

ENSAIO TRIAXIAL

ASTM D 4767

- RELATÓRIO -

Requerente: MOTA-ENGIL, Engenharia SA

Refª: S20 T-SL4

Profundidade: 9,50-10,50

Classificação: Areia siltosa

Estado: Intacta

Tipo de ensaio: Triaxial - CIU

RELATÓRIO DE ENSAIO TRIAXIAL

Características do equipamento:

Estação Triaxial nº	1	
Diâmetro médio das amostras; $\varnothing$ =	72,0	(mm)
Área média das secções; A =	4071,50	(mm ²)
Altura média dos provetes; H =	133,83	(mm)

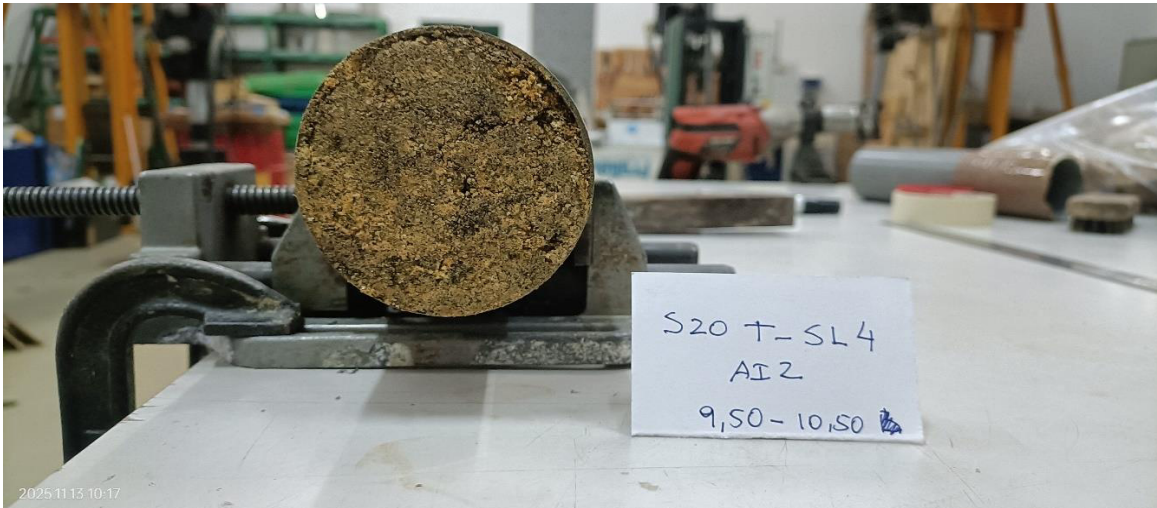
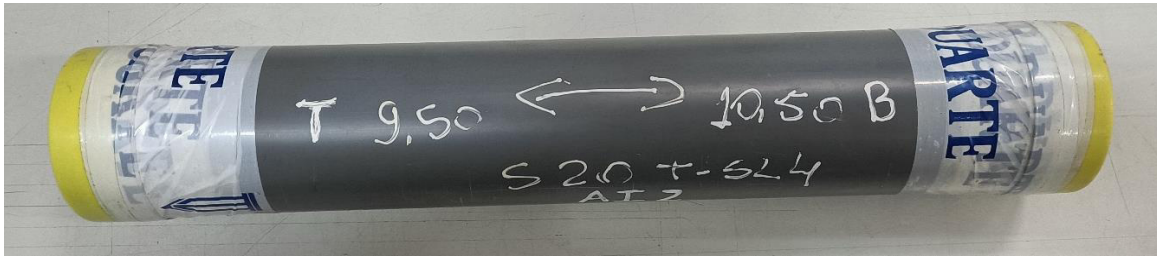
Equipamento de ensaio : Célula triaxial, com controlo automático das tensões e leitura automatizada de todos os dispositivos de leitura.

Tipo de registo	Automático	
Atuadores pressão ELDPC - GDS	3	1000 kPa
Capacidade vol. do atuador	1	200 cc
Transdutor de deslocamento externo	1	25 mm
Célula de carga submersível	1	10 MPa
Prensa GDSLF50	1	50 kN

Designação dos ensaios : CIU - Consolidados não drenados, com medição de pressões intersticiais



ENSAIO TRIAXIAL - CIU (com medição da pressão intersticial)
Amostra: S20 T-SL4 (9,50-10,50 m)



Propriedades dos provetes:

Proвете	σ'_{cons} (kPa)	H_i (mm)	ϕ_i (mm)	γ (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	e_0	S_0 (%)
A	50	134,5	72,0	18,86	14,98	0,742	92,81
B	100	134,0	72,0	18,96	15,01	0,738	94,67
C	200	133,0	72,0	19,47	15,53	0,680	99,16

Fase de saturação dos provetes

Procedimento :

Fase 1 - Aplicação de uma percolação ascendente de água durante cerca de 15 min para remoção das bolhas de ar de maior dimensão. Condições de ensaio:

$$\sigma_{\text{cam}} = 30 \text{ kPa}$$

$$u_{(\text{base})} = 10 \text{ kPa}$$

$$u_{(\text{topo})} = 0 \text{ kPa} \quad (\text{saída para a atmosfera})$$

Fase 2 - Foi utilizada uma bomba de vácuo ligada à linha da contrapressão (topo do provete), aplicando-se uma deflexão de 550 torr, mantendo-se na linha da pressão intersticial (base do provete) uma pressão de 10 kPa, durante 15 minutos, para facilitar a saturação completa do provete.

