

IV-061 - COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE PREVISÃO DE PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS PARA O MUNICÍPIO DO CRATO-CE

Nosliana Nobre Rabelo ⁽¹⁾

Administradora, Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará. Doutoranda em Recursos Hídricos no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pós-DEHA/UFC.

Manuella Romcy Melo ⁽²⁾

Engenheira Civil, Universidade Federal do Ceará. Mestranda em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará. E-mail: manuella90romcy@hotmail.com

Maria Patrícia Sales Castro ⁽³⁾

Mestre em Saneamento Ambiental. Doutoranda em Recursos Hídricos no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pós-DEHA/UFC. E-mail: patricia.sales@gmail.com

Edilene Pereira Andrade ⁽⁴⁾

Engenheira Ambiental, Universidade Federal do Ceará. Mestranda em Saneamento Ambiental no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pós-DEHA/UFC.

Ticiania Marinho de Carvalho Studart ⁽⁵⁾

Engenheira Civil, Mestre e Doutora em Engenharia Civil. Professora na UFC e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pós-DEHA/UFC. E-mail: ticiania@ufc.br

Endereço⁽¹⁾: Rua Conego Lima Sucupira, 80 - Parangaba - Fortaleza - Ceará - CEP: 60740145 - Brasil - Tel.: +55 (85) 996631454 - e-mail: nosliana_rabelo@hotmail.com

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma análise comparativa entre os métodos de fator de frequência e Plotting Positions e a distribuição de probabilidade Gumbel na determinação das precipitações diárias máximas para um posto pluviométrico do município do Crato. Inicialmente foi feita uma breve apresentação contendo tópicos necessários para compreensão das análises feitas. A aproximação a uma distribuição Gumbel foi feita pelo software estatístico Minitab, comprovando a qualidade do ajuste através do teste de Anderson-Darling. Os resultados obtidos pelo método do fator de frequência para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100 e 1000 anos apresentaram um desvio percentual de no máximo 3% aos resultados da Gumbel, além disso, o método se mostrou de fácil aplicação. O método Plotting Positions para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 e 50 anos apresentou bons resultados, desvios menores de 10 %, para uma série longa de dados, >100 anos, para série menores, 30 e 50 anos, apresentou um desempenho inferior, variando com representatividade da série de dados.

PALAVRAS-CHAVE: Métodos probabilísticos, Gumbel, Precipitações.

INTRODUÇÃO

A precipitação máxima é definida como um evento extremo, com duração, distribuição temporal e espacial em uma bacia hidrográfica. Esta precipitação pode determinar a produção agrícola, a erosão do solo, as inundações em áreas rurais e urbanas, as obras hidráulicas, entre outros. Portanto, é imperioso o conhecimento da precipitação máxima. Esta serve de premissa para estudos técnicos diversos como em estradas, barragens e drenagem (TUCCI, 2009).

O fenômeno da precipitação máxima não permite uma previsão determinística espaço-temporal. É aleatório, e tentativas de previsão podem ser obtidas com ajuste de modelos probabilísticos. Existe um conjunto de funções de distribuição de probabilidades que podem ser empregadas para a modelagem de eventos máximos anuais de variáveis hidrológicas. Naghetthini e Pinto (2007) destacam as distribuições oriundas da teoria clássica de valores extremos, as quais sejam as distribuições Gumbel, Fréchet, Weibull e a Generalizada de Valores Extremos (GEV). Há ainda aquelas ditas não-extremas, entre as quais as de maior uso são: as distribuições Exponencial e sua forma mais geral que é a Generalizada de Pareto, Pearson III, Log-Pearson III e Log-Normal de 2 parâmetros.

