

## RELATÓRIO GEOTÉCNICO

### Avaliação e Capacidade Resistente do Solo de Fundação

**Ensaio com Penetrómetro Dinâmico Super Pesado (DPSH)**

**Compacidade “in situ” (Avaliação da Compactação com Célula Radioativa)**

**Prospecção Geotécnica em Poços de Prospecção**



**ENTIDADE:** Instituto Politécnico de Bragança

**OBRA:** "Residência Nova do Instituto Politécnico de Bragança - Mirandela."

**LOCAL:** Instituto Politécnico de Bragança – Avenida 25 de Abril – Mirandela

Bragança, 27 de setembro de 2022

**Autores do relatório:**

**Responsável:** Prof. António Miguel Verdelho Paula

**Técnica Superior de Laboratório:** Eng. Hermínia Morais

\* - Instituto Politécnico de Bragança

## Índice

1	Introdução .....	3
2	Trabalhos realizados .....	3
2.1	Ensaio DPSH - Penetrómetro Dinâmico Superpesado (DPSH - Dynamic Penetration Super-Heavy) .....	4
2.2	Ensaio de compactação “Proctor” .....	5
2.3	Ensaio de compactação com a célula radioativa (Gamadensímetro Nuclear).....	6
2.4	Inspeção visual em poços de prospeção .....	7
3	Análise preliminar dos resultados de caracterização geotécnica .....	8
3.1	Identificação, classificação e compacidade.....	8
3.2	Resultados dos ensaios do penetrómetro dinâmico superpesado, DPSH.....	10
4	Considerações finais .....	13
	Bibliografia .....	14

# RELATÓRIO TÉCNICO

## 1 Introdução

Requerido pelo Instituto Politécnico de Bragança, procedeu-se à realização de três ensaios com Penetrómetro Dinâmico Superpesado DPSH (Dynamic Penetration Super-Heavy), ensaios de caracterização da compactação “*in-situ*” e poços de prospeção geotécnica para identificação e caracterização geotécnica no local de implantação da futura “Residência Nova do Instituto Politécnico de Bragança - Mirandela.”, (ver Figura 1).

Para a caracterização geotécnica do aterro foram realizados ensaios de campo e de laboratório. Os trabalhos foram efetuados e acompanhados por um corpo técnico especializado, recorrendo a equipamentos devidamente calibrados/verificados em conformidade com as normas em vigor.

Na Figura 1 está representada a localização da zona em estudo.

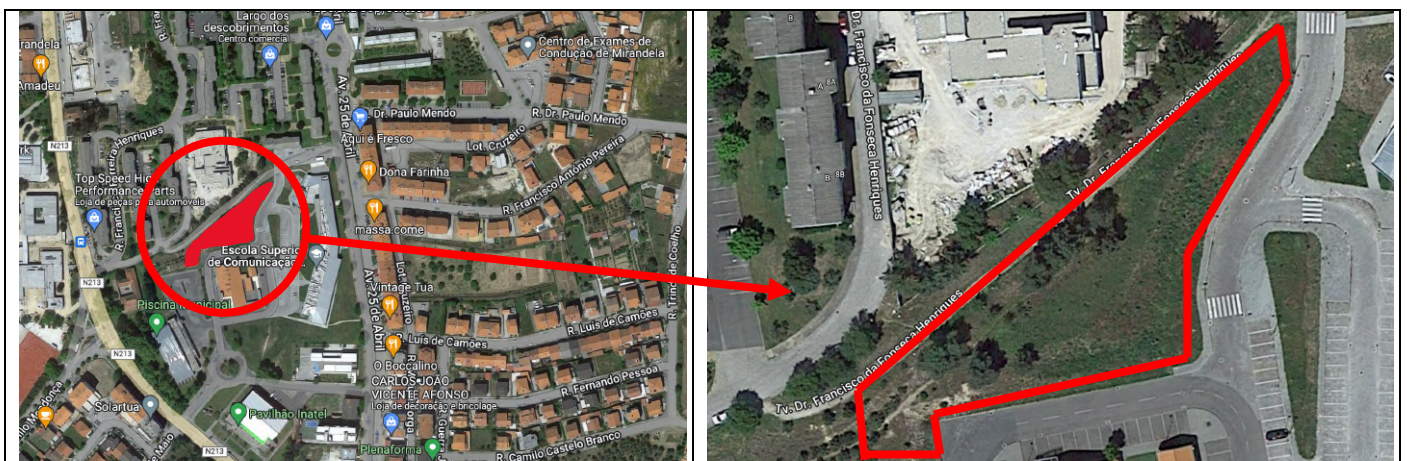


Figura 1 – Vista aérea do local da obra (imagens do Google Maps).

## 2 Trabalhos realizados

O estudo de caracterização geotécnica foi realizado no dia 20 de setembro de 2022 e consistiu, na realização de três ensaios DPSH - Penetrómetro Dinâmico Super Pesado, três pontos de caracterização da compactação com o gamadensímetro nuclear à superfície do terreno, recolha de amostras de solo em três poços de prospeção e posterior caracterização e identificação do solo em laboratório. A Figura 2 ilustra o local de realização dos trabalhos de prospeção e do equipamento de perfuração.

O plano de trabalhos de caracterização geotécnica do aterro foi definido pela Equipe Projetista e pelo Laboratório de Geotecnia do Instituto Politécnico de Bragança.

Os pontos de realização dos ensaios DPSH, pontos de caracterização da compactação com o gamadensímetro e dos poços de prospeção geotécnica encontram-se representados no Desenho nº1 do Anexo I.



**Figura 2** – Local de realização dos ensaios e equipamento de perfuração.

## 2.1 Ensaio DPSH - Penetrómetro Dinâmico Superpesado (DPSH - Dynamic Penetration Super-Heavy)

O ensaio DPSH consiste na cravação de uma ponteira normalizada no terreno, com o objetivo de aferir a resistência dinâmica aparente e a tensão admissível (ver Figura 3).

### Penetrómetro dinâmico (Dynamic probing tests - DP)

Existem diferentes versões do ensaio em função da massa utilizada:

- Dynamic probing light - DPL (m=10kg)
- Dynamic probing medium - DPM (m=30kg)
- Dynamic probing heavy - DPH (m=50kg)
- Dynamic probing super heavy - DPSH (m=63,5kg)



**Figura 3** – Ensaio com penetrómetro dinâmico (DP). Equipamento de ensaio do Instituto Politécnico de Bragança.

O ensaio DPSH consiste na determinação do número de golpes ( $N$ ) de um martelo ou pilão de massa ( $M$ ) em queda livre de uma altura ( $H$ ) sobre o conjunto constituído, de cima para baixo por um batente, um trem de varas e uma ponta cónica (cujas base tem área  $A$ ), para que ocorra determinado comprimento de penetração ( $L$ ). O diâmetro das varas é inferior ao da base do cone da ponta donde resulta a resistência à penetração apenas de forças de reação do terreno sobre a superfície cónica da ponta.

A resistência à penetração é definida como o número de pancadas necessárias para cravar o penetrómetro de uma dada distância (10 ou 20 cm) –  $N_{10}$  ou  $N_{20}$ . É efetuado um registo contínuo e não existe recolha de amostra.



**Figura 4** – Vara e ponteira usada no DPSH

Os ensaios DPSH foram realizados segundo a norma “Geotechnical investigation and testing – Field testing – Part 2: Dynamic probing: EN ISO 22476-2 2005 (en)”. A localização dos 3 pontos realizados com o Penetrómetro Dinâmico Super - Pesado (DPSH) encontram-se no Desenho nº1 do Anexo I, os resultados dos ensaios encontram-se no Anexo II.

## **2.2 Ensaio de compactação “Proctor”**

O ensaio de compactação PROCTOR, consiste na determinação do teor em água ótimo e o peso volúmico seco máximo, para cada energia de compactação aplicada ao solo. O ensaio de compactação, para além de outras aplicações, permite fixar um termo de comparação com peso volúmico seco máximo e humidade do solo *in situ* e assim, obter o valor do grau de compactação/ densidade do solo no seu estado natural.

A preparação da amostra e execução do ensaio seguiu o previsto na Especificação do LNEC E197-1966 – SOLOS: Ensaio de compactação. A amostra foi moldada em moldes grandes com compactação pesada. Esta compactação fez-se em 5 camadas com 55 pancadas cada uma delas, através de compactador automático. A correção da amostra foi feita segundo a norma ASTM D 4718-87 (2001) – Standard Practice for Correction of Unit Weight and Water Content for Soils Containing Oversize Particles.

Para cada provete ensaiado foi retirado o valor do teor em água, segundo a Norma NP84 – 1965 e o peso volúmico seco máximo do solo. Estes valores foram anotados em gráfico permitindo determinar e traçar a curva de baridade seca – teor em água, e achar o ponto máximo da curva, que corresponde aos valores ótimos desejados.

O resultado do ensaio efetuado encontra-se no Anexo II, sendo, no entanto, de destacar os seguintes valores finais apresentados no Quadro 1.

**Quadro 1** – Valores de compactação Proctor.

	Solo PI1	Solo PI2	Solo PI3
Baridade seco máximo do solo ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2,030	1,940	1,980
Peso volúmico seco máxima do solo ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )	19,91	19,02	19,42
Teor em água ótimo (%)	10,0	11,0	10,0

### 2.3 Ensaio de compactação com a célula radioativa (Gamadensímetro Nuclear).

O ensaio com a célula radioativa em campo permite determinar o teor em água e o peso volúmico do solo. Este ensaio tem como objetivo a comparação entre os valores obtidos em laboratório através do Ensaio de Compactação Proctor e os valores *in situ* obtidos através da célula radioativa.

Em campo (no aterro/solo de fundação), foram realizados três ensaios com célula radioativa, devidamente identificados no Desenho 1 do Anexo I. Os resultados dos ensaios efetuados encontram-se no Anexo II.

Como referido atrás, o valor do peso volúmico seco máximo do solo à superfície do PI1 é de 19,91 ( $\text{kN}/\text{m}^3$ ) e o teor de humidade ótima de 10,0%. Em campo, obteve-se um peso volúmico seco de 18,35 ( $\text{kN}/\text{m}^3$ ), teor em água de 5,5%, correspondendo a um grau de compactação do solo à superfície de 92,16%.

Para o solo à superfície no PI2 o valor do peso volúmico seco máximo é de 19,50 ( $\text{kN}/\text{m}^3$ ) e o teor de humidade ótima de 11,0%. Em campo, obteve-se um peso volúmico seco de 18,40 ( $\text{kN}/\text{m}^3$ ), teor em água de 5,3%, correspondendo a um grau de compactação de aterro de 94,36%.

Para o solo à superfície no PI3 o valor do peso volúmico seco máximo é de 19,50 ( $\text{kN}/\text{m}^3$ ) e o teor de humidade ótima de 10,0%. Em campo, obteve-se um peso volúmico seco de 17,17 ( $\text{kN}/\text{m}^3$ ), teor em água de 4,5%, correspondendo a um grau de compactação de aterro de 88,05%.

De referir que este grau de compactação se refere à densidade do solo à superfície. Os valores obtidos não refletem a densidade/compacidade do solo em profundidade, como será observado nos resultados do ensaio DPSH em profundidade.

## 2.4 Inspeção visual em poços de prospeção

A inspeção visual dos solos foi efetuada através da abertura de três poços de prospeção até aproximadamente 1,50 metros de profundidade no Poço 1, 2 e 3, com uma máquina escavadora, permitindo deste modo o acesso a um técnico para realizar uma inspeção visual das paredes e fundo do poço e recolher amostras deformadas representativas do solo. O solo colhido posteriormente é usado para se proceder à sua identificação e classificação em laboratório. Os poços são meios de prospeção que têm como vantagem poder-se efetuar a inspeção visual do terreno atravessado; facilidade em colher amostras deformadas em quantidade considerável, qualquer que seja o tipo de solo.

Os poços de inspeção foram identificados como PI1, PI2 e PI3, ver no Desenho 1 do Anexo I. Na Figura 5 estão ilustrados os dois poços de inspeção realizados e o aspeto do solo intersectado.



**Figura 5** – Poços de prospeção: a) PI1; b) PI2; c) PI3

O resultado do ensaio de identificação e caracterização dos solos intersectados nos poços de prospeção, PI, encontra-se no Anexo II.

### 3 Análise preliminar dos resultados de caracterização geotécnica

#### 3.1 Identificação, classificação e compactidade

Os resultados dos ensaios de identificação e caracterização do solo de fundação colhidos nos poços de prospeção encontram-se no Anexo II. Para facilitar a leitura, no Quadro 2, estão apresentados, resumidamente, os principais parâmetros dos ensaios realizados: composição granulométrica do solo; classificação unificada; teor em água e peso volúmico seco; e grau de compactação.

Da análise dos resultados obtidos é possível verificar que o material existente na camada superficial do aterro na zona PI1, é um solo grosso, cascalho bem graduado com silte, sendo a percentagem de cascalho cerca de 58% e o diâmetro médio das partículas ( $D_{50}$ ) é cerca de 5 mm, na zona do PI2, é um solo grosso, cascalho bem graduado com silte, sendo a percentagem de cascalho cerca de 58% e o diâmetro médio das partículas ( $D_{50}$ ) é cerca de 5 mm, e na zona do PI3, é um solo grosso, cascalho mal graduado com silte e areia, sendo a percentagem de cascalho cerca de 71% e o diâmetro médio das partículas ( $D_{50}$ ) é cerca de 20 mm.

**Quadro 2** – Principais parâmetros de identificação e caracterização do solo da plataforma do aterro.

Ponto de ensaio	Composição Granulométrica									Classificação do Solo ASTM D 2487-85	
	% Seixo	% Areia	% Silte	% Argila	$D_{m\acute{a}x}$ (mm)	$D_{60}$ (mm)	$D_{50}$ (mm)	$D_{30}$ (mm)	$D_{10}$ (mm)		
PI1	58.0	23.0	19.0		76.1	15.0	5.0	0.4	s.d.	GM	Cascalho siltoso com areia
PI2	58.0	24.0	18.0		76.1	10.0	4.5	0.4	s.d.	GM	Cascalho siltoso com areia
PI3	71.0	18.0	11.0		90.0	25.0	20.0	2.0	s.d.	GP-GM	Cascalho mal graduado com silte e areia

Continuação do Quadro 2

Poço de inspeção	Cota da boca do furo (m)	Resultados do ensaio Proctor		Resultados do ensaio com célula radioativa		Grau de compactação "in situ" (%)
		$\gamma_{dm\acute{a}x}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$w_{opt}$ (%)	$\gamma_{d \text{ in situ}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$w_{in situ}$ (%)	
PI1	236.33	19.91	10.0	18.35	5.5	92.2
PI2	244.00	19.50	11.0	18.40	5.3	94.4
PI3	246.01	19.50	10.0	17.17	4.5	88.1

Legenda do Quadro 1

- $D_i$  - Diâmetro correspondente a  $i\%$  de passados
- $w_{natural}$  (%) - Teor em água natural
- $\gamma_{dm\acute{a}x}$  (kN/m<sup>3</sup>) - peso específico seco máximo
- $w_{opt}$  - teor em água ótimo
- $\gamma_{d \text{ in situ}}$  - peso específico seco in situ
- $w_{in situ}$  - teor em água in situ
- n. d. - nada a dizer
- s. d. - sem dados

Procedeu-se em seguida à classificação do solo do aterro segundo a classificação unificada (ASTM D2487-85), classificação segundo a AASHTO M145-42 e Classificação LCPC/ SETRA. Os resultados da

classificação são apresentados em seguida para os três tipos de solo. As tabelas de classificação encontram-se no Anexo II.

