

# DISPOSITIVOS DE IMPERMEABILIZAÇÃO DE BARRAGENS DE ENROCAMENTO, E APRECIACÃO SIMULTÂNEA DA PROTECÇÃO DOS TALUDES

Impervious elements in rockfill dams, and slope protection considerations

por

VICTOR F. B. DE MELLO\*

**RESUMO** – São apreciados os trabalhos apresentados às Sessões Técnicas do assunto do título no Congresso Internacional de Grandes Barragens, Madrid 1973, e no Seminário Brasileiro de Grandes Barragens, Novembro 1973. Entre as membranas impermeáveis de montante merece atenção especial a de concreto apoiada sobre barragem de enrocamento compactado. Apresenta-se, com referência ao caso da Barragem de Salto Osório, de núcleo argiloso inclinado, um resumo das principais considerações de projecto e de construção perante o emprego de material dos mais argilosos jamais empregados em barragens, temido como muito compressível porém fissurável por deformações significativamente diferenciadas das dos espaldares de enrocamento. Quanto ao núcleo argiloso, discutem-se especificações construtivas, equipamento de terraplenagem, e o controlo de qualidade. Quanto ao problema da secção da barragem, indica-se com referência a análises por elementos finitos, a grande vantagem do núcleo inclinado para montante para evitar que, na tendência a maiores recalques, fique suspenso nos filtros e enrocamentos contíguos, incorrendo em fenómenos de fissuramento por tracção e por fractura hidráulica. Discutem-se as propriedades da resistência à tracção e da flexibilidade das argilas compactadas, salientando-se que argilas de Índice de Plasticidade muito alto não são plásticas na condição compactada. Finalmente discutem-se materiais de filtro e de transição, com vistas à auto-cicatrização de fissuras. Por último, no tocante à protecção do talude de montante resumem-se critérios modernos de cálculo de ondas de vento, e do dimensionamento do empedrado e das transições. Conclue-se com uma súmula de temas para discussão.

**SYNOPSIS** – The report comprises a review of the papers presented at the Technical Sessions on the theme, at the International Congress on Large Dams, Madrid 1973, and the Brazilian Seminar on Large Dams, Novembro, 1973.

---

\* Engenheiro Consultor, Professor Catedrático de Mecânica dos Solos, Fundações e Obras de Terra. São Paulo. GEOTECNICA 14

Among the upstream impervious membranes, the one that merits principal attention is the reinforced concrete slab resting on compacted rockfill.

Regarding the earth-core rockfill dam, the case of the Salto Osório inclined-core dam is used as a basis for discussion of the principal problems of design and construction, because of use of about the most clayey material, anticipated to be very compressible and subject to cracking because of deformations significantly different from those of the rock shells. For the clay core, construction equipment and specifications are discussed, along with inspection testing and interpretation. Regarding the design of the dam section the use of finite element analyses is discussed, demonstrating the significant advantage of the inclined core to avoid hang-up on the less compressible rock shells and potential hydraulic cracking. Properties of tensile resistance and flexibility of compacted clay fill are discussed, it being emphasized that clays of high Plasticity Index are not plastic at compaction water contents. Finally, modern criteria of filter and transition materials are discussed with respect to "washing-through" and "self-healing". Moreover, modern criteria of wind wave calculation and rip-rap design are summarized. In conclusion a summary is drawn up of topics for discussion.

## 1 – INTRODUÇÃO

O tema é muito vasto, e realmente compreende dois assuntos básicos bem distintos, o de *impermeabilização* de Barragens de enrocamento, e o de *protecção de taludes*, que só se reúnem xipofagamente quando a membrana impermeabilizante de montante atende a ambas as funções, de impermeabilização e de protecção do talude de montante.

Para sistematizar a discussão reputo interessante, por motivos diversos de ordem de relevância dos problemas, subordinar a subdivisão do tema aos tópicos sugeridos pelo Relator Geral do mesmo tema no recente Congresso Internacional de Madrid:

### A) *Elemento impermeabilizante*

- 1) Posição: núcleo vertical ou inclinado; membrana superficial. Problemas e soluções.
- 2) Materiais: terrosos; concreto; betuminosos; etc.
- 3) Especificações e equipamentos construtivos. Controle de qualidade.
- 4) Ensaio acelerados de simulação de comportamento, e ensaios-índice; experiência de observação de obras.

### B) *Protecção de taludes*

- 1) Materiais: pedras; solo-cimento; tipos vários de pavimentos.
- 2) Critérios de projecto rip-rap; ventos; ondas; e efeitos erosivos.

### 3) Comportamento observado em obras, custos de manutenção.

São poucos os trabalhos recebidos para este seminário com antecedência que permita o seu emprego como base para a presente exposição. Por outro lado o 11.º Congresso Internacional de Grandes Barragens, Madrid 1973, dedicou a Questão 42 exactamente ao mesmo tema. Assim, cabe aproveitar o ensejo para uma certa comparação da situação brasileira com a do âmbito internacional.

Reunidas as conclusões internacionalmente em foco e da actualidade brasileira, propondo reduzir determinados tópicos da subdivisão acima a uma menção resumida, passando a discutir mais e extensamente apenas os de maior consequência imediata, tem forte preferência a discussão dos núcleos terrosos de barragens de terra-enrocamento; entre os casos de membrana de montante merece atenção imediata o caso da membrana de concreto para barragem de enrocamento; exigem revisão os métodos tradicionais, de dimensionamento de ventos, ondas, e rip-rap; merecerá, por fim atenção especial a investigação do emprego de materiais pedregosos parcialmente intemperizados para protecção de taludes, e o acompanhamento do problema de deterioração e de custos de manutenção.

A discussão sobre alguns dos tópicos da subdivisão geral acima indicada pode ser resumida em torno das seguintes afirmações:

(a.1) As membranas "impermeáveis" passam a ser empregadas predominantemente, ou quase exclusivamente, como membranas superficiais. Não se encontram mais referências ao núcleo de parede de concreto que chegou, em determinada época, a encontrar vários casos de uso: o comportamento diferencial de deformações, e de fissuramentos consequentes, parece ter suprimido o emprego de núcleos de concreto.

Ocorrem ainda, porém, tentativas esparsas de manter viva a ideia agonizante, e isto principalmente na Europa, através de variantes sofisticadas. Por exemplo, nos trabalhos R28, R34, R45, e R47 (França, Áustria, Alemanha) encontra-se referência a núcleos de concreto asfáltico (R45 e R47, verticais), de camada betuminosa (R34, empregando uma pequena inclinação para montante), e, em barragens baixas cuja fundação requeira um diafragma impermeabilizante, a ideia da execução de tal diafragma em concreto (até limites da ordem de 35-40 m) através do aterro da barragem já compactada (R28).

Assim, pode-se dizer que a discussão quanto a vantagens de posicionamento dentro do maciço se restringe a núcleos terrosos, havendo forte preferência por núcleos inclinados para montante. Entre os núcleos de material sintético só merecerá

interesse, em casos especiais, o diafragma vertical de concreto (ou variantes) executado através do maciço e estendendo-se pela fundação permeável.

(a.2) Quanto a “materiais”, julgo que, pondo temporariamente de lado o emprego incontestado de núcleos terrosos, no caso de se passar a considerar, entre nós, o emprego de alguma membrana impermeabilizante de montante, a que merecerá interesse prioritário será a de concreto. Vários são os trabalhos divulgando tal solução (relatórios R3, R4, R9, R31 e R48 principalmente) e sendo ela a de tecnologia menos exigente e mais comprovada, deverá ser a primeira a empregar-se. Três dos relatórios supra (R3, R4, R9) apresentam em detalhes as soluções empregadas na barragem de Cethana, Tasmânia, de cerca de 110 m de altura. Actualmente uma das duas alternativas de projecto em estudo e elaboração para comparações finais na barragem de Salto Santiago é a de enrocamento com membrana de montante de concreto, prevalecendo porém a de terra-enrocamento. Em contraposição, após comparações semelhantes, a barragem de Foz do Areia, também no Rio Iguaçu, com cerca de 160 m de altura máxima, está projectada, e em fase de concorrência para a construção, com membrana de montante de concreto.

As membranas betuminosas (R7, R16, R17, R20, R34, R46, R51, R52) e de materiais diversos menos comuns tal como as de chapa de plástico (R22, R27) etc, deverão, a nosso ver, aguardar outras oportunidades e outro Seminário. (a.3) e (a.4) No tocante a especificações e equipamentos construtivos, para a garantia do bom funcionamento da membrana em cogitação, caberá em primeiro lugar pesquisar toda a bibliografia atinente (ex. relatório R4 no Congresso de Madrid) não só segundo as técnicas actualmente mais acreditadas, mas também no tocante a técnicas empregadas (vide os três Congressos Internacionais anteriores) e gradativamente preteridas. Reputo indispensável, também, contar-se com o apoio de Consultores especificamente experientes, para a importação de uma tecnologia já destilada das dificuldades iniciais inescapáveis.

