

Análise Hidrológica da Cheia Excepcional Ocorrida em Junho de 2010 nas Bacias dos Rios Mundaú e Paraíba do Meio em Alagoas e Pernambuco

Daysy Lira Oliveira⁽¹⁾; Vladimir Caramori Borges de Souza⁽²⁾; Carlos Ruberto Fragoso Jr.⁽²⁾
daysyy_lira@hotmail.com; vcaramori@yahoo.com; crubertoff@hotmail.com

Recebido: 05/03/13 - revisado: 14/06/13 - aceito: 28/01/14

RESUMO

A cheia ocorrida em junho de 2010 nas bacias do Rio Mundaú e Paraíba do Meio, localizadas nos Estados de Alagoas e Pernambuco, acarretou em mortes, destruição/inundação de residências, falta de água e de energia elétrica e queda de pontes. O evento foi amplamente noticiado e algumas das razões apontadas foram: o rompimento de barragens e açudes, chuva excepcional, e a abertura de comportas. Nenhuma destas razões, isoladamente, parecia explicar a magnitude do evento de cheia e sua velocidade de deslocamento. Desta forma, este trabalho buscou avaliar hidrológicamente a ocorrência do evento, analisando os níveis de água e a precipitação, considerando a região de formação da cheia, a precipitação antecedente, entre outros fatores hidrológicos. Foram analisados dados de nível em 4 estações fluviométricas e de chuva de 73 estações pluviométricas. Para a precipitação, os dados foram tratados de forma pontual e espacializada, considerando também a precipitação acumulada para diversas durações. Na estação fluviométrica de Boa Fortuna o nível da água superou os níveis já registrados na série histórica atingindo 11,7 m, com tempo de retorno estimado pela distribuição Log-Normal de 439 anos. A precipitação média (espacializada) acumulada de 2 dias na bacia do rio Mundaú com 135,4 mm apresentou o maior tempo de retorno, estimado em 167 anos, utilizando a distribuição Log-Normal. Mostra-se aqui que os grandes volumes precipitados somados a condição antecedente da bacia e a distribuição da precipitação espacial e temporal foram determinantes para a gravidade do evento.

Palavras-chave: Inundações. Hidrologia descritiva. Chuvas intensas.

INTRODUÇÃO

Desastres naturais ocorrem com grande frequência em todo o mundo, segundo Tucci (2009), 50% das ocorrências são devido às cheias. O Brasil encontra-se entre os países do mundo mais atingidos por inundações e enchentes, tendo registrado 94 desastres cadastrados na *Emergency Disasters Data Base* (EM-DAT) no período de 1960 a 2008, com 5.720 mortes e mais de 15 milhões de pessoas afetadas (desabrigados e/ou desalojados) (TOMINAGA et al., 2009). No Atlas Brasileiro de Desastres Naturaissão constatadas, no período de 1991 a 2010, as ocorrências de 6.771 desastres naturais causados por inundação brusca e alagamento, e 3.673 registros de inundação gradual (enchente) (CEPED, 2012).

A ocorrência de desastres causados por inundações são abordadas em diversos trabalhos como a descrição da cheia de 2006 no Rio Danúbio

na Europa (MIKHAILOVA et al., 2012), as inundações ocorridas em 2011 no Rio Chao Phraya na Tailândia (KOMORI et al., 2012), entre outros (MARSH, 2004; van den HONERT & MCANENEY, 2011). No Brasil, as cheias mais recentes foram amplamente noticiadas pela imprensa nacional, por exemplo, a cheia de Janeiro de 2009 sobre a região de Pelotas (SALDANHA et al., 2012), a cheia de junho de 2010 em Alagoas e Pernambuco, e a forte enchente ocorrida na região serrana do Rio de Janeiro em 2011 (MEDEIROS & BARROS, 2011).

As cheias ocorridas entre os dias 17 e 19 de junho de 2010 nas bacias do rio Mundaú e do rio Paraíba do Meio acarretaram a perda de vidas humanas, a devastação de edificações ribeirinhas, entre outras consequências causadas pelas vazões e alta velocidade do escoamento. Diversas publicações veiculadas na mídia especularam as causas como sendo o rompimento de açudes, aberturas de comportas e altos volumes precipitados (GUIBU, 2010; UOL, 2010).

Especialistas da Universidade Federal de Alagoas, da Universidade Federal Rural de Pernambuco e da Secretaria de Recursos Hídricos e Energé-

¹ Escola de Engenharia de São Carlos/USP

² Centro de Tecnologia/UFAL

ticos de Pernambuco, buscando uma compreensão hidrológica preliminar do evento, apontaram diversas hipóteses, tais com: (a) saturação das bacias em consequência das chuvas ocorridas ao longo dos dias antecedentes ao evento, associada à baixa capacidade de infiltração da água em suas cabeceiras que possuem rocha cristalina aflorante com camada pouco espessa de solo; (b) as altas declividades na bacia, levando a altas velocidades das águas que potencializaram a destruição; (c) os açudes se encontravam cheios e com o aumento da chuva chegaram a verter; (d) as condições de assoreamento, a ausência da mata ciliar e a ocupação das margens dos rios implicaram no aumento acelerado dos níveis; (e) rompimento do Açude da Nação no Município de Bom Conselho/PE; (f) a ocupação desordenada da planície de inundação natural dos rios agravaram as consequências atingindo as populações e infraestruturas ribeirinhas (GUIBU, 2010; FRAGOSO JR. et al., 2010b). Apesar do levantamento de possíveis causas que intensificaram a cheia, o comportamento hidrológico do evento ainda precisa ser melhor compreendido considerando sua variabilidade no espaço e no tempo. Tal análise mais aprofundada do evento permitirá uma melhor compreensão do efeito dos possíveis fatores nesta cheia.

Desta forma, neste artigo foi apresentada uma abordagem hidrológica descritiva da cheia ocorrida em junho de 2010 nas bacias dos rios Mundaú e Paraíba do Meio (AL/PE), através da análise das precipitações e dos níveis da água nos rios. A partir desta avaliação, o papel de alguns dos fatores que provocaram ou agravaram a cheia ocorrida foram discutidos. Além disso, foi realizada uma comparação das variáveis hidrológicas com outros eventos de cheia registrados nas bacias, e a aplicação de distribuições estatísticas, permitindo assim estimar a frequência de ocorrências destes eventos.

BACIAS DOS RIOS MUNDAÚ E PARAÍBA DO MEIO

As bacias dos rios Mundaú e Paraíba do Meio abrangem uma área de 4.156 km² e 3.158 km², respectivamente (Figura 1). Com porção alta (cabeceira) inseridas no Estado de Pernambuco e porção média e baixa no Estado de Alagoas onde desaguam no Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Mangueba (CELMM).

Os rios Mundaú e Paraíba nascem em um corpo granítico de solo raso e com baixa capacidade de armazenamento, apresentando leitos bem

encaixados (FRAGOSO JR. et al., 2010 b). A bacia do rio Mundaú possui o rio principal com extensão de 141 km, apresenta declividade média de 3,75 m/km e tempo de concentração de 1,57 dias (FRAGOSO JR. et al., 2010 b), possui ainda topografia movimentada com relevo ondulado, forte ondulado e montanhoso (CONSULTORIA TÉCNICA LTDA., 1999). A bacia do rio Paraíba do Meio tem seu curso principal com 122 km, a sua declividade média é de 4,27 m/km e o tempo de concentração de 1,34 dias (FRAGOSO JR. et al., 2010 a).



Figura 1 – Bacias dos rios Mundaú e Paraíba do Meio.

A bacia do rio Paraíba em solo pernambucano drena uma região semiárida com rios de regime intermitente, e em solo alagoano, o rio é perene a partir do município de Paulo Jacinto (CONSULTORIA TÉCNICA LTDA., 2001). Na bacia do rio Mundaú predominam em Pernambuco as atividades pecuárias, que representa 70,4% do uso do solo, em Alagoas destaca-se a produção agrícola da cana-de-açúcar, compreendendo 21,76% da área da bacia (CONSULTORIA TÉCNICA LTDA., 1999). Para as duas bacias Fragoso Jr. et al. (2010 b) identificou

mais de 800 açudes com área de espelho d'água variando de 0,2 a 5 ha.

