

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

RISCO HIDROLÓGICO ASSOCIADO A PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PROVÁVEL EM BARRAGENS DO SEMIÁRIDO BAIANO

Murilo Pereira da Silva Conceição¹; & Andrea Sousa Fontes²

RESUMO – Diante dos acontecimentos de desastres recentes relacionados a barragens, a segurança dessas se tornou uma questão primordial. Neste contexto, o conhecimento relacionado a probabilidade de ocorrência de eventos extremos de cheia, contribui para garantir a segurança do vale a jusante. Em região semiárida, apesar de períodos recorrentes de seca, as chuvas acontecem de forma concentrada no tempo, o que pode resultar em eventos de significativa intensidade. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o risco hidrológico associado a precipitação máxima provável (PMP), em função da capacidade de descarga do vertedor em quatro barragens do semiárido da Bahia. O estudo utilizou o método da PMP estatístico, aplicando fatores de frequência de diferentes metodologias e, posterior, obtenção dos tempos de recorrência correspondentes. Os tempos de recorrência foram aplicados a séries históricas de dados diários de vazão para a obtenção da vazão máxima diária com esse tempo de recorrência para comparação com as vazões de projeto dos vertedores. De acordo com os dados disponíveis das estações fluviométricas analisadas, verificou-se que, mesmo com os reservatórios operando na sua cota máxima, o risco de ocorrência de galgamento é menor que 0,0006%.

ABSTRACT– In the face of recent disasters related to dams, their safety has become a key issue. In this context, the knowledge related to the probability of occurrence of extreme flood events that require the adequate performance of a dam spillway contributes to guarantee the safety of the downstream valley of this hydraulic work. Thus, the objective of this work was to evaluate the hydrological risk associated to probable maximum precipitation (PMP), as a function of the discharge capacity of the spillway in 4 dams in the semi - arid region of Bahia. The study used the maximum probable precipitation method, applying frequency factors of different methodologies and, later, obtaining the corresponding recurrence times. The recurrence times were applied to historical series of daily flow data to obtain the maximum daily flow with this time of recurrence for comparison with the project flow rates of the spillways. According to the available data of the analyzed fluviometric stations, it was verified that, even with the reservoirs operating at their maximum quota, the risk of occurrence of galling is lower than 0,0006%.

Palavras-Chave – Risco hidrológico. Galgamento. Precipitação máxima provável

1) Mestrando em Engenharia Civil. Universidade Federal da Bahia (UFBA); E-mail: murilo.pereira1@hotmail.com

2) Professor Adjunto. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). E-mail: andreafontes@ufrb.edu.br

INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo, diversas obras de contenção resultando em reservatórios de grande capacidade de acumulação de água, trazem diversos benefícios socioeconômicos para a população, dentre eles: abastecimento de água em zonas residenciais, agrícolas e industriais, geração de energia elétrica, dessedentação animal e controle de enchentes e secas. Segundo o relatório de segurança de barragem da Agência Nacional de Águas ANA (2017), existem hoje cerca de 24.092 barragens para os mais diversos usos no Brasil, dentre estas 335 barragens na localizadas na Bahia que são fiscalizadas pelo INEMA, sendo que 104 destas barragens são consideradas “órfãs” por ter seu empreendedor desconhecido.

As consequências e prejuízos gerados por um acidente de uma obra de tal envergadura pode ocasionar perdas incalculáveis e em maioria de forma devastadoras, como o exemplo as falhas recentes das barragens de Rejeitos de Fundão localizada Mariana-MG em 2017 e Mina do Feijão, localizada em Brumadinho-MG em 2018. Dentre as barragens de acumulação de água, pode-se citar os casos: Barragem de Camará, na Paraíba que rompeu em 2004 através de uma falha em sua estrutura e a Barragem de Euclides da Cunha e Armando Sales de Oliveira, que uma das causas do rompimento foi o galgamento de água sobre sua crista (BRASIL, 2005).

