



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE ACADÊMICO DO AGRESTE
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

EDER HENRIQUE DA SILVA REIS

CHUVAS INTENSAS NA REGIÃO LITORÂNEA DO ESTADO DE PERNAMBUCO

Caruaru

2020

EDER HENRIQUE DA SILVA REIS

CHUVAS INTENSAS NA REGIÃO LITORÂNEA DO ESTADO DE PERNAMBUCO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recurso Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Artur Paiva Coutinho.

Caruaru
2020

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 - 1242

R374c Reis, Eder Henrique da Silva.
 Chuvas intensas na região litorânea de Pernambuco. / Eder Henrique da Silva Reis. -
 2020.
 49 f. ; il.: 30 cm.

 Orientador: Arthur Paiva Coutinho.
 Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de
 Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2020.
 Inclui Referências.

 1. Chuvas - Pernambuco. 2. Variáveis aleatórias. 3. Aderências. 4. Irrigação. 5.
Investimentos. I. Coutinho, Arthur Paiva (Orientador). II. Título.

CDD 620 (23. ed.)

UFPE (CAA 2020-033)

EDER HENRIQUE DA SILVA REIS

CHUVAS INTENSAS NA REGIÃO LITORÂNEA DO ESTADO DE PERNAMBUCO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: 28/02/2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Artur Paiva Coutinho (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edevaldo Miguel Alves (Examinador)
Universidade Federal de Pernambuco

Lucas Ravellys Pyrrho de Alcântara (Examinador)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda minha família e, em especial, a minha mãe — Izabel — por me amparar em toda trajetória escolar até este momento que, ainda com todas as vicissitudes da rotina volúvel e conturbada de nossas vidas, não perdera esperanças ou diminuía seus esforços para o ponto aqui culminante — o qual é a conclusão da graduação.

Gostaria de agradecer a cada professor que dedicou momentos valiosos de suas vidas para prover o conhecimento necessário para a formação acadêmica. Agradeço ao professor Douglas por reconhecer a que nem sempre estou tão ‘tranquilo’, e me permitir a possibilidade de ser reavaliado na disciplina de aço e madeira. Sou grato, também, ao professor Flávio por oferecer o projeto de extensão de dança, cujo rendeu momentos únicos e icônicos em minha vida, bem como ao professor Moura, o qual além de me tutorar em meu estágio, foi fundador do projeto de lutas, o qual me tornei grande partícipe, imediatamente, ao saber da existência dessa atividade de extensão

Sou grato pelas amizades que tive oportunidade de cultivar ao decorrer da graduação. Agradeço a Jonathan Costa por ser ora companhia ora voz da razão em meio aos meus devaneios de calouro na gênese de minha trajetória acadêmica. Agradeço a Abraão e Ana Paula pelos momentos épicos e monumentais presididos em sua honorável residência. Gostaria de enaltecer, ainda, Abraão Vila Nova por me conceder a experiência única de atuar como figurante no curta-metragem de sua autoria. Agradeço a Mirely e Nadezhda por compartilharmos inúmeros momentos de comicidade à mesa do RU, bem como Rivelton que, além de amigo, foi um dos instrutores de luta mais assíduos e dedicados no *campus*.

Agradeço a Lucas Ravellys por embarcar nas diferentes sugestões e aventuras que eu sugeri, por me tentar introduzir aos mais ecléticos nichos sociais presentes na UFPE e por momento nenhum hesitar em me auxiliar na execução deste trabalho. Sou grato a Artur Paiva Coutinho pela orientação, grau de dedicação e flexibilização de sua rotina para execução e conclusão deste trabalho

Agradeço a formidável mulher que me apoiou nesses 3 últimos anos de graduação. Nos meus mais turbulentos cenários, sua presença em minha vida fora fundamental para minha saúde psicológica e emocional. Obrigado Larissa Gouveia por ter sido um dos pilares mais importantes na minha vida.

Sou grato a todos que de algum modo contribuíram nesta inexorável odisseia que fora a graduação para mim.

RESUMO

A região litorânea possui grande caráter econômico e histórico para o estado de Pernambuco, o qual sofre com frequência devido a fenômenos pluviométricos. O efeito de chuvas intensas causa transtornos e desastres e tem se tornado cada vez mais catastrófico devido à ação antrópica. A fim de buscar medidas mitigadoras com projetos de drenagem, se faz necessário determinar uma chuva de projeto por meio de uma curva IDF com parâmetros a , b , c e d . Para obtenção desses parâmetros, realizou-se por intermédio de distribuição de variáveis aleatórias contínuas, cuja adequabilidade fora verificada mediante testes de aderência. Para análise mais integral da região estudada, utilizou-se espacialização dos resultados obtidos. Nesse trabalho, estudou-se 22 postos ao longo da região litorânea de Pernambuco com séries de dados entre 12 a 84 anos. Analisou-se parâmetros estatísticos de série de precipitações máximas. Utilizou-se as funções de probabilidade de Gumbel (GUM), Generalizada de Valores Extremos (GEV), Pareto de três parâmetros (PAR) e Wakeby (WAK); e os testes de aderência foram Anderson-Darling (AD), Kolmogorov-Smirnov (KS) e Qui-Quadrado de Pearson (χ^2). Foram determinados os parâmetros de IDF considerando relações de duração CESTEB (1980). A espacialização ocorreu pelo método de krigagem ordinária com o uso do software QGIS. A distribuição WAK apresentou melhores resultados de aderência de nos postos com proporções de adequação de 86,36% e 95,54%, nos testes de AD e KS. O teste χ^2 fora o mais rigoroso, todas as distribuições tiveram índices de adequação irrisórios com melhor distribuição, que fora a de GEV, apresentou apenas 40,91% de estações adequadas. A distribuição de PAR apresentou menor desempenho, obtendo majoritariamente valores ínfimos de aderência nas estações estudadas. Os valores observados de erros absolutos indicaram a função de WAK, que apresentou maiores desvios máximos com o aumento do tempo de retorno. Fora observado que tais desvios foram causados por valores muito baixos do parâmetro a e valores relativamente altos do parâmetro b da IDF obtidos pelo método de WAK.

Palavras-chave: Chuvas intensas. Krigagem litoral de Pernambuco. Variáveis aleatórias. Teste de aderência.

ABSTRACT

The coastal region has great economic and historical character for the state of Pernambuco, which often suffers due to rainfall. The effect of intense rains causes disruption and disasters and it has become increasingly catastrophic due to anthropic action. In order to seek mitigating measures with drainage projects, it is necessary to determine a design rainfall using an IDF curve with parameters a, b, c and d. To obtain these parameters, it was carried out through the distribution of continuous random variables, whose adequacy was verified through adherence tests. For a more comprehensive analysis of the studied region, spatialization of the results obtained was used. In this work, 22 stations were studied along the coastal region of Pernambuco with data series between 12 and 84 years. Statistical parameters of the maximum precipitation series were analysed. The probability functions of Gumbel (GUM), Generalized of Extreme Values (GEV), Pareto of three parameters (PAR) and Wakeby (WAK) were used; and the adhesion tests were Anderson-Darling (AD), Kolmogorov-Smirnov (KS) and Pearson's Chi-Square (χ^2). The IDF parameters were determined considering CESTEB (1980) duration relationships. Spatialization occurred by the ordinary kriging method using the QGIS software. The WAK distribution showed better adherence results in gas stations with proportions of adequacy of 86.36% and 95.54%, in the AD and KS tests. The χ^2 test was the most rigorous, all distributions had negligible suitability indexes with better distribution, which it was the GEV, showed only 40.91% of suitable stations. The PAR distribution showed less performance, obtaining mostly low adherence values in the studied stations. The observed values of absolute errors indicated the WAK function, which showed greater maximum deviations with the increase in the return time. It was observed that such deviations were caused by very low values of the parameter and relatively high values of parameter b of the IDF obtained by the WAK method.

Keywords: Heavy rains. Coastal kriging of Pernambuco. Random variables. Adherence test.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Mapa de localização dos municípios da região.....	24
Figura 2 –	Distribuição geográfica das 22 estações pluviométricas.....	25
Figura 3 –	Distribuição com melhor aderência de acordo teste.....	33
Figura 4 –	Comparação entre a frequência observada e a ajustada pelo modelo teórico.....	35
Figura 5 –	Espacialização dos parâmetros a e b.....	42
Figura 6 –	Espacialização dos testes de aderência.....	42
Figura 7 –	Espacialização dos Parâmetros estatísticos.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Relações entre durações.....	18
Tabela 2 –	Características das estações pluviométricas selecionadas.....	26
Tabela 3 –	Descrição e estatísticas dos testes de aderência para variáveis aleatórias contínuas.....	29
Tabela 4 –	Porcentagem de adequação para cada um dos testes.....	32
Tabela 5 –	Máximo, Média, Mínimo, Desvio Padrão, Coeficiente de Variação dos parâmetros das distribuições.....	34
Tabela 6 –	Erro absoluto para chuvas de projeto com tempo de retorno 20,50 e 100 anos.....	38
Tabela 7 –	Parâmetros a e b.....	39
Tabela 8 –	Coeficientes IDF e aderência pontos redefinidos.....	40
Tabela 9 –	Coeficientes parâmetros estáticos da série de precipitações máximas.....	40
Tabela 10 –	Coeficientes a e b para região de contorno.....	41
Tabela 11 –	Parâmetros estatístico da região de contorno.....	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Justificativa.....	12
1.3	Objetivo geral.....	12
1.4	Objetivos específicos.....	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1	Distribuição da variável aleatória.....	13
2.2	Parâmetros de chuvas intensas.....	13
2.3	Interpolação de espacialização.....	14
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
3.1	Precipitação.....	15
3.2	A precipitação como variável aleatória.....	15
3.3	Desagregação de chuvas.....	18
3.4	Equações de chuvas intensas.....	19
3.5	Espacialização de parâmetros.....	19
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
4.1	Área de estudo.....	24
4.2	Obtenção dos dados pluviométricos.....	25
4.3	Preenchimento de falhas.....	26
4.4	Distribuição empírica.....	27
4.5	Distribuição teórica.....	27
4.6	Estimativa dos parâmetros.....	28
4.7	Teste de aderência.....	29
4.8	Desagregação de chuvas.....	30
4.9	Obtenção dos parâmetros IDFs.....	30
4.10	Espacialização dos parâmetros.....	30

5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
5.1	Distribuição de variável aleatória.....	32
5.2	Parâmetros de chuvas intensas.....	38
5.3	Interpolação de espacialização.....	41
6	CONCLUSÕES.....	45
	REFERÊNCIAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

A região litorânea de Pernambuco possui abundante relevância histórica e capital valor político-econômico dentro da região nordeste. Pernambuco, no Brasil colonial, foi uma das poucas capitanias a apresentar viabilidade econômica em sua manutenção, e sua região veio a tornar-se um polo de transações comerciais, este cenário ainda é preservado devida existência de portos modernos e sofisticados na região. Como qualquer metrópole urbana, ocorreu-se crescimento urbano desordenado resultando superpovoamento urbano e ocupações de áreas lúgubres para habitação. Isto, no núcleo urbano, aumenta as áreas de superfícies impermeáveis, promovendo falhas ou degastes no sistema de drenagem urbana, captação de águas pluviais, bem como mudanças no ciclo hidrológico do ambiente urbano; tornando a ascensão dos números de eventos de cheias, inundações e deslizamentos preocupantes, e a ocorrências desta agravada e extremante calamitosa (COUTINHO; ANTONINO, 2017).

Estes fenômenos são o que ocorrem no Brasil com maior frequência e estão direta e indiretamente ligados ao fator chuva (ALBUQUERQUE et al., 2013). A fim de buscar medidas mitigadoras para vicissitudes recorrentes causadas devido a esses fenômenos, são de extrema necessidade obras de estruturas hidráulicas de macrodrenagem e microdrenagem, nas drenagens urbanas, de rodovias e agrícolas, e para isso é necessário elaborar a caracterização de uma chuva de projeto. A caracterização se dará por meio de parâmetros de chuvas intensas os quais nortearão a vazão a ser utilizada no projeto. De acordo Coutinho et al. (2013) a intensidade desta chuva está associada a um período de retorno, T , e da duração da chuva crítica, d_c . Todavia, Pernambuco, como muitos estados brasileiros, possui ainda escassez de dados pluviográficos o que dificulta a determinação dessa relação. Coutinho et al. (2013) ainda assertiva que soluções para locais que não possuem esse tipo de informação podem ser encontradas com o uso de regionalização ou métodos de correlação. Ao considerar maior quantidade de dados pluviométricos em relação aos pluviográficos, análise baseados em métodos alternativos são necessários para determinação dos parâmetros de chuvas intensas.

