

## VI-032 - IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIAIS DECORRENTES DO ROMPIMENTO DE UMA BARRAGEM LOCALIZADA EM MEIO URBANO - ESTUDO DE CASO: BARRAGEM DA PAMPULHA

**Maria da Glória Braz<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia Kennedy. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da UFMG. Doutora em Engenharia Metalúrgica e de Minas pela Escola de Engenharia da UFMG. Professora da Faculdade de Engenharia e Arquitetura (FEA) da Universidade FUMEC e Professora e Coordenadora do Curso de Engenharia Civil da Faculdade Novos Horizontes.

**Rodrigo Castro Pereira<sup>(2)</sup>**

Graduando em Engenharia Civil pela Faculdade Novos Horizontes e Bolsista de Iniciação Científica FAPEMIG do Núcleo de Pesquisas da Faculdade Novos Horizontes.

**Luis Fernando de Souza Jeckel<sup>(3)</sup>**

Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia e Arquitetura (FEA) da Universidade FUMEC. Mestrando em Ciências dos Materiais pelo Centro de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET. Professor do Curso de Engenharia Civil da Faculdade Novos Horizontes.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Alvarenga Peixoto, 1270 – Santo Agostinho - Belo Horizonte - MG - CEP: 30.180-121 - Brasil - Tel: (31) 3293-7010- e-mail: [maria.gloria@unihorizontes.br](mailto:maria.gloria@unihorizontes.br)

### RESUMO

A ruptura de uma barragem acarreta consequências catastróficas, principalmente se essas estruturas se localizarem a montante de regiões urbanizadas, podendo, até mesmo, causar perdas de vidas humanas.

Por essa razão, a prevenção e redução das vulnerabilidades de vales a jusante de barragens têm merecido atenção especial, principalmente no que diz respeito às medidas não estruturais para minimizar os riscos e custos de um evento de ruptura ou, até mesmo, um evento hidrológico de grande magnitude, constituindo uma importante ferramenta de apoio à decisão.

Neste trabalho, foi elaborada a mancha de inundação do vale de jusante da barragem da Pampulha, localizada em Belo Horizonte, estado de Minas Gerais, até sua confluência com o rio das Velhas, através de cenário de rompimento do maciço e, com base no mesmo, foram indicadas as situações críticas e elaboradas as recomendações e sugestões para auxiliar a gestão e planejamento urbano na região do estudo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Barragens em Meio Urbano, Rompimento, *Flash flood*, Mancha de Inundação, Impactos Ambientais.

### INTRODUÇÃO

*Flash flood* ou enchente repentina é, notoriamente, o evento mais crítico dentre os diversos tipos de inundações, haja vista a onda de cheia trasladar ao longo da planície de inundação do rio com velocidade excessiva, aumentando, de forma calamitosa, o poder destrutivo de uma inundação. Enchente ou inundação repentina pode ocorrer, praticamente, sem nenhum aviso perceptível, podendo o hidrograma, dependendo do caso, alcançar o pico de cheia em apenas alguns minutos.

Um fato que pode acarretar uma onda de cheia repentina é a ruptura de uma barragem que, possivelmente, acarretará consequências catastróficas, principalmente se essas estruturas se localizarem a montante de regiões urbanizadas. A alteração instantânea do comportamento do fluxo do rio, quando do rompimento da barragem, é o fator surpresa para a população localizada no vale de jusante, pois um grande volume de água é liberado subitamente, devastando tudo que estiver ao longo do seu percurso, podendo ocorrer movimentação e arrastamento de pedregulhos e vegetação de grande porte, destruição de edificações e de vidas humanas.

No Brasil, pode-se enumerar vários casos, tendo-se como exemplos mais recentes, a barragem de Fundão, no estado de Minas Gerais (2015), que arrasou o Distrito de Bento Rodrigues e impactou todo o rio Doce e

Algodões, no estado do Piauí (2009), onde a onda de cheia escoou sobre a cidade de Cocal da Estação, tendo destruído, aproximadamente, 500 casas. (Jornal O Globo, 2009).

