

Segurança de Barragens: Uma Revisão Sistemática Acerca das Possíveis Causas de Rupturas em Barragens e Suas Consequências

EVANGELISTA, TAINARA MESSIAS DOS SANTOS¹; SANTOS, ISABELLA CHRISTINE DE PAULA ².

Resumo

As barragens possuem diversas aplicações importantes, tanto no âmbito social, quanto no econômico, pois propiciam inúmeros benefícios à população. No entanto, elas estão associadas a elevados riscos, o que pode ocasionar consequências catastróficas para uma determinada cidade ou região. Dessa forma, o presente trabalho tem como finalidade realizar o estudo dos diversos riscos inerentes a uma barragem, as consequências relacionadas às falhas que podem ocorrer na estrutura e os assuntos relacionados a segurança de barragens. O trabalho foi feito por meio da realização de uma revisão bibliográfica sistemática, na qual foram utilizados, livros, artigos de revistas e congressos, e dissertações de mestrado. A partir disto, notou-se que galgamento, *piping* e liquefação são algumas das causas de ruptura de barragens. Cresceram os assuntos relacionados à segurança das barragens, crescendo a discussão acerca dos planos emergenciais, dos relatórios de segurança e manutenção, estudos de riscos e probabilidade de riscos, e do papel dos órgãos fiscalizadores. Nota-se ainda, que os assuntos a cerca da segurança ainda são bastante complexos já que, em muitas das barragens não foram implantados os planos de segurança.

Palavras-chave: Segurança de Barragens. Risco de barragens. Tipos de barragens.

1. Introdução

Uma barragem pode ser definida como um elemento estrutural; construído transversalmente em direção ao escoamento de um determinado curso d'água, destinado à elaboração de um reservatório artificial para armazenar a água (MARANGON, 2004).

Dessa forma, as barragens são definidas em função do objetivo a que se destina, podendo ser utilizadas para diversas finalidades, como por exemplo, geração de energia elétrica, abastecimento de água, controle de cheias, irrigação, navegação, recreação e contenção de resíduos. Além disso, elas podem ser separadas por duas categorias: barragens de regularização e de retenção (COSTA, 2002).

De acordo com Costa (2002), as barragens construídas para regularização têm a função de regular o regime hidrológico de um determinado rio, acumulando água em períodos com condições favoráveis, e utilizando o volume acumulado nos períodos déficit de

¹ Tainaramessias20@gmail.com. Graduando em Engenharia Civil, Universidade de Rio Verde, Campus Rio Verde, Fazenda Fontes do Saber, Caixa Postal 104. CEP: 75.901-970 - Rio Verde - GO.

² isabellasantos@unirv.edu.br. Professora Mestre, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Rio Verde, Campus Rio Verde, Fazenda Fontes do Saber, Caixa Postal 104. CEP: 75.901-970 - Rio Verde - GO.



afluência. Enquanto as barragens de contenção têm a finalidade de reter água de forma breve, por servirem para controle de cheias, além de poderem ser destinadas ao acúmulo de sedimentos, rejeitos de minérios ou detritos industriais.

As barragens também podem ser caracterizadas quanto ao material empregado em sua composição. Soares (2014) destaca que essas estruturas podem ser constituídas de terra; de enrocamento; de concreto; ou mista, na qual é utilizado mais de um tipo de material em sua seção, como por exemplo, barragem de terra e enrocamento. Além disso, as barragens também podem ser classificadas como mistas ao longo de seu traçado, quando as mesmas são formadas por mais de um tipo de material ao longo de seu corpo.

Além disso, barragens de terra, são classificadas de duas formas sendo homogêneas e zonadas, enquanto as barragens de enrocamento podem ser de face ou núcleo impermeável. Já as barragens de concreto são divididas como de gravidade, gravidade aliviada, com contra forte, de concreto rolado ou compactado a rolo, e abóbada.

Com isso, levando-se em consideração os diversos tipos de barragens existentes e suas diferentes finalidades, tem-se preocupado com a segurança das mesmas. Dentre os assuntos referentes a barragens e seus aspectos gerais, podem-se destacar o projeto e a conservação de barragens, os quais levam em consideração, a segurança da obra. Sendo que os princípios básicos para o desenvolvimento de uma barragem é segurança e economia (SAMPAIO, 2014).

De acordo com Prata (1987), a finalidade da análise de segurança de uma barragem é definir que esta apresente condições, estruturais e operacionais, seguras por toda sua vida útil da estrutura. Na análise devem ser apontados os problemas encontrados e indicar os tipos de reparos a serem executados na estrutura e os estudos para definir a solução do problema.

A etapa de análise da segurança de uma barragem constitui-se em analisar as informações constituintes do projeto, a fase de execução, os materiais utilizados e seu histórico de execução, por meio de documentos gerados durante a vida útil da obra. Por meio desses documentos pode ser verificado se a estrutura ou os reparos indicados, que são executados quando necessários, foram realizados conforme as especificações do projeto. Também é necessário fazer a perícia do comportamento e situação da estrutura real, realizar os estudos, apresentar resultados, e fazer um relatório (PRATA, 1987).

No Brasil para tratar assuntos referentes à segurança de Barragens, adota-se a lei nº 12.334, sancionada do dia 20 de setembro em 2010, na qual é estabelecida a Política Nacional de segurança de barragens (PNSB), aplicando-se a Barragens designadas à reserva de água, disposição final ou provisória de rejeitos e acúmulo de resquícios industriais. Essa lei criou o Sistema Nacional de Segurança de Barragens (SNISB), que tem como objetivo garantir a segurança das mesmas, minimizando os riscos de acidentes e

suas consequências. Regulamentando as medidas necessárias a serem tomadas em todas as suas fases, sejam elas de planejamento, construção ou fiscalização, dentre outras. Segundo Aguiar (2014), os estudos de segurança de barragens é algo preocupante para alguns países, pois muitos não dispõem de uma lei referente à segurança das barragens.

