

# AMOSTRAGEM INDEFORMADA DE SOLOS\*

## Undisturbed Sampling of Soils

por  
JOSÉ FOLQUE\*\*

RESUMO – Apresenta-se uma breve descrição do estado actual de conhecimentos sobre amostragem indeformada, com ênfase especial nas actividades do International Group on Soil Sampling. Descrevem-se os trabalhos de sistematização levados a cabo para preparação da norma DIN-4021. Resumem-se os trabalhos que ultimamente se têm realizado para medição de efeitos perturbadores e as vias que nesta data se tentam para obviar a esses efeitos.

SYNOPSIS – A brief description of the present state of art of undisturbed sampling is presented. The fundamental studies carried out by the International Group on Soil Sampling are commented. The systematic classification prepared as a basis for the specification DIN-4021 is reviewed, as well as the studies performed in order to assess, in quantitative terms, the disturbance associated with sampling operations and the means of avoiding or allowing for the disturbance effects.

1 – Pretende-se, muito sucintamente, descrever o estado actual de conhecimento sobre amostragem indeformada de solos e dar conta do que tem sido a interessante e meritória actividade desenvolvida nos últimos anos pelo International Group on Soil Sampling (IGOSS).

O IGOSS iniciou as suas actividades entre o Congresso de Mecânica dos Solos de Londres (1957) e o de Paris (1961) e teve origem na constatação, por parte de alguns devotados investigadores de problemas geotécnicos, do seguinte facto paradoxal: tendo as décadas de 40 a 50 sido testemunhas de

---

\* Comunicação apresentada à sessão sobre “Amostragem” organizada pelo APMSR em 26/5/72.

\*\* Investigador, Chefe da Divisão de Fundações do LNEC

notáveis desenvolvimentos, quer das técnicas experimentais, quer dos métodos de cálculo, os métodos de amostragem indeformada tinham sido negligenciados, não evidentemente na sua posição axiológica, mas sobretudo na ordem prática. Com efeito, não se tinham esquecido os geotécnicos da necessidade de colher boas amostras, nem do conjunto de regras, já então disponíveis, para conseguir uma amostra, pelo menos, razoável. Mas não pressionando os práticos de estaleiro com a exigência de uma boa amostragem (talvez porque com o espírito ocupado no aperfeiçoamento das técnicas de ensaio laboratorial e nos requintes dos métodos analíticos) tinham consentido que o exercício da amostragem se efectuasse com clamorosa negligência, não se utilizando, em geral, os amostradores menos discutíveis nem as regras mais cuidadas. E assim se aumentava a distância entre as possibilidades fornecidas pelos métodos de cálculo (e os ensaios de laboratório) e o aproveitamento que dessas possibilidades se fazia para basear decisões de obra, com evidente satisfação dos derrotistas, práticos de uma geotecnia de “palpite”, que desse modo viam compensada a sua indolência por confirmação da tese própria de que “não vale a pena ensaiar nem aperfeiçoar métodos, pois são nulas as repercussões práticas”.

As primeiras actividades do IGOSS consistiram em realizar um inquérito, à escala mundial, para colher dados precisos sobre a posição, na prática, do problema da amostragem. Esse inquérito confirmou (e até excedeu), fornecendo dados quantitativos, o sentimento de que existiam conspícuas carências, mesmo em países de tecnologia avançada, no que respeitava à amostragem indeformada.

O reviver desta problemática teve, como era de esperar, consequências a curto prazo pois que imediatamente se começou a actuar no sentido de exigir melhor qualidade na amostragem, mesmo só utilizando as regras e os equipamentos que então eram reconhecidos como os mais adequados. E a longo prazo suscitou a abordagem dos temas básicos envolvidos de pontos de vista novos, que já frutificaram e cujas posições actuais adiante se resumem.

2 – No início da década de 60 dedicou-se o IGOSS, com base em trocas de impressões por correspondência entre os seus membros, ao projecto de um amostrador normalizado, pretensamente universal. Chegou o IGOSS a recomendar o uso de um amostrador normalizado, cuja concepção se baseia na do

amostrador de êmbolo estacionário do SGI (Instituto Geot. Sueco). Reproduzem-se na Fig. 1, em esquema, as principais características do mencionado amostrador.