Uma alternativa para a obtenção da altura pluviométrica de chuva intensa associada a uma determinada duração e frequência de ocorrência consiste na utilização do método das relações entre durações, o qual utiliza de fatores minorativos para a desagregação de chuvas diárias em chuvas de menor duração (CETESB, 1986).

1.1 Justificativa

Frente às calamidades cada vez mais frequentes e agravantes que assolam as cidades, e consequentemente sua população, na região litorânea pernambucana devido eventos de chuvas intensas, é de grande relevância determinar seu comportamento para determinação de obras especiais de drenagem e mitigação de cheias. Os parâmetros de chuvas intensas, desse modo, têm função guiar elaboração de projetos sendo fundamental para execução de medidas preventivas para as catástrofes recorrentes no território brasileiro.

Através do método das relações entre durações é possível obter parâmetros de curvas IDF's para estimação de chuvas intensas, isso realizado com auxílio de dados de precipitação pluviométrica e com a utilização de artifício de segregação de chuvas. Outro ponto a ser observado, é a carência de dados ou existência de grandes defasagens nas séries históricas em determinados pontos de observação da região tomada de estudo no presente projeto.

1.2 Objetivo geral

Determinar e espacializar os coeficientes das chuvas intensas (intensidade, duração e tempo de retorno), na região da região litorânea do estado de Pernambuco.

1.3 Objetivos específicos

1. Efetuar uma análise estatística de uma série histórica de chuvas máximas diárias para os municípios da região litorânea;
2. Determinar os parâmetros das chuvas intensas pelo método das relações entre durações;
3. Interpolar os parâmetros das equações de chuvas intensas para postos da região litorânea de Pernambuco.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Distribuição de variável aleatória

Back (2001) realizou a comparação de melhor ajuste distribuição para obtenção da máxima precipitação anual em 5 distribuições, e a que obteve melhor resultado foi a distribuição de Gumbell-Chow, sendo a distribuição que melhor se encaixou em 93% dos postos com menos de 20 anos de dados. Entretanto, ele concluiu que apesar da distribuição Gumbel-Chow fornecer melhor ajuste na maioria das estações, não se pode generalizar a aplicação, sendo recomendável testar outras distribuição para cada série de dados. Rodrigues et al. (2008) analisou intensidade pluviométricas por este método com postos com 30 e 19 anos dados dos postos das cidades cearense Fortaleza e Pentecostes, respectivamente, verificou bom ajuste com este método em ambas cidades, a cidade com menor anos de dados foi a que melhor se adequou a distribuição. Coutinho et al. (2013) utilizou esse mesmo método na obtenção de parâmetros de chuvas 8 cidades de Pernambuco, todos tiveram valores das precipitações máximas no nível de significância de 5%, pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

Desse modo, ponto a ser analisado é utilização de outras espécies de distribuição, como GEV, a qual Batista (2013) obteve aplicando essa distribuição boa adequação e estacionaridade nos 951 postos dos 1912 previamente escolhidos em seu trabalho, ou Weibull, a qual Aragão et al. (2011) se utilizou para distribuição de precipitações extremas obtendo melhor resultado em comparação a de Gumbell.

2.2 Parâmetros de chuvas intensas

Ponto determinante para direcionamento desse trabalho, diante seu uso e relevância para determinação de chuva de projeto. Oliveira et al. (2008) trataram em seu trabalho obtenção de parâmetros de chuvas intensas para estado de Goiás através do método de Bell, utilizando dados estações pluviográficas disponíveis em alguns postos distribuídos em todo estado Goiás, tendo um total de 22 estações analisadas, estando ausente informações sobre quantidade de anos das séries históricas observadas. Também, o mesmo método foi ajustado para regionalização de parâmetros de localidades sem informações pluviométricas, houve boa aderência, contudo não fora explicitado flutuações para diferentes pontos analisados.

Já Garcia et al. (2011), analisou apenas 3 postos pluviográficos no estado de Mato Grosso, seleção dados foram obtidos através de observação de intensidades máximas em

pluviogramas selecionados, não utilizando assim período-base de estudo. Foi utilizado a distribuição de Gumbel para obtenção das intensidades máximas e método de regressão não linear para obtenção dos parâmetros de chuvas. Também, foi realizada obtenção de precipitações máximas através dos métodos de Bell e de desagregação de chuvas, utilizou-se para isso uma série anual de valores extremos de precipitação diária. Método de desagregação teve melhor desempenho global utilizando o método de erro médio relativo, sendo o de Bell com melhor desempenho para a cidade com a menor série de dados. Por sua vez, Pereira et al. (2017) obtiveram os parâmetros de chuvas intensas da cidade de uma única cidade de Ipameri de Goiás não abordada no trabalho de Oliveira et al. (2008), foi utilizada a distribuição de Gumbel, efetuando diferentes testes de aderências nesta distribuição os quais indicaram boa aderência da distribuição, para obtenção dos parâmetros foi utilizada o método de Gradiente Reduzido Generalizado através da ferramenta “Solver” do software “Excel”, foram utilizados uma série histórico de 25 anos com escolha dos anos hidrológicos completos realizada manualmente.

2.3 Interpolação de espacialização

Embora realizado mais de uma década, a obra de Cecílio et al. (2003) é comumente citada em obras mais recentes, nela comparou-se 625 diferentes combinações entre os quatro parâmetros da equação de chuvas intensas, utilizando informações disponíveis 171 localidades do Estado de Minas gerais, esses parâmetros foram interpolados com a utilização da metodologia do inverso da potência da distância, através de 5 diferentes potências. Foi utilizado o software ArcView 3.2a. Notou-se valores distintos de potências na melhor interpolação dos parâmetros da equação. Já na obra Cecílio et al. (2009), foi utilizado a mesmo método de interpolação utilizando de apenas 20 postos no estado de Espírito santo, o software escolhido para o projeto foi Idrisi32, apresentado a mesma potência na melhor adequação de todos os parâmetros.

Ainda que fora realizado para apenas obtenção de dados pluviométrico, Marcuzzo et al. (2010) indicaram através de análise dados de precipitação mensal de 76 Estações Pluviométricas distribuídas no território do estado do Mato Grosso a melhor adequação de espacialização dentre diferente métodos interpoladores analisados. Métodos vistos foram IDW, Krigagem, Spline de tensão e Topo-to-Raster. O método Topo-to-Raster teve melhor eficiência na representação de dados em seu trabalho, entretanto nele foi possível concluir que concluir entre os métodos lineares, krikagem e IDW, o qual foi visto anteriormente visto nas obras de

Cecílio (2003), a krigagem tem maior destaque, pois os valores estimados são combinações lineares ponderadas dos dados disponíveis. Em trabalhos recentes onde houve necessidade de espacialização na área de interesse do presente trabalho utilizado métodos utilizando foi o IDW (inverso da potência da distância) observados em Coutinho e Antonino (2017), na qual foi analisado para a região metropolitana de Recife, e Alcântara (2018) onde foi visto para a mesorregião da zona da mata sul do estado. Portanto, análise de dados através de outros métodos de interpolação espacial se encontram ainda ausente região podendo ser abordadas outros tipos de métodos para posteriores comparação

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Precipitação

A precipitação pode ser definida como toda a água, provenientes do vapor na atmosfera, depositada na superfície terrestre, em forma líquida ou sólida, podendo ela ser a chuva (a que apresenta maior interesse), a neve, o granizo, o nevoeiro, o sereno e a geada (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

A precipitação pode ser medida utilizando-se de pluviômetros ou pluviógrafos, instalados em pontos previamente escolhidos, é identificada a quantidade de chuva pela altura de água caída sobre uma superfície plana e impermeável. A medição em um pluviômetro é bem simples, normalmente são feitas leituras em provetas graduadas em intervalos de 24 horas, onde estas são anotadas e enviadas para o para a agência responsável. Já nos pluviógrafos, fornecem pluviogramas que mostram o total de precipitação acumulada no decorrer do tempo (PINTO; HOLTZ, et al., 1976).

3.2 A precipitação como variável aleatória

Em geral, os eventos hidrológicos dificilmente podem ser previstos com exatidão (de modo determinístico), no entanto, esses eventos ao serem tratados como variável aleatória pode ser descritos como um conjunto que contem todos os resultados possíveis ou esperados para tal fenômeno, ou seja, de maneira estocástica. Nesse contexto, para a melhor sua estimativa, a precipitação diária máxima anual comumente é classificada como variável aleatória continua e para ela é associada uma distribuição de valores extremos (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Segundo Bertoni e Tucci (1993) a distribuição de Gumbel é normalmente a mais utilizada na análise de frequência de variáveis hidrológicas. A sua Função Densidade de Probabilidade (FDP) da distribuição de Gumbel é dada por:

$$f[x] = \frac{1}{\alpha} \text{Exp} \left[-\frac{x - \beta}{\alpha} - \text{Exp} \left[-\frac{x - \beta}{\alpha} \right] \right] \quad (1)$$

Na qual x é a variável aleatória contínua, da qual corresponde à precipitação diária máxima anual, e α é o parâmetro de escala e β o parâmetro de posição.

A sua Função Densidade de Probabilidade Acumulada (FDPA) ainda pode ser facilmente definida como:

$$F_{exc}[x] = \text{Exp} \left[-\text{Exp} \left[-\frac{x - \beta}{\alpha} \right] \right] \quad (2)$$

Na qual x é a variável aleatória contínua, da qual corresponde à precipitação diária máxima anual, e α é o parâmetro de escala e β o parâmetro de posição.

Outra distribuição assintótica também muito utilizada para chuvas intensas é a Generalizada de Valores Extremos (GEV). Segundo Naghettini e Pinto (2007) ela incorpora três formas assintóticas em uma única expressão e sua FDP pode ser definida como:

$$f[x] = \frac{1}{\alpha} \left[1 - \kappa * \left(\frac{x - \beta}{\alpha} \right) \right]^{\frac{1}{\kappa-1}} \left[\text{Exp} \left[- \left[1 - \kappa * \left(\frac{x - \beta}{\alpha} \right) \right]^{\frac{1}{\kappa}} \right] \right] \quad (3)$$

Na qual κ é o parâmetro de forma, α é o parâmetro de escala e β o parâmetro de posição. A Função Densidade de Probabilidade Acumulada da distribuição Generalizada de Valores Extremos é dada por:

$$F_{exc}[x] = \text{Exp} \left[- \left(1 - \kappa * \left(\frac{x - \beta}{\alpha} \right) \right)^{1/\kappa} \right] \quad (4)$$

Ao se igualar o parâmetro κ a zero facilmente é possível perceber que a equação 4 se resume a distribuição de Gumbel com parâmetro de escala e posição α e β , respectivamente.

Naghettini e Pinto (2007) apresentam a distribuição Weibull (mínimos) com dois parâmetros uma excelente opção para modelagem de eventos hidrológicos mínimos, e sua FDP e FDPA são definidas nas equações 5 e 6, respectivamente.

$$f[x] = \frac{\alpha}{\beta} * \left(\frac{x}{\beta} \right)^{\alpha-1} \text{Exp} \left[- \left(\frac{x}{\beta} \right)^{\alpha} \right] \quad (5)$$

$$F_{exc}[x] = \left(1 - \text{Exp} \left[- \left(\frac{x}{\beta} \right)^\alpha \right] \right) \quad (6)$$

Na qual α é o parâmetro de forma e β o parâmetro de escala.

Mesmo sendo uma distribuição de mínimos, ao inserir um terceiro parâmetro na distribuição de Weibull, esta pode realizar um excelente ajuste aos dados de precipitação extrema anual, como pode ser observado no trabalho de Silva et al. (2012). Ao se inserir o terceiro parâmetro, a FDP e a FDPA da distribuição de Weibull podem ser descritas, respectivamente, como:

$$f[x] = \alpha * \left(\frac{x - \xi}{\beta - \xi} \right)^{\alpha-1} \text{Exp} \left[- \left(\frac{x - \xi}{\beta - \xi} \right)^\alpha \right] \quad (7)$$

$$F_{exc}[x] = 1 - \left(1 - \text{Exp} \left[- \left(\frac{x - \xi}{\beta - \xi} \right)^\alpha \right] \right) \quad (8)$$

Sendo α o parâmetro de forma, β o parâmetro de escala e ξ é parâmetro de ajuste a três parâmetros.

