

# PERMEABILIDADE *IN SITU* E NO LABORATÓRIO DE SOLOS RESIDUAIS GRANÍTICOS DA REGIÃO DE ÉVORA

## *IN SITU* AND LABORATORY PERMEABILITY OF RESIDUAL SOILS FROM GRANITIC ROCKS IN ÉVORA REGION

Duarte, Isabel M.R. \*, *Dep. Geociências, Univ. Évora, Portugal, [iduarte@uevora.pt](mailto:iduarte@uevora.pt)*  
Pinho, António B. \*, *Dep. Geociências, Univ. Évora, Portugal, [apinho@uevora.pt](mailto:apinho@uevora.pt)*  
Serafim, Helder A. M., [helderserafim@hotmail.com](mailto:helderserafim@hotmail.com)

### RESUMO

O presente trabalho pretende contribuir para o conhecimento do estudo da permeabilidade de solos residuais de rochas graníticas. Para isso, foi realizado um estudo experimental em três solos provenientes da alteração de rochas graníticas que ocorrem em locais distintos da região de Évora (Escoural, Fiúza e Vila dos Frades), apresentando características físicas e mineralógicas diferentes. Realizaram-se ensaios de permeabilidade *in situ*, utilizando o método Lefranc, e submeteram-se amostras colhidas nos perfis seleccionados a ensaios de permeabilidade no laboratório, utilizando várias técnicas. Por fim, a partir dos dados obtidos, faz-se uma análise comparativa entre os diversos métodos para determinação do coeficiente de permeabilidade ( $k$ ), e tecem-se considerações acerca da sua adequação e aplicabilidade dos mesmos aos solos residuais graníticos estudados ou outros com características semelhantes.

### ABSTRACT

The present paper intends to make a contribution to the study of the permeability of residual soils from granitic rocks. In this way, an experimental study was performed in three residual soils with distinct mineralogical and physical characteristics, arising from the weathering of granitic rocks in different sites, nearby Évora in Alentejo region (Escoural, Fiúza and Vila dos Frades). On the previously selected sites *in situ* permeability tests using Lefranc method were performed. This was followed by a laboratory testing programme which included several techniques to characterize the permeability of the samples collected in the selected profiles. Finally with the obtained data, a comparative analysis was done among the several methods for the determination of the permeability coefficient ( $k$ ), and some considerations are made concerning the suitability and applicability of these methods.

### 1. INTRODUÇÃO

Na região de Évora ocorrem extensas áreas de solos residuais de rochas graníticas *s.l.* de natureza areno-siltosa, de cor cinzenta a castanha-amarelada, com espessuras que podem atingir mais de 10 metros. Os solos residuais destes granitóides reflectem a heterogeneidade dos tipos litológicos que lhes deram origem. A variabilidade destes solos de alteração manifesta-se na cor, na granularidade e na textura.

---

\* *Centro de Investigação “Minerais Industriais e Argilas” da FCT, Universidade de Aveiro*

Trata-se de solos residuais típicos de clima temperado e, como tal, as características mineralógicas e estruturais herdadas das respectivas rochas de origem abundam nos perfis expostos. Entre elas, destaca-se a existência de minerais remanescentes e de fracturas “reliquia” [1] [2].

No seio destes solos, encontram-se, por vezes, blocos de rocha de dimensões consideráveis (2 ou 3 metros), de forma arredondada, denunciando alteração diferencial, possivelmente potenciada pelo forte controle tectónico patente nas formações rochosas de origem. É notório o forte controle estrutural nas características geotécnicas destes solos residuais, nomeadamente no que respeita à permeabilidade.

A composição mineralógica e textural, assim como a sua distribuição no espaço e evolução no tempo são determinantes no comportamento destes materiais relativamente à permeabilidade.

A microestrutura e a macroestrutura, são características que, nestes solos residuais, determinam o respectivo comportamento geomecânico [3][2]. A permeabilidade é, sem dúvida, uma das propriedades que melhor reflecte a influência da microestrutura e da macroestrutura destes materiais.

## **2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E GEOGRÁFICO**

Os três solos residuais seleccionados resultam da alteração de rochas granitóides da região de Évora, cuja localização e formações geológicas correspondentes se descrevem em seguida, de forma sucinta.