Qualquer anomalia causada numa barragem pode acarretar riscos à população, localizada a jusante. Porém acidentes que ocasionam no colapso de uma barragem, o seu poder destrutivo pode ser, com tal intensidade, quanto o seu tamanho e sua capacidade de acúmulo, causando uma larga destruição em massa (SAMPAIO, 2014). No que se Refere a falhas de barragens, Aguiar (2014) diz que, grande parte dos acidentes ocasionados com no território nacional continua sem respostas, o que dificulta o desenvolvimento de estudo da área.

Dentre os acidentes ocorridos em barragens, pode-se citar o caso da barragem da Samarco, ocorrido em Mariana (Minas Gerais/Brasil), em 05 de novembro de 2015, que foi denominada como a maior tragédia do mundo tratando das barragens de rejeitos. A barragem da mineradora se rompeu, derramando cerca de 40 milhões por metros cúbicos os rejeitos de minérios de ferro, devastando o distrito de Bento Rodrigues, provocando mortes e deixando cerca de 200 famílias desabrigadas. Em decorrência desse acidente sabe-se que há cerca de 50 mil ações judiciais contra a empresa, dentre elas a Samarco declarou já ter pagado R\$ 2,5 bilhões de reais das multas de ressarcimento e indenização (LOPES, 2016).

Dessa forma, levando em consideração a importância da segurança dessas estruturas no âmbito social e econômico, o presente trabalho possui como objetivo principal avaliar as principais causas de falhas na execução de barragens e os principais assuntos abordados no tema de segurança. Apresentando, com isso, além dos fatores condicionantes dos problemas, suas consequências, e o que pode ser feito para evitar possíveis acidentes.

2. Material e métodos

Neste trabalho foi realizado uma revisão bibliográfica sistemática, com objetivo de levantar quais os principais fatores relacionados às falhas e rupturas em barragens. Para isso, foram descritos diversos acontecimentos históricos de acidentes, nos quais foram analisadas as ameaças e os modos das rupturas.

Também serão analisadas as consequências dos acidentes, e quais as medidas corretivas e preventivas que podem ser adotadas. Em seguida, a realização de uma pequena avaliação crítica dos casos estudados, ressaltando os cuidados que devem ser tomados durante a vida útil de uma barragem.

A revisão sistemática difere da revisão tradicional, uma vez que busca superar possíveis vieses em todas as etapas, seguindo um método rigoroso de busca e seleção de

pesquisas; avaliação da relevância e validade das pesquisas encontradas; coleta, síntese e interpretação dos dados oriundos das pesquisas. Tratando-se de um tipo de estudo focado em pontos bem definidos, que visam identificar, distinguir, examinar e sintetizar os índices importantes disponíveis (GALVÃO. *et, al* 2004).

De acordo com Galvão. *et, al* (2014), para se elaborar uma revisão sistemática, a mesma deve ser fragmentada em oito etapas, divididas em: (1) elaborar uma boa pergunta para a pesquisa; (2) buscar trabalhos em bibliografias; (3) escolher os artigos; (4) retirar os dados essenciais; (5) verificar a qualidade da metodologia utilizada; (6) reunir os dados (metanálise); (7) analisar a qualidade das evidências e por último (8) escrever e publicar os resultados obtidos.

A pesquisa foi realizada em sites estudantis e de pesquisa já conceituados, tais como: Google Acadêmico, Periódicos CAPES, sites de universidades e anais de congressos, nos quais foram utilizadas as seguintes expressões para a busca dos trabalhos: segurança de barragens; riscos em barragens e acidentes de barragens. Inicialmente, os mesmos foram escolhidos depois da leitura do título, das palavras chaves e resumo. Após a pré-seleção, foi realizada uma segunda análise, por meio da leitura da introdução e conclusão, retirando assim, mais alguns artigos. Em seguida, após a seleção dos artigos a serem usados na revisão sistemática, efetuou-se a leitura completa dos mesmos.

No Google Acadêmico foram localizados 60 trabalhos, dos quais, 7 foram selecionados de interesse para a pesquisa.

No site do comitê brasileiro de barragens, na Revista Brasileira de engenharia de Barragens, foram localizados 11 trabalhos dentre eles revistas, dos quais 1 trabalho ficou selecionado.

No site da Agência Nacional das Águas (ANA) foram localizados 8 trabalhos incluindo relatórios e manuais de segurança de barragens, e dentre eles 3 foram selecionado para a pesquisa.

No site Science Direct, acessado por meio do site da CAPES, encontrou-se 70 artigos, apenas 4 foram selecionados para o presente trabalho.

Localizou-se 32 trabalhos em repositórios de Universidades, dos quais 6 se encaixaram para utilização no artigo.

Neste trabalho também foram utilizados os seguintes livros Geologia de Barragens, *dams and public safety*.

No Quadro 1 é apresentada uma descrição dos trabalhos selecionados no estudo.

