

DETERMINAÇÃO DAS PRESSÕES DE EXPANSÃO EM ROCHAS ARGILOSAS

Determination of the swelling pressures in argillaceous rocks

FILIPE TELMO JEREMIAS*

RESUMO — Descrevem-se os cuidados a ter na amostragem e preparação dos provetes de rochas argilosas expansivas e as técnicas laboratoriais, utilizadas no LNEC, para medir as pressões de expansão com e sem confinamento lateral. São apresentados os resultados obtidos para rochas argilosas e argilo-margosas, salientando-se alguns dos parâmetros físicos e estruturais que maior influência têm na determinação das pressões de expansão.

SYNOPSIS — Methods for sampling and preparing specimens of argillaceous swelling rocks and laboratory techniques used in LNEC for measuring swelling pressure with and without confinement are described. Some results corresponding to argillaceous and marly-argillaceous rocks are presented and some physical and structural parameters which have major influence on determining the swelling pressures are commented.

1 — INTRODUÇÃO

Os principais mecanismos de expansão que condicionam o comportamento geotécnico das rochas argilosas são a descompressão dos terrenos e as variações do teor em água.

As variações de volume e as pressões de expansão desenvolvidas pelos minerais argilosos, devido às variações do teor em água, podem conduzir ao colapso das obras de Engenharia Civil. A aplicação à Geotecnia da investigação laboratorial, desenvolvida para a determinação da expansibilidade e das pressões de expansão, permite obter os parâmetros e as leis matemáticas que constituem a base dos métodos analíticos ou numéricos correntemente utilizados no dimensionamento de estruturas na superfície ou mais frequentemente no interior de maciços com propriedades expansivas.

As pressões de expansão desenvolvem-se quando a expansão devido a humificação das rochas está total ou parcialmente impedida, porque no caso inverso estas expandem-se livremente (aumentam de volume) sem gerarem tensões.

Neste trabalho descrevem-se as técnicas de amostragem, de preparação dos provetes e de ensaio utilizadas no LNEC para determinação das pressões de expansão com e sem confinamento lateral e analisam-se os resultados obtidos em rochas argilosas e argilo-margosas.

* Geólogo, Assistente de Investigação do LNEC

2 — AMOSTRAGEM E PREPARAÇÃO DOS PROVETES DE ENSAIO

As variações de humidade dos terrenos são por vezes a principal causa da expansão e do desenvolvimento de pressões de expansão, devendo os ensaios ser conduzidos em provetes com um teor em água o mais próximo possível do existente nos terrenos *in situ*, aquando da amostragem.

Os provetes de ensaio podem ser obtidos a partir de tarolos de sondagem ou de blocos. Os furos de sondagem devem ser executados de preferência com ar comprimido, usando amostradores de parede dupla ou tripla no mínimo de diâmetro NX. Os tarolos seleccionados devem ter comprimento suficiente de modo a permitir a preparação de, pelo menos, três provetes e a realização, no restante material, de ensaios de identificação.

Os blocos devem ser escolhidos de forma a terem dimensões que permitam a preparação de, pelo menos, três provetes. Os blocos seleccionados devem ser identificados, fotografados e posteriormente envolvidos, primeiro em película plástica e depois em folha de alumínio, sendo, por último, parafinados. O período de armazenamento deve ser mínimo, sendo as amostras guardadas em câmara saturada.

Os provetes de ensaio devem ter forma cilíndrica e ter dimensões compreendidas entre 50 e 100 mm de diâmetro e 20 e 30 mm de altura (ISRM, 1989). As operações de extracção e corte dos provetes devem ser, sempre que possível, realizadas a seco, para não alterar o teor em água natural dos mesmos.

Os materiais ensaiados neste trabalho foram colhidos no túnel N.º 4 das obras de saneamento básico da Costa do Estoril, imediatamente após o rebentamento de uma pega. Os provetes foram extraídos dos blocos por rotação, utilizando um amostrador com cerca de 62,5 mm de diâmetro interior. Nos blocos de rochas mais brandas os provetes foram extraídos por cravação dum amostrador de diâmetro interior igual ao utilizado na rotação.

