

EXTREMO MÁXIMO DE PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DA PARAÍBA

*Josiclêda Domiciano Galvêncio¹
Francisco de Assis Salviano de Sousa²
Magna Soelma Beserra de Moura³*

RESUMO

A precipitação máxima provável (PMP) no estado da Paraíba usando a técnica de Hersfield (1961) foi estimada utilizando dados anuais de precipitação máxima de 1 dia para o período de 33 a 75 anos, obtidos em 72 postos. Neste artigo, foram analisados os dados precipitação anual para períodos de 1 dia no estado da Paraíba baseado em um fator de frequência K igual 6. Baseado nos dados de precipitação obtidos nas estações, o maior valor de frequência obtido foi 60%, com a precipitação máxima diária variando de 51 a 100 mm. A frequência de 60% foi usada em seguida para estimar os valores de PMP para 24 horas, nos 72 postos. Usando esses valores de PMP estimados foi elaborado um mapa com a distribuição espacial da PMP de 24 horas. Foi observado que a PMP de 24 horas sobre o estado da Paraíba variou de 177 to 443 mm. O mapa de PMP é considerado importante para determinar valores confiáveis e consistentes de PMP para o estado da Paraíba, e pode ser usado na elaboração de projetos de estruturas hidráulicas, especialmente na construção de pequenos e grandes reservatórios de água, como barragens, represas, etc.

Palavras-chaves: Maximum precipitação, vazão, Paraíba

ABSTRACT

The probable maximum precipitation (PMP) in Paraíba State using Hershfield formula was estimated using yearly maximum 1-day rainfall data of about 33–75 years for 72 stations. In this paper, yearly maximum 1-day rainfall data in Paraíba State were analysed in an attempt to estimate PMP for 1-day duration based on a frequency factor K equal to 6. Based on the actual rainfall data of the stations, the highest value of frequency was found to be 60%, were maximum precipitation varied from 51 to 100 mm. The frequency of 60% was subsequently used to estimate 24-h PMP values for the 72 stations. Using these PMP estimates, a generalised map was prepared showing the spatial distribution of 24-h PMP. It was found that 24-h PMP over Paraíba State varied from 177 to 443 mm. The PMP map is considered as important to determine reliable and consistent PMP estimate for any location in Paraíba State, for designing costly and large hydraulic structures, specially in the construction of small and large water resources projects such as dams, storage reservoirs, etc.

Keywords: precipitation extreme, runoff, Paraíba

¹ Professora adjunta do Departamento de Ciências Geográficas da UFPE - josicleda@hotmail.com

² Professor adjunto do DCA/UFCG - fassis@dca.ufcg.edu.br

³ Pesquisadora – EMBRAPA/CPATSA - magna@cpatsa.embrapa.br

INTRODUÇÃO

Os métodos de estudo de frequência das vazões constituem-se uma ferramenta importante para o estabelecimento de critérios de dimensionamento de obras hidráulicas cujo colapso não implique em perdas de vida humana ou acarrete danos econômicos excepcionais. O conhecimento das características das precipitações máximas apresenta interesse de ordem técnica por sua freqüente aplicação nos projetos de obras hidráulicas tais como projetos de vertedores de barragens, de dimensionamento de canais e definição de obras de desvio de cursos de água (Santos & Occhipinti, 1966).

O dimensionamento de obras hidráulicas deveria ser feito de acordo com a capacidade máxima da vazão absoluta de escoamento, que pode ser sempre conhecida segundo Vilela & Mattos (1975), pois existem séries climatológicas de precipitação e algumas formas de correlacionar vazões às precipitações (Pinto et. al., 1976). O interesse deste trabalho é o de obter, não uma proteção total contra uma particular precipitação, mas sim, uma proteção contra uma precipitação máxima provável (PMP), com uma determinada probabilidade de ocorrência.

Embora pareça simples, nas análises de séries climatológicas é comum se desprezar as características da distribuição de probabilidade mais adequadas para os dados em estudo. Comumente, adota-se, *a priori*, a distribuição normal o que pode resultar em conclusões erradas se os dados não seguem esta distribuição.

