

ENSAIO EDOMÉTRICO

1. Objectivo

É de conhecimento geral que qualquer material sujeito a uma determinada solicitação se deforma no sentido de suportar essa solicitação. Isto é, nenhum material pode suportar uma solicitação sem se deformar, sendo o valor dessa deformação dependente do tipo de solicitação e do tipo de material em questão.

Ao solicitar um solo confinado ele deforma-se no sentido de absorver essa solicitação. Do facto de o solo se encontrar confinado, ocorrem apenas extensões verticais. Do exposto conclui-se que num estrato confinado só existe deformação se ocorrer variação de volume.

À propriedade que caracteriza as deformações volumétricas sofridas pelo solo quando carregado dá-se o nome de compressibilidade. A compressibilidade dos solos caracteriza-se, fundamentalmente, por:

- exibir, em geral, redução acentuada com o aumento do nível de tensão efectiva;
- resultar, geralmente, em deformações com reduzida parcela reversível.

O estudo da compressibilidade dos solos envolve a quantificação das deformações e do tempo que estas se demoram a processar. Para caracterizar a compressibilidade de um solo recorre-se, em geral, a ensaios laboratoriais realizados sobre amostras representativas do solo. O ensaio edométrico é o ensaio laboratorial que permite obter os parâmetros do solo caracterizadores da sua compressibilidade.

2. Procedimento de ensaio

O ensaio edométrico é realizado num aparelho designado por edómetro (Figura 1), onde uma amostra cilíndrica, com dimensões, em geral, de 19 mm de espessura e 70 mm de diâmetro é solicitada de acordo com as hipóteses base da Teoria de Consolidação Unidimensional de Terzaghi:

- o solo encontra-se saturado (submerso);
- o solo encontra-se confinado, sendo as deformações verticais (anel rígido);
- o fluxo é vertical (anel impermeável).

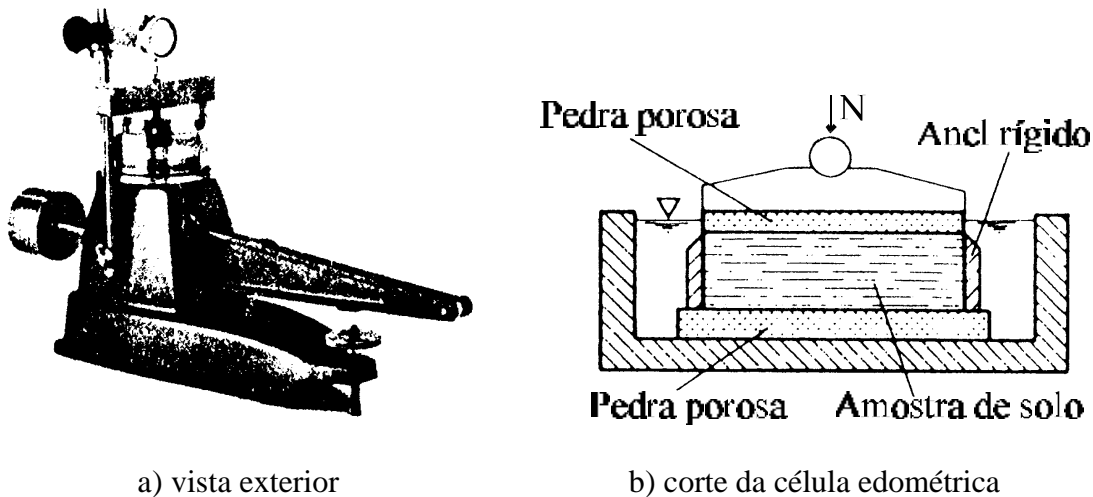


Figura 1 – Aparelho edométrico.

Após a recolha, preparação e corte da amostra, ela é colocada no edómetro e submetida a carregamentos progressivos (por meio de um sistema de pesos e alavancas), respeitando em geral as seguintes condições:

- cada carregamento (escalão de carga) é mantido por um período de 24h, durante o qual se fazem leituras da deformação vertical da amostra ao longo do tempo (0,1; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8; 15; 30; 60; 120; 240; 480 e 1440 min)¹;
- durante a fase de carga, cada carregamento adicional (novo escalão de carga) duplica o que se encontrava aplicado anteriormente;
- em geral é realizada, pelo menos, uma fase de descarga, na qual, em cada escalão, a carga se vai progressivamente reduzindo para $\frac{1}{4}$ da anterior (menores deformações na descarga);
- o ensaio deve abranger um campo de tensões relevante para o problema em estudo tal que permita definir com rigor os parâmetros de compressibilidade mais importantes do solo.

