

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

WANDER DOUGLAS PIRES DE CAMARGO

**ESTUDO DE ACONTECIMENTOS HISTÓRICOS DE RUPTURA DE
BARRAGENS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2014

WANDER DOUGLAS PIRES DE CAMARGO

**ESTUDO DE ACONTECIMENTOS HISTÓRICOS DE RUPTURA DE
BARRAGENS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Petrônio Rodrigo Mello Montezuma.

CAMPO MOURÃO

2014

Dedico este trabalho ao meu avô
Ermelino Pires de Camargo, que em seus
anos de vida nesse mundo semeou
humildade e sabedoria.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente Deus e aos meus pais, Douglas e Marisa. Aos meus pais pelo apoio, educação, paciência e por colaborarem de todas as maneiras possíveis para que eu chegasse aonde cheguei e conseguisse caminhar com meus próprios passos.

Aos familiares próximos que sempre me deram suporte e apoio moral quando eu mais necessitava.

Ao meu orientador Prof. Dr. Petrônio Rodrigo Melo Montezuma, pela dedicação, paciência, confiança e sabedoria com que me guiou nesta trajetória. Seus conselhos e experiência foram fundamentais para a realização desse trabalho.

Aos meus amigos e colegas, por tornarem essa longa caminhada divertida e menos arduosa. Principalmente aos amigos Luans, Luciano, Helito, João, Camila, Gustavo, Pitols, André e Lacovic.

A minha irmã de coração Renata Mendonça, agradeço por ser não somente minha melhor amiga, mas também meu anjo da guarda. Não há palavras para descrever o quanto ela representa para mim.

Gostaria de deixar registrado também o meu reconhecimento especial à minhas irmãs, Khareen Camargo e Yohanna Camargo, por toda parceria, de agora e de sempre.

E, por fim, mas não menos importante, agradeço à minha namorada, a qual amo muito, Clarice Felipe, que com paciência e carinho me fez compreender o sentido da palavra AMAR.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram direta ou indiretamente para meu progresso.

Sonhos determinam o que voc? quer.
A?o determina o que voc? conquista.
(Aldo Novak)

RESUMO

CAMARGO, Wander Douglas Pires. **Estudo de acontecimentos históricos de ruptura de barragens**. 2014. 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

Este trabalho discorre sobre o tema de segurança de barragens, comentando e discutindo alguns casos históricos de ruptura de barragens. São apresentados os principais tipos de barragens e os equipamentos usados para monitoramento de barragens. Além disto, é apresentado um breve comentário sobre a Lei 12.334/09/2010 de segurança de barragens. Por fim, é feita uma pequena análise crítica dos casos estudados, com o objetivo de aprimorar os conhecimentos sobre o tema.

Palavras-chave: barragens de terra, ruptura de barragem, segurança de barragem, instrumentação, *piping*, galgamento.

ABSTRACT

CAMARGO, Wander Douglas Pires. **Study of historical events of dams breaks.** 2014. 70 p. Completion of Course Work (Bachelor of Civil Engineering) – Technological University of Parana. Campo Mourao, 2014.

This paper discusses the issue of dam safety, commenting and discussing some historical dam break cases. The main types of dams are presented and the equipment used for monitoring dams. Moreover, we present a brief commentary on the Law 12.334/09/2010 dam safety. Finally, it's made a made a little critical analysis of the cases studied, with the aim of improving knowledge on the topic.

Keywords: earth dams rupture, dams break, dam security, instrumentation, piping, overtopping.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	10
2.1 OBJETIVO GERAL	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
3 JUSTIFICATIVA	11
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
4.1 PROCEDIMENTOS PARA CONSTRUÇÃO DE UMA BARRAGEM.....	12
4.2 PRINCIPAIS COMPONENTES DE BARRAGENS	13
4.3 TIPOS DE BARRAGENS CONVENCIONAIS.....	15
4.3.1 Barragens de terra.....	16
4.3.2 Barragens de enrocamento	18
4.3.3 Barragens de concreto.....	20
4.3.4 Barragens mistas.....	23
4.4 SEGURANÇA DE BARRAGENS.....	24
4.5 INSTRUMENTAÇÃO	27
4.5.1 Piezômetro.....	28
4.5.2 Medidor triortogonal	30
4.5.3 Medidor de vazão	31
4.5.4 Pêndulo.....	34
4.5.5 Extensômetro.....	35
4.5.6 Exemplo de análise de resultados dos instrumentos de auscultação	37
4.6 PRINCIPAIS TIPOS DE RUPTURA DE BARRAGENS	40
4.6.1 Ruptura por <i>piping</i>	41
4.6.2 Ruptura por falência hidráulica ou ruptura por <i>overtopping</i>	42
5 MÉTODOLOGIA	44
6 CASOS HISTÓRICOS DE RUPTURAS DE BARRAGENS DE TERRA	45
6.1 BARRAGEM DA PAMPULHA.....	45
6.2 BARRAGEM DE ORÓS.....	48
6.3 BARRAGEM EUCLIDES DA CUNHA E ARMANDO S. DE OLIVEIRA.....	49
6.4 BARRAGEM DE CAMARÁ	50
6.4.1 Aspectos gerais da barragem	50
6.4.2 Descrição do acidente e consequências geradas.....	52
6.4.3 Escolha do tipo de barragem adotado	54
6.4.4 Complicação na fase de construção da barragem.....	55
6.4.5 Auscultação e observação da barragem no enchimento do reservatório	57
6.4.6 A ruptura da barragem e considerações sobre as causas.....	59
6.4.7 A reconstrução da barragem.....	60
7 CONCLUSÕES	62
REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho apresenta um estudo sobre barragens com o intuito de descrever os seus tipos, estruturas, considerações de anteprojeto e os principais processos de ruptura e suas causas.

Considerando-se os aspectos históricos envolvidos neste tema, verifica-se que há registros que a barragem mais antiga que se tem conhecimento foi construída entre 2.950-2.750 A.C. Conhecida como El-Sadd Kafara, ela foi construída pelos antigos egípcios, com uma altura de 37 m e crista de 348 m de largura (SEARA, 2010). Segundo Yang et al. (1999, apud SEARA, 2010) a barragem foi construída com paredes de alvenaria, na parte externa com restos de escombros e para preenchimento foram usadas aproximadamente 100.000 toneladas de cascalho e pedra. Estima-se que a capacidade do seu reservatório era de 600.000 m³. Passado alguns anos após sua construção, a barragem ruiu e acredita-se que uma das possíveis causas tenha sido o galgamento.

Com relação as suas finalidades, as barragens podem ser para: controle de cheias; obtenção de energia elétrica; navegação; abastecimento doméstico; irrigação; criação de peixes, dentre outras. Dessa forma, são obras de engenharia que influenciam uma grande parte das civilizações e apresentam benefícios bem como riscos a vida do homem.

Assim, dentro do grau de importância estratégica que as barragens exercem, seja econômica, seja ambiental, fazem-se necessários estudos sobre a segurança das mesmas por meio de análise teórica e auscultação.

Sobre os trabalhos de auscultação de barragens, podem-se definir os equipamentos de monitoramento mais utilizados, tais como: piezômetros, inclinômetros (pêndulos), extensômetros e medidores de vazão. Para a interpretação dos resultados destes equipamentos, é necessária uma fundamentação teórica consistente sobre o funcionamento destes (ALMEIDA, 2010).

Considerando-se o que foi mencionado acima e a relevância do tema, foi editada a Lei 12.334/09/2010 que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens, e tem como uns dos objetivos garantir a observância de padrões de segurança de barragens de maneira a reduzir a possibilidade de acidente e suas consequências.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Apresentar alguns estudos de casos históricos de ruptura de barragens.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar os tipos convencionais de barragens.
- Descrever os instrumentos de auscultação de barragens.
- Estudar algumas formas de ruptura em barragens.
- Descrever algumas causas de ruptura de barragens.
- Descrever os acontecimentos históricos de ruptura de barragens.

3 JUSTIFICATIVA

Prejuízos sócio-econômico-ambientais decorrentes de rupturas de barragens são observados no território nacional até nos anos atuais. Mesmo com a tradição do Brasil na construção e operação de barragens, segundo Saliba (2009), “relativamente poucos esforços foram feitos no sentido de contabilizar os riscos de ruptura inerentes a essas atividades”.

Verifica-se que é importante o estudo e identificação das principais causas de ruptura em barragens de terra, tanto por causar danos diretos e imediatos, que podem devastar uma determinada cidade ou até região, quanto pela interrupção de seus benefícios.

Desta forma, é necessário pesquisar os estudos sobre o tema de rupturas de barragens para conhecer melhor os processos envolvidos nestes acontecimentos, de forma a aperfeiçoar-se o conhecimento do tema e desenvolver uma capacidade de análise crítica das situações analisadas.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 PROCEDIMENTOS PARA CONSTRUÇÃO DE UMA BARRAGEM

Para melhor compreender e esclarecer as fases que antecedem a construção de uma barragem devem-se estudar alguns tópicos tais como, o projeto, a execução da construção e os problemas que podem ser encontrados no decorrer deste tempo.

Os procedimentos mais lógicos para construção de uma barragem devem seguir determinados protocolos (BARBOSA et al.,2004).

Na figura 1, pode-se ver um resumo dos procedimentos mais lógicos para a construção de uma barragem quando ela é uma obra publica.

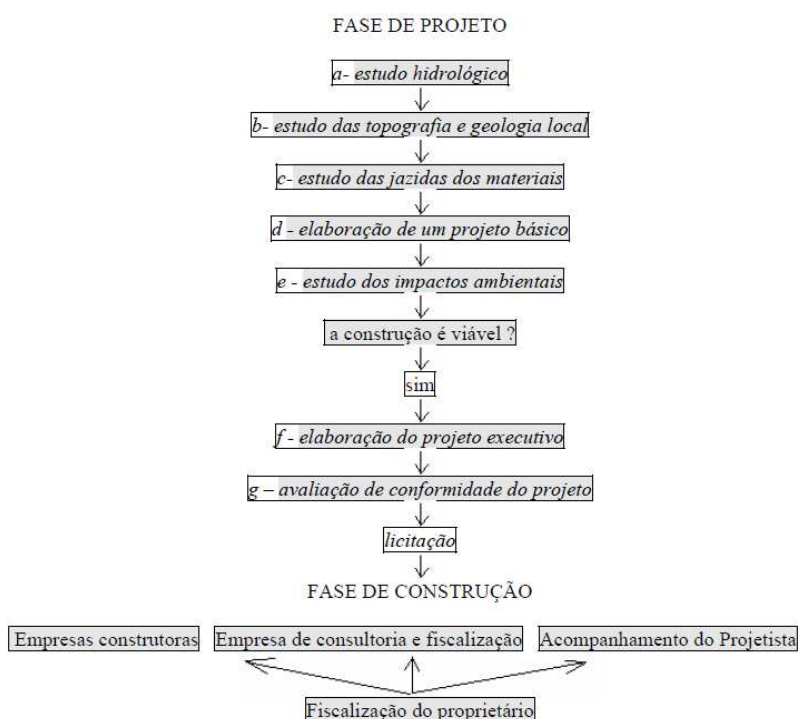


Figura 1 – Procedimento mais lógico para construção de obras públicas

Fonte: Barbosa et al. (2004).

Para Barbosa et al. (2004), a construção de uma barragem deve ser composta de duas grandes fases distintas, a de projeto e de construção. A fase de projeto deve seguir algumas etapas, tais como o estudo hidrológico, estudos topográficos, estudos das jazidas dos materiais utilizados na construção, elaboração do projeto básico, estudos dos impactos ambientais, projeto executivo ou detalhamento do projeto básico.

Na fase de construção é importante que os projetos detalhados da obra já estejam prontos, para se escolher uma construtora capacitada para realizá-la e seguir sua lógica de construção, o que muitas vezes não ocorre no Brasil.

4.2 PRINCIPAIS COMPONENTES DE BARRAGENS

Segundo Marangon (2004), as barragens de terra possuem elementos básicos que as constituem como um todo, sendo eles: talude jusante, crista, talude montante, maciço, base e fundação. Estes elementos também são comuns à maioria dos tipos de barragem e são representados pela figura 2.

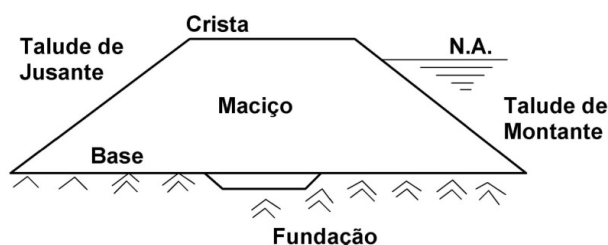


Figura 2 – Elementos básicos de uma barragem

Fonte: Adaptado de Marangon (2004).

Dentro do processo construtivo, existe um elemento que é responsável pelo desvio dos cursos d'água. Este elemento é chamado de ensecadeira e sua construção é esquematizada na figura 3.

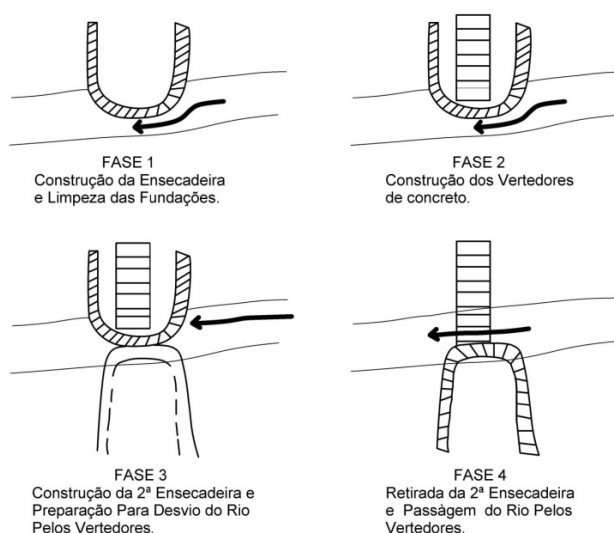


Figura 3 – Esquemática de ensecadeiras

Fonte: Adaptado de Marangon (2004).

Podem-se citar também os túneis de desvio, que possuem função similar à ensecadeira, porém diferenciam-se pelo fato de ser usualmente empregados nas construções em vales íngremes (MARANGON, 2004). A figura 4 ilustra a esquemática de um túnel de desvio.

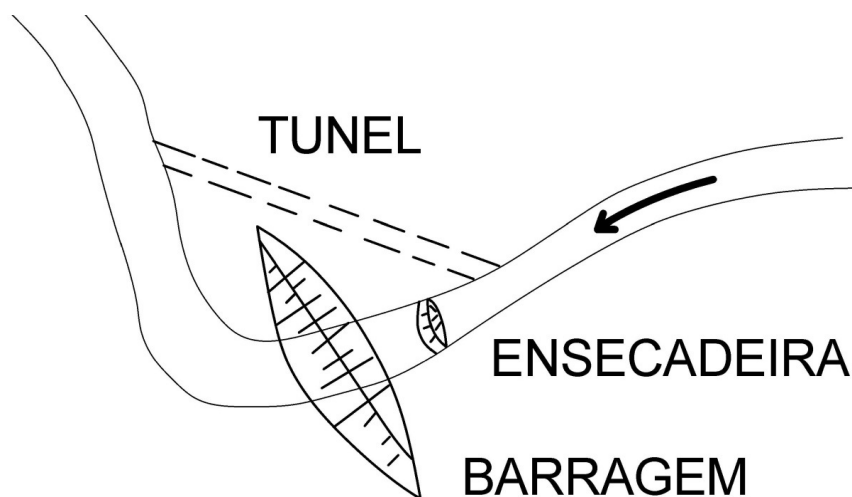


Figura 4 – Esquemática de um túnel de desvio

Fonte: Adaptado de Marangon (2004).