Quadro 1 - Descrição dos artigos relacionados



VARIÁVEL	REFERÊNCIA	TÍTULO	Qualidade da execução do estudo	Adequação ao foco da revisão
Segurança de Barragens e Planos de Segurança	Ana (2016)	Relatório de segurança de barragens 2015	ALTA	ALTA
	ANA (2017)	Relatório de segurança de barragens 2016	ALTA	ALTA
	ANA(2016)	Diretrizes para a Elaboração do Plano de Operação, Manutenção e Instrumentação de Barragens	ALTA	ALTA
	JEON et, al. (2009)	Development of dam safety management system	ALTA	ALTA
	ZUFFO, M.S.R. (2005)	Metodologia para Avaliação da Segurança de Barragens.	ALTA	ALTA
	WIELAND, M. (2016)	<i>Safety aspects of sustainable storage dams and earthquake safety of existing dams. Engineering</i>	MÉDIA	MEDIA
	AGUIAR, D.P.D. O. (2014)	Contribuição ao Estudo do Índice de Segurança de Barragens – ISB.	ALTA	MEDIA
	BALBI, A. F. (2008)	Metodologias para a Elaboração de Planos de Ações Emergenciais para Inundações Induzidas por Barragens. Estudo de caso: Barragem de Peti – MG.	ALTA	ALTA
Problemas que afetam as barragens	COLLISCHONN, W. (1997)	Análise do Rompimento Hipotético da Barragem de Ernestina – RS.	ALTA	ALTA
	LEE. Et, al (2013)	An assessment of long-term overtopping risk and optimal termination time of dam under climate change	ALTA	MEDIA
	BOCCHIOLA et, al. (2014)	Safety of Italian dams in the face of flood hazard	ALTA	MÉDIA
	LEMPÉRIÈRE, F. (2017)	<i>Dams and floods</i>	MÉDIA	MEDIA
	MONTE-MOR, R. C. A. (2004)	Mapeamento de Áreas Inundáveis Associadas Ruptura de Barragens; Estudo de Caso: Barragem de Ninho da `guia - MG.	MÉDIA	MEDIA
	JÓNATAS, R. J. L (2013).	Rótura de barragens de aterro por galgamento: Ensaios experimentais com aterros homogêneos	ALTA	ALTA
	LADEIRA, J. E. R. (2007)	Avaliação de Segurança em Barragem de Terra, Sob o Cenário de Erosão Tubular Regressiva, por Métodos Probabilísticos. O Caso UHE São Simão	ALTA	MEDIA
	SILVA, S. D. (2016)	Estudo de filtro aplicado ao controle de erosão interna em barragens.	MÉDIA	MEDIA
Medidas Corretivas	MATOS, S. F (2002)	Avaliação de instrumentos para auscultação de barragem de concreto. Estudo de caso: deformímetros e tensômetros para concreto na Barragem de Itaipu.	ALTA	BAIXA
	MACHADO, W. G. F (2007)	Monitoramento de barragens de contenção de rejeitos da mineração	MÉDIA	MEDIA
	VASCONCELOS, G. R. L. DE.(1978)	Plano de implantação e acompanhamento do instrumental de auscultação de estruturas de concreto - obra de Itaipu	MÉDIA	MEDIA
	LAURIANO, A. W (2009)	Estudo de Ruptura da Barragem de Funil: Comparação entre os modelos FLDWAV e HEC-RAS	MÉDIA	MEDIA
	CBDB (2017)	Estruturação do manual de monitoramento como ferramenta para segurança de barragens	ALTA	ALTA
Livros utilizado	COSTA, W. D. (2012)	Livro Geologia de barragens	ALTA	ALTA
	JANSEN, R.B. (1983)	<i>Dams and Public Safety</i>	ALTA	MEDIA

3. Resultados

Neste item serão apontados fatores contribuintes para a ocorrência de falhas e rupturas em barragens de terra, casos históricos de rompimentos de algumas estruturas, as causas desses problemas, medidas a serem tomadas, análise dos riscos e planos de emergências existentes a cerca da segurança de barragens.

3.1 Acidentes de barragens suas causas e consequências

No Quadro 2 são apresentados alguns casos históricos de rompimento de barragens, destacando as causas dos acidentes, ano de ocorrência e suas consequências. Pode-se notar, que dentre as causas de ruptura, citam-se falhas relacionadas ao controle de percolação, tendo como exemplo, erosão interna localizada no maciço da barragem; subdimensionamento dos vertedores, etc.

Quadro 2 acidentes Históricos com Barragens

BARRAGENS	TIPO	CAUSA	ANO	CONSEQUÊNCIAS
South Fork -EUA	Terra	Galgamento	1853	Matou cerca de 2.200 pessoas
Dale Dyke - Inglaterra	Terra com núcleo de argila	Erosão Interna	1864	cerca de 238 mortos
Mill River -EUA	Terra	Galgamento	1874	Morte de 143 pessoas
Grove Dam	Enrocamento	Galgamento	1980	150 mortes
barragem de Bouzey - França	Concreto Gravidade	Galgamento	1895	Mais de 100 pessoas
Austin na Pensilvânia - EUA	Concreto	Galgamento	1911	Média de 80 mortes
Barragem de St. Francis – EUA	Concreto em arco	houve deslizamento da ombreira esquerda, o arco veio a colapso	1928	Matou 450 pessoas
Barragem Vega de Tera- Espanha	contrafortes	Galgamento	1959	morte de 144 pessoas
MALPASSET-FRANÇA	Concreto em arco	Galgamento	1959	Matou cerca de 421 pessoas
Orós - CE	Terra	Galgamento	1960	Estimativa de 1.000 mortos
Yar Dam	não informando pelo autor	Galgamento	1961	Cerca de 145 mortos
Baldwin Hills- EUA	Terra	Erosão Interna	1963	cinco mortos e cerca de 41 casas destruídas
Barragem de Vajont – Itália	Concreto em arco	Galgamento	1963	2600 mortos
Buffalo Creek	Rejeitos	Galgamento	1972	125 mortos
Teton - EUA	Terra	Erosão Interna	1976	Morte de 11 pessoas e danos materiais

