



## **ANÁLISE DA FREQUÊNCIA DE EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS NA BACIA DO RIO ACRE**

*Ana Cristina Strava Correa<sup>1\*</sup> & Cristina Aparecida Beneditti<sup>2</sup> & Carlos Alexandre Querino<sup>3</sup> & Thiago de Lima Martarole<sup>3</sup>*

**Resumo** – A ocupação do território da bacia do Rio Acre tem evoluído com a substituição de extensas áreas de floresta, em especial no entorno da rede rodoviária e dos centros urbanos. Nesse contexto registram-se a existência 08 núcleos urbanos consolidados ao longo do Rio Acre, incluindo a capital, Rio Branco. A alteração do uso do solo tem apresentado reflexos diretos na resposta hidrológica do Rio Acre aos períodos de chuvas intensas na região. A realização de estudos sobre a frequência de eventos hidrológicos extremos realizados para atendimento da Defesa Civil do Estado do Acre no âmbito das atividades do Sistema de Proteção da Amazônia propiciou a observação de que os eventos de maior magnitude aumentaram sua frequência, em especial considerando os últimos 10 anos. Para análise aplicou-se o modelo de Gumbel sobre três cenários modelados a saber: com a série histórica completa, a partir dos anos 90 e para os últimos 10 anos. Como conclusão observou-se que cotas acima do nível de transbordamento (14m) apresentaram uma redução média do tempo de recorrência em 2 anos. Já o tempo de recorrência da máxima de 2015 registrada passou de 29 para 16 anos.

**Palavras-Chave** – Tempo de recorrência, inundações, Rio Acre, modelo de Gumbel.

## **EXTREME HYDROLOGICAL EVENTS FREQUENCY ANALYSES OVER ACRE RIVER BASIN**

**Abstract** – River Acre's basin territory occupation evolved through forest substitution, specially nearby roads and urban centers. There are eight consolidated urban centers along river Acre borders, including the capital Rio Branco. Changes in soil use and deforestation cause direct hydrological response over Acre River during the regional heavy rain periods. This study over statistical frequency of hydrological extreme events was developed to fulfill the State Civil Defense's needs concerning the support activities at SIPAM (Amazonian Protection System). Therefore it was observed that major hydrological events are becoming more frequent over the last 10 years. This achievement was through the application of Gumbel statistical model over three scenarios: accounting the whole historical series, another one from 90's and the third, for the last 10 years. As a result, it was observed that overflow levels (14m) at the city border turned to be reduced by 2 years. A major reduction is estimated for the maximum level observed at 2015 flood from 29 to 16 years.

**Keywords** – Hydrological Frequency, floods, Acre River, Gumbel model.

<sup>1</sup> Sistema de Proteção da Amazônia, ana.strava@sipam.gov.br.\*

<sup>2</sup> Sistema de Proteção da Amazônia, cristina.beneditti@sipam.gov.br.

<sup>2</sup> Sistema de Proteção da Amazônia, carlos.querino@sipam.gov.br.

<sup>2</sup> Sistema de Proteção da Amazônia, thiago.martarole@sipam.gov.br.

\* Autor Correspondente: Ana Cristina Strava Correa

## INTRODUÇÃO

A bacia do Rio Acre tem seu território recortado por oito municípios e é a porção mais densamente habitada de todo o Estado. Ao todo, são 435.499 habitantes (IBGE, 2014) representando aproximadamente 55% da população total do Estado concentrada em uma área que corresponde a 18% do território do Acre.

Segundo LATUF (2011), a bacia do Rio Acre drena uma área de 35.967,5 km<sup>2</sup>, sendo que 87,5% pertencem ao território brasileiro, sendo aproximadamente 27.569 km<sup>2</sup> pertencente ao Estado do Acre, restando 7,1% em território peruano e 5,4% pertencente à Bolívia. Sua foz é no Rio Purus, já no Estado do Amazonas. A maior área corresponde ao Município de Rio Branco-AC, capital do Estado que concentra 42% da população do estado. A Figura 1 apresenta a localização da bacia e a divisão geopolítica dos municípios.