Tanto quanto é do conhecimento do autor este instrumento não chegou a ter grande difusão. É utilizado frequentemente nos países escandinavos, porque já o era anteriormente em consequência da acção do SGI, mas não se generalizou o seu uso, já porque muitos solos são menos adequados à sua utilização, já porque em certos países reviveu a tradição da utilização de amostradores de diferente concepção (e sobretudo de diferentes dimensões) possuindo também os requisitos fundamentais para obtenção de boa amostra.

3 – Apresenta grande interesse o esforço de sistematização que foi realizado pela DEGEBO, em ligação com outros investigadores (Idel e Muhs, 1969; Soos, 1971) para fornecer elementos que possibilitaram a preparação da norma DIN-4021 – “Amostragem de solos”. É de salientar que essa tarefa foi simplesmente de sistematização e ordenação das regras já anteriormente consagradas para amostragem indeformada. Mas nem por isso deixa de apresentar grande interesse para arrumo de ideias e para possibilitar uma visão rápida de conjunto do problema.

Começa a mencionada sistematização por dividir as amostras em cinco categorias, de acordo com o grau de remeximento e com as consequentes repercussões nas possibilidades de sobre elas colher informações válidas. As categorias, designadas na norma DIN-4021 por classes, são as que a seguir se apontam, com os comentários originais, obviamente discutíveis mas que por agora não se questionarão.

- Classe 1 – Amostras que não sofreram distorsão nem alteração de volume e que portanto apresentam compressibilidade e características de corte inalteradas.
- Classe 2 – Amostras em que o teor de humidade e a compacidade não sofreram alteração mas que foram distorcidas e em que portanto as características de resistência foram alteradas.
- Classe 3 – Amostras em que a composição granulométrica e o teor de humidade não sofreram alterações, mas em que a densidade foi alterada.

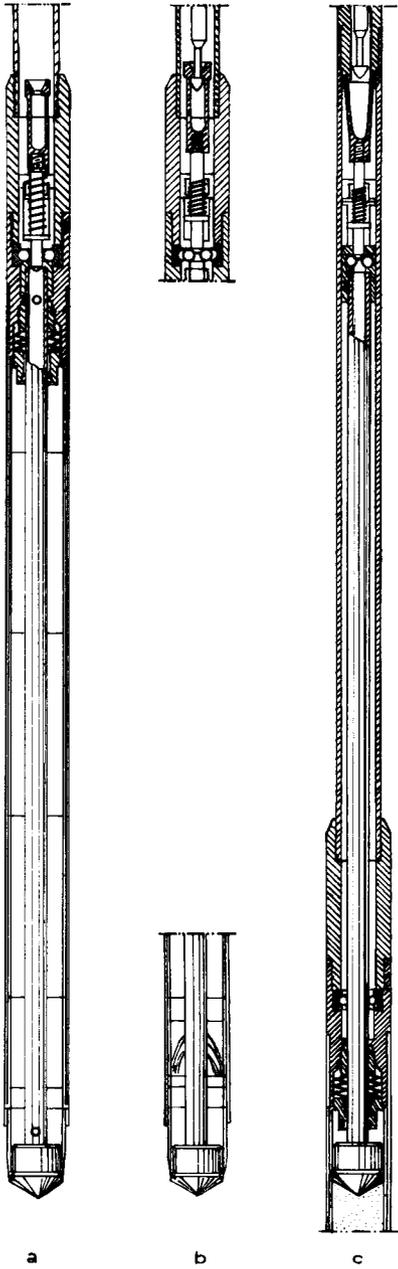


Fig. 1 - a) Antes da cravação  
 b) Depois de soltar o êmbolo  
 c) Depois da cravação.