A literatura sobre o tema mostra que a distribuição de probabilidade Gumbel é a que melhor se ajusta aos fenômenos meteorológicos extremos, como a precipitação máxima. Beijo et al. (2003) estimaram a precipitação pluvial diária máxima esperada em diferentes níveis de probabilidade para a região de Jaboticabal (SP), ajustando a distribuição de Gumbel. Ferreira et al. (2005) confirmaram esse bom ajuste da distribuição Gumbel para dados de precipitação máxima de 165 localidades do Estado de São Paulo. Mello e Silva (2005) também ajustaram a distribuição Gumbel à série histórica de precipitação máxima diária anual da região Alto Rio Grande. Eles estudaram os efeitos que os métodos de estimação, Máxima Verossimilhança e Momentos, dos parâmetros da distribuição de Gumbel proporcionam na estimativa da equação de chuvas intensas, aplicando-se um modelo chuva-vazão. Sansigolo (2008), ao comparou o ajustamento de diversas distribuições de probabilidade como Normal, Gumbel, Fréchet, Weibull, Log-Normal e Pearson, aos dados de precipitação máxima diária e de temperaturas máximas absolutas, coletados na cidade de Piracicaba, SP (1917-2006), mostrou que a distribuição Gumbel teve o melhor ajustamento.

Apesar da utilização da distribuição Gumbel ser um dos métodos mais recomendados para a obtenção dos valores extremos, a aproximação a uma distribuição de probabilidade pode demandar tempo e requerer estudos estatísticos mais específicos. Para contornar essa dificuldade um método antigo, porém ainda utilizado, é o Plotting Position (Posição de Plotagem). O método consiste em ordenar uma série de observações de precipitação máxima e relacionar a sua probabilidade de excedência a um tempo de retorno, obtendo assim a máxima desejada, onde essa probabilidade pode ser calculada através de equações presentes na literatura, formuladas para diferentes distribuições de probabilidade (CHOW; MAIDMENT; LARRY, 1988).

Outro método bastante utilizado é o Frequency Factor (Fator de Frequência), que permite obter as máximas através da utilização de parâmetros estatísticos da série de observações, como média, desvio padrão e coeficiente de assimetria, e do tempo de retorno desejado, em equações definidas para cada distribuição (Ibidem).

Em razão da relevância do conhecimento das possíveis precipitações diárias máximas, este trabalho tem como objetivo verificar se os métodos Fator de Frequência (FF) e Posição de Plotagem (PP) apresentam resultados satisfatórios na estimativa dessa variável. Para tanto, serão considerados os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100 e 1000 anos. Para isso foi analisado a série de dados do posto pluviométrico localizado no município do Crato, localizado na porção sul do estado do Ceará.

MATERIAIS E MÉTODOS

O posto pluviométrico adotado localiza-se no município de Crato, no estado do Ceará. O posto é operado pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), identificado pelo código 739006. O posto era o que apresentava maior série histórica contínua, compreendendo 104 anos, de 1912 a 2016, sem interrupções em seu registro, sendo composta pelos dados de precipitações diários. Desses dados, foi selecionada para análise a máxima diária de cada ano, ou seja, um total de 104 dados.

Inicialmente os dados de precipitação foram analisados, assim, foi retirado da série um outlier, associado ao ano de 1957, resultando em uma série com um total de 103 observações.

Distribuição de probabilidade

Fez-se uso do software Minitab para identificar qual distribuição era mais adequada a esses dados. A distribuição Gumbel ajustou-se melhor aos dados, de acordo com o teste de aderência de Anderson-Darling e o teste *P-value*, mostrados no próprio software. A partir da distribuição Gumbel foi possível obter as precipitações máximas anuais para os tempos de retorno desejados.

Fator de frequência

Para utilização do método de fator de frequência foi necessário realizar o cálculo da média e do desvio padrão do conjunto de dados. Em seguida aplicou-se a equação (6) para encontrar o valor do fator de frequência KT , para cada tempo de retorno desejado. Então foi possível aplicar a equação (2) para obter os valores de precipitação associados aos tempos de retorno.

