

Estudo de parâmetros mecânicos de dois solos arenosos estabilizados com cimento

Study of the mechanical parameters of two sandy soils stabilized with cement

L.F.M. Pereira^{a†}, F.G. Branco^a, P.V. Oliveira^a, P.S. Andrade^b

^a *Universidade Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Coimbra, Portugal*

^b *Universidade Coimbra, Departamento de Ciências da Terra, Coimbra, Portugal*

[†] *Autor para correspondência: lfmperreira@student.uc.pt*

RESUMO

O solo é o material natural de construção mais abundante na natureza e detém muitas vezes propriedades excelentes que o tornam apetecível enquanto material de construção: é resistente, esteticamente agradável, plástico, e tem um baixo custo. Sendo uma das metas primordiais de uma obra a racionalização de custos, a utilização dos solos existentes no local é, desde há muito tempo, um objetivo apetecível. No entanto, nem todos os solos, devido a fatores tais como a granulometria, a composição mineralógica ou a presença de matéria orgânica, se comportam de modo aceitável em termos mecânicos. A adição de cimento Portland modifica as propriedades dos solos através de processos físico-químicos entre os grãos do solo e o cimento, promovendo a formação de um esqueleto que cimenta e envolve os grãos. Neste trabalho estudou-se a melhoria de dois solos através da estabilização com cimento Portland. Os resultados obtidos permitiram concluir que o comportamento mecânico melhorou com o tempo de cura dos provetes e com o aumento do teor de ligante. Foi ainda possível definir uma razão entre a resistência à compressão diametral e a resistência à compressão uniaxial simples. Determinou-se que existe um teor em água “ótimo” que permite obter um comportamento mecânico mais competente. Concluiu-se que existe uma razão água/cimento (w/c) “ótima” para cada teor de ligante, e que esta tende a diminuir com o aumento deste último.

ABSTRACT

Soil is the most abundant natural building material in nature and often has excellent properties that make it attractive to use in construction due to its resistance, pleasant aesthetic appearance, plasticity, and low cost. Since one of the main goals of a project is to rationalize costs, the use of existing soils on site has long been an attractive objective. Nevertheless, not all soils, due to factors such as granulometry, mineralogical composition or the presence of organic matter, behave in an acceptable way in mechanical terms. The addition of Portland cement modifies soil properties through physical-chemical processes between soil grains and cement, promoting the formation of a skeleton that cements and surrounds the grains. In this work, the improvement of two soils through stabilization with Portland cement was studied. The results obtained allowed us to conclude that the mechanical behavior improved with the curing time of the specimens and with the increase in the binder content. It was also possible to define a ratio between the diametral compressive strength and the simple uniaxial compressive strength. It was determined that there is an “optimal” water content that allows to obtain a more competent mechanical behavior. It was concluded that there is an “optimal” water/cement (w/c) ratio for each binder content, and that this ratio tends to decrease with the increase of the latter.

Palavras-chave:

Solo-cimento;
estabilização;
comportamento
mecânico; água.

Keywords:

Soil-cement;
stabilization;
mechanical
behaviour.

1. Introdução

O aumento da população mundial e consequente desenvolvimento das sociedades modernas criou uma tendência migratória no sentido dos grandes centros populacionais. Este facto teve como consequência um aumento premente da necessidade de se criarem todo o tipo de infraestruturas que facultassem alojamento e promovessem a facilidade de deslocação e o armazenamento de recursos naturais que contribuam para uma melhoria da qualidade de vida. Qualquer obra de engenharia tem como objetivo primordial a contenção de custos, apenas possível se se tiver também a preocupação de se encontrarem técnicas atrativas tanto do ponto de vista económico como ambiental. A utilização de solos existentes em obra ou nas proximidades desta ajuda a uma racionalização de custos e reduz os impactos ambientais resultantes da exploração e transporte desses materiais ao longo de grandes distâncias. Adicionalmente, a aplicação do que seria um resíduo a descartar num novo material de construção contribui para a transição para uma circularidade de recursos, que atualmente se pretende sistémica e global. A crescente noção de que habitamos um planeta com recursos finitos exige que se abandone progressivamente o uso e descarte de bens e recursos (economia linear) [1]. Globalmente, as obras de construção civil consomem cerca de 75% dos recursos naturais extraídos da natureza sendo que a construção de edifícios utiliza 40% dos recursos minerais, 40% da energia e 16% da água consumidos anualmente. Em Portugal, o sector da construção produz anualmente cerca de 7,5 milhões de toneladas de resíduos sólidos [2].

