

UM ESBOÇO DA HISTÓRIA DA MECÂNICA DOS SOLOS (III)

An Outline of the History of Soil Mechanics (III)

por
JOSÉ FOLQUE*

4 — O PERÍODO MODERNO

4.1 — O Congresso de Londres (1957)

Este Congresso, que teve lugar de 12 a 24 de Agosto de 1957, terá sido uma das mais notáveis e frutuosas reuniões da Sociedade Internacional de Mecânica dos Solos. Obviamente que não teve a importância histórica nem o impacto do I Congresso, mas será de considerá-lo imediatamente a seguir em importância no historial dos Congressos Internacionais. Isto porque a Mecânica dos Solos, amadurecida nos seus conceitos, encontrava-se em situação propícia para que surgissem contribuições decisivas para o seu enraizamento.

Para ter uma ideia do âmbito de temas que abarcou interessará apresentar o esquema da sua organização.

Compreendeu seis divisões, algumas das quais subdivididas em secções. Assim:

DIVISÃO 1 — Propriedades dos solos e suas determinações

1a — Propriedades fundamentais

1b — Propriedades mecânicas

DIVISÃO 2 — Ensaio de campo e colheita de amostras

DIVISÃO 3 — Fundações de estruturas

3a — Generalidades e fundações com excepção de estacas

3b — Estacas e pegões

DIVISÃO 4 — Estradas e pistas de aeródromos

DIVISÃO 5 — Impulsos de terra e seus suportes; túneis

DIVISÃO 6 — Barragens de terra, taludes e escavações.

* Investigador do LNEC.

Constata-se, pelo desenvolvimento relativo que assumiram os diversos temas, que as propriedades gerais de solos, como era natural, despertaram as maiores atenções; e no que se refere a temas de aplicação, predominaram as comunicações sobre *fundações de estruturas*.

O Congresso de Londres foi o último a que presidiu Terzaghi. Para além das alocações de abertura e encerramento do Congresso, em quase todas as sessões de trabalho pronunciava palavras de comentário e resumo dos temas tratados. Como era de esperar, atendendo à extraordinária envergadura intelectual de Terzaghi, as suas intervenções pautavam-se por grande pertinência e manifestavam uma claríssima compreensão dos pontos que mais urgia esclarecer.

DIVISÃO 1a — Propriedades fundamentais dos solos

O tema, de grande generalidade, presta-se à apresentação de comunicações muito variadas. Não é por isso fácil arranjar agrupamentos de comunicações que tenham grande afinidade. Apontar-se-ão assim em separado os aspectos mais marcantes que foram tratados.

— *Forças de expansão de solos expansivos*

ALPAN trata do assunto relatando estudos conduzidos com equipamentos aparentados a edómetros que, obviamente, comportavam um elemento dinamométrico.

— *Permeabilidade de solos argilosos*

A existência de bolhas de ar nos poros dos solos compactados condiciona, como é bem sabido, a percolação da água. BJERRUM apresentou uma comunicação tratando de procedimentos que visam a completa saturação de amostras para medir a permeabilidade nessas condições. É interessante constatar a preocupação de rigor que o tratamento desta questão revela. É uma preocupação de cariz científico, um pouco desligada dos interesses práticos, pois mais urgia averiguar se os solos compactados no corpo de uma barragem chegam alguma vez a saturar-se, pelo menos durante o período de vida útil das obras. Mas, claro está, a permeabilidade em condições saturadas é uma característica *fundamental* e correspondente a condições *bem definidas*.

— *Deformações elásticas e estruturais*

DENISOV, numa contribuição notável por ser pioneira em estudos de micro-reologia de solos, trata de deformações volumétricas distinguindo, nas deformações que são consequência de rearranjos estruturais, as que são *elásticas* (por corresponderem a rearranjos reversíveis) e as que resultam de alterações estruturais permanentes. Também no mesmo trabalho apresenta resultados de características dinâmicas de solos, o que então era grande novidade na tecnologia ocidental.