Fonte: Jansen (1993)

No Quadro 3, são representados acidentes e incidentes ocorridos no período de abrangência dos relatórios das Ana (2016) para o ano de 2015 e Ana (2017) para o ano de 2016. Resolução nº 144/2012 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, art. 2, define acidente como um evento que pode levar a estrutura a uma ruptura parcial ou total, resultando então em sérios problemas econômicos e sociais. Além disso, também se tem os incidentes, que são problemas físicos, que afetam a funcionalidade da estrutura, que não reparados podem gerar os acidentes.

Quadro 3 - Lista de acidentes e incidentes de acordo com os relatórios da Ana

BARRAGEM	CAUSA	ANO	EVENTO
Gramane	Percolação	21/01/2014	Incidente
Araçagi-PB	Galgamento	03/02/2014	Incidente
UHE santo Antonio do Jari-AP	Galgamento	29/03/2014	Acidente
Fazenda Boa Vista do Uru-GO	Galgamento	05/04/2014	Acidente
Vacaro -SC	Galgamento	27/03/2014	Acidente
UHE Dona Francisca- RS	Galgamento	25/07/2014	Incidente
B1-B2 - MG	Erosão Interna	10/09/2014	Acidente
Três Irmãos -ES	Galgamento	14/11/2014	Incidente
Barragem de Pesque-Pague-MS	Galgamento	12/12/2014	Acidente
Córrego Seco - ES	Lixiviação	09/04/2015	Incidente
UHE Cachoeira Caldeirão - AP	Galgamento	07/05/2015	Acidente
PCH Inxu -MT	Erosão Interna	06/06/2015	Acidente
Propriedade de Nei Zampieri - SC	Erosão Interna	15/07/2015	Acidente
Fundão-MG	Liquefação de efluentes	05/11/2015	Acidente
Germano-MG	Rompimento da Barragem a Montante	05/11/2015	Incidente

Fonte: Tabela reproduzida com bases nos relatórios da ANA, (2016) e ANA, (2017).



UNIVERSIDADE
DE RIO VERDE



Continuação do Quadro 3 - Lista de acidentes e incidentes de acordo com os relatórios da Ana

EVENTO	CAUSA	BARRAGEM	ANO
Santarém-MG	Rompimento da Barragem a Montante	05/11/2015	Incidente
Alto Grande-BA	Galgamento	04/01/2016	Acidente
Fazenda Guavirova-PR	Galgamento	24/08/2016	Acidente
Jucazinho-PE	Fissuras	12/02/2016	Incidente
Bosque IV-AL	Galgamento	março de 2016	Incidente
São Francisco - AL	Galgamento	Setembro de 2016	Incidente
Prado -AL	Galgamento	setembro de 2016	Incidente

Fonte: Tabela reproduzida com bases nos relatórios da ANA, (2016) e ANA, (2017).

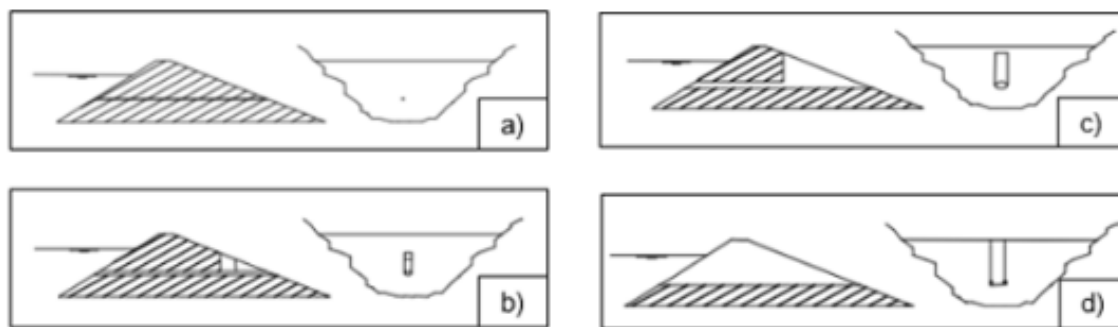
Dentre as falhas mais comuns em Barragens de acordo com as tabelas 2 e 3 temos a Erosão interna e o Galgamento, então no item 3.2 essas falhas foram definidas e também foram apresentadas soluções.

3.2 Causas das falhas

Erosão Interna (*piping*)

A erosão interna (*piping*) é um processo onde se forma um tubo de escoamento preferencial conhecido como entubamento (*piping*) causado pela percolação da água. Falhas ocasionadas por *piping* são eventos que ocorrem por erosão regressiva, na qual se forma um tubo, gerado do carreamento de partículas, de jusante para montante no maciço do solo compactado. Este tubo tende a expandir gradativamente seu diâmetro conforme a água percorre pelo solo compactado, levando então ao colapso da estrutura (LADEIRA, 2007).

Dentre as falhas comuns de acordo com os trabalhos estudados, nota-se que um dos grandes problemas enfrentados pelos engenheiros nas barragens, é o controle da percolação, sendo que para que isso ocorra devem ser criados elementos ou soluções que podem ser aplicados nas fundações ou no maciço da barragem, visando a segurança da mesma, de forma a interceptar o fluxo da água, encaminhando-a para leito do rio a jusante de forma ordenada.