Histórico das Cheias

Nas bacias dos rios Mundaú e Paraíba do Meio as cheias registradas que geraram grandes catástrofes foram as de 1914, 1941, 1969, 1988, 1989, 2000 e 2010, totalizando 7 inundações (FRAGOSO JR. et al., 2010a; FRAGOSO JR. et al., 2010b). As cheias de 1914 e 1941 possuem poucos registros. A cheia de 1969 foi a mais letal, com cerca de 1.100 mortes (Tabela 1) em um período de 4 horas, sendo o município de São José da Laje o mais atingido com a cheia do rio Canhoto, afluente do rio Mundaú, causando a morte de 400 pessoas, destruição de 1.200 casas e cerca de 10 mil desabrigados (FRAGOSO JR. et al., 2010b; SOUZA, 2011).

Tabela 1– Danos causados pelas cheias ocorridas nas bacias do rio Mundaú e Paraíba do Meio.

Cheia	Cidades atingidas *	Óbitos	Casas destruídas ou danificadas	Pessoas afetadas**
1969	***	1.100	1.200	10.000
1988	26 (18)	64	8.951	45.223
1989	21 (17)	35	13.732	50.000
2000	26 (***)	36	***	76.000
2010	95 (27)	46	32.851	157.124

* Entre parênteses encontram-se o número de cidades atingidas localizadas nas bacias dos rios Mundaú e Paraíba do Meio; ** Pessoas desabrigadas ou desalojadas; ***Sem informação.

Nos anos de 1988 e 1989 ocorreram grandes destruições decorrentes das cheias (Tabela 1). A partir destes eventos foi elaborado um Diagnóstico da Região das Bacias dos Rios Mundaú e Paraíba através do convênio entre o Governo Federal, o Governo do Estado de Alagoas e a Organização dos Estados Americanos (OEA) publicado em 1990, o qual apresenta os Danos Causados pelas Chuvas de 1988 e 1989 (ALAGOAS, 1990). A cheia de 1988 causou 64 mortes sendo 40 ocorridas em Maceió-AL. A cheia de 1989 atingiu 17 municípios localizados nas áreas que abrangem as bacias do rio Mundaú e do rio Paraíba do Meio (Tabela 1). Nas cheias de 1988 e 1989 ocorreram interrupção de serviços de água, saúde, educação e energia elétrica.

Em 2000 as enchentes provocaram 36 mortes (Tabela 1), dezenas de milhares de casas foram destruídas e os serviços de transporte ficaram preju-

didos com a destruição de 14 pontes e das linhas férreas (FRAGOSO JR. et al., 2010 a; FRAGOSO JR., 2010 b; REIS et al., 2000). No evento de junho de 2010, o levantamento da Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC) apontou que 95 municípios foram afetados (Tabela 1). As consequências do evento foram catastróficas (BRASIL, 2010a) destruindo e/ou danificando casas (Tabela 1) além de atingir prédios públicos (hospitais, escolas), estradas, pontes e ferrovias, deixando algumas das cidades sem acesso. A população de muitas das cidades sofreu também com a falta de água, energia e comunicação causada pela destruição das redes.

Em decorrência das fortes chuvas e enxurradas o Sistema Nacional de Defesa Civil decretou estado de calamidade pública em 15 municípios de Alagoas e 12 municípios de Pernambuco (BRASIL, 2010b; BRASIL, 2010c; BRASIL, 2010d). As perdas e danos causados pelo evento para as áreas afetadas foram avaliados em Pernambuco em cerca de R\$ 3,4 bilhões, valor que corresponde a mais de 4% do PIB (Produto Interno Bruto) do Estado, e em Alagoas totalizaram R\$ 1,89 bilhões, valor que corresponde a cerca de 8% do PIB do Estado em 2009 (BANCO MUNDIAL, 2012a, 2012b). Os Relatórios de Perdas e Danos elaborados pela equipe de Gestão de Riscos de Desastres do Departamento de Desenvolvimento Sustentável do Banco Mundial no Brasil com o apoio do Governo dos Estados apresentam os prejuízos dos setores sociais, econômicos e de infraestrutura causados em junho de 2010 (BANCO MUNDIAL, 2012a, 2012b).

A ocorrência de cheias como a de 2010 não são raras, esses eventos podem ser considerados recorrentes nas bacias e todos provocaram muita destruição, agravada principalmente pela ocupação indevida das margens dos rios. A cheia de 2010 foi amplamente fotografada e noticiada na mídia local e nacional. No entanto, as informações hidrológicas (precipitação e nível) são mais escassas por falta de equipamentos ou pela destruição dos existentes durante as enxurradas.

MATERIAL E MÉTODOS

Os registros dos níveis da água e das precipitações foram levantados, buscando posicionar os principais eventos de cheia em relação aos registros históricos. A metodologia baseou-se nas seguintes etapas: (1) seleção de estações pluviométricas e fluviométricas; (2) análise dos níveis fluviométricos; (3) análise da precipitação pontual; (4) análise espacial

da precipitação, e; (5) análise estatística das séries de nível e precipitação.

Seleção de estações pluviométricas e fluviométricas

O levantamento de registros de nível foi realizado no banco de dados da Agência Nacional de Águas(ANA, 2011). Os dados de chuva foram obtidos junto a Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos/AL (SEMARH/AL, 2011), no Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP, 2011) e na ANA (ANA, 2011).

Na bacia do rio Mundaú foram inventariadas 6 estações fluviométricas da ANA. As estações pluviométricas totalizaram 108, sendo 42 da SEMARH/AL, 28 do ITEP e 38 da ANA (Figura 1). Na bacia do rio Paraíba do Meio as estações fluviométricas cadastradas na ANA totalizaram 3, e as estações pluviométricas inventariadas foram 91, sendo 36 da SEMARH/AL, 18 do ITEP e 37 da ANA (Figura 1). Das 199 estações pluviométricas inventariadas nas bacias 72 foram utilizadas nas análises (Tabela 7 Anexo 1). Foram encontradas no cadastro da ANA mais 119 estações pluviométricas sem registros ou com falha no acesso.

Análise dos níveis fluviométricos

Os níveis registrados no evento foram comparados, por meio da análise de cotogramas, com os registros da série histórica das estações fluviométricas. Esta análise tem por finalidade observar se o evento supera os níveis históricos. Além disso, busca avaliar a recorrência de níveis excepcionais e suas relações com os relatos das cheias históricas. Na análise dos níveis foram selecionadas as estações considerando os seguintes critérios: (a) extensão da série; (b) menor número de falhas nos registros; (c) registro do evento ou da marca de cheia (obtidas em inspeção de campono levantamento realizado pela ANA (ANA, 2010)). Desta forma, as estações utilizadas no estudo foram Murici-Ponte em Murici/AL e Fazenda Boa Fortuna em Rio Largo/AL, localizadas no rio Mundaú, e de Quebrangulo/AL e Atalaia/AL, localizadas no rio Paraíba do Meio (Figura 1 e Tabela 2).

Análise da precipitação pontual

A bacia foi delimitada a partir das primeiras cidades efetivamente prejudicadas pelo escoamento, situadas ao longo do curso d'água principal, sendo União dos Palmares na bacia do Rio Mundaú e Quebrangulo na bacia do Rio Paraíba (Figura 1).

Esse critério buscou selecionar as estações pluviométricas que tiveram contribuição efetiva para os grandes volumes escoados ao longo das bacias, e analisar os volumes precipitados na parte alta que contribuíram para elevação dos níveis dos rios(Figura 1).

Na análise dos postos localizados na parte alta da bacia e que registraram as chuvas entre maio e junho de 2010 foram avaliadas as lâminas pontuais registradas no evento em comparação com a série histórica de cada estação pluviométrica (estações indicadas na Tabela 7 Anexo 1). Ainda na análise pontual, em cada bacia a estação pluviométrica com o maior registro diário de precipitação do evento de junho de 2010 foi selecionada com a finalidade de analisar a série histórica, o hietograma e as precipitações acumuladas. As precipitações máximas anuais com duração de 1,2, 3, 4, 5, 10, 20 e 30 dias foram obtidas com o intuito de avaliar a importância destes volumes de precipitações em relação à série histórica e a distribuição da precipitação ao longo dos dias antecedentes a cheia.Destaca-se que a análise do acumulado para diferentes durações é relevante no contexto, uma vez que o total acumulado variou em magnitude e importância em relação à série histórica,considerando diferentes durações, para cada posto analisado.

Tabela 2 - Postos fluviométricos utilizado na análise das cotas, somente disponíveis para Alagoas (ANA, 2011).