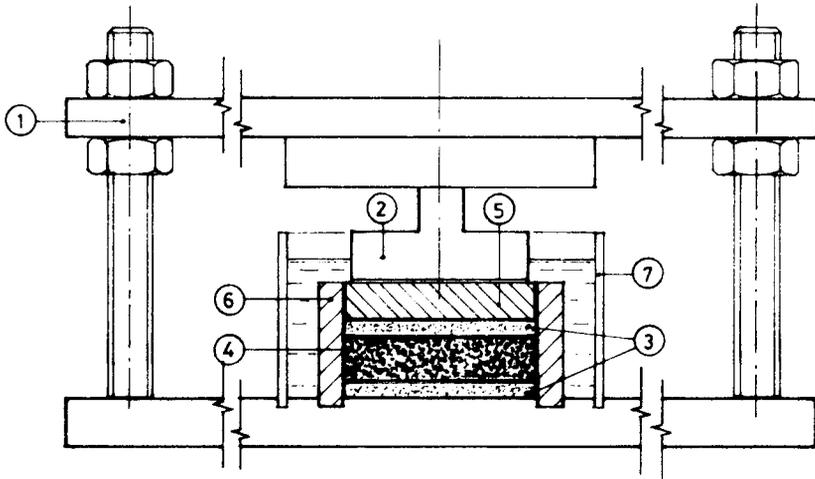
3 — ENSAIOS PARA A DETERMINAÇÃO DAS PRESSÕES DE EXPANSÃO

O método de ensaio usado no LNEC consiste em medir as forças de expansão desenvolvidas pelo provete através de uma célula de força eléctrica, ligada a um registador gráfico, com base tempo, e montada numa prensa de ajuste manual que impede deslocamentos verticais (Jeremias, 1991).

A técnica de ensaio consiste, basicamente, em determinar a massa dos provetes, medir o diâmetro e altura dos mesmos, aplicar uma pré-carga de 0,25 MPa, adicionar água destilada e registar a variação das forças de expansão em função do tempo.

O equipamento utilizado nos ensaios com confinamento lateral para medir as pressões de expansão axiais está, esquematicamente, indicado na Fig. 1. No caso de o diâmetro dos provetes ensaiados ser ligeiramente menor do que o diâmetro interno do anel de aço inoxidável (64,9 mm), o espaço anelar existente deve ser preenchido com enxofre fundido de modo a evitar-se expansões laterais e obter-se entre a parede do anel e a face do provete uma superfície de contacto lisa e uniforme.

Nos ensaios realizados utilizou-se uma célula com alcance de 50 kN. Na calibração da célula foi utilizado um anel dinamométrico de 5 kN calibrado em compressão, realizando-se ciclos de carga/descarga até 5 kN, com intervalos de 0,5 kN. A relação entre as forças apli-



1 - Suporte rígido 2 - Célula de força 3 - Placas porosas 4 - Provette
5 - Placa de carga de aço 6 - Anel de aço 7 - Recipiente

Fig. 1 — Equipamento utilizado para medir as pressões de expansão axiais em provetes confinados lateralmente

casas no padrão de força e os valores medidos no registador gráfico foi determinada pelo método dos mínimos quadrados.

As curvas de ensaio obtidas no registador gráfico são discretizadas, sendo os valores medidos no papel de registo transformados em forças, através da relação previamente determinada na calibração da célula de força eléctrica.

Os ensaios terminam quando os acréscimos de força deixam de existir e/ou de ser significativos, o que graficamente corresponde ao ramo assintótico da curva de ensaio.

Os parâmetros de ensaio que se determinam são os teores em água inicial e final do provete e as pressões de expansão calculadas pela seguinte expressão:

$$\sigma = \frac{F}{A_b} \quad (1)$$

em que,

- σ — pressão de expansão
- F — força registada graficamente
- A_b — área basal do provete obtida por $\pi d^2 / 4$

4 — APLICAÇÃO ÀS ROCHAS ARGILOSAS E ARGILLO-MARGOSAS

As rochas ensaiadas pertencem às formações calcárias do Albiano-Cenomaniano inferior e médio C_{AC}^2 . Trata-se de argilitos de cor amarela (AAE1 e AAE2) e de argilitos margosos (MAE1 a MAE4) normalmente zonados com coloração acinzentada no interior dos blocos e amarelada na periferia.

No Quadro I apresentam-se os parâmetros de ensaio determinados para as amostras estudadas. As pressões de expansão máximas foram calculadas quando a curva pressão de expansão - tempo atingia o ramo assintótico, com exceção dos provetes AAE1 \perp , AAE2 \perp , MAE1-2 e MAE1-3 em que o valor de pressão de expansão final (correspondente ao ramo assintótico) é inferior ao valor de pressão máxima.