### **2.1 Solo residual do granodiorito do Escoural**

O solo residual do granodiorito do Escoural localiza-se na Herdade do Tojal, a 8 km do Escoural, e a 35 km de Évora, pela EM 535 no sentido S. Cristóvão – Escoural.

O solo residual do Escoural é proveniente de um granodiorito de grão médio, equigranular, de cor cinzenta, pertencente ao Maciço eruptivo de Évora, que é constituído por plagioclase, micropertite, microclina, quartzo, biotite e hornblenda [4].

O local de estudo incidiu num talude de escavação com cerca de 6 a 8 m de espessura de solo residual, apresentando-se o material homogéneo relativamente à cor e à textura. Na descrição de campo verificou tratar-se de umas areia silto-argilosa, de grão médio, cinzenta acastanhada, rica em mica, macia, e com poucos grãos de quartzo, com porosidade elevada.

### **2.2 Solo residual do granodiorito da Fiúza**

A área em estudo é acessível por uma estrada secundária a 1,2 km da EN 114 (km 181,350), no sentido de Montemor-o-Novo – Évora e pertence ao Concelho de Évora.

O solo residual da Fiúza é originário de um granodiorito de grão médio a fino, biotítico de cor cinzenta, pertencente ao Maciço eruptivo de Évora, um complexo hercínico, onde predominam rochas granitóides sem orientação preferencial dos seus componentes mineralógicos. O granodiorito, têm textura hipidiomórfica granular e, do ponto vista mineralógico, é constituído sobretudo por quartzo, plagioclase, biotite, hornblenda e mais ou menos feldspato potássico, e pode conter, subordinadamente, mirmequite, apatite, zircão e esfena, secundariamente ocorrem a sericite, clorite e epídoto, [5].

O perfil estudado apresentava cerca de 8 m de espessura de solo residual, com alguma rocha alterada, e diaclases relíquia, na sua maioria, na direcção subhorizontal. O solo areno-siltoso, de grão médio a fino, de cor cinzenta clara, apresentava-se friável, fácil de colher, com porosidade elevada e, aparentemente não plástico.

### 2.3 Solo residual do granito de Vila dos Frades

A área em estudo está localizada a 600 m da localidade de Vila dos Frades, ao km 393,900 da EN 18, no sentido Vidigueira – Alvito.

O solo residual de Vila dos Frades é proveniente de um granito de grão médio a grosseiro, de cor rósea, que está incluído no maciço ígneo da Vidigueira, que é um complexo tardi a pós-hercínico, constituído essencialmente, por quartzodioritos e granodioritos acompanhados, por granitos e gabros, [6] [4]. A composição mineralógica mais frequente inclui andesina, feldspato alcalino, quartzo e biotite, como minerais principais [7] [2].

O perfil estudado situa-se numa saibreira com 8 m de altura e 100 m de comprimento, evidenciando o material heterogeneidade na cor e textura. Salienta-se, também, a ocorrência de fracturas relíquia, principalmente subverticais. O solo é constituído, essencialmente, por areia siltosa com seixo fino, de cor variável entre o rosa e o castanho. Os minerais de feldspato preservam, na sua maioria, a forma original, encontrando-se bastante imbricados uns nos outros, pelo que se deduz tratar-se de um solo residual relativamente jovem.

## 3. RESULTADOS DOS ESTUDOS REALIZADOS

### 3.1 Caracterização física e geotécnica

#### 3.1.1 Dados de campo

Os valores relativos às propriedades físicas *in situ*, tais como o teor em água no estado natural ( $w_0$ ), o peso volúmico nos estados natural ( $\gamma_0$ ) e seco ( $\gamma_d$ ) e o índice de vazios ( $e_0$ ), dos três solos ensaiados, constam no Quadro 1.

Quadro 1 – Propriedades físicas *in situ*.