Bacia do Rio	Nome(Código)**	Município	Período*
Mundaú	Murici – Ponte (39760000)	Murici	1965-2010
	Fazenda Boa Fortuna(39770000)	Rio Largo	1974-2010
Paraíba do Meio	Quebrangulo (39850000)	Quebrangulo	1990-2010
	Atalaia(39870000)	Atalaia	1977-2010

* O período de registro de cotas podem conter anos indisponíveis;

** Os postos fluviométricos estão sob a responsabilidade da ANA e são operadas pela Companhia de Pesquisas em Recursos Minerais (CPRM) - Serviço Geológico do Brasil.

Análise espacial da precipitação

A análise das precipitações espacializadas foi realizada em duas etapas: obtenção dos mapas de precipitação e obtenção das precipitações médias.

Os mapas de precipitação foram obtidos por meio da interpolação de todas as estações pluviométricas na bacia e em seu entorno que registraram as

chuvas entre os meses de maio e junho de 2010 (Tabela 7 Anexo 1). Para a seleção das estações foram observadas dentre as inventariadas as que apresentaram registro no período de interesse para a análise (estações indicadas na Tabela 7 Anexo 1). Os valores das precipitações das estações que registraram o evento foram interpolados, utilizando o método do inverso do quadrado da distância, para os dias 17, 18 e 19 e para o acumulado dos 3 dias.

Na análise espacializada da precipitação, os postos foram escolhidos com o intuito de obter o maior período comum de dados da série histórica (30 anos de dados, 1961-1992), maior número de postos e melhor distribuição espacial dos postos na porção alta da bacia (Tabela 7 Anexo 1). As precipitações médias não foram obtidas para o período completo de 1962 a 2010, pois existem muitas falhas nos registros de 1993 a 2010.

As precipitações médias nas bacias, para a série histórica (1961-1992) e no evento de junho de 2010, foram determinadas para o acumulado de 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20 e 30 dias. Outra constatação foi de que as estações com períodos comuns para análise da série histórica não coincidem com as estações que registraram o evento de junho de 2010 (Tabela 7 Anexo 1). Tais estações foram desativadas ou apresentaram falhas no período do evento.

Análise estatística das séries de nível e precipitação

A análise estatística foi realizada utilizando três técnicas de distribuição de probabilidade: Log-Normal, Gumbel e Log-Pearson tipo III. Essas distribuições de probabilidade normalmente são usadas na hidrologia para análise de valores máximos.

A distribuição Log-Normal é utilizada quando uma variável aleatória X tem o seu logaritmo $Y = \log X$ apresenta distribuição normal. Foram empregadas as equações das estimativas de parâmetros obtidas utilizando o método da máxima verossimilhança (NAGHETTINI & PINTO, 2007). A posição de plotagem para os valores observados foi calculada pela fórmula de Blom (NAGHETTINI & PINTO, 2007).

A distribuição Gumbel (valores extremos do tipo I) possui distribuição do tipo exponencial e tem a média $\mu = \bar{x} - 0,5772 \cdot \alpha$ e a variância $\alpha = 0,78 \cdot s$ estimadas pelo método dos momentos, em que \bar{x} é a média dos valores de x , e s é o desvio padrão da amostra (GUMBEL, 1941). A posição de plotagem para distribuição de Gumbel é dada pela equação de Gringorten (NAGHETTINI & PINTO, 2007).

A estimativa para o tempo de retorno (T) dado pela distribuição Log-Pearson III é obtida por $\log(x) = \mu + K(T, G) \cdot \sigma$ em que μ : média dos $\log(x)$; σ : desvio padrão dos $\log(x)$; K depende do tempo de retorno (T) e do coeficiente de assimetria (G), para valores de G entre -1 e 1, K pode ser estimado por (BEARD, 1962):

$$K = (2/G) \cdot \{[(Kn - (G/6)) \cdot (G/6) + 1]^{\beta} - 1\}$$

sendo K_n o coeficiente para $G = 0$. A posição de plotagem foi determinada por $P(x \leq X) = (m - 0,4)/(n + 0,1)$.

As frequências das precipitações pontuais e espacializadas foram estimadas para as precipitações diárias e para as máximas precipitações acumuladas de 2, 3, 4, 5, 10, 20 e 30 dias, assim como a estimativa dos tempos de retorno dos níveis nos rios.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise dos níveis fluviométricos

Os níveis atingidos na bacia do rio Mundaú nunca haviam sido observados. Na estação Murici-Ponte a cota de 9,8 m obtida em inspeção de campo apresenta 2 m acima do maior nível já registrado de 7,8 m, ocorrido na cheia de 2000 (Figura 2-a). Na estação Fazenda Boa Fortuna, posto próximo afoz da bacia, o nível atingido também foi obtido em inspeção de campo. Nesta estação o nível foi de 11,7 m, 1,4 m acima do máximo registrado na cheia de 2000 (Figura 2-b). Observa-se também que os níveis que atingem os maiores valores correspondem às grandes cheias históricas de 1988, 1989 e 2000.

A estação Fazenda Boa Fortuna registrou o evento em intervalos de uma hora até às 6 horas do dia 19/06/2010 (SNIRH, 2012). O nível nesta estação começou a subir no dia 17/06/2010 por volta das 21 horas com cota de 5,86 m, medição acima da cota com permanência de 5% que é de 5,71 m. No dia 18/06/2010 os registros chegam à cota de 8,10 m. A última medição realizada antes de a estação ser levada pelas águas ocorre às 6 horas do dia 19/06/2010 com nível de 8,10 e vazão de 497,39 m³/s, estimada pela curva chave da estação.

A obtenção da marca de cheia constata que os níveis do rio Mundaú na estação Fazenda Boa Fortuna chegaram à marca de 11,70 m que por extrapolação da curva chave corresponde à vazão de 950 m³/s, entretanto, a estimativa destas vazões apresenta grande incerteza (FRAGOSO JR. et al., 2010b). O nível atingido nesta estação tem o tempo

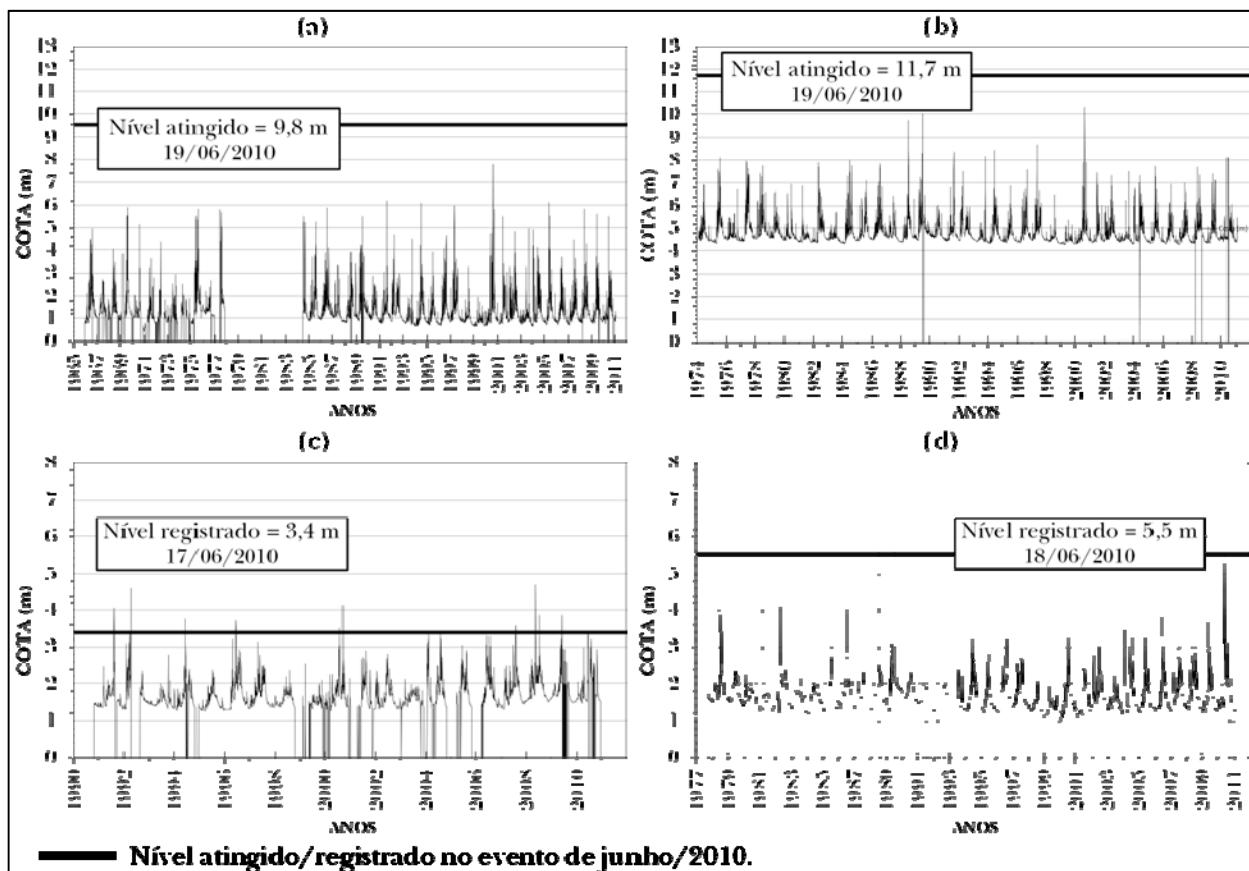


Figura 2 - Cotogramas das estações fluviométricas em: (a) Murici-Ponte e (b) Fazenda Boa Fortuna em Rio Largo, na bacia do rio Mundaú; (c) Quebrangulo e (d) Atalaia, na bacia do rio Paraíba do Meio (OLIVEIRA et al., 2011).