Nos ensaios realizados com confinamento lateral (CL) verifica-se que os provetes das amostras AAE1 e MAE1 apresentam pressões de expansão mais baixas e teores em água mais elevados do que os provetes das amostras AAE2 e MAE2. O aumento do teor em água reflecte uma maior saturação das rochas, o que conduz a expansões mais elevadas e consequentemente ao desenvolvimento de menores pressões de expansão.

A amostra MAE3 apresenta um comportamento anómalo porque, apesar de ter teores em água mais baixos do que os da amostra MAE2, tem valores de pressão de expansão inferiores aos daquela. Esta diferença de comportamento da amostra MAE3 é devida ao facto de esta ter menor percentagem de minerais argilosos do que a amostra MAE2.¹

Nas Figs. 2 e 3 apresentam-se respectivamente as curvas pressão de expansão - tempo para os provetes das amostras AAE1 e AAE2, orientados perpendicular e paralelamente à estratificação. As pressões de expansão são mais elevadas nos provetes AAE1 \perp e AAE2 \perp . As curvas de ensaio destes provetes mostram que a pressão máxima é atingida ao fim de pouco tempo de ensaio, sendo o valor final de pressão de expansão ligeiramente inferior. As curvas de ensaio dos provetes AAE1= e AAE2= mostram que os valores de pressão de expansão crescem em função do tempo até ser atingida a pressão máxima.

Com o objectivo de avaliar qual a influência da altura dos provetes na determinação das pressões de expansão, foram ensaiados os provetes MAE2-3 e MAE2-4 que têm sensivelmente o dobro da altura em relação aos restantes provetes da mesma amostra (MAE2-1 e MAE2-2). Apesar do número insuficiente de ensaios realizados, verifica-se que as pressões de expansão máximas obtidas para provetes com diferentes alturas são da mesma ordem de grandeza, aumentando o tempo de ensaio quando os provetes têm maior altura.

Nos ensaios não confinados lateralmente (NCL) a pressão de expansão máxima é atingida ao fim de pouco tempo de ensaio, decrescendo as pressões de expansão em seguida devido à progressiva ruína e desagregação dos provetes.

As curvas de ensaio representadas na Fig. 4 evidenciam a diferença de comportamentos existente, quando os provetes são ensaiados com e sem confinamento lateral, respectivamente MAE1-1 e MAE1-2.

Relativamente às amostras AAE verifica-se que a rotura dos provetes ocorre durante o ensaio e que a amostra AAE2 apresenta valores de pressão de expansão mais elevados do que a amostra AAE1, o que concorda com os resultados obtidos nos ensaios com confinamento lateral.

¹ As percentagens relativas de minerais argilosos das diferentes amostras MAE foram determinadas através de ensaios de azul de metileno.