VIALOV e SKIBITSKI apresentaram um trabalho que abriu o caminho, e serviu de base, a numerosas subsequentes investigações sobre *fluência* de solos argilosos. Foi também um trabalho pioneiro em reologia de solos, tema que na União Soviética foi abordado com bastante precocidade.

— *Determinações de compacidades de solos usando SPT*

GIBBS e HOLTZ apresentaram uma comunicação que constitui um marco histórico de grande importância na problemática de interpretação dos ensaios SPT: trata das importantíssimas *correções* para fazer face à *profundidade* das determinações.

— *Efeitos de remoldagem em solos argilosos*

MURAYMA descreve ensaios realizados com o objectivo de estudar os efeitos de remoldagem, ensaios conduzidos num equipamento que possibilita uma significativa remoldagem de amostras mantendo-se o seu volume *constante*.

— *Determinações usando radioisótopos*

A questão, então ainda novidade, é tratada por SKOP, restringida à determinação de pesos específicos com sondas de raios Y.

— *Classificação Unificada*

WAGNER apresentou uma comunicação em que se faz divulgação da então recente Classificação Unificada de Solos, oriunda do Bureau of Reclamation.

Os tópicos propostos para discussão pelo relator-geral, ROSENQUIST, constituem uma boa síntese das preocupações que o tema da sessão suscitava. Foram eles:

- fluxo de água nos espaços intersticiais quando os gradientes de pressão são pequenos
- fluxo de água nos poros durante o processo de congelação
- efeitos de remoldagem.

Na secção de discussão do tema há a realçar os comentários do relator-geral e as palavras de encerramento proferidas por TERZAGHI.

ROSENQUIST lembrou mais uma vez que os principais aspectos a necessitar de elucidação eram os que se relacionavam com o comportamento da *água adsorvida* às partículas dos solos finos.

TERZAGHI referiu que o comportamento da *água adsorvida* era fundamentalmente comandado pelo forte gradiente de viscosidade nas proximidades da superfície da partícula. As altíssimas tensões instaladas na *água adsorvida* determinavam o seu *estado*, que de forma nenhuma se podia considerar líquido. (*Como comentário será interessante sublinhar que factos hoje considerados de grande banalidade ainda justificavam, em 1957, uma declaração “enfática” de Terzaghi.*)

DIVISÃO 1b — Propriedades mecânicas dos solos

— *Pressões neutras negativas*

AITCHISON focou este importante e então ainda pouco explorado problema: *pressões neutras negativas* ou *sucção*.

Há a notar como importante, até porque tem implicações terminológicas que se podem prestar a confusões, que Aitchison define como solo *quase-saturado* um solo que está "saturado" no sentido de que os seus poros estão completamente preenchidos com água; mas na água está instalada uma pressão *inferior* à pressão atmosférica (tensão neutra negativa). É esta a situação mais frequente nas argilas sobreconsolidadas. Hoje é bem sabido que é esta a causa da *coesão* (sem discutir se ela deve ser ou não considerada como "aparente").

— *Densidade "estável"*

DHAWAN tratou uma questão que na época despertava muito interesse: a procura, em solos compactados, de uma densidade *estável*; com isto pretendia-se designar a densidade conferida a um dado elemento de um aterro que fosse de uma grandeza tal que, por acção das tensões correspondentes ao aterro sobrejacente, não sofresse assentamentos significativos. Implicava, como é óbvio, uma compactação fortíssima na base das obras altas. Esta questão perdeu depois acuidade e noticia-se aqui só para dar ideia de certos aspectos curiosos que constituíram preocupação.

— *Tensões-deformações*

HOSHINO apresentou uma comunicação, muito ambiciosa, que merece menção não tanto pela formulação expressa (que não teve seguimento "directo") mas sim por aquilo que *pre-nunciava*. Trata-se de uma formulação em que, em termos de *energia mobilizada*, se pretendia estabelecer uma explicitação geral para as leis tensão-deformação dos solos. Representou nitidamente um prenúncio de tratamentos tais como os *estados críticos* e os estudos reológicos que vieram a justificar a concretização da aplicação da Teoria da Plasticidade aos fenómenos de deformação e de ruptura.