No tocante a ensaios-índice de deteriorações possíveis, e ensaios acelerados de simulação de ciclos de comportamento, lembra-se a necessidade de aproveitar a experiência internacional, mas sem abrir mão de uma investigação sistemática e intensa de factores que poderão ser peculiares a obras nossas, segundo a geologia, meteorologia, e ecologia local.

(b.1) e (b.3) Quanto a materiais para a protecção de taludes, os materiais pedregosos “sãos”, com as suas transições granulares, continuam a ser empregados com exclusividade entre nós. Cabe porém pesquisar a aplicabilidade de rochas

parcialmente decompostas, documentando tais tentativas com todos os tipos de ensaios visualizáveis, para configurar as deteriorações físicas e mineralógicas. Tratando-se sempre de ensaios-índice, é indispensável padronizar os seus processos afim de se coletar experiência interpretável. Ademais, será indispensável admitir o emprego de materiais menos garantidos, em pequenos trechos das obras, onde os intemperismos sejam mais acentuados e mais facilmente observáveis, e os eventuais danos mais facilmente reparáveis.

Continuam a encontrar-se reiteradas referências ao emprego do solo-cimento em condições técnica e economicamente favoráveis. Entre nós tal alternativa tem sido estudada em alguns casos, mas aparentemente ainda não encontrou uso. (b.2) Com relação a dimensionamentos de rip-rap, depois de quase duas décadas de uma aceitação tácita do assunto como “resolvido”, ocorreu recentemente uma reabertura do tópico em todas as suas facetas, tanto para uma compatibilização conceitual com raciocínios probabilísticos actualmente imperiosos, como para reapreciar projectos perante a constatação de erosões significativas sofridas por algumas barragens (ex. nos EE.UU.) em tempestades recentes.

## 2 – CONSIDERAÇÕES RELATIVAS A BARRAGENS DE TERRA-ENROCAMENTO DE NÚCLEO ESTREITO

Em anos recentes tem-se dado muita atenção a problemas de fissuramento transversal em barragens e fenómenos associados de fracturamento hidráulico e “piping”, bem como a pormenores de projecto e construção, em defesa contra tais eventualidades. Como primeiro passo os problemas eram associados principalmente a recalques diferenciais devidos às fundações, e variações rápidas longitudinais ao longo de ombreiras íngremes foram consideradas inaceitáveis. Breve porém reconheceu-se também que as deformabilidades diferenciais dentro do próprio maciço da barragem podem ser tão importantes ou mais, lembrando-se que dentro do corpo da barragem qualquer elevação é, para todos os efeitos, um plano de fundação com relação a parte superior do mesmo maciço. Assim, analogamente, requisitos severos têm sido impostos a taludes transversais dentro do corpo da barragem quando esta é construída em fases separadas por causa de esquemas de desvio; como qualquer talude transversal de primeira fase funciona como se fosse uma ombreira para a segunda fase, as analogias no raciocínio são óbvias: cabe porém mencionar com ênfase que, de forma inexplicável, o contacto da barragem de terra contra a “ombreira rígida” de concreto que é

representada por uma secção de gravidade contra a qual a terra enconste, não tem sido sujeita a imposições nem de longe tão severas, aparentemente em parte porque constitue uma discontinuidade de campos profissionais de barragistas de concreto e de terra, e em parte porque obviamente a imposição de taludamento eventualmente mais brando, significa uma medida extremamente cara que não pode ser imposta tão levemente.

O problema posto tem sido atacado ao longo de várias avenidas simultaneamente. Condições geológicas e hidrológicas de muitas áreas no Brasil favorecem a acumulação de factores na direcção tal que os problemas acima mencionados sejam focados como especialmente importantes. O Expositor aproveitou o ensejo para resumir a sua apreciação das promessas e problemas associados a algumas destas avenidas, apoiando os seus comentários no trabalho que está sendo realizado em muitos projectos grandes com os quais está associado na qualidade de Consultor. Por simplicidade da discussão se restringirá ao caso de uma barragem terra-enrocamento em zona apoiada sobre fundação firme.

Resume-se a seguir uma tentativa de sistematizar as tendências de pensamento e de trabalho que surgiram em função do reconhecimento dos problemas que têm sido atribuídos à falta de compatibilidade de comportamento tensão-deformação entre as zonas distintas da barragem. Na Fig. 1 apresenta-se uma secção esquemática da barragem de Salto Osório aqui usada para referência fácil.

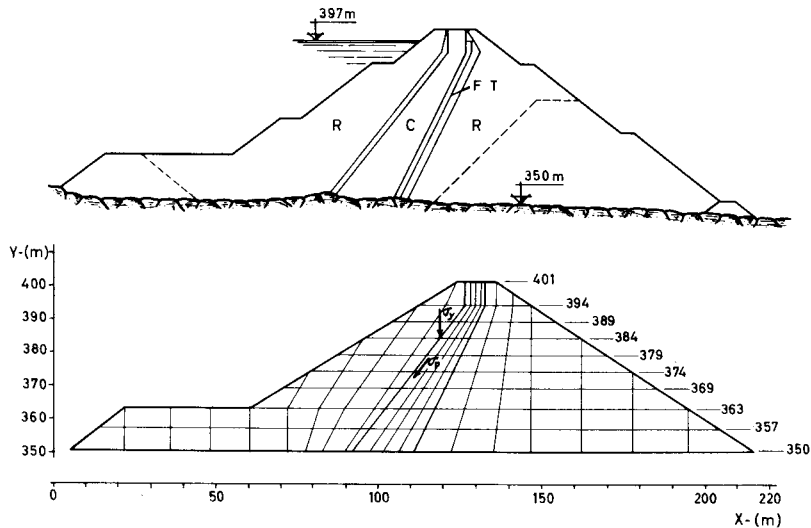


Fig. 1 – Secção simplificada da Barragem de Salto Osório, e malha de análise por elementos finitos

2.1 *Em primeiro lugar ocorre o problema de compressões do núcleo de terra compactado e dos espaldares de rocha sob peso próprio e sob carregamento da represa.*

Os espaldares de enrocamento extremamente deformáveis, de enrocamentos em ponta de aterro, que eram empregados até há cerca de 15 anos foram substituídos por espaldares de enrocamento compactado, às vezes excessivamente: em função de problemas de estabilidade dos taludes cabe reconhecer que seja improvável que a tendência no sentido de uma compactação pesada venha a ser atenuada. Existem porém casos indiscutíveis em que uma atenuação da compactação se recomenda.

Em tais circunstâncias, no que respeita ao núcleo impermeável encontra-se justificação de duas tendências opostas.

Uma a favor do emprego de núcleos moles e plásticos tais como por exemplo o “puddled clay core” com relação ao qual o Expositor não tem comentário especial a fazer salvo o apelo enfático de que dados quantitativos sobre projecto, construção e parâmetros geotécnicos de comportamento de tais núcleos sejam investigados, interpretados e publicados em benefício de uma solução que aparenta ter a mais relevante promessa, se for adequadamente documentada. A outra alternativa, a favor de ênfase adicional na compactação mais pesada e mais meticulosa do núcleo argiloso compactado. A compactação pesada de grandes volumes de materiais argilosos tem sido uma rotina nas nossas grandes obras hidroeléctricas, e recentemente os problemas têm sido acentuados em relação a solos extremamente argilosos das argilas porosas vermelhas provenientes do basalto. Baseado em tal experiência os seguintes comentários são oferecidos em afirmações de primeiro grau de aproximação, obviamente sujeitas a reapreciação em segundo grau de aproximação.

2.1.1 – A tendência logística a favor de equipamento de terraplenagem mais e mais pesado impõe uma necessidade inescapável de esforço compactador cada vez mais pesado afim de garantir a homogeneização, a despeito das compressões irregulares das camadas sob os próprios pneus do equipamento transportador.

2.1.2 – Para a maioria das argilas de humidade óptima de Proctor-Normal ao redor de 30% ou mais, os pesos e as pressões do equipamento de terraplenagem e de compactação actualmente em uso já ultrapassaram a gama realmente desejável; efeitos de super-compactação são produzidos sob a mínima provocação.

2.1.3 – Tais problemas multiplicam-se consideravelmente se as caixas de empréstimos se encontram em humidades acima da óptima. Deve ser dada ênfase à determinação tão correcta quanto possível do desvio de humidade, humidade de compactação menos humidade óptima, por ensaios tais como os de Hilf sem secamente da amostra, e possivelmente com um só re-uso (para representar o facto de que o ensaio de inspecção empregado na barragem realmente encontra o material já compactado uma vez pelo equipamento de campo) para os diversos pontos do ensaio. Embora a maioria dos ensaios de Mecânica dos Solos estejam sujeitos a dispersões de resultados comparativamente maiores, é importante ressaltar que pequenas diferenças nos desvios de humidade podem ser muito significativas no tocante a efeitos colaterais não reflectidos no controlo rotineiro de compactação em função de densidades compactadas. Cabe mencionar como muito promissor o emprego recentemente introduzido de secamentos mediante raios infra-vermelhos, que pela sua rapidez, permitem cogitar-se do abandono dos ensaios tipo Hilf.