QUADRO I

Parâmetros de ensaio obtidos para as amostras AAE e MAE

Provede	Tipo de ensaio	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	F (máx) (kN)	F (final) (kN)	P (máx) (MPa)	P (final) (MPa)	T (Pmáx) (h)	T (final) (h)	W ^a (%)	W ^b (%)
AAE1 =	CL	58,7	25,2	2706	1,455	1,455	0,538	0,538	29,5	29,5	23,0	25,6
AAE1-1	CL	58,8	24,5	2716	2,997	2,997	1,104	0,935	4,5	24,0	22,8	25,9
AAE2 =	CL	58,9	24,8	2725	2,971	2,891	1,061	1,061	48,0	48,0	16,5	21,1
AAE2-1	CL	59,0	24,2	2734	4,468	4,247	1,634	1,553	5,5	25,0	17,8	22,8
AAE2-2	CL	60,1	23,6	2837	2,816	2,816	0,993	0,993	24,0	24,0	18,6	24,2
AAE1-1	NCL	60,1	24,1	2837	2,866	2,866	1,010	1,010	24,0	24,0	19,2	25,3
AAE1-2	NCL	37,5	88,4	1406	0,456	R	0,324	R	0,75	12,0	-	-
AAE2-3	NCL	37,0	88,9	1369	0,394	R	0,287	R	1,0	9,0	-	-
AAE2-4	NCL	36,8	85,7	1354	0,582	R	0,430	R	0,75	4,5	-	-
	NCL	37,6	87,9	1414	0,607	R	0,429	R	1,0	5,5	-	-
MAE1-1	CL	61,6	25,1	2980	0,883	0,883	0,296	0,296	24,0	24,0	8,1	9,0
MAE2-1	CL	61,3	23,4	2951	2,063	2,063	0,699	0,699	24,0	24,0	6,0	9,7
MAE2-2	CL	61,3	25,8	2951	2,214	2,214	0,750	0,750	27,5	27,5	5,4	8,3
MAE2-3	CL	61,3	44,3	2951	1,285	1,285	0,435	0,435	50,0	50,0	-	-
MAE2-4	CL	61,2	52,6	2942	2,565	2,565	0,872	0,872	51,0	51,0	5,5	-
MAE3-1	CL	61,4	25,2	2961	1,360	1,360	0,459	0,459	29,0	29,0	3,6	7,9
MAE3-2	CL	61,3	22,9	2951	0,657	0,657	0,223	0,223	24,0	24,0	-	-
MAE3-3	CL	61,0	25,3	2923	1,360	1,360	0,465	0,465	30,0	30,0	3,4	7,6
MAE4-1	CL	61,4	46,7	2961	1,184	1,184	0,400	0,400	29,0	29,0	-	-
MAE1-2	NCL	61,5	65,2	2971	0,858	0,506	0,289	0,170	3,25	22,5	-	-
MAE1-3	NCL	61,5	67,6	2971	1,561	1,134	0,525	0,382	3,75	24,0	-	-

