



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

CARLO RANNYÊR LOPES MONTEIRO

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO

**RECIFE
2018.2**

CARLO RANNYÊR LOPES MONTEIRO

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO

**CONSTRUÇÃO DE MODELOS FÍSICOS DE BARRAGENS DE TERRA
PARA AULA PRÁTICA**

Relatório apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco Pernambuco, como pré-requisito para obtenção de nota da disciplina Estágio Supervisionado Obrigatório, sob orientação do (a) Professor (a) Gledson Luiz Pontes de Almeida.

**RECIFE
2018.2**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

M775c Monteiro, Carlo Rannyêr Lopes
Construção de modelos físicos de barragens de terra para aula
prática / Carlo Rannyêr Lopes Monteiro. – 2018.
28 f. : il.

Orientador: Gledson Luiz Pontes de Almeida.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade
Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia
Agrícola, Recife, BR-PE, 2019.
Inclui referências.

1. Barragens de terra 2. Tubulação 3. Barragens e açudes –
Segurança 4. Ensino I. Almeida, Gledson Luiz Pontes de, orient.
II. Título

CDD 631

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO

CONSTRUÇÃO DE MODELOS FÍSICOS DE BARRAGENS DE TERRA PARA AULA PRÁTICA

Discente: Carlo Rannyêr Lopes Monteiro

Orientador: Professor Dr. Gledson Luiz Pontes de Almeida

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Conceição, por todo investimento, apoio e amor.

À minha família, Suianne, Larissa e Isabella, que compreenderam minha ausência durante o período do curso e durante a execução deste trabalho, além de me apoiar em todas as situações.

Aos professores do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, que forjaram a base do conhecimento e sem os quais jamais teria conseguido chegar ao fim.

Ao Professor Valmir Marques que gentilmente disponibilizou a estrutura do laboratório de saneamento para execução do trabalho e à Técnica de laboratório Patrícia por ter me auxiliado durante esse período.

Aos funcionários da UFRPE que de forma indireta contribuíram durante todo o período da graduação.

Aos meus colegas do curso pelas sugestões e pelo apoio.

Aos meus colegas do trabalho que por inúmeras vezes me auxiliaram com as trocas de turno o que permitiu uma maior assiduidade às aulas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Barragem de terra homogênea	13
Figura 2 - Barragem de terra heterogênea	13
Figura 3 - Prédio do Departamento de Engenharia Agrícola da UFRPE.....	16
Figura 4 - Desenho da peça 1	21
Figura 5 - Desenho da peça 2	21
Figura 6 - Desenho da peça 3	22
Figura 7 - Inclinações recomendadas dos taludes de montante e jusante de acordo com o tipo de material e altura da barragem.....	23
Figura 8 - Barragem 1 em diferentes fases do experimento	24
Figura 9 - Barragem 2 em diferentes fases do experimento	25
Figura 10 - Barragem 3 em diferentes fases do experimento.....	27

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 OBJETIVOS	8
2.1 OBJETIVO GERAL	8
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
3 REFERENCIAL TEÓRICO	9
3.1 BARRAGENS DE TERRA	9
3.2 TIPOS DE BARRAGENS DE TERRA.....	10
3.3 COMPONENTES DE UMA BARRAGEM.....	11
3.4 PRINCIPAIS PROBLEMAS ESTRUTURAIS APRESENTADOS POR BARRAGENS DE TERRA.....	14
3.4.1 Transbordamento.....	14
3.4.2 Erosão regressiva ou em tubo (piping)	14
3.4.3 Deslizamento e instabilidade dos taludes	15
4 METODOLOGIA	16
4.1 PROJETO DAS PEÇAS.....	16
4.2 DIMENSIONAMENTO DA BARRAGEM.....	17
4.3 COLETA E SEPARAÇÃO DO MATERIAL A SER UTILIZADO	17
4.4 MONTAGEM DOS EXPERIMENTOS.....	18
4.4.1 Barragem 1	18
4.4.2 Barragem 2	18
4.4.3 Barragem 3	19
5 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	20
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
6.1 DIMENSIONAMENTO DA BARRAGEM MONTADA NA PEÇA 1	22
6.2 EXPERIMENTOS COM A BARRAGEM 1	23
6.3 EXPERIMENTOS COM A BARRAGEM 2	24
6.4 EXPERIMENTOS COM A BARRAGEM 3	26
7 CONCLUSÕES / CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

1 INTRODUÇÃO

Barragens de terra são obras de engenharia destinadas ao acúmulo de água para as mais diversas finalidades que vão desde regularização de vazão de um rio até irrigação. Como o nome deixa claro, para sua construção são utilizados materiais terrosos, combinados ou não, e compactados de maneira que sua própria massa resista aos esforços de cisalhamento e tombamento aplicados pela massa de água barrada.

O processo de construção de uma barragem é demorado e mesmo assim, após sua conclusão, não é possível visualizar todos os fenômenos que ocorrem em seu interior durante o funcionamento, tornando inviável para fins didáticos. Por exemplo, a observação da linha piezométrica em barragens sem filtro, a visualização das linhas de fluxo, a importância dos filtros vertical e horizontal, a importância da proteção dos taludes e o funcionamento do vertedor. Além disso, não é possível executar experimentos que ocasionem algum dano estrutural nas barragens em escala real.

Assim, durante as aulas da disciplina de “Barragens e Obras de Terra” foi identificada a necessidade de construção de modelos que demonstrassem de forma didática e acessível, o funcionamento de uma barragem de terra, seus componentes, formas de construção, materiais empregados, bem como, os principais problemas apresentados em barragens de terra que podem culminar até mesmo com o seu colapso.

