

A FUNDAÇÃO COMO CONDICIONANTE DA DEFLEXÃO DA FACE DE CONCRETO EM BARRAGENS DE ENROCAMENTO

THE INFLUENCE OF THE FOUNDATION ON FACE DEFLECTIONS OF CFRD'S

Rocha Filho, Pedricto, *Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil,*
rocha@puc-rio.br

Saboya Jr., Fernando, *Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF),*
Campos, Rio de Janeiro, Brasil, saboya@uenf.br

RESUMO

Este artigo faz uma abordagem sobre a importância da geometria da fundação e ombreiras no desempenho da face de concreto em barragens de enrocamento com face. São mostrados os casos da barragem de XINGO e TSQ1, onde as irregularidades da superfície das fundações tiveram um papel crucial na deformação da laje de montante, revelado através da instrumentação desta utilizando eltroníveis.

ABSTRACT

This paper presents a discussion about the importance of the foundation geometry on the performance of the concrete face of CFRD's. Case history involving both XINGO and TSQ1 dams are shown, where the irregularities of the foundation geometry played an important role on the face deformation revealed from face instrumentation with electro levels.

1. INTRODUÇÃO

Em virtude da alta permeabilidade de aterros de enrocamento a inerente estabilidade, grande parte da atenção dispensada no projeto de barragens de enrocamento com face de concreto é orientada para o desempenho da face. Assim, como esta não desempenha nenhuma função estrutural, mas sim de vedação, seu comportamento está ligado diretamente às deformações sofridas pelo aterro de enrocamento. Ações específicas voltadas para a região de montante visam diminuir a compressibilidade do aterro de enrocamento através do lançamento de camadas mais delgadas, de maiores esforços de compactação, molhagem, entre outras. Deflexões medidas em barragens atuais, mostram valores da ordem de 1.0% da altura da barragem.

No entanto, essas ações que visam diminuir a compressibilidade do aterro têm se tornado às vezes inócuas quanto à estanqueidade da laje de concreto em virtude da ocorrência de deformações que não estão diretamente ligadas à compressibilidade do enrocamento, mas sim às condições geométricas das fundações.

Por se tratar de um material puramente drenante e não coesivo, o enrocamento não tem merecido especial atenção quanto a problemas de estabilidade e aparecimento de zonas de tração ou plastificação. No entanto, essas condições têm se refletido negativamente no desempenho pouco satisfatório das lajes como elemento de vedação, principalmente para barragens mais altas que é hoje uma tendência mundial. Assim, as deformações que ocorrem no aterro de enrocamento devido

ao seu peso próprio e devido as cargas hidráulicas, medidas através de células de recalque e de eletrônives não podem ser interpretadas à luz da teoria da elasticidade (Fitzpatrick, 1985), principalmente quando tem-se forte influência da topografia da fundação. Neste caso, consideráveis distorções angulares (deformações cisalhantes) são responsáveis pelo aparecimento de fissuras e trincas nas lajes dessas barragens. Dois exemplos clássicos da influência da topografia da fundação/ombreira no comportamento da laje de concreto são apresentados neste trabalho: Xingo-Brasil e Tianshengqiao 1- China.

2. BARRAGEM DE TSQ1

A barragem de TSQ1-China do tipo enrocamento com face de concreto tem altura máxima de 178 metros e um volume de aterro compactado de 17,7 milhões de m³ (Figura 1).



Figura 1- Vista geral da barragem de tsq 1.

Nesta obra foram instalados 64 eletrônives ao longo de três secções da face de concreto, cujas leituras abrangeram as fases de construção e de enchimento. Conforme seqüência indicada no Quadro 1.

Quadro 1 - Seqüência de instalação dos eletrônives – Tianshengqiao.

Secção Instrumentada	Estação	N. de Ens	Seqüência de Instalação	Estagio de Construção	Período de Instalação
Seção A (principal)	0+630	36	A1 a A12 A13 a A27 A28 a A36	Primeiro Segundo Terceiro	Maio/97 Maio/98 Maio/99
Seção B (direita)	0+438	13	B1 a B7 B8 a B13	Segundo Terceiro	Maio/98 Maio/99
Seção C (esquerda)	0+918	15	C1 a C9 C10 a C15	Segundo Terceiro	Maio/98 Maio/99