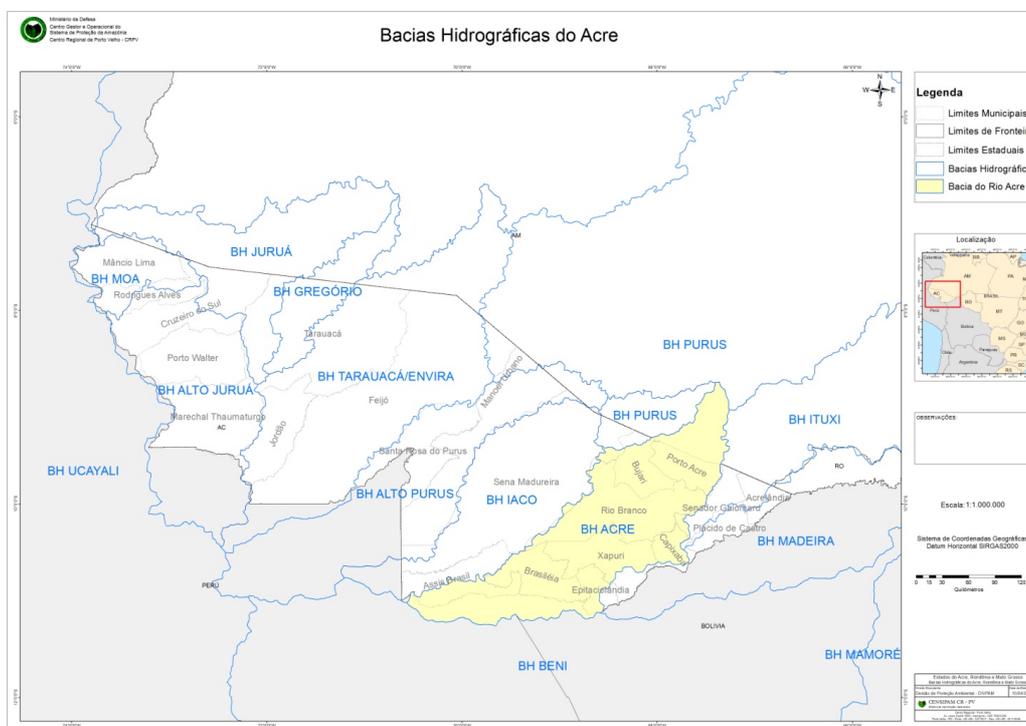


Figura 1 – Localização da Bacia do Rio Acre sobre recorte político-administrativo dos municípios do Estado do Acre.

A região do Sul da Amazônia tem seu clima controlado por sistemas atmosféricos de mesoescalas. A bacia do Rio Acre possui dois períodos sazonais distintos e bem definidos, estação seca e chuvosa, conforme a normal climatologia para Rio Branco do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. O início da estação úmida coincide com a primavera e perdura até o verão (ALVES, 2009). Nessa época observam-se os maiores totais pluviométricos mensais nos meses de dezembro (264,7 mm), janeiro (289 mm) e fevereiro (284,8 mm), enquanto que os meses de inverno junho, julho e agosto registram os menores totais pluviométricos com 31, 46 e 38 mm de chuva respectivamente. Ainda de acordo de acordo com Alves (2009), a região sofre influência de sistemas atmosféricos tropicais e subtropicais. Os principais sistemas atmosféricos que atuam sobre a região durante o período chuvoso são: Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que caracteriza-se como uma grande banda de nebulosidade orientada de noroeste para sudeste do Brasil, provocando chuvas intensas desde o sul da Amazônia até o litoral do sudeste brasileiro. As ZCAS são normalmente associadas a um forte fluxo convergente de umidade na baixa troposfera



que é responsável por evento de chuvas extremas em toda a área em que ela atua. Por outro lado, a ausência deste fenômeno pode causar ausência de chuvas e, conseqüentemente, um longo período de secas (CARVALHO, 2009). Outro sistema que influencia as chuvas sobre o estado do Acre é a Alta da Bolívia. Esse sistema caracteriza-se por ser um anticiclone localizado nos altos níveis da atmosfera na região central da América do Sul. A Alta da Bolívia é basicamente formada por uma forte convecção próximo da superfície devido ao aquecimento superficial que ocorre na região amazônica durante o verão, liberando, assim, mais calor latente para a atmosfera (ALVES, 2009). Como consequência dessa formação anticiclônica em altos níveis, uma região de baixa pressão se forma nos baixos níveis da atmosfera, o que ocasiona a convergência de ar, transportando umidade para os altos níveis da atmosfera (VIRJI, 1981). Todos esses sistemas estão acoplados e migram entre o norte e o sul da América do Sul entre as estações de inverno e verão respectivamente, ocasionando, assim, a estação seca ou chuvosa nesta região (KOUSKY & KAYANO, 1994).