Processo de formação da brecha por erosão interna a) iniciação da erosão interna; b) continuação da erosão; c) progressão da erosão; d) Formação de um mecanismo de brecha

Autor : FRY (2005)

Uma das soluções que podem ser adotadas para o controle do escoamento, de acordo com Silva (2016), é a utilização de drenos, esses filtros de drenagem devem ser projetados nas estruturas tendo como principais funções a de retenção e permeabilidade. Os drenos internos nas estruturas de médio e grande porte são importantes, pois ajudam a controlar a percolação no interior da barragem e na fundação, sendo bem mensurados conseguem então controlar o escoamento. E nos mecanismos para drenagem, devem se enfatizar os princípios e técnicas utilizadas no seu dimensionamento, pois o mesmo está diretamente ligado à segurança da barragem.



Figura 2- Filtos Drenantes

Autor: MENDES (2017)

Ainda de acordo com o autor, os aspectos determinantes como nível de compactação da terra, a mensuração apropriada dos sistemas de drenagem e também as inspeção de parâmetros geotécnicos são bastante relevantes para impedir o processo de formação do *piping*

A formação do *piping* de acordo com Monte-Mor (2004) é denominado como o maior problema enfrentado pelas Barragens de terra, logo então, esse fato é utilizado como parâmetro para estabelecer os planos de emergência (PAE) e também para se ter o maior índice de vazão em relação ao pico das ondas de inundação

Tanto na China e em outros lugares, a erosão interna tem sido umas das principais razões em desastres envolvendo barragens, onde as falhas por erosão interna chegam a resultar em pelo menos a metade das incidências por inundações. Os resultados de mortes resultantes de inundações chegam a quase dez vezes o resultado de mortes por erosão interna, sendo que este não deve ser ignorado. A liquefação por terremoto de material arenoso ou fundações de barragens ainda é outra grande ameaça (LEMPÉRIÈRE, 2016)

Galgamento

O Galgamento também denominado como *overtopping*, ocorre quando a água transpassa o coroamento da barragem e se originam das ondas que se desenvolvem no reservatório, por causa das cheias ou eventos de sismos. Processos como erosão do material de jusante, cortes profundos no coroamento, podem formar uma zona frágil, levando ao colapso total de uma barragem, sendo capaz portanto, o modo de falha por corte em profundidade, progredir até alcançar a base do aterro (JÓNATAS,2013).

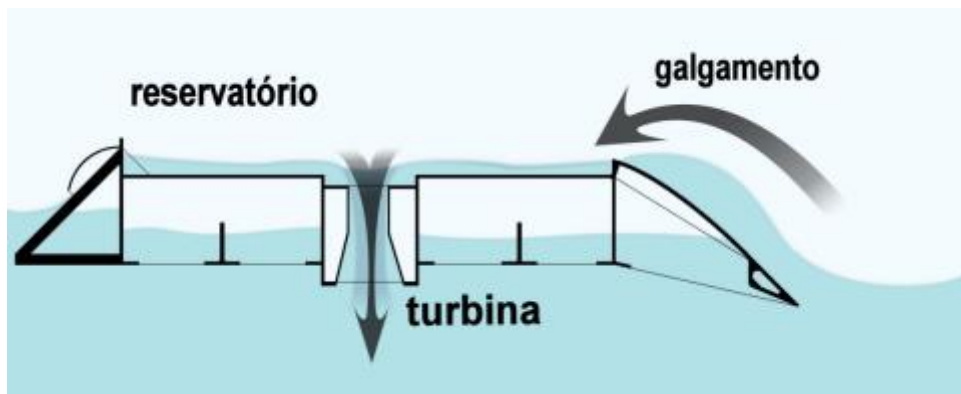


Figura 3 – Galgamento

Fonte: Kofoed et al. (2006)

Jónatas (2013) ainda cita que, a parte frágil de uma barragem é incerta, mas em geral o escoamento se encontra na parte central, (onde a água apresenta uma maior altura durante o galgamento). Então, presume-se que a ruptura se inicie nessa parte. No entanto, uma má compactação do solo em qualquer parte da zona de aterro pode acarretar numa área fraca desenvolvendo a formação da brecha na estrutura.

À medida que o volume dos reservatórios crescem, o tempo de propagação da brecha, torna-se a informação de maior importância. Isso acontece, devido a falta de capacidade de grandes reservatórios, não conseguirem rebaixar seu nível de água a tempo. Isso resulta num hidrograma de rotura com um pico amplo ou pouco pronunciado. A hipótese do tempo de desenvolvimento da brecha é fato que desperta diversas dúvidas, especialmente nos reservatórios de tamanho pequeno. Nesses casos devem ser feitos simulações levando em conta um espaço de tempo mínimo e outro de tempo máximo (COLLISHONN, 1997)

Lee. Et, al (2013), Bocchiola et, al. (2014) e Collishonn (1997), também atribuem o rompimento por galgamento devido a má funcionalidade do reservatório, ocorrida no decorrer da cheia, devido ao vertedouro tornar-se incapaz de verter a água e Lauriano (2009) também afirma essa tese, que esse tipo de falha ocorre pela falta de capacidade do vertedouro de extravasar a cheia que chega ao reservatório, por partes que não foram projetadas para escoar essa água, causando assim a ruptura da barragem, ele também enfatiza que esse problema é comum em barragens de terra, visto que possuem um material mais solto.

