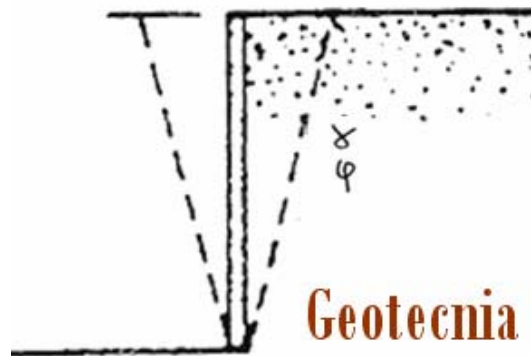


# EXERCÍCIOS DE GEOTECNIA



Este material foi elaborado para auxiliar os alunos dos cursos de Engenharia Sanitária e Ambiental, Geologia e Tecnologia em Mineração.

Prof. Dr. Eng. Civil José W. Jiménez Rojas

2ª Edição  
2014

## **Termos Iniciais**

Este documento foi elaborado a partir de exercícios retirados de bibliografias geotécnicas, notas de aulas e também de projetos e consultorias realizados pelo autor. A lista de exercícios busca criar, desenvolver e aplicar conhecimento científico e tecnológico para diagnóstico de problemas e soluções na área de geotecnia, além de inserir problemas reais de engenharia e geologia na atividade acadêmica. Ao final deste documento encontram-se diversos formulários, contendo equações, gráficos e ábacos que auxiliarão na resolução dos exercícios.

### **Este material baseou-se nas seguintes bibliografias:**

MASSAD, FAICAL. **Obras de terra: curso básico de geotecnia** / Faical Massad. 2. ed. Sao Paulo, SP: Oficina de Textos, 2010. 216 p.

SOUZA PINTO, C. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo, Oficina de Textos, 2000. 247p.

CRAIG, R. F. CRAIG. **Mecânica dos solos** / R. F. Craig ; tradução Amir Kurban. 7. ed. Rio de Janeiro, RJ : LTC, 2007. 365 p.

ABGE - Vários autores. **Geologia de engenharia**. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, São Paulo, 1998.

## EXERCÍCIO DE PROSPECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO

1. A partir do perfil de sondagem, apresentado na sequência deste exercício como anexo, identifique a compactidade e a consistência do material. Trace o diagrama do perfil e levante as principais características técnicas apontadas pelo documento. As tabelas abaixo auxiliaram no trabalho.

**Tabela 1. Compactidade de areias em função do SPT**

Resistência à penetração SPT	Compactidade das areias
0 a 4	Muito fofa
5 a 8	Fofa
9 a 18	Média
18 a 40	Compacta
Acima de 40	Muito compacta

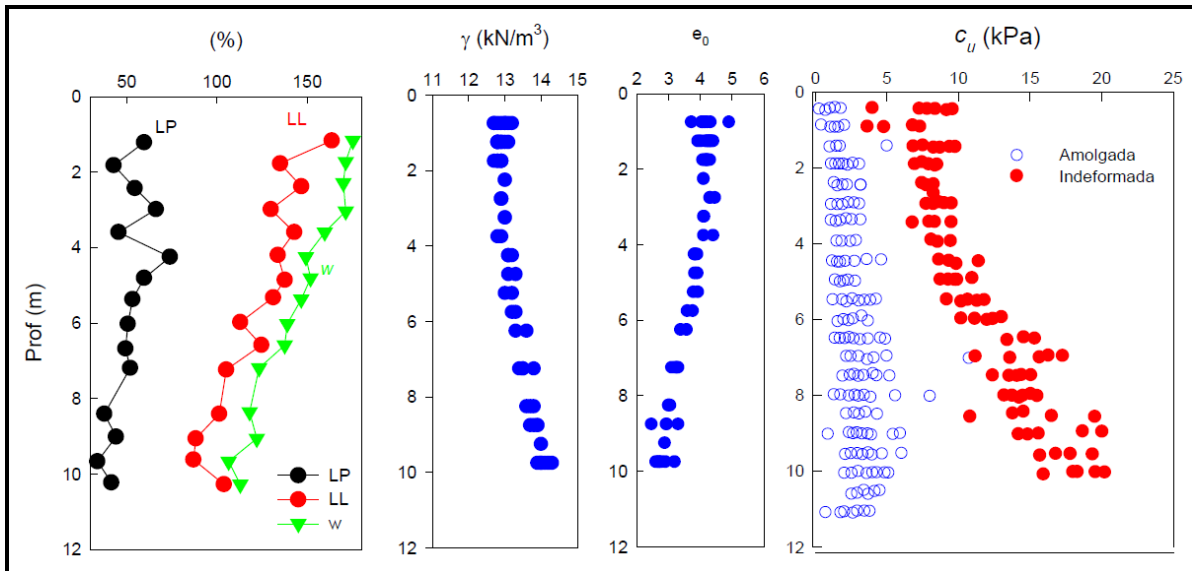
**Tabela 2. Consistência de argilas em função do SPT**

Resistência à penetração SPT	Consistência das argilas
0 a 2	Muito mole
3 a 5	Mole
6 a 10	Média
11 a 19	Rija
Acima de 19	Dura

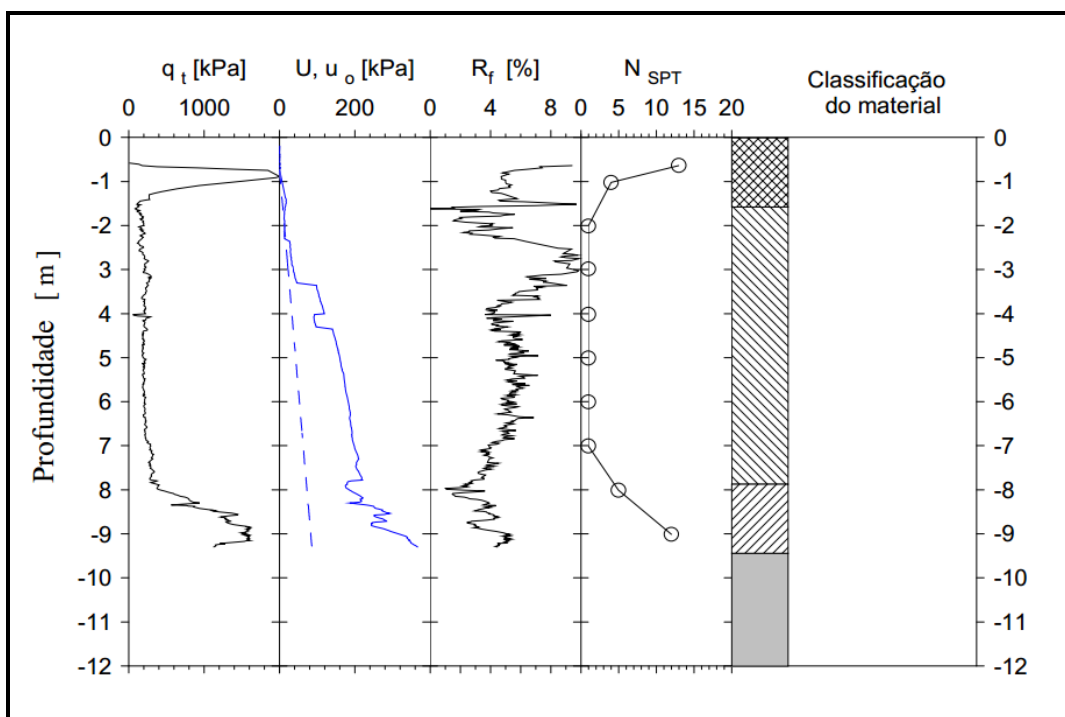
2. A partir do perfil de sondagem identifique a compactidade e a consistência do material. Através do diagrama estime o número de golpes para cada intervalo de 15 cm.

Cliente: Endereço: Complementos: Responsável Técnico:		Cotas: RN: 100,00 Furo: 95,60 Escala: 1 / 100		Datas: Inicial: 17/10 Final: 18/10 Furo: 02		Diâmetro revestimento = 21/2 Barrilete amostrador: Diâmetro externo = 50,80 mm Diâmetro interno = 34,40 mm		
Nível Água (m)	Cotas (m)	Amostra	Nº de Golpes			Prof. da Camada (m)	Número de Golpes (1º + 2º) Interrompido (2º + 3º) Contínua	MATERIAL Classificação macroscópica (Táctil e Visual)
			1º 15cm	2º 15cm	3º 15cm			
		01	Perfurado a Trado			1,00		Argila vermelha
		02				2,00		
		03				3,00		Argila vermelha pouco siltosa
		04				4,00		Argila vermelha pouco siltosa
		05				5,00		
		06				6,00		Argila vermelha pouco siltosa
		07				7,00		
		08				8,00		Argila vermelha pouco siltosa
		09				9,00		Argila vermelha pouco siltosa
		10				10,00		Argila marrom pouco siltosa
		11				11,00		Argila marrom pouco siltosa
		12				12,00		
		13				13,00		Argila marrom pouco siltosa com pigmentos claros - RJA
18/out 13,70		14				14,00		Argila marrom pouco siltosa
		15				15,00		Argila marrom pouco siltosa
	79,70	16				15,90		Silte argiloso cor marrom roxos
	Impenetrável a percussão	17				17,00		IMPENETRÁVEL A PERCUSSÃO
		18				18,00		

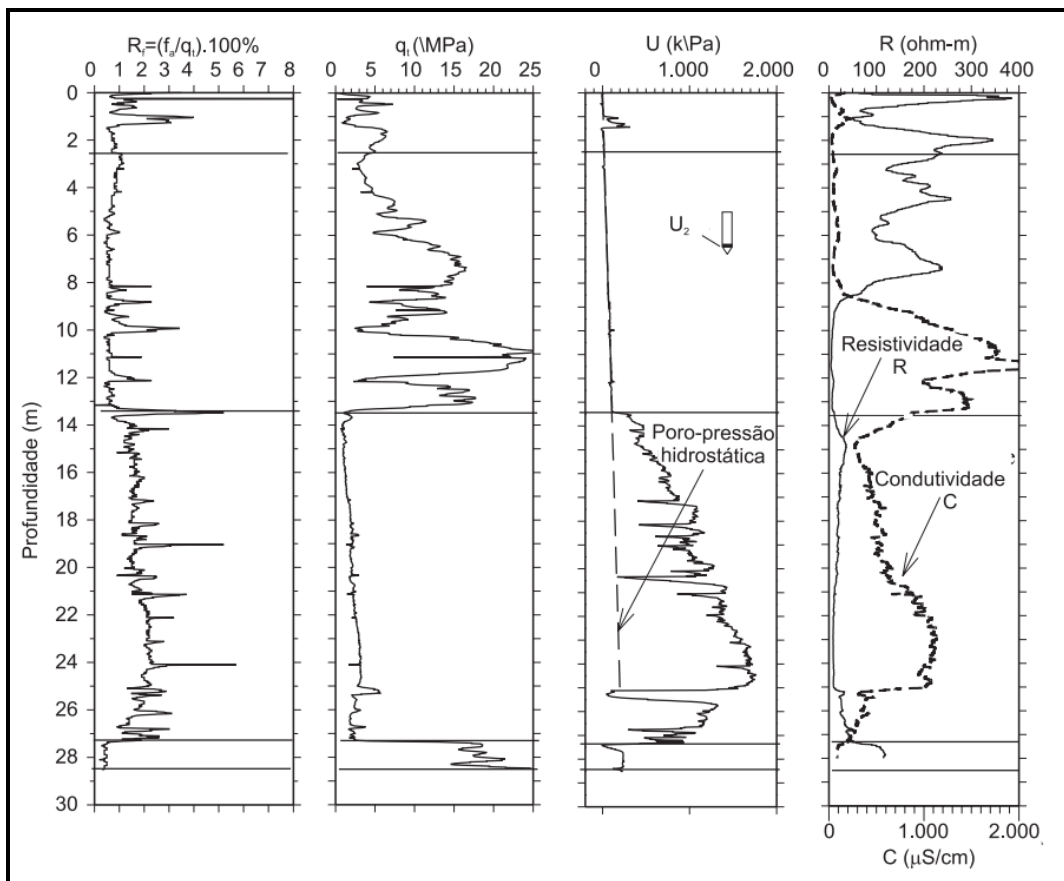
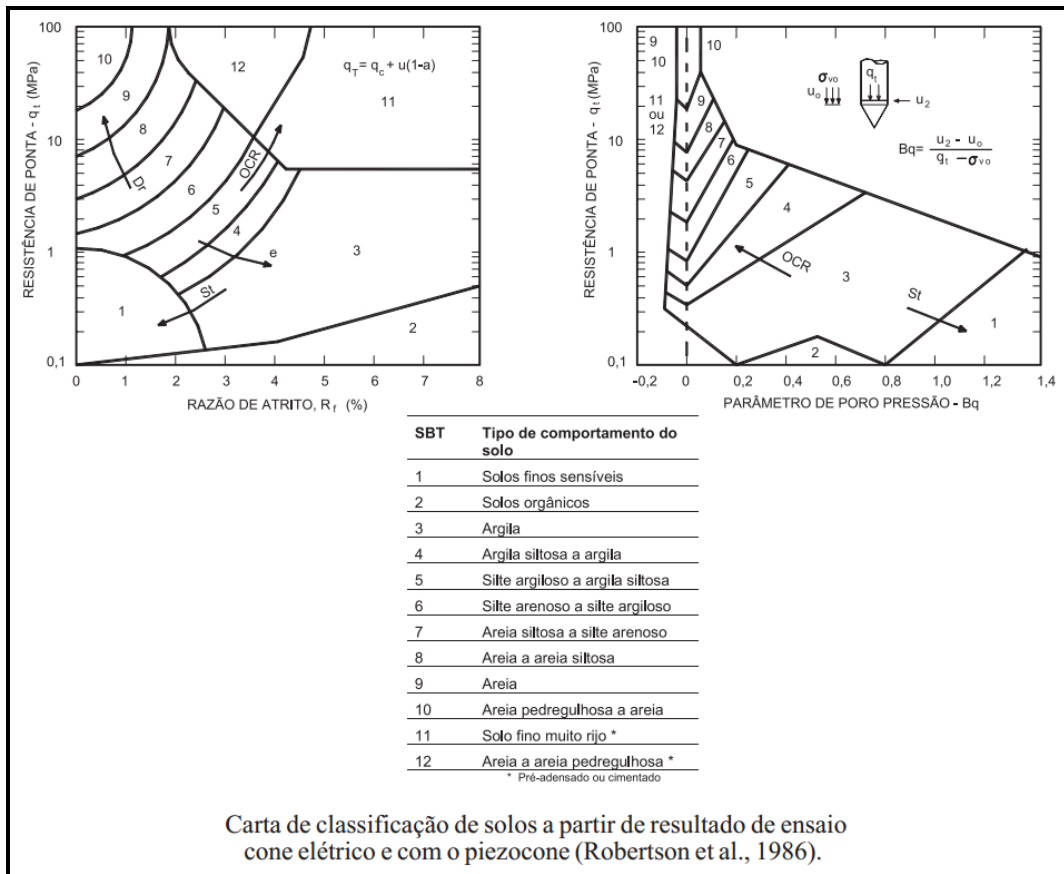
- Para uma obra que apresenta uma projeção de 850,00m<sup>2</sup>, quantos furos de sondagens são necessários de acordo com a NBR8036/1983?
- Com base nas informações apresentadas na Figura abaixo descreva, da forma mais completa possível, as características geotécnicas do perfil apresentado. Faça uma tabela esquemática. A Figura resume algumas propriedades da argila de origem marinha do Rio de Janeiro, encontrada em toda a periferia da baía de Guanabara: os limites de Atterberg, o índice de vazios *in situ*, o peso específico aparente úmido e a resistência não-drenada  $c_u$  (parâmetro estudado mais adiante).



- Para uma amostra de argila obtiveram-se os seguintes valores médios: LL = 120%, LP = 40% e  $w = 150%$ . Sabendo-se que a percentagem de argila, isto é, de material menor que 2  $\mu\text{m}$ , é de 55%, obter: (a) o índice de plasticidade, (b) a atividade e (c) o índice de liquidez.
- Para o ensaio CPTU e SPT apresentado abaixo, caracterize as camadas do solo quanto ao material constituinte. Considere: “q” com alto valor = areia; “q” com baixo valor = argila.



7. Através dos dados apresentados pela carta de classificação de solos obtidos por ensaios do tipo CPTU, classifique o solo apresentado no perfil logo abaixo.





## PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM À PERCUSSÃO

CLIENTE:	INÍCIO: 16/12/2012	<b>FURO SPO2</b>
OBRA:	TÉRMINO: 16/12/2012	
LOCAL:	COTA: 0	

REV.	COTA N.A. (m)	PROFUNDIDADE (m)	PERFIL GEOLOGICO Nº DE AMOSTRA	REVESTIMENTO = 63.5 mm AMOSTRADOR { Ø INTERNO = 34.9 mm Ø EXTERNO = 50.8 mm PESO = 65 kg - ALTURA DE QUEDA = 75 cm	ENSAIO PENETROMÉTRICO		RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO		PENETRAÇÃO (GOLPES)				
					1+2	2+3	30 cm INICIAIS	30 cm FINAIS	COMPACIDADE - SOLOS ARENOSOS (SPT)				
AVANÇO TC/TH/CA				CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL					FOFA	POU.G	MED. COMP.	COMPACTA	MUITO COMP.
									4	8	18		40
		0,80	1	CAMADA VEGETAL ATÉ 0,20M E LOGO SAIBRO COR MARROM	-	-	2	2					
			2	ARGILA ARENOSA: _____	3	3	3	3					
	N.A.	2,70	3		3	4	3	4					
	16/12/2013	2,90	4	AREIA ARGILOSA: _____	5	5	5	5					
		4,30	5	AREIA ARGILOSA: _____	5	7	5	7					
		-5,00	6	AREIA ARGILOSA: _____	6	8	6	8					
		5,90	7		11	12	11	12					
			8	AREIA ARGILOSA: _____	11	14	11	14					
			9		12	17	12	17					
		9,70	10		12	17	12	17					
	-10,00		11	AREIA ARGILOSA: _____	13	17	13	17					
			12	AREIA ARGILOSA: _____	13	19	13	19					
			13		14	21	14	21					
		13,40	14		17	20	17	20					
			15		23	29	23	29					
	-15,00		16	AREIA, AMARELA: _____	34	34	34	34					
			17		45	59	45	59					
		18,20	18		50	65	50	65					
				FURO TERMINADO COM 18,2m									

OBS.: - SONDAGEM EXECUTADA CONFORME NORMAS DA "ABNT", NBR-6484 E NBR-7250.  
 - N.A. ENCONTRADO

2	5	10	19
MOLE	MEDIA	RIJA	DURA
CONSISTÊNCIA - SOLOS ARGILOSOS (SPT)			

MÉTODO EXECUTIVO			
AVANÇO DO FURO	Ø	PROFUNDIDADE (m)	
TRADO CAVADEIRA	4"	0.00	0.00
TRADO HELICOIDAL	2 1/2"	0.00	1.00
CIRCULAÇÃO DE ÁGUA	2"	0.00	0.00
REVESTIMENTO	2 1/2"	0.00	0.00
SPT	2"	0	ENSAIOS

TABELA DO NÍVEL D'ÁGUA			
DATA	HORA	N.A. (m)	PROF. FURO (m)
16/12/2012	13:20	2.00	0.00
16/12/2012	16:55	2.70	18.20

FOLHA: 01 / 01	ESCALA: SEM ESCALA	COORDENADAS:	SONDADOR:	APROVADO:
----------------	--------------------	--------------	-----------	-----------

## PROCEDIMENTOS DE LABORATÓRIO: PLANILHA PADRÃO DE UMIDADE E PESO ESPECÍFICO DE AMOSTRA DE NATURAL

### Dados da Amostra:

Nome do Responsável: \_\_\_\_\_

Local de coleta: \_\_\_\_\_

Posição (latitude): \_\_\_\_\_ Posição (longitude): \_\_\_\_\_

Data da Coleta: \_\_\_\_\_ Condições Climáticas: \_\_\_\_\_

Tubo coletor (nome ou nº): \_\_\_\_\_ Norma utilizada: \_\_\_\_\_

Observações: \_\_\_\_\_

Deve-se evitar a perda de umidade da amostra de solo no deslocamento para o laboratório.

### Determinação do Peso Específico Aparente Natural

Amostrador	Diâmetro do Amostrador (cm)	Altura do Amostrador (cm)	Volume do Amostrador (cm <sup>3</sup> )	Peso do Amostrador + Solo (gf)	Peso do Amostrador (gf)	Peso do Solo (gf)	( $\gamma_{nat}$ )
1	10,00	12,35		4075,15	2190,15		
2	10,00	12,33		4106,01	2195,55		
3	10,00	12,41		4063,49	2188,24		
4	10,00	12,36		4099,71	2201,63		
5	10,00	12,35		4023,09	2159,92		
Obtenção	A	B	(II)* A <sup>2</sup> /4* B = C	D	E	D - E = F	F/C

Após a etapa de obtenção do Peso específico Aparente Natural procede-se com a determinação da umidade natural.

### Determinação do Teor de Umidade Natural

Cápsula	Solo úmido e cápsula (gf)	Solo seco e cápsula (gf)	Cápsula (gf)	Água (gf)	Solo (gf)	Teor de umidade (%)
1	10,11	9,30	7,81			
2	10,01	9,01	7,66			
3	9,98	9,13	7,71			
4	10,15	9,05	7,81			
5	10,20	9,33	7,73			
Obtenção	A	B	C	A-B	B-C	(A-B/B-C)*100

Conferir se a estufa encontra-se com temperatura de + ou - 60°C. Deixar o solo secar, no mínimo, 48 horas.

## EXERCÍCIO DE GRANULOMETRIA E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

1. Na Figura 1 estão as curvas granulométricas de diversos solos, cujos índices de consistência são indicados na tabela abaixo. Determine a classificação desses solos a partir dos métodos conhecidos. Para os solos argilosos, determine o índice de atividade da argila, e para os solos arenosos, o coeficiente de uniformidade ( $C_u$ ) e o coeficiente de curvatura ( $C_c$ ).

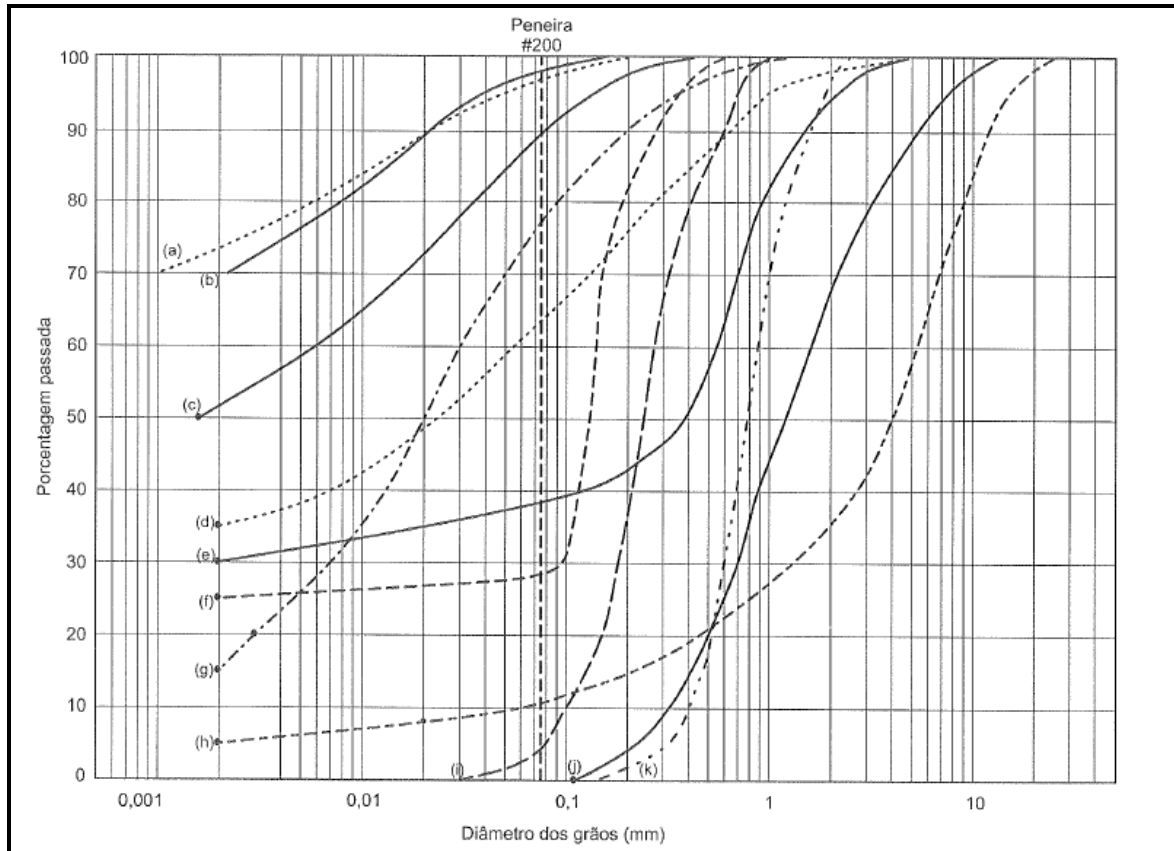


Figura 1: Curvas granulométricas de diversos solos brasileiros.

Solo	Descrição do solo	LL	IP
a	Argila orgânica de Santos	120	75
b	Argila porosa laterítica	80	35
c	Solo residual de basalto	70	42
d	Solo residual de granito	55	25
e	Areia variegada de São Paulo	38	20
f	Solo residual de arenito	32	12
g	Solo residual de migmatito	44	18
h	Solo estabilizado para pavimentação	24	3
i	Areia fluvial fina	NP	NP
j	Areia fluvial média	NP	NP
k	Areia fluvial média	NP	NP



2. Classifique o solo cujo resultado da análise granulométrica encontra-se na figura 2. Classificar granulometricamente, Unificada e Rodoviária. LL = 21% e LP = 19%.

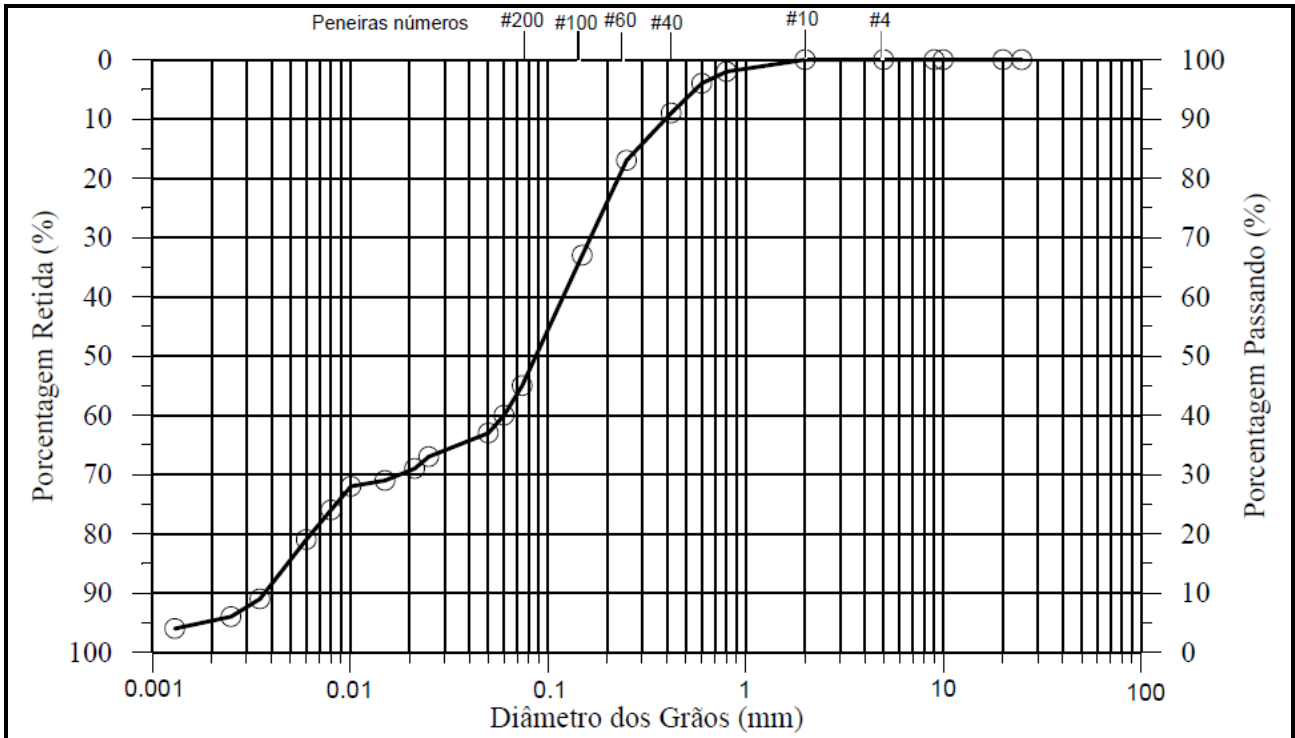


Figura 2: Curva granulométrica.

3. Classifique segundo a classificação rodoviária.

<b>Amostra 1:</b>	<b>Amostra 2:</b>
$P_{200} = 28\%$	$P_{200} = 30\%$
$LL = 34\%$	$LL = 34\%$
$IP = 8\%$	$IP = 22\%$

4. A classificação dos solos pela sua origem classifica o solo em sedimentares e residuais. Defina e explique cada um deles. Qual o solo da região de Caçapava do Sul?

## EXERCÍCIOS DE CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

1. Através da Figura 1 diga a quantidade, em porcentagem, de argila, silte e areia presente no solo. Quais os Parâmetros obtidos pela Curva Granulométrica?

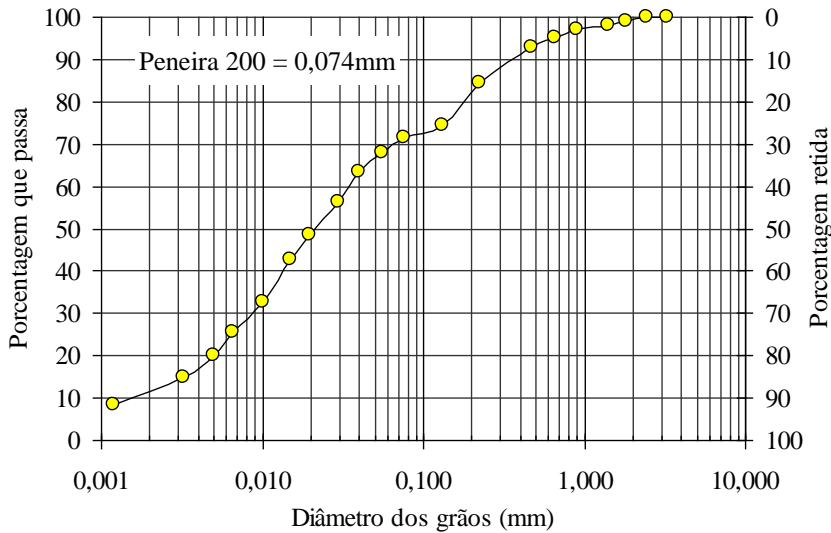


Figura 1: Curva Granulométrica.

Resultados:

Argila (%)	
Silte (%)	
Areia (%)	
Pedreg. (%)	
D <sub>10</sub>	
D <sub>30</sub>	
D <sub>60</sub>	
C <sub>u</sub>	
C <sub>c</sub>	

Observações:

---

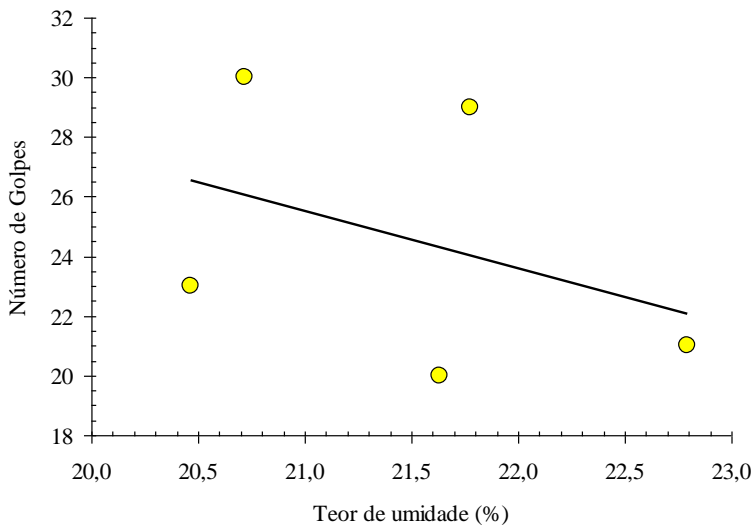


---



---

2. Através da Figura 2 e dos dados apresentados na Tabela 1 diga qual é o Limite de Liquidez o Limite de Plasticidade o Índice de Plasticidade e o Índice de atividade do solo.



Formulário:

$$IP = LL - LP \quad IA = \frac{IP}{\% < 0,002\text{mm}}$$

Coefficiente de uniformidade (C<sub>u</sub>) e coeficiente de curvatura (C<sub>c</sub>).

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

C<sub>u</sub> < 5 → solo muito uniforme;

5 < C<sub>u</sub> < 15 → solo com uniformidade média;

C<sub>u</sub> > 15 → solo desuniforme.