2.1.4 – O controlo da humidade de compactação dentro de limites especificados por rotina aparentemente não exclui problemas: o expositor ressaltar que lhe parece ser importante determinar as percentagens de saturação *in situ* dos empréstimos argilosos, na caixa de empréstimo, e adverte quanto à possibilidade de problemas quando se depara com elevados graus de saturação ( $S > 85\%$ ).

2.1.5 – Conforme se demonstra na Fig. 2, o decréscimo da compressibilidade que se consegue por compactações acima de 96% de Proctor Normal é relativamente insignificante. Compactação mais pesada basicamente resulta num valor um pouco maior de “pressão de pré-adensamento da compactação”, com praticamente nenhum efeito sobre o índice de compressão. Na Fig. 3 apresenta-se de uma forma mais realística a demonstração de que o pequeno decréscimo de compressibilidade consequente da pressão virtual de pré-adensamento mais elevada é relativamente insignificante, especialmente em barragens mais altas, e especialmente no que respeita à possibilidade de compatibilização com as compressibilidades dos enrocamentos.

2.1.6 – Em relação ao problema de compressibilidade, obviamente a definição da qualidade de um aterro compactado através da estatística de médias com base nos ensaios de inspecção, constitui sem dúvida nenhuma uma solução satisfatória. Em relação a tal problema, o expositor toma a liberdade de relembra o facto de que a despeito do critério de rejeição que todas as Especificações estabelecem, ocorrem evidentemente um certo número de camadas com graus

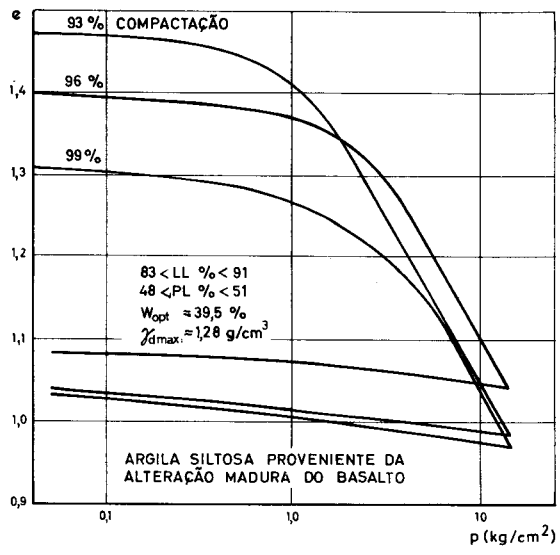


Fig. 2 – Curvas edométricas do núcleo compactado

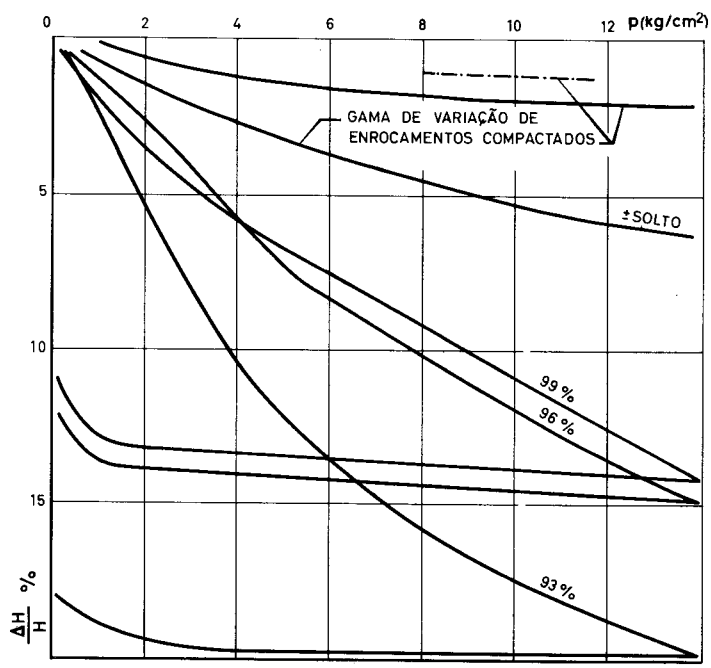


Fig. 3 – Compressibilidades Comparativas de núcleo e espaldares

de compactação inferiores aos mínimos permitidos, e a representação realística da curva de frequência de tais valores passa a ser importante: salienta-se que tal problema já foi apresentado através do trabalho de “True representation of the Quality of a Compacted Embankment”, V. de Mello, Evelyn Souto Silveira e outros, 1959, I Congresso Pan-americano de Mecânica dos Solos, México, Volume II, Pág. 657.

*2.2 – Em segundo lugar, o projecto da secção zonada tem procurado otimizar a posição do núcleo estreito terroso, afim de excluir zonas sujeitas a tensões desfavoravelmente baixas, ou mesmo tensões de tracção, devidas a compressões diferenciais*

A técnica principal empregada para tais estudos de projecto tem sido a de elementos finitos, e a principal solução de projecto disponível tem sido a de inclinar os núcleos estreitos para montante afim de evitar o que se chama “efeito de silo” de contactos essencialmente verticais entre materiais de compressibilidade diferente.

Na Barragem de Salto Osório, (1) empregou-se uma solução baseada nos trabalhos de Kulhawy, Duncan e Seed da Universidade de California, Berkeley, afim de investigar rapidamente as redistribuições de tensões no caso de barragens de terra-enrocamento de maior altura. Cabe ressaltar que soluções desse tipo já têm sido apresentadas a Seminários anteriores, tal como o caso da barragem de Marimbondo em que foi discutido o filtro-chaminé inclinado, e, soluções de mesmo tipo estão actualmente em estudo de projecto nas Barragens de Itaúba, Rio Grande do Sul, e de Salto Santiago, Paraná.

Muitos projectos têm empregado análises de elementos finitos durante os últimos três anos, e as publicações n.º R18, R26, R29, R44 apresentadas à Conferência Internacional de Madrid são exemplos. Curiosamente porém ainda existem tentativas de se prosseguir em estudos analíticos simplificados tais como por exemplo os explícitos e implícitos nos trabalhos R5 e R6 do Congresso de Madrid: a nosso ver, em comparação com a solução potente representada pelas análises de elementos finitos, perde interesse o prosseguimento em estudos do tipo analítico mencionados.

---

(1) Ver referências e reconhecimentos no final do texto.

Os resultados da Barragem de Salto Osório resumidos nas Figs. 4 e 5 compreendem como diferença principal entre o núcleo e os espaldares os Módulos Elásticos Numéricos K de 1.200 para o enrocamento comparados com 80, 50 ou 25 (três valores admitidos) para o núcleo: o carregamento devido ao peso próprio foi considerado em 9 passos, e o carregamento rápido de enchimento da represa em 4 passos adicionais, a pressão da represa sendo considerada como uma pressão neutra de superfície aplicada na face de montante do núcleo (uma hipótese válida para o carregamento muito rápido de enchimento rápido da represa); as características tensão-deformação dos espaldares são consideradas em termos de pressões efectivas enquanto que justificavelmente perante as