É importante ressaltar que a Lei 12334, datada de 20/09/2010, indica a elaboração do PAE – Plano de Ação de Emergência, para barragens de médio e grande porte e/ou para aquelas, cujo rompimento seja considerado de alto risco para a comunidade a jusante. O PAE deve conter a identificação e análise das possíveis situações de emergência, bem como os procedimentos preventivos a serem tomados no caso da ocorrência dessas situações. No entanto, mesmo com a vigência dessa lei, o PAE não foi elaborado para o caso da barragem de Fundão e é bem provável que não tenha sido elaborado para muitas barragens de alto risco no Brasil.

## OBJETIVOS

Os objetivos do presente trabalho são avaliar a formação da brecha no maciço (no tempo), o hidrograma correspondente e a propagação do escoamento pelo vale de jusante, estimando os impactos ambientais no vale de inundação e a ação sobre a população, em um rompimento hipotético de barragem em meio urbano. Essa análise deveria ser objeto dos Estudos de Impactos Ambientais envolvendo essas estruturas, mas apesar do risco e resultados inerentes a esse possível sinistro, não existe exigências para a sua elaboração.

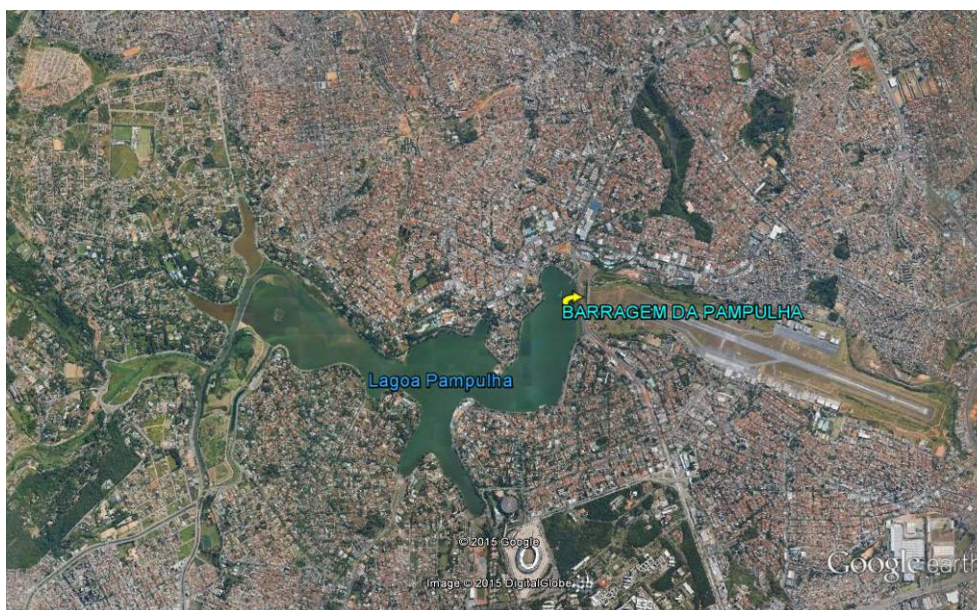
## HISTÓRICO DA BARRAGEM DA PAMPULHA

A bacia hidrográfica da Pampulha possui área de 97,572 km<sup>2</sup> sendo 42,986 km<sup>2</sup> pertencentes ao município de Belo Horizonte e 54,586 km<sup>2</sup> ao município de Contagem. O reservatório, de mesmo nome da bacia, foi projetado e construído para receber um volume de acumulação de 18 milhões de m<sup>3</sup>, correspondendo a uma área inundada de 2,61 km<sup>2</sup> e perímetro de 21 km, ultrapassando a profundidade de 15 m em cerca de 5% de sua área total.

O sistema de drenagem da barragem da Pampulha era constituído de drenos franceses normais ao eixo da barragem, mas, mesmo assim, após 16 anos de sua construção, o maciço se rompeu, devido a recalques das fundações da barragem, fazendo com que a crista do aterro desabasse formando um canal em S, por dentro da barragem, pelo qual se escoou toda a água do reservatório.