**Solo S1 - PI1:**

- Classificação unificada (ASTM D2487-85): [GM] – Solo grosso, cascalho siltooso com areia segundo a classificação unificada ASTM. São solos semi-permeáveis a impermeáveis, boa a razoável resistência ao corte e muito baixa a desprezável compressibilidade quando compactados e saturados. Boa trabalhabilidade como material de construção. Segundo o MACOPAV é um solo admissível em aterro e em leito de pavimento.

- Classificação segundo a AASHTO M145-42: [A-1-b (0)] - Solos de materiais granulares, predominantemente constituído por areia grossa, com ou sem material aglutinante bem graduado.

- Classificação LCPC/ SETRA: [C<sub>2</sub>(B<sub>5</sub>)] - Segundo a classificação francesa LCPC/SETRA classificam-se como materiais angulosos cuja proporção da fração 0/50 mm é menor que 60 a 80%. A fração 0/50mm é um solo da classe B, cuja percentagem que passa no peneiro nº 200 está compreendida entre 5% e 35%.

**Solo S2 – PI2:**

- Classificação unificada (ASTM D2487-85): [GM] – Solo grosso, cascalho siltooso com areia segundo a classificação unificada ASTM. São solos semi-permeáveis a impermeáveis, boa a razoável resistência ao corte e muito baixa a desprezável compressibilidade quando compactados e saturados. Boa trabalhabilidade como material de construção. Segundo o MACOPAV é um solo admissível em aterro e em leito de pavimento.

- Classificação segundo a AASHTO M145-42: [A-1-b (0)] – Solos de materiais granulares, predominantemente constituído por areia grossa, com ou sem material aglutinante bem graduado.

- Classificação LCPC/ SETRA: [C<sub>2</sub>(B<sub>5</sub>)] – Segundo a classificação francesa LCPC/SETRA classificam-se como materiais angulosos cuja proporção da fração 0/50 mm é menor que 60 a 80%. A fração 0/50mm é um solo da classe B, cuja percentagem que passa no peneiro nº 200 está compreendida entre 5% e 35%.

**Solo S3 – PI3:**

- Classificação unificada (ASTM D2487-85): [GP-GM] – Cascalho mal graduado com silte e areia. Solo grosso, cascalho mal graduado com areia e silte. Permeabilidade quando compactado muito permeável a impermeável, boa resistência ao corte quando compactado e saturado, desprezável

compressibilidade quando compactado e saturado, e boa trabalhabilidade como material de construção. Segundo o MACOPAV é um solo admissível em aterro e em leito de pavimento.

- Classificação segundo a AASHTO M145-42: [A-1-a (0)] – Solos de materiais granulares, predominantemente constituído por calhau ou seixo com um material aglutinante NP ou fracamente plástico.

- Classificação LCPC/ SETRA: [D<sub>3</sub>] – Segundo a classificação francesa LCPC/SETRA classificam-se como solos granulares médios a grossos praticamente sem fração fina ( $D_{máx} > 50\text{mm}$ ), materiais sem coesão e permeáveis. O material passado no peneiro 200 é inferior a 12%.

### 3.2 Resultados dos ensaios do penetrómetro dinâmico superpesado, DPSH.

Os resultados dos ensaios do penetrómetro dinâmico superpesado, DPSH, encontram-se no Anexo III. Para facilitar a leitura e fazer uma análise dos resultados obtidos, no Quadro 3 encontra-se um resumo dos resultados obtidos.

**Quadro 3** – Resumo dos resultados obtidos dos ensaios de DPSH nos pontos P1 a P3, N<sub>20</sub>.

Ponto de ensaio DPSH	Cota da boca do furo (m)	Fim do ensaio (m)	N <sub>20</sub> (Médio) (por metro) [m] - sem considerar a nega no fim do ensaio				
			[0,0 - 1,0]	[1,0 - 2,0]	[2,0 - 3,0]	[3,0 - 4,0]	[4,0 - 5,0]
P1/DPSH1	236.33	4.2	19.4	10.8	9.2	6.4	-
P2/DPSH2	244.00	0.8	25.3	-	-	-	-
P3/DPSH3	246.01	0.8	13.3	-	-	-	-

Para cada ensaio DPSH é feito um gráfico – diagrama de penetração – onde se representa, em abcissas, o número de pancadas e, em ordenadas, a profundidade. A partir do número de pancadas e da resistência dinâmica de ponta (rd) é possível obter a capacidade de carga do terreno a vários níveis de profundidade.

Os ensaios foram terminados quando o número de pancadas para penetrar a ponta 20 cm (N<sub>20</sub>) é igual ou superior a 50. Para mais detalhes recomenda-se a análise dos resultados dos ensaios no Anexo III do presente documento. No Quadro 3 apresentam-se as profundidades a que foram terminados os ensaios e um resumo dos resultados obtidos.

Da análise dos resultados dos ensaios, é possível observar que as profundidades de ensaio foram de 4,2 metro para o DPSH1, 0,8 metros para o DPSH2 e 0,8 metros para o DPSH3. A nega encontra a baixa profundidade, o valor do N<sub>20</sub> médio, sem considerar a nega (último valor de cada ensaio) é igual a 14,1. Ao longo da realização dos três ensaios DPSH, foi possível verificar que a ponteira e as varas, quando extraídas do solo, não apresentavam humidade podendo assim confirmar a não presença de água no solo de fundação.

Os valores de  $N_{20}$  podem ser projetados em conjunto com a resistência de ponta ( $r_d$ ). O termo  $r_d$  é determinado através da equação 1 (para mais pormenores recomenda-se a leitura de Matos Fernandes (2011)):

$$r_d = \frac{m \cdot g \cdot h}{A \cdot e} \quad [1]$$

No Quadro 4 encontra-se um resumo dos resultados obtidos para o  $r_d$  (resistência de ponta em MPa). Da análise do Quadro 4, pode-se observar que o solo apresenta uma resistência de ponta, antes de ser atingida a nega no ensaio, bastante variável e com valores variando entre 7,5 MPa e 29,60 MPa. Os valores mais baixos dizem respeito ao ponto de prospeção P1/DPSH1, provavelmente por estar a travessar um solo com baixa compactidade. Visto que na vizinhança do ponto de prospeção P1/DPSH1 é possível identificar algumas caixas de visita, trata-se de solo de enchimento de uma vala/escavação, que na altura da sua colocação foi aplicada uma compactação deficiente.

Com os valores obtidos dos  $r_d$  é possível a utilização deste material para a fundação de qualquer tipo de estrutura desde que bem dimensionada. O solo atravessado pelo ensaio tem pouca possança e facilmente se consegue atingir o estrato rígido – mais resistente – a pouca profundidade, como facilmente se pode confirmar pela análise dos resultados obtidos (exceto no ponto P1/DPSH1 como referido e justificado atrás).

**Quadro 4** – Resultados dos ensaios DPSH nos pontos P1 a P3, resistência de ponta  $r_d$  (MPa).

Ponto de ensaio DPSH	Cota da boca do furo (m)	Fim do ensaio (m)	$r_d$ (MPa) (Médio) (por metro)				
			[0,0 - 1,0]	[1,0 - 2,0]	[2,0 - 3,0]	[3,0 - 4,0]	[4,0 - 5,0]
P1/DPSH1	236.33	4.2	22.7	12.6	10.7	7.5	-
P2/DPSH2	244.00	0.8	29.6	-	-	-	-
P3/DPSH3	246.01	0.8	15.5	-	-	-	-

#### - Correlação $N_{SPT}$ - $N_{DPSH}$

Segundo Afonso (2016), para um solo classificado com GM pela classificação unificada e para o equipamento usado neste trabalho, pode-se admitir a seguinte relação empírica:

$$N_{SPT} = 0,96 \cdot N_{DPSH} \quad [2]$$

Em que:

$N_{SPT}$  – número de pancadas do ensaio Standard Penetration Test;

$N_{DPSH}$  – número de pancadas do ensaio penetrómetro dinâmico superpesado.

As correlações obtidas não são aplicadas para outros tipos de solos nem para outros equipamentos, mesmo com características semelhantes. Caso contrário pode levar a resultados incorretos.

Mesmo assim, o emprego desta relação deve ser feito com as devidas reservas, sendo apenas aconselhável em avaliações preliminares.

No Quadro 5 estão representados os resultados obtidos pela relação entre o número de pancadas do ensaio Penetrómetro Dinâmico Superpesado (DPSH) e o número de pancadas do ensaio Standard Penetration Test (SPT).

**Quadro 5** – Relação entre o  $N_{SPT}$  e o  $N_{DPSH}$ .

Ponto de ensaio DPSH	Fim do ensaio (m)	$N_{SPT}$ (Médio) (por metro)= $0,96.N_{DPSH}$				
		[0,0 - 1,0]	[1,0 - 2,0]	[2,0 - 3,0]	[3,0 - 4,0]	[4,0 - 5,0]
P1/DPSH1	4.2	18.6	10.4	8.8	6.1	-
P2/DPSH2	0.8	24.3	-	-	-	-
P3/DPSH3	0.8	12.8	-	-	-	-

#### - Estimativa da tensão máxima admissível ( $q_a$ ) em sapatas de fundação

Na estimativa dos valores da tensão máxima admissível em sapatas de fundação, usou-se a expressão empírica:

$$q_a = \frac{N_{SPT}}{5} \times 98,1 \text{ (kPa)} \quad [3]$$

em que:

$q_a$  – tensão admissível das sapatas de fundação [MPa];

$N_{SPT}$  – número de pancadas do ensaio SPT.

No Quadro 6 estão representados os valores obtidos para a tensão máxima admissível estimada.

**Quadro 6** – Tensão máxima admissível estimada em sapatas de fundação.

Ponto de ensaio DPSH	Fim do ensaio (m)	$q_a$ (kPa), tensão admissível em sapatas de fundação				
		[0,0 - 1,0]	[1,0 - 2,0]	[2,0 - 3,0]	[3,0 - 4,0]	[4,0 - 5,0]
P1/DPSH1	4.2	365.4	203.4	173.3	120.5	-
P2/DPSH2	0.8	477.1	-	-	-	-
P3/DPSH3	0.8	250.5	-	-	-	-

Da análise do Quadro 6, pode-se observar que o solo de fundação apresenta uma tensão admissível, antes de ser atingida a nega no ensaio, entre 120,5 MPa e 477,1 MPa. Estes valores permitem aferir a grande

heterogeneidade nos resultados obtidos e por vezes com valores da capacidade resistente baixa (P1/DPSH1). Pode também referir-se que o solo não apresenta uma compactação homogénea e eficiente, variando muito de ponto para ponto e em alguns pontos deficiente. No entanto, como referido atrás, os valores da capacidade de carga na nega são elevados e verificam-se a baixa profundidade relativamente à superfície do terreno (exceto no ponto P1/DPSH1), ver quadro 6.

#### - Estimativa do ângulo de atrito efetivo interno do solo $\phi'$ .

Na estimativa dos valores do ângulo de atrito efetivo interno do solo, usou-se a expressão empírica de (Thornburn, 1974) e (Wolff, 1989):

$$\phi'(^{\circ})=27.1+0,3.(N_1)_{60}-0.00054(N_1)_{60}^2 \quad [4]$$

em que:

$\phi'$  ( $^{\circ}$ ) – ângulo de atrito efetivo interno do solo em graus

$(N_1)_{60}$  – número de pancadas do ensaio SPT corrigido devido à tensão efetiva vertical ao nível do ensaio

Pelo facto de o valor do  $N_{SPT}$  ser um valor estimado e obtido em função do  $N_{DPSH}$ , neste caso o  $(N_1)_{60}$  é considerado igual ao valor  $N_{SPT}$  do Quadro 5.

No Quadro 7 estão representados os valores obtidos para o ângulo de atrito interno efetivo do solo. O valor do ângulo de atrito varia entre os valores de  $29,0^{\circ}$  e  $34^{\circ}$  (sem considerar a nega). Tratando-se de cascalhos com siltes e areia, os valores estimados para o ângulo de atrito são típicos de soltos.

**Quadro 7** – Ângulo de atrito interno efetivo do solo – estimado.

Ponto de ensaio DPSH	Fim do ensaio (m)	$\phi'$ ( $^{\circ}$ ), ângulo de atrito efetivo interno do solo				
		[0,0 - 1,0]	[1,0 - 2,0]	[2,0 - 3,0]	[3,0 - 4,0]	[4,0 - 5,0]
P1/DPSH1	4.2	32.5	30.2	29.7	28.9	-
P2/DPSH2	0.8	34.1	-	-	-	-
P3/DPSH3	0.8	30.8	-	-	-	-

## 4 Considerações finais

Este relatório teve como objetivo a realização de uma campanha de ensaios geotécnicos *in situ*, com finalidade de caracterizar e identificar a capacidade de um solo/aterro para a fundação da futura construção da “Residência Nova do Instituto Politécnico de Bragança – Mirandela” em Mirandela.

O solo é constituído por cascalho siltoso com areia, com classificação unificada (segundo a norma ASTM D 2487-85) de GM ou GP-GM. Os Solos não apresentam plasticidade. O diâmetro médio das partículas ( $D_{50}$ )

também varia de ponto para ponto e é de 5,0 mm no P1 e P2 e de 20,00 mm no ponto P3. No seu estado natural/in situ os solos apresentam uma densidade média a alta. O grau de compactação do terreno à superfície é superior a 90%.

Com base nos resultados do ensaio do penetrómetro dinâmico superpesado, DPSH, é possível estimar a tensão máxima admissível do solo/aterro para o dimensionamento das fundações da futura residência do IPB em Mirandela. A tensão admissível varia de ponto para ponto. Os valores das tensões admissíveis obtidos são de 120,5 MPa (ponto de ensaio P1/DPSH1) e 477,1 MPa. Os valores mais baixos da tensão admissível, e como já referido em 3.2, dizem respeito ao ponto de prospeção P1/DPSH1, provavelmente por estar a travessar um solo com baixa compacidade, visto que na vizinhança é possível identificar algumas caixas de visita, trata-se assim de um solo de enchimento de uma vala/escavação com compactação deficiente. Abaixo dos 4,2 metros de profundidade (para o P1) e 0,8 metros para os restantes pontos de ensaio, os valores da tensão admissível são acima de 250kPa. O valor do ângulo de atrito varia entre os valores de 29,0° e 34° (sem considerar a nega). Tratando-se de cascalhos e areias siltosas e areias com finos, os valores estimados para o ângulo de atrito são típicos de solos mediamente densos a densos.

