

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DA ÁGUA NAS FUNDAÇÕES DE UMA BARRAGEM DE TERRA HOMOGÊNEA

Luiz Felipe Machado¹, Fernando César Dias Ribeiro², André Kurt Pereira Amann³

^{1,3} Engenharia Civil Centro Universitário da FEI

luiz.moron@hotmail.com fcristeibeiro@fei.edu.br

Resumo: O projeto apresentará o desenvolvimento e da concepção de projeto de uma Barragem de Terra bem como seus dispositivos auxiliares e a execução de um modelo físico em escala para fins de comparação dos resultados teóricos e computacionais obtidos durante as fases do projeto.

1. Introdução

É incontestável a responsabilidade atrelada às grandes estruturas como barragens por exemplo, uma vez que uma obra desse porte pode impulsionar a capacidade energética de uma região além de fomentar a economia, geração de empregos e garantir sustentabilidade hídrica. Por esse motivo sua concepção deve ser atribuída aos profissionais responsáveis e competentes do ramo, já que um pequeno acidente executivo ou de projeto pode resultar em catástrofes que inevitavelmente afetarão a vida de milhares senão milhões de pessoas. Alguns fenômenos são particularmente famosos e responsáveis por comprometerem o funcionamento adequado dessas estruturas, eventualmente chegando até a ocasionar o colapso, na maioria das vezes relacionados ao fluxo subterrâneo da água do reservatório à montante. As redes de fluxo compostas por *Total Heads* ou linhas equipotenciais (pontos de mesma carga piezométrica) e linhas de fluxo é o modelo gráfico de estudo desse fenômeno de percolação bidimensional e são mundialmente conhecidas e aceitas, traçadas segundo as Leis de Darcy, com auxílio das equações da continuidade de Laplace, descrevem o comportamento de fluxos de água através de meios porosos, como solos. O gradiente hidráulico nessa concepção, entendemos basicamente como a “perda de carga” que o fluxo sofre ao atravessar o solo e por isso aumenta concomitantemente com a velocidade do fluxo ou a dificuldade de permeabilidade do solo em questão. A estrutura de vedação por exemplo, é responsável por aumentar drasticamente o gradiente hidráulico no trecho, garantindo redução da vazão percolante.

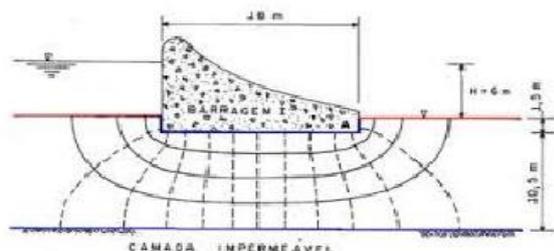


Figura 1 – Redes de Fluxo em uma barragem teórica impermeável.

2. Metodologia

A metodologia traçada para o projeto seguiu um cronograma básico elaborado pelos alunos em conjunto com o professor orientador, basicamente compôs etapas fundamentais ao desenvolvimento adequado dos estudos em função de um caminho crítico. Primeiramente um embasamento teórico por parte dos alunos foi realizado através de consultas bibliográficas para melhor entendimento dos critérios de dimensionamento e do comportamento dos fluxos com gradientes impostos em meios porosos como solos.

Após o dimensionamento da estrutura foi dado início à construção do modelo em escala 1:100 no laboratório juntamente com as modelagens digitais. Foram analisadas em software a estrutura com e sem o aparelho de vedação em parede diafragma de bentonita, a fim de comparação dos resultados e desempenho.

Com o intuito de aproximação da modelagem com a realidade, os parâmetros inseridos no software que descreviam o comportamento das camadas deveriam ser fiéis aos dos materiais que seriam utilizados na construção do modelo em escala, tornando necessário a realização de ensaios laboratoriais para caracterização desses parâmetros, como coeficientes de permeabilidade e pesos específicos compactados de projeto.

Para o modelo construído em laboratório, com parede diafragma de bentonita, foram realizadas medições das cargas piezométricas ao longo do corpo e fundação, e medição das vazões à jusante para critério de comparação com os resultados da modelagem.

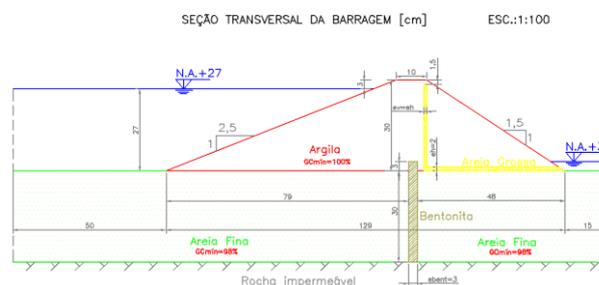


Figura 2 – Seção Transversal do Modelo

3. Resultados Obtidos

Primeiramente os resultados obtidos durante os processos laboratoriais permitiram similaridade entre ambas as modelagens, segue abaixo os valores relevantes que foram levantados por meio de ensaios normalizados pela ABNT para determinação dos

coeficientes de permeabilidade e pesos específicos compactados de projeto.