Além destes elementos, devem-se citar os vertedouros, que funcionam como dispositivos que regulam a água, quando seu regime ameaça a estabilidade da barragem (MARANGON, 2004). A Figura 5 mostra o vertedouro da barragem de Itaipu.



Figura 5 – Vertedouro da barragem de Itaipu

Fonte: Autoria própria.

4.3 TIPOS DE BARRAGENS CONVENCIONAIS

De acordo com Azevedo (2005), as barragens dividem-se, quanto a sua finalidade, em:

- Barragens de regularização, que “tem como objetivo regularizar o regime hidrológico dos rios, ou seja, equilibrar a demanda com o consumo de água”;
- Barragens de retenção, a qual tem por objetivo reter água, geralmente para controle de cheias.

Além disto, a divisão, quanto aos tipos de barragens, citada por Azevedo (2005), é apresentada a seguir:

- Barragens homogêneas (terra);
- Zonadas;
- Enrocamento;
- Concreto.

Para Costa (2012), os tipos de barragens convencionais são:

- Barragens de terra
 - Homogêneas
 - Zonadas
- Barragens de enrocamento
 - Com núcleo impermeável
 - Com face impermeável
- Barragens de concreto
 - Gravidade
 - Gravidade aliviada
 - Em contraforte

- De concreto rolado ou compactado
- Abóbada
- Barragens mistas (de concreto e/ou terra)

4.3.1 Barragens de terra

Segundo Quintas (2002), são consideradas barragens de terra aquelas cuja estrutura é constituída fundamentalmente por terra. Neste caso, é adequado, quando possível, utilizar o solo da área de implantação da barragem.

As barragens de terra são as mais utilizadas e numerosas, devido a vantagens econômicas e construtivas que elas proporcionam, em muitos casos, em relação às de concreto. Elas também resistem melhor a recalques do solo de fundação e o seu preço, por volume unitário, se manteve aproximadamente constante nos últimos 50 anos. Apesar de ter ocorrido aumentos no custo de mão de obra, este é contrabalanceado pelos avanços de tecnologia nos equipamentos para movimentação de terras. Já os custos de concreto, neste mesmo período, aumentaram expressivamente (SENTURK, 1994 apud BRAZ, 2003). Um exemplo de barragem de terra é a Barragem de Rosana, que pode ser vista na figura 6.



Figura 6 – Barragem de Rosana

Fonte: CBDB (2005, apud ZEVEDO, 2005).

Estas barragens se comportam de maneira razoável em praticamente todos os tipos de fundação, pois os esforços transmitidos à fundação são menores, que as barragens de concreto, por unidade de área. Outro fator positivo, é que por serem compostas de material que tem fácil adaptabilidade, as barragens de terra são menos propensas a ter sua estrutura comprometida por assentamentos, que são verificados durante e após a construção (ALMEIDA, 2010).

- *Barragens de terra Homogêneas*

Este tipo de barragem possui, na verdade, o solo compactado em predominância. “Sendo considerado como montante o que está acima do eixo de referência que corta a seção transversal do rio e jusante é o que está abaixo deste mesmo eixo” (CPFL, 2001 apud AZEVEDO, 2005).

Mesmo sendo denominadas homogêneas, elas não são construídas com a utilização exclusiva de apenas um material, pois as barragens homogêneas, podem ser executadas com solos compactados com diferentes características (AZEVEDO, 2005). A Figura 7 ilustra uma seção típica de uma barragem de terra homogênea.

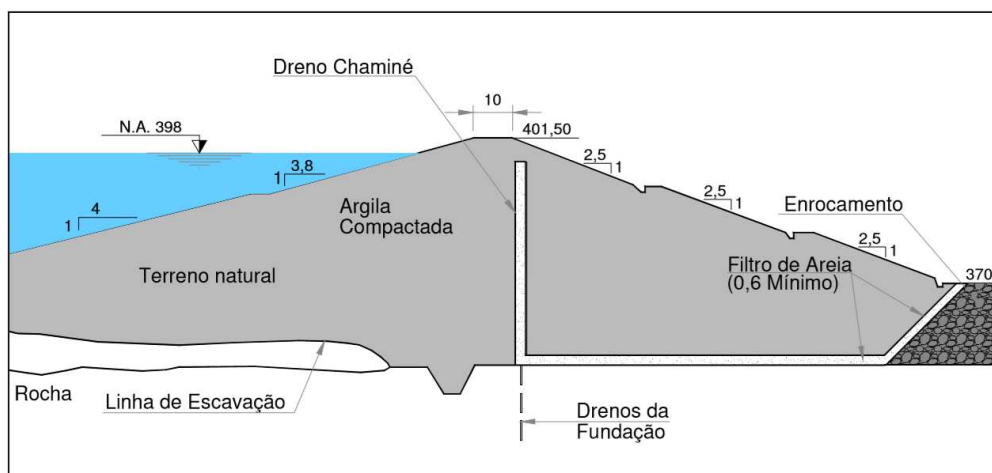


Figura 7 – Barragem do Vigário

Fonte: Cruz (2005).

- *Barragens de terra Zonadas*

Este tipo de barragem é caracterizado por apresentar um zoneamento de elementos terrosos que variam em função de suas propriedades de materiais e/ou

permeabilidade (COSTA, 2012). A Figura 8 ilustra a seção de uma barragem de terra zonada.

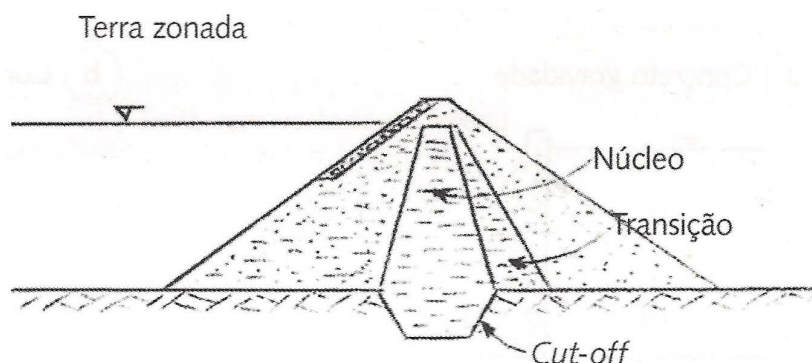


Figura 8 – Seção de uma barragem de terra zonada

Fonte: Costa (2012).

4.3.2 Barragens de enrocamento

Barragens de enrocamento são barragens em que se faz o emprego de blocos de rocha de vários tamanhos juntamente com uma membrana impermeável sobre a face de montante do talude construído ou um núcleo impermeável. Geralmente, esse empreendimento é viável em regiões com altos custos para obtenção de concreto, terra e fácil obtenção de rochas. O tipo de rocha de fundação que tolera uma obra de barragem de enrocamento, nem sempre tolera obras de concreto (MARANGON, 2004). Na figura 9, pode se ver uma barragem desta.



Figura 9 – Usina Hidrelétrica Campos Novos

Fonte: Visita... (2014).

- *Barragens de enrocamento com núcleo impermeável*

Na barragem de enrocamento o material rochoso é predominante, e a vedação da água é feita por meio de um núcleo argiloso. O núcleo pode ser centralizado ou inclinado para a montante. Ele também é separado do material rochoso por meio de uma camada de transição para evitar o carregamento do material fino para o interior do enrocamento (COSTA, 2012).

Na figura 10, pode se ver duas secções típicas de uma barragem de enrocamento com núcleo impermeável, sendo a figura 10a de núcleo centralizado e a Figura 10b de núcleo inclinado.

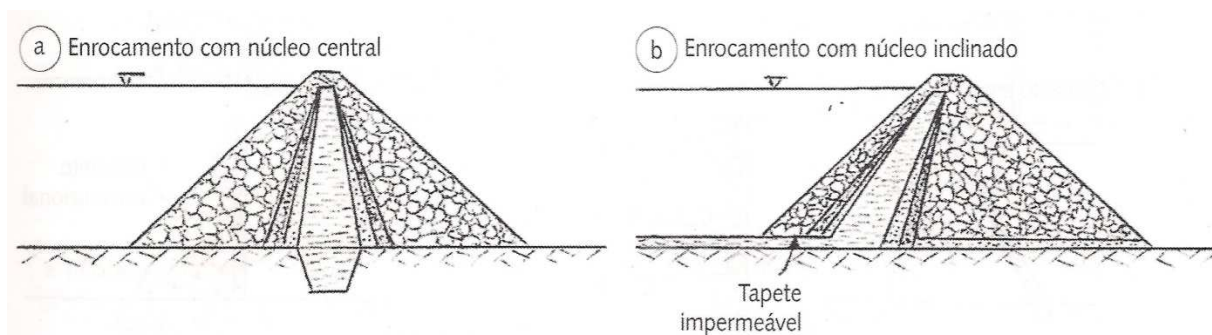


Figura 10 – Seção de barragem de enrocamento de núcleo centrado e núcleo inclinado
Fonte: Costa (2012).

- *Barragem de enrocamento com face impermeável*

Nesse tipo de barragem, o material predominante também é rochoso, porém a formação do reservatório e estanqueidade do barramento são garantidas por uma membrana externa impermeável, como pode se ver na figura 11 (AZEVEDO, 2005).

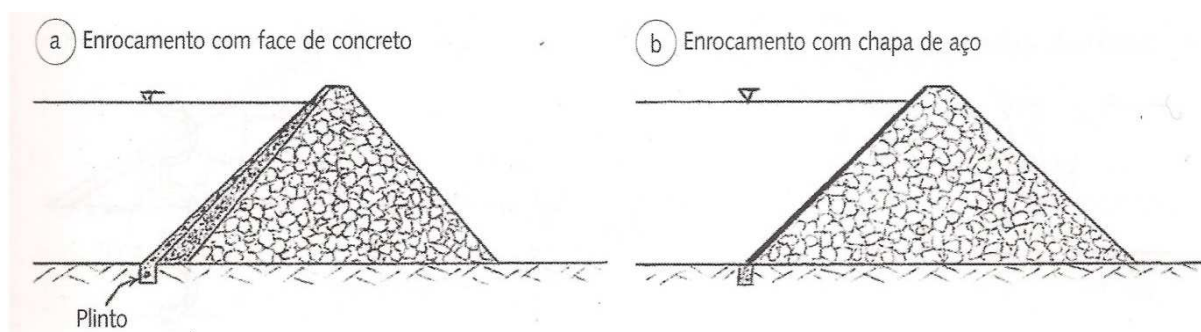


Figura 11 – Seção de barragem de enrocamento com face de concreto e chapa de aço
Fonte: Costa (2012).

4.3.3 Barragens de concreto

Barragens de concreto são as constituídas basicamente de materiais granulares produzidos artificialmente aos quais se acrescentam cimento e aditivos químicos (MARANGON, 2004). Por este motivo, são as barragens que tem o maior custo de produção.

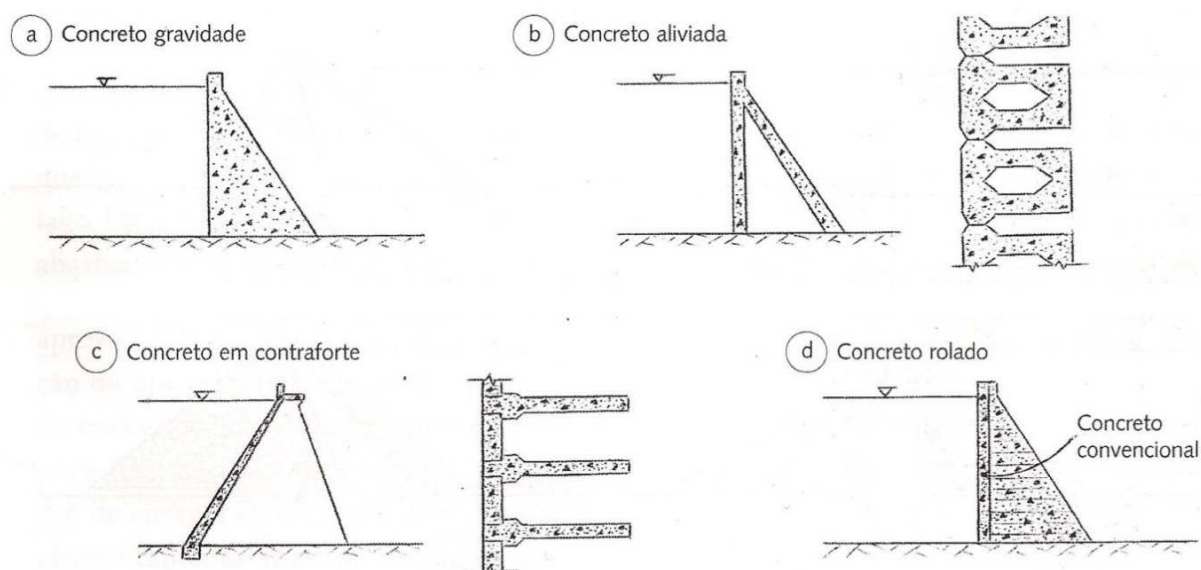


Figura 12 – Alguns tipos de barragens de concreto

Fonte: Costa (2012).

- *Barragens de concreto de gravidade*

São em geral maciças e pouco armadas, onde as forças atuantes predominantes são de compressão. Em relação ao seu traçado, ele pode ser retilíneo ou em arco. Seu elevado peso próprio é o fator que mantém a sua estabilidade, transmitindo as forças das águas a montante para o solo (COSTA, 2012).

Estas barragens são as mais resistentes e com o menor custo de manutenção, porém, elas apresentam o maior custo de produção em relação às de terra ou de enrocamento (MARANGON, 2004).

A figura 12-a ilustra a seção típica de uma barragem de concreto de gravidade.

- *Barragens de concreto de gravidade aliviada*

Costa (2012) se refere a este tipo, como uma variação da barragem de concreto gravidade, porém com a diferença de que a de gravidade aliviada é vazada, ou oca, para assim promover economia de concreto ou diminuir a carga no maciço de fundação. Ela também sofre maior tensão de tração, sendo necessário o uso de armação para resistir a este esforço. A figura 12-b demonstra uma seção típica de uma barragem de concreto de gravidade aliviada.

- *Barragens de concreto em contraforte*

De acordo com Quinta (2002), a princípio, eram utilizadas onde havia escassez de materiais ou eles eram dispendiosos, porém a mão de obra era abundante e barata (figura 12-c e 13).



Figura 13 – Barragem em contraforte Buttress Dam
Fonte: França (2014).

Quinta (2002), também cita alguns exemplos de características das barragens de contraforte:

- O equilíbrio da barragem aumenta com a força de água atuante no parâmetro oblíquo da montante.

- Pequenas infiltrações de água não colocam em risco a segurança da barragem, exceto se a fundação for de material erodível.
 - A necessidade de mão de obra de alta qualificação aumenta consideravelmente os custos de construção, porém se desconsidera a quantidade de materiais necessários.
 - É complexa a distribuição dos esforços nos contrafortes quando a barragem tem dimensão longitudinal grandiosa.
-
- *Barragens de concreto rolado ou compactado*

Costa (2012), afirma que esta é uma barragem de gravidade onde o concreto é espalhado com trator e logo após é compactado. Neste método, o concreto não é vibrado, fazendo-se necessário a utilização de uma camada de concreto convencional construída no paramento de montante para garantir a estanqueidade da barragem. Na figura 12-d pode se ver a seção típica de uma barragem de concreto rolado e na figura 14, um exemplo desta barragem.



Figura 14 – Hidrelétrica Mauá

Fonte: Mauá... (2014).

- *Barragens de concreto do tipo Arco*

Barragens de concreto do tipo arco são as mais raras (figura 15), pois seu comprimento deve ser pequeno em relação à sua altura, desta forma é necessária à

presença de material rochoso de alta resistência nas encostas de vale, que possa suportar os esforços a elas transmitidos. Este tipo de barragem é comum na Europa, onde há vales profundos e estreitos (MARANGON, 2004).



Figura 15 – Barragem em arco Glen Canyon Dam

Fonte: Glen... (2014).

