

## **NOVOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS DE CORRELAÇÕES ENTRE O ENSAIO STANDARD PENETRATION TEST (SPT) E O PENETRÓMETRO DINÂMICO SUPER PESADO (DPSH)**

### **NEW EXPERIMENTAL RESULTS OF CORRELATIONS BETWEEN THE STANDARD PENETRATION TEST (SPT) AND THE SUPER HEAVY DYNAMIC PENETROMETER (DPSH)**

Destefano, Victor do Carmo, Estudante do *Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal, Email: [victordestefano@live.com](mailto:victordestefano@live.com)\**  
Morais, Hermínia Maria Mesquita, *Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal, Email: [hmorais@ipb.pt](mailto:hmorais@ipb.pt)*  
Paula, António Miguel, *Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal, Email: [mpaula@ipb.pt](mailto:mpaula@ipb.pt). <https://orcid.org/0000-0003-4788-8644>*

#### **RESUMO**

Este estudo pretende apresentar e correlacionar os resultados dos ensaios Standard Penetration Test (SPT) e Penetrómetro Dinâmico Superpesado (DPSH), realizados em diferentes solos da região do nordeste transmontano. Ao submeter os solos dos campos experimentais a ensaios in situ e de laboratório, foi reunido um importante conjunto de informações, relacionadas ao solo analisado e aos equipamentos utilizados, podendo ser fonte de informação útil a futuras investigações. Este trabalho é uma continuação do trabalho desenvolvido no laboratório de geotecnia do Instituto Politécnico de Bragança. As relações obtidas entre os ensaios ( $N_{SPT}/N_{DPSH}$ ) estão entre 0,97 e 1,35, e o valor do coeficiente de determinação linear ( $R^2$ ) varia entre 0,79 e 0,99, próximos da unidade, indicando uma boa correlação entre os resultados dos ensaios.

#### **ABSTRACT**

This work intends to present and correlate the results of the Standard Penetration Test (SPT) and Superheavy Dynamic Penetrometer Test (DPSH), carried out in different soils in the north-eastern of Portugal. By submitting the soil to in situ and laboratory tests. Important information is gathered, which could be a useful source of information for future investigations. This work is a continuation of previous works carried out in the geotechnical laboratory of the Polytechnic Institute of Bragança. The ratios obtained between the tests ( $N_{SPT}/N_{DPSH}$ ) range from 0.97 to 1.35, and the coefficient of determination ( $R^2$ ) value ranges from 0.79 to 0.99, which indicates a good correlation between the results of the tests.

#### **1. INTRODUÇÃO**

Existe um vasto conjunto de ensaios para a caracterização mecânica de maciços terrosos, quer de campo (in situ) quer de laboratório. No entanto, devido aos problemas relacionados com a recolha de amostras indeformadas e em particular em solos incoerentes, os ensaios in situ, tornam-se indispensáveis, permitindo testar o solo nas suas condições naturais.

Este estudo tem como objetivo principal correlacionar os resultados obtidos por ensaios efetuados com o Penetrómetro Dinâmico Superpesado, DPSH, com o Standard Penetration Test, SPT, utilizando os equipamentos disponíveis no Laboratório de Geotecnia do Instituto Politécnico de Bragança. Pretende-se demonstrar a importância e as vantagens da associação dos ensaios SPT e DPSH, tecendo considerações a respeito da caracterização geotécnica do solo, reunindo informações sobre os terrenos analisados e as características dos equipamentos utilizados.

Em Portugal, diversos autores estudaram a correlação entre estes dois ensaios, designadamente Fonseca (1996), Fonseca et al. (2000), Cavaleiro (2001) e Martins e Miranda (2003) e Afonso (2016) entre outros. Assim, é prática corrente relacionar os valores resultantes do ensaio DPSH ( $N_{DPSH}$ ) com os valores do SPT ( $N_{SPT}$ ). Como referido por Afonso (2016) a associação entre os ensaios é frequente nas campanhas de caracterização geotécnica de áreas com alguma dimensão, permitindo combinar uma malha mais reduzida de ensaios SPT executados dentro de furos de sondagens, com outra mais apertada de ensaios DPSH, mais rápidos e económicos de executar, resultando numa caracterização mais completa do terreno.