Plotting Positions

O método Plotting Positions requer que inicialmente os dados observados sejam colocados em ordem decrescente, assim, obtém-se um valor m para cada dado, referente à posição em que foi colocado e um valor n , igual à 103, referente ao total de dados utilizados. Então, as equações (9), (10), (11), (12) e (13) foram aplicadas para todos os valores de m e obtidas as probabilidades dos eventos serem excedidos.

Nesse trabalho, para este método, utilizou-se a observação imediatamente posterior nos casos em que o tempo de retorno associado a uma observação fosse inferior ao desejado e o tempo de retorno associado a observação imediatamente posterior fosse maior que o desejado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aproximação à distribuição Gumbel

Como mencionado na seção material e métodos, a série de dados foi aproximada a uma distribuição Gumbel através do software Minitab, lembrando que no software utilizado essa distribuição é referida por Largest Extreme Value.

A figura 1 mostra os resultados da aproximação dos dados a distribuição analisada. A qualidade do ajuste da série foi avaliada pelo teste do Anderson-Darling, que resultou em um valor de 0,439, o menor obtido quando comparado a outras distribuições, indicando a distribuição utilizada como a mais adequada. Além disso, o software Minitab utiliza o "P-Value" para avaliar a qualidade do ajuste, de forma que quanto maior o valor o seu valor, mais representativa é a distribuição, devendo ser no mínimo superior ao intervalo de confiança, no caso, foi utilizado 5% (0,05). O valor obtido foi de $> 0,250$ o que reforça a utilização da distribuição Gumbel.