Após a escolha de qual distribuição de variáveis aleatórias continua para a estimativa dos eventos hidrológicos futuros, é necessária a estimativa de quais parâmetros melhor se adequam a cada série de dados de precipitação extrema. Larson (1968) apresenta dois métodos dos quais é possível determinar os parâmetros das distribuições de variáveis aleatórias, sendo eles o método dos momentos e o método da máxima verossimilhança.

O método dos momentos é o mais antigo estimador de parâmetros, sendo utilizado pela primeira vez em 1984 por Karl Pearson, ele consiste basicamente em igualar os momentos da população aos da amostra em análise (LARSON, 1968).

O método da máxima verossimilhança tem por objetivo maximizar uma função dos parâmetros da distribuição (equação 9) utilizando a derivada de primeira ordem para cada parâmetro e igualando-os a zero (equação 10) (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

$$L[\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n] = \prod_i^n f[\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n, y_i] \quad (9)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \theta_i} = 0; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

3.3 Desagregação de chuvas

Devido à ausência de pluviógrafos, a obtenção de chuvas anuais máximas com durações menores que diárias torna-se uma tarefa difícil. No entanto, a literatura apresenta diversos dos quais, a partir de precipitações máximas diárias anuais de pluviômetros, é possível obter chuvas com durações de até 5 minutos (SAMPAIO, 2011). Dentre esses métodos, podemos citar o desenvolvido pela DAEE CESTEB (1980), do qual é baseado em características observadas em vários postos do mundo das curvas IDF's (BERTONI; TUCCI, 1993), são eles:

- 1 A tendência observada em curvas Log-Log das curvas de probabilidade de diferentes durações conservou-se paralelas entre si;
- 2 Nos diferentes locais, é evidente a semelhança nas relações entre precipitações médias máximas de diferentes durações.

Os coeficientes de desagregação de chuvas pelo método das relações entre durações são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Relações entre durações

Relação entre alturas pluviométricas	Coeficiente de desagregação
5min/30min	0,34
10min/30min	0,54
15min/30min	0,7
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

Fonte: DAEE CESTEB (1980).

3.4 Equações de chuvas intensas

As chuvas intensas são caracterizadas como uma grande quantidade de chuva que ocorrem em um curto intervalo de tempo, Bertoni e Tucci (1993) afirmam que as principais grandezas que caracterizam uma chuva são:

- **Altura pluviométrica (P ou r):** é uma espessura média da lâmina d'água em uma região, levando em consideração que esta não escoe, infiltre ou evapore. Geralmente ela é medida em milímetros de chuva em um metro quadrado.
- **Duração (t):** é o tempo decorrido entre o início e o fim da precipitação, podendo ser medido em minutos ou horas.
- **Intensidade (i):** é a altura pluviométrica por duração (obtida pela relação $i=P/t$), normalmente expressada em mm/h ou mm/min.
- **Tempo de retorno (Tr):** é definido como o número médio de anos no qual a precipitação em estudo é igualada ou superada.

Para a caracterização de chuvas intensas se torna necessário à determinação de equações empíricas denominadas equações de intensidade-duração-frequência, ou equações de chuvas intensas (equação 11) (CECILIO, 2009).

$$i = \frac{a * T^b}{(t + c)^d} \quad (11)$$

Em que:

- i = é a intensidade de precipitação em mm/h;
- T = é o tempo de retorno da precipitação em anos;
- t = é a duração da precipitação em minutos;
- a, b, c e d = são parâmetros de ajuste estatístico.

3.5 Espacialização de parâmetros

Uma das técnicas de interpolação mais usadas para pontos espalhados espacialmente é o IDW (Inverse Distance Weighted – Ponderação do Inverso da Distancia). Marcuzzo et al. (2011) indica que a interpolação por IDW determina os valores dos pontos usando uma

combinação linear ponderada dos pontos amostrados. O peso de cada ponto é o inverso de uma função da distância.

Para o cálculo da interpolação do valor de um ponto através do método do IDW, utiliza-se a seguinte equação matemática:

$$Z(x) = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i Z(x_i)}{\sum_{i=1}^n \omega_i} \quad (12)$$

Em que, $Z(x)$ - é o valor do ponto que se deseja interpolar; n - é a quantidade de pontos próximos utilizados na interpolação do ponto x ; $Z(x_i)$ - é o valor do ponto x_i ; e ω_i - é o peso do valor de x_i sobre o ponto x . Para se determinar ω_i utiliza-se a seguinte equação matemática:

$$\omega_i = \frac{1}{h(x, x_i)^p} \quad (13)$$

Em que, $h(x, x_i)$ - é a distância entre o ponto x e o ponto x_i ; e p - é o parâmetro de potência.

O método do Spline é um método de interpolação que estima valores usando uma função matemática que minimiza a curvatura da superfície resultando em uma superfície suave que passa exatamente pelos pontos de entrada.

Em geral, uma função Spline $S(x)$ deve preencher a condição de que $S(x)$ para os pontos medidos deve ser igual a $z(x)$ e ao mesmo tempo a seminorma de suavização $I(S)$ deve ser o menor possível.

$$S(x_j) = z(x_j) \text{ e} \quad (14)$$

$$I(S) = \min \quad (15)$$

Em que, $z(x_j)$ - são os valores das variáveis nos pontos x_j amostrados; e $I(S)$ - é uma função que mede a suavização de S chamada de seminorma de suavização. Um ponto x é definido pelos valores (x_1, x_2) sendo x_1 a localização na coordenada x cartesiana e x_2 a coordenada y cartesiana. A seminorma de suavização $I(S)$ é calculada através da equação (Hofierka et al., 2002):

$$I(s) = \sum_{\alpha} B_{\alpha} \iint_{\Omega} \left[\frac{\partial^{|\alpha|}}{\partial x_1^{\alpha_1} \partial x_2^{\alpha_2}} S(x) \right]^2 dx_1 dx_2 \quad (16)$$

Em que, $\alpha=(\alpha_1,\alpha_2)$, com α_1 variando de 0 ao grau de x_1 em $S(x)$, α_2 variando de 0 ao grau de x_2 em $S(x)$, sendo $|\alpha| = \alpha_1 + \alpha_2$, e Ω é a região considerada do espaço bidimensional. B_{α} é uma constante não negativa definida pela equação:

$$B_{\alpha} = \begin{cases} 0, se |\alpha| = 0 \\ \frac{|\alpha|!}{\alpha_1! \alpha_2! \varphi^{2|\alpha|} (|\alpha| - 1)!}, se |\alpha| > 0 \end{cases} \quad (17)$$

Em que, φ - é o peso de termos particulares na soma (peso de tensão), quanto maior φ , maior a influência de derivadas de ordem superior sobre a função resultante.

A solução geral de $S(x)$ é dada por:

$$S(x) = T(x) + \sum_{j=1}^N \lambda_j R(x, x_j) \quad (18)$$

Em que, $T(x)$ - é uma função de ‘tendência’; e $R(x, x_j)$ - é uma função da base radial cuja forma explícita é:

$$R(x, x_j) = -E_1(\rho) + \ln(\rho) + C_E \quad (19)$$

$$\rho = \left(\frac{\varphi r(x, x_j)}{2} \right)^2 \quad (20)$$

Em que, E_1 - é a função exponencial integral; C_E - é a constante de Euler; e r - é a distancia entre p e p_j definida por:

$$r(x, x_j) = \sqrt{(x_1 - x_{1j})^2 + (x_2 - x_{2j})^2} \quad (21)$$

No caso do Spline de Tensão, $T(x)=a_1$. As constantes a_1 e λ_j são determinadas se resolvendo o seguinte sistema de equações:

$$\alpha 1 + \sum_{j=1}^N \lambda_j R(x_i, x_j) = z_i, i = 1, \dots, N \quad (22)$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j = 0 \quad (23)$$

Em que, x_i e x_j - são os pontos amostrados; e z_i - é o valor de z no local de x_i .

Krigagem é um método geoestatístico que se baseia na Teoria das Variáveis regionalizadas, que supõe que a variação espacial de um fenômeno é estatisticamente homogênea em uma área.

A variação espacial no método da Krigagem é quantificada por um semivariograma. O semivariograma é um gráfico de dispersão da semivariância versus distância dos pontos amostrados, sendo que a semivariância é uma medida de dispersão, a metade da variância. O semivariograma serve para analisar a dependência espacial entre as amostras.

O semivariograma é calculado a partir dos pontos amostrados usando a seguinte equação:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^s \{Z(x_i) - Z(x_i + h)\}^2 \quad (24)$$

Em que, h - é uma distância; n é o numero de pontos amostrados separados pela distância h , $\gamma(h)$ - é a semivariância para a distância h , s - é a quantidade de pares de pontos separada pela distância h , $z(x)$ - é o valor da amostra na localidade x , e $z(x+h)$ é o valor da amostra na localidade separada da localidade x pela distância h .

Para se determinar os pesos dos pontos amostrados é necessário ajustar o semivariograma usando um modelo que depende do problema. Alguns usualmente utilizados estão expostos em Mello (2003), sendo eles os modelos exponencial e esférico dados respectivamente como:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(\frac{-3h}{a}\right) \right] \text{ para } 0 < h < a \quad (25)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1,5 \left(\frac{h}{a} \right) - 0,5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \text{ para } 0 < h < a \quad (26)$$

Sendo $\gamma(h)$: semivariância; h : distância máxima em que o semivariograma é definido; C_0 : efeito pepita (ponto de interseção da curva com o eixo y); C_1 : patamar – C_0 ; a : alcance do semivariograma (distância na qual se detecta dependência espacial).

Para o cálculo da interpolação do valor de um ponto através do método de krigagem, utiliza-se a seguinte equação matemática:

$$Z(x) = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i Z(x_i)}{\sum_{i=1}^n \omega_i} \quad (27)$$

Em que, $Z(x)$ - é o valor do ponto que se deseja interpolar; n - é a quantidade de pontos amostrados cujos valores serão usados na interpolação do ponto x ; $Z(x_i)$ - é o valor do ponto amostrado; e ω_i é o valor do peso do valor de $Z(x_i)$ sobre o ponto x . Para se determinar os pesos ω_i o método de krigagem ordinária, deve resolver o seguinte sistema matemático:

$$\sum_{i=1}^N \omega_i \gamma(h_{ij}) + \mu = \gamma(h_j), j = 1, \dots, N \quad (28)$$

$$\sum_{i=1}^N \omega_i = 1 \quad (29)$$

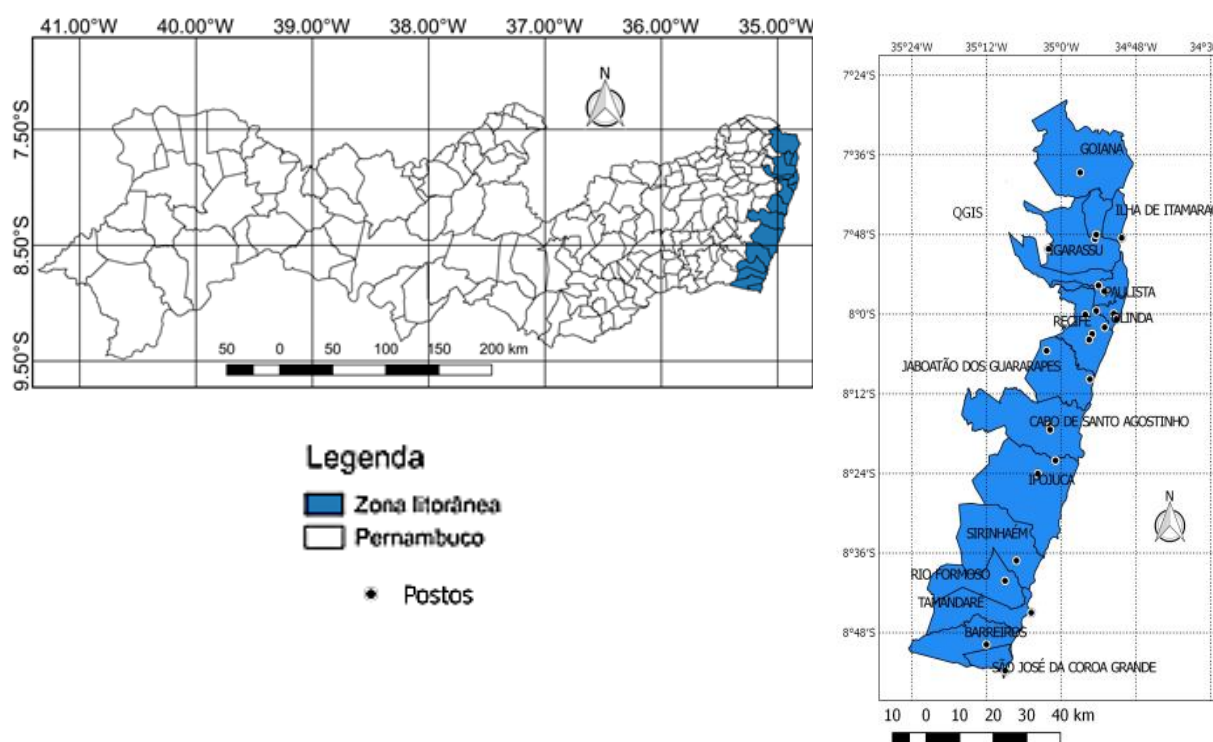
Em que, ω_i - é o peso para cada ponto; μ - é uma variável temporária; $\gamma(h)$ - é o valor de semivariância para pontos separados por uma distância h ; h_{ij} - é a distância entre os pontos x_i e x_j ; h_j - é a distância entre o ponto que se deseja calcular o valor x e o ponto x_j .