Para auxiliar nas atividades econômicas, sociais e até turísticas, se faz necessário conhecer e estudar os valores extremos de precipitação de uma região a fim de proporcionar uma grande margem de segurança para essas atividades e, em particular, para o dimensionamento de obras hidráulicas, como barragens, diques, represas dentre outras obras que devem ser construídas para suportar um limite superior máximo de um dado evento meteorológico (Vilela & Mattos, 1975).

Segundo Cotton et. al. (2002) as regiões montanhosas do Colorado - EUA são suscetíveis às enchentes repentinas devido a eventos de chuvas extremas. Estes eventos ocorrem quando a troposfera mais baixa está rica em umidade. O ar que flui no alto das montanhas sofre ascensão devido à orografia, esfria até a saturação e freqüentemente conduz a atmosfera a instabilidade convectiva. Conseqüentemente pode ocorrer chuva extrema induzida por forte convecção.

Hershfield (1969) afirma que precipitações máximas podem ser consideradas importantes para determinar o tamanho de estruturas hidráulicas como também regular o fluxo de água em abrigos, bueiro, esgotos, etc. Situações de risco de falha das estruturas hidráulicas podem ser minimizadas com o uso de PMP. Os estudos geralmente usam propriedades tradicionais onde é composta a combinação teórica e empírica do método. Alguns estudos questionam o grau de acerto de acordo com a estimativa obtida pelo o método.

Os métodos hidrometeorológicos exigem, para sua correta aplicação, um número considerável de dados hidrológicos e meteorológicos, raramente disponíveis em países como o nosso, em que o valor da observação e o registro sistemático dos fenômenos

naturais só recentemente vêm sendo corretamente apreciados. Esse fato, entretanto, não reduz a importância de seu estudo entre nós, seja para a sua aplicação ainda que em condições imperfeitas, seja para ressaltar a importância dos dados básicos e orientar a política no melhoramento e adensamento dos postos de medição e estação meteorológicas do País.

Este trabalho tem o objetivo de fazer uma análise de valores extremos máximos de precipitações de 24 horas no Estado da Paraíba, usando a técnica de Hersfield e o teste de Mann- Kendall (Strobel, 1997), proporcionando subsídios aos profissionais como de engenharia, hidrologia, climatologia e geografia nas suas atividades.

MATERIAL E MÉTODOS

REGIÃO DE ESTUDO

Este estudo foi elaborado tomando como base o estado da Paraíba. Devido ao seu relevo e a sua distribuição territorial longitudinal, os principais sistemas meteorológicos que atuam sobre o Estado são os Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS), dominados por uma região de baixa pressão favorecendo a convecção e conseqüentemente as chuvas. Este sistema atua geralmente nos meses de verão na alta troposfera, e apresenta duração variável (entre dias ou semanas). Da mesma forma, seu deslocamento é bastante variável, o que lhe dá uma configuração transitória. A parte central do VCAS é caracterizada por movimento descendente de ar frio e seco, o que determina ausência de precipitação sobre esta região, enquanto em sua periferia os movimentos ascendentes de ar quente e úmido causam precipitação. Em geral, a ocorrência de um VCAS sobre o Nordeste do Brasil é induzida pela penetração e intensificação de sistemas frontais provenientes das regiões Sul e Sudeste do Brasil, e é a responsável pelas chuvas da pré-estação da região semi-árida.

Neste estudo foram utilizados os valores de precipitações máximas diárias anuais (PMDA), com amostras de 33 a 75 anos, em 72 postos, distribuídos na área do Estado da Paraíba. Esses dados foram obtidos dos arquivos do Departamento de Ciências Atmosféricas (DCA), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). A Figura 1 mostra a distribuição espacial dos postos pluviométricos usados nesse estudo.

