



ESTUDO HIDROLÓGICO E MODELAGEM MATEMÁTICA NA ÁREA DO ANTIGO LIXÃO DO ROGER NUM PERÍODO DE RETORNO DE 100 ANOS

"ESTUDOS E PROJETOS DE RECUPERAÇÃO
AMBIENTAL DO LIXÃO DO ROGER E A
ELABORAÇÃO DE PROJETOS PARA A CRIAÇÃO
DO PARQUE SOCIOAMBIENTAL, na Cidade de
João Pessoa, estado da Paraíba (PB).

JOÃO PESSOA, JUNHO DE 2022



EMPRESA RESPONSÁVEL PELO CONTRATO

Contrato Administrativo nº 02.012/2021 – UEP/SEGGOV

Razão Social: Prefeitura de João Pessoa **Representante Legal:** Márcio Diego Fernandes Tavares
CNPJ: 08.778.326/0001-56 **Fiscal do Contrato:** Luiz Daniel Barboza Monte - Mat. 886-9
Endereço: Rua Diógenes Chianca, nº 1.777, Água Fria, João Pessoa- PB

EMPRESA RESPONSÁVEL PELA ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO**CONSÓRCIO****TERRA MEIO AMBIENTE**

Razão social: TERRA Ltda. **Diretor Executivo:** Tony Carlos Dias da Costa
CNPJ: 04.015.340/0001-47 **Diretor Operacional:** Daniel Meninea Santos

terra@terrameioambiente.com.br

www.terrameioambiente.com.br

Av. Governador José Malcher, 2306, 3º Andar – São Brás – CEP: 66.060 – 232. Belém- Pará- Brasil

Tel./Fax (91) 3212 0294

PROMON ENGENHARIA E AMBIENTE LTDA

Razão social: PROMON ENGENHARIA E AMBIENTE LTDA **Diretor Executivo:** Mário A Tavares Russo
CNPJ: 41.982.767/0001-40

mariorusso@mrt-engenharia.commariorusso@promon.pt

R. Amadeu Sousa Cardoso, nº 153 sala 12 – Gondomar – CEP: 4510-492 - Fânzeres Portugal

Tel./Fax +351 224808944/ +351 967641935/ +55 (91) 991641935

EQUIPE TÉCNICA

ESTA EQUIPE PARTICIPOU DA ELABORAÇÃO DESTE DOCUMENTO
E RESPONSABILIZA-SE TÉCNICAMENTE POR SUAS RESPECTIVAS ÁREAS

PROFISSIONAL	FORMAÇÃO	RESPONSABILIDADE
Mário Augusto Tavares Russo	Eng. Civil; MSc em Hidráulica e Dr. em Eng Civil	Coordenador Geral
Tony Carlos Costa	Licenciado em Geologia; MSc em Eng Civil e Dr. em Geociências	Coordenador Adjunto
José Fernando Tomé Jucá	Eng. Civil, MSc em Geotecnia e Doutorado em Engenharia Civil	Especialista em Aterros Sanitários
Antônio Italcly de Oliveira Júnior	Eng. MSc. Em Engenharia Civil CREA: 0619396253	Especialista em Hidrologia

PRODUÇÃO GRÁFICA**CONSÓRCIO: TERRA MEIO AMBIENTE –
PROMON ENGENHARIA E AMBIENTE LTDA**



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	6
2	OBJETIVO DO ESTUDO.....	7
3	DESENVOLVIMENTO.....	8
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	8
3.2	OBTENÇÃO DOS DADOS.....	8
3.3	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	11
3.4	CARACTERIZAÇÃO DO REGIME PLUVIOMÉTRICO MENSAL E SUAS RESPECTIVAS OSCILAÇÕES ANUAIS	13
3.5	CARACTERIZAÇÃO DAS PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS.....	21
3.5.1	PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS ASSOCIADAS AOS TEMPOS DE RECORRÊNCIA ESTIMADAS ATRAVÉS DA DISTRIBUIÇÃO GUMBEL.....	24
3.6	METODOLOGIA DA MODELAGEM HIDROLÓGICA	29
3.7	DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE INUNDAÇÃO.....	33
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
5	REFERÊNCIAS	41

LISTA DE FIGURAS



FIGURA 3.1-1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	8
FIGURA 3.2-1 - LOCALIZAÇÃO NA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS UTILIZADOS NA CARACTERIZAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO	9
FIGURA 3.2-2 - ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DOS DADOS OBTIDOS PELO MÉTODO DE DUPLA MASSA	10
FIGURA 3.4-1 – PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL E ANUAL (A) E SUAS RESPECTIVAS VARIABILIDADES (B) DO POSTO CABEDELO CAGEPA	14
FIGURA 3.4-2 – OSCILAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO AO LONGO DOS ANOS E ANÁLISE ESTATÍSTICA DO POSTO CABEDELO CAGEPA	15
FIGURA 3.4-3 – PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL E ANUAL (A) E SUAS RESPECTIVAS VARIABILIDADES (B) DO POSTO JOÃO PESSOA INMET	16
FIGURA 3.4-4 – OSCILAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO AO LONGO DOS ANOS E ANÁLISE ESTATÍSTICA DO POSTO JOÃO PESSOA INMET	18
FIGURA 3.4-5 – PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL E ANUAL (A) E SUAS RESPECTIVAS VARIABILIDADES (B) DO POSTO BAYEUX CEMADEN	19
FIGURA 3.4-6 – OSCILAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO AO LONGO DOS ANOS E ANÁLISE ESTATÍSTICA DO POSTO BAYEUX CEMADEN.....	20
FIGURA 3.5-1 - HISTOGRAMA DA PRECIPITAÇÃO MÁXIMA DIÁRIA ANUAL DO POSTO CABEDELO CAGEPA.	21
FIGURA 3.5-2 - HISTOGRAMA DA PRECIPITAÇÃO MÁXIMA DIÁRIA ANUAL DO POSTO JOÃO PESSOA INMET.	23
FIGURA 3.5-3 - HISTOGRAMA DA PRECIPITAÇÃO MÁXIMA DIÁRIA ANUAL DO POSTO BAYEUX CEMADEN.	24
FIGURA 3.5-4 - GRÁFICO VARIÁVEL REDUZIDA VERSUS PRECIPITAÇÃO MÁXIMA ANUAL REGISTRADA DO POSTO CABEDELO CAGEPA.....	26
FIGURA 3.5-5 - GRÁFICO VARIÁVEL REDUZIDA VERSUS PRECIPITAÇÃO MÁXIMA ANUAL REGISTRADA DO POSTO JOÃO PESSOA INMET	27
FIGURA 3.5-6 - GRÁFICO VARIÁVEL REDUZIDA VERSUS PRECIPITAÇÃO MÁXIMA ANUAL REGISTRADA DO POSTO BAYEUX CEMADEN	28
FIGURA 3.7-1 – MAPA DE DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS INUNDADAS PARA OS DIFERENTES TEMPOS DE RECORRÊNCIA BASEADO NOS DADOS DO POSTO CABEDELO CAGEPA	34
FIGURA 3.7-2 - MAPA DE DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS INUNDADAS PARA OS DIFERENTES TEMPOS DE RECORRÊNCIA BASEADO NOS DADOS DO POSTO JOÃO PESSOA INMET	36
FIGURA 3.7-3 - MAPA DE DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS INUNDADAS PARA OS DIFERENTES TEMPOS DE RECORRÊNCIA BASEADO NOS DADOS DO POSTO BAYEUX CEMADEN.....	38

LISTA DE TABELAS



TABELA 3.2-1 - SÉRIE DAS PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS ANUAIS DE TODOS OS POSTOS ESTUDADOS.....	10
TABELA 3.3-1 - VALORES ESPERADOS DA MÉDIA (\bar{Y}_N) E DESVIO-PADRÃO (S_N) DA VARIÁVEL REDUZIDA (Y) EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE DADOS (N).....	12
TABELA 3.3-2 - VARIÁVEL REDUZIDA E PERÍODO DE RETORNO.....	13
TABELA 3.5-1 - DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DAS PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DO POSTO CABEDELLO CAGEPA.....	22
TABELA 3.5-2 - DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DAS PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DO POSTO JOÃO PESSOA INMET.....	23
TABELA 3.5-3 - DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DAS PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DO POSTO BAYEUX CEMADEN.....	24
TABELA 3.5-4 - VALORES UTILIZADOS E CALCULADOS PARA APLICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO GUMBEL PARA O POSTO CABEDELLO CAGEPA.....	25
TABELA 3.5-5 - PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS E SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE RETORNO PARA O POSTO CABEDELLO CAGEPA.....	26
TABELA 3.5-6 - VALORES UTILIZADOS E CALCULADOS PARA APLICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO GUMBEL PARA O POSTO JOÃO PESSOA INMET.....	27
TABELA 3.5-7 - PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS E SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE RETORNO PARA O POSTO JOÃO PESSOA INMETRO.....	27
TABELA 3.5-8 - VALORES UTILIZADOS E CALCULADOS PARA APLICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO GUMBEL PARA O POSTO BAYEUX CEMADEN.....	28
TABELA 3.5-9 - PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS E SEUS RESPECTIVOS PERÍODOS DE RETORNO PARA O POSTO CABEDELLO CEMADEN.....	29
TABELA 3.6-1 - PARÂMETROS DA MODELAGEM HIDROLÓGICA.....	31
TABELA 3.6-2 - VAZÕES MÁXIMAS OBTIDAS PARA O POSTO CABEDELLO CAGEPA.....	32
TABELA 3.6-3 - VAZÕES MÁXIMAS OBTIDAS PARA O POSTO JOÃO PESSOA INMET.....	32
TABELA 3.6-4 - VAZÕES MÁXIMAS OBTIDAS PARA O POSTO BAYEUX.....	32
TABELA 3.7-1 - ÁREAS CALCULADAS DAS MANCHAS DE INUNDAÇÃO E ÁREAS PASSÍVEIS DE INUNDAÇÃO NO LIXÃO DO ROGER DO POSTO CABEDELLO CAGEPA.....	33
TABELA 3.7-2 - ÁREAS CALCULADAS DAS MANCHAS DE INUNDAÇÃO E ÁREAS PASSÍVEIS DE INUNDAÇÃO NO LIXÃO DO ROGER DO POSTO JOÃO PESSOA INMET.....	35
TABELA 3.7-3 - ÁREAS CALCULADAS DAS MANCHAS DE INUNDAÇÃO E ÁREAS PASSÍVEIS DE INUNDAÇÃO NO LIXÃO DO ROGER DO POSTO BAYEUX CEMADEN.....	37

1 INTRODUÇÃO

O presente relatório diz respeito ao estudo hidrológico no que tange ao risco de inundação na área do antigo Lixão do Roger, com um período de retorno de 100 anos solicitado pela UEP, embora não conste do escopo do contrato celebrado, mas que o consórcio consultor aceitou o encargo, dado ser um elemento a ter em consideração quanto à tomada de decisão. Provavelmente o governo do Estado da Paraíba e a Prefeitura de João Pessoa terão estudos deste tipo no âmbito do enfrentamento das mudanças do clima, mas apresenta-se a simulação com base em cenários.

A precipitação é um dos fenômenos que fazem parte do ciclo hidrológico. É o fenômeno pelo qual a água retorna para terra a partir do vapor d'água presente na atmosfera que precipita em forma de chuva. A precipitação pluviométrica é uma variável climatológica fundamental, sobretudo em regiões tropicais, pois os volumes de água precipitada representam a principal entrada de água no balanço hídrico de uma área proporcionando, após entrada no sistema, escoamento superficial, infiltração no solo e recargas de aquíferos, podendo perenizar cursos d'água.

Cabe salientar também que as precipitações possuem efeitos adversos, quando ocorrem eventos intensos e potencializados pelos fatores antrópicos, que geram impactos nos setores produtivos e na sociedade como vítimas fatais, lavouras perdidas, enchentes e inundações, assoreamento de rios, deslizamento de encostas, perda de solos, dentre outros. Além da magnitude das precipitações é fundamental compreender os tempos de recorrência das precipitações (MELLO et al., 2001).

Os tempos de recorrência ou períodos de retorno das precipitações intensas podem ser obtidos a partir de estimativas, baseando-se em modelos matemáticos de distribuição de probabilidade, que utilizam a inferência estatística para estimar os parâmetros das estruturas desses modelos (NAGHETTIN e PINTO, 2007). Em tais estudos, as distribuições de probabilidades contínuas são bastante utilizadas.

Para séries de valores máximos diários de precipitações, a distribuição Gumbel é uma das mais utilizadas em diversos trabalhos (ABUBAKARI, KUSI e XIAOHUA, 2017, OLIVEIRA JÚNIOR, et al., 2019). A partir das chuvas intensas associadas aos tempos de recorrência é possível avaliar a inundação dos corpos d'água de uma região e mapear as manchas d'água possibilitando assim a verificação das áreas que podem ser atingidas pelas cheias.