— *Modelos físicos. Semelhança*

Um marco miliar na história da Mecânica dos Solos é o que corresponde à comunicação de M. ROCHA relativa às condições de semelhança que, com toda a generalidade, na comunicação são apresentadas; trata-se das condições a ser respeitadas para que o material do modelo represente com exactidão o material do protótipo. É bem sabido que, por enquanto, são muito reduzidas as consequências práticas deste estudo. Mas é notável o esforço de teorização realizado.

— *Solicitações rápidas*

O trabalho apresentado por WHITMAN sobre comportamentos para solicitações rápidas (*transient loads*) é um *clássico* da Mecânica dos Solos. Whitman construiu um equipamento que lhe permitiu provocar rupturas de amostras com solicitações de DURAÇÃO de 10^{-3} s. Foi muito grande o impacte destas investigações pioneiras de Whitman, não só no domínio problemático dos "comportamentos rápidos" mas também como informação básica, para compreensão dos *fundamentos* da micro-reologia de solos.

Resumem bem os principais aspectos focados na sessão, e também os problemas que mais ocupavam a mente dos investigadores de então, as questões propostas para discussão pelo relator-geral, JANBU:

- factos teóricos e experimentais que sirvam para clarificar a problemática da resistência ao corte de solos argilosos
- factores que influenciam a deformabilidade dos solos argilosos.

DIVISÃO 2 — Ensaio de campo e técnicas de amostragem

Aparecem alguns estudos relativos a ensaios SPT e também relacionados com outros penetrómetros de percussão, penetrómetros que actualmente já não são usados.

Apresentam-se também resultados de ensaios efectuados com penetrómetros estáticos, de cone, mas nenhum desses penetrómetros coincide em dimensões (e até em concepções de pormenor) com o CPT actualmente em uso.

Dentro do tema da Questão (e lembre-se que incluía também “Amostragem”), nenhuma das comunicações apresentadas mantém interesse na actualidade.

O relator-geral, MILTON VARGAS, comentou também com certo desencanto as comunicações apresentadas e por isso propôs que, sem ligação com elas, se discutissem os seguintes temas:

- correlações entre os resultados dos diversos tipos de penetrómetros
- determinações "in situ" de densidades e teores em água
- vantagens, campos de aplicação e comportamento dos equipamentos disponíveis para ler pressões neutras.

No encerramento da discussão, Terzaghi chamou a atenção para duas *actividades* que não tinham sido contempladas nas comunicações mas que mereciam especial atenção: prospecção geofísica e fotografia aérea. Referiu com algum pormenor "casos de obra" em que a *geofísica* e a *fotografia aérea* tinham sido de grande utilidade.

Terzaghi referiu-se ainda à premente necessidade de se não negligenciar a medição de pressões neutras em solos moles antes de serem solicitados por qualquer construção. E ainda ao interesse de se medir o *artesianismo*, situação de grande importância, sobretudo no que se refere à estabilidade de taludes.

DIVISÃO 3a — Fundações com excepção de estacas

— Assentamentos. Consolidação

DE BEER apresentou uma comunicação que trata do seguinte tema: cálculo do valor "máximo expectável" do assentamento de uma fundação em terreno *heterogéneo*; a influência da heterogeneidade é *quantificada* à custa dos valores extremos obtidos em ensaios SPT.

ISHII aborda a questão da determinação de c_v e m_v para fins de estudo de drenos de areia. Foram efectuadas tentativas para correlacionar valores observados in situ (aterro experimental) com valores determinados em laboratório. É nítida a preocupação de "fazer colar" os resultados de forma a não desvalorizar os ensaios em laboratório. Mas também é nítida a conclusão de que os valores determinados in situ são muito mais fiáveis.

JENNINGS trata de um problema de grande importância em certos solos arenosos — solos colapsíveis: o assentamento adicional verificado quando da *saturação*.

Comunicação notável foi a de POLSHIN e TOKAR que difundiu nos países ocidentais as especificações relativas a assentamentos admissíveis, especificações que então já constavam do Regulamento de Fundações da URSS. Recorde-se sumariamente que os assentamentos totais admissíveis em edifícios com estrutura de aço ou de betão armado eram de 10 cm. Para o mesmo tipo de edifícios os assentamentos diferenciais admissíveis eram de $0,002L$, sendo L o vão entre pilares.

