

Dispositivos de impermeabilização de taludes de Barragens de Terra-enrocamento.

Expositor: Victor F.B. de Mello

O tema é realmente muito vasto, realmente compreende dois assuntos básicos bem distintos, o de impermeabilização de Barragens de enrocamento, e o de proteção de taludes, que só se reúnem xipofagamente quando a membrana impermeabilizante de montante atende a ambas as funções, de impermeabilização e de proteção 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: terrósos; 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) Proteção de taludes

- 1) Materiais: pedras; solo-cimento; tipos vários de pavimentos.
- 2) Critérios de projeto 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 11º Congresso Internacional de Grandes Barragens. Madrid ... 1973, dedicou a Questão 42 a exatamente o mesmo tema. Assim, cabe aproveitar o ensejo para uma certa comparação da situação Brasileira com a do âmbito Internacional.

Reunido as conclusões enfoque internacional e nessa apreciação da atualidade Brasileira, propondo minguar determinados tópicos de 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 e investigação do emprego de materiais pedregosos paralelamente interpenetrados para proteção,

taludes, e o acompanhamento do problema de deterioração e de custos de manutenção.

A discussão sobre alguns dos tópicos da subdivisão geral acima 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 idéia agonizante, e isto principalmente na Europa, através de variantes sofisticadas. Por exemplo, nos trabalhos R28, R34, R45, e R47 (França, Austria, 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 idéia da execução de tal diafragma em concreto (até limites da ordem de 35-40 m) através do atérro 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. Atualmente uma das duas alternativas de projeto em estudo e elaboração para comparações finais na barragem de Salto Santiago é a de enrocamento com membrana de montante de concreto.

As membranas betuminosas (R7, R16, R17, R20, R34, R46, R51, R52) e de materiais diversos mais incomuns 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 atualmente 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 da experiência internacional, mas sem abrir mão de uma investigação sistemática e intensa de fatores que poderão ser peculiares a nossas obras, segundo a geologia, meteorologia, e ecologia local.

(b.1) e (b.3) Quanto a materiais para a proteção de taludes, os materiais pedregosos "sãos", com 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 emprêgo 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 emprêgo 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 atualmente imperiosos, como para reapreciar projetos perante a constatação de erosões significativas sofridas por algumas barragens (ex. nos EE.UU.) em tempestades recentes.

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 fenômenos associados de fraturamento hidráulico e "Piping", bem como a pormenores de projeto 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 po-

dem 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, análogamente, 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 fôsse 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 encoste, não tem sido sujeita a imposições nem de longe tão severas, aparentemente em parte porque constitui 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 acima tem sido atacado ao longo de várias avenidas simultaneamente. Condições geológicas e hidrológicas de muitas áreas no Brasil favorecem a acumulação de fatores na direção tal que os problemas acima mencionados se enfoquem como especialmente importantes. O Expositor aproveitou o ensejo para resumir sua apreciação das promessas e problemas associados a algumas destas avenidas, apoiando seus comentários no trabalho que está sendo realizado em muitos projetos grandes com os quais está associado na qualidade de Consultor. Por simplicidade da discussão se restringirá ao caso de uma barragem terra-enrocamento zonada 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 tem sido atribuídos a falta de compatibilidade de comportamento tensão-deformação entre as zonas distintas da barragem. Na Figura nº 1 apresenta-se uma secção esquemática da barragem de Salto Osório aqui usada para referência fácil.

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 atérro 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 tange ao núcleo impermeável encontra-se justificação de duas tendências opostas.