A Figura 2 apresenta as características topográficas da fundação e das ombreiras, indicando uma forte irregularidade do maciço rochoso. O corpo principal da barragem, constituído de 17,7 milhões de metros cúbicos de enrocamento compactado, foi concluído em 38 meses. Durante certo período, a colocação do enrocamento e a construção da face de concreto ocorreram simultaneamente com o

enchimento parcial do reservatório. A seqüência construtiva tem uma importante influencia nas características de deformabilidade do enrocamento e que, por sua vez, afeta diretamente o comportamento da face de concreto durante o período de enchimento do reservatório. Portanto, torna-se de muita importância monitorar a deflexão da face de concreto durante todos os distintos estágios de construção, incluindo a colocação a montante do aterro de vedação e outros eventos como o enchimento parcial e temporário causado por enchentes. Na figura 3, estão indicados os valores da deflexão da face de concreto, medidos pelos eletroneveis A1 a A12 instalados no primeiro estágio de construção da seção principal. Verifica-se, neste caso, que mesmo com a colocação do aterro de vedação à montante, ocorreram deflexões significativas no sentido montante, devido a colocação do enrocamento do segundo estágio construtivo. A Figura 4 mostra os valores da deflexão indicados pelos eletroneveis A1 a A27, correspondente ao enchimento parcial do reservatório, restabelecendo o sentido das deflexões para a jusante. As Figuras 5 e 6 indicam respectivamente, seção B (direita) e seção C (esquerda), os valores da deflexão da face de concreto, observados pelos eletroneveis instalados no segundo estágio de construção. Estes resultados indicam que ocorrem deflexões durante o período construtivo da mesma ordem de magnitude, mas de sentido contrário, que as causadas pelo enchimento do reservatório. Esta distinta movimentação associada a influencia das irregularidades da fundação, impondo a ocorrência de momentos fletores localizados na laje de concreto, podem levar ao comprometimento do desempenho da face de concreto quanto aos requisitos de estanqueidade (Figura 7). Ressalta-se, neste caso, a importância de se proceder a regularização da fundação de modo a minimizar estes efeitos.

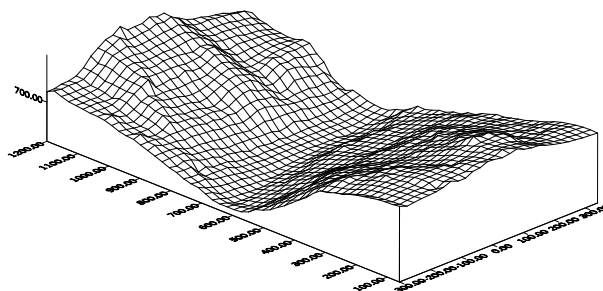


Figura 2- geometria da fundação da barragem de tsq 1.

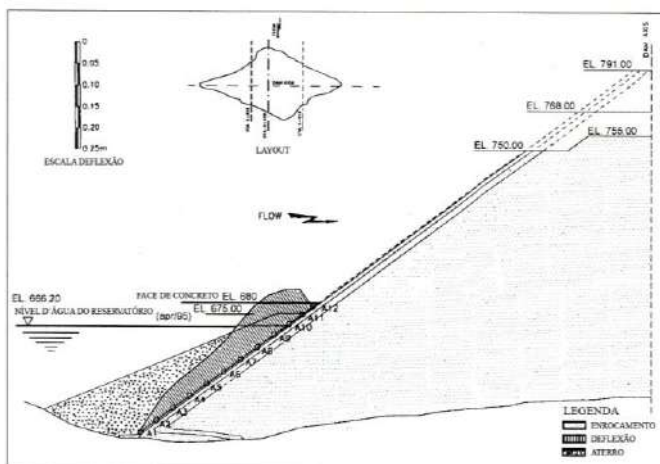


Figura 3 – Deflexão do 1º estágio durante a construção (seção Principal)