— *Distribuição de tensões sob as fundações*

DE BEER apresenta relações *elásticas* para determinar a distribuição de tensões sob um ensoleiramento tendo em atenção a relação "comprimento/largura". Importante é a conclusão: a adopção de um comprimento infinito tem, para fins práticos, em regra suficiente precisão.

GRASSOF trata da influência da rigidez das estruturas na distribuição de cargas aos elementos de fundação.

LOUSBERG apresenta a distribuição de tensões, calculada em regime elástico, sob uma sapata sujeita a carga excêntrica.

OSTERBERG propõe fórmulas para fixar as tensões verticais na fundação de aterros.

— *Diversos*

SALAS e SERRATOSA apresentam uma muito boa explanação relativa a fundações em solos expansivos. A comunicação constitui um guião completo relativo ao estudo e projecto de uma fundação neste tipo de solos. Trata-se de uma exposição completa, incluindo disposições construtivas.

No que se refere a fundações em taludes MEYERHOF apresenta uma proposta que mantém plena actualidade: a expressão é semelhante à proposta para sapatas em terreno horizontal mas os factores N_c e N_y dependem da inclinação do talude. A comunicação apresenta os respectivos nomogramas. Para dar uma ideia das ordens de grandeza aponta-se que para um talude de 20 graus em terreno puramente coesivo o valor de N_c é de 5; para um terreno com c nulo e ϕ de 30°, N_y tem valores da ordem de 10.

MASLOV apresentou uma comunicação, a todos os títulos notável, nomeadamente por revelar um grande avanço no que se refere a estudos dinâmicos de solos. Mostrou resultados relativos à *instabilidade sísmica* de areias submersas (nos países ocidentais viria a designar-se esta problemática de "liquefacção"). São descritos os equipamentos usados no Instituto de Engenharia Civil de Leninegrado para efectuar *ensaios dinâmicos* de solos. Maior realce ainda merecem os equipamentos de estaleiro que permitiam ensaios vibratórios (com aplicação de

solicitações horizontais e verticais) com forças que podiam atingir 25 t e frequências de 1 a 10 Hz.

Os temas propostos para discussão pelo relator-geral, BRINCH HANSEN, traduzem os aspectos de maior interesse dentro da Questão. São eles:

- capacidade de carga: o uso de modelos físicos; coeficientes de segurança para estudos em equilíbrio limite
- distribuição de tensões: recurso à Teoria da Plasticidade
- assentamentos: recurso a teorias de consolidação tridimensionais; assentamentos admissíveis para diversos tipos de estruturas.

Na sessão de encerramento não foram apresentadas discussões que levassem a um sensível aprofundamento das questões. TERZAGHI discorreu com algum desenvolvimento chamando a atenção para os seguintes pontos:

— a prospecção, que em obras de uma certa importância nunca pode dispensar ensaios de amostras indeformadas (ou adequadas às determinações *in situ*), deve ser complementada por numerosos ensaios expeditos (por exemplo, ensaios de "*penetração*") para cobrir a área com uma razoável continuidade;

— à luz dos conhecimentos actuais o SPT tem de ser considerado como um ensaio que só fornece resultados de primeira aproximação, próprios para estudos preliminares.

DIVISÃO 3b — Fundações em estacas

— *Capacidade de carga e encurvadura*

BERGFELT apresentou resultados de numerosos ensaios de carga conduzidos em estacas metálicas cravadas em solos moles. Para estacas flutuantes os ensaios são conclusivos em relação ao seguinte:

- a resistência de ponta é desprezável
- a capacidade de carga é dada pela aderência à totalidade da superfície lateral, aderência medida pela resistência ao corte não-drenada.

Para estacas atingindo de ponta formações muito resistentes é a resistência lateral que é desprezável, podendo a capacidade de carga *ser limitada* por fenómenos de *encurvadura*. Para solicitações horizontais o comportamento das estacas é bem descrito assimilando-as a *vigas em apoio elástico*.