Em reportagem do jornal “O Diário”, datada de 20/ 01/1954, foram mostradas “imagens da barragem rompida e da inundação em vários locais da cidade, inclusive núcleos residenciais limítrofes ou mesmo afastados como Aarão Reis e Matadouro (atual Bairro São Paulo), e Capitão Eduardo. Entre os prejuízos, contabilizou-se a perda de plantações e animais, a destruição de casas e a interrupção dos serviços de energia, além do completo alagamento das pistas do aeroporto. As construções da orla também apresentaram problemas em sua integridade estrutural.”

A reconstrução da barragem da Pampulha ficou a cargo do Departamento de Obras contra as Secas - DNOS, sendo sua reinauguração datada de 31 de janeiro de 1958. Após a sua reconstrução, acelerou-se a ocupação da região e, atualmente, a barragem da Pampulha está localizada a montante de uma região densamente habitada do município, conforme mostrado na figura 1, e sua eventual ruptura terá consequências catastróficas.



**Figura 1 – Localização da Barragem da Pampulha em Belo Horizonte, Minas Gerais (Google Earth, 2015)**

Em novembro de 1997, foram realizadas inspeções rotineiras na barragem da Pampulha que detectaram alguns sinais de instabilidade do maciço na região da galeria do vertedouro, tendo sido observadas trincas e abatimentos no talude. Na primeira destas inspeções, realizada durante o período de descarga de cheia, foram observadas explosões de ar na saída da bacia de dissipação, conforme figura 2.



**Figura 2– Vista frontal das explosões devido ao emulsionamento de ar ao volume de água na tulipa (SUDECAP/DAM 1998)**

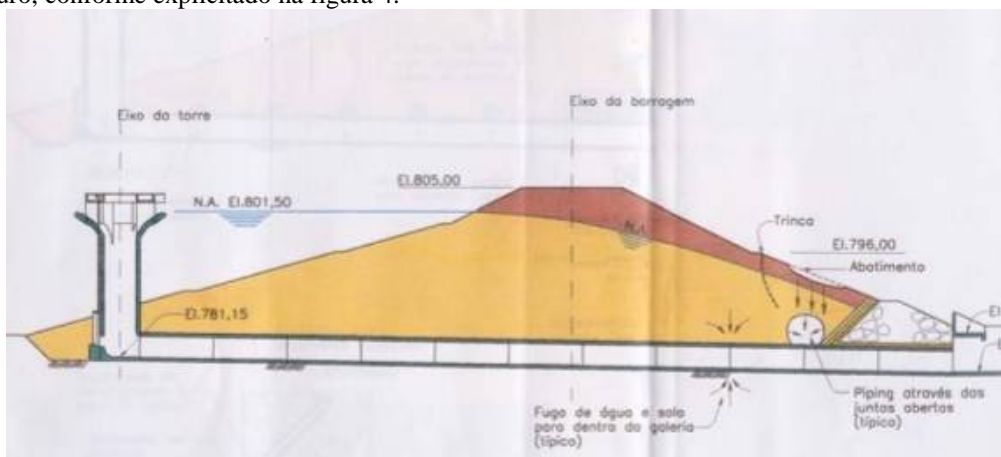
Nas inspeções executadas no interior da galeria pode-se destacar a abertura das juntas de deformação da estrutura da galeria no interior do maciço e do canal de restituição do vertedouro, conforme figura 3. Foram observados, também, na região de contato do canal de restituição, abatimentos e colapsos do aterro, indicando processos de erosão do tipo “*piping*”.





**Figura 3 – Juntas abertas no interior da galeria (SUDECAP/DAM, 1998)**

Segundo SUDECAP/DAM (1998), a causa da instabilidade progressiva da região do maciço da barragem, foi a associação dos seguintes fatores: forte vibração no aterro junto à galeria, causada pelo mau funcionamento do vertedouro nos períodos de descarga de grandes vazões, fuga de solo do maciço da barragem para dentro da galeria, através das juntas de dilatação, que se encontravam totalmente abertas, e entrada de água sob pressão no corpo do aterro, através dessas juntas de dilatação, nos períodos de descarga de grandes vazões pelo vertedouro, conforme explicitado na figura 4.