2 OBJETIVO DO ESTUDO

A construção de um parque urbano na área do antigo lixão do Roger, bordeado um mangue até às margens do rio Sanhauá, com influência de marés, tem de ser implantado numa cota de segurança. Com as consequências das mudanças no clima, João Pessoa, como cidade litorânea, será impactada e a área do antigo lixão está na primeira linha das preocupações dos decisores quanto aos riscos. O presente estudo vem alargar o nível de confiança ao se modelar os efeitos previsíveis para um período de retorno de 100 anos, mesmo não sendo um dos produtos previstos no escopo do contrato.

O objetivo direto do estudo é avaliar séries históricas de precipitação dos postos pluviométricos situados próximo à área do Lixão do Roger em João Pessoa-PB e estimar as precipitações máximas utilizando distribuição de probabilidade contínua (Gumbel) para diferentes tempos de recorrência e mapear as inundações geradas por estas precipitações associadas aos tempos de recorrência estudados.

Deve realçar-se, no entanto, que a modelagem matemática não se substitui à realidade. É um aviso sobre possíveis cenários se as condições paramétricas reais forem iguais às que foram utilizadas na modelação matemática. É um instrumento de apoio à tomada de decisões e, ao mesmo tempo de monitoramento das condições ao longo do tempo.

Com efeito, ao se acompanhar no tempo os efeitos reais com os simulados se perceberá se o modelo utilizado está em linha com a realidade.

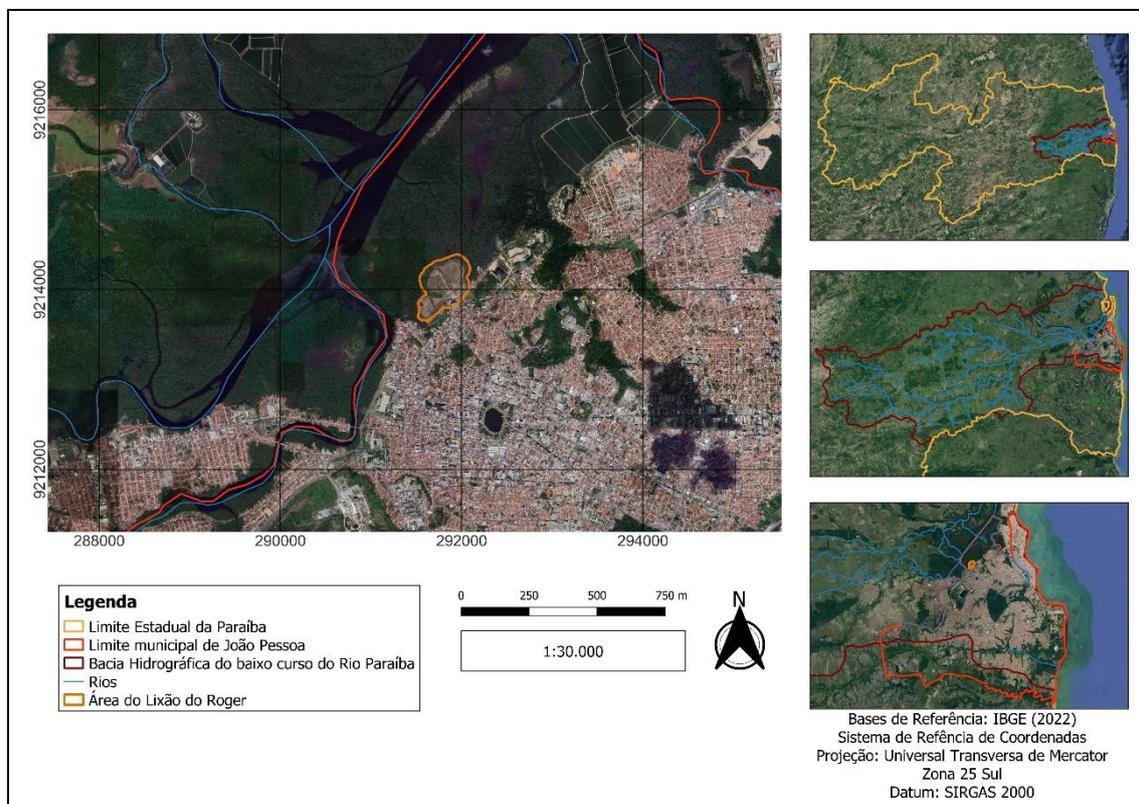
Com os efeitos previsíveis na mudança do clima e das incertezas, é preciso muito cuidado na extrapolação dos resultados das modelagens, aliás, devem ser evitadas mesmo.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área do Lixão do Roger se encontra no município de João Pessoa, na bacia do Rio Paraíba, estando localizada nas coordenadas geográficas 7° 6'18.89"S e 34°53'5.08"O, altitude de 15 m. Em termos hidrológicos, a área de estudo se encontra na região do baixo curso do Rio Paraíba, sendo drenada pelo rio Sanhauá. Na Figura 3.1-1 é apresentado um esquema de localização da área de estudo.

Figura 3.1-1 - Localização da área de estudo



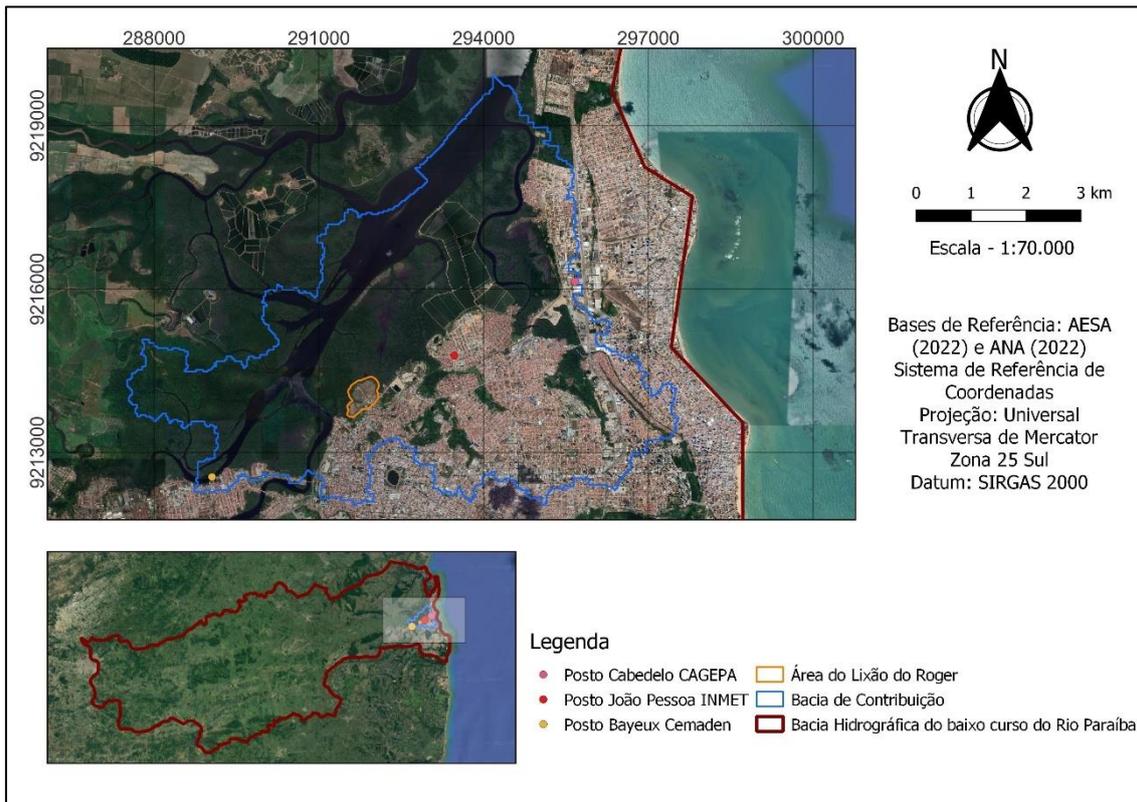
3.2 OBTENÇÃO DOS DADOS

Para caracterizar a precipitação pluviométrica da área de estudo foram utilizados os dados de chuva disponibilizados pelo site da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2022). Os dados estão disponíveis para download no site Hidroweb v.3.2.6, podendo ser acessado no endereço a seguir:

<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>.

A caracterização foi realizada a partir do Posto CAGEPA situado em Cabedelo (Código da estação 734042), Posto INMET situado em João Pessoa (Código da estação 734006) e Posto Cemaden situado em Bayeux (Código da estação 734044) especializados na bacia de contribuição da Área do Lixão do Roger conforme mostrado na Figura 3.2-1.

Figura 3.2-1 - Localização na bacia de contribuição dos Postos Pluviométricos utilizados na caracterização da precipitação



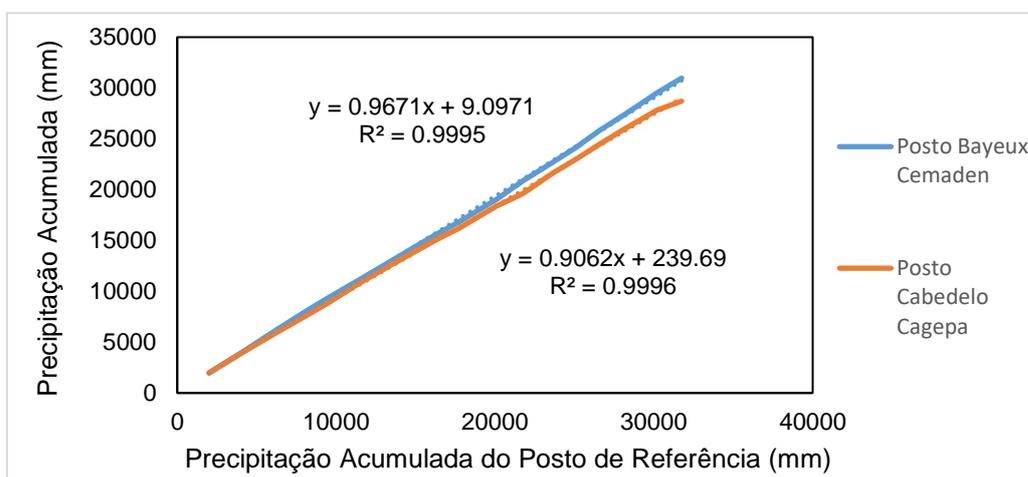
As séries de dados pluviométricos foram analisadas e descartadas as séries com dados faltosos maior que 10% seguindo o critério de Aryee et al. (2018). Foram verificadas também a homogeneidade absoluta e relativa dos dados pluviométricos, conforme Alexandersson e Moberg (1997). Por esta razão, foi utilizada uma série histórica de 18 anos, no período de janeiro de 2002 a dezembro de 2019, tendo em vista que o referido período foi o que apresentou menores falhas e maior homogeneidade de dados entre os três postos.

Os dados foram organizados em planilha eletrônica e todo o processamento dos mesmos foram realizados através do software Excel® do pacote Office da Microsoft®. Foi realizada uma análise de consistência utilizando o método de dupla massa.

Este procedimento consistiu em comparar os valores acumulados anuais de cada posto com os valores acumulados de um posto de referência vizinho. Neste caso os Postos Cabedelo – Cagepa e Posto Bayeux – Cemaden foram avaliados tomando como referência o posto João Pessoa – INMET (situado entre os dois outros postos conforme Figura 2).

Na Figura 3.2-2 é apresentada a análise de dupla massa dos postos. Verifica-se que, os dados dos postos, apresentam consistência adequada ao trabalho, visto que as curvas dos dados não se afastam de uma reta, nem apresenta mudança de inclinação.

Figura 3.2-2 - Análise de consistência dos dados obtidos pelo método de dupla massa



Os coeficientes de determinação (R^2) apresentaram valores de 0,995 e 0,996, respectivamente para o Posto Bayeux Cemaden e Posto Cabedelo Cagepa, o que comprova a consistência dos dados. A partir das séries históricas de chuvas acumuladas diárias no período citado de cada posto, realizou-se, então, a seleção da série de precipitações máximas acumuladas diárias por ano de cada posto (Tabela 3.2-1).

Tabela 3.2-1 - Série das precipitações máximas anuais de todos os postos estudados

ANO	POSTO BAYEUX CEMADEN (MM)	POSTO JOÃO PESSOA INMET (MM)	POSTO CABEDELLO CAGEPA (MM)
2002	89,4	89,4	89
2003	103,4	103,4	101,7
2004	116,7	116,7	90
2005	129,8	129,8	112

ANO	POSTO BAYEUX CEMADEN (MM)	POSTO JOÃO PESSOA INMET (MM)	POSTO CABEDELLO CAGEPA (MM)
2006	51,4	51	51,7
2007	105,4	105,4	119,1
2008	139,2	139,2	117,4
2009	129,9	146,6	131,2
2010	70	89,4	63,3
2011	165	165	152
2012	183	151,6	125,8
2013	159,2	159,2	142,4
2014	75,5	75,5	74
2015	94,2	94,2	89
2016	147,4	147,4	146
2017	131,9	140,4	141
2018	113,8	106,2	112,8
2019	193,4	190,2	185,0

3.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Foram elaborados gráficos das médias mensais e anuais e suas respectivas variabilidades a partir do cálculo do coeficiente de variação expresso em porcentagem. Além disso foram realizadas análises de distribuição de frequência.