Uma a favor do emprêgo 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 apêlo enfático de que dados quantitativos sôbre projeto, 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 em nossas grandes obras hidrelétricas, e recentemente os problemas têm sido acentuados com 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 umidade ótima de Proctor-Normal ao redor de 30% ou mais, os pesos e as pressões do equipamento de terraplenagem e de compactação atualmente em uso já ultrapassaram a gama realmente desejável; efeitos de super-compactação são produzidos sob a mínima provocação.
- 2.1.3 Tais problemas se multiplicam consideravelmente se as caixas de empréstimos se encontram em umidades acima da ótima. Ênfase deve ser dada à determinação tão correta quanto possível do desvio de umidade, umidade de compactação menos umidade ótima, por ensaios tais como os de Hilf sem secamento da amostra, e possivelmente com um só reuso (para representar o fato de que o ensaio de inspeção 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 estão sujeitos a dispersões de resultados comparativamente maiores, é importante ressaltar que pequenas diferenças nos desvios de umidade podem ser muito significativas no tocante a efeitos colaterais não refletidos no contrôle rotineiro de compactação em função de densidades compactadas. Cabe mencionar como muito promissor o emprêgo recentemente introduzido de secamentos mediante

raios infra-vermelhos, que por sua rapidez, permitem cogitar-se do abandono dos ensaios tipo Hilf.

- 2.1.4 O contróle da unidade de compactação dentro de limites especificados por rotina aparentemente não exclui problemas: o Expositor ressalta que lhe parece ser importante determinar as porcentagens de saturação in situ dos empréstimos argilosos, na caixa de empréstimo, e adverte quanto a possibilidade de problemas quando se depara com elevados graus de saturação ($S > 85\%$).
- 2.1.5 Conforme se demonstra na Figura nº 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 Figura 3 apresenta-se de uma forma mais realística a demonstração de que o pequeno decréscimo de compressibilidade consequente da pressão virtual de preadensamento mais elevada é relativamente insignificante, especialmente em barragens mais altas, e especialmente no que tange a possibilidade de compatibilização com as compressibilidades dos enrocamentos.
- 2.1.6 Com relação ao problema de compressibilidade, obviamente a definição da qualidade de um atêrro compactado através da estatística de médias com base nos ensaios de inspeção, constitui sem dúvida nenhuma uma solução satisfatória. Com relação a tal problema, o Expositor toma a liberdade de lembrar o fato de que a despeito do critério de rejeição que todas as Especificações estabelecem, ocorrem evidentemente um certo número de camadas com graus 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 Mell Evelyn Souto Silveira e outros, 1959, I Congresso Panamericano de Mecânica dos Solos, México, Volume II, Pág. 657.

- 2.2 Em segundo lugar, o projeto 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 tração, devidas a compressões diferenciais.

A técnica principal empregada para tais estudos de projeto tem sido a de Elementos Finitos, e a principal solução de

projeto 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 tem 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 atualmente em estudo de projeto nas Barragens de Itaúba, Rio Grande do Sul, e de Salto Santiago, Paraná.

Muitos projetos tem empregado análises de Elementos Finitos durante os últimos três anos, e as publicações nº 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.

Os resultados da Barragem de Salto Osório resumidos nas Figuras 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 póso 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 efetivas enquanto que justificavelmente perante as hipóteses acima, as do núcleo foram consideradas em termos de tensões totais; fraturamento 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 σ_y , ou seja paralela a face do núcleo σ_p) ao longo da face de montante do núcleo.

Cabe ressaltar que desenvolvimentos óbvios dos presentes trabalhos tem que ser orientados no sentido de incluir (considerando efeitos um pouco mais lentos) as tensões de percolação como tensões mássicas calculadas em função da

