

ESTUDO DA DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE PARA PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS NA BACIA DO RIO MUNDAÚ

Maria Crystianne Fonseca Rosal¹ & Suzana Maria Gico Lima Montenegro²

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivo selecionar uma distribuição de probabilidade para estimativa de precipitações máximas na bacia do rio Mundaú. Tal bacia está localizada nos estados de Pernambuco e Alagoas, e em junho de 2010 foi vítima de uma forte cheia, que trouxe grandes prejuízos para os municípios afetados. No estudo das precipitações máximas foram utilizados cinco postos pluviométricos em que inicialmente analisou-se sua independência, homogeneidade e estacionariedade, em seguida foram testadas as seguintes distribuições: Normal, Log-Normal, Gumbel e Log-Pearson III. Para verificação desse ajuste de probabilidade foi utilizado o teste Kolmogorov-Smirnov com 10%, 5% e 1% de aderência, e na escolha da melhor distribuição foi utilizado o critério do menor erro padrão. Os resultados apontaram, para maioria das estações, como melhor ajuste a distribuição a Log-Pearson III. Os dados dos postos pluviométricos analisados apresentaram diferentes períodos de retornos para o evento de junho/2010, a depender do tamanho da série. Em um dos postos foi observado que a precipitação ocorrida nesse evento foi histórica e o tempo de retorno obtido foi de 102 anos.

ABSTRACT: The present work aimed to select a probability distribution to estimate the maximum rainfall in the river basin Mundaú. This basin is located in the states of Pernambuco and Alagoas, and in June 2010 was affected by a severe flood, which brought great losses to many municipalities. Five meteorological stations were used in the study of maximum rainfall. The data were first analysed its independence, homogeneity and stationarity, then the following probability distributions were tested: Normal, Log-Normal, Gumbel and Log-Pearson III. Kolmogorov-Smirnov test with 10%, 5% and 1% adherence was used to check the goodness of fitting the criterion of the lowest standard error was used for choosing the best distribution. The results showed, for most stations, as best fit the distribution Log-Pearson III. The analyzed data from rainfall stations showed different return periods for the event June/2010, depending on the size of the series. In one of the rainfall gauges it was noticed that precipitation occurred in this historic event was obtained and the return period was 102 years.

Palavras-chave: precipitação máxima, distribuição de probabilidade, tempo de retorno.

¹ Pesquisador em Geociência, Eng. Hidrólogo, CPRM, SUREG-SP. Rua Costa, 55, 01304-010, São Paulo – SP. Email: mrosal@sp.cprm.gov.br

² Professora adjunto do Centro de Tecnologia e Geociência da UFPE, Rua Acadêmico Hélio Ramos, S/N, Cidade Universitária, 50740-530, Recife/PE. E-mail: suzanam.ufpe@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O estudo das precipitações máximas é de grande interesse nos trabalhos de hidrologia, por sua freqüente aplicação na estimativa das vazões de projeto para dimensionamento de obras de engenharia, tais como vertedores de barragens, bueiros, bocas-de-lobo, terraços, canais de drenagem.

O procedimento normalmente adotado na estimativa da chuva de projeto consiste em ajustar uma distribuição teórica aos dados observados e, com base nessa distribuição extrapolar os valores de precipitação extrema, associada a uma dada probabilidade. Existem diversas teorias de probabilidade empregadas para análise de chuvas extremas, sendo as mais utilizadas a distribuição Normal, Log-Normal, Gumbel, Pearson tipo III e Log-Pearson tipo III.

Stern e Coe (1982), citados por ALMEIDA (1995), afirmam que o ajuste de modelos probabilísticos aos dados diários de chuva, além de fornecer um resumo sucinto destes dados, representa uma técnica eficiente para a análise dessas informações. Cada distribuição de freqüência apresenta uma forma, que pode ser aproximada através da utilização de equações de densidade probabilidade com alguns parâmetros extraídos da amostra em questão. A utilização ou não de uma distribuição reside na capacidade da mesma em estimar os dados observados, com base em seus parâmetros, e esta capacidade é medida através de testes de aderência.

A utilização dos estudos de probabilidade aplicados a bacia do Mundaú apresentará o ajuste das curvas probabilísticas as precipitações máximas anuais, possibilitando a análise do tempo de recorrência das chuvas que estão ocorrendo. Essa bacia tem sofrido nos últimos anos com inundações de grande intensidade, o evento de junho de 2010 foi catastrófico e ocasionou grandes prejuízos como: pequenas barragens rompidas, cidades alagadas, plantações devastadas e a população aterrorizada.