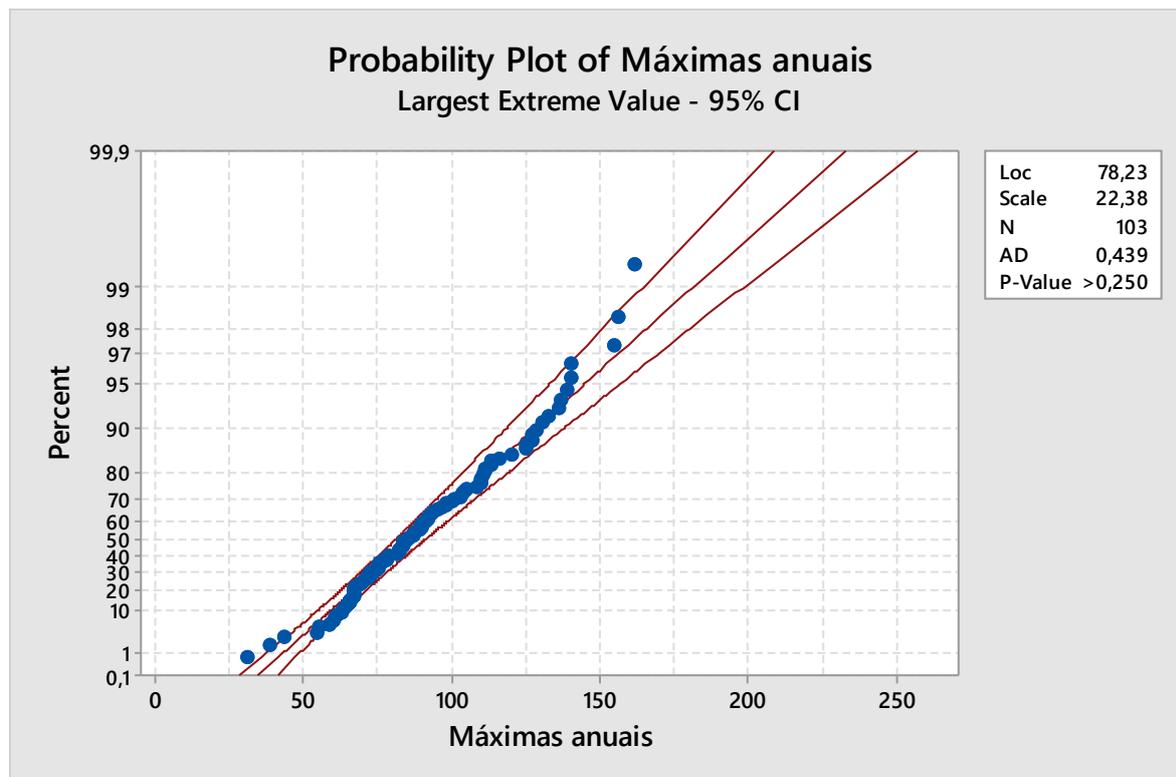


Figura 1 – Probability plot acumulado da distribuição Gumbel dos dados do estudo.

Após verificado a qualidade do ajuste foi obtido as precipitações máximas anuais para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100 e 1000 anos.

Tabela 1 – Tempo de retorno utilizados

| | | | | | | | |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tempo de Retorno (Anos) | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 1000 |
| Precipitação (mm) | 86,43 | 111,8 | 128,6 | 144,7 | 165,6 | 181,2 | 232,8 |

Fator de Frequência

A média e o desvio padrão das precipitações máximas anuais observadas resultaram, respectivamente, em 90,27 e 27,50. Desse modo, podemos calcular as precipitações máximas associadas ao período de retorno desejado, os resultados estão apresentados na tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Precipitações obtidas pelo Fator de Frequência

| | | | | | | | |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tempo de Retorno (Anos) | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 1000 |
| Precipitação (mm) | 86,43 | 111,8 | 128,6 | 144,7 | 165,6 | 181,2 | 232,8 |

Plotting Position

Utilizando as equações para posição de plotagem de Hazen, Weibull, Blom, Gringorten e Cunnane, seguindo a metodologia explicitada anteriormente, obtemos os mesmos valores para séries de dados de 30, 50 e 103 anos, exceto para a equação de Hazen, para um tempo de retorno de 20 anos e as série de dados de 50 e 30 anos, que resultou no mesmo valor que a equação Califórnia. Os resultados através da equação Califórnia foram sempre menores, o que era esperado devido a sua forma. Dessa maneira, serão apresentados somente os resultados pelas equações de Weibull e Califórnia, através da tabela 3.

Tabela 3 – Precipitações obtidas pelo Plotting Position

| Precipitação (mm) | | Tempo de retorno | | | | | |
|-------------------|------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-----|
| | | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 |
| 103 | Weibull | 85,1 | 111,5 | 131 | 140 | 156 | 162 |
| | Califórnia | 85,1 | 111,2 | 128,5 | 139 | 155 | 156 |
| 50 | Weibull | 76 | 103 | 113,5 | 131 | 132,6 | - |
| | Califórnia | 75,3 | 95,5 | 111,5 | 128,5 | 131 | - |
| 30 | Weibull | 78,4 | 104,2 | 128,5 | 132,6 | - | - |
| | Califórnia | 76 | 95,5 | 113,5 | 131 | - | - |

É importante ressaltar que pelas fórmulas analisadas o tempo de retorno associado as duas maiores observações é superior, como pode ser observado na figura 2. Desse modo, a metodologia adotada pode ser considerada conservativa, caso fosse realizado uma interpolação para a obtenção dos exatos valores associados ao tempo de retorno, obteríamos valores de precipitação máxima menores.