1 < C<sub>c</sub> < 3 → solos bem graduados.

Figura 2: Gráfico do ensaio de Limite de Liquidez.

Tabela 1: Tabela para a determinação do Limite de Plasticidade do solo em estudo.

Cápsula (nome)	Solo úmido e cápsula (gf)	Solo seco e cápsula (gf)	Cápsula	Água	Solo	Teor de umidade (%)		
1	9,59	9,30	7,81					
2	9,05	8,82	7,66					
3	9,08	8,86	7,71					
4	9,14	8,91	7,81					
5	9,31	9,05	7,73					

Obs.: Cada teor de umidade não deverá se afastar mais de 5% da média. Excluir valores acima de 5%.

LL		IP	
LP		IA	

1 < IP < 7 - Solos Fracamente Plásticos  
 7 < IP < 15 - Solos Medianamente Plásticos  
 IP > 15 - Solos Altamente Plásticos

IA < 0,75 - Argilas Inativas  
 0,75 < IA < 1,25 - Argilas Normais  
 IA > 1,25 - Argilas Ativas

Obs.: Os valores obtidos poderão ser arredondados. Ex. Argila 21,45% = 21%.

**3. Segundo os sistemas de classificação unificada, rodoviária e trilenear classifique o solo e faça uma comparação.**

*Unificada*

%P #200 < 50	G>S:G	%P #200 < 5	GW CNU > 4 e 1 < CC < 3 GP CNU < 4 ou 1 > CC > 3	
		%P #200 > 12	GC	
			GM	
	5 < #200 < 12	GW - GC; GP - GM; etc.		
	S>G:S	%P #200 > 12	SW CNU > 6 e 1 < CC < 3 SP CNU < 6 ou 1 > CC > 3	
			SC	
SM				
5 < #200 < 12		SW - SC; SP - SC; etc.		
%P #200 > 50	C	CL		
		CH		
	M	ML		
		MH		
	O	OL		
		OH		

Divisões de solos

G	Pedregulho
S	Areia
M	Silte
C	Argila
O	Solo orgânico
W	Bem graduado
P	Mal graduado
H	Alta compressibilidade
L	Baixa compressibilidade
Pt	Turfa

*Rodoviária*

%P #200 < 35	A-1a	%P #10 2,0 mm < 50	%P #40 0,42 mm < 30	%P #200 0,075 mm < 15	IP < 6	
	A-1b	< 50	< 50	< 25	< 6	
	A-3	< 50	> 50	< 10	NP	
	A-2	A-2-4				
		A-2-5				
A-2-6						
A-2-7						
%P #200 > 35	A-4					
	A-5					
	A-6					
	A-7-5					
	A-7-6					
	A-7-6					

**SOLO A-1:** mistura bem graduada de fragmentos de pedra e pedregulho, areia grossa, areia média, areia fina com ou sem material fino, não plástico ou fracamente plástico; **(A-1a)** predomínio de fragmentos de pedra ou pedregulho com ou sem material fino bem graduado. **(A-1b)** predomínio de areia grossa a média, com ou sem material fino bem graduado.

**SOLO A-2:** solos granulares variados, com graduação irregular e pouco material fino.

**SOLO A-3:** areias finas de praia ou de deserto, sem material silteoso ou argiloso ou com muito pequena quantidade de silte não plástico, e areia fina fluvial mal graduada com pouca areia grossa e pedregulho.

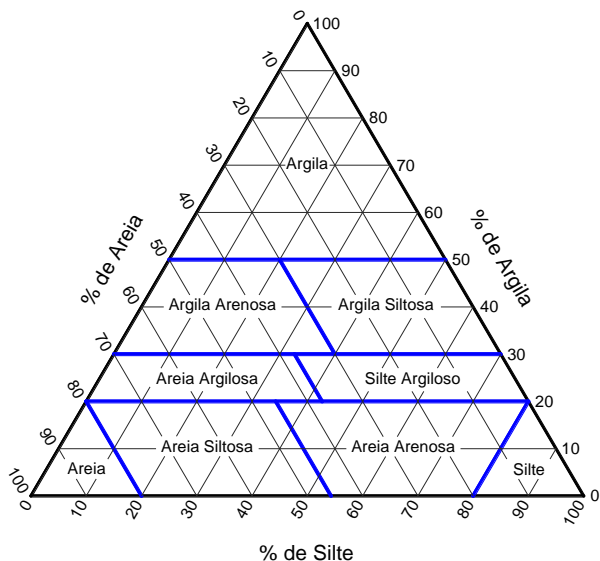
**SOLO A-4:** solos silteosos não plásticos ou moderadamente plásticos.

**SOLO A-5:** solos semelhantes ao A-4, com material diatomáceo ou micáceo, podendo ser altamente elástico (alto valor de LL);

**SOLO A-6:** solos argilosos com % passante #200 > 35%, podendo incluir misturas argilo-arenosas com até 64% de areia e pedregulho, sujeitos as grandes variações volumétricas;

**SOLO A-7:** semelhantes aos solos A-6, porém mais elásticos, com alto LL e com grandes variações volumétricas; **(A-7-5)** solos com moderado IP em relação ao LL **(A-7-6)** solos com alto IP em relação ao LL.

*Trilenear*



Classificação do solo:

Unificada: \_\_\_\_\_

Rodoviária: \_\_\_\_\_

Trilenear: \_\_\_\_\_

**4. Conclusões pertinentes.**

---



---



---

## EXERCÍCIOS - PLANILHA PADRÃO PARA ENSAIO DE LIMITE DE LIQUIDEZ

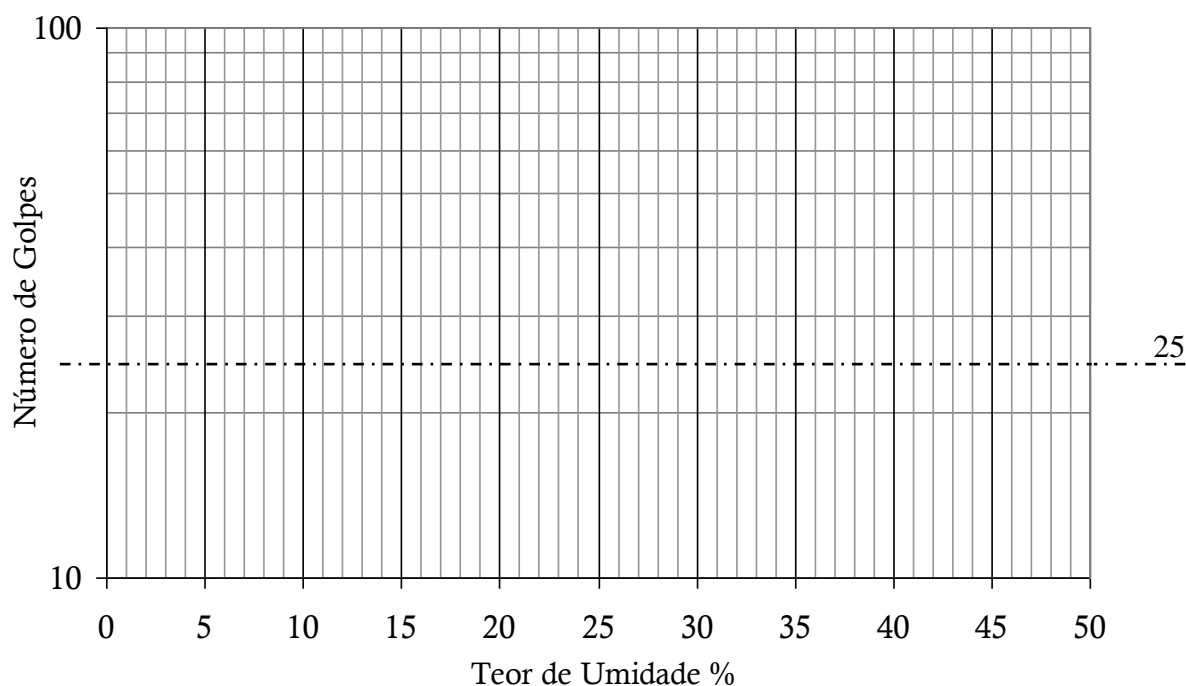
### Dados da Amostra:

Nome do Responsável: \_\_\_\_\_  
 Local de coleta: \_\_\_\_\_  
 Posição (latitude): \_\_\_\_\_ Posição (longitude): \_\_\_\_\_  
 Data da Coleta: \_\_\_\_\_ Condições Climáticas: \_\_\_\_\_  
 Peso específico dos sólidos (g/cm<sup>3</sup>): \_\_\_\_\_ Norma utilizada: \_\_\_\_\_  
 Observações: \_\_\_\_\_

### Determinação do Teor de Umidade e Número de Golpes:

Cápsula	Solo úmido e cápsula (gf)	Solo seco e cápsula (gf)	Cápsula (gf)	Água (gf)	Solo (gf)	Teor de umidade (%)	Número de golpes
1	11,28	10,27	8,17				36,00
2	17,63	14,73	8,71				28,00
3	18,02	14,87	8,48				26,00
4	16,26	13,69	8,24				27,00
5	14,38	12,68	9,06				21,00
Obtenção	A	B	C	A-B	B-C	$(A-B/B-C)*100$	x-x

### Gráfico para Obtenção do Limite de Liquidez



### Resultado

Limite de Liquidez (LL): \_\_\_\_\_

## EXERCÍCIOS - PLANILHA PADRÃO PARA ENSAIO DE LIMITE DE PLASTICIDADE

### Dados da Amostra:

Nome do Responsável: \_\_\_\_\_  
Local de coleta: \_\_\_\_\_  
Posição (latitude): \_\_\_\_\_ Posição (longitude): \_\_\_\_\_  
Data da Coleta: \_\_\_\_\_ Condições Climáticas: \_\_\_\_\_  
Peso específico dos sólidos ( $\text{g/cm}^3$ ): \_\_\_\_\_ Norma utilizada: \_\_\_\_\_  
Observações: \_\_\_\_\_

### Determinação do Teor de Umidade e Número de Golpes:

Cápsula	Solo úmido e cápsula (gf)	Solo seco e cápsula (gf)	Cápsula (gf)	Água (gf)	Solo (gf)	Teor de umidade (%)
1	9,38	9,16	8,30			
2	9,72	9,44	8,21			
3	9,35	9,16	8,26			
4	8,81	8,61	7,74			
5	9,14	8,87	7,91			
Obtenção	A	B	C	A-B	B-C	$(A-B/B-C)*100$

### Resultado

Limite de Plasticidade (LP): Média = \_\_\_\_\_

\*

Observações: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

### Determinação do Índice de Plasticidade

IP = Limite de Liquidez (LL) \_\_\_\_\_ - Limite de Plasticidade (LP) \_\_\_\_\_

Índice de Plasticidade (IP): \_\_\_\_\_

## EXERCÍCIO PRÁTICO DE GRANULOMETRIA

**Preencha a planilha e trace a curva granulométrica.**

**Peneiramento fino:**

Peneira	Material retido (g)	Material passado (g)	% parcial passado	% total acumulado
10	-----		X	
20	0,17		X	
30	3,08		X	
40	6,89		X	
60	6,45		X	
100	5,64		X	
200	2,00		X	

**Sedimentação:**

Tempo (minutos)	Temperatura °C	Leitura do densímetro no ensaio (I)	Leitura do densímetro na solução (Iw)	Altura de Queda (cm) (Hr)	Diâmetro dos grãos (mm) (D)	% total dos grãos de diâmetro inferior a D (N%)
½	25,5	1,0285				
1	25,5	1,0284				
2	25,5	1,0283				
5	25,5	1,0282				
10	25,5	1,0280				
20	25,5	1,0275				
40	25,5	1,0255				
80	23,5	1,0245				
240	26,0	1,0230				
1440	26,5	1,0212				

**Dados necessários:**

Curvas de calibração:

Iw = temperatura x leitura do densímetro.

Hr = curva a (para as primeiras três leituras), curva a' (para as demais).

Formulação:

Dados da amostra:

Peso úmido = 70g

Umidade (%) = 2,48

**Legenda:**

$\mu$  = Viscosidade da água (g.s/cm<sup>2</sup>).

$\gamma_g$  = Peso específico dos grãos (2,55g/cm<sup>3</sup>) – para este solo.

$\gamma_w$  = Peso específico da água (1,0g/cm<sup>3</sup>).

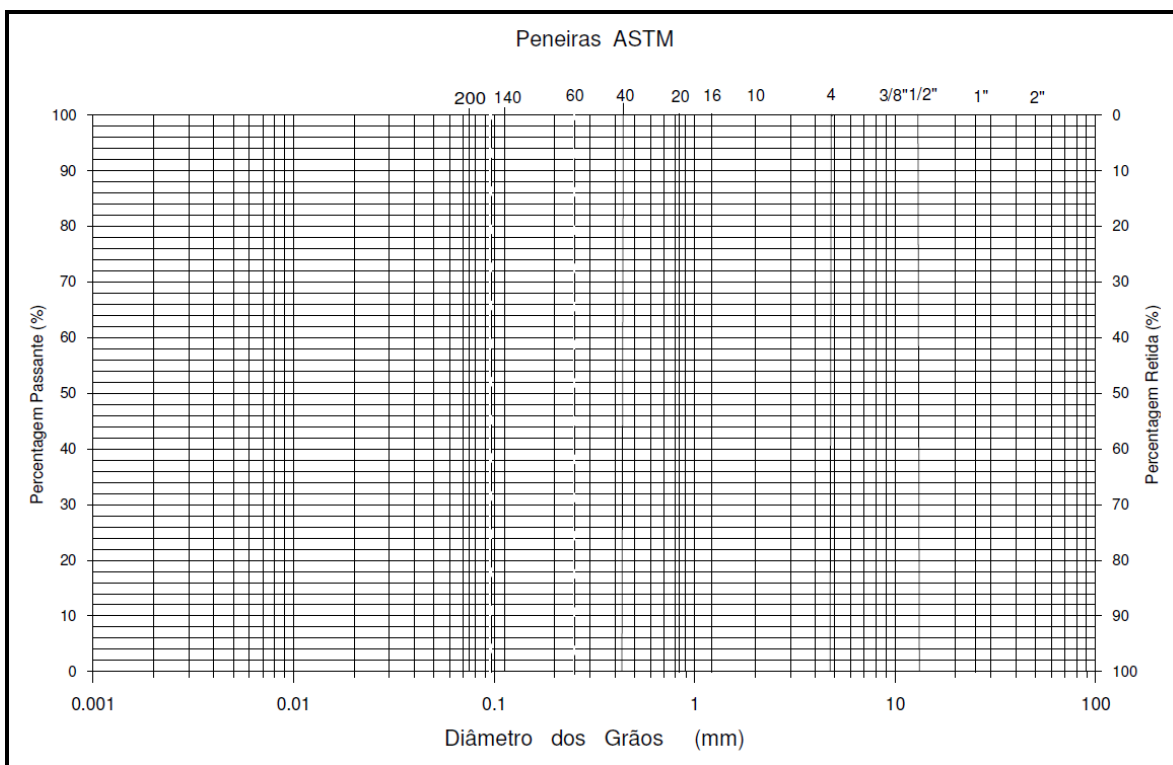
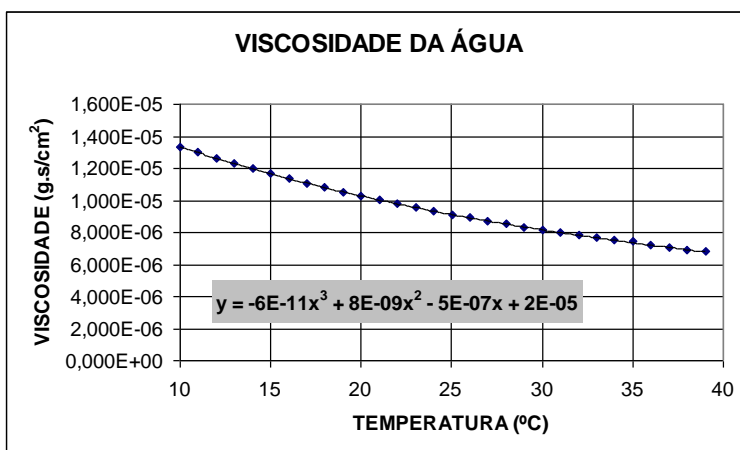
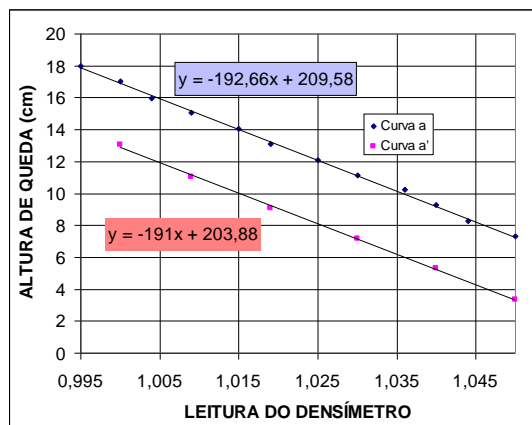
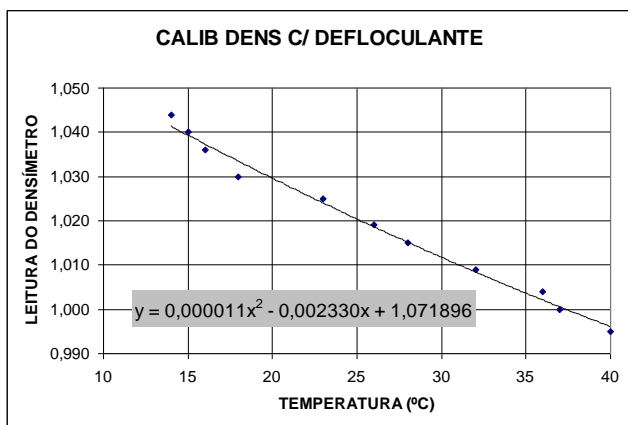
Hr = Altura de queda dos grãos.

