

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COECI – COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANA PAULA STEFFEN

**ESTIMATIVA E MAPEAMENTO DA CHUVA DE PROJETO PARA INSTALAÇÕES
PREDIAIS NA REGIÃO OESTE DO PARANÁ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO - PR
2018

ANA PAULA STEFFEN

**ESTIMATIVA E MAPEAMENTO DA CHUVA DE PROJETO PARA INSTALAÇÕES
PREDIAIS NA REGIÃO OESTE DO PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado como requisito parcial à obtenção de título de Bacharel, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Wagner Alessandro Pansera

TOLEDO- PR

2018



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Toledo
Coordenação do Curso de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 119

Estimativa e Mapeamento da Chuva de Projeto para Instalações Prediais na Região Oeste do Paraná

por

Ana Paula Steffen

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 11:10 do dia **07 de junho de 2018** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Prof. Dr. Benedito Martins Gomes
(UNIOESTE – CV)

Prof. Dr. Gustavo Henrique Dalposso
(UTFPR – TD)

Prof Dr. Wagner Alessando Pansera
(UTFPR – TD)
Orientador

Prof. Dr. Fúlvio Natércio Feiber
Coordenador da COECI

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida e por me guiar nos caminhos que segui.

Aos meus pais, Wilson Steffen e Ana Lúcia Marques Steffen, pela presença diária em minha vida, pelo amor incondicional, pelo incentivo e exemplo que sempre foram para mim.

À minha irmã, Patrícia Cristina Steffen, por seu apoio e confiança durante toda a vida, por me amparar e me acalmar nos momentos de aflição e tristeza.

Ao meu professor orientador, Prof. Dr. Wagner Alessandro Pansera, que teve papel fundamental nesta pesquisa, por ter me orientado e aconselhado, pela paciência, pelos ensinamentos e pela atenção durante este último ano de graduação.

Ao Prof. Dr. Gustavo Henrique Dalposso, por ter compartilhado comigo seus conhecimentos e por toda a atenção durante a realização deste estudo.

Aos meus amigos e colegas de graduação, pelo companheirismo, por dividirem comigo os momentos de dificuldades e também os momentos de alegria ao ver o sonho cada vez mais perto.

Ao Eduardo Heis Olivo, pela preocupação, por seu carinho, por seu amor, por seu companheirismo nas tardes e noites de estudos e pelo incentivo em todos os momentos.

Enfim, à todos os que de alguma forma influenciaram para que eu alcançasse meus objetivos e que certamente estão em meu pensamento diariamente.

RESUMO

A chuva de projeto é um dos parâmetros fundamentais para a elaboração de projetos de instalações prediais de águas pluviais. De acordo com a NBR 10844, recomenda-se que a intensidade da chuva seja obtida a partir de dados de séries históricas da localidade do projeto. No entanto, quando não há valores no local de interesse, a normativa sugere a utilização do valor genérico de 150 mm/h para áreas de projeção horizontal menor que 100 m². Por isso, o presente estudo teve como objetivo aplicar a distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV) por meio de Momentos-LH, para estimar os valores locais de intensidade de chuva para a região Oeste do Paraná. Foram estudadas 64 estações pluviométricas, sendo que apenas uma não se ajustou à GEV. Estudaram-se os quantis com período de retorno de 1, 5 e 25 anos. Na sequência, para obter a intensidade da chuva com duração de 5 minutos, aplicou-se o método de desagregação da chuva às precipitações diárias. Verificou-se que para o tempo de retorno de 1 ano, todos os valores estão abaixo do valor genérico de 150 mm/h sugerido pela normativa. Já para os demais tempos de retorno, a maioria dos valores são superiores ao referencial, variando entre 146,8 e 221,0 mm/h para a amostra cujo tempo de retorno é de 5 anos, e de 199,2 a 313,6 mm/h para a amostra de período de retorno de 25 anos. Ainda, para a apresentação dos resultados, foram elaborados dois mapas temáticos que representam a intensidade de chuva com duração de 5 minutos e tempo de retorno de 5 e 25 anos, gerados através de Krigagem Ordinária.

Palavras-chaves: Chuva de projeto. Distribuição Generalizada de Valores Extremos. Momentos-LH. Mapas temáticos. Krigagem Ordinária.

ABSTRACT

The design rainfall is one of the fundamental parameters to the elaboration of rainwater buildings facilities projects. According to NBR 10844 it is recommended to obtain the rainfall intensity from historical series data from the project location. However, if there are no values in the place of interest, the Brazilian Standard suggests using a generic value equal to 150 mm/h to horizontal projection areas smaller than 100 m². For this, the aim of the present study was to apply the Generalized Extreme Values (GEV) distribution, through LH-moments method, to estimate intensity values to Western region of Paraná. Among the total of 64 rainfall stations studied, only one of them did not adjust to GEV. The quantiles with a return period of 1, 5 and 25 years were studied. Then, to obtain the 5 minutes duration rainfall intensity, it was applied the breakdown method to the daily precipitations. All the values obtained for the return period of 1 year were below the generic value suggested by the Brazilian Standard. For the other return periods, almost all the values are higher than the break point, ranging from 146,8 to 221,0 mm/h for a 5 years return period sample and from 199,2 to 313,6 mm/h for a 25 years return period sample. In addition, for the results presentation, two thematic maps were elaborated by the Ordinary Kriging method to represent the 5 minutes duration rainfall intensity with 5 and 25 years return periods.

Keywords: Design rainfall. Generalized Extreme Value distribution. LH-moments. Thematic maps. Ordinary Kriging.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuições das três formas de valores extremos em função do tempo de retorno.....	25
Figura 2 – Propriedades do semivariograma com patamar.....	29
Figura 3 – Roteiro da pesquisa.	32
Figura 4 – Estações pluviométricas selecionadas.....	34
Figura 5 – Valor mínimo, médio e máximo da precipitação diária máxima anual de cada estação selecionada.....	39
Figura 6 – Desvio padrão da precipitação diária máxima anual de cada estação selecionada.	40
Figura 7 – Número de séries para cada ordem dos momentos-LH.....	43
Figura 8 – Comparação entre a função de probabilidade empírica e de probabilidade acumulada da GEV.....	45
Figura 9 – Comparação entre valores obtidos e o valor indicado pela NBR 10844 (ABNT, 1989).	48
Figura 10 – Boxplot para os dados de chuva de projeto.	50
Figura 11 – Postplot: tempo de retorno de 5 anos.	51
Figura 12 – Postplot: tempo de retorno de 25 anos.	52
Figura 13 – Semivariograma experimental da chuva de projeto, amostra de $Tr = 5$ anos.	53
Figura 14 – Semivariograma experimental da chuva de projeto, amostra de $Tr = 25$ anos.	53
Figura 15 – Semivariogramas ajustados: (a) referente aos dados de $Tr = 5$ anos; (b) referente aos dados de $Tr = 25$ anos.	56
Figura 16 – Intensidade da chuva com duração de 5 minutos e Tr de 5 anos (chuva de projeto) para a região Oeste do Paraná.	57
Figura 17 – Intensidade da chuva com duração de 5 minutos e Tr de 25 anos (chuva de projeto) para a região Oeste do Paraná.	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Síntese de informações sobre distribuição assintótica de valores extremos.....	23
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coeficientes de desagregação da chuva para o Brasil.....	20
Tabela 2 – Ajustes da distribuição GEV às séries de precipitação diária máxima anual.	40
Tabela 3 – Tipo de distribuição de valores extremos.	43
Tabela 4 – Quantis da distribuição GEV e Chuva de Projeto.....	46
Tabela 5 – Estatísticas descritivas.	50
Tabela 6 – Modelos ajustados e parâmetros obtidos para dados de chuva de projeto.	54
Tabela 7 – Validação cruzada para a chuva de projeto.	55

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas;
AGUASPARANÁ	Instituto das Águas do Paraná;
ANA	Agência Nacional das Águas;
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná;
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia;
SMA	Sistema de Monitoramento Agrometeorológico;
SMMA	Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura;
OLS	Mínimos Quadrados Ordinários.

LISTA DE SÍMBOLOS

P	Altura pluviométrica;
t	Duração;
i	Intensidade;
Tr	Tempo de recorrência ou tempo de retorno;
$F_y(y)$	Função probabilidade acumulada da distribuição GEV;
A	Parâmetro de escala;
B	Parâmetro de posição;
κ	Parâmetro de forma;
$x(F)$	Quantil;
$\gamma(h)$	Função semivariância;
n	Número de pares de pontos separados por uma determinada distância h ;
$Z(s)$	Valor da variável medida na localização s ;
$Z(s+h)$	Valor da variável medida na localização $s+h$;
a	Alcance;
C_o	Efeito pepita;
C_l	Variância espacial ou contribuição;
EM	Erro médio;
\overline{ER}	Erro médio reduzido;
S_{ER}	Desvio padrão dos erros reduzidos;
DP_{EM}	Desvio padrão dos erros médios;
EA	Erro absoluto;
K	Matriz das covariâncias;
λ	Vetor de pesos;
μ	Multiplicador de Lagrange;
L	Vetor de covariância da amostra em relação ao ponto a ser estimado;
n	Número de pontos amostrais;
η	Estatística de ordem dos momentos-LH;
Z_W	Teste de Wang.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA.....	14
1.2	OBJETIVOS.....	15
1.2.1	Objetivo Geral.....	15
1.2.2	Objetivos Específicos.....	15
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	PRECIPITAÇÃO	17
2.1.1	Medição da chuva.....	18
2.1.2	Série de precipitações máximas	20
2.2	CHUVA DE PROJETO PARA INSTALAÇÕES PREDIAIS – NBR 10844 (ABNT,1989).....	21
2.3	MODELAGEM ESTOCÁSTICA DA PRECIPITAÇÃO.....	22
2.3.1	Distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV).....	23
2.4	GEOESTATÍSTICA.....	26
2.4.1	Semivariograma experimental	27
2.4.2	Modelo teórico de semivariograma	28
2.4.3	Validação Cruzada	29
2.4.4	Krigagem Ordinária.....	30
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
3.1	ÁREA DE ESTUDO	32
3.2	MÉTODOS.....	32
3.2.1	Banco de dados.....	33
3.2.2	Análise estatística descritiva dos dados	34
3.2.3	Estimativa de parâmetros da GEV.....	35
3.2.4	Desagregação da chuva	35
3.2.5	Geração de Mapas	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1	ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA	38
4.2	ESTIMATIVA DE PARÂMETROS DA GEV	40
4.3	DESAGREGAÇÃO DA CHUVA.....	45
4.4	ANÁLISE GEOESTATÍSTICA.....	49

4.4.1	Análise estatística descritiva	49
4.4.2	Análise exploratória espacial	51
4.4.3	Semivariogramas	52
4.4.4	Validação cruzada	55
4.4.5	Mapa temático	56
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
	APÊNDICES.....	65
	APÊNDICE A – Estações selecionadas para o estudo e informações relevantes sobre as mesmas.....	65
	APÊNDICE B – Estatísticas descritivas.....	67

1 INTRODUÇÃO

Uma das formas mais significativas de entrada de água em uma bacia hidrográfica é a precipitação na forma de chuva. Em locais urbanizados deve haver uma gestão adequada da água pluvial, visando captá-la e conduzi-la para um destino final. Nesse contexto os estudos das precipitações máximas recebem destaque, pois são eventos que geralmente causam as cheias, as quais são responsáveis por grandes prejuízos materiais e humanos. Por consequência, a precipitação máxima influencia significativamente no dimensionamento das obras de engenharia.

De um modo geral, em sistemas prediais, as instalações de drenagem de águas pluviais tem a função de recolher e conduzir a água da chuva que incide sobre a edificação até a rede de coleta pública. Dessa maneira, ao projetar esses sistemas existem três etapas que devem ser consideradas: primeiramente a avaliação das informações preestabelecidas em projeto (arquitetura, por exemplo), em seguida o traçado do caminhamento das tubulações de águas pluviais e por fim o dimensionamento dos condutores. No último, definem-se, por exemplo, os diâmetros das tubulações de condução e as dimensões dos coletores de água sendo que essa determinação depende da intensidade pluviométrica.

A NBR 10844 (ABNT, 1989) expõe conceitos e diretrizes sobre as considerações relevantes para projetos de instalações prediais de água pluvial e, para fins de dimensionamento, a intensidade de chuva é uma variável aplicada para obtenção da vazão de projeto, parâmetro utilizado no dimensionamento dos condutores.

Contudo, para conhecer essa intensidade utilizam-se os dados das séries históricas de precipitação, os quais passam por um processo de modelagem estocástica para que assim consigam representar por inteiro o comportamento de uma população a partir de dados amostrados. Uma das distribuições que podem ser empregadas nessa modelagem é a Generalizada de Valores Extremos (GEV), amplamente aplicada para análise de eventos naturais extremos.

Na região Oeste do Paraná existem pesquisas, como a de Quadros (2008) e Batista (2013), que fizeram uso da GEV para modelagem dos dados. Porém, poucas destinadas especificamente para determinar a chuva de projeto conforme a NBR

10844 (ABNT, 1989), ou seja, para a duração de 5 minutos e tempos de retorno de 1, 5 e 25 anos.

Ainda, neste trabalho além de contribuir com a obtenção dos dados para a elaboração de projetos de instalações prediais de água pluvial, optou-se pela apresentação dos resultados através de mapas temáticos o que proporciona uma abordagem diferente, facilitando a visualização da variável estudada. Para tanto, aplicam-se de conceitos da geoestatística, de modo que o valor da chuva de projeto, obtido pontualmente para cada uma das estações, associado à localização da estação é utilizado para a elaboração do mapa temático considerando a Krigagem Ordinária como interpolador.

1.1 JUSTIFICATIVA

Na realização de projetos de instalações prediais de coleta de água pluvial é fundamental o conhecimento acerca da chuva de projeto. Este valor deve ser determinado de acordo com as séries históricas de precipitação da região, porém, geralmente, quando não se tem esses registros podem ser utilizados dados de localidades com características hidrológicas semelhantes (BACK; BONETTI, 2014). No entanto, essa generalização pode afetar, de certo modo, o dimensionamento de sistemas de condução vertical e horizontal de águas pluviais, tornando-os sub ou superdimensionados.

Como simplificação, para projetos em que a construção seja de até 100 m² de área de projeção horizontal, a NBR 10844 (ABNT, 1989) permite a utilização de um valor igual a 150 mm/h para a intensidade. Assim, diante da utilização destes valores recomendados pela normativa brasileira, nota-se que as incertezas inerentes aos dados hidrológicos são, de certa forma, desprezadas. Por isso, visando confrontar este valor, tem-se como princípio a determinação da intensidade de chuva para a região Oeste do Paraná considerando a duração de 5 minutos.

No anexo da normativa, são apresentados dados de chuvas intensas com duração de 5 minutos para várias cidades do Brasil, a serem utilizadas, inclusive, quando a área de projeção horizontal é maior do que 100 m². No entanto, para o Paraná são apresentados dados para apenas quatro municípios (Jacarezinho, Curitiba, Paranaguá e Ponta Grossa), comprovando a necessidade do estudo em questão.

Assim, o conhecimento da chuva de projeto local pretende garantir que o sistema projetado seja mais eficiente e econômico do que aquele obtido a partir da norma brasileira, pois, ao contrário do valor genérico sugerido e válido para todo Brasil, os resultados esperados com o este estudo visam dimensionar estruturas especificamente para o local onde são instaladas.

Ainda, além de possibilitar o desenvolvimento de projetos de instalações prediais melhor dimensionados, a pesquisa permitirá uma otimização do sistema de drenagem urbana da região em estudo, pois, uma vez que os sistemas de drenagem se tornam cada vez mais sobrecarregados, otimizar a sua ampliação a partir de parâmetros obtidos localmente é de grande relevância.

1.2 OBJETIVOS

Nesta seção são apresentados os objetivos do presente estudo, que são subdivididos em objetivo geral e objetivos específicos.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral é representar através de mapas temáticos a chuva de projeto para a região Oeste do estado do Paraná.

1.2.2 Objetivos Específicos

São objetivos específicos desta pesquisa:

- a) Aplicar a distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV) para análise das precipitações máximas na região Oeste do Paraná;
- b) Realizar a desagregação da chuva para cada estação pluviométrica;
- c) Utilizar métodos geoestatísticos para elaborar mapas temáticos.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente estudo foi estruturado da seguinte forma: no Capítulo 1 é feita a introdução, apresentando o contexto em que se insere e a importância da definição da chuva de projeto para os campos da engenharia. No Capítulo 2, apresenta-se a revisão de literatura sobre as precipitações e chuva de projeto, bem como métodos

estatísticos e geoestatísticos aplicados à hidrologia. No Capítulo 3, descreve-se a região de estudo e os métodos a serem aplicados para se atingir os objetivos propostos. No Capítulo 4 são apresentados os resultados, gerados através da aplicação da metodologia proposta, e algumas discussões. Por fim, no Capítulo 5, são apresentadas as conclusões obtidas como consequência do desenvolvimento do estudo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção é apresentada a Revisão de Literatura referente ao estudo das precipitações, uso da distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV) na análise de eventos hidrológicos, bem como do uso da geoestatística para espacialização de dados.

2.1 PRECIPITAÇÃO

A precipitação é o principal meio de entrada de água em uma bacia hidrográfica, e por conta disso é um fator importante a ser considerado na realização de obras hidráulicas, no planejamento e na gestão de recursos hídricos. Além disso, fornece informações fundamentais para o controle de inundações, erosão do solo e irrigação (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015).

Inicialmente, deve-se conhecer o conceito de precipitação atmosférica, que é a água oriunda do vapor de água que se deposita na superfície terrestre. Esse material se apresenta sob diversas formas: neve, granizo, orvalho, neblina, geada e chuva (PINTO *et al.*, 1976). A precipitação na forma de chuva, ou seja, em forma líquida, pode ser monitorada com mais facilidade e é capaz de produzir escoamento (TUCCI, 2001). Por conta disso, o foco desta pesquisa é a precipitação na forma de chuva.

Esta ocorre como consequência do resfriamento do ar atmosférico que, ao atingir o ponto de saturação, faz com que o vapor d'água se condense, formando as nuvens. Assim, com a influência das massas de ar, originam-se três tipos de chuvas: frontais, convectivas e orográficas (PINTO *et al.*, 1976).

As chuvas frontais, de acordo com Collischonn e Dornelles (2015), ocorrem devido ao encontro de duas massas de ar com características distintas, como temperatura e umidade. O autor afirma que o encontro de massas de ar quente e frio ocasiona a chuva frontal, comum na região sul do Brasil. Elas são caracterizadas por sua baixa intensidade e maior duração.

As chuvas orográficas, por sua vez, acontecem quando o ar quente e úmido precisa transpor barreiras topográficas (montanhas) e, para tanto, deve desviar verticalmente ocorrendo, principalmente, na Serra do Mar (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015).