Para tal foram projetadas caixas fabricadas em vidro, dentro das quais pudessem ser construídas barragens em escala reduzida e que permitissem a perfeita visualização dos fenômenos ocorridos, através de ensaios não-destrutivos e destrutivos. A observação é fundamental para o processo de aprendizagem da disciplina.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Construir modelos didáticos de barragens de terra para apresentação de aulas práticas da disciplina de barragens e obras de terra.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Projetar caixas e vertedor em vidro para construção dos modelos;
- Acompanhar fabricação das caixas e vertedor em vidro;
- Dimensionar barragem em escala reduzida;
- Separar material a ser utilizado na construção das barragens;
- Construir barragens de terra;
- Apresentar aula prática, demonstrando o funcionamento da barragem os principais problemas aos quais elas estão suscetíveis.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 BARRAGENS DE TERRA

Barragens de terra têm sido usadas desde os primórdios da civilização para armazenar água para irrigação. Isto é constatado tanto pelos registros históricos quanto por estruturas antigas remanescentes. Hoje, como no passado, a barragem de terra continua a ser o tipo mais comum de barragem, principalmente porque a sua construção envolve o uso de materiais em seu estado natural com pouco processamento (*Bureau of Reclamation, 1987*).

Segundo FAO (2011) “as barragens de terras são estruturas compactadas que dependem da sua massa para resistir ao deslizamento e tombamento”. Marangon (2004) complementa este conceito informando que, são elementos estruturais construídos em terra, transversalmente a um curso d’água, destinado a criação de um reservatório artificial de acumulação de água, com uma ou mais das seguintes finalidades: gerar energia elétrica, regular a vazão de um rio, navegação / recreação, abastecimento e irrigação.

Por serem o tipo de barragem mais utilizado no mundo devem ser consideradas suas vantagens e desvantagens, conforme relacionadas por FAO (2011).

As principais vantagens das barragens de terra são:

- Podem ser utilizados materiais do próprio local;
- Os procedimentos do projeto são mais “simples”;
- Comparativamente, são necessários pequenos ativos fixos tangíveis;
- Os requisitos para as fundações são menos exigentes do que para outro tipo de barragens;
- Há uma melhor distribuição das cargas nas fundações devido a largura da base;
- Resistem melhor ao assentamento e movimentos do que estruturas mais rígidas.

Já as desvantagens são:

- É mais facilmente danificada pela água corrente, passando sobre ou batendo contra ela (necessita de um descarregador / vertedor e proteção do talude de montante);
- O projeto e a construção de descarregadores / vertedores é a parte técnica mais difícil;
- Qualquer local com má qualidade de descarga não deverá ser usado.
- Caso a compactação não seja executada adequadamente, a barragem apresentará pontos preferenciais de infiltração, prejudicando sua estrutura;
- Requerem manutenção contínua de forma a evitar erosão, crescimento de árvores, sedimentação, infiltração e danos provocados por animais.

3.2 TIPOS DE BARRAGENS DE TERRA

As barragens de terra normalmente são classificadas quanto à forma construtiva. Tomaz (2011) distingue dois tipos:

- Barragem de aterro homogêneo;
- Barragem zoneada.

As barragens de terra construídas com aterro homogêneo é aquela na qual é utilizado um único tipo de solo. Segundo ICOLD (2011) são o tipo mais comum de barragem, principalmente porque sua construção envolve a utilização de materiais provenientes das escavações e, portanto, não requerem muito processamento. As represas homogêneas são adotadas, principalmente onde os solos coesivos são abundantes.

Massad (2010) informa que uma característica desse tipo de barragem é que a inclinação dos taludes é fixada de maneira a garantir a estabilidade da barragem. Além disso é fundamental que seja instalado um filtro vertical ou inclinado para evitar que o fluxo de água (linha piezométrica ou de saturação) saia na face do talude de jusante.

As barragens de terra zoneadas são construídas principalmente quando não há disponibilidade de um único tipo de solo apropriado e em quantidade suficiente. Assim, utiliza-se o solo mais fraco na constituição dos aterros estabilizadores (parte mais externa permeável) e o melhor solo (de baixa permeabilidade) emprega-se no núcleo central (COSTA *et al.*, 2001 *apud* CARVALHO 2011). Estes dois materiais

básicos são separados por duas camadas de filtro de cascalho arenoso (ICOLD, 2011).

A barragem zoneada ou zonada também pode ser construída um único tipo de solo de empréstimo e compactando-o sobre diferentes umidades, conferindo assim, diferentes características geotécnicas; na parte mais externa do maciço utiliza-se um solo mais seco, o que proporciona maior resistência e no núcleo, um solo mais úmido, o que proporciona baixa permeabilidade (MASSAD, 2010). Esse tipo de barragem difere da barragem homogênea principalmente em relação aos aspectos técnicos construtivos e também em relação ao custo. Segundo FAO (2011) sua construção é passível de ser mais onerosa, devido a utilização de diferentes materiais. Entretanto, a inclinação dos taludes pode ser aumentada, gerando assim uma certa economia.

3.3 COMPONENTES DE UMA BARRAGEM

Numa barragem de terra são utilizados diferentes materiais para a construção dos elementos que a compõem. Estes devem estar localizados o mais próximo possível do local da barragem para evitar custos elevados com transporte. Conforme cita Marangon (2004), os materiais mais comumente usados são os seguintes:

- a) solos, para os diques de terra.
- b) rocha, para os diques de enrocamento e proteção dos taludes.
- c) agregado, para concreto, que inclui areia, cascalho natural e pedra britada.
- d) areia, para filtros.