O presente estudo, é uma atualização dos resultados obtidos por Afonso (2016) e pretende apresentar novos resultados de correlações entre os ensaios SPT e DPSH realizados no nordeste transmontano.

## 2. EQUIPAMENTO, ENSAIOS E ANALISE UTILIZADA

Os ensaios de penetração SPT e DPSH foram realizados em conformidade aos procedimentos de execução descritos nas normas EN ISO 22476-3: 2006 e EN ISO 22476-2:2005 respectivamente. O equipamento utilizado foi o penetrómetro dinâmico portátil de lagartas, do Laboratório de Geotecnia do Instituto Politécnico de Bragança, ilustrado na Figura 1.



Figura 1 - Penetrómetro Dinâmico do Laboratório de Geotecnia do Instituto Politécnico de Bragança

Segundo a norma EN ISO 22476-2:2005, os ensaios de penetração dinâmica são subdivididos de acordo com seus níveis energéticos, determinado pelas características do equipamento conforme o Quadro 1. O equipamento em análise possui um martelo

de 64kg de peso e uma altura de queda de 760 mm correspondendo ao dispositivo de ensaio de penetração dinâmica super pesada DPSH-B.

Quadro 1 - Características de referência dos penetrómetros dinâmicos segundo a norma EN ISO 22476-2:2005

Dispositivos para ensaios de penetração dinâmica	Símb.	Un.	DPL (ligeiro)	DPM (médio)	DPH (pesado)	DPSH (super pesado)	
						DPSH-A	DPSH-B
Dispositivo de queda							
Massa do martelo, M	m	kg	10±0,1	30±0,3	50±0,5	63,5±0,5	63,5±0,5
Altura de queda, H	h	mm	500±10	500±10	500±10	500±10	750±20
Cone							
Área nominal da base	A	cm <sup>2</sup>	10	15	15	16	20
Diâmetro da base, nova	D	mm	35,7±0,3	43,7±0,3	43,7±0,3	45,0±0,3	50,5±0,5
Comprimento da camisa	L	mm	35,7±1	43,7±1	43,7±1	90,0±2	51,0±2
Varas							
Massa (máx.)	m	kg/m	3	6	6	6	8
Diâmetro exterior (máx.)	D	mm	22	32	32	32	35
Energia específica por pancada	E <sub>n</sub>	kJ/m <sup>2</sup>	50	100	167	194	238

Ao observar as características do ensaio SPT na norma EN ISO 22476-3: 2006, e compará-las ao ensaio DPSH verifica-se que ambos os dispositivos de queda, em termos de massa do martelo e altura de queda são semelhantes, o que proporciona semelhanças também a energia cinética utilizada em ambos ensaios.

Entretanto, as ponteiros, que estão em contato direto ao solo, apresentam as principais divergências entre os ensaios, as quais propiciam também as características específicas dos ensaios. O SPT tem objeto de ponta denominado amostrador de Terzaghi, conta com uma câmara interna, que recolhe amostras do solo para análise laboratorial, mas, não permite a realização de um perfil contínuo sendo necessário a interrupção para a recolha do material, que pode incluir material remexidos.

Em contraste, a ponteira cônica utilizada no ensaio DPSH proporciona um registo contínuo da resistência do solo em profundidade, tornando-o mais adequado para identificar eventuais irregularidades do subsolo.

O registo do número de pancadas no ensaio DPSH é realizado a cada 20 cm ( $N_{DPSH}$ ), enquanto o SPT se realiza a cada 1,0 m ou 1,5 m, com uma penetração do amostrador de 30 cm ( $N_{SPT}$ ), sendo que os resultados apresentados das relações entre o número de pancadas dos dois ensaios têm em consideração a razão entre aqueles dois comprimentos.

