

88

Neste mês de abril está fazendo exatamente um ano que foram fechadas as comportas dos túneis de desvio para o enchimento do reservatório da usina hidrelétrica de Foz do Areia, no rio Iguçu, Paraná. Nesse período, foi feito o acompanhamento detalhado sobre o comportamento da barragem, coletando-se dados atualmente em análise por parte da contratante da obra, a Companhia Paranaense de Eletricidade (Copel).

A importância desses estudos é muito grande por ser Foz do Areia a primeira barragem de enrocamento no Brasil estruturada em basalto e com face em concreto a montante, e a maior já concluída no mundo com essa técnica.

Essa experiência será de grande valia em

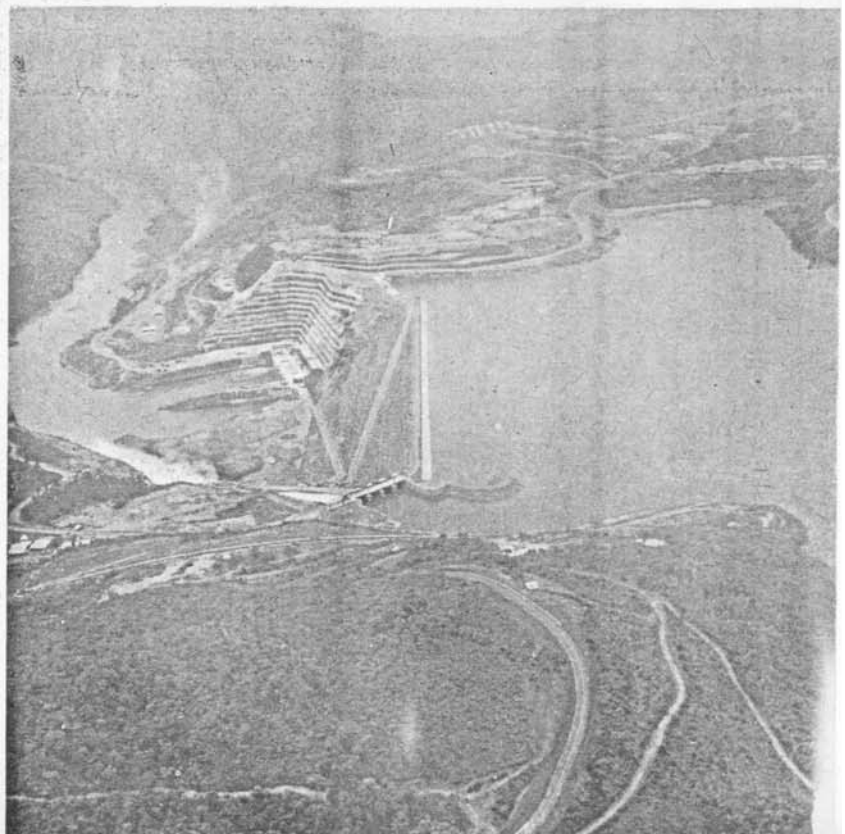
obras futuras, especialmente naquela região do país, pelo conhecimento adquirido quanto ao comportamento do material utilizado no enrocamento, estando já prevista a construção da barragem de Segredo (a jusante de Foz do Areia) e a de Machadinho, no rio Uruguai, pela mesma concepção de enrocamento com face de concreto.

Além disso, a obra trouxe informações totalmente inovadoras, algumas ampliando e contestando as teorias existentes, verificadas durante a fase construtiva e que, adicionadas aos dados coletados no período de um ano, darão condições para a formulação de novas teses, com métodos de cálculos novos que levem em conta essas descobertas.

O F E R E C E  
VICTOR F. B. DE MELLO

# A s lições de Foz do Areia para barragens altas

Foz do Areia é a maior barragem de enrocamento compactado concluída em todo o mundo e que trouxe uma série de informações inovadoras, muitas delas contrariando teorias até hoje aceitas quanto ao comportamento de barragens desse tipo.



Nesse sentido, afirma o engenheiro Victor F. B. de Mello, membro da junta de consultores da obra, um dos principais subprodutos de Foz do Areia, a nível de conhecimento técnico, foi a constatação de que o módulo de elasticidade que funciona na hora do carregamento da água sobre a face de concreto não é o mesmo que durante a construção. Segundo as teorias disponíveis, no momento em que ocorresse o carregamento o comportamento da barragem continuaria dependendo do mesmo módulo e, portanto, aconteceriam deformações muito grandes, fato que não se verificou. Durante a fase construtiva, eram medidos os recalques que ocorriam no interior da barragem em função do acréscimo de peso próprio e assim calculados os módulos de elasticidade (verticais), verificando-se uma tendência de diminuição gradativa desse valor com o aumento da pressão. Desde o início, aliás, o módulo foi inferior ao esperado (e portanto maior o recalque), considerando-se experiência de outras obras semelhantes. Cethana, na Austrália, por exemplo, apresentou módulos de elasticidade da ordem de 1.000 kg/cm<sup>2</sup>, enquanto em Foz do Areia, apesar de se utilizar um

basalto são, denso, de excelente compactação, não se obtiveram desde o começo números médios superiores a 600 kg/cm<sup>2</sup>, chegando a baixar a pouco menos que 300 kg/cm<sup>2</sup>.

