

ATERROS E FUNDAÇÕES EM SOLOS ARGILOSOS BRANDOS

Embankments and foundations in soft clay soils

Rui Furtado*

SUMÁRIO

À necessidade de utilização e atravessamento de áreas situadas em locais caracterizados pela presença de solos argilosos brandos com profundidades superiores a 20 m coloca ao engenheiro problemas vários, cuja resolução exige conhecimentos especializados, bom senso e atitude criteriosa na escolha da solução mais conveniente. Neste trabalho, forçosamente resumido procuraremos enumerar os aspectos a considerar, e o estado actual do conhecimento, com particular relevância para o reconhecimento dos solos, determinação dos parâmetros de persistência e compressibilidade, para a verificação da estabilidade, previsão das deformações, observação do comportamento da obra e processos com vista a melhorá-lo.

ABSTRACT

The necessity to use and cross zones of soft clays deeper than 20 metres, presents the engineer with several problems, which resolution demands the knowledge of a specialist, common sense and a critical attitude, in the choice of the most suitable solution. In this resumed work, an attempt was made to enumerate the various aspects to be considered and the present state of art with special reference, to the identification of the soils choice of the strength and compressibility parameters, to assess stability, forecast deformations, observe in situ behaviors and means in order to improve them.

*Eng. Civil (IST) MS (Struct), Especialista em Geotecnia (O.E),
Prof. Convidado da FCTUC e quadro superior da CIMPOR (EP)

1. RECONHECIMENTOS DOS SOLOS. IDENTIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS

O reconhecimento dos solos deve ser precedido de um estudo geológico que permita definir um primeiro plano de reconhecimento, a completar posteriormente se necessário.

O reconhecimento dos solos far-se-á com base nos resultados de sondagens executadas com colheita de amostras alteradas e inalteradas, ensaios de molinete, ensaios de penetração estática (C.P.T.) e ensaios de penetração dinâmica (S.P.T.).

Consideramos importante que se fomente entre nós o uso de pressiómetro auto-furador que provoca menor alteração do terreno e do piezômetro que possibilita a determinação simultânea da pressão neutra e da resistência de ponta.

Os ensaios "in situ" devidamente calibrados permitem uma redução importante do número de sondagens, logo de amostras a ensaiar, com benefício imediato na economia e na redução de tempo necessário ao reconhecimento dos solos.

Interessa conhecer os parâmetros de identificação, granulometrias, limites, etc., e os parâmetros de resistência, compressibilidade, permeabilidade vertical e horizontal. No quadro vão indicados os valores característicos. Os parâmetros de resistência e compressibilidade podem também obter-se em ensaios laboratoriais, permitindo assim calibrar e confirmar os resultados obtidos nos ensaios de campo.

Os ensaios laboratoriais possibilitando a determinação da coesão (c) e do ângulo do atrito (ϕ) são em geral o ensaio de compressão não limitada, e o ensaio triaxial com ou sem drenagem, rápido ou lento. Para a compressibilidade efectuam-se os ensaios edométricos tradicionais e ensaios triaxiais, convindo que sejam também realizados ensaios edométricos com consolidação radial, com vista ao estudo de uma eventual aceleração da consolidação por drenos verticais.

2. DEFORMAÇÕES E ESTABILIDADE

2.1. As deformações a considerar são fundamentalmente as verticais, que podemos considerar como resultado da soma de quatro parcelas $\Delta v = \Delta v_i + \Delta v_c + \Delta v_{fl} + \Delta v_{lat}$ em que Δv_i , Δv_c , Δv_{fl} , Δv_{lat} representam respectivamente o assentamento "elástico" imediato, sem variação de volume, assentamento por consolidação primária independente de $d\tau'/dt$, assentamento por fluência ou consolidação secundária dependente de $d\tau'/dt$ e assentamento devido à fluência lateral aproximadamente igual a 0,16 do assentamento vertical máximo no centro do aterro.

2.2. A verificação da estabilidade nos aterros, consta fundamentalmente da determinação da carga de rotura do solo assumindo o aterro como uma fundação contínua flexível, e da verificação da estabilidade face a um eventual deslizamento, assunto que poderá ser estudado consoante a importância da obra, com recurso a ábacos ou programas de computador com maior ou menor desenvolvimento baseados em métodos mais elaborados (Fellenius, Bishop, Variacionais, etc.).

3. SOLICITAÇÕES VERTICAIS E HORIZONTAIS ORIGINADAS NAS ESTACAS DE FUNDAÇÃO DE OBRAS EM ATERROS SOBRE SOLOS COMPRESSÍVEIS

A utilização de estacas em fundações de obras situadas em aterros sobre solos compressíveis sejam elas encontros de pontes ou apoios de estruturas de edifícios, implica a consideração de solicitações verticais, resultantes do atrito negativo resultante da consolidação dos solos, e de solicitações horizontais devido a fluência lateral dos solos já referida anteriormente (ponto 2.1).