Segundo o Comitê Internacional de Grandes Barragens – ICOLD (1998) a porcentagem de rompimento em barragens de terra devido ao galgamento é de 30%, a maior porcentagem encontrada entre as causas no estudo. O galgamento é um fenômeno diretamente associado a eventos extremos de cheia, que ocorre devido ao transbordamento de água através do maciço da barragem. Este transbordamento pode ocorrer devido a problemas de dimensionamento das características físicas do vertedor, que está associado ao risco hidráulico, ou ocorrer uma vazão excedente para qual o vertedor foi dimensionado, que está associado ao risco hidrológico.

Collischon (2018), define risco hidrológico como a probabilidade de falha de uma estrutura hidráulica face à ocorrência de chuva, vazão ou nível da água superior àquela para a qual foi dimensionada e do prejuízo decorrente da falha. O risco em hidrologia está associado ao tempo de retorno, ou seja, um intervalo de tempo em anos estimado para que um evento de mesma magnitude ocorra em um ano qualquer. Desse modo, uma ordem de grandeza de projeto para a magnitude do evento hidrológico sobre o qual a estrutura será projetada pode ser estabelecida em função do risco adotado (LIMA, 2015). Sendo assim, risco de ocorrer o galgamento está totalmente associado com o tempo de retorno adotado no projeto.

Na estimativa de cheias raras e extremas segundo Coelho Filho (2010), os processos envolvidos são complexos, visto que, os fatores físicos e meteorológicos são de difícil estimação,

sendo que a ocorrência da precipitação pode ser bastante variável ao longo da escala espaço-tempo. Sendo assim, incertezas associadas as estimativas de enchentes extremas são grandes.

Na literatura existem diversos métodos de estimação de cheia de projeto para estrutura hidráulicas, Cicareli (2018) os classificam em: Métodos empíricos, com utilização curvas envoltórias; Métodos diretos, baseados na análise estatística de frequência dos máximos anuais de vazões de cheias; e métodos indiretos baseados em transformações chuva-vazão.

Entre os métodos indiretos está o método da cheia máxima provável, que é baseado na transformação chuva-vazão da precipitação máxima provável (PMP). Os primeiros estudos sobre a PMP no Brasil foram realizados pelo setor elétrico na década de 1980, após o rompimento da barragem do rio Pardo (CICARELI, 2018).

Diante dos acontecimentos de desastres recentes relacionados a barragens, a segurança dessas se tornou uma questão primordial. Neste contexto, o conhecimento relacionado a probabilidade de ocorrência de eventos extremos de cheia que exijam o desempenho adequado do vertedor de uma barragem, contribui para garantir a segurança do vale a jusante dessa obra hidráulica. Em região semiárida, apesar de períodos recorrentes de seca, as chuvas acontecem de forma concentrada no tempo, o que pode resultar em eventos de significativa intensidade. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o risco hidrológico associado a precipitação máxima provável (PMP), em função da capacidade de descarga do vertedor em 4 barragens do semiárido da Bahia.

METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa foi estruturada seguindo o seguinte processo: (i) Determinação e caracterização da área de estudo; (ii) levantamento e tratamento dos dados de precipitação e vazão; (iii) cálculo da precipitação máxima provável para a duração de 1 dia; (iv) cálculo do tempo de retorno associado a PMP; (v) cálculo das vazões máximas diárias com aplicação da distribuição de probabilidade de Gumbel; (vi) avaliação do risco hidrológico

Área de estudo

As barragens utilizadas no presente estudo são de acumulação de água e estão localizadas no semiárido da Bahia. São elas: Bandeira de Melo, França, Pedras Altas e Ponto Novo. Essas barragens foram escolhidas devido todas possuírem vertedor de soleira livre e apresentarem dados disponíveis de vazão de projeto dos vertedores e dados de estações fluviométricas e pluviométrica em suas regiões de bacia hidrográfica. Importante salientar que de acordo com a resolução Nº 143 do CNRH e o inventário do INEMA (2016), todas as barragens aqui estudadas apresentam-se na categoria de alto dano potencial associado, devido a existência de população a jusante, unidades habitacionais e áreas protegidas definidas em legislação. No Quadro 1 estão apresentadas algumas das principais características das barragens estudadas.