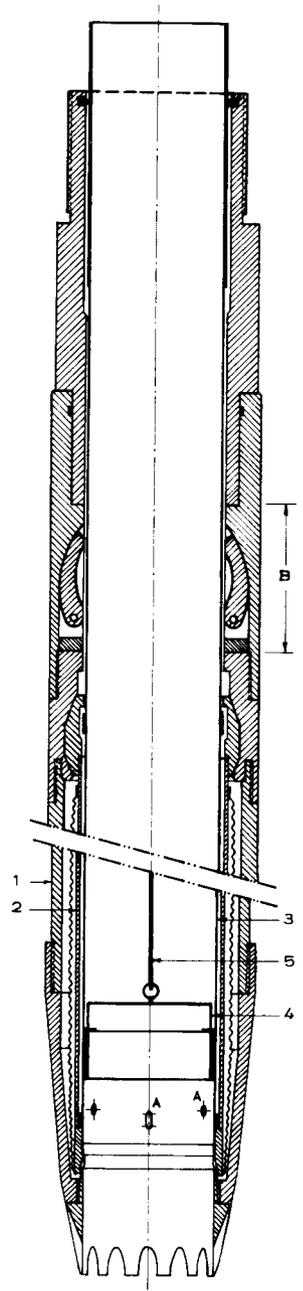


Fig. 2

- Classe 4 - Amostras em que a composição granulométrica foi respeitada mas em que o teor de humidade e a densidade sofreram alteração.
- Classe 5 - Amostras em que até a composição granulométrica sofreu alteração, por via de perda de partículas finas ou por esmagamento de partículas grosseiras.

Torna-se óbvio quais as determinações de características mecânicas que, por via laboratorial, sobre as amostras das diversas classes se tornam legítimas. Talvez só haja interesse em apontar que as amostras da classe 5 unicamente poderão servir para dar uma ideia da sequência dos estratos.

A possibilidade de colher amostras de uma determinada classe depende de factores que, segundo a mesma sistematização que se está a resumir, podem ser destrinchados. São eles:

- o tipo de equipamento de sondagem e de amostrador.
- o tipo de solo e a sua compacidade.
- a posição do nível freático (NF) em relação à cota do ponto de colheita da amostra.
- factores directamente relacionados com a perícia do sondador e com os cuidados postos na execução dos trabalhos.

Os quadros 1, 2 e 3 dão indicações para os diversos tipos de terrenos, para colheita acima ou abaixo do NF e para cada classe de amostra, à cerca dos equipamentos de sondagens e do tipo de amostrador requeridos. Para facilitar a consulta dos quadros os equipamentos de sondagem e os amostradores são designados por símbolos. A indicação de um equipamento, ou amostrador, entre parêntese significa que a operação é possível mas requiere muito boa perícia do sondador.

Os símbolos adoptados nos quadros são:

Equipamentos de sondagem

- rot. 1 - "carottier" simples
- rot. 2 - duplo "carottier"
- rot. 3 - duplo "carottier" com prelonga
- pl - percussão com tubo; cortante com bisel interior
- p2 - idem, cortante com bisel exterior
- tr - trado
- gr - "grab"

		CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4	
CASCALHO E AREIAS COM PARTÍCULAS >2 mm		Impossível	Impossível	gr (p1)(p2) (Ab2)(Ret)	gr(p1)(p2) (Ab2)(Ret)	
		Impossível	Impossível	Impossível	(p1)(p2)(Ret)	
AREIAS SEM PARTÍCULAS >2 mm	MÉDIAS E GROSSAS	Impossível	(Emb1)	p1, gr, tr (ret 3)(p2) (Ab1)(Ret)	p2 (Emb2) (Ab2)	
		Impossível	Impossível	Impossível	p1, p2, Ret (ret 3)(Emb)	
	FINAS	Impossível	(ret 3) (Ab1)(Emb1)	ret 3, gr, tr. p1 Ab1, Emb1	p1 (ret 1) Ab 2, Ret	
		Impossível	(ret 3) (Ab1)(Emb1)	(ret 3) (Ab1)(Emb1)	ret 3, p1, p2 (gr) Ret	