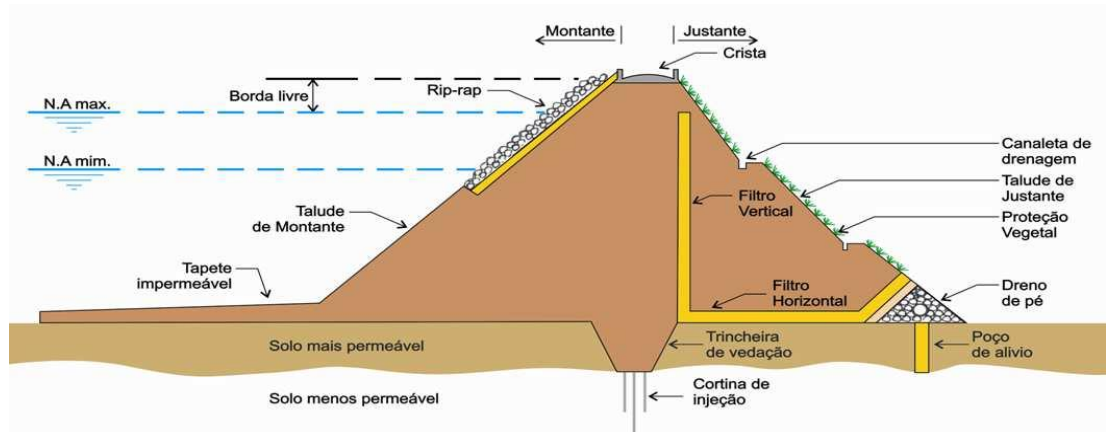
Segundo Carvalho (2011) uma barragem de terra apresenta alguns elementos básicos em sua constituição. São eles:

- Crista: parte superior do aterro. Normalmente destinada ao tráfego de veículos;
- Borda livre (folga): distância vertical entre a crista e o nível de acumulação máximo. Tem o objetivo de segurança contra o transbordamento;
- Talude de montante: parte do maciço que está em contato com a água represada;
- Rip-rap: proteção do talude de montante contra a ação das ondas e intempéries;

- Talude de jusante: parte do maciço que não está em contato com a água represada;
- Proteção do talude de jusante: normalmente grama ou enrocamento. Deve ser utilizada para evitar erosão, causada pelas águas pluviais;
- Trincheira de vedação (*cut-off*): vala construída no eixo do maciço e preenchida com solo de baixa permeabilidade, devidamente compactado. Tem a finalidade de evitar o fluxo de água subterrâneo sobre a barragem;
- Filtro: constituído de areia ou material com granulometria adequada para evitar o carreamento de material granular do solo. Há o filtro vertical que tem a função de baixar a linha freática, encaminhando o fluxo para a base do aterro, evitando o seu aparecimento na face do talude de jusante e o horizontal que recebe o fluxo interrompido pelo filtro vertical e encaminha a água percolada para o dreno de pé (MASSAD, 2010);
- Dreno de pé: capta toda a água percolada através dos filtros (vertical e/ou horizontal), conduzindo-a ao curso d'água à jusante da barragem. Corresponde a uma seção de enrocamento construído com rochas de granulometria variada em transição;
- Cortina de injeção: trata-se de injeção de material impermeável (cimento, silicatos ou resinas) abaixo da trincheira de vedação nas falhas ou fissuras caso a fundação ainda apresente permeabilidade elevada;
- Poços de alívio: são furos de drenagem abertos no terreno, com o objetivo de reduzir as subpressões desenvolvidas pela percolação de água na fundação;
- Tapete impermeável: estrutura construída em material impermeável e conectada à seção impermeável da barragem com o objetivo de diminuir a percolação de água através da fundação;
- Sistema de drenagem das águas pluviais: estruturas localizada na crista e nos taludes que coletam e transportam a água das chuvas, evitando a erosão dos mesmos.

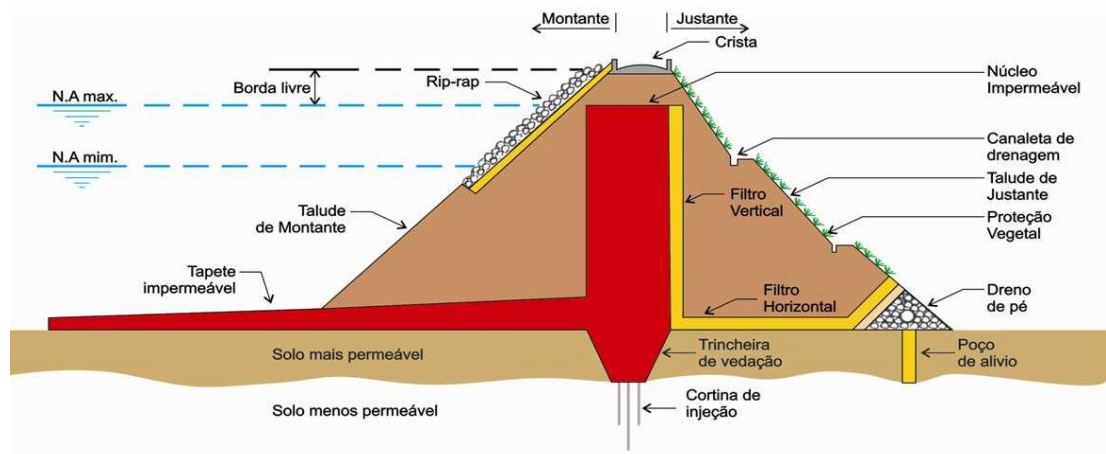
Nas Figuras 1 e 2 estão representadas uma barragem de terra homogênea e uma heterogênea, respectivamente, nas quais estão identificados os principais elementos construtivos.