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

rôde 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 úmido e mais saturado) é 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 do Módulo 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 E_r/E_c , aceita-se que sem dificuldade significativa quer de programação quer de tempo de computação, será possível introduzir valores diferentes de E_r/E_c conforme eles variarem 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 tração 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 motivo dos efeitos de tempo na dissipação de sobrepensões 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 inspeção abertos em núcleos argilosos muito bem compactados junto a contacto com secção gravidade de concreto, que ocorrem volumes apreciáveis de material expandido até a 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 tração 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, fato 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 desenvolvimento 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 setor 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 tração, e resistência à tração 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 tração como a resistência final à tração. 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 tração. Pelo menos quatro técnicas diferentes têm sido empregadas para ensaios comparativos sobre resistência à tração, 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 tração concomitantemente, e pela vantagem de se poder investigar ambos os parâmetros sob diferentes condições controladas de trajetória de tensões, condições de drenagem, saturações etc. A Figura 6 resume alguns dos resultados de comparações de Módulos de Compressão Ec e de tração 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 com relação à apreciação da suscetibilidade ao fissuramento sob um carregamento rápido de subida de nível da represa: porém, os efeitos 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 tração em ensaios triaxiais drenados cai a cêrc. de 50 a 60% em corpos de prova submetidos à saturação por contrapressão, em comparação com corpos de provas compactadas à unidade ótima 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 fato porém, o valor de I.P. não é mais do que uma medida da gama de variação de teores de umidade dentro da qual um material argiloso exhibe, sob condições atmosféricas de pressão, o comportamento empiricamente definido como "plástico": nada, absolutamente nada, se estabelece assim com 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 tração, 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 cêrc. de 12 anos, a conveniência de se plotar valores de unidade ótima de Proctor em comparação com os valores de limite de plasticidade, em tôdas as investigações de materiais argilosos de empréstimo. Considerando que especificações automaticamente impõem a compactação próxima à unidade ótima de Proctor, automaticamente se verifica se o solo conforme compactado estará acima ou abaixo do limite de plasticidade. A figura 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 umidade acima do Limite de Plasticidade. O fato de que em solos argilosos residuais de alto Índice de Plasticidade a compactação poderá geralmente resultar muito mais seca do que o respectivo Índice de Plasticidade talvez mereça preocupação especial, considerando a hipótese de que tal condição resulte em rigidez acentuadamente maior.

Com relação a estes pensamentos o Expositor apresenta dois comentários colaterais. Em primeiro lugar haveria um interesse considerável em maior número de dados quantitativos com 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 refletido nos ensaios rotineiros de identificação acima mencionados; porém, em condições in situ ou nas condições conforme compactação no campo, tais solos geralmente não se comportam plásticamente. Por exemplo é bem sabido que os próprios valores de Limites de Atterberg destes solos variam inteiramente dependendo de como são amassados e parados antes do ensaio. Como exemplo de tais efeitos pode ser mostrado que nas curvas edométricas da Figura 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_c 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 resguardar, com prudência, contra a confiabilidade na deformabilidade à tração e na resistência à tração como um expediente de projeto. Parece-lhe que os estudos de projeto deveriam almejar evitar qualquer esforço de tração, e que a eventual capacidade do material de resistir a tais tensões de trações 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 controles de compactação.

Em primeiro lugar deve-se enfatizar que na experiência do Expositor as argilas de umidade ótima 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 umidade mais secas, que são necessárias (com equipamento atual) para a exigência de maiores porcentagens de compactação, a estrutura do solo compactado representa realmente pequenos núcleos argilosos comprimidos a contacto quase granular, mas não plásticamente 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 tração, 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 úmidas do que a umidade ótima, há imediata tendência à formação de laminações de sobrecompactação, por motivo das rupturas cisalhantes que ocorrem sob as pressões dos pneus do equipamento de terraplanagem etc.

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

O Expositor recomendaria, com relação a ensaios para se verificar a suscetibilidade à fratura em tração, 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 tração, seja de fora para dentro criando o estado de compressão: tal análise comparativa permitirá uma apreciação muito mais válida da suscetibilidade do material a micro-fissuramentos.

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

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 com relação a materiais de filtro-transição, considerados como auto-cicatrizantes.