O método probabilístico utilizado foi a distribuição de Gumbel e as precipitações máximas foram calculadas para os tempos de recorrência de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos.

A distribuição de Gumbel foi selecionada por ser adequada para séries históricas de valores extremos máximos (NAGHETTINI e PINTO, 2007). Seus parâmetros foram estimados por meio do método dos momentos. O método de Gumbel fundamenta-se na seguinte Função Cumulativa de Probabilidade, dada por:

$$P = 1 - e^{-e^{-y_i}} \quad (1)$$

onde P é a probabilidade de qualquer uma das máximas ser igualada ou superada e y_i é a variável reduzida dada por:

$$y_i = a(X_i - X_f) \quad (2)$$

onde y_i é a variável reduzida das i precipitações máximas registradas, X_i são as precipitações máximas registradas e os parâmetros a e X_f , são dados por:

$$a = \frac{S_n}{S_x} \quad (3)$$

$$X_f = \bar{X} - S_x \left(\frac{\bar{Y}_n}{S_n} \right) \quad (4)$$

onde \bar{X} é a média das precipitações máximas registradas, S_x é o desvio padrão das precipitações máximas registradas. Os parâmetros \bar{Y}_n e S_n são valores associados a variável reduzida e tabelados em função do número de dados, disponibilizados em Vilela (1975), conforme mostrado na Tabela 3.3-1.

Após cálculo de todos os parâmetros foram aplicados os mesmos na equação 2 e com isso obteve-se os valores correspondentes das variáveis reduzidas para cada precipitação máxima registrada. Em seguida foi plotado um gráfico variável reduzida versus precipitações máximas registradas. Através desse gráfico foi estimada uma equação de regressão linear. A mesma foi utilizada posteriormente para o cálculo das precipitações máximas associadas aos períodos de retorno já citados anteriormente. Na

Tabela 3.3-2 são apresentadas as variáveis reduzidas correspondente para diversos períodos de retornos.

Tabela 3.3-1 - Valores esperados da média (\bar{Y}_n) e desvio-padrão (S_n) da variável reduzida (y) em função do número de dados (n).

N	\bar{Y}_n	SN	N	\bar{Y}_n	SN
10	0,49	0,95	80	0,56	1,19
20	0,52	1,06	90	0,56	1,20
30	0,54	1,11	100	0,56	1,21
40	0,54	1,14	150	0,56	1,23
50	0,55	1,16	200	0,57	1,24
60	0,55	1,17	∞	0,57	1,28
70	0,55	1,19	-	-	-

Fonte: Vilela (1975)

Tabela 3.3-2 - Variável reduzida e período de retorno

VARIÁVEL REDUZIDA (Y)	PERÍODO DE RETORNO (TR)
0,000	1,58
0,367	2
0,579	2,33
1,500	5
2,250	10
2,970	20
3,182	25
3,395	30
3,902	50
4,600	100
5,296	200
5,808	300
6,214	500
6,907	1000

Fonte: Vilela (1975)

3.4 CARACTERIZAÇÃO DO REGIME PLUVIOMÉTRICO MENSAL E SUAS RESPECTIVAS OSCILAÇÕES ANUAIS

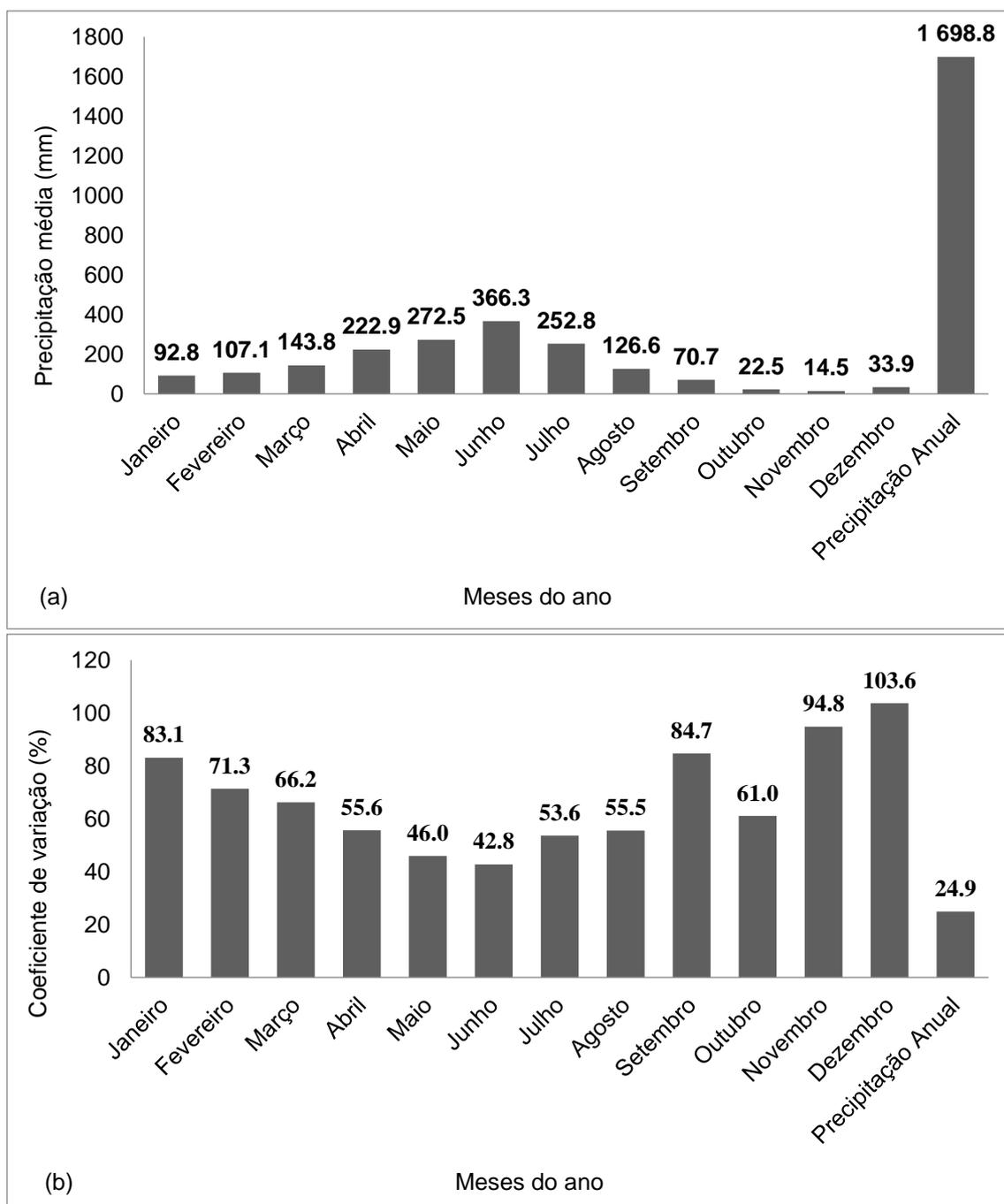
No Posto Cabedelo Cagepa, a precipitação anual da série histórica de 18 anos (2002 a 2019) correspondeu em média a aproximadamente 1.698,8 mm (Figura 3.4-1/a) e coeficiente de variação de 24,9% (Figura 3.4-1/b). Isso indica que a série de dados de precipitação média anual dos 18 anos apresenta baixa dispersão.

Observa-se que em junho ocorre a maior precipitação, em média 366,3 mm (Figura 3.4-1/a), representando cerca de 21,6% de toda a precipitação média anual. Este mês foi o que apresentou menor coeficiente de variação aproximadamente 42,8% (Figura 3.4-1/b), indicando com isso que o mês de junho é o que apresenta comportamento mais homogêneo em relação à dispersão da quantidade precipitada ao longo dos meses.

Por outro lado, o mês de menor precipitação média é o mês de novembro, aproximadamente 14,5 mm (Figura 3.4-1/a), representando cerca de 0,86% do total da precipitação anual. No que se refere ao coeficiente de variação o mês de dezembro e seguido pelo mês de novembro foram os que apresentaram maior percentual

aproximadamente 103,6% e 94,8%, respectivamente. Estes resultados apontam que o período de novembro e dezembro é o mais heterogêneo em relação à dispersão da quantidade precipitada ao longo dos meses.

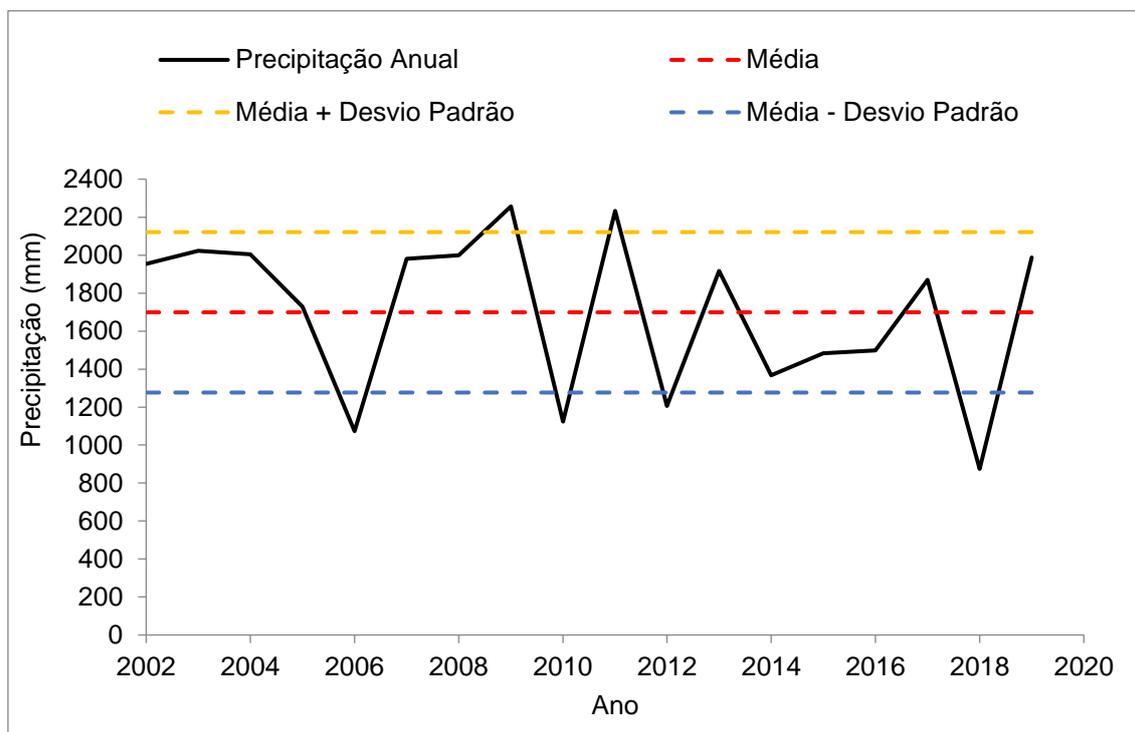
Figura 3.4-1 – Precipitação média mensal e anual (a) e suas respectivas variabilidades (b) do Posto Cabedelo Cagepa



Na Figura 3.4-2 apresentam-se as oscilações da precipitação anual da série histórica analisada no Posto Cabedelo Cagepa. De modo geral ocorrem anos acima e abaixo da

média sem nenhuma tendência aparente. Outro aspecto importante é a ocorrência de precipitações acima e abaixo do desvio padrão mais a média e do desvio padrão menos a média. Isso sugere condições de precipitações extremas em quantidades maiores e menores do comum observado na região. Este comportamento pode estar associado aos efeitos das mudanças globais que ocasionam alteração do regime de chuva podendo acarretar maiores e menores volumes do que o normal para uma dada região.

