

## 6 - BARRAGENS DE TERRA COMPACTADA E FILTRO-SEPTO

Princípios de projeto relativos às instabilizações de taludes, incrementados para compatibilizações de deformações. Lições progressivas desde Terzaghi 1949, corrigindo ditames dos maiores mentores mundiais como Consultores. Exemplos: Ribeirão da Cascata, Marília 1954, areias finas amarelas e refugo da britagem de basalto, dedução do procedimento para detecção de curvas granulométricas descontínuas. Fundação rochosa de Santa Branca 1955 em “serrote” oblíquo ao eixo preenchido de areias, sob ditame errado de Terzaghi de tubos-dreno (de ferro fundido) incluindo limpeza das areias para preenchimento com argila compactada a sapo. Oportunidade especial de injeções acompanhadas nas fraturas expostas à superfície: primeira investigação sistemática de ensaios racionalizados de perda d’água, e correlações estatísticas com injeções de cimento (1959, Iº PANAMCSMFE). Esterilidade total (Três Marias, Volta Grande, etc.) de pistas experimentais de compactação: substituição ideal por compactações experimentais intensas e amplas com logística da obra já outorgada, em zona central escolhida, de impunidade de comportamento para a barragem. Imitação em Três Marias, estudada, do princípio da Barragem de Selset, Inglaterra 1957, empregando sistematicamente camada delgada compactada do lado seco. Barragem de Graminha 1956 (Rio Pardo): Geologia; paleo-talus ombreira esquerda mas confirmado inconseqüente, reduzido a terroso saprolítico, mas sem as feições geométricas : arranjo-geral hidráulico privilegiado de Record mundial insolitamente compacto; eixo curvo convexo para montante (arqueamento) ridículo; postulação de maximização de pressões neutras construtivas de montante, seguida da revisão das teorias contenciosas da instabilização daquele talude sob abaixamento “instantâneo” do reservatório (hipótese infantil na hidrologia Brasileira, e visualmente confirmado na ruptura da Barragem de Euclides da Cunha, 1976, por transbordamento, com esvaziamento total em poucas horas). Saramenha, M.G., 1957, com calha de Vertedor apenas escavada, obrigada a escoar por uma estação chuvosa, foi erodida irregularmente, e adequadamente completada por preenchimentos com “concreto dental”: conceito-prática muito econômica, a otimizar. Paranoá (Brasília, 1959) por erros viscerais de Projeto, obrigados a subir 32m em 45

dias, em talude muito argiloso íngreme insólito mundial para obviar o galgamento: surpreendente proveito confirmando importância da investigação do empréstimo intacto, e da efetiva logística de todas as operações de escavação, transporte, espalhamento, compactação; condição in-situ em nucleações, e escavações resultando em macro-núcleos e blocos; ensaios de permeabilidade com corantes, e amostra aberta em tração. Ensaios correspondentes em furos dependentes dos trados.

Pré-ensecadeira de “fechamento”, avanço estratégico de enrocamento de ponta sobre fundação rochosa irregular desconhecível, desnível e velocidade máximos: elevação da ensecadeira para o caudal maior, de azar/risco escolhido. Transição de terra para terra-enrocamento e para encontro com estruturas de concreto (Vertedor e Usina): otimização de zoneamentos; caríssimo e demonstradamente errado conceito iluminadamente recebido da obrigatoriedade do “abraço” (montante-frontal-jusante) de espigão de concreto, com demonstração da atuação única do contato frontal (1977).

Importância incalculável econômico-financeira, e logística, de atualizações dos cálculos de instabilizações de montante corrigindo conceitos teóricos insuficientemente corretos, e tendo em conta as pressões de pré-compressões das compactações, e as condições terrosas e hidrológicas realísticas locais.

Cinco lições muito proveitosas impostas por circunstâncias difíceis inesperadas na barragem de terra-enrocamento de Pedra do Cavalo, Bahia 1980:(1) impermeabilidade parcial da ensecadeira de montante atendível por tubo montante-jusante posteriormente concretado; (2) enormes vantagens para as obras de desvio, e estruturas de concreto, atendendo a parte do caudal por túneis profundos, e o excedente por túne(l)(eis) mais elevado(s); (3) emprego de túnel longitudinal a pouca profundidade sob o núcleo, para injeções/drenagens ulteriores, conforme necessário; (4) simplificação do topo da barragem acomodando trecho típico de argila compactada com filtro vertical; (5) fácil observação de limites aceitáveis de vibrações de detonações.

Os três circuitos hidráulicos, e principalmente os inferiores, são fortemente dominantes na otimização das seções das barragens de terras-enrocamentos: (1) o das galerias de desvio, incorporando o duto para garantia temporária (primeiro enchimento) para provimento do caudal “ripariano” (“compensation water facility”) para jusante, e eventual (rara) necessidade de descarga de fundo na vida operacional; (2) os condutos operacionais dos caudais úteis a partir da Tomada d’Água, condicionantes de toda a relação benefício/custo do proveito operacional almejado; (3) o vertedor para episódios de caudais exagerados.

Incorporação das ensecadeiras à seção da barragem. Ensecadeiras como ensaio em grande escala da efetiva necessidade das injeções da fundação: ombreiras mais problemáticas.

#### **Artigos Gerais VM, sobre barragens:**

1) “Evolução das técnicas de construção de barragens, e perspectivas futuras” (Curso de Extensão em Engenharia de Barragens – Escola de Minas da UFMG/ Abril 1988)

2) “ Embankments” (Chapter 44, Ground Engineer's Reference Book by. F.G.Bell Butterworths, 1987)

3) “Problems and solutions for embankment dam foundations on weathered soil horizons and cracked rocks” (III Seminário Colombiano de Geotecnia-pp. 1.9 - 9.22, Agosto 1984)

4) “Practice, precedents, principles, problems and prudence in embankment dam engineering” (Proc.Intern.Symposium on Problems and Practice of Dam Engineering - pp.3-17. December 1980).

5) “Some problems and revisions regarding slope stability assessment in embankment dams” (Proc.Intern.Symp. On Problems and Practice of Dam Engineering - pp. 81-98. December 1980)

6) “Diretrizes para os estudos Geológico-Geotécnicos. Considerações Gerais de Projeto” (Conferência Especial - Semin.sobre Barragens de Terra-Enrocamento, Soc. Mineira de Engenheiros. 1980; Revista CONSTRUIR, n.4 (março) - pp. 24-29, n. 5 (junho) pp. 25-30. 1980)

7) “Algunas experiências Brasileiras e contribuições a engenharia de Barragens” (Revista Latino Americana de Geotecnia. Vol. 3, n.2, pp.21-47, Abril/Junho 1976)

8) “Investigações Geológico- Geotécnicas para Barragens. Conceituação Global.” (Boletín Ecuatoriano de Geotecnia – Vol. 3 , N. 9, Fevereiro 1977)

9) “Critérios Geológicos Geotécnicos aplicados en algunas obras importantes” (Boletín Ecuatoriano de Geotecnia – Vol. 3 , N. 9, Fevereiro 1977; Rev. CONSTRUÇÃO PESADA - Vol. 7, n. 74, pp. 58-76 Março 1977; Rev. Latin.Am.GEOTECNIA - Vol. IV - N. 3 - pp. 147-183, 1977)

10) “Deformação de fundações de Barragens de Terra e suas consequências” (V. Sem. CBGB – pp.1-17, 1968)

11) “Reopening questions in embankment dams, design-performance” (Preface- The use of roller compacted concrete. Francisco Rodrigues Andriolo, 1998)

12) “Reflections on needed logical unifying of basic geotechnical prescriptions: simple examples” (TRIBUTE JIMENEZ SALAS VOLUME - pp.7-16, 2000 – Libro homenaje José Antonio Jiménez Salas)

13) “Some Illusions, pitfalls and inconsequential initiatives in risk assessment quantifications” (XX Congresso Intern. de Grandes Barragens, Beijing/China – ICOLD, 2000)

14) “Principais ilusões, alçapões e iniciativas inconsequêntes nas quantificações correntes de avaliações de riscos” (Simpósio: Riscos Associados a Barragens, Julho/01, CBDB, NRSP - publicado em CD-ROM, Mar/02, Painel de Avaliação, pp. 247-268, 2001)

15) Rankine Lecture (1977)

## **6.1 Origens do paradigma Brasileiro, Terzaghi 1949, LIGHT-COBAST. Questionamentos e críticas. Acidentes.**

Determinismo era inescapável nos primórdios.

(1) Coincidências de dados e/ou modelos mentais errados em cada etapa seriam lógicos esperar. Também eram/são reconhecidas obrigações periódicas

de decisões iluministas dos maiores mentores face a exigências de momento. Deveria, porém, rejeitar-se a composição do determinismo com iluminismo, gerador de paradigma profético fechado, impedindo análises de variantes a favor de progredir sistematicamente. Toda hipótese e decisão adotada merece/exige cálculos de influências de variantes criteriosas.

(2) Assinala-se a influência automática das pressões verticais,  $\sigma_v$  ou  $\sigma_v'$ , como Agente Atuante nas gerações das sobrepressões neutras de compressão, de período construtivo da subida do aterro  $U_{constr.}$ , e nas instabilizações dos taludes.