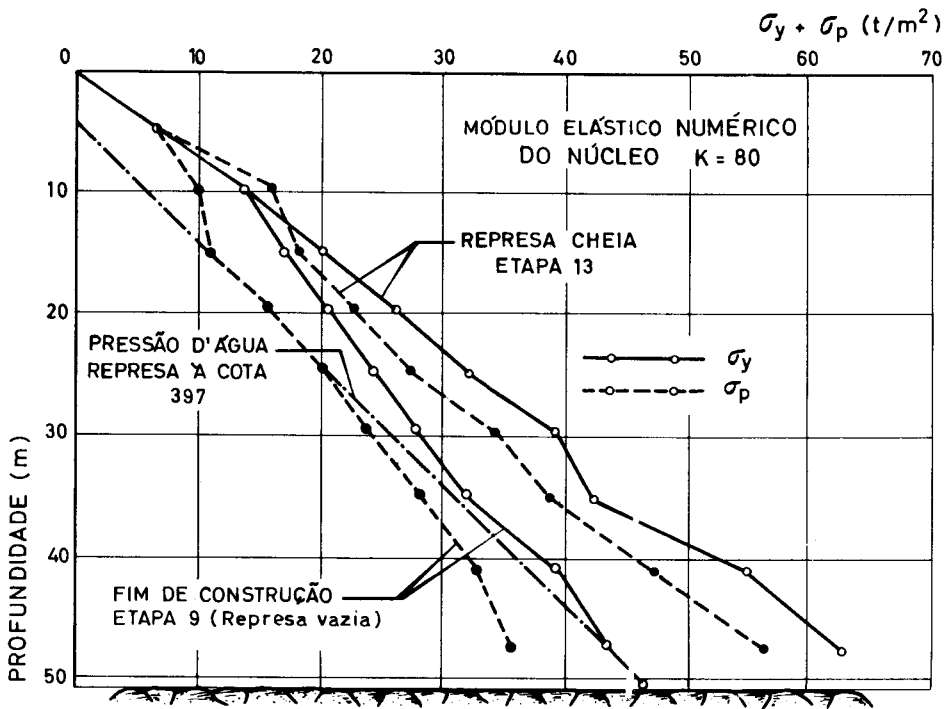


Fig. 4 – Resultado de análise por elementos finitos, núcleo menos compressível

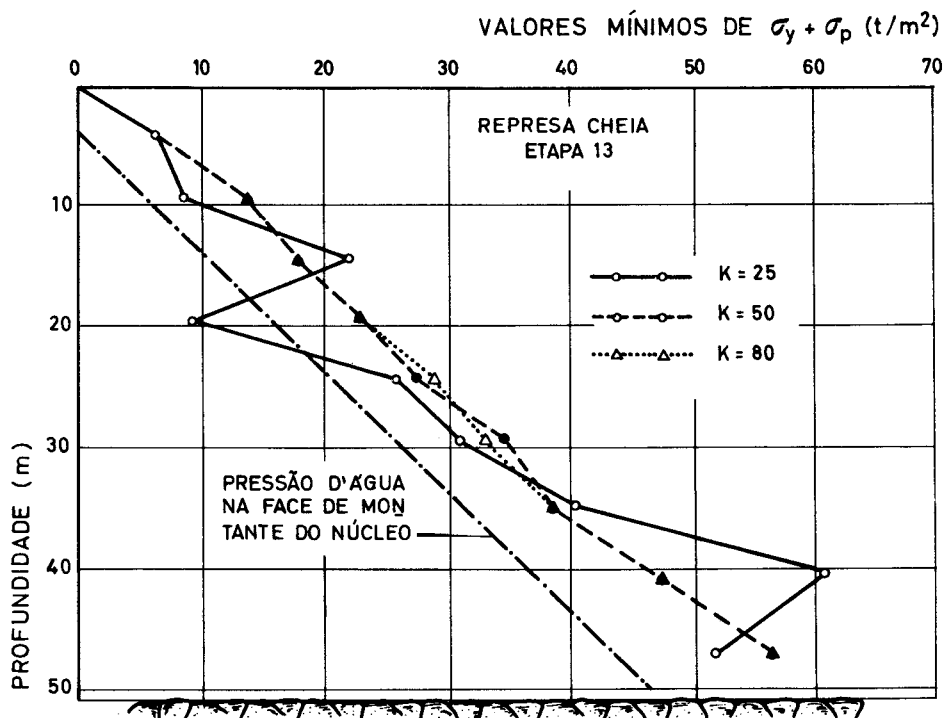


Fig. 5 – Análises por elementos finitos; comparação de compressibilidades do núcleo

hipóteses acima indicadas, as do núcleo foram consideradas em termos de tensões totais; fracturamento hidráulico foi assim postulado como capaz de ocorrer se a pressão devida à represa passasse a ser maior do que a tensão total (seja vertical  $\sigma_y$ , ou seja paralela à face do núcleo  $\sigma_p$ ) ao longo da face de montante do núcleo.

Cabe ressaltar que desenvolvimentos óbvios dos presentes trabalhos têm que ser orientados no sentido de incluir (considerando efeitos um pouco mais lentos) as tensões de percolação como tensões mássicas calculadas em função da rede de percolação, e os efeitos de adensamento que são de grande importância porque as deformabilidades relativas passam a se acentuar enormemente com o decorrer do tempo: é com o tempo e com o adensamento do núcleo argiloso (especialmente se for compactado húmido e mais saturado) que o núcleo

passará a ser mais compressível, e como entretanto as deformações dos espaldares de enrocamento são essencialmente rápidas (em casos onde as tensões elevadas de pontos de contacto grão-a-grão de natureza secundária forem menores) quando as deformações da argila com o tempo passam a ser mais significativas a relação dos Módulos  $E_r/E_c$ , do enrocamento para com o núcleo, aumenta significativamente. Num estudo tem sido proposto considerar-se os efeitos de adensamento através de uma simulação compreendendo uma queda de Módulo  $E_c$  da argila; embora o caso específico tenha admitido uma queda ponderal constante de  $E_c$  para  $\alpha E_c$ , aceita-se que sem dificuldade significativa, quer de programação quer de tempo de computação, será possível introduzir valores diferentes de  $\alpha$  conforme eles variem consideravelmente de ponto a ponto dentro da malha, e em cada ponto de momento a momento durante os incrementos finitos de adensamento.

O expositor antecipa que à medida que tais estudos se desenvolverem, uma consideração extremamente importante poderá passar a ser a da histerese compressão-expansão. Tem sido admitido, normalmente, seja que os módulos de elasticidade nominais em compressão e em tracção são essencialmente equivalentes, seja que a redistribuição de tensões no maciço realmente não implica numa sequência, em tempo, de compressão seguida de expansão, mas sim apenas numa sequência mental de superposições de tensões (e de deformações consequentes) como equivalentes à “exclusão de uma compressão de adensamento” em vez de uma expansão física. Porém, por motivos dos efeitos de tempo na dissipação de sobrepressões neutras, é muito provável que certas zonas dentro do núcleo realmente serão forçadas a expandir e inchar depois de terem sido comprimidas. O Expositor aproveita para ressaltar que tem observado em poços de inspecção abertos em núcleos argilosos muito bem compactados junto a contacto com secção gravidade de concreto, que ocorrem volumes apreciáveis de material expandido até à condição praticamente de uma argila de consistência mole a média, quase em estado de lama às vezes: tais zonas suspeitam-se terem sido sujeitas a tensões de tracção quando a água de percolação proveniente da represa as alcançou, favorecendo assim o seu inchamento. Obviamente em tais casos, uma argila realmente hidrofílica com um índice de expansão não muito diferente do índice de compressão pode ser preferida, afim de evitar fissuramentos, muito embora resultando no inchamento e amolecimento da argila, facto que porém não tem consequência visto que a estabilidade da barragem de terra-enrocamento não depende significativamente da resistência do núcleo.

Em resumo, análises por elementos finitos estão no processo de desenvol-

vimento podendo-se prever que em breve sejam capazes de incorporar todas as modificações de tensões-deformações-tempo, que a história operacional da barragem possa introduzir. Assim, como é lícito prever-se que os desenvolvimentos computacionais serão comparativamente rápidos, a atenção tem que ser deslocada para o sector da investigação concomitante de parâmetros apropriados geotécnicos a serem inseridos em tais análises.

2.3 – *Em terceiro lugar, a investigação da “flexibilidade”, “plasticidade”, deformabilidade sob tensões de tracção, e resistência à tracção de núcleos compactados de argila.*

Dentro desta componente importante do problema geral, o expositor começaria por enfatizar a necessidade em se distinguir entre ensaios e estudos de laboratório, e as condições realmente aplicáveis no campo. Até o presente a atenção tem sido centralizada exclusivamente em ensaios de laboratório, sobre corpos de prova compactados em laboratório. Realmente mereceria interesse a realização de ensaios de laboratório sobre corpos de provas talhados de blocos indeformados provenientes do maciço.