4.3.4 Barragens mistas

Uma barragem pode ser considerável mista quando se utiliza em sua constituição mais de um tipo de material. Podendo ser considerada mista em relação a seção transversal (figura 17), ou em relação a seu traçado longitudinal (figura 16). Não se considera barragem mista a que em seu corpo principal é de terra ou enrocamento e o vertedouro é de concreto, mesmo que exista uma continuidade do traçado (COSTA, 2012).

Um bom exemplo de barragem mista em relação a seu traçado longitudinal é o da barragem de Itaipu. Esta barragem é composta por trechos com diferentes tipos de materiais (tipos de barragem), como pode se ver na figura 16, tais como:

- Barragem lateral direita de concreto em contraforte;
- Barragem principal e blocos de ligação de concreto de gravidade aliviada e contraforte;
- Estrutura de desvio em concreto de gravidade;
- Barragem de terra da margem direita;

- Barragem de enrocamento;
- Barragem de terra da margem esquerda;



Figura 16 – Complexo de barragem da barragem de Itaipu

Fonte: Barragem (2014).

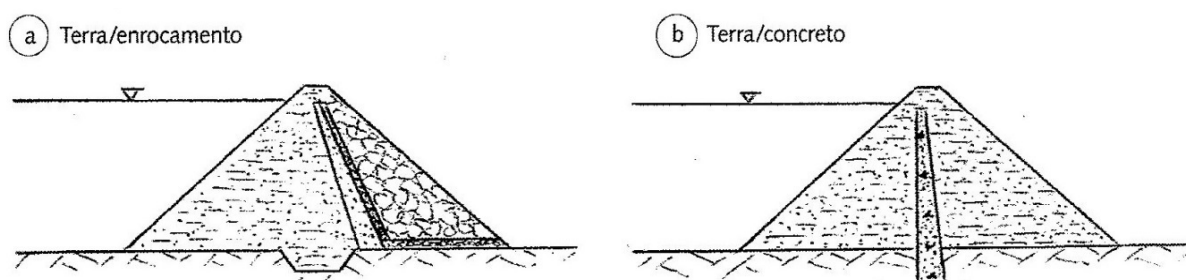


Figura 17 – Barragens mistas

Fonte: Costa (2012).

4.4 SEGURANÇA DE BARRAGENS

Segundo Guerra (1996, apud KAPLAN, 2010), segurança de barragens pode ser definida como a máxima capacidade de uma barragem em resistir a variação das características operacionais e funcionais, oferecendo bom grau de confiabilidade.

A Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, dispõe sobre a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). A PNSB aplica-se a barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais que apresentem pelo menos uma das seguintes características:

- Altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15 m (quinze metros);
- Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m³ (três milhões de metros cúbicos);
- Reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;
- Categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas.

De acordo com esta Lei, reservatório é definido como a acumulação não natural de água, de substâncias líquidas ou de mistura de líquidos e sólidos; segurança de barragem é condição que visa manter a sua integridade estrutural e operacional e a preservação da vida, da saúde, da propriedade e do meio ambiente; já o dano potencial associado à barragem é o dano que pode ocorrer devido a rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem.

Os objetivos da Política Nacional de Segurança de Barragens, dentre outros, são: de garantir que padrões de segurança sejam cumpridos de modo a reduzir a possibilidade de acidente; regulamentar as ações de segurança a serem adotadas durante o planejamento, o projeto, a construção, o primeiro enchimento e o primeiro vertimento, a operação, a desativação e o de usos futuros de barragens em todo o território nacional; e promover o monitoramento e o acompanhamento das ações de segurança (BRASIL, 2010).

A segurança de uma barragem deve ser prevista em sua fase inicial de planejamento, projeto e construção. Depois de construída, o primeiro enchimento e o primeiro vertimento devem ser monitorados com atenção. A população deve ser informada sobre as consequências que a construção de uma barragem implicam e estimuladas, mesmo que indiretamente, a participar de ações preventivas e

emergenciais. O empreendedor, seja agente governamental ou privado, é o responsável legal pela segurança da barragem (BRASIL, 2010).

Existe, ainda, uma classificação relacionada aos riscos de ruptura de uma barragem. A classificação é feita com base em três categorias de risco: alto, médio ou baixo, em função do potencial de perdas de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da ruptura da barragem, das características técnicas e do estado de conservação do empreendimento (BRASIL, 2010).

De acordo com o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), quanto a categoria de risco, são analisadas as seguintes características:

I - Características técnicas:

- a) Altura do barramento;
- b) Comprimento do coroamento da barragem;
- c) Tipo de barragem quanto ao material de construção;
- d) Tipo de fundação da barragem;
- e) Idade da barragem;
- f) Tempo de recorrência da vazão de projeto do vertedouro;

II - Estado de conservação da barragem:

- a) Confiabilidade das estruturas extravasoras;
- b) Confiabilidade das estruturas de captação;
- c) Eclusa;
- d) Percolação;
- e) Deformações e recalques;
- f) Deterioração dos taludes.

III - Plano de Segurança da Barragem:

- a) Existência de documentação de projeto;
- b) Estrutura organizacional e qualificação dos profissionais da equipe técnica de segurança da barragem;

- c) Procedimentos de inspeções de segurança e de monitoramento;
- d) Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem; e
- e) Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação
- f) Existência de documentação de projeto;

O CNRH ainda prevê uma classificação quanto ao dano potencial associado à barragem. Nesse caso, os critérios gerais utilizados são:

- I - existência de população à jusante com potencial de perda de vidas humanas;
- II - existência de unidades habitacionais ou equipamentos urbanos ou comunitários;
- III - existência de infraestrutura ou serviços;
- IV - existência de equipamentos de serviços públicos essenciais;
- V - existência de áreas protegidas definidas em legislação;
- VI - natureza dos rejeitos ou resíduos armazenados; e
- VII - volume.

Ainda de acordo com esta lei, cabe ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos, o órgão do governo responsável pela fiscalização da segurança de barragens, reavaliar a cada cinco anos, no máximo. Se necessário, a classificação quanto ao risco e ao dano potencial associado à barragem poderão ser alterados.

Durante sua operação, basicamente, a segurança da barragem é avaliada e monitorada pelos procedimentos de auscultação. Estes procedimentos consistem em acompanhar as leituras dos instrumentos que medem o comportamento da barragem e fundações, para que seja feito o controle de suas condições de segurança e diagnosticar a necessidade de medidas corretivas. Para tal, utilizam-se dispositivos como piezômetros, pêndulos, extensômetros e medidores de vazão.

4.5 INSTRUMENTAÇÃO

Segundo Thá (2007), a instrumentação presente em barragens tem por objetivo fornecer dados, que são usados como parâmetros de comparação e

hipóteses a serem consideradas, tanto no projeto quanto na avaliação do desempenho estrutural da barragem como um todo. Os aparelhos instalados para aferir a pressão hidrostática, deslocamentos, nível d'água e vazão são mecanismos de extrema importância para a auscultação, que tem papel fundamental no controle de segurança da barragem.

Ainda segundo Thá (2007), a auscultação pode ser definida como “o conjunto de métodos de observação do comportamento de uma determinada obra de engenharia, com o objetivo de controlar as suas condições de segurança, comprovar a validade das hipóteses e dos métodos de cálculo utilizados no projeto, verificar a necessidade da utilização de medidas corretivas, fornecer subsídios para a elaboração de novos critérios de projeto, etc.”

A seguir, são enumerados alguns equipamentos básicos para instrumentação de barragens.

4.5.1 Piezômetro

Os piezômetros têm como função fornecer a carga de pressão d'água no ponto em que foi instalado. Existem dois tipos de piezômetros: standpipe (ou Casagrande) e elétrico de corda vibrante. Nos dois casos, a leitura fornece a cota piezométrica (soma da carga de elevação e carga de pressão no ponto), sempre em relação ao nível do mar (THÁ, 2007).

Por ser um instrumento de fácil confecção e instalação, alta durabilidade e confiabilidade, os piezômetros do tipo standpipe são os mais comumente utilizados em barragens. Ele é constituído, basicamente, de um tubo de PVC instalado no ponto onde se quer medir a pressão hidrostática ou poro-pressão.

Em uma das extremidades do tubo são feitas várias perfurações, como pode ser visto na figura 18, de modo que permita a entrada de água. Para evitar que sólidos adentrem à tubulação e entupam o piezômetro, essa parte é revestida com um filtro de material sintético e protegida com uma camada de areia (o conjunto é denominado bulbo). Logo acima da camada de areia, convém protegê-la com um selo de bentonita ou solo-cimento. O restante da tubulação pode ser preenchido com solo natural. A outra extremidade do tubo, onde será feita a leitura do instrumento,

pode ficar aberta ou protegida com uma tampa removível, apenas para evitar a entrada de sujeira ou insetos.

A leitura do instrumento é realizada com um equipamento chamada pio elétrico, que consiste em uma corda graduada com uma ponteira elétrica que emite um som ao tocar na água. Dessa forma, pode ser determinada a distância do ponto de leitura (boca do tubo) até o nível de água. A distância entre a boca do tubo e a cota de instalação do bulbo é conhecida, ou seja, por uma conta simples de subtração, tem-se a altura da coluna d'água sobre o bulbo. Por fim, basta somá-la com a cota de instalação para obter a cota piezométrica (pressão no ponto em relação ao nível do mar).



Figura 18 – Seção longitudinal da extremidade do piezômetro

Fonte: Autoria própria.

4.5.2 Medidor triortogonal

O medidor triortogonal, (figura 19), possui esse nome, pois em um único instrumento, é possível medir deslocamentos relativos em três direções: afastamento, deslizamento ou recalque. O aparelho é usado para medir deslocamentos em juntas e trincas de estruturas de concreto, como túneis, galerias ou ainda em maciços rochosos. Em barragens de concreto, o medidor triortogonal é instalado para monitorar o deslocamento entre os blocos.



Figura 19 – Medidor triortogonal de junta

Fonte: Medidor... (2014).

O aparelho é composto, basicamente, por duas peças de aço inox com braços orientados nas três direções de forma ortogonal. Com o auxílio de um gabarito, cada uma das partes é fixada (chumbada com concreto forte) em um lado da junta ou trinca que se deseja monitorar os deslocamentos relativos.

De acordo com a Companhia Energética de São Paulo (CESP), o medidor triortogonal pode medir deslocamentos de até 10 mm, com precisão de apenas 0,01 mm. A leitura é feita com o auxílio de um relógio comparador, que deve ser calibrado regularmente para assegurar a confiabilidade dos dados.

4.5.3 Medidor de vazão

A água de infiltração ao longo da barragem é outro dado importante que deve ser monitorado. Para isso, são utilizados instrumentos que medem o fluxo de água infiltrada à jusante do reservatório. Desta forma, as barragens contam com um sistema de canaletas que conduz a maior parte da água de infiltração a dispositivos que permitem medir a vazão.

Esses medidores dependem estreitamente da quantidade de água a ser aferida. No caso de vazões de até 300 l/s, convém utilizar o medidor de vazão de placa triangular (figura 20 e 21), que mede a vazão de um canal em função da altura da coluna d'água acima do vértice do triângulo. Entretanto, de acordo com Silveira (2006, apud Thá, 2007), esse tipo de medidor de vazão é mais preciso para vazões inferiores a 30 l/s. No caso de vazões superiores a 300 l/s, convém utilizar outro equipamento ou utilizar um conjunto de dois ou mais medidores de vazão de placa triangular.

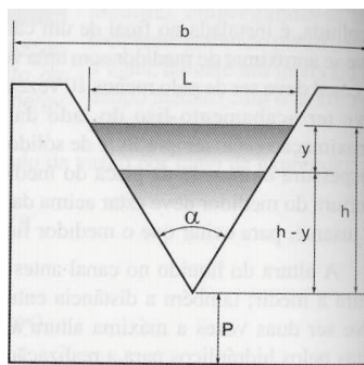


Figura 20 – Medidor de vazão triangular

Fonte: Thá (2007).

Segundo Silveira (2006, apud Thá, 2007), as fórmulas mais utilizadas para o cálculo da vazão, em m³/s, para medidor com vértice de 90° são:

Thompson: $Q = 1,40.h^{5/2}$, com h em metros

Gouley e Crimp: $Q = 1,32.h^{2,48}$, com h em metros

Em ambos os casos, as seguintes condições devem ser observadas:

- $0,05 \text{ m} < h < 0,38 \text{ m}$
- $P > 3.h$
- $B > 6.h$
- O medidor de nível deve estar a uma distância da placa superior a $4.h$

O gráfico 1 , ilustra a diferença de vazão calculada pelas fórmulas de Thompson, Gouley e Crimp e uma variante de Thompson, $Q = 1,46.h^{5/2}$, que é utilizada para o cálculo da vazão na hidrelétrica de Itaipu.

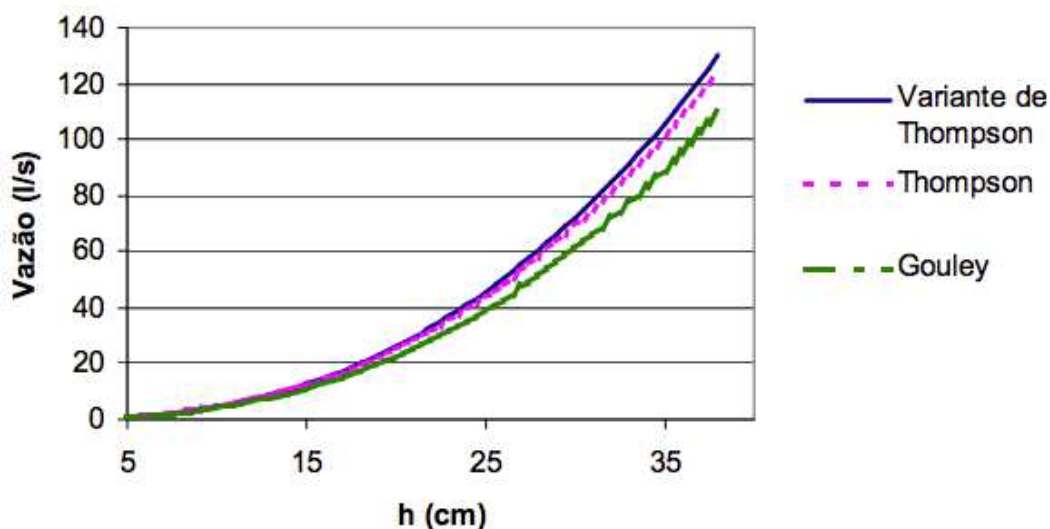


Gráfico 1 – Cálculo de vazão utilizando diferentes métodos em medidor de placa triangular
 Fonte: Thá (2007).

Outro jeito de aferir a vazão de água infiltrada é de forma manual, coletando a água em um recipiente cujo volume é conhecido durante um determinado intervalo de tempo cronometrado. Dessa forma, através de uma simples divisão, obtêm-se a

vazão média em l/s ou m³/s. Esse método é mais indicado para vazões extremamente baixas (figura 22).



Figura 21 – Medidor de vazão triangular

Fonte: Autoria própria.



Figura 22 – Medição de pequena vazão em um dreno de uma barragem de concreto

Fonte: Autoria própria.

4.5.4 Pêndulo

Os pêndulos são usualmente utilizados para medir os deslocamentos horizontais, ou seja, identificam e mensuram movimentos pendulares da barragem, tanto o movimento pendular montante – jusante, quanto o movimento pendular margem esquerda – margem direita. Um pêndulo é composto, basicamente, por um fio de aço com um peso na ponta. Em uma extremidade, o fio é fixado na estrutura da barragem e, do outro lado, o contrapeso fica imerso em um reservatório com óleo, para protegê-lo e evitar que seja tocado e se movimente de forma acidental.