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A área de estudo corresponde a corresponde a região litorânea de Pernambuco, a qual abrange as cidade de Abreu e Lima, Barreiros, Cabo de Santo Agostinho, Goiana, Igarassu, Ipojuca, Ilha de Itamaracá, Itapissuma, Jaboatão, Olinda, Paulista, Recife, Rio Formoso, Sirinhaém e Tamandaré (Figura 1). O território é aquecido economicamente pelo turismo, mas também pela produção agroindustrial na Zona da Mata Sul. Além da questão econômica, a região enfrenta problema com grandes enchentes desde 1975 (Miranda, 2004). Ela também possui diversas construções irregulares em áreas de risco de deslizamento, sobre as quais é necessário se ter controle em períodos chuvosos.

Figura 1 - Mapa de localização dos municípios da região

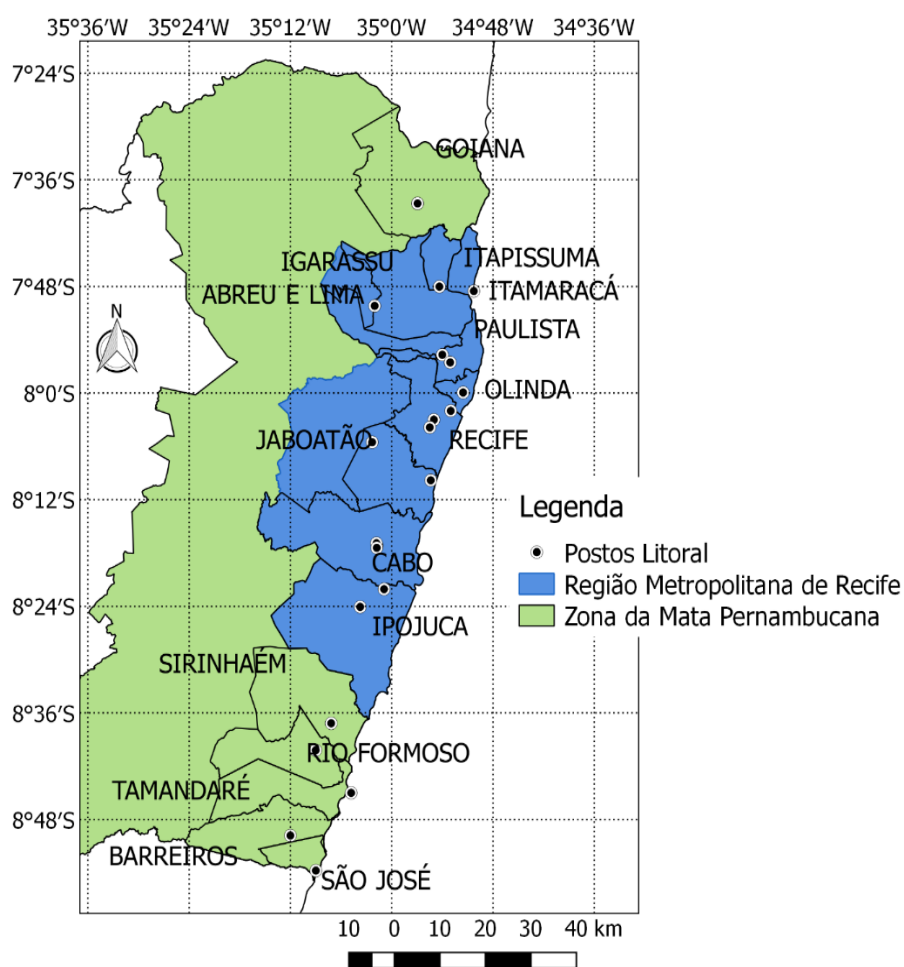


Fonte: Reis *et al.* (2019).

4.2 Obtenção dos dados pluviométricos

Os dados pluviométricos foram obtidos através da Agência Nacional de Águas (ANA) e a Agência Pernambucana de Água e Climas (APAC). Foi realizado o download dos dados e partir deles foram tabulados os valores de precipitação máxima diária anual para cada município em estudo. Foram selecionadas 22 estações com séries de chuvas, sendo a menor delas de 11 anos.

Figura 2 – Distribuição geográfica das 22 estações pluviométricas



Fonte: Autor (2020).

Na Tabela 2 é apresentada a característica da estação pluviométrica selecionada, com o código de identificação, nome do município, entidade responsável, coordenadas geográficas, ano de início e fim das séries e a quantidade de dados disponíveis de chuvas máximas.

Tabela 2 - Características das estações pluviométricas selecionadas

Município	Agência	Posto	LAT	LONG	Série (Anos)	Intervalo
Abreu	APAC	198	-7,928	-34,900	24	1994-2018
Barreiros	APAC	106	-8,830	-35,200	42	1976-2018
Cabo	APAC	301	-8,282	-35,030	19	1998-2017
Cabo	APAC	490	-8,290	-35,029	18	2000-2018
Cabo	APAC	491	-8,368	-35,015	18	2000-2018
Goiania	APAC	28	-7,644	-34,949	23	1995-2018
Goiania	APAC	319	-7,667	-35,133	30	1924-1954
Igarassu	APAC	269	-7,836	-35,034	28	1990-2018
Ipojuca	APAC	387	-8,401	-35,062	11	2007-2018
Itamaraca	APAC	524	-7,809	-34,838	17	2001-2018
Itapissuma	APAC	520	-7,800	-34,906	17	2001-2018
Jaboatao	APAC	202	-8,164	-34,923	21	1995-2016
Jaboatao	APAC	268	-8,092	-35,039	21	1997-2018
Olinda	APAC	199	-7,999	-34,859	24	1994-2018
Paulista	APAC	451	-7,943	-34,884	19	1999-2018
Recife	APAC	30	-8,050	-34,917	50	1968-2018
Recife	APAC	307	-8,033	-34,883	42	1928-1970
Recife	APAC	480	-8,064	-34,925	16	1997-2013
RioFormoso	APAC	102	-8,670	-35,150	83	1934-2017
SaoJose	APAC	110	-8,896	-35,150	25	1993-2018
Sirinhaem	APAC	111	-8,619	-35,119	38	1980-2018
Tamandare	APAC	510	-8,750	-35,080	18	1999-2017

Fonte: Autor (2020).

4.3 Preenchimento de falhas

Em virtude da ausência de dados históricos em alguns postos, surgiu a necessidade do preenchimento de falhas. Neste trabalho foi utilizado máxima precipitação diária anual/método de interpolação regional, onde, com o auxílio da equação 1 e mais três postos na região com no mínimo 10 anos de informações, foi possível determinar os dados hidrológicos inexistentes no posto desejado.

4.4 Distribuição empírica

Os dados obtidos foram organizados em ordem decrescente e, a partir desses valores, foi determinada a função empírica que, de acordo com Naghettini e Pinto (2007), pode ser obtida pela fórmula de Weibull (Equação 30).

$$F_{emp} = \frac{i}{n} \quad (30)$$

Em que: F_{emp} é a frequência empírica excedente; n é o tamanho da série histórica; e i é a posição ocupada pelo dado na série.

4.5 Distribuição teórica

O procedimento normalmente adotado na estimativa da chuva de projeto consiste em ajustar uma distribuição teórica aos dados observados e, com base nesta distribuição, extrapolar os valores de precipitação extrema, associada a uma dada probabilidade (BACK, 2001). Neste trabalho as precipitações extremas foram ajustadas às distribuições de probabilidade de Gumbel (GUM), Pareto de 3 parâmetros (PAR3P), Generalizada de valores extremos (GVE) e Wakeby (WAK).

Para a análise estatística foi utilizada a distribuição de Gumbel (máximos), a qual tradicionalmente é utilizada na análise de frequência de variáveis hidrológicas (NAGHETTINI, 2007). A função de probabilidades acumuladas da distribuição de Gumbel é dada por:

$$F[x] = \text{Exp}[-\text{Exp}[-(x - \beta)/\alpha]] \quad (31)$$

Na qual, β representa o parâmetro de posição e α o parâmetro de escala.

Outra distribuição utilizada para a análise estatística foi a Generalizada de Valores Extremos (GVE). Segundo Naghettini e Pinto (2007), ela incorpora três formas assintóticas em uma única expressão e sua FDP pode ser definida como:

$$f_x[x] = \frac{1}{\alpha} \left[1 - \kappa \left(\frac{x - \beta}{\alpha} \right) \right]^{\frac{1}{\kappa-1}} \exp \left\{ - \left[1 - \kappa \left(\frac{x - \beta}{\alpha} \right) \right]^{\frac{1}{\kappa}} \right\} \quad (32)$$

Na qual κ é o parâmetro de forma, α é o parâmetro de escala e β o parâmetro de posição.

Também, foi utilizada Função Densidade de Probabilidade da distribuição de Pareto de 3 parâmetros (PAR3P) é dada por:

$$f_x[x] = \frac{1}{\sigma} \left(1 + k \frac{(x - \mu)}{\sigma} \right)^{-1 - \frac{1}{k}} \quad (33)$$

Onde k é o parâmetro de forma, σ é o parâmetro de escala e μ é o parâmetro de localização.

A distribuição de estatística de Wakeby também fora utilizada. Segundo Ficsher (2011), essa distribuição é uma das distribuições de 5 parâmetros mais comumente utilizada para análise comparativa de frequência com finalidade de obter indicadores de pluviosidade.

$$f_x[x] = \epsilon + \frac{\alpha}{\beta} * (1 - (1 - x)^\beta) - \frac{\delta}{\kappa} * (1 - (1 - q)^{-\kappa}) \quad (34)$$

4.6 Estimativa dos parâmetros

Para a estimativa dos parâmetros das Funções Densidade de Probabilidade, respectivamente. Naghettini e Pinto (2007) demonstraram três métodos, sendo estes o método dos momentos (MOM), o método de máxima verossimilhança (MVS) e métodos dos momentos-L (MML). Os métodos abordados nesse trabalho serão o MOM e o MVS.

4.7 Teste de aderência

Para avaliar a aderência das distribuições estatísticas teóricas à distribuição empírica de probabilidade, se F_{exc} é adequada a F_{emp} , foram utilizados os testes de aderência de Anderson-Darling (AD), Kolmogorov-Smirnov (KS) e o teste Qui-Quadrado de Pearson (χ^2). Na Tabela 3 são apresentadas as equações utilizadas.

Tabela 3 - Descrição e estatísticas dos testes de aderência para variáveis aleatórias contínuas

Teste	Estatística	Descrição
AD	$\int_{-\infty}^{+\infty} \left(\frac{[F_{emp} - F_{exc}]^2}{F_{exc}[1 - F_{exc}]} * FDP \right) dx$	É um teste não paramétrico que procura ponderar mais fortemente as caudas das distribuições.
KS	$D_N = \sup_{-\infty < x < \infty} F_N(x) - F(x) $	É um teste não paramétrico, cuja estatística tem como base a diferença máxima entre as funções de probabilidades acumuladas, empírica e teórica.
χ^2	$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{[F_{emp} - F_{exc}]^2}{F_{emp}}$	É um teste que utiliza a diferença quadrática entre os valores observados e os valores teóricos.

