

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E HIDRÁULICA DOS MATERIAIS DO ATERRO DA BARRAGEM DE ODELOUCA

MECHANICAL AND HIDRAULIC CHARACTERIZATION OF ODELOUCA EMBANKMENT DAM MATERIALS

Brito, Andrea; *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal*, andreambrito@lnec.pt
Caldeira, Laura; *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal*, laurac@lnec.pt
Maranha, João; *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal*, jmaranha @lnec.pt

RESUMO

A Barragem de Odelouca localiza-se no concelho de Silves e implanta-se na Ribeira de Odelouca, principal afluente do Rio Arade. Trata-se de uma barragem de perfil zonado com um núcleo central constituído por coluviões e por solo residual do xisto e por maciços estabilizadores constituídos por xistos e grauvaques ripáveis. Tem cerca de 76 m de altura máxima acima da fundação e um coroamento com 11m de largura e 415m de desenvolvimento longitudinal.

A sua construção motivou a realização de diversos ensaios de caracterização mecânica e hidráulica dos materiais utilizados no núcleo da barragem e das misturas de solo-enrocamento empregues nos maciços estabilizadores. O presente artigo apresenta os resultados obtidos em alguns dos ensaios realizados: ensaios de compressão isotrópica, ensaios edométricos, ensaios de corte em compressão triaxial não drenados e ensaios de determinação da curva de retenção dos solos.

O emprego de materiais não tradicionais, como as misturas de solo-enrocamento, na construção de obras de aterro, tem trazido novos desafios ao entendimento do comportamento mecânico e hidráulico deste tipo de material, em parte devido ao facto deste material ripável poder incluir partículas de maiores dimensões (com 0,5 m de diâmetro). Assim, o presente artigo visou também contribuir para melhorar o conhecimento das características de resistência, permeabilidade e deformabilidade das misturas solo-enrocamento.

ABSTRACT

Odelouca Dam is located near Silves into the Odelouca riverside, the main tributary of the Arade River. It is zoned with a core consisting of colluvial and residual schist soil and shells with weathered schist with a significant fraction of oversized particles. This dam is about 76 m height above the foundation and the crest, with an 11 m width, is about 415 m of longitudinal development.

Its construction led to the execution of several tests in order to the hydraulic and mechanical characterization of the materials used in the core of the dam and of the soil and rock mixtures used in the shells. This paper presents some of the results obtained in these tests: isotropic compression tests, uniaxial deformation tests, undrained triaxial compression shear tests and the determination of the soil and water retention curve for both materials.

The use of non-traditional materials such as soil and rock mixtures, in embankment construction, poses new challenges to the understanding of the mechanical and the hydraulic behaviour of this type of material, partly due to the fact that this material may include large particles (0,5 m diameter). Thus, this paper also aimed to contribute to a better understanding of the strength, deformability and permeability characteristics of the soil and rock mixtures.

1 - INTRODUÇÃO

A barragem de Odelouca (ver Figura 1 e Figura 2), construída recentemente no Algarve, é uma barragem de aterro zonada com um núcleo central constituído por coluviões e por solo residual do xisto e por maciços estabilizadores constituídos por xistos e grauvaques ripáveis. Tem cerca de 76 m de altura e o seu coroamento, com 11 m de largura, tem um comprimento de 415 m. A superfície inundada à cota de pleno armazenamento será da ordem dos 7,8 km², a que corresponderá um volume armazenado de cerca de 157 hm³.

Um dos grandes objectivos de um dos trabalhos de investigação que atualmente em curso no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), é a modelação do comportamento desta barragem na fase de construção e de primeiro enchimento.