Denote-se que os tipos de soluções a adotar, serão condicionados entre outros aspetos, pelo plano de cargas da obra, assentamentos máximos admissíveis, posicionamento do nível freático, possível interseção de blocos rochosos. O Laboratório de Geotecnia do Instituto Politécnico de Bragança manifesta a disponibilidade da sua Equipa Técnica para prestar os esclarecimentos e acompanhamento técnico julgados necessários.

## **Bibliografia**

Victor do Carmo Destefano (2021). “Correlações entre o Ensaio Standard Penetration Test (SPT) e o Penetrómetro Dinâmico Super Pesado (DPSH)”. Relatório Final de Dissertação Apresentado à Escola Superior de Tecnologia e Gestão Instituto Politécnico de Bragança ESTiG-IPB. Bragança, Portugal, 2021.

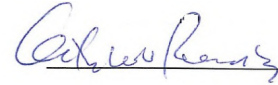
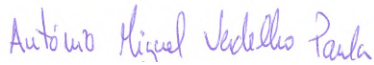
Afonso, André Filipe; Paula, António Miguel; Braz César, Manuel (2016). “Correlações entre resultados de ensaios de penetração dinâmica (DP) com o ensaio standard penetration test (SPT)”. 15º Congresso Nacional de Geotecnia / 8º Congresso Luso-Brasileiro de Geotecnia, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 19 a 23 de junho de 2016.

Geotechnical investigation and testing – Field testing – Part 2: Dynamic probing: EN ISO 22476-2 2005 (en)

ASTM. (1985). D 2487-85: Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). American Society for Testing and Materials.

Especificação do LNEC E197-1966 – SOLOS: Ensaio de compactação.

IPB-ESTG, Bragança, 27 de setembro de 2022.



---

**António Miguel V. Paula**

PhD, MSc, Engenheiro Civil  
ESTiG – Inst. Politécnico de Bragança  
Responsável do Lab. de Geotecnia  
Ordem dos Engenheiros – 44380

Campus de S. Apolónia, gab 6  
5300-253 Bragança – Portugal  
Phone: +351 273 303 154  
e-mail: mpaula@ipb.pt

---

**Hermínia Maria M. Morais**

MSc, Engenheiro Civil  
ESTiG – Inst. Politécnico de Bragança  
Técnica Superior do Lab. de Eng. Civil  
Ordem dos Engenheiros – 41244

Campus de S. Apolónia  
5300-253 Bragança – Portugal  
Phone: +351 273 303 173  
e-mail: hmorais@ipb.pt

---

**Octávio Manuel do N. Pereira**

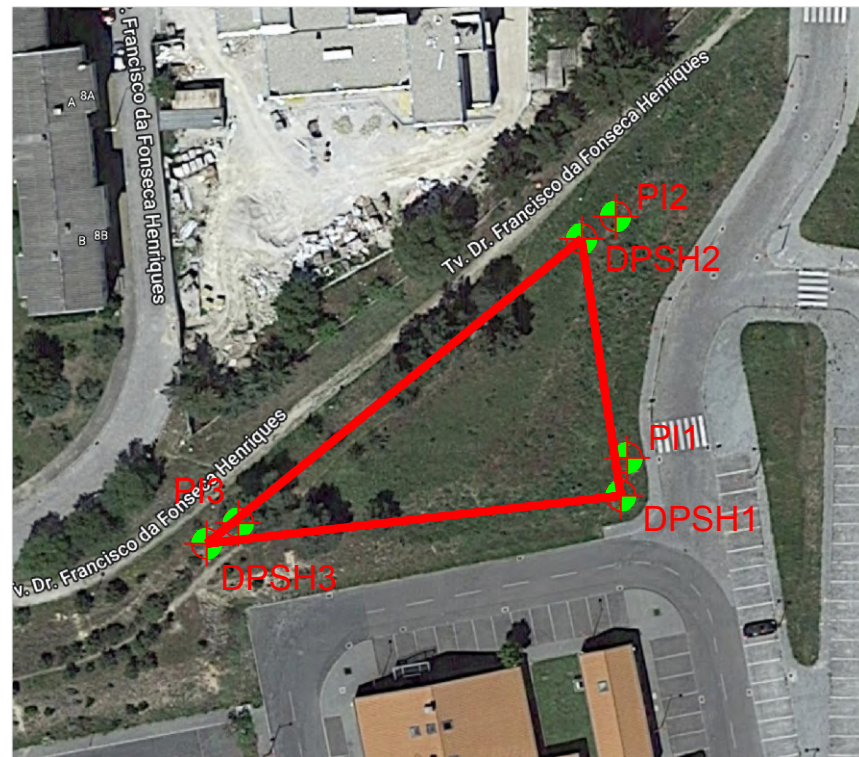
ESTiG – Inst. Politécnico de Bragança  
Técnica do Lab. de Engenharia Civil

Campus de S. Apolónia  
5300-253 Bragança – Portugal  
Phone: +351 273 303 174  
e-mail: opereira@ipb.pt

---

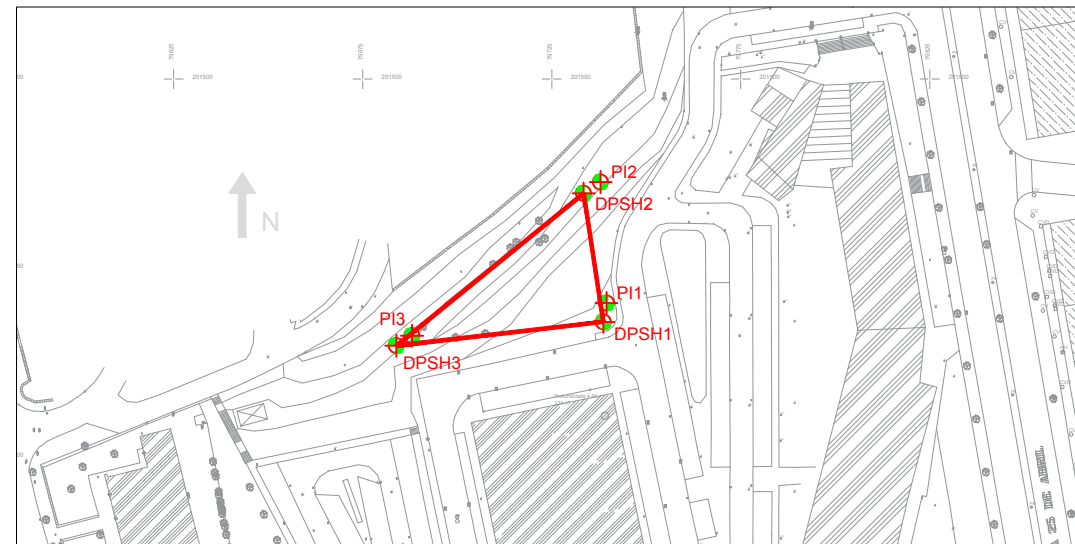
# ANEXOS

**ANEXO I (Cortes e planta dos pontos de ensaio DPSH e Poços de  
Prospecção)**

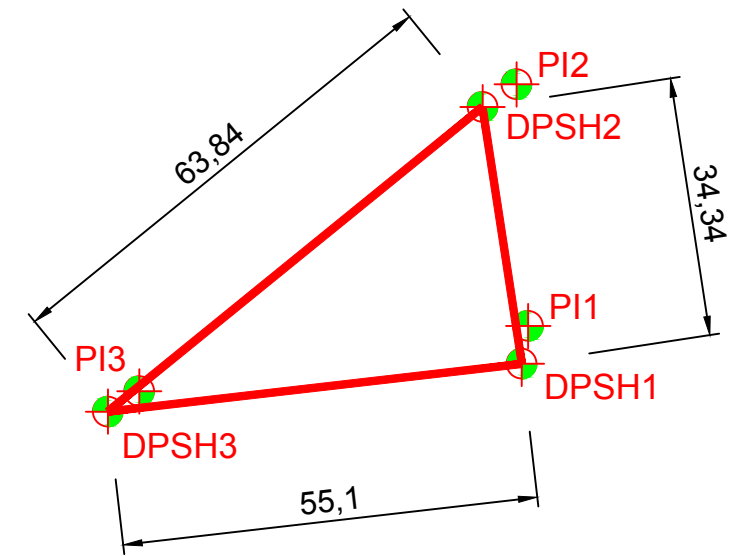


**LEGENDA:**

- ◆ DPSHi - Pontos de realização do Ensaio DPSH Dynamic Penetration Super-Heavy
- ◆ Pli - Pontos de prospeção/Inspeção

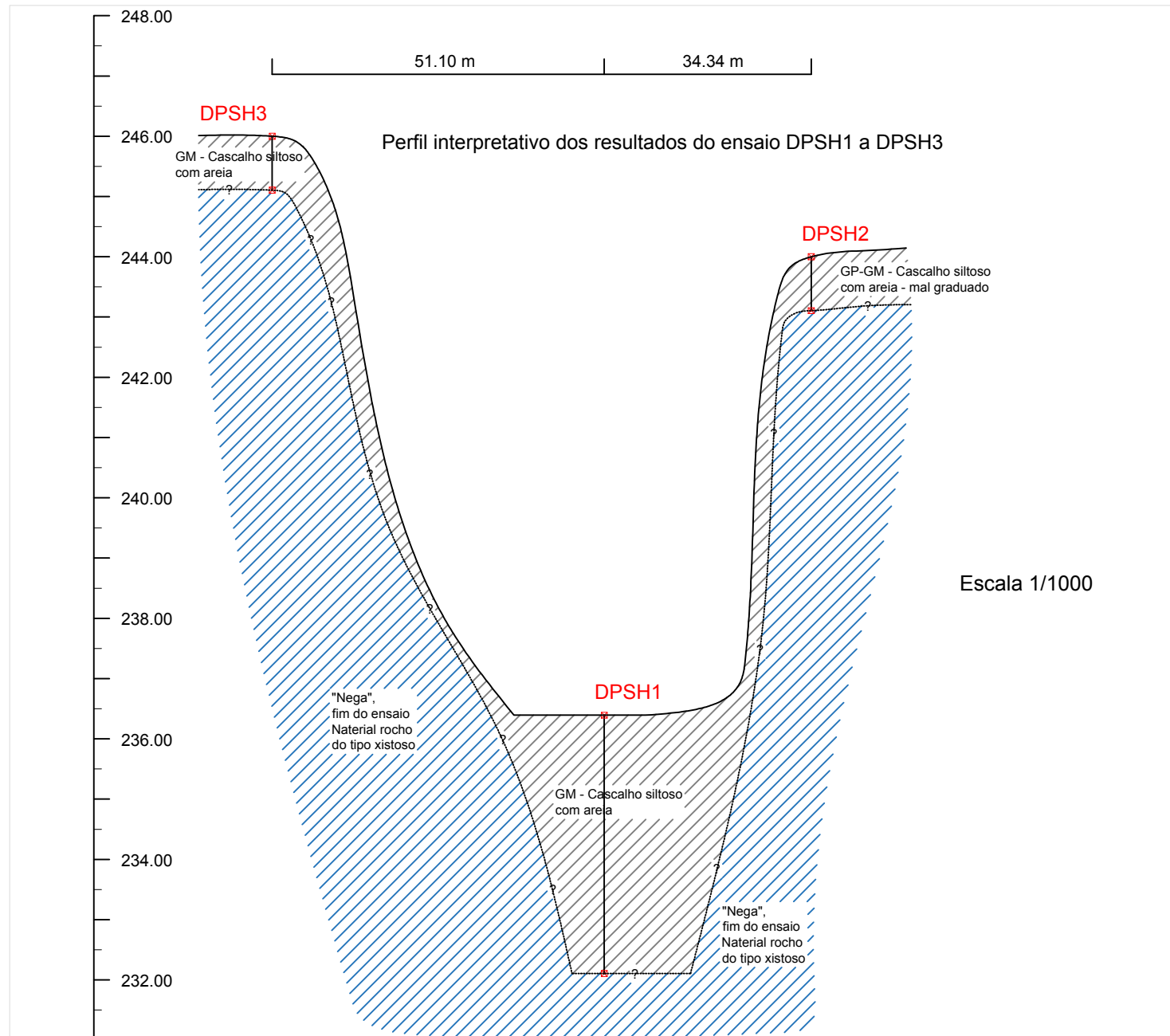


Escala 1/2000



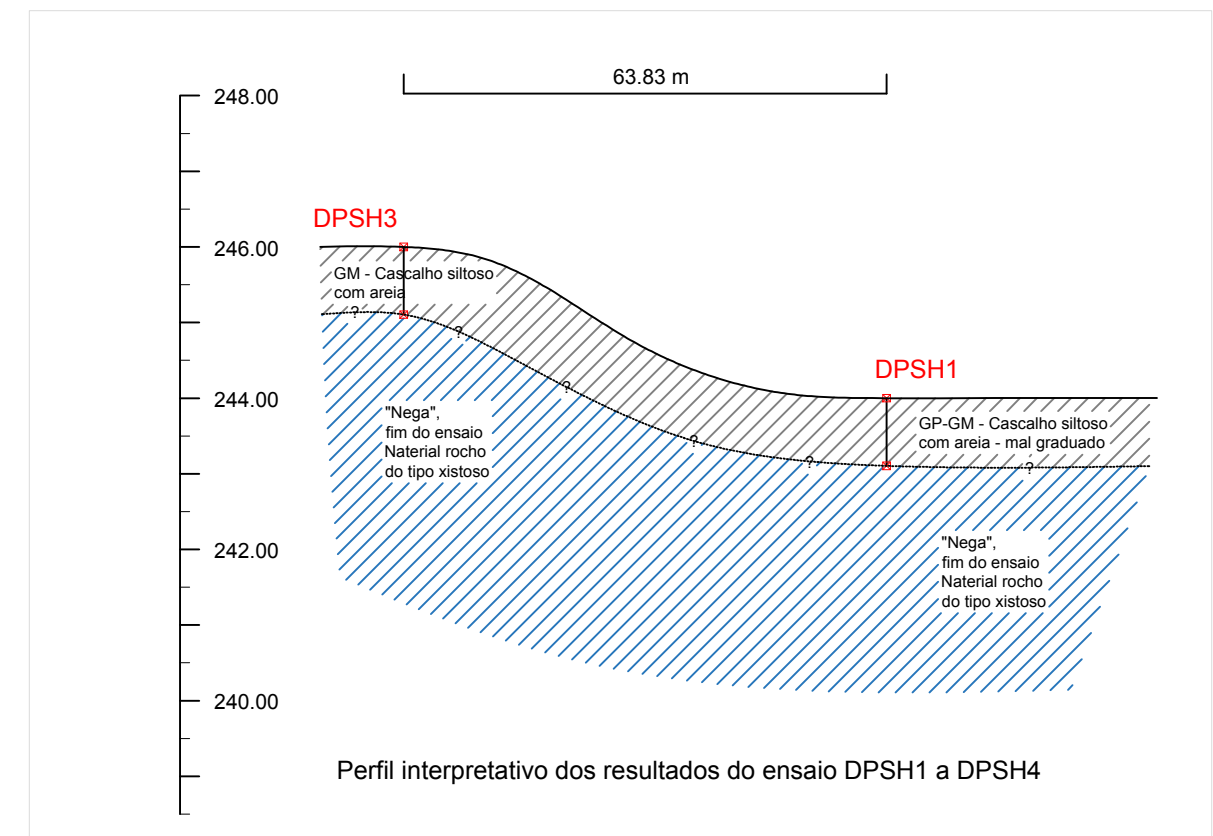
Pontos de ensaio - longitudinal - DPSH1 a DPSH3