*Quadro 1 – Solos incoerentes grosseiros*

		CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4	
CASCALHO E AREIA COM PARTÍCULAS FINAS <0,06 mm	AS PARTÍCULAS GROSSAS FORMAM "ESQUELETO"	Impossível	Impossível	gr, p1 (p2) (Ret)(Ab 2)	gr, p1 (p2) (Ret)(Ab 2)	
		Impossível	Impossível	p1 (Ab 2)(Ret)	(p2)(tr)	
	PREDOMINAM AS PARTÍCULAS FINAS	Impossível	(p1) (Ab2)	p1, p2, gr Ab2	ret 1, ret 2	
		Impossível	(p1) (Ab2)	p1, p2, (gr) Ab2	ret 1, ret 2 gr (tr)	
AREIAS (<2mm) COM PARTÍCULAS FINAS <0,06 mm	AS PARTÍCULAS DE AREIA FORMAM "ESQUELETO"	Impossível	(p1)(ret 3) (Ab1)(Emb1)	p1, p2, gr Ab1, Ab2	ret 1, ret 2, ret 3	
		Impossível	(p1)(ret 3) (Ab1)(Emb1)	(p1)(ret 3) (Ab1)(Emb1)	ret 1, ret 2, ret 3 Ab 1, Ab 2	
	PREDOMINAM AS PARTÍCULAS FINAS	(ret 3) (Ab1)(Emb1)	p1 (ret 1) (ret 2) Ab1, Ab2	p1, gr, tr	ret 1, ret 2, ret 3	
		(ret 3) (Ab1)(Emb1)	p1 (ret 1) (ret 2) Ab1, Ab2	p1 (gr)	ret 1, ret 2, ret 3 gr	

*Quadro 2 – Solos incoerentes de granulometria extensa*

		CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4	
SILTES GROSSEIROS		Emb 1 (Ab 1)	(p 1)(ret 3) Ab 1(Ret) Emb 2	gr, tr	p 1, p 2 ret 3	
		Emb 1	(p 1)(ret 3) Emb 2(Ret)	(p 1)(ret 3) Emb 2(Ret)	p 1, p 2 (gr)	
SOLOS COESIVOS	BRANDOS	Emb 1 (Emb 2)	Emb 2,Ret (p 1)(ret 3) (Ab 1)	tr, gr (p 1)	tr, gr (p 1)	
		Emb 1 (Emb 2)	p 1, p 2(ret 3) Emb 2,Ret	tr	tr	
	MÉDIOS	ret 3 (p 1) Ab 1(Emb 1)	p 1 (p 2)(ret 1) (ret 2)Ab 2	tr, gr	tr, gr	
		ret 3 (p 1) Ab 1(Emb 1)	p 1(p 2)(ret 1) (ret 2)Ab 2	(gr)	(gr)	
	RIJOS	ret 3 (ret 2)	(ret 1)	gr, p 1 (p 2)(Ab 2)	ret 1, ret 2	
		ret 3 (ret 2)	(ret 1)	(p 1)(Ab 2)	ret 1, ret 2	
SOLOS COM ESTRUTURA SENSÍVEL		Emb 1	Emb 2 (Ret)	(gr)(tr) Ret	(gr)(tr) Ret	
		Emb 1	Emb 2 (Ret)	Ret	Ret	

*Quadro 3 – Solos de granulometria fina*

#### Amostradores

- Ab 1 – amostrador aberto com válvula, parede fina,
- Ab 2 – idem, parede espessa
- Emb 1 – amostrador de êmbolo estacionário, parede fina
- Emb 2 – idem, parede espessa
- Ret – amostrador com dispositivo de retenção na boca

4 – Os últimos anos não foram férteis no que se refere ao aparecimento de novos amostradores. Talvez até porque esse esforço inventivo nãourgia enquanto não se aprofundasse mais a problemática da perturbação causada no fragmento de solo que do maciço se retira para dele constituir “amostra”.