A ocupação do território da bacia está historicamente atrelada ao desenvolvimento de sua capital. Esse fato tem mostrado um vetor de degradação das áreas naturais com reversão da floresta. Como indicativo da alteração da cobertura do solo, com retirada da floresta, pode-se observar que as taxas de desmatamento anuais do estado, segundo PRODES/INPE apresentaram picos expressivos nos anos de 1995, 2002 e 2003 (Figura 2). Em termos de área desmatada total, desde a década de 80, o sistema registrou um acúmulo de 13.057 km<sup>2</sup>, que representa 8% da área total do estado.

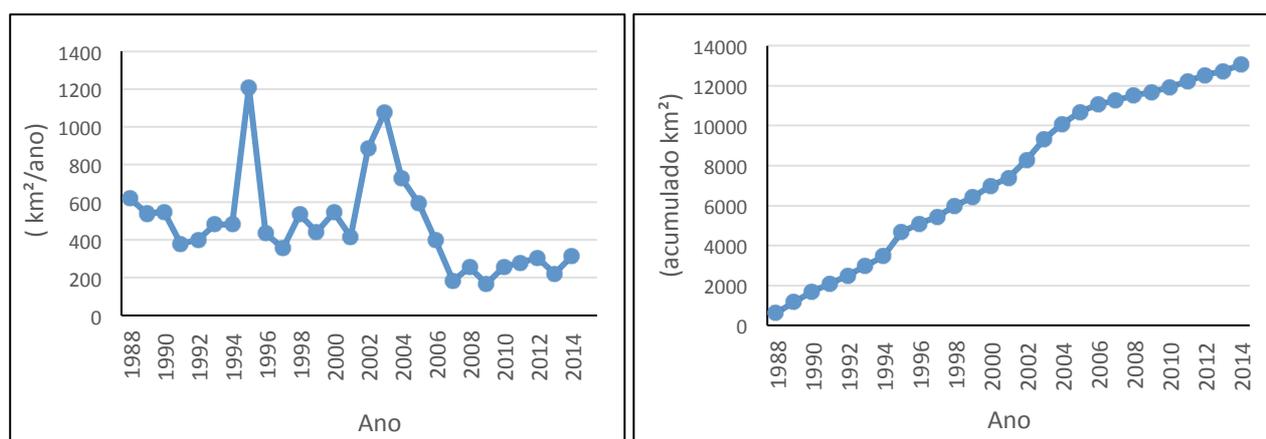


Figura 2- Evolução anual da taxa de desmatamento no Estado do Acre (esquerda) e desmatamento acumulado no estado no período de 1988 a 2014. Fonte: PRODES/INPE.

Ao longo da última década o Estado do Acre vem sofrendo cheias extremas na bacia do Rio Acre com prejuízos locais e regionais de grande vulto. O Relatório de Acompanhamento de Desastre e Inundação do Estado do Acre (CENAD, 2015) registrou 9.305 desabrigados e 22.106 desalojados na última grande cheia de 2015.

OS estudos de LATUF (2010) indicaram que o avanço do desmatamento agravaria a magnitude das cheias do Rio Acre. Diante desses indicativos, optou-se em avaliar três cenários em termos de impacto na resposta hidrológica da bacia sobre os níveis de cheias do Rio Acre. Os tempos de recorrência ou frequência dos eventos extremos foram estimados para a serie histórica completa (1968 – 2015) e os resultados comparados com outros dois cenários: a partir da década de 90 e para os últimos 10 anos.