Escala 1/1000



Escala 1/1000

Escala escala no desenho



Perfil interpretativo dos resultados do ensaio DPSH1 a DPSH4



**Laboratório de Geotecnia**


Telefone: (+351)273303000  
 Fax: (+351)273313051  
 E-mail: estig@ipb.pt

Escola Superior de Tecnologia e Gestão  
 Campus de Santa Apolónia - Apartado 1134  
 5301-857 Bragança  
 Portugal

esc:	data:
1/---	27-09-2022
projectou:	n.º:
	1

Ciente:	Instituto Politécnico de Bragança
Perfil interpretativo dos resultados do ensaio DPSH1 a 3	
Obra/Local:	Residência Nova do Instituto Politécnico de Bragança - Mirandela Zona: Avenida 25 de Abril - Mirandela

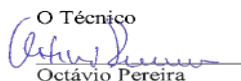
**ANEXO II (Resultados dos ensaios de Compactação Proctor, Célula  
Radioativa e Identificação)**

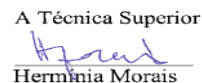
 <b>INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA</b> Escola Superior de Tecnologia e Gestão	<b>ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA</b>		
	Norma de Referência: LNEC E 239 - 1970		
	<b>Amostra:</b>	S1	
	<b>Data da Colheita:</b>	20/09/2022	
<b>Cliente:</b>	Instituto Politécnico de Bragança	<b>Obra:</b>	Residência Nova do Instituto Politécnico de Bragança - Mirandela
		<b>Local:</b>	Mirandela


Massa total da amostra: (g)	mt=	<b>7131,20</b>
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	<b>4135,30</b>
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	<b>2995,90</b>

Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x=(mx/mt) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ( $N''x=100-N'x$ )
76.1 - ( 3' )	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - ( 2' )	538,10	7,55	7,55	92,45
38,10- ( 1 1/2' )	389,90	5,47	13,01	86,99
25,4 - ( 1' )	1421,00	19,93	32,94	67,06
19 - ( 3/4' )	218,50	3,06	36,00	64,00
9,51 - ( 3/8' )	563,00	7,89	43,90	56,10
4.76 - (n4)	512,10	7,18	51,08	48,92
2 - (n10)	492,70	6,91	57,99	42,01
< 2,00 - (n10)	<b>2995,90</b>	42,01		
<b>TOTAL</b>	<b>7131,20</b>	100,00		
Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	<b>101,50</b>	$N''10=(m'10/mt) \times 100=$		<b>42,01</b>
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x=(mx/ma) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ( $N''x=100-N'x$ )
20	13,70	5,67	63,66	36,34
40	15,00	6,21	69,87	30,13
60	9,90	4,10	73,97	26,03
140	12,50	5,17	79,14	20,86
200	4,60	1,90	81,04	18,96
< 200	<b>45,80</b>			
<b>TOTAL</b>	<b>101,50</b>			

Bragança, 22 de setembro de 2022

O Técnico  
  
 Octávio Pereira

A Técnica Superior  
  
 Hermínia Morais

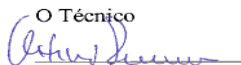
 <b>INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA</b> Escola Superior de Tecnologia e Gestão	<b>ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA</b>		
	Norma de Referência: LNEC E 239 - 1970		
	<b>Amostra:</b>	S2	
	<b>Data da Colheita:</b>	20/09/2022	
<b>Ciente:</b>	Instituto Politécnico de Bragança	<b>Obra:</b>	Residência Nova do Instituto Politécnico de Bragança - Mirandela
		<b>Local:</b>	Mirandela

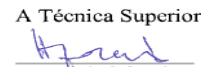
Massa total da amostra: (g)	mt=	<b>6306,10</b>
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	<b>3639,90</b>
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	<b>2666,20</b>


Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x=(mx/mt) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa (N"x=100-N'x)
76.1 - ( 3' )	0,00	0,00	0,00	100,00
50.8 - ( 2' )	922,80	14,63	14,63	85,37
38,10 - ( 1 1/2 )	383,70	6,08	20,72	79,28
25,4 - ( 1' )	312,20	4,95	25,67	74,33
19 - ( 3/4 )	346,50	5,49	31,16	68,84
9,51 - ( 3/8 )	576,10	9,14	40,30	59,70
4.76 - ( n4 )	569,00	9,02	49,32	50,68
2 - ( n10 )	529,60	8,40	57,72	42,28
< 2,00 - ( n10 )	<b>2666,20</b>	42,28		
<b>TOTAL</b>	<b>6306,10</b>	100,00		

Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	<b>90,70</b>	$N''10=(m'10/mt) \times 100=$		<b>42,28</b>
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x=(mx/ma) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa (N"x=100-N'x)
20	15,60	7,27	64,99	35,01
40	12,50	5,83	70,82	29,18
60	8,60	4,01	74,83	25,17
140	11,50	5,36	80,19	19,81
200	4,60	2,14	82,33	17,67
< 200	<b>37,90</b>			
<b>TOTAL</b>	<b>90,70</b>			

Bragança, 22 de setembro de 2022

O Técnico  
  
 Octávio Pereira

A Técnica Superior  
  
 Herminia Morais

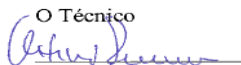
 <b>INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA</b> Escola Superior de Tecnologia e Gestão	<b>ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA</b>		
	Norma de Referência: LNEC E 239 - 1970		
<b>Ciente:</b>	Instituto Politécnico de Bragança	<b>Amostra:</b>	S3
		<b>Data da Colheita:</b>	20/09/2022
		<b>Obra:</b>	Residência Nova do Instituto Politécnico de Bragança - Mirandela
		<b>Local:</b>	Mirandela

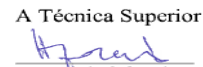
Massa total da amostra: (g)	mt=	<b>7767,50</b>
Massa retida no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m10=	<b>5505,90</b>
Massa passada no peneiro de 2.00 mm (nº10) (g)	m' 10=	<b>2261,60</b>

Fracção retida no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida $N_x=(mx/mt) \times 100$	% Acumulada retida (N'x)	% Acumulada que passa ( $N''x=100-N'x$ )
76.1 - ( 3' )	496,50	6,39	6,39	93,61
50.8 - ( 2' )	1064,00	13,70	20,09	79,91
38,10 - ( 1 1/2 )	608,00	7,83	27,92	72,08
25,4 - ( 1' )	1009,70	13,00	40,92	59,08
19 - ( 3/4 )	666,00	8,57	49,49	50,51
9,51 - ( 3/8 )	687,60	8,85	58,34	41,66
4.76 - (n4)	526,00	6,77	65,11	34,89
2 - (n10)	448,10	5,77	70,88	29,12
< 2,00 - (n10)	<b>2261,60</b>	29,12		
<b>TOTAL</b>	<b>7767,50</b>	100,00		

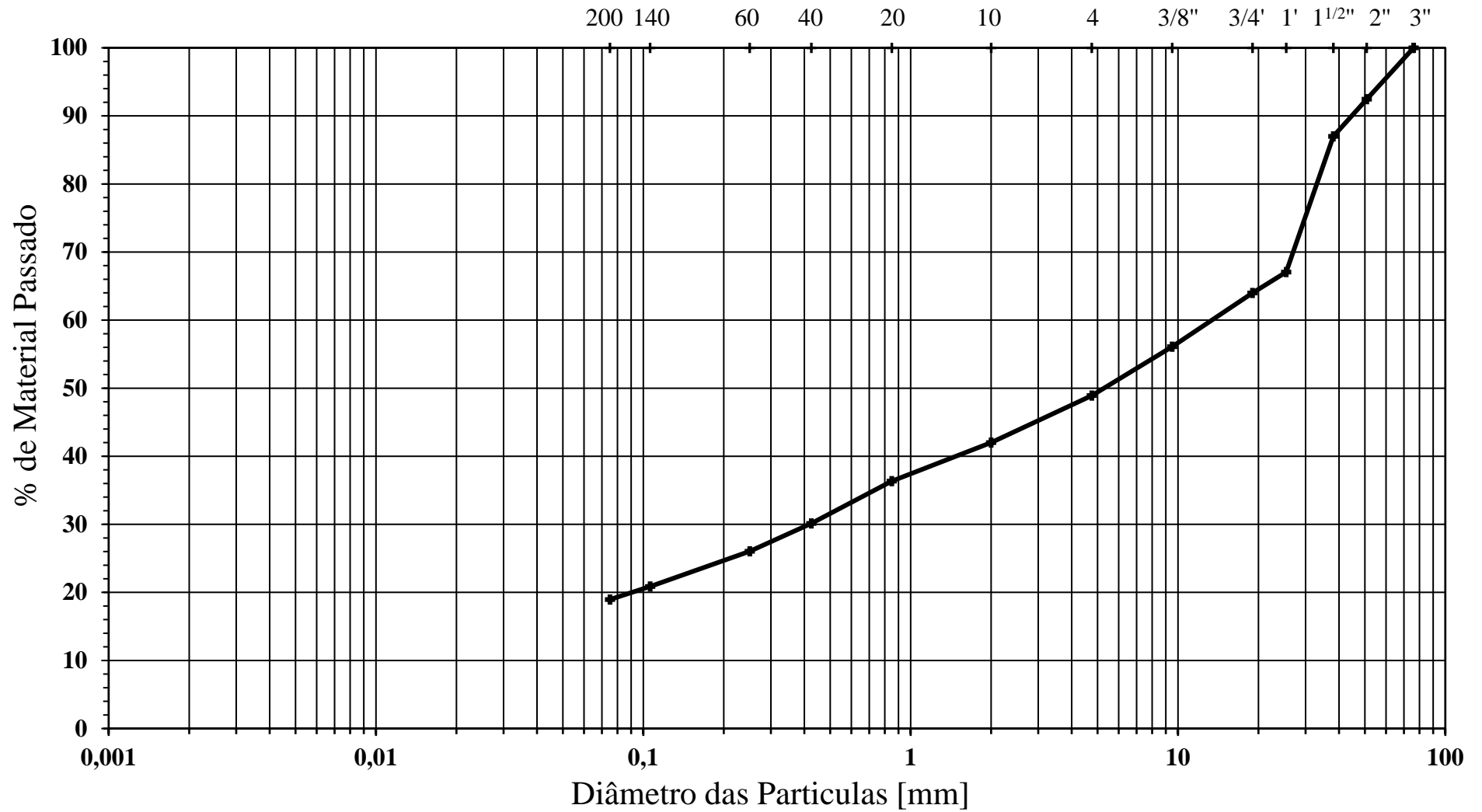
Fracção passada no peneiro de 2,00 mm (nº10)				
Massa da amostra a ensaiar, ma=	<b>106,40</b>	$N''10=(m'10/mt) \times 100=$		<b>29,12</b>
Peneiros	Massa retida (g) (mx)	% Retida (total) $N_x=(mx/ma) \times N''10$	% Acumulada retida total (N'x)	% total acumulada que passa ( $N''x=100-N'x$ )
20	18,00	4,93	75,81	24,19
40	16,60	4,54	80,35	19,65
60	11,50	3,15	83,50	16,50
140	14,90	4,08	87,58	12,42
200	5,50	1,51	89,08	10,92
< 200	<b>39,90</b>			
<b>TOTAL</b>	<b>106,40</b>			