A encurvadura de estacas em solos moles constituía então preocupação dos projectistas, como o mostra o facto de o mesmo assunto ser tratado por BRANDIZAEG.

Também GOLDER e SKIPP estudaram a encurvadura de estacas esbeltas deduzindo o valor do módulo de reacção lateral que, para uma dada geometria da estaca, evita que ela possa sofrer encurvadura. Note-se que, como é bem demonstrado pela prática, só para estacas metálicas,

dada a sua esbeltez, este problema se põe; e isto porque são muito baixas as reacções laterais que chegam para evitar que se dê encurvadura.

No que respeita à aderência lateral de solos argilosos ao fuste de estacas, TOMLISON apresentou um estudo de importância fundamental. Assim, à custa de extenso e intenso programa de investigação, mostrou que a aderência varia desde 100% do valor da resistência não-drenada, para solos moles, até cerca de 20% dessa resistência para argilas duras. Para estudos preliminares poder-se-á contar com valores interpolados correlacionados com a consistência do solo.

VAN DER VEEN apresentou uma proposta pioneira para determinar, experimentalmente, a resistência de ponta de uma estaca com base em resultados de ensaios com cone-penetrómetro. Faz notar que as superfícies de plastificação que determinam a resistência de ponta estendem-se até uma profundidade de $a.D$ abaixo da ponta da estaca e sobem até uma altura de $b.D$. D é o diâmetro da estaca e os coeficientes a e b , determinados experimentalmente, exibem valores que poderão ser tomados como $a = 3,75$ e $b = 1$. A média dos resultados do ensaio, em resistências de ponta, que estão compreendidos entre $a.D$ e $b.D$ poderá ser tomada como a resistência unitária exibida pela estaca.

— *Resistência ao arranque*

IRELAND, com base em ensaios de arranque, fez a proposta-tentativa de tomar a força de arranque como sendo determinada pelo impulso passivo actuando ao longo do fuste da estaca.

— *Métodos de construção*

Uma única comunicação foi apresentada relativa a métodos de construção. Foi porém uma comunicação portadora de muita novidade para a época. Trata-se de uma comunicação de BARKAN mostrando a grande eficiência, na cravação de estacas, de vibradores actuando na cabeça.

O relator-geral, RUTLEDGE, comentou muito favoravelmente as comunicações apresentadas ressaltando que a problemática de estacas era (e continuaria a ser por muitos anos) fundamentalmente de base empírica. Propôs como temas de discussão:

- Influência dos efeitos de grupo
- Assentamentos de edifícios fundados em estacas e em solos argilosos
- Métodos de controlo da cravação por percussão visando assegurar uma conveniente penetração da ponta na camada de apoio.

Na sessão de encerramento do tema o relator-geral insistiu no seu ponto de vista de que o comportamento de estacas é assunto "rebelde" à teorização.

As discussões apresentadas incidiram sobretudo em "casos de obra".

Terzaghi, numa intervenção relativamente curta, fez notar a grande importância de ser efectuado um cuidadoso levantamento geotécnico do local onde se vai construir uma fundação em estacaria. Procurando contrariar uma prática que até aí muito se tinha seguido, mostrou a necessidade de prolongar o reconhecimento até uma substancial profundidade *para além* da cota

onde se projecta deixar as pontas das estacas. Deu como exemplo um insucesso de uma fundação projectada por si por existirem, abaixo das camadas de areia em que ficaram as pontas das estacas, bolsadas de argilas muito deformáveis. (É interessante sublinhar que Terzaghi, para dar um exemplo de um insucesso, citou uma obra de *sua própria* responsabilidade.)

DIVISÃO 4 — Estradas e pistas de aeródromos

Era, na época do Congresso, de tradição recente a aplicação de métodos próprios da Mecânica dos Solos a problemas rodoviários. Mesmo assim já então se tinha autonomizado a disciplina de Geotecnia Rodoviária. Essa autonomia tem vindo a acentuar-se e hoje muitos especialistas consideram as questões rodoviárias como um domínio próprio.