Figura 1 - Barragem de terra homogênea



Fonte: Carvalho, 2011.

Figura 2 - Barragem de terra heterogênea



Fonte: Carvalho, 2011.

Abreu (2015) completa a lista de componentes de uma barragem com os seguintes itens:

- Núcleo: elemento construído no eixo da barragem com material de baixa permeabilidade para diminuição da infiltração;
- Vertedor: estrutura que tem a finalidade de escoar o excesso de água da represa após esta atingir seu nível de acumulação máximo;
- Desarenador: consiste de uma tubulação instalada no fundo, transpassando toda a barragem e tem a função de controle do nível da represa, como também, garantir o escoamento à jusante;

- Dissipador de energia: estrutura instalada no vertedor que tem a função de diminuir a energia cinética da água.

3.4 PRINCIPAIS PROBLEMAS ESTRUTURAIS APRESENTADOS POR BARRAGENS DE TERRA

Alguns problemas relacionados as barragens de terra tem origem em defeitos estruturais associados a defeitos de projeto e construção, o que frequentemente levam a catástrofes, como quando acontece a ruptura ou tombamento da barragem (FAO, 2011).

Conforme ICOLD (2011) pesquisas recentes sobre falhas em barragens no Brasil mostraram que 65% delas são devido ao transbordamento, 12% estão relacionadas a erosão regressiva tubular (*piping*) e 12% são devido a deslizamento e instabilidade.

3.4.1 Transbordamento

O transbordamento ocorre quando o fluxo em um vertedor excede aquele para o qual foi projetado e a folga considerada na barragem. É resultante condições meteorológicas extremas, mas também pode ser considerado como um erro humano em caso de subestimação da contribuição afluyente da bacia hidrográfica. Esse fenômeno provoca um deslizamento geral do talude de jusante e em seguida abre uma fenda bastante grande na barragem. Mas, na maioria dos casos, o rompimento é relativamente estreito e pode ou não se ampliar de acordo com a seção transversal e a característica dos materiais utilizados na construção (ICOLD, 2011).

3.4.2 Erosão regressiva ou em tubo (*piping*)

Um dos problemas que mais preocupam no tocante a segurança de barragens de terra é o *piping* ou erosão regressiva tubular no próprio corpo da barragem ou nas suas fundações. Consiste no transporte de partículas de solo pela água, progredindo de jusante para montante. Assim forma-se um tubo de erosão,

que ao evoluir para cavidades grandes no corpo da barragem, a leva ao rompimento (MASSAD, 2010). O *piping* também pode ocorrer devido a uma infiltração não controlada em uma transição entre o aterro (ou fundação) e uma estrutura rígida, como por exemplo, o vertedor (ICOLD, 2011).

A erosão regressiva pode ser evitada pela construção de filtros adequados na barragem de forma a interceptar a linha de saturação de água rebaixando-a. Isso ocorre devido a maior permeabilidade do material de que é constituído o filtro (ICOLD, 2011).

3.4.3 Deslizamento e instabilidade dos taludes

Está normalmente relacionado ao uso de materiais de baixa qualidade, vertentes muito inclinadas, drenagem inadequada e / ou infiltração excessiva. Na ocorrência dessa situação, a estabilidade da barragem é afetada, sendo recomendado baixar o nível da água no reservatório (FAO, 2011).

4 METODOLOGIA

As atividades foram desenvolvidas no Laboratório de Saneamento Ambiental localizado no prédio do Departamento de Engenharia Agrícola localizado da UFRPE. Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n. Bairro Dois Irmãos, Recife – Pernambuco.

Figura 3 - Prédio do Departamento de Engenharia Agrícola da UFRPE



Fonte: <http://deagri.ufrpe.br/>

4.1 PROJETO DAS PEÇAS

Foram desenhadas à mão, as três estruturas básicas a serem utilizadas no projeto: uma caixa de base retangular com dimensões de 65 cm de comprimento, 15 cm de largura e 25 cm de altura, a qual denominou-se peça 1; uma caixa em formato de “L” com 30 cm de comprimento, 10 cm de largura e 45 cm de altura, a qual denominou-se peça 2; um vertedor com seção transversal no formato de “u” com dimensões de 42 cm de comprimento, 3 cm de largura e 4 cm de altura, o qual denominou-se peça 3.

Os desenhos foram enviados a vidraçaria e solicitada a fabricação das peças. As peças foram confeccionadas em vidro com diferentes espessuras de maneira que apresentassem uma resistência mínima para manipulação durante a montagem das barragens.

4.2 DIMENSIONAMENTO DA BARRAGEM

Para o dimensionamento da barragem a ser montada na peça 1 foi inicialmente adotada uma altura do barramento (H) de 20 cm (baseado na altura da caixa de vidro, que é de 25 cm). Para determinação da largura da crista (C) utilizou-se a equação de *Bureau of Reclamation* (1987):

$$C = 0,20 * H + 3$$

As inclinações dos taludes de montante (M) e jusante (J) adotadas foram de 1,2:1 e 1:1, respectivamente. Com os valores das inclinações foram então calculadas as dimensões das larguras das bases de montante (LM) e jusante (LJ) através das equações:

$$LM = H * M$$

$$LJ = H * J$$

4.3 COLETA E SEPARAÇÃO DO MATERIAL A SER UTILIZADO

- Foram coletados 0,5 L de material argiloso e armazenados em sacos de amostra de solos;
- Foram coletados 20 L de areia de praia e armazenados em baldes;
- Foi peneirada brita com as peneiras de malha 4 mm e 2 mm, sendo posteriormente lavados e armazenados em sacos de amostra de solos. Da peneira de malha 4 mm foram removidas manualmente as frações de maior dimensão;
- Confeccionado um compactador e uma base de madeira para a peça 1.