Não se encontra até o presente uma definição apta do termo "material de transição". Reputa o Expositor que o termo deve 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 com 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 projeto 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 à questão do "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 Arakon 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 fato de que os ensaios todos foram feitos sobre corpos de prova compactados em laboratório, fato este extremamente imprudente. Em todos os fenômenos de erosões tais como por exemplo os de cavitação etc, é necessário reconhecer que ensaios significativos devem respeitar a importância de fenômenos 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 projeto, mas aparentemente nada se tem feito ainda para sistematizar e justificar as intuições que são associadas com tais recomendações, e não se promoveu até o 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 proteção de montante, altura livre ("freeboard", revanche) e materiais resistentes aos efeitos erosivos.

Diversos trabalhos foram apresentados ao Congresso Internacional (R11, 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 projetadas por grandes empresas e consultores de atuação 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 riprap"). 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 saliente 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 de 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 caráter experimental ao longo de trecho mais raso dos extensos diques com que grande número de 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 riprap são positivamente exagerados. O solo-cimento é ensaiado tão somente em Resistência à Compressão Simples, Rc (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 kg/cm^2 de Rc 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 com relação a maior risco de desintegração em barragens, principalmente sob gelo-degelo, adotou-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 tem sido considerados suspeitos e rejeitáveis pelos critérios de sanidade de rocha para riprap, 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 ripraps do que para o solo-cimento? Por um lado existe o aspecto do tamanho e da densidade da pedra necessária para não ser arastada. Tal consideração não afeta o problema de uma "laje" coisa 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, em diâmetro da ordem de 1,5 vezes do que seria exigido por cálculos para a pedra ser de dimensão imutável com o tempo.

Poderá ser objetado, 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 fenômenos de cavitação e corrosão. Assim, na falta atual 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 $21 \times 3 \sim 70 \text{ kg/cm}^2$ comparado com o solo-cimento, obviamente estaremos em condições de aceitar rochas muitíssimo mais "moles" do que as "sãs" até o presente exigidas (de R_c seguramente superiores a 300 a 500 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 tecres 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 direções e durações. Entre nós tem sido corrente admitir que possa ocorrer o vento crítico exatamente 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 fatores mais condicionantes no problema, quer de qual a verdadeira relevância econômica 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 permeadores internos e externos de proteção (filtros, transições, proteções de taludes, etc...).

Proponho que algum jovem engenheiro se disponha a realizar cálculos de proteção 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 hidroelétricas avaliar qual a rentabilidade previsível de um investimento em investigação dos ventos a ter em conta em determinados projetos.

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

A seguir, cabe determinar o "fetch efetivo". Não haverá necessidade de se pormenorizar o procedimento a adotar, 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 porcentagem (estimo em mais do que 80%) de Escolas, Empresas Projetistas 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 proteção do talude. A primeira parcela da elevação do nível d'água é devida à "maré de vento": considera um fetch efetivo 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 consistência de efeitos): a partir da decisão da onda de projeto (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 riprap e das transições.

Os trabalhos acima citados do CERA e do CERC (resumido no trabalho RL5, mencionado) representam resultados de investigação extensas e meticolosas através de ensaios em modelo.

Não se pode resumir na presente exposição o vasto assunto tratado, com recomendações para projeto. 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 inclui ondas policromáticas geradas por ventos, e fornece uma correlação entre limites de estabilidade de riprap baseados em ondas uniformes e o caso de ondas de vento, 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 conciz 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 riprap que se movem primeiro, e 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 fator, por prudência os investigadores preferiram trabalhar só

Em resumo, a referência citada orientou-se precipuamente no sentido do cálculo da altura livre, e não no do dimensionamento da proteção do talude. A primeira parcela da elevação do nível d'água é devida à "maré de vento": considera um fetch efetivo 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 projeto (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 riprap 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 projeto. 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; éste porém também inclui ondas policromáticas geradas por ventos, e fornece uma correlação entre limites de estabilidade de riprap baseados em ondas uniformes e o caso de ondas de vento, 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 conciz bem com a teorização que demonstra que o péso P_{50} da pedra mediana está relacionado com H^3 ;