Fonte: Naghettini e Pinto (2007), adaptado pelo autor.

Para a quantificação da qualidade dos ajustes estatísticos, utilizou-se o coeficiente de determinação (R^2) - Equação 35. Esse parâmetro determina a correlação da variância nos valores experimentados que podem ser atribuídos aos observados. Para ele é esperado o valor de 100%.

$$R^2 = 1 - \frac{SQ_E}{SQ_T} \quad (35)$$

Em que: SQ_E é a soma dos quadrados do resíduo; e SQ_T é a soma dos quadrados totais.

4.8 Desagregação de chuvas

O método da desagregação de chuvas desenvolvido pelo DAEE/CETESB (1980) adota o fator médio de 1.14 para a transformação de chuva máxima de 1 dia, estimada pela distribuição de Gumbel (Equação 31), em chuva de 24 h; para os demais tempos de duração de chuvas são utilizados os coeficientes apresentados na Tabela 1.

As relações entre as durações são obtidas segundo a expressão:

$$r_{t1 \rightarrow t2} = \frac{P_{t1}}{P_{t2}} \quad (36)$$

Onde:

- $r_{t1 \rightarrow t2}$ é a correlação estabelecida na Tabela 1;
- P_{t1} é a precipitação com duração $t1$;
- P_{t2} é a precipitação com duração $t2$.

Por tanto, possuindo a precipitação máxima diária anual, e utilizando da Tabela 1 e equação 14, podemos obter as precipitações críticas para os tempos de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 120, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutos.

4.9 Obtenção dos parâmetros IDFs

Com as precipitações máximas para as durações de 5 a 1440 minutos e com os tempos de retorno de 2 a 100 anos, podem ser obtidas as intensidades para as respectivas precipitações máximas. Através de regressão não linear usando a função `NonlinearModelFit` do software Wolfram Mathematica 11.0 foi possível o ajuste dos parâmetros estatísticos (“a”, “b”, “c” e “d”).

4.10 Espacialização dos parâmetros

Foi utilizado o software Qgis 2.18.14 para a interpolação dos parâmetros de chuvas intensas (a e b), os parâmetros estatísticos das séries de precipitação máxima diária anual (desvio padrão, curtose e assimetria) e médias das chuvas mensais e anuais. Os mapas para

execução da espacialização foram georreferenciados com o Datum Sirgas 2000 24s. A interpolação foi feita com o método de krigagem ordinária (Equação 37).

$$Z(x) = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i Z(x_i)}{\sum_{i=1}^n \omega_i} \quad (37)$$

Onde $Z(x)$ é o valor local ser obtido valor, $Z(x_i)$ é o valor do ponto amostrado e ω_i é o peso do valor amostrado no ponto x.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Distribuição de variável aleatória

Na Tabela 4 são apresentados adequação em percentual das distribuições aplicadas a região litorânea de Pernambuco com um nível de significância ao menos 5%: Pode-se visualizar na tabela que a distribuição de Wakeby superou expressivamente as demais nos teste de aderência AD e KS.

Tabela 4 – Porcentagem de adequação para cada um dos testes

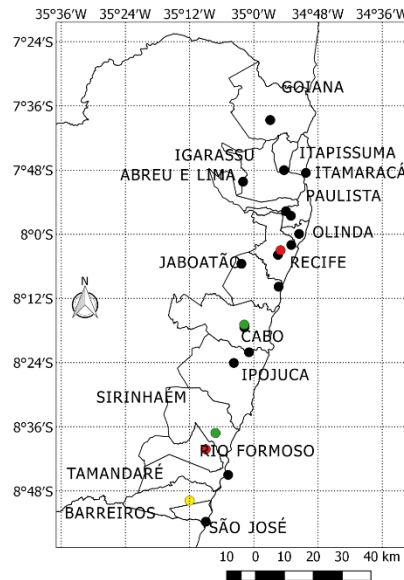
	GUM	GEV	PAR	WAK	Percentual Aceito
AD	40,91%	54,55%	40,91%	86,36%	55,68%
KS	63,64%	77,27%	45,45%	95,45%	70,45%
χ^2	22,73%	40,91%	13,64%	27,27%	26,14%

Fonte: Autor (2020).

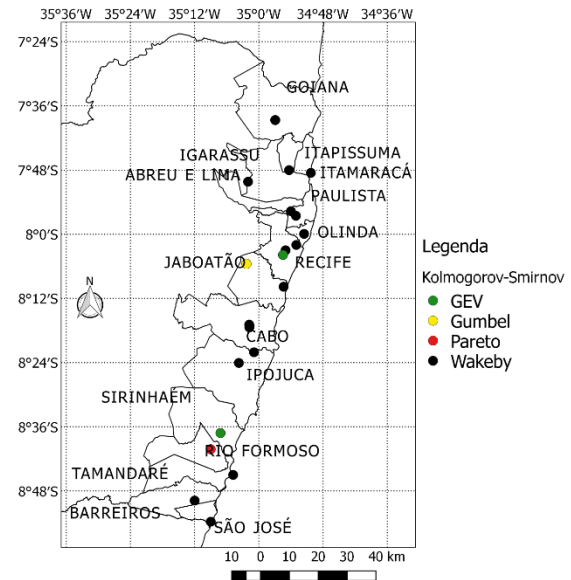
Também, observa-se na tabela que a distribuição GEV teve o segundo melhor desempenho no teste de aderência KS, apresentando boa aderência a este, assim como explicitado por Beskow (2015), o qual a função GEV apresentou adequação em todos os postos analisados. Bem como, GEV relativa adequação ao teste qui-quadrado, que nesse estudo se apresentou como o mais rigoroso método. Como observao por Flinker (2015), o teste χ^2 se mostrou o mais rigoroso no qual o teste liderou o número de séries inadequadas. Pode-se inferir que isto acontece devido Qui-quadrado se tratar de método numérico que relaciona o teórico e empírico e em pontos pertencentes a região litorânea apresentar, segundo Coutinho (2020), um certo aumento significativo na atividade pluviométrica.

Na Figura 3 é indicado a melhor distribuição de cada posto para o teste de aderência. Pode ser observado o que GEV alcançou melhores adequações para postos em todas mesorregiões presente na área de estudo. Também, observou-se a distribuição Wakeby alcançou postos em todos mesorregiões do litoral de Pernambuco.

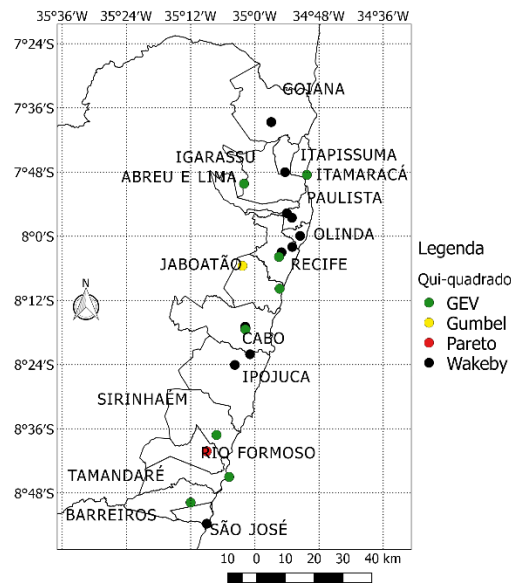
Figura 3 - Distribuição com melhor aderência de acordo teste



(a) Anderson-Darling



(b) Kolmogorov-Smirnov



Qui-quadrado

Fonte: Autor (2020).

É observado na Figura 3 que a único posto que obteve como melhor distribuição PAR foi Rio Formoso – 102, esse comportamento pode ter advindo devido o posto ter obtido boa aderência geral na adequação aos modelos de distribuição, a distribuição pode ter leve desempenho leve aos demais, tal como sugeriu Douka (2018).

Na Tabela 5 é apresentada uma descrição básica estatística dos coeficientes pertencentes às funções de probabilidade. Pode-se observar que os valores médios dos parâmetros α e β das funções GUM e GEV estão próximos.

Tabela 5 - Máximo, Média, Mínimo, Desvio Padrão, Coeficiente de Variação dos parâmetros das distribuições

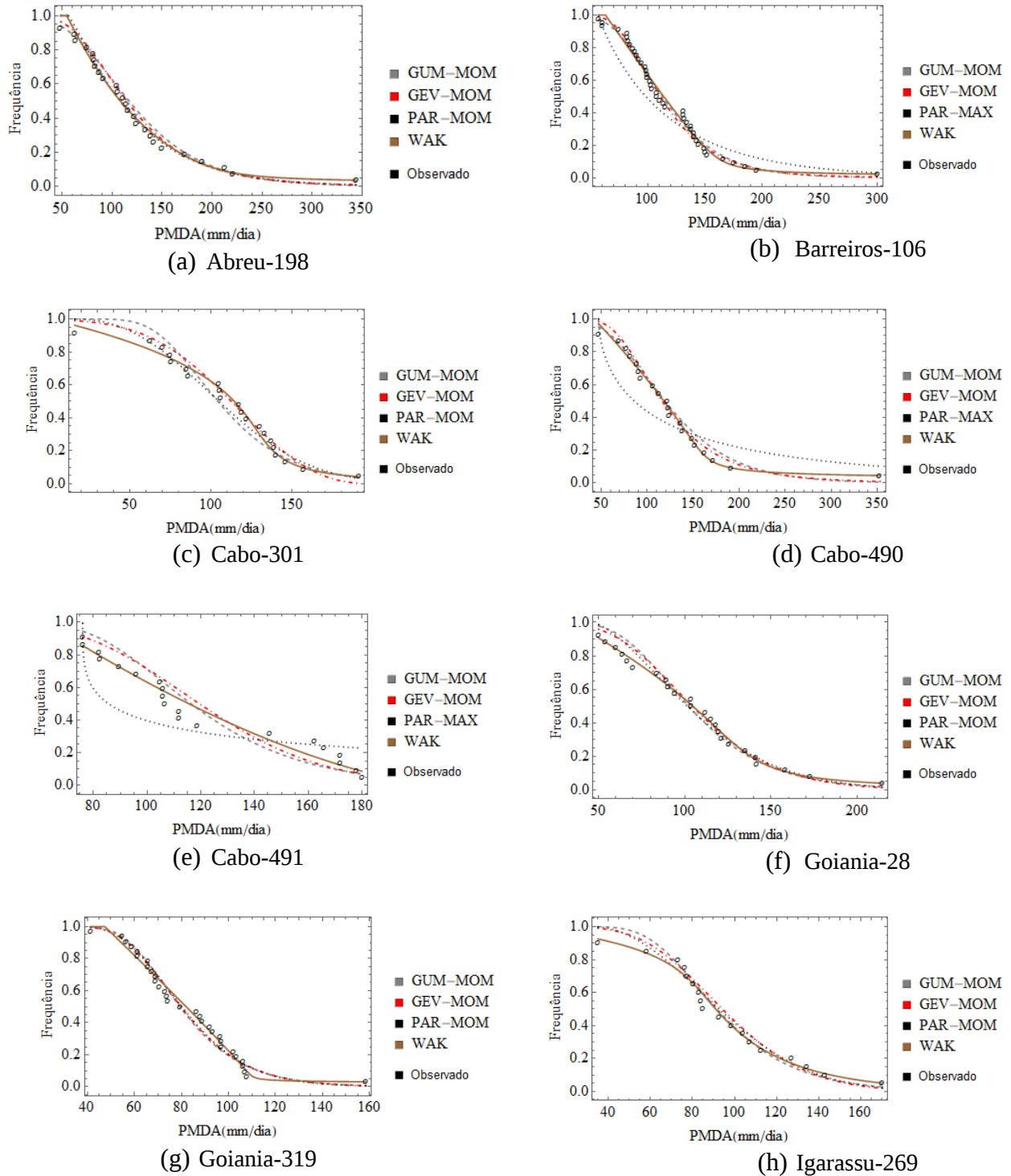
	Método	α	β	κ	δ	ϵ
GUM	Máximo	101,31	48,85			
	Média	88,09	28,76			
	Mínimo	72,82	17,71			
	DesvPad	9,77	9,45			
	CV	0,11	0,33			
GEV	Máximo	111,14	57,79	0,12		
	Média	90,59	33,25	-0,11		
	Mínimo	73,01	18,57	-0,40		
	DesvPad	9,98	9,05	0,16		
	CV	0,11	0,27	1,45		
PAR	Máximo	24608,71	18146,51	0,84	56,11	
	Média	5663,21	5483,30	0,55	37,80	
	Mínimo	85,94	4,18	0,40	14,26	
	DesvPad	7340,53	6244,82	0,14	12,28	
	CV	1,30	1,14	0,25	0,32	
WAK	Máximo	671,09	8,64	40,54	6,00	63,08
	Média	243,54	3,65	16,85	1,04	33,22
	Mínimo	71,17	0,25	0,00	0,00	0,00
	DesvPad	190,59	2,68	14,75	1,67	22,71
	CV	0,78	0,73	0,88	1,62	0,68

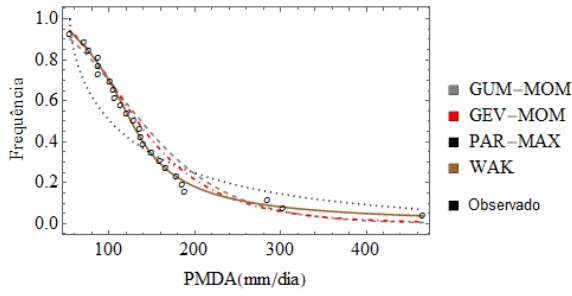
Fonte: Autor (2020).