Essa variação, em certo grau, era esperada, dependendo da qualidade e granulometria da rocha, mas não tão acentuada numa rocha patentemente sã. A pequena variação anteriormente constatada em barragens de menor altura e/ou com rochas de granulação menos uniforme e esmagável justificava as teorias existentes de módulo de elasticidade constante.

Concomitantemente, tal hipótese trouxe preocupação quanto ao comportamento da laje quando do funcionamento da barragem, na medida em que as teorias existentes diziam que o mesmo módulo final vertical se aplicaria à laje. Assim, se teriam deformações sensíveis, da ordem de 1 a 1,5 m, levando-se em conta que os recalques no meio da barragem chegaram a 3,60 m, o que não aconteceu, alcançando-se o máximo de 70 cm sob carregamento da represa cheia.

A não correspondência de módulos, explica Victor de Mello, é porque a água aplica uma carga em parte transversal e não apenas vertical, não se tendo ainda qual é essa relação. De qualquer forma, como somente se poderia verificar o comportamento da laje na prática, foi-se obrigado a tomar medidas severas de segurança, especialmente a duplicação de tratamentos da vedação das juntas perimetrais, contra abertura de fissuras e vazamentos.

Assim, dois fatos básicos importantes foram verificados em Foz do Areia e que serão de grande valia para obras semelhantes e de dimensões superiores. A hipótese de módulos de compressões verticais relativamente constantes só é válida para pressões baixas em barragens pequenas e, portanto, quanto mais altas as obras mais acentuados serão os problemas de recalques. Por outro lado, essa má notícia felizmente é bastante atenuada para o comportamento da laje, que é o elemento que preocupa, graças a um módulo de elasticidade transversal bem melhor do que o módulo final vertical do maciço.

**Importante lição** — Segundo Victor de Mello, outra importante lição deixada por Foz do Areia foi a de que, ao contrário do que teorias e mesmo práticas diziam, em enrocamento são, as deformações ocorrem imediatamente e essencialmente param, passando a haver apenas compressões adicionais por carregamentos adicionais.

As teses existentes consideravam que depois de uma deformação inicial havia tendência a uma deformação adicional mais lenta, porém contínua, aquilo que

se chama compressão secular ou secundária. Assim, se teriam efeitos de longo prazo e novamente vinha à tona a questão da laje poder sofrer problemas sérios futuros.

Mas, ao mesmo tempo, aplicando-se resultados de estudos matemáticos desenvolvidos na Austrália por E. W. Davis, conseguiu-se justificar que os pontos continuavam a recalcar, apesar de ter sido suspenso o carregamento em cima deles, porque recebiam transmissões de pressão de outros locais onde continuava a haver movimentação de carga.