(3) Exemplifica-se a crítica supra em função do paradigma estabelecido por Terzaghi no Projeto que indicou para a Barragem e o Dique de Vigário para a COBAST (LIGHT), 1949, em função das coincidências (a) das medidas exageradamente erradas das  $U_{constr.}$  pelo USBR e (b) do entusiasmo ratificado na Conferência de Boulder, 1960, a favor de todas as análises de instabilizações serem só com emprego de pressões efetivas, embora ainda “primitivas”. O filtro-septo vertical sob a crista visaria controlar a  $U_{constr.}$ . (c) Demais pormenores errados decorreram de desconhecimentos. O próprio Terzaghi não atentou para possíveis problemas maiores do subsolo do que do aterro: não se drenou a base do espaldar de jusante da barragem; e cometeu-se a impropriedade de usar tubos justapostos ponta-e-bolsa para drenar a base do filtro vertical.

(4) Tal paradigma passou a ser empregado durante uma vintena de anos. Foi questionado em alguns aspectos na Barragem de Três Marias (1958 – '60), na qual todavia Casagrande, também menosprezando todos ensaios e cálculos, reteve critérios análogos, inclusive em condições quer mais seguras, quer menos favoráveis em outros pormenores.

- A intenção no item **3** é enunciar Princípios.
- Notar que estes assuntos são explicitados em:

TOMO I.12 (ensaios etc.)

## TOMO II.8 (barragens de terra)

Portanto, podendo ser aqui os subtítulos nada mais do que ex.

- (a) Pressões  $U_{constr}$ . erradas nos ensaios e nas obras monitoradas USBR
- (b) Caso da Barragem e Dique de Vigário, Terzaghi 1948
- (c) Caso da Barragem de Três Marias, etc.

### Artigos VM:

1) “Da importância de resgatar o passado, no caso de incidentes em barragens: exemplo de Santa Branca” (XXII - Seminário Nacional de Grandes Barragens - Vol. 1- pp.229-245.1997)

2) “Acidentes em Barragens” (III COBRAMSEF – Vol. I – pp. V-54 a V-73. 1966)

3) “Riscos associados a Barragens” (Simpósio: Riscos Associados a Barragens, Julho/01, CBDB, NRSP - publicado em CD-ROM, Mar/02, Páginas 40, 70-71, 210-213, 216-217 e 244. 2002 – Debate sobre aspectos gerais e portfólio de riscos)

4) “Barragens de Maciços Granulares, prejudicadas nas comparações por práticas e conhecimentos preliminares destaca(dos)(veis) há algum tempo” (GEOSUL'2002 - III Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul, Junho de 2002, Editora Pallotti, pp. 11-35, 2002 – itens 2 e 2.1)

**6.2 Determinante o ARRANJO GERAL, os três circuitos hidráulicos, e domínio Geológico-Hidrológico-Topográfico moldado sobre acidentes tectônicos e geomorfologia fluvial de curvas.**

**6.3 Ensecadeiras para desvios, problemas e soluções. Casos especiais que geraram soluções. Seção de fechamentos e transições. Acidentes. Otimizações de incorporação na seção global.**

Aquisição e instalação dos equipamentos eletro-mecânicos como caminho crítico, principalmente nas hidrelétricas: acresce logística das concretagens das obras, especialmente quando Casa de Força, CF, e Vertedor conjugados no leito rochoso. Influi também muito fiabilidade de período de vazões baixas e pouca pluviosidade, para desvio do rio, principal Azar de período construtivo:

note-se, em bacias bem pequenas os dois coincidem, mas nas grandes a imensas, de longe não.

Incorporação da ENSEC.MONT. Hidrologia com estação de baixas vazões razoavelmente definida e longa: abaixar a ensecadeira o máximo possível (inclusive usando ensecadeiras dividindo o rio longitudinalmente), para minimizar seção de fechamento. ADMITINDO ENSECADEIRA FIXA, COMPARAR (ESQUEMÁTICAS) SEÇÕES DE BASE.

Pormenores típicos das ensecadeiras, dependendo de períodos de baixas vazões e de pluviosidades locais altas não coincidentes: pré-ensecadeiras, limite de desnível MON-JUS e empurramento do enrocamento; versões da subida para ensecadeira de Azar suficientemente baixo para atender a período de enchentes anuais.

### **6.3.1 Leito Rochoso do rio. Obras hidráulicas no caminho crítico. Fechamentos-desvios por etapas.**

Desenhar seções de terra CONVENCIONAL, para ressaltar ensecadeiras NÃO-INCORPORADAS.

Questões de direitos Riparianos e vazão para JUS durante 1<sup>o</sup> Enchimento. Água de fundo do reservatório não aproveitável.

Casos de canal profundo muito diferente do leito maior. Suspeita geológica obrigatória. Exemplo Jaguará. Rio expressão geomorfológica de percurso de menor resistência, conjugando geologia e erodibilidade por velocidade crescente com aprofundamento segundo mergulho, feições geológicas planares assumindo sinuosidade. Historicamente, repartição de cargas e não de energia, local de implantação de Obra de Recurso Hídrico alguma Anomalia Geológica, corredeira, salto, curva acentuada. Historicamente desconfiança maior do aterro mal compactado, fundação rochosa admitida são. Configurava

também mentores iniciais totalmente embebidos nas teorizações da Mecânica dos Solos, desconsiderando geologia.

Desenhar seção CONVENCIONAL, apenas acrescentando INCORPORAÇÕES DE ENSECADOURAS, espec. MON, e ganhos em extensões DESVIOS e Descarga de fundo?

Corrigir comparativamente com Seção otimizada.

Mini-rios em bacia ampla, ombreiras terrosas, subida de aterro compactado em inclinações alternadas (Atibainha?); fechamento de garganta fechada (Rússia?), Alto da Serra S.P. Paranoá e Saramenha, Vertedor rochoso escavado e erodido, concreto dental. Subpressões sob laje de calha do Vertedor e “Flip-Bucket”.

#### **Artigos VM:**

1) “Barragens de Maciços Granulares, prejudicadas nas comparações por práticas e conhecimentos preliminares destaca(dos)(veis) há algum tempo” (GEOSUL'2002 - III Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul, Junho de 2002, Editora Pallotti, pp. 11-35, 2002 – item 3.1 e 3.2)

**6.4 Seção otimizada proposta, para filtros-transições de montante a jusante, e também do subsolo-fundação. Lapsos de conceito e de execuções freqüentemente praticadas.**

**6.4.1 - Rupturas imprevistas, mas atribuíveis a fatores geológico-geotécnicos:**

Conferir (1) Tabela do Sherard 1963 escoimando

- a) casos por transbordamentos e sismos etc.
- b) procurar em Tabelas mais atualizadas (Laginha Serafim, ICOLD)



- c) escoimando tudo pré-ICSMFE Harvard (1936), 1940 admitindo  $\pm 4$  anos p. projeto e construção.

#### **6.4.2 - Fatores condicionantes prioritários para seção otimizada atualizada.**

Três níveis de interveniências naturais:

- (1) Atmosférico, Meteorologia e Hidrologia
- (2) Topografias, local, próxima afetando acessos e logística local de transportes, empréstimos, e canteiro e reservatório.
- (3) Geologia-geotecnia da área de implantação. **Três níveis de metas do Empreendimento.**
  - (a) Cliente Direto
  - (b) Cliente Indireto
  - (c) Influência Ambiental.

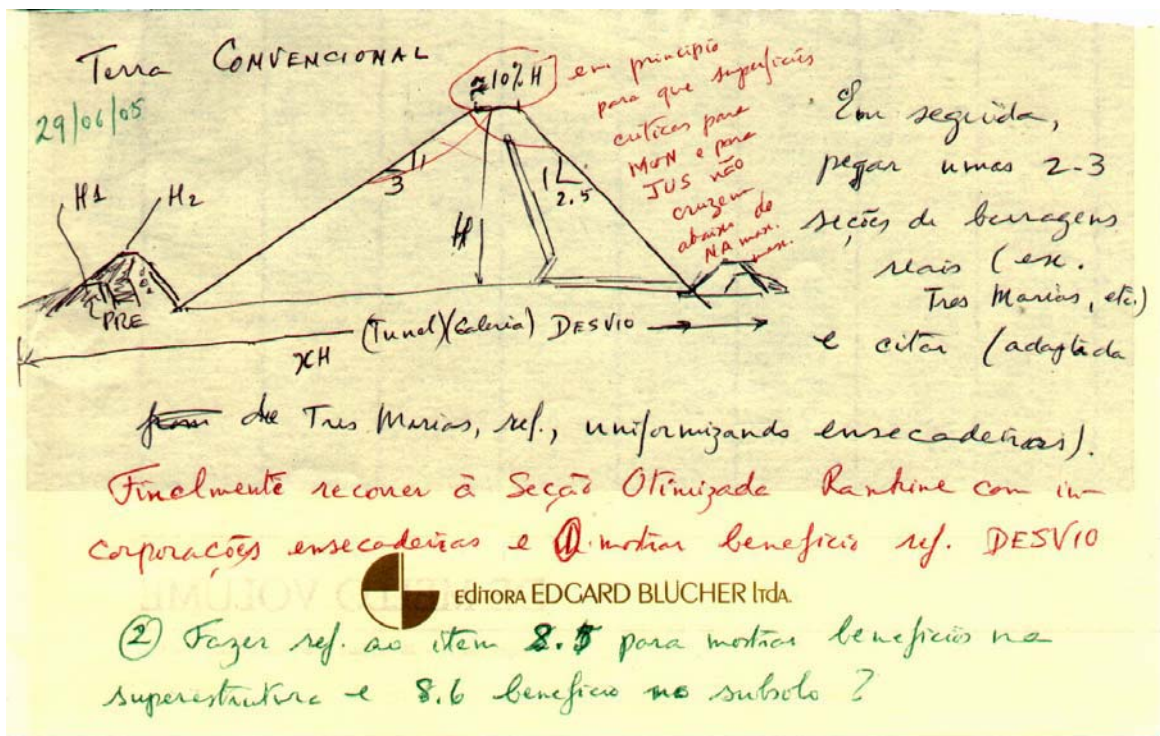
Três fases cronológicas de avaliação de Azares e Riscos:

- (I) Período Construtivo e primeiro enchimento
- (II) Operacional de médio prazo de ratificação do investimento sem inversões complementares
- (III) Operacional de longo prazo, com exigências de manutenções, reformas, e eventual desativação.

Empregando casos reais (preparar desenhos esquemáticos ilustrando condições max., méd., min.?). Por exemplo (1) para reservatório observação de “taludes naturais” e inclinações de árvores interpretadas melhor possível. (2) Ref. Logística local de transportes, Guavio (túneis, e decisão de desperdiçar cunha de base de bota-fora). Distância de empréstimos, Raspagem de horizonte delgado de argila vermelha (Nova Ponte ou Ponte Nova, DAEE?): IRAPÉ?

- (I) Princípio que esposo de compactar  $\pm h_{comp} \approx 102-105\%$  hot para maximizar  $\Delta u = f(\Delta H)$  de aterro, acompanhando com piezômetros (só construtivos), com impunidade e pré-teste. N.B. Rechaçando os ensaios **prévios** de pistas experimentais, empregar volume impune (tapete semipermeável interno de meio e JUS) como pista experimental impune para **máxima gama** de investigações.

ENCONTRAR OUTROS EXEMPLOS e referências ?



#### 6.4.3 - Seção idealizada otimizada atualizada segundo 6.4.1 e 6.4.2

Desenhar seção esquemática otimizada assinalando **princípios** atendidos ou fazendo **referências cruzadas** para itens em que assunto é pormenorizado. SEM INCORPORAR CAMINHO CRÍTICO E DESVIO. Por exemplo: recortar talude de montante para otimizar c e facilitar manutenções da proteção MON (rip-rap bem espalhado imbricado) ou solo-cimento Talude JUS bem íngreme, FG durante construção, rede RES. isolada. Filtro-septo inclinado para MON beneficiando  $\Delta u$  const. e rede RDD, e minimizando trecho rede - RES p. JUS.

Indicar fatores intervenientes dominantes que passaram a ser desconsiderados, pela concentração egocêntrica só na Mecânica dos Solos; fundações boas escolhíveis, superestruturas terrosas mais manejáveis do que pedregosas. Terraplenagem viabilizável, compactações questionáveis. Barragens de aterros hidráulicos e seus desfechos diferenciados mundialmente, Fort Peck Dam, e de terra.

### **Artigos VM:**

1) “ Embankments” (Chapter 44, Ground Engineer's Reference Book by F.G.Bell Butterworths, 1987 – item 44.4.4, 44.5)

2) “Barragens de Maciços Granulares, prejudicadas nas comparações por práticas e conhecimentos preliminares destaca(dos)(veis) há algum tempo” (GEOSUL'2002 - III Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul, Junho de 2002, Editora Pallotti, pp. 11-35, 2002 – item 3.4)

**6.5 Empréstimos: terraplenagem, compactações. Ajustes judiciosos, experiências reveladoras, conceitos revistos.**

**6.6 Solicitações críticas. Ensaio correntes e necessidades de ajustes corretivos via EPs. Análises de instabilizações referidas aos itens 5.1 e 5.2.**

**6.7 Tratamentos de impermeabilizações e drenagens de fundações.**

**6.7.1 Em fundação terrosa e barragem mógicas. Trincheira de lama.**

### **Artigos VM:**

1) “Técnica usada na injeção reduz a permeabilidade do solo residual” (Revista da Construtora Andrade Gutierrez - Ano 7 - n. 15 - pp. 19-22. Setembro / Dezembro, 1987; Tropicals'85 - ABMS - V. 1 - pp.385-390, 1985)

2) “Barragens de Maciços Granulares, prejudicadas nas comparações por práticas e conhecimentos preliminares destaca(dos)(veis) há algum tempo”

(GEOSUL'2002 - III Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul, Junho de 2002, Editora Pallotti, pp. 11-35, 2002 – item 3.3)

### **6.7.2 Tapetes impermeabilizantes e filtro-drenante na calha. Atapetamento em ombreira porosa.**

#### **Artigos VM:**

1) “Reopening questions in embankment dams, design-performance” (Preface- The use of roller compacted concrete. Francisco Rodrigues Andriolo - 1998)

2) “Principais ilusões, alçapões e iniciativas inconsequêntes nas quantificações correntes de avaliações de riscos” (Simpósio: Riscos Associados a Barragens, Julho/01, CBDB, NRSP - publicado em CD-ROM, Mar/02 Painel de Avaliação, pp. 247-268, 2001)

3) “Barragens de Maciços Granulares, prejudicadas nas comparações por práticas e conhecimentos preliminares destaca(dos)(veis) há algum tempo” (GEOSUL'2002 - III Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul, Junho de 2002, Editora Pallotti, pp. 11-35, 2002 – item 3.5)

### **6.7.3 Cortinas-diafragmas impermeabilizantes e drenantes: correntes, e a otimizar.**

### **6.8 Otimizações do talude de montante. Ventos, ondas, erosões, proteções: manutenções. Talude de jusante e crista.**

#### **Artigos VM:**

1) “Dispositivos de impermeabilização de taludes de Barragens de Terra-enrocamento” (IX Sem. CBGB – Vol. – pp.1-25, 1973)

2) “Reconstruindo bases para a geotecnia prática comparativa difundindo estatística-probabilidade (EP) simples e convidativa para tudo.” (XII COBRAMSEG, ABMS, Vol. 2, pp. 1271-1294, Outubro de 2002 – item 5)

### **6.9 Transicionamento para encontros com seções-gravidade.**

## **6.10 Controle construtivo do próprio equipamento, e ensaios Hilf-Proctor. Monitoramentos de tensões/deformações durante construção.**

### **Artigos VM:**

1) “Comportamento de materiais compactados à luz da experiência em grandes barragens” (Revista GEOTECNIA, N’34 -pp. 3-43 – Março 1982 – compactação, Salto Osório)

2) “Método de Hilf. Estudo de aplicabilidade” (VII CBGB – Discussions (summary refs.) Nov. 1971)

3) “Geotecnica’s experience in compaction control of earth dams” (1st PCSMFE – Vol. II – pp.637-655 – September 1959)

## **6.11 Primeiro enchimento, e início vida operacional. Experiências e rupturas mundiais marcantes.**

### **Artigos VM:**

1) “ Embankments” (Chapter 44, Ground Engineer's Reference Book by. F.G.Bell Butterworths, 1987 – item 44.6.4)

2) “Some problems and revisions regarding slope stability assessment in embankment dams” (Proc.Intern.Symp. On Problems and Practice of Dam Engineering - pp. 81-98. December 1980 – item 4, 5)

3) “A case history of major construction period dam failure” (Special Volume of Tribute to Prof.Dr.Ir. E. de Beer, pp.63-78, 1982)

## 7 - ATERROS SOBRE ARGILAS MOLES

Sínteses diversas, erraticidades, erros, críticas, e soluções. Avanço de ponta com espessura entre máximo obviando a ruptura, e mínimo almejavél para ulterior acréscimo com equipamento, compactação ou não. Resistências solicitadas seqüencialmente, e deformações. Estivas e traficabilidade inicial. Camada drenante. Argilas subadensadas junto a elevações de rochas fraturadas. Aterros de encontros de pontes, hipóteses econômicas questionáveis quando não fundados sobre subsolo firme, passando a requerer soluções especiais por estabilidade e deformações. Capitéis sobre estacas analisados analogamente o arranque de placas.

### Artigos VM:

1) "Embankments on soft clay, a continuing challenge of misspent efforts" (Symp. On Developments in Geotechnical Engineering - January - pp. 383-399, 1994)

2) "Geotechnical Engineering for the third millennium: Seeking a renewed start" (XI PANAN (ISSMGE), Vol. 4, pp. 119-157, 1999)

### 7.1 Análises clássicas de Fellenius: e, para camada delgada, ruptura por expremer de Jurgenson para aterros planos de $\Delta\sigma_v$ inicial conhecido.