De facto surgiram algumas pequenas variantes aos amostradores clássicos, mas praticamente sem incorporarem nenhum aperfeiçoamento apreciável. Abre-se uma excepção em relação ao amostrador projectado no Laboratório de Delft por Begemann (1971) que merece menção à parte. Ele é de facto aparentado do já consagrado “foil-sampler” do SGI, mas apresenta algumas notáveis alterações. A Fig. 2 mostra um esquema deste amostrador o qual consta essencialmente das seguintes partes:

- um tubo exterior de parede espessa (1) em que se exerce a força de cravação e que tem no extremo uma adequada “boca” cortante.
- um tubo de parede muito fina (2) no exterior do qual se armazenam 18 m de uma manga de nylon, dobrada em pregas.
- um tubo de plástico (3) que servirá pròpriamente de envólucro da amostra.

A manga de nylon está dobrada para o interior do tubo (3) e presa ao êmbolo (4) que é mantido estacionário por intermédio do cabo de aço (5).

Quando se força a cravação do amostrador a manga de nylon vai acompanhando a amostra na sua subida no interior do tubo (3), revestindo-a e impedindo portanto que ela sofra fricção na parede do tubo. O espaço entre os tubos (2) e (3) está preenchido com um lubrificante que contribui para minimizar o atrito nylon-tubo de plástico ao lubrificar o exterior da manga de nylon, passando pelos orifícios A.

São notáveis as amostras que se consegue obter com este amostrador. O “índice de recuperação” é praticamente de 100% e, mesmo em areias finas, toda a sedimentação, mesmo os delgadíssimos estratos de alguns milímetros de espessura, mantém-se individualizada na amostra.

5 – O mais significativo dos avanços que nos últimos anos se realizou no domínio da amostragem consistiu em estudos quantitativos sobre as alterações que a operação de amostragem introduz no fragmento de maciço que é retirado da sua posição para, cá fora, ficar a constituir um corpo de prova. Merecem menção os trabalhos de Lang (1966, 1969), Sone (1971), Schackel (1971), Bromhan (1971). Em laboratório, sobre maciços artificiais cuidadosamente controlados durante a construção e convenientemente instrumentados, foi possível medir quais as alterações geométricas e de estado de tensão causadas pelas operações de amostragem, usando diversos amostradores. Os amostradores

de êmbolo estacionário, de parede fina, são os que se constatou que causam menores perturbações, limitadas a zonas periféricas de pequena espessura.

Também merecem realce estudos efectuados para avaliar o erro a que se é conduzido quando se efectua um ensaio de determinação de características mecânicas, no caso vertente um ensaio triaxial (Gerrard e Wardle, 1971), pelo facto de se utilizar um corpo de prova que perifêricamente está alterado. O estudo, de índole teórica, foi conduzido usando o método dos elementos finitos para comparar as respostas, em termos de tensões e deformações, de corpos de prova idealmente indeformados com a resposta de corpos de prova com auréolas alteradas, de diferentes dimensões. Concluiu-se que o erro só se torna apreciável para dimensões conspicuas da zona alterada. Ficam assim revalidadas as amostras obtidas com os amostradores que a prática actual considera adequados.

6 - Divisa-se uma outra interessante via de abordagem desta problemática: a correcção das respostas obtidas sobre amostras ligeiramente alteradas, por quantificação dessa alteração, para obter a resposta que daria a amostra inalterada.

A este respeito há interesse em discutir o conceito introduzido pelo grupo do MIT (Ladd e Lambe, 1964) de "perfect sample". Considerando que é inatingível, até mesmo conceptualmente, uma "undisturbed sample" pois há pelo menos uma alteração inevitável, que é a modificação do estado de tensão ao retirar o fragmento da sua posição *in situ*, entendeu-se que se devia definir "perfect sample" que será aquela que não sofreu nenhuma outra alteração além da mencionada modificação do estado de tensão. "Perfect sample" será portanto uma amostra geomètricamente "perfeita" mas em que o estado de tensão sofreu a alteração associada à libertação do constrangimento circundante. Parece que a designação que entre nós tem sido usada de "amostra indeformada" corresponde bem a este conceito, evitando-se a conotação metafísica do uso do termo "amostra perfeita". Será preciso porém ter em mente que a amostra indeformada não está sujeita ao mesmo estado de tensão que a solicitava *in situ*. O problema a estudar é a avaliação da grandeza da mencionada alteração do estado de tensão e, por conveniente utilização dessa informação, corrigir a resposta obtida na amostra para ter a resposta do fragmento *in situ*.