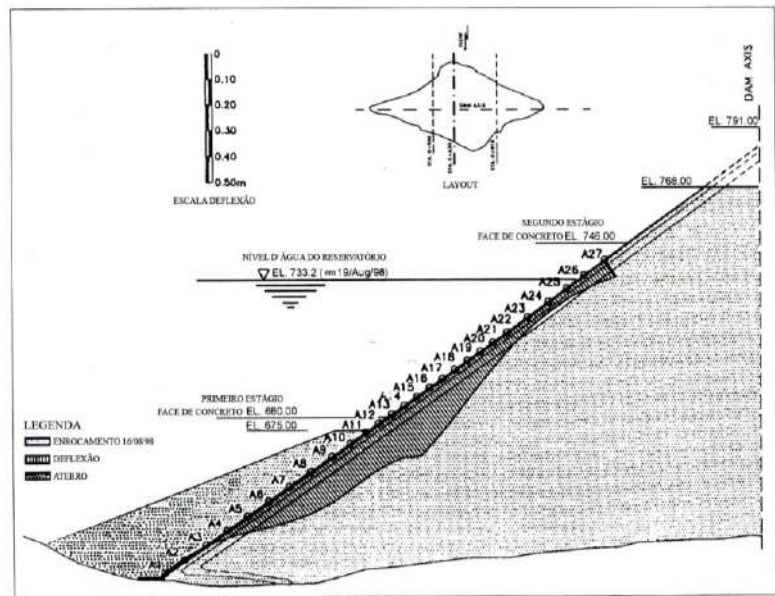


Figura 4 – Deflexão devido ao enchimento parcial do reservatório (secção principal).

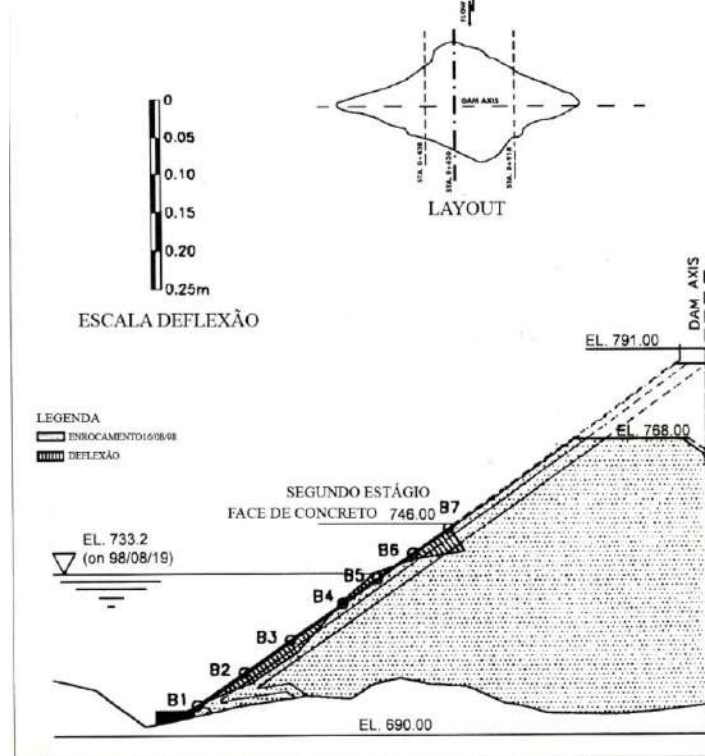


Figura 5- Deflexão do segundo estágio (secção B esquerda)

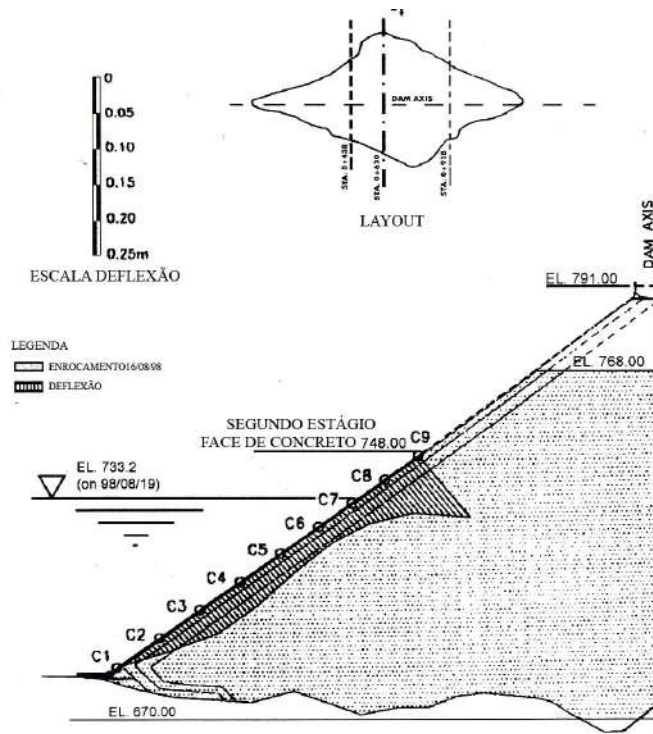


Figura 6 – Deflexão do segundo estágio (seção C direita)