Os valores próximos entre parâmetros são causados devido baixos valores atribuídos ao coeficiente κ , como indicado por Alcântara (2018). Os valores da distribuição maior coeficiente de variação com 130%, reflete-se esse valor a amplitude de valores dos parâmetros α e β que alcançaram maior amplitude entre todas as observadas, isso devido a causa provável de valores de máximas diários terem má aderência geral, onde há aderência com 5% de significância nos testes com maior rigorosidade a aprovação foi inferior a 60%. O coeficiente α apresentou menor coeficiente variação com valor 0,11, Beskow (2015) encontrou em seu estudo valor CV para o mesmo parâmetro igual a 29,27.

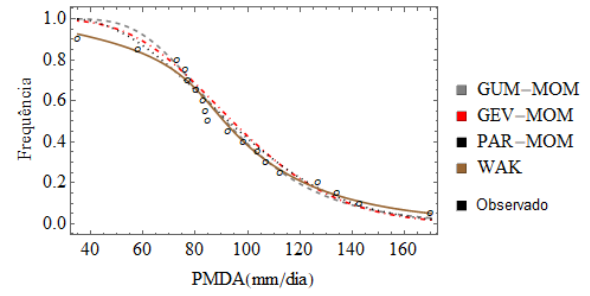
Na Figura 4 é demonstrado a frequência observada e a estimada pelas funções de distribuição, utilizando o método dos momentos (MOM) e o método da máxima verossimilhança (MAX), esta utilizado quando fora possível utilizar o método dos momentos.

Figura 4 - Comparação entre a frequência observada e a ajustada pelo modelo teórico

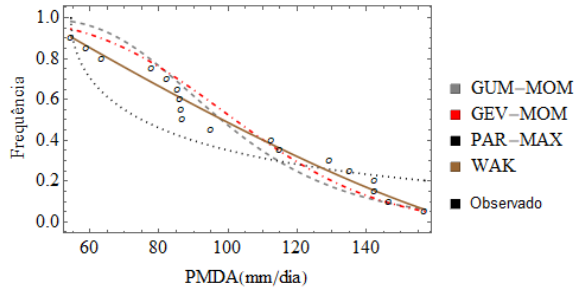




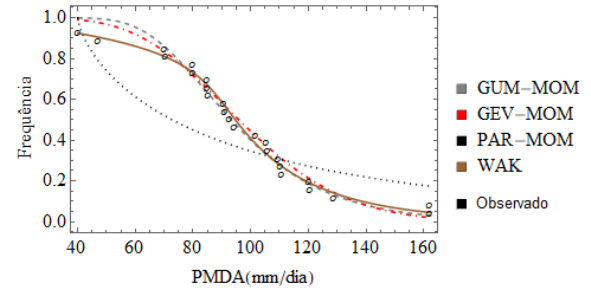
(i) Ipojuca-387



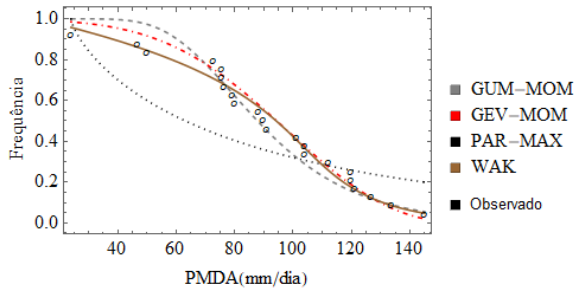
(j) Itamaraca-524



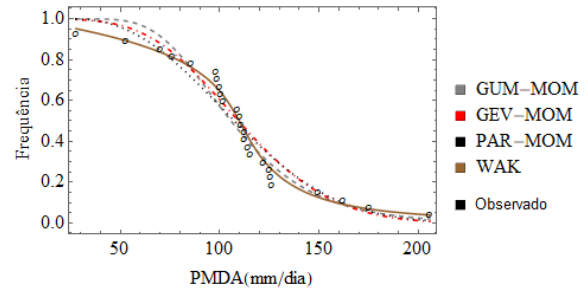
(k) Itapissuma-520



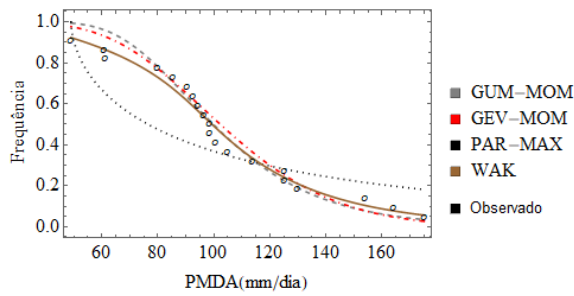
(l) Jaboatao-202



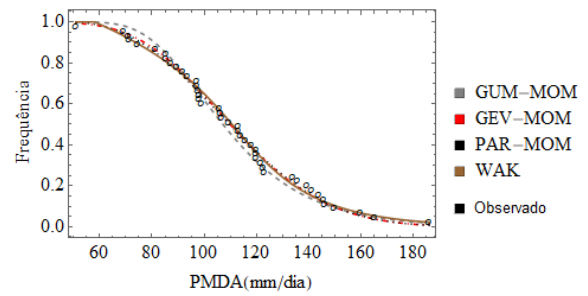
(m) Jaboatao-268



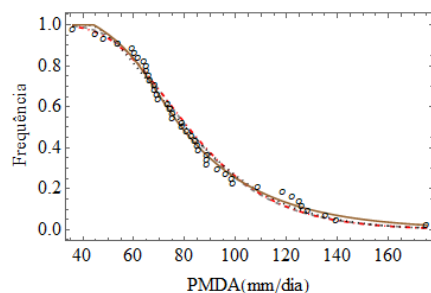
(n) Olinda-199



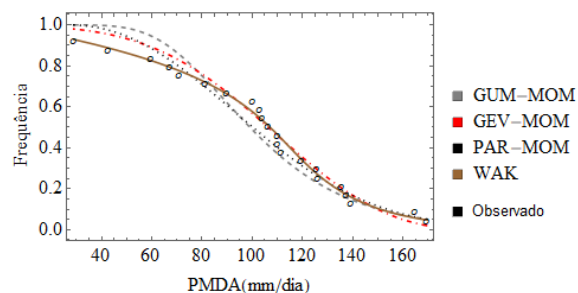
(o) Paulista-451



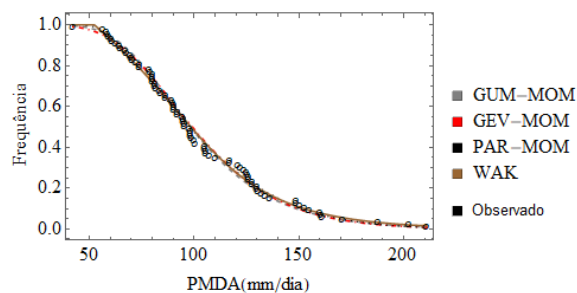
(p) Recife-30



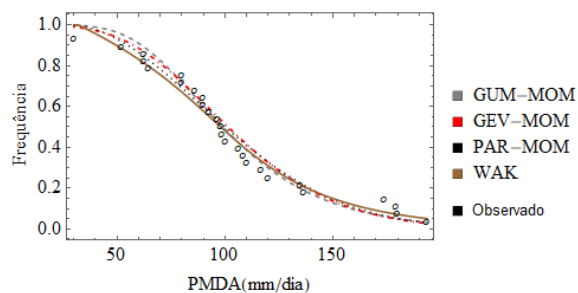
(q) Recife-307



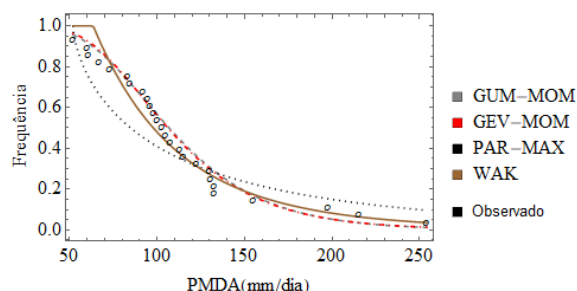
(r) Recife-480



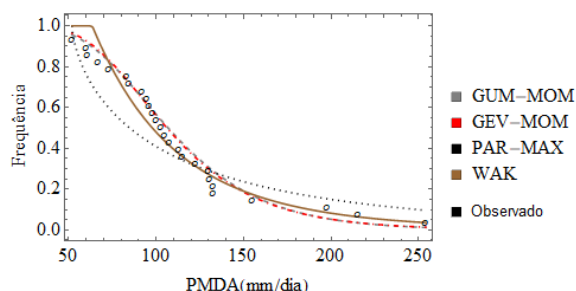
(s) Rio Formoso-102



(t) São José-110



(u) Sirinhaém-111



(v) Tamandaré - 510

Fonte: Autor (2020).

Na Figura 4, nos itens (m) e (o) — Paulista e Jaboatão —, é possível detectar visualmente um dos muitos desvios da distribuição PAR em relação ao observado. Também é possível detectar de modo geral o aperfeiçoamento da distribuição WAK em relação as demais na maioria das funções de distribuição. Blain (2014), indicou que WAK teve menor desempenho em caracterizar distribuição de máxima diária. Provavelmente o fenômeno climático que rege o comportamento pluviométrico da região litorânea de Pernambuco é Zcit já o da região de Campinas é o fenômeni el niño.

No posto na cidade Rio Formoso, figura xx2 (s) é visualmente indetectável a diferença de ajuste entre as distribuições, pode se inferir que ponto houve melhor adequação dos valores empíricos de chuvas máximas com a distribuição.

Na Tabela 6 é apresentado para uma chuva de projeto de 60 minutos de duração o erro absoluto em relação ao valor a idf da distribuição de melhor ajuste.

Tabela 6 - Erro absoluto para chuvas de projeto com tempo de retorno 20,50 e 100 anos

Distribuição		MÁXIMO			MÉDIA			MÍNIMO		
		TR 20	TR 50	TR 100	TR 20	TR 50	TR 100	TR 20	TR 50	TR 100
GUM	GUM	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	GEV	0,95	4,99	9,30	0,91	4,34	7,98	0,86	3,68	6,66
	PAR	121,65	232,69	364,05	61,21	118,69	186,47	0,77	4,70	8,90
	WAK	64,84	739,03	4822,43	43,30	536,49	186,47	21,76	333,94	2673,37
GEV	GUM	2,03	4,68	7,11	1,95	4,56	6,98	1,87	4,44	6,85
	GEV	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	PAR	64,05	115,46	171,35	32,05	57,74	85,68	0,04	0,03	0,01
	WAK	6,22	12,06	17,63	4,95	9,31	13,41	3,67	6,56	9,19
PAR	GUM	58,98	109,08	167,54	58,98	109,08	167,54	58,98	109,08	167,54
	GEV	58,64	109,08	165,54	58,64	109,08	165,54	58,64	109,08	165,54
	PAR	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	WAK	45,73	83,71	127,08	45,73	83,71	127,08	45,73	83,71	127,08
WAK	GUM	53,37	1285,96	29660,78	14,14	135,65	2976,00	0,21	2,50	3,86
	GEV	53,84	1284,43	29658,19	15,24	196,42	2978,50	0,79	1,50	3,97
	PAR	390,13	1140,10	29428,22	55,77	2976,00	3082,19	0,99	3,86	1,97
	WAK	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Autor (2020).