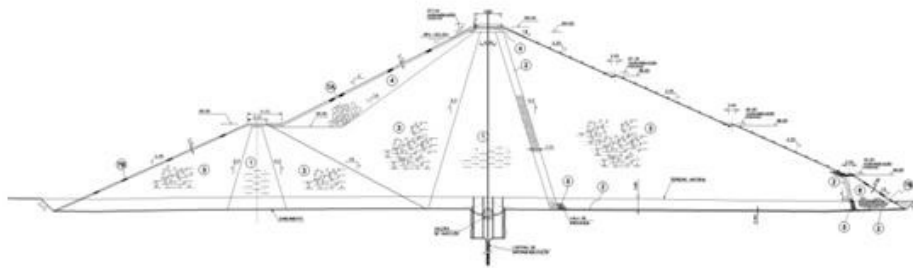


Figura 1 – Perfil tipo da Barragem de Odelouca

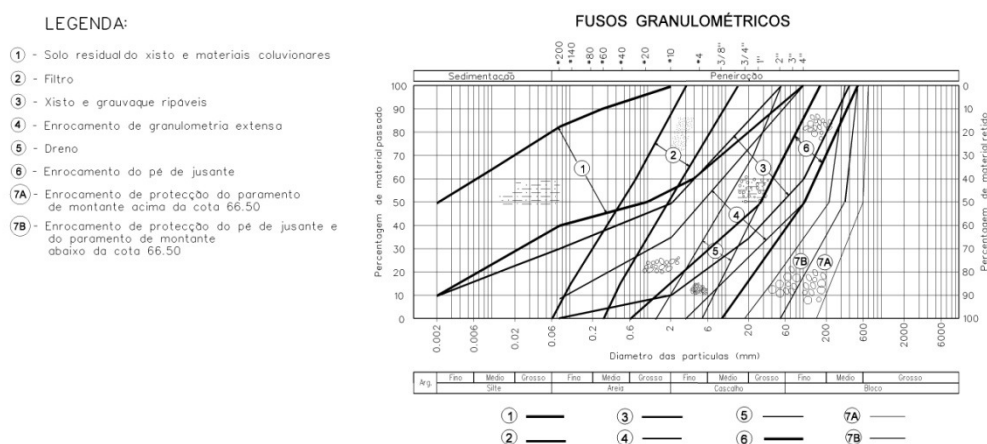


Figura 2 –Fuso granulométrico dos materiais da Barragem de Odelouca

A fim de determinar os parâmetros mais importantes que influenciam a condições de aplicação *in situ*, bem como o comportamento a longo e a curto prazo dos materiais utilizados na sua construção, foi implementado no LNEC um programa de ensaios. Durante a construção da barragem, foram realizados alguns ensaios com o material recolhido *in situ*, a várias alturas do aterro, sobre o material utilizado no núcleo (xisto residual e material coluvional) e o material utilizado nos maciços estabilizadores da barragem (misturas de solo enrocamento de xisto alterado e grauaques).

Seguidamente apresentam-se alguns dos resultados obtidos nos ensaios de compressão isotrópica, nos ensaios de corte em compressão triaxial consolidados não drenados e a determinação das curvas de retenção dos materiais.

2 - MATERIAL DO NÚCLEO – SOLO RESIDUAL DO XISTO E MATERIAIS COLUVIONARES

2.1 - Considerações iniciais

Os materiais do núcleo são, essencialmente, constituídos por solo residual do maciço xistoso e por coluviões. Os materiais foram colhidos em zonas de empréstimo no interior da área delimitada pela albufeira. Na Figura 3 é possível observar o fuso granulométrico dos materiais do núcleo da barragem bem como as curvas granulométrica dos materiais empregues durante a construção da barragem.

Os materiais foram, na sua generalidade, classificados como *GM* (cascalho siltoso), *GC* (cascalho argiloso), *SM* (areia siltosa), *SC* (areia argilosa), *ML* (silte) ou *CL* (argila magra), apresentando uma matriz areno-cascalhenta de interstícios preenchidos por finos argilosos e, essencialmente, siltosos.

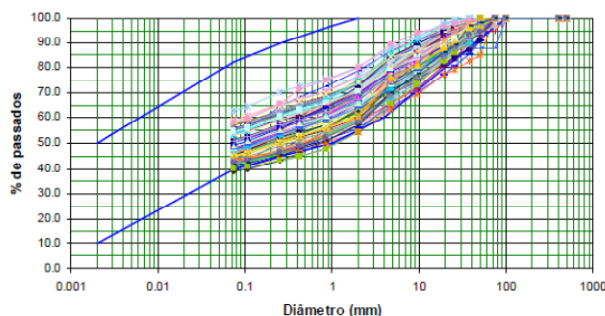


Figura 3 – Curvas granulométricas do material empregue no núcleo da Barragem de Odelouca

2.2 - Ensaios de corte em compressão triaxial consolidados não drenados

No decurso da construção da barragem foram colhidas cerca de 36 amostras dos materiais do núcleo, a várias cotas do aterro, as quais foram submetidas a ensaios de corte em compressão triaxial consolidados não drenados e de determinação do coeficiente de permeabilidade vertical.

A Figura 4 apresenta a evolução da tensão deviatória (q) com a deformação axial (ε_a), bem como as trajetórias de tensão de três dessas amostras colhidas num determinado local, bem como as respectivas envolventes de rotura. As três amostras foram consolidadas para três valores de tensão de confinamento: 200, 400 e 800 kPa.

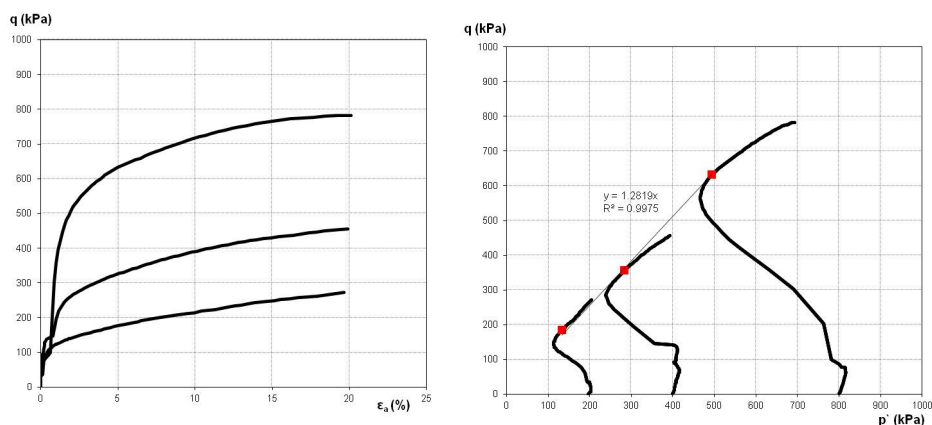


Figura 4 – Evolução da tensão deviatória (q) com a deformação axial (ε_a), trajetórias de tensões e envolventes de rotura de três amostras do núcleo da Barragem de Odelouca