Bragança, 22 de setembro de 2022

O Técnico  
  
 Octávio Pereira

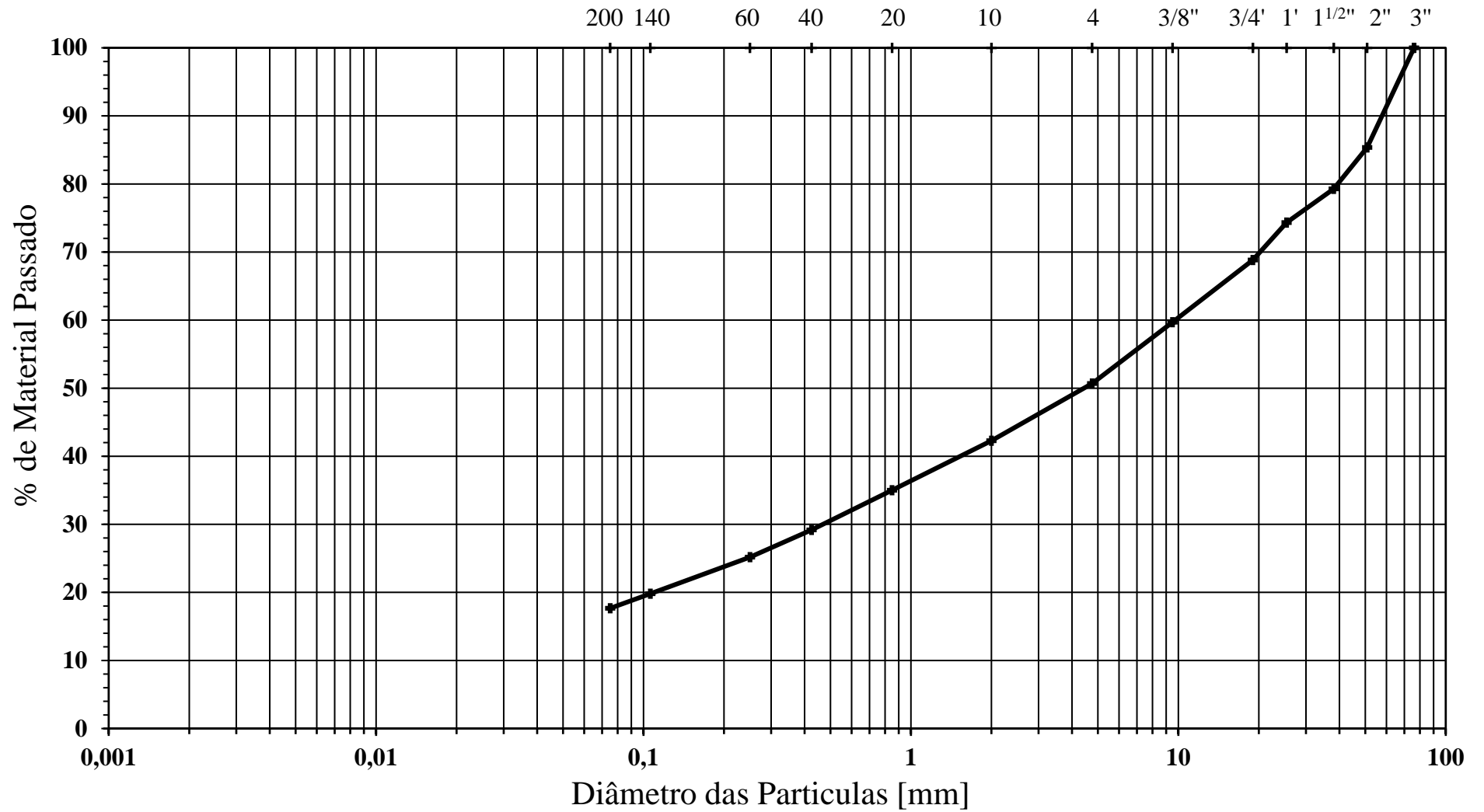
A Técnica Superior  
  
 Herminia Morais

# ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA - S1



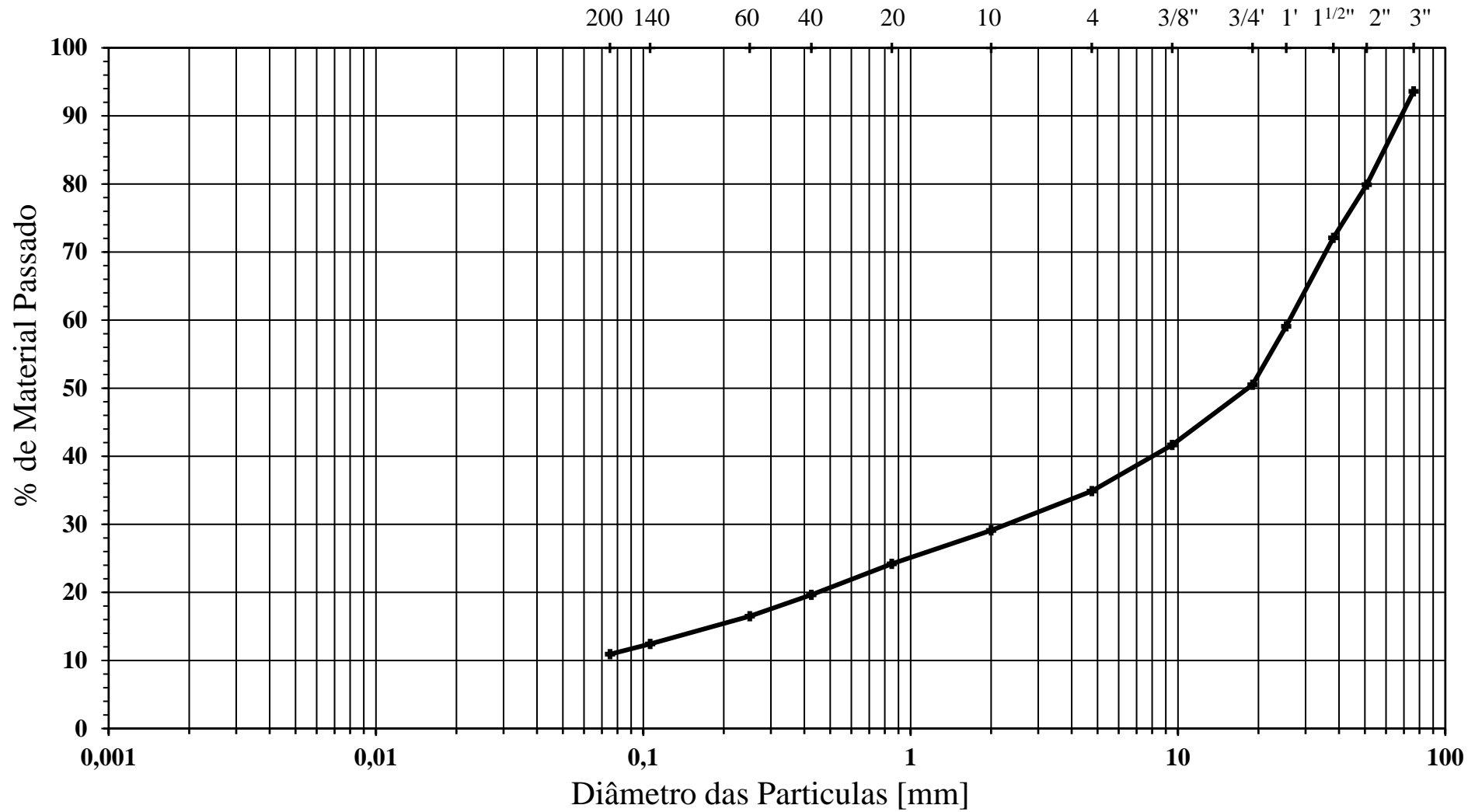
Argila	Siltes			Areia			Seixo		
	Fino	Médio	Grosso	Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso

# ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA - S2




Argila	Siltes			Areia			Seixo		
	Fino	Médio	Grosso	Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso

# ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA - S3



Argila	Siltes			Areia			Seixo		
	Fino	Médio	Grosso	Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso

 <b>INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA</b> Escola Superior de Tecnologia e Gestão		<b>Classificação dum Solo</b>			
		Amostra nº:	S1	Local:	Mirandela
Data Recolha:	20/09/2022				
Cliente:	Instituto Politécnico de Bragança	Obra:	Residência Nova do Instituto Politécnico de Bragança - Mirandela		

Análise Granulométrica					
Nº Peneiro (mm)	75	4,76 (#4)	2,00 (#10)	0,425 (#40)	0,074 (#200)
Passada Acumulada (%)	100,00	48,92	42,01	30,13	18,96
Retida Acumulada (%)	0,00	51,08	57,99	69,87	81,04

Limite de Liquidez	NR
Limite de Plasticidade	NR
Índice de Plasticidade	NP
Teor de Matéria Orgânica	

Coeficiente de Uniformidade	NR
Coeficiente de Curvatura	NR
Cascalho (%)	58,0
Areia (%)	23,1
Silte e Argila (%)	19,0
Índice de Grupo	0

D <sub>60</sub> (mm)	10,5
D <sub>30</sub> (mm)	0,4
D <sub>10</sub> (mm)	s.d.
D <sub>máx</sub> (mm)	80,0


<b>Classificação Unificada (ASTM D2487-85):</b>	<b>GM</b>
<b>Classificação (AASHTO M145-42):</b>	<b>A-1-b(0)</b>
<b>Classificação LCPC/ SETRA:</b>	<b>C<sub>2</sub>(B<sub>5</sub>)</b>

**Observações:**

**GM-** Solo grosso, cascalho siltoso com areia segundo a classificação unificada ASTM. São solos semi-permeáveis a impermeáveis, boa a razoável resistência ao corte e muito baixa a desprezável compressibilidade quando compactados e saturados. Boa trabalhabilidade como material de construção. Segundo o MACOPAV é um solo admissível em aterro e em leito de pavimento.

**A-1-b(0)-** Solos de materiais granulares, predominantemente constituído por areia grossa, com ou sem material aglutinante bem graduado.

**C<sub>2</sub>(B<sub>5</sub>) -** Segundo a classificação francesa LCPC/SETRA classificam-se como materiais angulosos cuja proporção da fração 0/50 mm é menor que 60 a 80%. A fração 0/50mm é um solo da classe B, cuja percentagem que passa no peneiro nº 200 está compreendida entre 5% e 35%.

		<b>Classificação dum Solo</b>			
		Amostra nº:	S2	Local:	Mirandela
Data Recolha:	20/09/2022				
Cliente:	Instituto Politécnico de Bragança	Obra:	Residência Nova do Instituto Politécnico de Bragança - Mirandela		

Análise Granulométrica					
Nº Peneiro (mm)	75	4,76 (#4)	2,00 (#10)	0,425 (#40)	0,074 (#200)
Passada Acumulada (%)	100,00	50,68	42,28	29,18	17,67
Retida Acumulada (%)	0,00	49,32	57,72	70,82	82,33

Limite de Liquidez	NR
Limite de Plasticidade	NR
Índice de Plasticidade	NP
Teor de Matéria Orgânica	

<b>D<sub>60</sub> (mm)</b>	9,0
<b>D<sub>30</sub> (mm)</b>	0,4
<b>D<sub>10</sub> (mm)</b>	s.d
<b>D<sub>máx</sub> (mm)</b>	80,0

Coeficiente de Uniformidade	NR
Coeficiente de Curvatura	NR
Cascalho (%)	57,7
Areia (%)	24,6
Silte e Argila (%)	17,7
Índice de Grupo	0


<b>Classificação Unificada (ASTM D2487-85):</b>	<b>GM</b>
<b>Classificação (AASHTO M145-42):</b>	<b>A-1-b(0)</b>
<b>Classificação LCPC/ SETRA:</b>	<b>C<sub>2</sub>(B<sub>5</sub>)</b>

**Observações:**

**GM-** Solo grosso, cascalho siltoso com areia segundo a classificação unificada ASTM. São solos semi-permeáveis a impermeáveis, boa a razoável resistência ao corte e muito baixa a desprezável compressibilidade quando compactados e saturados. Boa trabalhabilidade como material de construção. Segundo o MACOPAV é um solo admissível em aterro e em leito de pavimento.

**A-1-b(0)-** Solos de materiais granulares, predominantemente constituído por areia grossa, com ou sem material aglutinante bem graduado.

**C<sub>2</sub>(B<sub>5</sub>) -** Segundo a classificação francesa LCPC/SETRA classificam-se como materiais angulosos cuja proporção da fração 0/50 mm é menor que 60 a 80%. A fração 0/50mm é um solo da classe B, cuja percentagem que passa no peneiro nº 200 está compreendida entre 5% e 35%.

		<b>Classificação dum Solo</b>			
		Amostra nº:	S3	Local:	Mirandela
Cliente:	Instituto Politécnico de Bragança	Data Recolha:	20/09/2022		
		Obra:	Residência Nova do Instituto Politécnico de Bragança - Mirandela		

Análise Granulométrica					
Nº Peneiro (mm)	75	4,76 (#4)	2,00 (#10)	0,425 (#40)	0,074 (#200)
Passada Acumulada (%)	93,61	34,89	29,12	19,65	10,92
Retida Acumulada (%)	6,39	65,11	70,88	80,35	89,08

Limite de Liquidez	NR
Limite de Plasticidade	NR
Índice de Plasticidade	NP
Teor de Matéria Orgânica	

D <sub>60</sub> (mm)	25,0
D <sub>30</sub> (mm)	2,2
D <sub>10</sub> (mm)	0,75
D <sub>máx</sub> (mm)	80,0

Coefficiente de Uniformidade (CU)	33,3
Coefficiente de Curvatura (CC)	0,3
Cascalho (%)	70,9
Areia (%)	18,2
Silte e Argila (%)	10,9
Índice de Grupo	0


<b>Classificação Unificada (ASTM D2487-85):</b>	<b>GP-GM</b>
<b>Classificação (AASHTO M145-42):</b>	<b>A-1-a(0)</b>
<b>Classificação LCPC/ SETRA:</b>	<b>D<sub>3</sub></b>

**Observações:**

**GP-GM** - Cascalho mal graduado com silte e areia. Solo grosso, cascalho mal graduado com areia e silte. Permeabilidade quando compactado muito permeável a impermeável, boa resistência ao corte quando compactado e saturado, desprezável compressibilidade quando compactado e saturado, e boa trabalhabilidade como material de construção. Segundo o MACOPAV é um solo admissível em aterro e em leito de pavimento.

**A-1-a(0)**- Solos de materiais granulares, predominantemente constituído por calhau ou seixo com um material aglutinante NP ou fracamente plástico.

**D<sub>3</sub>** - Segundo a classificação francesa LCPC/SETRA classificam-se como solos granulares médios a grossos praticamente sem fração fina (D<sub>máx</sub>>50mm), materiais sem coesão e permeáveis. O material passado no peneiro 200 é inferior a 12%.

 <b>INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA</b> Escola Superior de Tecnologia e Gestão		<b>RELAÇÕES BARIDADE SECA - TEOR DE HUMIDADE</b>				
		<b>COMPACTAÇÃO</b>				
		Norma Referência: LNEC E 197:1966				
		<b>Amostra:</b>	S1			
<b>Data da Colheita:</b>	20/09/2022					
<b>Cliente:</b>	Instituto Politécnico de Bragança	<b>Obra:</b>	Residência Nova do Instituto Politécnico de Bragança - Mirandela			
		<b>Local:</b>	Mirandela			

**COMPACTAÇÃO USADA:** PESADA

**TEOR EM ÁGUA NATURAL:** 6,2%

Número do ensaio		1	2	3	4	5
P1	Peso do molde vazio (gr)	4822	4822	4822	4822	4822
P2	Peso do molde mais solo húmido (gr)	9179	9325	9455	9505	9435
ps = P2-P1	Peso do solo húmido (gr)	4357	4503	4633	4683	4613
V	Volume do molde (cm <sup>3</sup> )	2089	2089	2089	2089	2089
Yw = ps/V	Baridade húmida (0,001gr/cm <sup>3</sup> )	2,086	2,156	2,218	2,242	2,208

**TEORES EM ÁGUA**

Número do recipiente		7	2	18	11	1
pt	Peso do recipiente (0,1gr)	169,0	160,2	171,8	159,8	161,5
pa+s+t	Peso do recipiente e solo húmido (0,1gr)	641,0	600,1	717,6	719,5	518,0
ps+t	Peso do recipiente e solo seco (0,1gr)	611,0	567,0	670,2	664,0	477,5
pa=pa+s+t-(ps+t)	Peso da água (0,1gr)	30,0	33,1	47,4	55,5	40,5
ps=ps+t-pt	Peso do solo seco (0,1gr)	442,0	406,8	498,4	504,2	316,0
W = (pa/ps)*100	Teor em água (0,1%)	6,8	8,1	9,5	11,0	12,8

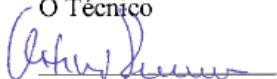
**RELAÇÕES BARIDADE SECA - TEOR DE HUMIDADE**

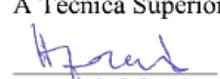
w	Teor em água (0,1%)	6,8	8,1	9,5	11,0	12,8
$\gamma_s = \frac{(100 * \gamma_w)}{(100 + W)}$	Baridade seca (0,001gr/cm <sup>3</sup> )	1,953	1,993	2,025	2,019	1,957


**Baridade seca máxima ( $\gamma_{s\text{máx}}$ ):** 2,030 (0,01gr/cm<sup>3</sup>)

**Teor de humidade óptimo ( $W_{op}$ ):** 10,0 (0,1%)

Bragança, 23 de setembro de 2022

O Técnico  
  
 Octávio Pereira

A Técnica Superior  
  
 Herminia Morais

 <b>INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA</b> Escola Superior de Tecnologia e Gestão		<b>RELAÇÕES BARIDADE SECA - TEOR DE HUMIDADE</b>				
		<b>COMPACTAÇÃO</b>				
		Norma Referência: LNEC E 197:1966				
		<b>Amostra:</b>	S2			
<b>Data da Colheita:</b>	20/09/2022					
<b>Cliente:</b>	Instituto Politécnico de Bragança	<b>Obra:</b>	Residência Nova do Instituto Politécnico de Bragança - Mirandela			
		<b>Local:</b>	Mirandela			