O que fica dito talvez justifique que as comunicações apresentadas tenham sido poucas. Podem elas ser agrupadas em *Compactação, Capacidade de carga e Estabilização*.

— *Compactação*

Merece realce a comunicação de TURNBULL e FOSTER sobre a compactação de britas calibradas.

— *Capacidade de carga*

A comunicação de BLACK e CRONEY trata da evolução do teor em água, ao longo do tempo, nas fundações de pistas. O interesse óbvio da comunicação prende-se com o facto de ser para o teor em água máximo expectável que a capacidade de carga tem de ser determinada.

MORALDI apresenta propostas para definir a *capacidade de carga* a partir de ensaios de placa.

IVANOV propôs uma metodologia para determinar a capacidade de carga diferente da que se relaciona com a ruptura do solo e que então era clássica. Propôs Ivanov relacionar a capacidade de carga com as deformações admissíveis.

— *Estabilização*

LAMBE comunicou os resultados obtidos com certos aditivos, usados em quantidades muito reduzidas, para melhorar as características de misturas de solo-cimento e de solo-betume.

Os tópicos propostos para discussão pelo relator-geral, PELTIER, foram os seguintes:

- eficiência comparada dos diversos equipamentos de compactação
- comparação do critério de ruptura com o critério de deformação para fixação da capacidade de carga
- uso de novos aditivos, particularmente activos, a aplicar em proporções muito reduzidas.

Na sessão de discussão do tema uma comunicação que se afigura de assinalar é a de LEWIS, chamando a atenção para o grande interesse que apresentava a utilização dos então recém-aparecidos cilindros vibradores.

DIVISÃO 5 — Impulsos de terras em suportes e túneis

— Generalidades

É de assinalar a comunicação de JANBU em que se propõe o cálculo de *impulsos activos*, e também *de capacidades de carga*, tomando possíveis superfícies de escorregamento e calculando o equilíbrio dos maciços assim delimitados dividindo-os em "fatias", tal como nos métodos clássicos de cálculo de estabilidade de taludes. É uma comunicação que só tem interesse histórico pois a proposta não fez vencimento na prática (apesar de perfeitamente viável).

Para não levar muito longe a subdivisão em temas, incluí-se aqui a contribuição de SOWERS que trata de pressões *residuais* acrescentadas aos impulsos activos por compactação dos terraplenos suportados. Os impulsos crescem muito acentuadamente quando se compactam aterros argilosos. Não se notam efeitos de assinalar no caso de aterros arenosos.

Uma comunicação de grande interesse histórico e científico foi apresentada por SOKOLOVSKY. Trata-se da aplicação a dois problemas planos do método que Sokolovsky desenvolveu, método que constituiu uma notável contribuição para os estudos de problemas de equilíbrios-limite. Em conferência efectuada num intervalo do Congresso, Sokolovsky apresentou o seu método em pormenor, com notável impacte na assistência.

— Silos e túneis

CAQUOT apresentou uma solução, hoje clássica, para calcular impulsos em silos. O trabalho tem particular importância por contemplar as duas situações: enchimento e esvaziamento do silo.

O trabalho apresentado por LANE visava insistir numa questão, então já bem conhecida, mas para a qual era oportuno carrear novos elementos informativos: a dependência das pressões da rigidez dos revestimentos de túneis, diminuindo aquelas sensivelmente para os revestimentos flexíveis.

— Estacas-pranchas e "gabions"

A comunicação de KYLE relativa a um muro-cais no porto de Nova Iorque trata do problema do cálculo de estacas-pranchas que interessam dois tipos de solos simultaneamente: argilas moles superiormente, na zona determinante na geração de impulsos activos; argilas duras na zona da *ficha*.

SCHENEEBELI apresentou uma comunicação de grande importância pela contribuição que veio trazer para o estudo da estabilidade de "gabions". Trata-se da teorização do derrube de uma dupla parede de estacas-pranchas, formando "gabion" fundado em rocha e preenchido com areia. Merece a pena recordar o resultado a que chegou para o momento de derrubamento

$$M = 0,005 \quad \gamma h^3 \quad v\phi$$

em que v é a relação l/h (largura/altura do "gabion") e os restantes símbolos têm o significado usual.