### METODOLOGIA

**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, obtida pela equação (1):

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

$e =$  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 (2).

$$y = (X - X_m + 0,45S_q) / (0,7797.S_q), \dots\dots\dots (2)$$

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

Para a série histórica do Rio Acre descartaram-se os anos de 1969, 1990 e 1995 por apresentarem falhas nos períodos de cheia do rio. Os valores da amostra de eventos de máximas cotas anuais foram selecionados considerando-se três cenários:

- Cenário 1 – considera a série histórica completa de 1968 a 2015;
- Cenário 2 – considera a série histórica a partir do ano de 1990, quando se intensificaram as atividades antrópicas na bacia. Atividades, essas, que envolveram a substituição da floresta, com reflexos na dinâmica do balanço hídrico da bacia;
- Cenário 3 – considera apenas os últimos 10 anos da série histórica do Rio Acre (2005 – 2015)

Vale salientar que a redução das amostras compromete o estudo estatístico no sentido de ser menos representativo. Porém, no caso da bacia do Rio Acre, tem sido observado uma rápida alteração na resposta chuva-vazão devido a substituições antropogênicas na cobertura do solo. Essa dedução só pode ser corroborada pela análise das chuvas ao longo dos últimos 10 anos, que não foi objeto desse estudo. Os parâmetros para cálculo estão resumidos na Tabela 1.

Tabela 1- Parâmetros aplicados às simulações de cenários para a série histórica da Estação 13.60.00.02.

Períodos avaliados	1968-2015	1990-2015	2005-2015
Média das máximas anuais (mm)	1502	1508	1580
Desvio padrão das máximas anuais (mm)	154,97	157,06	151,63

**ANÁLISE DO RISCO DE INUNDAÇÃO:** Na definição do risco de inundação do terreno, utilizou-se o mesmo princípio estatístico de Gumbel, para os tempos de retorno de 1, 3, 5, 10, 15 e 25 anos, solicitados pelo Ministério da Integração para efeito de reconstrução das áreas atingidas pelas cheias. A análise foi estendida aos bairros afetados ao longo da área urbana, onde se dispunha de MDT. Dessa forma, foram contemplados os bairros ribeirinhos, pelas margens (direita e esquerda) ao longo de toda orla fluvial da cidade de Rio Branco.

**ESPACIALIZAÇÃO DA RECORRÊNCIA:** Para espacializar as cotas referentes aos tempos de recorrências requeridos foi gerado o modelo digital do terreno (MDT) a partir das curvas altimétricas com equidistância de 1m, disponibilizadas pela prefeitura de Rio Branco. Este produto, assim como as imagens ópticas com resolução espacial de 15 cm, foram obtidos do aerolevante contratado pela prefeitura em 2014. As curvas altimétricas referentes às cotas de recorrências para 1, 3, 5, 10, 15 e 25 anos foram extraídas do MDT por meio de interpolação. A transferência dos níveis da régua para o terreno foi validada em campo sob a coordenação da Prefeitura de Rio Branco e repassada para o CENSIPAM, Centro Regional de Porto Velho, correlacionando cota altimétrica com nível da régua. A elaboração do mapa e a geração dos

arquivos vetoriais correspondentes aos referidos tempos de recorrência foram realizadas com ferramentas de SIG e técnicas de geoprocessamento.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Considerando que a elevação do nível dos rios da bacia do Rio Acre é resposta natural e direta das chuvas, pode-se avaliar a recorrência estatística dos eventos hidrológicos a partir dos registros de vazões ou níveis, ou seja, pela série histórica das estações fluviométricas.

A Figura 3 apresenta o comportamento do Rio Acre na Estação de Rio Branco, em termos de elevação do nível ou cotas (cotagrama). No mesmo, destacam-se os anos de 2014 e 2015 sobre as máximas, mínimas e médias registradas ao longo da série histórica (1968-2015). Dela, depreende-se que a cheia de 2015 sobrepujou as máximas históricas, alcançando níveis inéditos entre os meses de fevereiro e março de 2015.