Ruptura circular. Fellenius  $s_u$  constante. Variação de  $s_u$  com profundidade. Variação de  $s_u$  com direção do trecho do círculo.

Conferir diferença comparativa de Fellenius, circular, com superfície de "sapata corrida" de Terzaghi para  $\phi_{uu} \cong 0^\circ$  a  $10^\circ$  ( $0^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ?)

### 7.2 Erro de lançamento de areias dragadas, saturadas em faixa larga. Ajustes de $\sigma_v$ em sequência construtiva. Bermas.

Ajustes de  $\sigma_v$

Primeira camada para traficabilidade, empurrada de ponta, algo menor que  $Z_{\gamma_{nat}}$ . Aterro argiloso seco, e/ou com camada drenante de areia, se não se depende, e, faixa mais larga, de escoamento lateral.



Para correções de  $(\sigma_v)_t$  caberia (?) fazer análises FEM com seqüências de camadas melhor compactadas por etapas, e com resistências e deformações mobilizadas seqüencialmente, admitindo curvas tensão-deformação e  $(E, \mu)$  judiciosos: só para comparação de relevância face à prática corrente.

**7.3 Ajustes de  $s_u$  em camada expressa, variação linear com profundidade (solo Gibson): variação em função do  $I_p$  (Bjerrum et al.); subadensamento por artesianismo. Adensamento parcial superficial por absorção pela primeira camada de aterro seco espalhado para traficabilidade. Idealizações criticadas para ajustes: tensão-deformação mobilizada longitudinal vs. lateral.**

Ajustes de  $s_u$  com função do  $I_p$  da argila (Bjerrum etc).

Ver a sugestão original de Bjerrum, de variação dos  $s_u$  (palheta) variando com  $I_p$ . Aplicar regressão e faixa CI. Em função da publicação mais recente, com mais dados, rever a regressão e CI. Admitindo menor aplicabilidade lógica do  $I_p$  do que do  $W_L$ , rever (o quanto possível) pelo  $W_L$ . De qualquer forma, conceituando irracionalidade de relacionar  $(s_u)_{indef}$  com índices “amolgados”, conferir, na medida do possível com  $W_L$  e  $S_t$ , no mínimo  $W_L$ , AC.

Em seqüência analisar criticamente o grau de relevância da variação do  $s_u$  **na superfície cisalhante** em função da direção. Admitir algumas **superfícies de formatos diferentes (?)** e proceder análises de instabilização ex. por Bishop (programa permite usar com  $\sigma_t$  e  $s_u$ ?).

Análises FEM com  $s_t$  Atuante “mole”, para mostrar ordens de grandeza da ilusão teórica. Maior ou menor do que Bjerrum? Significativas?

Por ex. (1) Três larguras diferentes do aterro, mesma prof. da superf. crítica. (2) Uma largura média, (3) profs. diferentes, modestas.

- 7.4 Variantes construtivas. Avanço de ponta, muito alta expulsando a argila: volumes quase secos empurrados para baixo avançando rápido; resistência mobilizada na superfície resulta contraproducente. Aterros de encontros de pontes, RUPT e deformações.**
- 7.5 Estivas, vegetação desfolheada, bambu, etc para traficabilidade inicial. Geotexteis como reforços, repetitivos.**
- 7.6 Capitéis sobre estacas sustentando aterro: modelo arrancamento. Jet-grouting como reforço estrutural, subsolo e aterro.**
- 7.7 Drenos verticais diversos comparados. Erros típicos de conceito e de prática.**
- 7.8 Adensamento por vácuo.**
- 7.9 Apreciação resumida de (1) coletâneas de casos (2) Desafios DPOs de previsões PREVs vs. Resultados obtidos OBTs.**



## 8 - EMPUXOS DE TERRAS SOBRE CONTENÇÕES, RÍGIDAS E FLEXÍVEIS

### Artigos Victor de Mello:

1) “Desafios no desenvolvimento de uma engenharia de solos autóctone firmemente enquadrada em princípios universais” (VII Congresso Brasileiro MSEF-ABMS - Vol.8 pp.49-135 – Set. 1982 – item 5.7)

### 8.1 Introdução

Comportamentos revistos em função da reversão do conceito associado à resistência e FS, para o reconhecimento de que sendo dominante a interveniência de deformações, intervêm todas as três tensões,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ . Mesmo aceitando a pressão vertical com determinável (ou pelo menos pouco questionável a diferença respectiva em aprofundar uma contenção) persistem como prioritariamente desconhecidas as tensões laterais in situ ( $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ). Casos hipotéticos específicos comparados, admitindo (1) toda a gama de variações de condições (iniciais) em repouso, desde o  $K_{AR}$  até o  $K_{PR}$  (2) (A= ativo, P=passivo) que dependendo das anisotropias iniciais e/ou geradas, confirmam que resultem diferentes, por etapas, as melhores regressões de comportamento incremental força-deslocamento (ou tensão-deformação) e merecem ajustes. Análises representativas de ordens de grandeza das variações, reconhecidamente viscerais.

Importância de examinar em cada parâmetro convencional (ex. edométrico etc.) quando é que ele depende intrinsecamente de deformações porque então realmente entram em jogo as três tensões ( $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ), mesmo se simplificadas só para duas ( $\sigma_A$ ,  $\sigma_R$ ) admitindo as pressões laterais como iguais  $\sigma_{RX}$ ,  $\sigma_{RY}$ . Assim tais parâmetros exigem correções se/quando tais tensões laterais forem conhecidas, ou inquirição das margens de erro possíveis/prováveis dependendo dos valores hipotéticos a adotar.

Dentro da importância prático-profissional perene de investigar velocidades e acelerações decorrentes das “prováveis” alterações ação/resistência, tanto de

parâmetros como do modelo teórico, postular, como exemplo, o aumento da altura a conter, por incrementos judiciosos.

Estruturas com contenções por ancoragens passivas e ativas: validade, neste caso, do comportamento segundo deformação-controlada, em lugar ao mais comumente natural, de força-deslocamento.

## **8.2 Histórico via Instabilização-Ruptura, e FSs arbitrários. Empuxos “repouso”.**

Seqüência intelectual compreensível. Coulomb com hipóteses extensíveis e ajustáveis dentro da grafostática corrente ( $\Sigma V = 0$ ,  $\Sigma H = 0$ ). Cunha de ruptura planar, porém divisível em poligonal de lamelas subhorizontais paralelas ao talude. REAÇÃO ao Empuxo (AÇÃO) adotada com inclinação pré-fixada, de ângulo de atrito solo-parede entre  $0^0$  e solo-solo. Pormenorizações de Poncelet (1840) simples: Rebham (1871), Culmann (1875), Engesser (1880), mais matematizadas; etapas e conceitos comparativos interpretados. Tensão cisalhamento crítica simultânea implica em obra de porte modesto. Livros-texto limitados à condição NA de  $\sigma_v$  dominante.

### **8.2.1 Coulomb, 1776, Equilíbrios de Forças Globais simplificadas.**

Coulomb: possibilidade de separar variações de Ações e Resistências mobilizadas

Fenda de tração, via diferenças de altura (para não depender de análise de Terzaghi (1943) (p.26, 31, etc. Rankine... P. 36 ?) P.97)

### **8.2.2 Rankine, 1857, tensões conjugadas, contenção como plano do maciço.**

### **8.2.3 Jaky, 1944, empuxo no plano central em repouso, em pilha granular em ruptura.**

### 8.3 Hipóteses de Coulomb estendíveis e ajustáveis.

Noções das condições de construção e projeto variadas.

Para a maioria dos muros de contenções a obra considera a construção do muro primeiro, e do maciço arrimado como aterro (sem considerar  $\sigma_P$  de compactação). Importa muito avaliar o  $\sigma_P'$ , e os previsíveis movimentos do muro quanto a (a) translação da base (b) inclinações do muro (c) recalque do maciço (d) eventual recalque do muro (e não do aterro). Observações dos empuxos em alguns contatos de barragens de terra compactada contra estruturas de concreto. Faltaram ensaios.

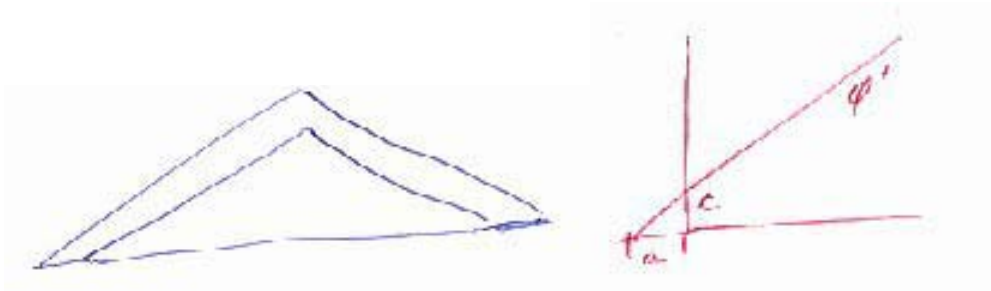
No caso de taludes de corte postula-se iniciar com um corte de ESTABILIDADE TEMPORÁRIA, baixo Azar, e segue o muro e o preenchimento da cunha triangular como aterro compactado.