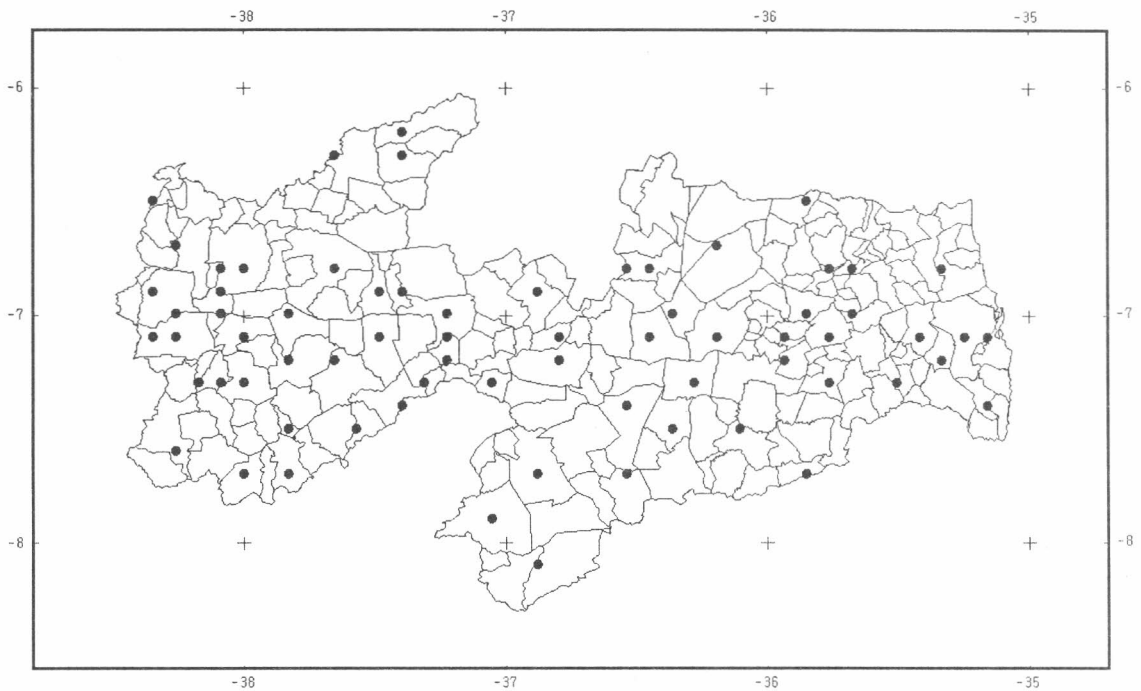


FIGURA 1 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS EM ESTUDO

A Tabela 1 (Anexo 1) apresenta os nomes dos postos/municípios e o número de anos com dados, utilizados neste estudo, no âmbito do Estado da Paraíba.

O método estatístico de Hersfield (1961) para estimativa da PMP foi adaptado de Chow (1951), que sugere a aplicação da fórmula de distribuição de frequências para a análise hidrológica.

$$X_t = \bar{X}_n + K_t \sigma_X \quad (1)$$

em que X_t é a precipitação máxima diária e anual para um período de retorno de t anos, \bar{X}_n e σ_n , são respectivamente a média e o desvio-padrão das PMDA e K_t é o fator de frequência, que depende de t e da distribuição de frequência dos valores extremos observados Hersfield (1961) e Hersfield (1965), denomina a variável K_m de K_t e apresenta seu método para se estimar a PMP, dado pela equação:

$$X_{PMP} = \bar{X}_n + K_m \sigma_n \quad (2)$$

em que X_{PMP} é a estimativa da PMP para um dado posto e duração específica, \bar{X}_n é a média e σ_n é o desvio-padrão das PDMA e K_m é o fator frequência. Na estimativa da PMP, K_m é calculado pela a fórmula:

$$K_m = (X_1 - \bar{X}_{n-1}) / \sigma_{n-1} \quad (3)$$

em que X_1 é a maior PMDA; \bar{X}_{n-1} é a média das PMDA, excluindo a maior; σ_{n-1} é o desvio-padrão das PMDA, excluindo a maior. Hersfield (1965) através de estudos para vários locais do mundo, adaptou o valor de K_m para 15, e sugeriu a seguinte expressão para a estimativa da PMP:

$$X_{PMP} = \bar{X} + 15\sigma_n \quad (4)$$

Para que se obtenha um bom conhecimento das características intrínsecas dos valores sequenciais, torna-se necessário separar, da combinação de eventos acima, a natureza e extensão da não-aleatoriedade existente, a qual deve-se basicamente à persistência, tendência, sazonalidade e eventuais erros sistemáticos e acidentais.