Fase 2 - Aplicação de uma contrapressão (u_{back}) mínima de 300 kPa, de um modo sequencial (30kPa/h) de modo a garantir uma tensão efectiva de 25 kPa. Estas condições foram mantidas até o provete se considerar saturado.

Proвете	σ'_{cons} (kPa)	Condições iniciais			Saturação		
		H_i (mm)	ϕ_i (mm)	w_i (%)	u_{back} (kPa)	B	Condição
A	50	134,5	72,0	25,9	303,2	0,960	OK
B	100	134,0	72,0	26,3	299,0	0,915	OK
C	200	133,0	72,0	25,4	299,0	0,960	OK

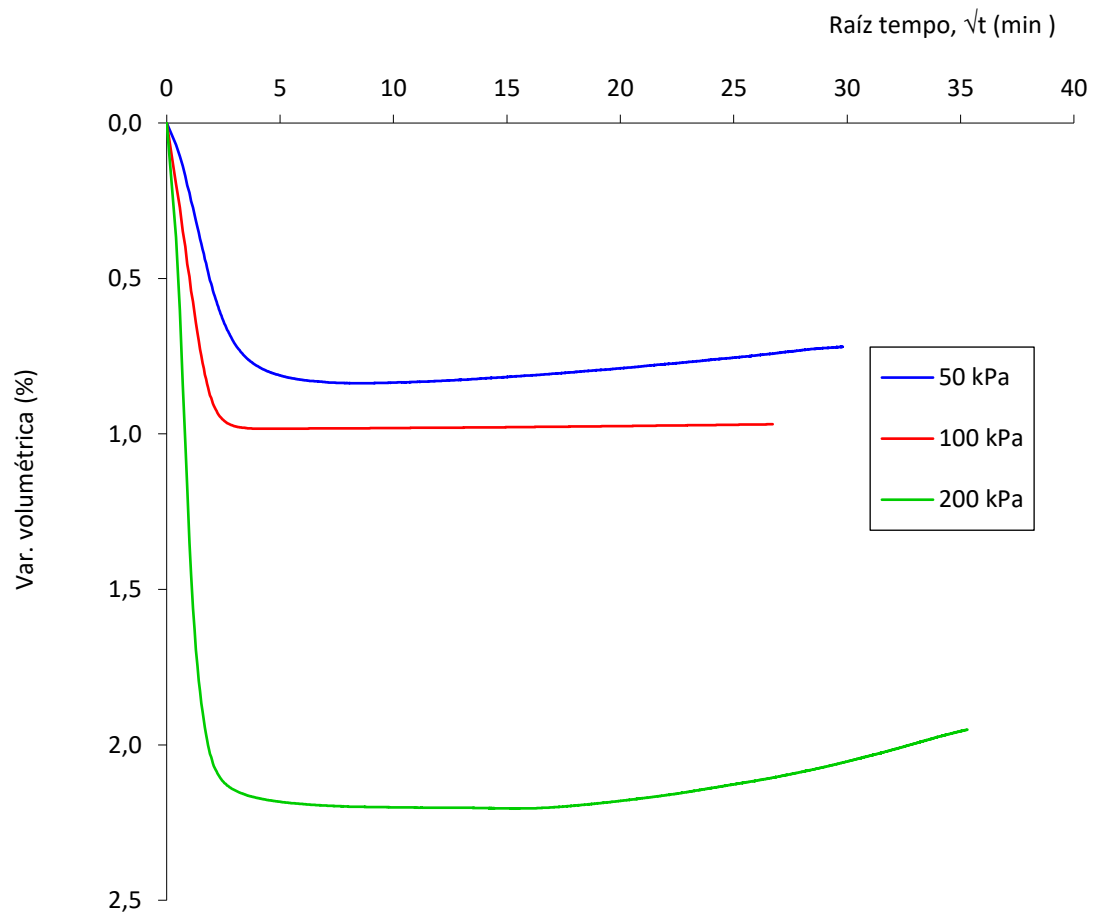
Fase de consolidação

Tipo de consolidação : Isotrópica

Procedimento :

Aplicação do acréscimo de pressão na câmara num único incremento. A drenagem do excesso de pressão intersticial foi efectuada por ambas as extremidades do provete de modo a acelerar o processo de dissipação do excesso de pressão neutra. Durante esta fase mediu-se a variação de volume ao longo do tempo. Considerou-se que a consolidação terminou quando a variação volumétrica estabilizava.

Proвете	Tensões			Resultados			
	σ_{cam} (kPa)	u_{back} (kPa)	σ'_{cons} (kPa)	ε_{vol} (%)	t_{90} (min)	m_v (kPa ⁻¹)	C_v (m ² /ano)
A	349	299	50	0,72	8,410	1,47E-04	239,7
B	399	300	99	0,97	4,410	9,69E-05	453,7
C	499	299	200	1,95	2,560	9,76E-05	769,9



