

## INFLUÊNCIA DA HUMIDADE DE COMPACTAÇÃO NA VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS QUE EXPRESSAM A RESISTÊNCIA DOS SOLOS

### INFLUENCE OF SOIL MOISTURE COMPACTION ON THE PARAMETERS THAT EXPRESS SOIL MECHANICAL RESISTANCE

Faria, Paula, *Universidade de Évora, Évora, Portugal, pagf@uevora.pt*  
Gomes, Celso, *MIA (Centro de Investigação "Minerais Industriais e Argilas da FCT),  
Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, cgomes@geo.ua.pt*

#### RESUMO

Para um dado nível de energia de compactação, o teor óptimo de humidade, ou de água, necessário para se alcançar a compactação máxima, depende da textura e composição do solo. Deste modo, solos diferentes têm comportamentos diferentes face à variação da humidade e, conseqüentemente, manifestam diferentes características resistentes de acordo com os teores de humidade com que se efectua a compactação.

O estudo aqui divulgado teve em vista a análise, para diferentes tipos de solos, da variação certos parâmetros resistentes, coesão e ângulo de atrito interno, em função do teor de humidade utilizado para a sua compactação.

#### ABSTRACT

For a certain soil compaction energy the optimum moisture content needed to attain the maximum compaction depends upon soil texture and composition. Therefore distinct soils exhibit distinct behaviours in regards to moisture content changes. As a result of that soils display distinct values of mechanical resistance, depending upon the moisture contents used for soil compaction. The present study discloses some relevant data corresponding to certain mechanical resistance parameters, such as soil cohesion and internal attrition angle in function of moisture contents for distinct types of soil.

#### 1. INTRODUÇÃO

As obras de terra, ou aterros, são normalmente projectadas com base na informação sobre os solos disponíveis no local de execução. Para além da avaliação da adequabilidade dos solos disponíveis para esse fim, importa que a sua compactação seja optimizada.

Para tal, as exigências construtivas preconizam, regra geral, a utilização de teores de humidade, ou de água, ( $\pm 1\%$ ) próximos do teor óptimo de humidade exigido para se obter a máxima compactação, situação que pretende salvaguardar a maximização das características resistentes do solo.

Na realidade, por força das condições naturais prevaletentes, nem sempre é possível garantir tal balizamento para a variação do teor de humidade do solo aquando da sua compactação, muito embora se atinjam os valores de grau de compactação exigidos no caderno de encargos construtivo.

Para um dado nível de energia de compactação, o teor óptimo de humidade necessário para se alcançar a compactação máxima, depende da textura e da composição do solo. Deste modo, solos diferentes têm comportamentos distintos face à variação da humidade e, consequentemente, manifestam diferentes características resistentes de acordo com os teores de humidade utilizados na compactação.

No presente estudo faz-se a análise, para diferentes tipos de solos, da variação dos parâmetros resistentes, coesão e ângulo de atrito interno, em função do teor de humidade utilizados na sua compactação. Assim sendo, realizaram-se ensaios de corte directo, sobre amostras extraídas de provetes submetidos a compactação tipo Proctor pesado, nas quais se fez variar o teor de humidade.

Deste modo, foi possível observar a tendência de evolução dos parâmetros resistentes dos solos, em função da diferença entre o teor de humidade do solo e o teor óptimo de compactação, bem como analisar o estabelecimento dessa tendência de acordo com a composição mineralógica dos solos.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os seis solos estudados, foram recolhidos ao longo dos traçados de implantação da auto-estrada A8, entre Caldas da Rainha e Leiria, e da auto-estrada A15, entre Caldas da Rainha e Santarém. No quadro 1, apresenta-se a descrição dos solos analisados.

Quadro 1 - Descrição dos solos estudados

Amostra	Localização	Características macroscópicas
1	A8	Argila siltosa, castanho avermelhada, com laivos cinzentos
27	A15	Argila arenosa com mesclado de cores (vermelha, laranja, cinza, branca e amarela)
32	A15	Argila arenosa com mesclado de cores (vermelha, laranja, cinza, branca e amarela)
52	A8	Argila vermelha escura e cinzenta
53	A8	Argila vermelha escura e cinzenta
64	A15	Argila arenosa cinzenta com laivos amarelados e avermelhados

As amostras de solos foram testadas em laboratório, tendo-se realizado para além dos ensaios de classificação (análise granulométrica e limites de Atterberg,), a determinação da expansibilidade, ensaios de compactação pesada tipo Proctor, e ensaios de corte directo em provetes compactados com diferentes teores de humidade.