Para simplificação de exposição do tema, que nesta data se encontra ainda em início de investigação, considere-se um maciço normalmente consolidado, saturado, em que é conhecido o coeficiente de impulso em repouso,  $K_o$ . Em termos de tensões totais o estado de tensão *in situ* (considerando o problema a duas dimensões) é descrito pelas duas tensões principais que são a vertical e a horizontal:

$$\sigma_v = \sigma_1 = \gamma h$$

$$\sigma_h = \sigma_2 = K_o \gamma h$$

Usando os coeficientes de pressão neutra, A e B, introduzidos por Skempton, virá que a alteração do estado de tensão associada à retirada da amostra causará uma alteração na tensão dada pela conhecida expressão

$$\Delta u = B \left[ \sigma_h + A (\sigma_v - \sigma_h) \right]$$

e porque em solos saturados é  $B = 1$ , vem

$$\Delta u = A (\sigma_v - \sigma_h) + \sigma_h$$

ou ainda

$$\Delta u = \sigma_v \left[ A (1 - K_o) + K_o \right]$$

Porque a tensão total no contorno de amostra é nula, pode escrever-se

$$\bar{\sigma}_a + (u - \Delta u) = 0$$

em que  $\bar{\sigma}_a$  será a tensão efectiva residual na amostra indeformada. Como se vê é possível calcular  $\bar{\sigma}_a$  desde que se possa determinar  $K_o$  e A. Também é necessário o conhecimento da tensão vertical e da tensão neutra *in situ*, o que é menos difícil, reduzindo-se só, em maciços saturados sem pré-consolidação, à interpretação de dados geométricos.

A investigação tem mostrado que o  $K_o$  e A são grandezas pouco sensíveis a alterações do estado de tensão. Podem portanto ser com validade determinadas sobre amostras indeformadas e ficar-se-á assim habilitado a determinar  $\bar{\sigma}_a$  e a tentar reconduzir a “história” de tensões à situação *in situ*, ou a corrigir os dados directos de forma a ter em conta as suas consequências.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEGEMANN – *Soil sampler for taking an undisturbed sample 66 mm in diameter and with a maximum length of 17 metres*, Spec. Session, IV Asian Conf. on Soil Mech., Bangkok, 1971.
- BROMHAN – *The measurement of disturbance in samples of soft clay*, Spec. Session, IV Asian Conf. on Soil Mech., Bangkok, 1971.
- GERRARD e WARDLE – *The predicted effect of soil sampling disturbance on the stresses and strains developed during triaxial testing*, Spec. Session, IV Asian Conf. on Soil Mech., Bangkok, 1971.
- IDEL e al. – *Proposal for “quality classes” in soil sampling in relation to boring methods*, Spec. Session n.º 1, VII Int. Conf. on Soil Mech. México, 1961.
- LADD e LAMBE – *The strength of “undisturbed” clay determined from mechanical tests*, ASTM Spec. Pub. n.º 361, 1964.
- LANG – *Equipment to study the performance of soil samples*, Commonwealth of Australia, SM Section, Tech. Rep. n.º 6, 1966.
- LANG – *Instrumentation of soil sampling operations*, Spec. Session n.º 1, VII Int. Conf. on Soil Mech. México, 1969.
- SCHACKEL – *Some aspects of sampling disturbance observed using a nuclear method*, Spec. Session, IV Asian Conf. on Soil Mech. Bangkok, 1971.
- SOOS – *Influence of type of soil upon the accessibility of soil sample quality*, Spec. Session, IV Asian Conf. on Soil Mech. Bangkok 1971.
- SONE – *The deformation of a soil sample, during extrusion from a sample tube*, Spec. Session, IV Asian Conf. on Soil Mech.; Bangkok 1971.