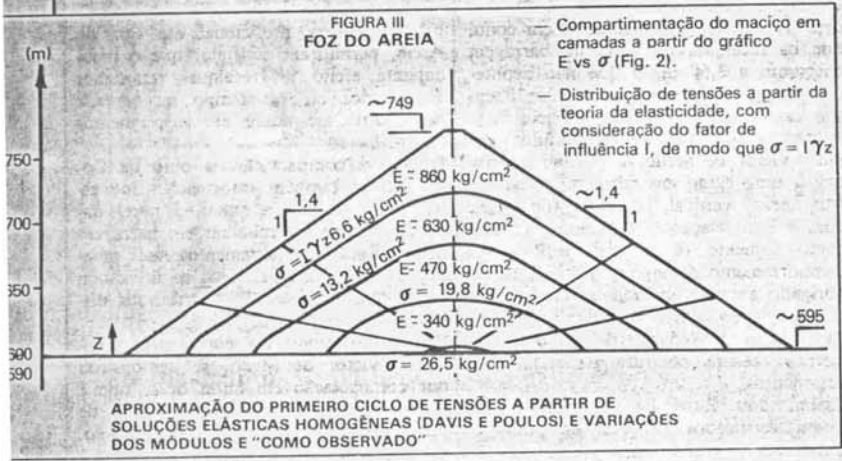
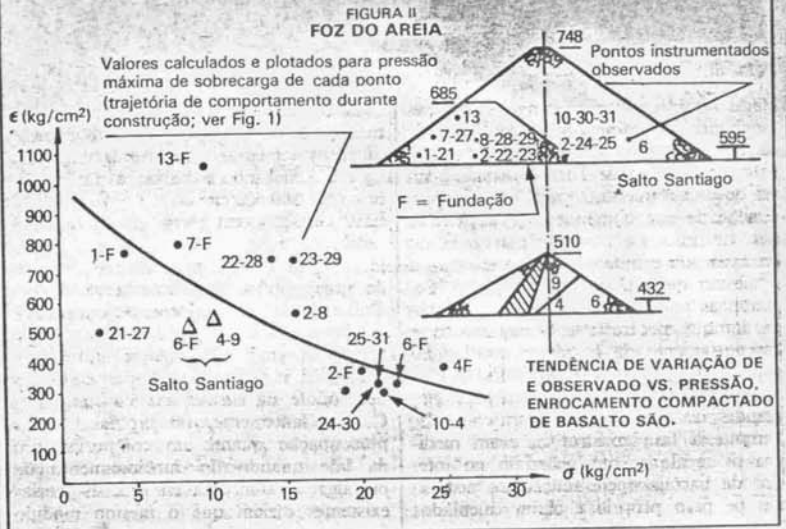
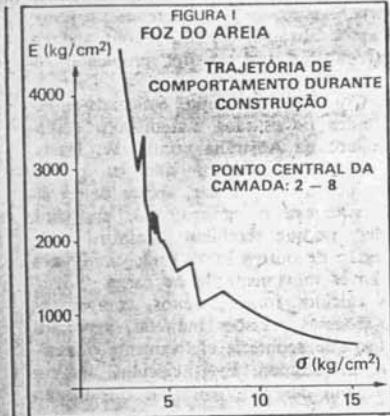
Os cálculos foram refeitos, compensando-se essas pressões indiretas, verificando-se que acontecia efetivamente o recalque instantâneo. Esses cálculos, realizados com base em teoria de transmissão de tensão em meio de maciços elásticos e não meramente por sobrecarga vertical, como era tradicional até Foz do Areia, permitiram constatar que o preocupante efeito de recalques retardados acumulados com o tempo na verdade não existe, ao menos em enrocamentos de rochas sãs.

Quanto à compactação, a obra da Coppel trouxe também informações interessantes, especialmente quanto à necessidade de se ter que trabalhar em barragens mais altas com equipamentos mais pesados do que em Foz, onde se utilizaram rolos vibratórios de 10 t, máximos disponíveis no mercado.

Pela primeira vez em enrocamento, comenta Victor de Mello, se demonstrou que compactação em obras desse tipo é essencialmente a aplicação de energia de pré-compressão, até uma certa pressão. Porém, acima desse ponto o enrocamento não sente as vantagens da compactação, tendo um comportamento muito mais em função do tipo de rocha e de sua fragmentação do que da pressão exercida pelo equipamento.

Quanto maior a carga e energia de compactação, maior a pressão de pré-compactação até a qual se goza do benefício de módulos (verticais) muito maiores e portanto de recalques fortemente atenuados. Assim, para se partir para barragens mais altas haverá necessidade de equipamentos mais pesados a fim de ampliar a faixa de ganho da pré-compressão e com isso limitar o recalque total.

**Marco histórico** — Foz do Areia representa um passo fundamental para a engenharia nacional pela introdução de uma nova tecnologia em barragens de enrocamento, na forma de laje de concreto a montante. Contudo, os dados inovadores lá verificados poderão transformá-la num significativo marco histórico internacional por sua contribuição ao desenvolvimento do debate e co-