Diante dessa problemática, esse trabalho objetiva verificar o ajuste das distribuições probabilísticas aos dados de chuva máxima para a bacia do rio Mundaú.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A bacia do rio Mundaú está localizada entre os estados de Pernambuco e Alagoas, drenando as microrregiões homogêneas da Mata Alagoana e de Maceió. O rio Mundaú nasce a oeste da cidade pernambucana de Garanhuns, na parte sul do Planalto da Borborema e entra em Alagoas na cachoeira da Escada, ao sul da cidade pernambucana de Correntes e noroeste da cidade alagoana de

Santana do Mundaú. Atravessa a área central da Mata Alagoana e chega ao litoral, com a sua foz afogada formando a Lagoa Mundaú (TENÓRIO, 1985).

O rio Mundaú é o mais importante da bacia, é perene e tem uma precipitação média anual de 900 mm e uma vazão média anual de 30,6 m³/s. Os máximos valores de precipitação concentram-se próximos à região litorânea, com médias em torno de 2.000 mm, sendo uma consequência de influências de brisas que transportam bandas de nebulosidade, provocando maior concentração de chuvas nessa área. Verifica-se diminuição na precipitação à medida que se adentra no continente, devido à aproximação da região do polígono das secas (GOMES et al., 2004). Os meses de fevereiro a julho correspondem à aproximadamente 72,6% de toda precipitação anual local. O período chuvoso da região de estudo, coincide com a época em que esta região está sujeita a atuações de distúrbios de leste, chamados de Ondas de Leste, que somados com sistemas de escala local (Convergência dos Alísios e Brisa Terrestre), intensificam as chuvas, principalmente à noite nesta área (COSTA et al., 2005).

Em Pernambuco, a área da Bacia é de 2.155 km² e abrange 15 municípios. Em Alagoas, sua área é de 1.971 km² e também percorre 15 municípios. Totalizando a bacia tem uma área de 4.126 km² e compreende 30 municípios. A mesma situa-se entre as latitudes de 9,4° a 8,4° S e as longitudes de 35,4° e 36,2° W.

Os dados pluviométricos utilizados estão localizados na bacia de estudo, a tabela abaixo mostra as estações selecionadas e o período disponível de dados:

Tabela 1 – Postos pluviométricos selecionados para o estudo

Código	Nome	Município/Estado	Período da série
19	Garanhuns	Garanhuns/PE	1920-2010
22	Correntes	Correntes/PE	1936-2010
53	Canhotinho	Canhotinho/PE	1962-2010
286	Caetés	Caetés/PE	1962-2010
935012	Murici - Ponte	Murici/AL	1963-2010
935056	Fazenda Boa Fortuna	Rio Largo/AL	1989-2010
936112	São José da Laje	São José da Laje/AL	1990-2010
936114	Santana do Mundaú	Santana do Mundaú/AL	1990-2010
936113	União dos Palmares	União dos Palmares/AL	1990-2010

A Figura 1 mostra a disposição desses postos pluviométricos na bacia do Mundaú:

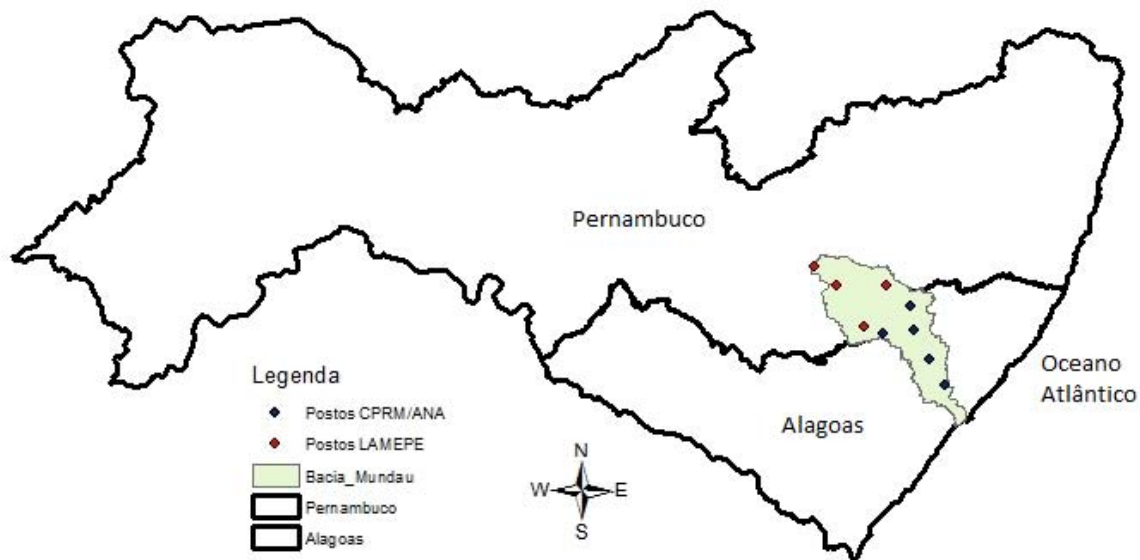


Figura 1 – Localização dos postos pluviométricos na bacia do rio Mundáu

As séries históricas compreenderam os dados diários de precipitação, retirados dos boletins mensais com leituras feitas por um observador todos os dias às 7:00 horas da manhã na estação pluviométrica. Através destes dados é que pode ser feita uma análise mais detalhada do comportamento pluviométrico.

2.2 Análise Estatística

A primeira análise a ser feita em séries históricas é uma análise preliminar para detecção de possíveis erros grosseiros, seguido da consistência desses dados. Nesse estudo utilizou-se o Hidro-Plu - Programa de Homogeneização de Dados Pluviométricos da ANA - Agência Nacional de Águas, tal programa utiliza o método da Ponderação Regional com base em regressões lineares. Ainda nesse momento de análise foram retirados das séries históricas os anos com falhas no período chuvoso.

O estudo foi realizado com a retirada para cada ano hidrológico da série o valor máximo diário. As séries máximas foram submetidas aos testes de hipótese que verificam a independência, homogeneidade e estacionariedade. E essas hipóteses foram testadas através de testes não-paramétricos. Uma vez realizados esses testes foram descartados os dados das estações que foram rejeitadas em alguma das hipóteses e trabalhou-se com aqueles que foram aceitas nas três hipóteses testadas.

Em seguida, para as séries de máximas que foram aprovadas no teste de hipótese foram calculadas as estatísticas básicas: média, moda, variância, desvio-padrão, curtose, assimetria, etc.

Além disso, essas séries foram submetidas ao ajuste das distribuições probabilísticas por meio das seguintes distribuições: Normal, Log-Normal Gumbel (ou Extremo tipo I) e Log-Pearson III.

Segundo Nakayama *et al.*(2007) e Naghettini e Pinto (2007), as distribuições citadas são calculadas através das seguintes funções de densidade de probabilidade:

A distribuição normal é que possui maior facilidade de emprego e dada pela seguinte Função Densidade de Probabilidade (FDP) teórica:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma * \sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\bar{X}}{\sigma}\right)^2} \quad (1)$$

Onde \bar{X} é a média e σ é o desvio padrão.

A distribuição Log-Normal possui a seguinte FDP a dois parâmetros:

$$f(x) = \frac{1}{x * \sigma * \sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{[\ln(x) - \mu]^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

Onde μ e σ são os parâmetros de distribuição, média e desvio-padrão respectivamente.

Segundo os autores citados acima, uma das formas de apresentar a FDP da distribuição de Gumbel I é:

$$f(x) = \frac{1}{\beta} * e^{-\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)} * \left(-e^{-\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)}\right) \quad (3)$$

Sendo α o parâmetro de posição e β o parâmetro de escala.

Ainda para Gumbel, sua função densidade acumulada é dada pela equação:

$$f(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)}} \quad (4)$$

A distribuição Log-Pearson III tem a seguinte função densidade de probabilidade:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)} \quad (5)$$

Onde α , β e γ são parâmetros da distribuição.

Definidas as distribuições a serem estudadas, outro aspecto importante que se deve levar em conta é definição da posição de plotagem, já que a estimação de probabilidade empírica de excedência está associada a esta posição, até um certo ponto, o qual é expressa a uma fração entre 0 a 1. Várias fórmulas de posição de plotagem têm sido apresentadas na literatura, as quais, geralmente, produzem valores similares no centro da distribuição, mas variam consideravelmente nas caudas (Naghettini e Pinto, 2007).

Tabela 2 – Fórmulas para estimativa da posição de plotagem (Stedinger *et. al*, 1993)

Fórmula	Autor	Atributo da aplicação
$q_i = \frac{i}{1+n}$	Weibull	Probabilidades de excedência não viesadas para todas as distribuições
$q_i = \frac{i - 0,44}{n + 0,12}$	Gringorten	Usada para quantis das distribuições de Gumbel e GEV
$q_i = \frac{i - 0,375}{n + 0,25}$	Blom	Quantis não viesados para as distribuições Normal e Log-Normal
$q_i = \frac{i - 0,5}{n}$	Hazen	Usada para quantis da distribuição Gama de 3 parâmetros
$q_i = \frac{i - 0,40}{n + 0,20}$	Cunnane	Quantis aproximadamente não viesados para todas as distribuições

Para estudos de eventos extremos com séries de máximas diversos autores sugerem, inclusive a publicação britânica Flood Estimation Handbook, mencionada por Bayliss e Reed (2001), que essas séries combinada de informações históricas e dados sistemáticos sejam plotadas por meio da utilização da fórmula de Gringorten.