(c) curiosamente em geral são os tamanhos maiores de um dado riprap que se movem primeiro, e 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, o cabe ressaltar que face ao desconhecimento das relações modelo-protótipo deste fator, por prudência os investigadores preferiram trabalhar só

riprap "sólto". 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 riprap 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 avança a opinião de que os modelos ensaiados tanto pelo CERC como pelo CERA incorporaram fatores inutilmente mais desfavoráveis do que estariam em jogo nos protótipos. Com este fator conjugado com o (d) acima parece que as recomendações para projeto que resultaram dos ensaios citados situam-se indiscutivelmente do lado da segurança.

Temas para discussão.

- 4.1 Em barragens de terra-enrocamento de núcleo relativamente estreito $0,25H \leq L \leq 0,5H$ 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 exceção (como tem frequentemente ocorrido até o 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 $h_{ot} \geq 25\%$ 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 acatamento se $S \geq 85\%$.

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

- 4.4 É necessário definir um tanto mais específica e quantitativamente os requisitos associados a materiais denotados

"de transição", e desenvolver ensaios adequados para tais quantificações, de estudos pré-projeto, e de controle 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 do projeto, 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 de 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 (rêles de percolação, percolações preferenciais, etc...).
- 4.8 A revisão de métodos antiquados de dimensionamento do riprap (em função de ventos, fetch, e ondas), passando a empregar raciocínios probabilísticos e critérios de aceitação de pequenos riscos calculados, já constitui um imposição para currículos escolares e serviços profissionais de rotina.
- 4.9 Cabe pesquisar através de ensaios-índice diversos a possibilidade de emprêgo de materiais pedregosos pouco e medianamente alterados. Recomenda-se empregar predominantemente os ensaios-índice em uso internacionalmente. O que não implica, porém, na adoção 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 de comportamento de trechos experimentais no protótipo.
- 4.10 Reputo interessante, técnica e economicamente, dotar umas duas a três de nossas maiores reprêsas, 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 proteção superficial diversos, em caráter experimental, para observação de campo. Deverão ser documentados fatores de custo de execução e de despesas de manutenção subsequente. Ao final de uma dezena de anos os resultados das observações deverão ser interpretados e comparados, para divulgação num Seminário de Grandes Barragens.

2. Trabalhos apresentados.

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

1) "Usina de Pôrto Colômbia: Proteção 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 difração 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 riprap.

O trabalho representa uma iniciativa das mais interessantes, dirigida exatamente 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 aceitas convencionalmente como adequadas (c) referentes aos agentes físicos de desgaste (fretch, 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 projeto 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 impres-

são pessoal de que o projeto e a construção de tal cortina compreende um desenvolvimento relativamente sofisticado que correria riscos de insucessos se não fossem confiados a equipe 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 projeto, fornecimento, inspeção, 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 aceita como comprovada. Interessaria, finalmente, conhecer-se o aspecto econômico pelo qual terá resultado na Espanha a referida preferência por Cortinas Asfálticas ao invés das de concreto.

5. Referências e reconhecimentos.

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 ELETROSUL, 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:

- a) Kulhawy, Duncan, Seed "Finite Element Analyses of Stresses and Movements in Embankments during Construction" Nov. 1969. Berkeley, Report No. TE-69-4: also Duncan, unpublished Aug. 1970 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 de adensamento. Seminário Grandes Barragens, S.Paulo, Nov. 1972.
- c) Nogueira, J.B. "Estudo Experimental do Carreamento em Filtros de Proteção" São Carlos 1972, Tese Doutorado, U.S.P.
- d) Mello, F.B. "Thoughts on soil engineering applicable to residual soils" Southeast Asian COSOMEP, Hong-Kong, Nov. 1972.
- e) Gaioto N., "Análise Comparativa entre alguns métodos de ensaio de tração de solos compactados" São Carlos 1972. Tese U.S.P.
- f) Cruz P. e Mellios G. "Notas sobre a resistência à tração de alguns solos compactados" Semin. Grandes Barragens, São Paulo 1970.