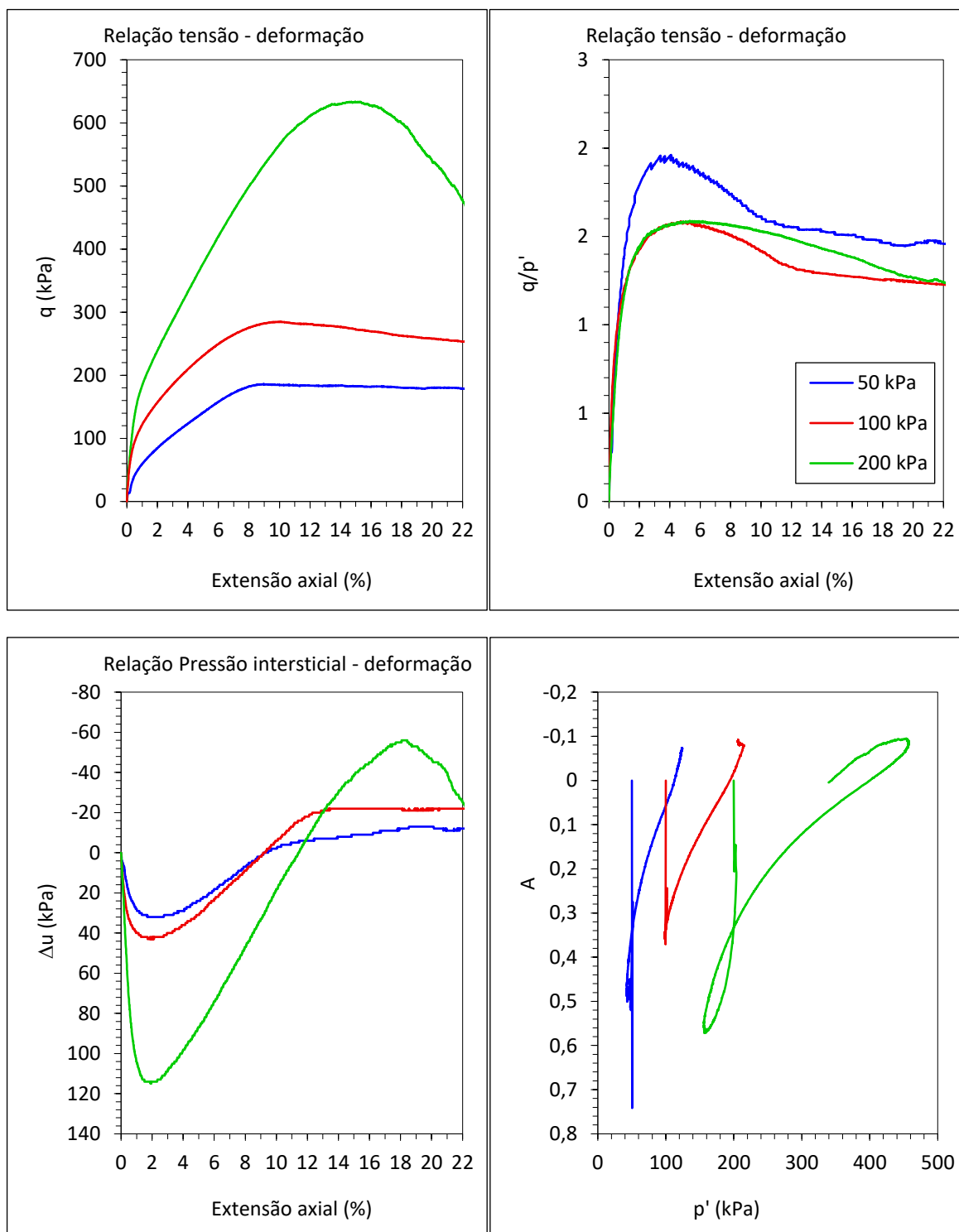
Fase de corte

Trajectória de tensões : [Compressão com aumento da tensão média](#)

Tipo de drenagem : [Não drenado com medição de pressões intersticiais](#)

Vel. de corte (mm/min) : [0,09](#)

Tipo de corte : [Deformação controlada](#)

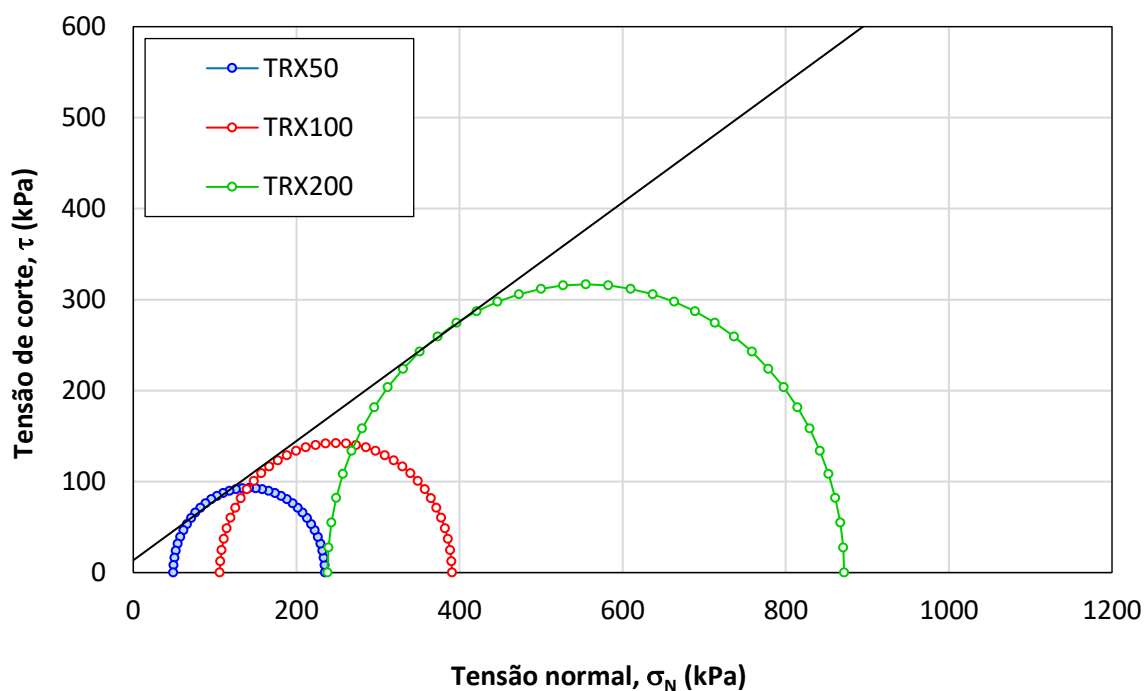


Parâmetros de resistência ao corte:

Critério de rotura = $q_{\text{máx}}$

Provete	σ'_{cons} (kPa)	A_f	σ'_{1f} (kPa)	σ'_{3f} (kPa)	u_f (kPa)	ε_{af} (%)
A	50	0,011	235,0	49,0	301,0	8,9
B	100	-0,021	390,7	106,0	293,0	10,1
C	200	-0,060	871,6	238,0	261,0	15,0

Representação no Modelo de Mohr-Coulomb



Parâmetros de resistência

Tensões efetivas

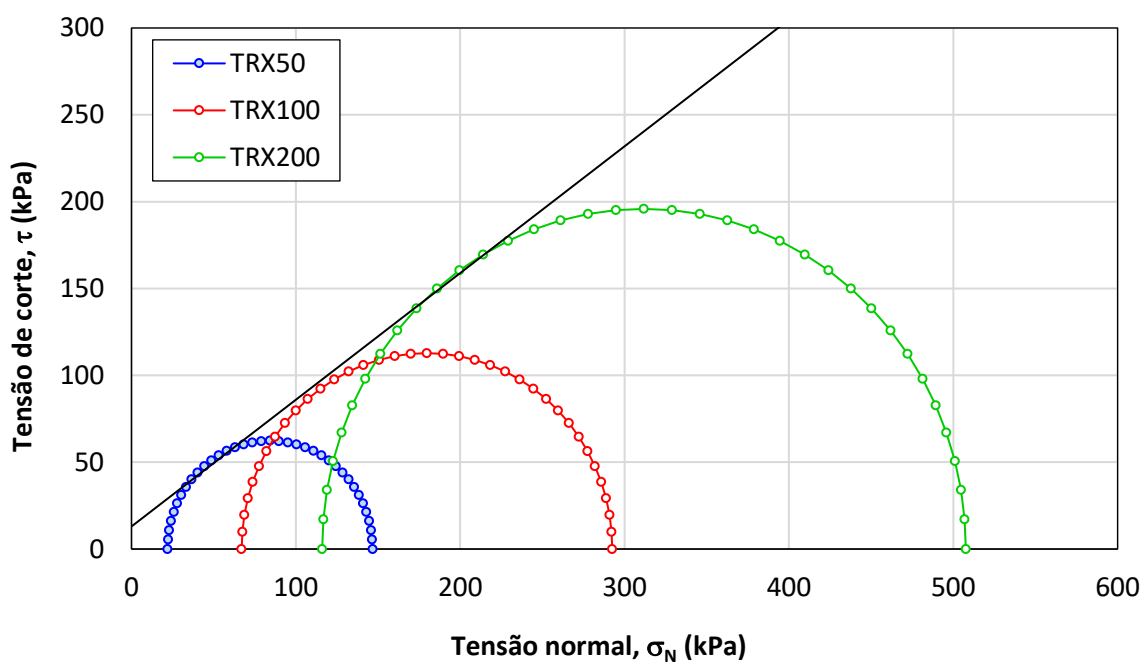
c' (kPa) =	13,6
ϕ' (°) =	33,2

Parâmetros de resistência ao corte:

$$\text{Critério de rotura} = (\sigma'_1 / \sigma'_3)_{\text{máx}}$$

Provete	σ'_{cons} (kPa)	A_f	σ'_{1f} (kPa)	σ'_{3f} (kPa)	u_f (kPa)	ε_{af} (%)
A	50	0,233	146,7	22,0	328,0	4,09
B	100	0,146	292,5	67,0	332,0	4,72
C	200	0,214	507,7	116,0	383,0	5,33