Após ter sido definido o teor óptimo de compactação, prepararam-se tomas de solo com distintos teores de humidade, compactando cada uma delas em molde Proctor, tal como se havia feito para os provetes do ensaio de compactação, utilizando a mesma energia de compactação e com o mesmo número de camadas.

Posteriormente, obtiveram-se, para cada toma compactada, três provetes para ensaio de corte, obtidos por cravação de moldes quadrados de  $36 \text{ cm}^2$  (6x6), com ajuda de um macaco

hidráulico. Deste modo, conseguiram-se provetes compactados do mesmo modo e com teor de humidade semelhante.

Salienta-se que, na cravação dos moldes, foi garantido que não se incluía a superfície de contacto entre duas camadas compactadas consecutivas, por forma a não influenciar a resistência ao corte devido à debilidade da superfície referida.

Os ensaios de corte directo, foram realizados de acordo com a norma BS (1377), excepto no que se refere à colocação de água na carruagem do equipamento, sendo que neste caso não foi colocada. A velocidade utilizada no ensaio foi de 1mm/min.

Foi igualmente determinada a composição mineralógica da fracção fina destes solos (fracção composta pelas partículas com diâmetro esférico equivalente inferior a 0,063 mm), utilizando-se para o efeito a difractometria de raios X (DRX).

Dado que se pretendia analisar a variação dos parâmetros de resistência ao corte de provetes compactados em função da variação da sua humidade, atendendo à tipologia de minerais argilosos presentes, era fundamental conhecer a composição mineralógica na fracção fina, por ser nesta fracção que se encontram esses minerais.

### 3. RESULTADOS

Os resultados obtidos na caracterização mineralógica encontram-se representados na Tabela 2. Nesta tabela incluem-se ainda os parâmetros relativos aos ensaios de compactação pesada, bem como os teores da fracção das partículas de diâmetro esférico equivalente inferior a 0,063mm, determinada pela análise granulométrica via húmida.

Tabela 2 – Dados de composição mineral e de ensaio de compactação

Amostra	Fracção < 63µm (%)	Composição mineral e semi-quantitativa						
		$\gamma_{dmax}$ (g/cm <sup>3</sup> )	Wopt (%)	Minerais argilosos (%)	Minerais não argilosos (%)	Esmectite (%)	Ilite (%)	Caulinite (%)
1	91,9	1,92	14,6	34,5	65,5	4,1	20,8	9,6
27	48,1	2,15	8,5	31,4	68,6	0	10,5	20,8
32	50	2,09	9,8	15,8	84,2	0	2,2	13,6
52	78,2	1,80	17,0	15,1	84,9	11,7	0	3,5
53	39,4	1,96	13,2	35,5	64,5	6,6	22,2	6,7
64	54,3	2,07	10,2	45,9	54,1	0	8,5	37,3

Os resultados dos parâmetros de resistência ao corte, coesão e ângulo de atrito interno, obtidos na realização dos diversos ensaios, são apresentados graficamente para todas as amostras. Esta representação apresenta-se primeiro com registo do teor de humidade (figuras 1 e 2) e depois com registo da diferença entre o teor de humidade do provete e o correspondente teor óptimo de humidade de compactação (figura 3 e figura 4).

