

ANÁLISE DE RISCOS VISANDO A SEGURANÇA DE BARRAGENS – ESTUDO DE CASO: USINA HIDRELÉTRICA DE ITUMBIARA - FURNAS

RISK ANALYSIS FOR DAM SAFETY – CASE STUDY: ITUMBIARA HYDROELECTRIC POWER PLANT - FURNAS

Marcos Vinicius Ferreira França

Graduando do curso de Engenharia Civil
Centro Universitário de Goiatuba – UniCerrado
andrieniopsaraujo@hotmail.com

Andriênio Patrick

Engenheiro Civil
Unicerrado, Universidade do Cerrado - Goiatuba
marcos-viniciusgtba@hotmail.com

RESUMO

Esse presente trabalho visa discutir os fatores que possam colocar as estruturas de uma barragem em risco, demonstrando cada um dos seus tipos e componentes que fazem parte da sua estrutura. A pesquisa se justifica na necessidade de antecipar o estudo dos problemas perante a insegurança do sistema. A metodologia que foi utilizada se consiste em uma análise exploratória e descritiva sobre o tema estudado, realizado por levantamento bibliográfico. Em pesquisa desenvolvida na Usina Hidrelétrica de Itumbiara - Furnas, podemos ter uma noção de como deve ser realizadas as verificações de segurança, tal como a quantidade efetuada por um curto período, para que não abra nenhuma brecha para um possível acidente. É sugerido, que a segurança de barragens seja objeto de maior estudo de modo a tomar novas providências perante a estrutura para reduzir e prevenir qualquer categoria de riscos de novos desastres.

Palavras-chave: Segurança de barragens; Rompimento de barragem; Fiscalização efetiva; Impactos ambientais; Gerenciamento de riscos.

ABSTRACT

This present work aims to discuss the factors that can put the structures of a concrete dam at risk, demonstrating each of its types and components that are part of its structure. The research is justified by the need to anticipate the study of problems in view of the insecurity of the system. The methodology that was used consists of an exploratory and descriptive analysis on the studied topic, carried out by bibliographic survey. In research carried out at the Itumbiara Hydroelectric Power Plant - Furnas, we can get a sense of how safety checks should be carried out, such as the amount carried out for a short period of time, so that no gaps are opened for a possible accident. It is suggested that the safety of dams be the object of further study in order to take new measures before the structure to reduce and prevent any type of risk of new disasters.

Keywords: Dam safety; Dam rupture; Effective inspection; Environmental impacts; Risk management.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da economia acompanha uma crescente demanda de recursos de mineração, energéticos e hídricos. Essa exploração dos recursos está diretamente associada a obras de energia de grande porte, e geralmente, é utilizada de barragens para conseguir reter principalmente água, mas também rejeitos em poupa e também qualquer outro resíduo industrial. O Brasil tem na sua história grande experiência com barragens e, tem registrado poucos acidentes e terem consequências limitadas, felizmente, mas eles ocorrem causando danos às pessoas e aos seres visos em geral.

Para saciar a demanda atual e futura de água, cada vez mais reservatórios de superfície são necessários, conveniente à distribuição irregular temporalmente. Desta forma, barragens tem um papel a desempenhar de múltiplas finalidades. No desenvolvimento da sociedade, elas foram e continuarão a ser grandes propulsoras, de modo que as suas finalidades ajudam na autossuficiência na produção de alimentos através da irrigação e provendo energia necessária para a sua industrialização (FONTENELLE, 2007).

Fazendo uma média, ocorre dez rompimentos de barragens a cada década em algum lugar do mundo, adicionando ainda, os quase rompimentos. As falhas com maiores frequências que podem acontecer em uma barragem acontecem por: enchentes extremas, perdas de água através das fundações e aterros, incertezas geológicas no local da implantação, projeto de sismicidade e defeitos de construção. (LEITE, 2019).

Apesar disso, como não é uma ciência exata de forma que elimine por completo o risco de um incidente ou acidente, deve-se priorizar ao máximo a segurança de barragens em todas as fases de seu desenvolvimento e utilização, incluindo o planejamento, projeto, construção, fases de operação e manutenção.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. ASPECTOS SOBRE BARRAGENS

O homem busca desde o início da sua existência, garantir com que possa sobreviver de forma segura. Com a sua evolução ao longo dos anos, pouco a pouco, o ser humano vem desenvolvendo a sua inteligência, organizando e acumulando

conhecimentos. Após a descoberta e o desenvolvimento da agricultura foi abandonando o nomadismo e criando cidades e nações, crescendo de forma cada vez mais acelerada (LEITE, 2019).

2.1.1. HISTÓRIA

A história da humanidade está diretamente ligada a engenharia de barragens. Essa categoria de construção está relacionada com a queda e a ascensão de civilizações, em especial as que dependem de forma extrema da irrigação. O homem vem utilizando dos serviços disponibilizados pelas barragens há mais de 5.000 anos e podem ser encontrados ruínas de barragens em locais que são considerados como berços da civilização, como, por exemplo, a Babilônia, Egito, Pérsia, Índia e países que se situam no oriente (SANTOS, 2018).

As primeiras constatações de registros que se têm conhecimento são da época dos faraós no Egito, em torno do Rio Nilo que utilizavam pequenos barramentos para restringir os efeitos da seca. Mas após o início do século XX que uma grande parte do mundo teve visão sobre tal obra para atender a demanda de água crescente. Entre as décadas dos anos 30 e os anos 70, foi registrado um grande aumento da construção de barragens, em níveis mundiais, sendo aliado ao conceito de que essa categoria de construção conduz ao progresso econômico e ao desenvolvimento da civilização (BASTOS, 2007).