Representação no Modelo de Mohr-Coulomb



Parâmetros de resistência

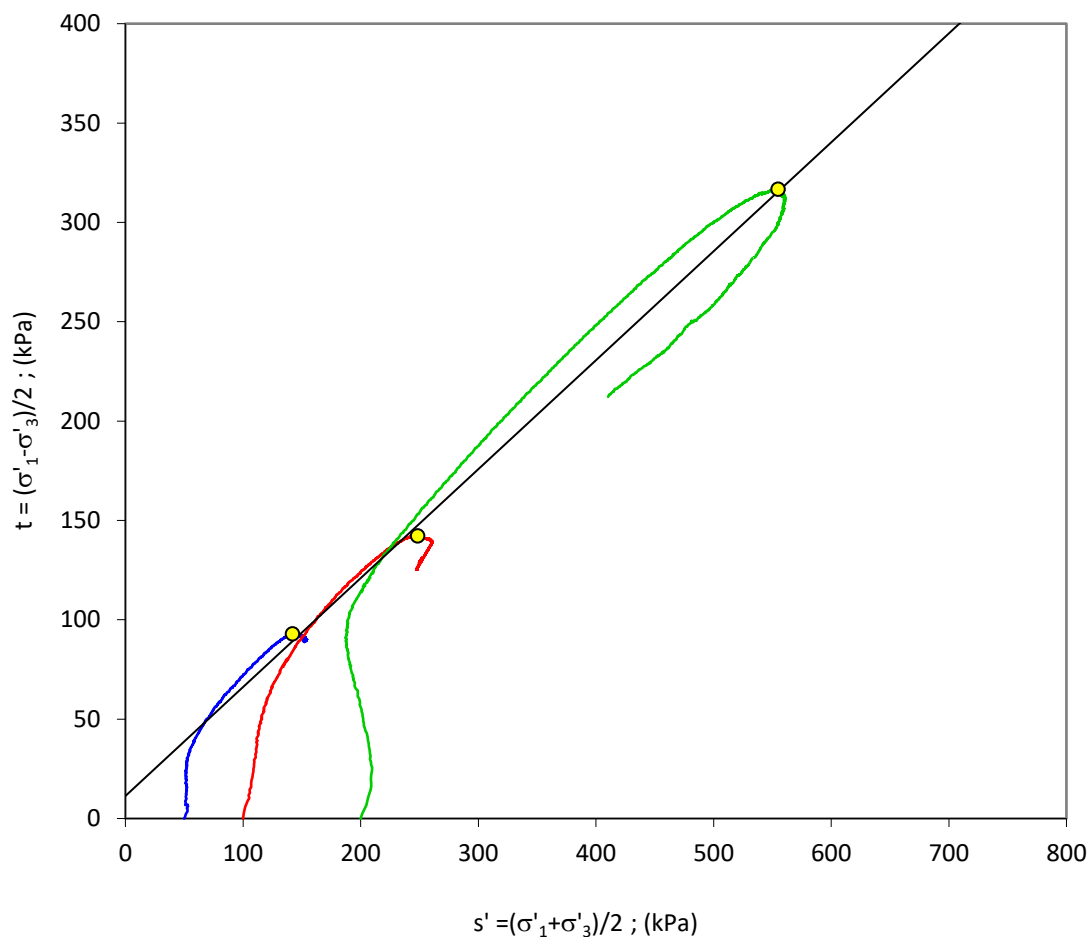
Tensões efetivas

$$c' \text{ (kPa)} = 13,0$$

$$\phi' \text{ (}^\circ\text{)} = 36,1$$

Parâmetros de resistência ao corte:

TRAJETÓRIA DAS TENSÕES NO ESPAÇO $t - s'$



Critério de rotura = $q_{m\acute{a}x}$

$m = 0,548$

$a \text{ (kPa)} = 11,34$

Critério de rotura = $(\sigma'_1/\sigma'_3)_{m\acute{a}x}$

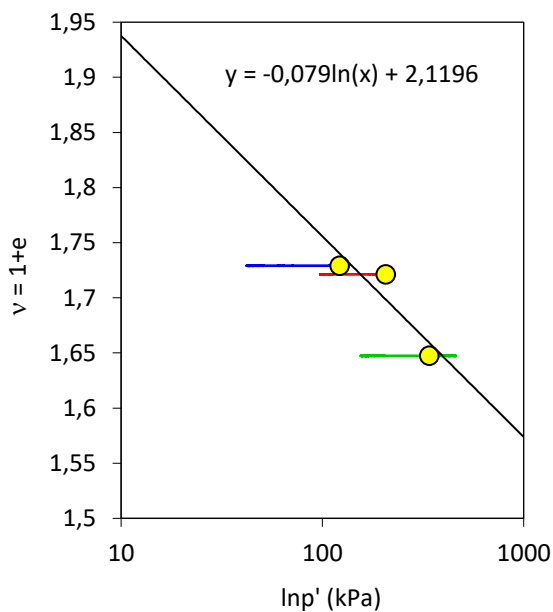
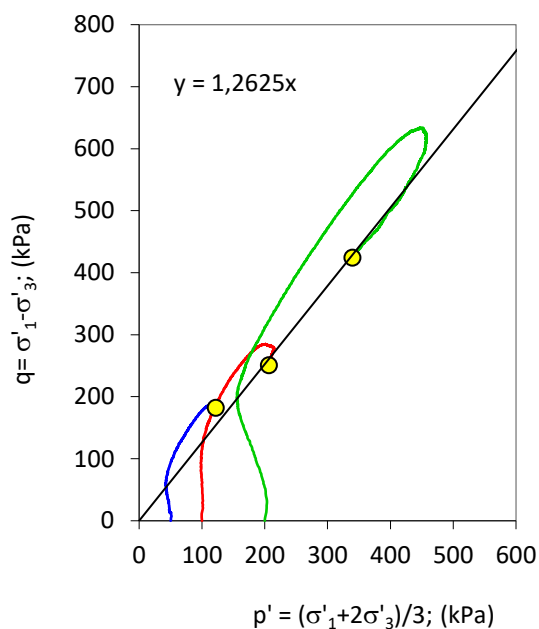
$m = 0,589$

$a \text{ (kPa)} = 10,50$

Estado Crítico

--	--	--	--	--	--	--

Provete	σ'_{cons} (kPa)	w_f (%)	$(\sigma'_1/\sigma'_3)_{cs}$	q_{cs}		Estado Crítico
				p' (kPa)	q (kPa)	$v = (1+e)$
A	50	25,9	3,99	121,8	182,3	1,729
B	100	26,3	3,04	206,6	250,9	1,721
D	200	25,4	3,14	339,5	424,4	1,647