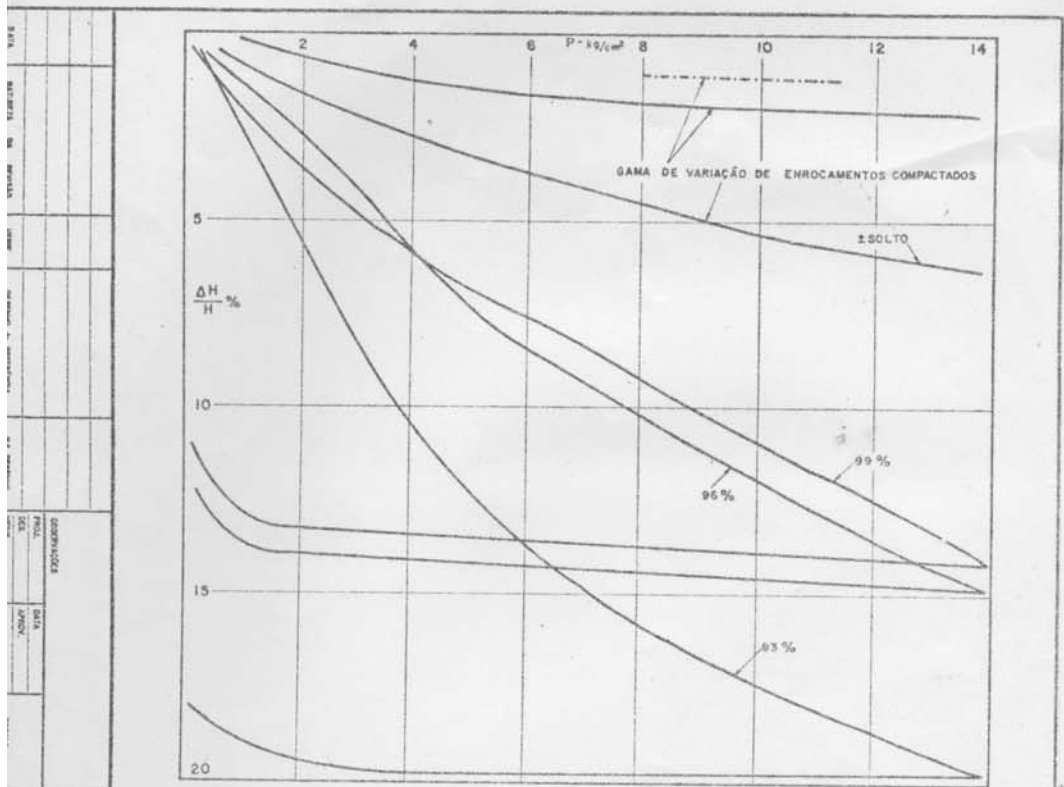


Fig. 3 Compressibilidades Comparativas de núcleo e espaldares.