A relação entre os resultados dos ensaios SPT e DPSH pode ser estabelecida em termos de energia específica de penetração, que representa a energia específica do martelo por unidade de área da secção da ponteira do DPSH ou do amostrador de Terzaghi, para o ensaio SPT.

Nesse caso, a área de secção do amostrador de Terzaghi pode ser entendida de duas maneiras distintas: considerando apenas a secção transversal do amostrador ( $S=1080$  mm<sup>2</sup>); ou em determinado ponto de profundidade, onde o amostrador possui material recolhido e o solo dentro do amostrador passa a exercer alguma reação ao processo

de cravação, considerando assim a área conjunta de secção do amostrador e do solo recolhido ( $S=2040 \text{ mm}^2$ ).

Ao obter as relações energéticas, pode-se ter os seguintes limites teóricos entre o ensaio SPT e o DPSH, de acordo com a seguinte expressão:

$$0,8 < \frac{N_{SPT}}{N_{DPSH}} < 1,5 \quad [1]$$

Ao observar ensaios em solos residuais de granito, Fonseca et al. (2000) indicou que o valor de  $N_{SPT}/N_{DPSH}$  tende a ser significativamente superior a 1,5 para valores de  $N_{SPT}$  superiores a 20 pancadas.

### 3. CAMPOS EXPERIMENTAIS E CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS

#### 3.1. Localização

Foram realizados ensaios em 4 campos experimentais, um pertencente ao Matadouro de Bragança designado Campo Experimental 1, outro pertencente a Estação de Tratamento de Água de Bragança, localizado na freguesia de França indicado como Campo Experimental 2, o Campo Experimental 3 é localizado na Rua do Seixagal em Bragança e finalmente o Campo Experimental 4 situa-se na Rua da Serra no Município de Vila Flor, localizado ao sul do distrito de Bragança.

Na Figura 2, encontra-se representado o enquadramento dos dois locais seleccionados na cidade de Bragança e o campo experimental 2 localizado na freguesia de França, e por fim na Figura 3 encontra-se a localização do Campo Experimental 4 em Vila Flor.



Figura 2 - Localização dos Campos Experimentais em Bragança e Freguesia de França



Figura 4 – Localização do Campo Experimental 4 em Vila Flor

Nos quatro campos experimentais os solos intercetados pelos ensaios são solos residuais do granito muito alterados.

### 3.2. Características Geotécnicas dos Solos Ensaçados

A caracterização geotécnica do solo foi obtida através das amostras remexidas dos solos intersetados, recolhidas pelo ensaio SPT, sendo posteriormente identificados no laboratório de geotecnia do Instituto Politécnico de Bragança. Para a caracterização geotécnica foram realizados ensaios de identificação, nomeadamente a composição granulométrica e quando possível determinar, os limites de consistência.

#### 3.2.1. Campo Experimental 1

Através das análises granulométricas das 11 amostras de solo colhidas em 3 zonas prospetadas, identificou-se um solo predominantemente arenoso, contendo aproximadamente 41% de argila e silte, 44% de areia e 15% de seixo. Segundo a classificação unificada de solos ASTM D 2487-85, o solo é uma areia siltosa com seixo, ou areias argilosas (classificação unificada **SM** ou **SC**). O diâmetro médio das partículas,  $D_{50}$ , varia entre 0,1 e 0,2 mm.

#### 3.2.2. Campo Experimental 2

As análises granulométricas das 4 amostras colhidas em duas zonas prospetadas, identificou que o solo é predominantemente composto por seixo, contendo aproximadamente 26% de argila e silte, 29% de areia e 45% de seixo. Segundo a classificação unificada de solos, trata-se de solo predominante cascalhento com areia e silte, podendo ser classificado como cascalho siltoso com areia ou cascalho argiloso com areia (classificação unificada **GM** ou **GC**). O diâmetro médio das partículas,  $D_{50}$ , varia entre 1 e 2 mm.