O relato geral de KERISEL é um notável documento em que o autor não se limitou a comentar as comunicações apresentadas. Foi muito mais além e apresentou um estado-da-questão.

Os tópicos propostos para discussão foram os seguintes:

- revisão dos coeficientes de segurança a adoptar nos problemas de equilíbrio passivo, parecendo que podem ser substancialmente diminuídos
- distribuições de tensões ao longo dos suportes e sua correlação com a deformabilidade
- coesão dos solos argilosos em equilíbrios a longo prazo.

Na sessão dedicada à discussão do tema foram apresentados alguns interessantes contributos. LAGINHA SERAFIM referiu-se à determinação *in situ* de tensões em maciços rochosos tendo exibido resultados obtidos pelo método de *libertação de tensões*, método então ainda pouco explorado.

Também merece menção a comunicação de JUMIKIS em que apresenta, obtidas em ensaios em modelo, superfícies de deslizamento num maciço solicitado por uma sapata à superfície. As ditas superfícies de ruptura diferem sensivelmente das adoptadas por Janbu no trabalho que foi apresentado ao Congresso.

As palavras de encerramento de Terzaghi, elegantes como era seu timbre, merecem, numa passagem, ser transcritas:

Em 1881, nesta mesma sala, um dos mais brilhantes engenheiros do seu tempo, Benjamin Baker, proferiu uma importante conferência. Referindo-se, embora indirectamente, à teoria de Coulomb, Baker desencorajou os profissionais de usar métodos teóricos para calcular impulsos de terra pois os resultados eram, quase sempre, acentuadamente diferentes da realidade.

Decorreram 80 anos sobre a conferência de Baker e a teoria de Coulomb aplica-se com bons resultados. Os erros que Baker apontava não eram consequência de deficiências da teoria mas sim de então se ignorarem ou menosprezarem os seus limites. Hoje adquiriu-se o sensato hábito de verificar cuidadosamente as hipóteses básicas das teorias que se aplicam e assim se revalidou a teoria de Coulomb. Há que ter estas precauções sempre bem presentes!

DIVISÃO 6 — Barragens de terra, taludes e escavações

— Barragens

TROLLOPE apresentou uma comunicação de muito interesse para o projecto de barragens quando as fundações são deformáveis. Acontece que, por efeito de arco e em consequência dos *desiguais* assentamentos das fundações, quer longitudinal quer transversalmente, as tensões instaladas no corpo da barragem sofrem acentuadas *redistribuições*. E assim as tensões verticais são muito pequenas (praticamente nulas) no eixo da barragem, redistribuem-se e atingem o máximo (para cada lado do eixo) nos planos verticais que distam $h \cdot \tan \phi$ do eixo. Sobretudo para os cálculos conduzidos usando métodos do tipo "fatias" é muito importante contar com estas redistribuições de tensões.

BAR-SHANY e ZEITLEN escrevem sobre o uso de argilas *muito plásticas* na construção de barragens. Estes materiais foram usados, como é óbvio, por não haver outros disponíveis.

A experiência relatada é de interesse para constatar quão deitados têm de ser os taludes adoptados; para assegurar a estabilidade de algumas obras houve mesmo que adoptar aterros estabilizadores.

AISENSTEIN descreve a obra de revestimento de uma albufeira excessivamente permeável. O revestimento é constituído por uma camada de argila compactada com 1 m de espessura. A camada é protegida por um tapete de areia.

ZWECK e DAVIDENKOFF apresentam resultados experimentais que põem de certo modo em causa as “regras de filtros” clássicas. Concretamente mostra-se que a relação D_{50}/d_{50} não deve ser tomada como constante para obter a eficiência desejada, pois para tal tem de se tomar, para aquela relação, valores que dependem da grandeza *absoluta* dos grãos.