Quadro 1 – Características técnicas das barragens e dos reservatórios estudados

Características	Ponto Novo	Pedras Altas	Bandeira de Melo	França
Altura (m)	25,50	24,18	19,1	25,5
Comprimento da crista (m)	682,00	1.090,00	1160	420,00
Volume Máx., operacional (Hm ³)	48,9	38,45	111,59	33,17
Usos da água	Irrigação, Abastecimento e regularização	Irrigação e Abastecimento	Abastecimento e Irrigação	Abastecimento e irrigação
Tipo de Barramento	CCR / Terra	Terra /Enrocamento	CCR / Terra	Terra / Enrocamento
Vazão de projeto Tr=1000 anos (m ³ /s)	5147,34	2369,86	5147,34	1440,00

Fonte: CERB, 2004

Levantamento e tratamento dos dados

Para a obtenção da PMP e avaliação do risco hidrológico foram utilizados dados diários máximos de séries históricas de estações pluviométricas localizadas a montante do barramento e estações fluviométricas a jusante do barramento, dados estes disponíveis no banco de dados Hidroweb da Agência Nacional de Águas – ANA, conforme as Tabelas 1 e 2.

Comentado [NP1]: PARA REDUZIR TEXTO

Tabela 1 - descrições das estações pluviométricas consideradas

Barragem	Estação	Código	Município	Período disponível	Série sem falhas (anos)
Bandeira de Melo	Fazenda Iguaçu	1241001	Itaetê	1970-2017	44
França	Morro do Chapéu	1141003	Morro do Chapéu	1942-1998	30
Pedras Altas	Jacobina	1140016	Jacobina	1942-1998	20
Ponto Novo	Pindobaçu	1040025	Pindobaçu	1985-2018	31

Fonte: ANA (2019)

Tabela 2 - descrições das estações fluviométricas consideradas

Barragem	Estação	Código	Município	Período disponível	Série sem falhas (anos)
Bandeira de Melo	Iaçu	51280000	Iaçu	1930-2018	39
França	França	51410000	Piribita	1965-2003	26
Pedras Altas	Pedras Altas	51430000	Capim Grosso	1968-2018	22
Ponto Novo	Ponto Novo	50380000	Caldeirão Grande	1968-2018	25

Fonte: ANA (2019)

Para a definição da série de dados das estações fluviométricas localizadas a jusante do barramento, foram utilizados dados até a data de construção da barragem.

Métodos

Todas as barragens no presente estudo não ultrapassarem o limite físico de 30 metros de altura, sendo assim, foram dimensionadas para um período de retorno de 1.000 anos. Porém, após Resolução N°143, de Julho de 2012, que estabelece critérios para classificação por dano potencial associado, e para a classificação de alto dano potencial associado, o estudo da vazão para dimensionamento do órgão extravasor da barragem deve ser realizado pelo método da cheia máxima provável.

Para a presente pesquisa e devido a disponibilidade de dados para aplicação do método, foi utilizado o método da PMP estatística.

O método estatístico sugerido pela Organização Meteorológica Mundial (WMO, 1986) é o procedimento de Hershfield (1961). A essência do método é a transposição de tempestades, mas em vez de transpor chuvas específica, uma variável estatística abstraída é transposta. Segundo Fernandes (2009) a principal vantagem do método é a sua facilidade de aplicação e a consideração das características hidrometeorológicas locais por meio de parâmetros estatísticos, sem precisar especificamente de dados meteorológicos como registros de ponto de orvalho e vento, sendo assim um método que recebeu uma ampla aceitação.