DAEE

PROJETO EXECUÇÃO E MONITORAMENTO DE OBRAS DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES

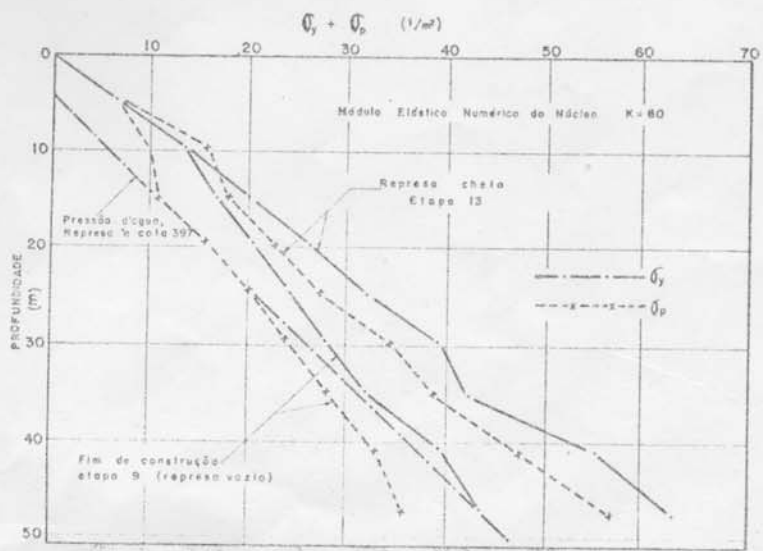


Fig. 4-Resultado de análise por elementos finitos, núcleo menos compressível.

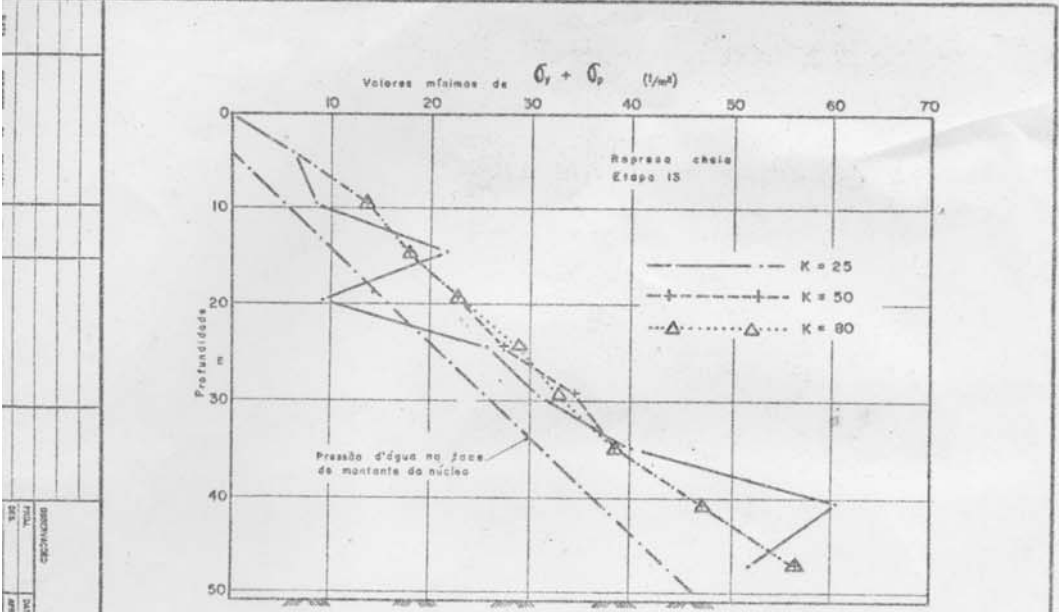


Fig. 5 Análise por elementos finitos, comparação de compressibilidades do núcleo.