Localizar livro-refer. de Ábacos de Caquot-Kérisel.

### 8.4 Conceitos de Rankine, e especialmente Jaky, retrocessos.

Seleção natural entre estoque lançado  $\varphi_L'$  e  $\varphi'$  escavado  $\varphi_E'$ : pequeno em areia uniforme arredondada, maximizado em ENROCAMENTO 1,3H:1H e 1H:1,3V,  $\varphi_L' 37^{\circ},5$   $\varphi_E' 52^{\circ},5$ .

Jaky 1944, empuxo em plano central em repouso, função da pilha granular em repouso com taludes em condição de ruptura. Críticas conceituais. Também impossibilidade de incorporar coesão via a translação de eixos para acrescentar  $a = c \cdot \cot \varphi'$ .



### 8.5 Faixas presumidas de empuxos-reposso convencionais.

Faixas correntemente presumidas como afastamentos a partir do acatado  $K'_o$  JAKY mediante:

- (1) cálculo dos valores dos Empuxos Ativo  $K'_a$  e Passivo  $K'_p$  e adoção arbitrária de  $FS_s$  (ex.  $\approx 1,5$ )
- (2) reconhecendo dependerem de DEFORMAÇÕES, adotando diferentes ( $E, \mu$ ), mais rígido na condição de alívio do que na de compressão [OBRIGATÓRIO REFERIR AOS ENSAIOS TOMO I, 12, ISOTRÓPICOS/ANISOTRÓPICOS, CD, CU, UU, e Stress-Control vs. Strain-Control quando PRE-FAILURE  $S_t$  forem maiores]
- (3) Ainda mais corretamente, como todos os empuxos dependem de deformações, e estas dependem de  $(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$ , segundo necessário para DIAFRAGMAS etc... (TOMO III.10) que são (rígidos ou flexíveis) ditados por DEFORMAÇÕES TOLERÁVEIS, e não por  $FS_s$  referidos à ruptura...recorrer aos gráficos COMPARATIVOS de I.6, I.12 para ordens de grandeza de ERRATICIDADES e E.P.(C.I.), (F.A.) dependendo da orientação e magnitude da TENSÃO DOMINANTE. Conclue-se que falta sempre saber (1) CONDIÇÃO INICIAL de tensões-in-situ (2) para "CHANGE OF CONDITIONS"...
- (4) correção do  $E_{PASSIVO}$  segundo Terzaghi 1943 em comparação com Rankine etc... % COMPARAÇÃO para diferentes  $\phi'$  CD, CU, UU ...

### 8.6 Reforços com ancoragens, passivas e ativas.

Reforços com ancoragens, passivas e ativas, incorporam vantagem às curvas (específicas judiciosas, e não meramente correntes convencionais) tensão-

deformação de DEF.ESP. CONTR., em lugar às mais comumente naturais de FORÇA → DESLOC., reduzidas às tensões controladas (ruptura mais fraca).

## **9 - PRINCIPAIS BARRAGENS COMPLEMENTARES-COMPETITIVAS NA ATUALIDADE: EXAME LÓGICO DE SEUS PRINCÍPIOS, VANTAGENS E DEFICIÊNCIAS, SEGUNDO PRÁTICAS CONVENCIONADAS “POR EXPERIÊNCIA”, E POSTULAÇÕES DE AJUSTES POR “FERTILIZAÇÃO CRUZADA”**

Enrocamento com face de concreto: terra-enrocamento com ensecadeiras maximamente incorporadas; tipo gravidade de concreto rolado, execução genial desenvolvida em Tarbela para preenchimento emergencial do profundo/volumoso fosso erodido a jusante; terrosa tipo “homogênea” sobre solos muito espessos e sobre ombreiras de horizontes progressivamente decompostos.

Afastam-se liminarmente as de enrocamentos empurrados de ponta com aplicação de potentes jatos d’água (última, recorde de altura, foi Paradela, 110 m, Portugal 1956); e as de emprego de “concretos-asfálticos” seja como faceamento “flexível”, seja “a fortiori” como núcleos verticais centrais, por múltiplas razões.

Como princípio liminar sedutor começa-se com a dicotomia casada de duas funções “perfeitas”: o corpo do enrocamento compactado impossível de instabilizar, inclusive auto-testado na execução; e a laje de concreto insuspeitamente impermeável. A “trincheira de vedação” vertical curta histórica foi corrigida por Terzaghi (1960) para o “plinto horizontal de montante” como potencial laje de capeamento de injeções, por raciocínio insofismável.

Um primeiro questionamento retrospectivo refere-se à dicotomia de Vertical (V) curto para Horizontal (H): a lógica sugere qualquer ângulo topograficamente menos inconveniente mas orientado em função das fraturas a injetar do maciço rochoso. Fator desfavorável à conjugação das perfeições advém da hidrologia que requer a ensecadeira de montante não incorporável para o período construtivo, estendendo os túneis profundos de desvio, hidrologia mais rica aumentando azares de galgamento e/ou altura/extensão da ensecadeira.

Relembrando analogias e probabilidades lógicas cabe inquirir porque não usar túnel perimetral em lugar do plinto perimetral, inclusive criando disponibilidade para atendimentos a deteriorações de período operacional. Sem grande esforço de engenhosidade, porque não recorrer a soluções mistas (com superposição lateral adequada), por exemplo, de solução diferente na calha fluvial plana (onde é fácil injetar sob o plinto H em rochas, e, inclusive sendo fundo aluvial emprega-se o diafragma), enquanto que para as ombreiras, especialmente quando de topografias inclementes rochosas ou de horizontes decompostos indefinidos, o indicado seria O TÚNEL PERIMETRAL, inclusive diferenciadamente na esquerda e na direita? Em seguida cabe recordar as “juntas” (cobre, Fugenband etc...) satisfatoriamente empregadas em barragens de concreto, para pressões análogas. Retrospectivamente conclui-se ser determinante o problema das magnitudes das deformações, a desvantagem da “perfeição conjugada” do enrocamento de grandes interstícios, e a indisponibilidade da porta aberta a fáceis reparações perimetrais. Soluções convencionadas de seqüência de transições granulares olvidam descontinuidades incontroláveis entre elas. Principais atenuantes de deformações dependem de aumento do número de contactos pontuais, e esmagamentos respectivos mediante maiores pressões de compactação (proporção do peso do compactador para o da pedra, incluindo benefício, a investigar, da molhagem dos contactos, práticas todas empregadas historicamente e negligenciadas nas rotinizações da louvada experiência). Portanto, para a adequação das juntas, e seus azares de aberturas excessivas, exigem-se análises atualizadas de deformações: inclui-se a alteração no contacto enrocamento-rocha que afeta a junta perimetral, e, com efeitos 3-D, próximo às ombreiras as juntas verticais entre painéis, e as juntas frias de concretagens em diferentes cotas. Tais fatores nevrálgicamente críticos têm sido atendidos por “RECEITAS segundo experiência” não evitando graves surpresas seguidas de correções caras e explicações retrospectivas suspeitas: isto sem perspectiva de diminuição por terem sido abandonados os “ensaios de referência”, que convidam a análises paramétricas. Repetem-se as exigências de análises das velocidades e acelerações das deformações em diferentes cotas; interferem dois tipos de “velocidades”, uma de enchimento do reservatório, e outra de efeitos-tempo. Críticas às soluções paliativas de filtros

e de colmatações, todas com limitações, principalmente quando desconhecidas as magnitudes prováveis/possíveis a que atender. No comportamento da laje interfere visceralmente a aderência do concreto com seu “berço”, obviamente variando com a pressão normal hidrostática.

Admitido o perfeccionamento do plinto e junta, o próximo caso a abordar é o da barragem de gravidade de concreto, sendo praticamente desnecessário abordar o tipo clássico em comparação com a “tipo-gravidade” de concreto rolado, com suas grandes vantagens porém com suas vicissitudes de significativas anisotropias horizontais e o emprego indispensável da laje impermeabilizante de montante. No caso clássico sempre foram sentidas as duas principais irracionalidades, de face subvertical de montante recebendo o empuxo hidrostático exigindo a exclusão de trações a montante, e os múltiplos inconvenientes da galeria de injeções e drenagens, com forte gradiente entre as duas (dispostas geometricamente, portanto nem sempre segundo otimizações geológicas condicionantes). Ora, em primeiro lugar, com grandes vantagens técnicas e logísticas pode ser usada a laje-plinto de montante para injeções, com a junta acoplada ao corpo essencialmente impermeável, e predominantemente coesivo. O que não tem sentido nenhum é não ter rodado o corpo coesivo do maciço para ter uma face inclinada de montante, com a vantagem de que no enchimento da represa aumentam simultaneamente os esforços horizontais (e momentos) instabilizantes, e os esforços inclinados de incremento estabilizante. Bem possivelmente as larguras montante-jusante poderão ser reduzidas. Para o caso do concreto rolado falta a indispensável espessura de faceamento impermeabilizante: esta seria favoravelmente aplicada por forma deslizante sobre o corpo inclinado, tal como é praticado na barragem de enrocamento de face de concreto.