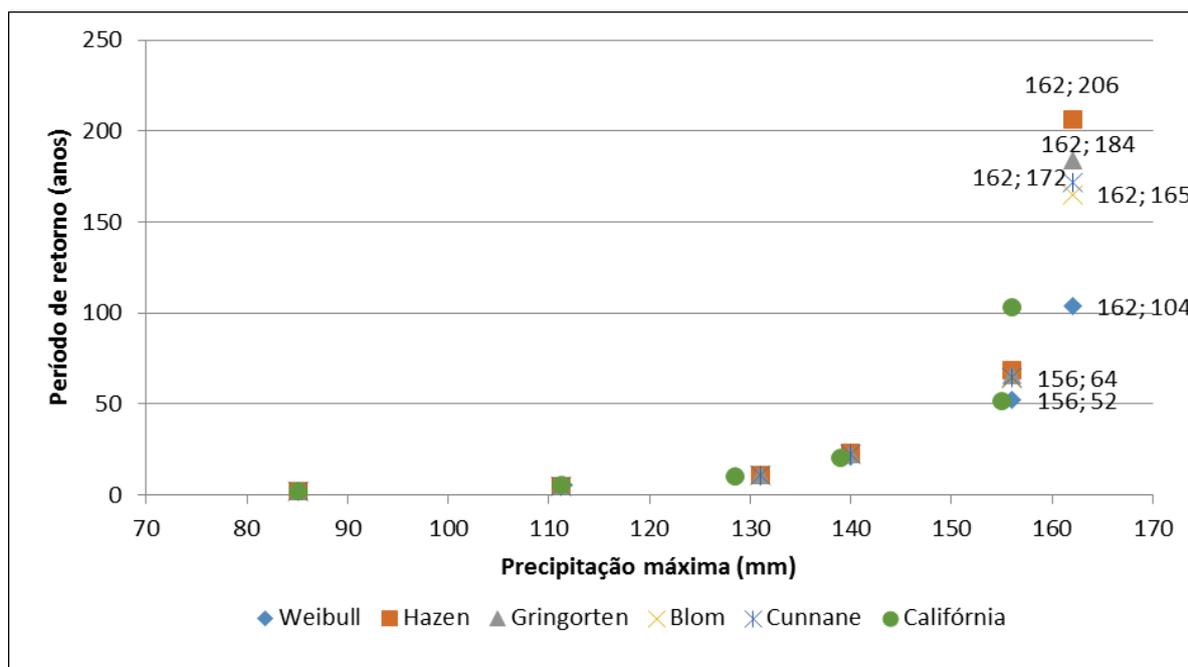


Figura 2 - Período de retorno associado as observações pelas diversas equações (n=103).

Comparação entre os métodos

Os resultados pelos métodos do Fator de Frequência e da Posição de Plotagem foram comparados através do desvio percentual entre os valores obtidos pela aproximação a distribuição Gumbel, considerando que a aproximação resulta nos valores corretos e uma margem de erro aceitável de 10%. O cálculo do desvio é feito pela equação a seguir:

$$D(\%) = \left(\frac{R_{G|Tr} - R_{PF|Tr}}{R_{G|Tr}} \right) \times 100$$

Onde $R_{G|Tr}$ é o resultado obtido pela aproximação a distribuição Gumbel associado ao tempo de retorno desejado e $R_{PF|Tr}$ é o resultado obtido pelo fator de frequência ou posição de plotagem.

As precipitações obtidas utilizando o método do Fator de Frequência foram pouco menores que as obtidas pela aproximação a distribuição Gumbel, como pode ser observado pela tabela 4, variando de 0,78% para um tempo de retorno 2 anos até 2,93% para 1000 anos, dentro da margem de erro adotada.

Tabela 5 – Desvios obtidos entre o fator de frequência e a distribuição Gumbel.

| Período de retorno (Anos) | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 1000 |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Desvio (%) | 0,78% | 1,56% | 1,91% | 2,16% | 2,44% | 2,58% | 2,93% |

A tabela 6 apresenta a comparação entre os resultados obtidos pelo Plotting Position e a distribuição Gumbel. Os resultados foram menores para todas as séries analisadas, com exceção para o período de retorno de 10 anos na série de 103. Os desvios para a série de 103 anos, exceto para 100 anos de tempo de retorno, estão dentro da margem de erro com um desvio percentual abaixo de 7%. A série de 30 anos apresentou desvios menores do que a série de 50 anos, esse fato pode ser explicado devido aos 20 anos entre as duas séries de dados conter várias observações abaixo da média dos 30 primeiros anos, onde ao ordenar de forma crescente, resulta em valores menores.