Em tais investigações de laboratório ocorre até o presente uma bifurcação relativamente infeliz dentro da meta básica original e necessária, que era a de se determinar tanto a deformabilidade sob tensões de tracção como a resistência final à tracção. Diversos trabalhos, tais como por exemplo também a publicação R10 apresentada ao Congresso de Madrid, são exemplos de investigações exclusivamente destinadas a pesquisar a resistência à tracção. Pelo menos quatro técnicas diferentes têm sido empregadas para ensaios comparativos sobre resistência à tracção, mas realmente uma preferência nítida deveria ser dada a ensaios tais como os apresentados por Bishop e Garga, empregando o equipamento triaxial, por causa da necessidade de se determinar o Módulo Et à tracção concomitantemente, e pela vantagem de se poder investigar ambos os parâmetros sob diferentes condições controladas de trajectória de tensões, condições de drenagem, saturações etc. A Fig. 6 resume alguns dos resultados de comparações de Módulos de Compressão Ec e de tracção Et sob ensaios rápidos em três solos compactados. Os resultados que indicam Et maior do que Ec parecem razoáveis se assumirmos que as tensões (capilares) enrigecem solos compactados. Tais ensaios rápidos podem ser significativos em relação à apreciação da susceptibilidade ao fissuramento sob um carregamento rápido de subida de nível da represa: porém, os efeitos

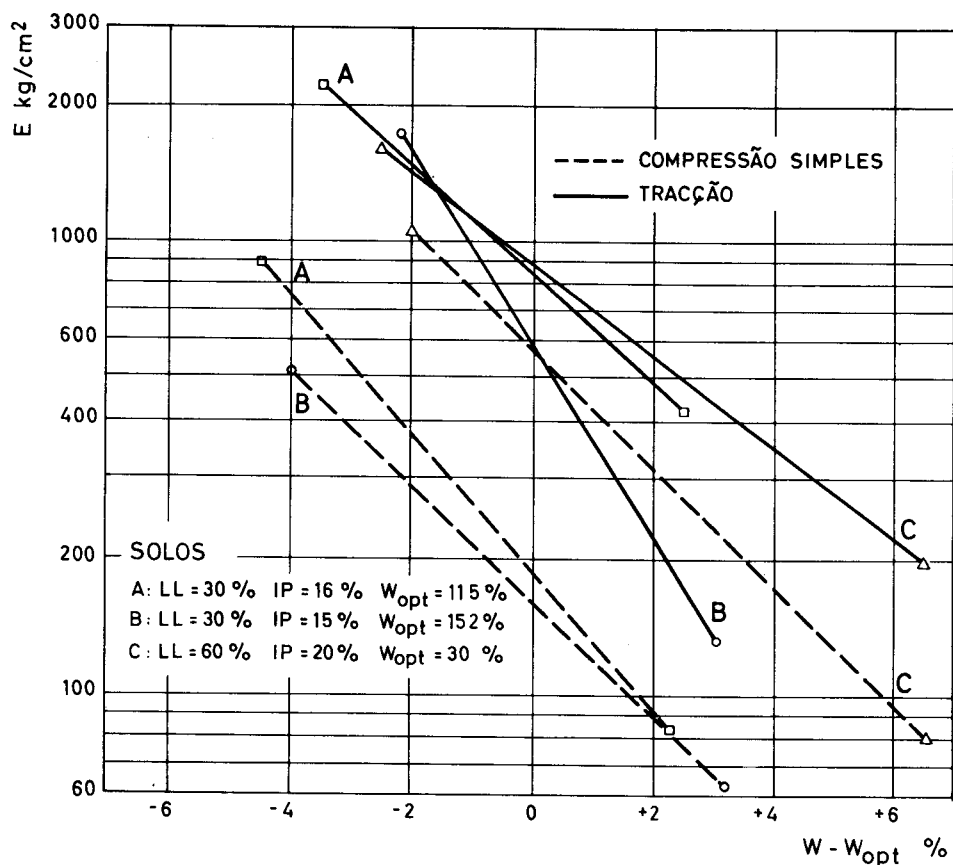


Fig. 6 – Argilas compactadas, comparação de módulos  $E$  de elasticidade em compressão e tracção simples

subsequentes de inchamento vagaroso e de saturação podem ser tão fundamentais como o efeito instantâneo acima postulado.

Num estudo recente, conclui-se que em seis solos de índice de plasticidade  $6 < IP < 25$ , a resistência à tracção em ensaios triaxiais drenados cai a cerca de 50 a 60% em corpos de prova submetidos à saturação por contrapressão, em comparação com corpos de provas compactadas à humidade óptima de Proctor. Têm sido empregados de uma forma indiscriminada um tanto lamentável os termos e conceitos relacionados com as finalidades de “deformabilidades plásticas” afim de evitar fissuramento. Muita da literatura pertinente automaticamente associa

uma maior capacidade (não quantificada) de deformar sem fissuramento, a valores mais altos do valor de I.P. (índice de plasticidade) da Mecânica dos Solos. De facto porém, o valor de I.P. não é mais do que uma medida da gama de variação de teores de humidade dentro da qual um material argiloso exhibe, sob condições atmosféricas de pressão, o comportamento empiricamente definido como “plástico”: nada, absolutamente nada, se estabelece assim em relação a comportamento plastificado sob altas tensões totais, muito embora haja razões de se presumir que os materiais mais argilosos levarão a maiores pressões neutras e portanto a uma plastificação tensão-deformação maior sob altas tensões de compressão. Todavia, sob o mesmo raciocínio não seria lícito concluir-se que no caso de ocorrer uma reversão de tensões para o estado de tracção, o material mais argiloso poderá exhibir tensões neutras negativas mais elevadas, e consequentemente um comportamento mais rígido?

De qualquer forma, o ponto principal é que perde sentido por completo discutir-se a plasticidade potencial de um tipo de solo, quando o que realmente se deseja discutir é a plasticidade do solo conforme compactado. Os Limites de Atterberg, e o consequente índice de plasticidade representam realmente plasticidades potenciais de tipos de solo. Um raciocínio de primeira ordem de grandeza tem sugerido ao expositor há cerca de 12 anos, a conveniência de se plotar valores de humidade óptima de Proctor em comparação com os valores de limite de plasticidade, em todas as investigações de materiais argilosos de empréstimo. Considerando que especificações automaticamente impõem a compactação próxima à humidade óptima de Proctor, automaticamente se verifica se o solo conforme compactado estará acima ou abaixo do limite de plasticidade. A Fig. 7 foi preparada para coligir alguns dos resultados de vários solos residuais argilosos (principalmente granito-gnaisses, arenitos decompostos, quartzo-xistos e basaltos): os resultados poderão parecer surpreendentes e talvez se refiram tão somente a solos argilosos residuais; porém, a conclusão extremamente importante seria a de que somente com solos de  $5 < IP < 22$  é que se teria razoáveis probabilidades de se compactar o material argiloso em teores de humidade acima do Limite de Plasticidade. O facto de que em solos argilosos residuais de alto Índice de Plasticidade a compactação poderá geralmente resultar muito mais seca do que o respectivo Limite de Plasticidade talvez mereça preocupação especial, considerando a hipótese de que tal condição resulte em rigidez acentuadamente maior.

Em relação a estes pensamentos o expositor apresenta dois comentários colaterais. Em primeiro lugar haveria um interesse considerável em maior número

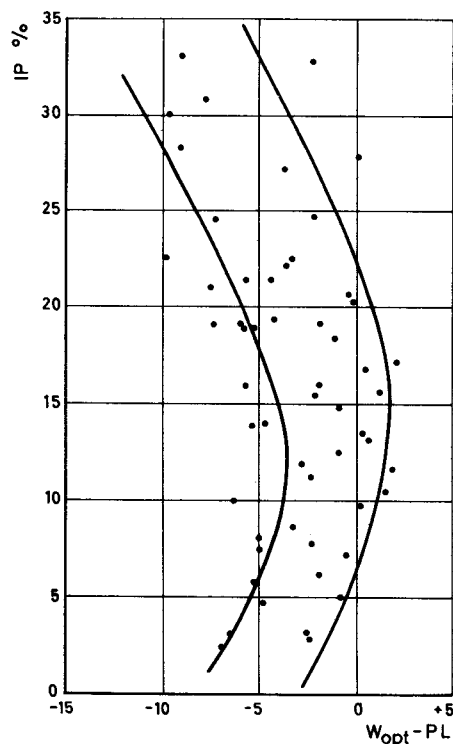


Fig. 7 – Argilas residuais, comparação entre humidades óptimas de compactação Proctor e as humidades respectivas do limite de plasticidade LP.

de dados quantitativos em relação aos benefícios reais procurados e conseguidos com a mistura de bentonita em núcleos argilosos tais como por exemplo mencionado no trabalho R6. Em segundo lugar cabe ressaltar que na opinião do expositor os Limites de Atterberg como definindo plasticidades são realmente uma medida extremamente injustificável perante a maioria dos solos argilosos residuais. Argilas saprolíticas poderão exibir uma elevada potencialidade de plasticidade (depois de serem submetidas à plastificação total por amassamento), tal como é reflectido nos ensaios rotineiros de identificação acima mencionados: porém, em condições *in situ* ou nas condições conforme compactados no campo, tais solos geralmente não se comportam plasticamente. Por exemplo é bem sabido que os próprios valores de Limites de Atterberg destes solos variam inteiramente dependendo de como são amassados e preparados antes do ensaio.

Como exemplo de tais efeitos pode ser mostrado que nas curvas edométricas da Fig. 2, argilas plastificadas de Índice de Plasticidade da mesma ordem de grandeza exibiriam índices de expansão na gama de cerca de 0,15 a 0,30 do respectivo índice de compressão enquanto que as argilas residuais respectivas incham tão pouco que representam um valor de  $C_e$  aproximadamente 5% de  $C_c$ .