De uma forma geral, a maior parte da variabilidade de uma série temporal natural é devido à sua componente aleatória. A questão é, então, identificar porções da variância total que são devidas a aspectos não-aleatórios e, se possível, identificar se estes são ocasionados pela persistência, tendência, flutuações periódicas, aperiódicas, ou por uma combinação destas heterogeneidades.

As etapas utilizadas para o estudo das PMP, estão resumidas a seguir.

- 1) Seleção das maiores precipitações ocorridas na área em estudo.
- 2) Maximização dessas precipitações em função de condições meteorológicas críticas que poderiam ocorrer na região.
- 3) Transposições de precipitações observadas em regiões meteorologicamente homogêneas.
- 4) Com base nos valores encontrados, definição da PMP para a área em estudo.

Diante disso, fez-se a análise estatística, a homogeneidade dos dados das séries dos 72 postos em estudo.

O uso de séries longas para estimativas de PMP é válido somente se apresentarem mudanças ao longo do tempo. Para verificar a não-homogeneidade nas PMDA dos 72 postos estudados foi utilizado o teste Mann – Kendall (Strobel, 1997). Esse teste compara cada valor da série temporal com os outros restantes, sempre em ordem temporal. Conta-se o número de vezes em que os termos restantes são maiores que o em análise. A estatística M é o somatório de todas essas contagens. Computa-se a estatística τ :

$$\tau = \frac{4M}{N(N-1)} - 1 \quad (5)$$

em que N é o número de valores da série. O desvio padrão de τ é dado por:

$$\sigma_\tau = \sqrt{(4N+10)/9N(N-1)} \quad (6)$$

A razão de τ e σ_τ indica a orientação dos dados.

O teste de Mann – Kendall utilizado para analisar a homogeneidade da série de precipitações máximas observadas, mostrou que a série apresenta tendência. Ou seja, apresentam mudanças ao longo do tempo.

Após os cálculos, as chuvas máximas anuais diárias observadas, coeficiente de variação das series de PMDA's, PMP local estimada e PMP para $k=6$ foram plotados usando o software Arcview 3.2, para interpolar as isolinhas e possibilitar a análise da região.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra que a maior frequência dos valores de PMDA ocorre no intervalo de 51-100 mm. Um aspecto importante da distribuição de frequência de PMDA é que essas PMDA's ocorrem preferencialmente em anos secos (chuva localizada). Dos postos pluviométricos estudados, 80 % das PMDA's são menores do que 100mm.