O pêndulo pode ser direto ou invertido. O pêndulo direto mede o deslocamento horizontal da crista (ou de bases intermediárias de referência) em relação à interface fundação-estrutura, já o pêndulo invertido mede o deslocamento horizontal da base da barragem em relação a um ponto, suficientemente profundo para ser considerado fixo, na fundação (BURIN, 2010). Na figura 23, pode se ver a representação esquemática e os elementos constituintes de um pêndulo invertido.

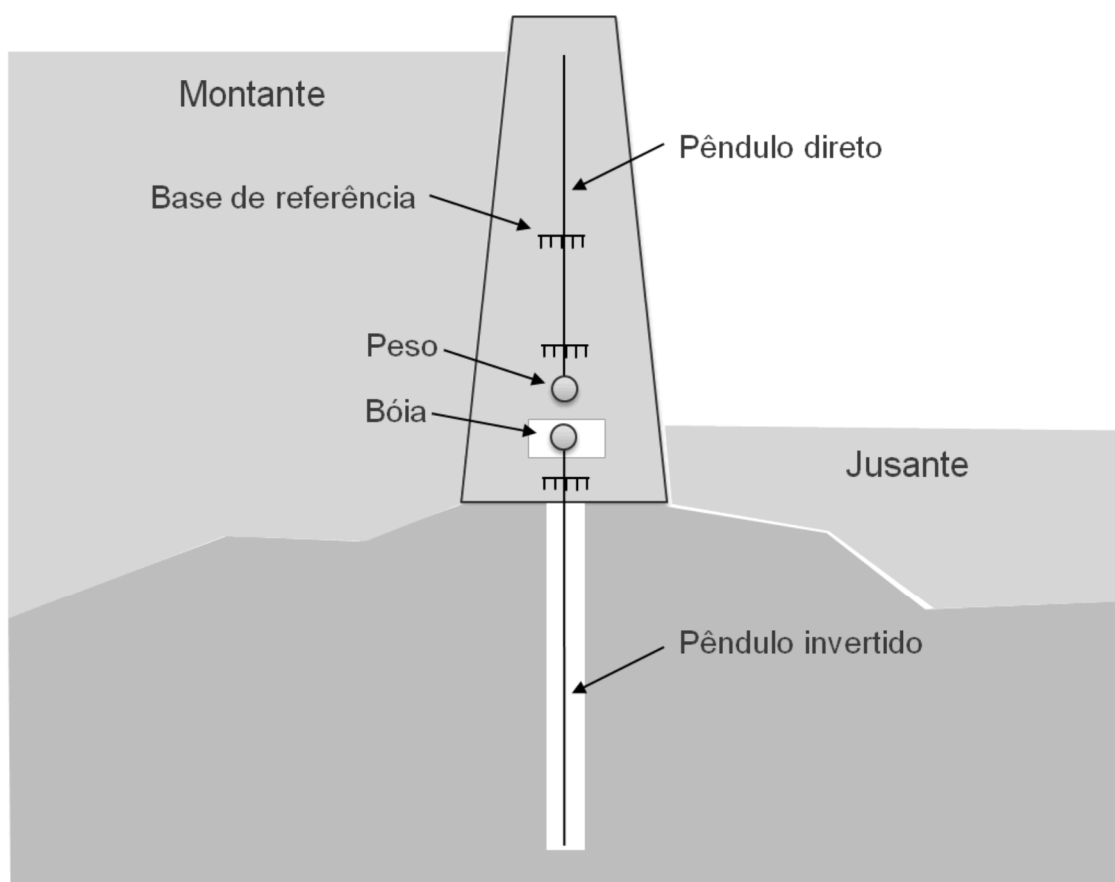


Figura 23 – Representação esquemática de pêndulo direto e pêndulo invertido

Fonte: Burin (2010).

Para fazer a medição no pêndulo, é necessário um instrumento chamado coordenômetro ótico, que mede os deslocamentos horizontais do fio em relação a um ponto previamente fixado (MATOS, 2002).

4.5.5 Extensômetro

Segundo Matos (2002), os extensores ou extensômetros múltiplos de haste são instrumentos usados para medir o deslocamento angular vertical em camadas profundas da fundação. Eles geralmente são instalados em grupos, um a jusante e outro a montante da barragem, e os dados obtidos são comparados a fim de se obter um resultado convergente.

Outras informações que podem ser extraídas com a instalação destes aparelhos são as deformações dos maciços rochosos onde a fundação da barragem está apoiada. Os dados são obtidos através da medição, com o auxílio de um relógio comparador, das deformações da fundação em relação ao ponto de ancoragem de sua haste.

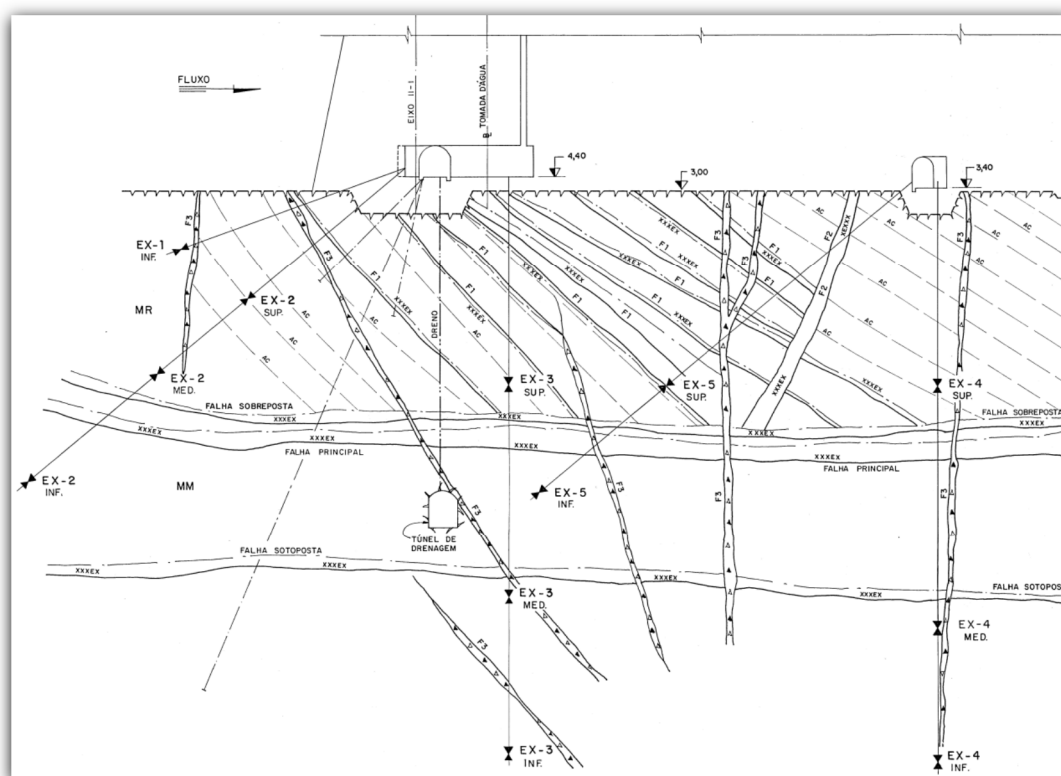


Figura 24 – Localização dos piezômetros no bloco BG02 da UHE Tucuruí

Fonte: Caldas e Luz (2013).

A instalação do extensômetro é feita em um ponto fixo da barragem. Neste ponto, é feita a leitura do equipamento pela cabeça de leitura. Abaixo da cabeça de leitura, uma haste de ferro galvanizado envolta por um tubo de PVC segue até uma determinada profundidade na rocha de fundação da barragem pelo furo de sondagem. Nesta profundidade, a haste é ancorada com um tipo de graute e sua parte superior é livre para se movimentar no sentido longitudinal ao tubo. No caso de ser extensômetro múltiplos de hastes, do ponto fixo saem, separadamente, mais de uma haste, que podem ser inclinadas, ou ancoradas em profundidades diferentes, como pode ser visto nas figuras 24 e 25.

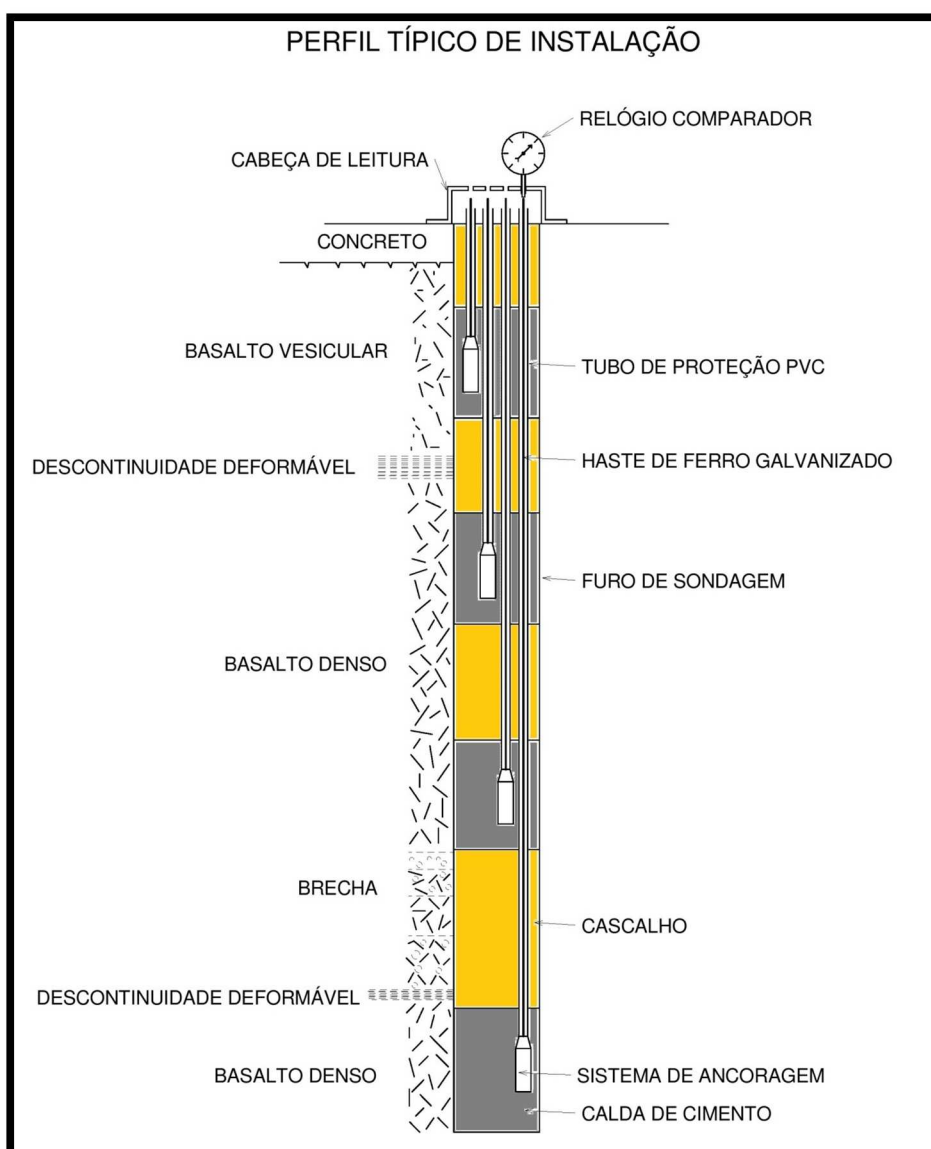


Figura 25 – Exemplo de um perfil típico de um extensômetro múltiplo de haste
Fonte: Adaptado de Matos (2002).

A leitura do extensômetro geralmente é feita com um relógio comparador, que mede a distância do ponto fixo da barragem até a haste do extensômetro. Caso esta distância diminua expressivamente pode-se considerar que a porção superior da fundação até à ancoragem da haste está sofrendo recalque.

4.5.6 Exemplo de análise de resultados dos instrumentos de auscultação

Como já foi citada anteriormente, a auscultação faz o monitoramento do comportamento da barragem pelos dados obtidos dos instrumentos instalados em pontos chave da barragem. Estes dados são coletados por técnicos ou por equipamentos automatizados, através da leitura dos instrumentos, e depois lançados em banco de dados, e então, através destes valores são gerados gráficos com os resultados das leituras.

É normal que tenha algumas variações para mais ou para menos nos gráficos apresentados pelos instrumentos de auscultação, por exemplo, durante o ano, pois as diferenças climáticas oriundas das estações do ano podem interferir no comportamento da barragem. A partir do momento em que se identifica uma variação atípica e inesperada no gráfico de algum instrumento, é feita a medição dele novamente para verificar se não foi um erro de leitura. Constatado que não foi um erro de leitura, são analisados os resultados de outros instrumentos (de mesmo tipo ou não) para que se entenda o motivo desta situação e se há necessidade de intervenção.

Uma forma comum de observar valores atípicos no comportamento de uma barragem, porém que estes sejam esperados, é quando a barragem é construída em duas etapas. Pois enquanto uma parte da barragem já está ativa e sofrendo pressão da água, a outra passa a ser ativa e receber esta carga, muitas vezes pela desconstrução de uma ensecadeira. Um exemplo disto pode ser visto na construção da Usina Hidrelétrica Tucuruí.

A Usina Hidrelétrica Tucuruí, como previsto em projeto, foi construída em duas etapas distintas. A princípio, foram instalados 4245 MW na primeira etapa, e posteriormente adicionado 4125 MW na segunda, somando um total de 8370 MW. A construção da segunda etapa foi possível, pois o barramento da margem esquerda

foi projetado de modo que ali se formace uma ensecadeira, chamada de recinto de montante, como pode ser visto na figura 26 (CARVALHO; PENNA NETO, 2007).

Desta forma, segundo Caldas e Luz (2013), quando foi ativada a segunda etapa, o comportamento da barragem já estava sendo monitorado há 20 anos. Assim, após 20 anos de monitoramento, foi feito o rebaixamento parcial da estrutura de ensecamento de um trecho da barragem, desobstruindo a água, como pode ser visto na figura 27.



Figura 26 – Vista da UHE Tucuruí

Fonte: Carvalho e Penna Neto (2007).



Figura 27 – Vista da UHE Tucuruí

Fonte: Carvalho e Penna Neto (2007).

Caldas e Luz (2013) apresentam os resultados obtidos das leituras de alguns instrumentos da UHE Tucuruí em um dos blocos chave da barragem, o bloco BG02. Este bloco de concreto está localizado no conjunto de barragem de gravidade que faz a transição entre a tomada d'água da primeira etapa da obra, com a tomada d'água da segunda etapa.

Logo pode se ver, que no gráfico da leitura do pêndulo direto instalado no bloco BG02 (gráfico 2), que entre 2002 e 2003 há um salto nos valores de deslocamentos no sentido do fluxo e logo após eles se equilibram em outro patamar. Isto indica que no bloco BG02 houve rotação no sentido montante-jusante, como pode ser visto na figura 28 (CALDAS; LUZ, 2013).