A observação das trajetórias de tensão obtidas permite verificar que o material apresenta um comportamento sobreconsolidado. A totalidade da análise das amostras ensaiadas permitiu deduzir, para o ângulo de atrito interno, o valor de 32° e, para o coeficiente de permeabilidade vertical, o valor de $2,8 \times 10^{-9}$ m/s.

2.3 - Ensaios de deformação uniaxial

Foram também realizados ensaios de deformação uniaxial em 5 amostras de materiais do núcleo da barragem. Um dos principais objectivos da realização destes ensaios é obter os parâmetros que permitem traçar a linha de compressão normal (LCN) e os parâmetros que definem as linhas de expansão do material.

A condução destes ensaios foi ligeiramente diferente da habitual, uma vez que, com vista a verificar a possibilidade de colapso por molhagem neste tipo de material, as amostras foram carregadas e posteriormente sujeitas a molhagem. Duas das amostras foram submetidas a molhagem para valores de tensão da ordem de 100 kPa, outras duas para 400 kPa e a última para 800 kPa.

A Figura 5 apresenta os resultados obtidos num dos ensaios com uma das amostras sujeitas a molhagem para um valor de tensão vertical da ordem de 400 kPa, em termos do volume específico, v , em função do logaritmo da tensão vertical média, $\ln \sigma'_v$. A análise estatística efectuada permitiu obter o seguinte valor médio para o parâmetro que define a inclinação da LCN : $\lambda = 0,06$. Obteve-se também o seguinte valor médio para o parâmetro que define a inclinação das linhas de expansão: $k = 0,01$.

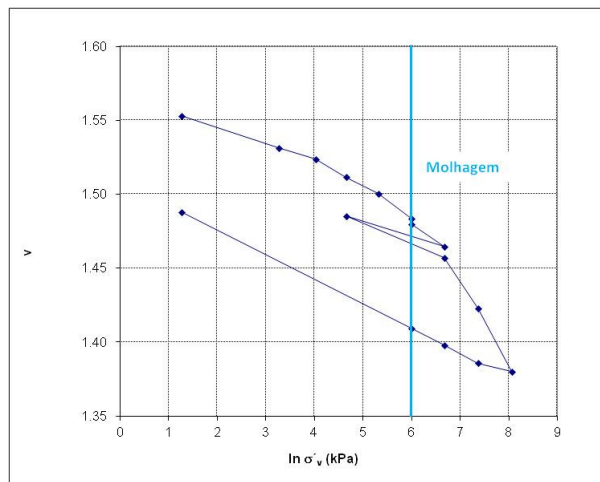


Figura 5 – Evolução de ν em função de $\ln \sigma'_v$, de uma das amostras do material do núcleo da Barragem de Odelouca quando sujeita a deformação uniaxial com molhagem para um valor de tensão de 400 kPa

A variação do volume específico máximo obtido devido ao efeito da molhagem foi de 0,0072 para a amostra sujeita a molhagem para valores de tensão mais elevados. O valor apresentado pela amostra representada na figura anterior foi de 0,0038. Verificou-se que o valor da variação do volume específico aumenta quando a molhagem é efetuada a valores superiores de tensão, tal como seria de esperar.

2.4 - Determinação da curva de retenção de água no solo

A curva de retenção de água no solo, *SWRC* ("soil water retention curve") é a relação constitutiva entre o teor em água (gravimétrico ou volumétrico) ou o grau de saturação, e a sucção no solo. Fisicamente, essa curva é uma medida da capacidade do solo de armazenar água para um dado valor de sucção.

A forma da *SWRC* reflete características do tipo de material como: textura, composição mineralógica, curva granulométrica, estrutura e agregação possível de grãos, índice de vazios, distribuição geométrica e dimensão dos vazios. Nos solos compactados, o teor de água da preparação e o método de compactação e energia usados afetam a sua forma. Além disso, a história de carregamento e de presença da água - incluindo o actual estado de tensão - são determinantes da forma característica que a curva de retenção assume.

A *SWRC* pode ser representada graficamente através de escala aritmética, se o intervalo de sucção é pequeno (menos de 1 MPa), caso contrário torna-se preferível a representação semi-logarítmica.

Os dois principais pontos característicos da curva de retenção são o valor de entrada de ar (*AEV* - "air entry value") e o grau de saturação residual (S_r), como se pode observar na Figura 6, que mostra a curva de retenção típica de um solo.