Solo residual	$w_0$ (%)	$\gamma_0$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$e_0$
Escoural	8,3	15,1	13,9	0,88
Fiúza	3,6	15,8	15,2	0,73
Vila dos Frades	8,6	19,4	17,8	0,48

Os valores obtidos para o peso volúmico seco ( $\gamma_d$ ) dos solos residuais do Escoural e da Fiúza, são relativamente baixos, e devem-se ao facto da microestrutura se encontrar bastante aberta, devido à lixiviação de algumas partículas mais finas, como se pode verificar pelos valores elevados do índice de vazios ( $e_0$ ) nos referidos solos (Quadro 1). Este facto, foi facilmente observável, no campo, durante a colheita de amostras para os ensaios laboratoriais. No solo residual de Vila dos Frades, os minerais, de dimensão maior, encontravam-se mais imbricados

uns nos outros, donde resulta uma estrutura mais fechada, logo um valor para o índice de vazios substancialmente inferior. Neste caso o solo ofereceu mais resistência durante a amostragem.

### 3.1.2 Resultados de laboratório

Com o objectivo de obter uma melhor caracterização dos solos residuais, submetem-se amostras de solo colhidas nos locais dos ensaios *in situ*, a vários ensaios, a partir dos quais foi possível a obtenção de vários parâmetros físicos e geotécnicos. Deste modo, no Quadro 2, apresentam-se os parâmetros granulométricos, para além do equivalente de areia (EA) e expansibilidade (Exp.). As características de consistência destes solos, nomeadamente os limites de consistência ( $w_L$ ,  $w_P$ ,  $w_R$ ), Índice de plasticidade ( $I_P$ ), Índice de consistência ( $I_C$ ) e Actividade ( $A_t$ ) constam no Quadro 3, juntamente com a sua classificação geotécnica.

Quadro 2 – Características gerais dos solos residuais.

Solo residual	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Seixo (%)	$C_U$	$C_C$	EA (%)	Exp. (%)
Escoural	11,1	25,3	61,7	1,9	158,3	15,8	14	19
Fiúza	4,7	3,5	81,9	2,9	6,4	1,2	24	4
Vila dos Frades	7,0	5,5	54,8	32,7	45,7	5,4	22	14

Quadro 3 – Características de consistência e Classificações Geotécnicas dos solos ensaiados.

Solo residual	$w_L$ (%)	$w_P$ (%)	$I_P$ (%)	$w_R$ (%)	$I_C$ (%)	$A_t$	Classif. Unificada	Classif. AASHTO
Escoural	48	25	23	17	1,7	2,01	SC	A-7-6 (3)
Fiúza	26	NP	NP	26	-	0	SM	A-2-4
Vila dos Frades	28	20	8	17	2,4	1,15	SC	A-2-4

Os solos apresentam uma composição granulométrica com franca predominância arenosa, e uma baixa percentagem de finos (8-12 %) para os solos de Fiúza e Vila dos Frades, mas que é superior no caso do solo residual de Escoural (36 %), (Quadro 2). Como se pode verificar pela análise das curvas granulométricas (Figura 1), tratam-se de solos de granulometria extensa ( $C_U > 6$ ), mas em que apenas o solo residual da Fiúza se apresenta bem graduado ( $1 < C_C < 3$ ).

Apesar da percentagem de finos relativamente baixa, os solos estudados, principalmente os de Escoural e de Vila dos Frades, apresentam valores para as características de consistência e expansibilidade (Quadros 2 e 3), que reflectem a influência das partículas finas. Isto deve-se ao facto de as partículas mais finas, por terem maior superfície específica, exercerem uma influência desproporcionalmente grande em relação à sua percentagem ponderal, no condicionamento das propriedades dos solos. No que respeita às características geotécnicas em geral, e em particular à permeabilidade, as partículas finas determinam o comportamento dos solos [2].