Termo dependente M =	1,263
sin a (°) =	0,52
Termo indep. - a (kPa) =	0,00

Estado Crítico

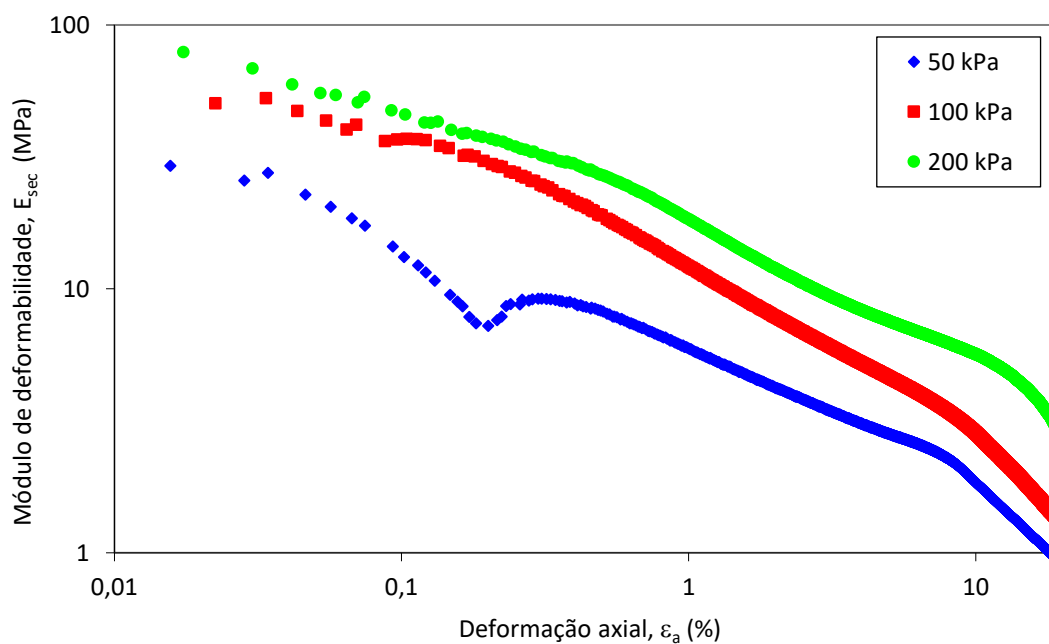
c' (kPa) =	0,0
ϕ' (°) =	31,4
M =	1,263

Γ =	2,120
λ =	0,079

Características de deformabilidade

Módulo de deformabilidade secante

Provete	σ'_{cons} (kPa)	E_0 (MPa)	$E_{30\%}$ (MPa)	$E_{50\%}$ (MPa)	$E_{75\%}$ (MPa)
A	50	29,29	6,37	3,90	2,84
B	100	52,80	21,40	9,18	5,13
D	200	78,90	17,37	8,68	1,83



Guarda, 27 de novembro de 2025

O director do Laboratório de Geotecnia do IPG
 Carlos Rodrigues
 Especialista em Geotecnia OE nº 27410
 Doutor em Engenharia Civil FCTUC

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAÇÃO HÚMIDA (LNEC - E 239 - 1970)

- RELATÓRIO -

Requerente: MOTA-ENGIL, Engenharia S.A.

Classificação: Areia siltosa

Amostra: S20T-SL4

Profundidade: (9,50-10,50 m)

Análise Granulométrica
Amostra: S20T-SL4 (9,50-10,50 m)

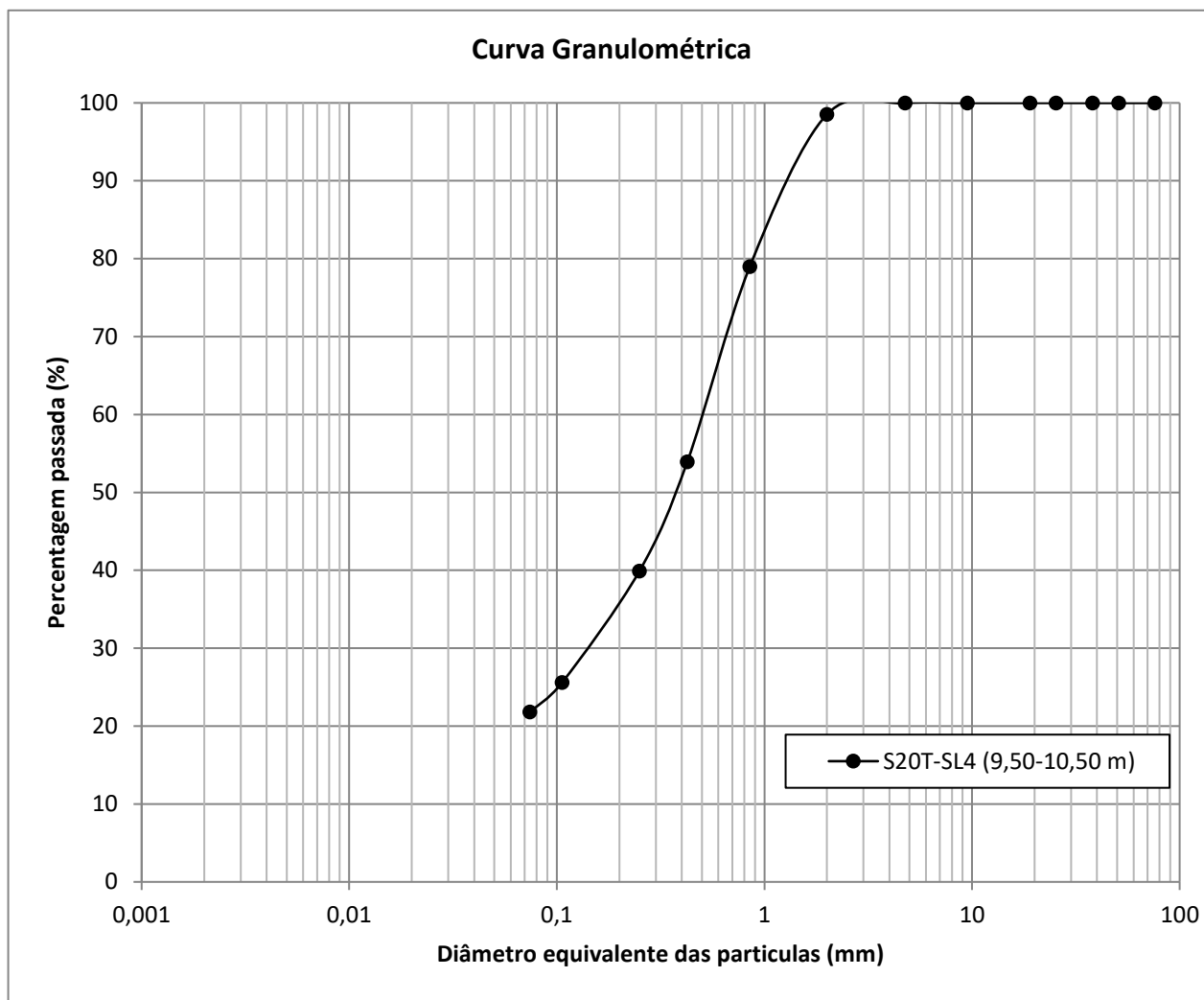
Peso total da amostra	$m_t =$	350,19
Peso retido no peneiro de 2,00 mm (nº 10)	$m_{10} =$	5,19
Peso passado no peneiro de 2,00 mm (nº 10)	$m'_{10} =$	345,00

