

Rio Madeira: a cheia histórica de 2013/2014

Ana Cristina Strava Corrêa

Luiz Gilberto Dall'Igna

Marcelo José Gama da Silva

Astrea Alves Jordão

INTRODUÇÃO

Dentre as atividades do Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM), em Porto Velho, o apoio à Defesa Civil ao lado da meteorologia são as que permitem a integração do órgão com as necessidades imediatas da sociedade do Estado de Rondônia. Um evento de grandes proporções, como a cheia de 2014, demanda esforços de todas as instituições, seja pelos impactos sobre a infraestrutura e equipamentos urbanos, ou para mitigação dos mesmos. O SIPAM-PV atuou no último grupo, colocando a equipe do Centro Regional de Porto Velho e equipamentos a serviço da Defesa Civil dos Municípios atingidos.

A compreensão dos eventos hidrológicos requer a análise de séries históricas de vazão ou nível em várias estações fluviométricas ao longo da bacia hidrográfica. A grande vantagem em observá-las decorre do fato de que elas integram o resultado de todos os processos ocorridos à montante. Tomando-se como base a equação do balanço hídrico superficial (1), apresentada em Souza Pinto (2013), pode-se inferir que o escoamento superficial registrado na calha dos rios é o que sobrou das chuvas, descontados os volumes de infiltração, evaporação e transpiração.

$P - R + R_g - I - E - T =$ variação do armazenamento superficial.....(1)

Onde:

P = precipitação;

R = escoamento superficial;

R_g = escoamento de base;

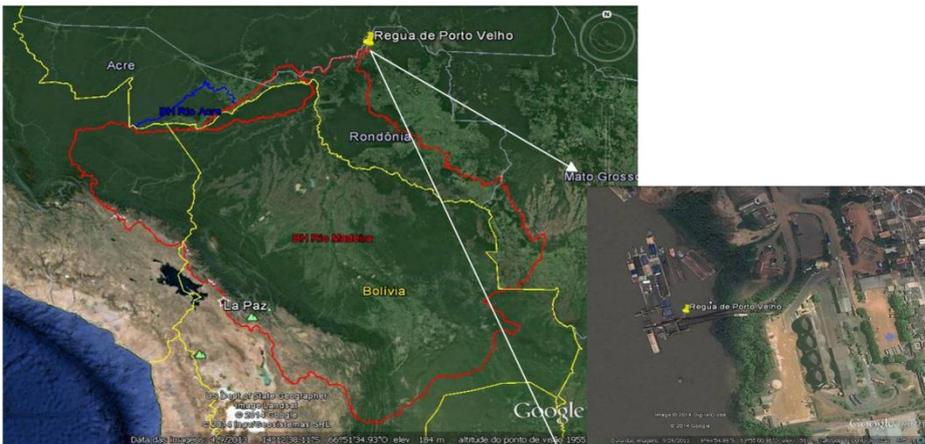
I = Infiltração;

E = evaporação

T = transpiração

Dessa forma, ao se avaliar a frequência dos eventos de vazão, indiretamente, trabalha-se a recorrência dos eventos meteorológicos que os provocaram. A avaliação da recorrência e magnitude de eventos de cheia é baseada na teoria estatística aplicada sobre a base de dados da série histórica de estações que compõem a rede hidrométrica nacional disponíveis para a bacia do Rio Madeira. Dessa forma, são utilizados os dados de cota (ou nível) obtidos da série histórica da estação de Porto Velho, de responsabilidade da Agência Nacional de Águas e operada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM). A mesma encontra-se localizada no Estado de Rondônia e cadastrada na rede hidrométrica nacional sob o código 15.40.00.00. Essa estação integra toda a bacia à montante de Porto Velho, que possui uma área de drenagem de 980 mil km² (Figura 1). Observa-se que a área em questão inclui o Sul do Peru, a Bolívia, em quase toda sua extensão territorial e partes dos estados de Rondônia e Mato Grosso. A necessidade de monitoramento dos eventos hidrometeorológicos fora do território nacional torna mais complexa a modelagem dos eventos hidrológicos.

Figura 1: Abrangência da área de captação da bacia do Rio Madeira (em vermelho) com detalhe da localização da régua de Porto Velho-RO – estação 15.40.00.00.