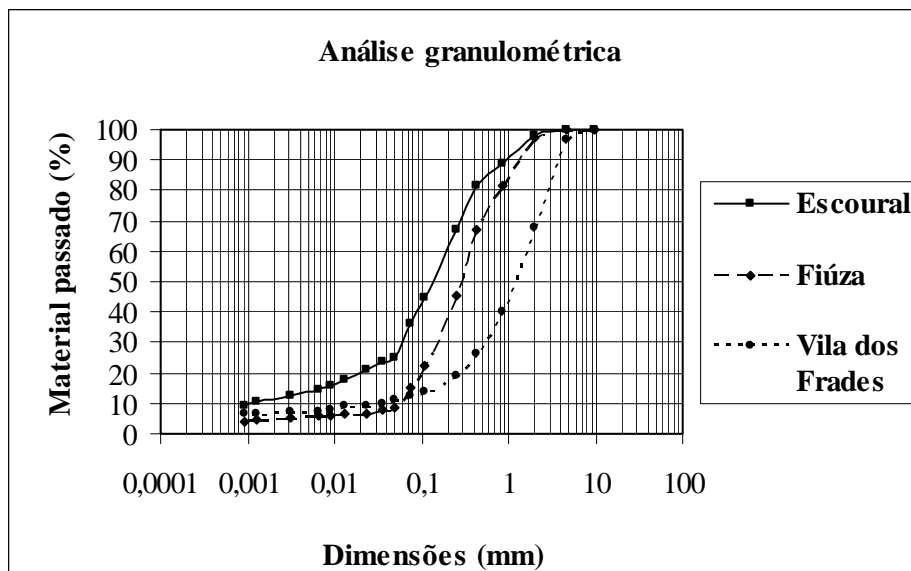


Figura 1 – Curvas granulométricas dos solos residuais estudados.

### 3.2 Permeabilidade “in situ”

Em cada um dos maciços seleccionados, (Escoural, Fiúza e Vila dos Frades), realizaram-se diversos ensaios de permeabilidade no campo, com utilização do método de Lefranc, em furos distanciados 4 metros entre si, e situados em locais que correspondiam ao mesmo perfil de solo residual. Salienta-se o facto de o nível freático nunca ter sido interceptado, quer nos furos, quer nos ensaios penetrométricos que se realizaram nas imediações dos furos. No ensaio Lefranc, a injeção de água no furo realizou-se a carga constante. Na proximidade do furo colocou-se um reservatório, que serviu para fornecer e medir a água consumida no furo. As leituras do volume de água consumida foram realizadas a intervalos de tempo iguais de modo a permitir traçar a curva representativa do volume injectado em função do tempo. Quando a curva atingiu um comportamento rectilíneo, obteve-se o caudal a partir da inclinação da recta. Registaram-se os valores e interpretaram-se os mesmos ao longo do tempo para os três solos residuais. O coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) obteve-se a partir da equação 1 [8]. Os valores finais obtidos a partir dos ensaios de permeabilidade *in situ*, são apresentados no Quadro 4.

$$k = \frac{QV}{2\pi h^2} \left[ \ln \left| \frac{h}{r} + \sqrt{\left(\left(\frac{h}{r}\right)^2 + 1\right)} \right| - \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{h}{r}\right)^2}}{\frac{h}{r}} + \frac{1}{\frac{h}{r}} \right] \quad (1)$$

em que:

$Q$  – caudal em  $cm^3/s$ ;

$V$  – factor de correcção da viscosidade em função da temperatura;

$h$  – altura de água no furo em cm;

$r$  – raio do furo em cm;

$k$  – coeficiente de permeabilidade em cm/s.

Quadro 4 – Valores de permeabilidade “*in situ*” obtidos pelo método de Lefranc.

Solo Residual	Coeficiente de permeabilidade (m/s)	
	Furo 1	Furo 2
Escoural	$1,62 \times 10^{-7}$	$8,75 \times 10^{-8}$
Fiúza	$1,30 \times 10^{-5}$	$6,35 \times 10^{-6}$
Vila dos Frades	$2,53 \times 10^{-6}$	$1,74 \times 10^{-6}$

Os valores de coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) obtidos *in situ* com o ensaio tipo Lefranc estão consonantes com as características físicas *in situ*, nomeadamente composição granulométrica e estrutura do solo. Pela observação dos valores obtidos (Quadro 4), verifica-se que o solo residual do Escoural, é o que apresenta menores valores para o coeficiente de permeabilidade ( $k$ ), o que se justifica pela sua composição granulométrica, com maior percentagem de finos (Quadro 2 e Figura 1). Por outro lado, este solo é o que apresenta o maior índice de vazios *in situ* (Quadro 1), facto que é interpretado do seguinte modo: pela existência do cimento inter-partículas, formado a partir dos minerais argilosos de neo-formação, que une os minerais de dimensões superiores, e que dificulta a passagem de água. Apesar da porosidade ser superior, os canais de comunicação entre vazios estão obstruídos por esse grau de cimentação.