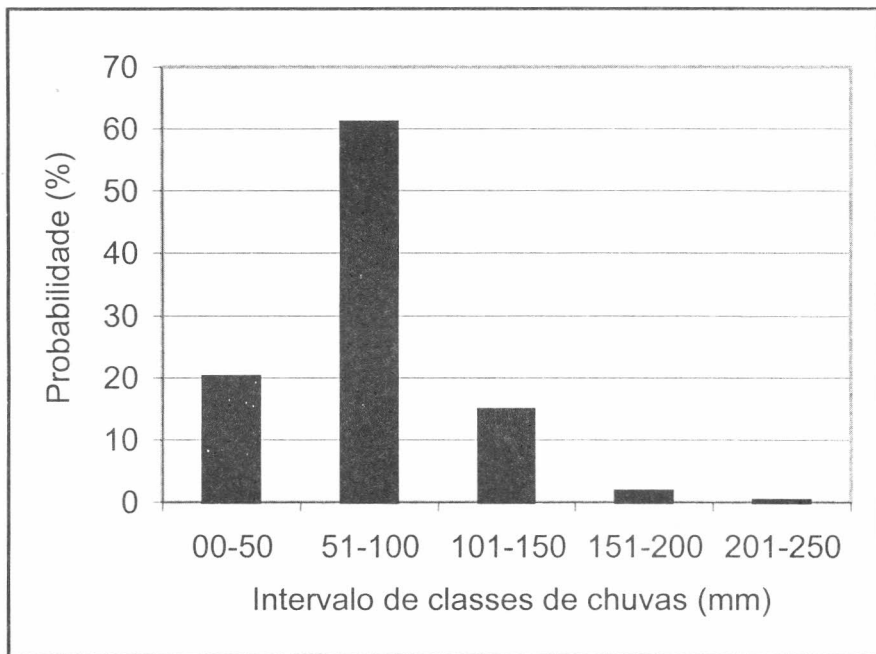


FIGURA 2. HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA DAS PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DIÁRIAS ANUAIS (PMDA), PARA O ESTADO DA PARAÍBA.

A Figura 3 mostra os valores de PMDA's observadas. As maiores chuvas ocorrem em torno de 200 mm ao longo do litoral e de 160 mm no interior do estado. A Figura 4 mostra o coeficiente de variação (CV%) para uma PMDA. Percebe-se que os coeficientes de variação são diferentes mesmo em postos pluviométricos vizinhos.

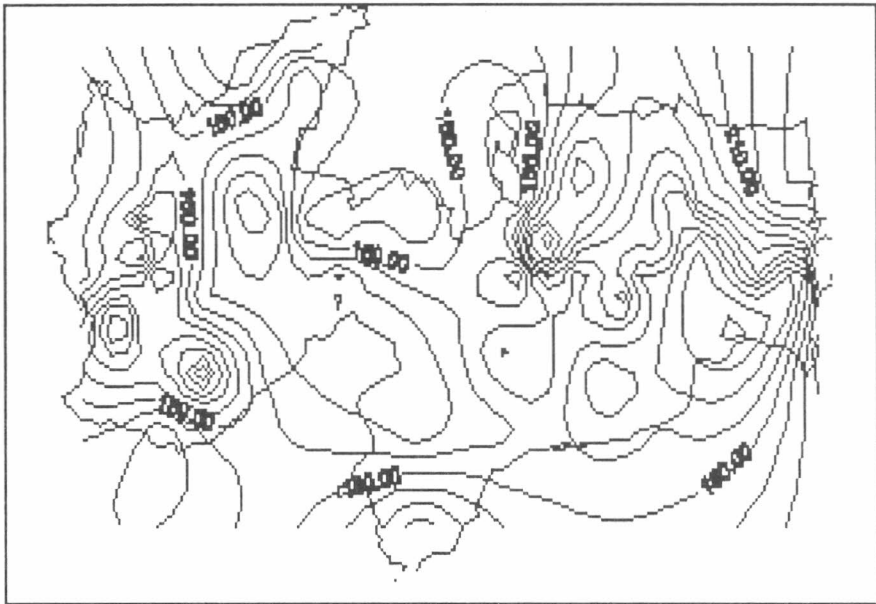


FIGURA 3. REPRESENTAÇÃO ESPACIAL DAS PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DIÁRIAS ANUAIS OBSERVADAS (PMDAO)

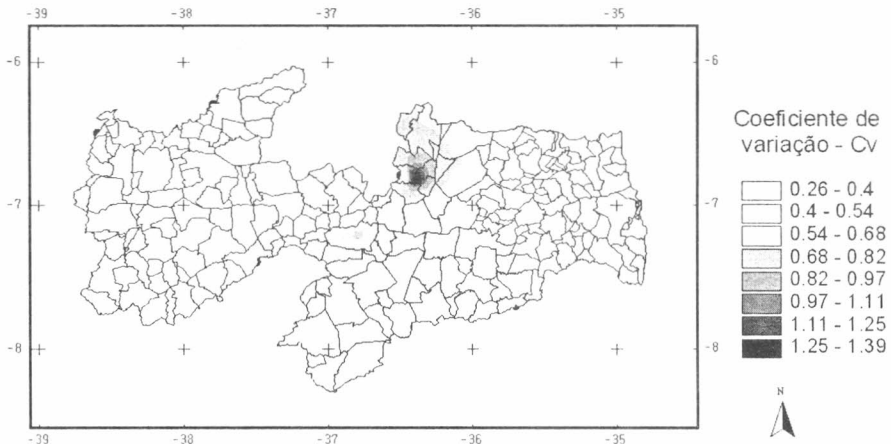


FIGURA 4. COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DAS SERIES DE PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DIÁRIAS ANUAIS (PMDA) PARA O ESTADO DA PARAÍBA.