O solo é o material de construção natural mais abundante no planeta. Para Matos Fernandes [3], o solo é formado por partículas minerais, que resultaram da desintegração física e da decomposição química das rochas, podendo também conter matéria orgânica. Os espaços não ocupados pelas partículas são designados por poros ou vazios. Estes podem conter água e ar, de forma isolada ou conjuntamente. Quando os poros estão integralmente preenchidos por água diz-se que o solo está saturado. O solo é detentor de características que o tornam atrativo enquanto material de construção. Este material é resistente, muitas vezes esteticamente agradável, plástico e barato. Wang [4] refere que a primeira utilização de solo estabilizado com cimento terá ocorrido aquando da construção de uma estrada nos Estados Unidos da América, na Florida, em 1915. Atualmente, as misturas de solo-cimento são aplicadas em variadas situações, desde construção de taludes, proteção de leitos de cursos de água [5], bases e sub-bases para pavimentos [6][7], aterros de caminhos de ferro e autoestradas [8], em fundações superficiais [9], camadas de impermeabilização [10], no fabrico de tijolos e blocos para alvenaria, ou até na construção de edifícios [11].

No presente trabalho, estudou-se a melhoria de dois solos através da estabilização com cimento Portland. Realizaram-se testes de caracterização dos materiais estudados, tendo posteriormente sido realizados ensaios no sentido de avaliar o desempenho de provetes de solo melhorado quando sujeito a ensaios de compressão simples e diametral. O presente documento descreve os procedimentos adotados, bem como os resultados obtidos.

2. Materiais e métodos

2.1. Materiais utilizados

2.1.1 - Solo_Coimbra

Solo de cariz arenoso que foi utilizado na definição da melhor metodologia de compactação.

2.1.2 - Solo_Leiria

Recolhido na zona de Leiria, na parte inferior de um talude exposto a Sudeste, entre os lugares de Pousos e Marrazes. Enquadra-se, em termos geológicos, na Orla Sedimentar Ocidental da Península Ibérica. A análise da área circundante permitiu identificar este solo como pertencendo ao Pliocénico de fácies continental [12]. A Figura 1 mostra o local de recolha do Solo_Leiria.

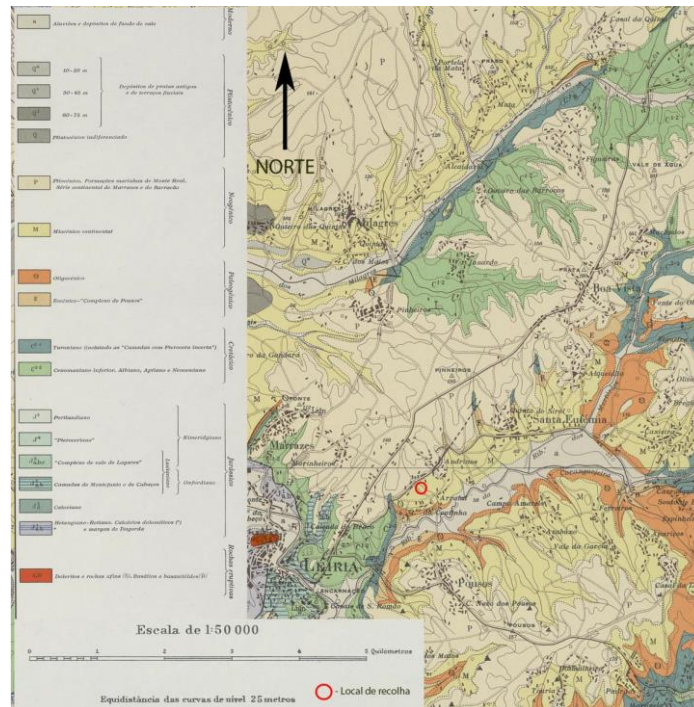


Figura 1 – Pormenor do ponto de recolha do Solo_Leiria, na carta geológica 23-C (Leiria).

2.1.3 - Cimento e água

Neste estudo foi utilizado cimento tipo Portland CEM II B/L 32,5N. Foi utilizada água canalizada da rede pública de abastecimento.