**COMPACTAÇÃO USADA:** PESADA

**TEOR EM ÁGUA NATURAL:** 4,1%

Número do ensaio		1	2	3	4	5
P1	Peso do molde vazio (gr)	4822	4822	4822	4822	4822
P2	Peso do molde mais solo húmido (gr)	8955	9116	9268	9330	9235
ps = P2-P1	Peso do solo húmido (gr)	4133	4294	4446	4508	4413
V	Volume do molde (cm <sup>3</sup> )	2089	2089	2089	2089	2089
Yw = ps/V	Baridade húmida (0,001gr/cm <sup>3</sup> )	1,978	2,056	2,128	2,158	2,112

**TEORES EM ÁGUA**

Número do recipiente		7	2	11	4	1
pt	Peso do recipiente (0,1gr)	169,0	160,2	159,8	172,0	161,5
pa+s+t	Peso do recipiente e solo húmido (0,1gr)	641,0	599,0	719,7	835,1	522,0
ps+t	Peso do recipiente e solo seco (0,1gr)	608,6	564,0	668,0	764,0	479,0
pa=pa+s+t-(ps+t)	Peso da água (0,1gr)	32,4	35,0	51,7	71,1	43,0
ps=ps+t-pt	Peso do solo seco (0,1gr)	439,6	403,8	508,2	592,0	317,5
W = (pa/ps)*100	Teor em água (0,1%)	7,4	8,7	10,2	12,0	13,5

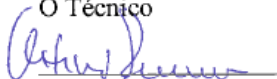
**RELAÇÕES BARIDADE SECA - TEOR DE HUMIDADE**

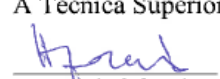
w	Teor em água (0,1%)	7,4	8,7	10,2	12,0	13,5
$\gamma_s = \frac{(100 * \gamma_w)}{(100 + W)}$	Baridade seca (0,001gr/cm <sup>3</sup> )	1,843	1,892	1,932	1,927	1,861


**Baridade seca máxima ( $\gamma_{S_{máx}}$ ):** 1,940 (0,01gr/cm<sup>3</sup>)

**Teor de humidade óptimo ( $W_{op}$ ):** 11,0 (0,1%)

Bragança, 23 de setembro de 2022

O Técnico  
  
 Octávio Pereira

A Técnica Superior  
  
 Herminia Morais

 <b>INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA</b> Escola Superior de Tecnologia e Gestão		<b>RELAÇÕES BARIDADE SECA - TEOR DE HUMIDADE</b>				
		<b>COMPACTAÇÃO</b>				
		Norma Referência: LNEC E 197:1966				
		<b>Amostra:</b>	S3			
<b>Data da Colheita:</b>	20/09/2022					
<b>Cliente:</b>	Instituto Politécnico de Bragança	<b>Obra:</b>	Residência Nova do Instituto Politécnico de Bragança - Mirandela			
		<b>Local:</b>	Mirandela			

**COMPACTAÇÃO USADA:** PESADA

**TEOR EM ÁGUA NATURAL:** 3,0%

Número do ensaio		1	2	3	4	5
P1	Peso do molde vazio (gr)	4822	4822	4822	4822	4822
P2	Peso do molde mais solo húmido (gr)	9030	9192	9339	9386	9265
ps = P2-P1	Peso do solo húmido (gr)	4208	4370	4517	4564	4443
V	Volume do molde (cm <sup>3</sup> )	2089	2089	2089	2089	2089
Yw = ps/V	Baridade húmida (0,001gr/cm <sup>3</sup> )	2,014	2,092	2,162	2,185	2,127

**TEORES EM ÁGUA**

Número do recipiente		18	2	20	7	1
pt	Peso do recipiente (0,1gr)	172,1	160,2	162,6	161,0	161,5
pa+s+t	Peso do recipiente e solo húmido (0,1gr)	645,5	605,2	595,4	510,1	501,3
ps+t	Peso do recipiente e solo seco (0,1gr)	616,5	572,5	558,0	475,0	462,2
pa=pa+s+t-(ps+t)	Peso da água (0,1gr)	29,0	32,7	37,4	35,1	39,1
ps=ps+t-pt	Peso do solo seco (0,1gr)	444,4	412,3	395,4	314,0	300,7
W = (pa/ps)*100	Teor em água (0,1%)	6,5	7,9	9,5	11,2	13,0

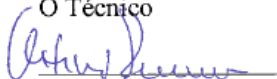
**RELAÇÕES BARIDADE SECA - TEOR DE HUMIDADE**

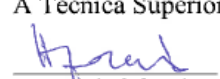
w	Teor em água (0,1%)	6,5	7,9	9,5	11,2	13,0
$\gamma_s = \frac{(100 * \gamma_w)}{(100 + W)}$	Baridade seca (0,001gr/cm <sup>3</sup> )	1,891	1,938	1,975	1,965	1,882


**Baridade seca máxima ( $\gamma_{S_{máx}}$ ):** 1,980 (0,01gr/cm<sup>3</sup>)

**Teor de humidade óptimo ( $W_{op}$ ):** 10,0 (0,1%)

Bragança, 23 de setembro de 2022

O Técnico  
  
 Octávio Pereira

A Técnica Superior  
  
 Herminia Morais

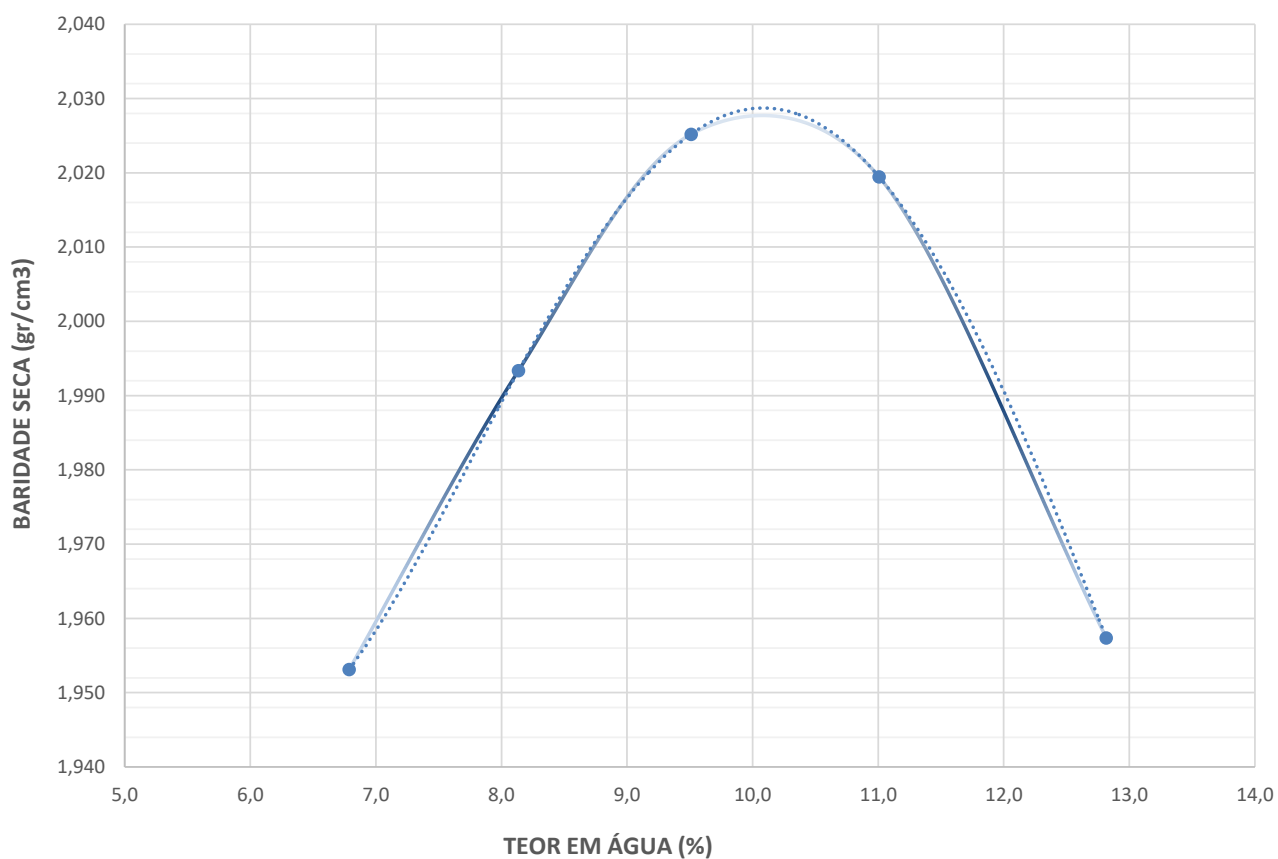
		<b>RELAÇÕES BARIDADE SECA - TEOR DE HUMIDADE</b>	
		<b>COMPACTAÇÃO</b>	
		Norma Referência: LNEC E 197:1966	
		<b>Amostra:</b>	S1
		<b>Data da Colheita:</b>	20/09/2022
<b>Cliente:</b>	Instituto Politécnico de Bragança	<b>Obra:</b>	Residência Nova do Instituto Politécnico de Bragança - Mirandela
		<b>Local:</b>	Mirandela

**COMPACTAÇÃO USADA:** PESADA

**Wop=** 10,0%

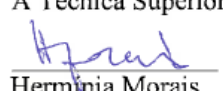
**$\gamma_{Sm\acute{a}x}$** = 2,030 g/cm<sup>3</sup>


### CURVA PROCTOR



Bragança, 23 de setembro de 2022

O Técnico  
  
 Octávio Pereira

A Técnica Superior  
  
 Herminia Morais

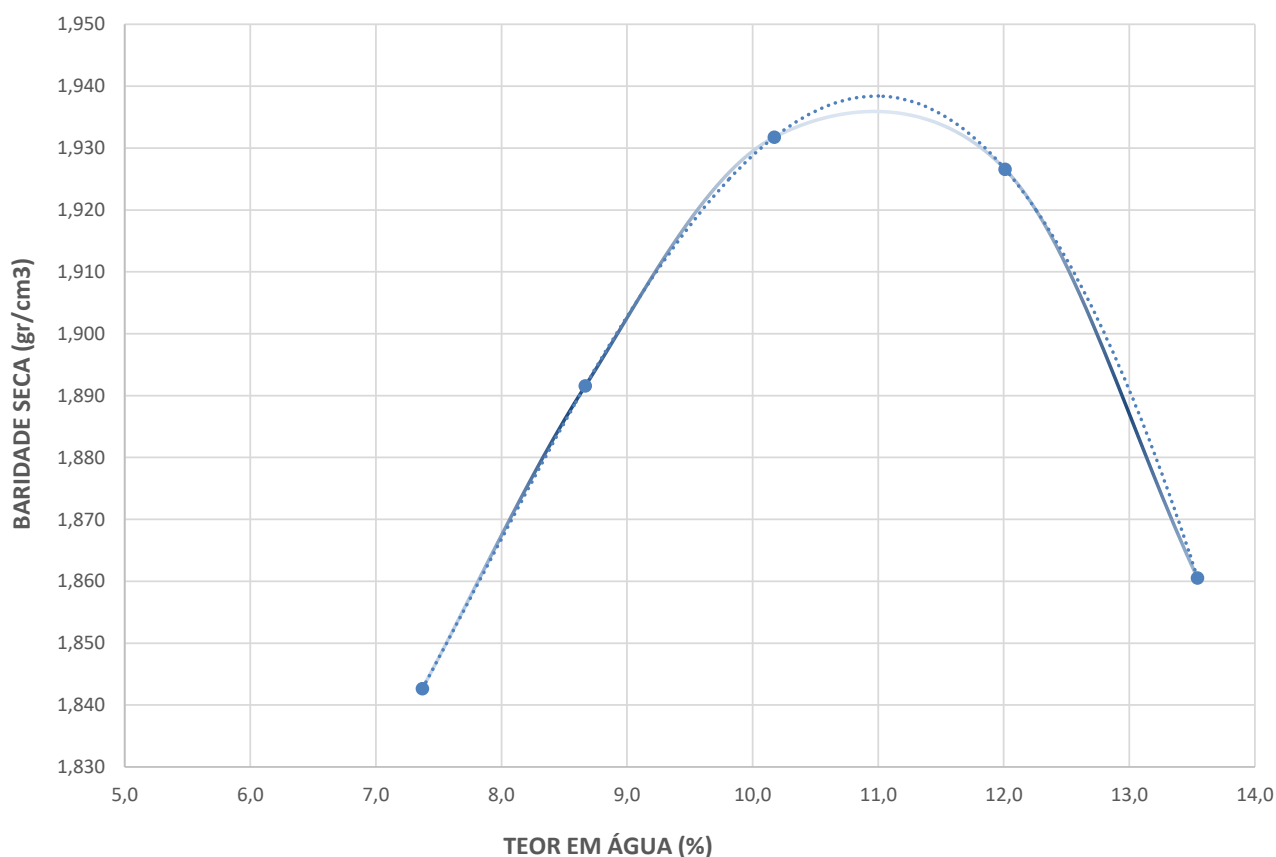
 <p><b>INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA</b> Escola Superior de Tecnologia e Gestão</p>	<b>RELAÇÕES BARIDADE SECA - TEOR DE HUMIDADE</b>	
	<b>COMPACTAÇÃO</b>	
	Norma Referência: LNEC E 197:1966	
	<b>Amostra:</b>	S2
	<b>Data da Colheita:</b>	20/09/2022
<b>Cliente:</b> Instituto Politécnico de Bragança	<b>Obra:</b>	Residência Nova do Instituto Politécnico de Bragança - Mirandela
	<b>Local:</b>	Mirandela

**COMPACTAÇÃO USADA:** PESADA

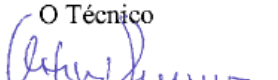
**Wop=** 11,0%

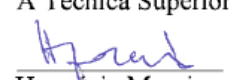
**$\gamma_{Sm\acute{a}x}$ =** 1,940 g/cm<sup>3</sup>