Os valores para o coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) obtidos *in situ* correspondentes ao solo residual do granito (Vila dos Frades) são mais homogéneos que os resultados obtidos para os solos residuais dos granodioritos (Escoural e Fiúza), (Quadro 4), o que à partida indica uma maior heterogeneidade na textura e estrutura dos respectivos maciços resultante de uma meteorização mais diferenciada da rocha mãe. Procurou-se que a localização dos ensaios fosse o mais afastada possível das descontinuidades “reliquia” evidentes nos perfis de solos residuais, mas no caso do solo residual da Fiúza foi notória a sua influência nos resultados.

### 3.3 Permeabilidade no laboratório

A partir de amostras colhidas nos locais onde se realizaram os ensaios de campo, efectuaram-se ensaios de laboratório, aplicando diferentes técnicas de ensaio e métodos de preparação de amostras, com vista à obtenção do coeficiente de permeabilidade ( $k$ ), cujos resultados se apresentam no Quadro 5. Inicialmente, colheram-se amostras indeformadas em blocos parafinados, mas durante a preparação dos provetes para ensaio, observou-se perturbação nas mesmas, não podendo ser consideradas, por esse motivo, “amostras de classe de qualidade 1”, ou seja “não perturbadas” pelo EC7. Deste modo, utilizou-se um permeâmetro de carga variável [9] [10], para o ensaio de amostras remoldadas com o índice de vazios no estado natural ( $e_0$ ) e de amostras compactadas com o Proctor Normal e Proctor Modificado, e um permeâmetro de carga constante [9] [10] [11] [2], em amostras remoldadas com o índice de vazios *in situ* ( $e_0$ ).

Foi possível determinar o coeficiente de permeabilidade, utilizando um permeâmetro de carga constante [2], a partir da equação (2):

$$k = \frac{V \times L}{A \times h \times t} \quad (2)$$

em que:

- $V$  – volume de água que atravessa o provete no intervalo de tempo  $t$ ;
- $L$  – comprimento do provete;
- $A$  – secção transversal do provete;
- $h$  – diferença de carga hidráulica entre os extremos da amostra.

O coeficiente de permeabilidade ( $k$ ), obtido através do permeâmetro de carga variável, é dado pela equação (3):

$$k = \frac{a \times L}{A \times t} \times \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \quad (3)$$

em que:

$a$  – área da secção interna do tubo vertical usado em  $\text{cm}^2$ ;

$L$  – comprimento da amostra do solo em cm;

$A$  – área da secção da amostra em  $\text{cm}^2$ ;

$t$  – tempo decorrido durante a descida do nível (de  $h_1$  para  $h_2$ ) em s;

$h_1$  – altura da água no tubo vertical no início do ensaio em cm;

$h_2$  – altura da água no tubo vertical no fim do teste em cm.

Quadro 5 – Valores obtidos para  $k$  nos ensaios de permeabilidade em laboratório.

Amostras dos solos residuais	Carga Variável			Carga constante
	Compactação Normal	Compactação Modificada	Remoldada com ( $e_0$ ) <i>in situ</i>	Remoldada com ( $e_0$ ) <i>in situ</i>
Escoural	$4,5 \times 10^{-9}$ m/s	$3,1 \times 10^{-10}$ m/s	$9,3 \times 10^{-9}$ m/s	$5,1 \times 10^{-8}$ m/s
Fiúza	$1,4 \times 10^{-6}$ m/s	$5,1 \times 10^{-9}$ m/s	$6,9 \times 10^{-6}$ m/s	$2,2 \times 10^{-5}$ m/s
Vila dos Frades	$7,2 \times 10^{-6}$ m/s	$9,2 \times 10^{-7}$ m/s	$9,2 \times 10^{-6}$ m/s	$1,5 \times 10^{-5}$ m/s

Nos solos compactados, verifica-se que à medida que a compactação relativa aumenta, diminui a permeabilidade, o que se explica facilmente pela redução do índice de vazios. Este facto evidencia-se de uma forma mais acentuada no solo residual da Fiúza, o que provavelmente se justifica por se tratar de um solo bem graduado (Quadro 2), ao contrário dos outros.