Tabela 1 – Parâmetros dos materiais

	Solo Argiloso	Areia Fundação	Areia Filtro	Bentonita
γ [kN/m ³]	15,6	16,8	13,68	9,13
K [m/s]	7,57E-09	2,51E-04	2,59E-02	2,00E-07

Os pesos específicos apresentados na Tabela 1 acima foram levantados através do ensaio de compactação Proctor Normal definindo através deste o peso específico seco de projeto e a umidade ótima, como descreve o Gráfico 1 abaixo, referente à Areia utilizada na fundação.

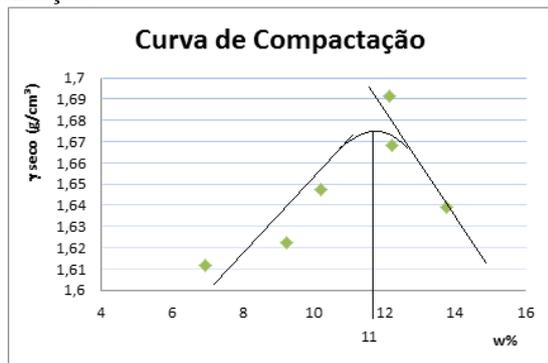


Gráfico 1 – Curva de Compactação

A execução das camadas compactadas no modelo físico, tanto na fundação como no corpo, seguiu uma metodologia de compactação criada especificamente para o projeto, através de golpes de um soquete padrão sobre um caibro de dimensões específicas para distribuição das tensões mais uniformemente. Os resultados do Gráfico 2 relacionam essa metodologia com o grau de compactação da camada, a fim de atingir o peso específico de projeto.



Gráfico 2- Curva de Compactação Experimental

A modelagem em elementos finitos apresentou resultados de vazão à jusante que foram comparados com os obtidos através das medições observadas no modelo físico com estrutura de vedação em parede diafragma de bentonita.

Os valores das medições do modelo físico apresentaram uma média de 13,73L/dia enquanto a modelagem computacional apresentou medições da ordem de 11,4 L/dia. Valores bem coerentes e satisfatórios para os níveis de precisão do projeto e principalmente do modelo físico em questão.

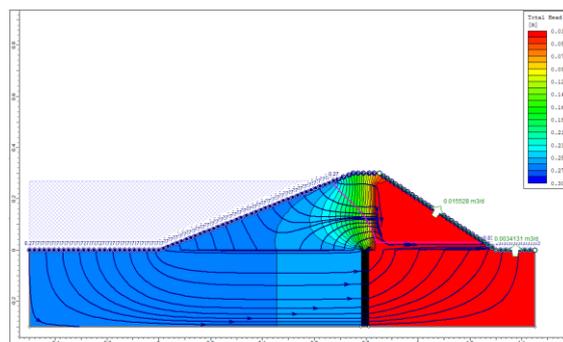


Figura 2 – Modelagem com parede diafragma

Já na modelagem sem a parede diafragma, os valores observados de vazão foram muito superiores, da ordem de 370 L/dia, grandeza que muito provavelmente traria situações danosas à construção, mostrando a importância desses sistemas.

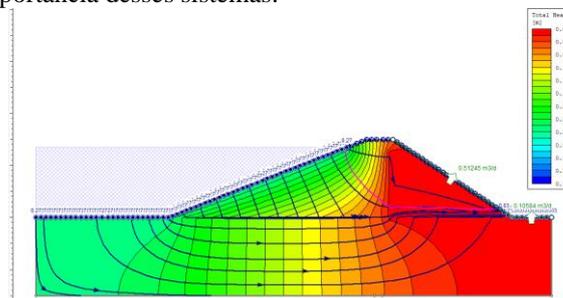


Figura 3 – Modelagem sem parede diafragma

4. Conclusões

Comparando os resultados conclui-se que o comportamento hidráulico de maneira geral foi muito similar ao esperado, uma vez que os piezômetros do modelo apresentaram medições praticamente idênticas às observadas no software.

As vazões apresentaram ligeiras diferenças, provavelmente devido à imprecisão no coeficiente de permeabilidade da estrutura de vedação, que pode ter apresentado fraturas ou falhas durante seu processo executivo, criando caminhos preferenciais de percolação.

5. Referências

- [1] PINTO, Carlos de S. Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.
- [2] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14545 Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável. 2015
- [3] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13292 Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante. 2014

Agradecimentos

Ao Centro Universitário FEI por fomentar a pesquisa acadêmica através do programa de Iniciação Científica.

¹ Aluno de IC do Centro Universitário FEI. Projeto com vigência de 07/17 a 06/18.