O manual de inspeção de Barragens da Ana (2016) menciona que o rompimento da barragem devido à falta de capacidade do vertedouro de extravasar a água é dado quando, as cheias afluem no reservatório da barragem e ultrapassam o nível para os quais a estrutura foi projetada, preenchendo quase todo o vertedouro. Esse fator pode acarretar no colapso da estrutura, causando o galgamento, esses tipos de situações, portanto, devem ser consideradas situações de emergência.

Caso ocorra o galgamento a capacidade de destruição provocada pelas ondas de cheia são fatores imensuráveis, pois a onda acaba carregando diversos materiais incluindo árvores, imóveis (casas, prédios dentre outros, animais, cercas, canos), tendo então uma grande destruição em massa, isto é, o poder de destruição de uma onda pode ser ainda maior em virtude das cargas desses materiais, exemplos quando ocorre o acúmulo de material sobre pilares de uma ponte que sobe, então resulta numa carga adicional (COLLISHONN, 1997)

Então nessas situações, onde a estrutura é afetada pela cheia, que ultrapassam o volume máximo do projeto, primeiramente o responsável da barragem deve ler e anotar a altura em que se encontra o nível d'água do reservatório em questão. Mediante a situação, o responsável deve então isolar o local de acesso da barragem e logo após abrir toda a válvula de descarga do fundo da estrutura, para que essa água escoe, visando a à segurança, contra o galgamento (ANA,2016).

3.3 Segurança de Barragens

Wieland (2017), Zuffo (2005), Jeon. et, al. (2008) enfatizam a segurança de barragens e Balbi (2008) define a segurança de barragens como um dos pontos fundamentais a serem considerados na engenharia, devendo prevalecer em todas suas etapas, de construção e utilização, sendo elas no planejamento, projeto, construção e etapas de operação e na manutenção dessas estruturas, ao longo de sua vida útil. Zuffo (2005) ainda menciona que, mesmo adotando corretamente todas as medidas, tanto no projeto e execução, a determinação do grau de segurança de uma barragem não é claro, e também, que não se consegue eliminar totalmente o risco de um acidente ou incidente. Portanto devendo ser

adotadas medidas como complemento, constituindo em medidas e procedimentos que colaborem para identificação previa das falhas e as providências para o reparo.

Assim como Balbi, 2008, Wieland (2017) definem os procedimentos de avaliação de segurança de barragens em quatro pilares sendo: segurança estrutural, operacional, monitoramento e planos de emergência, onde é detectar os problemas, suas causas e apresentar os reparos de prevenção e correção, restrições operacionais e exames para soluções das falhas. Conforme Balbi (2008), a técnica de “monitoramento de barragens”, também chamado “auscultação de barragens”, são constituídos de inspeções visuais e instrumentação, possui a finalidade de coletar dados que permitam uma correta avaliação Assim como Balbi (2008), Vasconcelos (1978) e Matos (2002), Machado (2007) citam o uso da auscultação como uma ótima alternativa para avaliação da segurança de barragens. Ele ainda cita que, em algumas barragens a adoção desses sistemas de auscultação pode resolver certos problemas, mas se deve também ter a implementação de reforços como inspeções e reparações corretivas realizadas por profissionais capacitados.

Os modos de auscultação em Barragens Costa (2012), define a inspeção visual como sendo um tipo de avaliação mais simples, porém, para fazer essa análise, é necessário um fiscalizador com experiência, para que o mesmo consiga encontrar os indícios das anomalias, que podem ser imperceptíveis. As falhas não sendo detectadas, no futuro podem comprometer a integridade da estrutura, afetando sua segurança.

Já o uso de instrumentação pode ser feito de várias maneiras através de equipamentos adotados junto com a construção da barragem, podendo ser instalados nas fundações ou até mesmo no corpo da estrutura. A instrumentação além de auxiliar na segurança da barragem, podem analisar os critérios que foram adotados no projeto, visando a execução de uma barragem mais econômica, sem menosprezar a segurança (COSTA,2012).

Zuffo (2005) e Aguiar (2014) estudam outro método de segurança, denominado índice de segurança de barragens o (ISB). Esse método avalia vários critérios referentes à segurança de barragens onde se atinge uma determinada nota, na qual determina o empreendimento em estudo relacionado à segurança. Aguiar (2014) diz que esse procedimento do ISB pode ser classificado um modelo multicriterial, no entanto não possui responsabilidade de tomada de providências, este método só sugere a busca de um valor atribuído para auxílio na avaliação da segurança.

Zuffo (2005) menciona dezoito critérios a serem analisados para a avaliação de segurança de barragens, divididos em três pontos importantes: Primeiro o potencial de risco, que abrange (Relevância da Barragem, Tamanho, Categoria do vertedouro, Tempo de retorno da obra de descarga, Instalações a jusante, Instalações a montante, Idade do barramento); Segundo o Desempenho (Qualidade das informações técnicas, Existência de vazões, Existência de deformações, Degradação em pontos gerais e taludes, Indícios de erosão a

jusante, Preservação do vertedouro para prevenir enchentes); e por último, Fatores ambientais (Eutrofização no reservatório, Modificação na utilização e ocupação do solo, Eliminação da vegetação natural ou implantada, Histórico de falhas referentes a barragem). Lempérière (2017) cita que, além das medidas adotadas na fase de operação de uma barragem, desde o projeto e durante toda sua vida útil, um dos elementos chaves pra segurança é o uso de alarmes eficientes que de acordo com ele, grande parte das mortes causadas por inundações teriam sido mitigadas pelo uso desses sistemas de alarmes.