4.4 MONTAGEM DOS EXPERIMENTOS

4.4.1 Barragem 1

A partir da face transversal da extremidade da peça 1 (caixa de vidro de base retangular) foram medidos 3 cm e marcou-se o ponto a partir do qual se iniciaria o talude de montante. Nas paredes laterais foi desenhado o perfil da barragem, utilizando caneta permanente e seguindo as dimensões calculadas no item 4.2.

Foi paulatinamente adicionada a areia intercalando com a compactação da mesma, sendo ajustada ao perfil da barragem previamente desenhado nas paredes da caixa de vidro. Constituída apenas de areia de praia compactada e com vertedor apoiado sobre a crista.

O espaço anterior ao talude de montante foi preenchido com água de forma a simular o barramento.

4.4.2 Barragem 2

A partir da face transversal da extremidade da peça 1 (caixa de vidro de base retangular) foram medidos 3 cm e marcou-se o ponto a partir do qual se iniciaria o talude de montante. Nas paredes laterais foi desenhado o perfil da barragem, utilizando caneta permanente e seguindo as dimensões calculadas no item 4.2.

Foi paulatinamente adicionada a areia intercalando com a compactação da mesma, sendo ajustada ao perfil da barragem previamente desenhado nas paredes da caixa de vidro. Constituída de areia de praia compactada, material argiloso compactado, recobrindo o talude de montante, brita ≥ 4 mm recobrindo o material argiloso no talude de montante, brita ≥ 4 mm no dreno de pé do talude de jusante e brita ≤ 2 mm compondo os filtros vertical (1,5 cm de espessura) e horizontal (1,5 cm de espessura). O vertedor foi apoiado sobre a crista.

O espaço anterior ao talude de montante foi preenchido com água de forma a simular o barramento.

4.4.3 Barragem 3

A peça 2 (caixa de vidro no formato de “L”) foi preenchida com areia de praia e compactada até que atingisse uma altura de 15 cm e modelado como um talude de jusante. Na parte vertical foi adicionada uma camada de 2 cm de brita ≥ 4 mm.

Em seguida foi adicionada água pela parte vertical até que se formasse uma coluna de água de 20 cm acima da brita.

5 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

As atividades desenvolvidas durante o período do estágio foram:

- Planejamento das atividades;
- Projetos das peças a serem utilizadas;
- Acompanhamento da fabricação das peças;
- Revisão bibliográfica;
- Dimensionamento da barragem;
- Desenvolvimento de protótipos de barragem;
- Testes das barragens montadas;
- Apresentação de aula prática;
- Confecção do relatório de estágio.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente foram solicitados orçamentos para fabricação das peças em acrílico. Entretanto, somente uma empresa se dispôs a orçar o projeto e devido ao valor elevado, optou-se pela fabricação em vidro. As figuras 4, 5 e 6 mostram os desenhos enviados para cotação / fabricação.