Quanto à barragem tipo “homogênea” sobre subsolos muito espessos, o modelo-mental otimizado para a superestrutura foi formulado segundo a Rankine Lecture (1977), e empregado com muito sucesso em Emborcação M.G. 160 m, sobre apoio rochoso que teria obviamente dispensado qualquer injeção das fundações. No tocante aos subsolos terrosos, tudo depende da geologia-geotecnia respectiva, com suas erraticidades já apontadas, exigindo



maior ou menor prudência: porém, não deixa de ser inexorável o caminho, sinuoso ou não, montante-jusante da perda de carga. Enfatizam-se portanto dois princípios fundamentais: perante percolações subhorizontais, são inquestionáveis as preferências por elementos verticais, tanto impermeabilizantes quanto drenantes; ademais, com as incorporações das ensecadeiras, e hidrologia rica, as eficácias destes elementos já vão sendo parcialmente conferidas. Em contraposição, é irracional o emprego de tapetes impermeáveis de montante, também subhorizontais, estendendo a responsabilização horizontal de relativa indefinição: ademais a feição só é posta à prova na fase de enchimento, e devido à significativa diferença transiente de pressão sobrejacente e a que se estabeleça diferenciadamente sob o tapete segundo a rede de percolação prática, distinta da idealizada, influem não só os problemas das percolações mas também os dos recalques diferenciais, fendilhamentos etc. Considerando em primeiro enchimento mais rápido os desenvolvimentos das pressões verticais, diferenciadamente em cima e sob o tapete segundo a rede de percolação prática, distinta da idealizada, influem não só os problemas das percolações mas também os dos recalques diferenciais, fendilhamentos, etc. São dois fatores de irracionalidade, mesmo sem incluir um terceiro, de interveniência adicional em período operacional, em casos de sismicidade.

Para as ombreiras de solos residuais adentrando em horizontes progressivamente mais decompostos vale empregar o tapete de montante, de espessura essencialmente constante, recobrando a topografia: e mesmo, preferivelmente, o chamado “atapetamento” revolvendo uns decímetros da superfície, umedecendo-a, e recompactando, utilizando a queda típica da permeabilidade para menos de 1% a  $1^0/_{00}$  da natural. Por razões da rocha fraturada ter o fundo fraturado geralmente mais permeável, e para drenar/estabilizar a condição de jusante, convém empregar trincheira drenante de jusante o mais profunda possível.

### **9.1 Enrocamentos “de ponta”, soltos, com jatos de água frontais: compactados acima de 100m, $\geq 1958$ .**

## **9.2 Enrocamentos-filtros/transições-terra: princípios e práticas locais históricas. Casos.**

### **Artigo VM:**

1) “Opening renewed and continually vistas for geotechnique through widespread diffusion of simples Statistics-Probabilities (SP) with nominal Confidence Intervals, (CI)” (International e-Conference on Modern Trends in Foundation Engineering - Geotechnical Challenges and Solutions 26-30 Jan. 2004 - [www.ecfg.iitm.ac.in](http://www.ecfg.iitm.ac.in) Themes of the Conference, 13. General Issues, 13.1 (artigo), 2004 – item 2.5)

### **9.2.1 Resumo de fatores locais e Arranjo Geral como justificantes.**

**9.2.2 Primeiro, otimizados espaldares e núcleo: estabilidades, e impermeabilidade.**

**9.2.3 Segundo, alerta ref. compatibilizar deformações/recalques, em todas fases.**

**9.2.4 Casos específicos: Escandinavo, Inglês; núcleo vertical mole; face-tapete argilosa tipo Growdon.**

**9.2.5 Ensecadeiras otimizadas incorporadas: logística hidrológica de fechamento.**

### **Artigo VM:**

1) “Barragens de Maciços Granulares, prejudicadas nas comparações por práticas e conhecimentos preliminares destaca(dos)(veis) há algum tempo” (GEOSUL'2002 - III Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul, Junho de 2002, Editora Pallotti, pp. 11-35, 2002 – item 3.2)

**9.2.6 Condições dos encontros laterais, para núcleo e demais faixas.**

## **9.3 Enrocamentos com faces de lajes impermeáveis.**

## **Artigo VM:**

1) “Creating and coping with continual change, with care, in civil-geotechnical engineering” (PACHECO E SILVA 2000 - ABEF/ABMS - Julho/2000 – item rockfill dams, core and concrete-face)

**9.3.1 Enrocamento solto, empurrado de ponta sob jatos d’água. Laje de concreto.**

**9.3.2 Enrocamentos compactados, zoneamentos funcionalmente direcionados.**

**9.3.2.1 Seção orientada segundo intuições para comportamentos. Condicionamentos logísticos.**

**9.3.2.2 Face ou diafragma central asfáltico. Questionamentos.**

**9.3.2.3 Túneis de desvio otimizados. Estruturas e Comportas minimizadas.**

**9.3.2.4 Fechamento do tampão concretado, injetado. Túnel longitudinal vantajoso.**

**9.3.2.5 Procedimentos otimizados de execuções do maciço. Sanduíche prático desejável.**

**9.3.2.6 Enrocamentos galgáveis com percolação por talude.**

**9.3.2.7 Ensaios necessários de laboratório e de campo. Comportamentos-índice.**

**9.3.2.8 Produtos britados não representativos. Ensaio tipo Los Angeles ajustado.**

**9.3.2.9      Ligação pé da laje-fundação. Vedação vertical histórica →  
plinto horizontal. Reapreciações?**

**9.3.2.10     Hipótese de galeria perimetral a otimizar sob elemento  
impermeável, cf. 2.2.4.**

**9.3.2.11     Enchimento terroso selante protetivo questionável.  
Incorporação parcial da ensecadeira?**

**Artigos Gerais VM, sobre enrocamento:**

1) “Barragens de Enrocamento com membrana impermeável de montante. Histórico, concepção, evolução e involuções” (Simp. De Barragens de Enrocamento com Face de Concreto - pp. 49-69. Realizado em Dez./1993)

2) “Inquiry into Rockfill slope stability analyses”( Irrigation and Power journal - V. 51 - n. 4 – pp. 23-40 - October 1994)

3) “Adelantos sugeridos de estabilidad de taludes en escolleras compactadas” (Separata distribuida na X Conferencia Argentina de Mecanica de Suelos y Ingenieria de Fundaciones - Abril 1988 – ítem 4, pg. 9)

4) “Behavior of two big Rockfill Dams, and design aims” (Intern.Conf.on case histories in geotechnical eng. V. II - pp.923-942, 1984)

5) “Instabilizações de taludes de enrocamentos. Reapreciações conceituais” (Revista GEOTECNIA, n. 47 - pp.1-48 – Novembro 1985)

6) “Some problems and revisions regarding slope stability assessment in embankment dams” (Proc.Intern.Symp. On Problems and Practice of Dam Engineering - pp. 81-98. December 1980 – ítem 3 )

7) “As lições de Foz do Areia para barragens altas” (Revista DIRIGENTE CONSTRUTOR - Vol. 17, n.3, pp. 38-43, 1981)

8) “Dispositivos de impermeabilização de taludes de Barragens de Terra-enrocamento” (IX Sem. CBGB – Vol. – pp.1-25, 1973)

9) “Dispositivos de impermeabilização de Barragens de Enrocamento, e apreciação simultânea da proteção dos taludes” (Revista Geotecnia - 5 (14) - pp.23-51. Outubro/Novembro.1975)

10) “Reopening questions in embankment dams, design-performance”  
(Preface- The use of roller compacted concrete. Francisco Rodrigues Andriolo, 1998)

#### **9.4 Barragem de concreto compactado a rolo.**

##### **Artigos VM:**

1) “Concrete Gravity Dam foundations: an open case of geomechanical interaction, structure-foundation and theory-practice” (4th Australian-New Zealand Conf. on Geomechanics, V.1-pp.1-19, May 1984)

2) “Reopening questions in embankment dams, design-performance”  
(Preface- The use of roller compacted concrete. Francisco Rodrigues Andriolo, 1998)

##### **9.4.1 Seção atual já convencional, tipo gravidade. Ajuste na fundação.**

##### **9.4.2 Hipóteses de otimizações na seção estrutural.**

## 10 - PORMENORES DAS BARRAGENS TERROSAS-PEDREGOSAS

Herança decorrente das barragens estruturais (gravidade, contrafortes, especialmente arco de dupla curvatura) da França, Suíça, Itália, Portugal, distinta da Inglesa-Canadense, distinta da dos EEUU: injeções por rotina (baixas vazões, águas cristalinas, grande carga, fortíssimos gradientes) completamente alheias a nosso meio; ensaio Lugeon de perda d'água para 10 kg/cm<sup>2</sup>, racionalizados aqui (Santa Branca, 1956 etc...) com ensaios em ciclos ascendente-descendente para interpretação mais judiciosa, valores em termos de l / min x m x atm (tentativamente nomeados como coeficiente Hv, Hvorslev, declinado pelo homenageado): intromissão (indevida e inoportuna) de criação de NORMA para a prática profissional por outra Associação. Irracional inversão de valores por circunstâncias mercadológicas, muito mais esforço com injeções enquanto os furos de alívio, tecnicamente muito mais importantes, limitados a distribuição arbitrária geométrica, sem ensaio nenhum.