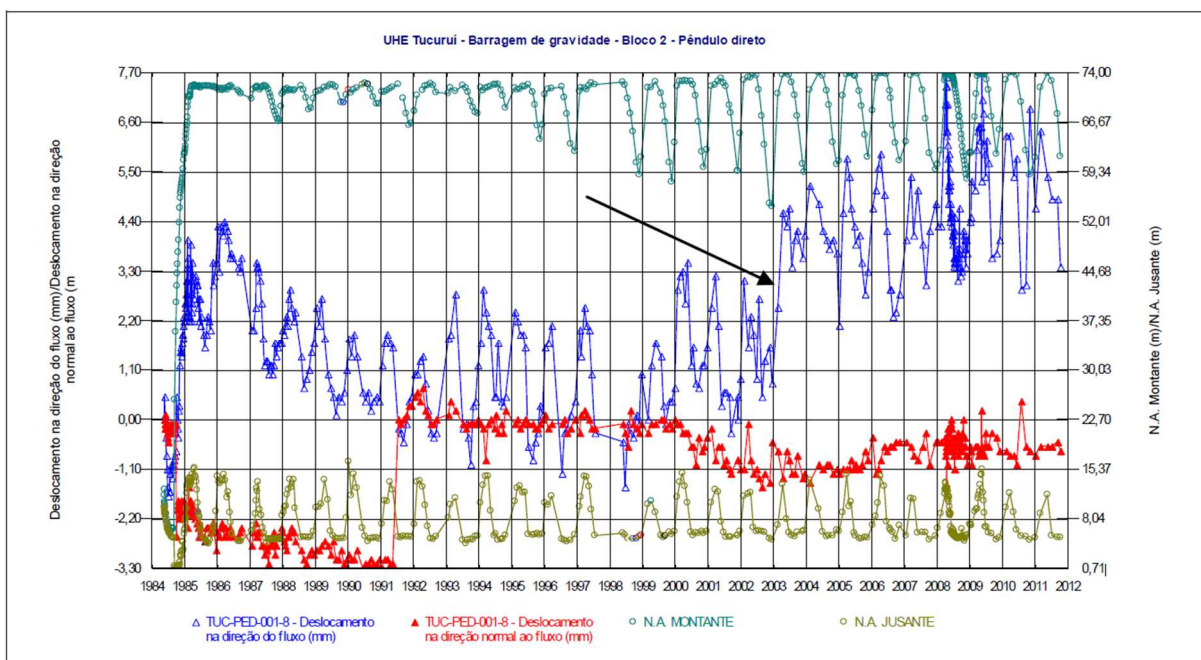


Gráfico 2 – Pêndulo direto, a linha central marcada com seta é a linha representativa.

Fonte: Caldas e Luz (2013).

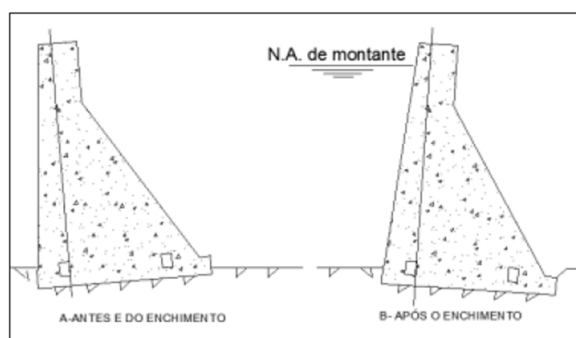


Figura 28 – Rotações sofridas pelo BG02

Fonte: Caldas e Luz (2013).

Ainda, considerando a rotação do bloco BG02 indicado pelo pêndulo direto, pode-se observar que a leitura do extensômetro EX-01 instalado neste bloco, o mais próximo ao contato e mais a montante (figura 24), confirma esta movimentação, como pode ser visto no gráfico 3 (CALDAS; LUZ, 2013).

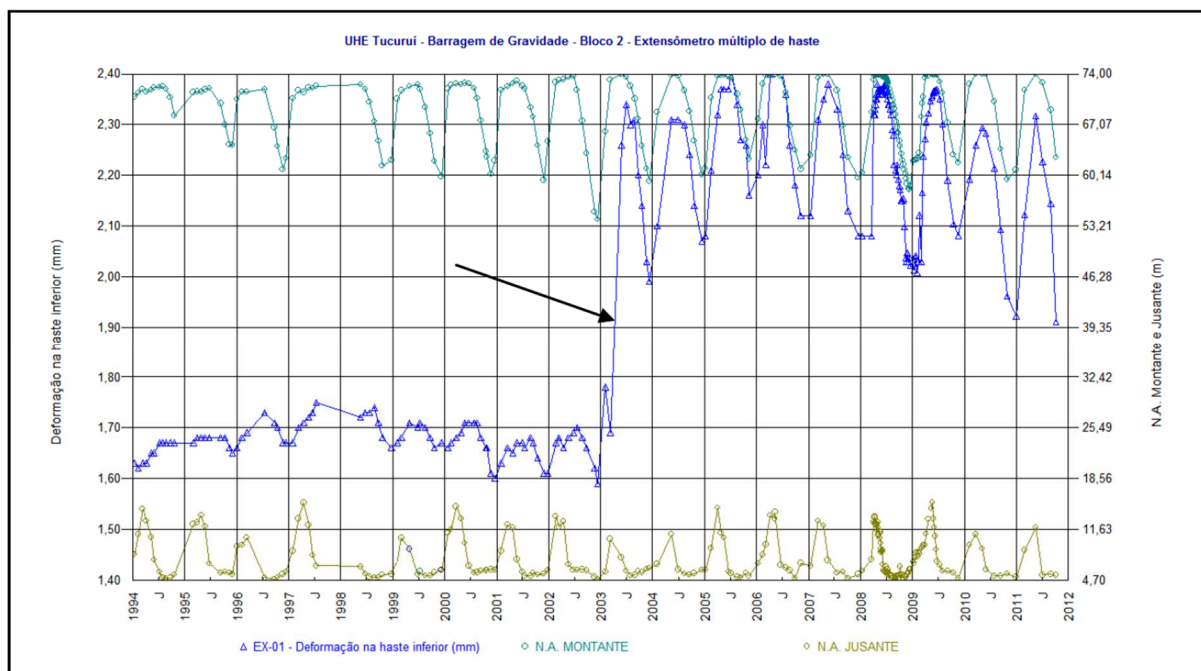


Gráfico 3 – Extensômetro EX-01, o mais próximo ao contato e mais a montante

Fonte: Caldas e Luz (2013).

4.6 PRINCIPAIS TIPOS DE RUPTURA DE BARRAGENS

Segundo Eletrobrás (2003, apud UEMURA, 2009), barragens podem romper por diversas causas, das quais, lista-se:

- Rompimento de uma das faces da barragem;
- Ruptura da fundação;
- Galgamento;
- Ruptura por entubamento (*Piping*);
- Ações de guerra ou terroristas;

Perini (2009) comenta que no Brasil entre os anos de 2000 e 2008, dentre os casos envolvendo rupturas de barragens (geotécnicas e concreto), as mais frequentes são as seguintes:

- 61% - Galgamento;
- 9% - *Piping*;
- 1% - Instabilidade de taludes;
- 8% - Acumulado de outros tipos;
- 21% - Desconhecido;



Figura 29 – Usina hidroelétrica de Armando Sales de Oliveira após o galgamento
Fonte: Carvalho (2007, apud SALIBA, 2009).

De acordo com Uemura (2009), são definidos os principais modos de rupturas em barragens:

- Ruptura por *piping*;
- Falência Hidráulica;

4.6.1 Ruptura por *piping*

“O *piping* ou falência estrutural é o fenômeno de erosão interna que progride de jusante para montante na forma de um tubo, devido ao fluxo no interior de uma

massa de solo, iniciado sob condições de gradiente hidráulico elevado e capaz de carrear materiais do aterro formando canais dentro da massa de solo em sentido contrário ao do fluxo de água” (UEMURA, 2009).

O fenômeno de Piping, segundo Uemura (2009), ocorre quando água se move através do maciço ou das fundações das barragens, através do processo erosivo. As figuras 30 e 31 esquematizam o fenômeno *Piping* (Processo nos poros) e falência estrutural pelas fundações.

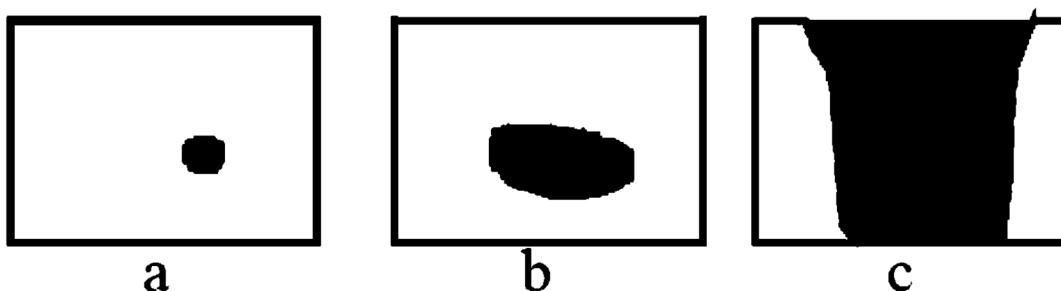


Figura 30 – Ruptura por Piping

Fonte: Adaptado de Johnson e Illes (1976, apud COLLISCHONN, 1997).

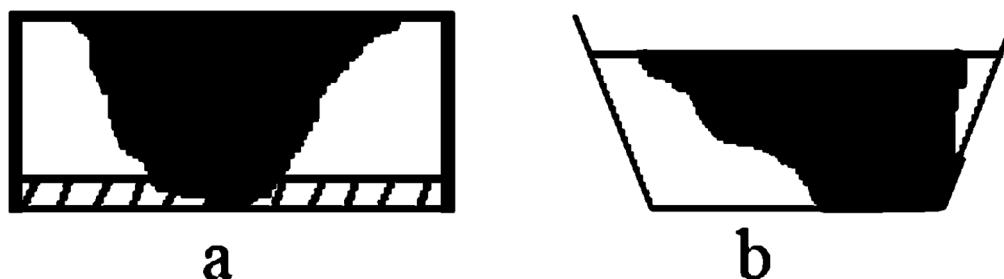


Figura 31 – Ruptura estrutural pelas fundações

Fonte: Adaptado de Johnson e Illes (1976, apud COLLISCHONN, 1997).

4.6.2 Ruptura por falência hidráulica ou ruptura por *overtopping*

“O *overtopping* corresponde ao fenômeno de galgamento ou transbordamento da barragem, ou seja, a passagem das águas sobre a estrutura da mesma, resultado da chegada de uma onda de cheia excepcional ou de uma falha operacional do reservatório” (UEMURA, 2009).

Segundo Saliba (2009), as brechas decorrentes de galgamentos de barragens homogêneas ocorrem em intervalos temporais que podem ser longos, porem

sujeitos a processos descontínuos como é o caso de formação de taludes. A figura 32 esquematiza o processo de *overtopping*:

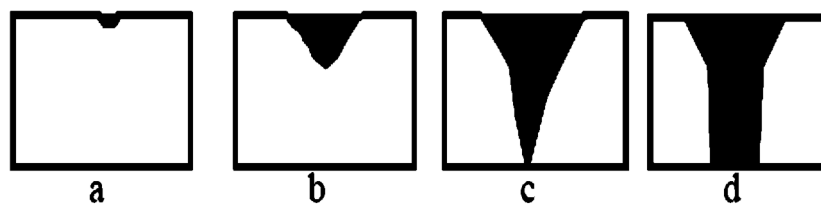


Figura 32 – Ruptura por Overtopping

Fonte: Adaptado de Johnson e Illes (1976, apud COLLISCHONN, 1997).

5 METODOLOGIA

O presente trabalho foi elaborado através de uma revisão bibliográfica sistematizada, partindo de leituras de livros, artigos e dissertações a respeito do tema, bem como documentações (laudos técnicos) sobre eventos históricos. Foi elaborado um texto dissertativo, organizado e estruturado para colaborar com um melhor entendimento do tema em estudo.

6 CASOS HISTÓRICOS DE RUPTURAS DE BARRAGENS DE TERRA

6.1 BARRAGEM DA PAMPULHA

Localizada em Minas Gerais, na cidade de Belo Horizonte, a Barragem da Pampulha, é uma barragem de terra com face da montante em concreto (figura 33). Ela foi inaugurada em 1941 e sua construção iniciou-se em 1936. Tinha como propósito ser abastecida pela bacia hidrográfica da Pampulha, que possui área de 97,572 km². Sendo assim o seu projeto inicial de construção previam-se duas etapas. (BRAZ, 2003).

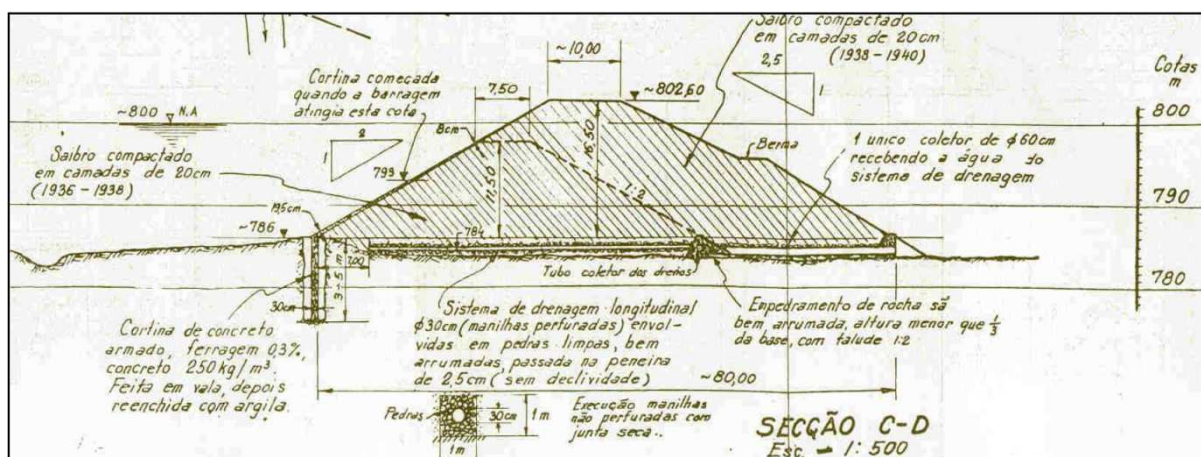


Figura 33 – Barragem da Pampulha com parede de concreto impermeável na fundação

Fonte: Vargas (1955).

A mesma autora, citada anteriormente, menciona que, na primeira etapa, estava previsto o enchimento de terra e sua compactação até a cota 797,6 m na crista e 796,1 m no NA da represa, que correspondia a uma altura máxima de 11,50 m. E em uma segunda etapa, o nível da crista da barragem alcançaria a elevação de 802,6 m no vertedouro de emergência, localizado na ombreira esquerda com 90,0 m de largura, e elevação de 805,0 m na seção de cota mais elevada, correspondente à ombreira direita, e cota no NA prevista em 800,0 m, sendo que o terreno natural do fundo da barragem estaria na cota 786,0 m.

Nestas etapas, a primeira entre 1936 e 1938 e a segunda, em 1941, a barragem da Pampulha consistia de uma barragem de terra de seção uniforme com

uma placa de concreto armado recobrindo o talude montante e funcionando como elemento de vedação (VARGAS *et al.*, 1955).

As obras da segunda etapa foram iniciadas e concluídas, na administração do prefeito Juscelino Kubitscheck, sendo a represa reinaugurada em 1943. (BRAZ, 2003). E seguiu-se então sua utilização normal até 16 de maio de 1954, quando, observou-se uma surgência de água com artesianismo no pé do talude jusante da barragem. E na tarde do dia seguinte, o furo de onde emergia a água apresentava um diâmetro de quase 2 m (VARGAS *et al.*, 1955).

Sendo assim, no dia 20 de maio de 1954, às 11h 30min, teve início a ruptura da barragem da Pampulha, quando houve subsidência de sua parte central, quebra da placa de concreto e formação de um canal em forma de “S”, que pode ser visto na figura 34, ligando o ponto onde havia a fenda com o ponto onde se notava a surgência.