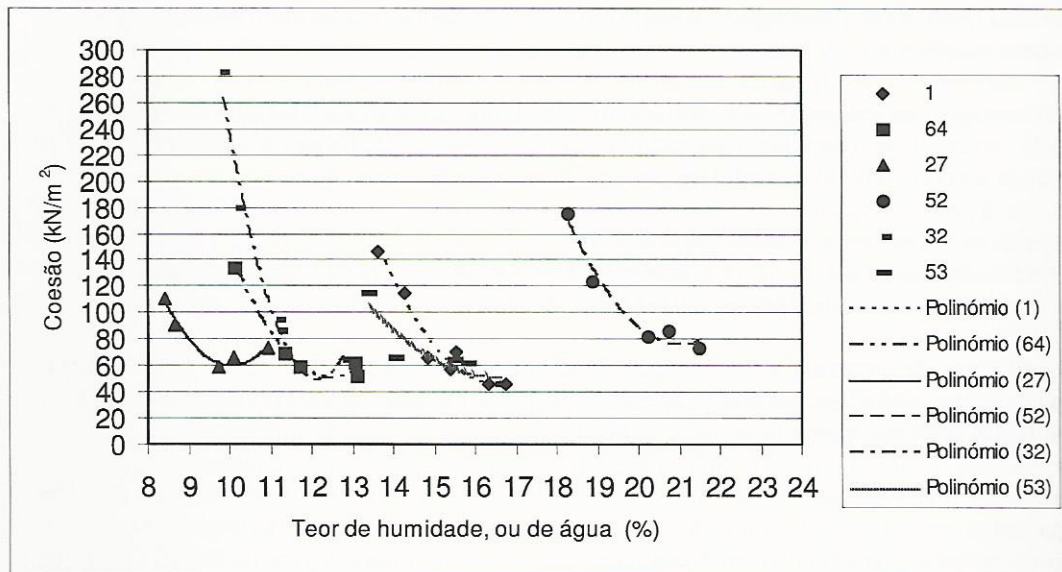


Figura 1 – Representação da variação da coesão em função do teor de humidade

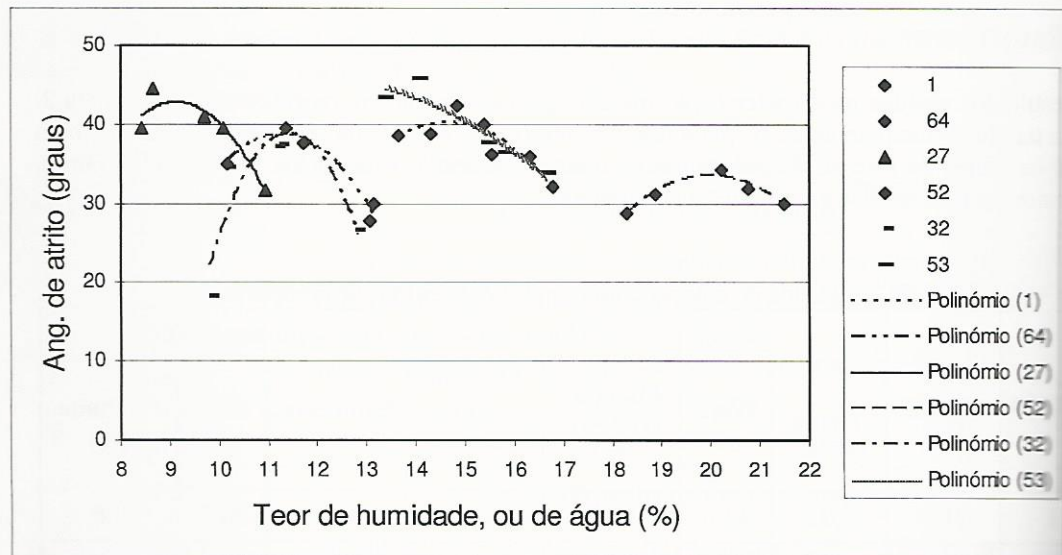


Figura 2 - Representação da variação do ângulo de atrito em função do teor de humidade

Para cada amostra, os dados obtidos em função do teor de humidade, tanto para a coesão, como para o ângulo de atrito, apresentam uma tendência clara de desenvolvimento polinomial, tendo-se registado valores de  $R^2$  elevados, tal como se observa na tabela 3.

Com base nos parâmetros anteriormente registados, calculou-se a tensão de resistência ao corte para uma tensão vertical de  $1\text{kN/m}^2$ . A representação gráfica destes dados define igualmente, para cada amostra, uma tendência de desenvolvimento polinomial, com valores de  $R^2$  elevados. Os resultados conseguidos constam na figura 5.