Note-se que o valor de σ'_v no final do processo de consolidação relativa a cada escalão de carga ou descarga, é igual à tensão total aplicada sobre a amostra pois $u_e = 0$ ($u \approx u_e = 0$).

¹ Actualmente o Laboratório de Geotecnia dispõe de equipamento que permite a aquisição automática de dados.

3. Resultados do ensaio edométrico

Num ensaio edométrico são obtidas as leituras da altura da amostra ao longo do tempo (em geral 24h) para cada escalão de carga, como se mostra nas Figuras 2 e 3.

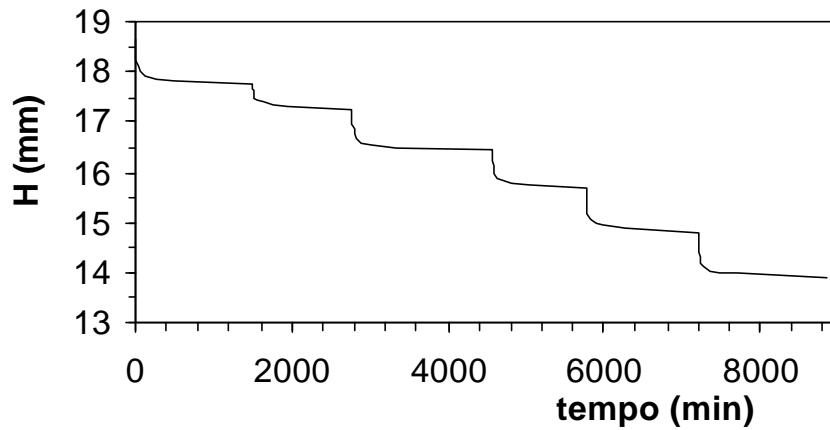


Figura 2 – Curva (H-t) para um ensaio com 6 escalões de carga.

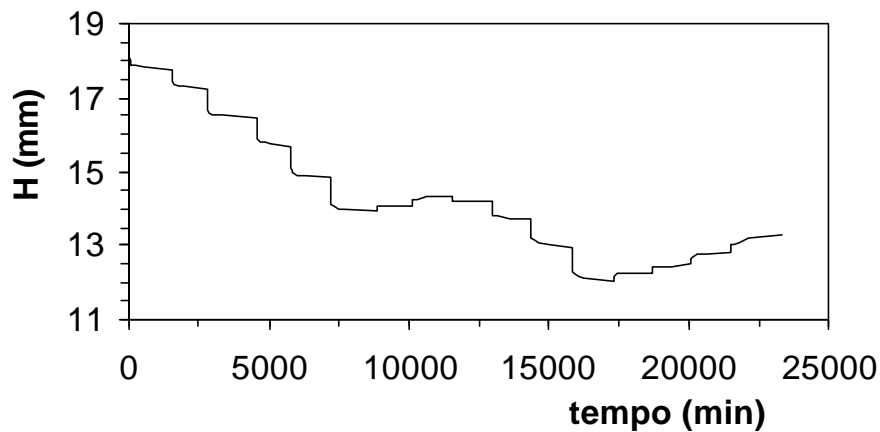


Figura 3 – Curva (H-t) para um ensaio com escalões de carga e descarga.

A partir destes resultados é possível obter:

- uma curva ($\Delta H - \log t$) por cada escalão de carga ou descarga (Figura 4), as quais permitem estimar o parâmetro do solo que determina o tempo de consolidação - coeficiente de consolidação, c_v ;
- o valor do índice de vazios, e , em cada instante, com base em e_0 ou, de preferência, e_f :