— Taludes

GOLDSTEIN e TER-STEPANIAN apresentaram um primeiro esboço da teoria que o segundo dos autores veio a desenvolver para estudar a estabilidade a longo prazo de encostas argilosas, em que são determinantes fenómenos de fluência. Neste método admite-se que a fluência se dá numa zona delimitada por duas *isogónicas*. Para baixo da isogónica $\rho_0 = \arctang \varphi_0$ (em que $\varphi_0 = \tau_0/\sigma$ é a relação de tensões para a qual se inicia a fluência) não se verificaram deformações na massa de argila. Entre as isogónicas ρ_0 e ρ_c verifica-se fluência, sendo a segunda a isogónica que corresponde à relação de tensões para a qual as deformações aceleram (terminando em ruptura). Para cima da isogónica ρ_c a massa está em ruptura por corte (esta isogónica é a superfície limite de deslizamento).

O relato geral de WALKER constitui um bom estado-da-questão. Os aspectos que revê são:

- observação e experimentação – a observação das obras apresentava notável desenvolvimento e articulava-se com numerosos programas de experimentação
- estabilidade – revista dos diferentes métodos de cálculo, sublinhando as ligeiras diferenças existentes entre alguns deles
- taludes naturais – dá realce aos estudos de estabilidade a longo prazo
- escavações – poucos progressos se têm verificado em relação aos conhecimentos básicos relativos a esta questão
- aterros – grandes progressos se têm conseguido no que respeita às técnicas de compactação.

Walker propôs os seguintes temas para discussão:

- 1 — Relações da resistência ao corte com as tensões internas instaladas; necessidade de unificar pontos de vista (trata-se, como é óbvio, da dicotomia *tensão total versus tensão efectiva*)
- 2 — Técnicas de ensaio para determinar as características que comandam os comportamentos de solos sujeitos a tensões predominantemente tangenciais.

A Sessão de discussão e encerramento teve numerosas intervenções, na generalidade de interesse muito limitado. Têm interesse *histórico e documental* muitos dos esclarecimentos dados

por Skempton sobre a grandeza física "*coesão*"; lidas à distância de trinta e tal anos afiguram-se hoje banalidades.

Casagrande interveio chamando a atenção para o problema das possíveis fissurações dos núcleos e correspondente necessidade de adoptar filtros de protecção.

Bishop pronunciou-se sobre a questão, então com aspectos de grande novidade, das dificuldades e dos meios a que se tinha de recorrer para "estimar" a poro-pressão na água no caso de solos não-saturados. Note-se que era prática então corrente tomar a pressão lida no FLUIDO captado através de uma placa porosa "vulgar" como se fosse a PORO-PRESSÃO NA ÁGUA. Bishop dissertou sobre os erros assim cometidos.

Terzaghi, em dissertação magistral como sempre, chamou a atenção para os progressos efectuados no domínio dos estudos de estabilidade de barragens de terra. Recordou que, ainda em 1901, o Board of Consultants for New York Water Supply considerava como limite máximo recomendável para barragens de terra a altura de 70 pés (cerca de 20 m!). Que imenso caminho se tinha percorrido em pouco mais de 50 anos! Fez notar que os progressos se deviam à conjugação de diversos factores: progressos no domínio das técnicas de cálculo, das técnicas de construção e, como grande importância, na consciência que se ganhara de que o terreno de fundação desempenhava um papel fundamental no comportamento das barragens. O "saber fundar" as barragens tinha sido portanto a grande "barreira" a transpor. A cuidada prospecção da fundação era portanto fundamental!

No que respeita a taludes naturais, acrescentou Terzaghi, lamentava ter de desiludir aqueles que julgavam que, para determinar o grau de segurança de um talude, bastava colher amostras, ensaiá-las e depois fazer cálculos. A sua experiência pessoal levava-o a considerar que, para muitos taludes naturais, já era um grande "feito" saber avaliar, qualitativamente, se a estabilidade era ou não duvidosa.

As obras necessárias para ASSEGURAR a estabilidade de um talude em equilíbrio precário acarretam muitas vezes grandes dispêndios e, o que é pior, em regra não é possível avaliar de antemão esses dispêndios. A problemática de estabilidade de taludes naturais requer assim, mais do que qualquer outro capítulo da engenharia, o recurso a *juízo* baseado em experiência, estudo de casos análogos e mesmo uma certa *intuição*.