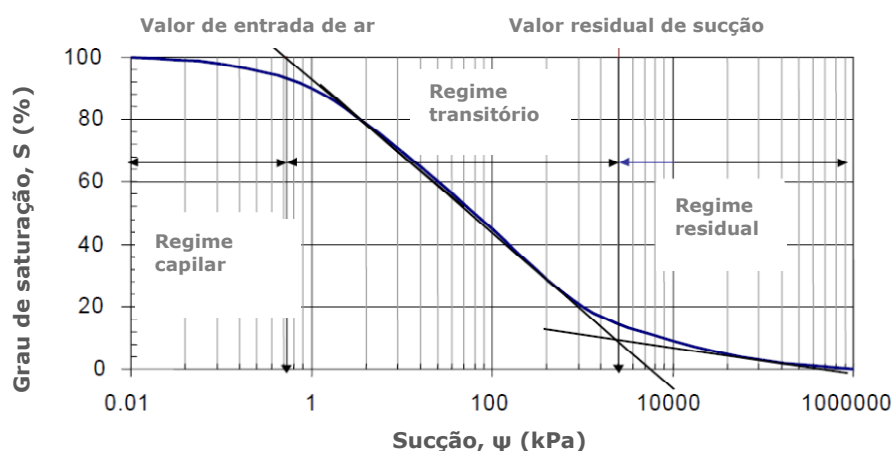


Figura 6 – Curva de retenção de água típica de um solo (Vanapalli et al, 1999)

O valor de entrada de ar representa a diferença entre a pressão do ar e a pressão da água ($AEV = u_a - u_w$) necessária para iniciar a entrada de ar para os vazios do solo após prévia saturação. Foi

convencionado, a nível internacional, que uma estimativa desse valor pode ser obtida se se estender o troço reto da curva de regime transitório até ao valor correspondente a 100% de grau de saturação.

O valor residual de sucção é considerado como o valor a partir do qual a fase líquida no solo se torna descontínua, tornando-se, assim, mais difícil extrair água do solo, sendo que esta dificuldade aumenta progressivamente com a diminuição do teor em água (Vanapalli et al, 1999).

No *regime residual* a água é retida devido a mecanismos moleculares, principalmente através de ligações por pontes de hidrogénio que se formam com as moléculas de oxigénio e de hidrogénio existentes nos minerais do solo. No *regime transitório*, a água passa a ser retida na forma de pequenas películas na superfície das partículas sob a influência de ligações de interacção sólido-líquido fracas, como as ligações de van der Waals, as ligações por polarização eléctrica ou a hidratação por troca de catiões. A quantidade de água adsorvida nestes dois regimes é função da superfície específica das partículas de solo, da densidade de carga eléctrica superficial e do tipo e valência dos possíveis catiões existentes. No *regime capilar*, como o nome indica, predominam os mecanismos capilares onde a quantidade de água adsorvida passa a ser função da forma e tamanho das partículas de solo.

A Figura 7 apresenta a forma da *SWRC* para vários tipos de solos diferentes. O regime residual, que ocorre na zona de sucções elevadas, nos solos arenosos é geralmente pouco expressivo, devido em parte à reduzida superfície específica dos grãos que impede a existência de mecanismos dominantes de ligação química.

Os solos com distribuição de vazios quase uniforme apresentam curvas quase uniformes no regime capilar, uma vez que a maior parte da drenagem dos vazios ocorre para um pequeno intervalo de valores de sucção. Os solos siltosos podem absorver maior quantidade de água do que os arenosos, uma vez que contêm partículas com significativamente maior superfície específica. Os solos argilosos têm a maior capacidade de adsorção de água, uma vez que mesmo pequenos efeitos nas forças de interacção na sua superfície favorecem o desenvolvimento de ligações químicas com a água e com os sais dissolvidos nela. Assim, nas *SWRC* das argilas o regime residual e o regime transitório são muito mais expressivos que noutro tipo de solos.

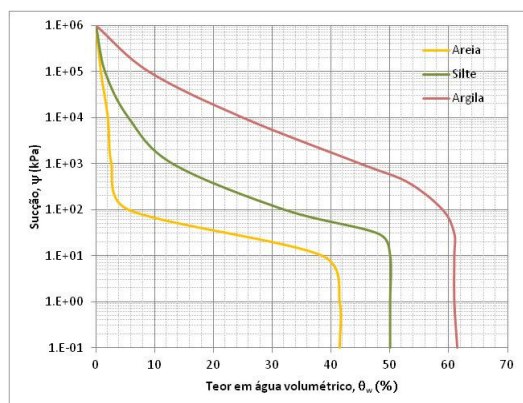


Figura 7 – Curva de retenção de água típica de três tipos de materiais: argilas, siltes e areias, baseado em (Lu & Likos, 2004)

Outra particularidade da curva de retenção é que o teor em água de um solo, para um mesmo valor de sucção matricial, não é único, uma vez que o teor em água que se obtém no processo de secagem é sistematicamente maior que o obtido no decurso do processo inverso (molhagem). Este fenómeno é denominado de histerese da curva de retenção do solo e significa que o solo apresenta diferentes curvas de retenção consoante se encontre num processo de secagem ou de molhagem.