**Figura 4 – Perda de solo do maciço através das juntas abertas do túnel**

## METODOLOGIA UTILIZADA

De acordo com a Lei de Segurança de Barragens e as Normas de Projeto, definidas pelo ICOLD - *International Comitê on Large Dams* (1999), estabelece-se o estudo da zona inundável a jusante da barragem, por simulação da ruptura de modo súbito ou progressivo, parcial ou total, conforme o modo de ruptura mais provável.

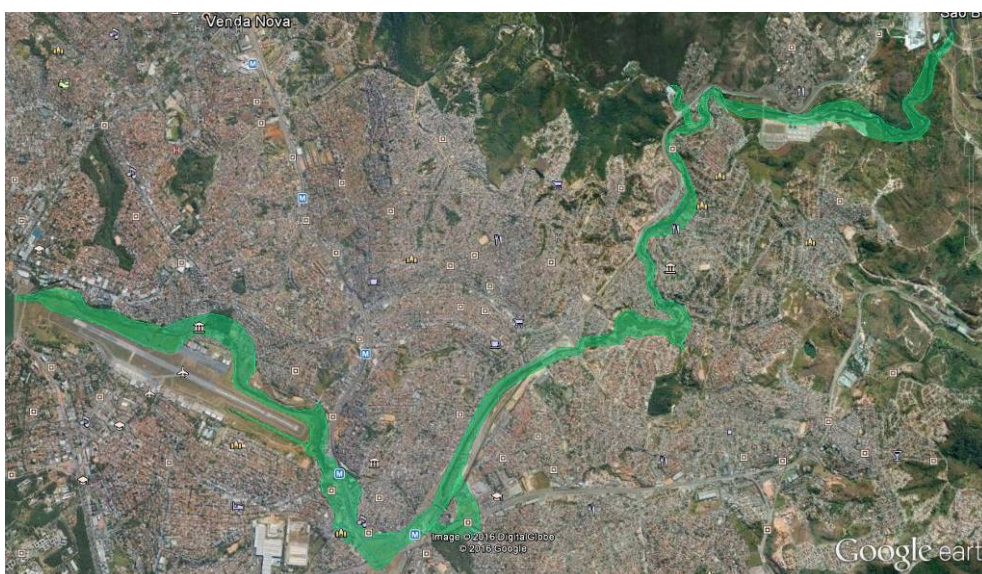
De acordo com o histórico da barragem da Pampulha, apresentado anteriormente, optou-se por estudar o rompimento do maciço através do fenômeno de *pipping*, localizando-se a brecha sobre a galeria do vertedouro auxiliar.

Foi utilizado para a simulação de rompimento e *routing* do hidrograma de ruptura, o modelo HEC-RAS, pois permite simular a ruptura da barragem, calcular o hidrograma originado pelo esvaziamento do reservatório e modelar a onda de inundação no vale de jusante da barragem. A brecha é modelada como um vertedor de

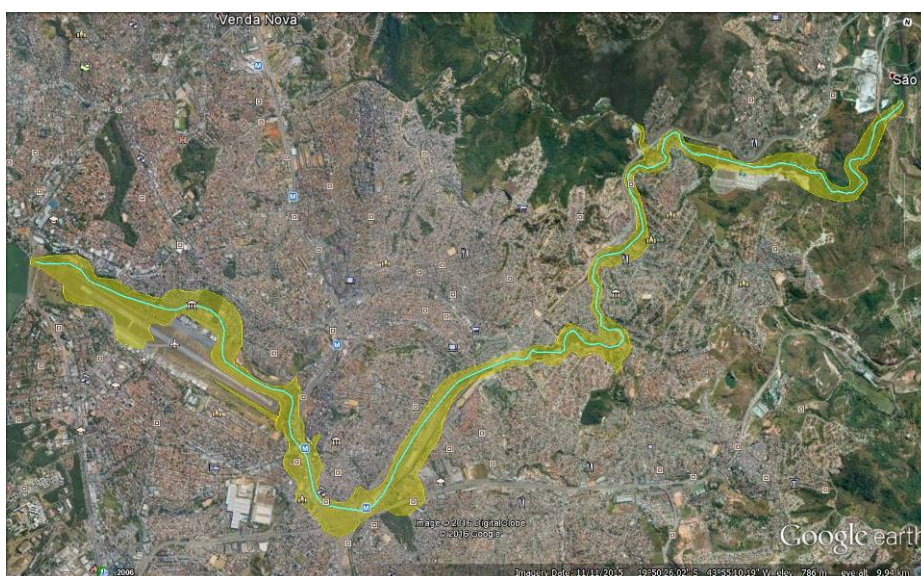
geometria variável, sendo suas dimensões majoradas conforme desenvolvimento da erosão provocada pela água. Na verdade, a brecha, no modelo, tem a configuração de um trapézio produzida por três parâmetros básicos: o tempo de formação, largura final, adotados com o intuito de simplificação e, também, pelo pouco conhecimento dos processos reais de abertura e formação da abertura.