2.2. Programa experimental

Os objetivos deste estudo foram os de avaliar a influência do teor em cimento e do teor em água no comportamento mecânico da mistura de solo-cimento, através da realização de ensaios de compressão uniaxial simples (UCS) e de compressão diametral (CD). Inicialmente, realizaram-se ensaios de identificação e caracterização, nomeadamente análise granulométrica, limites de Atterberg, e o ensaio Proctor, a ambos os solos. Numa primeira fase, foram preparados 18 provetes utilizando o Solo_Coimbra. Na preparação desses provetes, utilizaram-se três métodos de compactação diferentes, o Proctor leve (PL), o Proctor pesado (PP), e o método da compactação por apiloamento (AP). Assim, foram preparados três provetes para cada tipo de ensaio e por metodologia de compactação, um para ensaiar aos sete dias de idade (P1), e dois para ensaiar aos vinte e oito dias de idade (P1 e P2). Os provetes todos foram identificados com a numeração do provete, seguida do tipo de compactação, data de ensaio e finalmente o tipo de ensaio (ex: P1_AP_7D_CS). Os provetes foram descofrados no dia seguinte à sua preparação, armazenados em câmara húmida, e ensaiados aos 7 e aos 28 dias de cura. Tal como já referido, o objetivo desta fase de ensaios visava identificar, com base nos resultados da resistência mecânica obtidos, qual o método de compactação mais eficaz para este tipo de provetes. A Tabela 1 apresenta o programa experimental executado neste estudo.

Na 2ª fase do programa experimental, prepararam-se cento e cinquenta provetes com o método de compactação determinado na 1ª fase definido como o mais adequado (compactação Proctor Leve). A Tabela 2 mostra a quantidade de provetes produzidos para cada teor de cimento (30 provetes), tipo de ensaio (compressão simples (CS) e compressão diametral (CD) e (sete dias (7D) e vinte e oito dias (28D)). Assim, por exemplo, CS28D corresponde a um provete ensaiado em compressão simples, com idade de 28 dias. Para além destes provetes, foram ainda preparados provetes para 8, 10, 12 e 14% de teor de cimento, totalizando 150 provetes. Mais uma vez, todos os provetes foram inequivocamente identificados com o número do provete, seguido do teor em cimento, teor em água, tempo de cura e finalmente com a tipologia de ensaio

(ex: P1_12C_11H_7D_CD).

Tabela 1 – Programa experimental adotado neste estudo.

Fase do programa experimental	Material	Ensaio	Nº de ensaios realizados
Caracterização do material	Solo_Coimbra	Análise Granulométrica	1
		Limite de Plasticidade	Não plástico
		Limite de Liquidez	Não plástico
		Ensaio Proctor	2
	Solo_Leiria	Análise Granulométrica	1
		Limite de Plasticidade	Não plástico
		Limite de Liquidez	Não plástico
Resistência Mecânica	Solo_Coimbra – (Fase 1)	Ensaio Proctor	1
		Compressão Simples	9
	Solo_Leiria – (Fase 2)	Compressão Diametral	9
		Compressão Simples	75
		Compressão Diametral	75

Tabela 2 - Exemplo de quantidades de provetes preparados para um teor de cimento (CEM) de 6%.

% de CEM	% de Água	Tipo de ensaio e tempo de cura			
		CS7D	CD7D	CS28D	CD28D
6	7	1	1	2	2
	9	1	1	2	2
	11	1	1	2	2
	13	1	1	2	2
	15	1	1	2	2

2.3 - Identificação e caracterização dos solos

Foram realizados ensaios de identificação e caracterização dos solos, nomeadamente a análise granulométrica seguindo a norma LNEC E 239 [13], limites de Atterberg, seguindo as indicações da norma NP 143 [14], e o ensaio Proctor [15]. Com base nos resultados de alguns destes ensaios, os dois solos deste estudo foram classificados segundo as duas classificações mais utilizadas no nosso país, a especificação LNEC E 240 – 1970 - “Solos. Classificação para fins rodoviários” [16], e a norma ASTM D 2487 – 00 – “Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)” [17].

3. Resultados

3.1 - Análise granulométrica

A figura 2 apresenta as análises granulométricas realizadas aos solos estudados neste trabalho.