Levando em consideração as particularidades referidas, conhecidas na bibliografia da especialidade, procedeu-se à execução da determinação da curva de retenção do material colocado no núcleo da barragem de Odelouca. Foram utilizados dois métodos para essa determinação: 1) medição através de higrómetro por ponto de orvalho (*WP4*), e 2) medição através de uma câmara hidroclimática (*CH*).

O higrómetro, conforme se pode observar na Figura 8, utiliza um espelho arrefecido para medir o ponto de condensação do vapor de água de uma pequena amostra de solo (Gee et al, 1992). A temperatura do espelho é mantida constante através de um dispositivo Peltier de refrigeração que é controlado e monitorizado informaticamente. Por sua vez, a temperatura da amostra de solo é controlada por um termómetro de infra-vermelhos. Os registos da temperatura do solo e do ponto de condensação são convertidos em humidade relativa através dum algoritmo que contabiliza as diferenças de temperatura

entre o solo e a câmara. O processo de medição demora cerca de 3 minutos e o valor da humidade relativa e da temperatura são visualizados num monitor assim que o equilíbrio é atingido.

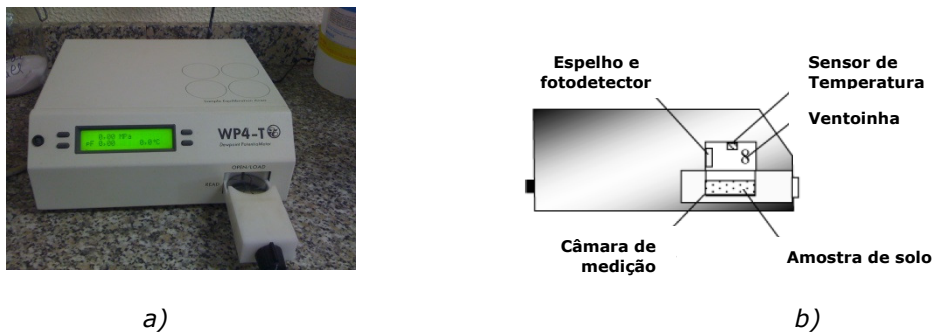


Figura 8 – a) Higrómetro de espelho (WP4) utilizado nos ensaios e b) Diagrama esquemático (Leong e tal, 2003)

O segundo método usado para a obtenção das curvas de retenção dos materiais de Odelouca consistiu na utilização de uma câmara hidroclimática (CH). A câmara hidroclimática (Figura 9) existente no LNEC permite colocar o material no seu interior em condições de temperatura e humidade controladas. Assim, foram preparadas diversas amostras e colocadas no seu interior, tendo sido feito variar o valor da humidade no interior da câmara. Para obtenção da curva de secagem partiu-se de amostras saturadas e foi-se diminuindo o valor da humidade no interior da câmara (mantendo a temperatura constante) até a amostra atingir o equilíbrio. A verificação de equilíbrio foi conseguida através da pesagem das amostras. Procedeu-se deste mesmo modo para vários valores de humidade até se atingirem valores próximos do estado seco. Seguiu-se o mesmo procedimento para se obter a curva de molhagem partindo-se de amostras secas até se atingir a saturação.



Figura 9 – Câmara Hidroclimática

Na Figura 10 é possível observar os resultados obtidos com os dois procedimentos descritos, para os materiais do núcleo da Barragem de Odelouca. No traçado da curva teórica utilizou-se a expressão do Modelo Modificado de Van Genuchten, proposta por Romero et al (2000):

$$w = w_s C(\Psi - \Psi_0) \left[\frac{1}{1 + (a(\Psi - \Psi_0))^n} \right]^m \quad [1]$$

$$C(\Psi - \Psi_0) = 1 - \frac{\ln \left[1 + \frac{(\Psi - \Psi_0)}{a} \right]}{\ln(2)} \quad [2]$$

em que w é o teor em água correspondente ao estado de sucção Ψ , w_s é o teor em água na saturação correspondente à sucção Ψ_0 , a é um parâmetro de ajustamento que corresponde ao máximo valor de sucção, n é o declive no ponto de inflexão da curva, m é um parâmetro de ajustamento relacionado com

o declive da curva no regime residual e α é um parâmetro de ajustamento inversamente relacionado com o valor de entrada de ar do material.