O procedimento desenvolvido por Hershfield (1961) é baseado na equação geral da frequência apresentada por Chow (1961):

$$X_{PMP} = \bar{X}_n + K_m \cdot S_n \quad (2)$$

Em que: X_{PMP} corresponde à precipitação máxima provável para uma determinada duração e local; \bar{X}_n e S_n são respectivamente, a média e o desvio padrão da série de n precipitações máximas anuais; K_m é o fator de frequência. Sendo assim, foi calculada a média e o desvio padrão para cada estação pluviométrica. O fator de frequência K_m calcula-se utilizando a Equação (3).

$$K_m = \frac{X_{m\acute{a}x} - X_{n-1}}{S_{n-1}} \quad (3)$$

Sendo: $X_{m\acute{a}x}$ a precipitação máxima observada na série de dados; X_{n-1} e S_{n-1} são respectivamente, a média e o desvio padrão da série excluindo o valor da precipitação máxima $X_{m\acute{a}x}$.

Hershfield (1965) apud WMO (2009) constatou, que o fator de frequência varia inversamente com a média da série de chuvas máximas anuais e definiu curvas envoltórias superiores para determinadas durações de chuva, em que K_m pode ser obtido a partir da média das precipitações máximas anuais para uma duração. Estas envoltórias estão apresentadas na Figura 6.

O fator de frequência varia de região, e segundo a WMO (2009) a envoltória proposta por Hershfield (1965) foi definida através de dados de 2700 estações sendo 90% das estações localizadas nos Estados Unidos. Para avaliação do risco hidrológico, no presente trabalho foi calculado o fator de frequência local através da Equação (3) de cada estação. E assim calculadas as precipitações máximas prováveis com o fator de frequência local e pelas envoltórias propostas por Hershfield (1965) para definição do fator de frequência (Figura 1).

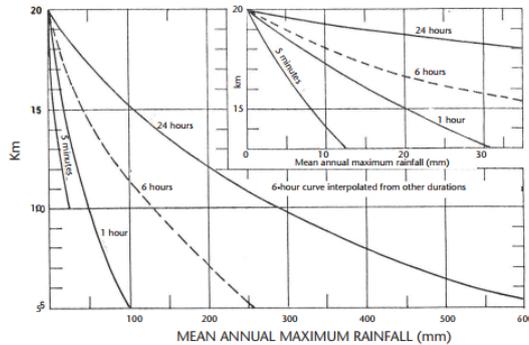


Figura 1 – K em função da duração da chuva e da média das precipitações máximas anuais. Fonte: (WMO, 2009)

Segundo a WMO (2009) um evento atípico, chamado de outlier pode ter um efeito considerável na média e no desvio padrão da série de precipitações máximas, a magnitude da influência varia com a raridade do evento ou tamanho do registro das precipitações. As Figuras 7 e 8 apresentam os ajustes sugeridos de média e desvio padrão a serem realizados.

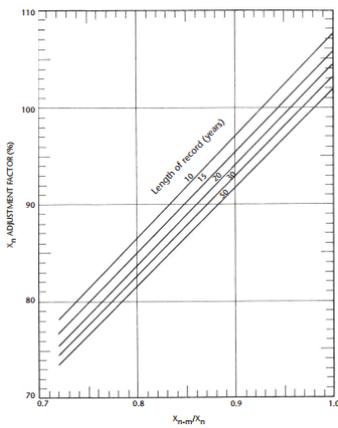


Figura 2 – Ajuste da média das séries anuais para valores atípicos. Fonte: (WMO, 2009)

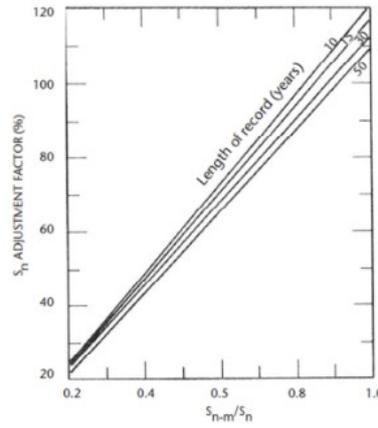


Figura 8 – Ajuste do desvio padrão das séries anuais para valores atípicos. Fonte: (WMO, 2009)

Avaliação do risco hidrológico

Watanabe (2013) afirma que, a partir dos testes de confiança realizados, foi possível concluir que o método de Gumbel, quanto a aderência amostral, por maioria, foi o que melhor se ajustou para os períodos de retorno 500 e 1000 anos para o cálculo de cheias. Logo, devido a praticidade e por ser um método difundido dentro da hidrologia, foi utilizada a distribuição de probabilidade de Gumbel para os cálculos dos tempos de retornos e vazões.