O valor 29658,19 indica um outlier como valores absolutos, bem distante do que alcançado por Beskow (2015) que apresentou valor por volta de aproximadamente 352. Valores atípicos de erro possuem sempre comparação com Wakeby mostrando uma questão que necessita de uma análise mais específica.

5.2 Parâmetros de chuvas intensas

Na Tabela 7 é indicado os parâmetros a e b das IDF's que cada posto analisados, bem como os resultados de aderência para cada teste, bem como o coeficiente de determinação. A distribuição Wakeby se apresentou ligeiramente melhor nos testes de aderência que as demais distribuições, suficiente para colocar como melhor distribuição em 13 dos 22 postos. Também, apresentando resultados similares, teve-se as distribuições de GUM e GEV, com respectivamente 5 e 3 dos postos como melhor distribuição. Já a distribuição PAR, teve apenas um único posto como melhor distribuição.

Tabela 7 - Parâmetros a e b

NUM	Mesoregião	Posto	Distribuição	a	b	AD	KS	χ^2	R2
Abreu*	RMF	198	GEV	1355,60	0,257	0,995	1,000	0,979	0,987
Barreiros	ZM	106	GUM	1370,59	0,189	0,994	0,993	0,840	0,986
Cabo	RMF	301	Wakeby	1043,13	0,286	0,989	1,000	0,813	0,984
Cabo*	RMF	490	GUM	1496,80	0,225	0,999	1,000	0,978	0,985
Cabo	RMF	491	Wakeby	1569,79	0,117	0,905	0,979	0,572	0,953
Goiania	ZM	28	Wakeby	871,51	0,371	0,972	1,000	0,987	0,994
Goiania*	ZM	319	GUM	953,11	0,158	0,952	0,962	0,966	0,975
Igarassu	ZM	269	Wakeby	1089,40	0,218	0,991	0,998	0,871	0,986
Ipojuca	RMF	387	Wakeby	852,54	0,600	0,999	1,000	0,986	0,993
Itamaraca	RMF	524	GUM	1182,95	0,171	1,000	1,000	0,986	0,958
Itapissuma	RMF	520	Wakeby	1359,83	0,106	0,985	0,972	0,698	0,970
Jaboatao	RMF	202	GEV	1122,61	0,165	1,000	1,000	0,970	0,981
Jaboatao	RMF	268	Wakeby	1138,65	0,146	0,971	0,988	0,630	0,976
Olinda	RMF	199	Wakeby	1050,83	0,286	0,994	0,996	0,961	0,984
Paulista	RMF	451	Wakeby	1180,64	0,203	0,994	1,000	0,762	0,977
Recife	RMF	30	Wakeby	1284,73	0,149	0,990	0,994	0,672	0,990
Recife	RMF	307	Wakeby	979,75	0,179	0,958	1,000	0,989	0,989
Recife	RMF	480	Wakeby	1279,33	0,159	0,997	1,000	0,934	0,947
RioFormoso	ZM	102	PAR	1188,70	0,180	1,000	0,985	0,866	0,994
SaoJose	ZM	110	Wakeby	1193,70	0,224	0,996	0,996	0,900	0,975
Sirinhaem	ZM	111	GEV	1314,95	0,205	0,993	0,926	0,985	0,980
Tamandare*	ZM	510	GUM	1220,47	0,177	0,852	0,962	0,731	0,973

Fonte: Autor (2020).

O valores obtidos em Rio Formoso de a e b foram próximos de 1180,70 e 0,180, bem próximos do valores encontrados por Alcântara (2017), onde foram encontrado 1192,47 e 0,18 obtidos no mesmo posto pelo distribuição GUM. Já em Tamandaré, foi encontrado 1220,47 e 0,177 para a e b , respectivamente onde foram obtidos os valores de 1238,53 e 0,18 em sua análise com Gumbel. Assim, conclui-se que as distribuições relativamente equivalente ao se tratar dos resultados.

Os valores c e d são característicos do modelo desagregação da chuva e foram constantes em todas as estações com valores de 11,82723 e 0,770426, respectivamente. Os postos 198,490,319 e 510 tiveram como melhor distribuição. Na Tabela 8 são apresentados postos que apresentaram melhores distribuição de acordo Wakeby, entretanto os coeficientes a e b discrepantes com os obtidos nas demais distribuições. Ainda assim, encaixaram se nos testes de aderência não postos na tabela pois gerariam difusões nos valores de distribuição.

Tabela 8 - Coeficientes IDF e aderência pontos redifinidos

NUM	Mesoregião	Posto	Distribuição	a	b	AD	KS	χ^2	R2
Abreu*	RMF	198	Wakeby	0,483	2,599	0,999	1,000	0,987	0,987
Cabo*	RMF	490	Wakeby	1,272	2,511	1,000	1,000	0,918	0,985
Goiania*	ZM	319	Wakeby	0,000	4,972	0,952	0,962	0,966	0,975
Tamandare*	ZM	510	Wakeby	0,001	4,434	0,912	1,000	0,807	0,973

Fonte: Autor (2020).

Esses valores — Tabela 8 — foram os responsáveis pelos altos valores anômalos dos erros absolutos apresentados na Tabela 6. Embora os coeficientes obtidos demonstrados na Tabela 8 estejam melhor adequados à distribuição, os valores de a e b subestimam os valores de intensidade — tempo de inferior a 20 anos — e superestimam valores para tempo de retorno — superior a 50 anos.

Este comportamento se dá ao aumentar o peso do tempo retorno como indicado em Coutinho (2019), explicitando que o coeficiente b está ligado a maior ou menor contribuição do Tempo Retorno. Na Tabela 9 é apresentado os valores de assimetria, curtose e desvio padrão da PMDA da região analisada.

Tabela 9 - Coeficientes parâmetros estáticos da série de precipitações máximas

NUM	Mesoregião	Posto	Distribuição	DP	CUR	ASSI
Abreu*	RMF	198	GEV	63,70223	4,557434	1,829751
Barreiros	ZM	106	GUM	43,4381	5,889871	1,790576
Cabo	RMF	301	Wakeby	38,77305	0,731705	-0,35061
Cabo*	RMF	490	GUM	64,2829	7,432364	2,267923
Cabo	RMF	491	Wakeby	36,96296	-1,38462	0,436649
Goiania	ZM	28	Wakeby	40,09432	0,670176	0,694576
Goiania*	ZM	319	GUM	23,09245	2,325318	0,975669
Igarassu	ZM	269	Wakeby	36,1716	0,210935	0,662613
Ipojuca	RMF	387	Wakeby	90,20253	5,807458	2,193292
Itamaraca	RMF	524	GUM	32,23997	0,577523	0,486449
Itapissuma	RMF	520	Wakeby	32,53827	-1,28797	0,19081
Jaboatao	RMF	202	GEV	29,12553	0,85955	0,394413
Jaboatao	RMF	268	Wakeby	29,99012	-0,02185	-0,37783
Olinda	RMF	199	Wakeby	36,79148	1,554346	0,320549
Paulista	RMF	451	Wakeby	33,24072	0,062532	0,51457
Recife	RMF	30	Wakeby	28,26139	0,083592	0,33884
Recife	RMF	307	Wakeby	28,48536	1,13838	1,005423
Recife	RMF	480	Wakeby	35,92415	-0,06909	-0,28878
RioFormoso	ZM	102	PAR	34,42633	0,663216	0,86973
SaoJose	ZM	110	Wakeby	41,04542	0,107726	0,631302
Sirinhaem	ZM	111	GEV	47,71631	2,23684	1,420813
Tamandare*	ZM	510	GUM	35,35111	4,136144	1,650049

Fonte: Autor (2020).

Pode-se observar que o menor desvio padrão das máximas está localizado nas distribuição de Wakeby. O desvio padrão variou de 90,20 a 23,023, nas estações 319 e 387, respectivamente. Curiosamente, Coutinho e Antonino (2017) observaram com a distribuição GUM que as cidades de Ipojuca e Gioania obtiveram-se valores inconsistentes a e b. Observa-se assimetria positiva na maioria dos postos da zona da mata (ZM) inferindo-se relativamente menor tempo de retorno para se obter chuvas de maiores intensidades. O comportamento da assimetria pode ser causado devido menor índice de urbanização se comparado com a Região Metropolitana de Recife.

5.3 Interpolação de espacialização

Na Tabela 10 e Tabela 11 são apresentados para fins de interpolação a zona de contorno da região litorânea, os coeficientes das curvas IDF e s parâmetros estatísticos a e b.

Tabela 10 - Coeficientes a e b para região de contorno

NUM	Mesoregião	Posto	Distribuição	a	b	AD	KS	χ^2	R2
Caapora	PB	734043	GUM	994,81	0,178	0,983	1,000	0,983	0,991
Gameleira	ZM	835026	GUM	1127,36	0,271	0,986	0,907	0,575	0,985
Itamba	ZM	27	Wakeby	1189,10	0,158	1,000	1,000	0,994	0,993
Jacuipe	AL	835139	GUM	973,67	0,207	0,997	0,999	0,899	0,986
Primavera	ZM	835040	GUM	1121,62	0,187	0,999	1,000	0,989	0,995

Fonte: Autor (2020).

Tabela 11 - Parâmetros estatístico da região de contorno

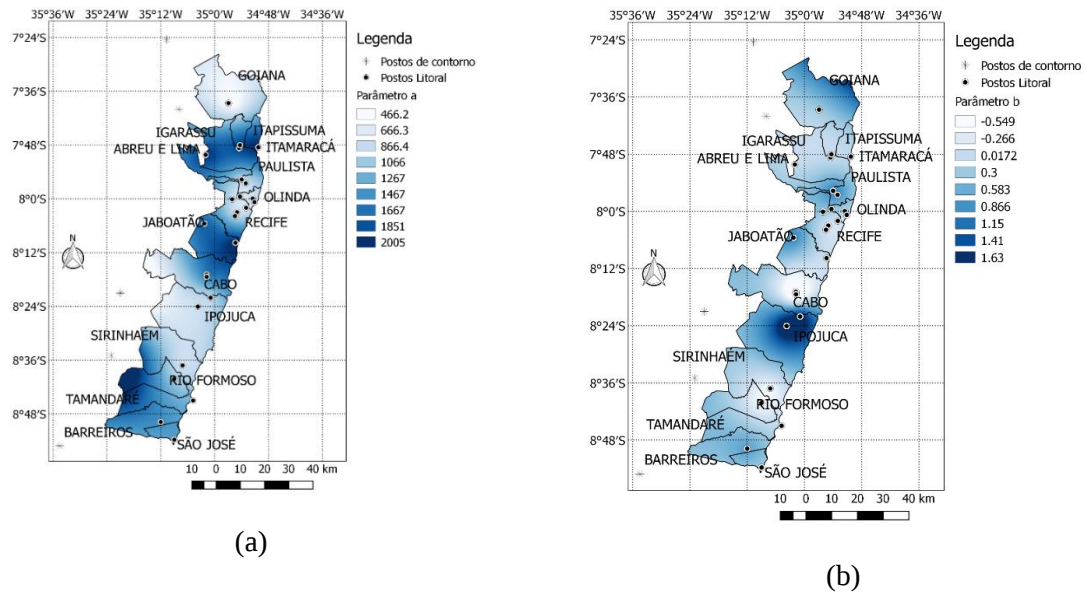
NUM	LAT	LONG	Mesoregião	Posto	Distribuição	DP	CUR	ASSI
			PB					
Caapora	-7,656	34,922		734043	GUM	43,953	0,374	1,036
			ZM					
Gameleira	-8,583	35,383		835026	GUM	29,134	0,776	0,740
			ZM					
Itamba	-7,408	35,179		27	Wakeby	35,574	0,698	0,926
			AL					
Jacuipe	-8,919	35,575		835139	GUM	28,900	3,484	1,556
			ZM					
Primavera	-8,350	35,350		835040	GUM	34,71	2,70	1,34

Fonte: Autor (2020).

Novamente, é observável o padrão da Zona da Mata em ter valores de assimetria positivo. e acordo abordado nos postos observado na região litorânea de fato.

Nas figuras seguinte tem-se a espacialização dos parâmetros a e b na região litorânea de Pernambuco, onde os postos sinalizados com “*” pertencem a região de contorno.