Já as chuvas convectivas são aquelas de grande importância para pequenas áreas, caracterizadas pela curta duração e alta intensidade. Originam-se dos movimentos de ascensão de ar, causados pelas “diferenças de temperatura na camada vizinha da atmosfera” (PINTO *et al.*, 1976, p. 08).

Além da classificação da chuva é importante apresentar as grandezas que envolvem o fenômeno, como a altura pluviométrica (P), a duração (t), a intensidade (i) e o tempo de recorrência ou retorno (Tr).

A altura pluviométrica (P) se refere à altura média da lâmina de água que precipita e recobre uma determinada região, sem haver perdas dessa quantidade devido à infiltração ou evaporação, por exemplo. Geralmente, a unidade de medida dessa grandeza é o milímetro (TUCCI, 2001).

Já a duração (t) é a medida do período que a chuva leva para precipitar, definida em minutos ou horas. Com esses dois dados, determina-se a intensidade (i), que é a razão entre a altura pluviométrica e a duração (TUCCI, 2001).

Por fim, o tempo de recorrência ou tempo de retorno (Tr), evidencia a aleatoriedade das precipitações. Entende-se por tempo de recorrência, na análise de alturas pluviométricas máximas, “como o número médio de anos durante o qual espera-se que a precipitação analisada seja igualada ou superada” (TUCCI, 2001, p. 182).

2.1.1 Medição da chuva

A chuva é um fenômeno natural que apresenta grande variabilidade, tanto espacial quanto sazonal, devido à influência de diversos fatores do ciclo hidrológico. Um exemplo de variabilidade é percebido entre as regiões do Brasil: enquanto que no sul há uma boa distribuição de chuvas ao longo do ano, no extremo norte do país não se encontra essa tendência visto que a época chuvosa é concentrada entre os meses de maio a agosto (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015).

Na medição da chuva busca-se definir a quantidade de água que cai sobre uma determinada superfície, sendo esta plana e impermeável, com o objetivo de criar uma série de dados ininterrupta. No Brasil, existem agências que fazem o registro de dados hidrológicos e o consequente monitoramento pluviométrico. Entre estas agências destacam-se a Agência Nacional das Águas (ANA), que disponibiliza

informações através do Sistema de Informações Hidrológicas (plataforma Hidroweb), e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

No Paraná, os registros pluviométricos foram se desenvolvendo ao longo dos anos, sendo que as primeiras observações foram registradas há cerca de 130 anos, através da instalação da primeira estação meteorológica em Curitiba pelo Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura (SMMA) (PINTO *et al.*, 1976, p. 09). Atualmente, o Instituto das Águas do Paraná também disponibiliza os dados pluviométricos do estado.

Basicamente, a chuva pode ser medida de duas maneiras: pontualmente ou espacialmente. A medição espacial do fenômeno é feita através de radares, por exemplo, que quantificam a precipitação de forma quase contínua no tempo e no espaço, porém essas medições são efetuadas através de sensoriamento remoto, dificultando as medições indiretas (TUCCI, 2001).

Já a medição pontual é, comumente, realizada através de dois equipamentos, o pluviômetro e/ou o pluviógrafo. O primeiro funciona como um recipiente em que a água é armazenada durante o intervalo de tempo entre as medições realizadas, de modo que o volume do recipiente seja capaz de armazenar toda a precipitação que ocorre no tempo determinado. O registro das leituras, geralmente, é feito manualmente a cada 24 horas, tratando-se, portanto, de um aparelho de baixo custo e de simples operação e implantação. Porém, estes aparelhos estão sob responsabilidade de um operador, o qual deve realizar as leituras preferencialmente no mesmo horário (TUCCI, 2001). Este tipo de medição é o mais aplicado no Brasil.

Por outro lado, o pluviógrafo é um aparelho que permite o registro dos dados automaticamente e, conseqüentemente, a intensidade das chuvas é medida em intervalos menores do que aqueles considerados pelo pluviômetro, sendo, portanto, um método mais oneroso para medição pluviométrica (TUCCI, 2001).

Assim, dessas leituras, são geradas as séries históricas. No entanto, antes de processar os dados observados, é realizada a análise prévia que visa detectar a existência de erros, sejam eles aleatórios, sistemáticos e/ou grosseiros. O principal erro que envolve os pluviômetros são os erros grosseiros entre as leituras, decorrentes de falhas humanas, como quando se verifica a existência de leituras com valores absurdos ou em datas que não existem, como 30 de fevereiro (PINTO *et al.*, 1976).

A hidrologia estatística possui uma dependência direta com o comportamento da população amostral e, por conta disso, o uso de amostras com maior quantidade de dados e mais isenta de erros reflete em um melhor comportamento dos resultados (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

2.1.2 Série de precipitações máximas

A precipitação máxima segundo Tucci (2001, p. 200) é a “ocorrência extrema de um evento, com duração, distribuição temporal e espacial crítica para uma área ou bacia”. Por conta disso, visa-se estimar pontualmente as precipitações máximas, o que é realizado pelas curvas que relacionam a intensidade, duração e a frequência (IDF) (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015).

Para locais em que não há dados pluviográficos a estimativa da curva IDF pode ser realizada através do método das relações de durações, o qual se baseia na observação das características das curvas IDF de postos pluviográficos distribuídos em diversas localidades do mundo. Uma das características importantes observadas é que para “diferentes locais, existe uma grande similaridade nas relações entre precipitações médias máximas de diferentes durações” (TUCCI, 2001, p. 207).

Para o Brasil, por exemplo, existem valores médios dessa relação que já foram definidos pela literatura. A Tabela 1 apresenta esses valores, os quais são utilizados para a desagregação da chuva, que consiste na obtenção da altura pluviométrica e conseqüentemente da intensidade para uma duração diferente daquela obtida pela medição em pluviômetro.

Tabela 1 – Coeficientes de desagregação da chuva para o Brasil.

Relação entre durações	Coeficientes de desagregação
5min/30min	0,34
10min/30min	0,54
15min/30min	0,70
20min/30min	0,81
25min/30min	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*

*Valor da cidade de São Paulo

Fonte: Adaptado de CETESB (1986).

Em seu estudo, Back e Bonetti (2014) também utilizaram os coeficientes apresentados na Tabela 1 para a obtenção das alturas de chuvas com duração de 24 horas e inferiores a 24 horas, as quais foram transformadas em intensidade (mm/h). Os autores ajustaram equações de chuvas intensas para várias estações pluviométricas de Santa Catarina e através delas estimaram novamente a intensidade da chuva com duração de 5 minutos para os períodos de retorno de 1, 5 e 25 anos.

2.2 CHUVA DE PROJETO PARA INSTALAÇÕES PREDIAIS – NBR 10844 (ABNT,1989)

A precipitação máxima é a base para o dimensionamento de sistemas de captação, como calhas, e de condução de águas pluviais em projetos de instalações prediais.

A NBR 10844 - Instalações prediais de água pluviais (ABNT, 1989) traça diretrizes para o dimensionamento de coberturas e áreas associadas aos edifícios e indica como deve ser obtida a vazão de projeto, a qual está relacionada com a intensidade pluviométrica, a duração da precipitação local, a área de contribuição e o tempo de retorno associado.

Ter conhecimentos acerca da área a ser drenada é fundamental para a adoção do período de retorno (T_r), ao qual se recomenda: T_r igual a 1 ano para áreas pavimentadas, desde que empoçamentos possam ser tolerados; T_r igual a 5 anos para coberturas e/ou terraços; e T_r igual a 25 anos para coberturas e áreas nas quais o empoçamento ou extravasamento não é tolerado (ABNT, 1989).

Já em relação à duração da chuva, a NBR 10844 (ABNT, 1989) estabelece que seja de 5 minutos, para qualquer instalação predial. Segundo Back e Bonetti (2014, p. 01), esse valor é fixado por “ser o menor intervalo em que os pluviogramas convencionais podem ser lidos com precisão adequada”.

Então, para determinar a chuva de projeto utilizam-se as séries pluviométricas do local de implantação do sistema. No entanto, nem todos os municípios do Brasil contam com dados históricos longos ou com valores de chuva de projeto já definidos (BACK; BONETTI, 2014). Assim, a normativa recomenda o uso de um valor igual a 150 mm/h para construções em que a área de projeção

horizontal seja de até 100 m², muito embora essa generalização possa gerar erros no dimensionamento.

2.3 MODELAGEM ESTOCÁSTICA DA PRECIPITAÇÃO

Segundo Tucci (2001), para que os dados de uma série histórica influenciem no dimensionamento de sistemas de recursos hídricos, como em projetos de instalações prediais, é necessário estabelecer e aliar aos dados um modelo estatístico, que visa definir a probabilidade de certos eventos. O autor ainda afirma que para variáveis aleatórias contínuas, como a chuva, são necessários modelos probabilísticos ou distribuições de probabilidade teórica para representar o comportamento das variáveis.

Para Pinto *et al.* (1976) existem diversos modelos de distribuição de probabilidade que podem ser aplicados no estudo da precipitação e eventos hidrológicos como um todo, dentre as distribuições pode-se citar a: uniforme contínua, normal, log-normal, exponencial e gama.

Outras distribuições relevantes aos estudos hidrológicos, além das citadas acima, são as distribuições de valores extremos, apresentadas em Naghettini e Pinto (2007), as quais são divididas em distribuições exata de valores extremos e assintótica de valores extremos. Ambas são influenciadas pelo tamanho da amostra, no entanto, na segunda o tamanho da amostra tende ao infinito e não se conhece totalmente a forma da distribuição.

O Quadro 1 montado a partir de informações de Naghettini e Pinto (2007), apresenta uma síntese com as informações mais importantes a respeito da distribuição assintótica de valores extremos.

Quadro 1 – Síntese de informações sobre distribuição assintótica de valores extremos.

	Nome	Descrição
Distribuição Assintótica de Valores Extremos	Distribuição de Gumbel (Máximos)	Distribuição do Tipo I (forma dupla exponencial); Análise de frequência de variáveis hidrológicas; Determinação de relações IDF.
	Distribuição de Fréchet (Máximos)	Distribuição do Tipo II (forma exponencial simples); Utilizada pela primeira vez na análise de vazões de enchentes; Utilizada como distribuição extremal.
	Distribuição Generalizada de Valores Extremos (Máximos)	Abrange três formas assintóticas de valores extremos máximos (Tipos I, II e III).
	Distribuição de Gumbel (Mínimos)	Distribuição extremal utilizada para análise de frequência de eventos hidrológicos mínimos anuais.
	Distribuição de Weibull	Distribuição do Tipo III; Não é muito utilizada na hidrologia

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Naghettini e Pinto (2007).

Nota-se que são cinco distribuições assintóticas e apenas a distribuição generalizada de valores extremos (GEV) abrange as três formas assintóticas de valores extremos.

2.3.1 Distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV)

Introduzida por Jenkinson (1955), a distribuição generalizada de valores extremos combina as três formas de distribuições assintóticas, permitindo sua aplicação em diversos campos, como para modelar extremos naturais. A distribuição GEV engloba em uma expressão o extremo do Tipo I (VEI), extremo do Tipo II (VEII) e extremo do Tipo III (VEIII) (NAGHETTINI; PINTO, 2007). As Equações (1) e (2), adaptadas de Queiroz (2002, p. 52-53), apresentam a função probabilidade acumulada da distribuição GEV, a primeira utilizada para valores de $\kappa \neq 0$ e a segunda para $\kappa = 0$:

$$F_Y(y) = \exp\left\{-\left[1 - \kappa\left(\frac{y - \beta}{\alpha}\right)\right]^{1/\kappa}\right\} \quad (1)$$

$$F_Y(y) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{y - \beta}{\alpha}\right)\right] \quad (2)$$

Em que:

$F_y(y)$ = função probabilidade acumulada da distribuição GEV;

α = parâmetro de escala;

β = parâmetro de posição;

κ = parâmetro de forma.

O parâmetro κ indica a forma assintótica da distribuição e é caracterizado por:

- a) $\kappa = 0$, distribuição Tipo I ou Gumbel;
- b) $\kappa < 0$, distribuição Tipo II, definida para $y > (\beta + \alpha)/\kappa$;
- c) $\kappa > 0$, distribuição Tipo III, definida para $y < (\beta + \alpha)/\kappa$.

Na prática, de acordo com Stedinger *et al.* (1993 *apud* Queiroz 2002, p. 53)¹, quando o parâmetro de forma está dentro do intervalo de -0,03 a 0,03 a forma da distribuição é a de Gumbel, portanto, equivalente a forma VEI. Por fim, as Equações (3) e (4), adaptadas de Queiroz (2002, p. 53), representam o quantil da distribuição generalizada de valores extremos para $\kappa \neq 0$ e para $\kappa = 0$, respectivamente.

$$x(F) = \beta + \frac{\alpha}{\kappa} \left\{ 1 - [-\ln(F)]^{\kappa} \right\} \quad (3)$$

$$x(F) = \beta - \alpha \cdot \ln[-\ln(F)] \quad (4)$$

Em que:

$x(F)$ = quantil;

α = parâmetro de escala;

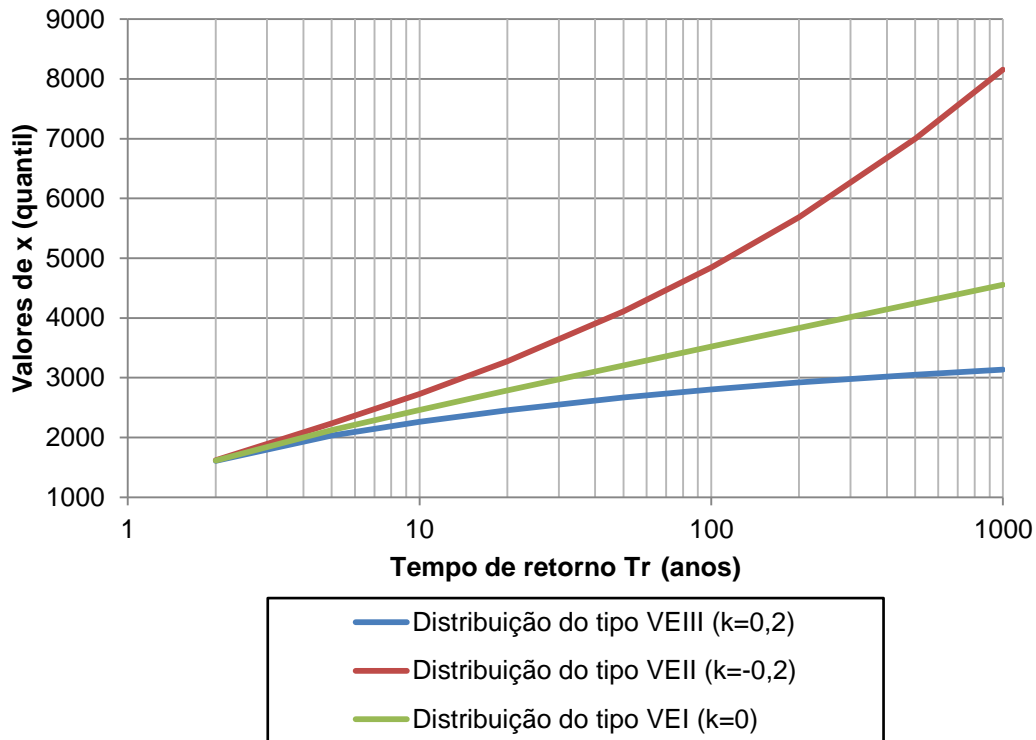
β = parâmetro de posição;

κ = parâmetro de forma.

¹ STEDINGER, J. R; Vogel, R. M.; FOUDOULA-GEORGIOUS, E. (1993). Frequency analysis of extreme events. In: Handbook of Hydrology, p.18.2-18.66, McGraw-Hill, New York.

A Figura 1, apresenta as três possíveis formas da GEV em função do período de retorno. Neste exemplo, o parâmetro α é igual a 450 e β é igual a 1450, representando a escala e a posição, respectivamente. Já o parâmetro k indica a forma assintótica da distribuição sendo que, para o exemplo apresentado, k é igual a -0,2, 0 e 0,2.

Figura 1 – Distribuições das três formas de valores extremos em função do tempo de retorno.



Fonte: Modificado de Queiroz (2002, p. 54).

De acordo com Naghettini e Pinto (2007), os parâmetros das distribuições podem ser estimados de maneira pontual ou por intervalos. O primeiro método é utilizado com mais frequência na hidrologia. São destaques na obtenção pontual dos parâmetros os seguintes métodos: dos momentos, da máxima verossimilhança, dos momentos-L, da máxima entropia, dos mínimos quadrados, generalizado dos momentos e dos momentos mistos (NAGHETTINI; PINTO, 2007, p. 206). Além destes existem também os estimadores de momentos-LH (QUEIROZ; CHAUDHRY, 2006. WANG, 1997).

O método dos momentos-LH, que será aplicado nesta pesquisa, é apresentado por Wang (1997, p.2841) como uma generalização dos momentos-L, sendo baseado na combinação linear das elevadas estatísticas de ordem. Segundo

Queiroz (2002, p. 69) com o método “busca-se a caracterização da parte superior da distribuição e dos maiores eventos amostrais”. Isso significa que no método dos momentos-LH os valores amostrais mais altos recebem um peso maior, pois esses valores contêm informações relevantes sobre a cauda superior da distribuição.

Ao ajustar a GEV a uma série de dados amostrais, além de estimar os parâmetros através de métodos como o de momentos-LH, é importante a realização de testes da qualidade desse ajuste. Estes são conhecidos, também, como testes de aderência e são importantes para decidir se uma distribuição é adequada ou não a uma dada amostra. Dentre os testes de aderência, Naghettini e Pinto (2007) destacam: qui-quadrado, de Kolmogorov-Smirnov, de Anderson-Darling e de Filliben. Já Queiroz e Chaudhry (2006) e Wang (1998) apresentam o teste de qualidade de Wang como opção para o ajuste da GEV.

Assim, com as informações apresentadas demonstra-se que a distribuição generalizada de valores extremos tem despertado, ao longo dos anos, grande interesse principalmente devido a capacidade de descrever máximos naturais como cheias anuais, velocidade do vento, chuvas entre outros (QUEIROZ, 2002).

Em seu estudo Queiroz e Chaudhry (2006) utilizaram a distribuição GEV para modelar eventos hidrológicos extremos em rios da subbacia 64 da Bacia Hidrográfica do Paraná (estado do Paraná). Os autores analisaram séries de cheia anual e vazão mínima de 7 dias para 42 estações fluviométricas, aplicando a GEV e momentos-LH, com teste de aderência de Wang (1998) e Kolmogorov-Smirnov.