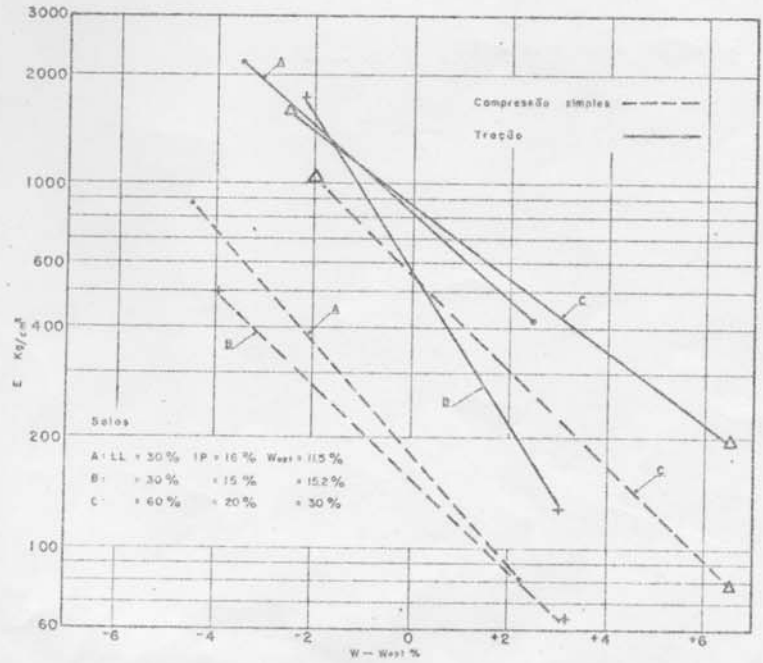


Fig. 6 Argilas compactadas, comparação de módulos E de elasticidade em compressão e tração simples

DAE
 SECRETARIA DOS TRANSPORTES E OBRAS PÚBLICAS
 DEPARTAMENTO DE AREAS E OBRAS TÉCNICAS

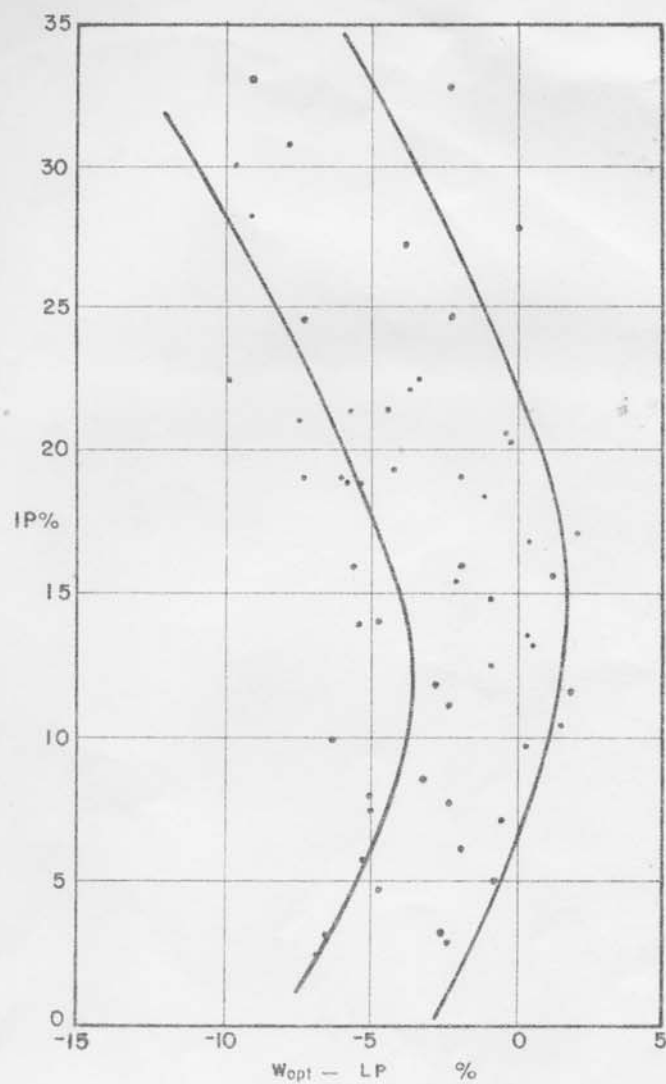


Fig 7 Argilas residuais, comparação entre unidades ótimas de compactação Proctor e as unidades respectivas do limite de plasticidade LP.

DAEE

SECRETARIA DOS SERVIÇOS E OBRAS PÚBLICAS
DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA

PROJ.	DATA	ESCALA	N.º de DESENHO
DES.	APROV.		
VERIF.			