PENEIRAÇÃO

FRACÇÃO RETIDA NO PENEIRO DE 2,00 mm (Nº10)				
Peneiros (mm)	Peso retido (g) (m_x)	% retida no peneiro $N_x = (m_x/m_t) \times 100$	% 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")	0,00	0,00	0,00	100,00
38,1 (1 1/2")	0,00	0,00	0,00	100,00
25,4 (1")	0,00	0,00	0,00	100,00
19,0 (3/4")	0,00	0,00	0,00	100,00
9,51 (3/8")	0,00	0,00	0,00	100,00
4,76 (nº4)	0,12	0,03	0,03	99,97
2,00 (nº10)	5,07	1,45	1,48	98,52

FRACÇÃO PASSADA NO PENEIRO DE 2,00 mm (Nº10)					
Massa da amostra a ensaiar, m_a (g) =		100,28			
Teor de humidade da amostra a ensaiar, W_a (%) =		0,75			
Massa de solo após pré-tratamento, m_b (g) =		99,54			
Percentagem de material retido no nº 10 ; $N'_{10} =$		1,48			
$N''_{10} = (m'_{10}/m_t) \times 100 =$		98,52			
Peneiros	Peso retido (g) (m_x)	% retida no peneiro $n'_x = (m_x/m_b) \times 100$	% retida acumulada	% acumulada passada n''_x	% acum. passada (total) $N''_x = n''_x * ((100 - N'_{10}) / 100)$
0.850 (nº20)	19,75	19,84	19,84	80,16	78,97
0.425 (nº40)	25,31	25,43	45,27	54,73	53,92
0.250 (nº60)	14,16	14,23	59,50	40,50	39,90
0.106 (nº140)	14,47	14,54	74,03	25,97	25,58
0.074 (nº200)	3,8	3,82	77,85	22,15	21,82

Análise Granulométrica
Amostra: S20T-SL4 (9,50-10,50 m)



D10 = -
D30 = -
D60 = -

Coefficiente de Uniformidade; C_u = -
Coefficiente de Curvatura; C_c = -

Guarda, 17 de novembro de 2025

O Director do Laboratório de Geotecnia do IPG
(Prof. Doutor Carlos Rodrigues)

DETERMINAÇÃO DO TEOR EM ÁGUA NATURAL

NP - 84 (1965)

-RELATÓRIO-

Requerente: MOTA-ENGIL, Engenharia S.A. **Identificação:** Areia siltosa
Amostra: S20T-SL4
Profundidade (m): (9,50-10,50 m)

TEOR EM ÁGUA
Amostra: S20T-SL4 (9,50-10,50 m)

Cápsula n.º =	8	18	10
Peso da cápsula (g) =	284,11	270,2	285,78
Peso da cápsula + solo húmido (g) =	1336,87	1324,50	1360,44
Peso da cápsula + solo seco (g) =	1120,44	1105,15	1143,07
Peso de água (g) =	216,43	219,35	217,37
Peso de solo (g) =	836,33	834,95	857,29
Teor em água (%) =	25,88	26,27	25,36

Teor em água natural (%) =	25,84
----------------------------	-------

Guarda, 17 de novembro de 2025

O director do Laboratório de Geotecnia do IPG
(Prof. Doutor Carlos Rodrigues)

DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA

-RELATÓRIO-

Requerente: MOTA-ENGIL, Engenharia S.A.