Os valores de PMDA's nos 72 postos foram analisados para a obtenção das estimativas de PMP. As PMP's foram estimadas com fator de frequência (K) de cada um dos postos (esse fator é chamado de local) e com o maior fator de frequência de todo o Estado.

A escolha do período de retorno para obras hidráulicas é função direta da maior ou menor ousadia do projetista, recomendando-se, em função do projeto a ser utilizado e dos prejuízos sócio-econômicos com a ocorrência da precipitação máxima, os valores mostrados na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2. Obras Hidráulicas em função do Tempo de Retorno.

Tipo de Obra	Tempo de Retorno
Galeria de águas pluvias	5 a 20 anos
Extravadores de barragem de terra	1000 anos
Grandes barragens de concreto	500 anos
Pequenas barragens para abastecimento humano	50 a 100 anos

Na Tabela 3 é apresentada a porcentagem do fator de frequência. Obteve-se uma maior distribuição de frequência para fatores K_m entre 3,0 e 4,0, isto é, 40,3%. Daí, para que em qualquer projeto trabalhe com o mínimo de risco possível, deve-se nesse caso, utilizar o fator de frequência $k = 6$, pois o risco de falha é bem menor para qualquer dimensionamento de uma obra.

Tabela 3. Distribuição de frequências dos valores da variável K_m .

Intervalo (Km)	Frequência (%)
1,28 –2,0	8,3
2,02—3,0	30,6
3,01—4,0	40,3
4,05—4,0	14,2
5,13—6,0	6,6

A Figura 5 mostra as isolinhas das estimativas dos valores das PMP's de todos os postos, para um dia, com fator de frequência local. Percebe-se que não se deve usar esse fator de frequência para dimensionar o extravasor de uma barragem de terra, pois o período de retorno é muito pequeno, e comumente se usa o período de retorno entre 200 e 1000 anos. Para galerias de águas pluviais, poderá ser usado um período de retorno de 5 a 20 anos.

A Figura 6 mostra as isolinhas de PMP para o fator de frequência $K = 6$. Esse fator é suficiente para dimensionar extravasor de barragem de terra e de concreto, pois o período de retorno é de cerca de 1000 anos, como apresentado na Tabela 2. Porém, para galerias de águas pluviais e para construção de pequenas barragens de concreto, esse fator de frequência não é ideal, e sim o fator de frequência de cada um dos locais, pois as

estimativas de PMP estão muito próximas dos valores de PMDA's observadas. Para o fator de frequência $k = 6$ os valores de PMP são duas vezes maiores do que os valores de PMDA's observadas. Neste contexto, a decisão que deverá ser tomada, para a escolha do período de retorno na construção de um projeto, é do hidrólogo, ou seja, ele deverá fixar, a priori, o risco que deseja correr, no caso de a obra falhar na sua vida útil.

Porém, em qualquer projeto de engenharia pretende-se trabalhar com o mínimo de risco possível. Nesse caso, utilizar o fator de frequência $k = 6$, mostrou que o risco de falha é bem menor para qualquer dimensionamento de uma obra.