A despeito do interesse óbvio em tais estudos de laboratório referentes a variações paramétricas, que são indispensáveis para se fornecer um sentimento do comportamento do núcleo, o expositor adverte quanto à necessidade de se ressaltar, com prudência, contra a confiabilidade na deformabilidade à tracção e na resistência à tracção como um expediente de projecto. Parece-lhe que os estudos de projectos deveriam almejar evitar qualquer esforço de tracção, e que a eventual capacidade do material de resistir a tais tensões de tracções seja considerada meramente como uma reserva de segurança. A razão principal pela qual tal posição deve ser recomendada reside em questões de compactação de campo, e de controlos de compactação.

Em primeiro lugar deve-se enfatizar que na experiência do expositor as argilas de humidade óptima maior do que 30% requerem investigação de campo e decisões sobre equipamento construtivo e especificações muito cuidadosas afim de se alcançar um material realmente coeso e maciço, no solo compactado. Muito frequentemente, em condições de humidades mais secas, que são necessárias (com equipamento actual) para a exigência de maiores percentagens de compactação, a estrutura do solo compactado representa realmente pequenos núcleos argilosos comprimidos a contacto quase granular, mas não plasticamente aderentes uns aos outros numa só massa contínua: em tais materiais frequentemente os ensaios de permeabilidade feitos sobre amostras indeformadas em bloco indicam valores de 100 a 1.000 vezes mais elevados do que os que seriam obtidos em corpos de prova compactados no laboratório.

Também já se tem mencionado repetidamente que em tais casos, se forem executados ensaios de permeabilidade com corantes em blocos indeformados e após algum tempo de percolação o corpo de prova for aberto em tracção, observa-se que o fluxo se deu ao longo dos planos sinuosos preferenciais de contacto entre os núcleos acima mencionados. Em contraposição, se o material argiloso for compactado em condições mais húmidas do que a humidade óptima, há imediata tendência à formação de laminações de sobrecompactação, por motivo das roturas cisalhantes que ocorrem sob as pressões dos pneus do equipamento de terraplenagem etc.

Obviamente como primeiro passo é indispensável que o conjunto de ensaios seja baseado principalmente sobre blocos indeformados extraídos do campo.

O expositor recomendaria, em relação a ensaios para se verificar da susceptibilidade à fractura em tracção, que o ensaio de permeabilidade duplo radial em corpos de prova cilíndricos com um furo concêntrico sejam empregados tais como o são na Mecânica das Rochas, com a percolação dando-se seja de dentro para fora criando um estado de tracção, seja de fora para dentro criando o estado de compressão: tal análise comparativa permitirá uma apreciação muito mais válida da susceptibilidade do material a micro-fissuramentos.

Todavia, o problema principal refere-se à natureza das operações de construção e de inspecção e ao facto de que enquanto a estatística de médias cobre adequadamente os fenómenos de tensões de compressão, pode bem ser que um só plano de descontinuidade venha a absorver uma grande proporção das deformações de tracção que tiverem sido calculadas como desenvolvíveis dentro da massa “homogénea” normalmente postulada em análises de projecto. Tais pensamentos justificam o receio quanto à aceitação de computações de projecto baseadas na confiabilidade em tensões e resistência à tracção.

*2.4 – Em quarto lugar, afim de não deixar de ser completo, menciona-se aqui os estudos de erodibilidade e de carregamento hidráulico, e as recomendações em relação a materiais de filtro-transição, considerados como auto-cicatrizantes.*

Não se encontra até ao presente uma definição apta do termo “material de transição”. Reputa o expositor que o termo deva ser empregado no sentido amplo de transicionar em todos os parâmetros importantes entre o comportamento do núcleo, e o comportamento do enrocamento: portanto, enquanto que o material de “filtro” transicionaria tão somente em relação ao aspecto de carregamento hidráulico físico, o material de transição deve provocar transicionamentos também em relação às deformabilidades, e em relação à capacidade de absorver tais deformabilidades sem fissuramentos, e finalmente em relação à capacidade de fechar tais fissuras se elas ocorrerem, tal como acontece com material granular de curva de granulometria extremamente bem graduada.

Dentro de um raciocínio de Engenharia extremamente válido, uma das medidas de prudência em projecto corresponde a se verificar quanto às defesas disponíveis no caso de que ocorra o problema de fissuramento. De um lado, existe a questão da resistência do núcleo argiloso à erosão interna, e a questão

de “washing-through” de tal argila através dos interstícios do filtro: já foram apresentados vários estudos de tais problemas em Congressos anteriores, mas no presente nada se encontra, e surpreendentemente os trabalhos anteriores tais como por exemplo os de Davidenkoff, Welski, Kjellman, Araken Silveira e outros, não encontraram repercussão ainda na prática profissional. Um dos motivos pelos quais o Expositor não atribue exagerado mérito a alguns dos trabalhos experimentais anteriormente mencionados, é o facto de que os ensaios foram todos feitos sobre corpos de prova compactados em laboratório, facto este extremamente imprudente. Em todos os fenómenos de erosão tais como por exemplo os de cavitação etc, é necessário reconhecer que ensaios significativos devem respeitar a importância de fenómenos de evolução progressiva partindo de um ponto crítico eventual: portanto, devem ser os ensaios baseados sobre corpos de prova de blocos indeformados tirados preferivelmente da própria interface de núcleo-filtro tal como ela é compactada, com todas as irregularidades locais que não foram reproduzidas até hoje nos casos de ensaios laboratoriais mencionados. Por outro lado, o Expositor salienta que até agora não se publicou qualquer tentativa de quantificação das propriedades materiais e de comportamento que sejam associadas como desejáveis num material auto-cicatrizante. Encontra-se reiterada referência ao assunto em relatórios de projecto, mas aparentemente nada se tem feito ainda para sistematizar e justificar as intuições que são associadas com tais recomendações, e não se promoveu até ao presente nenhuma pesquisa laboratorial destinada a comprovar tais indicações preliminares. Este tópico no entender do expositor merecerá a maior atenção de investigação e discussões.

### 3. – REVISÃO DO DIMENSIONAMENTO DE PROTECÇÃO DE MONTANTE, ALTURA LIVRE (“FREEBOARD”, REVANCHE”) E MATERIAIS RESISTENTES AOS EFEITOS EROSIVOS

Diversos trabalhos foram apresentados ao Congresso Internacional (11, R13, R14, R15, R23, R25, R38, R39, R41 e R42), alguns dos quais representando prática profissional de países específicos (ex. R11, África do Sul; R25, Suécia; R38 e R39, Canadá; R41 e R42, Índia). Merecem atenção especial os relatos referentes a grandes obras projectadas por grandes empresas e consultores de actuação internacional (ex. R13, R38, R39 etc...) e os trabalhos que reúnem a experiência específica de entidades tais como o Bureau of Reclamation (R14

“The use of soil-cement for slope protection”) e o Corps of Engineers (R15, “Wave tank studies for the development of criteria for rip-rap”). Cabe ainda assinalar o grande interesse que despertou, no assunto, o relatório Inglês, divulgado com algum atraso e reticência, sob o título “Riprap Protection for slopes subject to wave attack” CERA Research Report 4, Civil Engineering Research Association, 1966.

### 3.1 – *Solo-cimento e comparações com rochas medianamente desagregáveis.*

Em primeiro lugar saliento o grande interesse que terá para nós o emprego de solo-cimento, considerando o grande número de obras de menor porte em regiões de geologia que não favorece a obtenção de rocha (por exemplo, regiões de arenitos, siltitos etc., intemperizados). Julgo dever enfatizar que já cabe em algumas das nossas obras (a) pôr em concorrência de preços, as opções de solo-cimento e de rip-rap-com-transições, para uma comparação adequada; (b) forçar o emprego de solo-cimento em carácter experimental ao longo de trecho mais raso dos extensos diques com que grande número das nossas barragens de terra terminam nas ombreiras.

Em segundo lugar, creio que o exemplo do solo-cimento serve de comprovação de que os requisitos de sanidade correntemente impostos às rochas para rip-rap são positivamente exagerados. O solo-cimento é ensaiado tão somente em Resistência à Compressão Simples,  $R_c$  (A.S.T.M. D-1633), em ciclos de encharcamento-secamento (A.S.T.M. D-559), e em ensaios de gelo-degelo (A.S.T.M. D-560): os critérios de solo-cimento para estradas exigem valor mínimo de  $21 \text{ kg/cm}^2$  de  $R_c$  aos 7 dias, um máximo de 14% de perda no escovamento em ensaio de encharcamento-secamento, e um máximo de 12% de perda no escovamento em ensaio de gelo-degelo. Por prudência em relação a maior risco de desintegração em barragens, principalmente sob gelo-degelo, adoptou-se desde o início, como rotina, empregar cerca de 2% de cimento a mais do que seria exigido no solo-cimento para estrada.