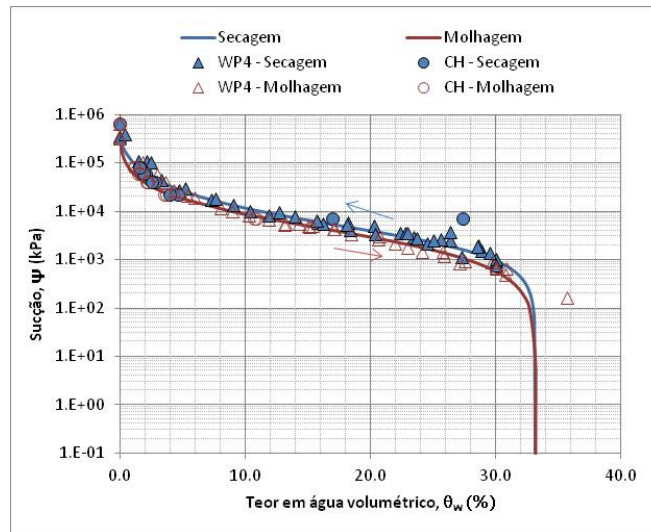


Figura 10 – Curva de retenção obtida para os materiais do núcleo da Barragem de Odelouca através do higrómetro por ponto de orvalho (WP4) e da câmara hidroclimática (CH)

A análise da figura permite concluir que foram obtidos resultados bastante similares com ambos os métodos de medição usados no regime residual e no regime transitório da curva. Na zona de transição entre o regime transitório e o regime capilar não se dispõem actualmente de muitos resultados com o método CH e os dados que se dispõem não se aproximam muito bem dos valores obtidos com a WP4. Está-se presentemente a fazer mais determinações para esta zona da curva tanto no sentido da molhagem como na secagem e só então se poderá tirar conclusões relativamente ao ajustamento do método nestes regimes da SWRC.

Para além destes factos, existe um bom ajustamento das curvas teóricas obtidas com base no Modelo Modificado de Van Genuchten aos resultados experimentais, tanto para a curva obtida por secagem como para a obtida pela molhagem no regime residual e em grande parte do regime transitório para ambos os métodos utilizados. Na zona próxima da transição do regime transitório para o capilar existe um bom ajustamento do Modelo de Van Genuchten aos resultados obtidos com a WP4.

Outra conclusão prende-se com a forma que as curvas assumem, verifica-se que as curvas se prolongam mais horizontalmente no regime residual e transitório da curva, o que denota que o material exibe grande capacidade de adsorção de água que corrobora na sua natureza silto-argilosa.

3 - MATERIAL DOS MACIÇOS ESTABILIZADORES – MISTURAS DE SOLO-ENROCAMENTO

3.1 - Considerações iniciais

Os materiais dos maciços estabilizadores são provenientes do maciço xistoso e grauvacóide, explorados nas manchas de empréstimo identificadas no interior da zona delimitada pela albufeira. São, no essencial, constituídos por solo residual mais grosseiro do maciço xistoso e por xistos e grauvaques ripados. A Figura 11 apresenta a curva granulométrica média do material empregue nos maciços estabilizadores da barragem.

3.2 - Ensaio de corte em compressão triaxial consolidados não drenados

No decurso da construção da barragem foi colhido material suficiente para se reconstituir cerca de 15 amostras dos materiais colocados nos maciços estabilizadores da barragem, as quais foram submetidas a ensaios de corte em compressão triaxial consolidados não drenados e de determinação do coeficiente de permeabilidade vertical.

A Figura 12 a evolução da tensão deviatória (q) com a deformação axial (ϵ_a), bem como as trajetórias de tensão de três dessas amostras colhidas num determinado local, bem como as respectivas envolventes de rotura.

A totalidade da análise das amostras ensaiadas permitiu deduzir, para ângulo de atrito interno, o valor de 37° e, para coeficiente de permeabilidade vertical, o valor de $1,9 \times 10^{-8}$ m/s.

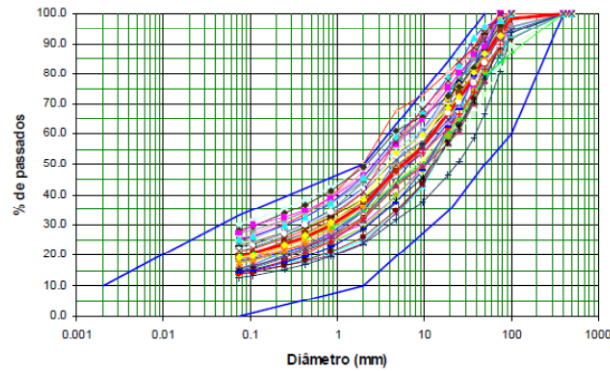


Figura 11 – Curvas granulométricas do material empregue nos maciços estabilizadores da Barragem de Odelouca

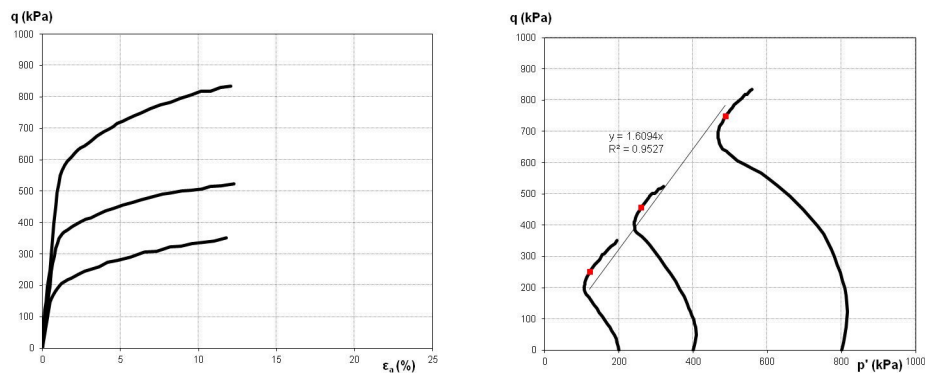


Figura 12 – Evolução da tensão deviatória (q) com a deformação axial (ϵ_a), trajetórias de tensões e envoltentes de rotura de três amostras do maciço estabilizador da Barragem de Odelouca

