

180-17  
Vol. 1

## DA IMPORTÂNCIA DE RESGATAR O PASSADO, NO CASO DE INCIDENTES EM BARRAGENS : O EXEMPLO DE SANTA BRANCA

Prof. Dr. Victor F. B. de Mello

*VICTOR F. B. DE MELLO & ASSOCIADOS S/C LTDA*  
Rua das Madressilvas, 43 Brooklin São Paulo 04704-070 SP Brasil  
tel : (011) 533 5939 fax.: (011) 533 9601 e-mail : vfbmello @ usp.br

180-1

### RESUMO

Uma publicação no XIX Seminário CBGB, Aracaju 1991, referente a "Estudos e Projetos de Recuperação da Barragem de Santa Branca" acha-se recentemente complementada por algumas referências casuais no livro "100 Barragens Brasileiras" do Prof. Dr. Paulo Teixeira da Cruz. As informações do histórico não condizem com as realidades da época ( de há 40 anos ), e as publicações, demasiado sucintas, levam a mais dúvidas e desconhecimentos do que orientações técnico-economicamente valiosas para uma primeira barragem bem importante na qual tive a honra e o entusiasmo de seguir, meticulosa e ponderadamente, os ensinamentos da época, particularmente tais como introduzidos por Terzaghi para a COBAST ( LIGHT ) uns 7 anos antes. Submeto meu depoimento de caso vivido intensamente, dentro da convicção da grande importância de se investigar e diagnosticar os comportamentos de médio e longo prazo, com meticuloso respeito pela necessidade de analisar o melhor possível as lições geotécnicas a extrair para o benefício de casos futuros, análogos ou não.

### 1. INTRODUÇÃO

É bem reconhecido que os incidentes de barragens se concentram seja na fase inicial de construção e enchimento, seja após longo período operacional, por processos eventuais degenerativos. Como profissionais, não compartimos da sanha por Acidentes jornalisticamente noticiáveis, mas temos interesse deveras responsável pela busca e comprovação de

compreensões teorizáveis, e teorias consequentes, para uso em casos futuros. Segundo Santayana um povo que não relembra e respeita seu passado fica condenado a repetí-lo em condições piores. Submeto portanto ao debate, em favor do futuro, o histórico que vivenciei desde Julho 1949 até cerca de 1961, com relação à Barragem de Santa Branca, São Paulo, inclusive com relação ao grupo de barragens ( Vigário, barragem e dique, Santa Branca, e Ponte Coberta ) descritas sob pontos de vista um tanto diferenciados como paradigmas de um tipo de barragem concebido e gerado pelo próprio Terzaghi ( 1947 ), a inaceitavelmente cognominada “barragem Brasileira”.

Motiva o presente depoimento a recente publicação de um livro fabuloso “100 BARRAGENS BRASILEIRAS”, de Paulo Teixeira da Cruz (3), com apoio da FAPESP, São Paulo. Em nosso ambiente reconhecidamente carente são já bem sérias as responsabilidades de artigos técnicos, mesmo sujeitos ao debate, e discussões escritas, construtivas : é imensuravelmente mais grave o que se transmite ao grande público em livro de merecido enaltecimento. Cabe ressaltar conjuntamente o artigo “Estudos e Projetos de Recuperação da Barragem de Santa Branca”, Engºs C.F. da Rocha Santos e N.R. Domingues ( da LIGHT ), XIX Seminário da CBGB, Aracajú 1991, já de conteúdo tecnicamente surpreendente por suas marcantes insuficiências.

Ao relatar o histórico, procurarei relembrar pormenores intensamente vividos e pensados e repensados ( compreensível face aos grandes pioneirismos, em inicio de carreira profissional, aos 24 anos ) orientando tudo no sentido de uma compreensão técnica progressiva, na busca de correções de erros e da indispensável otimização geotécnica.

Cito as referências bibliográficas conforme numeradas, e com página e linha.

## 2. BARRAGENS DE VIGÁRIO.

Concebidas, orientadas e supervisionadas por Terzaghi, estas barragens “homogêneas” constituem uma origem tão importante que não se pode deixar de registrar os pormenores consequentes perante as noções da época. Também, como representaram uma condição singular ( vales secundários com meros córregos, sem enseadeira ) mas passaram a constituir inacreditável carga genética ( a ponto de terem sido cognominadas “a Barragem Brasileira” ) que só começou a ser diluída 20 anos mais tarde com as vindas de outros grandes consultores internacionais, é importante interpretar a sequência de práticas da época.

Merece ser frizado que na época ( 1947-9 ) literalmente não haviam quer publicações quer aulas especificamente sobre barragens, sob visão geotécnica, havendo referências básicas apenas do setor dos “barragistas generalistas”<sup>1</sup>. As incursões geotécnicas tinham sido dominantes no setor de BARRAGENS DE ATERROS HIDRÁULICOS, e, nos demais, compreendiam uma “composição” de (a) Redes de Percolação, Filtros, e Subpressões, (b) Análises de Estabilidade de Taludes ; tudo sem visão de conjunto otimizado da barragem global, com enseadeiras, problemas construtivos, proteções de taludes, etc... De fato caberia conferir se qualquer dos “apóstolos geotécnicos” ( Terzaghi, Casagrande, Taylor, Peck...N.B. Europa tinha estado em guerra, e predomínio das barragens de concreto, inclusive de arco de dupla curvatura, CASTELO DO BODE quase tendo me levado a Portugal ao invés do Brasil ) havia publicado algum trabalho sobre barragem em que houvesse globalmente participado. Tenho impressão de que não ; para não me estender refiro-me às indicações do livro de homenagem a Terzaghi “From theory to practice in SOIL MECHANICS” (1), pg. 394 “The design of the embankment portions of the dams Terzaghi always considered a problem of secondary importance...” citando como referência do tipo de barragem que ele selecionava como desafiante a barragem Cheakamus, British Columbia, 1954.