$$De = \frac{DH}{H_0} \times (1 + e_0)$$

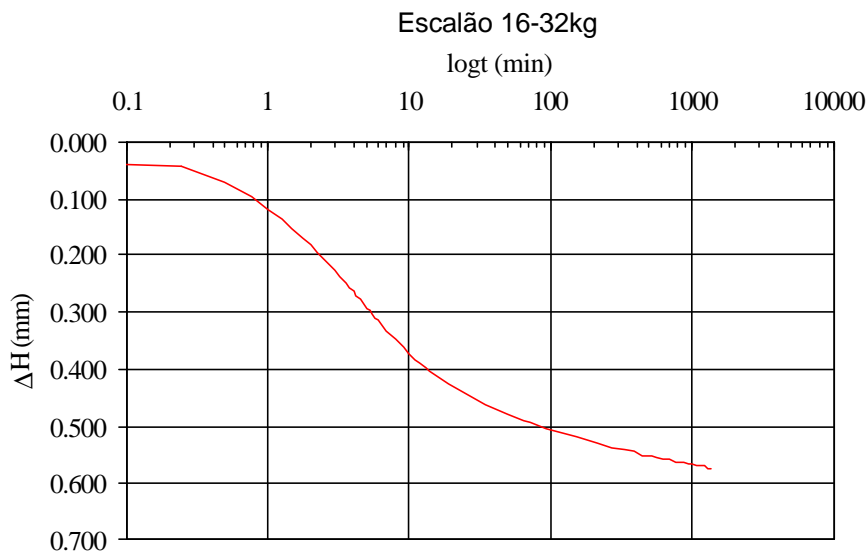


Figura 4 – Curva (ΔH -log t) para um escalão de carga.

- uma relação (e - σ'_v) (Figura 5), que permite estimar o valor das deformações numa camada de solo sob um determinado carregamento:

$$DH = \frac{De}{1 + e_0} \times H_0$$

$$DH = m_v \times Ds'_v \times H_0$$

onde, m_v é o coeficiente de compressibilidade volumétrico, obtido com base na curva (e - σ'_v):

$$m_v = \frac{a_v}{1 + e_0} \quad (\text{kPa}^{-1}) \qquad a_v = \left| \frac{De}{Ds'_v} \right| \quad (\text{kPa}^{-1})$$

onde, a_v é o coeficiente de compressibilidade;

NOTA: como o parâmetro m_v varia com o nível de tensão efectiva (logo não é característico do solo), o cálculo das deformações a partir deste exige a utilização do(s) valor(es) mais adequado(s) a cada situação.

- uma relação (e -log σ'_v) (Figura 6), com base na qual se pode estimar o valor da tensão de pré-consolidação (σ'_p), e o valor das deformações numa camada de solo sob um determinado carregamento:

$$DH = \frac{H_0}{1 + e_0} \times C_R \times \log \left(\frac{s'_p}{s'_{v0}} \right) + \frac{H_0}{1 + e_p} \times C_C \times \log \left(\frac{s'_{vf}}{s'_p} \right)$$

onde, C_R representa o índice de recompressibilidade (declive dos ramos de recarga ou descarga) e o C_C o índice de compressibilidade (declive do ramo virgem), sendo avaliados com base na curva (e - $\log \sigma'_v$):

$$C_R \approx C_S = \left| \frac{De}{D \log \sigma'_v} \right| \qquad C_C = \left| \frac{De}{D \log \sigma'_v} \right|$$

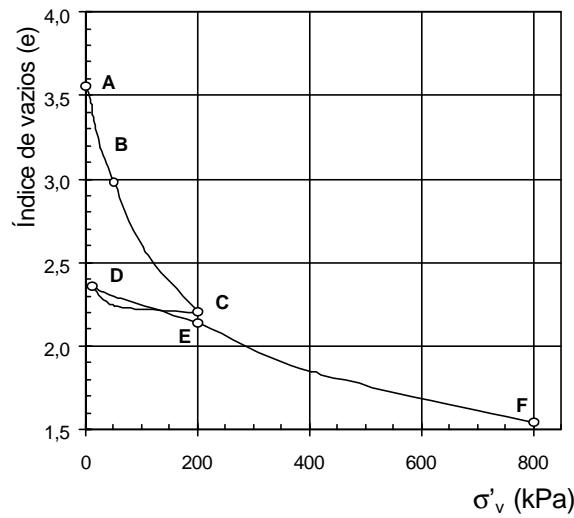


Figura 5 – Curva (e - σ'_v) obtida a partir de um ensaio edométrico.