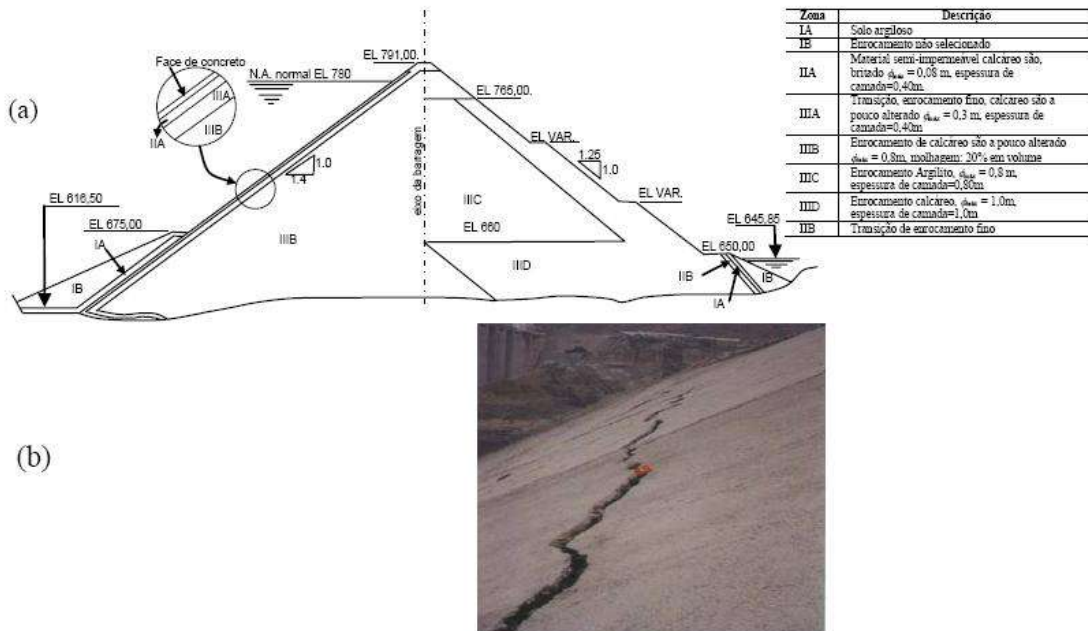


Figura 7 – Trinca observada em TSQ na zona de influência da fundação (Mori, 1999)

3. BARRAGEM DE XINGO (PERÍODO CONSTRUTIVO)

A barragem de Xingo, localizada no Rio São Francisco, na divisa com os estados de Sergipe e Alagoas, possui uma altura máxima de 145 metros. Em seu programa de monitoramento foram utilizados eletrônicos ao longo de uma seção da face de concreto, após o período de construção.

Nesta barragem, a ombreira esquerda apresenta topografia muito acidentada com declividades acentuadas nos sentidos de montante e jusante, criando uma zona preferencial para escorregamento do aterro (Figura 8). Análises por elementos finitos (Saboya, 1994) durante o período construtivo, mostraram o aparecimento de uma considerável zona de tração na ombreira esquerda devido basicamente as condições geométricas da fundação.