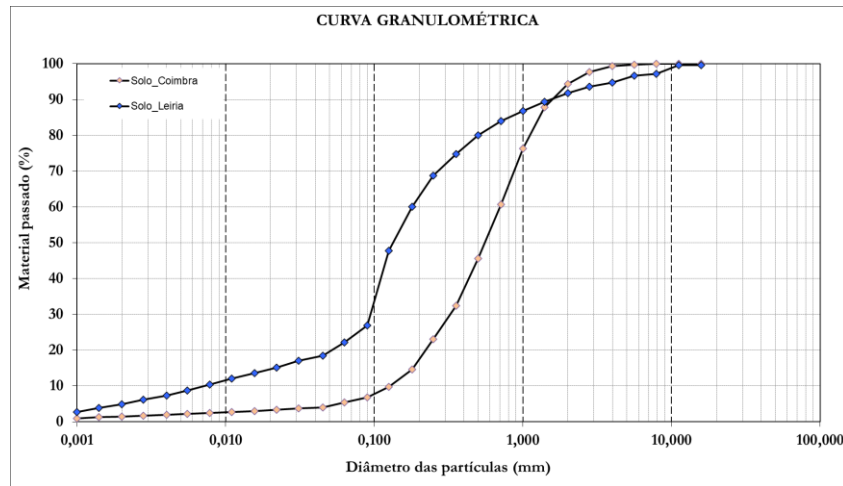


Figura 2 – Análises granulométricas dos solos estudados neste trabalho.

Do gráfico da Figura 2, retira-se que o Solo_Coimbra é composto por cerca de 82,5% de partículas de dimensão areia (0,075 – 2mm), e por cerca de 17% de partículas de dimensão cascalho (neste caso concreto, de 2mm a 25,4mm). A percentagem de partículas de dimensão inferior a 0,075mm (silte e argila), é de cerca de 0,8%. Já o Solo_Leiria compreende cerca de 8,24% de partículas de dimensão cascalho, 69% de partículas arenosas, 17% de partículas siltosas, e 5,5% de partículas argilosas.

3.2 - Limites de consistência

Uma vez que ambos os solos estudados não contêm pelo menos 30% em massa de partículas com dimensão inferior a 0,05 mm, foram considerados não plásticos.

3.3 - Ensaio Proctor

A Figura 3 apresenta a curva de baridade seca máxima versus teor em água para ambos os solos.

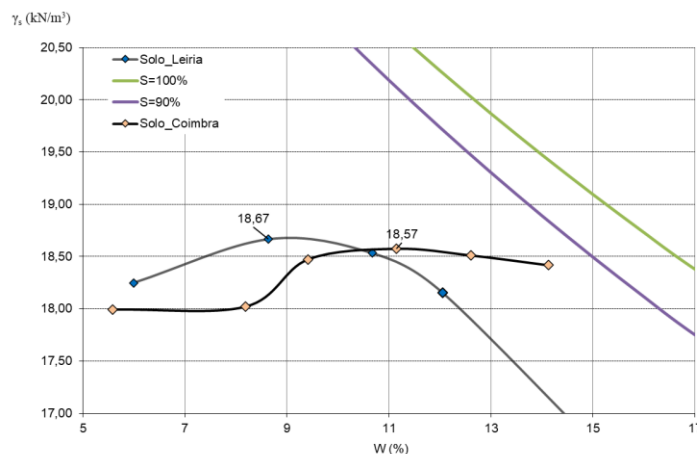


Figura 3 – Resultados dos ensaios de compactação leve realizados no Solo_Coimbra e Solo_Leiria.

Da análise da figura 3 verifica-se que, para o Solo_Coimbra, o teor em água que permite atingir a baridade seca mais elevada de 18,57 kN/m³, é de 11,1%. Já para o Solo_Leiria, o ensaio Proctor permitiu definir o teor em água ótimo de 8,63%, que permitiu alcançar uma baridade seca máxima de 18,67 kN/m³.

3.4 - Comparação da baridade seca máxima do solo não ligado com as diferentes misturas

Na Figura 4 é possível observar a curva de compactação do Solo_Leiria, assim como as características dos provetes moldados com as diferentes percentagens de ligante.