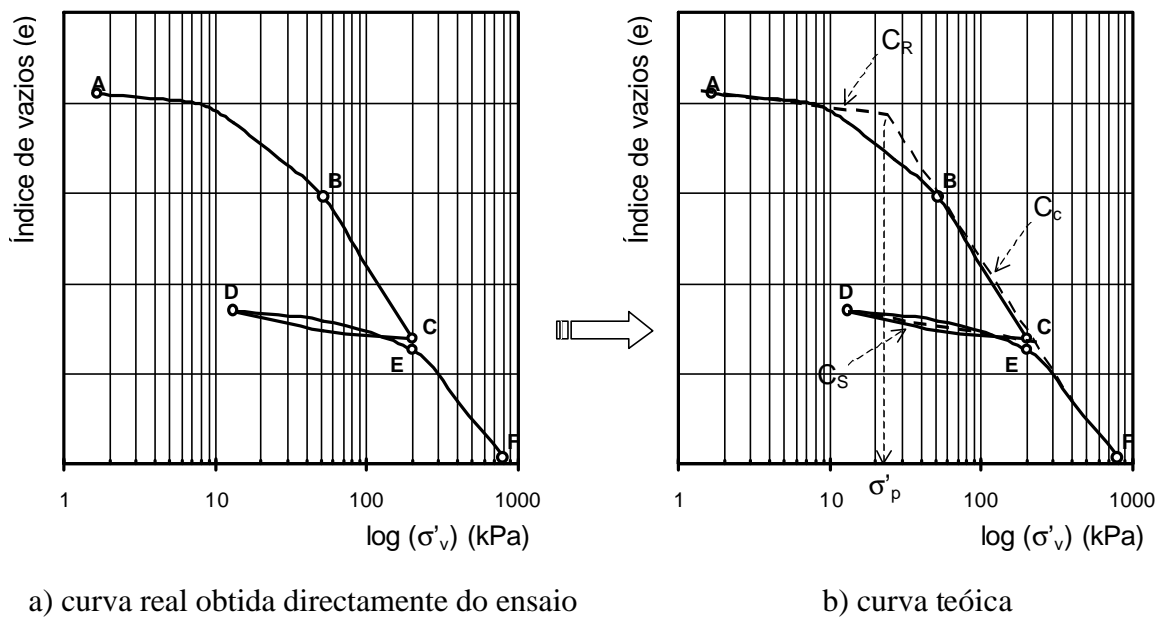


Figura 6 – Curva (e - $\log \sigma'_v$) obtida a partir de um ensaio edométrico.

A vantagem da representação semilogarítmica resulta do facto de, no plano e-log σ'_v , a relação ser, para valores de tensão inferiores e superiores à tensão efectiva vertical máxima a que o solo já esteve sujeito, aproximadamente linear.

A máxima tensão efectiva vertical a que um solo já esteve submetido designa-se por tensão de pré-consolidação (σ'_p), marcando o ponto da curva e-log σ'_v a partir do qual as deformações do solo crescem mais significativamente com a tensão efectiva vertical (o ramo das tensões superiores a σ'_p designa-se ramo virgem).

Embora existam diferentes métodos para determinar σ'_p , o mais divulgado é devido a Casagrande, tendo por base uma construção empírica.

À razão entre a tensão de pré-consolidação (σ'_p) e a tensão efectiva vertical actual (σ'_{v0}), designa-se por grau de sobreconsolidação (OCR):

$$OCR = \frac{s'_p}{s'_{v0}}$$

Avaliação do coeficiente de consolidação, c_v , a partir do ensaio edométrico

O ensaio edométrico é o ensaio laboratorial que permite obter o parâmetro do solo que determina o tempo de consolidação - coeficiente de consolidação, c_v .

Em cada ensaio edométrico são obtidas tantas curvas (ΔH -log t) quantos os escalões de carga/descarga utilizados, cada uma das quais permite estimar um valor, em geral diferente, para o coeficiente de consolidação (isto é, c_v não é um parâmetro característico do solo).

O coeficiente de consolidação é geralmente estimado com base num de dois métodos:

- o método de Casagrande (baseado na curva ΔH -log t);
- o método de Taylor (baseado na curva (ΔH - \sqrt{t})).

O método de Casagrande é de difícil de utilizar no caso de solos com elevados coeficientes de consolidação e/ou sofrendo assentamentos em que a fluência constitui uma componente importante.

O método de Taylor, porque se baseia na interpretação da fase inicial da consolidação, é menos influenciado pela ocorrência de fluência durante o ensaio, contudo exige maior número e precisão de leituras no início do processo (requisito facilmente satisfeito por meio da aquisição automática de dados).

Excepto em situações particulares como as referidas, a escolha do método a utilizar é relativamente arbitrária. Em geral, o método de Taylor determina valores superiores para o coeficiente de consolidação, ainda que da mesma ordem de grandeza dos determinados pelo método de Casagrande.

O uso do coeficiente de consolidação obtido num ensaio edométrico ($H_0 = 19 \text{ mm}$) numa situação real, requer a ponderação da tensão efectiva vertical relevante para o problema e a investigação da existência de finas camadas de alta permeabilidade que influenciem o tempo de consolidação do maciço.