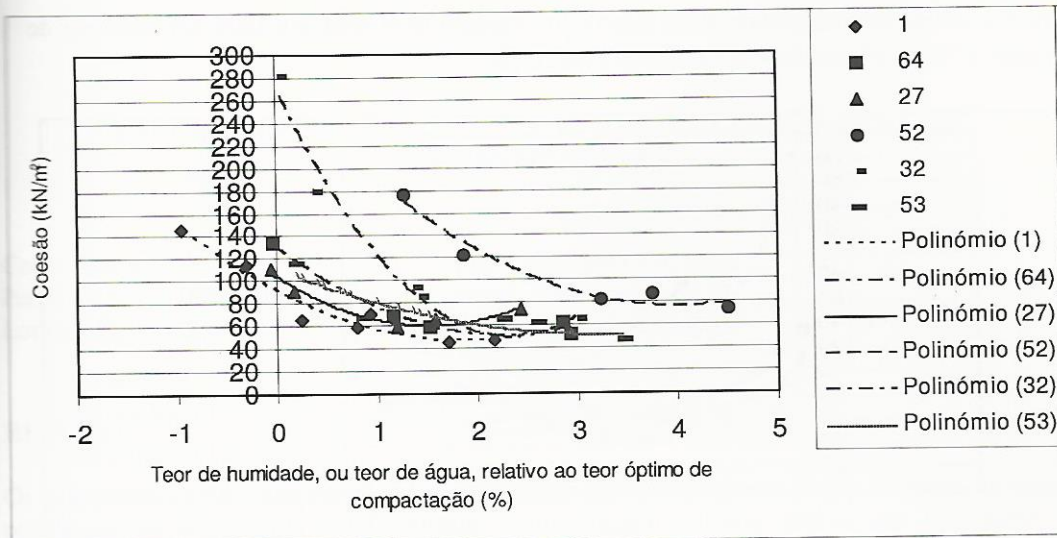


Figura 3 - Variação da coesão com a diferença entre o teor de humidade, e o teor ótimo da humidade de compactação.

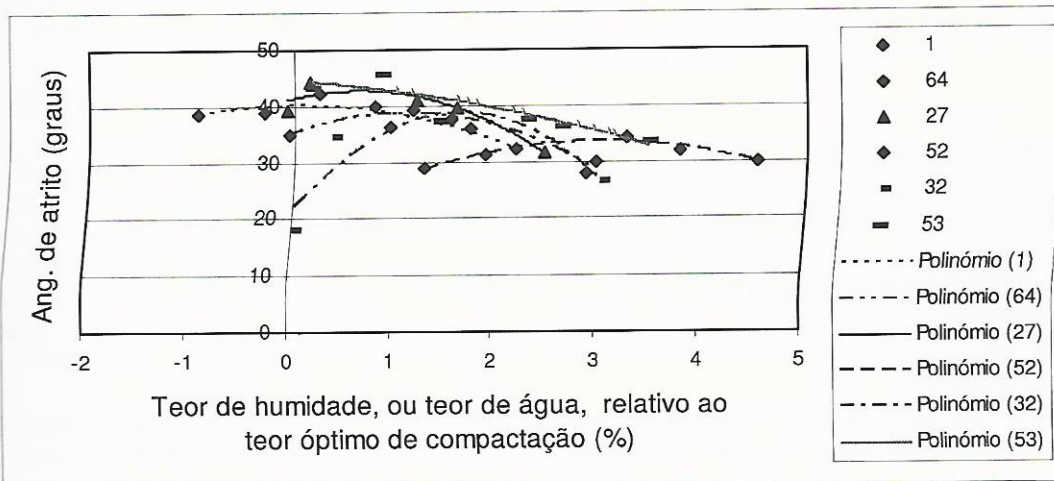


Figura 4 - Variação do ângulo de atrito com a diferença entre o teor de humidade, e o teor ótimo da humidade de compactação.