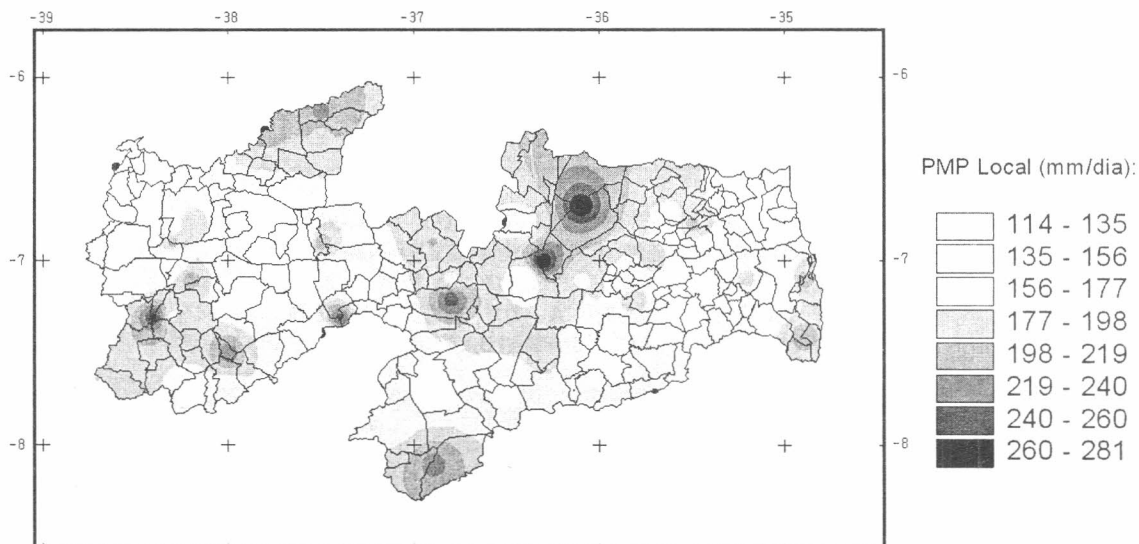


FIGURA 5. ISOLINHAS DE PRECIPITAÇÃO MÁXIMA POSSÍVEL (PMP) LOCAL ESTIMADA UTILIZANDO A TÉCNICA DE HERSHFIELD, PARA O ESTADO DA PARAÍBA.

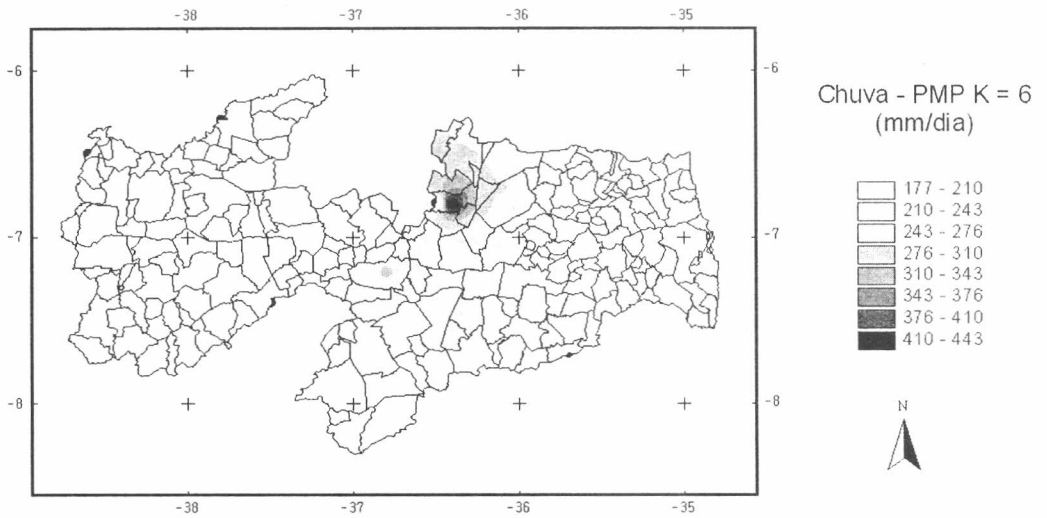


FIGURA 6. ISOLINHAS DE PRECIPITAÇÃO MÁXIMA POSSÍVEL (PMP) COM UM PERÍODO DE RETORNO DE 1000 ANOS (K=6) ESTIMADA USANDO A TÉCNICA DE HERSHFIELD, PARA O ESTADO DA PARAÍBA

CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados conclui-se que: não se devem usar as estimativas dos valores de PMP's com base no fator de frequência local, para dimensionar extravasores de barragem de terra e de concreto, visto que o período de retorno é muito pequeno. Essas estimativas são válidas, por exemplo, para galerias de águas pluviais. De outro modo, o fator de frequência $K = 6$ é suficiente para dimensionar extravasor de barragem de terra.