Quadros (2008) observou a série de precipitações máxima de estações do município de Cascavel-PR e visou ajustar a distribuição de probabilidade de chuvas intensas pela GEV, utilizando momentos-LH para estimar parâmetros e o modelo de Wang para verificar a qualidade dos ajustes. Além disso, a autora ajustou as séries à distribuição de Gumbel, permitindo comparações entre os métodos. Com isso percebeu que a distribuição Tipo I da GEV ou distribuição de Gumbel não é adequada para grandes períodos de retorno. Além disso, foram geradas as equações de chuvas intensas para as duas metodologias.

2.4 GEOESTATÍSTICA

A geoestatística, nos moldes atuais, apresenta um conceito amplo, e é definida como uma subárea da estatística espacial, idealizada para o estudo de

variáveis regionalizadas. Para tanto são aplicadas metodologias que visam analisar e estudar os dados de uma amostra, entendendo a sua aleatoriedade para desenvolver uma possível estruturação espacial através de funções de correlação espacial (YAMAMOTO; LANDIM, 2013, p.10).

Historicamente, Georges Matheron é tido como o criador da Geoestatística. Em 1960, baseado nos estudos e experimentos de Daniel Krige realizado nas minas de ouro do Rand na África do Sul, ele formalizou a Teoria das Variáveis Regionalizadas cujo objetivo principal, segundo Matheron (1971, p. 05 *apud* YAMAMOTO; LANDIM 2013, p. 9)² era descrever correlações espaciais e estimar uma “variável regionalizada com base em uma amostra”.

Portanto, para a caracterização espacial de um determinado fenômeno utilizam-se ajustes e funções matemáticas que consideram a distribuição e a variabilidade espacial entre os dados, ou seja, relaciona o valor assumido por cada ponto e a distância entre eles (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

2.4.1 Semivariograma experimental

Matematicamente para a determinação do modelo de correlação espacial utilizam-se as funções covariância e semivariância e, primeiramente, calcula-se experimentalmente essa correlação através de pontos amostrais e na sequência ajusta-se a um modelo teórico (YAMAMOTO; LANDIM, 2013). Ou seja, a partir de dados amostrados define-se o semivariograma experimental, que é um gráfico de dispersão da semivariância em função da distância (h) que separa dois pontos (CRESSIE, 1993). Para o semivariograma experimental de Matheron, a semivariância é dada pela Equação (5) adaptada de Cressie (1993, p. 40).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [Z(s) - Z(s+h)]^2 \quad (5)$$

Em que:

$\gamma(h)$ é a função semivariância;

² MATHERON, G. The theory of regionalized variables and its application. Paris School of Mines Publication, p. 211, 1971.

n é o número de pares de pontos separados por uma determinada distância h ;

$Z(s)$ é o valor da variável medida na localização s ;

$Z(s+h)$ é o valor da variável medida na localização $s+h$;

De acordo com Faraco *et al.* (2008) o método dos momentos, conhecido como semivariograma experimental de Matheron, é o principal estimador utilizado na elaboração do semivariograma experimental para processos estocásticos gaussianos. Além desse método, o autor ainda cita o estimador de Cressie e Hawkins (1980) como uma opção para situações em que haja pontos discrepantes.

2.4.2 Modelo teórico de semivariograma

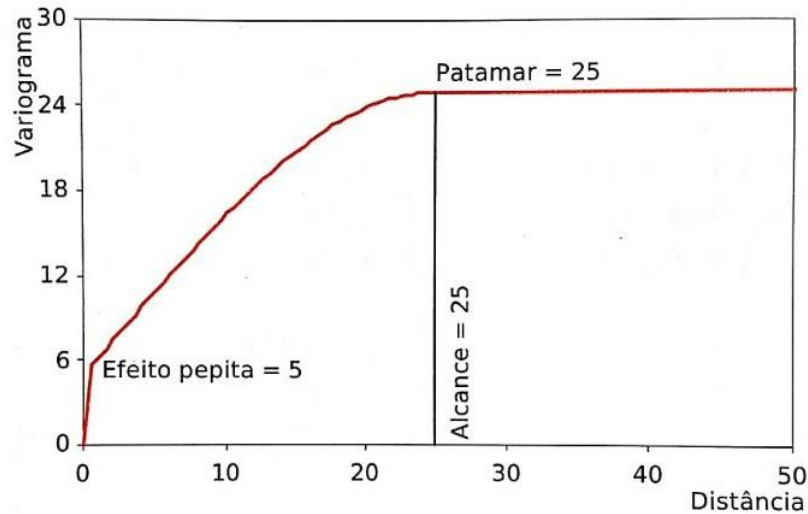
Para definir a variabilidade espacial da precipitação, por exemplo, além da obtenção do semivariograma experimental, há a necessidade de ajuste aos modelos teóricos. Segundo Faraco *et al.* (2008), escolhe-se um modelo teórico, geralmente com patamar, para o qual se estimam os parâmetros efeito pepita, patamar e alcance, o que é realizado através de métodos estatísticos (através de estimadores como mínimos quadrados ordinários, mínimos quadrados ponderados e máxima verossimilhança).

A amplitude ou alcance (a) é a distância para qual a função semivariância $\gamma(h)$ se estabiliza (atinge o patamar). A soleira ou patamar, representado por C_o+C_I , é o valor no qual a função semivariância estabiliza, de modo que C_o é o efeito pepita e C_I é a variância espacial (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

Teoricamente $\gamma(h)=0$ para $h = 0$, no entanto, na prática para quantificar o valor de $\gamma(h)$ existe um valor mínimo de h entre as amostras. Desse modo, quando para h_{min} o valor de $\gamma(h_{min})$ é elevado significa que há uma grande variabilidade à pequena escala. Ou seja, entende-se que $\gamma(h)$ não tende a 0 quando h tende para 0. Assim, o variograma é modelado por uma ordenada na origem com valor constante de C_o , correspondente ao efeito pepita (SOARES, 2000).

A Figura 2 apresenta as propriedades do semivariograma com patamar, conforme citado anteriormente.

Figura 2 – Propriedades do semivariograma com patamar.



Fonte: YAMAMOTO; LANDIM (2013, p. 41).

Apesar de existirem vários modelos teóricos, os mais comuns são: esférico; exponencial; e gaussiano (SOARES, 2000). O modelo esférico de acordo com Soares (2000) é um dos mais utilizados em geoestatística, atingindo o patamar a dois terços do alcance. O modelo exponencial atinge o patamar tendendo assintoticamente, com a amplitude referindo-se à distância em que o modelo atinge 95% do patamar. Os dois modelos tem um crescimento rápido junto à origem. Por fim, o modelo Gaussiano descreve fenômenos mais regulares e o crescimento da semivariância apresenta um comportamento parabólico junto à origem (SOARES, 2000).

2.4.3 Validação Cruzada

Quando se ajusta mais de um modelo teórico é recomendado fazer a verificação de qual modelo representa o melhor ajuste, para tanto, aplicam-se critérios como o de validação cruzada utilizado por Faraco *et al.* (2008) para avaliar o erro existente entre a estimativa e os valores amostrados.

Segundo Isaaks e Srivastava (1998 *apud* FARACO *et al.* 2008, p. 465)³, o processo de validação cruzada consiste em retirar, temporariamente, um valor da amostra localizado em $Z(s_i)$ e substituir esse valor através de uma estimativa no local

³ ISAAKS, E.H. & SRIVASTAVA, R.M. An introduction to applied geostatistics. New York, Oxford University Press, 1989. 561p

$\hat{Z}(s_{(i)})$, gerada por Krigagem utilizando as amostras restantes. A partir disso podem ser calculados os erros médios (EM).

Cressie (1993) apresenta o erro médio reduzido (\overline{ER}), o desvio padrão dos erros reduzidos (S_{ER}) e o desvio padrão dos erros médios (DP_{EM}) como uma ferramenta para determinar o melhor modelo de ajuste teórico. Como apresentado, esses valores e, também, o erro absoluto (EA) são importantes para a definição do melhor modelo, de modo que para a escolha deve-se considerar EM e \overline{ER} mais próximo de zero, o menor valor de DP_{EM} e o S_{ER} mais próximo de um (CRESSIE, 1993; FARACO *et al.*, 2008).

2.4.4 Krigagem Ordinária

A Krigagem é um processo geoestatístico que, segundo Yamamoto e Landim (2013), é utilizado para estimar valores de variáveis distribuídas no espaço com base em valores vizinhos. Ainda segundo o autor o estimador mais comum é a Krigagem Ordinária, um método local de estimativa, definido em forma de equação matricial e destinado para n pontos amostrais. A Equação (6), adaptada de Yamamoto e Landim (2013, p. 70) apresenta a forma matricial do estimador.

$$K \cdot \lambda = L$$

$$\begin{bmatrix} C(s_1 - s_1) & C(s_1 - s_2) & \dots & C(s_1 - s_n) & 1 \\ C(s_2 - s_1) & C(s_2 - s_2) & \dots & C(s_2 - s_n) & 1 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ C(s_n - s_1) & C(s_n - s_2) & \dots & C(s_n - s_n) & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ -\mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C(s_0 - s_1) \\ C(s_0 - s_2) \\ \vdots \\ C(s_0 - s_n) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Em que:

K é matriz das covariâncias;

λ é o vetor de pesos;

L é o vetor de covariância da amostra em relação ao ponto a ser estimado s_0 ;

n é o número de pontos amostrais.

μ é o multiplicador de Lagrange;

C é a covariância.

Neste contexto, Batista (2013) realizou um estudo com dados de precipitação máxima diária anual de estações pluviométricas da região sudeste do Brasil. O autor investigou o comportamento dos dados para o ajuste da GEV e determinou os parâmetros de escala, posição e forma da GEV pelo método dos momentos-L. Com isso foi capaz de interpolar espacialmente os resultados através de Krigagem Ordinária e gerar mapas temáticos para os parâmetros de escala, posição e forma da GEV.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

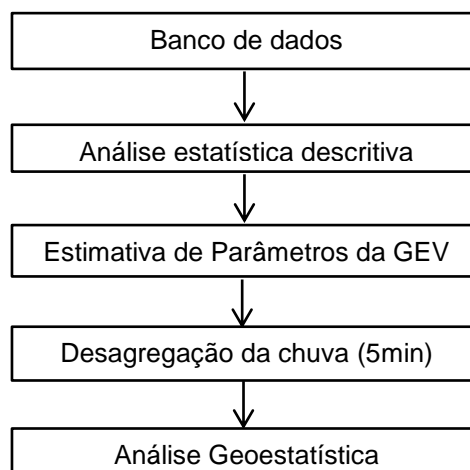
A área escolhida para o desenvolvimento do estudo são os municípios da região Oeste do Paraná, que totalizam 50 cidades. Segundo informações do IBGE (2015) a região Oeste é dividida em três microrregiões geográficas: Toledo, Cascavel e Foz do Iguaçu.

Por conta da influência do clima em fenômenos hidrológicos é importante fazer a classificação da área de estudo. Segundo a classificação de Köppen, o Oeste do Paraná encontra-se em uma área de clima Cfa, logo, é uma região de clima mesotérmico (subtropical e temperado) sem uma estação seca bem definida, porém que apresenta verões quentes (temperatura no mês mais quente superior a 22°C) (SMA, 2017).

3.2 MÉTODOS

Para o desenvolvimento da pesquisa e posterior obtenção dos resultados e objetivos esperados deverá ser seguido o fluxograma apresentado na Figura 3. A pesquisa é dividida em cinco partes principais: elaboração de um banco dados, análise descritiva dos dados, aplicação e obtenção dos parâmetros da GEV, desagregação da chuva e elaboração de mapas temáticos.

Figura 3 – Roteiro da pesquisa.



Fonte: Autoria própria.

3.2.1 Banco de dados

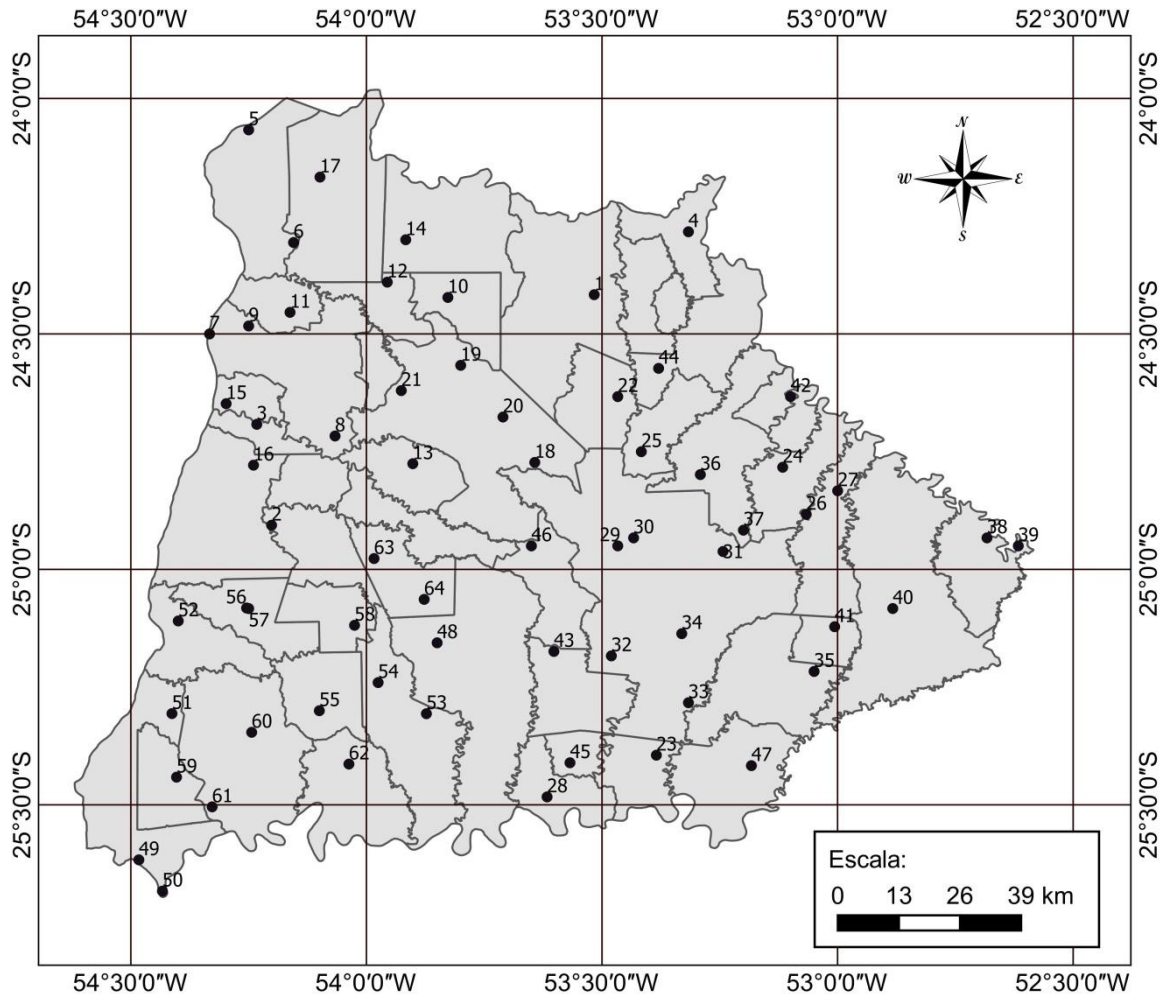
Para o desenvolvimento da pesquisa, optou-se pela utilização dos dados de precipitação diária máxima anual. Ou seja, dentre os valores diários, selecionou-se o valor máximo de altura pluviométrica para cada ano da série histórica de cada estação. Para tanto, analisou-se as séries históricas de estações pluviométricas fornecidas pelo Instituto das águas do Paraná (AGUASPARANÁ) e geridas por entidades como AGUASPARANÁ, Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR), Itaipu e ANA.

A seleção das estações se deu com base no tamanho da amostra e no comportamento da mesma, isto é, na triagem priorizaram-se estações com mais de 20 anos de dados e que apresentassem poucas falhas. Buscou-se, também, utilizar ao menos uma estação de cada município da região Oeste.

No entanto, no decorrer do levantamento inicial identificaram-se municípios que não possuem dados disponibilizados pelo AGUASPARANÁ; são cinco: Iracema do Oeste, Jesuítas, Quatro Pontes, São José das Palmeiras e Anahy. Além disso, em São Pedro do Iguaçu não há registros com mais de 20 anos e como a série apresenta falhas em vários meses optou-se por não utilizar a série histórica desta estação.

No APÊNDICE A são disponibilizados os dados relevantes a cerca das 64 estações selecionadas para a realização deste estudo. Com essas informações tornou-se possível a elaboração da Figura 4, que exhibe a divisão político-administrativa do Oeste do Paraná. Além disso, a Figura 4 apresenta as estações distribuídas ao longo da região Oeste do Paraná e para facilitar a compreensão numeraram-se as estações de acordo com um identificador (ID) com o apresentado no APÊNDICE A. Para elaboração da figura utilizou-se o Software QGIS e como base cartográfica empregou-se a malha digital do IBGE (2015).

Figura 4 – Estações pluviométricas selecionadas.



Fonte: Autoria própria – Base cartográfica: IBGE (2015).

Com as estações pluviométricas selecionadas faz-se a montagem de um banco de dados. Com estes valores, posteriormente, realiza-se o estudo do ajuste da GEV aos dados amostrais com estimação dos parâmetros pelo método dos momentos-LH e teste de qualidade de Wang (WANG, 1997; WANG, 1998; QUEIROZ e CHAUDRY, 2006).

3.2.2 Análise estatística descritiva dos dados

Conforme já mencionado, a hidrologia trabalha com a aleatoriedade dos dados causada pela influência de fatores hidrológicos, por isso, inicialmente, deve ser realizada uma análise prévia dos dados coletados.

Para isto, será realizada uma análise estatística descritiva de modo a criar medidas resumo, facilitando a organização, separação e sintetização dos dados de cada estação. Serão calculadas as medidas de tendência central e dispersão.

Na sequência, parte-se para o estudo da distribuição generalizada de valores extremos. Através dela são definidos em quais tipos de distribuição assintótica (Tipo I, II ou III) os dados se encaixam. O processo adotado será descrito na seção seguinte.

3.2.3 Estimativa de parâmetros da GEV

Ao modelar a distribuição Generalizada de Valores Extremos aos dados amostrais busca-se estimar os parâmetros de forma, posição e escala. Nesta pesquisa o processo de obtenção dos parâmetros da GEV será realizado através de uma rotina adaptada para utilização no Software R Core Team (2017). Essa rotina foi implementada computacionalmente, em Matlab, e apresentada por Queiroz e Chaudhry (2006), podendo ser utilizada para proceder ao ajuste de amostras de qualquer tamanho.

Então, através da rotina, alguns passos podem ser seguidos e aplicados para os dados de cada estação: estimar os parâmetros da GEV para $\eta = 0, 1, 2, 3$ e 4 ; calcular as taxas de momento-LH; calcular o teste de Wang (1998) da distribuição GEV; e escolher o conjunto de parâmetros em função do menor valor do teste Wang (1998).