Figura 3.4-2 – Oscilação da precipitação ao longo dos anos e análise estatística do Posto Cabedelo Cagepa



No Posto João Pessoa INMET, a precipitação anual da série histórica de 17 anos (2002 a 2018) apresentou em média 1.875,1 mm (

Figura 3.4-3/a) e coeficiente de variação de 20,7% (

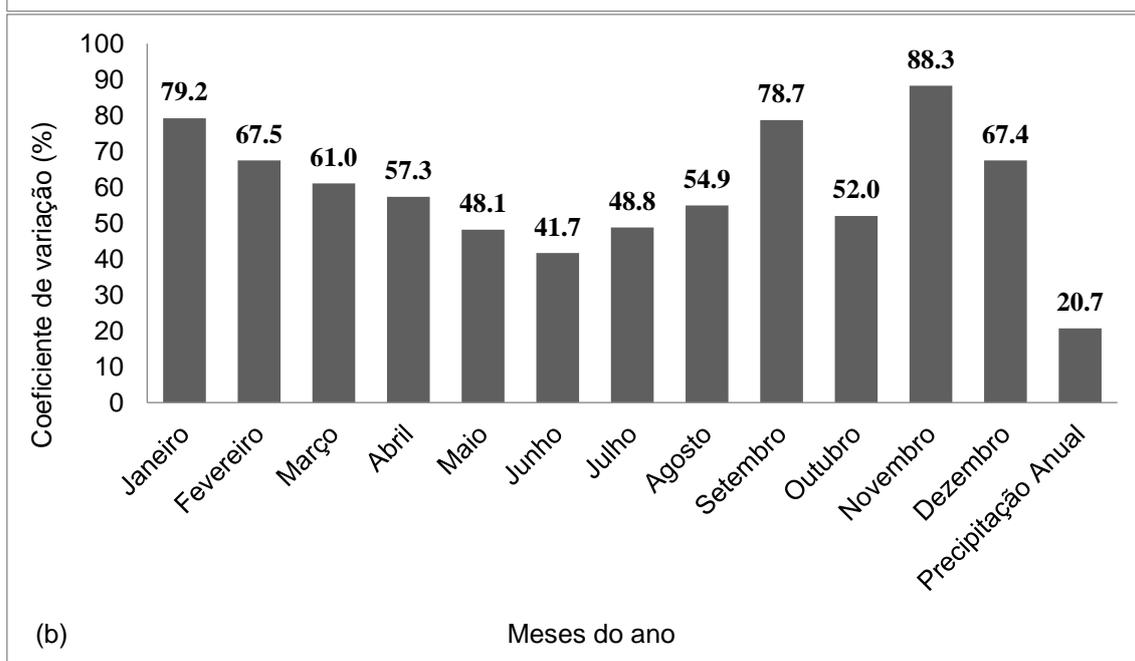
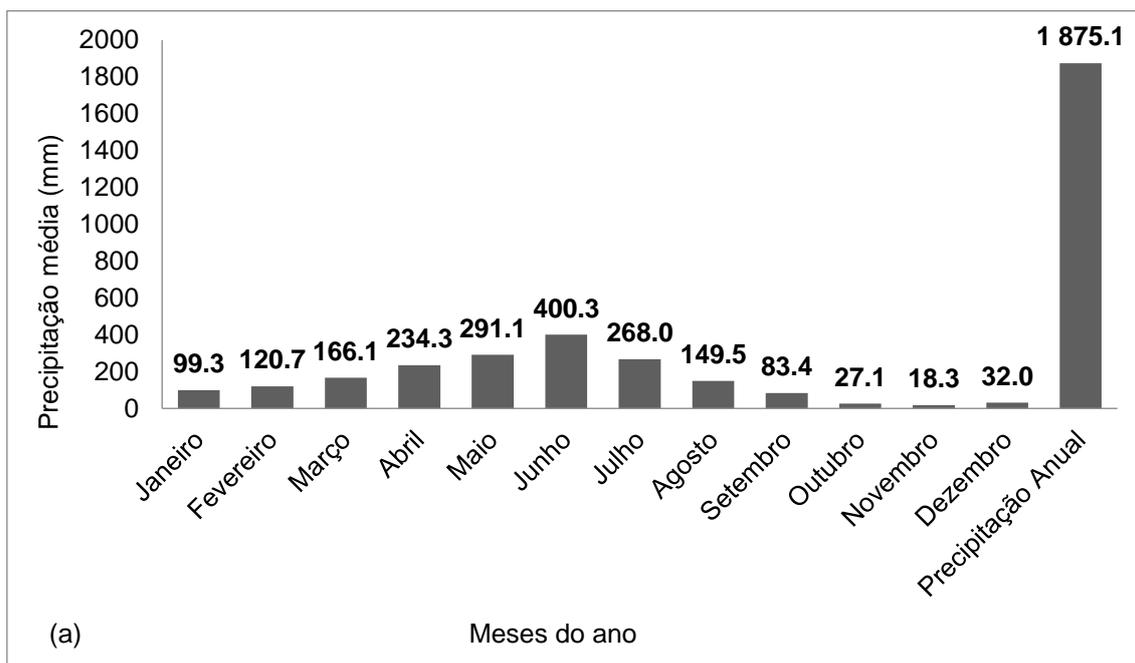
Figura 3.4-3/b). Isso indica que a série de dados de precipitação média anual dos 18 anos apresenta baixa dispersão, semelhante ao Posto Cabedelo Cagepa

Observa-se que no Posto João Pessoa INMET a maior precipitação ocorre também no mês de junho, em média 400,3 mm (

Figura 3.4-3/a), representando cerca de 21,3% de toda a precipitação média anual. Este mês foi o que apresentou menor coeficiente de variação aproximadamente 41,7% (

Figura 3.4-3/b), indicando com isso que o mês de junho também é o que apresenta comportamento mais homogêneo em relação à dispersão da quantidade precipitada ao longo dos meses no Posto João Pessoa INMET.

Figura 3.4-3 – Precipitação média mensal e anual (a) e suas respectivas variabilidades (b) do Posto João Pessoa INMET

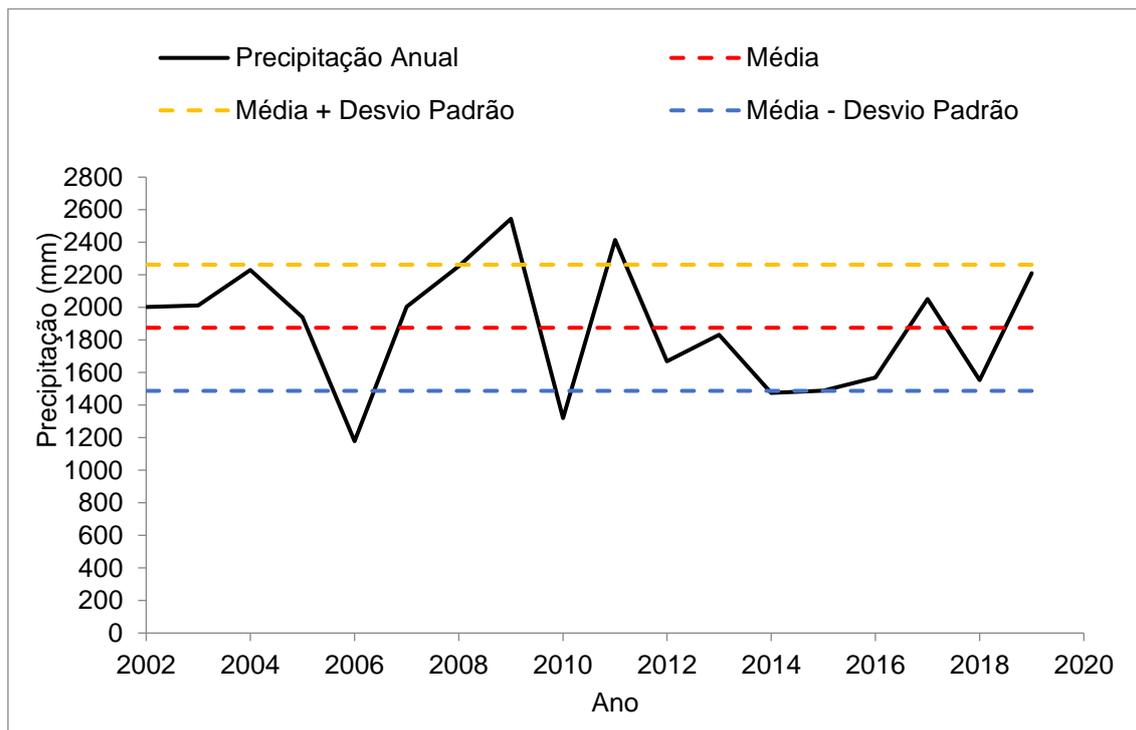


Já o mês de menor precipitação em média no Posto João Pessoa INMET é também o mês de novembro, aproximadamente 18,3 mm (Figura 6a), representando cerca de 0,97% do total da precipitação anual. No que se refere ao coeficiente de variação o mês de novembro foi o que apresentou maior percentual aproximadamente 88,3%. Este resultado aponta que o mês de novembro é o mais heterogêneo em relação à dispersão da quantidade precipitada ao longo dos meses.

Na Figura 3.4-4 apresentam-se as oscilações da precipitação anual da série histórica analisada no Posto João Pessoa INMET. É possível verificar que de modo geral ocorrem

também anos acima e abaixo da média sem nenhuma tendência aparente semelhante ao observado no Posto Cabedelo Cagepa. O mesmo aspecto de ocorrer precipitações acima e abaixo do desvio padrão mais a média e do desvio padrão menos a média também é observado no Posto João Pessoa INMET.

Figura 3.4-4 – Oscilação da precipitação ao longo dos anos e análise estatística do Posto João Pessoa INMET

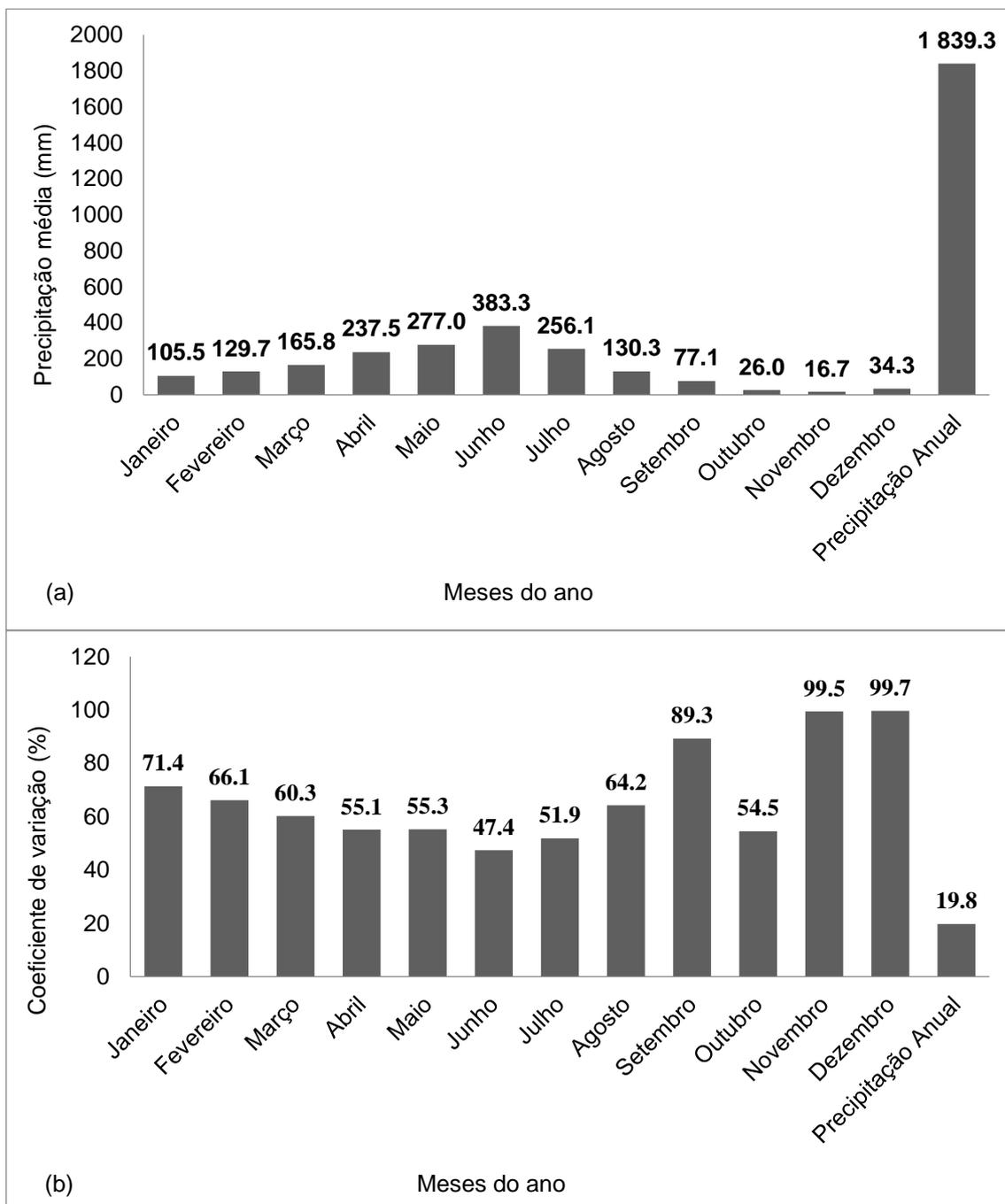


No Posto Bayeux Cemaden, a precipitação anual da série histórica de 18 anos (2002 a 2019) apresentou em média 1.839,3 mm (

Figura 3.4-5/a) e coeficiente de variação de 19,8% (

Figura 3.4-5/b). Isso indica que a série de dados de precipitação média anual dos 18 anos apresenta baixa dispersão, semelhante as demais séries dos postos analisados.