Para avaliação do risco hidrológico foram calculados os tempos de retornos associados as precipitações máximas prováveis e também a precipitação para um período de retorno $T_r=1000$

Comentado [NP2]: Para reduzir texto.

anos, tempo recomendado pela Eletrobrás (2003) para órgãos extravasores de barragem com altura até 30 m.

Para comparação entre os resultados obtidos da PMP e avaliação do risco hidrológico, foi calculado os tempos de retornos associados as precipitações máximas obtidas com o K_m local e com o K_m obtido pela envoltória de Hershfield (1965) e foram calculadas a precipitações para um tempo de retorno de 1000 anos.

Com os dados diários máximos das estações fluviométricas, e também com as Equações (10) e (11) foram calculadas as cheias para o tempo de retorno obtido associado a PMP com K_m local e com o K_m obtido pela envoltória de Hershfield (1965), além de cheia para uma vazão de tempo de retorno de 1000 anos.

Com os tempos de retornos obtidos foi calculado o risco hidrológico através da Equação 4

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{7}\right)^n \quad (4)$$

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estimativa da PMP e TR

Os resultados do cálculo da precipitação máxima provável (PMP) com fator de frequência local (K_m) estimado e o tempo de retorno correspondente a PMP são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - PMP calculada com o fator de frequência local e o tempo de retorno correspondente

Barragem	Estação	K_m	PMP (mm)	Tr (anos)
Bandeira de Melo	Fazenda Iguaçu	4,57	223,00	330
França	Morro do Chapéu	2,03	114,78	17
Pedras Altas	Jacobina	3,26	172,93	55
Ponto Novo	Pindobaçu	2,43	147,28	27

De acordo com Tabela 3 verifica-se que o fator de frequência das estações de Morro do Chapéu, Jacobina e Pindobaçu ficaram próximos, porém a utilização do fator de frequência local para obtenção da PMP resultou em precipitações com tempo de retornos baixos, comparado ao indicado para dimensionamento de extravasores de barragem, com a estação Fazenda Iguaçu apresentando o maior valor.

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados da PMP com o K_m obtido através da envoltória de Hershfield (1965) e o tempo de retorno associado a precipitação.

Tabela 4 - PMP calculada com o fator de frequência obtido pela envoltória de Hershfield (1965) e o tempo de retorno correspondente

Barragem	Estação	K_m	PMP (mm)	Tr (anos)
Bandeira de Melo	Fazenda Iguaçu	15,98	578,25	165.045.836
França	Morro do Chapéu	16,46	451,59	153.044.975
Pedras Altas	Jacobina	15,95	528,08	38.862.774
Ponto Novo	Pindobaçu	16,19	556,89	120.008.043

Pela Tabela 4, observa-se que com a envoltória sugerida por Hershfield (1965), obteve-se fatores de frequência e PMPs com valores mais próximos entre as estações, o que pode ser

explicado devido as estações estarem na mesma região, o semiárido nordestino. Porém, ao comparar com a Tabela 3, verifica-se uma diferença do K_m aproximadamente de 3 a 6 vezes maiores, o que refletiu nas PMPs calculadas, obtendo-se tempos de retornos de ordem de grandeza entre 10^6 a 10^8 , semelhante ao intervalo encontrado por National Research Council (NRC, 1994) em estudos nos EUA, que foi entre 10^5 e 10^9 casa decimais.

A precipitação para TR igual a 1000 anos pela distribuição de probabilidade de Gumbel e o fator de frequência associado a esta precipitação estão apresentados da Tabela 5.