Na sequência com os parâmetros de escala, posição e forma numericamente determinados para cada uma das estações pluviométricas de estudo, substituem-se os mesmos nas Equações (3) ou (4), de acordo com o parâmetro k . Então, geram-se os quantis da distribuição GEV, considerando os tempos de retornos estipulados pela NBR 10844 (ABNT, 1989), ou seja, 1, 5 e 25 anos. Para fins de cálculo, como $\ln(1-1/1)$ não existe, no tempo de retorno de 1 ano será utilizado 1,05 anos.

3.2.4 Desagregação da chuva

Com a chuva referente a um dia de precipitação utilizam-se os coeficientes da Tabela 1 para realizar a desagregação da chuva para a duração de interesse. Ou

seja, através de manipulações matemáticas da Tabela 1, visa-se transformar a chuva de um dia na chuva com duração de 5 minutos, e unidade em mm/h.

3.2.5 Geração de Mapas

Após a obtenção da amostra para cada estação e cada período de retorno é possível gerar mapas temáticos para a apresentação dos resultados. Para isso, primeiramente, realiza-se uma análise descritiva geral e espacial. A análise descritiva espacial estuda o comportamento dos dados considerando a posição dos mesmos e pode ser obtida através da confecção de um gráfico chamado *Postplot* (RIBEIRO JR; DIGGLE, 2016).

Na sequência, elaboram-se o semivariograma experimental. Neste processo é admitido que os dados se comportem de maneira isotrópica, ou seja, a covariância é semelhante para todas as direções do fenômeno (YAMAMOTO; LANDIM, 2013). Esta consideração permite que o estudo da dependência espacial seja feita através de um único semivariograma experimental, o omnidirecional (GUEDES *et al.*, 2008).

Apenas o semivariograma experimental não é suficiente para descrever o comportamento espacial de um determinado fenômeno. Por conta disso, ajusta-se um modelo teórico ao semivariograma experimental. Nesta pesquisa serão adotados os modelos teóricos esférico, exponencial e gaussiano. A estimação dos parâmetros para cada um dos modelos será feita utilizando-se o método dos mínimos quadrados ordinários (OLS). Após ajustar um modelo teórico é selecionado o “melhor modelo” utilizando a validação cruzada. Posteriormente, os parâmetros deste modelo são empregados para elaborar um mapa temático considerando a Krigagem Ordinária (interpolador).

Para a construção dos mapas também será necessário à utilização de processos computacionais realizados através do Software R Core Team (2017). Além disso, alguns pacotes como o “geoR”, criado por Ribeiro Jr e Diggle (2016), vão ser aplicados na construção dos mapas.

Em resumo são apresentados os passos a serem seguidos para a obtenção dos mapas temáticos:

- a) Análise descritiva dos dados;
- b) Análise exploratória espacial;

- c) Construção do semivariograma experimental omnidirecional;
- d) Ajuste do modelo teórico (esférico, exponencial, gaussiano) utilizando o método dos mínimos quadrados ordinários (OLS) para estimar os parâmetros (efeito pepita, patamar e alcance);
- e) Validação cruzada para a escolha do modelo teórico de melhor ajuste;
- f) Elaboração do mapa temático com uso de Krigagem Ordinária.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com o desenvolvimento da metodologia sugerida para este trabalho.

Inicialmente, para a elaboração da pesquisa montou-se o banco de dados, o qual conta com precipitação diária máxima anual de 64 séries históricas, distribuídas ao longo da Região Oeste do Paraná. Conforme mencionado, as estações selecionadas são apresentadas no APÊNDICE A, através dele é possível perceber que a menor e maior série histórica contam com 20 e 68 anos de dados, respectivamente.

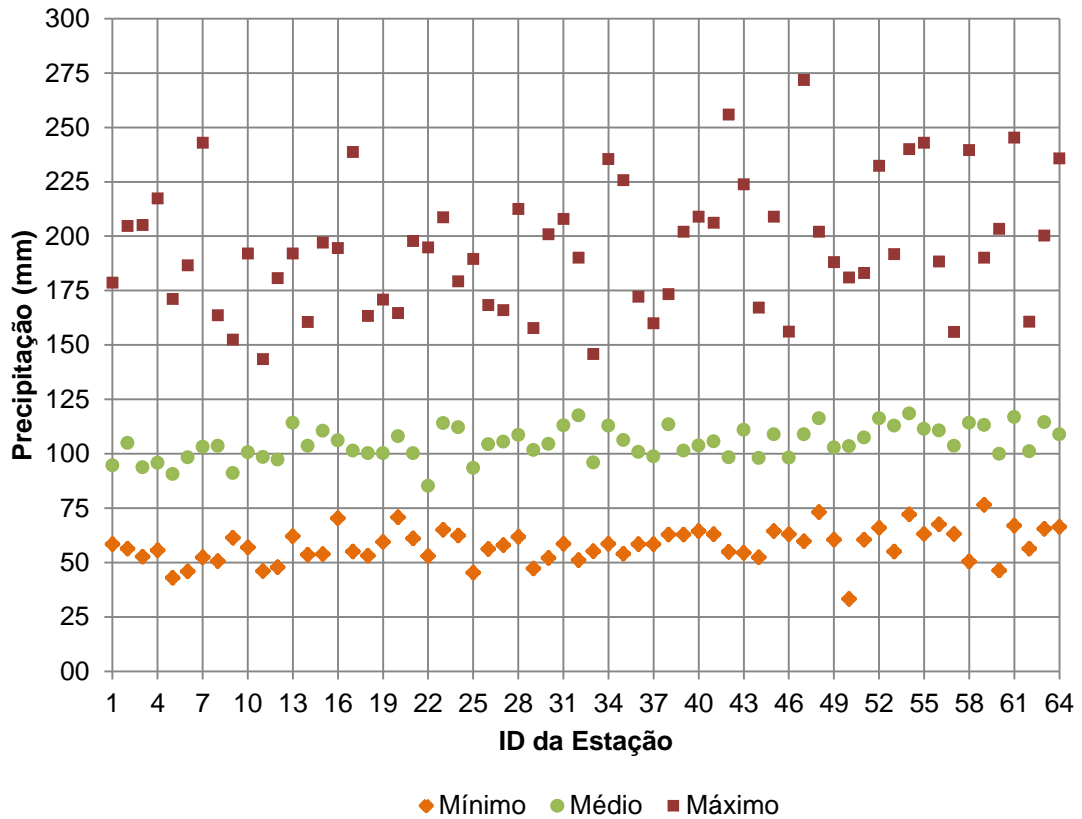
4.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Inicialmente, realizou-se a análise estatística descritiva que é uma importante ferramenta para conhecer e compreender melhor o fenômeno ocorrido na região Oeste do Paraná, ou seja, extrair informações para inferir o comportamento populacional. Além disso, através dela tornou-se possível, por exemplo, a visualização de possíveis registros com falhas, pois como se trabalha com um número elevado de séries históricas torna-se inviável a verificação pontual de cada um dos dados brutos.

Na Figura 5 são apresentadas, através de um gráfico de dispersão, os valores mínimos, máximos e o valor médio da precipitação diária máxima anual registrada em cada série histórica. Com os dados dos valores mínimos e máximos é possível definir uma das medidas de dispersão, que é a amplitude. Desse modo, percebe-se que a maior amplitude observada é de 212 mm para a estação sob o ID 47 (município de Três Barras do Paraná).

Ainda em relação à Figura 5, nota-se que o menor e maior valor de média observado é aproximadamente 85,0 mm (estação 22 - Tupãssi) e 119,0 mm (estação 54 - Matelândia). Já ao observar o valor máximo da precipitação diária máxima anual de cada estação percebe-se que os pontos estão mais dispersos.

Figura 5 – Valor mínimo, médio e máximo da precipitação diária máxima anual de cada estação selecionada.

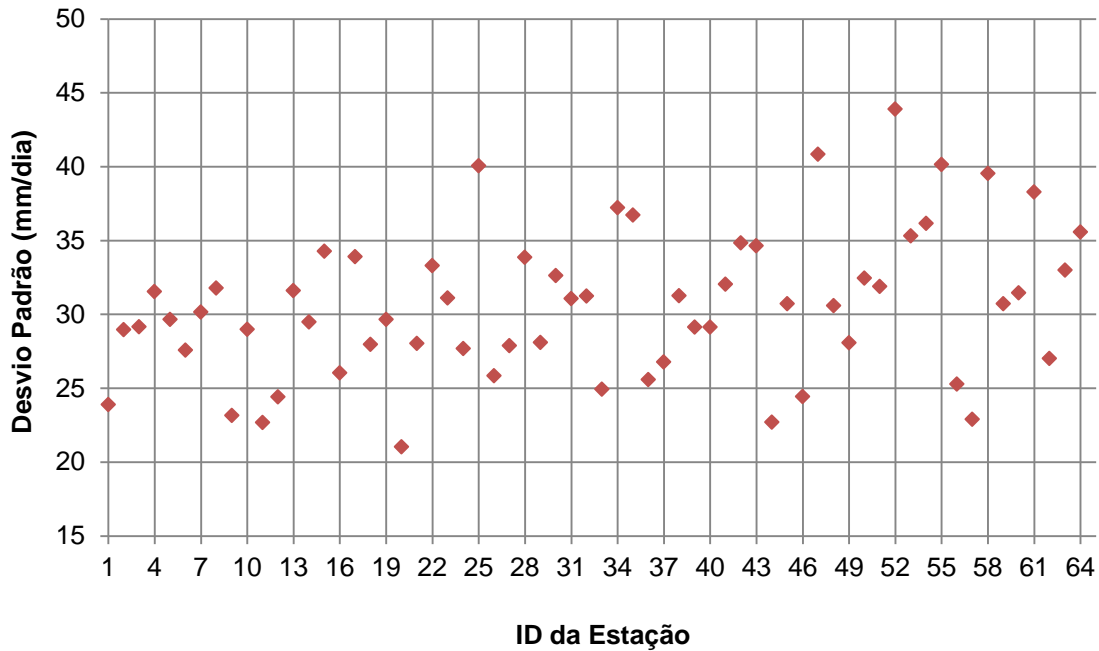


Fonte: Autoria própria.

Outra medida de dispersão é o desvio padrão. Segundo Naghettini e Pinto (2007), esta é uma medida mais representativa, pois, diferente da amplitude leva em consideração todos os elementos da amostra. Na Figura 6 é apresentado o desvio padrão para cada uma das séries históricas estudadas.

De acordo com a figura é possível perceber que a estação de ID 52 (Itaipulândia) é a que apresenta maior desvio padrão, correspondente a 43,9 mm, estação que não corresponde a de maior amplitude.

Figura 6 – Desvio padrão da precipitação diária máxima anual de cada estação selecionada.



Fonte: Autoria própria.

No APÊNDICE B são apresentados os valores exatos das estatísticas descritivas calculadas, dentre elas algumas foram citadas anteriormente.

4.2 ESTIMATIVA DE PARÂMETROS DA GEV

A rotina proposta por Queiroz e Chaudhry (2006) estima os três parâmetros da distribuição GEV através do método de momentos-LH. Além disso, calcula as taxas de momentos-LH e o valor do teste de qualidade de ajuste de Wang (1998). A Tabela 2 apresenta esses resultados para as 64 séries de precipitação diária máxima anual, de modo que, apresentou-se apenas um conjunto de parâmetros para cada estação, os quais foram escolhidos em função do menor valor do teste proposto por Wang (1998).

Tabela 2 – Ajustes da distribuição GEV às séries de precipitação diária máxima anual.

(continua)

Estação		LH	Parâmetros da distribuição GEV			Taxas de momentos-LH			Z_w
ID	Código		k	α	β	cv	cc	ca	
1	02453004	3	-0,2193	12,3696	85,9499	0,0946	0,2352	0,3916	0,1652
2	02454018	1	-0,0399	21,2171	92,2927	0,1135	0,1811	0,2649	0,5059
3	02454003	1	-0,1481	18,4190	80,0734	0,1306	0,2024	0,3258	0,1439
4	02453010	0	-0,1886	19,0319	80,4421	0,1695	0,2106	0,2948	0,0562

Tabela 2 – Ajustes da distribuição GEV às séries de precipitação diária máxima anual.

(continuação)

Estação		LH	Parâmetros da distribuição GEV			Taxas de momentos-LH			Z_w
ID	Código		k	α	β	cv	cc	ca	
5	02454001	1	-0,0266	22,7055	77,2192	0,1342	0,1488	0,2575	0,1652
6	02454016	0	-0,1075	19,1214	85,0275	0,1504	0,1827	0,2388	0,0075
7	02454000	3	-0,2257	15,6651	91,1285	0,1084	0,2311	0,3947	0,0391
8	02454013	2	0,4910	43,2326	89,4432	0,0908	0,0458	0,0435	0,1260
9	02454014	4	-0,2055	11,5946	85,3715	0,0871	0,2239	0,3895	0,0203
10	02453047	1	-0,1871	17,3546	86,9493	0,1241	0,2094	0,3483	0,0783
11	02454015	2	0,1646	19,5546	90,9283	0,0723	0,1065	0,1925	0,0006
12	02453048	3	-0,0806	17,0673	86,1833	0,0914	0,1770	0,3254	0,0046
13	02453026	0	-0,0147	25,1289	99,2997	0,1547	0,1482	0,1778	0,1176
14	02453003	4	0,6524	64,1423	74,0557	0,0737	-0,0634	0,0233	1,9706
15	02454004	3	0,1156	31,8581	94,8243	0,0952	0,1149	0,2347	0,1279
16	02454012	1	-0,0396	20,1920	93,2299	0,1084	0,1475	0,2647	0,2637
17	02454006	1	-0,3328	15,2281	85,5786	0,1434	0,2642	0,4352	0,4155
18	02453027	0	0,0772	24,3099	87,9445	0,1573	0,1224	0,1202	0,2137
19	02453033	0	-0,1297	20,3013	85,5469	0,1607	0,2176	0,2539	0,3533
20	02453059	4	-0,2732	7,6447	106,7017	0,0628	0,2993	0,4207	0,8258
21	02453028	3	-0,3030	12,1851	90,6012	0,1072	0,2610	0,4325	0,0369
22	02453031	0	-0,2628	17,9174	68,6060	0,1988	0,2116	0,3484	0,4646
23	02553026	0	0,1627	28,4984	101,6137	0,1521	0,1504	0,0692	0,6263
24	02453040	4	-0,0919	16,8539	104,3945	0,0780	0,2023	0,3380	0,2703
25	02453039	1	-0,0758	30,4097	73,0370	0,1795	0,1500	0,2849	0,3033
26	02453014	0	0,0954	22,7812	93,1202	0,1397	0,1403	0,1092	0,2158
27	02453041	3	0,0321	20,6023	96,8898	0,0794	0,1429	0,2729	0,0060
28	02553024	3	0,0087	28,5601	91,2126	0,1067	0,1403	0,2837	0,2164
29	02453007	4	0,3565	40,5908	80,5136	0,0786	0,0117	0,1438	0,6658
30	02453023	4	-0,1692	18,7823	92,3147	0,1060	0,2221	0,3730	0,2959
31	02453056	0	0,1857	29,2482	100,7525	0,1552	0,1040	0,0558	0,2396
32	02553016	1	0,1912	30,1790	104,8279	0,1052	0,1022	0,1420	0,0197
33	02553031	0	0,0324	21,0955	84,4768	0,1480	0,1124	0,1479	0,4585
34	02553035	0	-0,1764	23,3945	94,4163	0,1741	0,2068	0,2862	0,0263
35	02553041	4	0,1089	38,1774	82,4140	0,1067	0,1203	0,2493	0,0852
36	02453012	2	0,1650	24,9446	89,2976	0,0880	0,1063	0,1923	0,0019
37	02453038	2	-0,0099	20,3947	87,7752	0,0976	0,1434	0,2773	0,1337
38	02452031	4	0,4373	46,5876	93,2226	0,0701	0,0187	0,1104	0,4551
39	02452051	4	-0,2011	16,3281	89,4977	0,1053	0,2201	0,3875	0,0155
40	02552006	0	-0,0546	21,3537	90,1833	0,1505	0,1707	0,2036	0,1213
41	02553019	0	-0,1084	22,5035	90,0030	0,1649	0,1644	0,2394	0,3572
42	02453013	4	-0,3662	12,2308	89,1116	0,1253	0,3233	0,4641	1,1702
43	02553033	4	-0,1987	18,6860	98,9587	0,1072	0,2400	0,3864	0,5043
44	02453037	3	-0,1049	13,7828	90,6285	0,0790	0,1763	0,3368	0,2268
45	02553028	0	0,0713	26,2099	95,5588	0,1568	0,1237	0,1238	0,2102
46	02453025	0	-0,0203	19,4467	86,6026	0,1399	0,1513	0,1813	0,0616

Tabela 2 – Ajustes da distribuição GEV às séries de precipitação diária máxima anual.

(conclusão)

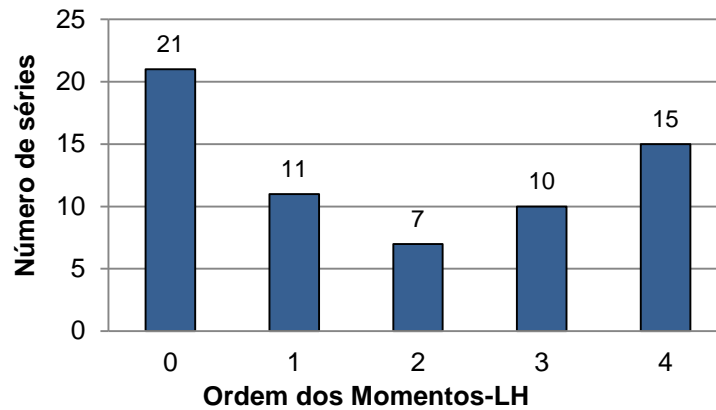
Estação		LH	Parâmetros da distribuição GEV			Taxas de momentos-LH			Z_w
ID	Código		k	α	β	cv	cc	ca	
47	02553030	4	-0,2869	18,8403	93,8756	0,1330	0,2640	0,4271	0,2532
48	02553009	2	0,1411	30,1847	100,9079	0,0952	0,1175	0,2037	0,1543
49	02554001	4	0,1679	29,9792	86,8136	0,0822	0,0974	0,2237	0,4074
50	02554002	0	0,0988	28,7641	89,4084	0,1773	0,1160	0,1071	0,3485
51	02554030	1	-0,1334	20,7471	93,3365	0,1249	0,1990	0,3174	0,1103
52	02554025	4	0,1861	58,1704	76,7136	0,1217	0,0273	0,2160	1,3734
53	02553020	3	0,1898	37,1936	94,8639	0,0946	0,1061	0,2013	0,0778
54	02554005	1	-0,0582	27,3173	100,6620	0,1314	0,1477	0,2750	0,4590
55	02554007	2	-0,3535	16,9818	94,4515	0,1456	0,2880	0,4553	0,0023
56	02554020	1	-0,1148	16,7785	99,5188	0,0983	0,1775	0,3068	0,1653
57	02554022	0	0,3815	24,1463	96,6092	0,1260	0,0832	-0,0518	0,2702
58	02554023	0	-0,1307	26,5721	94,9217	0,1848	0,1947	0,2546	0,0833
59	02554012	0	-0,1896	19,1963	97,7223	0,1448	0,1593	0,2956	1,0684
60	02554006	3	-0,0532	21,4012	88,4382	0,0999	0,1755	0,3125	0,2250
61	02554013	0	-0,2532	21,1482	97,6691	0,1686	0,2164	0,3413	0,5068
62	02554018	0	0,0383	22,9236	88,6997	0,1519	0,0943	0,1442	0,9131
63	02454011	2	0,2719	37,4715	98,2932	0,0965	0,0724	0,1422	0,2852
64	02553022	4	-0,3613	13,4640	96,8046	0,1250	0,2950	0,4618	0,2426

ID - Identificador; k - Parâmetro de forma; α - Parâmetro de escala; β - Parâmetro de posição; cv - Coeficiente de variação; cc - Coeficiente de curtose; ca - Coeficiente de Assimetria; Z_w - Teste de Wang.