4. OBSERVAÇÃO DE OBRAS

Não será demais, nem despropositado, insistir na importância da observação de obras como único meio de aferição face ao comportamento real, das hipóteses admitidas no projecto e daí possibilitar as correcções necessárias e permitir a tomada de medidas atempadas em caso de eminência de acidente. O plano de observação de obras deveria considerar pelo menos um perfil convenientemente instrumentado conforme indicado na figura, utilizando piezômetros, tassiômetros, inclinômetros, bandeirolas criteriosamente localizados, procurando prejudicar minimamente o desenvolvimento da obra, o que envolve uma boa coordenação entre empreiteiro, fiscalização e projectista.

5. MELHORIA DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DOS SOLOS - NOVOS MATERIAIS

5.1. O pequeno valor da coesão e do ângulo de atrito ($\phi = 0$ na estabilidade a curto prazo) e a sua elevada compressibilidade implica que em geral se tenha de considerar a possibilidade de melhoria das características mecânicas do solo, em particular se a presença de solos brandos for tal que impossibilite a sua remoção parcial ou total pelo aterro, coadjuvado ou não com o emprego de explosivos. Os processos actualmente mais utilizados são:

- preconsolidação por meio de aterro ou por vácuo;
- utilização de drenos verticais de areia;
- colunas estabilizadas de brita, areia ou solo natural;
- compactação dinâmica chegando a utilizar-se massas de 400 KN, e uma altura de queda de 20,0 m;
- os processos envolvendo electro-osmose, electro-injecção e electro-drenagem.

A solução alternativa a todas estas hipóteses é o emprego de viadutos fundados em estacas, que resulta geralmente bastante cara, mas permite uma solução definitiva sem mais problemas.

5.2. Têm-se utilizado, embora não com grande frequência outros materiais no aterro, em vez de solo, que devido ao seu menor peso reduzem os assentamentos. Assim, por vezes utilizam-se a jorra ou o poliester expandido, mas por ora a experiência é reduzida.

* possança

6. TENDÊNCIAS MODERNAS NO CÁLCULO

A tendência actual e o emprego do método dos elementos finitos na avaliação das deformações, introduzindo inclusivamente simulações permitindo considerar a evolução da obra, e leis de comportamento linear ou não linear bem como a aplicação de filosofia conhecida por SHANSEP.

Note-se, que uma comparação entre os vários métodos de cálculo, realizada por Poulos (1972) mostra que métodos de cálculo relativamente simples baseados na teoria de elasticidade, dão resultados razoavelmente concordantes com a análise baseada nos elementos finitos e leis de comportamento mais realistas.

7. CONCLUSÕES

Procurámos dar uma panorâmica rápida dos principais problemas que se apresentam ao projectista de aterros em solos compressíveis, indicando ainda as tendências modernas do cálculo.

Foi uma vez mais salientada a importância do estabelecimento prévio de um plano de observação da obra, nomeadamente deformações e tensões induzidas pela evolução dos trabalhos, e ainda o incremento actualmente renovado da importância dos ensaios "in situ" com vista a um reconhecimento das características mecânicas dos solos com a menor perturbação possível, não esquecendo que tais técnicas permitem a rápida disponibilidade dos dados obtidos. É evidente, "que não interessa quanto sofisticada seja uma técnica analítica nem qual o grau de exactidão envolvido nos cálculos, pois o valor dos resultados finais dependerá totalmente duma correcta avaliação das propriedades dos solos" e do mecanismo de rotura admitido.

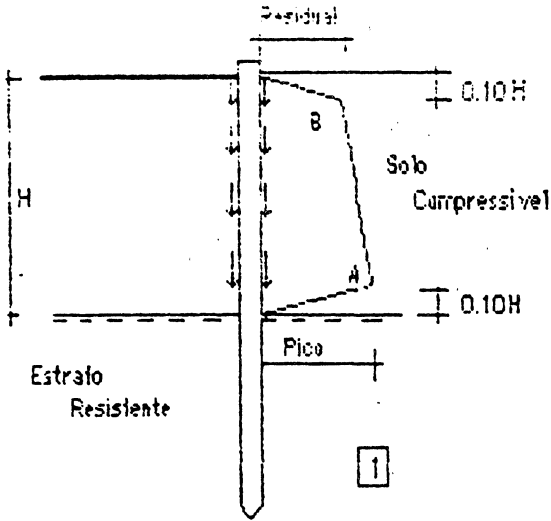
A terminar não podemos ainda deixar de salientar que regras práticas simples podem ser óptimos guias para o projectista nomeadamente na fase inicial dos projectos, e que embora não tão elegantes como outros processos analíticos mais refinados, são no entanto, extremamente úteis, como por exemplo, aquela regra que permite uma precisão grosseira e imediata da altura crítica de um aterro sobre solos brandos e nos diz $h_{crit} = 5(S_u/\gamma)$, que poderá ser sempre melhorada, é bom não esquecer, através da experiência pessoal em de terminada região, que aqui exortamos todos os técnicos a adquirir e desenvolver.