de retorno 439 anos estimado pela distribuição Log-Normal (Tabela 3). A simulação hidrológica realizada por Freire et al. (2011) para o mês de junho/2010 na estação fluviométrica Fazenda Boa Fortuna em Rio Largo-AL estimou uma vazão máxima de 1.177,3 m³/s no dia 19 de junho. O hidrograma simulado para o mês de junho reflete ainda a influência da precipitação antecedente, caracterizada por chuvas intensas, chegando a apresentar nos 15 dias antecedentes ao evento um pico de vazão simulado de 696,1 m³/s (FREIRE et al., 2011).

Na bacia do rio Paraíba do Meio, a excepcionalidade dos níveis ocorre na estação Atalaia, mas na estação Quebrangulo não pode ser avaliada por causa da presença de falhas. No entanto a bacia também sofreu impactos causados pela elevação do nível do rio. A estação de Quebrangulo registrou o nível de 3,4 m no dia 17/6/2010, e a partir deste dia apresenta falha, não tendo sido registrado o nível máximo para o evento e dificultando a análise dos dados por essa estação (Figura 2-c). No posto em

Atalaia, estação mais a jusante da bacia, a excepcionalidade dos níveis ocorre. Em 33 anos de registros o nível atingido de 5,5 m é superado apenas nos anos de 1988 e 1989, que também foram anos marcados pela ocorrência de eventos de cheia (Figura 2-d).

Tabela 3 - Tempo de retorno, em anos, dos níveis registrados no evento de junho de 2010.

Posto fluviométrico	Nível (m)	Log-Normal	Gumbel	Log-PearsonIII
Murici – Ponte	9,8*	41	99	**
Fazenda Boa Fortuna	11,7*	439	117	120
Quebrangulo	3,4	3	3	3
Atalaia	5,5	9	10	10

* Marcas de cheias levantadas em inspeção de campo. (ANA, 2010);

** Inconsistência, o valor não é válido para o ajuste.

Análise da precipitação pontual

As estações pluviométricas pertencentes a porção alta das bacias e que registraram o evento de junho de 2010 foram utilizadas para a análise das precipitações máximas diárias pontuais (Tabela 4). Na maior parte das estações os valores atingidos superam os máximos registrados na série histórica para o mês de junho. As estações Angelim (IPA), Calçado, Quebrangulo-2 e Santana do Mundaú-1 apresentaram precipitações altas, mas não chegaram a superar os registros históricos para o mês de junho (Colunas (a) e (b), Tabela 4). As lâminas máximas do evento confrontadas aos registros históricos da série completa permitem a observação de que o evento foi excedido em outros anos (Colunas (a) e (c), (Tabela 4)). No entanto, essas chuvas que superaram a de 2010 ocorreram principalmente nos meses de janeiro e março, período seco na bacia, onde as condições do solo não se torna uma agravante. O trimestre mais chuvoso nas bacias ocorre de maio a julho (CONSULTORIA TÉCNICA LTDA., 1999, 2001).

Na estação de Santana do Mundaú-1 a precipitação no evento é superada em junho de 2000 que também se caracterizou por um ano com histórico de cheia nas bacias e em relação à série histórica o evento também é superado em janeiro de 2004.

As séries de Correntes e Caetés-2, com 76 anos e 49 anos de dados, respectivamente, dentre as estações com maiores lâminas de precipitações durante o evento são as que possuem períodos mais longos de registros (Tabela 7 Anexo 1). As séries históricas das estações de Correntes e Caetés-2 permitem observar as lâminas precipitadas em relação aos dados registrados.

Na estação Correntes o evento de 2010 ultrapassou todos os registros correspondentes às precipitações máximas dos anos com histórico de cheias. Em 1969 (138 mm em 14/03), 1988 (126,1 mm em 17/07) e 2010 (184 mm em 19/06) as precipitações máximas anuais na estação Correntes são atingidas durante os eventos de cheia coincidindo com os maiores registros de níveis. Observa-se que em 1969 o evento de cheia ocorre no período seco da bacia e apresenta grandes proporções de destruição.

O posto Caetés-2 com lâmina máxima precipitada de 91,5 mm para o evento teve esse valor superado ou igualado em outros anos da série histórica (Tabela 4). As precipitações acumuladas nos 30 dias antecedentes ao nível atingido pela cheia na estação Caetés-2 foram de 91,9 mm (1988), 157,8 mm (1989) e 185 mm (2010). A precipitação acu-

mulada nos 30 dias antecedentes considerando o dia 19/06/2010 é de 222,7 mm.

Os dados das estações Correntes e Caetés-2 também foram avaliados para precipitação acumulada de 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20 e 30 dias e uma análise de frequência local dos dados foi realizada. Na estação Correntes a precipitação acumulada de 1 dia (184 mm) apresentou tempo de retorno estimado pela distribuição Gumbel de 126 anos. Na estação Caetés-2 a precipitação acumulada de 2 dias foi a que apresentou o maior tempo de retorno, com precipitação acumulada de 129,2 mm e tempo de retorno estimado pela distribuição Gumbel de 60 anos.

A análise das precipitações nas estações de Caetés-2 e Correntes e o estudo dos tempos de retorno das precipitações máximas, desenvolvido também por Rosal & Montenegro (2011) para outras 4 estações pluviométricas localizadas na bacia, permite apenas uma visão local da ocorrência da precipitação. O estudo das estações de forma isolada apresentam características distintas e não permite um estudo abrangente dos volumes precipitados. Muitas vezes a ocorrência de uma precipitação extrema em um local específico não é o suficiente para causar grandes impactos na bacia, mas a combinação de precipitações altas em muitos locais pode causar aumento dos níveis e provocar as inundações.

Análise espacial da precipitação

A análise espacial das precipitações foi realizada através da obtenção das isoletas de precipitação (Figura 3) para o evento ocorrido, apresentadas para os dias 17, 18 e 19 de junho e o acumulado dos 3 dias. Também foram calculadas as precipitações médias nas bacias para a série histórica entre 1962 e 1991, correspondendo a 30 anos de dados, e a precipitação média para o evento de junho de 2010, considerando os meses de maio e junho (Figura 4).

A obtenção das isoletas (Figura 3) permitiu uma análise espacial da distribuição das precipitações durante o evento e a constatação de que na parte alta das bacias as precipitações tiveram maior contribuição para os escoamentos ocorridos.

Para obtenção da série histórica espacializada (precipitação média) na porção alta das bacias foram utilizados 21 postos da bacia do rio Mundaú e 12 postos na bacia do rio Paraíba do Meio (Tabela 7 Anexo 1). Para análise espacial do evento de junho de 2010 não foi possível utilizar os mesmos postos da geração da série histórica pois muitas das estações desta análise não registraram o evento. Na análise espacial do evento de junho de 2010 foram

Tabela 4 - Precipitação diária máxima registrada na parte alta das bacias do rio Mundaú e Paraíba: (a) evento de junho de 2010, entre os dias 16 e 20; (b) série histórica para o mês de junho, desconsiderando junho de 2010; e(c) série histórica completa desconsiderando o ano de 2010.