Fonte: Autoria própria.

A primeira análise dos dados apresentados na Tabela 2 é em relação aos níveis de combinações lineares das estatísticas de ordens LH. Através da Figura 7 é possível visualizar que das 64 séries estudadas 21 delas, correspondente a 32,8%, pertencem à ordem LH0, portanto, os momentos-LH tornam-se iguais aos momentos-L. Enquanto que 15 séries, 23,4%, se enquadram na ordem LH4. Desse modo, segundo Queiroz e Chaudhry (2006), quando o valor de η aumenta, os momentos-LH passam a refletir cada vez mais as características da parte superior da distribuição e também dos valores extremos máximos dos dados.

Figura 7 – Número de séries para cada ordem dos momentos-LH.



Fonte: Autoria própria.

Na sequência, é necessário observar o parâmetro de forma gerado para cada uma das estações de estudo. Observou-se que o menor e o maior valor para o parâmetro de forma é de -0,3662 (estação de ID 42 - Iguatu) e de 0,6524 (estação de ID 14 - Palotina), respectivamente. Conforme Hosking, Wallis e Wood (1985), geralmente o parâmetro está no intervalo de $-0,5 < k < 0,5$, portanto, ao observar os valores apresentados na Tabela 2 em apenas uma das estações, na de ID 14, esse valor excedeu aos valores de referência. Fato que possivelmente interfere no comportamento dos resultados obtidos posteriormente.

Conforme mencionado, Stedinger *et al.* (1993 *apud* Queiroz 2002, p. 53)¹ afirma que, de modo prático, quando $-0,03 < k < 0,03$ a forma geral da distribuição GEV é semelhante a distribuição de Gumbel, conseqüentemente a forma VEI. Desse modo, classificam-se os ajustes obtidos em VEI, VEII, e VEIII. A Tabela 3 apresenta o número de séries para cada tipo de distribuição de valores extremos. Conforme é possível observar 5 séries, 7,8%, se assemelham a distribuição de Gumbel - VEI, 54,7% das séries tem distribuição do tipo VEII e 37,5% tem distribuição do tipo VEIII.

Tabela 3 – Tipo de distribuição de valores extremos.

Tipo	Parâmetro k	Número de séries	Representatividade (%)
VEI	$-0,03 < k < 0,03$	5	7,8
VEII	$k < 0$	35	54,7
VEIII	$k > 0$	24	37,5

Fonte: Autoria própria.

Em seguida, analisam-se as taxas de momento LH. Percebe-se que apenas uma das séries apresenta coeficiente de curtose negativo e apenas uma apresenta

coeficiente de assimetria negativo. De acordo com Naghettini e Pinto (2007), séries hidrológicas referentes a eventos máximos, em geral, possuem coeficientes de assimetria positivos.

Por fim, verificam-se os valores obtidos no teste estatístico de Wang. Os resultados da Tabela 2 indicam que para 63 estações os ajustes da distribuição GEV às séries de dados estudados foram aceitos com 5% de significância. No entanto, para a série sob o ID 14 o teste de Wang indicou que o ajuste da distribuição GEV aos dados não foram aceitos com nível de significância de 5%.

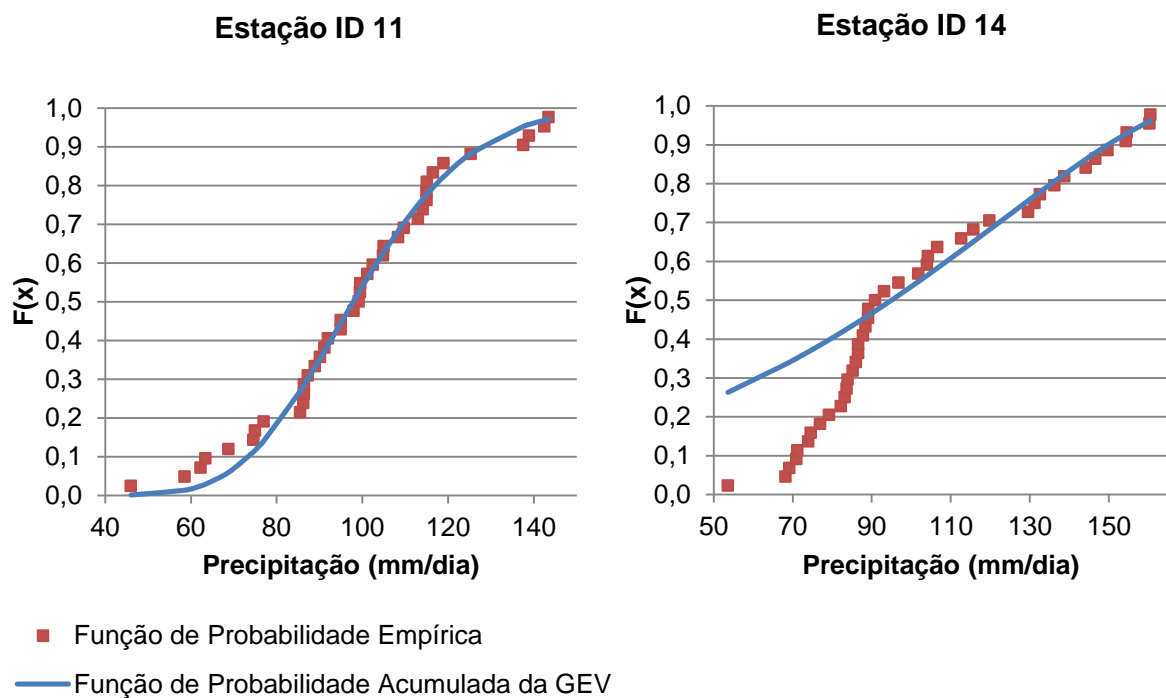
Por conta disto tentou-se investigar os motivos pelos quais os dados da série não se ajustaram à distribuição GEV. Primeiramente, vale ressaltar que esta série foi a que apresentou o maior valor para o parâmetro k (0,6524). Em seguida, observou-se que a ordem estatística considerada foi a LH4, e mesmo para essa categoria o ajuste não foi considerado adequado. Por último, estudaram-se os fatores considerados no cálculo do teste estatístico e, segundo Wang (1998), esse é um teste baseado na curtose LH. De forma que, para este conjunto de dados, obteve-se um valor negativo para a curtose LH amostral (único valor negativo observado dentre as 64 séries), característica essa que também está atrelada ao fato do ajuste não ter sido aceito.

Neste contexto, com os valores de Z_w apresentados na Tabela 2 identificou-se a estação com menor valor (ID 11) e maior valor (ID 14) para o teste estatístico de Wang (1998), ou seja, as séries com melhor e pior ajuste da distribuição GEV, respectivamente. Desse modo, para entender o comportamento de cada uma dessas situações elaborou-se o gráfico da Figura 8.

A Figura 8 apresenta a função da probabilidade empírica e a função de probabilidade acumulada da GEV em relação aos dados de precipitação diária máxima anual (mm/dia). Segundo Naghettini e Pinto (2007), existem diversas fórmulas para estimativa das posições de plotagem. Nesta situação utilizou-se a fórmula de Weibull, conhecida por sua aplicabilidade na obtenção da probabilidade de excedência não enviesada para todas as distribuições (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Porém, neste caso, para poder comparar com a função de probabilidade acumulada da GEV aplicou-se a fórmula de Weibull para a probabilidade de não-excedência. Vale ressaltar que a função de probabilidade acumulada para GEV é definida através da Equação (1).

Através do gráfico é possível perceber que para a estação de ID 11 (Mercedes) o ajuste da GEV coincide com os valores empíricos. Porém, na estação de ID 14 (Palotina) nota-se que para os menores valores de precipitação a função de probabilidade empírica não coincide com a função de probabilidade acumulada da GEV.

Figura 8 – Comparação entre a função de probabilidade empírica e de probabilidade acumulada da GEV.



Fonte: Autoria própria.

Após todas essas análises é possível dar sequência aos estudos através do cálculo dos quantis da distribuição generalizada de valores extremos para os tempos de retorno de 1 (a título de cálculo considerou-se 1,05 anos), 5 e 25 anos. Para isso utilizam-se as Equações (3) e (4), as quais estão vinculadas ao valor do parâmetro de forma. Vale destacar que para as próximas etapas de estudo a estação de ID 14 não foi considerada, pois, conforme mencionado, de acordo com o teste de Wang o ajuste não foi aceito.

4.3 DESAGREGAÇÃO DA CHUVA

Nesta etapa, através dos coeficientes da Cetesb (1986), realizou-se a desagregação da chuva para a duração de 5 minutos. Na Tabela 4 constam os

quantis (mm) obtidos para cada estação pluviométrica e a intensidade da chuva com duração de 5 minutos (chuva de projeto), em mm/h. Em relação aos quantis, percebe-se que as precipitações são elevadas para os tempos de retorno de 5 e 25 anos, isso ocorre, possivelmente, devido a ocorrência de chuvas convectivas que, de acordo com Collischonn e Dornelles (2015), na região Sul ocorrem com maior frequência na estação do verão.

Tabela 4 – Quantis da distribuição GEV e Chuva de Projeto.

(continua)

Estações		Quantis (mm)			Chuva de projeto (mm/h)		
ID	Código	1 ano	5 anos	25 anos	1 ano	5 anos	25 anos
1	02453004	73,7	107,9	143,3	106,6	156,0	207,1
2	02454018	69,2	125,1	164,7	100,0	180,8	238,1
3	02454003	61,2	111,0	155,4	88,4	160,5	224,7
4	02453010	61,3	113,4	164,0	88,7	164,0	237,1
5	02454001	51,9	111,3	149,8	75,1	160,9	216,6
6	02454016	65,0	116,2	158,0	93,9	167,9	228,4
7	02454000	75,7	119,1	164,6	109,4	172,2	237,9
8	02454013	25,4	135,3	159,2	36,7	195,6	230,1
9	02454014	73,8	105,7	137,8	106,7	152,9	199,2
10	02453047	69,5	117,0	162,9	100,5	169,1	235,5
11	02454015	67,0	116,9	139,6	96,9	169,0	201,7
12	02453048	68,0	113,4	148,5	98,3	163,9	214,6
13	02453026	71,3	137,0	179,7	103,1	198,0	259,7
15	02454004	57,0	138,7	180,0	82,4	200,5	260,2
16	02454012	71,2	124,4	162,1	103,0	179,9	234,3
17	02454006	71,4	115,2	172,5	103,2	166,5	249,3
18	02453027	59,7	122,4	156,8	86,3	176,9	226,7
19	02453033	64,5	119,2	166,0	93,2	172,3	240,0
20	02453059	99,4	120,9	145,8	143,6	174,7	210,7
21	02453028	79,1	113,7	156,4	114,3	164,4	226,1
22	02453031	51,3	101,5	158,4	74,2	146,8	229,0
23	02553026	66,8	139,5	172,7	96,6	201,7	249,6
24	02453040	86,6	131,5	167,1	125,1	190,1	241,5
25	02453039	40,6	121,3	183,1	58,6	175,4	264,7
26	02453014	66,4	125,0	155,9	95,9	180,6	225,4
27	02453041	73,5	127,1	159,5	106,3	183,7	230,6
28	02553024	59,4	134,1	182,6	85,9	193,8	263,9
29	02453007	25,0	127,7	158,0	36,2	184,6	228,4
30	02453023	73,3	124,4	172,0	105,9	179,8	248,7
31	02453056	64,6	139,0	171,3	93,4	201,0	247,6
32	02553016	67,4	144,2	177,0	97,4	208,4	255,9
33	02553031	60,6	115,4	148,6	87,5	166,8	214,8

Tabela 4 – Quantis da distribuição GEV e Chuva de Projeto.

(conclusão)

Estações		Quantis (mm)			Chuva de projeto (mm/h)		
ID	Código	1 ano	5 anos	25 anos	1 ano	5 anos	25 anos
34	02553035	70,8	134,6	195,0	102,3	194,6	281,8
35	02553041	37,2	135,2	185,5	53,8	195,5	268,2
36	02453012	58,8	122,4	151,3	85,0	177,0	218,7
37	02453038	65,1	118,4	153,0	94,1	171,1	221,2
38	02452031	26,4	144,5	173,5	38,2	208,8	250,7
39	02452051	73,2	118,1	162,8	105,8	170,7	235,3
40	02552006	67,1	123,6	164,8	97,0	178,6	238,2
41	02553019	66,4	126,7	176,0	96,0	183,1	254,5
42	02453013	77,9	113,6	163,5	112,7	164,2	236,3
43	02553033	80,3	131,6	182,5	116,1	190,3	263,8
44	02453037	76,1	113,0	143,0	110,1	163,4	206,7
45	02553028	65,2	132,8	170,5	94,2	192,0	246,5
46	02453025	65,0	115,8	148,8	93,9	167,4	215,1
47	02553030	75,9	129,2	192,6	109,8	186,8	278,4
48	02553009	64,5	141,7	178,6	93,3	204,9	258,2
49	02554001	50,1	126,6	161,0	72,4	183,0	232,7
50	02554002	55,6	129,5	168,3	80,3	187,2	243,3
51	02554030	71,9	127,8	176,1	103,9	184,7	254,6
52	02554025	4,8	152,8	216,9	6,9	221,0	313,6
53	02553020	48,8	143,4	184,0	70,5	207,3	266,1
54	02554005	71,2	143,5	196,7	102,9	207,4	284,4
55	02554007	78,8	128,0	195,2	113,9	185,1	282,2
56	02554020	82,0	127,0	164,4	118,5	183,6	237,6
57	02554022	63,1	124,2	141,2	91,2	179,5	204,2
58	02554023	67,4	139,0	200,4	97,4	200,9	289,7
59	02554012	78,5	131,0	182,2	113,4	189,4	263,3
60	02554006	65,3	121,9	163,1	94,4	176,2	235,7
61	02554013	77,2	136,3	201,9	111,5	197,0	291,8
62	02554018	62,6	122,1	157,7	90,5	176,5	228,0
63	02454011	49,6	144,4	178,4	71,7	208,8	257,8
64	02553022	84,5	123,6	177,9	122,1	178,7	257,2

Fonte: Autoria própria.

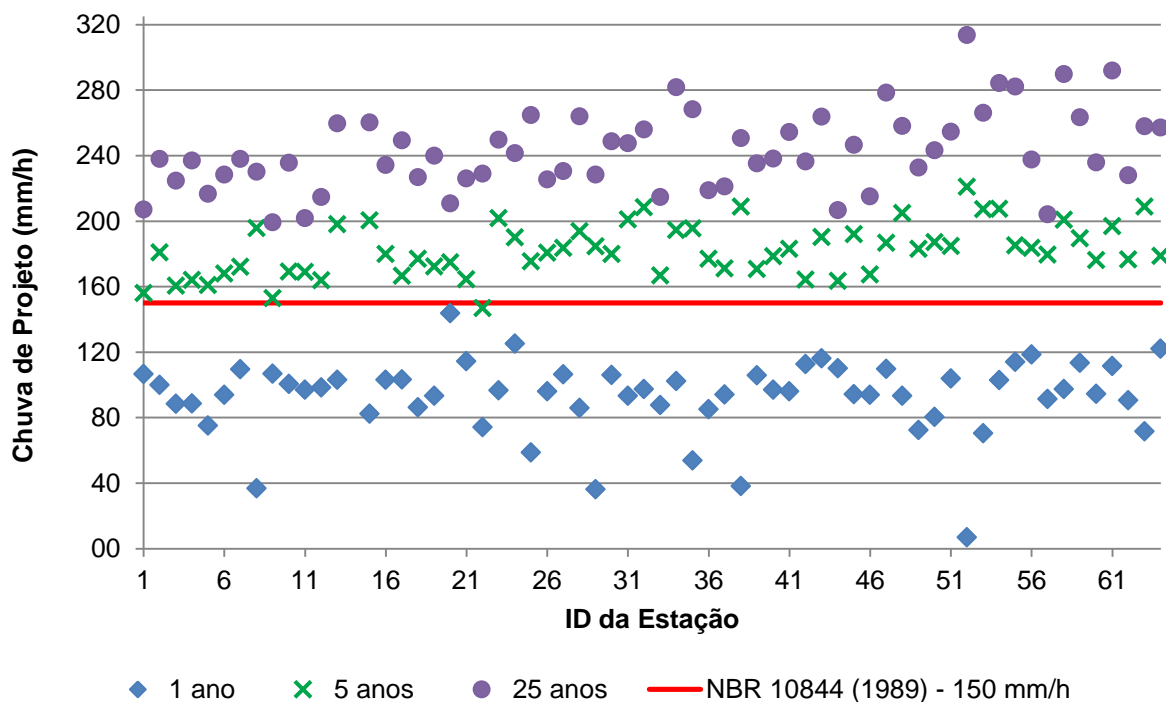
As estações do Oeste do Paraná apresentam intensidade máxima da chuva com duração de 5 minutos e período de retorno de 1 ano com valores variando entre 6,9 e 143,6 mm/h, com média de 92,97 mm/h. Já para o tempo de retorno de 5 anos, a intensidade variou entre 146,8 e 221,0 mm/h com média de 182,1 mm/h e, para o tempo de retorno de 25 anos, a chuva de projeto variou entre 199,2 e 313,60 mm/h com média de 242,8 mm/h.

Em relação ao período de retorno de 1 ano, de modo geral, os valores obtidos são significativamente inferiores ao indicado pela NBR 10844 (ABNT, 1989), portanto, por mais que a área de projeção horizontal seja maior do que 100 m² recomenda-se, por questão de segurança, a utilização do valor normativo.