Ora, foi portanto neste contexto é que munido somente das seções de Vigário ( barragem e dique ) e de muita ousadia confiante no purismo das idealizações teóricas, enfrentei, na GEOTÉCNICA S.A. ( S.P. ) a incumbência de “projetar” a geotecnia da barragem de Marília, 1952-4 ( ≈ 30 m ) do Eng. Plínio de Queiróz, empregando areia fina argilosa dos arenitos locais, e mistura de areia fina uniforme amarela com refugo de britagem do basalto preto, para atender aos atemorizantes requisitos de FILTRO : obra fiscalizada por Eng. Frederico Meller, ex - LIGHT.

Terzaghi ( (14) p. 217, também (15), p. 600 ) inconfundivelmente declarou, 1953, ter :

<sup>1</sup> Resumidamente reporte-se às referências :

(12) Stability of slopes pgs. 175-7 ; Effect of seepage on the conditions for equilibrium in ideal sand, pgs. 235-47 , 253-62 ; Mechanics of drainage pgs. 317, 8 .

(11) Seepage pgs. 156-192 ( Models p. 191 ) ; Soil Mechanics considerations relative to dams pgs. 532-56.

(14) Design of fills, dikes and earth dams, pgs. 381-406 . Merece enfatizar-se que na PART C. PROBLEMS OF DESIGN AND CONSTRUCTION os quatro capítulos foram VII Soil Exploration VIII Earth Pressure and Stability of Slopes IX Foundations X Settlements due to exceptional causes. Barragens não estão inclusas.

Nas três referências básicas supra recomenda-se que se verifiquem inclusive as referências citadas pelos autores em cada assunto.

(1) preferido compactar do lado seco, correndo risco de trincamentos, a compactar na umidade ótima, ou pouco mais, por preocupação maior com sobrepressões neutras ;

(2) considerado cabal a adoção do filtro-chaminé vertical como septo para atender a todo e qualquer problema de eventuais fluxos preferenciais e retroerosões por trincas. [ Preocupação de A. Casagrande, tese de Doutoramento, forçada (?), do Sherard, etc. ]. Frizemos que também era dominante na época a indicação extraída das 26 barragens de período construtivo de 1936 a 1951, Bureau of Reclamation, analisadas para a tese do James P. Gould ( 7 ), p. 70, também ( 5 ), p. 286 ) de que os solos cuja estabilidade de período construtivo era mais ameaçada por sobrepressões neutras incluiam os **solos residuais**. Relembremos que eram incipientes as medidas de pressões neutras *fide-dignas* ( V. de Mello, 1950, Anais 1 ABMS, 1951 ), e Terzaghi não contava com qualquer apoio de quantificação quer de ensaio quer de análises : é digna de nota a adoção de taludes tão brandos de montante quanto 1 : 3,8 e 1 : 4 , por pressentido fantasma de instabilizações de **construção** e de **rebaixamento instantâneo**. Note-se a imposição de três períodos construtivos de estiagem, separados por dois períodos chuvosos em que não se permitiu a colocação de solos compactados ( 8 ), p. 349 ).

Descartemos os assuntos sistematicamente, tendo observado as curiosas diferenças de pormenores entre as duas barragens simultâneas com todas razões para serem idênticas :

(1) Terzaghi limitava o tapete filtro-drenante horizontal à base de um L, e **usava tubos ponta-bolsa estanques de ferro fundido** ( experiência centenária de Londres quanto a durabilidade ) para escoar. Decisão patentemente pouco acertada : tapete curto, incompleto, não atende a imprevisibilidade de pontos de urgências ; tubos sujeitos a aberturas ponta-bolsa por alongamento reconhecido ( embora menor sobre rocha e com taludes mais brandos, assunto não olvidado, cf. (12) p. 177 e (14) p. 403, porém tratado de forma incipiente ), também incluídas possíveis quebras ( conforme ocorreu traumáticamente em Saracuruna 1962, com tubos de concreto armado ). Note-se ( 8 ), p. 352 ) inclusive a ampla tolerância quanto aos critérios de filtro ao usar britas de 1/2 a 1 1/2 " circundando os tubos.

Santa Branca, concebida, analisada, especificada, e acompanhada em sua parte terrosa por mim ( e colaboradores Junior ) na GEOTÉCNICA, para o Eng. Knapp da COBAST, segundo projeto global dele ( enseadeiras, desperdício das escavações rochosas do vertedor que por lealdade à **barragem argilosa homogênea** não foram usadas no espaldar de jusante, criando significativo bota-fora, absurdo pós 1968 ± ) comprehensivelmente seguiu à risca analógica o modelo do mestre inquestionável, Terzaghi.

Razões formalísticas, e da prática de então, compartimentaram a função “puramente geotécnica” que me (nos) foi atribuída ( inclusive a da fiscalização técnica da compactação, Frederico Meller, Hamilton Gonzaga de Oliveira, etc...) frente à responsabilidade formal de projeto pela LIGHT. Foi, porém, nesta obra que entramos ( GEOTÉCNICA S.A.) , por uma via de “executores a preços unitários, para coleta de know-how” no assunto de **injeções de cimento** para as fundações granito-gnaissicas fraturadas decompostas. E, conforme adiante exponho, introduzimos a **primeira tentativa de medir sobrepressões neutras de construção** mediante piezômetros “tipo GEOTÉCNICA” em complemento aos tipo Casagrande.