Fonte: Autores

A cheia 2013-2014: Os impactos da cheia histórica repercutiram em várias esferas de serviços e atividades socioeconômicas. A elevação do Rio Madeira provocou a inundação da área portuária de Porto Velho que atua como centro de distribuição de bens, combustíveis e alimentos não só para

Porto Velho, mas inclui os estados de Rondônia, Acre e, parcialmente, o escoamento de grãos de Mato Grosso. O impacto da interrupção desses serviços hidroviários foi agravado pela interrupção da BR-364, provocando o isolamento das localidades de Guajará-mirim, Nova Mamoré, Abunã além de todo o estado do Acre. A Figura 2 ilustra os danos ao patrimônio público, privado, histórico e de transporte.

Figura 2: Av. Rogério Weber em Porto Velho, acima à esquerda e no sentido horário, Praça Madeira-Mamoré, Rodovia BR-364 sentido Acre e botijões de gás flutuando no pátio do setor de combustíveis em Porto Velho.

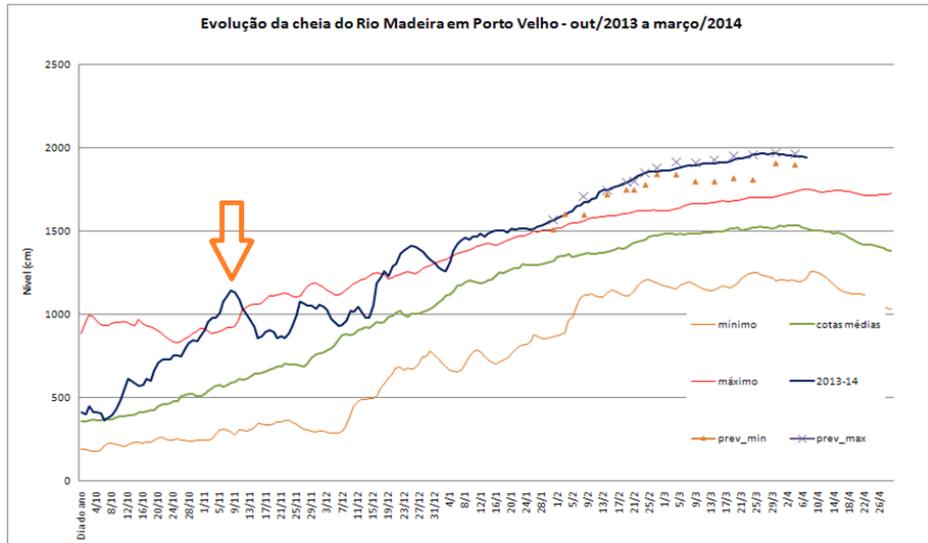




Fotos: Astrea Jordão

As sucessões dos eventos que culminaram na cheia de março de 2014 se iniciaram no mês de novembro, conforme ilustra o cotograma registrado pela estação de Porto Velho (Figura 3). Nota-se que, embora o nível ainda estivesse abaixo da cota de transbordamento em Porto Velho (de 15m segundo a Defesa Civil) a marca batia o primeiro recorde acima das máximas históricas da série histórica de 48 anos.

Figura 3: Evolução das cotas do Rio Madeira em Porto Velho, segundo registros das máximas, mínimas e médias da série de registros da estação 15.40.00.00



Fonte: Autores

A partir dessa observação foi montada uma sala de situação no SIPAM, onde a equipe se propôs a antecipar os eventos que se seguiriam.

METODOLOGIA

Análise espacial da chuva: A chuva na bacia é monitorada por sensoriamento remoto devido à extensão territorial (980 mil km²) com mais de 60% localizada nos países vizinhos (Bolívia e Peru). Os dados foram obtidos dos registros da missão “Tropical Rainfall Measurement Mission” TRMM, da Nasa.

Análise do risco de inundação: Utilizando técnicas de geoprocessamento, por meio de ferramentas de SIG e validação em campo, as áreas identificadas, por meio das cotas de inundação do Rio Madeira foram traçadas a partir do Modelo Digital do Terreno (MDT) de Porto Velho. Esse último foi obtido do aerolevante contratado pela empresa Santo Antônio Energia em 2011, constando da produção de ortofotos coloridas com resolução espacial de 40 cm, no qual foi possível gerar e editar curvas de nível com boa precisão equidistante 0,5 m. A transferência dos níveis para o terreno foi validada a partir da cota do NR localizado no DNPM, com cota IBGE 2011, por meio de nivelamento até à régua linimétrica da ANA.