3.3 - Determinação da curva de retenção de água no solo

Na determinação da curva de retenção de água dos materiais dos maciços de Odelouca utilizaram-se as mesmas metodologias utilizadas para os materiais do núcleo da barragem: 1) medição através de higrómetro por ponto de orvalho (*WP4*), e 2) medição através de uma câmara hidroclimática.

No caso da medição através do higrómetro (*WP4*), só se conseguiu fazer medições para o material fino (inferior a 4,76 mm - #4) da mistura de solo-enrocamento dos maciços estabilizadores, uma vez que a gaveta de medição do aparelho tem um diâmetro máximo de cerca de 4 cm, o que limita a dimensão da amostra a ensaiar. No caso da medição através da câmara hidroclimática essa limitação não existe. Assim, foram preparadas amostras e colocadas no interior da câmara hidroclimática para várias condições de humidade.

Na Figura 13 é possível observar os resultados obtidos com os dois procedimentos descritos, para os materiais dos maciços estabilizadores da Barragem de Odelouca.

A análise da figura permite verificar que não existem diferenças significativas entre os dois métodos de medição na zona do regime residual e início do regime transitório da *SWRC*, tanto no caso da secagem como da molhagem. Este facto poderá ser um indício de que o material fino tem um comportamento preponderante nas características hidráulicas da mistura, uma vez que se obtiveram curvas bastante semelhantes para o material ensaiado no *WP4* –material mais fino (inferior a 4,76 mm) – e o material ensaiado na câmara hidroclimática – mistura de solo-enrocamento.

Contudo, tal como mencionado no caso do material do núcleo da barragem, na zona de transição entre o regime transitório e o regime capilar não se dispõem actualmente de muitos resultados com o método *CH* e os dados que se dispõem afastam-se dos valores obtidos com a *WP4*. Está-se presentemente a fazer mais determinações para esta zona da curva tanto no sentido da molhagem como na secagem, e só então se poderá tirar conclusões relativamente ao ajustamento do método nestes regimes da *SWRC*.

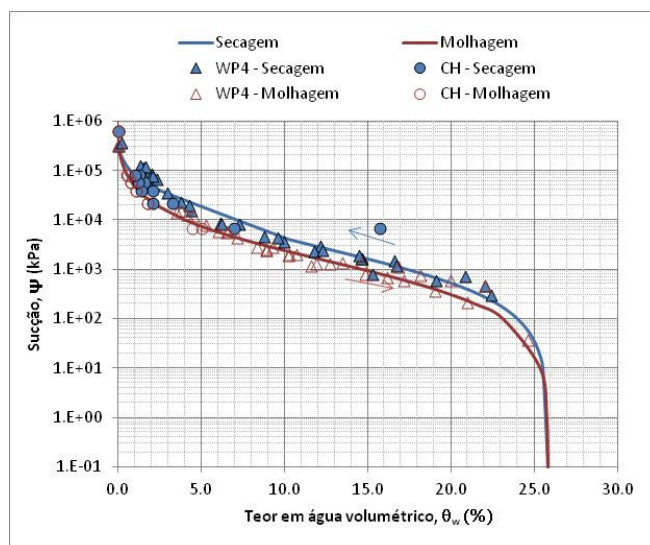


Figura 13 – Curva de retenção obtida para os materiais dos maciços estabilizadores da Barragem de Odelouca através do higrómetro por ponto de orvalho (WP4) e da câmara hidroclimática (CH)

Para além disso, verifica-se que as curvas se prolongam mais horizontalmente no regime residual da curva, tal como sucedeu com o material do núcleo da barragem, o que denota que o material exibe grande capacidade de adsorção de água. Isto poderá mais uma vez indicar que o comportamento do material fino tem preponderância sobre o material de enrocamento na zona de regime residual e do início do regime transitório, tal como referido no parágrafo anterior.

Existe, também, um bom ajustamento das curvas teóricas obtidas com base no Modelo Modificado de Van Genuchten com os resultados experimentais obtidos através da WP4, tanto para a curva obtida por secagem como para a obtida pela molhagem. Existe também um bom ajustamento do Modelo aos resultados obtidos através da CH na zona do regime residual e do início do regime transitório.

A Figura 14 apresenta as duas curvas de retenção para os dois materiais analisados. O material do núcleo denota uma maior capacidade de adsorção de água do que as misturas de solo-enrocamento, embora o material fino da mistura apresente um cariz também argiloso. Esse facto pode dever-se à presença do material grosseiro, que limita um pouco a adsorção de água da mistura, fazendo com que a curva, no regime transitório, não se prolongue tanto horizontalmente como o material do núcleo e apresente um valor de teor em água saturado menor que o material do núcleo.