(2) É de interesse técnico notar que nas concepções de Terzaghi nem o **filtro chaminé** se estendeu por mais do que **alguns metros ombreiras-adentro**, nem o **tapete filtro-drenante** abrangeu lateralmente mais do que a **área subhorizontal do talvegue**. Otimismo com relação à (a) percolação tridimensional, com ombreiras medianamente inclinadas e geohidrologia profunda, e (b) depressão da freática a jusante no horizonte insaturado saprolítico bem mais permeável do que o atérro compactado : provável, e bastante razoável ? Sim. Mas não condiz com a declarada preocupação por trincas do atérro de montante, nem indica pressentir qualquer recalque por colapsividade ( estes, em nossa experiência foram vaticinados pioneiramente em Piau, 1954, e Santa Branca, 1956, sendo a seguir levados para a ombreira esquerda de Três Marias, 1958, para a **marcada surpresa de Casagrande** em sua 3<sup>a</sup> visita .) Os ensaios edométricos sem e com encharcamento, sob várias pressões, inclusive com anel especial de 2 meias-canças parafusadas para bem confinar. ( ver (4), p. 215 ), estavam em uso na GEOTÉCNICA uns 4 anos antes do publicado “double-oedometer test” do ilustre amigo Jennings. 1957. Nada de excepcional para quem sempre conceituou o ensaio, segundo Terzaghi-Taylor etc...como orientado para melhor configurar o que acontecerá com um elemento de solo no protótipo.

(3) A hipótese do filtro-chaminé vertical vir a provocar efeito de silo e riscos de **fraturamento hidráulico horizontal** ( em barragens mais altas, sujeitas a maiores recalques, e recalques diferenciais ) tem que ser apreciada com referência às técnicas e especificações construtivas. Terzaghi não exigiu compactação da areia ( (8), p. 352 ) e, ademais o método das caixas metálicas arrancadas, seguido de compactação manual das faixas linderas *ipso facto* garantiu melhor compatibilidade de deformações. É bem ulterior, do USBR e via Casagrande, a preocupação por compactação a **compacidade relativa** ( que aberração !!! )  $\geq 70\%$  ( ver, ex. (15), p. 602 e 604 ), com suas consequências desfavoráveis em muitos casos.

(4) Haveria interesse em conferir se a sequência lógica cronológica dos projetos não foi (a) o Dique primeiro (b) a Barragem, imediatamente ulterior. Pareceria que sim, sendo obrigação intelectual, profissionalmente útil, rebuscar nos arquivos dos Relatórios de Consultoria do Terzaghi para a COBAST, para melhor entendermos qual teria sido a evolução sistemática de algum raciocínio técnico da época. Permito-me ressaltar (o que poderá ser confirmado pelos poucos ainda remanescentes que tiveram breves convivências com o Terzaghi consultor-profissional) que não se põe de parte a tendência dele de dar indicações peremptórias quase ríspidas, por vezes diametricamente opostas às anteriores, aparentemente com um certo intuito de ser desconcertante; obviamente isto só em assuntos que ele no fundo menosprezava como secundários.

A inferência de que o Dique tenha sido o primeiro decorre da presumida lógica relativa aos pormenores filtro-drenantes, e encontra apoio na presunção de que a Barragem tivesse tardado por causa do túnel de desvio. Primeiro, com relação à fundação (preocupação prioritária de Terzaghi, cf. (1) pg..) reporto à transcrição (8) da pg. 351 afirmando que "According to standard practice, the construction of an earth dam on such ground should be preceded by the construction of a grout curtain...", as injecções tendo sido abandonadas por insucesso, substituídas pelos "furos de alívio" sob o filtro-chaminé. [ N.B. Em pronunciamentos e publicações ulteriores reiteradas já tenho confessado meu *mea culpa*, pois tendo começado por usar o mesmo pormenor sob a influência da "prática prestigiosa", reconheci ser errado drenar desnecessariamente tão a montante, quando o necessário é aliviar pressões de percolação de saída junto ao pé, inclusive em posição em que o tratamento pode ser julgado, e reforçado conforme necessário no decorrer do tempo ]. Enquanto isto vemos que na Barragem, cf (8) p. 353, presumidamente pela experiência anterior do Dique, o tratamento da fundação já partiu para os pormenores análogos definitivos.

Prosseguindo na análise presumida lógica sequencial, deparamos com a probabilidade de que a posição e forma dos filtro-septos também revelem uma progressão, do então corrente filtro-de-pé, para o filtro-chaminé de "altura total" junto ao eixo. Parece francamente inexplicável a base do L do filtro vertical virada para montante (Dique): teria havido alguma pressão psicológica da clássica "parábola de Kozeny" em sua fase ainda absolutamente idealizada? O que não pode ser negado é que Terzaghi acreditou plenamente na rede de percolação em maciço homogêneo. [ N.B. O fato de que maciço construído homogêneo *ipso facto* deixava de ser homogêneo em função de compressões foi (finalmente) formalizado em

minha Rankine Lecture, 1977, p. 301, p. 305-9, e, em função disto a rede convencional inexoravelmente "sobe", ressalvadas anisotropias de maior permeabilidade horizontal geradas por subcamadas diferenciadamente compactadas, e de maior permeabilidade preferencial subvertical de trincas montante-jusante. Nos últimos 15 anos a variação da permeabilidade com profundidade, e seus efeitos, já passou a ser reconhecida por todas as autoridades do setor].