## RESULTADOS OBTIDOS

As simulações forneceram o valor da vazão de pico efluente próximo de  $1280\text{m}^3/\text{s}$  e o tempo de abertura da brecha equivalente de 90 minutos. A partir dos resultados de propagação, fornecidos pelo modelo HEC-RAS, efetuou-se o mapeamento das manchas de inundação, em três cenários distintos, após 1 hora, 2 horas e 3,7 horas da ruptura do maciço, esse último cenário apresentando o pico máximo da onda de cheia repentina. Com a utilização do aplicativo *Google Earth*, podendo-se caracterizar de forma clara, as áreas passíveis de intervenção, imediatamente a jusante da barragem da Pampulha, conforme Figuras 5, 6 e 7.



**Figura 5 – Mancha de Inundação Proveniente do Rompimento Hipotético da Barragem da Pampulha, Após 1 hora da Ruptura**



**Figura 6 – Mancha de Inundação Proveniente do Rompimento Hipotético da Barragem da Pampulha, Após 2 horas da Ruptura**





**Figura 7 – Mancha de Inundação Proveniente do Rompimento Hipotético da Barragem da Pampulha – Após 3,7 horas - Pico Máximo**

Pode-se observar que equipamentos públicos, quais sejam o aeroporto da Pampulha, estações metroviárias e, até mesmo, um campus de uma universidade, bem como áreas residenciais e comerciais estão localizadas no caminhamento da onda de cheia e, dessa forma, questiona-se tempo hábil para a perfeita evacuação desses locais, haja vista a evolução da mancha de inundação apresentada.

Deve-se ressaltar que as estações do Metrô de Belo Horizonte, mais precisamente a Estação 1º de Maio e a Estação São Gabriel fazem parte da linha 1 que, além de atender Belo Horizonte, também atende o município de Contagem, onde está localizada a Estação Eldorado. Diariamente, cerca de 240 mil pessoas utilizam o Metrô de Belo Horizonte, sendo atualmente o quarto sistema metroferroviário mais movimentado no Brasil.

Além disso, o Aeroporto de Belo Horizonte é um dos principais polos de manutenção de aeronaves, aviação geral e executiva, sendo que, em abril/2008, esteve em 11ª posição no *ranking* de operações de aeronaves e em 26ª na quantidade de passageiros. Atualmente, esse aeroporto processa em média cerca de 5.000 pousos e decolagens/mês.

A Pontifícia Universidade Católica, localizada no bairro São Gabriel (PUC Minas) possui infraestrutura para atender a mais de 12 mil alunos, estando localizada próximo da Estação Metroviária São Gabriel.

Ao longo de todo o percurso da onda de cheia repentina (*flash flood*), pode-se perceber que existem inúmeras edificações e, até mesmo, grandes lojas e conjuntos habitacionais estimando-se, nesse quesito, 5000 famílias atingidas.

## CONCLUSÕES

É importante se estender a elaboração do presente estudo após a confluência do ribeirão da Onça com o rio das Velhas, dado que além de a região ser bastante urbanizada, ela pertence à bacia do rio São Francisco, ressaltando-se que, quando de um rompimento, os efeitos da onda de cheia podem afetar a topografia e a rugosidade do caminho do fluxo, pois devido às altas velocidades do escoamento, à elevação dos níveis de água no leito do canal de drenagem e ao grande volume de sedimentos erodidos e carreados que são arrastados, o potencial de destruição da translação da onda de cheia é muito alto.