Tabela 3 – Valores de  $R^2$ , para as diversas curvas obtidas

Amostra	$c \times W$	$\phi \times W$	$c \times (W - W_{opt.})$	$\phi \times (W - W_{opt.})$	$\tau \times (W - W_{opt.})$
1	0,951	0,793	0,951	0,793	0,956
27	0,958	0,894	0,958	0,894	0,963
32	0,967	0,800	0,967	0,800	0,969
52	0,961	0,938	0,961	0,939	0,961
53	0,793	0,893	0,793	0,893	0,824
64	0,956	0,952	0,986	0,952	0,988

Sendo:  $c$  a coesão;  $\phi$  o ângulo de atrito interno;  $\tau$  a tensão de resistência ao corte;  $W$  o teor de humidade e  $W_{opt}$  a humidade óptima de compactação.

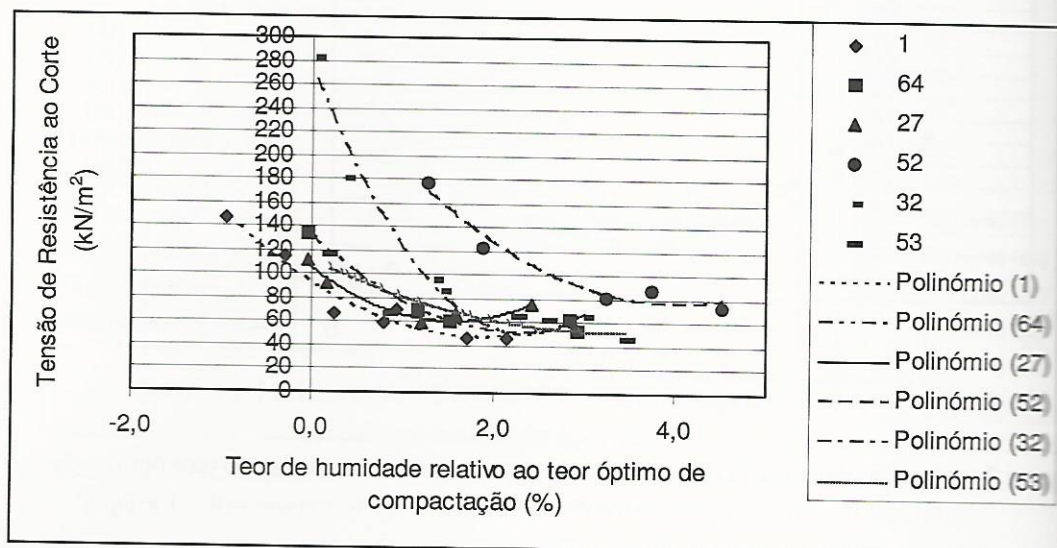


Figura 5 – Variação da tensão de resistência ao corte com a diferença entre o teor de humidade e o teor óptimo da humidade de compactação.

#### 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados obtidos no presente estudo permitem-nos formular as seguintes considerações:

- É bem evidente o decréscimo da tensão de resistência ao corte com o aumento do teor de humidade.
- A variação das características resistentes dos solos depende da sua composição mineralógica.
- Nos solos com maior percentagem de fracção argila e com certo tipo de minerais argilosos, particularmente aqueles que possuem mais Esmectite (mineral com grande apetência para fixação de água higroscópica por efeito da sua elevada superfície específica) desenham tendências sob a forma de curvas mais abertas, pelo que, consequentemente, perdem resistência ao corte com o aumento da humidade, de forma menos brusca.
- Os solos com menos percentagem de fracção argila, perdem resistência ao corte mais rapidamente com o incremento da humidade.
- Solos que apesar de conterem elevada percentagem de fracção argila, possuem muita Caulinite, reflectem igualmente uma maior perda de resistência ao corte com o aumento do teor de humidade.

#### 5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Head, K.H., Manual of soil laboratory testing, volume 2, 1982, 749  
 Especificação E197 – 1966, Solos – ensaio de compactação, LNEC, 1967  
 BS 1377, British Standards Institution, 1990  
 Gomes, Celso Figueiredo, Argilas o que são e para que servem, Fundação Calouste Gulbenkian (ed.), 1986, 457 pp.  
 Gomes, Celso Figueiredo, Argilas: Aplicações na Indústria, (ed. do autor), 2002, 338 pp.