(5) Antes de abordar em específico os casos de Santa Branca e Ponte Coberta permito-me relembrar ( junto com a saudosa equipe de entusiastas da GEOTÉCNICA S.A. ) duas iniciativas nutritas por ensaios persistentes, desde os projetos de Marília, Piau 1953-'4, e Santa Branca 1955-'6, e emendando com os casos de Saramenha 1956, Graminha 1956-'7, e Tres Marias 1957-61 :

#### (5.1) Redes de Percolação.

Como o material de filtro custava ( e segue custando ) muito por  $m^3$ , um esforço ( hoje facilmente interpretável dentro dos entusiasmos da juventude, embora relegável a prioridade menor ) foi o de empregar **modelos de areia com injeções de corantes** ( cf. Taylor 11, pg. 191, etc.. ) para conferir traçados de redes não-convencionais : procurou-se reduzir ao mínimo a altura do filtro-chaminé. Os corantes indicavam que com alturas parciais, intermediárias a linha freática de percolação que chegava a passar por cima do topo do filtro, chegava a bifurcar, uma parte retornando para montante até o filtro, Fig. 1 esquemática. Doce ilusão perante a realidade profissional, mas perdoável no contexto da época. [ N.B. Ulteriormente enfatizei na Rankine Lecture, cf. caso 3b, Fig. 4, p. 291, críticas a uma sugestão de Patel, 1961 ].

#### (5.2) Medida de Sobrepressões Neutras.

Como as pressões neutras no triaxial eram medidas mediante agulha hipodérmica inserida no meio do corpo de prova e acoplada a um sistema de equilíbrio de pressões através de circuito fechado **de água** ( incompressível ), desde logo conclui que em solo insaturado ( e especialmente quando argiloso com secção ) *ipso facto* ocorria uma injeção espúria de água justamente na massa circundante à ponta da agulha ( e/ou célula ). Analisando as curvas piezométricas do U.S. Bureau of Reclamation ( 7 ), trabalho de meu amigo contemporâneo do M.I.T., James Gould ), e plotando curvas de  $u$  vs.  $\gamma z$  para células diversas constatei, Fig. 2,

que todas apresentavam valores iniciais ( sob baixas pressões de peso de terra  $\gamma_z$  ) exageradamente altos. ( Ver p. ex. 4, Fig. 7 ). Não admirou a ênfase ( 7 ) pg. 70 "The soils whose stability is most threatened by construction pore pressures...are characterized by substantial amounts of clay of at least moderate plasticity, and include residual soils....".

Quantos foram os esforços ( testemunhados por todos os jovens engenheiros e laboratoristas da GEOTÉCNICA S.A. ) em empregar óleo fino ( em vez de água como líquido incompressível não absorvido pelo solo ) e mesmo "agulhas" fabricadas de maior diâmetro, com camisinha de borracha, para medir os  $\Delta u$  após aplicar uma pressão interna inicial para encosto apertado contra o solo !!

Resultou óbvio que a célula USBR ( e LONDON ) de tubulação dupla, empregando injeção-circulação d'água sob 100 psi ( 7 kg/cm<sup>2</sup> ) numa extremidade e zero na outra ( no painel ), não podia deixar de estar injetando água a 3,5 kg/cm<sup>2</sup> ao redor da célula, adulterando por completo as medidas até que o excesso d'água se dissipasse com o tempo. Assim se conceituou ( e desenvolveu ) a célula dupla denominada Tipo Geotécnica, buscando membrana(s) tipo osmótica(s) que permitissem fluxo apenas de fora para dentro, e não ( até certa pressão crítica ) de dentro para fora. Madeira chegou a atender a tais requisitos, conjugadamente com delgada espessura de mercúrio dentro, entre a madeira e a água do circuito transmissor ( Fig. 3a ).

Enquanto isso, mediante a banalidade de uma "integração por degraus" ( análoga às curvas de enchente de entrada e saída em reservatório ) numa hipotética curva de  $\Delta u$  vs.  $\Delta t$ , esforcei-me por convencer o Casagrande ( para Tres Marias, 1958 ) que o piezômetro dele "roubava" ( para estabelecer a coluna) demasiada água ( do solo compactado insaturado ) do redor da célula, resultando inexoravelmente em atenuação e retardo nas observações pretendidas de  $\Delta u$  vs.  $\Delta \gamma_z$  ( fig. 3b ). Em resumo, enquanto em Santa Branca acabamos empregando apenas piezômetros Casagrande, Maihak ( introduzido em função de meu estágio no LNEC, Dez. 55 a Mar. 56 ) e Geotécnica ( em posições distintas ), em Tres Marias empregamos conjuntos de 5 piezômetros em cada "célula de areia" ( Maihak, Casagrande, USBR, LONDON, e Geotécnica), caso ímpar no mundo. Mereceriam retroanálises cuidadosas de comparações. Tudo isto, para enfatizar as verdadeiras preocupações da época, concentradas em sobrepressões neutras construtivas, e redes de percolação ( inclusive de fundações injetadas ou não ). Esforços sérios, conquanto solitários e rudimentares : merecem reapreciação séria, não

*obstante a súbita e proveitosa guinada para os transdutores. Tudo sobejamente publicado, bem menos lido, ainda menos apreendido como digestão de uma escola de percalços e progresso, ipso facto ainda menos difundido.*

### **3. PONTE COBERTA.**

Com relação a Ponte Coberta as informações publicadas forçam ao desejo de muitos esclarecimentos, agora acentuado pelas indicações do Prof. Paulo Cruz em (3) pg. 77, segundo lembrança subjetiva de entusiástico e prestativo engenheiro de 1,5 anos de formado, cuja colaboração fiz constar na publicação sobre Injeções da Fundação de Santa Branca (6). Pareceria, nostagicamente, comprovar-se que os recém-formados de então eram muito mais preparados, independentes, e arrojados, perante funções profissionais da maior responsabilidade.