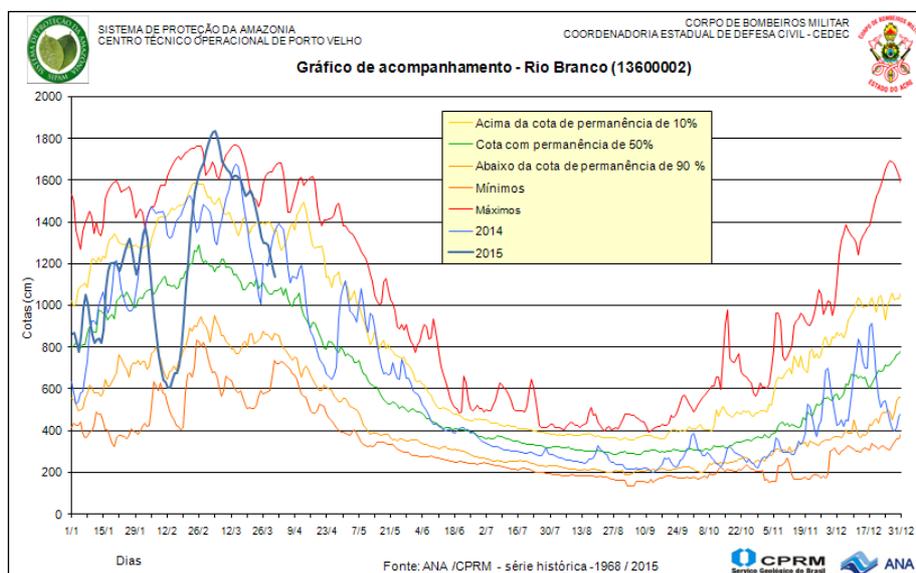


Figura 3 - Cotagramas da seção de Rio Branco (13.60.00.02) – registros em 2013 e 2014 sobre as máximas, mínimas, médias históricas (1968-2015). (Série histórica: ANA/CPRM e CEDEC-AC).

A Figura 4 apresenta a evolução das máximas históricas. Nota-se que os anos que apresentaram falhas nos registros da época chuvosa (novembro a março) são: 1969, 1990 e 1995. Como não foi objeto desse trabalho o preenchimento das falhas, optou-se em analisar a média sem os valores dos anos comprometidos. Assim sendo, de 1968 a 1990, a média das máximas é de 1483 cm enquanto que nos últimos 10 anos (de 2005 a 2015) a média foi de 1580. Na região de planícies essa diferença de um metro é muito relevante podendo representar, em média, 300m de avanço das águas sobre as áreas mais planas. É possível observar também que, a tendência de valores crescentes a partir da década de 90.

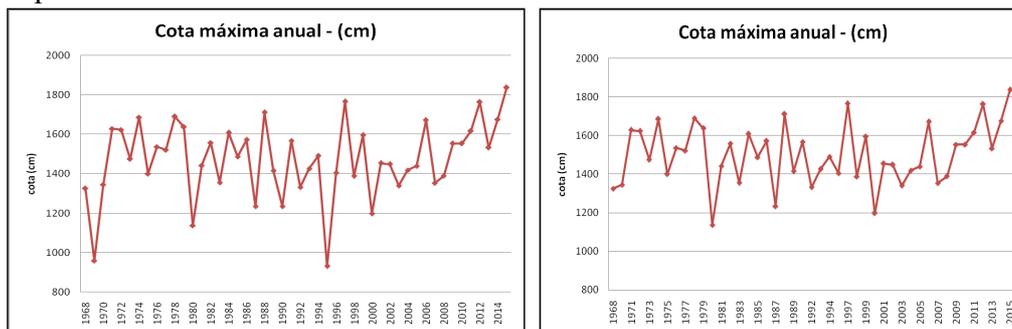


Figura 4- Máximas anuais na seção 13.60.00.02, de 1968 a 2015 à esquerda e sem os anos de falha à direita.



Considerando o modelo estatístico de Gumbel e os valores registrados em 2015 já inseridos como parte da série histórica, estimaram-se as cotas relativas aos tempos de recorrência solicitados pelo requerente, de acordo com os 3 (três) cenários. Os resultados encontram-se resumidos na Tabela 2, tendo que o zero da régua corresponde a cota altimétrica de 117,1m.

Tabela 2- Demonstrativo de cálculo das cotas correspondentes aos tempos de recorrência solicitados.