2.1.2. DEFINIÇÕES SOBRE BARRAGENS

Categoria de estrutura construída de forma transversal a um rio ou talvegue que tem a finalidade de obter elevação do seu nível d'água e/ou criar um reservatório que acumule água e seja de regularização das vazões do rio, ou de outro fluido (TANUS, 2018).

Qualquer categoria de obstrução em um curso temporário ou permanente de água, ou talvegue, com fins de contenção ou de acúmulo de substâncias líquidas, ou misturas de sólidos e líquidos, compreendendo a sua estrutura, sua estrutura associada e o reservatório formado por acumulação (LOUREIRO, 2018).

Toda categoria de maciço cujo eixo vertical esteja em um plano que intercepte certo curso d'água e respectivos terrenos marginais que altere as condições de escoamento natural, que forme um reservatório de água a montante, o qual tenha finalidade múltipla ou única. Conhecido também pelos termos: paramentos ou barramentos (ORO, 2016).

2.1.3. FINALIDADES DAS BARRAGENS

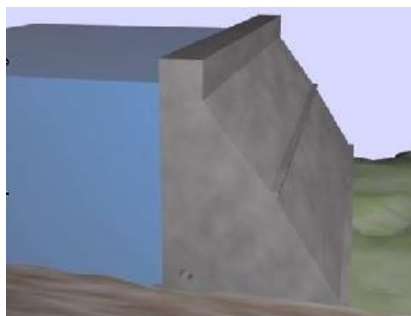
As de armazenamento servem para captar a água, nos períodos de cheia, com objetivo de abastecer no período da seca ou estiagem. Os açudes são pequenos empreendimentos que utilizam desta finalidade. Podem ser usados para suprimentos de água, seca, recreação, irrigação, geração de energia elétrica, etc. (NETO, 2019).

2.1.4. PRINCIPAIS TIPOS DE BARRAGENS

A barragem pretende, conter o volume de água que está sendo represada. Desta forma, no projeto deve-se considerar que a construção da barragem pode acontecer em locais que tenham suas características topográficas e geotécnicas diferentes e que utilizam diferentes categorias de materiais na sua construção. Podemos destacar os materiais utilizados nas principais estruturas: terra, concreto, enrocamento e mistas. (CIRILO, 2003). De forma que este trabalho se direcionará para uma barragem de concreto, temos os seguintes tipos (POSSAN, 2018):

- Barragem de Gravidade: Estrutura de concreto maciço, que utiliza vários blocos de concreto separados por juntas de contração entre si para minimizar os efeitos causados pelas tensões de origem térmicas. Possuem como forma quase trapezoidal, e é projetado de forma que resista a esforços decorrentes de pressões hidrostáticas que atuam no paramento de montante, onde o equilíbrio estático se realiza pelo peso próprio da estrutura. Como demonstrado na Figura 1:

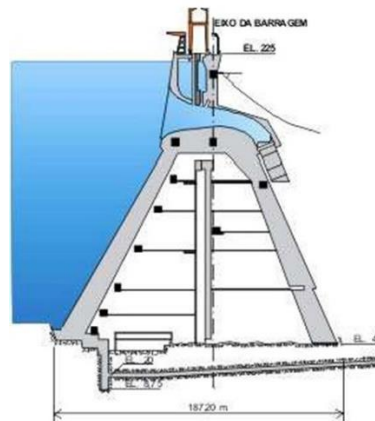
Figura 1: Barragem de Gravidade



Fonte: PUC Goiás, 2013.

- Barragem de Gravidade Aliviada: É uma simplificação da barragem de gravidade, onde é admitido espaços vazios no núcleo visando a redução no volume de concreto empregado. Desta forma também levam o nome de barragem de gravidade vazada. Como demonstrado na Figura 2:

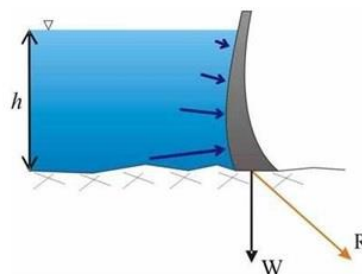
Figura 2: Barragem de gravidade aliviada



Fonte: PUC Goiás, 2013.

- Barragem em Arco: Barragem de concreto armado ou massa, que se curva a montante em direção ao reservatório. Leva também o nome de barragem semelhante à abóbada, essa categoria de barragem é ideal para vales estreitos onde possuem boas condições para apoiar o arco no maciço rochoso das ombreiras. A geometria utilizada recorre à propriedade das estruturas em arco, em que tem elevada resistência às cargas uniformemente distribuídas sobre seu dorso. Nesse método construtivo os esforços da água do reservatório se transferem na sua maioria para as ombreiras ou margem e uma pequena parcela para o fundo do rio. Como demonstrado na figura 3:

Figura 3: Barragem em arco

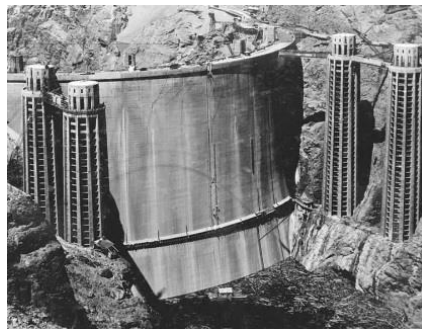


Fonte: PUC Goiás, 2013.