Enquanto que para o período de retorno de 5 e 25 anos visualiza-se a necessidade da utilização dos dados obtidos localmente, visto que, de acordo com a Tabela 4, em praticamente todas as estações, a intensidade máxima da chuva é significativamente superior aos 150 mm/h indicado pela norma. Além disso, a utilização de valores locais permite o dimensionamento para áreas de projeção horizontais maiores que 100 m².

Na Figura 9, essas informações podem ser visualizadas com mais facilidade. A linha em vermelho representa o valor de referência sugerido pela NBR 10844 (ABNT, 1989), já as outras marcações representam chuva de projeto de cada estação, com exceção da estação de ID 14, de acordo com o período de retorno.

Figura 9 – Comparação entre valores obtidos e o valor indicado pela NBR 10844 (ABNT, 1989).



Fonte: Autoria própria.

A NBR 10844 (ABNT, 1989) não especifica a qual tempo de retorno a intensidade pluviométrica de 150 mm/h se refere. Assim, ao observar a Figura 9 e as informações já apresentadas é possível notar que o dimensionamento, considerando

a metodologia em questão, para estes 150 mm/h refere-se a um tempo de retorno inferior a 5 anos para praticamente todas as estações.

Como a intensidade para o tempo de retorno de 1 ano é inferior ao valor de norma, não foi realizada a análise geoestatística para este conjunto de dados.

4.4 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA

Anteriormente a análise geoestatística básica, tornou-se necessária a obtenção das coordenadas geográficas que delimitam a região Oeste do Paraná, para esse procedimento utilizou-se a base cartográfica (malha digital) fornecida pelo IBGE (2015). Do mesmo modo, associou-se o resultado da chuva de projeto (Tabela 4) à coordenada geográfica de cada estação para que assim fosse criado o banco de dados para a análise geoestatística. Vale ressaltar que, embasou-se esta análise no conteúdo apresentado por Ribeiro Jr e Diggle (2016), a respeito do pacote “geoR”, e no trabalho de Dalposso *et. al* (2009).

4.4.1 Análise estatística descritiva

Conforme apresentado na Seção 4.3, a intensidade máxima para a chuva de projeto de 5 minutos e tempo de retorno de 5 anos variou entre 146,8 e 221,0 mm/h, com valor médio de 182,1 mm/h e desvio padrão de 15,9 mm/h. Já para o tempo de retorno de 25 anos, a intensidade variou entre 199,2 e 313,6 mm/h, com média de 242,8 mm/h e desvio padrão de 24,2 mm/h. Para as duas amostras o coeficiente de variação obtido é inferior a 10%, portanto, a distribuição tem baixa variabilidade (FONSECA; MARTINS, 2010). Na Tabela 5 são apresentadas algumas das estatísticas descritivas citadas.

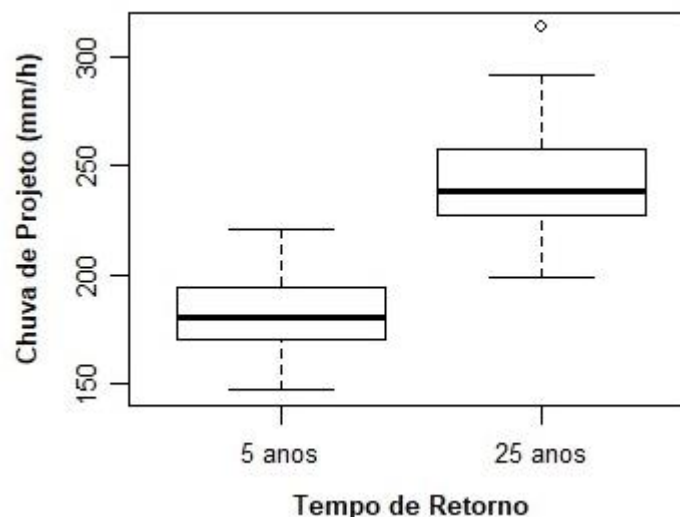
Tabela 5 – Estatísticas descritivas.

Estatísticas	5 anos	25 anos
Mínimo	146,8	199,2
1° Quartil	169,9	227,4
2° Quartil	180,6	238,1
Média	182,1	242,8
3° Quartil	194,2	258,0
Máximo	221,0	313,6
Desvio Padrão	15,9	24,2
Coeficiente de Variação (%)	8,7	9,9

Fonte: Autoria própria.

Em seguida realizou-se a verificação da Normalidade, para os dois conjuntos de dados. Segundo o teste de Shapiro Wilk, o nível descritivo (p-valor) é de 0,7516 e 0,2915 para a amostra referente ao tempo de retorno de 5 e 25 anos, respectivamente. Portanto, como esses valores são maiores do que o nível de significância ($\alpha = 0,05$), de acordo com Lopes, Branco e Soares (2013), a distribuição Normal é uma distribuição possível para o conjunto de dados em questão.

A Figura 10 mostra o gráfico boxplot da chuva de projeto para os dois conjuntos.

Figura 10 – Boxplot para os dados de chuva de projeto.

Fonte: Autoria própria

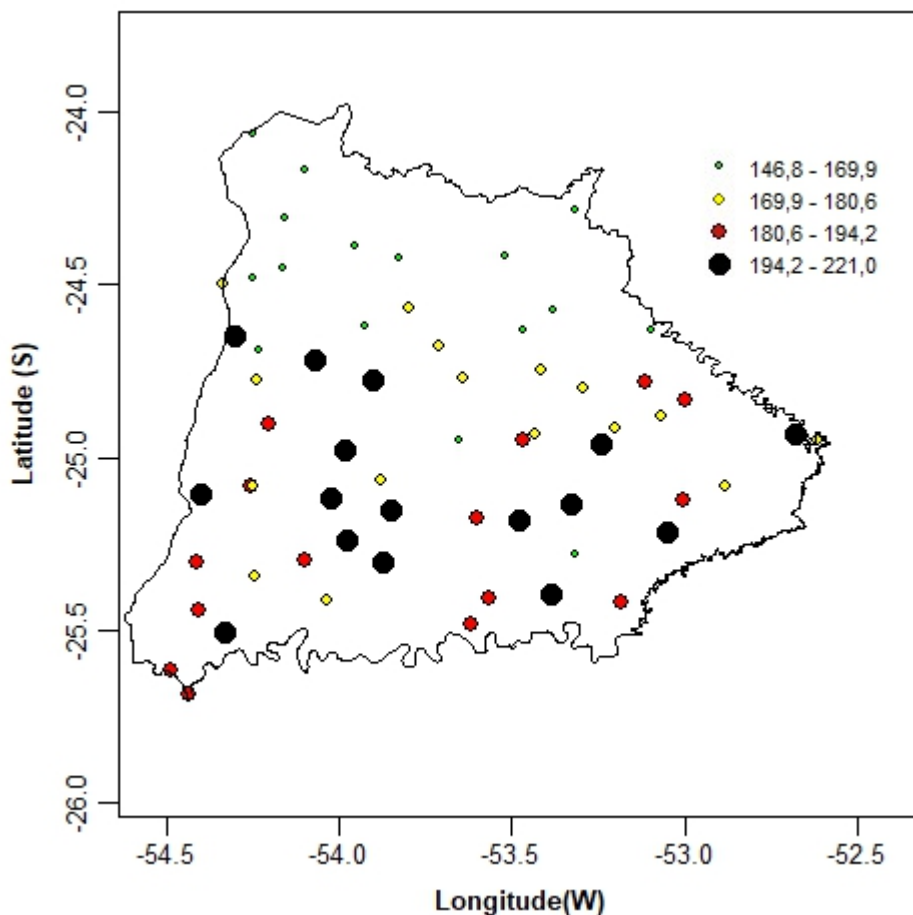
Conforme a Figura 10, destaca-se que para a amostra cujo período de retorno é de 5 anos não existem valores discrepantes e o boxplot apresenta um comportamento simétrico em relação à mediana, evidenciando a distribuição normal

dos dados. Já para amostra cujo tempo de retorno é de 25 anos percebe-se a presença de um valor discrepante (*outlier*), no entanto, o comportamento também apresenta certa simetria em relação à mediana.

4.4.2 Análise exploratória espacial

As Figuras 11 e 12 ilustram como são distribuídos ao longo da região Oeste do Paraná os valores da chuva de projeto (mm/h). Classificou-se a mesma de acordo com os quartis, formando 4 classes.

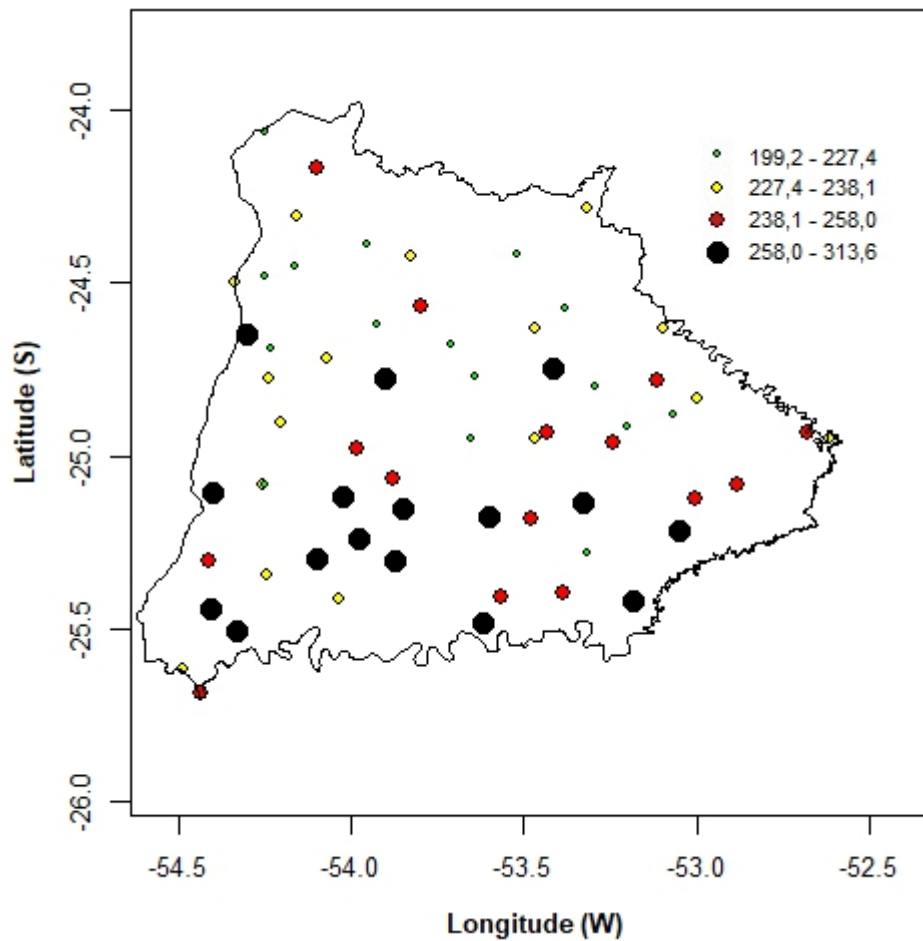
Figura 11 – Postplot: tempo de retorno de 5 anos.



Fonte: Autoria própria.

Através da Figura 11, gráfico *postplot* para a amostra cuja chuva de projeto refere-se ao tempo de retorno de 5 anos, é possível perceber que ao norte da região estudada predominam valores mais baixos, que corresponde a primeira e segunda classe. Já na região sul, observa-se uma maior concentração de valores altos de chuva de projeto (terceira e quarta classe).

Figura 12 – Postplot: tempo de retorno de 25 anos.



Fonte: A autoria própria

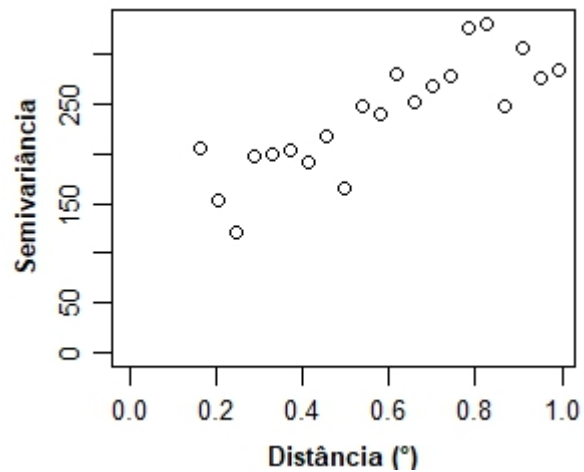
Já na Figura 12, gráfico *postplot* para a chuva de projeto referente ao tempo de retorno de 25 anos, o comportamento é bastante semelhante ao observado para a outra amostra, há predominância de valores da terceira e quarta classe na região sul, e na parte norte há mais valores das duas primeiras classes.

4.4.3 Semivariogramas

Para o estudo variográfico, assumindo que os dados se comportam de maneira isotrópica, é possível construir um único semivariograma experimental, o semivariograma omnidirecional. Para a construção do mesmo é necessário definir a distância máxima entre os pontos amostrais, e com isso determinar a distância de corte. Neste estudo como valor de corte considerou-se a distância de 0,9909 graus decimais, equivalente a 50% da distância máxima entre dois pontos amostrais, conforme sugerido por Clark (1979).

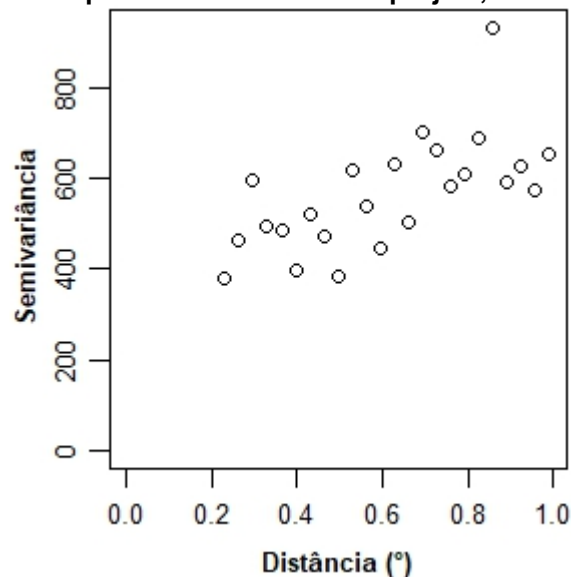
As Figuras 13 e 14 apresentam os semivariogramas experimentais, de modo que as semivariâncias foram obtidas através do estimador de Matheron.

Figura 13 – Semivariograma experimental da chuva de projeto, amostra de $Tr = 5$ anos.



Fonte: Autoria própria

Figura 14 – Semivariograma experimental da chuva de projeto, amostra de $Tr = 25$ anos.



Fonte: Autoria própria.

Observa-se que a primeira semivariância é registrada para uma distância de 0,1652 graus decimais, para a amostra correspondente ao tempo de retorno de 5 anos, e 0,2312 graus decimais, para a amostra correspondente ao tempo de retorno de 25 anos. Além disso, utilizou-se um valor mínimo de 30 pares de pontos a serem considerados no cálculo de cada semivariância, e para as duas amostras respeitou-se o número mínimo de pares de pontos (MOURÃO JR, 2009). Para a amostra de Tr de 5 anos a menor quantidade de pares de pontos é 37, e ocorreu para uma distância de 0,2064 graus decimais o que correspondente a semivariância de

152,2146. Já para a outra amostra a quantidade mínima de pares de pontos ocorreu para a distância de 0,2643 graus decimais, com 39 pares de pontos e correspondente a semivariância de 464,4763.

Em seguida partiu-se para o ajuste aos modelos teóricos, e a Tabela 6 apresenta as estimativas dos parâmetros para estes ajustes. Essa etapa foi realizada utilizando os modelos gaussiano, esférico e exponencial através do método dos mínimos quadrados ordinários para estimar os parâmetros.

Tabela 6 – Modelos ajustados e parâmetros obtidos para dados de chuva de projeto.

Tempo de retorno	Método	Modelo	C_0	C_1	$C_0 + C_1$	a
5 anos	OLS	Gaussiano	145,6947	167,4907	313,1853	1,0599
		Esférico	106,3508	194,6061	300,9570	1,0988
		Exponencial	109,8794	371,8083	481,6877	3,9384
25 anos	OLS	Gaussiano	405,4215	331,8142	737,2357	1,2821
		Esférico	325,7982	389,3867	715,1848	1,3479
		Exponencial	339,0573	1200,8922	1539,949	8,6602

OLS - mínimos quadrados ordinários; C_0 - efeito pepita; C_1 - contribuição; $C_0 + C_1$ - patamar; a - alcance (graus decimais).

Fonte: Autoria própria.

Ao observar o valor do alcance percebe-se que, para as duas amostras, o modelo exponencial é o que apresenta maior raio de dependência espacial, no entanto, o valor excede a distância máxima da área de estudo, que é de 1,9819 graus decimais. Então, apesar de estar matematicamente correto, de acordo com Dalposso *et al.* (2009), não é indicado utilizá-lo, visto que, não condiz com a realidade e existem outros dois modelos para o qual não se obteve alcances além da região estudada. Desse modo, é possível afirmar que para os modelos gaussiano e esférico o comportamento do semivariograma teórico reflete mais a realidade e, conseqüentemente, produz parâmetros mais confiáveis. Por conta disso, nas próximas análises o modelo exponencial será desconsiderado.

Além disso, ainda é possível estudar o grau de dependência espacial fornecido pelos modelos. Segundo Cambardella *et al.* (1994), o efeito pepita relativo (definido, em porcentagem, pela razão entre o efeito pepita e o patamar) é um parâmetro que indica o grau de dependência espacial, de modo que para os dois modelos de cada amostra a classificação é de “moderada dependência espacial”, pois, o efeito pepita relativo está no intervalo entre 25 e 75%. O menor valor para o

efeito pepita relativo foi observado para o modelo esférico e igual a 35,6% e 45,6% para a primeira e segunda amostra, respectivamente.

4.4.4 Validação cruzada

Nesta pesquisa utilizou-se da Validação Cruzada como critérios para a escolha do melhor ajuste e os resultados são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Validação cruzada para a chuva de projeto.