#### 3.2.3. Campo Experimental 3

As análises granulométricas das 15 amostras colhidas em 7 zonas prospetadas, identificou que o solo é predominantemente argiloso, contendo aproximadamente 48% de argila e silte, 27% de areia e 25% de seixo. Segundo a classificação unificada de solos, trata-se de uma areia argilosa com cascalho ou areia siltosa com cascalho (classificação unificada **SC** ou **SM**). O diâmetro médio das partículas,  $D_{50}$ , varia entre 0,1 e 0,2 mm.

#### 3.2.4. Campo Experimental 4

Pela análise granulométrica de 4 amostras colhidas em duas das zonas prospetadas, o solo é predominantemente argiloso, contendo aproximadamente 47% de argila e silte, 29% de areia e 24% de seixo. Segundo a classificação unificada de solos, trata-se de cascalho siltoso com areia ou cascalho argiloso com areia (classificação unificada **GM** ou **GC**). O diâmetro médio das partículas,  $D_{50}$ , varia entre 0,1 e 0,2 mm.

#### 3.2.5. Resumo Geral da Classificação e Compacidade do Solo dos Campos Experimentais

Apresenta-se no Quadro 2 um resumo dos resultados dos ensaios de laboratório, quanto à classificação e compacidade das amostras recolhidas nos campos experimentais.

Quadro 2 – Classificação e Compacidade do Solo dos Campos Experimentais

Campo Experimental	Classificação do solo ASTM D 2487-85		Compacidade
1	SM ou SC	Areia siltosa com cascalho ou Areia argilosa com cascalho	Mediamente compacta
2	GM ou GC	Cascalho siltoso com areia ou Cascalho argiloso com areia	Mediamente compacta
3	SM ou SC	Areia siltosa com cascalho ou Areia argilosa com cascalho	Mediamente compacta
4	GM ou GC	Cascalho siltoso com areia ou Cascalho argiloso com areia	Solta

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Resultados dos Campos Experimentais Analisados

Observando as correlações apresentadas na literatura nacional e internacional verifica-se que a grande maioria são correlações lineares do tipo  $y = k \cdot x$ . No caso em estudo, foi adotado como variável dependente o valor  $N_{SPT}$ , e como variável independente o valor  $N_{DPSH}$ .

Seguindo o proposto nos estudos de Afonso (2016), nos casos em que as profundidades não coincidiram, calculou-se a média entre os dois valores de  $N_{20}$ , anterior e posterior à profundidade pretendida.

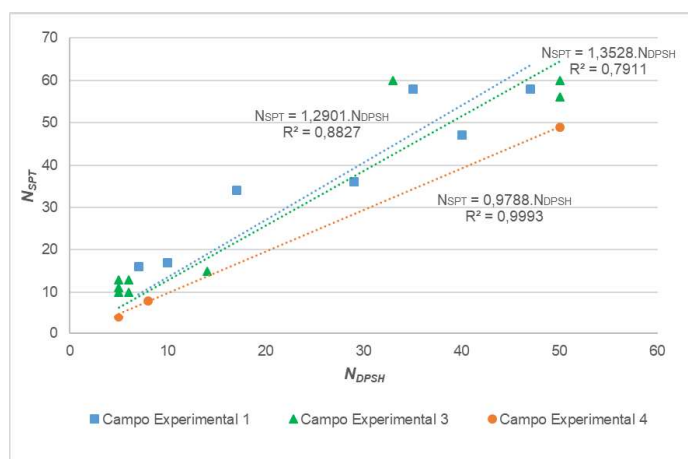
Do exposto, os resultados dos dois ensaios no Campo Experimental 2 não são correlacionáveis. As correlações estimadas não são validadas por que o coeficiente de determinação,  $R^2$  é negativo, o que levou a desconsideração das correlações obtidas neste campo.

Quadro 3 – Regressões Lineares Referentes aos Dados dos Ensaios SPT e DPSH

Local	$k = N_{SPT}/N_{DPSH}$	$R^2$
Campo Experimental 1	1,35	0,79
Campo Experimental 2	2,13	-0,58
Campo Experimental 3	1,29	0,88
Campo Experimental 4	0,97	0,99

Os motivos que impossibilitam a correlação podem ser diversos, desde erros humanos e de equipamentos na execução, a simples falta de dados pelo pequeno número de ensaios, a solução seria a obtenção de mais dados, com a realização de novos ensaios para a determinação de uma correlação válida.