Análise hidrológica do tempo de recorrência: Estatisticamente, o tempo de recorrência de um evento é definido como o inverso da probabilidade excedente (Tucci, 1993). Assim, o inverso do período de retorno - ou recorrência (1/T) é a probabilidade de um evento ser igualado ou superado em um ano qualquer. Para cálculo da probabilidade (p) aplicou-se o método estatístico de Gumbel, em que a mesma é definida na equação (2):

$$p = 1 - e^{-(e^{-y})}, \text{ onde } \dots\dots\dots (2)$$

e = base dos logaritmos neperianos; e
y = variável reduzida de Gumbel.

A variável reduzida de Gumbel utiliza dois parâmetros estatísticos da série histórica: a média das máximas e o desvio padrão da amostra, sendo calculado pela equação a seguir.

$$y = (X - X_m + 0,45S_q) / (0,7797.S_q), \text{ onde}$$

X = evento a ser superado;
X_m = média das máximas anuais
S_q = desvio padrão das máximas

Para a série histórica do Rio Madeira, os valores da amostra de eventos

de máximas cotas anuais foram selecionados a partir do ano de 1968, resultando nos valores abaixo com referência ao zero arbitrado para a régua do Porto Graneleiro:

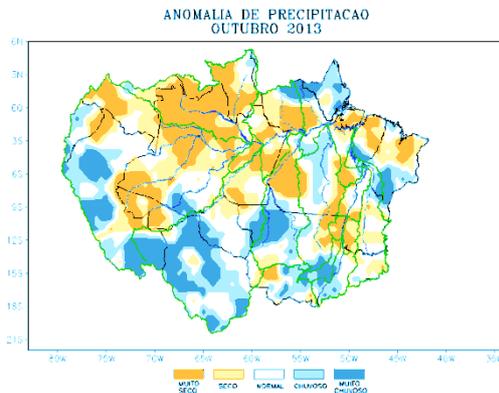
Média das cotas máximas anuais = 1571 cm

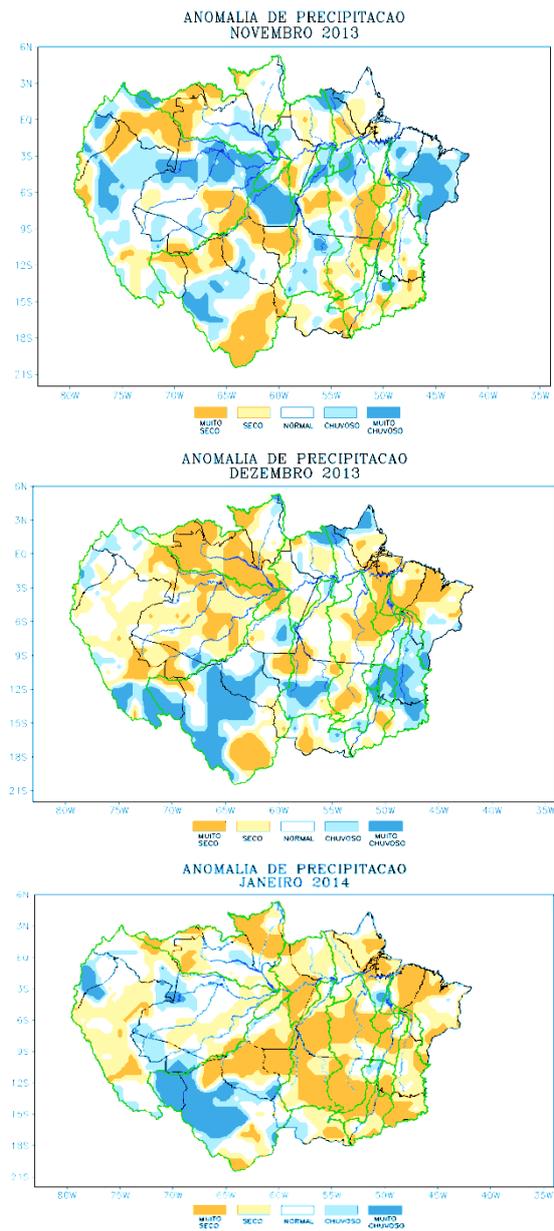
Desvio Padrão das máximas anuais = 122,01 cm