Figura 3.4-5 – Precipitação média mensal e anual (a) e suas respectivas variabilidades (b) do Posto Bayeux Cemaden



Observa-se que no Posto Bayeux Cemaden a maior precipitação média ocorre também no mês de junho, em média 383,3 mm (

Figura 3.4-5/a), representando cerca de 20,84% de toda a precipitação média anual. Este mês foi o que apresentou menor coeficiente de variação aproximadamente 47,4% (

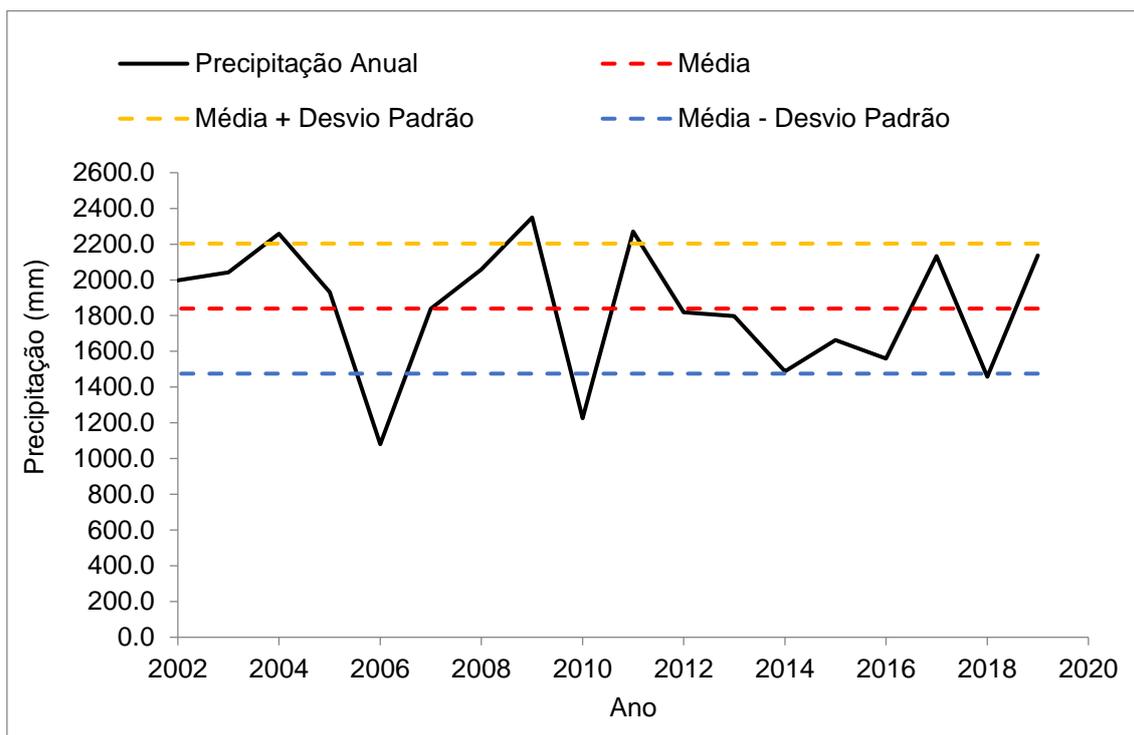
Figura 3.4-5/b), indicando com isso que o mês de junho também é o que apresenta comportamento mais homogêneo em relação à dispersão da quantidade precipitada ao longo dos meses, semelhante aos demais postos.

Já o mês de menor precipitação média no Posto Bayeux Cabedelo é também o mês de novembro, aproximadamente 16,7 mm (

Figura 3.4-5/a), representando cerca de 0,91% do total da precipitação anual. No que se refere ao coeficiente de variação o mês de dezembro seguido pelo mês de novembro foram os que apresentaram maior percentual aproximadamente 99,7% e 99,5% respectivamente. Estes resultados apontam que o período de novembro e dezembro é o mais heterogêneo em relação à dispersão da quantidade precipitada ao longo dos meses, semelhante ao comportamento observado no Posto Cabedelo Cagepa.

Na Figura 3.4-6 apresentam-se as oscilações da precipitação anual da série histórica analisada no Posto Bayeux Cemaden.

Figura 3.4-6 – Oscilação da precipitação ao longo dos anos e análise estatística do Posto Bayeux Cemaden



É possível verificar que de modo geral ocorrem também anos acima e abaixo da média sem nenhuma tendência aparente semelhante aos demais postos. O mesmo aspecto de ocorrer precipitações acima e abaixo do desvio padrão mais a média e do desvio padrão menos a média também é observado no Posto Bayuex Cemaden.

Ao avaliar os três postos é possível identificar que todos possuem comportamento semelhante entre si a nível mensal, anual e de sensibilidade a mudanças climáticas.

3.5 CARACTERIZAÇÃO DAS PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS

Com base na série histórica, de precipitação máxima diária anual, do posto Cabedelo Cagepa, a classe que apresenta maior frequência de ocorrência foi a classe 3 (Figura 3.5-1), com precipitações entre 114,58 mm e 146,02 mm (

Tabela 3.5-1). Observa-se que os valores dessas classes apresentam precipitações maiores que a média das precipitações máximas anuais de 113,5 mm no período avaliado do Posto Cabedelo Cagepa.

Figura 3.5-1 - Histograma da precipitação máxima diária anual do Posto Cabedelo Cagepa.

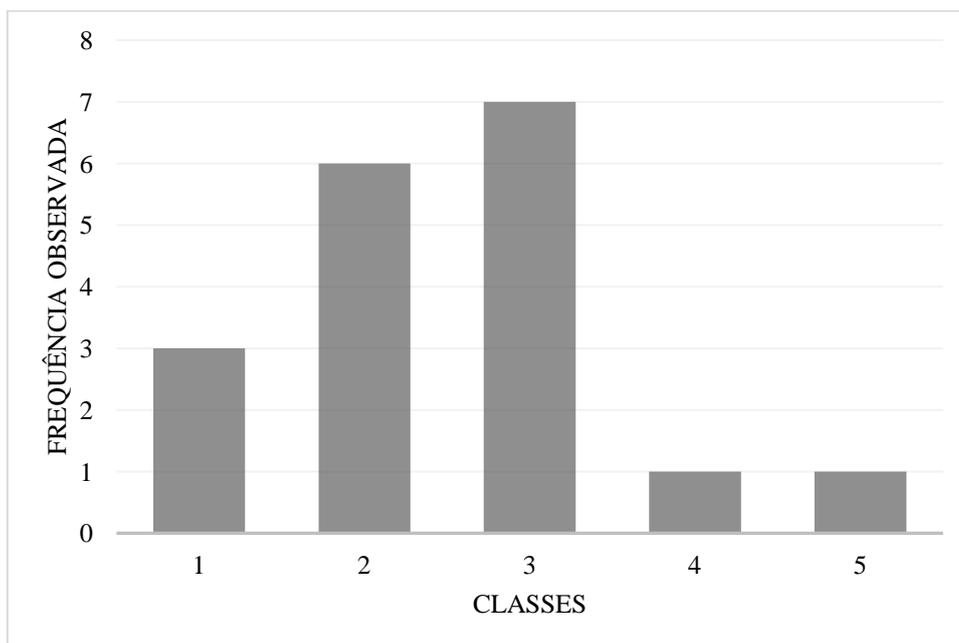


Tabela 3.5-1 - Distribuição de frequência das precipitações máximas do Posto Cabedelo Cagepa

CLASSE	INTERVALOS DA CLASSE	FREQUÊNCIA OBSERVADA
1	51,70 - 83,14	3
2	83,14 - 114,58	6
3	114,58 - 146,02	7
4	146,02 - 177,46	1
5	177,46 - 208,9	1

No Posto João Pessoa INMET a série histórica de precipitação máxima diária anual a classe que apresenta maior frequência de ocorrência são as classes 2 e 3 (Figura 3.5-2), com precipitações entre 83,83 mm e 116,66 mm da classe 2 e precipitações entre 116,66 mm e 149,49 mm da classe 3 (

Tabela 3.5-2). Observa-se que os valores dessas classes apresentam precipitações menores (classe 2) e maiores (classe 4) do que a média das precipitações máximas anuais de 122,3 mm no período avaliado do Posto João Pessoa INMET.

Figura 3.5-2 - Histograma da precipitação máxima diária anual do Posto João Pessoa INMET.

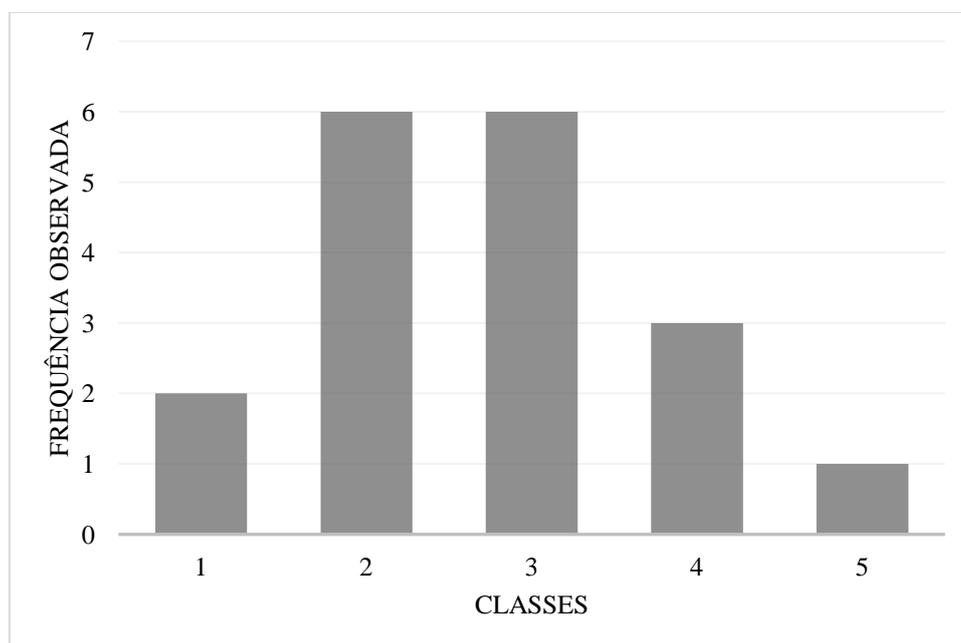


Tabela 3.5-2 - Distribuição de frequência das precipitações máximas do Posto João Pessoa INMET

CLASSE	INTERVALOS DA CLASSE	FREQUÊNCIA OBSERVADA
1	51,00 - 83,83	2
2	83,83 - 116,66	6
3	116,66 - 149,49	6
4	149,49 - 182,32	3
5	182,32 - 215,15	1

Já no Posto Bayeux Cemaden a série histórica de precipitação máxima diária anual a classe que apresenta maior frequência de ocorrência é a classe 2 (Figura 3.5-3), com precipitações entre 84,90 mm e 118,40 mm (

Tabela 3.5-3). Observa-se que os valores dessas classes apresentam precipitações menores do que a média das precipitações máximas anuais de 122,15 mm no período avaliado do Posto Bayex Cemaden.

Figura 3.5-3 - Histograma da precipitação máxima diária anual do Posto Bayeux Cemaden.

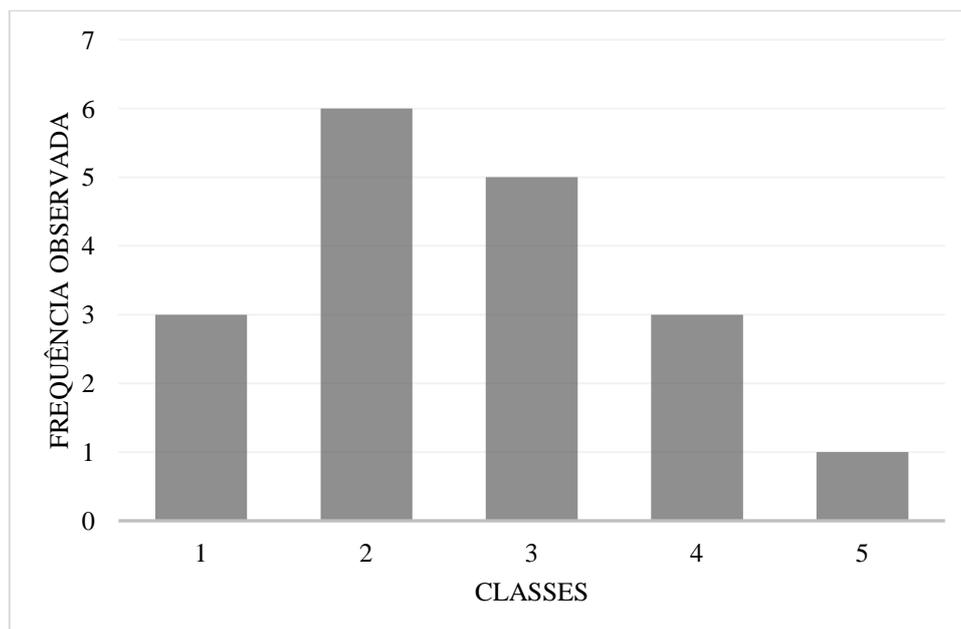


Tabela 3.5-3 - Distribuição de frequência das precipitações máximas do Posto Bayeux Cemaden.