Evidentemente o solo-cimento acima definido é, como material resistente e inalterável sob intemperismo, um produto muitíssimo pior do que qualquer dos produtos pedregosos pouco alterados que têm sido considerados suspeitos e rejeitáveis pelos critérios de sanidade de rocha para rip-rap, que são transcritos de Especificação em Especificação, em função de ensaios Los Angeles e outros, bem como os de desintegração por sulfatos e por etileno glicol.

Sob que aspecto poderia ser justificada a exigência tão incomparavelmente mais severa para os rip-raps do que para o solo-cimento? Por um lado existe o aspecto do tamanho e da densidade da pedra necessária para não ser arrastada. Tal consideração não afecta o problema de uma “laje” coesa de dimensões bem maiores, como é o caso do solo-cimento. Ora, admitindo (conforme observação de obras do U.S.B.R.) que o desgaste em cerca de 10% nos ensaios-índice de encharcamento-secamento e de gelo-degelo, não tenha prejudicado significativamente a integridade física da “laje” de solo-cimento, julgo que bastaria, sob o ponto de vista de tamanho e de densidade da pedra, exigir, por exemplo, uma dimensão inicial um tanto maior, digamos, um diâmetro da ordem de 1,5 vezes do que seria exigido por cálculos para a pedra sã de dimensão imutável com o tempo.

Poderá ser objectado, porém, que o problema do desgaste físico e químico de uma pedra, atacável tridimensionalmente, não é o mesmo que o da desintegração, sob intemperismo aparentemente planar, de uma face de uma placa ou laje. Postulo todavia que embora não idêntico, seguramente não poderá ser desproporcionalmente maior, pois que na face da placa o que realmente impera, é realmente o desgaste diferencial, pelas inescapáveis heterogeneidades de qualidade, na semelhança de fenómenos de cavitação e corrosão. Assim, na falta actual de informações sobre o aumento do efeito deletério em pedras em comparação com a laje, admito que se deva iniciar com uma hipótese prudente de que tal desgaste possa ser da ordem de duas a três vezes maior, mas não 10 a 100 vezes (desproporcionalmente maior).

Submeto que tais argumentações sejam ainda aproveitáveis como primeiro passo: mesmo com uma exigência de  $R_c$  no mínimo da ordem de  $21 \times 3 \approx 70 \text{ kg/cm}^2$  comparado com o solo-cimento, obviamente estaremos em condições de aceitar rochas muitíssimo mais “moles” do que as “sãs” até ao presente exigidas (de  $R_c$  seguramente superiores a 300 a 500  $\text{kg/cm}^2$ ).

Como hipótese, seriam portanto aceitáveis blocos maiores (digamos da ordem de 1,5 vezes o diâmetro) de rochas bem mais “moles”, apenas três vezes mais resistentes do que o “solo-cimento convencional”. Tal hipótese, e variações sobre ela, mereceria experimentação em protótipo. Interessaria mesmo sintetizar blocos de “rochas moles” de diversos teores de cimento-solo, aproveitando ao mesmo tempo para coligir informações sobre o desgaste comparativo de tais “blocos” em comparação com as “lajes” do solo-cimento respectivo.

### 3.2 – Ventos, ondas, onda significativa, revanche.

O primeiro passo para um estudo do problema segundo recomendações modernas será a coleta de registros adequados de ventos fortes e suas direcções e durações. Entre nós tem sido corente admitir que possa ocorrer o vento crítico exactamente ao longo do fetch máximo. Tal hipótese, de pessimismo insofismável embora prudente, impera em parte por motivo da falta de dados, em parte pela ignorância, quer de quais os factores mais condicionantes no problema, quer de qual a verdadeira relevância económica do problema: é comum ignorar-se que os custos de uma barragem de terra compactada, computados puramente em função do custo do maciço terroso compactado, chegam a ser duplicados quando acrescidos dos custos de pormenores internos e externos de protecção (filtros, trnsições, protecções de taludes, etc...).

Proponho que algum jovem engenheiro se disponha a realizar cálculos de protecção de taludes que seriam exigidas em função de gamas de variações admissíveis para cada um dos parâmetros intervenientes mais significativos, assim permitindo às grandes empresas hidroeléctricas avaliar qual a rentabilidade previsível de um investimento em investigação dos ventos a ter em conta em determinados projectos.

O segundo passo é obviamente o da estimativa dos ventos máximos previsíveis de acordo com cotas da represa, estação do ano, e períodos de recorrência. Não se compreende que a despeito do paralelo com o campo consagradíssimo da hidrologia de enchentes, ainda não se tenha rotinizado a adopção de ventos máximos de projecto segundo condicionamentos e períodos de recorrência criteriosos.

A seguir, cabe determinar o “fetch efectivo”. Não haverá necessidade de se pormenorizar o procedimento a adoptar, pois que a publicação de referência para tal fim é minuciosa em tal detalhamento: lamentavelmente há, porém, proveito sábio em se assinalar que a publicação, essencialmente única para o fim e muito bem documentada, (T. Saville *et al.*, “Freeboard allowances for waves in inland reservoirs”, A.S.C.E. Jour Waterways and Harbors Div. May 1962; A.S.C.E. Trans. Vol. 128, 1963, Part IV p. 195) divulgada através da Revista Técnica de maior renome e penetração mundial, ainda encontra grande percentagem (estimo em mais do que 80%) de Escolas, Empresas Projectistas de renome, etc..., até as quais não permeou ao final de 10 anos!

Em resumo, a referência citada orientou-se precipuamente no sentido do

cálculo da altura livre, e não no do dimensionamento da protecção do talude. A primeira parcela da elevação do nível de água é devida à “maré de vento”: considera um fetch efectivo maior, e depende também significativamente da profundidade média da represa no trecho; resulta, porém, geralmente num valor pequeno. A segunda parcela corresponde à determinação das características da “onda significativa”, e de ondas probabilisticamente com 1% ou 2% de frequência (sob vento constante de duração mínima superior à necessária para estabelecer constância de efeitos): a partir da decisão da onda de projecto (ex. a de 1% de frequência), e dependendo da inclinação e rugosidade do talude, resulta a subida da onda talude acima, “wave run-up”, que determina a altura livre, a ser acrescida à altura da maré de vento.

### 3.3 – *Dimensionamento do rip-rap e das transições*

Os trabalhos acima citados do CERA e do CERC (resumido no trabalho R15, mencionado) representam resultados de investigação extensas e meticulosas através de ensaios em modelo.

Não se pode resumir na presente exposição o vasto assunto tratado, com recomendações para projecto. Apenas salientam-se alguns pontos:

(a) As características da onda influem muito na dimensão da pedra necessária à estabilidade. As características da onda podem ser determinadas conforme resumido em 3.2. O CERC empregou ondas monocromáticas, e o CERA também em grande parte; este porém também incluiu ondas policromáticas geradas por ventos, e fornece uma correlação entre limites de estabilidade de rip-rap baseados em ondas uniformes e o caso de ondas de ventos, empregando as estatísticas de Saville.

Assim sugere que para considerações de estabilidade se empregue as características da onda de 1% de frequência;

(b) em cada caso a gama de variação de altura de onda causando dano é bem apertada: tal observação condiz bem com a teorização que demonstra que o peso  $P_{50}$  da pedra mediana está relacionado com  $H^3$ ;

(c) curiosamente em geral são os tamanhos maiores de um dado rip-rap que se movem primeiro, e o seu movimento de balançar acomoda as pedras menores circundantes compactando-as a uma estabilidade maior;

(d) é muito importante a interveniência do imbricamento em aumentar a estabilidade, e cabe ressaltar que face ao desconhecimento das relações modelo-protótipo deste factor, por prudência os investigadores preferiram trabalhar só

rip-rap “solto”. O CERA não registra as densidades alcançadas; o CERC assinala a densidade aparente seca de  $1,68 \text{ t/m}^3$  que é baixa;

(e) a espessura da camada de rip-rap tem uma certa influência sobre a estabilidade, devendo ser no mínimo de  $1,5 D_{50}$  e preferivelmente até cerca de  $(2 \text{ a } 2,5) D_{50}$ ;

(f) finalmente, demonstrou-se a enorme importância de camadas de transição (cumprindo requisitos de filtro) francamente permeáveis. Em casos de permeabilidades menores a estabilidade foi significativamente prejudicada. Face aos problemas de pressões neutras em jogo, o expositor aventa a opinião de que os modelos ensaiados tanto pelo CERC como pelo CERA incorporaram factores nitidamente mais desfavoráveis do que estariam em jogo nos protótipos. Com este factor conjugado com o (d) acima parece que as recomendações para projecto que resultaram dos ensaios citados situam-se indiscutivelmente do lado da segurança.