Estação	(a) Evento jun/2010		(b) Série Histórica mês de junho		(c) Série HistóricaCompleta	
	Dia	P(mm)	Data	P(mm)	Data	P(mm)
Angelim (IPA)	18	86,0	13/06/2001	90,2	13/06/2001	90,2
Bom Conselho(IPA)	19	78,0	27/06/2007	67,0	02/08/1944	160,0
Bom Conselho(PCD)**	19	74,0	-	-	-	-
Brejão (IPA)	19	142,2	10/06/2009	58,2	10/06/2009	58,2
Caetés-2	18	91,5	02/06/1966	90,5	03/04/1984	96,8
Calçado	18	60,7	14/06/2001	78,0	21/03/2008	117,0
Canhotinho (IPA)	18	70,0	13/06/2001	63,0	25/03/2008	126,1
Capociras (IPA)	18	74,0	01/06/2005	45,0	01/03/2008	140,0
Correntes	19	184,0	26/06/1963	117,8	10/05/1989	151,1
Garanhuns (IPA)	19	80,2	14/06/2001	64,0	30/03/1924	108,5
Jucati (IPA)	18	66,0	26/06/1964	60,8	29/01/1992	144,2
Quebrangulo-2	19	52,2	20/02/2007	72,8	17/09/2000	94,4
Santana do Mundaú-1	19	98,1	26/06/2000	121,0	15/01/2004	142,0
São João (IPA)	19	93,5	13/06/2001	54,0	27/03/2005	115,0
São José da Laje-1*	18	67,9	06/06/2000	91,2	24/08/1992	231,5

* A estação São José da Laje-1 apresentou falha nos dias 19 e 20/6/2010; ** A estação Bom Conselho(PCD) apresenta dados somente a partir de abril de 2010.

identificados os postos da parte alta da bacia que registraram o evento, sendo selecionadas 11 estações pluviométricas na bacia do rio Mundaú e 6 estações na bacia do rio Paraíba do Meio (Tabela 7 Anexo 1).

Na bacia do rio Mundaú a maior precipitação média da porção alta da bacia ocorreu no dia 18/06/2010 com valor de 70 mm (Figura 4). Ao longo da série histórica gerada para a bacia, de 1962 a 1991, este valor é superado apenas no ano de 1962. Pela série histórica desta bacia o ano de 1962 apresenta valores bem superiores aos registrados na série, mas como não existem dados de níveis ou vazões não foi possível confrontar os valores. Além de 1962 a precipitação acumulada de 2010 na bacia não é excedida nos acumulados de 1, 2 e 3 dias em nenhum outro ano.

O acumulado de 4 e 5 dias supera o de 2010 nos anos de 1962 e 1969. Em 1969 a precipitação acumulada excede a ocorrida em 2010 a partir do acumulado de 4 dias e o nível na estação pluviométrica de Murici é registrado e atinge 5,9 m, que apresenta tempo de retorno de cerca 5 anos pelas distribuições Gumbel e Log-Normal, não sendo um nível tão excepcional para essa estação. O evento de 1969 apresentou maiores proporções no município

de São José da Laje com a elevação dos níveis no rio Canhotinho afluente do rio Mundaú, conforme relatos históricos, mas não existem estações pluviométricas nem registros de níveis para esse afluente.

Na cheia de 1988 a precipitação acumulada supera a de 2010 para os acúmulos de 10 e 30 dias, e o nível registrado neste evento de 9,8 m (18/07/1988) é o quarto maior nível registrado na série de 37 anos desta estação. Os tempos de retorno estimados para esse nível são de 21 anos pela distribuição Log-Normal, 18 pela distribuição Log-Pearson III e 16 anos pela distribuição Gumbel. Para as precipitações médias acumuladas de 10 e 30 dias em 2010, os valores são superados em diversos anos. Para o acumulado de 20 dias a precipitação média de 2010 é superada apenas em 1964 e 1969.

As precipitações médias na porção alta da bacia do rio Mundaú e os níveis ocorridos na estação Fazenda Boa Fortuna foram analisados para os anos 1988, 1989 e 2010 que nos eventos de cheia atingiram as cotas máximas de 9,77 m (18/07/1988), 10 m (13/07/1989) e 11,70 m (19/06/2010) e as precipitações média acumuladas de 1 dia e 30 dias antecedentes aos maiores níveis foram: 53,4 mm e 419,1 mm em 1988; 30,9 mm e

332,1 em 1989; e 70 mm e 339 mm em 2010. Os tempos de retorno associados às lâminas acumuladas diárias e de 30 dias são, respectivamente, pela distribuição Gumbel, 6 e 11 anos (1988), 2 e 4 anos (1989), 17 e 4 anos (2010). Em junho de 2010, a precipitação acumulada de 2 dias na bacia do rio Mundaú é a que apresenta maior excepcionalidade com tempos de retorno estimados de 167 anos pela distribuição Log-Normal (Tabela 5).

As precipitações acumuladas (1, 2, 3, 4, 5, 10, 20 e 30 dias) no evento de 2010, para a bacia do rio Paraíba do Meio, no período da série histórica gerada de 1962 a 1991, não foi superada para os acumulados de 1 e 2 dias por nenhum outro ano. Os anos de 1972 e 1975 a partir do acúmulo de 3 dias e o de 1963 e 1964 a partir do acúmulo de 4 dias superam as precipitações de 2010. Não foi possível avaliar a ocorrência de cheias para esses anos, pois não existem registros de níveis nas estações.

Em 1981 a precipitação acumulada superou a de 2010 para 4, 5 e 10 dias, no entanto esses volumes ocorreram em março, mês seco na bacia, e o registro denível na estação Atalaia foi 4,2 m, não sendo considerado um nível excepcional. Nos maiores níveis ocorridos nesta estação 6,64 m em 17/07/1988, 6,73 m em 12/07/1989 e 5,5 m em 18/06/2010, as precipitações acumuladas diárias e nos 30 dias antecedentes foram 22,7 mm e 232,6 mm, 26,9 mm e 185,2 mm, e 88,8 mm e 286,4 mm. Os tempos de retorno das precipitações diárias e de 30 dias foram de 1 e 2 anos pela distribuição Gumbel para os anos de 1988 e 1989. Em 2010, a precipitação diária de 88,8 mm foi a mais excepcional com tempo de retorno estimado em 157 anos pela distribuição Log-Pearson III).

Tabela 5 - Tempo de retorno (T), em anos, do evento de junho de 2010, na parte alta da bacia do rio Mundaú.

Chuva máxima jun/2010 (mm)	Log-Normal	Log-Gumbel	Log-Pearson III
1 dia	70	25	17
2 dias	135,4	167	115
3 dias	153,4	22	18
4 dias	164,2	5	6
5 dias	171,2	22	20
10 dias	192	6	6
20 dias	339,6	13	15
30 dias	419,2	10	11

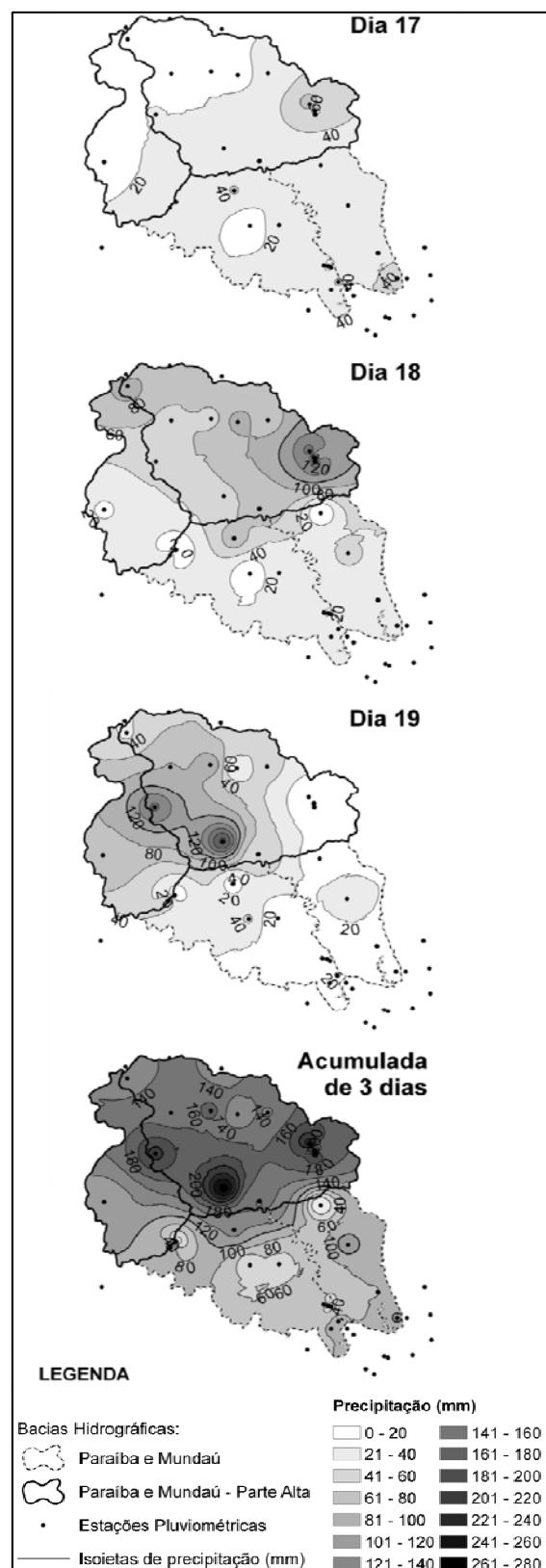


Figura 3 - Mapas de precipitação para os dias 17,18 e 19 de junho, e acumulada dos 3 dias.