Figura 4 - Desenho da peça 1

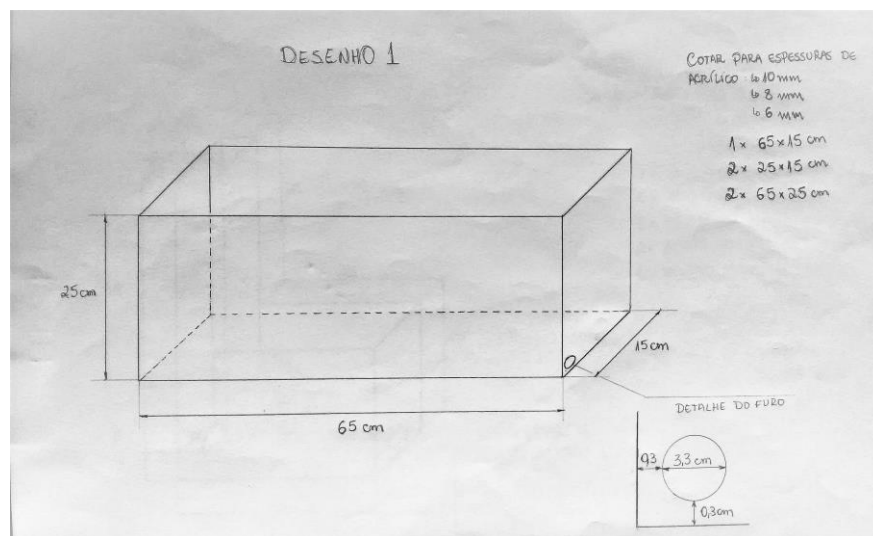


Figura 5 - Desenho da peça 2

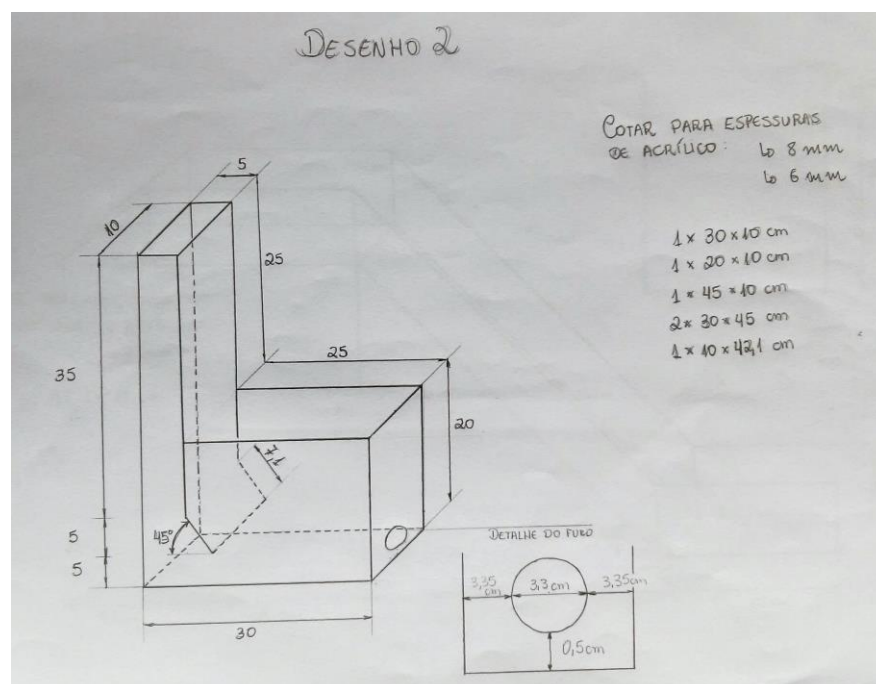
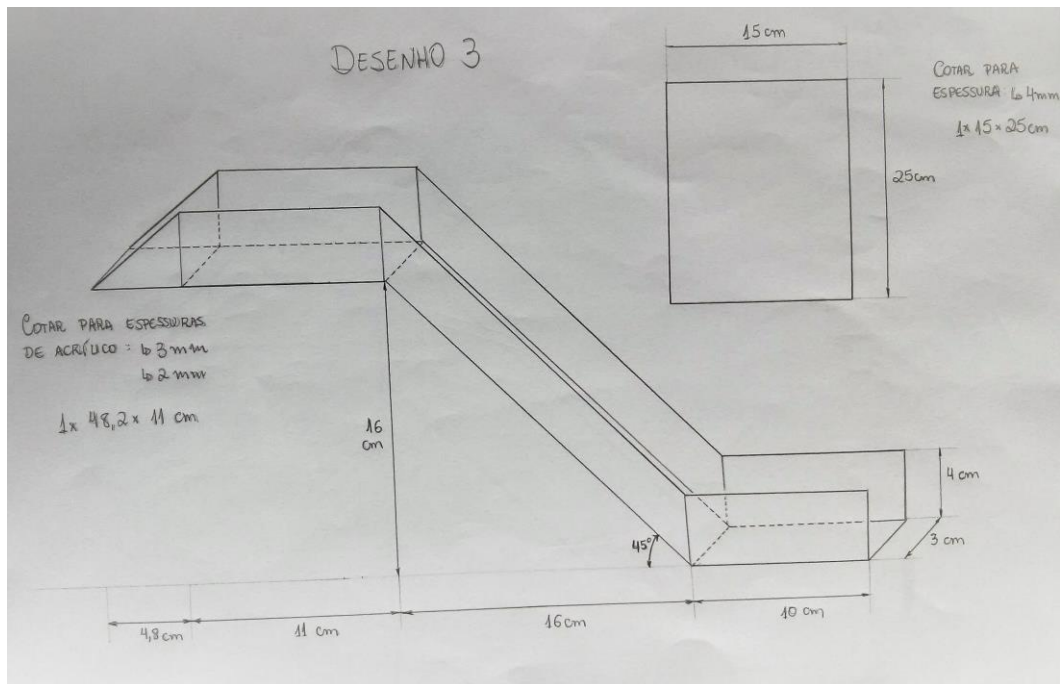


Figura 6 - Desenho da peça 3



A espessura de cada peça foi definida em conjunto com o fabricante de acordo com suas recomendações em relação à resistência, chegando à seguinte determinação:

- Peça 1 – fabricada em vidro com espessura de 8 mm;
- Peça 2 – fabricada em vidro com espessura de 8 mm;
- Peça 3 – fabricada em vidro com espessura de 4 mm.

Após os primeiros testes, as peças 1 e 2 apresentaram vazamento em suas bases e a vedação das mesmas precisou ser reparada.

6.1 DIMENSIONAMENTO DA BARRAGEM MONTADA NA PEÇA 1

As dimensões da barragem a ser montada na peça 2 foram calculadas conforme mostrado por *Bureau of reclamation* (1987). Para uma altura da barragem “H” igual a 20 cm tem-se que:

$$C = 0,20 * 20 + 3 = 7 \text{ cm}$$

As larguras das bases de montante (LM) e jusante (LJ), baseadas nas respectivas inclinações adotadas são, portanto:

$$LM = 20 * 1,2 = 24 \text{ cm}$$

$$LJ = 20 * 1 = 20 \text{ cm}$$

Os valores adotados para as inclinações diferem daqueles habitualmente utilizados na literatura (conforme mostra a figura 7) devido à limitação de espaço dentro da caixa de vidro.