Para testar o ajuste das distribuições probabilísticas empregou-se um teste de aderência. Um critério recomendado (KITE, 1978; ASSIS *et al.*, 1996) é o uso de testes não paramétricos como o teste χ^2 ou o teste de Kolmogorov-Smirnov. Segundo MILLER e FREUND (1965), o teste de Kolmogorov-Smirnov é mais eficiente que o teste χ^2 para testar o ajuste de pequenas amostras e pode ser aplicado em caso de amostras muito pequenas, onde o teste χ^2 não se aplica. Outra vantagem da utilização do teste Kolmogorov-Smirnov, em relação ao teste χ^2 , é o fato de não ter que fazer agrupamento de dados em classes e a maior facilidade para o cálculo.

Sendo assim, o teste de aderência utilizado foi de Kolmogorov-Smirnov, com níveis de significância de 10%, 5% e 1%. Nesse teste a frequência cumulativa $F(x)$ dos dados observados e das distribuições teóricas são comparadas, com a maior diferença absoluta dada por:

$$D_{max} = |F(x)_{observada} - F(x)_{teórica}| \quad (6)$$

Onde para cada valor de x é comparada com os valores tabelados de D_{max} para dado nível de significância α e tamanho da amostra. Se D_{max} calculado é maior que D_{max} tabelado, deve-se rejeitar a hipótese nula, ou seja, a hipótese de que a amostra provém de uma população que não segue a distribuição de probabilidade sob teste $F(x)$.

Para definir qual a melhor distribuição ajustada à série de máximos foi utilizado o critério do menor erro-padrão:

$$E = \sqrt{\frac{\sum(P_{O_i} - P_{T_i})^2}{n}} \quad (7)$$

Onde P_{O_i} é a precipitação observada de ordem i , P_{T_i} é a precipitação calculada de ordem i , e n é número de elementos da série de máximas anuais.

Selecionada a melhor distribuição pode-se verificar o tempo de retorno, para os diversos postos estudados, da cheia ocorrida em junho de 2010.

2.3 Histórico sobre cheias na bacia

Esta bacia possui um histórico de enchentes, onde se destaca 7 grandes cheias que atingiram região (1914, 1941, 1969, 1988, 1989, 2000, 2010), que os próprios moradores da área relatam sua convivência natural com os eventos (Fragoso Júnior *et. al*, 2010).

Nas enchentes de 1914 e 1941 há poucos registros sobre o ocorrido. A enchente ocorrida em 1969 foi a mais letal, com cerca de 1.100 mortos em pouco mais de 4h, além de desabrigar 10.000 pessoas na região do município de São José das Lajes. Em 1988 a enchente destruiu 4000 casas e comprometeu os serviços essenciais como: abastecimento de água, saúde, educação, energia elétrica, além de danos no sistema viário. A enchente de 1989 atingiu 14600 casas e destruiu 6700, o sistema viário foi extremamente afetado, com destruição estradas vicinais, pontes, pontilhões, etc. No ano de 2000 a enchente na bacia volta a causar morte, onde foram registrados 36 óbitos e 76 mil desabrigados, milhares de casas destruídas, 14 pontes destruídas e suspensão dos serviços de transporte ferroviário.

A enchente de 2010 ocorreu nos dias 18 e 19 de junho, e segundo boletim da Defesa Civil de 23 de junho de 2010, os números de desabrigados e desalojados eram de 26.618 e 47.897 pessoas respectivamente. Foram notificadas 26 mortes e 22 desaparecidos. As cidades de Branquinha, Santana do Mundaú, União dos Palmares e Quebrângulo foram as mais atingidas. Na cidade de Branquinha, aproximadamente 80% das casas foram destruídas.

3. RESULTADOS

A primeira análise realizada nas séries verificou as falhas, fazendo uma análise do tamanho da série e da quantidade de anos falhos no período chuvoso. Como um dos objetivos desse trabalho é analisar, principalmente, o evento chuvoso ocorrido em junho de 2010, foram descartados as estações que tinham falha nesse ano.

A próxima análise testou a série quanto à independência, homogeneidade e estacionariedade, eliminando as estações que não foram aceitas nesse teste, para um nível de significância de 5% não se rejeitava H_0 .