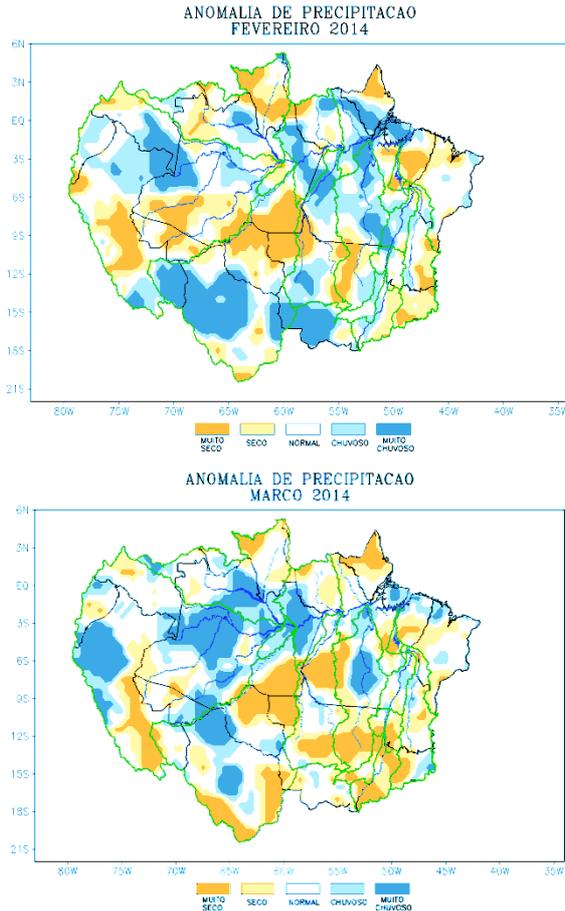
ANÁLISE

O volume de chuvas acima da média, durante a estação chuvosa 2013 / 2014 com conseqüente elevação do nível do Rio Madeira, em Porto Velho, foi coerente com a ocorrência de precipitações registradas pelo CPC/NCEP (Climate Prediction Center / National Center for Environmental Prediction) na bacia de captação que inclui praticamente toda a Bolívia, Sul do Peru, parte de Rondônia e do Mato Grosso. A Figura 4 ilustra a sucessão de eventos de chuvas acumuladas cobrindo grandes extensões da área de drenagem da bacia. Dela depreende-se que os meses de outubro/2013, janeiro e fevereiro/2014 foram os mais chuvosos, com grandes áreas classificadas como “muito chuvoso”, segundo o método dos quartis. Em todos esses meses ocorreram chuvas acima da média histórica praticamente em toda a área das bacias dos rios Madre de Diós, Beni e Mamoré sinalizada na condição de “muito chuvosa”. A essa mesma conclusão chegou o estudo de Vauchel (2014) e da Silva et al. (2014) que trabalharam com série histórica de 17 estações da Bolívia, Peru e Brasil.

Figura 4: Evolução das anomalias de precipitação para o período de outubro/2013 a março/2014, com destaque para a área do alto rio Madeira com volumes mensais classificados como “muito chuvoso”.