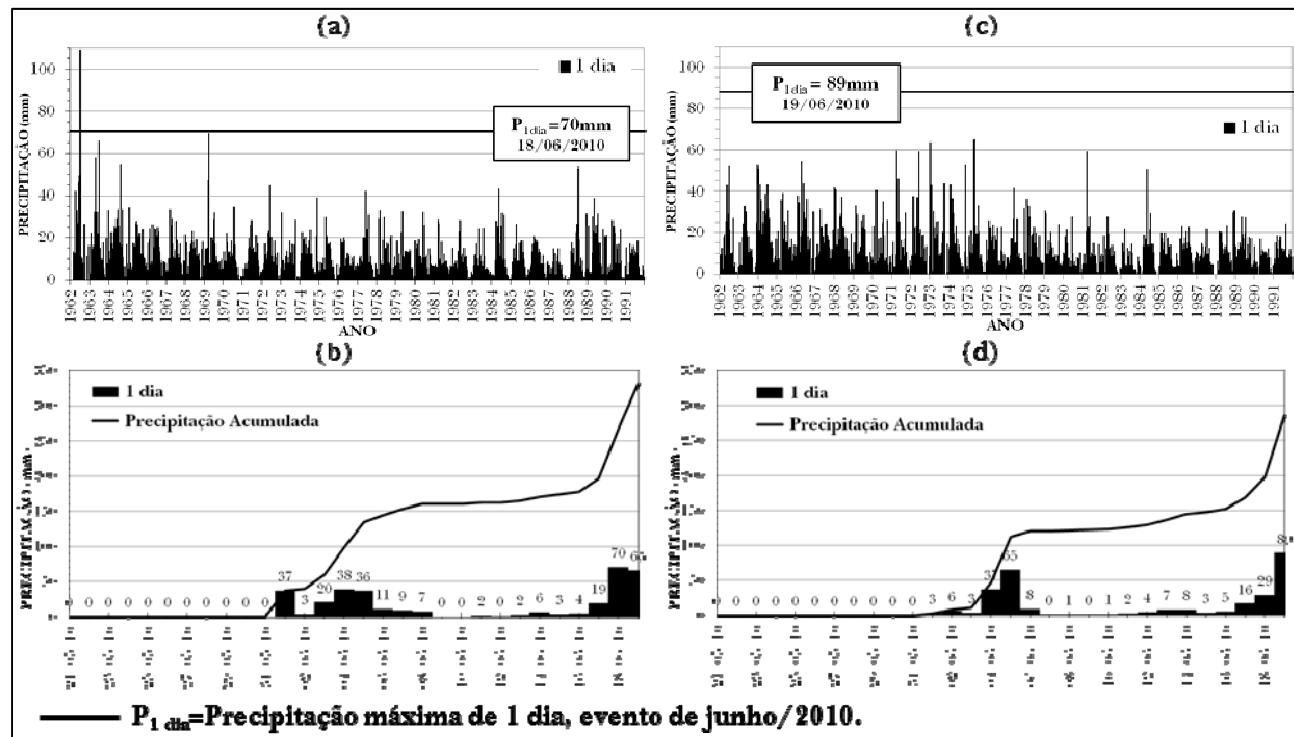


Figura 4 - Precipitações médias diárias, série histórica (1962-1991), na parte alta das bacias hidrográficas dos rios: (a) Mundaú e (c) Paraíba do Meio; precipitação média nas bacias para o evento de junho de 2010, (b) Mundaú e (d) Paraíba do Meio.

Tabela 6 - Tempo de retorno (T), em anos, do evento de junho de 2010, na parte alta da bacia do rio Paraíba do Meio.

Chuva máx. jun/2010 (mm)	Log-Normal	Log-Gumbel	Log-Pearson III
1 dia	88,8	86	141
2 dias	117,7	34	43
3 dias	134	8	8
4 dias	138,5	5	6
5 dias	141,5	6	6
10 dias	170,7	3	3
20 dias	288,9	5	5
30 dias	370,6	5	5

Através da análise do hidrograma nas estações do rio Paraíba do Meio para os eventos de 1988, 1989 e 2010 verifica-se que o nível do rio em 2010, teve condição antecedente menos agravante, e evitou cotas mais elevadas do hidrograma, apesar de o volume precipitado ter sido maior do que nas

cheias de 1988 e 1989. Em 1988 e 1989, quando ocorrem os maiores níveis da série a cota do rio se encontrava alta e apesar de não haver grandes picos de precipitação a ocorrência da precipitação nos 30 dias antecedentes apresenta-se de forma gradativa. A precipitação diária em 2010 apresentou altos valores se tornando ainda mais relevante, pois estamos considerando a precipitação média ao longo de toda a área de drenagem da parte alta.

CONCLUSÕES

O evento de cheia de 2010 apresentou lâminas precipitadas excepcionais e a distribuição espacial da chuva ao longo das bacias, vindo da cabeceira em sentido a foz, acompanhando a onda de cheia, contribuíram para os altos níveis atingidos pelos rios em um curto intervalo de tempo. O evento ocorreu durante o período chuvoso da bacia, período compreendido entre os meses de maio e julho, indicando que a chuva antecedente foi fator

determinante para intensificação da cheia, uma vez que solo e reservatórios (açudes) já estavam saturados no momento do evento, colaborando assim para os grandes volumes escoados superficialmente.

As análises dos níveis confirmaram a excepcionalidade do evento em relação aos níveis registrados nas séries históricas. Apesar da devastação ter ocorrido nas duas bacias, no rio Mundaú os níveis foram mais acentuado do que os atingido na bacia do rio Paraíba do Meio.

A análise pontual da precipitação não permite identificar se as chuvas ocorridas possuem grande impacto nas bacias. Uma forma de tratamento mais adequada consiste da análise espacializada que possibilita estimar a precipitação média ao longo de toda a área e avaliar a importância dos volumes nos níveis dos rios. O acúmulo das precipitações em diversos intervalos permitiu considerar a distribuição temporal das lâminas.

As grandes quantidades de chuva em um curto intervalo de tempo aliadas a saturação do solo, altas declividades, açudes cheios, condições e ocupação das margens dos rios foram agravantes a magnitude do evento. As ocupações na planície de inundação agravam a situação, pois o aumento dos níveis e velocidades dos escoamentos que causaram enxurradas provocaram perdas humanas e destruição das edificações.

AGRADECIMENTO(S)

À SEMARH/AL e ao ITEP/PE pela pronta disponibilização das informações que resultaram no Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação do primeiro autor deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional de Águas. Modernização da Rede de Monitoramento das bacias dos rios Mundaú, Ipanema, Camaragibe, Jacuípe, São Miguel e Coruripe com vistas a apoiar um futuro Sistema de Previsão de Eventos Hidrológicos Críticos do Estado de Alagoas. Agência Nacional de Águas. [S.I.], 22 p. 2010.

ANA - Agência Nacional de Águas. Séries Históricas. HidroWeb - Sistema de Informações Hidrológicas, 2005. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: Janeiro 2011.

ALAGOAS (Estado). Governador (1989-1990: Moacir Andrade). Secretaria de Planejamento. Programa de reabilitação e reconstrução do Estado de Alagoas - Diagnóstico da Região das Bacias dos Rios Mundaú e Paraíba. Alagoas, 1990.