- Barragens em Arco-Gravidade: Estruturas que possuem sua planimetria em

forma de arco, mas tem sua função parcialmente como as de barragens de gravidade, unindo ambos benefícios. As suas seções transversais se apresentam bem mais espessas que as de barragens em arco, contudo sejam mais esbeltas que as de barragens de gravidade, podendo construí-las em concreto ciclópico, concreto compactado com rolo ou concreto convencional. Como demonstrado na figura 4:

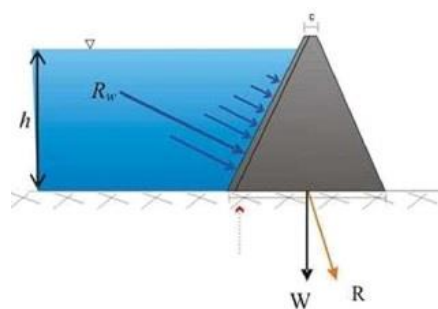
Figura 4: Barragem em Arco-Gravidade



Fonte: PUC Goiás, 2013.

- Barragens em Contraforte: categoria barragem onde os esforços dos paramentos montantes são transmitidos para a fundação através de uma sequência de contrafortes, perpendiculares ao eixo do paramento de montante. Os contrafortes são estruturas tipos pilares que recebem o esforço de empuxo do paramento de montante e a descarrega para as fundações. Como demonstrado na figura 5:

Figura 5: Barragem em Contraforte



Fonte: Matheus Melo, 2015.

2.2. VISÃO SISTÊMICA SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS

2.2.1. VANTAGENS E DESVANTAGENS

Avaliar uma construção da obra de barramento como sendo uma vantagem ou uma desvantagem dependerá da gama de pontos de vista sobre a experiências com as

2.2.2. VANTAGENS

O represamento é de alta importância de forma a atender à demanda necessária de água e energia tem ampla visão como um potencial para garantir estratégias a longo prazo capaz de oferecer diversos benefícios, tais como: geração de empregos, desenvolvimento regional e aumento para uma base industrial com potencial exportador. O papel que essa categoria de construção desempenha, é muito importante para o desenvolvimento econômico por gerar renda oriunda da venda direta de eletricidade, produtos agrícolas ou produtos processados, como a indústria do alumínio. São essenciais para o fornecimento de água potável, para a geração de energia hidrelétrica, para a irrigação e para o controle de inundações (CARVALHO, 2018).

2.2.3. DESVANTAGENS

Um dos maiores pontos que se consideram os impactos com a construção de uma barragem, são os impactos ambientais e sociais. O investimento que pode envolver os impactos que as grandes barragens geram, provocam conflitos acerca da localização e dos impactos dessa categoria de construção (LOUREIRO, 2018).

2.3.A SEGURANÇA GLOBAL DA SOCIEDADE E O PAPEL DA DEFESA CIVIL

O processo de desenvolvimento social tem uma relação direta com os desastres. De foram que foi se intensificando os desequilíbrios nacionais, regionais e o êxodo rural, foi aumentando o nível da pobreza, reduzindo a qualidade de vida da população e o investimento na educação. Somando-se a isso, o problema da política negocial em oferecer terrenos em áreas de risco e impróprias, sendo trocados por votos, com a omissão dos governos. De forma cíclica, aumentando os desastres, se eleva o custo de vida e os gastos públicos com ações emergenciais, surgindo redução de receitas de impostos e investindo em prevenção (FRANCO, 2008).

2.3.1. SISTEMA NACIONAL DE DEFESA CIVIL – SINDEC

Se intende que a garantia de segurança da população, em situação de desastre, é dever do estado, direito e responsabilidade da cidadania, o Governo Federal criou o Sistema Nacional de Defesa Civil, sendo uma estrutura organizacional articulando os

três níveis do governo, interagindo com os órgãos setoriais, órgão apoiadores e com a comunidade os atribuindo a responsabilidade de: (DIDEC, 2008)

- Planejamento e impulsionar a defesa contra os desastres antropogênicos, naturais e mistos, com maior prevalência no país;
- Efetuar estudos, avaliação e redução de riscos de desastres;
- Minimizar e prevenir danos, socorrer e amparar a população afetada e efetuar a reabilitação e reconstrução dos cenários deteriorados pelo desastre;
- Agir na iminência e em circunstâncias de desastres;
- Impulsionar a articulação e coordenar os órgãos do SINDEC no território nacional.

O SINDEC atua reduzindo os desastres, de forma geral, em todo o território nacional. Antes do desastre, adequando ações para prevenir e preparar, durante o desastre com ações emergenciais, e após, com ações de recuperação. A união dos esforços acerca da Segurança Global se dá pelo fato de que os órgãos envolvidos nas ações emergenciais de socorro precisam atuar conjuntamente no caso de acidentes com barragens independentes da grandeza, os recursos e a capacidade de ação (FRANCO, 2008).

2.3.2. SISTEMA ESTADUAL DE DEFESA CIVIL

Coordenado pelo Comandante Geral do Corpo de Bombeiros, desenvolve as seguintes atividades:

- Mapeamento de ameaças e riscos no estado;
- Campanhas educativas;
- Planos de ação ou operação;
- Planos de contingência.

Tem como sua estrutura organizacional o governo do estado de Goiás, seguido pela secretaria de segurança pública, em seguida o corpo de bombeiros militar, após a diretoria de defesa civil, e logo após as regionais estaduais de defesa civil (CORPO DE BOMBEIROS MILITAR, 2016).

2.3.3. CLASSIFICAÇÃO DOS DESASTRES

Os desastres são consequências de eventos distintos, que podem ser naturais ou até mesmo provocados pela ação do homem, sobre um ecossistema que é vulnerável, que causa danos materiais e ambientais, humanos e decorrentes prejuízos econômicos e sociais. São classificados quanto a sua intensidade, evolução ou origem (SECRETARIA NACIONAL DE DEFESA CIVIL, 2007).