Técnica histórica Americana superada, só aplicável a alturas/profundidades pequenas, da trincheira de vedação executada em lama ("slurry-trench"). Zoneamento preferido com terra-enrocamento, enrocamento compactado mais íngreme enquanto só admitindo atrito, sem coesão de precompressão, e sem racionalização da instabilização operacional de montante: grandes reajustes disponíveis em condições típicas regionais.

Enrocamento protetor de ondas ("rip-rap"): seqüência de transições granulares clássicas irracionais e construtivamente inconvenientes, a instabilização da face sendo controlada pelas camadas subjacentes e interfaces: Técnica de espalhamento otimizada, com um só material de granulometria deitada, "colocada-compactada de dentro para fora", provendo imbricamento contínuo: erosão de dentro para fora por rede de percolação claramente inexistente. De qualquer forma, mesmo no trecho superior com forte ataque por ondas, solução otimizada mediante solo-cimento já muito comprovada. Também é no trecho superior onde mais beneficia a coesão, permitindo empinar bem mais. Observações e cálculos de ventos máximos de duração, e das ondas máximas por tais ventos muito exagerados essencialmente nunca conferidos (Yacyreta,

Argentina 1987-1995): registros usados de ventos obtidos de aeroportos; uso dos “wave-riders”.

Filtros-transições tem que considerar não só filtragens/colmatações, mas também deformabilidades decrescentes com redução do tamanho da pedra, e erraticidades construtivas incrementadas nas interfaces. Absolutamente dispensável mais do que uma camada (preferivelmente não-uniforme mas contínua) a montante. Problema das deformações diferenciais agravado quanto mais alta a barragem, especialmente considerando pressões de compressão das compactações. Filtros-drenos de jusante otimizáveis soltos, compactados e auto-testados apenas por rega copiosa e percolação descendente.

Tanto a montante como a jusante talude contínuo, mesmo muito brando (1:2,5 a 3) absolutamente contra-indicados (U.S. Corps of Engineers, Casagrande Três Marias). A montante recortes judiciosos de largura suficiente para facultar ocasionais manutenções. A jusante, perante chuvas copiosas face uniforme de enrocamento (idem, Três Marias) muito desfavorável, caudais e velocidades, crescendo com descida, e culminando em erosões do solo subjacente. Gramas-tapete de muitas raízes rasas preferíveis, e interrompendo a cada 8 a 10 m com plataforma de coleta, conduzindo a valas-cascatas descendentes, concretadas contra terreno. Valas longitudinais nas “bermas” (também necessárias para manutenções) preferivelmente pouco inclinadas (em sistema duas-águas) para erodir o pouco material coletado mediante chuvas de intensidades de uma a duas vezes anuais.

Para os tapetes filtro-drenantes de jusante, parcialmente sobre tapete semi-impermeável interno, finalizando obrigatoriamente com o trecho prioritariamente de eliminação de subpressões subindo erráticamente do subsolo. Em muitas regiões provedoras de sais ferrosos, preferir preservar totalmente submerso (ajustável a jusante) para minimizar geração da limonitização do contato com ar.

Monitoramentos de comportamentos, muito ineficientes, e uns poucos até geradores de acidentes de “poços de afundamento”, alguns a muito anos mais

tarde. Interpretações errôneas de cotas de vazamentos em barragens de enrocamento com face de concreto. Típicos atrasos de confiança na observação por comparações com modelos mentais idealizados.

## **10.1 Tratamentos de fundações com rochas fraturadas. Injeções e drenagens.**

### **Artigo VM:**

1) “Critérios Geológicos Geotécnicos aplicados en algunas obras importantes” (Boletín Ecuatoriano de Geotecnia – Vol. 3 , N. 9, Fevereiro 1977; Rev. CONSTRUÇÃO PESADA - Vol. 7, n. 74, pp. 58-76, Março 1977; Rev. Latin.Am.GEOTECNIA - Vol. IV - N. 3 - pp. 147-183, 1977)

### **10.1.1 Impermeabilizações de fraturas por injeções. Ensaio, decisões, execução.**

### **10.1.2 Drenagens por tapetes filtro-drenantes. Poços filtrantes.**

### **10.1.3 Valas e/ou aterros filtro-drenantes invertidos, a jusante após enchimento.**

## **10.2 Geometria dos taludes de montante e de jusante.**

### **10.2.1 Abolição de taludes uniformes contínuos. Danos e manutenções.**

### **10.2.2 Face montante com “rip-rap” enrocamento protetor de ondas.**

### **Artigo VM:**

1) “Dispositivos de impermeabilização de taludes de Barragens de Terra-enrocamento” (IX Sem. CBGB – Vol. – pp.1-25, 1973)

### **10.2.2.1 Ventos máximos de durações efetivas. Observações. Pedras são grandes.**

### **10.2.2.2 Erros básicos, camadas uniformes transicionantes superpostas.**



### **10.2.2.3 Reparações de pontos erodidos. Variante com malha chumbada.**

### **10.2.3 Proteção de montante mediante solo-cimento compactado.**

#### **Artigo VM:**

1) “Dispositivos de impermeabilização de taludes de Barragens de Terra-enrocamento” (IX Sem. CBGB – Vol. – pp.1-25, 1973)

### **10.3 Filtros-transições internos em septos inclinados.**

#### **10.3.1 A montante camada filtrante única larga granulometria deitada.**

##### **10.3.1.1 Face do núcleo vulnerável a fraturamentos físicos e hidráulicos.**

#### **10.3.2 A jusante critérios de projeto-execução dos septos filtro-drenantes.**

##### **10.3.3 Revisão visceral da compactação de ambos faceamentos filtro-drenantes.**

### **10.4 Talude de jusante gramado, com bermas, para escoamento superficial.**

### **10.5 Considerações para pormenores da crista.**

### **10.6 Monitoramentos. Conceitos básicos. Erros e acidentes, insinuados ou inadvertidos.**

Por tendência histórica natural começou-se por monitorar só a obra, e no que era mais fácil : exemplo, recalques, (pinos nos pilares, nivelamentos por nível Terzaghi,; e referidos a marcos fixos profundos); praticidade. Recalques totais e diferenciais por diferenças: erros de “fechamento”, nunca repetidos 10 – 15 vezes. Maior precisão realmente desnecessária, face a (1) muitos outros parâmetros menos conhecidos (2) desnecessidade perante efeitos nocivos

sobre as estruturas iniciarem com valores maiores. Conseqüência desfavorável social quanto ao imóvel ser questiona(do)(vel).

Referências fixas profundas: por vezes (bombeamento de poços profundos) insuficientemente profundos (ex. caso Philips S.A, Sto. Amaro). Clássico em Santos, logo abaixo da 1ª camada argilosa OK; com grande número de edifícios contíguos, a 2ª camada poderia exigir inclusão pelo menos para uns 2 – 3 marcos, Municipais. Também, compreensível, começou-se por monitorar só o efeito global, e nem sequer os efeitos componentes do global.

Tardou muito para se começar a medir compressões, mediante medidas a espaços verticais, fixadas no mesmo furo revestido (Ref..?) . Principalmente barragens, também parque de silos (cf. Burland).

Não tardou que se instalassem inclinômetros, com base admitida fixa, e com complementos de hastes acoplados na subida (período construtivo), ou de outra forma para monitoramentos pós-chegada até a crista, para monitorar taludes e deslizamentos.

Nas barragens (e taludes em deslizamentos) pelos entusiasmos de medidas de  $\Delta u$  de laboratório (sem questionamentos) e a atração de **aplicação direta algébrica** da equação de Terzaghi das pressões efetivas, começou-se, desde o fim dos anos '40, USBR, a medir as pressões neutras (período construtivo, sobrepressões) e de período operacional, ref. Golder, H.Q., 1979, Geotechnique 29, 4, 480-482 – Dec. “Lost assumption” chamou atenção ao DESCONHECIMENTO do  $\sigma_t$  gerador de  $\Delta u$ . Surgem também, nos ensaios convencionais para  $\Delta u=f(\sigma_r)$ , triaxiais, isotrópicos, os questionamentos quanto aos  $\sigma_t =(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$ , e quanto aos retardos e amortecimentos dos  $\Delta u$  medidos, etc., e nas obras, quanto a valores pontuais muito variados, e falta de “pano de fundo para **medificação** etc...

Conceitualmente avanço nas Barragens decorreu dos tubos subhorizontais para medidas de curvaturas e distâncias : tubos colocados durante construção.

Não se registrou incorporação de tais tubos pós-construção, quando de ocorrência que o sugira (ex. comportamento evidenciando exteriorizado algo anormal) o que seria factível tal como os drenos subhorizontais..