BANCO MUNDIAL. Avaliação de Perdas e Danos - Inundações Bruscas em Pernambuco - Junho de 2010. Brasília, novembro de 2012a. Disponível em: <http://www.ecapra.org/sites/default/files/documents/DaLA_Pernambuco_Final_Baixa_Resolucao_0.pdf>.

BANCO MUNDIAL. Avaliação de Perdas e Danos - Inundações Bruscas em Alagoas - Junho de 2010. Brasília, novembro de 2012b. Disponível em: <http://www.ecapra.org/sites/default/files/documents/DaLA_Alagoas_Final_2_Baixa_Resolucao.pdf>.

BEARD, L. R. (1962). Statistical methods in hydrology. Davis: US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Número de óbitos em Alagoas baixou para 26, 12 julho de 2010a. Disponível em: <<http://www.mi.gov.br/comunicacao/noticias/noticia.asp?id=5121>>. Acesso em: Dezembro 2012.

BRASIL. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Gabinete do Ministro. Reconhece Estado de Calamidade Pública nas áreas dos Municípios do Estado de Alagoas-AL. Portaria n.º 422, de 24 de junho de 2010b. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 jun. 2010. p. 63.

BRASIL. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Gabinete do Ministro. Reconhece Estado de Calamidade Pública nas áreas dos Municípios do Estado de Pernambuco-PE. Portaria n.º 424, de 24 de junho de 2010c. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 jun. 2010. p. 63-64.

BRASIL. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Gabinete do Ministro. Reconhece Situação de Emergência nas áreas dos Municípios do Estado de Pernambuco-PE. Portaria n.º 423, de 24 de junho de 2010d. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 jun. 2010. p. 63.

CEPED - Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Atlas Brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010: volume Brasil. Florianópolis: CEPEDUFSC, 2012.

CONSULTORIA TÉCNICA LTDA. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Mundaú. Governo do Estado de Pernambuco - Secretaria de Recursos Hídricos. [S.I.]. 1999.

CONSULTORIA TÉCNICA LTDA. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia dos Rios Paraíba/Sumaúma/Remedios. Governo do Estado de Pernambuco - Secretaria de Recursos Hídricos. [S.I.]. 2001.

FRAGOSO JR., C. R.; FREIRE, C. C.; PEDROSA, V. DE A.; SOUZA, V. C. B. DE. Cheias nas bacias dos rios Mundaú e Paraíba - Histórico. Apresentação em meio digital. Maceió, 2010a.

FRAGOSO JR., C. R.; PEDROSA, V. DE A.; SOUZA, V. C. B. DE. Reflexões sobre a Cheia de Junho de 2010 nas Bacias do Rio Mundaú e Paraíba. Fortaleza: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste - SRHN, 2010b.

FREIRE, P. A. F.; CHAVES, M. B.; AMORIM, A. G. S. DE; OLIVEIRA, D. L.; FRAGOSO JR., C. R. F. Modelagem chuva-vazão para a cheia de junho de 2010 no município de Rio Largo/AL. Maceió: Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011.

GUIBU, F. Falsos desabrigados tentam casa em AL. Jornal Folha de São Paulo, São Paulo, p. C10, 4 jul. 2010.

GUMBEL, E. The return period of flood flows. The annals of mathematical statistics, 12(2), 163–190, 1941. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/10.2307/2235766>>.

ITEP - Instituto de Tecnologia de Pernambuco -. Banco de dados pluviométrico. Disponível em: <<http://www.itep.br/LAMEPE.asp>>. Acesso em: Maio 2011.

KOMORI, D.; NAKAMURA, S.; KIGUCHI, M.; NISHIJIMA, A.; YAMAZAKI, D.; SUZUKI, S.; KAWASAKI, A.; OKI, K.; OKI, T. Characteristics of the 2011 Chao Phraya River flood in Central Thailand. Hydrological Research Letters, 6, 41–46, 2012. doi:10.3178/hrl.6.41

MARSH, T. J. The January 2003 flood on the Thames. Weather, 59(3), 59–62, 2004. doi:10.1256/wea.212.03

MEDEIROS, V. S.; BARROS, M. T. L. DE. Análise de eventos críticos de precipitação ocorridos na região serrana do Estado do Rio de Janeiro nos dias 11 e 12 de janeiro de 2011. Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió, 2011.

MIKHAILOVA, M. V.; MIKHAILOV, V. N.; MOROZOV, V. N. Extreme hydrological events in the Danube River basin over the last decades. Water Resources, 39(2), 161–179, 2012. doi:10.1134/S0097807812010095

NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. DE A. Hidrologia Estatística. Belo Horizonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2007. v.

552p. 552

OLIVEIRA, D. L.; SOUZA, V. C. B. DE; FRAGOSO JR., C. R. Análise das precipitações e níveis do evento de junho de 2010 nas bacias dos rios Mundaú e Paraíba, em Alagoas e Pernambuco. Maceió: Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011.

REIS, L. G. DE M.; JÚNIOR, O. B. DA S.; PEDROSA, V. A. Análise da Cheia de Agosto de 2000 no Rio Mundaú em Alagoas. Natal: Anais do V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2000.

ROSAL, M. C. F., & MONTENEGRO, S. M. G. L. Estudo da distribuição de probabilidade para precipitações máximas na bacia do rio Mundaú. Maceió: Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011.

SALDANHA, C. B.; COLLISCHONN, W.; MARQUES, M. O Evento de chuva intensa de janeiro de 2009 sobre a Região de Pelotas-RS. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 17, p. 255-265, 2012.

SEMARH/AL - Secretaria de Estado do Meio Ambiente edos Recursos Hídricos. Dados diários de chuva. Banco de Dados Hidrometeorológicos – BDHM. Diretoria de Meteorologia – DMET. Maceió. 2011.

SNIRH - Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. Sistema de Monitoramento Hidrológico. Portal do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos, 2002. Disponível em: <<http://portalsnirh.ana.gov.br>>. Acesso em: Dezembro 2012.

SOUZA, J. C. O. DE. Análise do Evento Climático Extremo Ocorrido na Região Leste de Alagoas: Bacias Hidrográficas dos Rios Mundaú e Paraíba do Meio. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 02, p. 377–395, 2011.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. Desastres Naturais: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196 p.

TUCCI, C. E. M. As inundações do Norte e Nordeste. Blog do Tucci, 24 Maio 2009. Disponível em: <<http://rhama.net/wordpress/?p=95>>. Acesso em: Janeiro 2012.

UOL. Volume extremo de chuvas em Pernambuco aumentou tragédia em Alagoas. UOL Notícias, 2010. Disponível em: <<http://noticias.uol.com.br/cotidiano/2010/06/24/chuvas-em-pernambuco-e-ao-sentencia-de-barragens-de-contencao-causaram-tragedia-em-alagoas-diz-secretario.jhtm>>. Acesso em: Março 2011.

VAN DEN HONERT, R. C.; MCANENEY, J. The 2011 Brisbane Floods: Causes, Impacts and Implications. *Water*, 3(4), 1149–1173, 2011. doi:10.3390/w3041149

June 2010 Flood In The Mundaú And Paraíba Do Meio River Basins In Pernambuco And Alagoas: Descriptive Approach

ABSTRACT

The flood occurred in June 2010 in the basins of the Mundaú and Paraíba do Meio Rivers, in the states of Alagoas and Pernambuco and resulted in deaths, destruction / flooding of homes, lack of water and electricity and falling bridges. The event was widely reported and some of the reasons given were: the breaking of dams and weirs, exceptionally heavy rains and opening floodgates. None of these reasons alone seemed to explain the magnitude of the flood event and its velocity. Thus, this study aimed to evaluate the occurrence of the event hydrologically, analyzing water levels and rainfall, considering the region of formation of the full, antecedent precipitation, and other hydrological factors. Data were analyzed from 4 gauged stations and 73 rainfall stations. For precipitation, the data were treated in a timely manner, spatialized also considering the cumulative rainfall for various durations. At the Boa Fortuna gauged station the water level exceeded all levels ever recorded in the historical series and reached 11.7 m, with a return time estimated by Log-Normal distribution of 439 years. The average rainfall (specialized) accumulated for two days in the Mundaú river basin with 135.4 mm had the greatest return time, estimated as 167 years using the Log-Normal distribution. It is shown here that large quantities precipitated added to the antecedent condition of the basin, and the spatial and temporal distribution of rainfall were crucial to the severity of the event.

Key-words: floods, descriptive hydrology, intense rainfall

ANEXO 1

Tabela 7 - Postos pluviométricos utilizados.