Períodos de análise s/ anos de falha		Tempo de retorno (anos)					
		1	3	5	10	15	25
1968-2015	Cota régua (cm)	1362	1542	1614	1704	1756	1819
	Nível -IBGE (NMM) (m)	130.72	132.52	133.24	134.14	134.66	135.29
1990-2015	Cota régua (cm)	1367	1549	1622	1714	1767	1830
	Nível -IBGE (NMM) (m)	130.77	132.59	133.32	134.24	134.77	135.40
2005-2015	Cota régua (cm)	1443	1619	1690	1778	1829	1890
	Nível -IBGE (NMM) (m)	131.53	133.29	134.00	134.88	135.39	136.00

Obs: Nível do zero da régua (estação 13.60.00.02), informado pela Prefeitura Municipal de Rio Branco é de 117.1m

Os valores obtidos para os cenários 1 e 2 apresentam diferenças que não chegam a 1% do nível correspondente. Porém entre o cenário 1 e o cenário 3, a diferença pode chegar a 11%. A Figura 5 apresenta as curvas de projeção para eventos extremos a partir dos parâmetros de Gumbel utilizados para modelar os cenários 1 e 3.

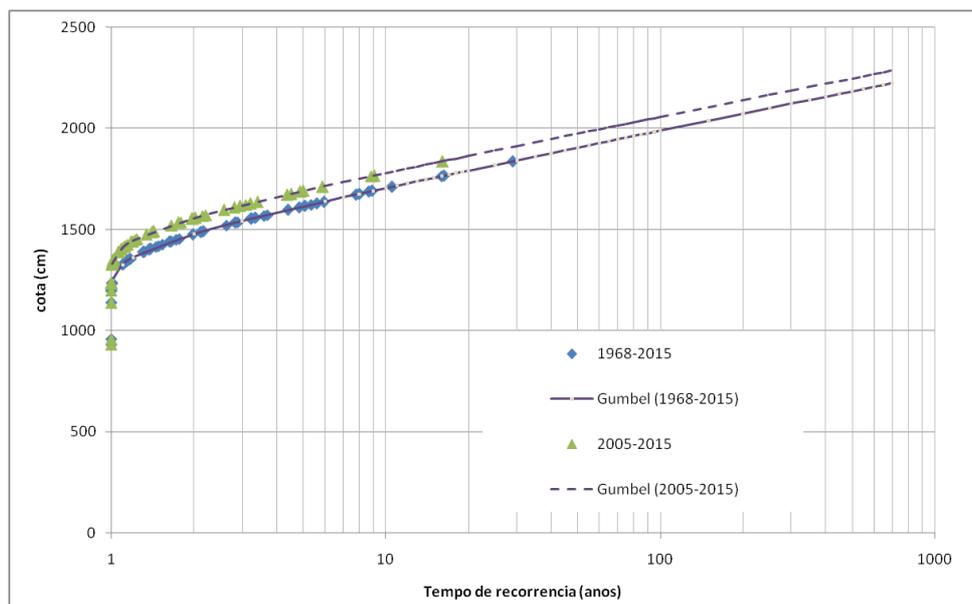


Figura 5- Curvas de tempos de Gumbel para projeção de eventos extremos a partir dos parâmetros utilizados nos parâmetros da série histórica completa em comparação com os últimos 10 anos.

As diferenças entre as curvas apresentadas na Figura 4 significam que se a tendência dos últimos 10 anos se confirmar, doravante, cotas mais elevadas passarão a ser mais frequentes. Como exemplo, a cota de 16m que apresenta uma recorrência de 5 anos- probabilidade de 20%- passará a ocorrer a cada 3 anos, com probabilidade de 33%.

A cheia de 2015 chegou ao nível de 1837 cm na régua linimétrica. Aplicando-se os parâmetros da série histórica desde 1968, a recorrência desse evento é de 29 anos. Porém, considerando os parâmetros dos últimos 10 anos esse evento tem a possibilidade de voltar a acontecer com recorrência média de apenas 16 anos.



## XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável:  
desafios do conhecimento e da gestão

De 22 a 27 de novembro de 2015, Brasília – DF

Considerando a recorrência de 3 anos para os cenários modelados, a diferença altimétrica entre as cotas dos cenários 1968-2015 (azul) e 1990-2015 (verde) foi de 7 cm. Porém, a diferença entre cota dos cenários 1990-2015 e 2005-2015 (vermelho) foi de 77 cm, o que aumenta a abrangência da área de risco em alguns bairros, sendo que na região de Cadeia Velha (Figura 6) a diferença, em algumas áreas, foi 70m e na região do bairro Cidade Nova a abrangência aumentou, em alguns pontos, em 300m, conforme a Figura 7.