$\Delta t$  = Variação do tempo.

$\alpha\%$  = Percentagem de material que passa na peneira #10.

Ps = Peso do solo seco

### Calibração de equipamentos para análise granulométrica



## LISTA DE EXERCÍCIOS DE ÍNDICES FÍSICOS

1. Uma amostra de argila colhida em um amostrador de parede fina apresentou peso de 155,3g; depois de seca em estufa a 105°C durante 24 horas, seu peso passou a 108,7g. O volume da amostra era de 95,3cm<sup>3</sup> e o peso específico real das partículas sólidas, de 2,75g/cm<sup>3</sup>. Determinar a umidade, o volume da fase sólida, o volume de água, o grau de saturação, o índice de vazios, a porosidade, o peso aparente natural, o peso específico aparente seco e o peso específico aparente submerso desta argila.
2. Uma amostra colhida em um aterro em compactação apresentou as seguintes características:
  - Peso total da amostra úmida: 1800g
  - Peso total da amostra seca: 1650g
  - Volume total da amostra: 900cm<sup>3</sup>
  - Peso específico das partículas sólidas: 2,7g/cm<sup>3</sup>

Determinar:

Qual o peso específico aparente do solo seco;  
Qual o peso específico aparente total;  
Qual o índice de vazios;  
Qual o grau de saturação;  
Qual a porosidade;

3. Em um solo são conhecidos:  $w=24%$ ;  $\gamma = 18,8\text{kN/m}^3$  e  $S=74,5\%$ .

Determinar:  $\gamma_{\text{sat}}$ ;  $\gamma_d$ ;  $e$ ;  $n$ .

4. Uma jazida a ser empregada em uma barragem de terra tem um peso específico seco médio de 20kN/m<sup>3</sup>. Um aterro com 200.000m<sup>3</sup> deverá ser construído com peso específico seco médio de 23kN/m<sup>3</sup>. Foram determinadas as seguintes características do solo:  $w = 10\%$  e  $\gamma_s$  (26,5kN/m<sup>3</sup>).

Determinar:

O volume de solo a ser escavado na jazida para se obter os 200.000m<sup>3</sup> para o aterro;  
O peso de solo úmido a ser escavado, em toneladas;  
O peso de solo seco a ser escavado, em toneladas.

5. Uma pista de aeroporto vai ser construída com 20m de largura, 4000m de comprimento e 15cm de espessura de pedra britada compactada até atingir porosidade de 20%. O teor de umidade da pedra britada no depósito é de 6%, o seu peso específico real dos grãos é de 2,65t/m<sup>3</sup> e neste estado mais solto, esta porosidade é de 35%. A pedra britada será transportada em vagões com capacidade de 20m<sup>3</sup>.

Determinar:

O peso específico seco, em t/m<sup>3</sup>, para os estados soltos e compactos.  
A espessura de pedra britada no estado solto necessário para compactar 15cm com  $n=20\%$ .  
O grau de saturação de pedra britada, no estado solto;  
O volume de material transportado do depósito para o aeroporto, para construir a pista inteira;  
A quantidade de vagões carregados para construir 1000m da pista.



6. Em um solo são conhecidos:  $\gamma = 21,8 \text{ kN/m}^3$ ;  $\gamma_d = 18,6 \text{ kN/m}^3$ ;  $e = 0,48$ .

Determinar:  $w$ ,  $\gamma_s$ ,  $S$ ,  $n$ ,  $\gamma_{\text{sat}}$ .

7. Uma amostra de argila saturada com volume de  $560 \text{ cm}^3$  apresentou massa de  $850 \text{ g}$ . Após secagem total durante  $24 \text{ h}$  em estufa a  $105^\circ\text{C}$ , a massa resultante foi de  $403 \text{ g}$ . Estimando-se  $G_s = 2,7$ , determinar: (a)  $w$ , (b)  $e$ , (c)  $\gamma$ .
8. Uma amostra de argila foi retirada de  $2,00 \text{ m}$  de profundidade em um terreno de várzea nas margens do rio Guaíba, estando abaixo do nível de água. Sua umidade é de  $95\%$ . Estime o índice de vazios e o peso específico natural.
9. Uma amostra de solo úmido em cápsula de alumínio tem uma massa de  $462 \text{ g}$ . Após a secagem em estufa se obteve a massa seca da amostra igual a  $364 \text{ g}$ . Determinar o teor de umidade do solo considerando a massa da cápsula se  $39 \text{ g}$ .
10. Para uma amostra de areia argilosa de origem aluvial foram obtidos  $G_s = 2,72$ ,  $e = 0,75$  e  $S = 50\%$ . Determinar: (a)  $w$ , (b)  $\gamma$ , (c)  $\gamma_{\text{sat}}$ , (d)  $\gamma_{\text{sub}}$  e (e)  $\gamma_d$ .
11. Uma amostra de solo tem peso específico total igual a  $19,5 \text{ kN/m}^3$ , teor de umidade igual a  $30\%$  e  $\gamma_s = 27,3 \text{ kN/m}^3$ . Calcular os demais índices físicos para este solo.
12. Determinar o índice de vazios e o peso específico real de um solo saturado cujo  $\gamma_n = 18 \text{ kN/m}^3$  e  $w = 28\%$ .
13. Uma amostra de solo úmido que pesa  $180 \text{ g}$ , foi submetida a secagem em estufa, resultando na diminuição de seu peso para  $120 \text{ g}$ . Pede-se determinar o teor de umidade da amostra.
14. Uma argila tem  $\gamma_s = 26,9 \text{ kN/m}^3$  e  $w = 40\%$ . Supondo-se que a amostra está saturada, determinar a porosidade, o índice de vazios e os pesos específicos total, saturado seco e submerso.
15. Uma amostra de argila foi retirada de  $2,00 \text{ m}$  de profundidade em um terreno de várzea nas margens do rio Camaquã, estando abaixo do nível de água. A umidade é de  $85\%$ . Estime somente com estes dados o índice de vazios natural e o peso específico aparente saturado do material.  $\gamma_g = 27,5 \text{ kN/m}^3$ .
16. Para se construir um aterro dispõem-se de uma área de empréstimo cujo volume determinado é de  $3.000,00 \text{ m}^3$ . Ensaaios mostraram que o peso específico natural é  $17,8 \text{ kN/m}^3$  e que a umidade é de  $15,8\%$ . O projeto prevê que no aterro o solo seja compactado com uma umidade de  $18\%$  e o peso específico seco de  $16,8 \text{ kN/m}^3$ . Que volume de aterro é possível construir com o material disponível e que volume de água deve ser acrescentado.

**Obs.: Utilizar o formulário de índices físicos.**

## EXERCÍCIO PRÁTICO DE COMPACTAÇÃO

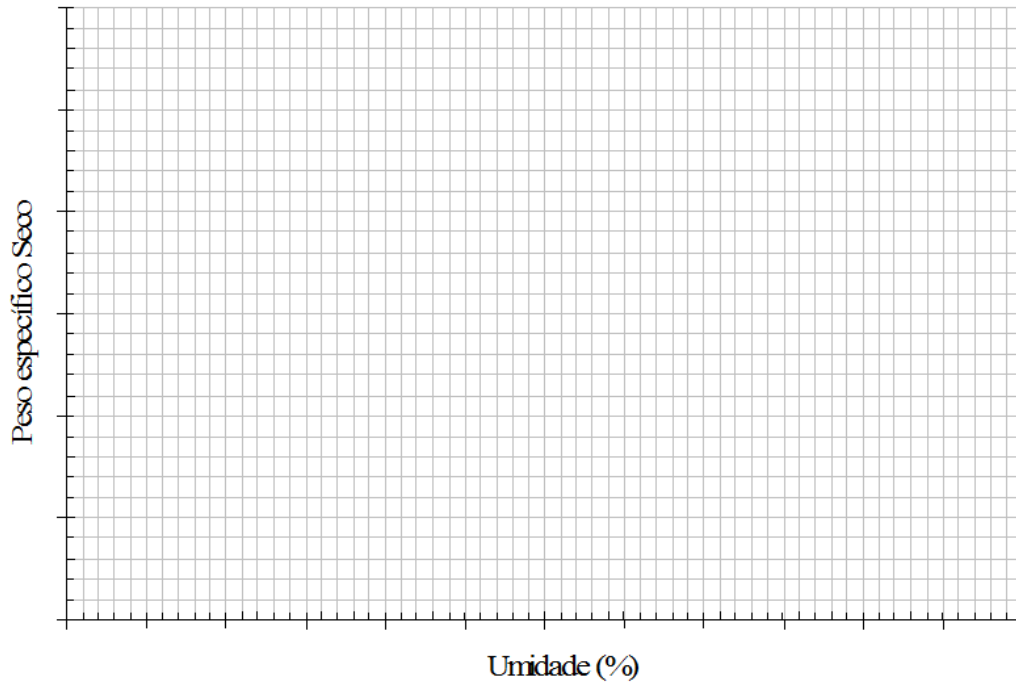
1. Foram moldados cinco corpos-de-prova, para cada um deles foi realizada a adição de água de forma crescente (2,0; 4,0; 6,0; 8,0; e 10,0%). O peso específico dos grãos foi determinado anteriormente e é 26,8 kN/m<sup>3</sup>. A umidade inicial do solo não foi determinada. Proceda com os cálculos.

**Planilha de laboratório:**

Ensaio de Compactação												
Realizado por:						Data:						
Profundidade: <i>1.5 metros</i>						Local da coleta: <i>Gravatá – Rio Grande do Sul</i>						
Dados de ensaio												
Peso do molde (g):			<i>2298.1</i>			Solo: <i>Silte argiloso</i>			Observações: <i>Não foi realizado o reuso de solo. Estufa em 60°C. Verificada a constância de massa após 48h.</i>			
Diâmetro do molde (cm):			<i>10.00</i>			Esforço de compactação: <i>Normal</i>						
Altura do molde (cm):			<i>12.76</i>			Volume (cm <sup>3</sup> ): <i>1002.13</i>						
Ensaio												
Amostras		1 (2%)		2 (4%)		3 (6%)		4 (8%)		5 (10%)		
Peso amostra compactada e cilindro (g):		<i>4185.7</i>		<i>4266.8</i>		<i>4310.6</i>		<i>4324.6</i>		<i>4256.7</i>		
Peso amostra compactada (g):												
Densidade do solo úmido (g/cm <sup>3</sup> ):												
Determinação de Umidade	Cápsula: nº e Nome		1-N	2-N	3-N	4-N	5-N	6-N	7-N	8-N	9-N	10-N
	Peso solo úmido + cápsula (g):		<i>30.93</i>	<i>29.40</i>	<i>33.28</i>	<i>36.96</i>	<i>37.65</i>	<i>33.72</i>	<i>32.59</i>	<i>31.45</i>	<i>37.90</i>	<i>33.07</i>
	Peso solo seco + cápsula (g):		<i>28.35</i>	<i>27.05</i>	<i>30.05</i>	<i>33.34</i>	<i>33.57</i>	<i>30.12</i>	<i>28.78</i>	<i>27.86</i>	<i>33.00</i>	<i>28.90</i>
	Peso da água (g):											
	Peso da cápsula (g):		<i>7.73</i>	<i>7.81</i>	<i>7.81</i>	<i>7.66</i>	<i>7.71</i>	<i>7.73</i>	<i>7.68</i>	<i>7.54</i>	<i>7.77</i>	<i>7.65</i>
	Peso solo seco (g):											
	Porcentagem de umidade (%):											
	Média das umidades:											
Densidade do solo seco (g/cm <sup>3</sup> ):												

2. A partir dos dados calculados, traçar a curva de compactação, mostrando o ramo seco e o ramo úmido. Determinar o peso específico seco máximo ( $\gamma_{m\acute{a}x}$ ) e a umidade ótima ( $w_{\acute{o}tima}$ ).
3. Calcular o índice de vazios e o grau de saturação para o peso específico máximo e a umidade ótima determinada através da curva de compactação.
4. Se usássemos um soquete mais pesado e caindo de uma altura maior, em que posição ficaria a curva de compactação em relação à curva original? Qual tipo de esforço seria? Explique ou desenhe.

### Curva de compactação:



#### Resultados:


$\gamma_{\text{máx}}$  : \_\_\_\_\_  
 $W_{\text{ótima}}$  : \_\_\_\_\_  
e : \_\_\_\_\_  
S : \_\_\_\_\_  
Esforço : \_\_\_\_\_

#### Importante – Saturação:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_s + S \times \gamma_w}{(S \times \gamma_w + w \times \gamma_s)}$$

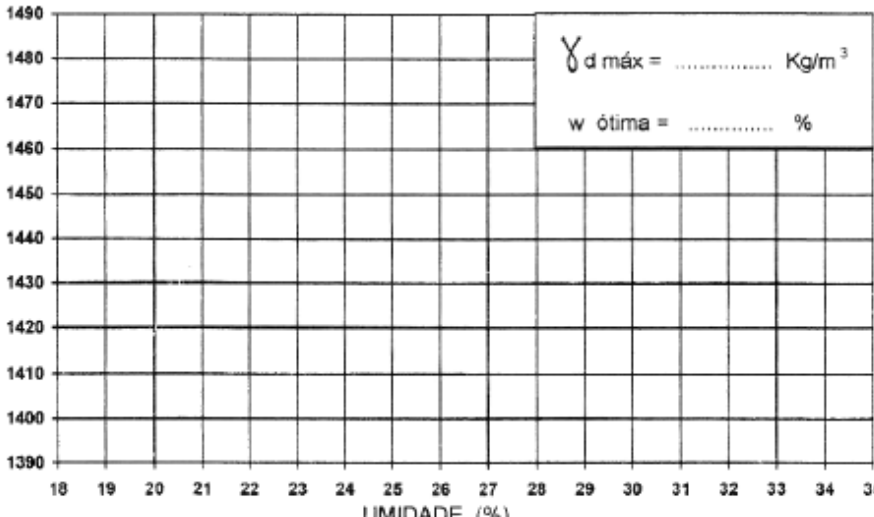
## EXERCÍCIO PRÁTICO DE COMPACTAÇÃO

1. Após estudar os procedimentos do ensaio de compactação, complete a folha de ensaio em anexo e plote a curva de compactação correspondente.