Estação	UF	Fonte	Código	Período*	Utilização**
Angelim (IPA)	PE	ITEP	-	1993 – 2010 (18 anos)	(1) (4)
Atalaia (PCD INPE)	AL	ANA	00936110	1989 – 2010 (19 anos)	(1)
Atalaia (ANA)	AL	SEMARH	10040101	1995 – 2010 (6 anos)	(1)
Atalaia (Defesa Civil - Estação)	AL	SEMARH	10240104	2010 – 2010 (1 ano)	(1)
Barra do Brejo	PE	ANA	00936000	1962 – 1994 (32 anos)	(3)
Bom Conselho(IPA)	PE	ITEP	-	1933 – 2010 (55 anos)	(1) (5)
Bom Conselho(PCD)	PE	ITEP	-	2010 – 2010 (1 ano)	(1) (5)
Brejão-1	PE	ANA	00936003	1962 – 1989 (27 anos)	(2) (3)
Brejão-2	PE	ITEP	-	1962 – 2007 (42 anos)	(2) (3)
Brejão (IPA)	PE	ITEP	-	2006 – 2010 (4 anos)	(1) (4) (5)
Cactés-1	PE	ANA	00836008	1962 – 1989 (28 anos)	(2) (3)
Cactés-2	PE	ITEP	-	1962 – 2010 (39 anos)	(1) (2) (3) (4) (5)
Calçado	PE	ITEP	-	1997 – 2010 (10 anos)	(1) (4)
Canhotinho (IPA)	PE	ITEP	-	1963 – 2010 (18 anos)	(1) (4)
Canhotinho (Paquevira)	PE	ITEP	-	1963 – 1998 (30 anos)	(2)
Capoeiras (IPA)	PE	ITEP	-	1997 – 2010 (7 anos)	(1) (4)
Chã Preta (SEMARH)	AL	SEMARH	10540801	2007 – 2010 (4 anos)	(1)
Cinal (Marcchall Deodoro)	AL	SEMARH	10050901	1994 – 2010 (13 anos)	(1)
Correntes	PE	ITEP	-	1935 – 2010 (71 anos)	(1) (2) (4)
Correntes (Poço Comprido)	PE	ITEP	-	1963 – 2002 (31 anos)	(2)
Correntes 806	PE	ANA	00936004	1935 – 1989 (54 anos)	(2)
Fazenda Boa Fortuna (PCD INPE)	AL	ANA	00935056	1989 – 2010 (22 anos)	(1)
Garanhuns (IPA)	PE	ITEP	-	1920 – 2010 (57 anos)	(1) (4) (5)
Ibateguara (Piquete)	AL	ANA	00835073	1963 – 1989 (25 anos)	(2)
Jucati (IPA)	PE	ITEP	-	1963 – 2010 (47 anos)	(1) (2) (4)
Jucati (Pindorama)	PE	ANA	00836020	1962 – 1993 (32 anos)	(2)
Jurema-1	PE	ANA	00836021	1962 – 1993 (32 anos)	(2)
Jurema-2	PE	ITEP	-	1963 – 2007 (45 anos)	(2)
Lajedo-1	PE	ANA	00836022	1962 – 1992 (31 anos)	(2)
Lajedo-2	PE	ITEP	-	1962 – 2007 (45 anos)	(2)
Maceió (Corpo de Bombeiros)	AL	SEMARH	11000006	2008 – 2010 (3 anos)	(1)
Maceió (Aterro Sanitário)	AL	SEMARH	11000001	2010 – 2010 (1 ano)	(1)
Maceió (Jacarecica - SEMARH)	AL	SEMARH	11000004	2009 – 2010 (2 anos)	(1)
Maceió (Tabuleiro - INMET)	AL	SEMARH	10650602	2005 – 2010 (3 anos)	(1)
Marechal Deodoro	AL	ANA	00935057	1990 – 2010 (20 anos)	(1)
Munguba	AL	ANA	00936033	1963 – 1989 (24 anos)	(2)
Murici	AL	ANA	00935012	1963 – 2010 (48 anos)	(1)
Palmeira dos Índios	AL	ANA	00936034	1913 – 1985 (69 anos)	(3)
Palmeira dos Índios (INMET)	AL	SEMARH	10631303	2005 – 2010 (1 ano)	(1)
Paquevira (Glicério)	PE	ANA	00836026	1963 – 1991 (29 anos)	(2)
Paranatama	PE	ITEP	-	1962 – 2007 (44 anos)	(3)
Paranatama (Itacoatiara)	PE	ANA	00836027	1962 – 1990 (29 anos)	(3)
Poço Comprido	PE	ANA	00936008	1962 – 1992 (31 anos)	(2)
Quati	PE	ANA	00936009	1962 – 1993 (31 anos)	(3)
Quebrangulo-1	AL	ANA	00936041	1913 – 1994 (82 anos)	(3)
Quebrangulo-2	AL	ANA	00936115	1990 – 2010 (18 anos)	(1) (5)

Estação	UF	Fonte	Código	Período*	Utilização**
Quebrangulo (SEMARH)	AL	SEMARH	10531503	2007 – 2010 (4 anos)	(1)
Rio Largo (Faz. Boa Fortuna - ANA)	AL	SEMARH	10042203	2008 – 2010 (3 anos)	(1)
Saloá	PE	ITEP	-	1962 – 2007 (46 anos)	(3)
Saloá (Barro)	PE	ANA	00836041	1962 – 1993 (28 anos)	(3)
Santana do Mundaú-1	AL	ANA	00936114	1990 – 2010 (18 anos)	(1) (4)
Santana do Mundaú-2	AL	ANA	00936045	1963 – 2000 (35 anos)	(2)
Santana do Mundaú (SEMARH)	AL	SEMARH	10042502	2008 – 2010 (3 anos)	(1)
São João (IPA)	PE	ITEP	-	1997 – 2010 (11 anos)	(1) (4)
São José da Laje-1	AL	ANA	00936112	1990 – 2010 (21 anos)	(1)
São José da Laje-2	AL	ANA	00936047	1963 – 1989 (25 anos)	(2)
São José da Laje (SEMARH)	AL	SEMARH	10042601	1997 – 2010 (14 anos)	(1)
União dos Palmares	AL	ANA	00936053	1913 – 1992 (72 anos)	(2)
Usina Cachocira (Macció)	AL	SEMARH	10251801	2001 – 2010 (10 anos)	(1)
Usina Capricho (Cajueiro)	AL	SEMARH	10240901	1994 – 2010 (18 anos)	(1)
Usina Capricho (Cajueiro) - Estação	AL	SEMARH	10240911	2009 – 2010 (2 anos)	(1)
Usina Laginha (União dos Palmares)	AL	SEMARH	10242801	1995 – 2010 (16 anos)	(1)
Usina Serra Grande (S. J. da Laje)	AL	SEMARH	10242901	1994 – 2010 (17 anos)	(1)
Usina Sumaúma (Marechal Deodoro)	AL	SEMARH	10250301	1994 – 2010 (14 anos)	(1)
Usina Terra Nova - Grujaú (Pilar)	AL	SEMARH	10251406	2001 – 2010 (4 anos)	(1)
Usina Terra Nova - Imburi (Pilar)	AL	SEMARH	10251402	2001 – 2010 (10 anos)	(1)
Usina Terra Nova - Palmeiral (Pilar)	AL	SEMARH	10251403	2001 – 2010 (4 anos)	(1)
Usina Terra Nova - Prt. Madeira	AL	SEMARH	10251405	2001 – 2010 (4 anos)	(1)
Usina Terra Nova - TN(Pilar)	AL	SEMARH	10250201	1995 – 2010 (16 anos)	(1)
Usina Uruba (Atalaia)	AL	SEMARH	10242701	2001 – 2010 (10 anos)	(1)
Usina Utinga Leão (Rio Largo)	AL	SEMARH	10241901	1995 – 2010 (16 anos)	(1)
Viçosa	AL	ANA	00936111	1989 – 2010 (16 anos)	(1)

* Entre parênteses encontra-se a quantidade de anos com dados disponíveis.

** Indicação da utilização dos postos pluviométricos

(1) Obtenção dos mapas de precipitação para os meses de maio e junho de 2010;

Período de 1962-1991: análise da série histórica e obtenção das precipitações médias na parte alta das bacias do

(2) rio Mundaú e (3) rio Paraíba do Meio;

Evento de junho/2010: análise pontual e obtenção das precipitações médias na parte alta das bacias do

(4) rio Mundaú e (5) do rio Paraíba do Meio.