2.3.3.1. QUANTO À INTENSIDADE

A intensidade de um desastre poderá ser definida em termos absolutos ou conforme a proporção entre as possibilidades disponíveis no local afetado e as necessidades de recursos, para dar uma resposta certa ao problema (FRANCO, 2008).

Os desastres podem ser classificados em:

- Acidentes: Pequenos danos, de pouca importância, que são de fácil reparação e não afetam a população;
- Desastres de médio porte: danos reparáveis com pouco recurso, sem a necessidade de mobilização;
- Desastres de grande porte: prejuízo excessivo, podendo ser suportado por uma comunidade bem preparada, informada, facilmente mobilizáveis e participativas. São nomeadas de situação de emergência;
- Desastres de muito grande porte: prejuízos de grande proporção, não podendo ser superado e nem suportado pelas comunidades. Sendo decretado estado de calamidade pública.

2.3.3.2. QUANTO À ORIGEM

Quanto a causa primária ou à origem, são classificados os desastres em: (FRANCO, 2008).

- Naturais: provocados por fenômenos da natureza, sem envolver ação humana;
- Antropogênicos ou humanos: provocados por ações ou omissões humanas;
- Mistos: quando a ação humana intensifica, agrava e complica fenômenos naturais.

2.3.3.3. QUANTO A EVOLUÇÃO

Os desastres são classificados em: (FRANCO, 2008)

- Desastres de evolução aguda ou súbitos: como deslizamentos, vendavais, enxurradas, erupções vulcânicas, terremotos, chuvas de granizo e outros;
- Desastres de evolução gradual ou crônica: como seca, poluição ambiental, erosão ou perda de solo e outros;
- Desastres por integração de efeitos parciais: como malária, cólera, acidente de trabalho, acidentes de trânsito, entre outros.

2.4. PROCEDIMENTOS DE EMERGÊNCIA

2.4.1. PLANO DE AÇÃO EMERGENCIAL (PAE)

2.4.1.1. NECESSIDADES

A definição da necessidade da preparação do Plano de Ação Emergencial deve ser levantada, seguindo uma análise específica, considerando as definições de risco a jusante. Um exemplo, seria uma barragem de grande porte que retém um grande volume de acumulação, em um vale confinado, que possua população, teria total necessidade do PAE. De forma inversa, uma barragem de pequeno porte em uma fazenda, em um local relativamente desabitado, não teria necessidade. Se em locais habitados serão afetados, o Plano de Ação Emergencial deverá ser preparado. (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2002)

2.4.1.2. DESENVOLVIMENTO

O Plano de Ação Emergencial deve ser composto das seguintes etapas no desenvolvimento: (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2002)

- Identificação da situação, ou eventos, que possam necessitar do início de uma ação emergencial, sendo especificado as ações que devem ser tomadas e por quem;
- As jurisdições deverão ser identificadas, indivíduos e agências que serão envolvidos na execução do PAE;
- Identificação dos sistemas de comunicação primários e os auxiliares, seja ele interna (na barragem) ou externos (da barragem com as agências externas);

- Identificação das agências e de todas as pessoas com envolvimento no processo de notificação, e no esboço do fluxograma onde mostra quem deverá ser notificado, a ordem e a expectativa das outras ações das agências envolvidas. Poderá possuir seu próprio plano de emergência cada agência governamental, federal, estadual ou municipal;
- Desenvolvimento de um esboço do PAE;
- Realização de reuniões da coordenação com todos os envolvidos na lista de notificação, para comentar e revisar o esboço do PAE;
- Realizar revisões, obter a aprovação necessária da regulamentação, concluir e efetuar a distribuição do PAE.

2.5. AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA)

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) foi criada pela Lei n.º 9.984/2000, e é a agência reguladora que se dedica a exercer as diretrizes e os objetivos da Lei das Águas do Brasil, com a Lei n.º 9.433/1997. Para cumprir isso, ela segue as linhas de ação: regulação, onde regula o acesso e o uso dos recursos hídricos, que é de domínio da União, também sendo responsável pela fiscalização da segurança de barragens por ela outorgadas. O monitoramento, que acompanha a situação dos recursos hídricos do Brasil. A aplicação da Lei, com responsabilidade de coordenar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, dando apoio e realizando projetos e programas, órgãos gestores estaduais e à instalação de comitês e agências de bacias. E por fim o Planejamento, que participa e elabora estudos estratégicos, como exemplo: os Planos de Bacias Hidrográficas, relatórios de Conjuntura dos Recursos Hídricos, e outros.

Para a fiscalização de segurança de barragens, a ANA possui três modelos de ficha de inspeção para utilização na fiscalização, tais são:

- Ficha de inspeção de segurança regular de barragem de concreto;
- Ficha de inspeção de segurança regular de barragem de terra;
- Complementação de ficha de inspeção de segurança regular para estruturas associadas à geração hidrelétrica.

3.MATERIAL E MÉTODOS

Para a verificação dos métodos apresentados foi proposto uma visita técnica à barragem da Usina Hidrelétrica de Itumbiara – Furnas, que ocorreu no dia 25/05/2021 pelo autor, acompanhado pelo senhor Eduardo da Cunha Leal – supervisor de operações da usina hidrelétrica e da subestação, para uma verificação dos pontos de segurança instalados ao entorno da barragem, e tendo contato *online* com o senhor Sergio Luiz Gato – Técnico em segurança de barragens para tirar dúvidas que foram surgindo ao longo da visita técnica.