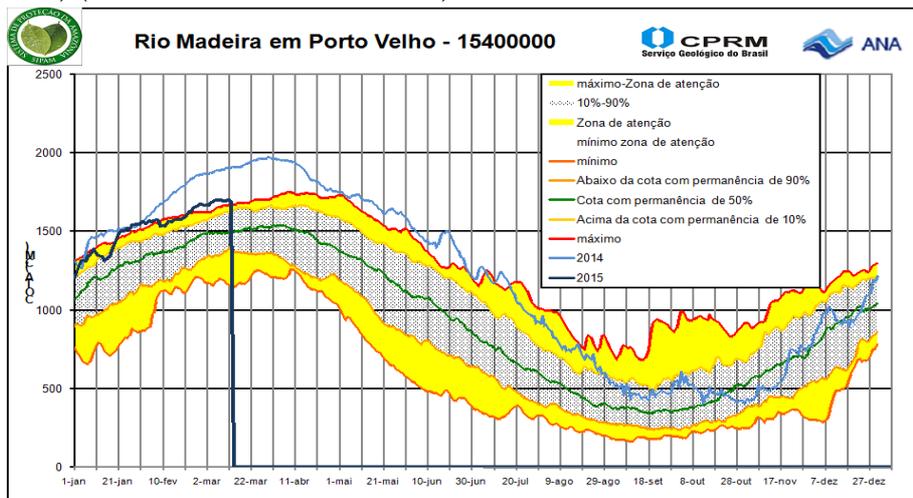




Fonte: Dados NCEP processados pelo SIPAM 2014

No acompanhamento sistemático e prognósticos da cheia, o SIPAM disponibiliza para a Defesa Civil, desde 2007, um modelo de 24 horas, do tipo cota-cota, a partir da projeção da onda de cheia em Abunã – estação fluviométrica a montante de Porto Velho que integra praticamente 90% da área de drenagem, descrito em Correa (2007). No entanto, a sucessão de cotas acima das máximas históricas do rio impôs um novo desafio no sentido de se prevenir os eventos com maior antecedência. Como pode ser observado da Figura 5, depois da primeira semana de janeiro/2014 a estação de Porto Velho passou a apresentar níveis inéditos até meados do mês de julho do mesmo ano.

Figura 5: Cotagramas para a cheia na seção de Porto Velho (15.40.00.00) – registros em 2013 e 2014 sobre as máximas, mínimas, médias históricas (1967-2014) (Série histórica de ANA/CPRM).



Fonte: Autores

A avaliação da evolução dos níveis, então, foi estabelecida pela discretização da área da bacia pelos três maiores tributários, a saber: Guaporé, Mamoré e Beni (que já incorpora o fluxo do rio Madre de Dios). A Figura 6 apresenta as áreas de drenagem desses rios.

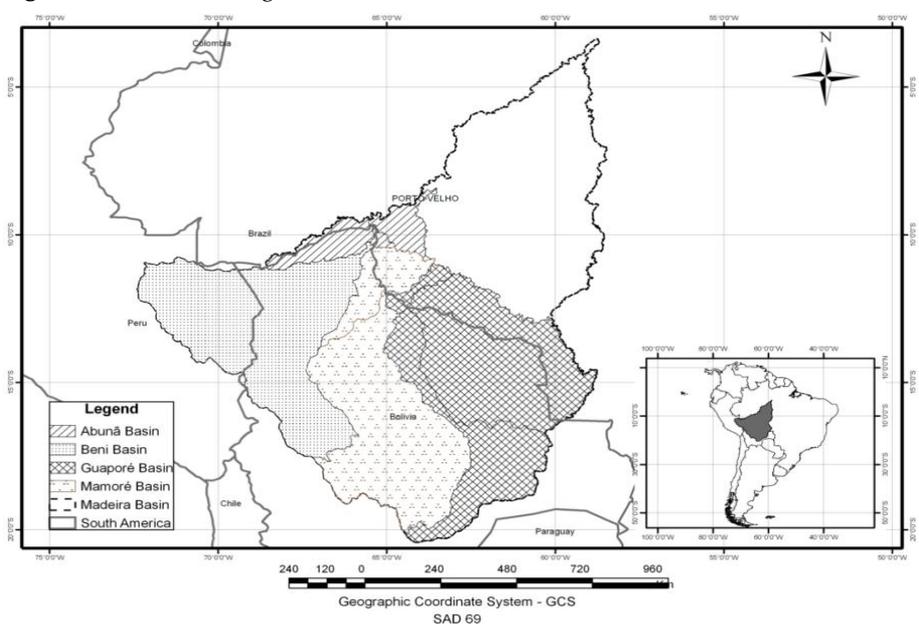
O rio Guaporé responde por 34% da área de captação a montante de Porto Velho e é uma bacia de planície, com nascentes nas planícies brasileiras que fazem divisa com o Pantanal e partes baixas da Bolívia. A estação de Príncipe da Beira (cód: 15.20.00.00), em Costa Marques localiza-se no Rio Guaporé e é utilizada nesse estudo como referência para avaliarem-se os processos do balanço hídrico na bacia do mesmo rio, pois integra 341mil km² da bacia do Guaporé. A geomorfologia de sua área de drenagem favorece o baixo teor de sedimentos em suas águas e o amortecimento das chuvas intensas que podem levar até 30 dias para impactarem o nível em Porto Velho.