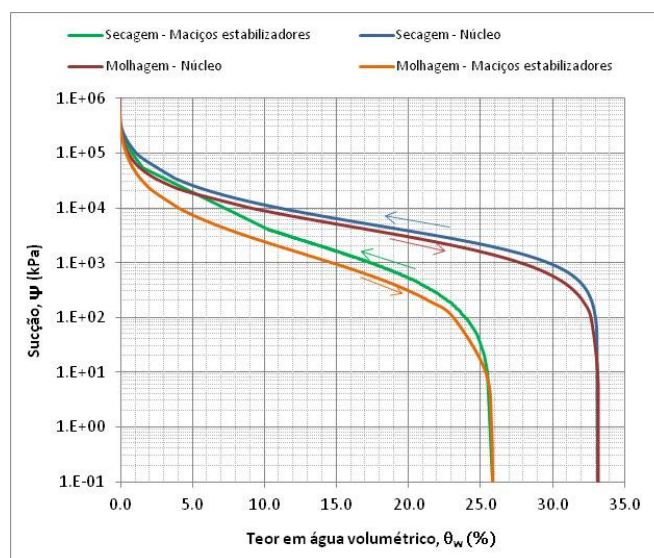


Figura 14 – Comparação das curvas de retenção obtidas para os materiais do núcleo e dos maciços estabilizadores da Barragem de Odelouca

4 - CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Neste trabalho foram apresentados resultados obtidos em alguns dos ensaios realizados nos materiais empregues no núcleo (coluviões e solo residual do xisto) e das misturas de solo-enrocamento, empregues nos maciços estabilizadores (xistos e grauaques ripáveis) da Barragem de Odelouca. Foram apresentados resultados de ensaios de compressão isotrópica, ensaios edométricos, ensaios de corte em compressão triaxial não drenada e ensaios de determinação da curva característica de retenção dos solos.

Pode-se apurar que o comportamento de ambos os materiais é do tipo sobreconsolidado, apresentando valores médios de ângulo de atrito de 32° e 37°, respectivamente, para o material do núcleo e para o material dos maciços estabilizadores.

Verificou-se que os materiais têm reduzida permeabilidade, tanto o material do núcleo, que apresenta um coeficiente de permeabilidade média de $2,9 \times 10^{-9}$ m/s, como a mistura de solo-enrocamento utilizada nos maciços estabilizadores (com um valor médio da ordem de $1,9 \times 10^{-8}$ m/s).

Foi apresentado um novo método de determinação da curva de retenção de água recorrendo a uma câmara hidroclimática, tendo os resultados sido validados com a comparação com resultados obtidos com um higrómetro de espelho (WP4). Verificou-se que as curvas teóricas obtidas com base no Modelo Modificado de Van Genuchten se aproximam muito bem dos resultados obtidos com ambos os métodos de medição utilizados.

Como perspectivas futuras pretende-se utilizar os resultados apresentados no artigo, e outros entretanto obtidos, na modelação da Barragem de Odelouca na Fase de Construção e de Primeiro Enchimento. Espera-se, posteriormente, confrontar os resultados obtidos numericamente com os obtidos através dos dados fornecidos pelo sistema de observação, implementado na obra.

Pretende-se ainda realizar mais alguns ensaios nas misturas de solo-enrocamento, fazendo variar a percentagem de grossos presentes na mistura, para verificar qual a sua influência nas características mecânicas e hidráulicas do material.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Dono de Obra, Águas do Algarve S.A., a disponibilidade dos materiais para a realização dos ensaios experimentais. Gostariam também de agradecer aos técnicos do LNEC, em especial os Técnicos Superiores Sr. Joaquim Timóteo e Sr. Fernando Rodrigues, o Coordenador Técnico Sr. António Cardoso e à Técnica Superior Sra. Amélia Reis, pelo desenvolvimento do trabalho experimental.

REFERÊNCIAS

Gee, W., Campbell, M. D., Campbell, G. S., & Campbell, J. H. (1992). Rapid measurement of low soil water potentials using a water activity meter. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56, 1068-1070.

Leong, E. -C., Tripathy, S., & Rahardjo, H. (2003). Total suction measurement of unsaturated soils with a device using the chilled-mirror dew-point technique. *Géotechnique*, 53, 173-182.

Lu, N., & Likos, W. (2004). *Unsaturated soil mechanics*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Romero, V., & Vaunat, J. (2000). Retention curves of deformable clays. Experimental evidence and theoretical approaches in unsaturated soils. *Proc. Int. Workshop on Unsaturated Soils* (pp. 91-108). Trento, Italy: A. Tarantino and C. Mancuso (eds), A.A. Balkema.

Vanapalli, S., Fredlund, D. G., & Pufahl, D. E. (1999). The influence of soil structure and stress history on the soil-water characteristics of a compacted till. *Géotechnique*, 49, 143-159.