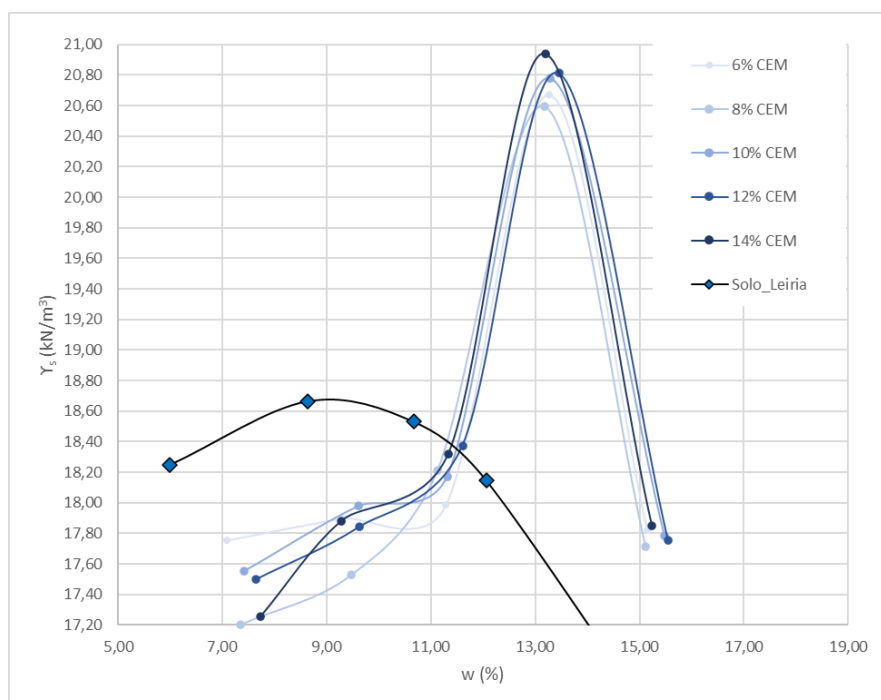


Figura 1 - Peso volúmico dos provetes moldados com solo estabilizado (compactados) e Proctor do solo não estabilizado.

Analisando Figura 4, pode concluir-se que a influência do ligante é muito importante na baridade seca da mistura solo-cimento. À esquerda do teor em água ótimo determinado no ensaio Proctor (8,63%), a água que no solo não estabilizado exerce um efeito de redução do atrito entre as partículas do solo permitindo uma compactação mais eficaz (e crescente à medida que se vai aumentando o teor em água até pico da curva) é reclamada pelos constituintes do cimento. Uma consequência é a de muitos dos provetes preparados com 7% (e mesmo alguns com 9%) de teor em água não atingirem valores tão elevados de peso volúmico seco como o do solo não tratado. Outra consequência é a do deslocamento do pico de compactação ótimo das misturas de solo-cimento para a direita e para cima da curva do solo não estabilizado, para valores de γ_s a rondar os 20,5 a 20,9 kN/m³, e um correspondente teor em água ótimo próximo dos 13%-13,5%.

Isto deve-se provavelmente à incorporação das partículas de cimento, mais finas, na mistura, e à sua densidade mais elevada.

3.5 - Classificação dos solos

3.5.1 - Especificação LNEC E240 – 1970 – “Solos. Classificação para fins rodoviários”

Analisando as curvas granulométricas do Solo_Coimbra em pontos-chave como o são a percentagem acumulada de material passada nos peneiros 2 mm (nº10), 0,425 mm (nº 40), e 0,075 mm (nº 200), verifica-se que o solo se enquadra no grupo A-1-b do quadro “Classificação de Solos” do anexo da especificação LNEC E 240 – 1970.

Projetando a percentagem de material passado no peneiro com malha de 0,075 mm (nº 200) nos dois ábacos em anexo da mesma especificação, chegamos ao índice de grupo deste material: 0. Deste modo, o Solo_Coimbra é classificado como A-1-b (0), sendo o material característico deste subgrupo uma “areia grossa, com ou sem material aglutinante bem graduado”, prevendo-se um comportamento na camada sob o pavimento de “excelente a bom”.

Analisando a curva granulométrica do Solo_Leiria nos mesmos pontos chave, classificou-

se este solo como A-2-4 (0). Este subgrupo é constituído por vários materiais granulares contendo 35% ou menos de partículas com dimensão inferior a 0,074 mm. Para além disso, a fração que passa no peneiro 0,420 mm é não plástica. Prevê-se um comportamento na camada sob o pavimento de “excelente a bom”.

3.5.2 - Classificação unificada dos solos

Para classificar o Solo_Coimbra seguindo as diretrizes desta norma, é então necessário analisar a curva granulométrica. Atendendo a que mais de 50% do solo passa no peneiro 4,75 mm (passa cerca de 95% do solo), e que o C_u é inferior a 6 ($C_u=5$) e o C_c se situa entre 1 e 3 ($C_c=1,11$), o solo é classificado com o nome de grupo SP-SM – areia mal graduada com silte.

Analisando a curva granulométrica do Solo Leiria, e atendendo ao facto de que cerca de 76% do solo fica retido no peneiro com malha de 0,075mm, o solo é inicialmente enquadrado como “solo grosseiro”. Uma vez que, da fração retida no peneiro de 0,075mm, cerca de 75% passa no peneiro com malha de 4,75mm, o solo é enquadrado como sendo uma areia. Finalmente, como passam mais de 12% de partículas no peneiro com malha de 0,075mm, e os finos apresentam características (de acordo com a ASTM 2488) que se encaixam na categoria de “silte”, o solo é classificado como SM – areia com silte.