Nas estruturas de edifícios etc... de rigidezes diferenciadas, (de Mello, Terzaghi Oration, 1994) sugere-se incorporação de tais tubos em algumas das n Lages, para acompanhar os recalques diferenciais e sua alteração com a subida do edifício.

Ponto importante conceitual é:

(a) passar a priorizar os monitoramentos dos **Agentes causadores** (ex. Edifício de van Weele, Van Impe, cada pilar sobre célula), exs. Infiernillo tensões efetivas, pressões totais e efetivas de núcleos de barragens contra encontros de concreto-gravidade, etc

(b) **efeitos pré-ruptura**, emissões acústicas quando pequenos deslocamentos, e os próprios deslocamentos mais influentes, inferidos de aumentos (velocidades, acelerações) das emissões.

Nos monitoramentos, e/ou usos de seus resultados, sempre necessário subdividir em 2 grupos: (1) repetir em número suficiente (ex,  $\approx 10$ ) de casos admitidos como semelhante (para conferir dispersão bata, de valia de cada leitura individual), e (2) os que se admite desde o início terem probabilidade de representarem a(s) condiç(ão)(ões) diferentes, que provoquem o comportamento diferencial indesejado (e diferentes em que ...). Sempre na programação do monitoramento, iniciar pela apreciação prévia, do que, por que, e para que.

## **11 - ATERROS NÃO-CONVENCIONAIS PARA BARRAGENS, ACESSOS DE PONTES, E SOBRECARGAS.**

**Aterros Hidráulicos de muitas barragens, com separação núcleo central e espaldares muito brandos**, técnica perdurando na Rússia (abandonada nos EEUU, por coincidência seqüencial de circunstâncias). **Rejeitos de minerações, de diversos tipos e execuções**, e barragens respectivas com subidas progressivas em seções diferentes, inevitáveis, embora o alteamento de barragem terrosa tenha sempre sido considerado temeroso; a difícil previsão (não investigada) de quando o acréscimo da pressão terrosa, acrescido da infiltração chuvosa, resulta excepcionalmente contrativo, gerando sobrepressões neutras instabilizantes. Rupturas catastróficas (Aberjan etc..)

Dragagens, e significativas espessuras e larguras de aterros dragados resultando em sobrepressões dissipadas para cima (e não lateralmente como nos casos de faixas estreitas de experiência mais corrente) : comportamento surpreendente, porem racionalizável.

Aterros soltos ou compactados abrangendo materiais saprolíticos e/ou lateríticos, que começam incorretamente classificados, com nucleações e curvas granulométricas (nominais) muito extensas.

Inversões aparentemente súbitas de comportamentos reforçando importância de ensaios Força-Deslocamento, inclusive com observações mais delongadas, e registros também de velocidades e deformações: casos observados em cortes profundos, rápidos de auto-estrada no Vale do Ribeira descendo rapidamente abaixo do lençol freático, intuídos como provendo estabilidade provisória enquanto deformação “elástica” do maciço se efetiva, e a reconstituição da rede de percolação atrasa.

### **11.1 Barragens de aterros hidráulicos. Núcleo e espaldares separados da suspensão.**

**Artigos VM:**

1) “Desafios no desenvolvimento de uma engenharia de solos autóctone firmemente enquadrada em princípios universais” (VII Congresso Brasileiro MSEF-ABMS - Vol.8, pp.49-135-Set. 1982 – item 7.1)

**11.1.1 Técnicas ainda usadas na Rússia ( $\pm$  1980), abandonadas no mundo. ( $\pm$  1940).**

**11.2 Rejeitos de minerações, constituindo a barragem e enchendo o reservatório.**

**Artigos VM:**

1) “Diferenças sérias entre Barragens de acumulação de água e de rejeitos” (Simp.Barragens de Rejeitos e Disposição de Resíduos Ind. e de Mineração - Vol. 2 - pp.4-43/Nov. 1987)

2) “Considerações de dimensionamento e de comportamento após início de operações da barragem de rejeitos de mineração de urânio na mina do cercado” (XV CBGB-Novembro-V.II-pp.497-524, 1983)

**11.2.1 Procedimentos alternativos das execuções. Problemas, soluções.**

**11.2.2 Acidentes graves. Lacuna de análise de azares e riscos.**

**11.3 Areias submarinas dragadas e depositadas.**

**11.3.1 Equipamentos/logísticas especializados dominam a aplicação. Geotecnia colateral.**

**11.3.2 Casos específicos interpretáveis: retroanálises conceituais.**

**11.4 Aterros soltos ou compactados com solos saprolíticos e/ou lateríticos.**

**Artigos VM:**

1) “Desafios no desenvolvimento de uma engenharia de solos autóctone firmemente enquadrada em princípios universais” (VII Congresso Brasileiro MSEF-ABMS - Vol.8 pp.49-135-Set. 1982 – item 7.2).

**11.4.1 Condição construtiva estável ilude. Deformações delongadas.**

## 12 – TRATAMENTOS DOS SUBSOLOS INSATISFATÓRIOS E PROBLEMÁTICOS

Pré-compressões de solos compressíveis superficiais seguindo teoria de adensamento. Rotineiro com aterro permeável, granular, ou no mínimo com camada inferior drenante, pressão limitada por ruptura: correções em função de tensões horizontais do subsolo, e largura de drenagem; desvantagem da maior densidade, e ajustes por submersão progressiva. Grandes vantagens da aplicação de vácuo na área para carregamento, limitado a 5 – 6m. Emprego de colunas verticais drenantes, diâmetro mínimo, acelerando adensamentos : importante empregar furações e não cravações amolgantes, e maximizar espaçamentos para evitar reduzir recalques por atritos. Evolução exponencial empregando fibro-drenos. Ajustes em função de áreas maiores com malhas de drenagens horizontais, importância incrementada de compressões secundária e suas desconhecidas diferenças sob diferentes pressões laterais.

Horizontes de solos colapsíveis, ensaios edométricos em pares, com e sem efeito duplo de pressão-molhagem, e/ou placas carregadas: caso da barragem de Guri, Venezuela, proporções insólitas.

Injeções químicas em fundações arenosas profundas: casos record mundiais das barragens de Serre Ponçon, França (com monitoramentos comparativos após 20 e 35 anos) e de Aswan, Nilo, Egito, reavaliado após 20 anos. Injeções com “clacquage” (fraturamentos hidráulicos sucessivos), inclusive resultando estranhamente coincidentes, para profundas escavações verticais de térmitas em Balbina, Amazônia, por prudências: reapreciações.

Congelamentos dos subsolos. Reforços dos subsolos mediante técnicas de execuções de colunas de solo-cimento de reforços: cortinas de execução análoga constituindo diafragmas.

Fabulosos efeitos estabilizantes sucessivos por electrosmose (Leo Casagrande, Canal de Kiel, Alemanha 1940; Mitchell, 1976 p. ]: instantâneos por gradientes de percolação inversos às percolações instabilizantes, e

subseqüentes, de longo prazo, por judiciosas trocas catiônicas. Erros construtivos de inopinados exageros de concentrações de gradientes elétricos e correspondentes hidráulico-térmicos provocando fissuras junto aos catodos, provocando fissuras (ex. ensaio em escala-protótipo para a Torre de Pisa).

### **12.1 Conceitos gerais, metas e resultados distintos, resistência, compressibilidade, permeabilidade.**

#### **Artigo VM:**

1) “Reopening questions in embankment dams, design-performance” (Preface- The use of roller compacted concrete. Francisco Rodrigues Andriolo, 1998)

### **12.2 Precompressões parciais de solos argilosos superficiais compressíveis.**

#### **12.2.1 Aceleração baseada em colunas filtro-drenantes verticais diversas.**

#### **12.2.2 Lançamento hidráulico de areias saturadas; erro grande muito olvidado.**

### **12.3 Limites de sobrecargas $f(\sigma_{RUPT})$ : atendidos por incrementos em etapas.**

### **12.4 Carregamento por vácuo, sem ou com fibro-drenos.**

### **12.5 Rebaixamento do lençol por ponteiras a vácuo. Alternativa a 12.4, menos eficiente.**

### **12.6 Solos arenosos fofos superficiais. Compactações mássicas algo desuniformes.**

#### **12.6.1 Dinamitagens controladas.**



**12.6.2 Vibroflotação. Necessidade de sobrecarga no topo.**

**12.6.3 Poços profundos bombeados, bombas submersas, diâmetro mínimo.**

**12.6.4 Viabilizável uso de gradiente eletrosmótico para baixo; não experimentado.**

**12.7 Eletrosmose estabilizadora imediata e por etapas adicionais.**

**12.7.1 Efeito imediato por gradiente instantâneo de fluxo.**

**12.7.2 Segundo benefício de prazo módico, adensamento.**

**12.7.3 Terceiro benefício, lento e duradouro, troca catiônica.**

**12.7.4 Potência energética, consumo, custos.**

**12.8 Precompressões de horizontes de solos colapsíveis.**

**12.9 Tratamento com meta de impermeabilização: injeções químicas do solo.**

**12.9.1 Técnica de “tubes-a-manchette”, “clacagem” da bainha.**

**12.10 Estritamente de período construtivo, solidificação do terreno por congelamento.**