A Figura 5 demonstra as regressões lineares dos campos analisados, juntamente com o valor obtido para o parâmetro de correlação, excluindo o Campo Experimental 2, onde não foi possível determinar correlação como anteriormente referido.

Figura 5 – Regressão Linear entre  $N_{SPT}$  e  $N_{DPSH}$  dos Campos Experimentais Analisados

## 4.2. Análise Comparativa dos Resultados

### 4.2.1. Análise Relativa às Condições de Afonso (2016)

Apresentar comparativamente os resultados obtidos nas correlações com outros autores pode ser positivo para a confirmação das correlações. Na região norte de Portugal, no município de Bragança, Afonso (2016) utilizou o mesmo equipamento e de certa proximidade entre os campos experimentais ensaiados para a determinação das suas correlações, conforme indicado na Figura 6.

Os fatores de correlações ( $k$ ), determinados em ambos os trabalhos seguem metodologias semelhantes, entretanto em relação aos fatores de determinação ( $R^2$ ) verificam-se alterações devido a adoção de uma outra metodologia, que foi aplicada aos resultados propostos por Afonso (2016), conforme indicado no Quadro 4.

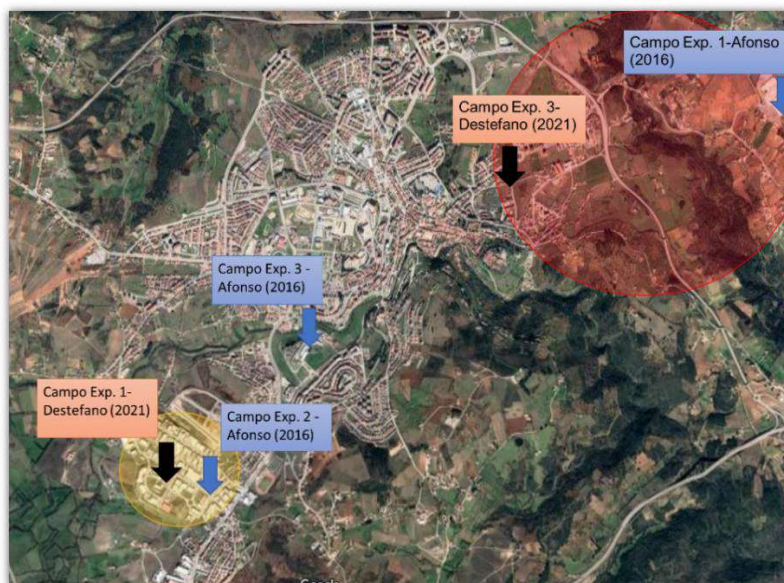


Figura 6 – Localização dos Campos Experimentais do Município de Bragança, por Afonso (2016) e Destefano (2021)

Quadro 4 – Análise Comparativa Entre as Relações Propostas por Afonso (2016)

Campo Experimental	Solos	Compacidade	$k$	$R^2$
1 - Afonso (2016)	SM	Densa a muito densa	1,51	0,41
2 - Afonso (2016)	SM ou SC	Medianamente densa a muito densa	1,48	0,79
3 - Afonso (2016)	SM ou SC	Medianamente densa a muito densa	0,70	0,59
1	SM ou SC	Medianamente densa	1,35	0,79
3	SM ou SC	Medianamente densa	1,29	0,88
4	GM ou GC	Solta	0,97	0,99

Nota-se uma proximidade entre os campos experimentais 1-Afonso e o Campo 3, onde respectivamente se obteve 1,51 e 1,29 para o fator de correlação.

Com uma distância entre campos próximos apresentam-se os Campos Experimentais 2-Afonso e o Campo 1, onde para os fatores de correlação se obtém respectivamente os valores de 1,48 e 1,35. Para além da proximidade dos fatores de correlação, nota-se a proximidade das características dos solos analisados, como tipo e compacidade.