O rio Mamoré, encontra o rio Guaporé no município de Guajará-Mirim e passa a fazer a denominar as águas que fazem a fronteira entre Brasil e Bolívia. Possui, aproximadamente, 270 mil km² e é integrada pela estação de Guajará-Mirim (cód: 15.25.00.00), representando aproximadamente 28% da área de drenagem até Porto Velho. Com nascentes andinas, o rio Mamoré se

destaca do Guaporé pelo aporte de sedimentos. As chuvas recebidas na bacia deste rio são amortecidas pela planície boliviana e por isso, as contribuições de precipitações podem levar de 10 a 20 dias para impactarem o nível do rio Madeira em Porto Velho.

Curiosamente, o Rio Beni é o que reúne o último terço da área de drenagem à montante de Porto Velho, com aproximadamente 30% da área da bacia. Porém sua formação, com nascentes andinas no Sul do Peru e a Oeste da Bolívia, promove o rápido deslocamento das ondas de cheias até Porto Velho. Na época das cheias essa característica faz com que ele responda por mais de 2/3 da vazão que passa por Porto Velho. O encontro das duas principais drenagens dessa bacia (Madre de Diós e Beni) se dá a 80 km da fronteira com o Brasil. A partir desse ponto a corrente de água passa a se chamar Madeira. O desnível da bacia, com nascentes a 4.000 m de altitude que despencam até os níveis de cota observados na planície amazônica, justificam a força e velocidade desse afluente do rio Madeira que responde pela maior parte dos sedimentos em suspensão. O tempo de concentração das contribuições de chuvas nessa bacia varia de 3 a 8 dias a depender da localização da precipitação.

Figura 6: Divisão hidrográfica das bacias formadoras do rio Madeira.



Fonte: SIPAM, 2011

Os tempos de concentração foram obtidos das equações empíricas de Kirpish e Ven te Chow e validadas com a observação dos hidrogramas. Dessa forma, os tempos de resposta das bacias foram resumidos de acordo com a relação abaixo:

- Nascentes do Guaporé em MT à Guajará = 10 a 30 dias
- Andes à Foz do Beni = 5 a 8 dias
- Guajará à Abunã = 30h a 2,5 dias
- Abunã à Porto Velho = 1 a 3 dias

A observação dos aportes de água da chuva e os respectivos tempos de resposta em Porto Velho permitiram a emissão de boletins com prognósticos qualitativos sobre o comportamento do rio Madeira, com um tempo de antecipação de 10 a 15 dias. A Figura 7 apresenta o gráfico com a distribuição das precipitações em cada bacia. As manchas de inundação futuras eram apresentadas aos organismos de Defesa Civil para que fossem tomadas as medidas de mitigação na cidade de Porto Velho. A partir dos valores encontrados, foi confeccionado o mapa com as respectivas áreas de risco de inundação. As aproximações entre os valores calculados e os efetivamente traçados se devem à precisão vertical do MDT que só está disponível a cada 50 cm.

A última etapa do trabalho foi a estimativa das recorrências associadas a cada nível ou mancha de inundação. Considerando o modelo estatístico de Gumbel e os valores registrados em 2014 já inseridos como parte da série histórica, estimaram-se as cotas relativas aos tempos de recorrência relativos a 1, 3, 5, 10, 25 e 124 anos – periodicidade estimada para a cheia de 2014, resumidos na Tabela 1.