Furnas nasceu em 1957 com o intuito de atender ao desafio de produzir a energia necessária para o processo da industrialização e urbanização do Brasil. Após 61 anos de funcionamento, Furnas possui um complexo de 21 usinas hidrelétricas, duas termelétricas, 24 mil km de linhas de transmissão e 71 subestações, totalizando uma potência nominal de 18.888 MW. Construídas com recursos próprios ou em parceria com iniciativas privadas. De toda a energia consumida no Brasil, mais de 40% passa pelo Sistema Furnas.

3.1. Barragem Sugerida

A barragem sugerida foi a Usina Hidrelétrica de Itumbiara, que possui seis unidades em operação, que totaliza uma capacidade instalada de 2.082 MW e se localiza no rio Paranaíba, entre os municípios de Itumbiara (GO) e Araporã (MG), Itumbiara se constitui a maior usina do Sistema Furnas.

A sua construção teve início em novembro de 1974 e, em abril de 1980, entrou em operação comercial sua primeira unidade geradora. Consideradas as maiores do mundo em construção, no início da década de 80, a Usina de Itumbiara foi projetada e construída rigorosamente nos prazos estabelecidos nos cronogramas originais.

Fonte: Quadro confeccionada pelo próprio autor, 2021.

Reservatório			Barragem		
Nível máx.	520	m	Tipo	Gravidade	
Nível de máx. cheia	521,2	m	Altura máxima	106	m
Nível mín. de oper.	495	m	Comprimento	6.800	m
Área inundada	778	km ²	Vol. de concreto	1,8	Milh. m ³

Vol. Total	17	km ³	VolL de argila	31,5	Milh. m ³
Volume útil	12	km ³			

3.2. Desenvolvimento da pesquisa

Em visita à usina hidrelétrica de Itumbiara – Furnas, pode ser identificado os pontos de verificação de segurança ao entorno de toda sua estrutura e aterro, sendo utilizados para realizar medições e testes, sendo retirados dados e com eles, é alimentado planilhas no sistema Furnas para que os dados possam ser vistos pela sede que fica no Rio de Janeiro, onde é passado todas as decisões de ações a serem tomadas.

Os pontos de verificação da usina hidrelétrica, é composto de:

- Piezômetro;
- Nivelamento de precisão;
- Dreno de Fundação;
- Calha Parshall;
- Medidor de juntas tri ortogonal;
- Extensômetro de haste.

Em conjunto com os pontos de verificação, é utilizado os seguintes instrumentos:

- Medidor de N. A.;
- Manômetro;
- Relógio comparador.

Seguindo essa analogia:

Piezômetro: Se trata de um dispositivo instalado com auxílio de uma sondagem à trado ou mecanizada, que determina a profundidade do solo para monitorar a percolação d'água por baixo da barragem. Instaladas de forma alternada por toda a estrutura e aterro da barragem. No local de instalação, é realizada a concretagem de uma estrutura que sinalize e proteja o piezômetro de qualquer acidente que possa removê-lo do local, desta forma é realizada a pintura frequente e identificada com nome e código para se ter melhor visão da sua localidade. Conforme demonstrado na Figura 6:

Figura 6: Piezômetro



Fonte: Autor, 2021.

Nivelamento de precisão: no nivelamento de precisão, é utilizado um instrumento para verificar dois blocos de concreto da estrutura ligados por uma junta de dilatação para analisar se está acontecendo alguma movimentação entre elas. Como demonstrado na figura 7:

Figura 7: Nivelamento de precisão



Fonte: Autor, 2021.

Dreno de fundação: É um instrumento utilizado para aliviar a pressão da água causada pela percolação, ela tem ligação direta com a fundação da barragem e conforme aumenta a pressão da água, a mesma é expelida para dentro da estrutura, sendo canalizada pela calha Parshall, e direcionada para fora da estrutura, diminuindo o risco de acidente. Conforme demonstrado na figura 8:

Figura 8: Dreno de fundação



Fonte: Autor, 2021.

Calha Parshall: É um dispositivo utilizado para encaminhar a água que é expelida pelo drena de fundação até onde pode ser levada para fora da estrutura, também sendo utilizada para fazer a medição da quantidade de água que é jogada pela pressão da percolação. Como demonstrado pela figura 9:

Figura 9: Calha Parshal



Fonte: Autor, 2021.

Medidor de juntas tri ortogonal: utilizando do relógio comparador, se faz a medição no medidor de juntas tri ortogonal, de modo a colher medidas nas três direções, comparadas com as medidas originais, se pode identificar se a estrutura está se movimentando na direção x, y ou z. Como demonstrado na figura 10:

Figura 10: Medidor de juntas tri ortogonais



Fonte: Autor, 2021.

Extensômetro de haste: Também utilizando do relógio comparador, é colhido a medida em três hastes que estão ligadas ao extensômetro, em que uma haste vai à profundidade de 30 metros, outra com 25 metros, e a última por 7 metros, conforme é colhido as medidas, comparando com as bases, pode-se saber se a estrutura está se movimentando, conforme a figura 11:

Figura 11: Extensômetro de hastes



Fonte: Autor, 2021.

Medidor de N. A.: O medidor de nível d'água é o instrumento que utiliza do piezômetro para medir a profundidade que está a água que passa por baixo da barragem através da percolação, é de vital necessidade fazer essa verificação, pois se a água estiver muito alta, pode ocorrer um enorme desastre. Vejamos na imagem 12:

Figura 12: Medidor de Nível d'água



Fonte: Autor, 2021.

Manômetro: instrumento utilizado para medir a pressão causada pela percolação, também sendo utilizado no piezômetro, nas galerias da estrutura da barragem. Como demonstrado na figura 13:

Figura 13: Manômetro



Fonte: Autor, 2021.