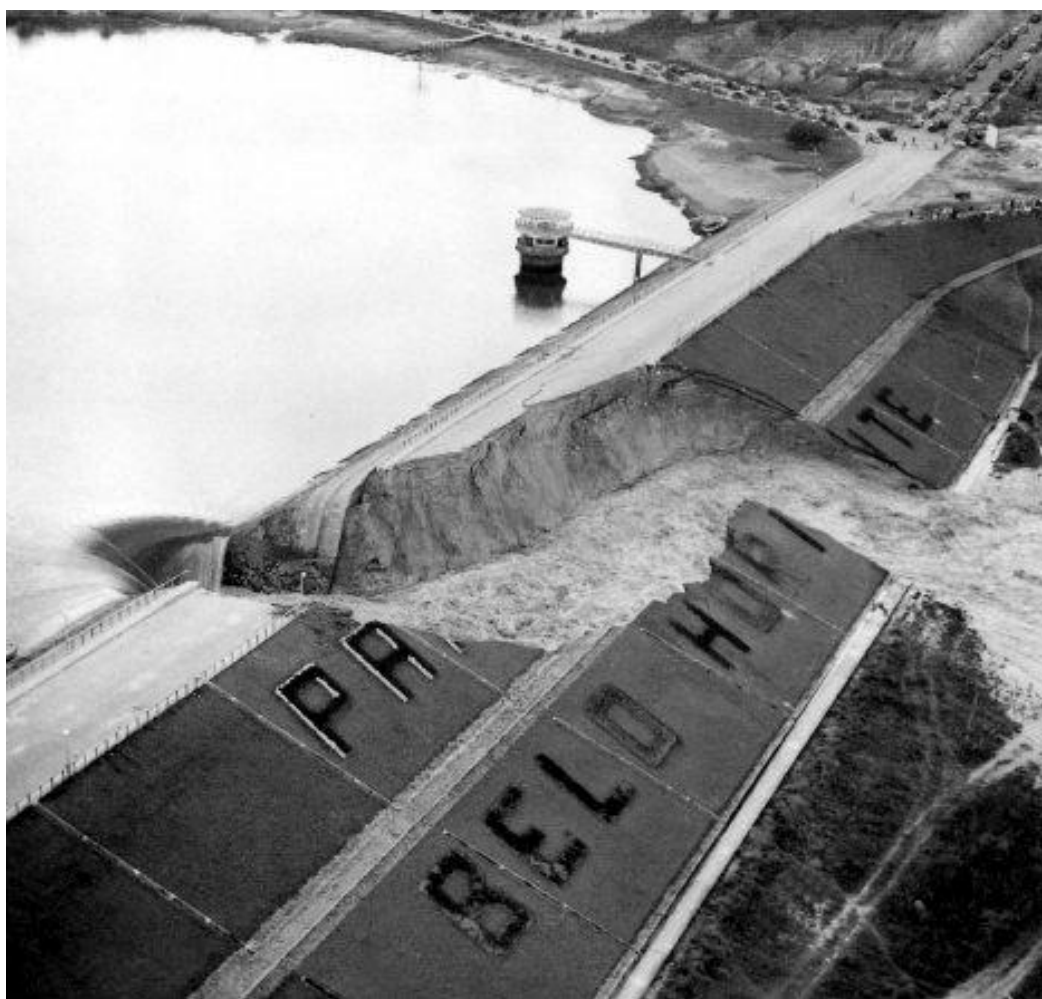


Figura 34 – Canal em forma de “S” gerado pelo rompimento da barragem da Pampulha
Fonte: As margens... (2014).

A ruptura do maciço ocorreu devido à ação da erosão subterrânea do tipo “piping” por meio do corpo da barragem, segundo estudos constatados pela Comissão Técnica Especial, nomeada pelo prefeito em exercício na época, Américo René Gianetti, para avaliação do problema. (BRAZ, 2003).

Ainda, segundo Braz (2003), o sistema de drenagem da barragem da Pampulha, quando de sua construção, era constituído de drenos franceses normais ao eixo da barragem, espaçados de sete em sete metros, que avançavam, anormalmente, até muito próximo do talude de montante, conforme pode se observar na figura 35. O talude de montante era revestido por uma placa contínua de concreto armado, que defendia o maciço contra a possibilidade de fluxo violento por meio dos drenos.

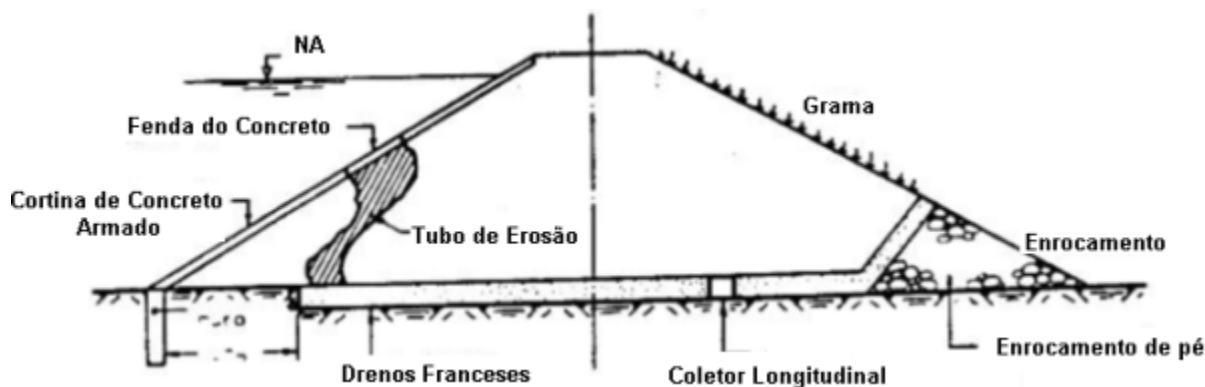


Figura 35 – Processo erosivo de “piping” na barragem da Pampulha, em 1954

Fonte: Vargas (1977).

Portanto, após 16 anos de sua construção, a cortina de concreto se rompeu, na barragem da Pampulha, e estabeleceu-se um fluxo intenso de água entre a fenda da cortina e alguns dos drenos franceses, que pode ser observada na figura 35. O fluxo de saída visível numa boca de lobo do sistema de drenagem, conforme reportagens da época, aumentou progressivamente durante 5 dias, carregando cada vez mais material até que se formou um túnel ao longo dos drenos (BRAZ, 2003).

Logo, conclui-se, segundo VARGAS (1954, 1977), que a cortina de concreto se rompeu, devido a recalques das fundações da barragem. Assim, após alguns estudos e planejamentos, a reconstrução da barragem da Pampulha ficou a cargo do Departamento de Obras contra as Secas - DNOS, sendo que sua reinauguração se deu em 31 de janeiro de 1958. (BRAZ, 2003).

6.2 BARRAGEM DE ORÓS

A barragem do Açude Orós (figura 36), localizada no município de Orós, estado do Ceará, construída no rio Jaguaribe, numa das mais importantes bacias hidrográficas da região, drenando uma área de 25.000 km². Foi projetada e construída pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS, com a participação do consultor Eng^o Casemiro José Munarski e do Laboratório Hidrotécnico Saturnino de Brito S.A.



Figura 36 – Vista da barragem de Orós

Fonte: Portal... (2014).

Em março de 1960, antes do término de sua construção, um evento raro de precipitação atingiu a área de drenagem da barragem, onde foram computados mais de 600 mm de chuva em menos de uma semana (SINGH, 1996). No dia 25 de março de 1960, houve o galgamento da barragem, devido à reduzida capacidade de extravasamento da barragem. Assim, uma lâmina de 30 cm de água galgou a crista

da barragem. Uma brecha de 200 m de comprimento e 35 m de altura foi formada, como pode ser visto na figura 37, onde a vazão de pico foi estimada em 9.600 m³/s, e ocorreu o esvaziamento de praticamente 90% da barragem (LAURIANO, 2009).



Figura 37 – Barragem de Orós após o rompimento

Fonte: Esconder... (2014).

A grande onda que se formou devido ao rompimento da barragem, chegou ao oceano Atlântico, 340 km adiante, entre 4 e 7 dias após a ruptura. Houve a evacuação de algumas cidades próximas no vale do Jaguaribe, com a cidade de Jaguaribe, localizada a 75 km da barragem, no qual foi atingida pela grande onda, aproximadamente 12 horas após o início do rompimento (ICOLD, 1974 *apud* LAURIANO, 2009).

6.3 BARRAGEM EUCLIDES DA CUNHA E ARMANDO S. DE OLIVEIRA

Construídas respectivamente nos anos de 1958 e 1966, no Rio Pardo, no estado de São Paulo, apresentaram volumes de 13,6 hm³ e 25,9 hm³, e alturas de 53,0 m de 35,0 m, respectivamente (CBCB, 1982).

Em janeiro de 1977, depois de três semanas de chuva, com cerca de 230 mm em 24 horas, uma grande cheia atingiu a região, atingindo uma cheia próxima a de projeto (2,400 m³/s de água) da barragem de Euclides da Cunha. Um problema nas comportas do vertedouro impediu a liberação da vazão e o nível de água do reservatório subiu até ocorrer o galgamento (LAURIANO, 2009).

Uma lâmina de 1,2 m passou por cima da barragem em um período de 4 horas. A erosão formou uma brecha no lado direito do talude e teve dimensões máximas de 131 m de largura e 53 m de altura. A onda atingiu, em poucos minutos, a barragem de Armando Salles de Oliveira, localizada a 10 km a jusante, e atingiu 1,30 m acima da crista da barragem. O galgamento formou uma brecha de 168 m de largura e 35 m de altura em apenas 2 horas (figura 38). A vazão de pico foi estimada em 7.000 m³/s. (SINGH E SCARLATOS, 1988 *apud* LAURIANO, 2009).

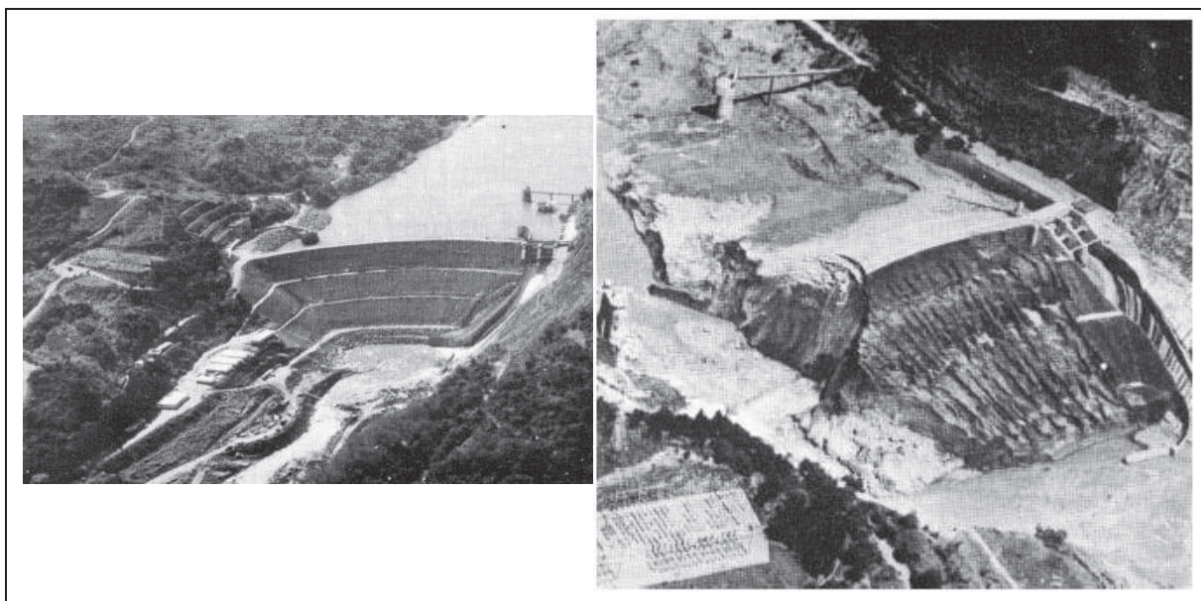


Figura 38 – Vista da barragem Euclides da Cunha, antes e depois da ruptura

Fonte: CBDB (1982).

6.4 BARRAGEM DE CAMARÁ

6.4.1 Aspectos gerais da barragem

A barragem de Camará, abastecida pelo Rio Riachão, está situada entre os municípios de Alagoa Nova-PB e Areia-PB, à distância de 160 km da

Capital do estado (KANJI, 2004). Foi inaugurada em 2001 como obra da Secretaria Estadual de Recursos Hídricos (VALENCIO, 2006) e construída pelo consórcio das empresas CRE e Andrade Galvão (BARBOSA et al., 2004), a barragem tem como finalidade o abastecimento de alguns municípios da região do brejo paraibano (SILVA, 2006).

Dentre suas especificações técnicas, a barragem conta com 50 m de altura, crista de 296 m de comprimento e tem reservatório capaz de armazenar $26,5 \times 10^6$ m³ de água (BALBI, 2008). É do tipo gravidade em concreto compactado a rolo (CCR), crista na cota 465 m e vertedouro de crista à 461m de cota, localizado na parte central da barragem. Sua face de montante é vertical, executada em concreto convencional, já a face jusante tem inclinação (H:V) de 0,4:1 na porção superior, à cota 457m, e inclinação 0,8:1 na porção inferior. Dispõe de galeria de inspeção e drenagem que é horizontal na parte central da barragem e inclinada rente às ombreiras (KANJI, 2004). Na figura 39, pode-se ver a barragem de Camará antes do enchimento do reservatório.



Figura 39 – Barragem de Camará antes do enchimento do reservatório

Fonte: CBDB (1982).

6.4.2 Descrição do acidente e consequências geradas

Na noite do dia 17 de junho de 2004, a Barragem de Camará rompeu-se inundando parte dos municípios de Alagoa Nova, Mulungu, Alagoa Grande e Areia. O desastre deixou cinco vítimas fatais e cerca de três mil desabrigados. Inicialmente a ruptura gerou uma brecha na base da barragem na margem esquerda, como pode ser visto na figura 40, após onze dias ocorreu outro desmoronamento, ruindo a parte superior da brecha (OLIVEIRA, 2013).



Figura 40 – Brecha gerada pela ruptura na ombreira da barragem
Fonte: Barbosa et al. (2004).

Segundo Valêncio (2005), o colapso da barragem danificou completamente as pontes que ligavam Alagoa Grande às cidades vizinhas, deixando os habitantes locais completamente ilhados, sem energia e sem comunicação. O fato também impediu o recebimento do primeiro atendimento de socorro por parte dos órgãos de emergência. As ações oficiais de evacuação fracassaram, pois não havia sido constituída uma Defesa Civil municipal. O atraso e insuficiência das ações públicas de reabilitação e reconstrução foram tão prejudiciais como a falta de medidas preventivas, prevalecendo as ações de natureza altruístas, as solidariedades extrafamiliares.

Uma pesquisa de Silva et al. (2006), feita por meio de entrevista com a população de Alagoa Grande, revela que ali aproximadamente 900 casas foram

atingidas, dentre elas, 168 ficaram completamente destruídas e 345 parcialmente destruídas, já as demais ficaram somente danificadas, como mostra a figura 41.



Figura 41 – Casa totalmente destruída seguida de outras danificadas

Fonte: Silva et al. (2006).

Os relatos, segundo Silva et al. (2006), também demonstram que os habitantes da região sofreram um trauma psicológico devido à morte de parentes, amigos, às perdas de bens materiais relevantes à segurança e manutenção da vida, como por exemplo: veículos, móveis, roupas, alimentos, medicamentos, recordações como fotos e fitas VHS, entre outros pertences. Outro impacto negativo apontado, foi a perda do estoque hídrico, o qual a Barragem de Camará reservava para o abastecimento de Alagoa Grande e municípios vizinhos no período de estiagem. Dentre os impactos apontados pela pesquisa, somente um foi avaliado como positivo, o sentimento de solidariedade. Na tabela 1 pode-se ver o percentual dos impactos negativos apontados pela população estudada.

Tabela 1 – Impactos negativos apontados pela população

IMPACTOS	PERCENTUAL (%)
PERDA DE BENS MATERIAIS	22,2
PERDA DE IMÓVEIS	14,8
AGRICULTURA	13,0
PSICOLÓGICO	13,0
ECONOMIA	13,0
ECOLÓGICO	11,1
PATRIMÔNIO PÚBLICO	7,4
MORTE DE SERES HUMANOS	3,7
PERDA DE RESERVA HÍDRICA	1,8
TOTAL	100

Fonte: Silva et al. (2006).