Por outro lado, os ensaios realizados em amostras remoldadas com o índice de vazios “in situ” ( $e_0$ ) apresentam um aumento considerável da permeabilidade, que se acentua no ensaio de carga constante. Apenas no solo residual do Escoural, esse aumento não é tão evidente, devido, em grande parte, à composição textural e mineralógica do solo. Este solo é o que apresenta maior percentagem de finos de plasticidade alta (Quadros 2 e 3). De facto, em todos os ensaios realizados, o solo residual do Escoural é aquele que apresenta menor coeficiente de permeabilidade em relação aos outros solos, o que está de acordo com a sua composição granulométrica.

Analisando ainda o Quadro 5, verifica-se que há pouca diferença entre os valores obtidos para o coeficiente de permeabilidade entre o solo no estado remoldado e compactado com a compactação normal, donde se conclui que, neste tipo de solos, só uma energia de compactação superior (Proctor Modificado), é eficaz na redução do índice de vazios de forma a diminuir significativamente a permeabilidade.

Em quase todos os solos, houve uma tendência para o valor de coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) se manter, praticamente, constante ao longo do tempo, o que significa que não houve carreamento das partículas mais finas de solo, nem colmatação dos vazios durante o ensaio.

Segundo [12] as areias possuem valores de permeabilidade entre  $10^{-3}$  e  $10^{-7}$  m/s, e os siltes apresentam permeabilidades compreendidas entre  $10^{-7}$  e  $10^{-9}$  m/s. Constatou-se que os resultados dos ensaios realizados, nomeadamente o ensaio de permeabilidade a carga variável e ensaio de carga constante nas amostras da Fiúza e Vila dos Frades, apresentam valores característicos de areias. Exceptuam-se as amostras do solo do Escoural e a amostra compactada com o Proctor modificado do solo da Fiúza, que apresentam valores característicos de siltes (Quadro 5).

#### 4. CONCLUSÕES

Finalmente, faz-se uma interpretação dos dados obtidos à luz dos conhecimentos previamente adquiridos no que respeita à composição mineralógica e textural dos solos residuais estudados.

Existem diversos tipos de ensaios para avaliar a permeabilidade, quer no campo, quer no laboratório. Qualquer deles tem as suas vantagens, inconvenientes e campo de aplicação. É geralmente reconhecido que, em regra, o valor da permeabilidade é subestimado quando determinado em laboratório.

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que a permeabilidade determinada no laboratório, utilizando várias técnicas de ensaio, é essencialmente condicionada pela composição granulométrica dos solos, composição mineralógica da fracção fina e grau de compactação.

O método Lefranc é o ensaio mais utilizado para a determinação da permeabilidade *in situ* em formações terrosas, ou seja, a maior ou menor dificuldade que os solos dessas formações, assim como as estruturas inerentes às mesmas, colocam a circulação da água.

A permeabilidade determinada *in situ* depende essencialmente da composição textural, onde se inclui a dimensão e forma das partículas, das características físicas *in situ*, tais como o índice de vazios no estado natural e, principalmente, da estrutura do solo:

- microestrutura, que tem a ver com as ligações interpartículas ou cimentação entre grãos que podem impedir a passagem de água entre poros; a existência de agregados de partículas ou “clusters” de partículas, essencialmente argilosas, que funcionam como “grãos grandes”; dimensão e forma dos microporos.
- macroestrutura, ou seja, a existência de heterogeneidades no solo, tais como presença de rocha sã ou parcialmente alterada, ou descontinuidades “relíquia”, herdadas da rocha-mãe, por onde a água pode circular mais rapidamente.