Relógio comparador: instrumento utilizado no medidor tri ortogonal, que faz medição com uma precisão de milímetros, para identificar uma mínima que seja movimentação da estrutura. Como demonstrado na figura 14:

ANÁLISE DE RISCOS VISANDO A SEGURANÇA DE BARRAGENS – ESTUDO DE CASO:
USINA HIDRELÉTRICA DE ITUMBIARA – FURNAS
FRANÇA, Marcos Vinicius Ferreira; PATRICK, Andriênio

Figura 14: Relógio comparador



Fonte: Autor, 2021.

Também pode ser verificado na estrutura interna da barragem, nas galerias, algumas patologias como infiltração e manchas, sendo controladas pelas verificações para que não possam chegar em uma situação de risco, sendo utilizado de preenchimento assim que elas tomam uma proporção que necessite de alteração. Como é demonstrado das figuras 15 e 17:

Figura 15, 16 e 17: Infiltração na estrutura



Fonte: Autor, 2021.

Segundo o senhor Sergio Luiz Gato – Técnico em segurança de barragens, é relatado que não existem normas técnicas da ABNT que regem os requisitos mínimos para segurança de barragens, sendo baseado na legislação e na literatura especializada existentes. É citado alguns:

- Manuais e diretrizes para estudos e projetos – disponível em: <https://www2.ana.gov.br/pt/Paginas/servicos/cadastros/Barragens/ManualEmpreendedor.aspx>;
- Manual do empreendedor sobre segurança de barragens – disponível em: <https://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/cadastros/Barragens/ManualE>

- Resolução ANEEL 696/2015;
- Lei 12.334/2010 e Lei 14.066/2020;
- Livro 100 barragens brasileiras – Paulo Teixeira da Cruz – Editora Oficina de textos;
- Acidentes e Rupturas de barragens – Geraldo Magela Pereira – Editora Oficina de textos;
- Instrumentação e segurança de barragens – João Francisco da Silveira – Editora Oficina de textos;
- Site do ICOLD – International Comittee Of Large Dams e CBDB – Comitê brasileiro de Grandes barragens.

Os pontos mais críticos se referindo a divergência como anomalia, podem ser citadas algumas:

- Ocorrência de erosão regressiva ou piping nas barragens de terra, devido aos elevados gradientes hidráulicos do fluxo de água interno ao barramento;
- Trincas decorrentes de recalques diferenciais;
- Surgências de água oriundas de percolação pela fundação das barragens de terra;
- Deterioração do concreto: carbonatação, infiltrações, reação álcali-agregado, ferro-bactérias;
- Afundamentos da crista da barragem decorrentes de uma má compactação, por exemplo: Tocas de animais e vegetação com raízes profundas sobre a barragem de terra, que podem favorecer a ocorrência de percolação.

Em caso de ocorrer alguma infiltração na estrutura de concreto da barragem, a ação mais comum é efetuar injeção de espuma de poliuretano e gel hidro expansivo nos pontos onde ocorrem a infiltração.

Em caso de ocorrer alguma fissura, deve-se efetuar o monitoramento para verificar se o carbonato de cálcio, oriundo do processo de carbonatação, colmatará naturalmente a fissura. Caso contrário, deve-se prever a injeção citada acima.

Normalmente, fissuras inferiores a 0,5 mm, colmatam naturalmente pelo processo de carbonatação. Acima disso, é necessária uma intervenção, seja injetando ou efetuando reforço estrutural.

Em caso de percolação, é utilizado de filtros verticais e tapetes drenantes para disciplinar o fluxo de água, reduzindo os gradientes hidráulicos. Pode-se também efetuar cut-offs, drenos de pé, núcleos impermeáveis, cortinas de injeção, dentre outros, com o objetivo de reduzir gradientes hidráulicos e reduzir as vazões. As vazões de percolação devem ser monitoradas com medidores de vazão.

Em caso de surgência de água na estrutura, deve-se monitorar a vazão na surgência e aspecto da água, utilizando um medidor de vazão. Caso haja aumento de vazão temporalmente e um aumento na turbidez da água, infere-se que esteja ocorrendo pipping. Nesse caso, a ação mais comum é executar um filtro invertido associado a uma berma de estabilização no local.

As inspeções são realizadas diariamente pela equipe de segurança de barragem local. Sendo realizadas inspeções visuais diárias e monitoramento instrumental mensal desde sua construção. Temos ainda as inspeções regulares de segurança, executadas anualmente, conforme especificado na resolução ANEEL 696/2015.

Em tese, qualquer instrumento de auscultação pode ser automatizado. Dentre os instrumentos de auscultação, podemos citar o indicador de nível d'água, paquímetro de profundidade, receptor digital, manômetro analógico relógio comparador digital, cronometro digital, proveta e termômetro de líquido em vidro.

Em caso de acidente, as ações da usina seguem conforme a classificação da anomalia, há um fluxo de ações previsto no Plano de Atendimento Emergencial, que pode ir desde a operação pré-definida dos equipamentos extravasadores, até a notificação às zonas de auto salvamento e órgãos de defesa civil, passando pela mobilização das equipes de apoio e aplicação do fluxograma de notificação em emergência previsto no PAE. E dentre todas elas, tem-se a emissão de alerta, via rádio ou sirene, deslocamento da população para os pontos de encontro estipulados no PAE. Aviso às autoridades competentes, ex: defesa civil.

No caso de ocorrer reação álcali – agregado na barragem, não tem como eliminar a RAA do concreto após sua ocorrência. O que pode ser feito é minimizar suas consequências para estancar a expansão do concreto, impedindo a percolação de água, ou seja, tornando-o praticamente impermeável.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho teve o objetivo de estudar a importância de efetuar inspeções de segurança em barragens, e a importância da prevenção e da correção de falhas, para contribuir e sugerir para futuros estudos relacionados ao tema.