3.6 - Resistência mecânica

3.6.1 - Efeito do teor em água na resistência à compressão

Apresentam-se os resultados da resistência à compressão em função do teor em água final, para os diferentes teores em cimento. A Figura 5 ilustra a evolução da resistência à compressão simples em função do teor em água para diversos teores em cimento e tempos de cura.

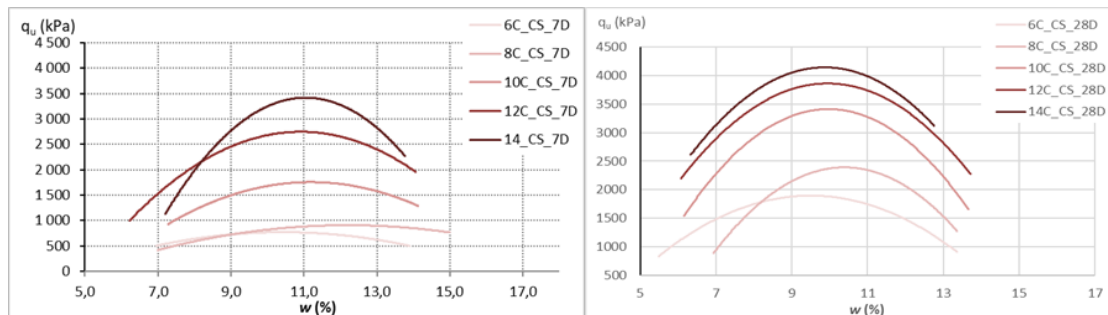


Figura 2 - Evolução da resistência à compressão simples (CS) aos 7 dias e 28 dias de idade.

Da análise da Figura 5, verifica-se que o teor em água final ao qual corresponde uma resistência à compressão simples mais elevada se situa entre os 9% e os 10%, sendo que estes provetes foram inicialmente preparados com um teor em água de 11%. Conclui-se que a crescente disponibilidade de água na mistura até esses valores percentuais exerce um papel positivo na evolução da resistência à compressão simples, possibilitando a génese de um maior número de ligações entre os minerais hidratados do cimento e as partículas do solo. Acima destes teores “ótimos”, a quantidade de água na mistura é excessiva, diminuindo provavelmente a densidade das ligações entre os minerais hidratados do ligante e o solo, traduzindo-se em resultados de compressão uniaxial simples mais reduzidos. A Figura 6 mostra a resistência à tração obtidas em ensaio de compressão diametral para diversos teores em água, teores em cimento e tempos de cura.

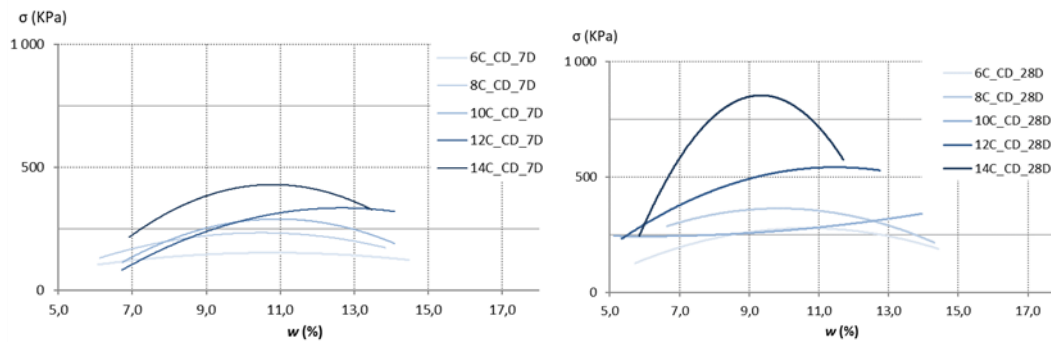


Figura 3 - Evolução da resistência à compressão diametral (CD) aos 7 dias e 28 dias de idade.

Apesar de, naturalmente, se verificarem resultados mais dispersos, sendo, por vezes, difícil definir um teor em água ao qual corresponda um comportamento mecânico mais competente, a análise dos gráficos permite concluir que existe um teor em água “ótimo” da mistura que permite a obtenção dos melhores resultados na resistência à compressão diametral. Este teor em água situa-se cerca dos 9%-11%, e demonstra, tal como mencionado nos ensaios de compressão uniaxial simples, que a crescente disponibilidade de água na mistura até aos valores “ótimos” de teor em água influencia de modo positivo a evolução da resistência à compressão diametral, culminando num maior número de ligações entre os minerais hidratados do cimento e as partículas do solo. A partir de certa altura (valores de teor em água acima dos 12%), a quantidade de água na mistura é demasiada, diminuindo provavelmente a densidade das ligações entre os minerais hidratados do ligante e o solo, refletindo-se nos valores mais baixos obtidos neste ensaio.