Comparando os resultados com os obtidos pelo método do fator de frequência, obtemos um desvio percentual para a série de 103 anos de menos de 5% para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 e 50 e de até 11,63% para um período de retorno de 100 anos. As outras duas séries de dados apresentaram um desempenho consideravelmente inferior.

Tabela 6 – Comparação dos resultados de Plotting Position e distribuição Gumbel.

| Desvios entre a distribuição Gumbel (%) | | Tempo de retorno | | | | | |
|---|------------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 |
| 103 | Weibull | 1,54% | 0,27% | -1,87% | 3,25% | 5,80% | 10,60% |
| | California | 1,54% | 0,54% | 0,08% | 3,94% | 6,40% | 13,91% |
| 50 | Weibull | 12,07% | 7,87% | 11,74% | 9,47% | 19,93% | - |
| | California | 12,88% | 14,58% | 13,30% | 11,20% | 20,89% | - |
| 30 | Weibull | 9,29% | 6,80% | 0,08% | 8,36% | - | - |
| | California | 12,07% | 14,58% | 11,74% | 9,47% | - | - |

Tabela 7 – Comparação dos resultados de Plotting Position e fator de frequência.

| Desvios entre o fator de frequência (%) | | Tempo de retorno | | | | | |
|---|------------|------------------|--------|--------|-------|--------|--------|
| | | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 |
| 103 | Weibull | 0,77% | -1,31% | -3,85% | 1,11% | 3,44% | 8,23% |
| | California | 0,77% | -1,04% | -1,87% | 1,82% | 4,06% | 11,63% |
| 50 | Weibull | 11,38% | 6,41% | 10,02% | 7,47% | 17,92% | - |
| | California | 12,19% | 13,23% | 11,61% | 9,24% | 18,91% | - |
| 30 | Weibull | 8,58% | 5,32% | -1,87% | 6,34% | - | - |
| | California | 11,38% | 13,23% | 10,02% | 7,47% | - | - |

A figura 3 apresenta os resultados graficamente para a série de 103 anos. Podemos perceber que para períodos de retorno de até 20 anos obtemos resultados similares pelos 4 métodos, para tempos maiores, de até 50 anos, a diferença é um pouco maior, e para 100 anos a diferença é significativa.