Como o ensaio Lefranc permite determinar a permeabilidade local, que pode ser diferente da permeabilidade geral, recomenda-se a realização de bastantes ensaios no maciço a investigar, porque são de custo e tempo de execução relativamente baixos, e podem fornecer indicações, sobre a estrutura e a heterogeneidade dos terrenos.

Nos solos residuais, recomenda-se, sempre que possível, a realização de ensaios *in situ*, porque são mais representativos da estrutura que estes solos apresentam no seu estado não perturbado. Por outro lado, a variabilidade destes valores pode ser grande, tendo em conta que são solos que preservam grande parte das características macro-estruturais da rocha-mãe, principalmente no caso dos solos residuais de clima temperado como é o caso dos solos estudados.



Os valores obtidos para a permeabilidade *in situ* e no laboratório para estes solos são relativamente baixos, quando comparados com solos sedimentares com granulometrias semelhantes. Tal facto, deve-se, por um lado, à angulosidade das partículas dos solos residuais e, por outro lado, à existência de ligações interpartículas cimentíceas, quer herdadas da rocha-mãe ou formadas durante os processos de meteorização com o aparecimento de minerais de neoformação.

Em suma, a permeabilidade é um parâmetro muito variável, principalmente nos solos residuais com granulometria extensa e cujas partículas mais finas se encontram, geralmente, agregadas no seu estado natural. O mais correcto será sempre avaliar este parâmetro *in situ*, até porque a permeabilidade nas descontinuidades não é tida em conta nos ensaios laboratoriais [1].

## REFERÊNCIAS

- [1] Duarte, I.M.R.; Ladeira, F.L. & Gomes, C.F. (2000) – Características geológico-geotécnicas do solo residual do granito de Marvão (Portalegre). *Actas do VII Congresso Nacional de Geotecnia*, Porto. Vol. 1, pp. 151-160.
- [2] Duarte, I.M.R. (2002) – Solos residuais de rochas granitóides a sul do Tejo. Características geológicas e geotécnicas. *Tese de Doutoramento. Universidade de Évora*. 373 p.
- [3] Blight, G.E. (1997) – Mechanics of Residual Soils. Blight, G. E., (editor). *Technical Committee 25 on The Properties of Tropical and Residual Soils of the Int. Soc. for Soil Mech. and Found. Eng.* Balkema, Rotterdam. 237 p.
- [4] Carvalhosa, A. B. & Zbyszewski, G. (1994) – Carta Geológica de Portugal à escala 1/50000. *Notícia explicativa da folha 35-D, Montemor-o-novo. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, 86 p.
- [5] Carvalhosa, A.B.; Carvalho, A.M.G.; Alves, C.A.M. & Pina, H.L. (1969) – Carta Geológica de Portugal à escala 1/50000. *Notícia explicativa da folha 40-A, Évora. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, 26 p.
- [6] Carvalhosa, A.B. & Zbyszewski, G. (1972) - Carta Geológica de Portugal à escala 1/50000. *Notícia explicativa da folha 40-C, Viana do Alentejo. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, 24 p.
- [7] Carvalhosa, A.B.; Carvalho, A. M.G; (1970) – Carta Geológica de Portugal à escala 1/50000. *Notícia explicativa da folha 43-B, Moura. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, 30 p.
- [8] Coelho, S. (1996) – Tecnologia de Fundações. *Edições E.P.G.E.*, 1ª ed., Lisboa, pp 10.5 – 10.10.
- [9] Head, K.H. (1994) – Manual of soil Laboratory testing. Vol.2: Permeability, Shear Strength and Compressibility Tests. (2nd. Edition), *J Wiley & Sons*, NewYork, 440p.
- [10] Cernica, J.N. (1995) – Geotechnical Engineering: Soil Mechanics. *J Wiley & Sons*, NewYork, 453p.
- [11] Mineiro, A.J.C. (1978) – Escoamentos em meios porosos. Curso de Mecânica de Solos e Fundações. *Universidade Nova de Lisboa*. 73p.

- [12] Cardoso, A.I.M & Matos Fernandes, M. (1987) – Conceitos em Mecânica dos solos, Caracterização Mecânica dos solos e Impulsos de Terras. *Curso de Extensão Universitária em Estabilidade de Taludes. Modulo II.* Aveiro.