Conforme foi demonstrado neste projeto, as verificações de segurança são de extrema necessidade para uma boa convivência de toda a população envolvida com a barragem de sua região, considerando todos que estão em sua zona de risco potencial.

Com o passar dos anos, e conforme o avanço das tecnologias, foi-se automatizando os sistemas de monitoramento de fiscalização e verificação, utilizando de equipamentos e instrumentos cada vez mais eficazes para uma verificação mais detalhada e dar resultados cada vez mais precisos.

A quantidade de verificações se torna imprescindível de modo que a todo momento poderá acontecer alguma ação que possa gerar um risco, seja com uma fissura, uma infiltração, percolação, entre outras. Desta forma podemos destacar que as fiscalizações anuais se tornam menos eficazes que as diárias ou mensais, por conta de que se poderá prevenir de forma mais eficaz.

Por fim, podemos concluir através dos dados apresentados neste artigo que a metodologia utilizada para verificar e fiscalizar barragens é eficaz, por prevenir todo e qualquer categoria de anomalia que possa surgir conforme demonstrado nos dados, apesar de que a legislação presente com o intuito de auxiliar as partes fiscalizadores, são escassas por não existirem normas técnicas da ABNT para reger os requisitos mínimos para segurança de barragens, tendo de ser utilizados dados baseados em literaturas da legislação. Isso traz um pesar de falsa confiança já que se trata de uma estrutura que causa um impacto imensamente alto, por ter contato direto com comunidades inteiras.

5. RECOMENDAÇÕES

É sugerido como tema futuro, que seja acompanhada a realização de uma fiscalização de segurança de barragens feita pelos órgãos responsáveis para ser demonstrado na prática a utilização de cada equipamento e instrumento, mostrando a eficácia, na prática, seguindo dos resultados da avaliação comprovando se não existem brechas que poderão prejudicar dados colhidos in loco.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, Daniel P. Contribuição ao estudo do índice de segurança de barragens – ISB. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2014.
- ANA – Agência Nacional das Águas. Manual do empreendedor sobre segurança de Barragens. Diretrizes para a elaboração de projeto de barragens. Editora ANA, Volume V, 2016.
- ANA – Agência Nacional das Águas. Manual do empreendedor sobre segurança de barragens. Guia prático de pequenas barragens. Editora ANA, Volume VIII, 2016.
- ANDERÁOS, Alexandre; ARAUJO, Lígia M.; NUNES, Carlos M. Classificação de barragem quanto à categoria de risco e ao dano potencial associado – Um exercício. Bento Gonçalves: ABRH, 2013.
- BAIMA, Sandra K.; CAMPOS, José N. Classificação de risco de barragens por índices de risco – um estudo de caso. Universidade Federal do Ceará, 2014.
- BANCO INTERNACIONAL PARA A RECONSTRUÇÃO E DESENVOLVIMENTO/BANCO MUNDIAL. Serviços analíticos e consultivos em segurança de barragens. BRASÍLIA: Editora COBA, 2014.
- CARDIA, Rubens J. Auditoria em segurança e controle de barragens. Bauru: IV simpósio brasileiro sobre pequenas e médias centrais hidrelétricas, 2008.
- CARDIA, Rubens R. Inspeção e auscultação de barragens – Unidade 1: Anomalias em Barragens. ICBA, 2018.
- CARVALHO, Géssica B. Incidências de impactos decorrentes de acidentes com barragens de rejeito. Escola de Minas/UFOP, 2018.
- COSTA E SILVA, Daniela C. Segurança de pequenas barragens: Estudo comparativo com as principais políticas internacionais para aprimoramento da aplicação da política nacional de segurança de barragens. Limeira: Universidade Estadual de Campinas, 2020.
- FALCÃO, Paulo R. Estudo das propriedades mecânicas e hidráulicas de concretos asfálticos para aplicação em barragens. Brasília: Universidade de Brasília, 2007.
- FILAGRANA, Tatiana C. Desastres ambientais: dicotomia entre os fatores naturais e antropogênicos. Curitiba: Centro universitário Internacional de Curitiba, 2018.
- FONTENELLE, Alexandre S. Proposta metodológica de avaliação de riscos em barragens do nordeste brasileiro – Estudo de caso: Barragens do estado do Ceará. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2007.
- FRANCO, Carlos S. Segurança de barragens: Aspectos regulatórios. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2008.
- GARRIDO, Pedro S.; DIAS, Fernanda S.; KAZAY, Daniel F.; FARIAS, José E.; GONÇALVES, Vanessa S. Segurança de barragens no estado do Rio de Janeiro: identificação e fiscalização dos principais barramentos. Florianópolis: Editora ABRH, 2017.
- JÚNIOR, Alexandre S.; ARAÚJO, Henrique A. Análise de desempenho de barragens

com núcleo de concreto asfáltico. Congresso nacional de pesquisa e ensino em ciências: V CONAPESC, 2018.

LADEIRA, Josias E. Avaliação de segurança em barragem de terra, sob o cenário de erosão tubular regressiva, por métodos probabilísticos: o caso UHE – São Simão. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

LAURIANO, André W.; BRASIL, Lucas S.; MONTE-MOR, Roberto C.; PALMIER, Luiz R.; NASCIMENTO, Nilo O.; SOUZA, Neuzimar; CANELLAS, Alba V. Estudo de ruptura da barragem de funil: comparação entre os modelos FLDWAV e HEC-RAS. Departamento de engenharia hidráulica e recursos hídricos – UFMG, 2008.

LEITE, Sérgio R. Modelo para avaliação de riscos em segurança de barragens com associação de métodos de análise decisão multicritério e conjuntos Fuzzy. Brasília: Universidade de Brasília, 2019.