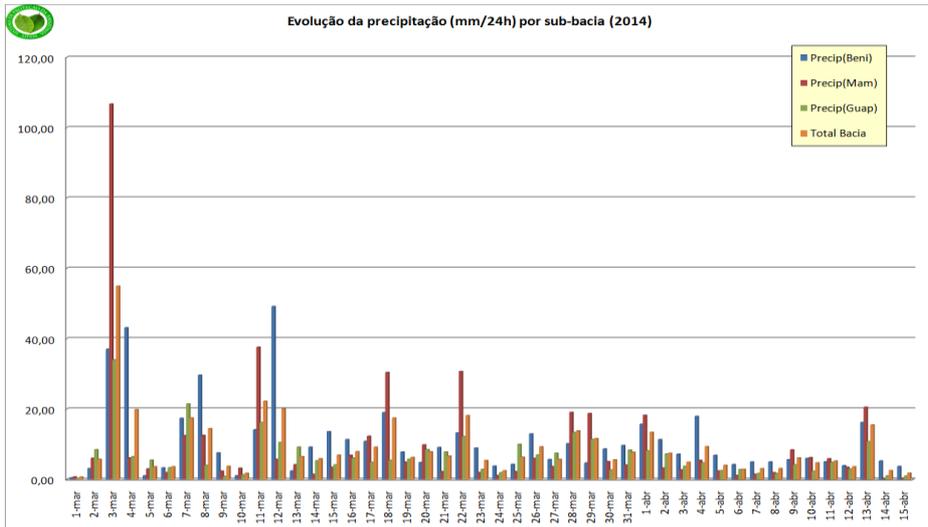
Tabela 1: Demonstrativo de cálculo das cotas correspondentes aos tempos de recorrência solicitados.

Recorrência (anos)	1	3	5	10	25	124
Probabilidade	0,909091	0,333333	0,2	0,1	0,04	0,008065
y (variável reduzida de Gumbel)	-0,874591	0,90272	1,49994	2,250367	3,19853426	4,816236
Cota na régua (cm)	1432	1601	1658	1729	1819	1970
Nível-IBGE (m NMM)	57,21	58,90	59,46	60,18	61,08	62,62

Fonte: Autores

O tempo de recorrência estimado para o evento extremo de 2014 pode superar a vida útil de uma edificação (124 anos), portanto, por si só, não constitui impedimento para urbanização nos terrenos fora das áreas de APPs. Por outro lado, o resultado dessa simulação aponta que a partir do nível de recorrência de 3 anos, (cota de 1600 cm) grande parte de equipamentos e edificações públicas de Porto Velho ficam em risco de inundação.

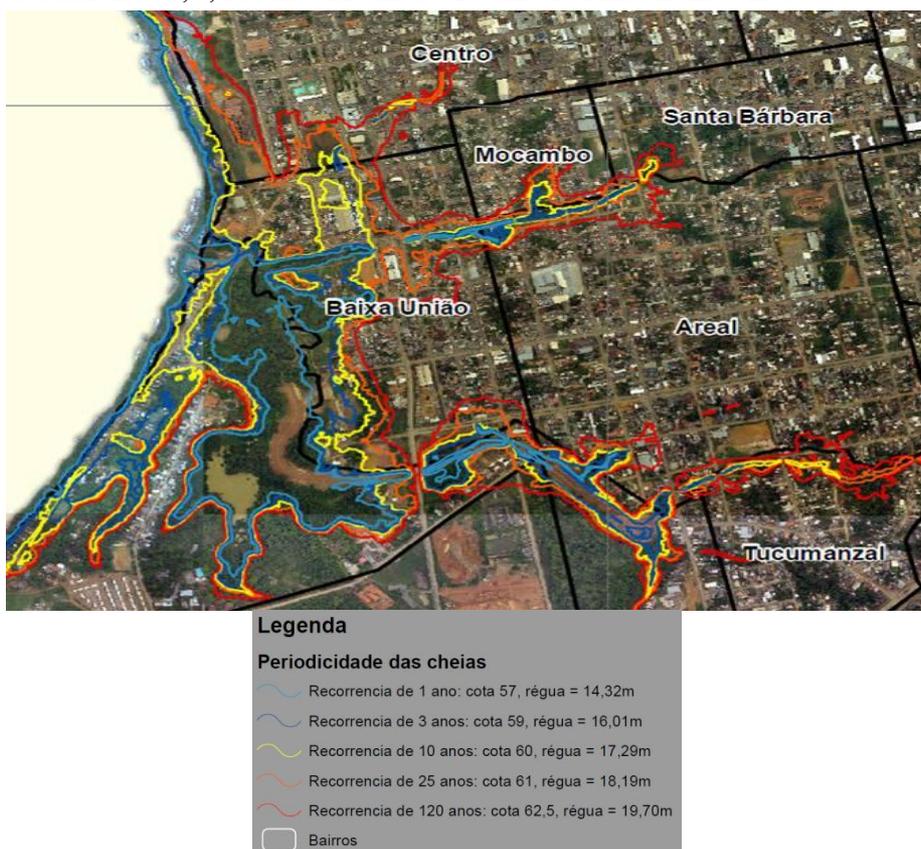
Figura 7: Gráfico de aportes de precipitações nas sub-bacias que compõe o rio Madeira estimados a partir dos registros do TRMM/NASA