#### 4.2.2. Análise Comparativa aos Limites Teóricos Propostos por Fonseca (1996)

Como descrito por Fonseca (1996), valores baixos de  $N_{SPT}$  correspondem a níveis baixos de confinamento, o que leva a uma aproximação do limite teórico inferior de 0,8. Esta relação pode ser observada no Campo Experimental 4, em que o solo apresenta uma compacidade solta e o fator de correlação  $k$  é de 0,97.

Fonseca (1996) indicou também que a relação tende a ser superior a 1,5 para solos residuais de granito e quando os valores do  $N_{SPT}$  são superiores a 20. Em alguns pontos deste estudo, a relação apresenta elevada dispersão dos valores obtidos e por vezes superior a 1,5 mesmo com resultados do valor do  $N_{SPT}$  inferiores a 20 pancadas.

Entretanto, se consideramos as correlações obtidas para cada Campo Experimental, é notável a adequação aos limites teóricos, onde os três campos analisados apresentam valores  $k$  de 0,97 a 1,35 dentro dos limites teóricos propostos de 0,8 a 1,5.

## 5. CONCLUSÃO

As semelhanças entre a técnica e os resultados dos ensaios Standard Penetration Test (SPT) e Penetrómetro Dinâmico Super Pesado (DPSH) favorecem a determinação de correlações. Estas correlações, por sua vez, apresentam padrões entre o valor da correlação ( $k$ ) e as características dos solos analisados, como a compactidade e a classificação do solo, apesar dessas características não serem determinantes para a correlação, elas aparentam ser um bom indicativo para se obter um valor significativo de correlação.

Por esse motivo e para o desenvolvimento futuro, seria de grande interesse a realização de novos ensaios, sendo recomendável que as correlações obtidas estejam também relacionadas a aspetos do solo, além da diversificação dos solos prospetados que deve ajudar a compreender como as correlações podem se comportar, uma vez que os fatores de divergência entre os resultados das correlações indicam estar relacionados ao grau de consolidação do solo e também ao solo analisado.

É notável que a proximidade entre os campos analisados indicou valores de correlação próximos, o que pode ser entendido como um indicativo positivo para a sua utilização. Entretanto ressalta-se que o uso das correlações obtidas não são aplicáveis a outros tipos de solos ou outros equipamentos, caso contrário pode levar a resultados incorretos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores não poderiam deixar de agradecer a contribuição do Laboratório de Geotecnia do Instituto Politécnico de Bragança, pelo apoio na realização dos ensaios laboratoriais e in situ.

## REFERÊNCIAS

- Afonso, André Filipe Gonçalves (2016). Correlações entre resultados de ensaios in situ de penetração dinâmica DP com o ensaio Standard Penetration Test, Tese de Mestrado, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança.
- Cavaleiro, V. M. P. (2001). Correlação entre o Ensaio de Penetração Dinâmica Super Pesado (DPSH) e o Ensaio de Penetração Dinâmica Normalizado (SPT) em Solos Graníticos da Covilhã. Universidade da Beira Interior, Covilhã.
- EN ISO 22476-2 Geotechnical investigation and testing. Field testing. Part 2: Dynamic probing.
- EN ISO 22476-3 Geotechnical investigation and testing. Field testing. Part 3: Standard penetration test.
- Fonseca, A. Viana da (1996). Geomecânica dos Solos Residuais do Granito do Porto. Critérios para Dimensionamento de Fundações Diretas. Dissertação de Doutoramento, FEUP, Porto.
- Fonseca, A. Viana et al. (2000). Caracterização Geotécnica de um troço de Túnel 1-Porto, VII Congresso Nacional de Geotecnia, Porto.
- Martins, Júlio Barreiros e Miranda, Tiago F. S (2003). Ensaios de penetração nos solos graníticos da região norte de Portugal: Algumas correlações. Engenharia Civil, Universidade do Minho N.17, 2003. <https://hdl.handle.net/1822/2547>