Figura 7 - Inclinações recomendadas dos taludes de montante e jusante de acordo com o tipo de material e altura da barragem

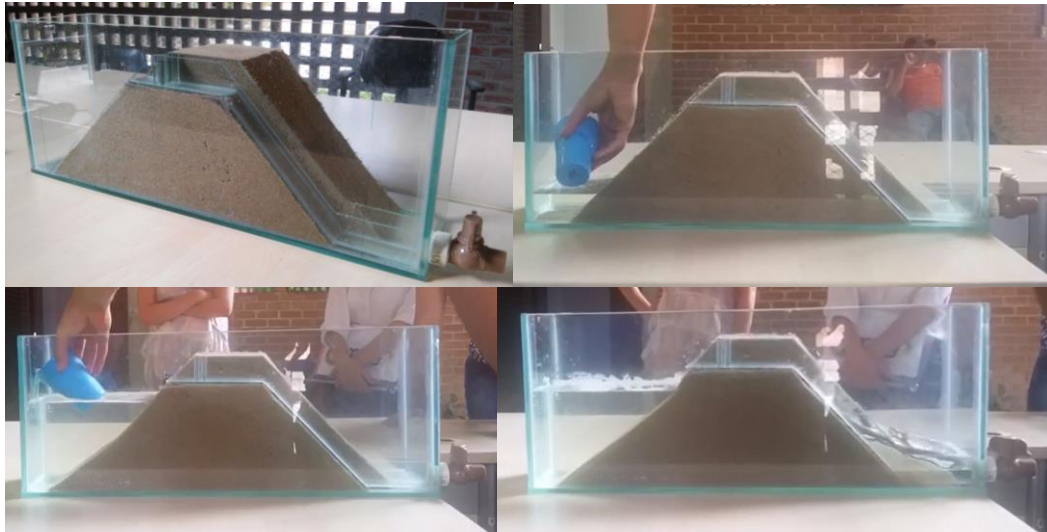
Material do Aterro	H ≤ 5,00 m	5,00 < H ≤ 10 m
Solos Argilosos	Montante - 1 : 2 Jusante - 1 : 1,75	Montante - 1 : 2,75 Jusante - 1 : 2,25
Solos Arenosos	Montante - 1 : 2,25 Jusante - 1 : 2,00	Montante - 1 : 3,00 Jusante - 1 : 2,25
Areias e Cascalhos	Montante - 1 : 2,75 Jusante - 1 : 2,25	Montante - 1 : 3,00 Jusante - 1 : 2,50
Pedras de mão (barragens mistas)	Montante - 1 : 1,35 Jusante - 1 : 1,30	Montante - 1 : 1,50 Jusante - 1 : 1,40

Fonte: Carvalho, 2011.

6.2 EXPERIMENTOS COM A BARRAGEM 1

Ao término da montagem da barragem 1 foi adicionada água, vagarosamente, ao espaço entre o talude de montante e a parede de vidro. Observou-se, quase que instantaneamente, a infiltração da água no corpo da barragem e a formação da linha de saturação evidenciada pela mudança na coloração da areia. A infiltração rápida ocorreu, como esperado, devido ao material com alta permeabilidade utilizado na construção desta barragem. A figura 8 mostra a barragem 1 montada nas diferentes fases do experimento desde o início (antes de colocar água) até seu rompimento.

Figura 8 - Barragem 1 em diferentes fases do experimento



Observou-se desmoronamento de partes dos taludes e em consequência do término da linha de saturação ter acontecido no meio da face do talude de jusante, com a contínua entrada de água à montante, logo ocorreu o rompimento da barragem.

6.3 EXPERIMENTOS COM A BARRAGEM 2

Ao término da montagem da barragem 2 foi adicionada água, vagarosamente, ao espaço entre o talude de montante e a parede de vidro. Como nesta barragem havia enrocamento e uma camada de material argiloso compactado sobre o talude de montante, não foram observados danos a esta estrutura decorrentes da elevação de nível represado. O tempo para que a água infiltrasse no corpo da barragem também foi maior (vista a baixa permeabilidade do material argiloso adicionado).

A estabilidade geral da barragem também foi garantida por conta das estruturas adicionadas: os filtros vertical e horizontal que rebaixaram a linha de saturação e conduziram a água de forma que ela saísse abaixo da base do talude de jusante (evidenciado pela injeção de corante à montante do filtro vertical), bem como, do dreno de pé (à jusante), que garantiu a sustentação, evitou a perda de material do corpo da barragem e permitiu a perfeita drenagem. O vertedor dimensionado também serviu ao seu propósito de forma satisfatória.

Após a observação do funcionamento normal da barragem foi realizado o bloqueio total do vertedor, simulando um mal dimensionamento ou uma vazão afluyente acima daquela para qual o mesmo foi projetado. Com isso o nível se elevou fazendo com que a barragem transbordasse. Em poucos segundos após o início do transbordamento ocorreu o colapso da barragem devido ao carreamento de material do maciço.

Figura 9 - Barragem 2 em diferentes fases do experimento



A evolução do experimento é mostrada na figura 9. A barragem montada antes do teste, o enchimento lento, o funcionamento normal dos elementos da barragem (proteção do talude de montante, filtro vertical e horizontal, dreno de pé e

vertedor), o bloqueio do vertedor para simular mal dimensionamento, o transbordamento e o rompimento da barragem.