<b>ENSAIO DE COMPACTAÇÃO</b>					
AMOSTRA N°: <i>Furo 1 Linha C Prof 1-2 metros - Area B Dona Francisca</i>					
PROCEDÊNCIA: <i>U. A. E. Dona Francisca</i>					<i>29/09/80</i>
MOLDE N°	<i>325</i>	<i>375</i>	<i>425</i>	<i>474</i>	<i>534</i>
CAMADAS X N° GOLPES	<i>5 x 25</i>	<i>5 x 25</i>	<i>5 x 25</i>	<i>5 x 25</i>	<i>5 x 25</i>
PESO AM. ÚMIDA + MOLDE (Kg)	<i>3,903</i>	<i>3,992</i>	<i>4,038</i>	<i>4,025</i>	<i>4,000</i>
PESO DO MOLDE (Kg)	<i>2,187</i>	<i>2,187</i>	<i>2,187</i>	<i>2,187</i>	<i>2,187</i>
PESO AMOSTRA ÚMIDA (Kg)	<i>1,716</i>				
VOLUME DO MOLDE (m³)	<i>0,000997</i>	<i>0,000997</i>	<i>0,000997</i>	<i>0,000997</i>	<i>0,000997</i>
PESO ESP. AP. ÚMIDO (Kg/m³)			<i>1857</i>		<i>1819</i>
CÁPSULA N°	<i>178</i>	<i>240</i>	<i>213</i>	<i>214</i>	<i>138</i>
AMOSTRA ÚMIDA + CÁPSULA (g)	<i>85,14</i>	<i>95,86</i>	<i>92,87</i>	<i>97,49</i>	<i>98,82</i>
AMOSTRA SECA + CÁPSULA (g)	<i>73,40</i>	<i>82,64</i>	<i>77,99</i>	<i>80,66</i>	<i>80,87</i>
PESO DA ÁGUA (g)			<i>14,88</i>		
PESO DA CÁPSULA (g)	<i>19,21</i>	<i>28,09</i>	<i>21,01</i>	<i>21,52</i>	<i>21,48</i>
PESO DA AMOSTRA SECA (g)	<i>54,19</i>			<i>59,14</i>	
UMIDADE (%)		<i>24,2</i>			
PESO ESP. AP. SECO (Kg/m³)					<i>1397</i>

**PESO ESPECÍFICO APARENTE SECO (Kg/m³)**

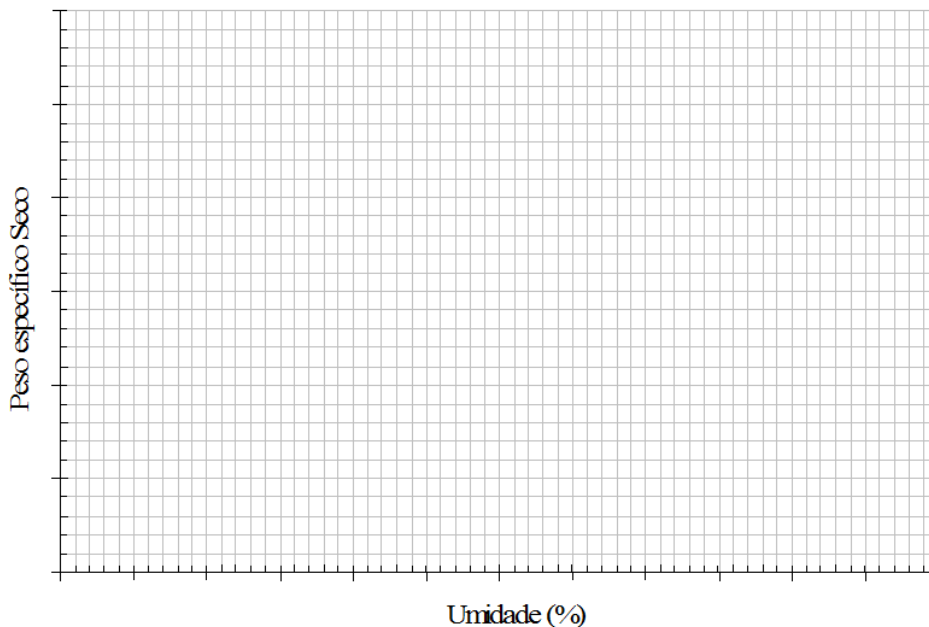


$\gamma_d \text{ máx} = \dots\dots\dots \text{Kg/m}^3$   
 $w \text{ ótima} = \dots\dots\dots \%$

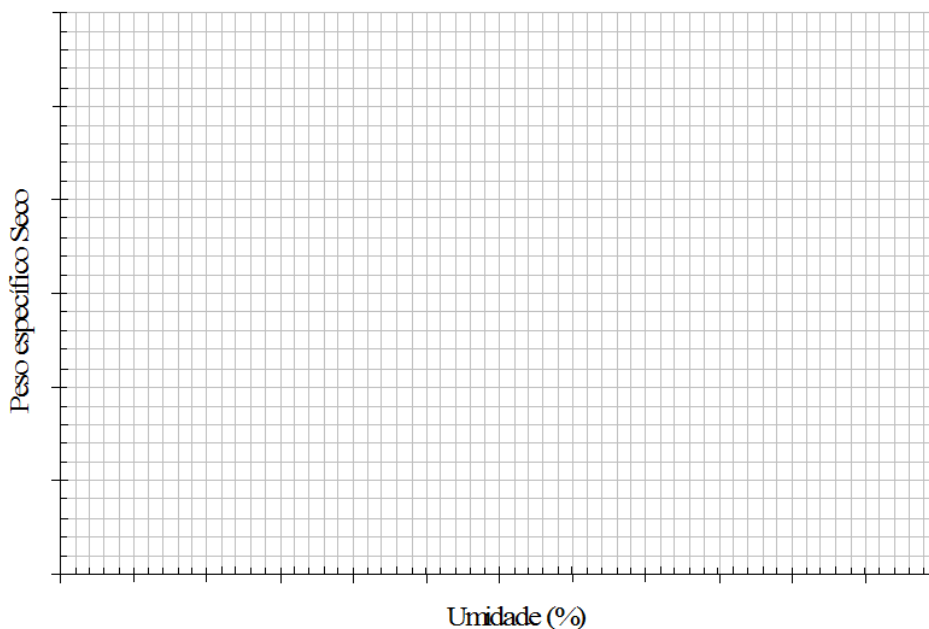
2. Com uma amostra de solo foi realizado um ensaio de compactação com a energia normal. O volume do cilindro utilizado é 992cm<sup>3</sup> e os valores obtidos foram os seguintes:

Amostra Nº	1	2	3	4	5
Massa amostra (g)	1748	1817	1874	1896	1874
Umidade (%)	17,73	19,79	21,59	23,63	25,75

- a) Desenhar a curva de compactação e determinar a densidade máxima seca e a umidade ótima;
- b) Represente, no mesmo gráfico, as possíveis curvas de compactação para a energia intermediária e modificada.



3. Apresente em um gráfico, umidade x densidade seca, três curvas de compactação, uma de areia, uma de argila e uma de pedregulho. Comente cada uma delas.



## LISTA DE EXERCÍCIOS DE CARACTERIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO

1. A partir da Figura 1 determine (trata-se do mesmo solo):

- a) Determine o peso específico seco máximo ( $\gamma_{dm\acute{a}x}$ ) e a umidade ótima ( $w_{\acute{o}t}$ ) para cada curva.
- b) Indique no gráfico qual é a curva de saturação.
- c) Identifique, na figura, o ramo seco e ramo úmido de cada curva.
- d) Identifique, na figura, qual curva trata-se de proctor normal, proctor intermediário e proctor modificado.
- e) Você é engenheiro e foi contratado para interpretar os ensaios de compactação, então indique qual curva deve ser usada para obter o menor índice de vazios para a maior umidade possível.

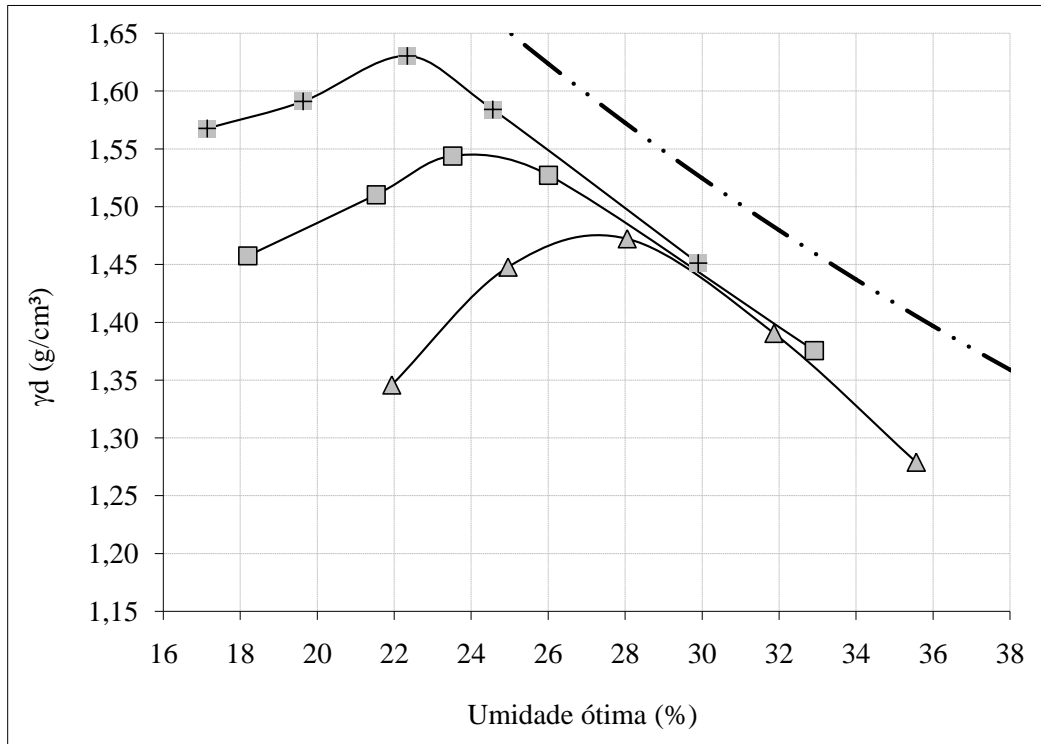


Figura 1: Curvas de Compactação.

2. O técnico em estradas lhe apresenta as seguintes tabelas, qual é o limite de liquidez o limite de plasticidade e o índice de plasticidade dos materiais?

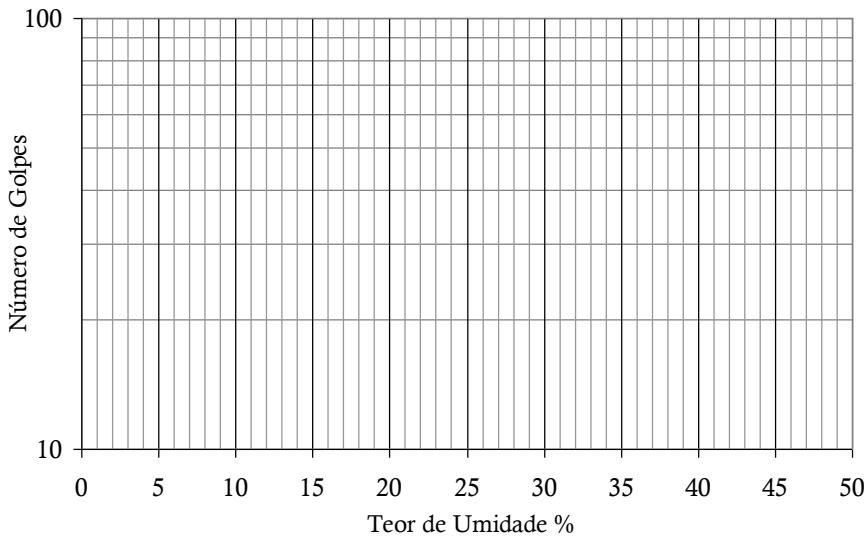
a) determine o limite de plasticidade:

Cápsula	Solo úmido e cápsula (gf)	Solo seco e cápsula (gf)	Cápsula (gf)	Água (gf)	Solo (gf)	Teor de umidade (%)
1	9,54	9,13	7,76			
2	9,13	8,79	7,64			
3	10,28	9,70	7,77			
4	10,05	9,54	7,76			
5	9,95	9,41	7,72			

LP = \_\_\_\_\_ (0,5 ponto) apresentar a tabela calculada.

b) determine o limite de liquidez

Cápsula	Solo úmido e cápsula (gf)	Solo seco e cápsula (gf)	Cápsula (gf)	Água (gf)	Solo (gf)	Teor de umidade (%)	Número de golpes
1	19,23	16,16	7,59				17
2	17,90	15,26	7,74				29
3	15,95	13,81	7,67				34
4	14,69	12,82	7,72				18
5	18,74	15,40	7,90				22



LL = \_\_\_\_\_  
 apresentar a tabela calculada e o gráfico com a obtenção do resultado.

IP = \_\_\_\_\_

Figura 2: Gráfico para determinação do Limite de Liquidez.

3. Interprete e determine os dados pedidos na tabela ao lado da Figura 3.

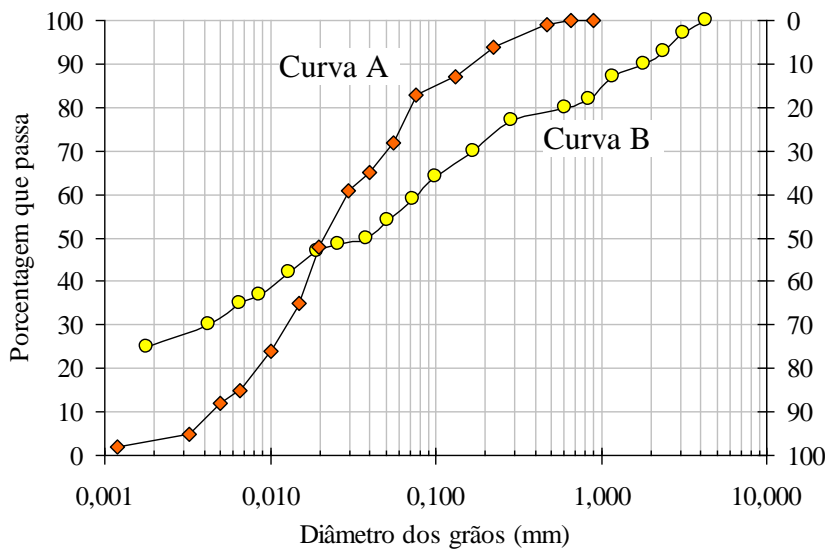


Figura 3: Curvas granulométricas.

Resultados:

	A	B
Argila (%)		
Silte (%)		
Areia (%)		
Pedreg. (%)		
D <sub>10</sub>		
D <sub>30</sub>		
D <sub>60</sub>		
Cu		
Cc		
Classifique		

Pedregulho	de 4,8mm	a	7,6cm
Areia grossa	de 2,00mm	a	4,8mm
Areia média	de 0,42mm	a	2,00 mm
Areia Fina	de 0,05mm	a	0,42mm
Silte	de 0,005mm	a	0,05mm
Argila	inferior	a	0,005mm

Formulário

Índice de Atividade	Coefficiente de uniformidade (Cu)	Coefficiente de curvatura (Cc)	Índice de Plasticidade
$IA = \frac{IP}{\% < 0,002mm}$	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$	$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$	$IP = LL - LP$

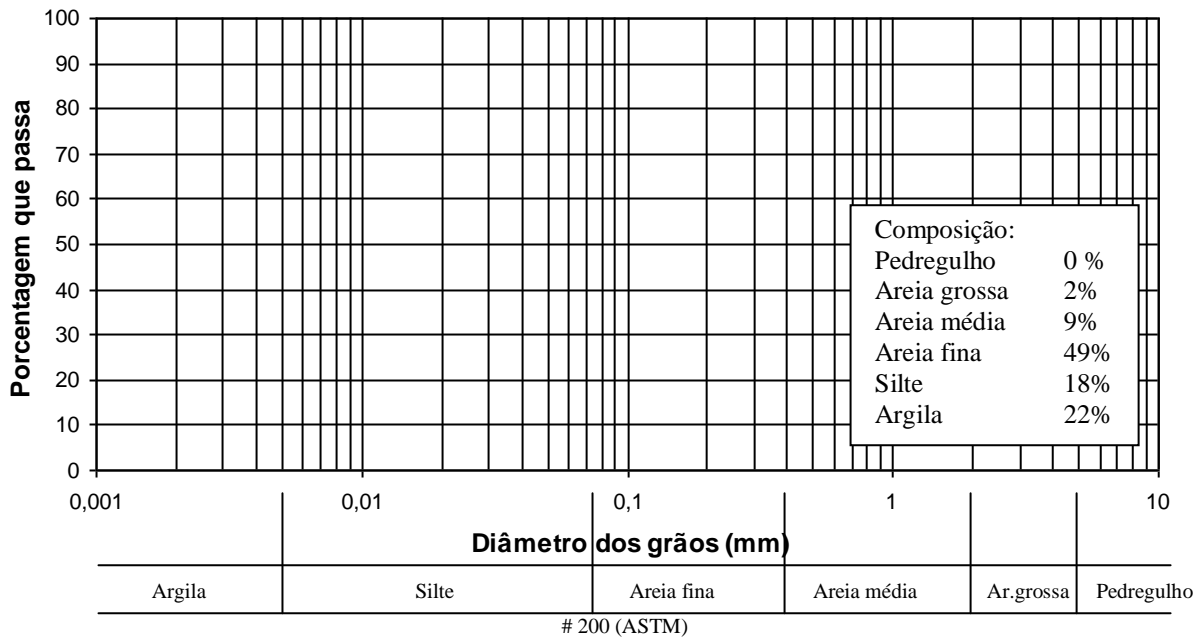
## LISTA DE EXERCÍCIOS DE CARACTERIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO

1. Uma amostra de solo foi levada a um laboratório para uma bateria de ensaios. Os dados dos ensaios realizados serão apresentados na sequencia, devendo o aluno responder aos questionamentos conforme solicitados.
  - a. As planilhas de ensaio dos índices de consistência estão apresentadas abaixo. Determine o índice de plasticidade do solo.