Caberá à GEOTÉCNICA S.A. e à LIGHT ( Rio ) recorrerem a seus arquivos, para ajudarem a escoimar impressões subjetivas pouco consequentes e/ou capazes de induzirem noções erradas. Segundo minha lembrança marcou-me significativa frustração. Tendo realizado com muito zêlo e sucesso a geotecnica para Santa Branca, ficamos muito frustrados, profissional e empresarialmente, com a decisão da Engenharia da Light de “copiar” a seção terrosa que havíamos ratificado para Santa Branca, recorrendo a nossos préstimos apenas para ensaios de rotina de pesquisa de empréstimos e ensaios convencionais ulteriores. Presumiria que a visita tão marcada na memória do Eng. Paulo Cruz tivesse estado associada a tal incumbência.

Deparando com significativas falhas e lacunas nas seções apresentadas em publicações diversas ( ex. (3) Fig. 2.84 pg. 78. CBGB(2) , e (15), Fig. 1 pg. 601 ) interpreto que apenas esta última seria válida ( faltando dizer que a drenagem horizontal teria repetido o uso de tubos de ferro fundido ) visto que parece ter incluído (a) injeções de cimento da fundação (b) a tendência ( almejada por “wishful thinking” ) de abaixar perceptivelmente o topo do filtro-chaminé .

O que não encontro, em minha fraca memória, é qualquer apoio a qualquer hipótese ou estudo de “alteamento da Barragem de Ponte Coberta” nem a “estudos...e dados de piezometria da barragem ( que ) mostraram que o alteamento era possível ( (3), pg. 77 ). Note-se que o término alteamento no setor de barragens geralmente é reservado para casos em que o alteamento se executa após algum tempo do enchimento do reservatório, rede máxima de percolação

admitida como tendo sido estabelecida com consequente incremento de saturação dos poros (em certas zonas ).

[N.B. Antes de prosseguir para o caso de Santa Branca, único maciço que passou a ser “reforçado”, sinto-me na obrigação de explicar a necessidade de **estabelecer o histórico e os dados o mais corretamente possível, recorrendo às fontes** ( de quem realmente sofreu os problemas e as decisões “na carne” ). Sem tal explicação poderão resultar impressões de esmeros, de filigrana ou secundários. Retorno à ênfase citada, de Terzaghi e sucessores, quanto a pormenores de tratamentos de drenagem, particularmente da fundação. E exemplifico como publicações<sup>7</sup> e livros de pessoas apenas associadas aos casos, **sem a vivência especializada sofrida**, reproduzem indicações sucessivas significativamente discrepantes. Por exemplo Sherard et al, 1963 (10) em seu livro prestigioso, reproduzem segundo Ackerman et al em Civil Engineering, ASCE, Nov. 1951, p. 652, as duas seções erradas das Figs. 9.9 pg. 288, e Fig. 10.6 pg. 302 da barragem Vigário. Assim também na (2) da CBGB, 1982, os dados relativos a Ponte Coberta transmitem várias lacunas em pormenores ( falta o topo do filtro-chaminé, a cortina de injeções, os furos de alívio, pormenores dos taludes, pormenores da drenagem horizontal da fundação ) . Ao comparar os 4 casos, a seriedade geotécnica exige tentativa de interpretação de cada diferença conscientemente introduzida pelos projetistas...o que, por que, e para que.

#### 4. SANTA BRANCA.

O caso do maciço terroso de Santa Branca é sucintamente abordado no novo livro ( (3) , p. 82, 83 ) acompanhado da advertência “É , sem dúvida, uma das lições aprendidas mais importantes”, referida diretamente ao artigo de Rocha Santos e Domingues, 1991, (9) no qual não deixa de ter a mais pungente repercussão “Concomitantemente, dispensando qualquer licitação, houve a contratação de consultor autônomo especializado que, além de ter participado da decisão de rebaixar o reservatório, analisou os dados disponíveis e concluiu que a barragem apresentava deficiências gravíssimas e não havendo condições indispensáveis de segurança, recomendando a introdução de reforços na barragem para garantir os níveis de segurança exigidos...”.

Depreende-se da Bibliografia do citado artigo, que os participantes externos, contratados, de tão grave problema e sua cabal recuperação foram os eminentes geotécnicos Eng Guy Bourdeaux e Sondotécnica Engenharia de Solos S.A. . Assim sendo, não podemos deixar de

presumir, respeitosamente, que as investigações, conclusões, e decisões tenham sido geotecnicaamente do mais alto nível. Infelizmente, porém, por marcadas limitações de espaço, em parte ocupadas com reproduções jornalísticas, a documentação geotécnica apresentada resultou tão parca que realmente só posso enfatizar "não sei qual foi a lição mais importante aprendida" a que se refere o recente livro.

Na Bibliografia teria faltado menção do dossier básico do Projeto e Construção, em parte suprido por relatórios da GEOTÉCNICA S.A. . Recorrendo a minha memória, em comparação com os casos de Vigário e Ponte Coberta, o caso de Santa Branca começou (louvavelmente ) com um relatório da geologia do local, o que não constou ter havido nos casos anteriores. E, inclusive, em função de tal geologia, o dreno em L ( tipo Terzaghi, drenado por tubos mas não incorporando toda a base de jusante apoiada sobre areia ) teve naturalmente a vantagem de ter um tapete essencialmente contínuo de areia grossa com cascalho fino que preenchia os sulcos erodidos entre as ondulações do gnaisse são erodido (bem acompanhando a geologia estrutural ).