Tabela 5 - PMP e K_m calculado para um tempo de retorno de 1000 anos

Barragem	Estação	$P_{Tr=1000}$ (mm)	K_m
Bandeira de Melo	Fazenda Iguaçu	253,06	5,53
França	Morro do Chapéu	201,04	5,73
Pedras Altas	Jacobina	249,84	6,01
Ponto Novo	Pindobaçu	244,83	5,71

De acordo com a Tabela 5, a atribuição de um mesmo tempo de recorrência resultou em precipitações com valores em magnitude e fator de frequência relativamente próximos. Comparando a Tabela 5 com as Tabelas 3 e 4, verifica-se que o valor de precipitação de 1000 anos é menor que obtidas com a PMP com o K_m obtido pela envoltória de Hershfield (1965) e maior que a PMP obtida com o K_m local. Demonstrando que para o caso dessas estações, os resultados da Tabela 4 se mostraram mais conservadores, enquanto que os resultados da Tabela 3 não se mostram adequados para análise de capacidade de vertedores.

Vazões Máximas e avaliação de Risco

Na Tabela 6 estão apresentadas as vazões e o risco para o tempo de retorno correspondente a precipitação máxima provável utilizando o fator de frequência local.

Tabela 6 - Vazão calculada por Gumbel para o Tr correspondente a PMP com K_m local

Barragem	Estação	Tr (anos)	Q (m^3/s)	Q máxima da serie histórica (m^3/s)	Risco (%)
Bandeira de Melo	Iaçu	330	2482,00	1848,54	11,16
França	França	17	146,26	173,00	79,32
Pedras Altas	Pedras Altas	55	167,70	176,13	33,21
Ponto Novo	Ponto Novo	27	172,74	177,30	61,07

Analisando a Tabela 6, verifica-se que para as estações França e Ponto Novo, a vazão com o tempo de retorno obtido pela PMP com o fator de frequência local foram menores que a máxima vazão observada no período da série histórica estudada, que para o dimensionamento de vertedores de barragens com risco de dano potencial classificado como alto demonstra-se tempos de recorrência extremamente baixos, apresentando um risco de probabilidade de ocorrência do evento de cheia para a barragem de França de 79,32%.

Na Tabela 7 estão apresentadas as vazões calculadas com o tempo de recorrência obtido através da PMP resultante do fator de frequência definido pela envoltória de Hershfield (1965).

Tabela 7 - Vazão calculada com T_r obtido da PMP calculada com K_m obtido através da envoltória de Hershfield (1965).

Barragem	Estação	T_r (anos)	Q (m ³ /s)	Q máxima da serie histórica (m ³ /s)	Risco (%)
Bandeira de Melo	Iaçu	165.045.836	6938,99	1848,54	0,00002
França	França	153.044.975	783,03	173,00	0,00002
Pedras Altas	Pedras Altas	38.862.774	687,62	176,13	0,00006
Ponto Novo	Ponto Novo	120.008.043	757,34	177,30	0,00002

De acordo com a Tabela 7, verifica-se que com os tempos de retornos associados a PMP pela envoltória de Hartsfield (1965), apresentou riscos de ocorrência variando de 0,0002% a 0,0006%, muito inferior ao comparar-se com o risco apresentado na Tabela 6.

Para melhor avaliação de risco hidrológico nas barragens estudadas, foi construída a Tabela 8, em que mostra a vazão calculada para o tempo de retorno de 1000 anos.

Tabela 8 - Vazão calculada para um tempo de retorno de 1000 anos

Barragem	Estação	Q (m ³ /s)	Risco (%)
Bandeira de Melo	Iaçu	2858,85	3,83
França	França	309,16	2,57
Pedras Altas	Pedras Altas	279,93	2,18
Ponto Novo	Ponto Novo	311,21	2,47

Tomando como base os valores de vazão de projeto apresentados no Quadro 1 e comparando com a Tabela 8, observa-se que a vazão para um tempo de recorrência de 1000 anos, resultou num valor de cerca de 8,5 vezes menor em comparação a capacidade de descarga do vertedor para barragem de Pedras altas, com a vazão da estação Iaçu dando a maior proximidade com capacidade do vertedor da barragem correspondente entre as estações analisadas, com relação aproximadamente de 1,8.