Tabela 3 – Resultados dos testes

Código	Nome	Resultado	Motivo
19	Garanhuns	Aprovada	Série completa e aceita no teste de hipóteses
22	Correntes	Aprovada	Série completa e aceita no teste de hipóteses
53	Canhotinho	Aprovada	Série completa e aceita no teste de hipóteses
286	Caetés	Aprovada	Série completa e aceita no teste de hipóteses
935012	Murici - Ponte	Aprovada	Série completa e aceita no teste de hipóteses
935056	Fazenda Boa Fortuna	Aprovada	Série completa e aceita no teste de hipóteses
936112	São José da Laje	Reprovada	Série incompleta, sem dados a partir de 06/2010
936114	Santana do Mundaú	Reprovada	Série pequena (19 anos sem falhas), não aceita no teste de homogeneidade
936113	União dos Palmares	Reprovada	Série incompleta, sem dados em 06/2010

Pela tabela 3 verifica-se que a análise preliminar dos dados retirou do estudo três estações, localizadas no estado de Alagoas. Desta forma trabalhou-se com quatro estações no estado de Pernambuco e duas estações no estado de Alagoas.

Em seguida foram calculadas as estatísticas básicas da série de máximos de cada uma das estações que foram aprovadas nos testes, e os seguintes resultados foram encontrados:

Tabela 4- Estatística Descritiva em mm

Nome do Posto	Máximo	Mínimo	Média	Desvio Padrão	Assimetria	Mediana
Garanhuns	108,5	14	65,91	23,04	0,56	60
Correntes	184	30	70,16	32,19	1,37	64,3
Canhotinho	126,1	20	55,51	22,88	0,96	53,1
Caetés	109,3	25	65,94	22,39	0,07	63,8
Murici - Ponte	143,6	20,7	76,89	29,26	0,41	74
Fazenda Boa Fortuna	203,7	43,3	101,46	48,55	1,12	88

Com base na tabela acima verifica-se que as séries possuem assimetria positiva, com o pico a esquerda do gráfico, característica marcante das séries de máximas. A média é maior que a mediana, indicando que os valores de cada uma das séries são, em sua maioria, menores do que a média.

Os ajustes gráficos das distribuições probabilísticas das séries estudadas são apresentados na figura 2:

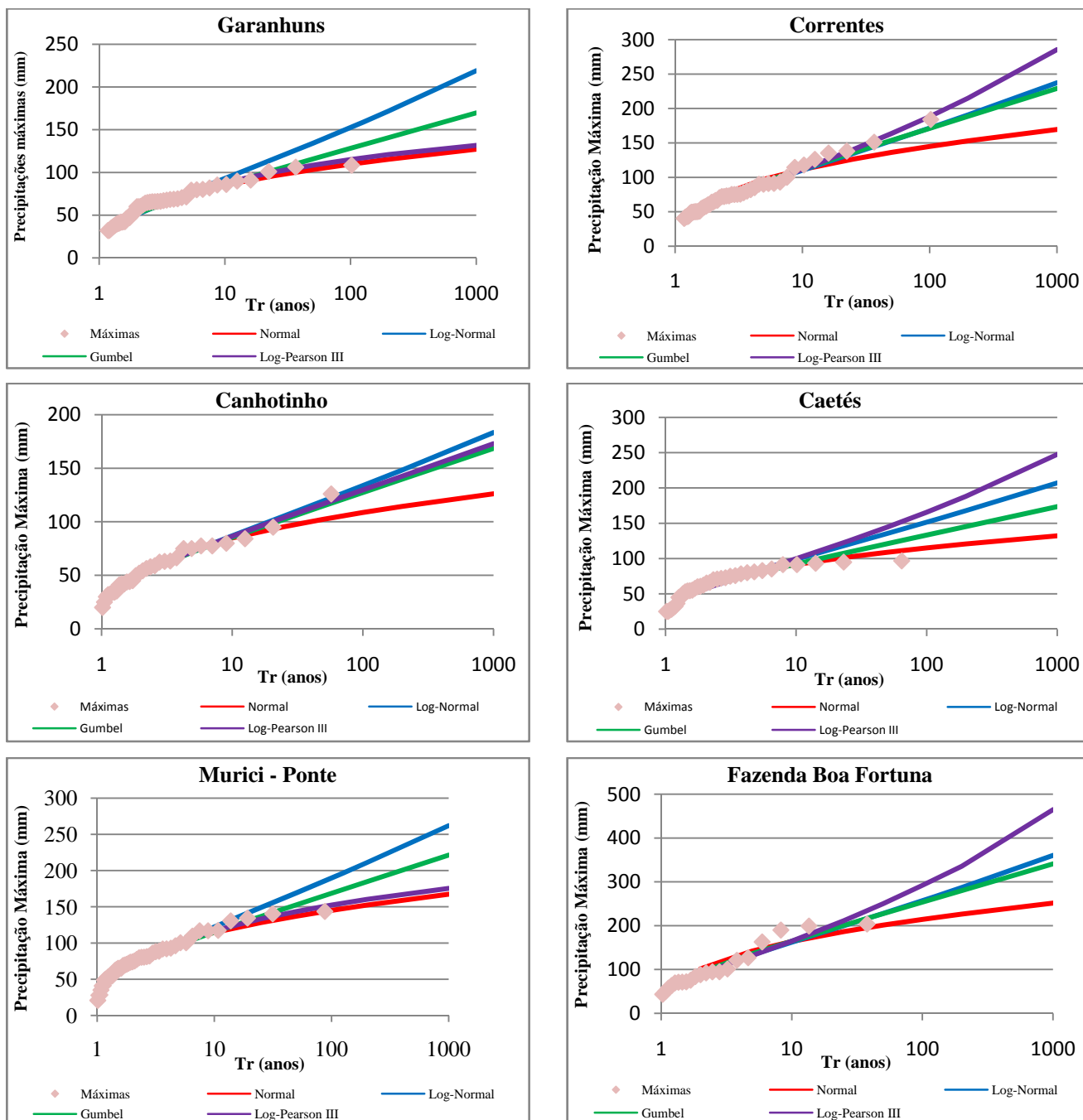


Figura 2 – Distribuições de Probabilidade para as Precipitações Máximas

Após os ajustes probabilísticos das distribuições teóricas foram realizados os testes de aderência Kolmogorov-Smirnov para as estações da tabela 4. Esse ajuste foi realizado para 10%, 5% e 1%. Os resultados, tabela 5, mostram que a distribuição dos dados observados do posto de Caetés não aceitou nenhuma das distribuições teóricas, exceto a distribuição normal com 1% de significância.

O resultado para o posto de Caetés pode ser explicado analisando os dados da tabela 4, onde verifica-se que a assimetria dos dados está próxima de zero, e a média e mediana também bastantes

próximas. Essas características aproximam a distribuição da série para uma distribuição normal, em assimetria é zero e a média e mediana são iguais.

Tabela 5 – Resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov

Posto	Distribuição	Resultado
Garanhuns	Normal	Aceita Ho para todos os níveis de significância testados
	Log-Normal	Aceita Ho para todos os níveis de significância testados
	Gumbel	Aceita Ho para todos os níveis de significância testados
	Log-Pearson III	Aceita Ho para todos os níveis de significância testados
Correntes	Normal	Aceita Ho para todos os níveis de significância testados
	Log-Normal	Aceita Ho para todos os níveis de significância testados
	Gumbel	Aceita Ho para todos os níveis de significância testados
	Log-Pearson III	Aceita Ho para todos os níveis de significância testados
Canhotinho	Normal	Aceita Ho para todos os níveis de significância testados
	Log-Normal	Aceita Ho para todos os níveis de significância testados
	Gumbel	Aceita Ho para todos os níveis de significância testados
	Log-Pearson III	Aceita Ho para todos os níveis de significância testados
Caetés	Normal	Aceita Ho, para $\alpha=1\%$
	Log-Normal	Rejeita Ho para todos os níveis de significância testados
	Gumbel	Rejeita Ho para todos os níveis de significância testados
	Log-Pearson III	Rejeita Ho para todos os níveis de significância testados
Murici - Ponte	Normal	Aceita Ho para todos os níveis de significância testados
	Log-Normal	Aceita Ho para todos os níveis de significância testados
	Gumbel	Aceita Ho para todos os níveis de significância testados
	Log-Pearson III	Aceita Ho para todos os níveis de significância testados
Fazenda Boa Fortuna	Normal	Aceita Ho para todos os níveis de significância testados
	Log-Normal	Aceita Ho para todos os níveis de significância testados
	Gumbel	Aceita Ho para todos os níveis de significância testados
	Log-Pearson III	Aceita Ho para todos os níveis de significância testados

Alguns autores selecionam a melhor distribuição, adotando aquela que fornece o menor Dmax dado pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. No entanto, o critério de adotar a distribuição com menor erro-padrão parece ser mais adequado, pois considera todos os valores no cálculo e não apenas um único como no teste de Kolmogorov-Smirnov (Back, 2001). Kite (1978) afirma que apesar do cálculo do erro-padrão também ter como desvantagem a dependência de posição de plotagem, e

essa dependência pode afetar o valor absoluto da soma dos quadrados dos desvios para cada distribuição, ela não afeta a posição relativa a cada distribuição.