Método de Casagrande		
Tentativa	Umidade (%)	Nº de golpes
1	30,3	36
2	31,8	29
3	33,5	22
4	34,5	19
5	35,7	16

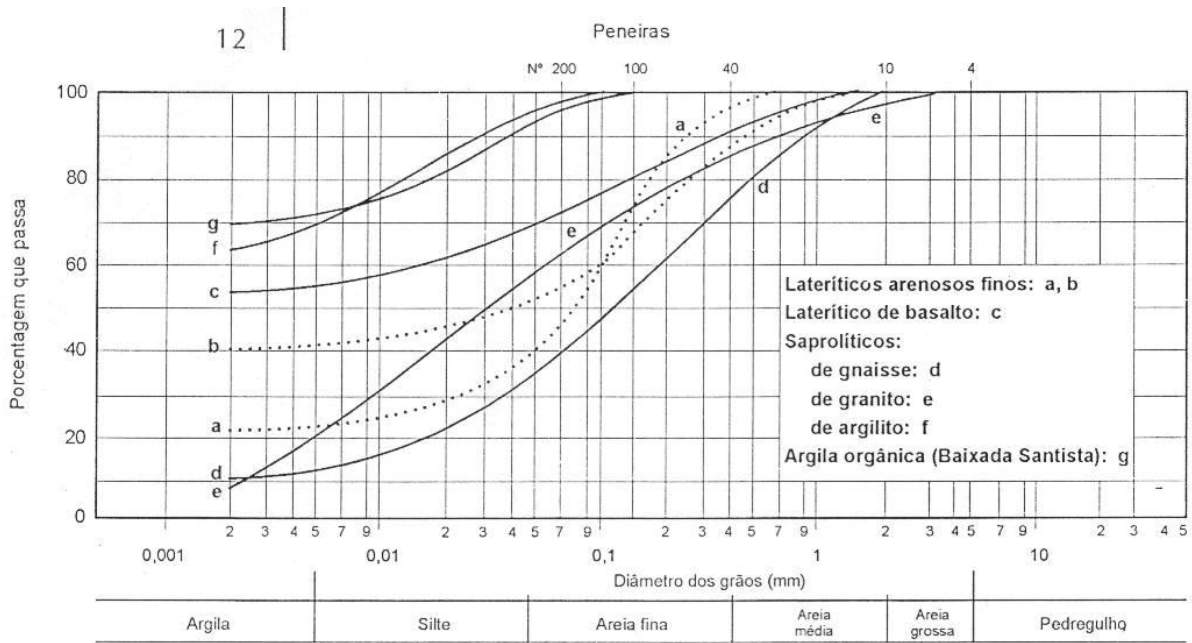
Método do cilindro (d=3 mm)	
Ensaio	Umidade (%)
1	19,9
2	20,2
3	23,4
4	20,1
5	19,8

- b. A composição granulométrica está apresentada no quadro abaixo. Trace a curva granulométrica e classifique pelo método SUCS.



2. Para determinar o índice de compactidade relativa de uma areia, que apresentava no estado natural, uma massa específica seca de  $1,71 \text{ kg/dm}^3$ , foram realizados ensaios para determinar seus estados de máxima e mínima compactidade. Para a máxima compactidade, a areia seca foi colocada num cilindro de ensaio de compactação, que tem 10 cm de diâmetro e altura de 12,76 cm (volume de  $1 \text{ dm}^3$ ), e após vibração, determinou-se que a areia ficou com uma massa de 1,78 kg. Para a mínima compactidade, a areia, previamente seca em estufa, foi colocado dentro do cilindro de compactação, indicando uma massa de 1,49 kg. Determine o índice de compactidade relativa.
3. Para o solo “c” da curva granulométrica, a seguir, determine a quantidade de fração argila, silte e areia. Classifique esse solo pelo método unificado (SUCS), sabendo que seu IP é de 30% e o LL é de 45% e calcule o índice de atividade.
4. Para se construir um aterro, dispõe-se de uma quantidade de terra, cujo volume estimado é de  $3000 \text{ m}^3$ . Ensaios mostram que o peso específico natural é  $17,8 \text{ kN/m}^3$  e a umidade 15,8%. O projeto prevê que no aterro o solo seja compactado com uma umidade de 18%, ficando com um peso específico seco de  $16,8 \text{ kN/m}^3$ . Que volume de aterro é possível construir com o material disponível e que volume de água deve ser acrescentado?

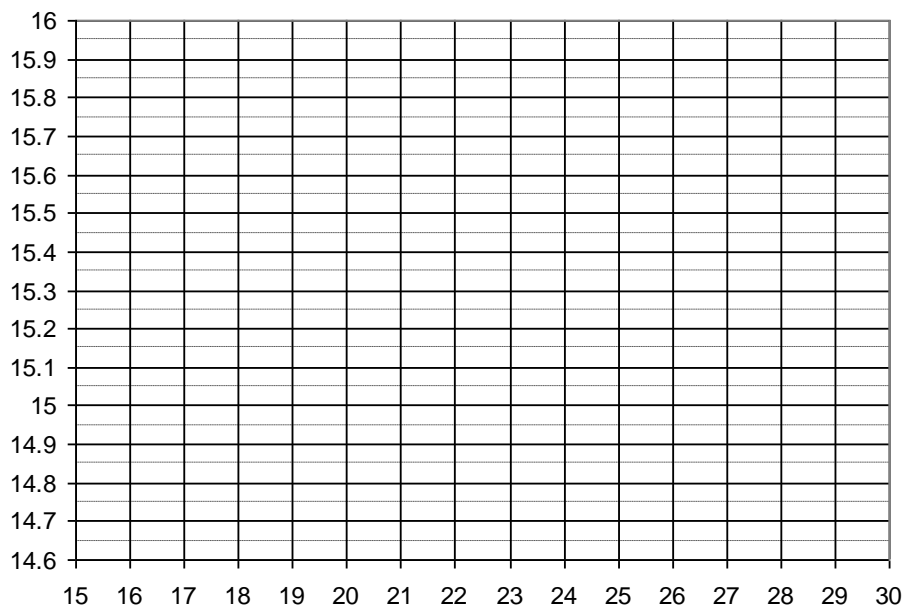




5. Na tabela abaixo estão as massas dos corpos de prova, de um Ensaio Normal de Compactação, com cilindro de 1 dm<sup>3</sup>, e as umidades correspondentes a cada moldagem. A massa específica dos grãos é de 2,65 Kg/dm<sup>3</sup>.

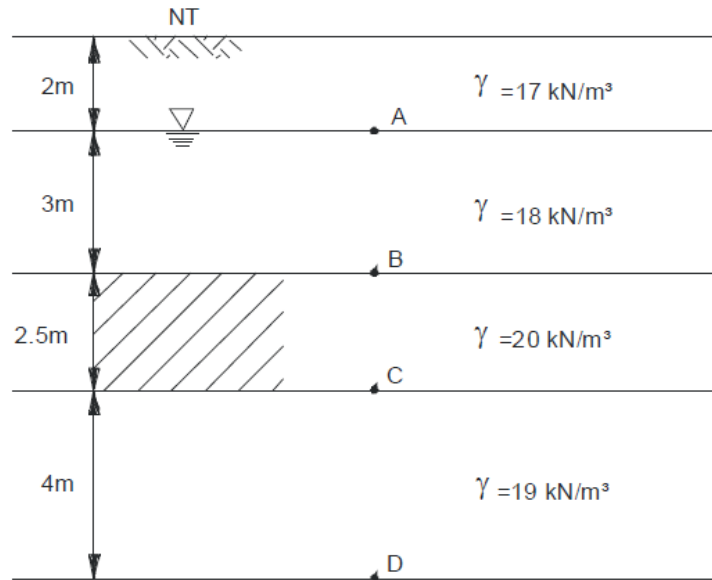
- Determinar a curva de compactação, a densidade máxima e a umidade ótima.
- Determinar o grau de saturação do ponto máximo da curva.

Ensaio n°	1	2	3	4	5
Massa do CP (gramas)	1738	1807	1864	1886	1864
Umidade (%)	17,73	19,79	21,59	23,63	25,75

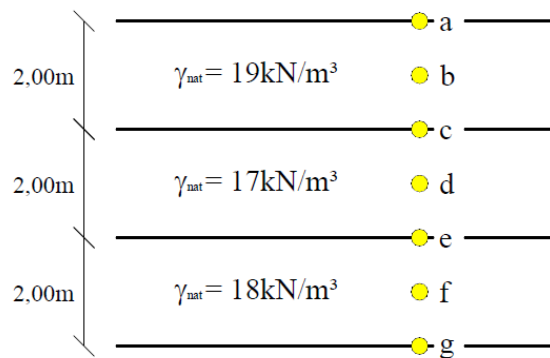


## EXERCÍCIO DE TENSÕES VERTICAIS DO SOLO

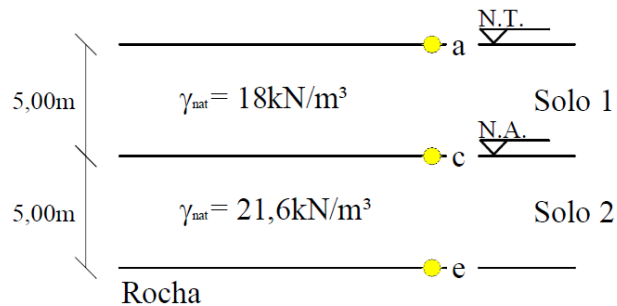
1. Calcular as tensões verticais totais e efetivas nos pontos A a D do perfil geotécnico.



2. Considere o perfil do sub-solo abaixo e calcule as pressões verticais ( $\sigma_v$ ) devidas ao peso próprio do terreno nas profundidades apresentadas no perfil.

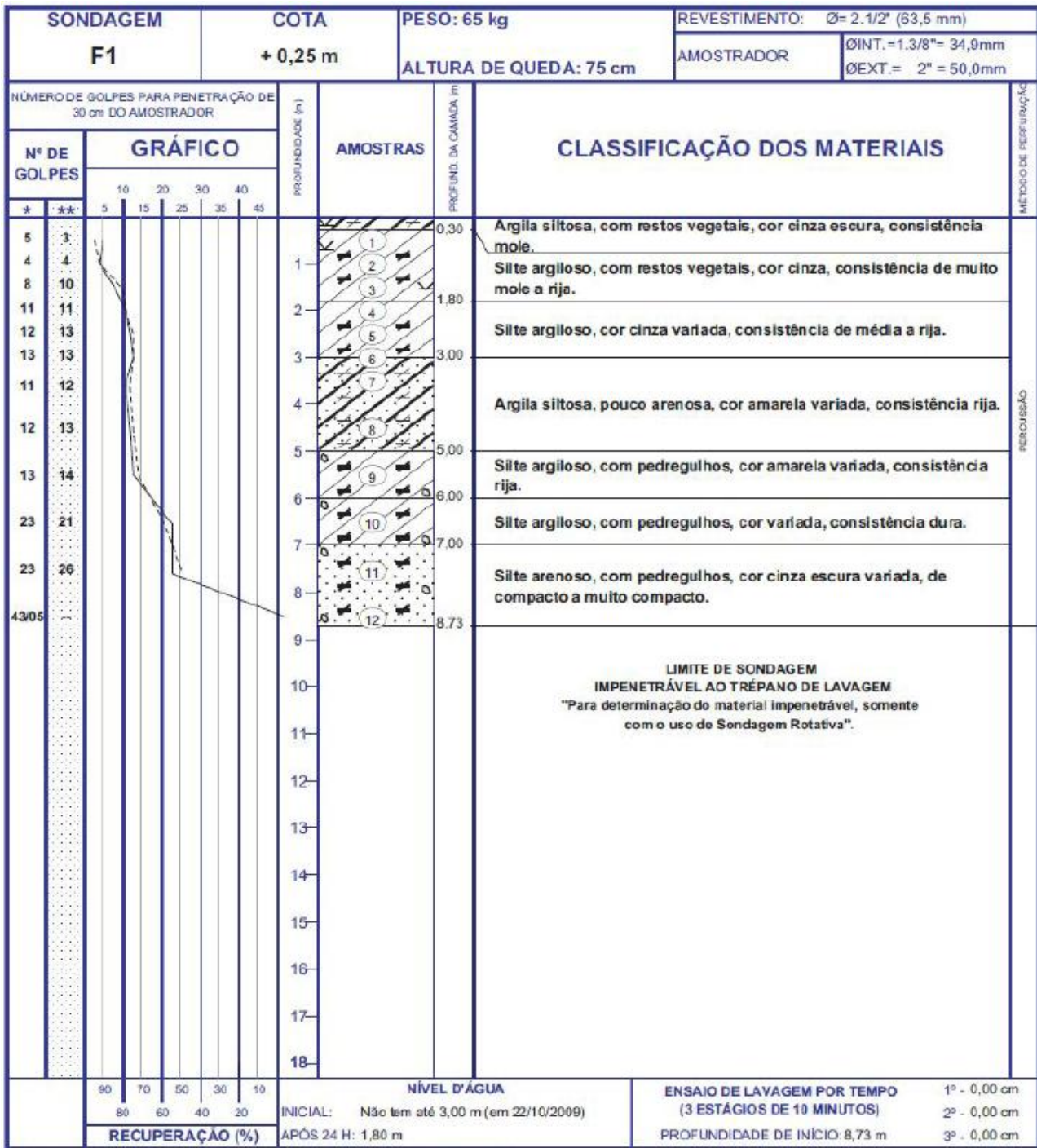


3. Determinar a  $\sigma_v$ ,  $u$  e  $\sigma_v'$  para o perfil de solo abaixo:



## EXERCÍCIO DE TENSÕES VERTICAIS DO SOLO

1. Você foi contratado para calcular as tensões verticais totais, neutras e efetivas nos pontos indicados no SPT.



Camada 1 (0,0m – 3,0m)	Camada 2 (3,0m – 5,0m)	Camada 3 (5,0m – 6,0m)	Camada 4 (6,0m – 8,7m)
$\gamma_n = 17 \text{ kN/m}^3$ $S = 70\%$ $w = 30\%$	$\gamma_d = 18 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_s = 27,8 \text{ kN/m}^3$ $w = 17\%$ $e = 0,5$	$\gamma_n = 18,1 \text{ kN/m}^3$	$\gamma_d = 18 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_s = 26,07 \text{ kN/m}^3$ $w = 15\%$ $e = 0,45$



## PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM À PERCUSSÃO

CLIENTE:

OBRA:

LOCAL:

INÍCIO:

TÉRMINO:

COTA: 0

**FURO  
SP01**

REV.	AVANÇO TC/TH/CA	COTA N.A. (m)	PROFUNDIDADE (m)	PERFIL GEOLÓGICO Nº DE AMOSTRA	REVESTIMENTO = 63.5 mm AMOSTRADOR { Ø INTERNO = 34.9 mm Ø EXTERNO = 50.8 mm PESO = 65 kg - ALTURA DE QUEDA = 75 cm	ENSAIO PENETROMÉTRICO		RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO		PENETRAÇÃO (GOLPES)					
						1+2	2+3	30 cm INICIAIS	30 cm FINAIS	COMPACIDADE - SOLOS ARENOSOS (SPT)					
CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL										FOFA	POU.C.	MED. COMP.	COMPACTA	MUITO COMP.	
										4	8	18	40		
		N.A.	0,00	1	ARGILA ARENOSA, POUCO PLÁSTICA, MARROM, MÉDIA	15/30	15/30	15	15						
			1,95	2		12/30	13/30	12	13						
				3	ARGILA SILTO-ARENOSA, CINZA A AMARELADA, MÉDIA A RIJA	9/30	9/30	9	9						
				4		17/30	17/30	17	17						
				5		16/30	18/30	16	18						
		-5,00	5,10	6	SILTE ARENO-ARGILOSO, CINZA AMARELO, MEDIANAMENTE COMPACTO A MUITO COMPACTO	18/30	17/30	18	17						
				7		17/30	21/30	17	21						
				8		14/30	17/30	14	17						
				9		17/30	19/30	17	19						
				10		17/30	20/30	17	20						
				11		23/30	31/30	23	31						
		-10,00		12	49/30	45/30	49	45							
			12,90		FURO TERMINADO COM 12,9m										
		-15,00													
		-18,00													

OBS.: - SONDAGEM EXECUTADA CONFORME NORMAS DA "ABNT", NBR-6484 E NBR-7250.  
 - N.A. NÃO ENCONTRADO  
 - IMPENETRÁVEL À LAVAGEM

2	5	10	19
MOLE	MÉDIA	RIJA	DURA
CONSISTÊNCIA - SOLOS ARGILOSOS (SPT)			