#### 4 – TEMAS PARA DISCUSSÃO

4.1 – Em barragens de terra-enrocamento de núcleo relativamente estreito  $0,25H < L < 0,5H$  a posição do núcleo inclinado para montante, e de eixo arqueado para montante, é indiscutivelmente preferida sob o ponto de vista técnico. Longe de se dever justificar tais pontos vantajosos, como se a sua introdução fosse a excepção (como tem frequentemente ocorrido até ao presente), caberá ao contrário, justificar a possível dispensa deles quando se puder demonstrar conveniências suficientes para contrabalançar a perda das vantagens genericamente implícitas.

4.2 – Em solos argilosos residuais os Limites de Atterberg convencionais não servem para representar o comportamento “plástico, não-fissurável” de maciços e/ou núcleos compactados segundo especificações e equipamentos construtivos correntes, orientados no sentido da compactação tipo Proctor.

4.3 – Em solos argilosos de  $\text{hot} > 25\%$  passa a ser necessário restringir os pesos e as pressões de quaisquer equipamentos construtivos que trafeguem sobre o maciço. Interessa investigar os Graus de Saturação *in situ* no empréstimo, com acautelamento se  $S > 85\%$ .

No caso de núcleos de barragens de enrocamento, merecerá interesse especial a colocação de materiais argilosos em condição plastificada, húmida, mesmo que a graus de compactação significativamente inferiores aos actualmente correntes ( $GC \approx 95\%$ ).

4.4 – É necessário definir um tanto mais específica e quantitativamente os requisitos associados a materiais denominados “de transição”, e desenvolver ensaios adequados para tais quantificações, de estudos pré-projecto, e de controlo de construção.

4.5 – Cabe reconhecer com convicção a frequente desnecessidade e mesmo nocividade de compactações exageradas nos materiais granulares (filtros, transições, e enrocamentos) passando a especificar compactações de tais materiais em condições diversas afim de atender a requisitos de projecto, e não automaticamente segundo as exigências máximas disponíveis e figuradas em outras obras.

4.6 – Análises por elementos finitos criteriosamente orientadas e interpretadas fornecem os meios para se ajuizar dos efeitos favoráveis ou desfavoráveis que resultem de posicionamentos distintos das zonas de barragens, e de diferenciações significativas em seus comportamentos tensão-deformação-tempo.

4.7 – No tocante a observações do comportamento das nossas barragens já está em tempo de se afastar como de interesse secundário a preocupação por sobrepressões neutras de período construtivo. O que passa a interessar é a observação de pressões totais, particularmente em posições especiais a serem definidas por análises de elementos finitos.

Redobra-se o interesse em observações de pressões neutras de período operacional (redes de percolação, percolações preferenciais, etc...).

4.8 – A revisão de métodos antiquados de dimensionamento de rip-rap (em função de ventos, fetch, e ondas), passando a empregar raciocínios probabilísticos e critérios de aceitação de pequenos riscos calculados, já constitui uma imposição para currículos escolares e serviços profissionais de rotina.

4.9 – Cabe pesquisar através de ensaios-índice diversos a possibilidade de emprego de materiais pedregosos pouco a medianamente alterados. Recomenda-se empregar predominantemente os ensaios-índice em uso internacionalmente. O que não implica, porém, na adopção das recomendações estrangeiras quanto aos valores de resultados de tais ensaios-índice que serão considerados aceitáveis, ou não. Tais fronteiras entre qualidades aceitáveis e não, deverão ser estudadas e fixadas por nossas grandes obras em função da observação do comportamento de trechos experimentais no protótipo.

4.10 – Reputo interessante, técnica e economicamente, dotar umas duas a três das nossas maiores represas, de estações para o registro automático de ventos e ondas em gráficos adequados.

Em trechos favoravelmente situados das barragens ou ombreiras de tais represas deverão ser executados tratamentos de protecção superficial diversos, em carácter experimental, para observação de campo. Deverão ser documentados factores de custo de execução e de despesas de manutenção subsequente. Ao fim de uma dezena de anos os resultados das observações deverão ser interpretados e comparados, para divulgação num Seminário de Grandes Barragens.

## 5 – TRABALHOS APRESENTADOS

Foram dois os trabalhos recebidos para discussão na Sessão Técnica do presente tema:

1) “Usina de Porto Colômbia: Protecção do talude montante da barragem de terra com enrocamento de basalto vesicular”, Adolfo Szpilman.

As escavações obrigatórias para apoio das estruturas de concreto forneceram volumes significativos de basalto vesicular, ensejando assim a necessidade de uma investigação quanto ao emprego deste material, em suas condições menos e mais alteradas. São relatados resumidamente a sequência de ensaios (ciclagem secamento-molhagem, absorção, mineralógicos por difracção de Raios X, etileno-glicol, lixiviação em aparelho Soxhlet, abrasão Los Angeles antes e depois da lixiviação), e a observação do comportamento nas pilhas de estoque por um ano, como bases para a aceitação da pedra para o rip-rap.

O trabalho representa uma iniciativa das mais interessantes, dirigida exactamente no sentido que o presente relato enfaticamente recomenda.

Cabe, porém, solicitar do Autor que complemente a apresentação com desenhos, tabelas e gráficos (a) referentes aos ensaios realizados e seus resultados, inclusive, por exemplo, as curvas granulométricas das pedras antes e depois de cada ensaio, etc... (b) referentes a comparações de tais resultados com os de outras rochas aceites convencionalmente como adequadas (c) referentes aos agentes físicos de desgaste (fetch, ventos, ondas, temperaturas máximas e mínimas etc...) que influem no problema.

Parece ao expositor que as Figuras apresentadas não se referem especificamente ao tema e texto do trabalho, e, por outro lado, por elas figurarem

(ex. Figs. 3 e 4) pormenores de projecto não discutidos nem justificados (ex., drenagens internas etc...) podem abrir campo a interpretações descabidas sobre assuntos atinentes a temas de outra Sessão (Tema II).

2) “A Construção de Barragens de Cortina na Espanha”, Carlos D. Topete e José M. Peironcely.

Parece ao expositor que o trabalho apresentado e suas figuras referentes ao emprego da Cortina Asfáltica, confirmaria a impressão pessoal de que o projecto e a construção de tal cortina compreende um desenvolvimento relativamente sofisticado que correria riscos de insucessos se não fossem confiados a equipa de experiência comprovada.

Assim, pareceria ao Expositor que para a introdução de tal modalidade de barragem no País, haveria interesse em se executar a primeira obra sob um contrato de tipo “turn-key” com responsabilidade integral de projecto, fornecimento, inspecção, construção, e comprovação operacional da Cortina Asfáltica pela Empresa proponente escolhida.

Cabe indagar dos autores se discordam da sugestão do Expositor, de que a Cortina de Concreto teria preferência sobre as demais. No tocante à mencionada vantagem de maior “flexibilidade” da cortina asfáltica, interessaria quantificar tais indicações, especificando o ensaio de referência para tal fim e os resultados comumente almejados em comparação com as deformabilidades do protótipo. Em particular, interessaria comparar tais atributos de flexibilidade desejada, com as deformações previstas e observadas do enrocamento: parece ao Expositor que com enrocamentos compactados que deformam menos do que 0,3% da altura da barragem, a capacidade de deformação da cortina de concreto sem fissurar pode ser aceite como comprovada. Interessaria, finalmente, conhecer-se o aspecto económico pelo qual terá resultado na Espanha a referida preferência por Cortinas Asfálticas ao invés das de concreto.

## 6. – AGRADECIMENTO

O Expositor cumpre o grato dever de reconhecer as fontes diversas, de publicações e de serviços profissionais, das quais extraiu dados para a presente exposição. Agradece em particular o apoio contínuo da ELECTROSUL, COPEL, CEMIG, CESP, DAEE (S.P.) e CEEE, visto que grande parte do teor do presente relato decorre de serviços profissionais de consultoria para eles realizados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- a) - KULHAWY, DUNCAN, SEED - "Finite Element Analyses of Stresses and Movements in Enbankments during Construction" Nov. 1969. Berkeley, Report No. TE-69-4; also Duncan, unpublished Aug. 197 report on Salto Osorio Dam, for COPEL-ELETROSUL.
- b) - SOUTO SILVEIRA, E. B. e ZAGOTTIS, D. L. - "Elementos finitos em Barragens de Terra Construção por etapas e simulação do adensamento. Seminário Grandes Barragens, S. Paulo, Nov. 1972.
- c) - NOGUEIRA, J. B. - "Estudo Experimental do Carreamento em Filtros de Protecção" São Carlos 1972, Tese Doutorado, U.S.P.
- d) - MELLO, F. B. - "Thoughts on soil engineering applicable to residual soils" Southeast Asian COSOMEF, Hong-Kong, Nov. 1972.
- e) - GAIOTO, N. - "Análise Comparativa entre alguns métodos de ensaio de tracção de solos compactados" São Carlos 1972. Tese U.S.P.
- f) - CRUZ, P. e MELLIOS, G. - "Notas sobre a resistência à tracção de alguns solos compactados". Seminário Grandes Barragens, São Paulo, 1972.