3.7 - Relação entre a resistência à compressão diametral e a resistência à compressão simples

Para o presente estudo, foi possível determinar uma razão entre a resistência à compressão diametral e a resistência à compressão uniaxial simples. Este valor é de 0,16, sendo semelhante aos valores obtidos por Consoli et al. [18] (aproximadamente 0,15), para uma areia oriunda de Porto Alegre, no Brasil (areia de Osorio). Segundo o mesmo autor, esta relação é útil para definição de metodologias de dosagem, uma vez que os critérios racionais podem basear-se nos resultados de um destes ensaios, dada a sua interdependência. Os resultados estão patentes na figura 7. Na figura estão representadas as relações entre σ/q_u , para todas as percentagens de cimento e de água, por exemplo: a primeira coluna cinzenta representa a relação σ/q_u calculada a partir da média de todos os provetes preparados com um teor de cimento de 6% (e todos os teores em água). A primeira coluna a azul representa a relação σ/q_u calculada a partir da média de todos os provetes preparados com um teor de água de 7% (e todos os teores de cimento).

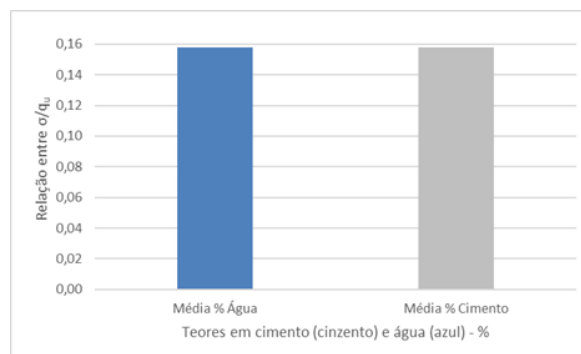


Figura 4 - Médias das relações entre σ/q_u , por teores em cimento (a cinzento), e por teores em água (a azul). À esquerda, as médias por cada teor em cimento e por cada teor em água, e à direita, a média de todos os teores em cimento (a cinzento), e a média de todos os teores em água (a azul).

5. Conclusões

A análise detalhada do Solo_Leiria demonstrou que é um solo não problemático e com características razoáveis para utilização em obras de engenharia.

Os maiores pesos volúmicos secos de todas as misturas de solo-cimento deste estudo (6% a 14%) são alcançados com teores em água iniciais entre 13% e 13,5%.

Tanto a resistência à compressão simples, como a resistência à tração aumentam com o incremento do tempo de cura.

UCS - Os ensaios realizados neste estudo mostraram que os provetes preparados com um teor em água de 11% revelaram um comportamento mecânico mais competente. Aquando do ensaio, estes provetes apresentavam um teor em água que se situava entre os 9% e os 10% e, para os teores em cimento mais elevados (10%, 12% e 14%) atingiram-se valores de resistência à compressão simples que rondam os 4000 kPa. Verifica-se ainda que, ao contrário do que é habitual no betão, os valores de resistência à compressão simples aos 7 dias de cura são muito inferiores aos valores observados em provetes de betão (75% do valor expectável aos 28 dias de cura). De facto, a resistência à compressão simples aos 7 dias de cura atinge cerca de 50% dos valores obtidos nos ensaios aos provetes com 28 dias de cura.

CD - Os ensaios de compressão diametral mostraram, tal como era expectável, uma maior variabilidade de resultados. Não obstante, verificou-se também que os teores em água “ótimos” para um solo com estas características se situam entre os 9%-11%.

Acima destes valores, em particular nos provetes com um teor em água de 15% verificou-se, invariavelmente, um decréscimo da resistência à compressão diametral. A incoerência dos valores foi mais visível nos provetes preparados com um teor em cimento mais baixo (6% e 8%), nos quais alguns dos provetes com 28 dias mostraram um comportamento semelhante e até mesmo inferior a alguns provetes com 7 dias.

Foi possível determinar uma razão entre a resistência à compressão diametral e a resistência à compressão uniaxial dos provetes estabilizados de 0,16.