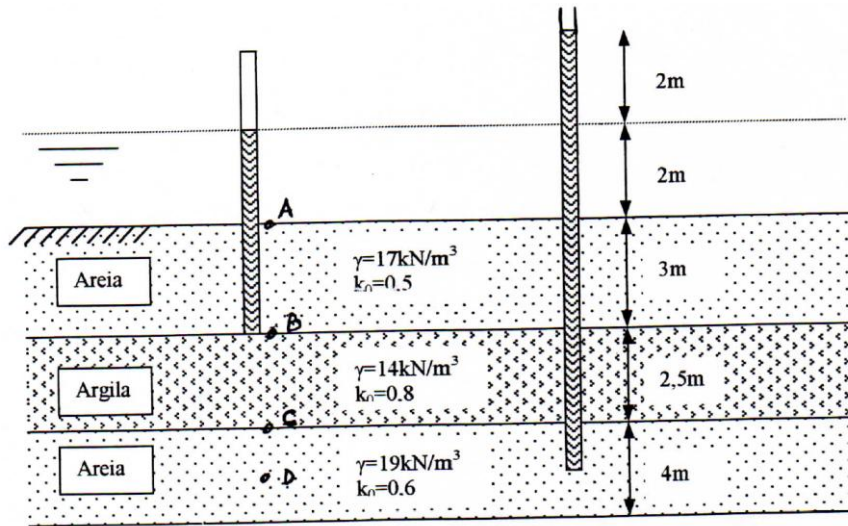
MÉTODO EXECUTIVO			
AVANÇO DO FURO	Ø	PROFUNDIDADE (m)	
TRADO CAVADEIRA	4"	0,00	0,00
TRADO HELICOIDAL	2 ¼"	0,00	0,00
CIRCULAÇÃO DE ÁGUA	2"	0,00	0,00
REVESTIMENTO	2 ½"	0,00	0,00
SPT	2"	0	ENSAIOS

TABELA DO NÍVEL D'ÁGUA			
DATA	HORA	N.A. (m)	PROF. FURO (m)

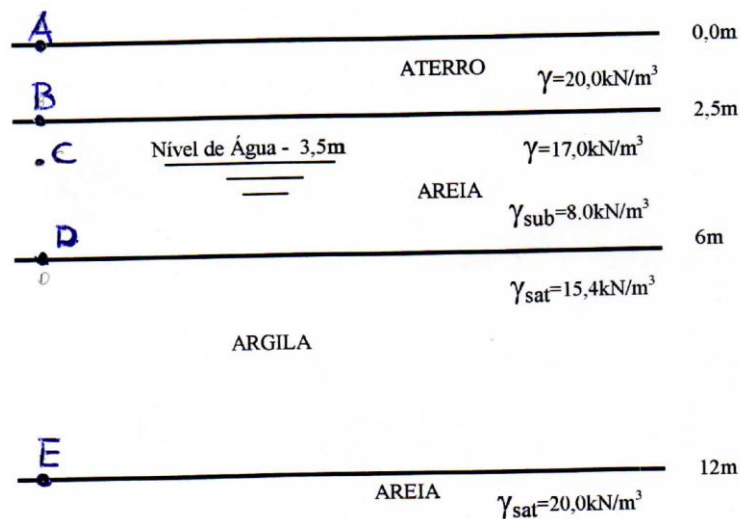
FOLHA: 01 / 01	ESCALA: SEM ESCALA	COORDENADAS:	SONDADOR:	APROVADO:
-------------------	-----------------------	--------------	-----------	-----------

## EXERCÍCIO DE TENSÕES VERTICAIS DO SOLO

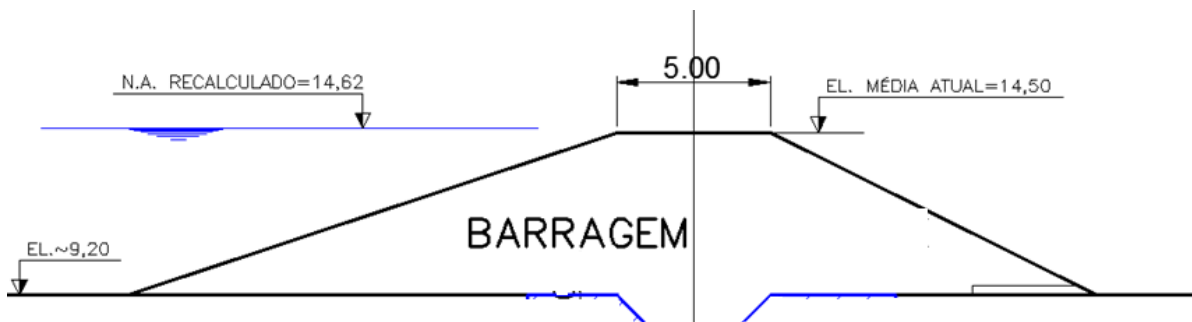
1. Você foi contratado para calcular as tensões verticais totais, neutras e efetivas nos pontos indicados na figura. Desenhe os diagramas de tensões e estime o coeficiente de permeabilidade para cada camada de solo.



2. Sobre um terreno foi lançado um aterro de 2,50 metros de espessura. Determinar a distribuição geostática antes e após a colocação do aterro. Desenhar os diagramas de tensões.

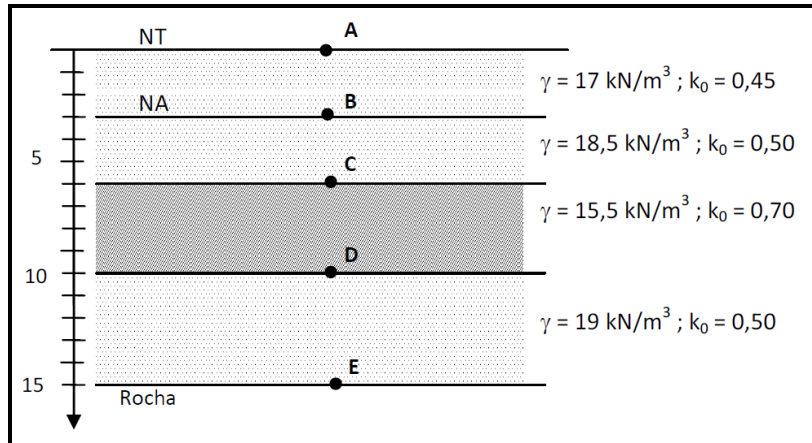


3. A empresa SiscxGeo necessita que você determine o acréscimo de tensões, para cada metro de profundidade, após a construção de uma barragem de terra. O corpo da barragem é constituído por um material argiloso e com um  $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^2$ . O perfil de sondagem está apresentado na sequência deste documento. Apresente uma relação ou razão que demonstre quantitativamente o acréscimo de tensões.

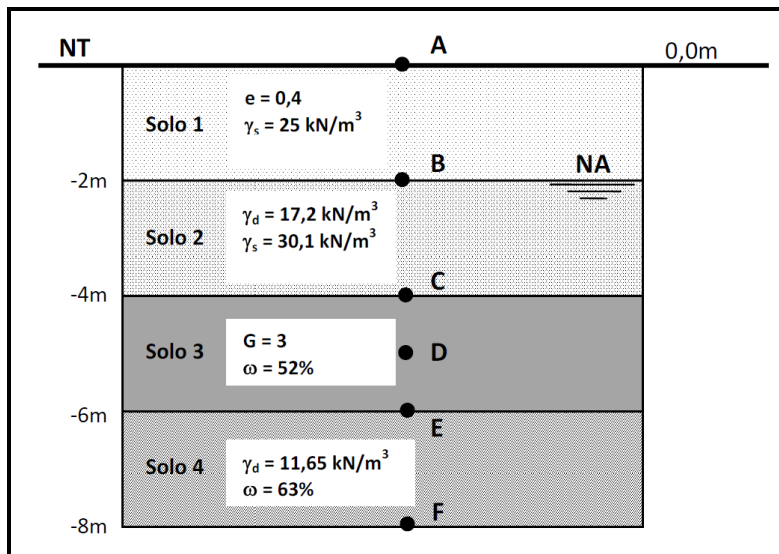


## EXERCÍCIO DE TENSÕES DO SOLO E CARREGAMENTOS EXTERNOS

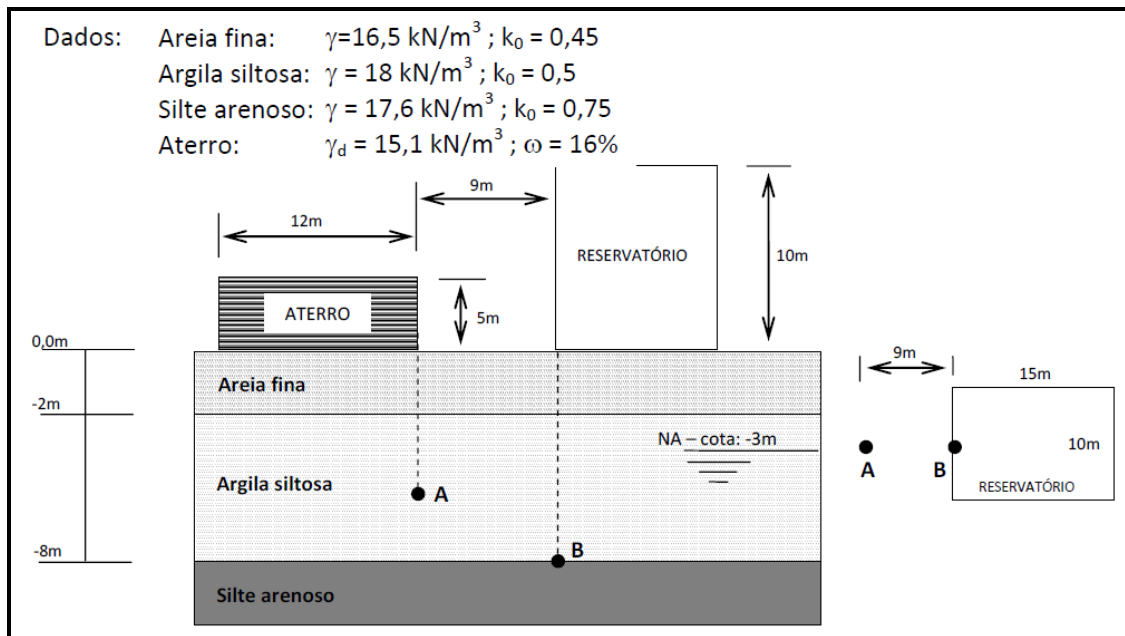
1. Traçar os diagramas de variação de  $\sigma'v$  e  $\sigma'h$  nos pontos indicados do perfil geotécnico.



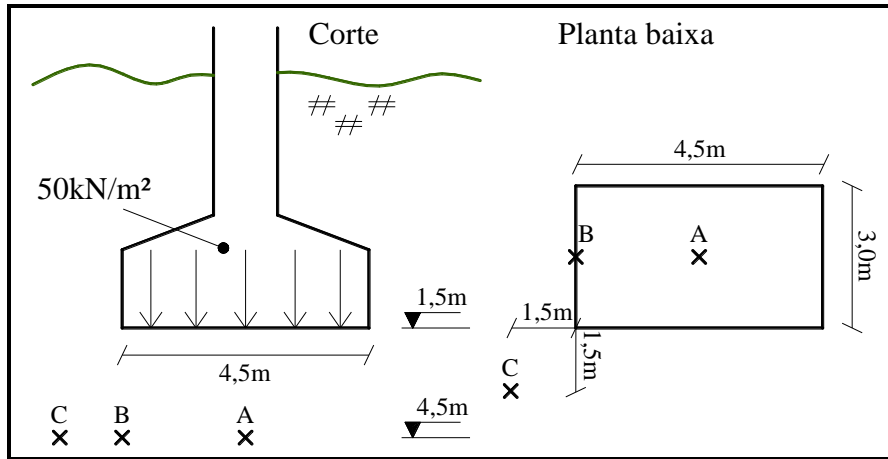
2. Calcular as tensões efetivas verticais nos pontos do perfil. Esse terreno irá receber um carregamento oriundo da construção de um reservatório. A carga será de  $50\text{kN/m}^2$



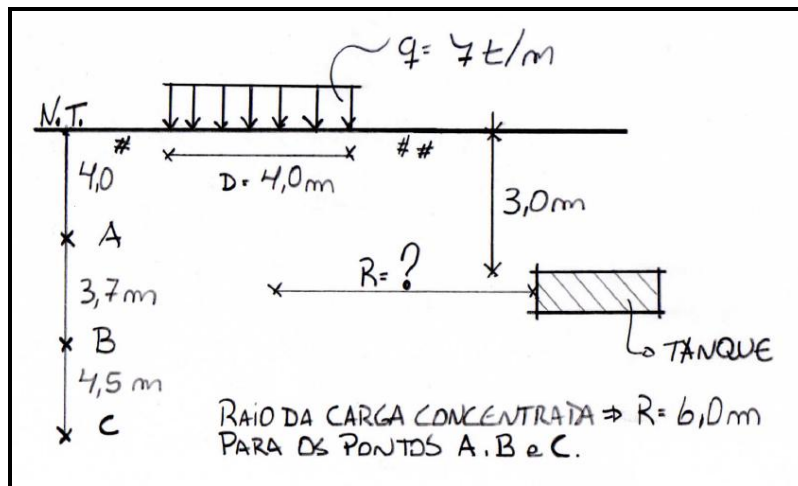
3. Calcular nos pontos A e B do perfil abaixo o estado de tensões efetivas.



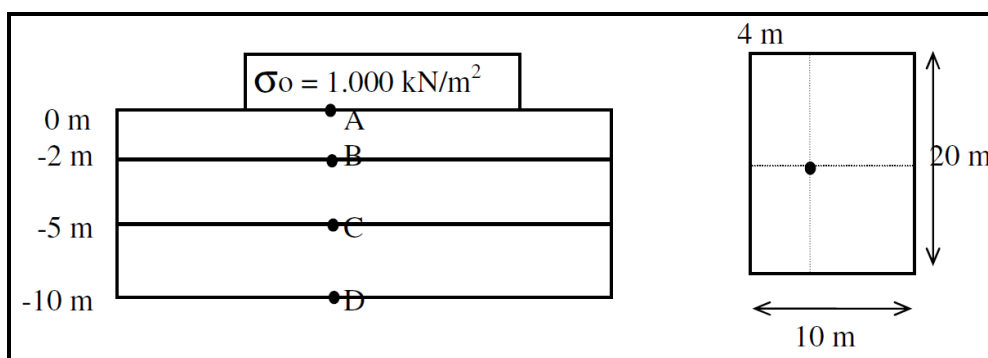
4. Calcular o acréscimo de tensão vertical nos pontos A, B e C.



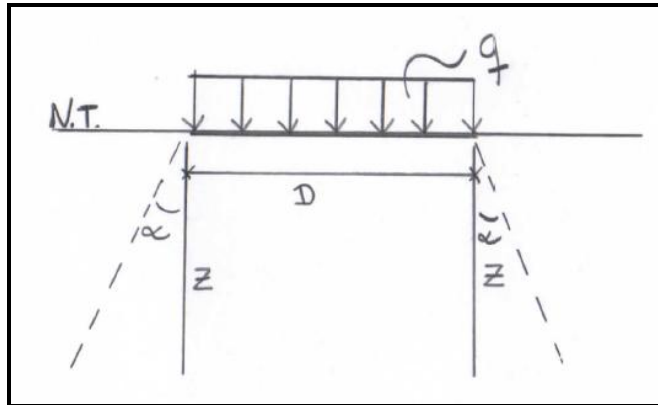
5. Calcular o acréscimo de tensão vertical, a partir da equação de Boussinesq, nos pontos A, B, e C. Próximo ao local onde está o depósito de resíduos será instalado também um tanque de combustível subterrâneo. O tanque de combustível foi projetado apenas para suportar as tensões oriundas do solo, na vertical. Desta forma necessita-se que seja determinada qual a distância segura que o tanque pode ser instalado, ou seja, onde as tensões sejam iguais a zero. O croqui fornecido pela construtora fornece todos os dados necessários para o cálculo.



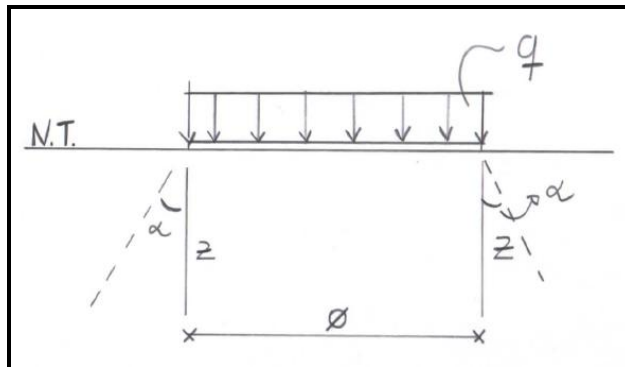
6. Calcular as tensões devidas ao “radier” dado, nos pontos A, B, C e D cuja posição em relação ao mesmo é fornecida.