Tempo de retorno	Método	Modelo	EM	DP _{EM}	\overline{ER}	S _{ER}	EA
5 anos	OLS	Gaussiano	-0,0124	13,4298	-0,0004	1,0245	639,9381
		Esférico	0,0062	13,8517	0,0005	1,0822	656,6872
25 anos	OLS	Gaussiano	0,0413	22,2392	0,00010	1,0426	1109,5953
		Esférico	0,1202	22,5890	0,0029	1,0811	1113,2922

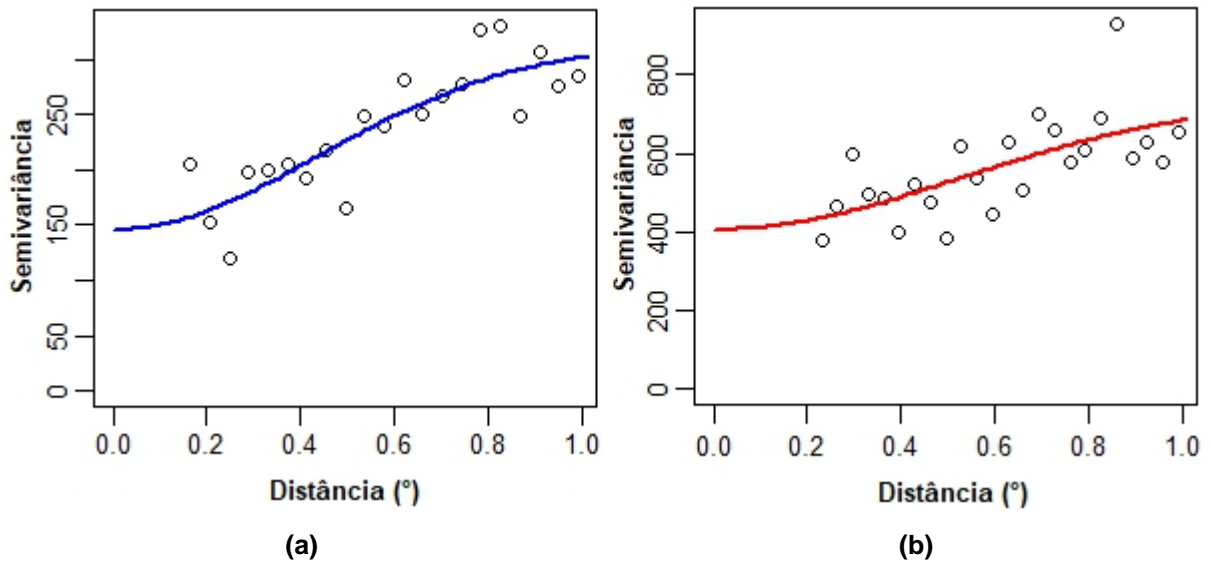
EM - Erro médio; DP_{EM} - Desvio Padrão dos erros médios; ER - Erro médio reduzido; S_{ER} - desvio padrão dos erros reduzidos; EA - Erro absoluto (mm/h).

Fonte: Autoria própria.

Observando os resultados da Tabela 7, procura-se o erro médio (EM) e o erro médio reduzido (\overline{ER}) mais próximos de zero, o menor desvio padrão dos erros médios (DP_{EM}), o desvio padrão dos erros reduzidos (S_{ER}) mais próximo de 1 e menor erro absoluto (EA). Como o modelo Gaussiano obteve melhor resultado em quatro critérios, para a primeira amostra, e nos cinco critérios, para a segunda amostra, utilizam-se os parâmetros desse modelo para a elaboração do mapa temático gerado por Krigagem Ordinária.

Na Figura 15 são apresentados os dois semivariogramas experimentais com o modelo ajustado (gaussiano).

Figura 15 – Semivariogramas ajustados: (a) referente aos dados de $Tr = 5$ anos; (b) referente aos dados de $Tr = 25$ anos.



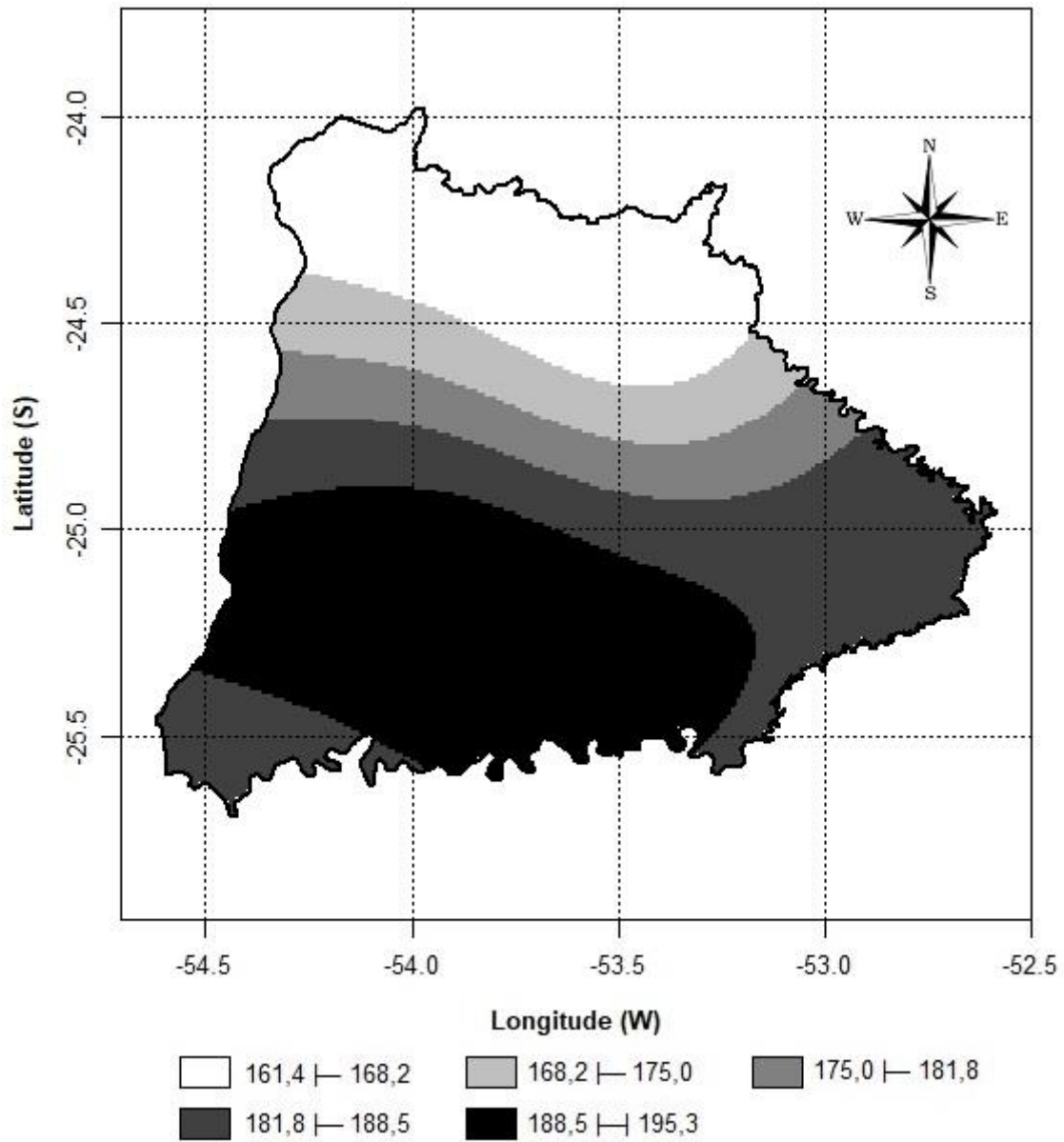
Fonte: Autoria própria

A Figura 15 – (a) apresenta o semivariograma ajustado para a amostra obtida com o $Tr = 5$ anos e a Figura 15 – (b) o semivariograma ajustado para a amostra obtida com o $Tr = 25$ anos.

4.4.5 Mapa temático

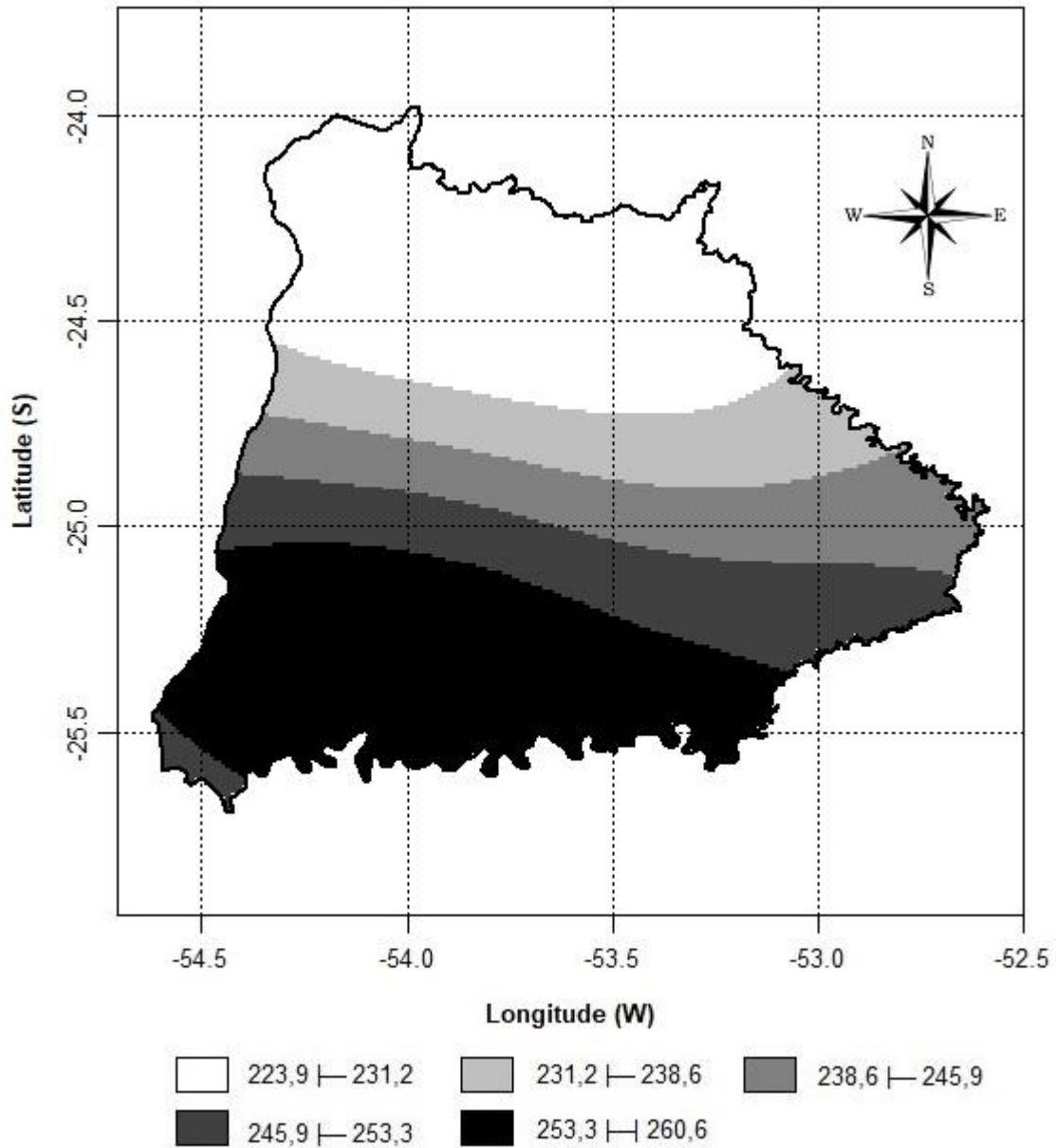
Considerando a Krigagem ordinária como interpolador e utilizando parâmetros do modelo gaussiano, conforme apresentados na Tabela 6, elaborou-se as Figuras 16 e 17 que são os mapas temáticos da intensidade da chuva com duração de 5 minutos e tempo de retorno de 5 e 25 anos, respectivamente. Vale destacar que optou-se pela apresentação do mapa com a divisão em cinco classes, em que o mínimo da primeira classe e o máximo da quinta classe correspondem ao mínimo e máximo valor Krigado, respectivamente.

Figura 16 – Intensidade da chuva com duração de 5 minutos e T_r de 5 anos (chuva de projeto) para a região Oeste do Paraná.



Fonte: Autoria própria.

Figura 17 – Intensidade da chuva com duração de 5 minutos e T_r de 25 anos (chuva de projeto) para a região Oeste do Paraná.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 16 apresenta a intensidade máxima da chuva com duração de 5 minutos e tempo de retorno de 5 anos para a região Oeste do Paraná. Ao observá-la é possível perceber que o mínimo valor krigado é 161,4 mm/h e o máximo valor krigado é 195,3 mm/h. Já na Figura 17, correspondente a intensidade de chuva com duração de 5 minutos e período de retorno de 25 anos, verifica-se que o mínimo e máximo valor krigado é de 223,9 mm/h e 260,6 mm/h, respectivamente.

Além disso, para os dois mapas, percebe-se a formação de faixas bem definidas, nas quais a classe com os menores valores são localizados na parte

superior do mapa com comportamento crescente até a parte inferior. Porém, no canto inferior esquerdo das figuras nota-se uma diminuição na intensidade da chuva.

Portanto, destaca-se que para os dois mapas a chuva de projeto para instalações prediais de águas pluviais é superior, em sua totalidade, ao valor genérico indicado pela NBR 10844 (ABNT, 1989).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho aplicou-se a distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV), com estimação dos parâmetros via Momentos-LH, para a análise das precipitações máximas de séries históricas da região Oeste do Paraná. Dentre as 64 séries analisadas, 5 pertencem a distribuição do tipo VEI, 35, ao tipo VEII e 24, ao tipo VEIII. No entanto, para uma dessas séries, a de ID 14, o teste de Wang (1998) indicou que o ajuste da distribuição GEV aos dados não foram aceitos com nível de significância de 5%, por conta disso essa estação foi desconsiderada nas demais análises.

Estimados os quantis da distribuição GEV tornou-se possível a desagregação da chuva para a duração de 5 minutos. Para o tempo de retorno de 1 ano todos os valores estão abaixo do valor genérico sugerido pela NBR 10844 (ABNT,1989) que é 150 mm/h. Já para os demais períodos de retorno, 5 e 25, a intensidade da chuva em quase todas as estações ficou significativamente acima do valor de referência.

Na parte geoestatística, para realizar o estudo variográfico utilizou-se três modelos teóricos (gaussiano, esférico e exponencial) e os parâmetros desses modelos foram definidos através do método dos mínimos quadrados ordinários. A validação cruzada, utilizada como técnica para escolha do melhor modelo comprovou que o modelo gaussiano apresentou o melhor ajuste. Assim, elaborou-se os mapas através desse modelo para as duas amostras, de modo que para a amostra de $Tr = 5$ o mínimo e o máximo valor krigado é 161,4 e 195,3 mm/h, respectivamente. Para a outra amostra, de $Tr = 25$, os valores são de 223,9 e 260,6 mm/h.

Escolheu-se o mapa temático para apresentação dos resultados da intensidade, pois é uma maneira que permite a fácil visualização e identificação das variáveis por parte dos projetistas da região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844**: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

BACK, Álvaro José; BONETTI, Anderson Vendelino. Chuva de projeto para instalações prediais de águas pluviais de Santa Catarina. **Associação Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 19, n. 4, p.260-267, dez. 2014. Trimestral. Disponível em: <https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/173/c069ef51691f6878eeaf2f67cee8859f_ae342d42d4f4443fc316cb0d10daca1c.pdf>. Acesso em: 30 mai. 2017.

BATISTA, Marcelo Linon. **Precipitação Máxima diária Anual na região Sudeste do Brasil**: Distribuição de probabilidade e análise espacial. 2013. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG, 2013. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/1690/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Precipita%C3%A7%C3%A3o%20m%C3%A1xima%20di%C3%A1ria%20anual%20na%20Regi%C3%A3o%20Sudeste%20do%20Brasil%20_%20distribui%C3%A7%C3%A3o%20de%20probabilidade%20e%20an%C3%A1lise%20espacial.pdf>. Acesso em: 17 set. 2017.

CAMBARDELLA, C. A. *et al.* Field-Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society Of America Journal**, [s.l.], v. 58, n. 5, p.1501-1511, 1994. Soil Science Society of America. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/43269985_Field-Scale_Variability_of_Soil_Properties_in_Central_Iowa_Soils>. Acesso em: 18 abr. 2018.

CETESB. **Drenagem Urbana: manual de projeto**. 3. ed. São Paulo: Cetesb, 1986. 464 p.

CLARK, Isobel. **Practical Geoestatistics**. England: Aplied Science Publishers, 1979. 129 p.

COLLISCHONN, Walter; DORNELLES, Fernando. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. 2. ed. Revisada e ampliada. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2015.

CRESSIE, Noel; HAWKINS, Douglas M.. Robust Estimation of the Variogram: I. **Mathematical Geology**, [s.i.], v. 12, n. 2, p.115-125, 1980. Disponível em: <<https://www.ime.usp.br/~abe/lista/pdfOZDqFaTuKv.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2018.

CRESSIE, Noel A. C. **Statistics for Spatial data**. New York, John Wiley, 1993. 900p.

DALPOSSO, Gustavo H. *et al.* Previsão da Produção de trigo utilizando métodos Geoestatísticos. In: CONGRESSO ARGENTINO DE INGENIERÍA RURAL Y II DEL MERCOSUR, 10., 2009, Rosário. **Anais...** . Rosário, 2009. p. 78 - 86. Disponível em: <

https://www.researchgate.net/profile/Gustavo_Dalposso/publication/305653590_PREVISA_O_DA_PRODUCAO_DE_TRIGO_UTILIZANDO_METODOS_GEOESTATISTICOS/links/5797e3e808ae33e89faedcd9/PREVISA_O-DA-PRODUCAO-DE-TRIGO-UTILIZANDO-METODOS-GEOESTATISTICOS.pdf >. Acesso em: 11 mai. 2018

GUEDES, Luciana Pagliosa Carvalho *et al.* Anisotropia no estudo da variabilidade espacial de algumas variáveis químicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 32, n. 6, p.2217-2226, dez. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832008000600001>. Acesso em: 10 mai. 2018.

FARACO, Mário Antonio *et al.* Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 32, n. 2, p.463-476, 2008. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n2/01.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2017.

FONSECA, Jairo Simon da; MARTINS, Gilberto de Andrade. **Curso de Estatística**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 320 p.

HOSKING, J. R.; WALLIS, J.r.; WOOD, E.f.. Estimation of the Generalized Extreme-Value Distribution by the Method of Probability-Weighted Moments. **Technometrics**, Alexandria, v. 27, n. 3, p.251-261, ago. 1985. Disponível em: < <https://hydrology.agu.org/wp-content/uploads/sites/19/2016/09/Hosking1985.pdf> >. Acesso em: 04 abr. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Mapas**: base cartográfica. 2015. Disponível em: < <https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html> >. Acesso em: 26 ago. 2017.

INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ – AGUASPARANÁ. **Sistema de informações hidrológicas**. Disponível em: < <http://www.sih-web.aguasparana.pr.gov.br> >. Acesso em: 10 ago. 2017.

JENKINSON, A. F. The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) of metereological elements. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**. London, v.81, n 551.501.45, p.158-171, 195.