Dificilmente terei condição de adentrar nos inúmeros tópicos contundentemente apresentados no artigo, tais como (i) pg. 57 "Originalmente estas águas ( drenadas ) deveriam ser bombeadas continuamente, porém no inicio da operação da barragem optou-se pelo desligamento da bomba de esgotamento. Nestas condições, na reavaliação das condições de estabilidade da barragem, admitindo-se a saturação do maciço à jusante até a cota 581 ( cota aproximada da tubulação de saída do poço coletor ), constatou-se uma redução do fator de segurança de 1,54 para 1,47" (!!!) Indagaria se foi levada em consideração a condição sobreadensada. e se os cálculos geotécnicos realmente distinguem em tal grau de precisão.

(ii) pg. 67 "justificativa adicional para se admitir, para fins de análise, a total inoperância do sistema de drenagem interna da barragem" ; segundo a listagem dos eventos ( pg. 61 ), item 25, em 1979 terá sido implementada a "reformas dos painéis de leitura dos piezômetros hidrodinâmicos" , obrigando a admitir que piezometrias continuavam a ser lidas : quais terão sido os dados piezométricos de percolação, reconhecendo não ter, após o fim da construção, o menor interesse o diagrama de sobrepressões neutras construtivas de montante,  $B^- = u/\sigma_1$  (?), submetido na Fig.1, pg. 62.

(iii) e assim por diante, inúmeros, de passo a passo.

(iv) Produzir um incremento de Fator de Segurança (cf. 9, fig. 2 ) em função do recobrimento de toda (?) a superfície com tapete drenante, acrescido de aterro de significativo abrandamento

do talude constitue solução óbvia, a nível primário : porém apresentar o AFS de 1,04 (!!) para 1,55 meramente documentado por uma linha freática ( e lençóis empoleirados nas anisotropias ?? ) constitue um infeliz retrocesso para a geotecnia consciente.

Fato consumado não significa diagnóstico ( teorizável ) comprovado. Preocupa-nos, geotécnicos e barragistas, profundamente, o fato de que, por analogias, as condições das outras 3 barragens também resultem "gravíssimas", tanto mais que nos macro-pormenores Santa Branca não se distanciou do então paradigma (que de há muito não defendo, só ataco). Diga-se de passagem que a confiança no escoamento tridimensional das ombreiras (quandoingremes) para o vale era admitido ( e em muitíssimas obras de ombreiras de saprolitos insaturados se viu sobejamente comprovado ): a subida gradativa do topo do filtro-chaminé acompanhando a subida da ombreira foi consciente, uma tentativa de aprimoramento em Santa Branca (presumindo atender a eventuais fissuramentos por recalques diferenciais).

Assim sendo, cumpre o dever de consciência profissional para com meu País e seu futuro, de resumir os principais pontos históricos que segundo minha memória teriam prejudicado Santa Branca :

(1) Os trechos de taludes íngremes IV : 1,5 H adotados a jusante, sem serem acompanhados de meticulosas especificações de material e método construtivo . Reporto-me ao ( louvável ) conceito de "envelopamento" por capa de material de argila vermelha ( com tendência de micro-limonitzações com o tempo ) tal como projetado pela Hidroservice ( Lincoln Queiróz e Hamilton Gonzaga de Oliveira ) nas barragens de Paraibuna e Paraitinga ( (3), Fig. 3.1 topo. pg. 101 ).

É bem provável que na barragem compactada a totalidade dos problemas ( superficiais ) estaria associada a problemas de proteção superficial ( inclusive canaletas, suas inclinações etc..) insuficientemente pressentidos e elaborados ( materiais saibrosos, compactações de bordo *ipso facto* deficientes, etc ..) favorecendo progressivos afastamentos, infiltrações superficiais, etc...

Quanto aos ousados taludes 1 : 1,5 , dou a mão à palmatória, *mea culpa* : justificáveis inofismavelmente na teoria ( meu Norte único da época ) e seus corolários teórico-práticos, mas requerendo cuidados especiais de tipo de material e método construtivo.

(2) A caixa de empréstimo de montante, ombreira esquerda foi escavada muito próxima e demasiado profundo. Provocaram-se desnecessariamente ( intenção de otimizar custos de

exploração etc.., compreensível, "porém inexperiente") grandes incrementos de fluxo pelos saprolitos. Note-se que as orientações reliquias da geologia nos saprolitos levariam os fluxos preferenciais da ombreira esquerda na direção oblíqua para a barragem.

Quiçá os taludes superiores passaram a ser compactados justamente com os saprolitos mais profundos, mais micáceos e muito menos argilosos vermelhos, agravando o problema (1) acima.

(3) Possíveis recalques de colapsividade nas ombreiras, a mais do que pioneiramente pressentidos e ensaiados, gerando redistribuições de tensões e fissuramentos, com consequentes caminhos preferenciais. Convoco os colegas da CESP para confirmarem o depoimento sobre recalques (súbitos, e brevemente cessantes) de colapsividade registrados na barragem de Paraibuna (ou Paraitinga ?, ao redor de 1978). Ressalto que a rigidéz do maciço compactado sobrejacente obviamente atenua os movimentos diferenciais observados à superfície, em comparação com os realmente sofridos no interior, onde imperam os problemas de percolações.

(4) Possíveis gradientes de compactação nas camadas compactadas, superiores aos que se respeitam como máximos nos últimos 25 anos (N.B. Em nenhuma publicação de país nenhum se encontram referências ao assunto, tão exaustivamente elaborado entre nós).