Fonte: SIPAM/DIVPAM

Os bairros mais afetados pelas cheias do Madeira, em Porto Velho tradicionalmente são: Nacional, São Sebastião I e II, Baixa União, Mocambo, Tucumanzal. Todos esses, encontram-se localizados nas áreas baixas, de várzea dos igarapés urbanos da cidade, que na época de cheia recebem nas suas calhas as águas do Rio Madeira. O fluxo parcialmente invertido provoca o barramento hidráulico dessas drenagens que se encontram com alto grau de ocupação, mesmo considerando que se trata de APPs, ou seja, legalmente não edificáveis. A Figura 8 apresenta o detalhe do risco de inundação no Bairro Baixa União e Tucumanzal.

Figura 8: Simulações das áreas de risco de inundação para os cenários de recorrência de 1, 3, 10 e 25 e 120 anos – Detalhe do bairro Baixa União



Fonte: SIPAM/DIVPAM

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em resposta ao evento extremo de 2014, o SIPAM melhorou a dinâmica de atendimento à Defesa Civil com a análise das informações hidrometeorológicas. O ferramental disponibilizado para a Defesa Civil inclui um modelo de curto prazo (24h) e outro, qualitativo, para 15 dias.

A estimativa dos tempos de recorrência dos eventos que podem afetar as áreas edificadas ao longo da orla do Rio Madeira foi realizada com a aplicação do método estatístico de Gumbel sobre dados da série histórica da rede hidrométrica nacional da estação de Porto Velho, destacando-se que:

- As causas das cheias normalmente são chuvas sobre os formadores do Rio Madeira e, portanto, agentes naturais;

- A cheia 2013/2014 tem um período de recorrência estimado da ordem de 124 anos e sua extensão abrangeu áreas urbanas nunca registradas, podendo ser classificado como um evento extremo centenário;

- Os eventos, que comprometem áreas residenciais, comerciais e públicas de Porto Velho, têm seu tempo de recorrência estimado a partir de 3 anos e portanto, requerem planejamento urbano como meio de mitigação dos danos recorrentes;

- As áreas com maior risco de inundação estão geralmente associadas às várzeas dos igarapés urbanos e requerem licenciamento especial, segundo a legislação vigente para disciplinamento da ocupação de áreas de APPs (Lei 12.651/2012 de 25 de maio).

REFERÊNCIAS

CORREA, A. C. S.; Castro, L. M. F.; Troger, H.; Gondim Filho, J. G. C. & Marques, S. R. Modelo de previsão de cheias do rio Madeira na área urbana de Porto Velho-RO. In: **I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste- ABRH**, Cuiabá-MT, 2007. 14 p.

DA SILVA, M. J. G.; Santos Neto; Querino, C. A. S. Comportamento da precipitação na bacia do Rio Madeira, a montante da UHE de Santo Antônio, na estação chuvosa 2013/2014. In: **XVIII Congresso Brasileiro de Meteorologia CBMET**, 2014, Recife-PE. O papel da Meteorologia na Construção de uma Sociedade Sustentável, 2014.

Ricardo Gilson da Costa Silva (org.)

SOUZA PINTO, N.L. et al. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 2013.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia, Ciência e Aplicação**. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, vol. 4, EDUSP/ABRH, 1993. 943 p.

VAUCHEL, P. **Estudo da cheia de 2014 na bacia do rio Madeira**. Institut de Recherche pour Développement - IRD, Estudo do programa Hybam, abril 2014. 26 p.