5.1 - Considerações finais

Neste trabalho estudou-se a melhoria de dois solos através da estabilização com cimento Portland. Os resultados obtidos permitiram concluir que o comportamento mecânico melhorou com o tempo de cura dos provetes e com o aumento do teor de ligante. Foi ainda possível definir uma razão entre a resistência à compressão diametral e a resistência à compressão uniaxial simples. Determinou-se que existe um teor em água “ótimo” que permite obter um comportamento mecânico mais competente. Concluiu-se que existe uma razão água/cimento (w/c) “ótima” para cada teor de ligante, e que esta tende a diminuir com o aumento deste último.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado por Fundos Nacionais através da FCT/MCTES – Fundação para a Ciência e Tecnologia/Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior, no âmbito do CTAC – Centro de Território, Ambiente e Construção – UIDB/0407/2020.

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FCT/MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) no âmbito da Unidade de I&D Instituto de Sustentabilidade e Inovação em Engenharia de Estruturas (ISISE), sob a referência UIDB/04029/2020, e pelos fundos FEDER através do CENTRO 2020, PORTUGAL 2020, no âmbito do projeto CENTRO-01-0247-FEDER-047067 (Life4stone).

Referências

- [1] M. De Wit, The CIRCULARITY GAP report, no. January, 2018.
- [2] J. P. Teixeira, M. Pereira, J. A. Teixeira, Circular Economy in the Civil Construction Sector I, Lisbon and Tagus Valley Regional Coordination and Development Commission, 2019.

- [3] M. de Matos Fernandes, *Mecânica dos Solos, Conceitos e Princípios Fundam.*, 1, p. 3, 2006.
- [4] G. Zhang, C. Chen, Y. Zhang, H. Zhao, Y. Wang, X. Wang, Optimised neural network prediction of interface bond strength for GFRP tendon reinforced cemented soil, *Geomech. Eng.*, 28 (6) (2022), 599–611. <https://doi.org/10.12989/gae.2022.28.6.599>.
- [5] N. I. D. USACE, US Army Corps of Engineers National Inventory of Dams, 2000.
- [6] D. Foppa, *Análise de variáveis-chave no controle da resistência mecânica de solos artificialmente cimentados análise de variáveis-chave no controle da*, 2005.
- [7] ACI, ACI 230.1R-09. Report on Soil Cement - American concrete institute, 2009.
- [8] O. G. Ingles, J. B. Metcalf, *Soil stabilization principles and practice*, 1972.
- [9] P. J. V Oliveira, A. A. S. Correia, J. Teles, D. G. Custódio, Effect of fibre type on the compressive and tensile strength of a soft soil chemically stabilised, *Geosynth. Int.*, 23(3) (2016) 171–182.
- [10] J. Carreto, L. Caldeira, E. Maranha das Neves, Processes Involved in the Formation and Performance of Self-Hardening Slurry Walls: Santa Clara-a-Velha Monastery Cutoff Wall, *J. Geotech. Geoenvironmental Eng.*, 142(7) (2016) 4016019.
- [11] T. V LIMA, Study of the production of soil-cement blocks with raw materials from the urban core of the city of Campos dos Goytacases-RJ, Master's Thesis, Science and Technology Center/UENF Campos dos Goytacases, 2006.
- [12] C. Teixeira, G. Zbyszewski, C. T. de Assunção, G. Manuppella, Geological map of Portugal on the scale of 1/50000: Explanatory notice of the geological map 23-C, Leiria, Geological Services of Portugal, 1968.
- [13] LNEC, LNEC E 239 - *Análise Granulométrica Por Peneiração Húmida*, Portugal, 1970.
- [14] NP 143, *Determinação dos limites de consistência*, 143, 1969.
- [15] E-197-66-PROCTOR, 1966.
- [16] LNEC:240, E 240 (1971)-Soils, 1970.
- [17] ASTM D2487, ASTM:2487 -0, Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System, 2003.
- [18] N. C. Consoli, R. C. Cruz, M. F. Floss, L. Festugato, Parameters controlling tensile and compressive strength of artificially cemented sand, *J. Geotech. Geoenvironmental Eng.*, 136(5) (2010) 759–763. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000278](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000278).

ORCID

Luís Filipe Monteiro Pereira	0000-0002-8913-8836 (https://orcid.org/0000-0002-8913-8836)
Fernando José Forte Garrido Branco	0000-0002-8648-678X (https://orcid.org/0000-0002-8648-678X)
Paulo José da Venda Oliveira	0000-0001-8515-8664 (https://orcid.org/0000-0001-8515-8664)
Pedro Santarém Andrade	0000-0002-6776-991X (https://orcid.org/0000-0002-6776-991X)