LOUREIRO, Marcelo A. Estudo de subpressões em barragens de concreto no contexto da segurança de barragens. Curitiba: Universidade tecnológica federal do Paraná, 2018.

Manual de segurança e inspeção de barragens – Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2002. 148p.

MARTINI, Bruno D. Sistema web para gestão de segurança de barragens. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2018.

NETO, Osvaldo S. Análise de dano em barragens de concreto através do método de elementos finitos, Tucuruí: Universidade Federal do Pará, 2019.

OLIVEIRA, José B. Manual de operação de barragens de contenção de rejeitos como requisito essencial ao gerenciamento dos rejeitos e à segurança de barragens. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2010.

ORO, Sheila R. Índice de monitoramento do comportamento estrutural dos blocos de concreto de barragens – uma abordagem multivariada. Curitiba: Universidade Federal do Pará, 2016.

PEREIRA, Luís F.; CRUS, Gabriela B.; GUIMARÃES, Ricardo M. Impactos do rompimento da barragem de rejeitos de Brumadinho, Brasil: uma análise baseada nas mudanças de cobertura de terra. Journal of environmental analysis and progress, 2019.

PESSI, Gabriel. Mapeamento sistemático da reação álcali-agregado: uma revisão das publicações ocorridas no Brasil de 2004 a 2014. Toledo: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

PIRES, Kironi O.; BECK, A. T.; BITTENCOURT, T. N.; FUTAI, M. M. Análise de confiabilidade de barragem de concreto construída. São Paulo: Editora IBRACON, 2019.

POSSAN, Edna. Barragens: Aspectos legais, técnicos e socioambientais – Unidade 10: Barragens de concreto. ICBA, 2018.

RODRIGUES, Eleno P. Parâmetros texturais de deformação em granitoides e sua relação álcali-agregado: aplicação ao concreto da barragem de Pedro Beicht, SP. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1994.

SANTOS, Anderssen B. Um estudo dinâmico de uma barragem arco gravidade

considerando as juntas de contratação. Curitiba: Universidade tecnológica federal do Paraná, 2018.

SANTOS, Verlei O. Segurança de barragens de concreto: auscultação por instrumentação da barragem da UHE Dona Francisca – RS. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.

SCHNEIDER, Samuel A. Dimensionamento e análise de estabilidade de barragem de gravidade em concreto. Santa Cruz do Sul: Universidade de Santa Cruz do Sul, 2011.

SILVA, André F. Preparação de base de dados para análise da propagação da onda de cheia proveniente de ruptura de barragem. Estudo de caso: Barragem de Chapéu D'uvas – Mg. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2017.

SILVEIRA, Iarly V.; PEDROSO, Lineu J. Análise da resposta sísmica envolvendo a interação barragem – reservatório – fundação em barragens gravidade de concreto. Jornadas sudamericanas de ingeniería estructural, 2018.

SILVEIRA, J. A.; AYRES, M. C.; MANTESE, A. C. Fissuras em barragens de concreto – critérios de classificação, experiência prática e tratamentos. São Carlos: IBRACON, 2018.

SOUZA, Danielle H. Análise probabilística e de sensibilidade dos parâmetros de um estudo de rompimento hipotético: Barragem de terra. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2016.

SOUZA, Kleber I. Barragens de enrocamento com face de concreto: Análise de tensões pelo método dos elementos finitos na fase construtiva por etapas. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

SUGIMOTO, Luiz. Por Barragens mais seguras, estudo desenvolvido na FEC determina 22 critérios para a avaliação de riscos. Campinas: Jornal da Inicamp, 2014.

TANUS, Henrique M. Importância da inspeção na prevenção de falhas em barragens: estudo de caso. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

VALVERDE, Ana E.; CAIXETA, Regina G.; SALGADO, Bernardo V. Avaliação de segurança de barragem: cenário regulatório. Patos de Minas: CENTEV/UFV, 2016.

ZUFFO, Monica S. Metodologia para avaliação da segurança de barragens. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2005.

ANEXO 1

Questionário de perguntas efetuadas na visita a Usina Hidrelétrica de Itumbiara – Furnas:

- Quais os manuais e livros utilizados para segurança da barragem?
- Quais os pontos mais críticos que podem ocorrer alguma divergência na barragem?
- Quais instrumentos são utilizados para verificação e as suas precisões?
- Quais ações deve-se tomar no caso de ocorrer alguma infiltração na estrutura de concreto da barragem?
- Quais ações deve-se tomar no caso de ocorrer alguma fissura?
- Qual o limite máximo para fissuras antes de uma intervenção?
- Quais os critérios de controle para percolação na barragem?
- Qual o tipo de reforço de solo utilizado na barragem?
- Quais ações deve-se tomar na surgência de água na estrutura.
- Quantos técnicos cuidam das tarefas de inspeção e de monitoramento da segurança da barragem?
- De que forma é feita a automação no sistema de monitoramento?
- Quais dados podem ser acompanhados remotamente e quais leituras precisam ser feitas localmente e com que frequência?
- Qual o padrão de procedimentos e de segurança seguido por Furnas?
- Quanto ao plano de emergência, no caso do pessoal técnico, são feitas simulações para as equipes saberem como agir num caso de acidente real?
- Em relação às comunidades que vivem no entorno da barragem, a estimativa da população total em áreas de risco potencial?
- Quais são as providencias gerais, do ponto de vista de operação da usina em caso de acidente?
- Em caso de acidente, quais são as providências a serem tomadas?
- Como ocorre a rotina de inspeções de Furnas?
- Já ocorreu reação álcali-agregado na barragem? Se sim, como foi resolvido?