### CURVA PROCTOR



Bragança, 19 de setembro de 2022

O Técnico  
  
 Octávio Pereira

A Técnica Superior  
  
 Herminia Morais

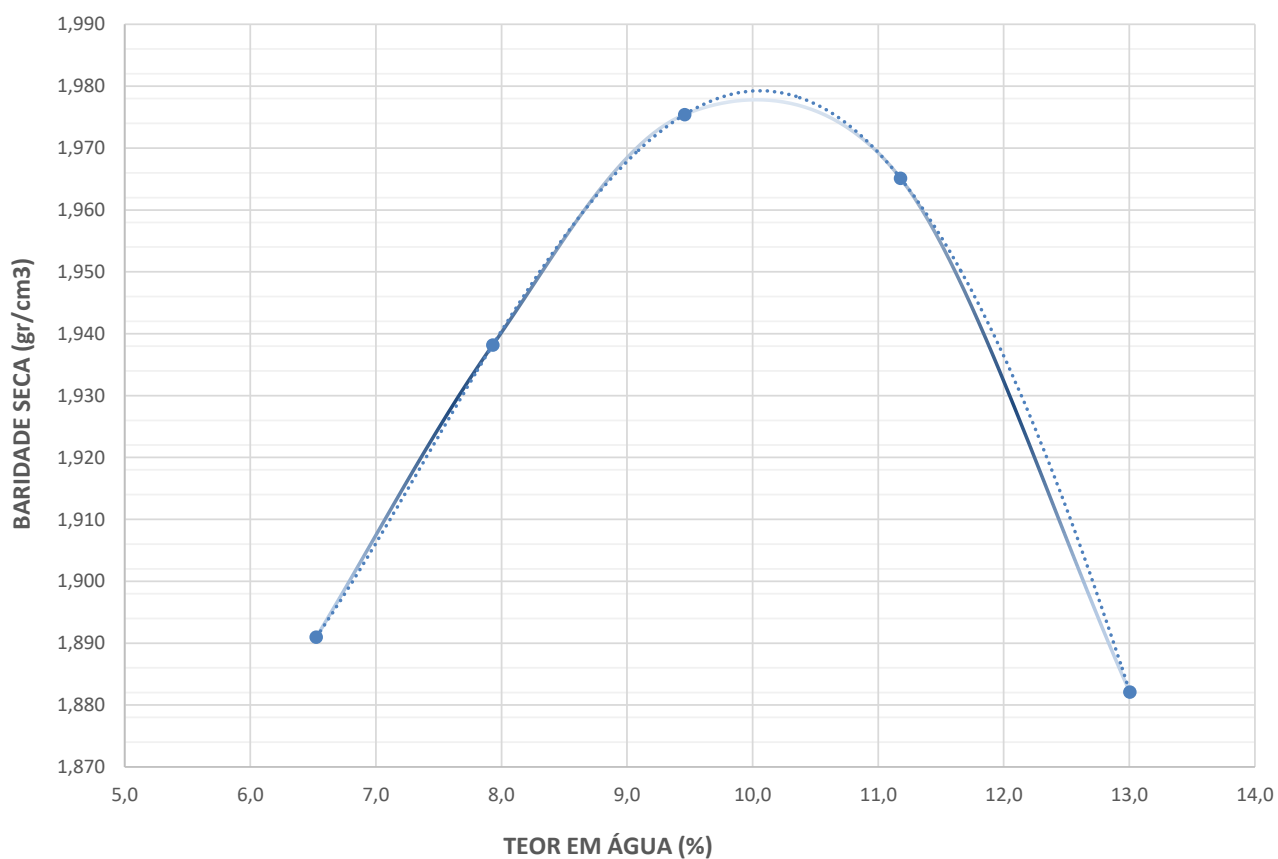
		<b>RELAÇÕES BARIDADE SECA - TEOR DE HUMIDADE</b>	
		<b>COMPACTAÇÃO</b>	
		Norma Referência: LNEC E 197:1966	
		<b>Amostra:</b>	S3
		<b>Data da Colheita:</b>	20/09/2022
<b>Cliente:</b>	Instituto Politécnico de Bragança	<b>Obra:</b>	Residência Nova do Instituto Politécnico de Bragança - Mirandela
		<b>Local:</b>	Mirandela

**COMPACTAÇÃO USADA:** PESADA

**Wop=** 10,0%

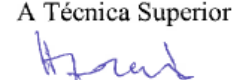
**$\gamma_{Sm\acute{a}x}$ =** 1,980 g/cm<sup>3</sup>

### CURVA PROCTOR



Bragança, 23 de setembro de 2022

O Técnico  
  
 Octávio Pereira

A Técnica Superior  
  
 Herminia Morais

**ANEXO III (Resultados dos pontos de prospeção e de realização dos ensaios DPSH)**



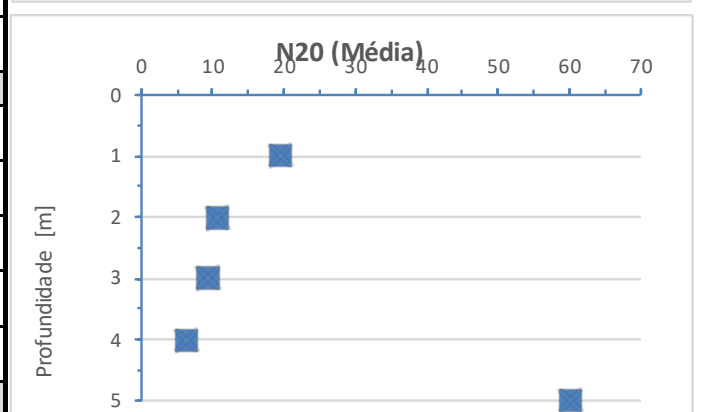
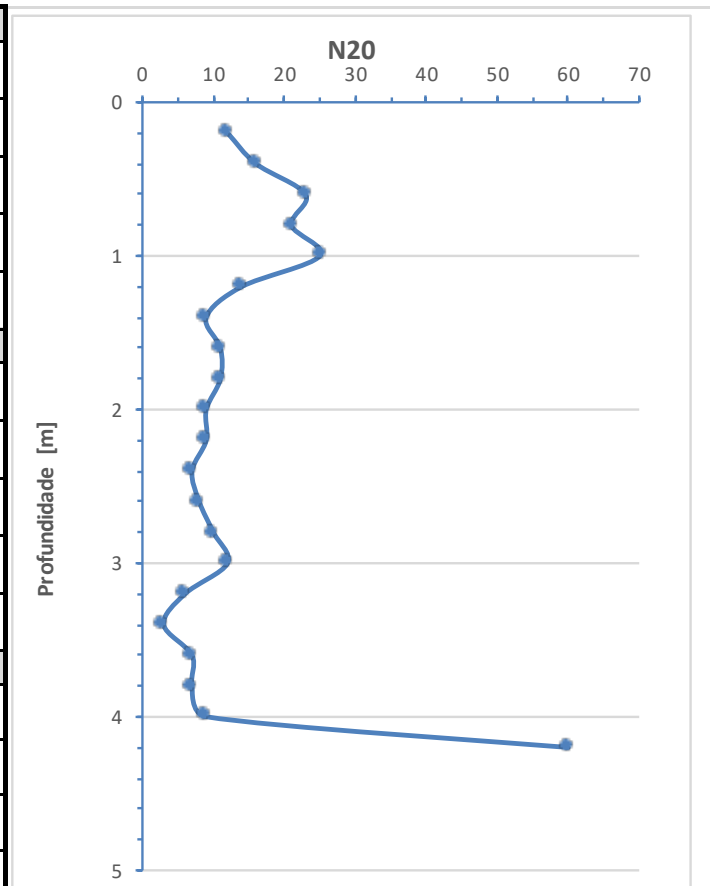
**INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA** Escola Superior de Tecnologia e Gestão

### Ensaios de Penetração com DPSH

<b>Posição:</b>	1	<b>Sondagem nº:</b>	<b>P1</b>
<b>Coordenadas</b>	<b>Este:</b>		<b>Direita do eixo:</b>
	<b>Norte:</b>		
	<b>Elevação (Z):</b>		
<b>Data:</b>	20/09/22	<b>Nível de água:</b>	Não Detectado

<b>Ciente:</b>	Instituto Politécnico de Bragança	<b>Obra:</b>	Residência Nova do Instituto Politécnico de Bragança - Mirandela
		<b>Local:</b>	Mirandela

Z(m)	N <sub>20</sub>	Z(m)	N <sub>20</sub>	Z(m)	N <sub>20</sub>
0.2	12	4.2	60	8.2	
0.4	16	4.4		8.4	
0.6	23	4.6		8.6	
0.8	21	4.8		8.8	
1	25	5		9	
<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>19.4</b>	<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>60.0</b>	<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>
1.2	14	5.2		9.2	
1.4	9	5.4		9.4	
1.6	11	5.6		9.6	
1.8	11	5.8		9.8	
2	9	6		10	
<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>10.8</b>	<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>
2.2	9	6.2		10.2	
2.4	7	6.4		10.4	
2.6	8	6.6		10.6	
2.8	10	6.8		10.8	
3	12	7		11	
<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>9.2</b>	<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>
3.2	6	7.2		11.2	
3.4	3	7.4		11.4	
3.6	7	7.6		11.6	
3.8	7	7.8		11.8	
4	9	8		12	
<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>6.4</b>	<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>



\*=19 cm



**INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA** Escola Superior de Tecnologia e Gestão

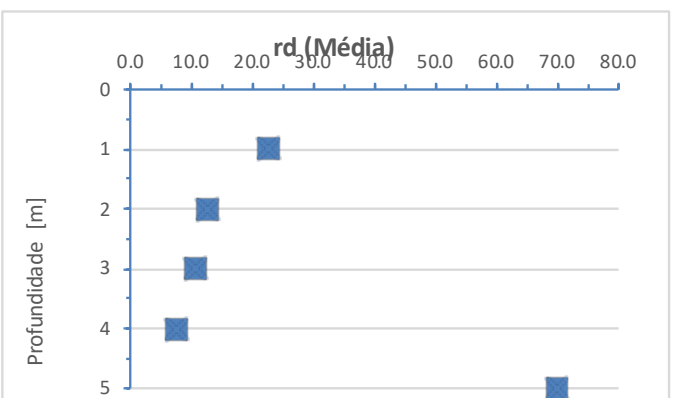
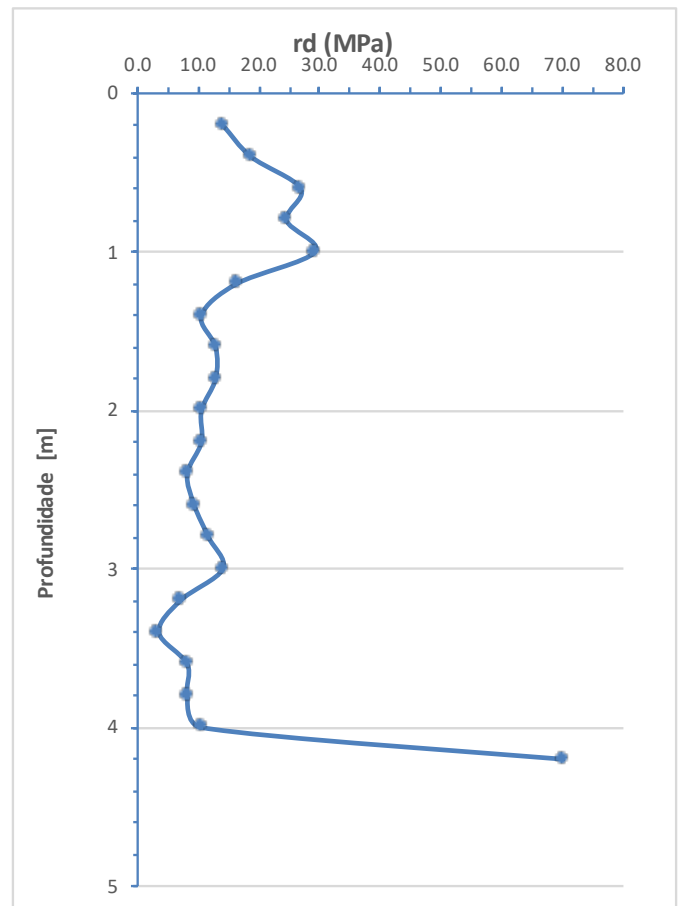
### Ensaio de Penetração com DPSH

<b>Posição:</b>	1	<b>Sondagem nº:</b>	<b>P1</b>
<b>Coordenadas</b>	<b>Este:</b>		<b>Direita do eixo:</b>
	<b>Norte:</b>		
	<b>Elevação (Z):</b>		
<b>Data:</b>	20/09/22	<b>Nível de água:</b>	Não Detectado

<b>Ciente:</b>	Instituto Politécnico de Bragança	<b>Obra:</b>	Residência Nova do Instituto Politécnico de Bragança - Mirandela
		<b>Local:</b>	Mirandela

Z(m)	r <sub>d</sub>	Z(m)	r <sub>d</sub>	Z(m)	r <sub>d</sub>
0.2	14.02	4.2	70.08	8.2	
0.4	18.69	4.4		8.4	
0.6	26.86	4.6		8.6	
0.8	24.53	4.8		8.8	
1	29.20	5		9	
<b>rd (Méd)</b>	<b>22.66</b>	<b>rd (Méd)</b>	<b>70.08</b>	<b>rd (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>
1.2	16.35	5.2		9.2	
1.4	10.51	5.4		9.4	
1.6	12.85	5.6		9.6	
1.8	12.85	5.8		9.8	
2	10.51	6		10	
<b>rd (Méd)</b>	<b>12.61</b>	<b>rd (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>rd (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>
2.2	10.51	6.2		10.2	
2.4	8.18	6.4		10.4	
2.6	9.34	6.6		10.6	
2.8	11.68	6.8		10.8	
3	14.02	7		11	
<b>rd (Méd)</b>	<b>10.75</b>	<b>rd (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>rd (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>
3.2	7.01	7.2		11.2	
3.4	3.50	7.4		11.4	
3.6	8.18	7.6		11.6	
3.8	8.18	7.8		11.8	
4	10.51	8		12	
<b>rd (Méd)</b>	<b>7.48</b>	<b>rd (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>rd (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>

\*=19 cm





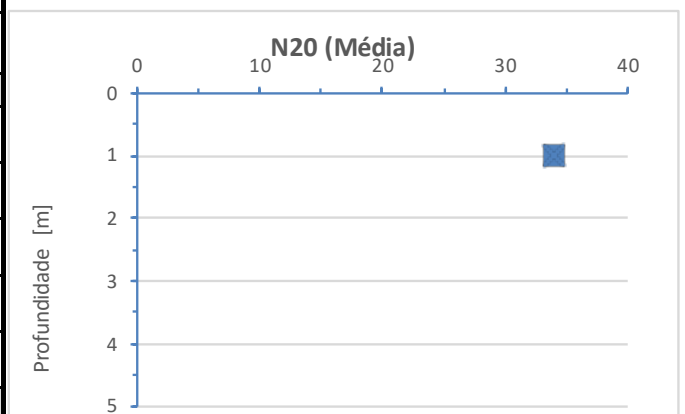
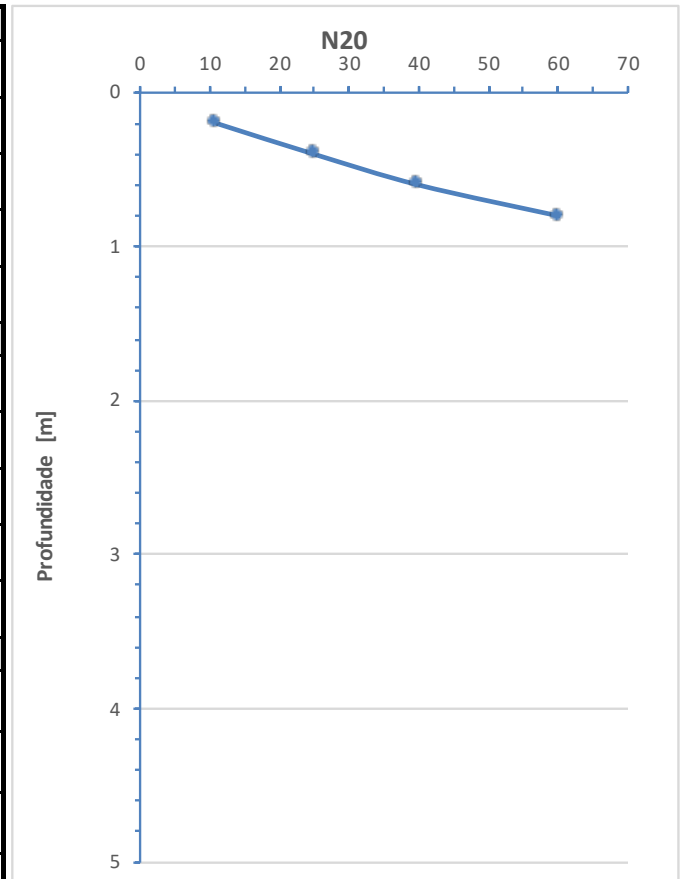
**INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA** Escola Superior de Tecnologia e Gestão