Pode-se afirmar que em caso de um rompimento de uma barragem no Brasil, ainda não se tem diretrizes normativas seguras para se atribuir a responsabilidade pelos danos, o que geraria em grande impasse jurídico,

pois se tem inúmeras pessoas sofrendo com os danos, sem ter como obrigar aquele que, em tese, é o responsável e possui condições para arcar com o dano.

Apesar da Constituição Federal estabelecer, no seu artigo 21, que "*competete à União*" e, no inciso 28, "*planejar e promover a defesa permanente contra as calamidades públicas, especialmente as secas e as inundações*", as administrações públicas, em geral, não estão preparadas técnica e financeiramente para planejar e controlar esses impactos, já que os projetos de engenharia dessa natureza são, normalmente, tratados de forma setorializada, não ocorrendo a interação necessária na gestão pública.

Deve-se ressaltar que a regulamentação dos impactos ambientais inerentes a uma catástrofe como essa, envolve o controle da ocupação dos espaços de risco de enchentes. Mesmo que os Planos Diretores já abordem os aspectos de preservação ambiental, convive-se com a falta de informação, consequentemente, não se observa qualquer medida de prevenção da ocupação das áreas de risco de enchentes.

É de grande importância a elaboração de uma legislação mais precisa e clara, que determine a responsabilização dos agentes públicos e privados em caso de acidentes envolvendo barragens.

Ressalta-se que a Lei 12334/2010 foi um marco na política de segurança de barragens, mas é necessário que ela seja amparada por outras leis, podendo-se citar o projeto de Lei 436/2007 como um excelente começo, apenas ponderando a necessidade de que nele esteja expresso os critérios mínimos para a contratação do seguro, como a exigência de laudo técnico e levantamento monetário do valor a ser assegurado pela apólice do referido seguro.

Sugere-se, ainda, a implantação de um processo de caracterização das áreas de risco de inundação no vale de jusante das barragens e estudos de um programa para viabilizar a implantação de um sistema de alerta às populações das regiões afetadas, tendo em vista ser de fundamental importância nos processos da gestão pública, pois é fator decisivo no salvamento de vidas e minimização de prejuízos.

Com base no exposto, recomenda-se a implantação de um Plano de Ação Emergencial – PAE para a região a jusante da barragem da Pampulha, com base em informações dos vários níveis de alerta no vale a jusante da barragem, no sentido de gerenciar as ações referentes a eventos emergenciais, estabelecendo a hierarquia e as responsabilidades de cada órgão envolvido e quais os meios e recursos disponíveis dos mesmos para a ação mitigadora efetiva, desde a caracterização da população que habita a área inundável, sua faixa etária e capacidade de mobilização; a tipologia das edificações na área inundável, a identificação de eventuais pontos de fuga e as estruturas fora da área inundável que possam ser utilizadas nas ações de socorro, dentre outras.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRAZ; M.G., PEREIRA; R.C. - *Rompimento Hipotético de Barragem Localizada em Meio Urbano e o Mapeamento do Vale de Jusante– Estudo de Caso: Barragem da Pampulha* In 28º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental – Rio de Janeiro, R.J. – 2015
2. CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL DE 1988 - DOU DE 05/10/1988
3. <http://oglobo.globo.com/cidades/mat/2009/05/28/>
4. ICOLD (1999) - *Bulletin on Risk Assessment: Risk Assessment as an Aid to Dam Safety Management*. Draft, International Commission of Large Dams, Draft 24.08.99, 102p.
5. LEI FEDERAL 12334 – 20/09/2010
6. PROJETO DE LEI 1486/2007
7. PROJETO DE LEI 436/2007
8. SUDECAP/DAM Engenharia. *Condições de Estabilidade e Segurança da Barragem da Pampulha* – Relatório Técnico, Fevereiro/1998.
9. SUDECAP/DAM Engenharia. *Análise de Percolação e Estabilidade da Barragem da Pampulha* – Relatório Técnico, Setembro/1998.