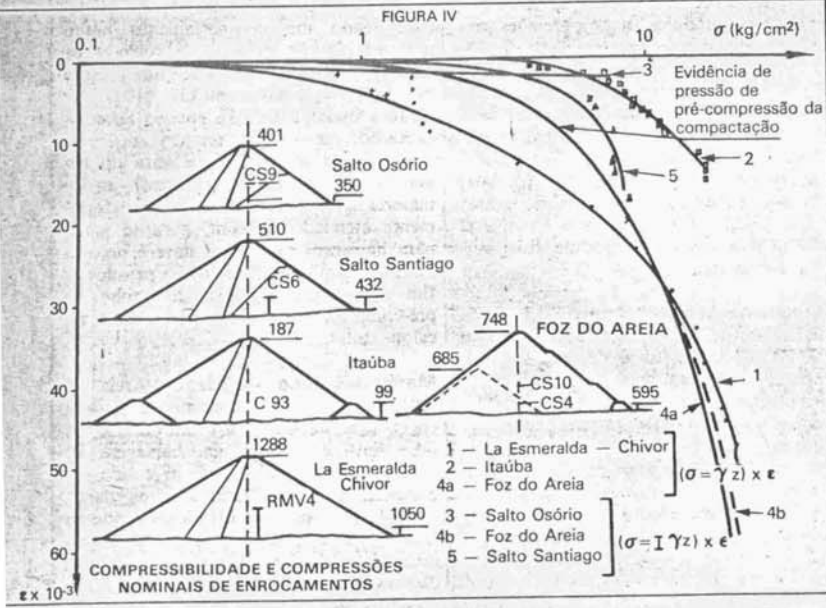


nhcimento sobre o assunto, mediante a formulação de novas teorias. Isto porque, considerando-se a evolução dessas barragens, é o advento da compactação que marca um crescimento técnico mais acentuado dessa solução, permitindo a execução de obras de maior envergadura. Dessa forma, um conhecimento mais acentuado sobre o comportamento em termos de recalques somente poderá levar a um maior sucesso nas execuções.

Há duas etapas bastante distintas na história das barragens de enrocamento. Começaram por volta de 1890, com barragens de garimpeiros, de enrocamento jogado de aterros de ponta, indo até a obra de Paradela (Portugal) em 1955-57, considerada a última grande barragem de enrocamento lançado sem compactação. Furnas foi executada quase que simultaneamente com Paradela, só que compactada em camadas delgadas, técnica inaugurada nesta própria grande barragem, paralelamente a outras de menor porte.

Até então, os esforços na busca de melhor comportamento do enrocamento se resumiram na aplicação de possantes jatos de água para diminuir os recalques, com resultados em geral pouco satisfatórios, na medida em que ajudava a acomodar as pedras por amolecer os pontos de contato, favorecendo o pré-esmagamento: o mesmo esmagamento prosseguia atuando na fase de enchimento da represa e a longo prazo. Em Foz do Areia chegou-se a utilizar jatos de água em um trecho sem se constatar diferenças significativas.

Quanto à face de concreto, os principais desenvolvimentos tecnológicos ocorreram justamente quando se enfrentavam os maiores deformabilidades dos enrocamentos lançados, representando em princípio nada mais que a execução de uma "membrana" suficientemente flexível para não fissurar e se manter estanque.



Com a significativa redução das deformabilidades provida pela compactação dos enrocamentos, pôde-se dizer que não há razão para maiores preocupações quanto a este problema, salvo a esmerada construção exigida.

O emprego de faces impermeabilizantes é técnica já antiga, utilizando-se outros materiais como asfalto, madeira e aço. Hoje, estuda-se a aplicação de material plástico, mas até agora não se obteve um grau de confiabilidade satisfatório da *performance* desses produtos, particularmente a longo prazo.

Como a face de concreto tem predominado nas obras dos últimos anos, grande tem sido sua evolução em termos executivos e de projeto, especialmente na parte referente às juntas, e nestas particularmente as perimetrais, pela tendência de se concentrarem nelas as aberturas de fissura. Novamente, Foz do Areia inovou muito neste aspecto, com tratamentos especiais para prevenção de problemas já previstos em projeto.

O comportamento técnico da barragem de Foz do Areia foi perfeito, lembra Victor de Mello, e disso se tinha plena certeza pelos cuidados em todas as fases da obra.

Assim, esses parâmetros tinham uma utilidade de certa forma restrita, já que, em engenharia, quando a extrapolação é muito grande maior é a margem de erro, tornando-se importantes alguns fenômenos considerados até então sem expressão, o que explica em grande parte algumas surpresas verificadas em Foz do Areia, obrigando a revisões de teorias consagradas.

Paralelamente, ainda havia a preocupação, comum a toda obra inovadora, de que o sucesso fosse total, de forma a não gerar senões e, conseqüentemente, por tradição, ser necessário passar toda uma geração até se superar os traumas deixados quase sempre por quem quis introduzir uma nova tecnologia sem estar suficientemente maduro para absorvê-la e implantá-la.

Por outro lado, afirma Victor de Mello, é necessário estar sempre aberto criteriosamente às inovações, não se criando posições arraigadas. No Brasil, por exemplo, surgiu uma tendência a achar que temos fartura e facilidade de terra e, portanto, o mais fácil e barato é executar barragens de terra, particularmente quando predomina o apoio sobre espesso manto terroso de fundação. Isto vale para várias regiões do país mas não para o Sul, onde existe rocha não muito profunda e um dado adicional, que é um ciclo meteorológico responsável por chuvas em praticamente todo o ano e umidades excessivas, o que torna a execução de barragens de terra de grande altura um trabalho penoso e caro. ●