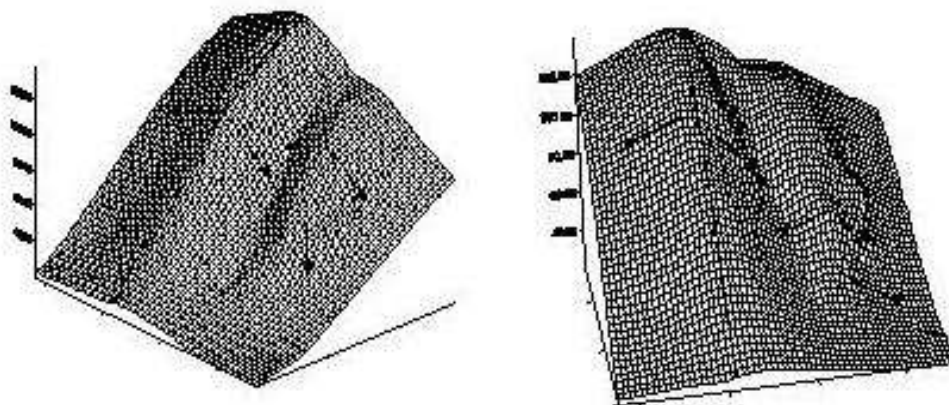


Figura 8- Geometria da Fundação da Barragem de Xingo na Ombreira Esquerda

Destacando-se as seções transversais atravessadas pela zona de tração, E62+00 e E66+00, os resultados das análises mostram que os deslocamentos horizontais nessas duas seções, quando combinados resultavam em uma acentuada distorção dessa zona. Percebe-se na Figura 9 a zona que separa os deslocamentos na direção de jusante e na direção de montante. O limite entre essas duas zonas é chamado de linha de deslocamento horizontal nulo. Esta linha intercepta o paramento de montante à aproximadamente meia altura do aterro. Quando se observa a seção imediatamente à frente (na direção da ombreira esquerda), isto é, a seção E66+00, nota-se que a linha de deslocamento horizontal nulo intercepta o talude de montante a aproximadamente 1/3 da altura da barragem, indicando que boa parte do maciço está se deslocando para jusante devido à geometria da fundação (Figura 10).

Assim, ao se confrontar as duas seções analisadas percebe-se que as trincas surgidas no aterro seguem exatamente o mesmo padrão dos deslocamentos horizontais no talude de montante (Figura 11), que corresponde a uma inclinação de aproximadamente 17° .

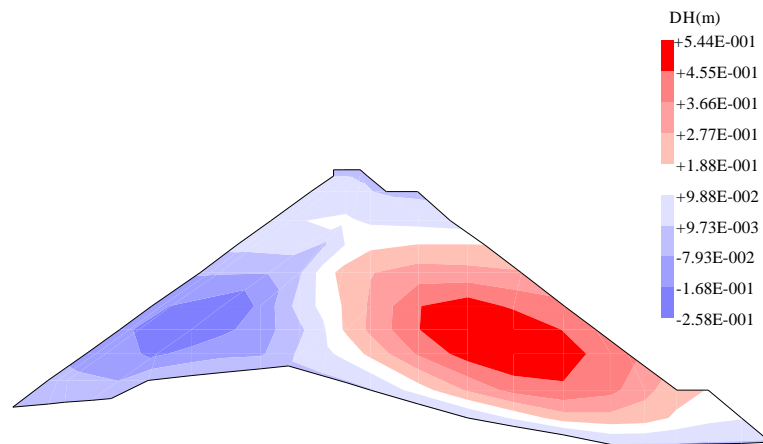


Figura 9 – Deslocamentos Horizontais Previstos, secção E62+00 (m)

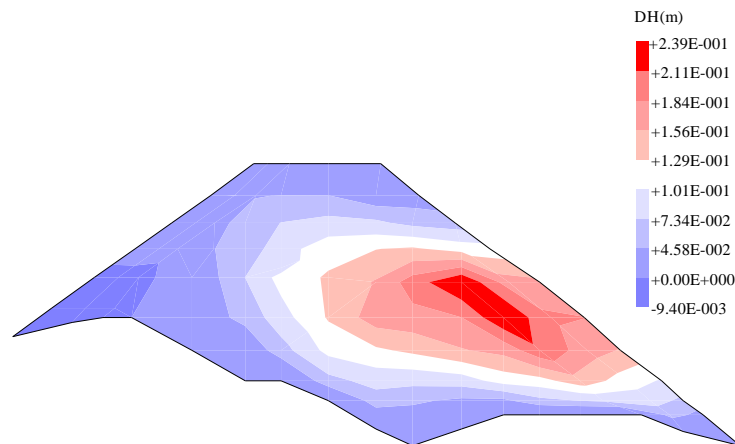


Figura 10 – Deslocamentos Horizontais Previstos, secção E66+00 (m)

4. CONCLUSÕES

Os exemplos citados neste trabalho mostram claramente a premente necessidade de se investir no monitoramento dessas obras, principalmente quando as condições de fundação são desfavoráveis do ponto de vista topográfico.

Em barragens de terra a regularização e limpeza das fundações e ombreiras são pontos críticos de procedimentos que são executados com um máximo de rigor. No caso de barragens de enrocamento com face de concreto esses procedimentos não são considerados, ou pelo menos, não com o rigor empregado em barragens de terra.

No entanto, resultados de instrumentação têm mostrado a forte influência das condições topográficas das fundações e ombreiras no desempenho estrutural da face de concreto, indicando a necessidade de se levar em consideração no projeto da laje ou recomendando sua regularização.

As barragens de Xingo e TSQ1 são exemplos típicos de problemas que provavelmente não surgiriam caso se procedesse a regularização das ombreiras e fundações que incontestavelmente influenciaram negativamente no desempenho da face de concreto.