Classificação: Areia siltosa

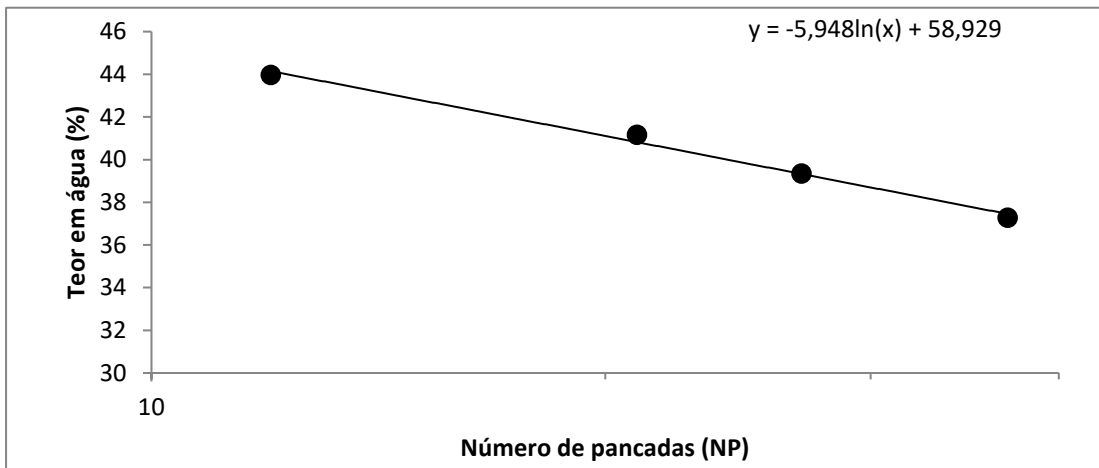
Amostra: S20T-SL4

Profundidade: (9,50-10,50 m)

DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ

ENSAIO: NP - 143 (1969)

Número de pancadas	12	21	27	37
Cápsula n.º	24	10	16	17
Massa da cápsula (g)	25,35	24,95	25,27	25,30
Massa da cápsula+solo húmido (g)	31,80	30,54	30,37	30,53
Massa da cápsula+solo seco (g)	29,83	28,91	28,93	29,11
Teor de humidade (%)	43,97	41,16	39,34	37,27



DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE

Cápsula n.º	25	26	27	29
Massa da cápsula (g)	25,33	25,29	25,29	24,99
Massa da cápsula+solo húmido (g)	30,34	29,35	30,83	29,90
Massa da cápsula+solo seco (g)	28,96	28,25	29,31	28,58
Teor de humidade (%)	38,02	37,16	37,81	36,77

LIMITES DE CONSISTÊNCIA:

Limite de liquidez (LL)	39,78
Limite de Plasticidade (LP)	37,44
Índice de Plasticidade (IP)	2,34

Guarda, 17 de novembro de 2025

O director do Laboratório de Geotecnia do IPG
(Prof. Doutor Carlos Rodrigues)

DENSIDADE DAS PARTÍCULAS SÓLIDAS

- RELATÓRIO -

Norma Portuguesa: NP 83

Requerente: MOTA-ENGIL, Engenharia S.A.

Classificação: Areia siltosa

Amostra: S20 T-SL4

Profundidade: (9,50-10,50 m)

DENSIDADE DAS PARTÍCULAS SÓLIDAS

Número do picn.	52	60	83
tº de Calib Pic.	23	23	23
d_4^{t1}	0,99757	0,99757	0,99757
m_1 (g)	46,19	43,24	45,97
m_2 (g)	147,22	145,16	147,84
tx tº de ensaio	18	18	18
d_4^{tx}	0,99862	0,99862	0,99862
d_4^{tx} / d_4^{t1}	1,001053	1,001053	1,001053

m1 - massa do picnómetro

m2 - massa do picnómetro cheio de água, à tº de calibração

Número do picn.	52	60	83
m3 (g)	147,33	145,27	147,95
m4 húmido	22,44	22,32	22,59
m4 seco	22,233	22,114	22,382
m5	161,27	159,1	161,98
k	1,000	1,000	1,000
G	2,682	2,670	2,681

m3 - massa do picnómetro cheio de água à tº do ensaio (corrigida)

m4 - massa em gramas do provete seco

m5 - massa em gramas do picnómetro com o e a água à tº do ensaio

k - quociente da densidade da água à temperatura do ensaio pela densidade da água a 20°C

Cap	32		
Pcap	25,03	PH20 =	0,26
Pcap+SW	53,23	PSS =	27,94
Pcap+SS	52,97	w (%) =	0,931

Densidade das partículas sólidas

$G_s =$	2,678
---------	-------

Guarda, 18 de novembro de 2025

O director do Laboratório de Geotecnia do IPG
(Prof. Doutor Carlos Rodrigues)

QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO

AMOSTRA	Prof. (m)	Passado	Passado	Passado	Passado	Limites de consistência				
		#4	#10	#40	#200	LL	LP	IP	Cu	Cc
S10 T-SL4	(7,50-8,20 m)	100,00	99,37	81,22	40,34	35,68	30,15	5,53	-	-
S04 Tu-VNG	(3,0-4,0 m)	99,90	90,45	67,21	42,85	42,60	32,74	9,86	-	-
S04 Tu-VNG	(12,0-13,0 m)	99,37	85,63	59,74	43,55	42,35	32,78	9,57	-	-
S20 T-SL4	(9,50-10,50 m)	99,27	98,52	53,92	21,82	39,78	37,44	2,34	-	-

AMOSTRA	Prof. (m)	USCS	AASHTO	% seixo	% areia	% finos	Nome do grupo USCS
S10 T-SL4	(7,50-8,20 m)	SM	A-4	0,00	59,66	40,34	areia siltosa
S04 Tu-VNG	(3,0-4,0 m)	SM	A-5	0,10	57,05	42,85	areia siltosa
S04 Tu-VNG	(12,0-13,0 m)	SM	A-5	0,63	55,82	43,55	areia siltosa
S20 T-SL4	(9,50-10,50 m)	SM	A-2-4	0,73	77,45	21,82	areia siltosa