6.4 EXPERIMENTOS COM A BARRAGEM 3

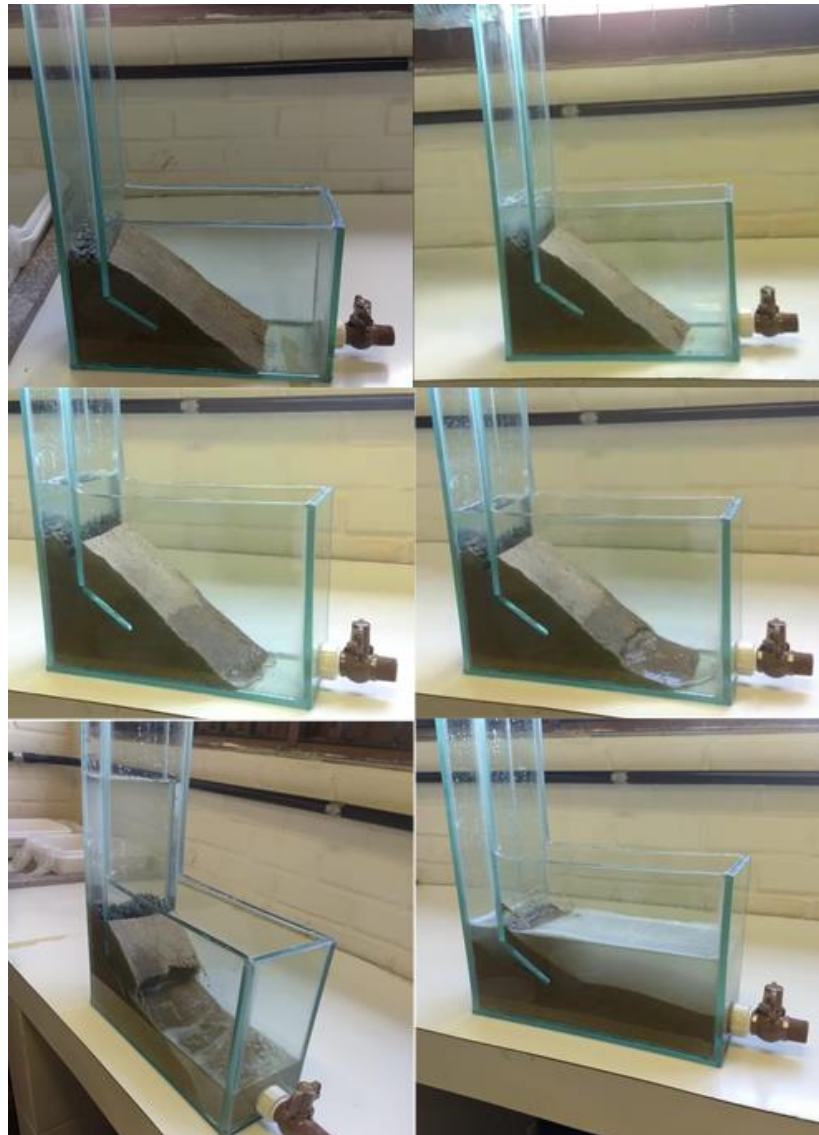
Ao término da montagem da barragem 3 foi adicionada água, vagarosamente, a parte vertical da peça. A brita evitou que o impacto da água quando lançada do topo da mesma provocasse danos na superfície da areia.

Observou-se instantaneamente a infiltração da água no corpo da barragem e a formação da linha de saturação evidenciada pela mudança na coloração da areia. A infiltração rápida ocorreu, como esperado, devido ao material com alta permeabilidade utilizado na construção desta barragem e a coluna de água formado na parte vertical da peça.

Em consequência da saída de água pelo talude de jusante ocorreu o arraste de material do maciço, formando a erosão regressiva tubular.

A evolução do experimento é mostrada na figura 10. A barragem montada antes do teste, o enchimento lento, a rápida infiltração da água, o início do arraste de solo, a erosão regressiva (de jusante para montante) e o rompimento da barragem.

Figura 10 - Barragem 3 em diferentes fases do experimento



7 CONCLUSÕES / CONSIDERAÇÕES FINAIS

As demonstrações utilizando barragens em escala de laboratório construídas de formas diferentes, ou seja, sem e com os elementos essenciais foi fundamental para o correto entendimento do funcionamento normal, bem como, permitiu observar os principais problemas estruturais que ocorrem com as mesmas.

Como sugestão para trabalhos futuros, outros testes complementares podem ser executados, a citar:

- Observação da linha de saturação em barragens com a utilização de corantes;
- Observação de linhas de fluxo em meios com diferentes permeabilidades; e
- Montagem de barragem heterogênea para demonstração de seu funcionamento.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bureau of Reclamation. **DESING OF SMALL DAMS**. 3ª edição. Estados Unidos da América, United States Department Of The Interior. 860 p., 1987.

Carvalho, D. **BARRAGENS: UMA INTRODUÇÃO PARA GRADUANDOS**. Campinas. 473 p., 2011.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). **MANUAL SOBRE PEQUENAS BARRAGENS DE TERRA - GUIA PARA A LOCALIZAÇÃO, PROJETO E CONSTRUÇÃO**. Roma, FAO. 123 p., 2011.

International Committee on Large Dams (ICOLD). **Bulletin - SMALL DAMS: DESIGN, SURVEILLANCE AND REHABILITATION**. CIGB. 149 p., 2011.

MARANGON, M. **TÓPICOS EM GEOTECNIA E OBRAS DE TERRA – UNIDADE 5: BARRAGENS DE TERRA E ENROCAMENTO**, Juiz de Fora, 2004.

MASSAD, F. **OBRAS DE TERRA: CURSO BÁSICO DE GEOTECNIA**. 2ª edição. Oficina de Texto. 203 p., 2010.

TOMAZ, P. **CURSO DE MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS CAPITULO 88- PEQUENAS BARRAGENS DE TERRA**. Editor: o autor. 13 p., 2011.