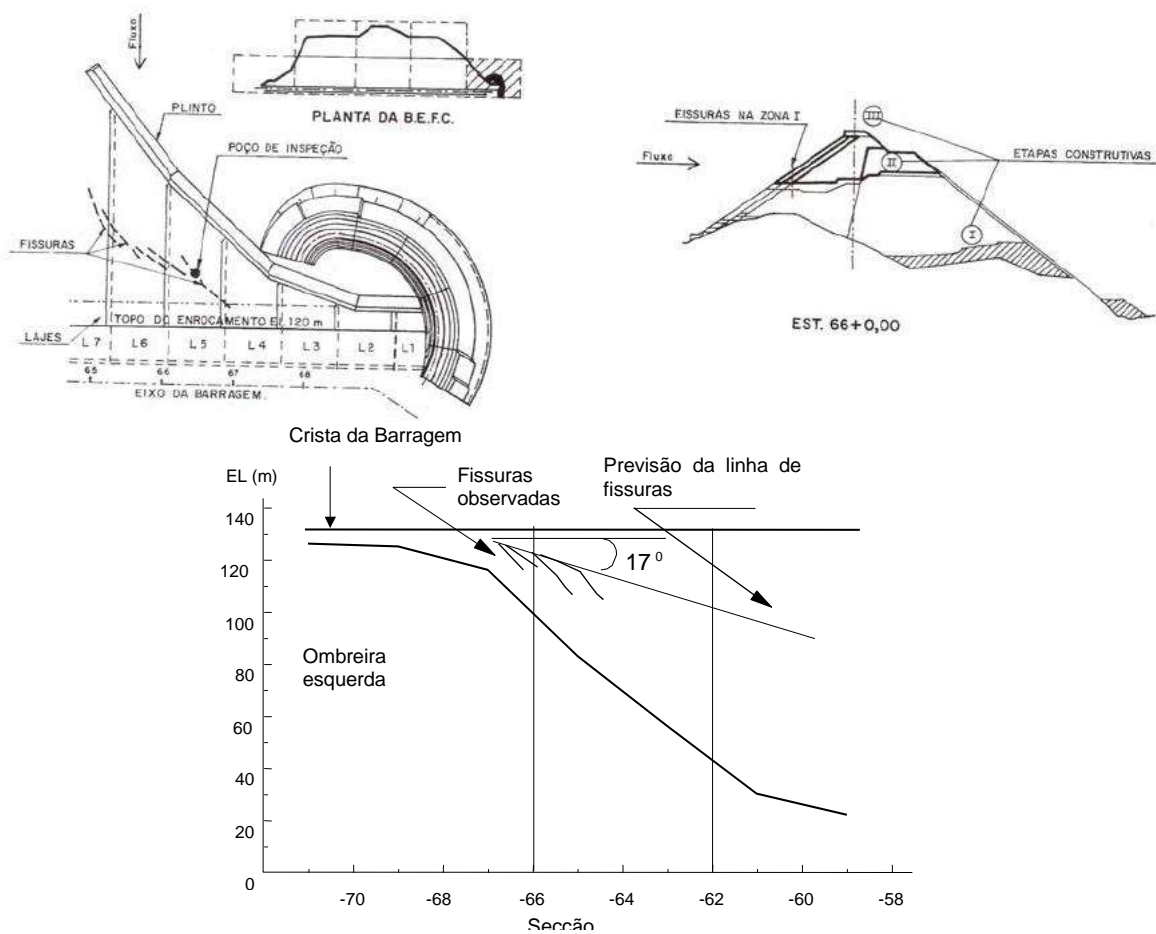


Figura 11 – Padrão das trincas e das linhas de deslocamento horizontal nulo nas secções transversais E66+00 e E62+00

REFERÊNCIAS

- Fitzpatrick, M.D. (1985). “Materials and construction methods for embankment dams and cofferdams”. *International Congress on Large Dams*, 14th ICOLD, Rio de Janeiro, Brazil, 5, 644-645
- Mori, R.T. (1999). “Deformações e trincas em barragens de enrocamento com face de concreto”. *II Simpósio de Barragens de Enrocamento com Face de Concreto*, CBDB, Florianópolis, SC, 27-60
- Saboya, F. (1994). “Análise da Barragem de Xingo Durante o Período de Construção. Relatório Técnico”, Fundação Padre Leonel Franca, PUC-Rio.