Para o dimensionamento das obras hidráulicas onde se leva em consideração a capacidade ideal para suportar a ocorrência de precipitações que atinjam um alto índice pluviométrico, pode ser utilizado o fator de frequência $K=6$, pois obtém-se os valores de PMP o mais seguros desejados.

Esses resultados, juntamente com o conhecimento climático da região, proporcionam aos diversos profissionais uma grande margem de segurança em suas atividades.

REFERÊNCIAS

- Chow, V. T. A general formula for hydrologic frequency analysis. Trans. Am. Geophys. Union 32, 231-237, 1951.
- Hersfield, D. M. Estimating the probable maximum precipitation. Journal Hydraul. Div., Am. Soc. Civ. Eng. 87,99-116,1961.
- Hersfield, D. M. Method Estimating the probable maximum precipitation. Journal Am. Water Works Association. Vol.57, pg. 965-972, 1965.
- Occhipinti, A. G., Santos, P. M. Relação entre as precipitações máximas de um dia e de 24 horas na cidade de São Paulo. Anais do 1^o Simpósio de Redes Hidrológicas, Belo Horizonte, 1966.
- Pinto, N. L de S.; Holtz, A.C.T.; Martins, J. A.; Gonide, F. L. S. Hidrologia Básica. Editora Edgard Bulcher São Paulo, 1976.
- Strobel, O. M. Homogeneidade de Séries Temporais. Revista Brasileira de Engenharia. Vol. 5, N^o 1, 1987.
- Villela, S.; Mattos, A. Hidrologia Aplicada, 1975.
- World Meteorological Organization. Climate Change, WMO Tech Note N^o 79, p.80, 1966.
- World Meteorological Organisation. Manual For Estimation of Probable Maximum Precipitation, WMO Tech Note N^o 332, 269,1986.

ANEXO 1

Tabela 1. Nomes dos postos e o número de anos com dados pluviométricos no estado da Paraíba

Nome dos postos	Número de anos com dados	Nome dos postos	Número de anos com dados
Belém do Brejo do Cruz	43	Manaira	51
Catolé do Rocha	53	Princesa Isabel	80
Brejo do Cruz	56	Água Branca	53
Barra do Jua	50	Monteiro	57
Pilões Arcado	63	Sumé	41
Cajazeiras	67	Caraúbas	55
Antenor Navarro	73	Cabaceiras	57
Souza	63	Bodocongo	55
São Gonçalo	42	Umbuzeiro	66
Nazarezinho	35	São João do Tigre	53
Engenheiro Avidos	40	Sta. Rita	50
Pombal	71	João Pessoa	58
Condado	45	Alhandra	49
Malta	56	Taperoa	46
Santa Luzia	73	Alagoa Nova	71
Picuí	67	Seridó	52
Barra de Santa Rosa	46	Olivedos	54
Pedra Lavrada	52	Araruna	72
Areia	40	Bananeiras	56
Timbaúba	33	Serraria	40
Aguiar	52	Manmanguape	61
São Jose de Piranhas	54	Guarabira	41
Serra Grande	43	Arapuá	79
Itaporanga	65	São João do Cariri	66
Bom Jesus	41	Soledade	66
Nova Olinda	55	Pocinhos	56
Curemas	56	Boa Vista	38
Catingueira	52	Alagoa Grande	33
Pianco	66	Campina Grande	67
Olho d'Água	51	Inga	75
Patos	54	Mulungu	43
Porcos	39	Sape	62
Teixeira	61	Cruz do Espírito Santo	38
Desterro	60	Salgadinho	48
Imaculada	59	Pilar	34
Itabaiana	65	Conceicao	73