEIRA, Luis; FIGUEIREDO, Cícero; SANTOS, Glenio. **Intensidade-duração-frequência de Chuvas para o Estado de Mato Grosso do Sul**. Paraíba, 2009.

Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul UFRGS. **Leitor de Binários**. Disponível em <https://www.ufrgs.br/hge/mgb/downloads/mgb-iph-2017/>. Acessado em: 2 de setembro de 2018.

JARDIM, Pedro; FLEISHMANN, Ayan; PELINSON, Dieyson, OLIVEIRA, Aline; SIQUEIRA, Vinícius, FAN, Fernando; COLLISCHONN, Walter. **Manual de Exemplo de Aplicação do Modelo MGB-IPH 2017 Utilizando o IPH-Hydro Tools**. Porto Alegre, 2017.

MARCUZZO, Francisco; MELATI, Maurício. **Cálculo de Densidade pelos Critérios da OMM e Espacialização de Novas Estações P e Pr na Sub-Bacia 85**. Rio Grande do Sul, 2015.

MELLO, Carlos; MELLO, José; SILVA, Antônio; LIMA, José; OLIVEIRA, Marcel. **Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas**, 2003.

MELLO, Carlos; VIOLA, Marcelo; MELLO, José; SILVA, Antônio. **Continuidade de Chuvas Intensas no Estado de Minas Gerais**, 2008.

Secretaria de Geologia, mineração e transformação Mineral Serviço Geológico do Brasil. **Atlas Pluviométrico do Brasil**. Porto Alegre, 2015.

MORAIS, Lidiane; FERREIRA, Nilson. **Banco de Dados Pluviométricos Integrados por Dados do Sensor TRMM e Estações Pluviométricas no Estado de Goiás**. João Pessoa, 2015.

MUNAR, Andrés; COLLISCHONN, Walter. **Simulação Hidrológica na Bacia do rio Piratini, Rio Grande do Sul, a partir de Dados de Chuva Observada e Dados de Chuva Derivados do Produto MERGE**, 2014.

National Aeronautics and Space Administration; Japan Aerospace Exploration Agency. **Tropical Rainfall Measuring Mission**. Disponível em: <https://trmm.gsfc.nasa.gov/>. Acessado em: 10 de setembro de 2018.

PPAFSTETTER, Otto. **Chuvas Intensas no Brasil: Relação entre Precipitação, Duração e Frequência de Chuvas Registradas com Pluviógrafos em 98 Postos Meteorológicos Rio de Janeiro**: Departamento Nacional de Obras de Saneamento. 1 ed. 1957.

PINTO, Nelson; MARTINS, José. **Hidrologia Básica**. 1 ed. Edgard Blucher: São Paulo, 1976.

ROBAINA, Adroaldo; PEITER, Márcia. **Modelo de Desagregação de Chuvas Intensas no Rio Grande do Sul**. Santa Maria, 1992.

ROZANTE, José; GONÇALVES, Luis; VILA, Daniel. **Combining TRMM and Surface Observations of Precipitation: Technique and Validation over South America**, 2010.

SCHARDONG, Andre; SRIVASTAV, Roshan. **Atualização da Equação intensidade-duração-frequência para a cidade de São Paulo sob Efeito de Mudanças Climáticas**. ed. 19. RBRH, 2014.

SIQUEIRA, Vinícius. **IPH-Hydro Tools: Uma Ferramenta Open Source para Determinação de informações Topológicas em Bacias Hidrográficas Integrada a um Ambiente SIG**. ed. 21. RBRH, 2016.

TUCCI, Carlos. **Gerenciamento da Drenagem Urbana**. 1 ed. RBRH: Rio Grande do Sul, 2002.

TUCCI, Carlos. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. 4. ed. Rio Grande do Sul: UFRGS/ABRH, 2014.

TUMELERO, Tatiana; BERTOLDI, Loivo; SANTOS; Andre; LEZONIER, Leonardo. **Análise Hidrológica da Região de São Miguel do Oeste para obtenção de uma equação de chuvas intensas (IDF)**. 7. ed. Joaçaba: Unoesc&Ciência, 2016.

VERGASTA, Leonardo; OLIVEIRA, Robson; FIGLIUOLO, Guilherme; SOUSA, Aline; PEREIRA, Phillipe; CORREIA, Francis; SILVA, Joecila; CALMANT, Atéphane, SEYLER, Frederique. **Análise Comparativa entre Dados de Precipitação e de**

Níveis de Água Estimados via Produto Merge e Satélite ENVISAT na Bacia Amazônica. SBSR: Paraná, 2013.

VIALI, Lorí. **Testes de Hipóteses Não Paramétricos.** Porto Alegre, 2008.