CL - ensaio confinado lateralmente
 NCL - ensaio não confinado lateralmente

a) teor em água inicial
 b) teor em água final

R - Ruptura do provede

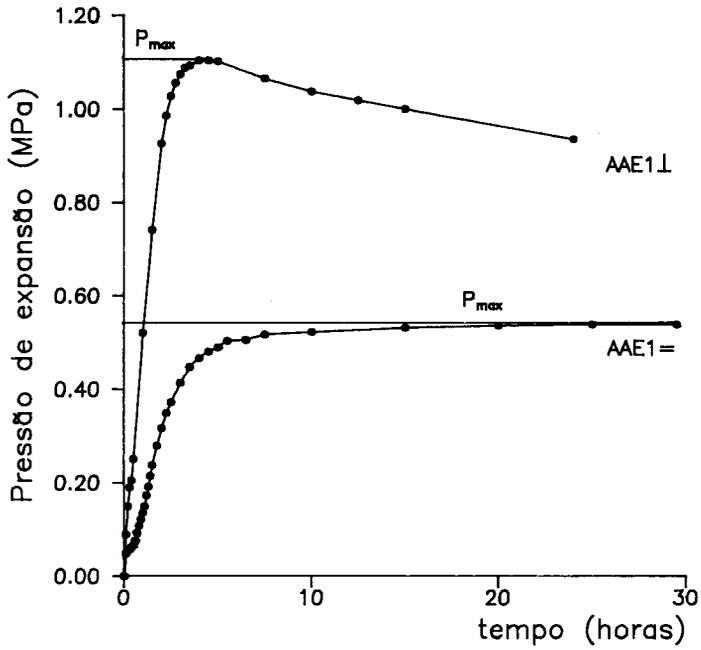


Fig. 2 — Curva pressão de expansão - tempo para os provetes AAE1= e AAE1L

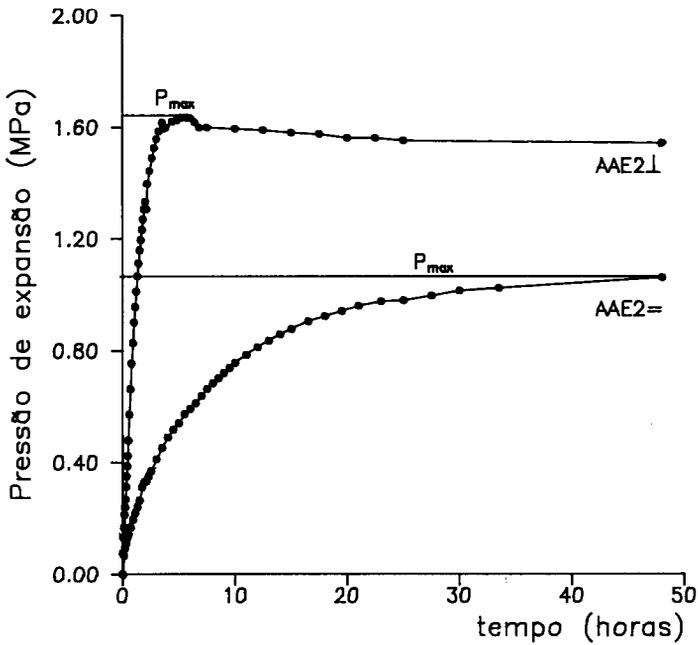


Fig. 3 — Curva pressão de expansão - tempo para os provetes AAE2= e AAE2L

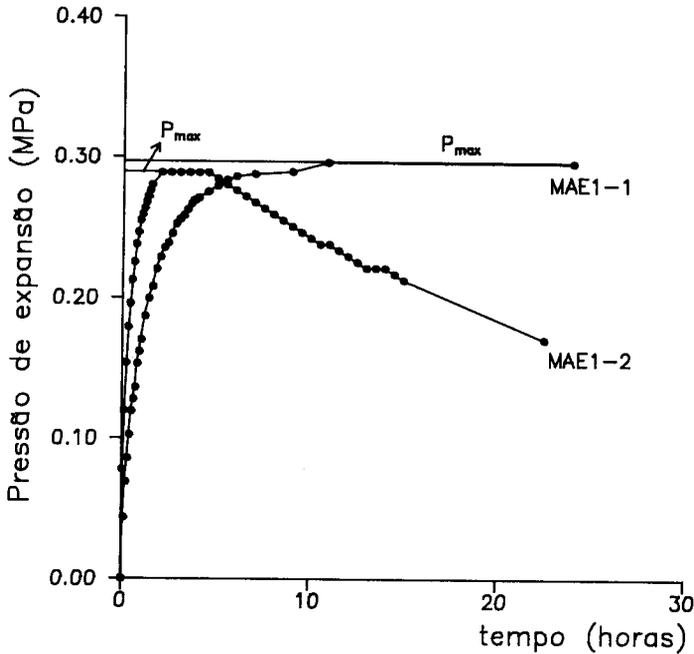


Fig. 4 — Curva pressão de expansão - tempo para os provetes MAE1-1 e MAE1-2

5 — CONCLUSÕES

Nos ensaios sem confinamento não é impedida a expansão lateral dos provetes pelo que as pressões de expansão desenvolvidas são menores, conduzindo estas condições de ensaio, e em especial nas rochas mais argilosas, a desagregação e colapso das amostras ensaiadas.

Os ensaios com confinamento traduzem melhor as condições encontradas nos casos de obra porque normalmente os terrenos estão confinados lateralmente e como tal as pressões de expansão desenvolvidas serão subavaliadas se forem determinadas em ensaios sem confinamento.

Na determinação das pressões de expansão verifica-se que para além dos aspectos mineralógicos (quantidade e tipo de minerais argilosos presentes) têm grande influência nos valores obtidos certos parâmetros físicos e estruturais como, por exemplo, o teor em água inicial e a existência de descontinuidades (estratificação, fracturas, foliação, etc.).

Os ensaios realizados permitiram verificar que, para provetes do mesmo bloco, atingem maiores pressões aqueles que têm menores teores em água iniciais. Este facto explica-se porque a expansão da rocha está relacionada com o seu grau de saturação, aumentando concomitantemente os dois parâmetros. Deste modo, uma rocha que apresente um teor em água elevado, já sofreu alguma expansão e, como tal, as pressões desenvolvidas serão menores. Esta expansão pode ocorrer quer *in situ* quando há simultaneamente alívio das tensões instaladas no maciço, quer durante as operações de amostragem e preparação dos provetes para ensaio.

As pressões de expansão desenvolvem-se com maior intensidade perpendicularmente à estratificação, verificando-se nestas condições que os valores de pressão máxima são atingidos num intervalo de tempo relativamente curto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ISRM — *Suggested methods for laboratory testing of argillaceous swelling rocks*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 26, N.º 5, pp. 415-426. 1989.
- JEREMIAS, FILIPE TELMO — *Importância da expansibilidade na durabilidade dos materiais rochosos e técnicas laboratoriais para a sua avaliação*. Tese de Mestrado, UNL, Lisboa. 1991.