Na época as especificações de compactação não atentavam tão esmeradamente para o problema da diferença topo-base (fonte de forte anisotropia) de cada camada, obviamente dependente de equipamentos construtivos, espessuras, e pormenores inúmeros que só passaram a sermeticulosamente pesquisados e atendidos a partir de Tres Marias (e Casagrande). Camadas profundas acabam sendo homogeneizadas pela compressão sob peso de terra, ademais de contarem com uma tendência de não serem absolutamente continuas em virtude da somatória de faixas de compactação que constituem cada camada montante-jusante. As camadas superiores tendem a ser continuas e não contam com compressão significativa de peso de terra, dependendo apenas da pressão de precompressão da compactação. O que reforça a necessidade do filtro-chaminé no topo.

(5) Possível caso de "efeito de silo" provocado pela maior altura da barragem, maior recalque diferencial entre maciço argiloso e o filtro-chaminé de areia (presumidamente) bem compactada. Caberia verificar nos relatórios de compactação da obra. É fácil de se comprovar mediante perfurações para (novos) piezômetros Casagrande a montante (e jusante) do filtro, com suas indicações (possíveis) de perdas d'água durante a perfuração: constatado em inúmeras barragens.

## 5. PROPOSIÇÕES FINAIS.

- (1) Aparentemente as injeções de cimento nestas obras e nesta geologia mereceriam (ão) ser dispensadas ( excluido o caso de veio de quartzito imprudentemente exposto, e análogos ).
- (2) Drenagem de jusante na seção máxima com **tapete filtro-drenante completo e dimensionado, após tapete impermeável interno** ( tal como no dique de Salto Santiago, em Emborcação, etc...) segundo proposto e demonstrado na minha Rankine Lecture. Terzaghi não-obstante, **tubos nunca, em particular, não os ponta-bolsa !**
- (3) Para as drenagens das seções sobre a ombreira, proceder a **muito mais investigação-dimensionamento-cálculo etc...do que tem sido corrente, o repetido êrro** ( gerado, inclusive, pela psicologia da CBGB e outros, de que o importante é a **seção máxima** ). Errado : o **realmente importante é atender às seções sobre as ombreiras**. Na elaboração das redes de fluxo pela ombreira, levar em conta **devidamente a insaturaçāo,a evolução lenta da rede com saturação ( parcial ) dos poros, e, também a percolação tridimensional na direção do vale representada pela alteração da geohidrologia, de antes para depois do represamento.**
- (4) Apenas num parágrafo, o mais importante, a súmula de todo um pacote de problemas profissionais, éticos, e de **cidadania para o futuro e a verdade:**
- Respeitar o **histórico**, e os reais participantes nas decisões pregressas de projeto. Procurar (diplomaticamente) discernir entre as várias formas de acobertamentos tão presentes em nossas institucionalizações. Por mais erradas que tenham resultado as decisões e ações, o princípio indiscutível é de que perante **obras de tal responsabilidade** o que imperou e impõe é a **boa e responsável intenção de acertar**. Respeitar, e tirar proveito das **diferenças, de experiências e opiniões**; convocar a coparticipação de JUNTA DE CONSULTORES (que não tendam às concordâncias fáceis).
- Obrigatório, inofismavelmente, incorporar os principais participantes originais, desde que disponíveis.
- (5) Obrigatório acima de tudo sempre enxertar todas as investigações, diagnósticos, decisões, cálculos comprovatórios etc...contra **um pano de fundo da geotecnia mais séria e atualizada disponível**. Assim, resolver não só o caso específico da forma mais cabal disponível, mas também contribuir progressivamente para o **avanço sistemático** da espinha dorsal contra a qual cada caso específico sempre incorpora sua(s) peculiaridade(s).

## REFERÊNCIAS

- (1) Bjerrum/Casagrande/Peck/Skempton, 1960, "from theory to practice in SOIL MECHANICS" (with bibliography and contributions on his life and achievements ), Wiley.
- (2) Comitê Brasileiro de Grandes Barragens, 1982, "Barragens no Brasil" (volume de dados resumidos).
- (3) Cruz, Paulo Teixeira da, 1996, "100 Barragens Brasileiras" , Oficina de Textos FAPESP.
- (4) de Mello, Victor F.B., 1958, "Propriedades geotécnicas dos solos argilosos compactados". IIº COBRAMSEF, Recife, Vol. II, pp. 201-222.
- (5) de Mello, Victor F.B., 1975, "Some lessons from unsuspected, real, and fictitious problems in earth dam engineering in Brazil", 6<sup>th</sup> Region. African CSMFE, Durban, Vol. II, pp. 285-304.
- (6) de Mello, Victor F.B., and da Cruz, P.T., 1959, "Some Quantitative Investigations on Curtain Grouting in Rock Foundations of Earth Dams", 1<sup>st</sup> Panam. CSMFE, Mexico, Vol. II, pp. 699-711.
- (7) Gould, James P., 1959, "Construction Pore Pressures observed in Rolled Earth Dams", USBR Tech. Mem. 650.
- (8) Hsu, Serge J.C., 1963, "Residual Clay Earth Dams constructed by Rio Light S/A", II<sup>nd</sup> Panam. CSMFE, Brasil, Vol. II, pg. 346-363.
- (9) Rocha Santos, C.F. e Domingues, N.R., 1991, "Estudos e Projetos de Recuperação da Barragem de Santa Branca", XIX Seminário Nacional CBGB, pg. 57-70.
- (10) Sherard, J.P. et al., 1963, "Earth-Rock Dams. Engineering Problems of Design and Construction", Wiley.
- (11) Taylor, D.W., 1948, "Fundamentals of Soil Mechanics" , Wiley.
- (12) Terzaghi, Karl, 1943, "Theoretical Soil Mechanics", Wiley.
- (13) Terzaghi, Karl, 1953, Discussion. III<sup>rd</sup> ICSMFE, Zurich, Vol. III, p. 217.
- (14) Terzaghi - Peck, 1948, "Soil Mechanics in Engineering Practice". Wiley.
- (15) Vargas, Milton e Hsu, Serge J.C., "The use of vertical core drains in Brazilian earth dams", X<sup>th</sup> ICOLD Conf., Montreal, 1970, Vol. I, p. 599-608.