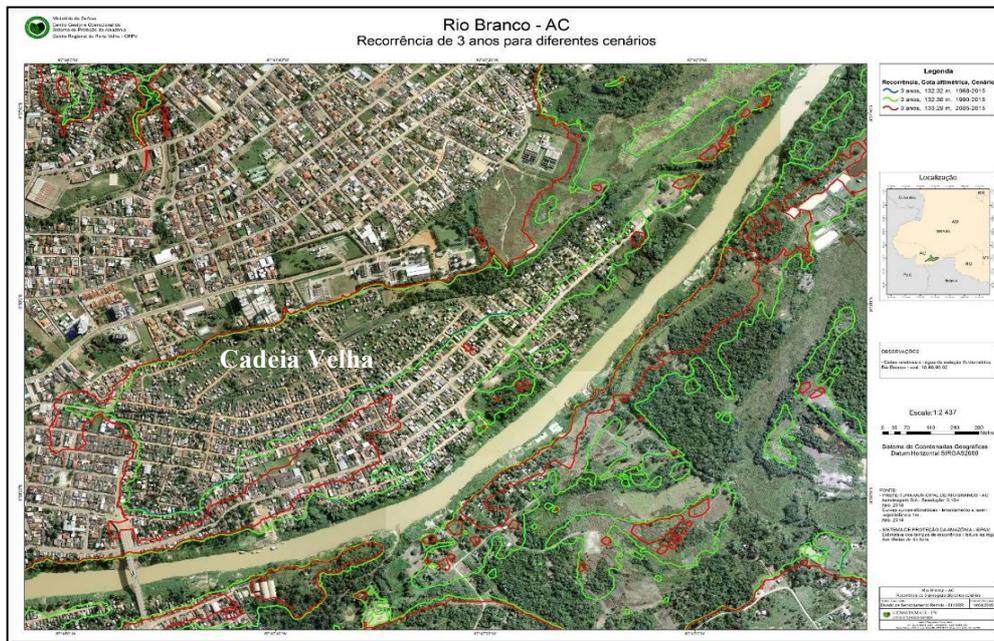


Figura 6- Área de risco para recorrência de 3 anos, para os cenários modelados, no bairro Cadeia Velha.

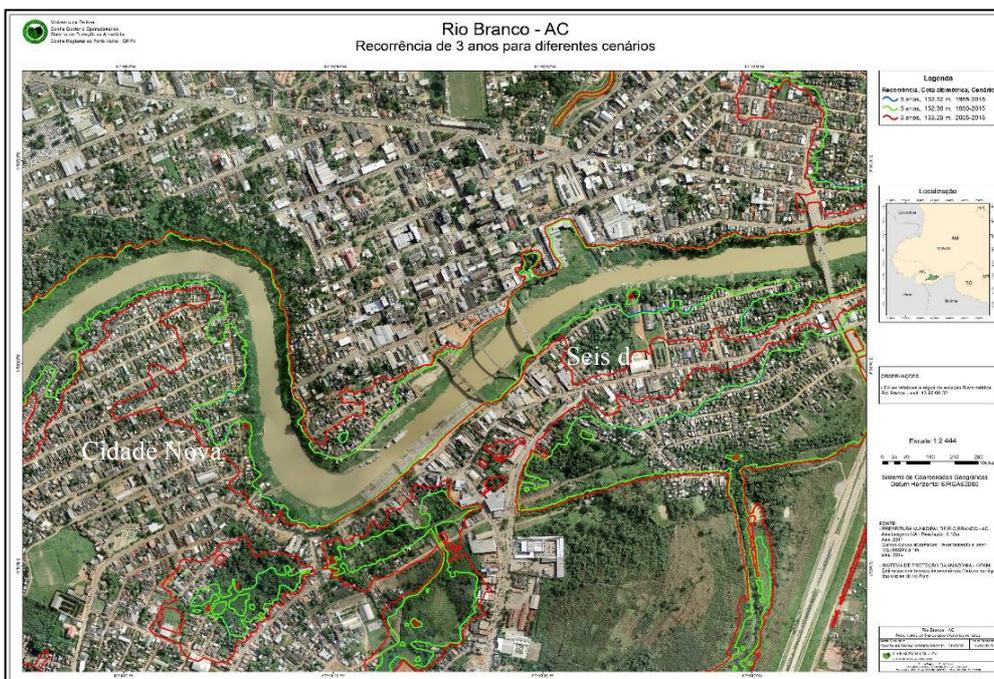


Figura 7- Área de risco para recorrência de 3 anos, para os cenários modelados, no bairro Cidade Nova e Seis de Agosto.