3.4 Planos de segurança de Barragens;

No que se diz a respeito á segurança, Balbi (2008), Aguiar (2014) e os Relatórios da ANA enfatizam a necessidade dos programas de segurança de Barragens além deles, Zuffo (2005) define que, a finalidade dos programas de segurança de barragens é identificar os riscos oferecidos pelas estruturas e diminuir a níveis admissíveis. Barragens seguras podem ser implantadas, e falhas encontradas podem ser reparadas a tempo, antes que ocasionem em perdas socioeconômicas ou danos ainda maiores, como percas de vidas e desastres ecológicos.

O comitê brasileiro de segurança de Barragens (2017) define o Plano de segurança de Barragens (PSB) como uma ferramenta da gestão da segurança que tem como intuito diminuir os riscos associados ao rompimento das estruturas. Ele opera através das inspeções e manutenções dos barramentos também fornecem informações em casos de falhas, orientando, para que seja preservado as vidas e que as mesmas possam ser salvas das áreas de risco.

No relatório da Ana (2015) a lei 2.334/2010, define que, o Plano de segurança de barragem o (PSB), deve apresentar informações gerais de uma barragem, como, nome, categoria, tamanho, definição quanto a categoria de risco (CA) e dano potencial associado (DPA), anos da construção, localização onde se encontra e passagens, além de toda documentação citada, essas medidas foram adotadas como instrumento de auxilio a empreendedores na administração da segurança de barragens.

A análise das barragens em relação à categoria de risco e Dano Potencial (DPA) permitem definir quais estruturas devem ser priorizadas nas operações de acompanhamento, vistorias e recuperação, já que a estruturas com que apresentam categoria de risco elevadas estão propícias a ter um número maior de falhas, e também alto poder de Dano potencial, já que essa medida mostra que em caso ocorra um acidente, os danos causados podem ser graves, sendo assim considera-se importante, a definição em relação a categoria de risco e ao dano potencial associado (ANA, 2015).

Em 2016, em média 3.543 barragens foram classificadas pela categoria de risco e 5.459 ao Dano Potencial Associado, além de 723 consideradas paralelamente tendo categoria de

risco e o Dano Potencial Associado altos. A ausência de documentação técnica das barragens são dificuldades comuns na maioria dos casos das barragens fiscalizadoras. Porém, grande parte dos problemas quanto as condições de conservações são causados, por ordem, nas deficiências da falta de reparos das estruturas extravasoras, á degradação nos taludes ou parâmetros, ao controle da lixiviação, à danos nas estruturas de descarga e as modificações e recalques Ana (2017).

De acordo com o relatório da Ana (2017), existem atualmente no país 31 órgãos existentes fiscalizadores de segurança de barragens. Constam cerca de 24.092, registros de barragens para as inúmeras funcionalidades, tendo em destaque a irrigação, dessentação animal e agricultura. O reconhecimento do empreendedor já foi feito em 97 % das barragens, entretanto há bastante trabalho a serem realizados pelos órgãos fiscalizadores sobre os procedimentos de regularização e definição se elas se submetem ou não do Programa Nacional de Segurança de Barragens – PNSB.

CONCLUSÕES

Devido ao alto impacto que uma ruptura de barragem pode gerar, a premissa básica é determinar como reduzir o risco de que isso ocorra. Dessa forma os diversos autores citados enfatizam, a segurança das barragens deve abranger a segurança estrutural, relacionada à concepção da barragem (projeto), construção adequada e manutenção; o monitoramento da barragem, por meio de monitoramento visual e avaliação dos dados de sua instrumentação; e gestão de emergência, elaborando planos de emergência e treinamento das populações próximas às regiões das barragens.

De uma maneira geral, grande parte dos autores denotam que os principais fatores relacionados ao rompimento de uma barragem são oriundos de causas provenientes de fenômenos naturais, como por exemplo, um grande volume de chuva, que provoca uma grande onda de cheia para o qual o vertedouro não foi dimensionado; por erros técnicos; e por falta de manutenção e monitoramento da estrutura.

Uma das maiores preocupações de projetistas de barragens é o controle de percolação, seja pelo maciço ou pela fundação das barragens, sendo que a falta deste, pode acarretar na ruptura da barragem. Dentre os problemas mais comuns em barragem, destacaram-se a erosão interna ou *piping* e galgamento (*overtopping*) sendo os tipos mais frequentes de falhas que levam a ruptura das barragens.

O *piping* ocorre por tubo de escoamento que forma na fundação da barragem e uma das maneiras a solucionar esse problema é a utilização de drenos internos em uma barra de terra, por exemplo. Já o galgamento é causado por ondas de cheia que ultrapassam o nível para o qual a estrutura foi projetada, levando então ao colapso. Um dos motivos da ruptura por galgamento é a falta de capacidade do vertedouro de suportar a



vazão. Então nos casos em que a água ultrapassa o valor máximo o reservatório, a medida preventiva a ser feita para que não ocorra o galgamento, é abrir toda a válvula de descarga para que essa água escoe.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA (ANA). **Relatório de Segurança de Barragens 2015**. Brasília, DF. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA (ANA). **Relatório de Segurança de Barragens 2016**. Brasília, DF. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA (ANA). Manual do Empreendedor Volume VII: **Diretrizes para a Elaboração do Plano de Operação, Manutenção e Instrumentação de Barragens**. Brasília. DF. 2016.

AGUIAR, D. P. O. **Contribuição ao estudo e ao índice de segurança de barragens – ISB**. 2014.166 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, 2014.