CLASSE	INTERVALOS DA CLASSE	FREQUÊNCIA OBSERVADA
1	51,40 - 84,90	3
2	84,90 - 118,40	6
3	118,40 - 151,90	5
4	151,90 - 185,40	3
5	185,40 - 218,9	1

3.5.1 PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS ASSOCIADAS AOS TEMPOS DE RECORRÊNCIA ESTIMADAS ATRAVÉS DA DISTRIBUIÇÃO GUMBEL

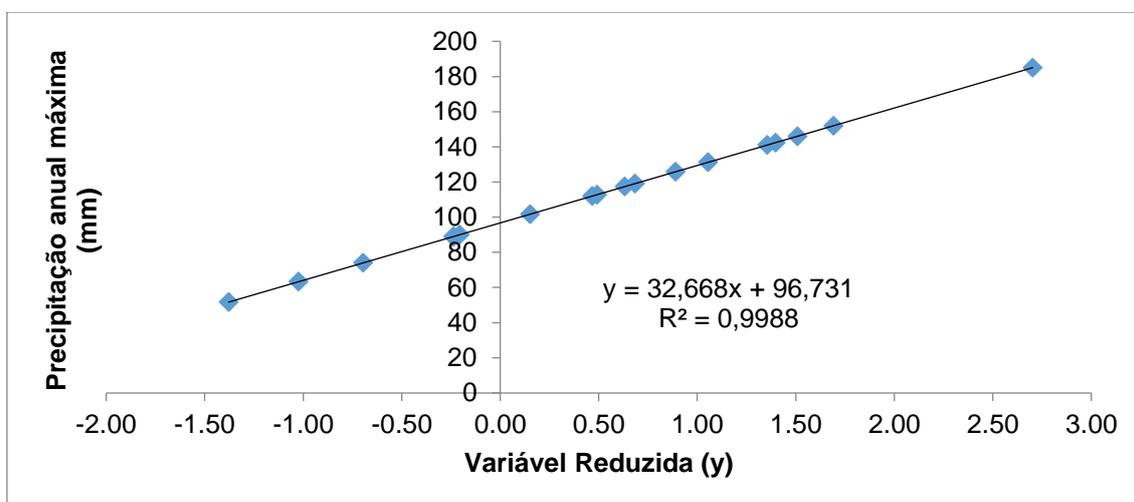
Foram calculadas as médias e desvio padrão e os parâmetros da distribuição Gumbel da série de precipitações máximas do Posto Cabedelo Cagepa, conforme apresentado na Figura 3.5-4 e Tabela 3.5-4.

Figura 3.5-4

Tabela 3.5-4 - Valores utilizados e calculados para aplicação da distribuição Gumbel para o Posto Cabedelo Cagepa

PARÂMETRO	VALOR	FONTE DE OBTENÇÃO
Média	113,52	Calculado
Desvio Padrão	33,91	Calculado
Yn	0,51	Interpolado pela Tabela 2
Sn	1,04	Interpolado pela Tabela 2
Xf	96,73	Calculado pela Equação 4
a	0,03	Calculado pela Equação 3

Figura 3.5-4 - Gráfico variável reduzida versus precipitação máxima anual registrada do Posto Cabedelo Cagepa



Os cálculos para determinação das precipitações máximas associadas aos diferentes períodos de retornos obtidos pelas distribuições de Gumbel a partir da equação obtida graficamente na Figura 3.5-4 e em seguida compilados na Tabela 3.5-5

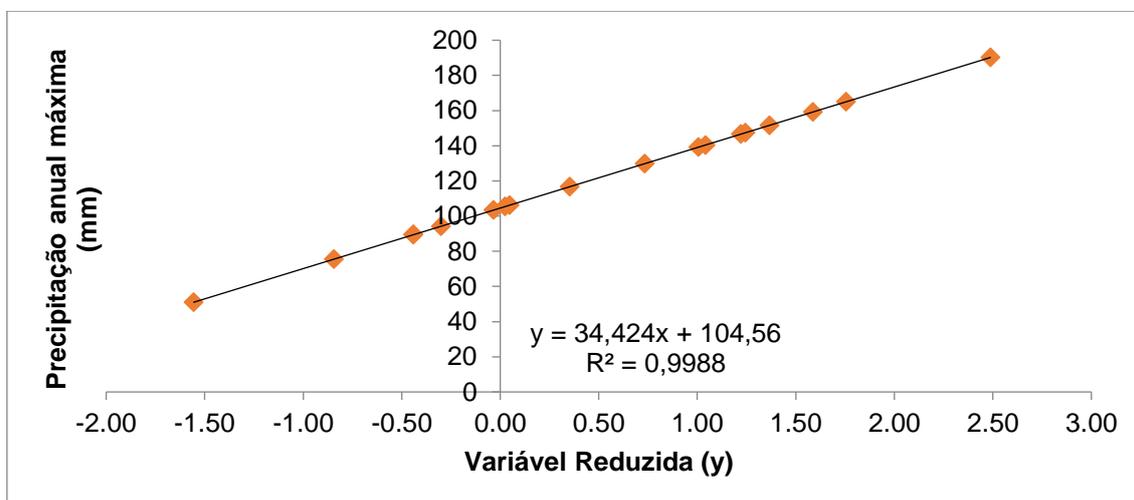
Tabela 3.5-5 - Precipitações máximas e seus respectivos períodos de retorno para o Posto Cabedelo Cagepa

TR (ANOS)	MÉTODO GUMBEL	
	VARIÁVEL REDUZIDA Y	PRECIPITAÇÃO MÁXIMA P (MM)
2	0,367	108,72
5	1,5	145,73
10	2,25	170,23
25	3,2	201,27
50	3,9	224,14
100	4,6	247,00

Foram calculadas as médias e desvio padrão e os parâmetros da distribuição Gumbel da série de precipitações máximas do Posto João Pessoa INMET, conforme apresentado na Tabela 3.5-6 e Figura 3.5-5

Tabela 3.5-6 - Valores utilizados e calculados para aplicação da distribuição Gumbel para o Posto João Pessoa INMET

PARÂMETRO	VALOR	FONTE DE OBTENÇÃO
Média	122,26	Calculado
Desvio Padrão	35,73	Calculado
Yn	0,51	Interpolado pela Tabela 2
Sn	1,04	Interpolado pela Tabela 2
Xf	104,56	Calculado pela Equação 4
a	0,03	Calculado pela Equação 3

Figura 3.5-5 - Gráfico variável reduzida versus precipitação máxima anual registrada do Posto João Pessoa INMET


Os cálculos para determinação das precipitações máximas associadas aos diferentes períodos de retornos obtidos pelas distribuições de Gumbel a partir da equação obtida graficamente na Figura 3.5-5e em seguida foram compilados na Tabela 3.5-7.

Tabela 3.5-7 - Precipitações máximas e seus respectivos períodos de retorno para o Posto João Pessoa INMETRO

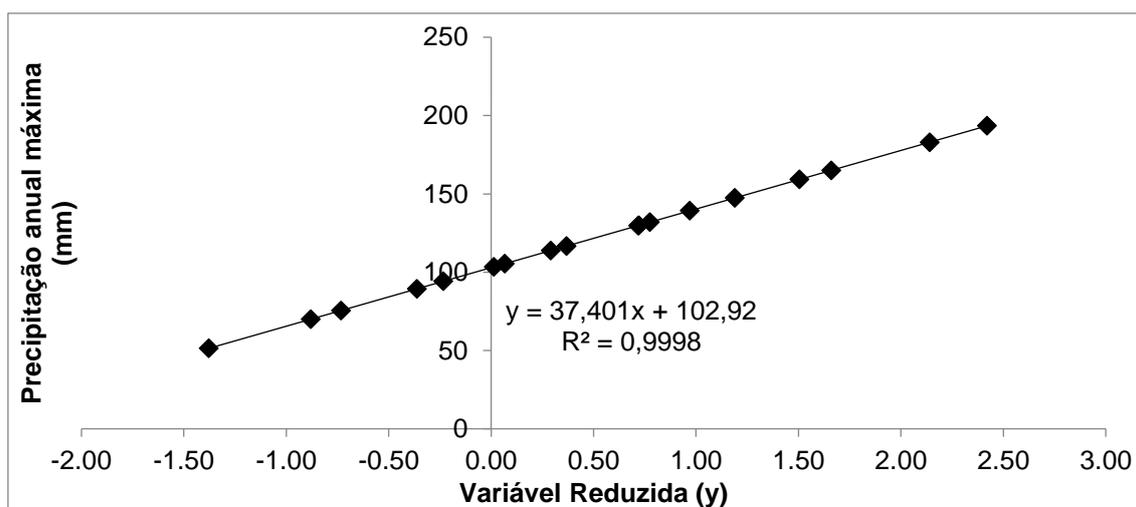
PERÍODO DE RETORNO	MÉTODO GUMBEL	
	VARIÁVEL REDUZIDA	PRECIPITAÇÃO MÁXIMA
TR (ANOS)	Y	P (MM)
2	0,367	117,19
5	1,5	156,20
10	2,25	182,01
25	3,2	214,72
50	3,9	238,81
100	4,6	262,91

Foram calculadas as médias e desvio padrão e os parâmetros da distribuição Gumbel da série de precipitações máximas do Posto Bayeux Cemaden, conforme apresentado na Tabela 3.5-8 e Figura 3.5-6.

Tabela 3.5-8 - Valores utilizados e calculados para aplicação da distribuição Gumbel para o Posto Bayeux Cemaden

PARÂMETRO	VALOR	FONTE DE OBTENÇÃO
Média	122,15	Calculado
Desvio Padrão	38,82	Calculado
Yn	0,51	Interpolado pela Tabela 2
Sn	1,04	Interpolado pela Tabela 2
Xf	102,92	Calculado pela Equação 4
a	0,03	Calculado pela Equação 3

Figura 3.5-6 - Gráfico variável reduzida versus precipitação máxima anual registrada do Posto Bayeux Cemaden



Os cálculos para determinação das precipitações máximas associadas aos diferentes períodos de retornos obtidos pelas distribuições de Gumbel a partir da equação obtida graficamente na Figura 3.5-6 e em seguida foram compilados na

Tabela 3.5-9.

Tabela 3.5-9 - Precipitações máximas e seus respectivos períodos de retorno para o Posto Cabedelo Cemaden

MÉTODO GUMBEL		
PERÍODO DE RETORNO	VARIÁVEL REDUZIDA	PRECIPITAÇÃO MÁXIMA
Tr (anos)	y	P (mm)
2	0,367	116,65
5	1,5	159,02
10	2,25	187,07
25	3,2	222,60
50	3,9	248,78
100	4,6	274,96

3.6 METODOLOGIA DA MODELAGEM HIDROLÓGICA

Para estimar as vazões geradas pela chuva associadas aos tempos de recorrência, foi utilizado o software HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System). A referida ferramenta consiste em um programa internacionalmente reconhecido por seus recursos computacionais em hidrologia. A área de contribuição foi calculada utilizando a base cartográfica da Agência Executiva de Gestão das Águas (AESAs) da Paraíba e dados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

Para construção do hietograma foi utilizado o método dos blocos alternados. Na determinação da precipitação efetiva foi empregado o método da Curve Number (CN), desenvolvido pelo Natural Resources Conservation Service (NRCS).

O valor de CN responde pela maior parte das características das bacias hidrográficas produtoras de escoamento, tais como tipo de solo, uso da terra, condição hidrológica e condição antecedente de umidade. (MISHRA & SINGH, 2004). Para estimar a precipitação efetiva, aplicou-se a Equação 5:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (5)$$

para $P > I_a$ e 0 nos demais casos

onde P_e é a chuva efetiva em mm, P é precipitação total em mm, I_a é a abstração inicial em mm e S é o máximo potencial de retenção do solo em mm.

Para I_a adotou-se o valor de $0,2S$, conforme recomendado pelo NRCS. Assim, a equação 5 pode ser reescrita na forma da Equação 6:

$$P_e = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad (6)$$

Onde S é obtido pela equação 7:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (7)$$

O parâmetro CN está relacionado ao tipo de solo, ao tipo de cobertura vegetal e às condições de umidade antecedentes. Nesse estudo considerou-se a condição antecedente de umidade média para um solo tipo B com cobertura vegetal tipo: urbano, área vegetada e mata ciliar. Na estimativa do CN , foram utilizadas imagens aéreas do município, combinadas com imagens do Google Earth. Destaca-se, que o valor do número CN foi estimado a partir dos valores da tabela determinada pelo NRCS, conforme o tipo de solo da área de estudo. Para obter o hidrograma da cheia a partir do hietograma da chuva, aplicou-se o método do Hidrograma Unitário Adimensional do NRCS, seguindo a proposta de Ebrahimian et al., (2012). O método tem como parâmetro o tempo de retardo (T_{lag}). O valor de T_{lag} é obtido pela equação 8:

$$T_{lag} = 0,6 * T_c \quad (8)$$

Onde T_c é o tempo de concentração em minutos e o T_{lag} é o tempo de retardo em minutos.