PONTOS DE INJEÇÃO DE CORANTE "GUARANI"

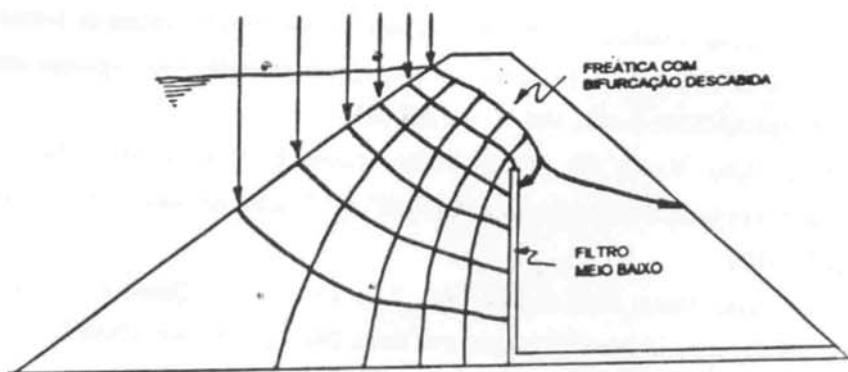


Fig. 1 - Ensaios em modelos de areia para redes de percolação, aproximadas, visando minimizar filtro-chaminé.

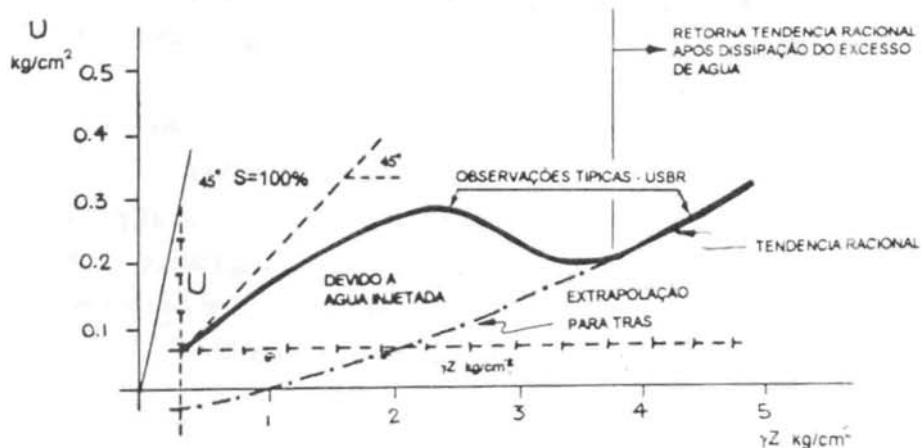


Fig. 2 - (Reproduzida de Ref 5) Analise das sobrepressões neutras do USBR (Ref. 7, 1959) demonstrando-as todas erradas na fase inicial

CÉLULA DE FLUXO UNIDIRECIONAL

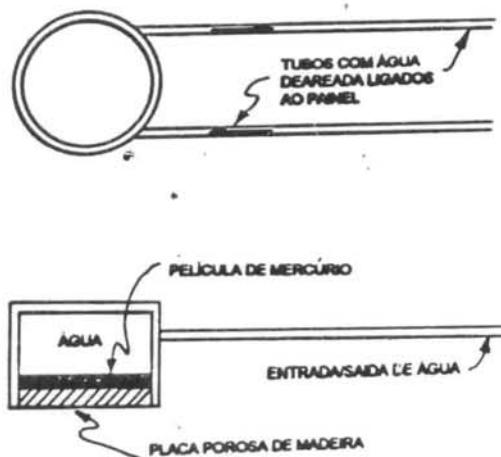


Fig. 3a - Célula a volume constante em desenvolvimento, denominada "tipo geotécnica"

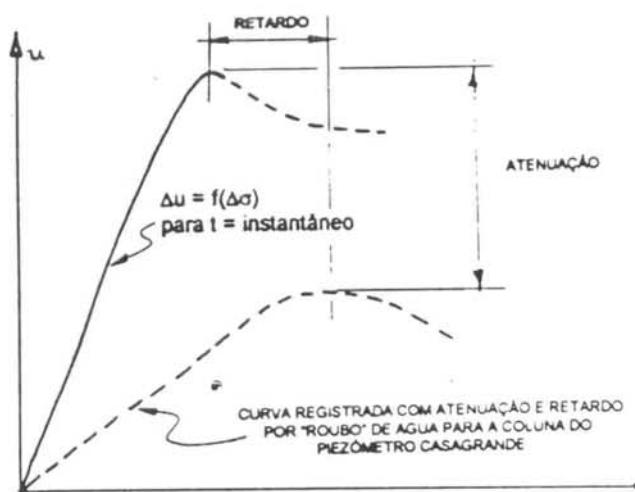


Fig. 3b - Demonstração a Casagrande da invalidade de seu piezômetro para sobrepressões neutras construtivas