CONCLUSÕES

Em relação ao risco hidrológico associado as barragens estudadas, verificou-se que, de acordo com os dados disponíveis das estações fluviométricas analisadas, mesmo considerando tempo de retornos elevados obtidos com o método da PMP calculada com k_m obtido através da envoltória de Hershfield (1965) e o reservatório operando na sua cota máxima, o risco de ocorrência de galgamento entre as barragens estudadas é menor que 0,0006%. Sendo que, mesmo utilizando tempos de recorrência de ordem de grandeza de 6 casas decimais, o que resultou em vazões com no risco de ocorrência entre 0,0002% a 0,0006%, estas vazões estimadas ainda não superaram a capacidade de descarga dos vertedores.

Vale salientar que os resultados no presente trabalho foram obtidos a partir de séries históricas que são medidas através de leituras de operadores, o que pode influenciar consideravelmente nos resultados ao se trabalhar com dados máximos. Por fim, recomenda-se que para uma elaboração de um estudo mais criterioso sobre o risco hidrológico, seja realizado um mapeamento das precipitações máximas prováveis, em todo estado da Bahia, levando em consideração o tempo de

Comentado [NP3]: Reduzir o texto

concentração das bacias hidrográficas, essencialmente nas regiões onde estão implantadas as barragens, obtendo-se um fator frequência representativo das características hidrometeorológicas da região.

REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional das Águas. Hidroweb. Sistema de informações hidrológicas. Disponível em: < <http://hidroweb.ana.gov.br> >. Acesso em: 05 de janeiro de 2019.

BRASIL, L. S. S. (2005) *Utilização de modelagens uni e bidimensional para a propagação de onda de cheia proveniente de ruptura hipotética de barragem. Estudo de caso: Barragem do Rio de Pedras – MG*, Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais.

CERB. (2004). Ficha Técnica da Barragem de Bandeira de Melo.

CERB (2004). Ficha Técnica da Barragem de França.

CERB (2004). Ficha Técnica da Barragem de Pedras Altas.

CERB (2004). Ficha Técnica da Barragem de Ponto Novo.

CICARELI, M. C. P. (2018) Influência da hidrologia na segurança de barragens e onde atuar para garantir sua correta aplicação. In: XIV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS NORDESTE, Maceió. Disponível em: <<https://eventos.abrh.org.br/xivsrhne/apresentacoes.php>> Acesso em: 05 jan. 2019

COELHP FILHO, J. A. P. (2010) *Metodologia de curvas envoltórias probabilísticas para a estimação de cheias de projeto em bacias hidrográficas não monitoradas no estado de minas gerais*. Dissertação - Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais.

COLLISCHONN, W. (2019) Risco hidrológico e segurança de barragens existentes. In: XIV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS NORDESTE, Maceió. 2018. Disponível em:<<https://eventos.abrh.org.br/xivsrhne/apresentacoes.php>> Acesso em: 05 jan. 2019.

HERSFIELD, D. M. (1965) “*Method Estimating the probable maximum precipitation*”. Journal Am. Water Works Association. Vol.57, pg. 965-972.

ICOLD - INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. Dam break flood analysis: review and recommendations. Bulletin 111. Paris, 1998, 301 p.

INEMA (2017).. Inventário de barragens. Disponível em: www.inema.ba.gov.br/wp-content/.../INVENTARIO-INEMA-16-JANEIRO-017.xlsx. Acesso em: 05/03/2017.

LIMA; F. N.; NAGUETTINI M.; ESPÓSITO T. (2015) “*Avaliação da probabilidade de galgamento da barragem da PCH de Cajuru por simulação de Monte Carlo*”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 20, nº 3, p.722-730.

WATANABE, F. M. (2013) *Análise do Método de Gumbel para cálculo de vazões de dimensionamento de vertedouros*. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia - Universidade de São Paulo. São Carlos.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. *Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation - PMP*. Geneva: 2009. 291 p.