Analisando as áreas em risco de inundação com recorrência de 3 anos, pode-se notar que a diferença encontrada na Tabela 2 entre o cenário 1 (série histórica completa) e o cenário 2 (série histórica a partir dos anos 90) é imperceptível na escala de trabalho (1:10.000). As maiores diferenças, com aumento significativo de área em risco estão associadas aos últimos 10 anos, avaliados no cenário 3.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS:

Nesse estudo procedeu-se à análise da recorrência de inundação das cheias do Rio Acre. Para estimativa dos tempos de recorrência dos eventos que podem afetar as áreas edificadas ao longo da orla fluvial da cidade, aplicou-se o método estatístico de Gumbel sobre dados da série histórica da rede hidrométrica nacional da estação de Rio Branco, destacando-se que:

- a cheia 2014/2015 (que atingiu 18,34m) tem um período de recorrência estimado da ordem de 29 anos, mas tem sua recorrência reduzida para 16 anos no cenário 3. Sua extensão abrangeu áreas edificadas inéditas;
- os cenários modelados revelaram que os últimos 10 anos possuem média de cotas máximas aproximadamente 80 cm (5%) acima da média calculada com os registros desde 1968;
- foram gerados os mapas relativos aos 3 (três) cenários modelados, sendo que os cenários 1 e 2 não apresentaram diferenças significativas. Em contrapartida, o cenário modelado a partir dos últimos 10 anos apresentou diferenças significativas em termos de ampliação das áreas em risco de inundação para todos os períodos de recorrência testados;
- os anos 1969, 1990 e 1995 foram descartados por apresentarem falhas nos períodos de cheia e, portanto, os falsos máximos apresentados na série histórica podem provocar distorções na estimativa das cotas modeladas, sendo recomendável a consistências dos dados e preenchimento das falhas para melhoria da confiabilidade do modelo estatístico aplicado;
- as áreas com maior risco de inundação estão geralmente associadas às várzeas dos igarapés urbanos e requerem licenciamento especial para disciplinamento da ocupação de áreas de APP's;

### REFERÊNCIAS

- IBGE (2014). Cidades, In Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>. Acesso em 06/05/2015.
- LATUF, M. O. (2011). Modelagem hidrológica aplicada ao planejamento dos recursos Hídricos na bacia hidrográfica do Rio Acre. *Tese de doutorado do Programa de Pós-graduação em Geografia - FCT/UNESP, Presidente Prudente – SP*, 240 p.
- CENAD (2015). Relatório de Acompanhamento de Desastre – Inundação no Acre. *Centro Nacional de Gerenciamento de Risco e Desastre*, data de emissão: 05/03/2015, Ministério da Integração Nacional, Brasília- DF, 19 p.
- ALVES, L. M. (2009). Clima da Região Centro-Oeste do Brasil. In. *Tempo e Clima no Brasil*. Cavalcanti, I. F. de A.; Ferreira, N. J.; da Silva, M. G. A. J.; Dias, M. A. F. da S. (Org.). São Paulo: Editora Oficina de Textos, cap.15, pp. 236 – 241.
- CARVALHO, L. M. V. (2009). Zona de Convergência do Atlântico Sul. In. *Tempo e Clima no Brasil*. Cavalcanti, I. F. de A.; Ferreira, N. J.; da Silva, M. G. A. J.; Dias, M. A. F. da S. (Org.). São Paulo: Editora Oficina de Textos, cap.6, pp. 95 – 109.
- KOUSKY, V. E. & KAYANO, M. T. (1994). Principal models of outgoing longwave radiation and 250 mb circulation for the South American sector. *Journal of Climate*, v.7, pp. 1131 – 1143.
- VIRJI, H. A. (1981). Preliminary study of summertime tropospheric circulation patterns over South America estimated from cloud winds. *Monthly Weather Review*, v. 109, pp. 599 – 610.