### Ensaios de Penetração com DPSH


<b>Posição:</b>	2	<b>Sondagem nº:</b>	<b>P2</b>
<b>Coordenadas</b>	Este		<b>Esquerda do eixo:</b>
	Norte:		
	Elevação (Z):		
<b>Data:</b>	20/09/22	<b>Nível de água:</b>	Não detectado

<b>Cliente:</b>	Instituto Politécnico de Bragança	<b>Obra:</b>	Residência Nova do Instituto Politécnico de Bragança - Mirandela
		<b>Local:</b>	Mirandela

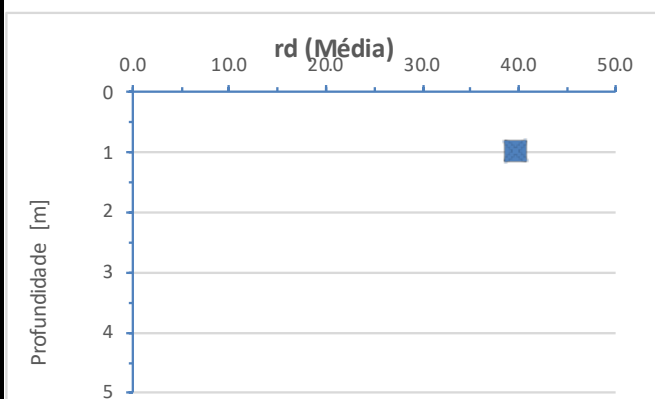
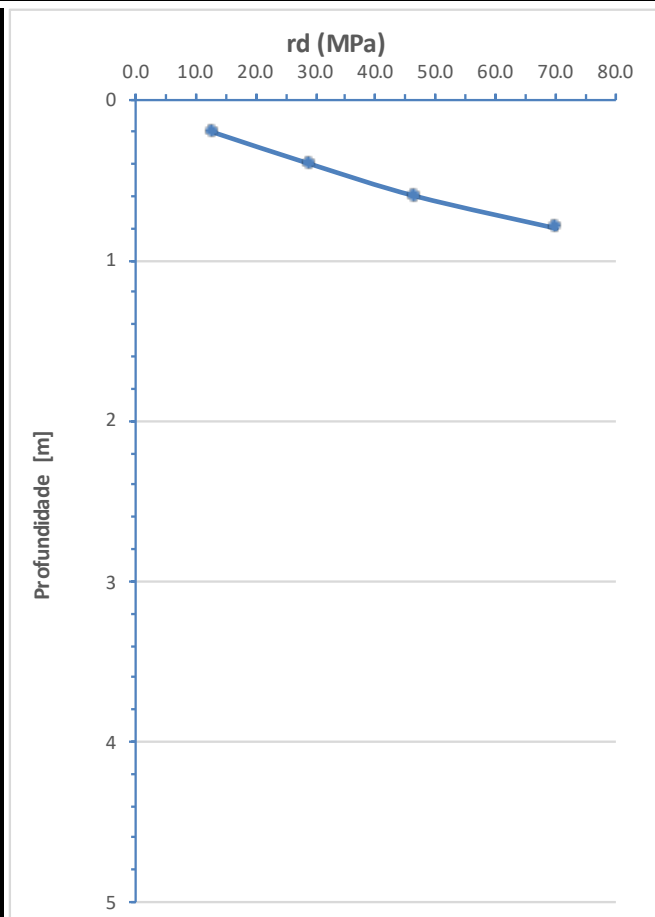
Z(m)	N <sub>20</sub>	Z(m)	N <sub>20</sub>	Z(m)	N <sub>20</sub>
0.2	11	4.2		8.2	
0.4	25	4.4		8.4	
0.6	40	4.6		8.6	
0.8	60	4.8		8.8	
1		5		9	
<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>34.0</b>	<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>
1.2		5.2		9.2	
1.4		5.4		9.4	
1.6		5.6		9.6	
1.8		5.8		9.8	
2		6		10	
<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>
2.2		6.2		10.2	
2.4		6.4		10.4	
2.6		6.6		10.6	
2.8		6.8		10.8	
3		7		11	
<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>
3.2		7.2		11.2	
3.4		7.4		11.4	
3.6		7.6		11.6	
3.8		7.8		11.8	
4		8		12	
<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>



\*=18cm

 <b>INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA</b> Escola Superior de Tecnologia e Gestão		<b>Ensaios de Penetração com DPSH</b>				
		<b>Posição:</b>	2	<b>Sondagem nº:</b>	<b>P2</b>	
		<b>Coordenadas</b>	<b>Este:</b>		<b>Direita do eixo:</b>	
			<b>Norte:</b>			
<b>Data:</b>	20/09/22	<b>Nível de água:</b>	Não detectado			
<b>Cliente:</b>	Instituto Politécnico de Bragança	<b>Obra:</b>	Residência Nova do Instituto Politécnico de Bragança - Mirandela			
		<b>Local:</b>	Mirandela			

Z(m)	r <sub>d</sub>	Z(m)	r <sub>d</sub>	Z(m)	r <sub>d</sub>
0.2	12.85	4.2		8.2	
0.4	29.20	4.4		8.4	
0.6	46.72	4.6		8.6	
0.8	70.08	4.8		8.8	
1		5		9	
<b>rd (Méd)</b>	<b>39.71</b>	<b>rd (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>rd (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>
1.2		5.2		9.2	
1.4		5.4		9.4	
1.6		5.6		9.6	
1.8		5.8		9.8	
2		6		10	
<b>rd (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>rd (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>rd (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>
2.2		6.2		10.2	
2.4		6.4		10.4	
2.6		6.6		10.6	
2.8		6.8		10.8	
3		7		11	
<b>rd (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>rd (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>rd (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>
3.2		7.2		11.2	
3.4		7.4		11.4	
3.6		7.6		11.6	
3.8		7.8		11.8	
4		8		12	
<b>rd (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>rd (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>rd (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>



\*=18cm



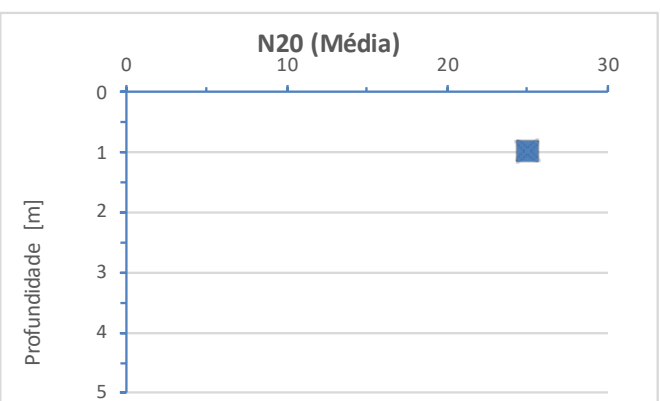
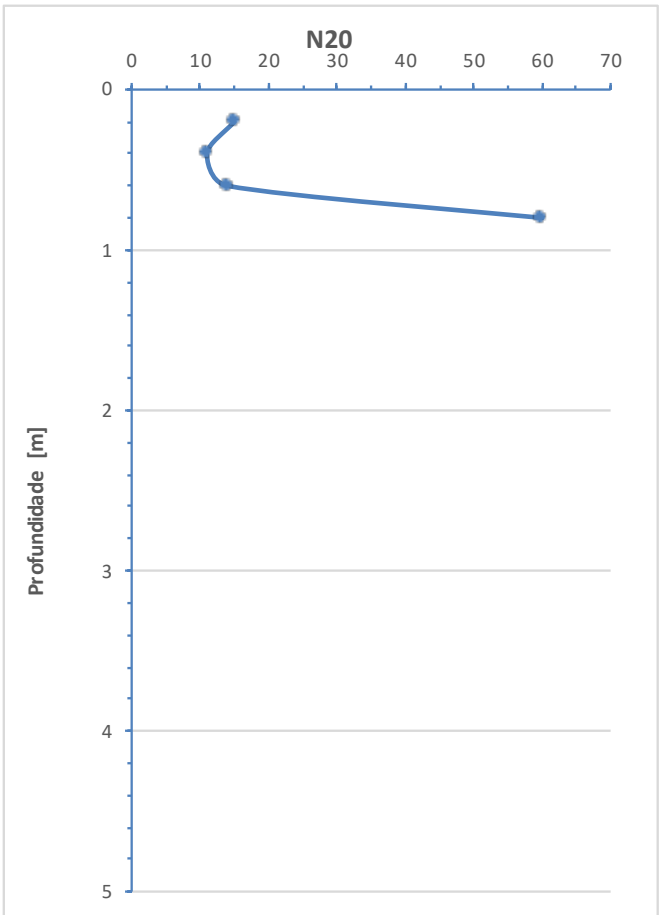
**INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA** Escola Superior de Tecnologia e Gestão

### Ensaio de Penetração com DPSH


<b>Posição:</b>	3	<b>Sondagem nº:</b>	<b>P3</b>
<b>Coordenadas</b>	Este		<b>Esquerda do eixo:</b>
	Norte:		
	Elevação (Z):		
<b>Data:</b>	20/09/22	<b>Nível de água:</b>	Não detectado

<b>Cliente:</b>	Instituto Politécnico de Bragança	<b>Obra:</b>	Residência Nova do Instituto Politécnico de Bragança - Mirandela
		<b>Local:</b>	Mirandela

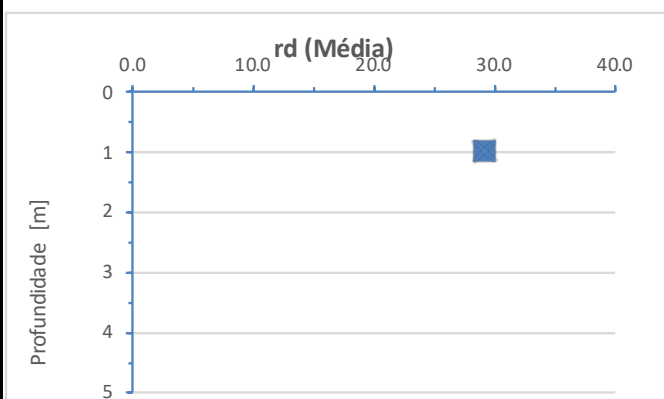
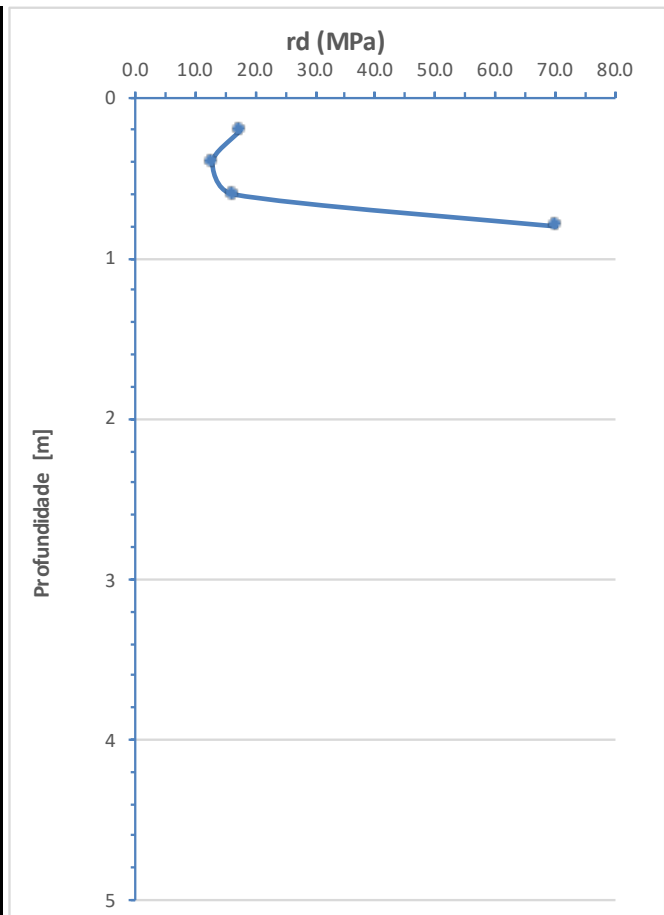
Z(m)	N <sub>20</sub>	Z(m)	N <sub>20</sub>	Z(m)	N <sub>20</sub>
0.2	15	4.2		8.2	
0.4	11	4.4		8.4	
0.6	14	4.6		8.6	
0.8	60	4.8		8.8	
1		5		9	
<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>25</b>	<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>
1.2		5.2		9.2	
1.4		5.4		9.4	
1.6		5.6		9.6	
1.8		5.8		9.8	
2		6		10	
<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>
2.2		6.2		10.2	
2.4		6.4		10.4	
2.6		6.6		10.6	
2.8		6.8		10.8	
3		7		11	
<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>
3.2		7.2		11.2	
3.4		7.4		11.4	
3.6		7.6		11.6	
3.8		7.8		11.8	
4		8		12	
<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>N<sub>20</sub> (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>



\*=16cm

 <b>INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA</b> Escola Superior de Tecnologia e Gestão		<b>Ensaios de Penetração com DPSH</b>				
		Posição:	3	Sondagem nº:	<b>P3</b>	
		Coordenadas	Este:		Direita do eixo:	
			Norte:			
Elevação (Z):						
Data:	20/09/22	Nível de água:	Não detectado			
Cliente:	Instituto Politécnico de Bragança	Obra:	Residência Nova do Instituto Politécnico de Bragança - Mirandela			
		Local:	Mirandela			

Z(m)	r <sub>d</sub>	Z(m)	r <sub>d</sub>	Z(m)	r <sub>d</sub>
0.2	17.52	4.2		8.2	
0.4	12.85	4.4		8.4	
0.6	16.35	4.6		8.6	
0.8	70.08	4.8		8.8	
1		5		9	
<b>rd (Méd)</b>	<b>29.20</b>	<b>rd (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>rd (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>
1.2		5.2		9.2	
1.4		5.4		9.4	
1.6		5.6		9.6	
1.8		5.8		9.8	
2		6		10	
<b>rd (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>rd (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>rd (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>
2.2		6.2		10.2	
2.4		6.4		10.4	
2.6		6.6		10.6	
2.8		6.8		10.8	
3		7		11	
<b>rd (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>rd (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>rd (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>
3.2		7.2		11.2	
3.4		7.4		11.4	
3.6		7.6		11.6	
3.8		7.8		11.8	
4		8		12	
<b>rd (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>rd (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>rd (Méd)</b>	<b>#DIV/0!</b>



\*=16cm