Fisicamente, este coeficiente mostra o grau de desvio existente entre os valores obtidos pela distribuição de probabilidade e os valores observados nos postos pluviométricos (Nakayama *et al.*, 2007). Os resultados obtidos para cada posto estão apresentados na tabela 6 abaixo, em destaque estão os menores erros obtidos para da estação.

Tabela 6 – Erro-padrão de cada distribuição

Nome do posto	Erro-padrão			
	Normal	Log-Normal	Gumbel	Log-Pearson III
Garanhuns	3,31	8,03	4,75	3,19
Correntes	10,75	3,86	4,36	3,86
Canhotinho	5,60	2,80	2,53	10,34
Caetés	3,86	-	-	-
Murici - Ponte	4,11	7,34	4,84	4,07
Fazenda Boa Fortuna	17,82	12,27	12,16	12,96

Pelos dados da tabela 6 verifica-se que três postos tiveram como melhor ajuste a distribuição log-pearson III, outros dois foi a distribuição gumbel e por fim para Caetés, posto já comentado anteriormente, foi calculado apenas o erro-padrão da distribuição normal uma vez que as outras distribuições não passaram no teste de aderência.

Dada as distribuições empíricas para cada um dos postos estudados, pode-se calcular o período de retorno para qualquer evento extremo ocorrido nessas localidades. A tabela 7 apresenta os períodos de retornos para as máximas anuais do ano de 2010, analisando se está é a máxima histórica, caso não seja mostra a máxima histórica o ano de sua ocorrência e respectivo período de retorno.

Tabela 7 – Estudo do tempo de retorno

Posto	Máxima 2010	Tr 2010	Máxima Histórica	Ano de ocorrência	Tr
Garanhuns	80,2	7	108,5	1924	102
Correntes	184	102	184	2010	102
Canhotinho	84,2	13	126,1	2008	57
Caetés	91,5	10	96,8	1984	65
Murici - Ponte	68,9	2	143,7	1963	88
Fazenda Boa Fortuna	203,7	38	203,7	2010	38

* Tr em anos e Máximas em mm

A tabela 7 mostra que para dois postos a chuva ocorrida em 2010 foi à máxima diária histórica e seu valor é próximo a 200mm, o que pode-se considerar um valor alto a ser precipitado em um dia na região estudada. Verifica-se um tempo de retorno baixo para precipitação máxima da estação da Fazenda Boa Fortuna, isso ocorre porque, como dito anteriormente, o tempo de retorno depende diretamente do tamanho da série de dados, e esta possui apenas 21 anos de dados. Porém chama-se a atenção nessa estação que a precipitação de 2010 superou a ocorrida em 2000 (199mm), valor também muito alto, o que evidencia o quanto a região está vulnerável a ocorrências de precipitações extremas.

3.1 Análise do evento de junho de 2010

O evento ocorrido em junho de 2010 teve como pico de chuva os dias 17, 18 e 19, em que a precipitação se deslocou do centro do estado de Pernambuco (dia 16) em direção a cabeceira do Rio Mundaú (dia 17) e, em seguida, em direção ao centro da bacia (dia 18), quando então perdeu intensidade (dia 19).

Aspectos meteorológicos indicam que as configurações do clima tropical global foram estabelecidas por um evento El Niño que se iniciou em maio de 2009, e se intensificou para um evento moderado-forte e se dissipou na terceira semana de maio de 2010, dando lugar a um evento La Niña forte. Os maiores totais pluviométricos do mês de junho de 2010 foram observados no leste Pernambuco, se estendendo entre as divisas da Paraíba e de Alagoas. Esses totais foram resultantes da incursão de, pelo menos, quatro sistemas frontais que penetraram na região equatorial a partir do dia 20 de maio. Foram observados desvios positivos, entre 100 a 300 mm, ao longo da costa, possivelmente associados à forte convergência do fluxo de umidade, pois as anomalias da temperatura da superfície do Atlântico estiveram acima da média, entre 1°C e 2°C, durante todo esse mês. Essa configuração é característica de eventos La Niña fortes (Fialho e Molion, 2011).

Apesar de ter sido observado um evento chuvoso com 3 dias de duração, e mesmo tendo as bacias com tempos de concentração superiores há 1 dia, os tempos de passagem do hidrograma foram, segundo relatos obtidos localmente com moradores, inferiores há 12 horas (Fragoso Júnior *et. al*, 2010). As imagens mostradas e repetidas nos meios de comunicação mostram escoamento com altas velocidades, suficientes para arrastar árvores de grande porte, pontes, veículos e todo tipo de objeto. Tais fatos, combinados, alimentaram o argumento de que a catástrofe pode ter sido provocada pela junção do rompimento de algumas pequenas barragens.