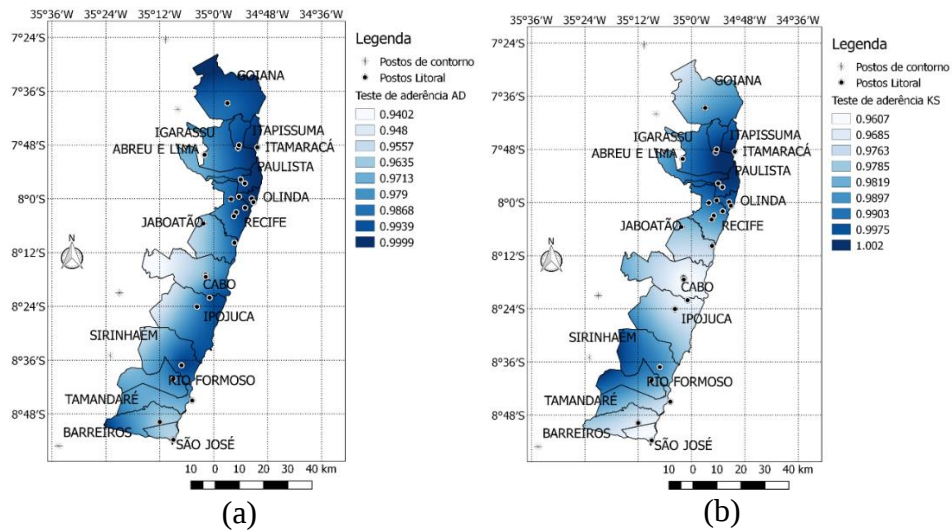
Figura 5 - Espacialização dos parâmetros a e b

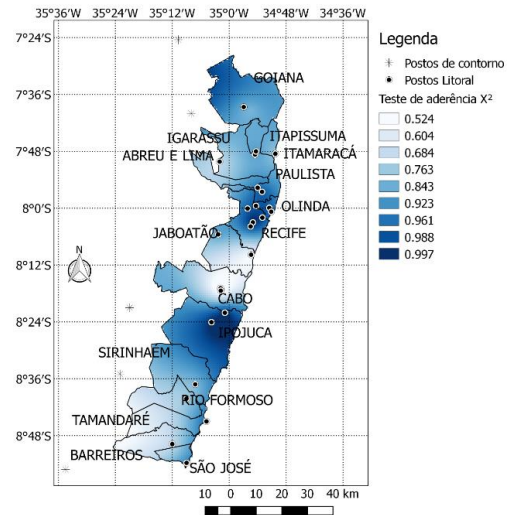


Fonte: Autor (2020).

Como esperado, a Figura 6 (a) indica certo comportamento anômalo dos valores do parâmetro a como já citado nas cidade Gioania e Ipojuca, nos valores do parâmetro a apresentaram valores anômalos em torno desses postos.

Figura 6 - Espacialização dos testes de aderência



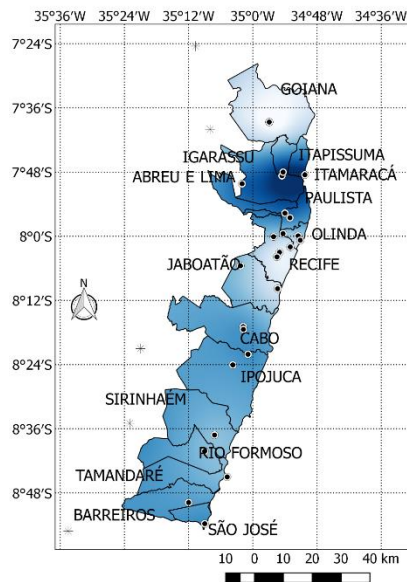


(c)

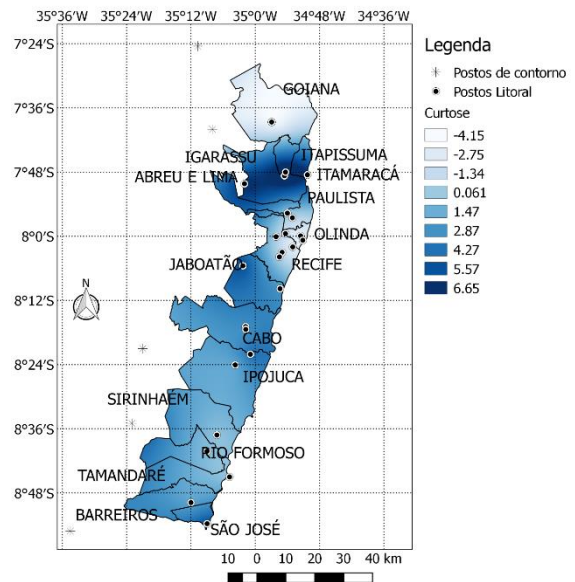
Fonte: Autor (2020).

A seguir, tem-se na Figura 7 a espacialização dos parâmetros estatísticos das máximas anuais para região de estudo:

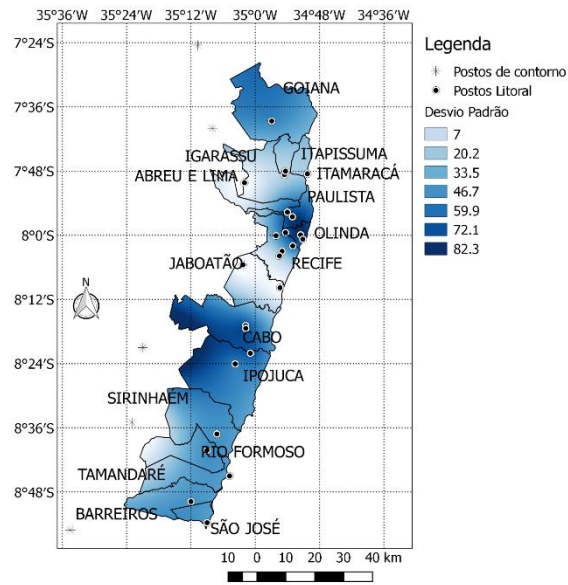
Figura 7 - Espacialização dos Parâmetros estatísticos



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autor (2020).

6 CONCLUSÕES

A distribuição Wakeby apresentou como melhor distribuição para determinação dos parâmetros IDF. Alcançando a como melhor distribuição como apresentado entre 22 postos, WAK a melhor em 17 deles, mesmo com a apresentação de valores atípicos de valores.

Foi observado para pequenos valores do coeficiente κ os valores Gumbel muito se assemelham com obtidos na distribuição GEV. Ainda fora visto, que o teste de aderência mais rigoroso foi o Qui-quadrado onde menos das metades dos postos, independente da distribuição, se adequou ao seu modelo.

Observou-se, também grande deficiência da distribuição PAR se adequar aos frequências de máximas diárias. Onde fora observado a inaplicabilidade do Métodos dos Momentos de Momentos, o Método da Verossimilhança mostrou resultados insatisfatórios.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, R. D.; DANTAS, C. E. O.; ARAÚJO, E. L.; VASCONCELOS, T. L. **Distribuição Temporal das Precipitações no Município do Recife**. Revista Brasileira de Geografia Física, 2, 2013.
- ALCÂNTARA, L. R. P. **Espacialização dos parâmetros das equações de intensidade - duração e frequência para municípios da mata sul do estado de Pernambuco**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2018.
- ARAGÃO, R.; SANTANA, G. R.; COSTA, C. E. F. F.; CRUZ, M. A. S.; FIGUEIREDO, E. E.; SRINIVASAN, V. S. **Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuvas diárias**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2013.
- BACK, A. J. **Seleção de distribuição de probabilidade para chuvas diárias extremas do Estado de Santa Catarina**. Revista Brasileira de Meteorologia, 2, 2001.
- BATISTA, M. L. **Precipitação máxima diária anual na região Sudeste do Brasil: distribuição de probabilidade e análise espacial**. Dissertação (Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.
- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia Ciência e Aplicação**. 2ª. ed. Porto Alegre: Universidade/UFRGS: ABRH, cap. 5, p. 177-231, 1993
- BESKOW, S.; CALDEIRA, T. L.; MELLO, C. R.; FARIA, L. C.; GUEDE, H. A. S. Multiparameter probability distributions for heavy rainfall modeling in extreme Southern Brazil. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, 4, p. 123-133, 2015.

BLAIN, G.C. Seasonal variability of maximum daily rainfall in Campinas, State of São Paulo, Brazil: trends, periodicities, and associated probabilities. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.35, p.557-564, 2013.

CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F. **Interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas com uso do inverso de potências da distância**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, UFV - Espírito Santo, 2003.

CECÍLIO, R. A. ; XAVIER, A. C. ; PRUSKI, F. F. ; HOLLANAD, M. P. ; PEZZOPANE, J. E. M. **Avaliação de interpoladores para os parâmetros das equações de chuvas intensas no Espírito Santo**. Artigo (Engenharia Florestal) - UFES, Espírito Santo, 2009.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Drenagem urbana: manual de projeto**. 1.ed. São Paulo: DAEE/CETESB, 1986.

COUTINHO, A. P.; LEITE, L. L. L.; RIBAS, L. V.; ANTONINO, C. D. A.; CABRAL, J. J. S. P.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MELO, T. A. T. **Determinação de equações de chuvas intensas para municípios das mesorregiões do Estado de Pernambuco através do método de Bell**. Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves/RS, 2013.

COUTINHO, A. R. N.; ANTONINO, A. C. D. **Espacialização dos parâmetros de equações de chuvas intensas para a Região Metropolitana do Recife**. Revista Brasileira de Geografia Física, n. 11, v. 4, p. 1542-1554, 2017.

COUTINHO, A. P. *et al.* O efeito do método de desagregação de chuva no hidrograma de projeto para uma bacia hidrográfica rural no semiárido nordestino. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 4, n. 2, p. 146-156, 2019.

DAEE; CETESB - Departamento de Água e Energia Elétrica; Companhia de Tecnologia. **Drenagem urbana: manual de projeto**. São Paulo, SP. 1980.

DOUKA, M.; KARACOSTAS, T.. Statistical analyses of extreme rainfall events in Thessaloniki, Greece. **Atmospheric Research**, v. 208, p. 60-77, 2018.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A.. **Hidrologia**. 2^a. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1988.

HOFIERKA, J. *et al.* Multivariate interpolation of precipitation using regularized spline with tension. **Transactions in GIS**, v. 6, n. 2, p. 135-150, 2002.

FISCHER, T. *et al.* Probability distribution of precipitation extremes for weather index-based insurance in the Zhujiang River Basin. South China, **Journal of Hydrometeorology, Washington**, v. 13, n. 3, p. 1023-1037, 2011.

GARCIA, S. S.; AMORIM, R. S. S.; COUTO, E. G.; STOPA, W. H. **Determinação da equação intensidade-duração-frequência para três estações meteorológicas de Estado de Mato Grosso**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental, v.15, n.6, 2011.

LARSON, H. J. Introduction to Probability and Statistical Inference. **Wiley International Edition**, California, 1968.

MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, L. R.; MELO, D. C. R. **Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 4, p. 796-798, 2011.

MELLO, C. R. *et al.* **Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas**. Tese (Doutorado do Departamento de Ciência do Solo), Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2003.

MIRANDA, L. I. B. **Organização socioespacial e mobilidade residencial na região metropolitana do Recife, PE**. Cadernos Metrópole, 12, p. 123-144, 2004.

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

OLIVEIRA, L. F. C.; ANTONINI, J. C. A.; FIOREZE, A. P.; SILVA, M. A. S. **Métodos de estimativa de precipitação máxima para o Estado de Goiás**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.12, n.6, 2008.

PEREIRA, D. C.; DUARTE, L. R.; SARMENTO, A. P. **Determinação da curva de intensidade, duração e frequência do município de Ipameri – Goiás.** REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 13, n. 2, 2017.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica.** 1ª. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1976.

REIS, E. H. S. *et al.* **Espacialização Pluviométrica Mensal e Anual no Litoral Pernambucano.** XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Foz do Iguaçu: ABRHidro, 2019.

RODRIGUES, J.O.; ANDRADE, E.M.; OLIVEIRA, T.S.; LOBATO, A.O. **Equações de Intensidade-Duração- -Frequência de Chuvas para as Localidades de Fortaleza e Pentecoste,** Ceará. Scientia Agrária. Curitiba. v.9, n.4, p.511-519, 2008.

SAMPAIO, M. V. **Determinação e espacialização das equações de chuvas intensas em bacias hidrográficas do Rio Grande do sul.** 2011. 146 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - UFSM, Santa Maria, RS, Brasil, 2011.