QUADRO DE VALORES CARACTERÍSTICOS

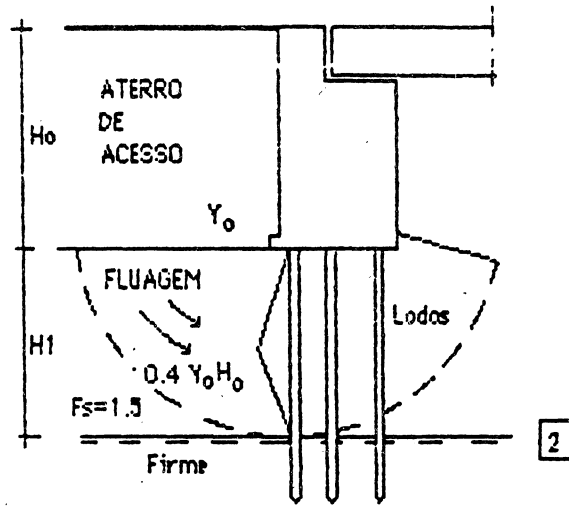
Localização	Espessura (m)	lim. líquido %	Grau hum. %	ind. cons.	% < 2 µm	Peso vol. seco (kn/m ³)	Matérias orgânicas	Coesão Cu (kPa)
CRAN	17	70-125	50-120	0.65-0.20	50-70	7-11	1-4	15-45
PALAVAS	30	43-100	50-70	0.30-0.10	91-100	9-12	4-6	15-30
PLINE DE L'AUDE	23	25-50	25-60	0.00-0.40	50-60	12-15	0-5	20-50
CUBSAC	10	80-180	40-50	0.30-1.00	45-65	6-9	5-25	17-30
BACIA DE St. ANDRÉ (Sines)	20-24	50-188	*	*	*	*	*	8.7-11.9
INFULENE	15	80-100	60-100	*	*	15.3	*	10-12
TEMBE	10-15	70-90	80-100	*	*	14.0	*	8-10
NAMACURRA	10-20	*	*	*	*	15.5	*	9-10

* - Não foi possível estes elementos na consulta feita nesta data

ESTRATO RESISTIVO-FORÇA VERTICAL



FORÇA HORIZONTAL



S - perímetro da estaca
 O atrito (ou adesão) nos pontos A e B corresponde aos valores "pico" e "residual" de resistência ao corte, valem $f_A = aC_p$ e $f_B = aC_r$ onde C_p e C_r são valores "pico" e "residual" da resistência ao corte.
 a - fator de adesão usualmente igual à unidade.
 A força de arrasto para baixo, "downdrag force" vale:

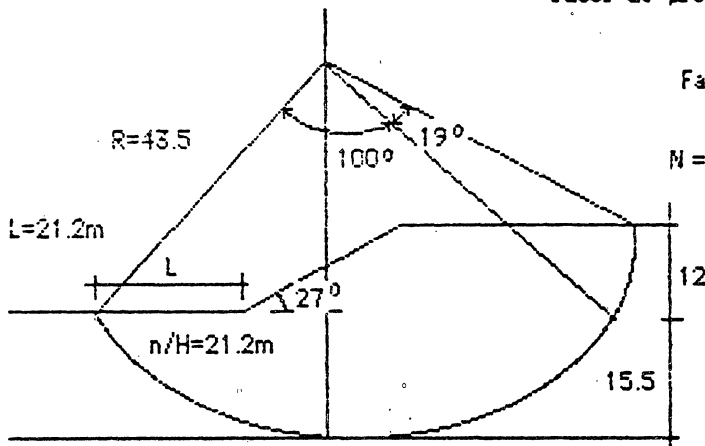
$$[(0.10H \times 0.5 \max(C_p) + (0.10H \times 0.5 \max(C_r) + (0.9H \times 0.5 \max(C_p + C_r)))] \times S = -0.45H \times a \times (C_p + C_r) \times S$$

Estaca de diâmetro D
 Considere-se que as estacas estão sujeitas na altura H_1 a um impulso triangular que se aplica na fila da rectangular. Admita-se que a pressão se aplica numa largura de $2B$, valendo a meia altura $0.4 \gamma_0 H_1$, desde que o fator de segurança relativo a uma rotura circular seja $F_s = 1.5$. Consideradas as estacas articuladas nas extremidades o M_{max} , a meia altura vale:

$$M_{max} = 0.067 \gamma_0 H_1^2 D^3$$

ATERRO ASSIMILADO A UMA FUNDIÇÃO CONTÍNUA FLEXÍVEL

Fator de profundidade $n=37$ 5/12-2.3



Factor de estabilidade $N=5.7$

$$N = \frac{YH}{c_{crit}} \quad c=0.455 \text{ bar}$$

$$F = \frac{C_u}{C_r} = 1.10$$

PLANO DE OBSERVAÇÃO DE UMA SECÇÃO DE UM ATERRO