BALBI, D. A. F. **Metodologias para a Elaboração de Planos de Ações Emergenciais para Inundações Induzidas por Barragens. Estudo de Caso: Barragem de Peti- MG**. 2008. 336 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

BRASIL. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. **Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4o da Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000**, Diário Oficial da União, Brasília, DF, 21 de setembro de 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm>. Acesso em: 10 abril. 2018.

Bocchiola D, Rosso R (2014) *Safety of Italian dams in the face of flood hazard*. Adv Water Resour 71:23–31



COLLISCHONN, W. **Análise do Rompimento da Barragem de Ernestina**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). 1997. 192 f. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1997.

COSTA, W. D. **Geologia de barragens**. 1. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2012. 352 p.

GALVÃO; M. C. Sawada; N. O. Trevisan; M. A. **Revisão sistemática: recurso que proporciona a Incorporação das evidências na prática da enfermagem**, Revista Latino-am Enfermagem 2004 maio-junho; Vol.12 pag. 549-56

GALVÃO; T. F. Pereira; M.G. **Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração**, Revista Epidemiol. Serv. Saúde, Brasília - DF, vol. 23, pag183-184, janmar 2014.

JANSEN, R. B. **Dams and Public Safety**. 1983. 345 p .The US Department of the Interior, Water and Power Resources Services (Now the Bureau of Reclamation), 1983.

Jeon, J., Lee, J., Shin, D., Park, H.: **Development of dam safety management system**. Advances in Engineering Software 40(8), 554–563 (2009).

JÓNATAS, R. J. L. **Rotura de barragens de aterro por galgamento: Ensaios experimentais com aterros homogêneos**. 2013. 96p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Lisboa. 2013.

KOFOED, J. P. et al. **Prototype testing of the wave energy converter wave dragon**. *Renewable energy*, Elsevier, v. 31, n. 2, p. 181–189, 2006.

LADEIRA, J. E. R. **Avaliação de Segurança em Barragem de Terra, Sob o Cenário de Erosão Tubular Regressiva, por Métodos Probabilísticos. O Caso UHE São Simão**. 2007. 230 f. dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

LAURIANO, A. W. **Estudo de Ruptura de Barragem de Funil: comparação entre os modelos FLDWAY e HEC-RAS**. 2009. 203 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio



Ambiente e Recursos Hídricos). Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009.

LEMPÉRIÈRE, F. **Dams and floods**. 2017. Water Science and Engineering. 2017, 3:144-148.

LOPES, L. M. N. (2016). **O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais**. Sinapse Múltipla, 5(1), 1-14.

MACHADO, W. G. F. **Monitoramento de barragens de contenção de rejeitos da mineração**. 2007. 156 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, São Paulo, 2007.

MARANGON, M. **Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra: Barragens de Terra e enrocamento**. 2004. 25 f. Material didático ou institucional. Faculdade de Engenharia, Departamento de Transportes e Geotecnia, Universidade Federal De Juiz De Fora, Juiz de Fora, 2004.

MATOS, S. F. **Avaliação de instrumentos para auscultação de barragem de concreto. Estudo de caso: deformímetros e tensômetros para concreto na Barragem de Itaipu**. 2002. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

MENDES, S. V. - **Rotura de barragens de aterro por galgamento: caracterização laboratorial do hidrograma efluente da rotura**. 2017. Dissertação (Mestrado), Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2017.

MONTE-MOR, R. C. de **A. Mapeamento de áreas inundáveis associadas à ruptura de barragens – Estudo de caso: Barragem de Ninho da Águia – MG**. 2004. 129 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento. Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2004.

OLIVEIRA, V. R. F; SILVA, I. T. C. **Estruturação do manual de monitoramento como ferramenta para segurança de barragens**. In: REVISTA BRASILEIRA DE SEGURANÇA DE BARRAGENS, 2017, CBDB, 2017. IVº edição, p 39-51.



PENNA, L. R.; FILHO, W. L. O; ARAUJO, L.G; ALMEIDA, F. E ; - **Liquefação estática em depósitos de Rejeitos de Mineração**. COBRAMSEG 2010: Engenharia geotécnica para o desenvolvimento, inovação e sustentabilidade. Liquefação estática em depósitos de Rejeitos de Mineração - COBRAMSEG 2010, 1-7. Gramado - Rio Grande do Sul - Brasil. (2010)

PRATA, M. L. A; PAVEL, C.O; POLLIS, H. (*tradutores*). **Avaliação da segurança de barragens existentes**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, Memória da Eletricidade, 1987. 169 p.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (Brasil). Resolução nº 144/2012. Seção 1 do D.O.U de 4 de setembro de 2012. Brasília: CNRH, 2012

SAMPAIO, M. V. N. **Segurança de barragens de terra: um relato da experiência do Piauí**. 2014. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Recursos Hídricos) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

SILVA, D. S. **Estudo de filtro aplicado ao controle de erosão interna em barragens**. 2016. 161 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto-Mg, 2016.

SOARES, E. C. **Projeto estrutural de uma barragem de concreto com contraforte**. 2014. 98 f. Trabalho de conclusão de curso (graduação em engenharia civil) – CTC Centro tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2014.

VASCONCELOS, G. R. L. DE. **Plano de implantação e acompanhamento do instrumental de auscultação de estruturas de concreto - obra de Itaipu**. Itaipu Binacional Divisão de Controle de Concreto 1978.

WIELAND, M. (2016). **Safety aspects of sustainable storage dams and earthquake safety of existing dams**. *Engineering*, 2(3), 325–331. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2016.03.011>

ZUFFO, M. S. R. **Metodologia para avaliação da segurança de barragens**. 2005. 192 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 2005.