Contudo, por se tratar de um acidente dessa proporção, em uma obra pública, a população começou a cobrar esclarecimentos de como aconteceu o acidente, se teria como ter esvaziado o lago a tempo de evitar o desastre e como foi construída essa barragem (BARBOSA et al., 2004).

Sendo assim, os Ministérios Públicos Federal e Estadual iniciaram pesquisas e investigações sobre o problema. Segundo Barbosa et al. (2004), contratou-se especialistas como Geólogos e Engenheiros, entre outros, para tais investigações, a fim de esclarecer o por quê do rompimento da barragem. E ao final, os Geólogos Drs. Milton Kanji e Carlos Nieble, foram responsáveis por analisar a geologia e explicar como aconteceu a ruptura.

6.4.3 Escolha do tipo de barragem adotado

Seguindo as observações apontadas no item 4.2, foram verificados os dados relativos aos primórdios que antecederam a construção da barragem, o seu histórico, o projeto, a execução da construção e os problemas encontrados no decorrer deste tempo.

Segundo o parecer técnico elaborado por Kanji (2004), a barragem de Camará apresentou algumas peculiaridades, uma vez que se modificou o projeto inicial da obra após o início da construção, no qual era previsto para se construir uma barragem de terra, já com a obra iniciada optou-se por construir uma barragem de concreto compactado com rolo.

A Barragem de Camará não foi construída seguindo os procedimentos mais lógicos para construção de uma barragem. Os estudos dos impactos ambientais e os projetos foram feitos concomitantemente com a construção da Barragem, como pode ser visto na figura 42. Desta forma, a empresa CRE venceu a licitação para construir a barragem de terra, e como não havia projeto executivo ou o detalhamento do projeto básico da construção, foi necessário realizar estudos para elaboração destes projetos juntamente com estudos dos impactos ambientais. A partir destes estudos, e com a justificativa de uma economia de aproximadamente um milhão de reais na construção, houve a mudança no tipo da barragem para Concreto Compactado com Rolo (CCR). Como a empresa CRE não tinha habilitação técnica para construção de barragem de CCR, ela fez um consórcio com a empresa

Andrade Galvão. Assim, oficialmente nenhuma das duas empresas poderia construir a barragem, pois a CRE não tinha acervo técnico para construir CCR e a Andrade Galvão não havia participado da licitação onde era vedada a formação de consórcio (BARBOSA et al., 2004).

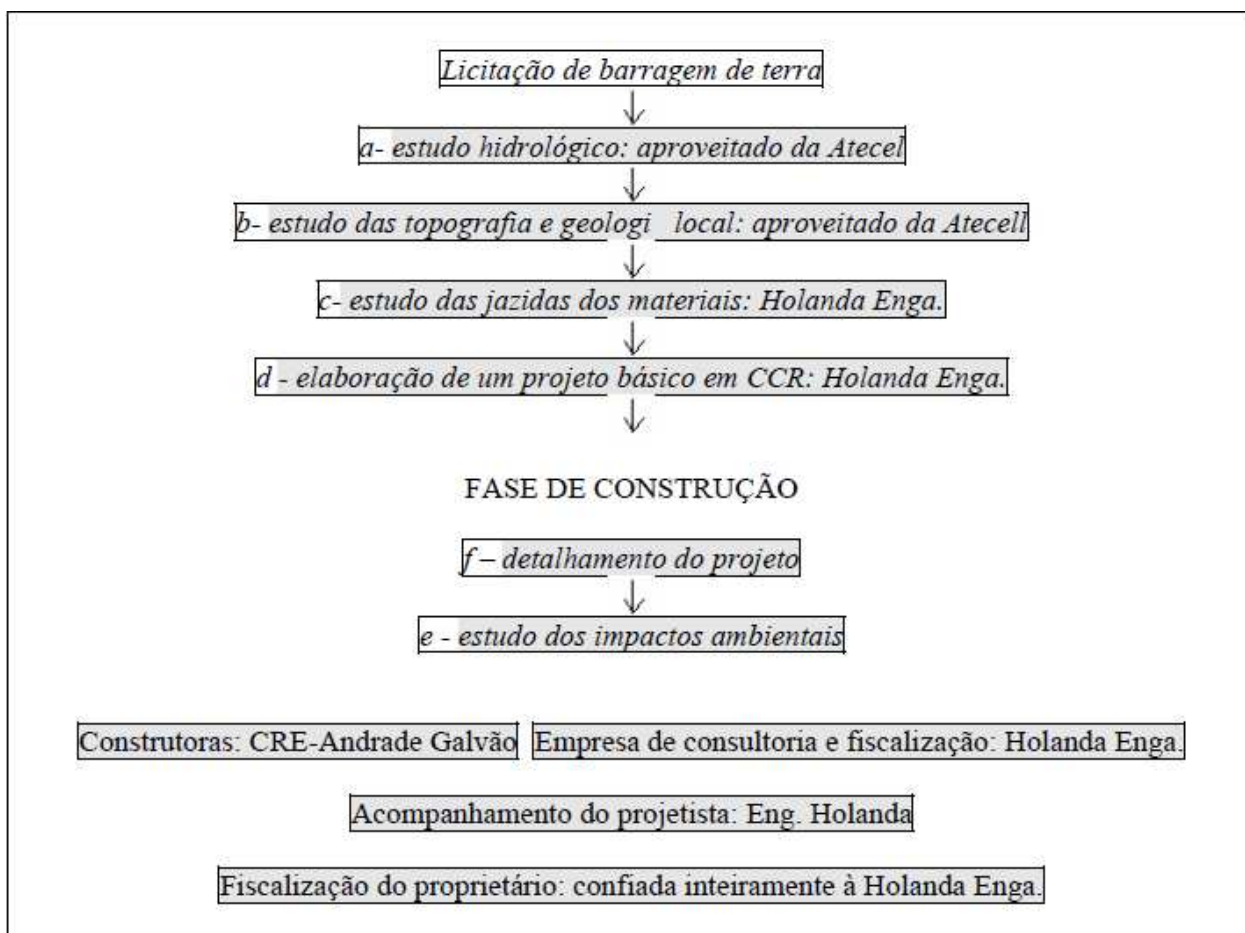


Figura 42 – Procedimento ocorrido na Barragem de Camará

Fonte: Barbosa et al. (2004).

6.4.4 Complicação na fase de construção da barragem

Logo no começo da construção da barragem, ao se iniciar a limpeza do local para se executar a fundação, percebeu-se uma fratura em um bloco de rocha na ombreira (encosta) esquerda (OE) (BARBOSA et al., 2004). Segundo os relatórios da obra, foram feitas algumas sondagens para identificar as proporções da falha na rocha de fundação. A partir destas sondagens foi interpretada a falha como sendo

de profundidades máxima de 3 m e mínima de 1,6 m, com seu interior preenchido de solo, como pode ser visto na figura 43 (KANJI, 2004).

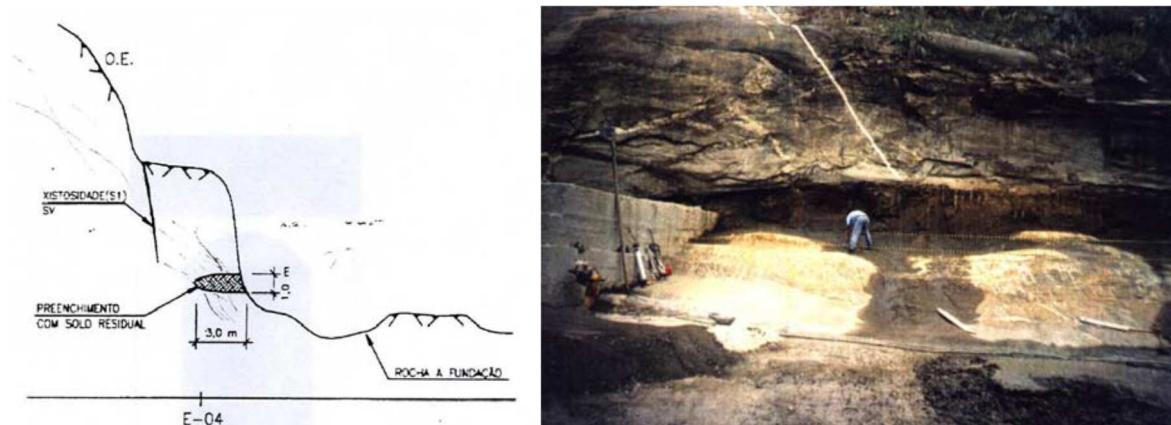


Figura 43 – Interpretação da fratura na rocha da OE e vista frontal da falha na OE

Fonte: Adaptado Relatório BAR.010-R0 (2001, apud KANJI, 2004).

Nos relatórios da obra, a correção citada mais aconselhável para a falha OE seria a retirada da porção superior da rocha acima da fratura, assim desfazendo o formato de cunha que gera instabilidade no maciço. Porém, este tratamento comprometeria o cronograma de obra, além de gerar riscos operacionais e de segurança. Deste modo, os métodos optados foram remoção do solo da fratura para substituição por concreto, complementação deste com furos para injeção de concreto e construção de um muro de concreto para evitar o deslizamento da porção de rocha superior à falha (figuras 44 e 45) (KANJI, 2004).

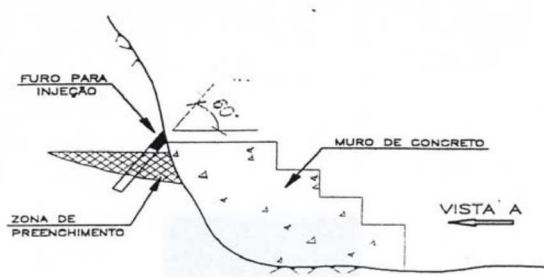


Figura 44 – Detalhes dos tratamentos da falha

Fonte: Adaptado de Relatório BAR.010-R0 (2001, apud KANJI, 2004).

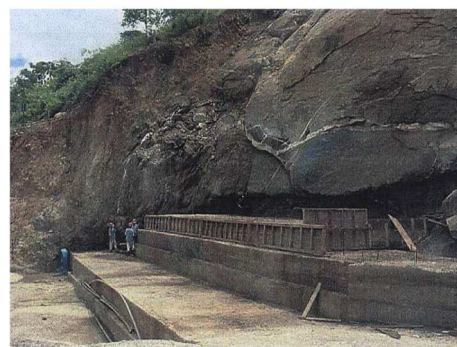


Figura 45 – Construção do muro de concreto

Fonte: Relatórios da Holanda Enga. (2001, apud BARBOSA et al., 2004).

Segundo Kanji (2004), os métodos utilizados foram ineficazes porque houve julgamento inadequado na interpretação da falha na rocha da OE. A falha na verdade apresentava forma de “amêndoas”, fazendo com que sua forma interna fosse composta por espessamentos e adelgaçamentos da extensa zona de cisalhamento, como pode ser visto na figura 46, que não foi percebida por completo pelo geólogo responsável.

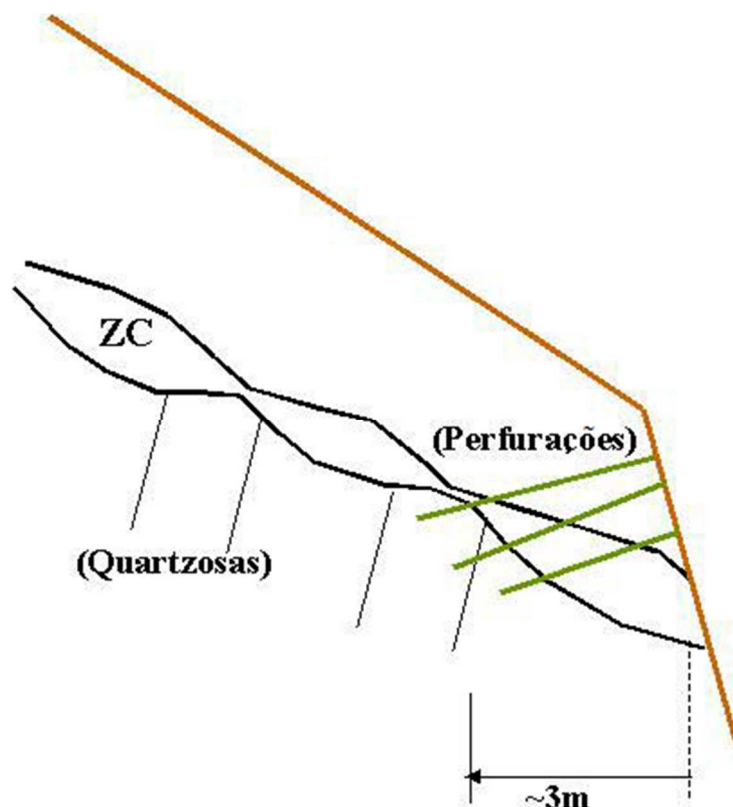


Figura 46 – Esquema reconstituindo a interpretação geológica feita durante construção, apoiada por perfurações, na qual não se percebeu a continuidade da zona de cisalhamento (ZC), devido a ondulações e adelgaçamentos da mesma, conduzindo a julgamento inadequado das características da feição geológica.

Fonte: Kanji (2004).

6.4.5 Auscultação e observação da barragem no enchimento do reservatório

Segundo Kanji (2004), o NA da represa elevou-se substancialmente a partir da segunda metade do mês de Janeiro de 2004. Sua elevação que era cerca de 431m foi para aproximadamente 446 m. Em 10 de março estava em 451 m, o que representa o reservatório praticamente cheio, a apenas 10 m de atingir a crista do

vertedouro. Contudo, foram observadas inúmeras indicações de patologias a partir do início do enchimento do reservatório, como por exemplo:

- Outubro de 2002 – Em reunião entre a Projetista e representantes da Proprietária constatou-se trinca na galeria de drenagem, provavelmente relacionada à presença da falha da OE.
- Fevereiro de 2004 – Percebeu-se carreamento de material pelos drenos da galeria.
- Maio de 2004 – A galeria de inspeção estava inundada no trecho horizontal, com cerca de 5 ou 6 m de água a partir de seu piso, devido ao entupimento de tubo de drenagem gravitativa. Neste mesmo período houve a recomendação da Projetista para o rebaixamento do reservatório com intuito de investigar as infiltrações na galeria e a situação dos drenos, pois havia vários deles com artesianismo.
- 7 de Junho de 2004 - Em reunião, onde observou-se o agravamento da situação, se avaliou a possibilidade de rebaixamento do reservatório e o acompanhamento da vazão dos drenos com artesianismo.

Ainda assim, segundo Kanji (2004), a Proprietária realizou apenas visitas esporádicas de inspeção, não mantendo equipe de monitoramento da barragem. Também não se teve o conhecimento de ações tomadas pela Proprietária para sanar ou mesmo investigar as causas das anomalias citadas. No gráfico 4, observa-se a cota do nível da água do reservatório da barragem durante o seu enchimento.



Gráfico 4 – Enchimento do reservatório da barragem Câmara

Fonte: Kanji (2004).

6.4.6 A ruptura da barragem e considerações sobre as causas

Inicialmente, a ruptura ocorreu na laje de jusante na ombreira esquerda, onde sua espessura é limitada, gerando pouco peso, devido ao baixo ângulo de atrito, à inclinação da falha e à subpressão exercida pela água percolada. Devido à ruptura desta laje, elevou-se o gradiente hidráulico ampliando a erosão interna (“piping”) que atuava sobre o solo de preenchimento da falha sob a barragem. Desta maneira, uma parte da fundação da barragem, o bloco de rocha superior à falha, ficou suspenso, fixado à base da barragem pela aderência entre concreto e à rocha. O livre tráfego de água pelo bloco de rocha e sua alta carga hidrostática atuante foram suficientes para causar seu desprendimento, ocasionando a ruptura da fundação da barragem. Nesta região, havia uma zona de fraqueza gerada na barragem pela presença da galeria de inspeção inclinada. Esta zona propiciou que parte do concreto junto ao bloco de rocha fosse desprendido. A parte da barragem que restou sobre a zona rompida, com formato de arco, só foi se romper após 11 dias, sugerindo boas propriedades do concreto (KANJI, 2004).