4. CONCLUSÕES

Pelos dados apresentados acima se pode avaliar a importância da verificação de precipitações máximas associadas aos eventos extremos para a Bacia do Mundaú, ressaltando que além dessas precipitações deve-se levar em consideração o acúmulo mensal das séries históricas frente às grandes cheias.

Os resultados sugerem que, dentre as distribuições analisadas, a de Gumbel e Log-Pearson III melhor se aplicam nas séries estudadas e podem ser utilizada para futuros cálculos de períodos de retorno utilizados no dimensionamento de obras hidráulicas.

Além disso, o trabalho chama atenção ao fato de que, em muitos casos, se obtém um período de retorno pequeno porque a série de dados é pequena ou incompleta. O estudo também faz relevância que o cálculo do período de retorno, que pode variar de acordo com a fórmula aplicada, fato esse ignorado em muitos trabalhos analisados.

Outro aspecto relevante é análise da cheia de junho 2010 e outras já ocorridas na bacia, mostrando a vulnerabilidade a enchentes, e chamando atenção para a investigação que deve ser feita para descobrir a real causa da onda de cheia que teve grande poder de destruição.

5. BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, R. M. B. (1995). *“Características climatológicas do regime de chuva em Minas Gerais”*, Tese de Mestrado, Viçosa, UFV, 64p.

ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R. (1991). *Aplicações de Estatística à Climatologia: teoria e prática*. Pelotas: Ed. Universitária/UFPCL. 191p.

BACK, A. J. (2001). *“Seleção de Distribuição de probabilidade para chuvas diárias extremas no estado de Santa Catarina”* in Revista Brasileira de Meteorologia, v. 16, n. 2, pp. 211 – 222.

BAYLISS, A. C.; REED, D. W. (2001). *“The use of historical data in flood frequency estimation”* in Report to Ministry of agriculture, Fisheries and Flood. Centre for Ecology and Hydrology (www.ceh.ac.uk). United Kingdom.

COSTA, M.C.; OLIVEIRA, M.C.F.; MORAES, J.C.; BARRETO, P.N.; DANTAS, V.A.; CARVALHO, S.P. (2005). *“Comportamento e relação entre PRP e vazão na bacia do rio Mundaú, Alagoas e Pernambuco”* in Anais XIV Congresso de Brasileiro de Agrometeorologia, Campinas-SP.

FIALHO, W. M. B.; MOLION, L. C. B. (2011). “*Eventos extremos: Alagoas junho de 2010*” in IV Encontro Sulbrasileiro de Meteorologia, Pelotas – RS. Abr-2011.

FRAGOSOS JÚNIOR, C. R.; PEDROSA, V. de A; SOUZA, V. C. B. de. (2010). “Reflexões sobre a cheia de junho de 2010 nas bacias do rio Mundaú e Paraíba” in Anais do X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Fortaleza – CE. Nov-2010.

GOMES, H.B.; GOMES, H.B.; AMORIM, R.C. F.; DI PACE, F.T.; AMORIM, R.F. C.; OLIVEIRA, C.P. (2004). “*Estudo dos dados hidrometeorológicos da Bacia do rio Mundaú utilizando métodos estatísticos*” in Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza-CE.

KITE, G. H. (1978) “*Frequency and risk analyses in hydrology*”. Fort Collins, Water Resources Publications, 224 p.

MILLER, I.; FREUND, J. E. (1965). *Probability and statistics for engineers*. Englewood: Prentice-Hall. 432 p.

NAGHETTINI, M., PINTO, E. J. de A. (2007). *Hidrologia Estatística*. CPRM, 561p.

NAKAYAMA, P. T.; UEMURA, S.; SILVEIRA, G. M. da (2007). “*Avaliação da enchente de 17/02/2003 ocorrida no Rio Atibaia, município de Paulínea, estado de São Paulo*”. In Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo – SP, nov-2007. CD-ROM.

STEDINGER, J.R.; VOGEL, R. M.; FOUFOULA-GEORGIU, E. (1993). “*Frequency Analysis of Extreme Events*” in Handbook of Hydrology, Chapter 18, ed. D.R. Maidment, New York: McGraw-Hill, pp 18.1-18.66.

TENÓRIO, R.S. (1985) “*Estudo Hidrometeorológico da Bacia do Rio Mundaú*”. Universidade Federal de Alagoas. MET. Maceió - Alagoas.