O tempo de concentração pode ser estimado pela equação 9:

$$T_c = 3,98 \frac{L^{0,77}}{D^{0,385}} \quad (9)$$

Onde T_c é o tempo de concentração em minuto, L o comprimento do rio em km e D é a declividade em %.

As vazões máximas obtidas na modelagem hidrológica para uma precipitação nos tempos de recorrência de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, assim como os elementos

hidráulicos (rede de drenagem, seções transversais e limites da calha) foram inseridas como dados de entrada no modelo HEC-RAS.

Diante da limitação de dados na escala horária, adotou-se o regime de escoamento permanente. Assim, o valor obtido refere-se à área inundada na cheia máxima provocada pelo evento de chuva simulado no estudo.

O valor do coeficiente de rugosidade de Manning (n) foi selecionado por meio de imagens do Google Earth, georreferenciada e datadas de 12 de dezembro de 2018. Para o escoamento na calha do rio, adotou-se $n = 0,08$ como valor inicial e, para escoamento na planície de inundação, em ambas as margens, tomou-se $n = 0,12$.

Com a ferramenta RAS mapper do HEC-RAS e HEC-HMS foi possível elaborar o conjunto de dados requeridos para a simulação hidráulica. A delimitação da calha principal foi realizada para distinguir o canal principal das planícies de inundação, definindo, dessa forma, o leito menor de cada curso d'água.

Foi utilizado como guia para a delimitação deste elemento o modelo sombreado do terreno obtido a partir do MDE. Desse modo foi possível identificar visualmente os detalhes topográficos das calhas fluviais de interesse. Foram delimitadas as Linhas de Fluxo de cada curso d'água considerando o fluxo no talvegue do canal e o fluxo sobre o leito maior ao longo das margens, e consistiram em linhas indicando a direção do escoamento nestes locais.

As seções transversais consistiram nos principais elementos para a simulação hidráulica, pois a partir delas foram extraídas as cotas de elevação provenientes do MDE para a geração dos perfis em cada seção do canal, e também para computar as informações hidrológicas de entrada para a posterior simulação no software HEC-RAS.

Após o cálculo dos perfis da superfície da água, os resultados foram exportados para o formato shapefile. Os níveis da água em cada seção foram sobrepostos ao Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) para estimar as áreas de inundação. Os dados utilizados na modelagem são descritos na Tabela 3.6-1.

Tabela 3.6-1 - Parâmetros da modelagem hidrológica

PARÂMETRO	VALOR
Área (km ²)	38,26

L (km)	8,79
Desnível (%)	0,3
CN	75
Tc (min.)	33,73
S (mm)	84,67

Os resultados das vazões associadas aos tempos de recorrências obtidos com a modelagem hidrológica do Posto Cabedelo Cagepa, Posto João INMET e Posto Bayeux Cemaden são apresentados respectivamente nas Tabelas 3.6-2 e 3.6-3 e 3.6-4

Tabela 3.6-2 - Vazões máximas obtidas para o Posto Cabedelo Cagepa

TR (ANOS)	PRECIPITAÇÃO MÁXIMA (MM)	VAZÕES MÁXIMAS (M ³ /S)
2	108,72	171,97
5	145,73	524,89
10	170,23	613,14
25	201,27	724,94
50	224,14	807,31
100	247	889,65

Tabela 3.6-3 - Vazões máximas obtidas para o Posto João Pessoa INMET

TR (ANOS)	PRECIPITAÇÃO MÁXIMA (MM)	VAZÕES MÁXIMAS (M ³ /S)
2	117,19	195,78
5	156,2	311,96
10	182,01	393,01
25	214,72	498,85
50	238,81	578,44
100	262,91	659,10

Tabela 3.6-4 - Vazões máximas obtidas para o Posto Bayeux

TR (ANOS)	PRECIPITAÇÃO MÁXIMA (MM)	VAZÕES MÁXIMAS (M ³ /S)
2	116,65	194,24
5	159,02	320,68
10	187,07	409,18
25	222,6	524,75
50	248,78	611,69
100	274,96	699,76

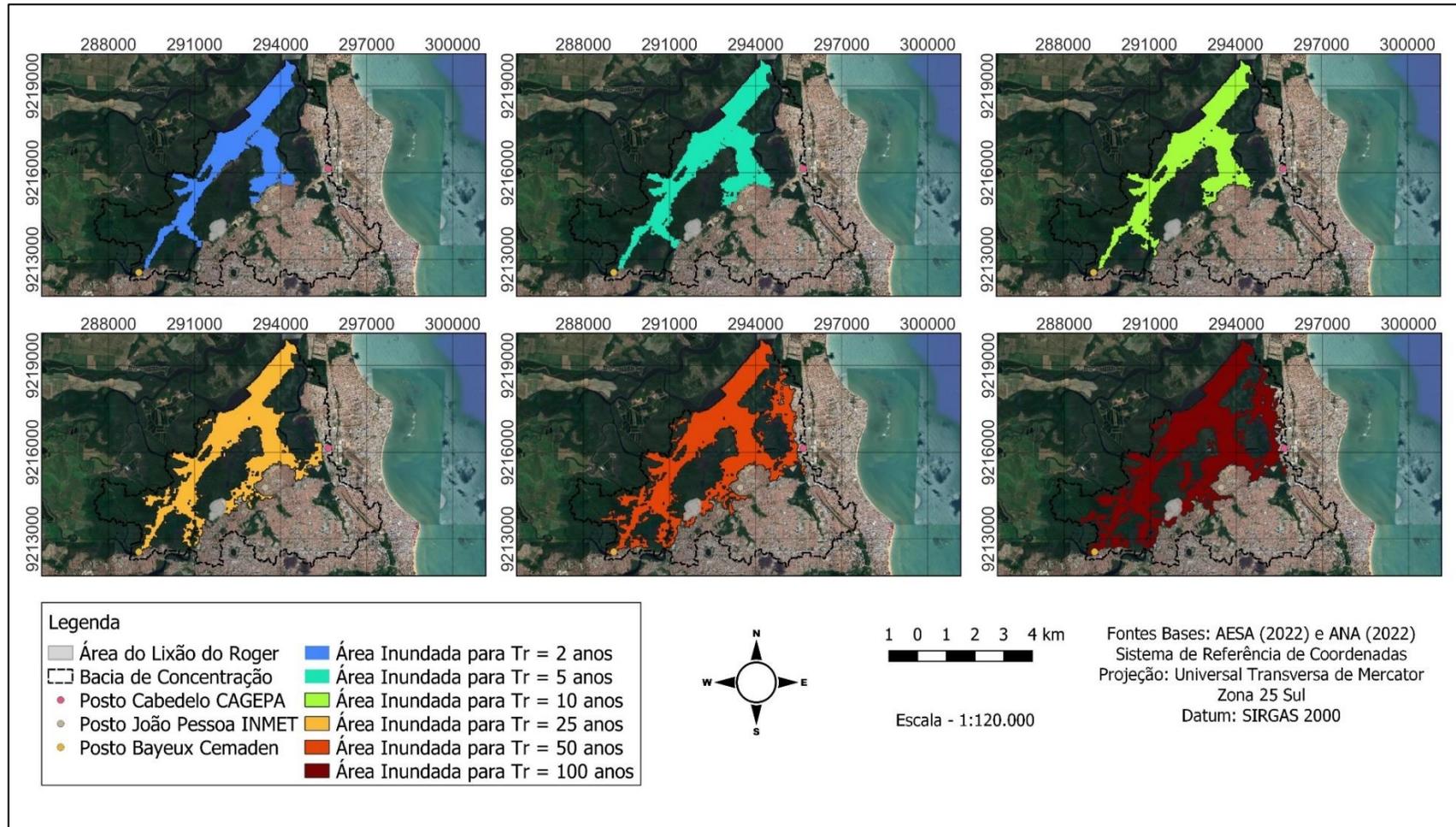
3.7 DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE INUNDAÇÃO

Na Figura 3.7-1 são apresentadas as áreas inundadas para o tempo de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos obtidos com a série de precipitações do Posto Cabedelo Cagepa. Na Tabela 17 são apresentadas as áreas calculadas para cada mancha de inundação e das áreas passíveis de inundação nos limites do lixão do Roger. Ao avaliar os mapas de inundação da Figura 3.7-1 e os dados das áreas apresentados na Tabela 3.7-1, é possível observar que para chuvas com tempo de recorrência a partir de 25 anos podem ocasionar inundações que cheguem aos limites do Lixão Roger. A mancha de inundação para $Tr = 25$ anos intercepta a porção nordeste dos limites do Lixão do Roger e para os $Tr = 50$ e 100 anos as manchas além de interceptar a porção nordeste, intercepta também as porções sudeste, sul e sudoeste. A porção norte foi a única não interceptada pela mancha de inundação, mesmo para $Tr = 100$ anos.

Tabela 3.7-1 – Áreas calculadas das manchas de inundação e áreas passíveis de inundação no Lixão do Roger do Posto Cabedelo Cagepa

TR (ANOS)	ÁREA INUNDADA (KM ²)	ÁREA INUNDADA (%)	ÁREA PASSÍVEL DE INUNDAÇÃO DO LIXÃO DO ROGER (KM ²)	ÁREA PASSÍVEL DE INUNDAÇÃO DO LIXÃO DO ROGER (%)
2	6,60	17,25	0	0
5	7,50	19,59	0	0
10	7,85	20,53	0	0
25	9,92	25,93	0,04	12,07
50	12,57	32,86	0,07	22,76
100	14,263	37,28	0,09	30,00

Figura 3.7-1 – Mapa de delimitação das áreas inundadas para os diferentes tempos de recorrência baseado nos dados do Posto Cabedelo Cagepa

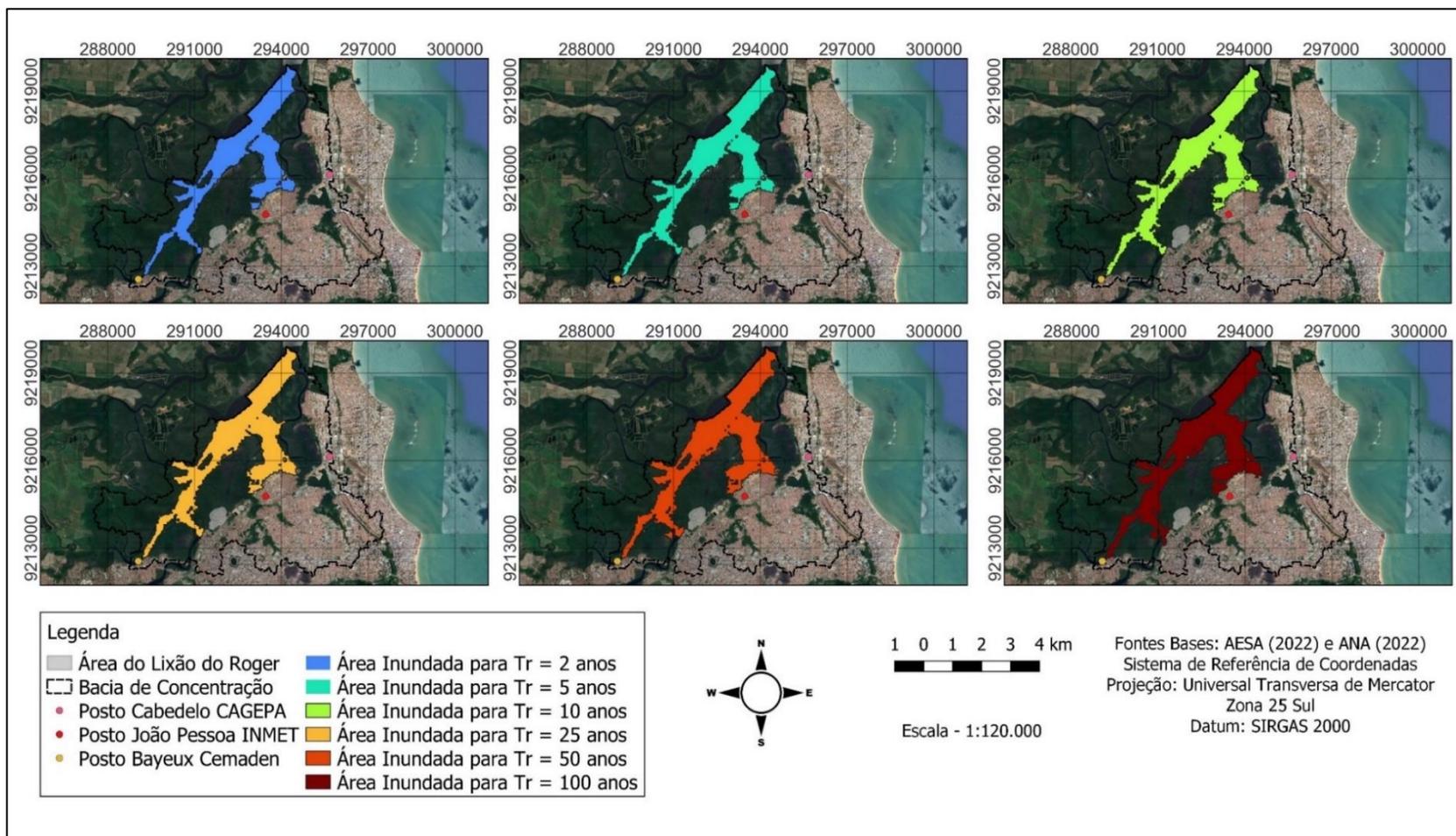


Na Figura 3.7-2 são apresentadas as áreas inundadas para o tempo de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos obtidos com a série de precipitações do Posto João Pessoa INMET. Na Tabela 3.7-2 são apresentadas as áreas calculadas para cada mancha de inundação e das áreas passíveis de inundação nos limites do lixão do Roger. Ao avaliar os mapas de inundação da Figura 3.7-2 e os dados das áreas apresentados na Tabela 3.7-2, é possível observar que não há interceptação das manchas de inundação nem mesmo para inundação de $T_r = 100$ anos.