Para Kanji (2004), o histórico da barragem apresenta “uma sucessão de julgamentos inadequados, que superpostos uns aos outros causaram a ruptura da barragem. Não se pode imputar o lamentável evento da ruptura a uma só causa.” Segue abaixo algumas considerações que ele faz a respeito da ruptura:

- Falta de algum tipo de seguimento e observação sistemática do comportamento da barragem durante o enchimento do reservatório, apenas observaram-se visitas de inspeções esporádicas, desconsiderando as solicitações da Projetista para analisar e sanar as anomalias indicadas no item 6.4.5.
- É claro que o monitoramento e a observação do desempenho da barragem são de responsabilidade da Proprietária ou de seus encarregados desse trabalho, no caso da barragem de Camará não foi atribuídos os encarregados.
- A Proprietária ou seus encarregados não apresentaram ações para investigar as causas e condições a respeito das anomalias indicadas

pela Projetista, principalmente quanto à recomendação do rebaixamento do reservatório.

- A ruptura da barragem seria evitada caso em maio de 2004, ou até mesmo no início de julho, fosse feito o rebaixamento do reservatório. Assim dando a oportunidade para identificarem as causas das anomalias, tratá-las e salvar a barragem.
- Acredita-se que a barragem pode ser recuperada, pois além de que a parte restante da barragem aparentemente não sofreu danos, a porção superior da falha OE foi removida com a ruptura.
- “A mudança de tipo de barragem de terra para gravidade em concreto CCR não representa causa da ruptura, pois o local apresenta feições propícias para o tipo adotado, caso não existisse a falha da OE ou se a mesma tivesse sido removida.”
- Houve julgamento inadequado das dimensões da falha OE, como indicado no item 6.4.4.

Ainda assim, Barbosa et al. (2004) complementa, que segundo relatos, “uma certa indefinição de responsabilidades ficou patente na construção da barragem” e afirma que pode-se dizer que “a Barragem de Camará não foi construída segundo os bons princípios da engenharia, tão pouco foi considerada após sua entrega como uma obra importante que deveria ser acompanhada no seu primeiro enchimento.”

6.4.7 A reconstrução da barragem

A reconstrução da barragem de Camará, agora com o nome Nova Camará, está sendo feita pelas construtoras CRE e Andrade Galvão, foi iniciada em Dezembro de 2011 com previsão para o término da obra em Dezembro de 2012, como pode ser visto na figura 47.

Segundo Barros (2013), a obra de reconstrução da barragem já se encontrava atrasada de acordo com a previsão inicial, porém, a obra estava sendo inspecionada diariamente pelos técnicos da Secretaria de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba. Ele também complementa que o engenheiro Josivaldo Brasileiro Figueiredo, representante da Secretaria de Recursos Hídricos, afirma que a Nova

Camará vinha sendo reconstruída dentro de todas as normas técnica exigidas pela Engenharia, tendo como previsão para o término da obra sendo Julho de 2014. Na figura 48, pode-se ver a vista de jusante da barragem na sua reconstrução.



Figura 47 – Placa da obra de reconstrução da barragem de Camará
Fonte: Reconstrução... (2014).



Figura 48 – Vista da jusante da reconstrução da barragem de Camará
Fonte: Reconstrução... (2014).

7 CONCLUSÕES

Observou-se no caso do estudo do rompimento da barragem da Pampulha, em Minas Gerais, a importância de estudos detalhados sobre o material de fundação onde será instalada uma barragem. Conclusões dos estudos realizados à época mostram a importância dos recalques das fundações da barragem, que levaram ao rompimento da cortina de concreto. Este evento provocou o início do processo de “piping” (retro erosão) que levou a ruptura da barragem.

Para o caso estudado da barragem de Orós, verificou-se que a reduzida capacidade de extravasamento da barragem ocasionou o galgamento da estrutura em Março de 1960. Acredita-se, de acordo com as informações coletadas que, provavelmente tenha ocorrido um subdimensionamento do vertedouro em relação aos parâmetros de precipitação analisados.

O caso de ruptura da barragem de Euclides da Cunha mostra, com destaque, a importância da interconexão entre as barragens que compõem uma mesma bacia hidrológica, pois a barragem Armando S. Oliveira veio à ruptura devido aos problemas apresentados na barragem Euclides da Cunha, à montante.

Observa-se que a Barragem de Camará não foi construída de acordo com os procedimentos mais lógicos para construção de uma barragem apresentados no item 4.1. O fato de não haver projeto executivo ou o detalhamento do projeto básico à época da construção implicou na realização de estudos emergenciais, que, à princípio, mostraram-se insuficientes para o fornecimento de um conhecimento adequado do subsolo da região, o que comprometeu as informações obtidas para definição dos parâmetros de escolha de tipos de fundação.

Por mais que a mudança do tipo de Barragem não tenha sido a causa da ruptura, acredita-se que esta mudança possa ter efeito, juntamente com os procedimentos adotados até à licitação, para desencadear uma postura de indefinição de responsabilidade possivelmente influenciada pelo consorcio irregular das construtoras.

A observação de Kanji (2004, p.24) é extremamente válida, uma vez que foram verificados diversos procedimentos inadequados antes e durante a construção da barragem.

Assim, considerando-se os procedimentos inadequados citados relacionados à barragem de Camará, observou-se que o fato de uma única empresa (Holanda Enga.) ser responsável por tarefas distintas tais como consultoria e fiscalização, acompanhamento do projetista e fiscalização do proprietário, pôde-se induzir a alguns erros que contribuíram para o rompimento da barragem. Destaca-se que este procedimento, além de irregular, não é usual.

Observa-se que os dados coletados a partir dos equipamentos de auscultação das barragens fornecem informações importantes sobre o comportamento estrutural das barragens e dos seus elementos de fundação. O monitoramento contínuo possibilita a detecção de qualquer anomalia que venha a prejudicar ou alterar os parâmetros de estabilidade e segurança das barragens. Atualmente, verifica-se que a um processo contínuo de busca de automação nas coleta dos dados dos instrumentos de auscultação, o que permite o monitoramento instantâneo de qualquer evento que possa vir ocorrer.

Estes casos históricos demonstram a importância dos estudos preliminares e os detalhamentos que devem ser observados para a execução dos anteprojetos e projetos de grandes estruturas, como as barragens.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas (Brasil). **Relatório de segurança de barragens 2011** / Agência Nacional de Águas. - Brasília: ANA, 2013.

ALMEIDA, Marínis Maria de. **ESTUDO TENSÃO DEFORMAÇÃO DE BARRAGEM DE TERRA E ENROCAMENTO**. 2010. 159 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

ASMARGENS do rio. 2013. Disponível em: <<http://www.ebanataw.com.br/roberto/fluvia/margem.htm>>. Acesso em: 15 mar. 2014.

AZEVEDO, Maria da Penha Nogueira de. **Barragens de Terra - Sistemas de Drenagem Interna**. 2005. 96 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Anhembi Morumbi, Belo Horizonte, 2005.

BARBOSA, Normando Perazzo et al. **Barragem de Camará**. João Pessoa: Universidade Federal do Paraíba, 2004. 92 p.

BARRAGEM. Disponível em: <<http://www.itaipu.gov.br/energia/barragem>>. Acesso em: 15 abr. 2014.

BARROS, João. **Reconstrução da Barragem Camará segue em ritmo normal**. 2013. Disponível em: <<http://www.redeesperanca.com.br/portal/noticias.php?id=2198>>. Acesso em: 06 abr. 2014.

BRAZ, Maria da Glória. **A relação do fenômeno de ruptura hidráulica em maciços de barragem de terra e o mau funcionamento de vertedores do tipo poço**. 2003. 321 f. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

BRASIL. **Lei Nº 12.334, de 20 de Setembro de 2010. nº 189, de 20 de setembro de 2010.** Presidência da República Casa Civil: Subchefia para Assuntos Jurídicos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12334.htm>. Acesso em: 15 mar. 2014.

BURIN, Eduardo Lucas Konrad. **ESTUDO DA APLICABILIDADE DE UM SISTEMA ESTEREOSCÓPICO PARA A MONITORAÇÃO DE PÊNULOS EM BARRAGENS.** 2010. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Metrologia Científica e Industrial, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

CALDAS, Silvio; LUZ, Gilson Machado da. **LIÇÕES APRENDIDAS COM A INSTRUMENTAÇÃO DA UHE TUCURUÍ POR OCASIÃO DO ENCHIMENTO DA 2ª ETAPA.** In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 29. 2013, Porto de Galinhas. T 108 – A10. Porto de Galinhas: Comitê Brasileiro de Grandes Barragens, 2013. p. 1 - 17.

CARVALHO, Daniel Fonseca de. **Fundamentos de Hidráulica: PEQUENAS BARRAGENS DE TERRA.** Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/daniel/Downloads/Material/Graduacao/IT%20503/IT503%20cap%209%20-%202011s.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2013.

CBDB. Comitê Brasileiro de Barragens. **Guia Básico de Segurança de Barragens.** Núcleo regional de São Paulo. Comissão regional de segurança de barragens, 1982, 77 p.

CBDB. Comitê Brasileiro de Barragens. **Main brazilian dams: design, construction and performance.** ICOLD Publications, Brasil, 1982, 653 p.

CARVALHO, Afonso Portela Freire de; PENNA NETO, Fabio de Oliveira. **UHE TUCURUÍ - ETAPA DE EXPANSÃO ABERTURA DE BRECHA NA BARRAGEM DE TERRA DA MARGEM ESQUERDA PARA INUNDAÇÃO CONTROLADA DO RECINTO DE MONTANTE DA TOMADA D'ÁGUA.** In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 27. 2007, Belém. T100 – A04. Belém: Comitê Brasileiro de Barragens, 2007. p. 1 - 20.

COLLISCHONN, W. (1997). **Análise do Rompimento da Barragem de Enerstina**. Dissertação de Mestrado, 213. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

COLLISCHONN, W., & TUCCI, C. (1997, Jul/Dez). **Análise do Rompimento Hipotético da Barragem de Ernestina**. pp. 191-206.

COSTA, Walter Duarte da. **Geologia de Barragens**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 352 p.

ESCONDER desastres não é novidade? (Continuação I). 2012. Disponível em: <<http://www.engenheirmaestri.com/2012/09/esconder-desastres-nao-e-novidade.html>>. Acesso em: 06 abr. 2014.

FRANÇA: Contraforte barragem. Disponível em: <<http://www.touristlink.com.br/france/buttreddam/overview.html>>. Acesso em: 15 abr. 2014.

GLEN Canyon Dam, Lake Powell, I-89 ride. Disponível em: <<http://photowalk.mostlyfiction.com/category/places/arizona/glen-canyon-dam/>>. Acesso em: 15 abr. 2014.

JOHNSON, F. A.; ILLES, P. **A Classification of Dam Failures**. Water Power and Dam Construction, London, V.28, n.12, Dec. 1976. p. 43-45.

KANJI, Milton Assis. **Parecer técnico sobre as causas da ruptura da barragem camará**. São Paulo: Ministério Público da Paraíba, 2004. 26 p.

KAPLAN, Eduardo. **Pequenas Barragens para o Abastecimento de Água no Município de Caxias do Sul/RS**. 2010. 222 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

LAURINO, André Wilhiam. **Estudo de ruptura da barragem de funil: comparação entre os modelos FLDWAV e HEC-RAS**. 2009. 251 f. Dissertação - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

MARANGON, Márcio. **Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra**. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2004.

MAUÁ registra alto índice de produção em barragem de CCR. Disponível em: <http://www.oempreiteiro.com.br/Publicacoes/12508/Maua_registra_alto_indice_de_producao_em_barragem_de_CCR.aspx>. Acesso em: 15 abr. 2014.

MEDIDOR TRIORTOGONAL DE JUNTA. Disponível em: <http://www.microsensores.com.br/medidor_triortogonal_de_junta.htm>. Acesso em: 15 abr. 2014.

OLIVEIRA, Jhonathan. **TRF culpa Governo da Paraíba por rompimento de barragem de Camará**: Acidente ocorrido em 2004 deixou cinco mortos e três mil sem casa. Estado foi condenado a pagar R\$ 1 milhão por danos morais coletivos.. 2013. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/2013/01/trf-culpa-governo-da-paraiba-por-rompimento-de-barragem-de-camara.html>>. Acesso em: 15 Mar. 2014.

PERINI, Daniel Solsti. **Estudo dos Processos Envolvidos na análise de risco de barragens de terra**. 2009. 149 f. Tese de Mestrado - Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

PORTAL Orós: **Orgulho de ser Oroense**. 2012. Disponível em: <<http://portaloros.blogspot.com.br/2012/01/chuva-antes-e-depois-do-acude-oros.html>>. Acesso em: 15 mar. 2014.

QUINTAS, Fernando Eduardo Geraldês. **Planeamento da Construção de Barragens de Terra**. 2002. 181 f. Dissertação de Mestrado - Universidade do Porto, Cidade do Porto, 2002.

RECONSTRUÇÃO da Barragem Camará segue em ritmo acelerado. 2013. Disponível em: <<http://www.portaldojulioag1.com/2013/05/reconstrucao-da-barragem-camara-segue.html>>. Acesso em: 06 abr. 2014.

RESOLUCAO CNRH 143 de classificação de barragens quanto a categoria risco. Disponível em:

<http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=1635&Itemid;=>. Acesso em: 15 mar. 2014.

SALIBA, Aloysio Portugal Maia. **Uma Nova Abordagem Para Análise de Ruptura por Galgamento de Barragens Homogêneas de Solo Compactado.** 2009. 193 f. Tese de Mestrado - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

SEARA, Roberto Werneck. **Avaliação de Desempenho da Barragem da Usina Hidrelétrica Governador Parigot de Souza.** 2010. 230 f. Dissertação de Mestrado (Mestre) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

SEGURANÇA de Barragens - ANA. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/cadastros/cnbarragens.aspx>>. Acesso em: 15 mar. 2014.

SILVA, Marina Medeiros de Araújo et al. Impactos Ambientais causados em decorrência do rompimento da Barragem Camará no município de Alagoa Grande, PB. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Macapá, v. 6, n. 1, p.20-34, jan. 2006.

SINGH, V. P. **Dam Breach Modeling Technology.** Kluwer Academic Publishers. Louisiana, 1996, 242 p.

SINGH, V. P.; SCARLATOS, P. D. **Analysis of Gradual Earth-Dam Failure.** **Journal of Hydraulic Engineering**, V.114, n.1, Jan. 1988, pp. 21-42.

THÁ, Pedro de Carvalho. **Estudo das Condições de Fluxo pela Barragem de Terra da Margem Esquerda de Itaipu.** 2007. 99 f. Dissertação - Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <http://www.livrosgratis.com.br/arquivos_livros/cp053701.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2014.

VALÊNCIO, N.F.L.S. **Dimensões psicossociais e político-institucionais do desastre de Camará(PB)**: limitações da resposta da Defesa Civil frente ao rompimento de barragens. Rio de Janeiro: IPPUR/UFRJ, cd-20p. 2005

VALÊNCIO, N. F. L. S. **O controle das águas como fator de progresso e de risco**: as representações institucionais dos Grandes Projetos Hídricos no Nordeste. In: III ENCONTRO DA ANPPAS, 2006, Brasília, Distrito Federal.

VARGAS, M. – **Introdução à mecânica dos solos**, Mac-Grow Hill, São Paulo, 1977, 509 p.

VARGAS, M.; NUNES, A. J. C.; LOPES, J. C.; CONTINENTINO, L.; FEDERICO, D. A. **Ruptura da Barragem da Pampulha**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1955, n.529. Relatório Técnico.

VISITA à Usina Hidrelétrica Campos Novos. Disponível em: <<http://www.camposnovos.sc.gov.br/turismo/item/detalhe/7971>>. Acesso em: 15 abr. 2014.