LOPES, Manuela de Mesquita; BRANCO, Verônica Teixeira Franco Castelo; SOARES, Jorge Barbosa. Utilização dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para verificação da normalidade para materiais de pavimentação. **Transportes**, [s.i.], v. 21, n. 1, p.59-66, 30 abr. 2013. Programa de Pos Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.4237/transportes.v21i1.566> >. Acesso em: 10 abr. 2018.

MOURÃO JR, Carlos Alberto. Questões em Bioestatística: o tamanho da amostra. **Revista Interdisciplinar de Estudos Experimentais**, [s.i.], v. 1, n. 1, p.26-28, 2009. Disponível em: < <https://riee.ufjf.emnuvens.com.br/riee/article/view/545/494>>. Acesso em: 22 abr. 2018.

NAGHETTINI, Mauro; PINTO, Éber José de Andrade. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 561 p.

PINTO, Nelson L. de Sousa. *et al.* **Hidrologia Básica**. São Paulo: Blucher, 1976. São Paulo: Blucher, 1976.

QUADROS, Luciana Espíndula de. **Distribuição de frequência e temporal de chuvas intensas**. 2008. 60 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná- Unioeste, Cascavel/PR, 2008. Disponível em: < <http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/2760/1/Luciana%20Espindula%20de%20Quadr os.pdf>. Acesso em: 17 set. 2017.

QUEIROZ, Manoel M. F. de; CHAUDHRY, Fazal H.. Análise de eventos hidrológicos extremos, usando-se a distribuição GEV e momentos LH. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p.381-389, 26 jun. 2006. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v10n2/v10n2a20.pdf> >. Acesso em: 24 ago. 2017.

QUEIROZ, Manoel Moisés Ferreira de. **Análise de cheias anuais segundo distribuição generalizada**. 2002. 236 f. Tese (Doutorado) - Curso de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-29032016-112620/pt-br.php>>. Acesso em: 26 set. 2017.

R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 28 set. 2017.

RIBEIRO JR, Paulo J.; DIGGLE, Peter J. geoR: Analysis of Geostatistical Data. R package version 1.7-5.2. (2016). Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=geoR>. Acesso em: 01 out. 2017.

SISTEMA DE MONITORAMENTO AGROMETEOROLÓGICO – SMA. **Classificação climática segundo Köppen**. Disponível em: < http://sma.fundacaoabc.org/climatologia/classificacao_climatica/parana />. Acesso em: 16 set. 2017.

SOARES, Almílcar. **Geoestatística para ciências da terra e do ambiente**. Lisboa-Portugal: Ist Press, 2002. 1 v.

TUCCI, Carlos E. M (Org). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

WANG, Q. J. Approximate goodness-of-fit test of fitted generalized extreme value distribution using LH moment. **Water Resources**. Washington, v. 34, n.12, p.3497-3502,1998. Disponível em: < <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/98WR02364>>. Acesso em: 02 out. 2017.

WANG, Q. J. LH moments for statistical analysis of extreme events. **Water Resources**. Washington, v.33, n.12, p2841-2848, 1997. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/97WR02134>>. Acesso em: 02 out. 2017.

YAMAMOTO, Jorge Kazuo; LANDIM, Paulo M. Barbosa. **Geoestatística: Conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 215 p.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Estações selecionadas para o estudo e informações relevantes sobre as mesmas.

						(continua)		
Estação						Período de dados		
ID	Código	Município	Alt.(m)	Lat. (S)	Long.(W)	Inicial	Final	N
1	02453004	Assis Chateaubriand	350	24° 25' 00"	53° 31' 00"	1967	1998	32
2	02454018	Diamante d'Oeste	248	24° 54' 22"	54° 12' 05"	1976	2016	41
3	02454003	Entre Rios do Oeste	239	24° 41' 31"	54° 13' 58"	1964	2016	53
4	02453010	Formosa do Oeste	370	24° 16' 59"	53° 19' 00"	1968	2016	49
5	02454001	Guaíra	218	24° 04' 00"	54° 15' 00"	1956	2008	53
6	02454016	Guaíra	340	24° 18' 21"	54° 09' 17"	1976	2016	41
7	02454000	Marechal Cândido Rondon	150	24° 30' 00"	54° 19' 59"	1941	2008	68
8	02454013	Marechal Cândido Rondon	438	24° 43' 00"	54° 04' 00"	1976	1996	21
9	02454014	Marechal Cândido Rondon	356	24° 28' 59"	54° 15' 00"	1976	1996	21
10	02453047	Maripá	394	24° 25' 21"	53° 49' 38"	1977	2016	40
11	02454015	Mercedes	407	24° 27' 15"	54° 09' 44"	1976	2016	41
12	02453048	Nova Santa Rosa	341	24° 23' 24"	53° 57' 21"	1976	2012	37
13	02453026	Ouro Verde do Oeste	528	24° 46' 32"	53° 54' 06"	1976	2016	41
14	02453003	Palotina	310	24° 18' 00"	53° 55' 00"	1969	2011	43
15	02454004	Pato Bragado	253	24° 38' 53"	54° 17' 52"	1974	2016	43
16	02454012	Santa Helena	261	24° 46' 43"	54° 14' 23"	1976	2016	41
17	02454006	Terra Roxa	378	24° 10' 01"	54° 05' 55"	1974	2016	43
18	02453027	Toledo	618	24° 46' 22"	53° 38' 34"	1976	2016	41
19	02453033	Toledo	552	24° 34' 00"	53° 48' 00"	1976	1996	21
20	02453059	Toledo	518	24° 40' 35"	53° 42' 37"	1993	2016	24
21	02453028	Toledo	519	24° 37' 13"	53° 55' 34"	1976	2016	41
22	02453031	Tupãssi	578	24° 37' 59"	53° 28' 00"	1976	1996	21
23	02553026	Boa Vista da Aparecida	478	25° 23' 40"	53° 23' 05"	1976	2016	41
24	02453040	Braganey	652	24° 46' 59"	53° 07' 00"	1976	1996	21
25	02453039	Cafelândia	626	24° 45' 00"	53° 25' 00"	1977	1996	20
26	02453014	Campo Bonito	700	24° 52' 59"	53° 04' 00"	1974	2016	43
27	02453041	Campo Bonito	682	24° 49' 59"	53° 00' 00"	1976	1996	21
28	02553024	Capitão Leônidas Marques	264	25° 28' 59"	53° 37' 00"	1976	2016	41
29	02453007	Cascavel	750	24° 57' 00"	53° 28' 00"	1967	1986	20
30	02453023	Cascavel	760	24° 55' 59"	53° 25' 59"	1973	2008	36
31	02453056	Cascavel	662	24° 57' 43"	53° 14' 36"	1976	2016	41
32	02553016	Cascavel	611	25° 11' 01"	53° 28' 49"	1981	2012	32
33	02553031	Cascavel	495	25° 16' 59"	53° 19' 00"	1976	2002	27
34	02553035	Cascavel	633	25° 08' 11"	53° 19' 51"	1976	2016	41
35	02553041	Catanduvas	600	25° 13' 00"	53° 03' 00"	1976	2016	41
36	02453012	Corbélia	696	24° 47' 55"	53° 17' 29"	1966	2012	47
37	02453038	Corbélia	644	24° 55' 00"	53° 12' 00"	1976	1997	22
38	02452031	Diamante do Sul	655	24° 55' 59"	52° 40' 59"	1977	1997	21

						(conclusão)		
Estação						Período de dados		
ID	Código	Município	Alt.(m)	Lat. (S)	Long.(W)	Inicial	Final	N
39	02452051	Diamante do Sul	380	24° 57' 00"	52° 37' 00"	1984	2016	33
40	02552006	Guaraniaçú	920	25° 04' 59"	52° 52' 59"	1965	2016	52
41	02553019	Ibema	877	25° 07' 18"	53° 00' 23"	1977	2016	40
42	02453013	Iguatu	730	24° 37' 59"	53° 06' 00"	1965	2016	52
43	02553033	Lindoeste	731	25° 10' 27"	53° 36' 08"	1976	2015	40
44	02453037	Nova Aurora	544	24° 34' 23"	53° 22' 48"	1976	2016	41
45	02553028	Santa Lúcia	477	25° 24' 38"	53° 34' 05"	1976	2016	41
46	02453025	Santa Tereza do Oeste	469	24° 57' 00"	53° 39' 00"	1976	1999	24
47	02553030	Três Barras do Paraná	534	25° 25' 00"	53° 10' 59"	1976	2016	41
48	02553009	Céu Azul	650	25° 09' 21"	53° 51' 00"	1966	2016	51
49	02554001	Foz do Iguaçu	100	25° 37' 00"	54° 28' 59"	1942	2005	64
50	02554002	Foz do Iguaçu	152	25° 40' 59"	54° 25' 59"	1949	2015	67
51	02554030	Foz do Iguaçu	245	25° 18' 22"	54° 24' 46"	1996	2016	21
52	02554025	Itaipulândia	244	25° 06' 34"	54° 23' 58"	1986	2016	31
53	02553020	Matelândia	458	25° 18' 23"	53° 52' 22"	1976	2016	41
54	02554005	Matelândia	570	25° 14' 25"	53° 58' 31"	1966	2016	51
55	02554007	Medianeira	402	25° 18' 00"	54° 06' 00"	1963	1987	25
56	02554020	Missal	316	25° 04' 55"	54° 15' 16"	1976	2016	41
57	02554022	Missal	400	25° 04' 59"	54° 15' 00"	1976	1996	21
58	02554023	Ramilândia	586	25° 07' 07"	54° 01' 31"	1976	2013	38
59	02554012	Santa Terezinha de Itaipu	271	25° 26' 28"	54° 24' 11"	1976	2015	40
60	02554006	São Miguel do Iguaçu	287	25° 20' 45"	54° 14' 37"	1963	2016	54
61	02554013	São Miguel do Iguaçu	297	25° 30' 15"	54° 19' 39"	1975	2016	42
62	02554018	Serranópolis do Iguaçu	279	25° 24' 48"	54° 02' 14"	1976	2015	40
63	02454011	Vera Cruz do Oeste	545	24° 58' 37"	53° 59' 02"	1976	2016	41
64	02553022	Vera Cruz do Oeste	642	25° 03' 49"	53° 52' 39"	1976	2016	41

ID - Identificador; Alt.- Altitude; Lat.- Latitude; Long. - Longitude; N - tamanho da amostra.

Fonte: Autoria própria.

APÊNDICE B – Estatísticas descritivas.

(continua)

ID	Estação	\bar{X}	S	g	k	Mín.	Máx.	A	Q1	Q2	Q3
1	02453004	94,5563	23,8814	1,4494	3,8069	58,4	178,6	120,2	82,1	92,5	103,0
2	02454018	104,9683	28,9629	1,1070	2,3699	56,4	204,7	148,3	85,9	99,9	121,1
3	02454003	93,7208	29,1456	1,7052	4,0352	52,7	205,1	152,4	76,3	86,1	109,8
4	02453010	95,7469	31,5385	1,7456	4,0398	55,7	217,3	161,6	78,8	86,5	111,0
5	02454001	90,6774	29,6539	0,8534	0,5728	43,0	171,2	128,2	72,8	85,0	107,8
6	02454016	98,3244	27,5620	1,1221	1,6908	45,9	186,6	140,7	81,6	91,2	116,6
7	02454000	103,1618	30,1536	1,9009	6,2370	52,4	243,0	190,6	84,7	99,3	112,8
8	02454013	103,6667	31,7873	0,1389	-1,0409	50,6	163,6	113,0	75,4	104,0	133,2
9	02454014	91,1286	23,1405	0,8452	0,9951	61,4	152,4	91,0	70,8	91,4	101,2
10	02453047	100,6024	28,9733	1,5633	2,7954	57,0	192,0	135,0	83,2	93,3	115,0
11	02454015	98,3780	22,6739	-0,0139	-0,0389	46,0	143,5	97,5	86,4	99,2	114,1
12	02453048	97,2244	24,4120	1,1043	2,3984	47,9	180,7	132,8	83,1	90,3	107,7
13	02453026	114,1756	31,5950	0,7866	0,1340	62,1	192,0	129,9	94,5	108,8	126,3
14	02453003	103,5977	29,4863	0,5736	-0,8819	53,6	160,6	107,0	83,5	90,9	130,4
15	02454004	110,5860	34,2676	0,5856	-0,0534	53,8	197,0	143,2	86,2	103,6	129,4
16	02454012	106,1659	26,0281	1,2941	2,1885	70,4	194,5	124,1	87,2	100,7	117,5
17	02454006	101,4000	33,9005	2,1699	5,9161	55,0	238,7	183,7	82,5	93,0	104,3
18	02453027	100,2415	27,9522	0,6242	0,0048	53,2	163,4	110,2	78,0	100,9	112,8
19	02453033	100,2286	29,6505	1,1863	1,1576	59,5	170,9	111,4	85,0	90,2	110,7
20	02453059	108,0833	21,0222	0,4476	1,1024	70,8	164,6	93,8	95,0	110,3	118,8
21	02453028	100,1805	28,0292	1,6200	3,8532	61,0	197,8	136,8	85,0	95,3	109,2
22	02453031	85,1619	33,2902	1,9715	5,0691	53,0	194,9	141,9	60,6	79,4	99,9
23	02553026	114,0585	31,0959	0,6340	0,9358	65,0	208,7	143,7	92,2	112,8	130,4
24	02453040	112,1143	27,6898	0,4481	0,5660	62,4	179,3	116,9	95,2	107,4	126,8
25	02453039	93,5143	40,0495	1,0565	0,6445	45,4	189,6	144,2	64,4	83,4	106,0
26	02453014	104,2907	25,8487	0,5838	0,1724	56,2	168,4	112,2	84,7	103,6	117,3
27	02453041	105,4857	27,8681	0,2481	-0,0866	58,0	166,0	108,0	86,0	107,0	120,0
28	02553024	108,6000	33,8662	1,0274	1,0303	61,8	212,5	150,7	82,0	103,9	127,0
29	02453007	101,7200	28,0909	0,2946	0,0040	47,2	157,8	110,6	87,3	96,1	122,5
30	02453023	104,5139	32,6193	1,3225	2,5343	52,1	200,8	148,7	81,4	98,3	119,8
31	02453056	113,0225	31,0509	0,5454	0,7429	58,6	208,0	149,4	89,8	115,9	131,8
32	02553016	117,5189	31,2391	0,2838	-0,1569	51,0	190,1	139,1	92,4	117,0	135,7
33	02553031	95,9963	24,9201	0,5847	-0,3562	55,2	145,9	90,7	78,0	87,8	109,3
34	02553035	112,8146	37,2155	1,4412	2,2437	58,6	235,5	176,9	90,2	103,4	123,2
35	02553041	106,2463	36,7229	1,1156	1,3895	54,0	225,7	171,7	82,3	93,9	125,8
36	02453012	100,8319	25,5694	0,5335	-0,0134	58,4	172,2	113,8	80,5	99,2	117,3
37	02453038	98,6773	26,7705	0,5948	0,1711	58,4	160,0	101,6	84,8	96,2	114,7
38	02452031	113,5143	31,2546	0,3809	-0,7455	62,8	173,4	110,6	88,8	110,0	130,4
39	02452051	101,4030	29,1262	1,4584	3,3188	62,9	202,0	139,1	86,7	96,3	112,6
40	02552006	103,7231	29,1294	1,3446	2,6528	64,4	209,0	144,6	83,8	100,2	120,5
41	02553019	105,6756	32,0280	1,1795	1,3760	63,0	206,1	143,1	84,4	95,5	120,5
42	02453013	98,2596	34,8347	2,2636	7,9968	54,9	255,9	201,0	79,5	91,4	111,0
43	02553033	110,9625	34,6418	1,2936	2,3696	54,4	223,8	169,4	88,8	106,6	126,1

											(conclusão)	
ID	Estação	\bar{X}	S	g	k	Mín.	Máx.	A	Q1	Q2	Q3	
44	02453037	98,0634	22,7003	0,6560	1,3044	52,4	167,2	114,8	86,8	98,3	107,5	
45	02553028	108,9512	30,7225	0,8884	1,4220	64,4	208,9	144,5	83,5	105,0	126,5	
46	02453025	98,2250	24,4278	0,8550	0,4450	63,0	156,2	93,2	80,8	93,2	111,2	
47	02553030	108,9415	40,8350	1,9528	5,4999	59,8	271,8	212,0	81,7	100,6	120,6	
48	02553009	116,1961	30,5850	0,7738	0,1918	73,1	202,0	128,9	91,9	109,0	136,8	
49	02554001	102,8600	28,0747	0,7970	0,2164	60,5	188,0	127,5	83,6	96,8	119,0	
50	02554002	103,4299	32,4419	0,4176	-0,1835	33,2	181,0	147,8	80,4	98,1	123,6	
51	02554030	107,4905	31,8780	0,9457	0,7384	60,5	183,1	122,6	88,5	102,7	114,1	
52	02554025	116,3032	43,8829	1,1855	0,5348	66,0	232,3	166,3	87,0	101,4	132,8	
53	02553020	112,9146	35,3166	0,6306	-0,2030	55,0	191,8	136,8	84,6	103,6	138,0	
54	02554005	118,5000	36,1528	1,1882	1,5134	72,1	240,0	167,9	96,0	109,2	134,1	
55	02554007	111,4320	40,1365	1,9175	4,4394	63,2	243,0	179,8	87,3	101,7	120,5	
56	02554020	110,6902	25,2694	1,0001	1,3695	67,6	188,4	120,8	96,0	105,3	122,1	
57	02554022	103,6714	22,8935	0,0622	-0,1096	63,2	156,0	92,8	80,4	106,3	120,0	
58	02554023	114,1732	39,5384	1,3036	1,8638	50,5	239,5	189,0	86,8	104,5	126,0	
59	02554012	113,1878	30,7128	1,2398	0,7390	76,5	190,2	113,7	90,2	105,5	119,1	
60	02554006	99,9037	31,4567	0,8437	1,3357	46,4	203,4	157,0	82,5	96,6	120,9	
61	02554013	116,8550	38,2754	1,5855	2,4179	67,0	245,3	178,3	91,1	104,9	125,7	
62	02554018	101,0925	27,0171	0,5552	-0,4747	56,4	160,7	104,3	80,2	100,0	115,9	
63	02454011	114,5122	32,9861	0,5192	-0,3927	65,5	200,3	134,8	90,0	105,0	145,9	
64	02553022	108,9024	35,5638	2,1900	6,1172	66,3	235,7	169,4	89,5	103,9	120,7	

ID - Identificador; \bar{X} - Média aritmética; S - Desvio Padrão; g - Coeficiente de assimetria; k - Coeficiente de curtose; Mín - Valor mínimo da amostra; Máx - Valor máximo da amostra; A - Amplitude; Q1 - Quartil 1; Q2 - Quartil 2; Q3 - Quartil 3.

Fonte: Autoria própria.