Tabela 3.7-2 - Áreas calculadas das manchas de inundação e áreas passíveis de inundação no Lixão do Roger do Posto João Pessoa INMET

TR (ANOS)	ÁREA INUNDADA (KM ²)	ÁREA INUNDADA (%)	ÁREA POSSÍVEL DE INUNDAÇÃO DO LIXÃO DO ROGER (KM ²)	ÁREA POSSÍVEL DE INUNDAÇÃO DO LIXÃO DO ROGER (%)
2	6,66	17,41	0,00	0,00
5	6,89	18,02	0,00	0,00
10	7,11	18,59	0,00	0,00
25	7,43	19,42	0,00	0,00
50	7,70	20,13	0,00	0,00
100	7,98	20,87	0,00	0,00

Figura 3.7-2 - Mapa de delimitação das áreas inundadas para os diferentes tempos de recorrência baseado nos dados do Posto João Pessoa INMET

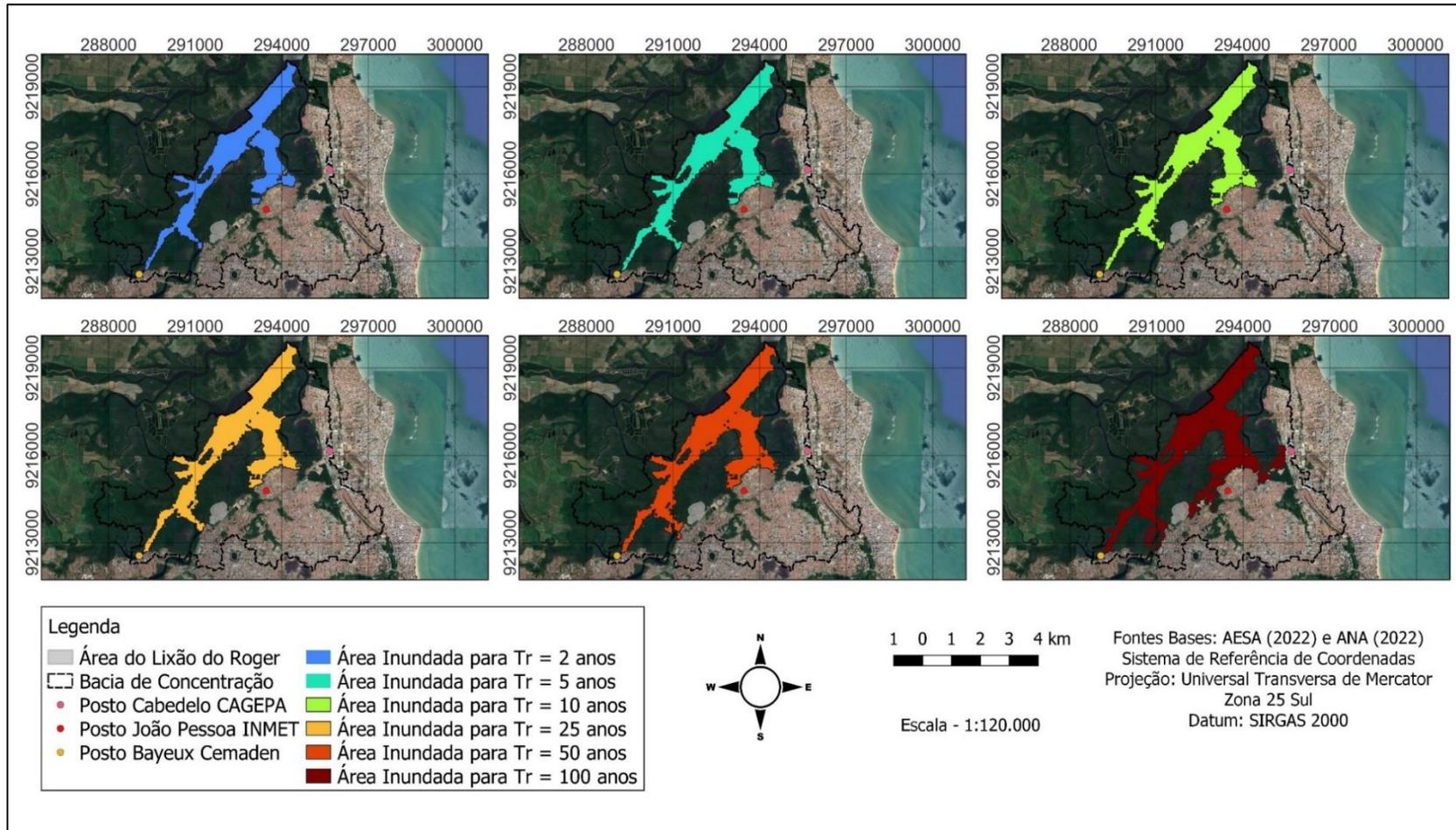


Por fim, na Figura 3.7-3 são apresentadas as áreas inundadas para o tempo de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos obtidos com a série de precipitações do Posto Bayeux Cemaden. Na Tabela 3.7-3 são apresentadas as áreas calculadas para cada mancha de inundação e das áreas passíveis de inundação nos limites do lixão do Roger. Ao avaliar os mapas de inundação da Figura 3.7-3 e os dados das áreas apresentados na Tabela 3.7-3, é possível observar que apenas a mancha de inundação do $Tr = 100$ anos intercepta os limites do Lixão do Roger. A mancha de inundação é observada nas porções nordeste, leste e sudeste da área do Lixão Roger.

Tabela 3.7-3 - Áreas calculadas das manchas de inundação e áreas passíveis de inundação no Lixão do Roger do Posto Bayeux Cemaden

TR (ANOS)	ÁREA INUNDADA (KM ²)	ÁREA INUNDADA (%)	ÁREA POSSÍVEL DE INUNDAÇÃO DO LIXÃO DO ROGER (KM ²)	ÁREA POSSÍVEL DE INUNDAÇÃO DO LIXÃO DO ROGER (%)
2	6,64	17,36	0,00	0,00
5	6,94	18,13	0,00	0,00
10	7,16	18,71	0,00	0,00
25	7,50	19,59	0,00	0,00
50	7,84	20,49	0,00	0,00
100	9,27	24,22	0,03	11,72

Figura 3.7-3 - Mapa de delimitação das áreas inundadas para os diferentes tempos de recorrência baseado nos dados do Posto Bayeux Cemaden



	RELATÓRIO FINAL DE ENGENHARIA CONSULTIVA Estudo Hidrológico da Área do Lixão do Roger em João Pessoa	
---	---	---

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral os postos pluviométricos apresentam comportamentos semelhantes, sendo os maiores volumes precipitados ocorrendo no primeiro semestre com pico de precipitação no período de maio e junho. As precipitações totais anuais a partir das análises estatísticas apresentam ocorrências de valores que podem estar associados aos efeitos das mudanças climáticas.

As precipitações máximas associadas aos tempos de recorrência foram eficazes na modelagem hidrológica e demonstrou que a área do Lixão do Roger pode ser afetada por inundações com tempos de recorrência de 25 a 100 anos. A área do Lixão do Roger pode ser mais afetada pelas precipitações máximas ocorridas nas regiões dos postos Cabedelo Cagepa e Bayuex Cemaden, possivelmente por se encontrarem nas bordas da bacia de concentração estudada e haver influência das regiões hidrológicas vizinhas nos volumes precipitados.

A partir da modelagem hidrológica e da delimitação das áreas de inundação na área do Lixão do Roger verifica-se que a maior cota altimétrica que as manchas de inundação alcançou foi a cota de aproximadamente 5,87 m ($T_r = 100$ anos do Posto Cabedelo Cagepa). Portanto, não é recomendável que sejam realizadas construções e execução de infraestruturas elétricas, hidráulicas, telecomunicação, etc. abaixo da cota altimétrica de 6 m devido ao elevado risco dessas áreas serem atingidas por inundações de chuvas máximas seculares.

Acontece que, consultando o estudo preliminar do Parque, a implantação prevista é em cotas acima de 9,50m, o que é uma boa notícia face ao presente estudo.

Cabe salientar, no entanto, que nas regiões interceptadas pelas manchas de inundação é sugerido realizar contenções que possam reduzir ou eliminar o efeito físico de onda de cheia de inundação da bacia de contribuição e assim proteger as áreas das bordas da área do Lixão do Roger sobretudo na porção nordeste, leste e sudeste que são os limites mais afetados do terreno pelas manchas de inundação no estudo realizado.

Ressalta-se ainda que os mapas individuais das áreas inundadas e a delimitação georreferenciada das áreas interceptadas do Lixão do Roger pelas áreas de inundação constam no anexo do relatório final. Os arquivos vetorizados das áreas de inundação

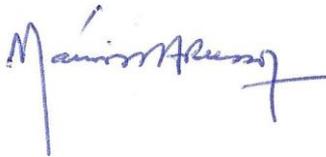
	RELATÓRIO FINAL DE ENGENHARIA CONSULTIVA Estudo Hidrológico da Área do Lixão do Roger em João Pessoa	
---	---	---

do Lixão do Roger para o TR = 25, 50 e 100 anos do Posto Cabedelo e para o TR = 100 anos do Posto Bayeux estão disponíveis no link: <https://www.dropbox.com/scl/fo/x4dqwgz3yyaikwrpcijp2/h?dl=0&rlkey=4xhubl1tay2wmidqkvqybcqre>

Em conclusão, as previsões preliminares feitas e em particular as cotas previstas para implantação do Parque Socioambiental, de acordo com a proposta preliminar, podem ser realizadas porque estão em cotas muito acima da cota máxima prevista no estudo a 100 anos.

João Pessoa, junho de 2022

O Coordenador Geral



Mário Russo

	RELATÓRIO FINAL DE ENGENHARIA CONSULTIVA Estudo Hidrológico da Área do Lixão do Roger em João Pessoa	
---	---	---

5 REFERÊNCIAS

- ABUBAKARI, S.; KUSI, K. A.; XIAOHUA, D. Revision of the Rainfall Intensity Duration Frequency Curves for the City of Kumasi-Ghana. The International Journal Of Engineering And Science, v.6, n.1, p.51-56, 2017.
- ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>. Acessado em: 08 de junho de 2022.
- ALEXANDERSSON, H.; MOBERG, A. Homogenization of Swedish temperature data. Part I: Homogeneity test for linear trends. International Journal of Climatology, v.17, p. 25–34, 1997.
- ARYEE, J. N. A., AMEKUDZI, L. K., QUANSAH, E., KLUTSE, N. A. B., ATIAH, W. A., & YORKE, C. Development of high spatial resolution rainfall data for Ghana. International Journal of Climatology, v.38, n.3, p. 1201–1215, 2018.
- Ebrahimian. M.; Nuruddin, A.A.; Soom, M.A.B.M.; Sood. A.M. Application of NRCS-curve number method for runoff estimation in a mountainous watershed. Journal of Environmental Sciences, v.10, p. 103-114, 2012.
- MELLO, C. R.; FERREIRA, D. F.; SILVA, A. M.; LIMA, J. M. Análise de modelos matemáticos aplicados ao estudo de chuvas intensas. Revista brasileira de ciência do solo, v.25, n.3, p.693-698, 2001.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. D. A. Hidrologia estatística. Belo Horizonte: CPRM. 2007.
- OLIVEIRA JÚNIOR, Antônio Italcly et al. Análise da precipitação e determinação de equações de chuvas intensas para o município de Crato-CE situado no semiárido do Brasil. Revista Geama, v. 5, n. 3, p. 56-65, 2019.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill. 1975.