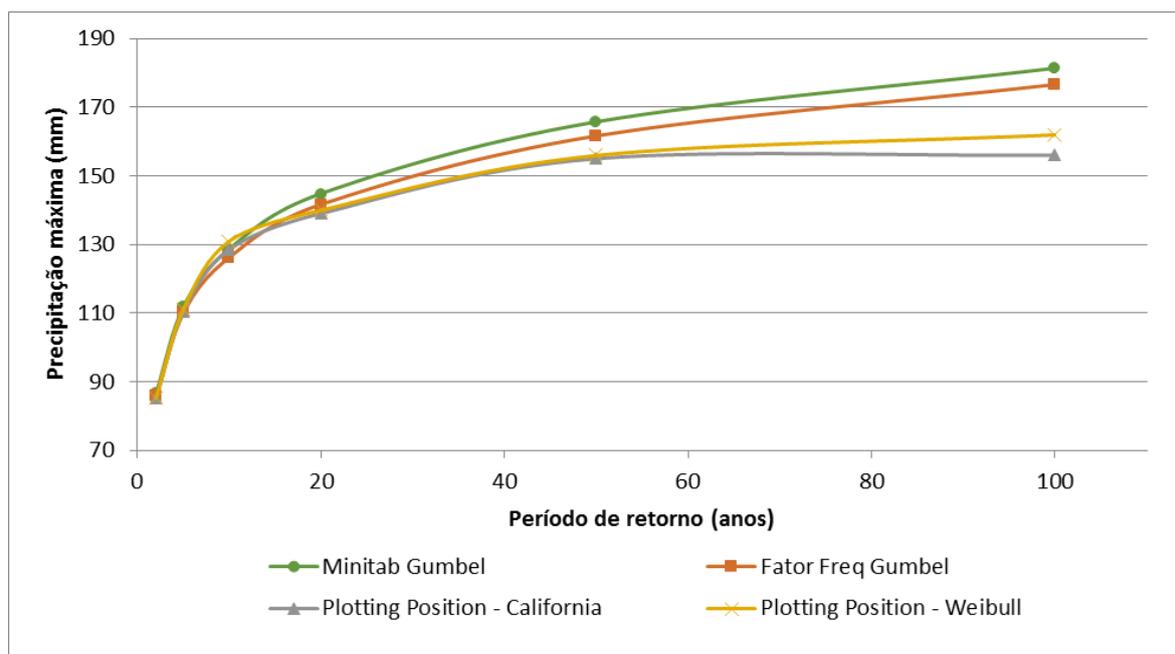


Figura 3 – Resultados dos métodos probabilísticos adotados para os períodos de retorno

CONCLUSÃO

Considerando a distribuição Gumbel como referência, percebeu-se que o método do fator de frequência obtém valores próximos, com menos de 3 % de diferença, mesmo para um tempo de retorno de mil anos. Além disso, como necessita apenas da aplicação de fórmulas e da média e desvio padrão das observações, pode ser facilmente empregado através da utilização de softwares como o Excel. Porém é necessário atentar para que a série de dados seja representativa da região estudada, uma média e um desvio padrão de um período anômalo resultará em valores diferentes da realidade, e que a fórmula utilizada seja correspondente a distribuição das precipitações máximas da região analisada.

O método Plotting Position, obteve bons resultados para períodos de retorno de até 50 anos quando analisado uma série de observações longa, mais de 100 anos. Para séries menores, o resultado depende da representatividade que os anos analisados tem em relação ao comportamento da região, visto que para uma série de 30 anos, obtemos valores melhores que a série de 50 anos. Ressaltando que a metodologia adotada, de considerar o valor de precipitação máxima imediatamente posterior nos casos de inexistência de um tempo de retorno exatamente igual ao desejado, resulta em valores maiores dependendo da equação utilizada, caso fosse realizado uma interpolação, os valores obtidos por esse método seriam ainda menores em alguns casos, resultando em uma diferença percentual maior.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BEIJO, L.A.; MUNIZ, J.A.; VOLPE, C.A.; PEREIRA, G.T. Estudo da precipitação máxima em Jaboticabal (SP) pela distribuição de Gumbel utilizando dois métodos de estimação dos parâmetros. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 141-147, 2003.
2. CHOW, V.T. A general formula for hydrologic frequency analysis. *Trans. AGU*. V. 32, n. 2, p. 231-237, April, 1951.
3. CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.R.; LARRY, W.M. *Applied Hydrology*. New York: McGrawHill International Editions, 1988. 537 p.
4. FERREIRA, J.C.; DANIEL, L.A.; TOMAZELA, M. Parâmetros para equações mensais de estimativas de precipitação de intensidade máxima para o Estado de São Paulo - Fase I. *Ciência e Agrotecnologia* v. 29, n. 6, 2005.
5. NAGHETTHINI, M.; PINTO, E.J.A. *Hidrologia Estatística*. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 293 p.
6. SANSIGOLO, C.A. Distribuições de extremos de precipitação diária, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento em Piracicaba, SP (1917-2006). *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 23, n. 3, p. 341-346, 2008.
7. TUCCI, C. E. M. *Hidrologia, Ciência e Aplicação*. Quarta edição. Porto Alegre, UFRGS. EDUSP/ABRH, 2009. 943 p.