7. Uma placa circular com 5,00 metros de diâmetro é carregada com 120kN/m<sup>2</sup> sobre um solo arenoso. Calcular a tensão transmitida por ela a 2 e 5 metros de profundidade, utilizando a chamada hipótese simples (método do espriamento).

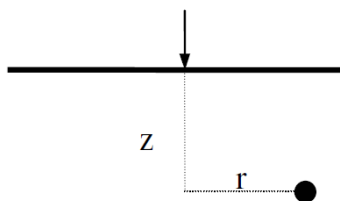


8. Uma placa quadrada com 4,00 metros de lado, é carregada com 32 toneladas. Calcular a tensão transmitida pela placa a 3,00 metros de profundidade utilizando o método do espriamento, considerando o solo como argiloso.



9. Uma placa retangular de 4,0m x 7,5m é assentada sobre um solo areno-pedregulhoso. Ela transmite ao terreno uma tensão de 700kN/m<sup>2</sup>. Calcular a tensão transmitida a 10,00 metros de profundidade.

10. Uma carga de 500kN é considerada puniforme. Calcular a tensão vertical originada por essa carga nas situações abaixo indicadas e traçar o diagrama de distribuição da tensão vertical sob o ponto de aplicação. Traçar os diagramas de distribuição da tensão vertical nas cotas 2 e 4 metros.

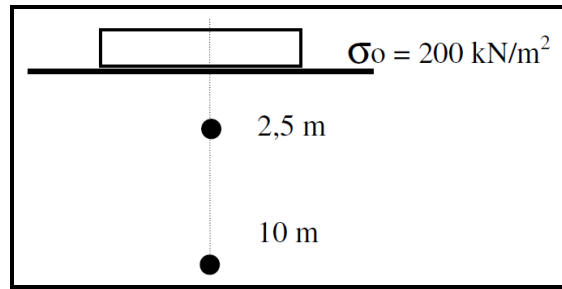


r (m) \ z (m)	0	3	6
2			
4			
8			

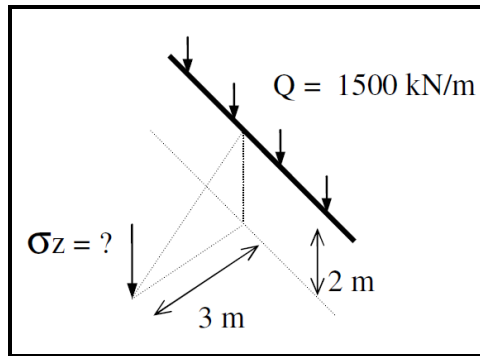
11. Uma carga concentrada de 400kN atua na superfície do terreno. Determinar o acréscimo de tensão na profundidade de 10 m, diretamente sobre a carga e a uma distância horizontal de 5 m.



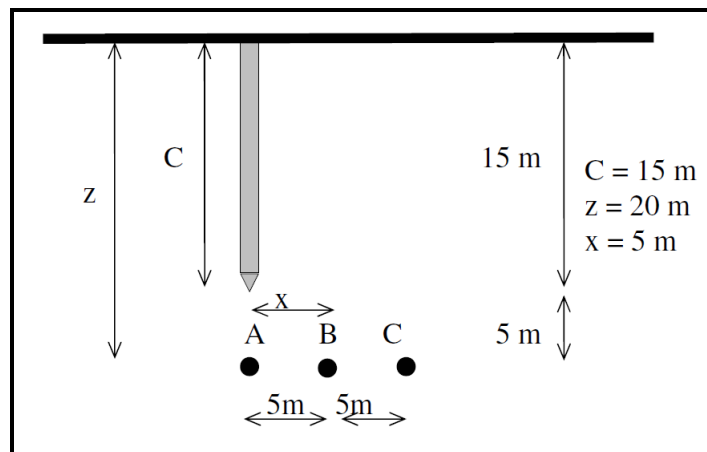
12. Calcular o acréscimo de tensão causado por uma placa circular com 5 m de diâmetro, carregada com 200 kN/m<sup>2</sup> em pontos situados a 2,5 m e 10,0 m de profundidade, sob seu eixo.



13. Uma carga de 1500 Kn/m é aplicada num terreno. Calcular a tensão vertical originada por essa carga na situação indicada.

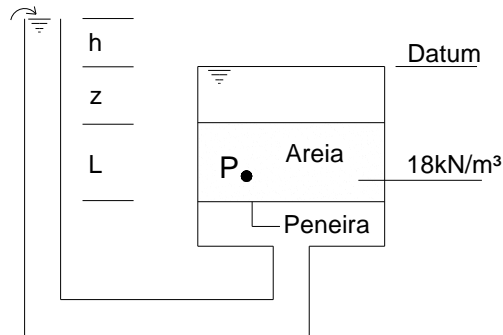


14. Calcular a tensão vertical nos pontos A, B e C, abaixo indicados devido a uma estaca carregada com 500 kN, sendo que 350 kN são transmitidos pela ponta da estaca e 150 kN pelo seu atrito lateral.



## LISTA DE EXERCÍCIOS DE ÁGUA NO SOLO

1. Em um sistema como mostrado na Figura abaixo, considere  $L = 50$  cm,  $Z = 24$  cm e  $h = 14$  cm. A área do permeâmetro é de  $530$  cm<sup>2</sup>. O peso específico da areia é de  $18$  kN/m<sup>3</sup>. (a) Determine, inicialmente, qual o esforço que a areia estará exercendo na peneira. (b) Considere, a seguir, um ponto no interior do solo, P, em uma altura de  $12,5$  cm acima da peneira. Para este ponto, determine: 1) a carga altimétrica; 2) a carga piezométrica; 3) a carga total; 4) a tensão total; 5) a pressão neutra; e 6) a tensão efetiva.



2. Em um ensaio de permeabilidade com permeâmetro de carga variável, quando a carga  $h$  era de  $65$  cm acionou-se o cronômetro, três minutos depois a carga era de  $h = 30$  cm. Os dados dos corpos de prova foram  $L = 20$  cm,  $A = 77$  cm<sup>2</sup> e a área da bureta =  $1,40$  cm<sup>2</sup>.

Determinar:

- O coeficiente de permeabilidade do material
- Classifique o material segundo sua permeabilidade
- Em quanto tempo a carga hidráulica teria caído de  $65$  cm para  $45$  cm

$h = 65$  cm após  $180$  segundos  $h = 30$  cm;

$L = 20$  cm;

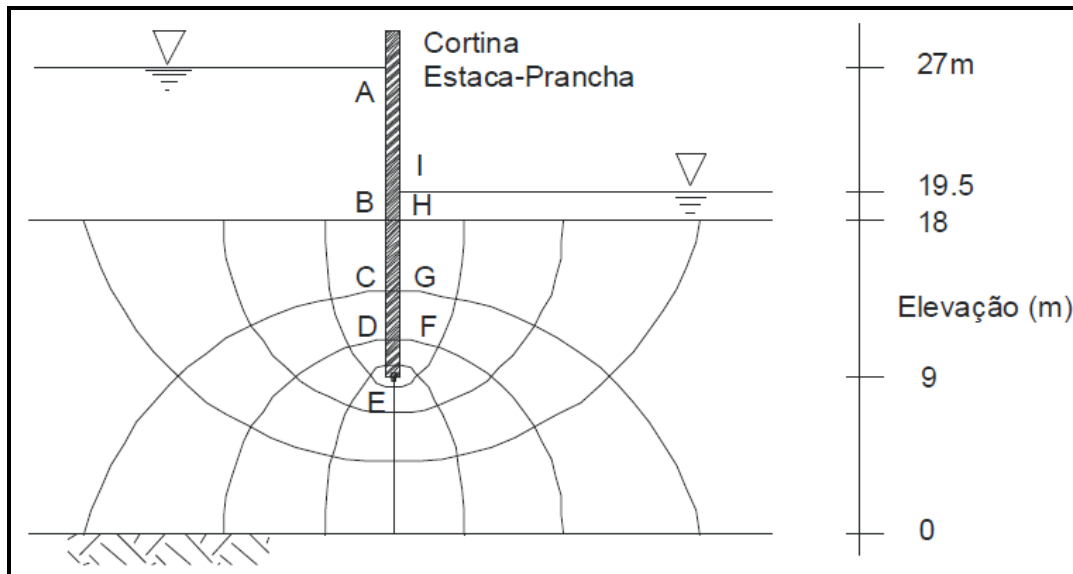
$a = 1,40$  cm<sup>2</sup>;

$A = 77$  cm<sup>2</sup>;

3. Um ensaio de permeabilidade em um permeâmetro de carga constante forneceu um volume percolado, em  $500$  s, de  $0,034$  m<sup>3</sup>, sendo  $h = 2$  m,  $L = 0,20$  m e  $A = 0,04$  m<sup>2</sup>. Determinar a permeabilidade.

## LISTA DE EXERCÍCIOS DE FLUXO DE ÁGUA NO SOLO (BARRAGEM)

1. Para a cortina de estacas-pranchas apresentada, determinar as pressões d'água na cortina, a vazão que percola e o gradiente de saída. A permeabilidade do terreno é de  $3 \times 10^{-7}$  m/s.



### 1.1 Características da rede de fluxo.

- 1° Escolha do ponto de referencia (Datum): = \_\_\_\_\_
- 2° Carga total de entrada – Montante (HT) = \_\_\_\_\_
- 3° Carga total de saída – Jusante (HS) = \_\_\_\_\_
- 4° Carga total dissipada (H) = (HT – HS) = \_\_\_\_\_
- 5° Número de linhas de fluxo (LF) = \_\_\_\_\_
- 6° Número de canais de fluxo (Nc) = (LF-1) = \_\_\_\_\_
- 7° Número de linhas equipotenciais (Neq) = \_\_\_\_\_
- 8° Número de quedas de fluxo (Nq) = (Neq – 1) = \_\_\_\_\_
- 9° Fator de forma de rede (FF) = (Nc/Nq) = \_\_\_\_\_
- 10° Perda de carga entre equipotenciais ( $\Delta h$ ) = (H/Nq) = \_\_\_\_\_

### 1.2 A poro-pressão nos pontos A, B, C, D...

Ponto	He(m)	Nq	$\Delta h$ (m)	$h$ (m)=He-Nq x $\Delta h$	Ha(m)	Hp(m)	$u$ (kN/m <sup>2</sup> )= $\gamma_w$ x Hp
A							
B							
C							
D							
E							
F							
G							
H							
I							

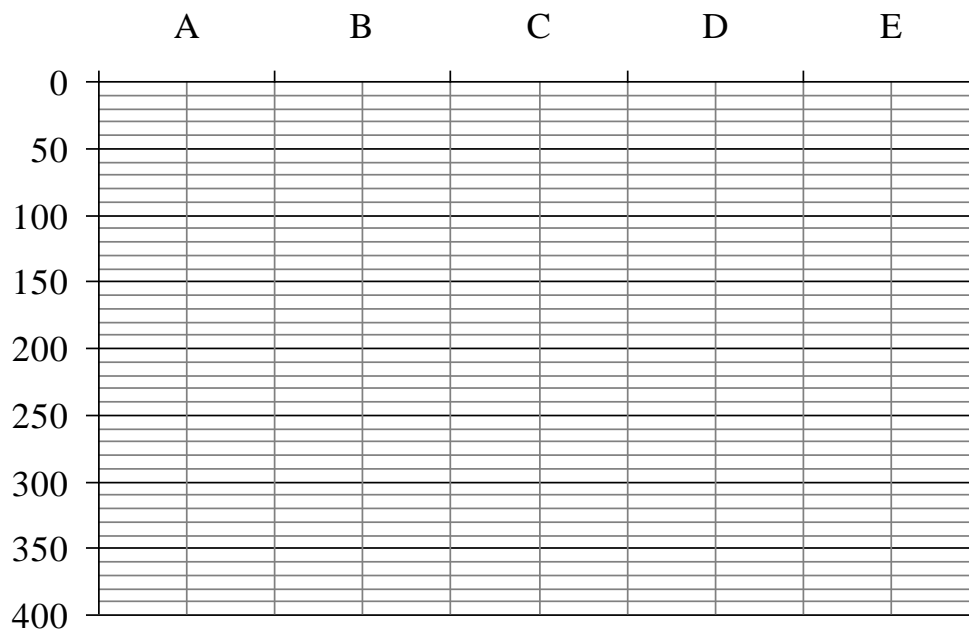
He = Altura do nível de água a partir do Datum.

Ha = Altura do ponto a partir do Datum.

Nq = Número de quedas de fluxo para o ponto.

Hp = Carga total dissipada por ponto (h) menos a altura do ponto a partir do Datum.

**1.3** Apresente o diagrama de sub-pressão.



**1.4** A vazão que percola pela fundação em l/dia/m -  $1 \text{ m}^3 = 1000$  litros.

$$Q = k \times H \times \frac{Nc}{Nq};$$

**1.5** Possibilidade de ruptura hidráulica a jusante.

Gradiente hidráulico de saída:

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

Gradiente hidráulico crítico:

$$i = \frac{\gamma_{sub}}{\gamma_w}$$

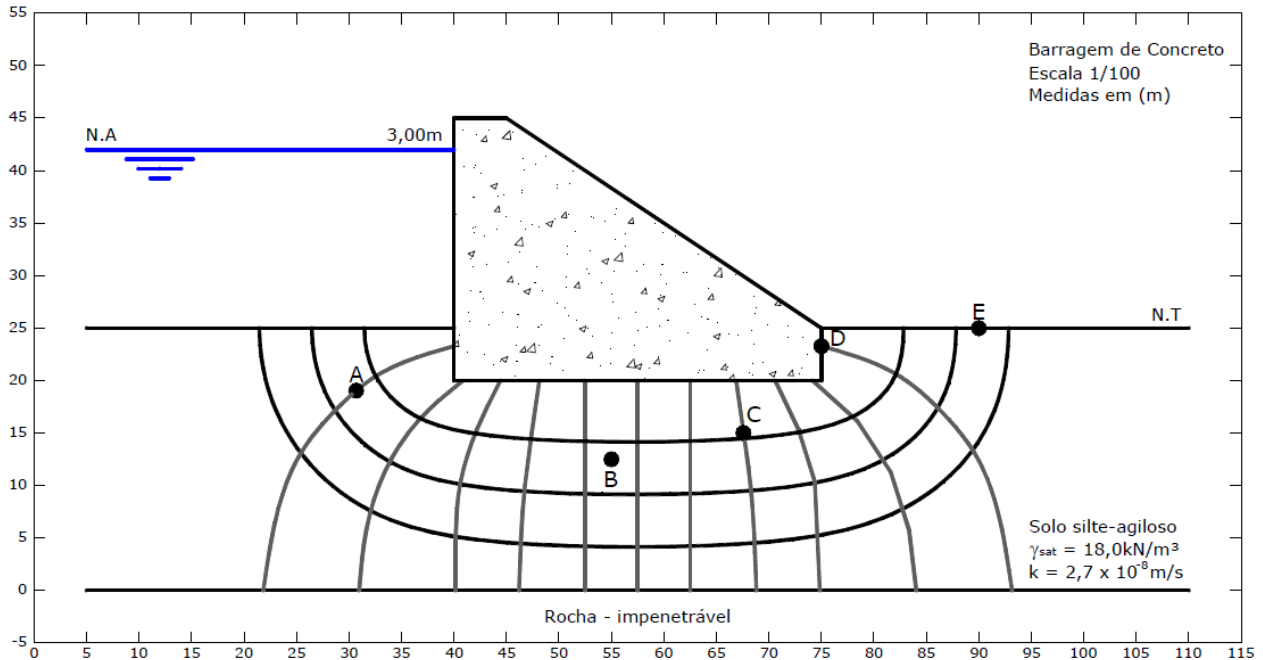
**1.6** Haverá ruptura a jusante? Justifique a resposta.

## LISTA DE EXERCÍCIOS DE FLUXO DE ÁGUA NO SOLO (BARRAGEM)

2. Você foi contratado para a realização de alguns cálculos referentes às fundações de uma barragem de concreto. O contratante solicitou as seguintes informações:

- A poro-pressão nos pontos A, B, C, D e E.
- Apresentar o Diagrama de sub-pressão.
- A vazão que percola pela fundação.
- A possibilidade de ruptura hidráulica a jusante da barragem.

Obs.: (a) Os dados referentes ao solo estão apresentados na Figura. (b) Para localizar os pontos utilize as medidas apresentadas pelas coordenadas x e y. (c) Todas as medidas estão em metros.



### 2.1 Características da rede de fluxo.

- Escolha do ponto de referencia (Datum): = \_\_\_\_\_
- Carga total de entrada – Montante (HT) = \_\_\_\_\_
- Carga total de saída – Jusante (HS) = \_\_\_\_\_
- Carga total dissipada (H) = (HT – HS) = \_\_\_\_\_
- Número de linhas de fluxo (LF) = \_\_\_\_\_
- Número de canais de fluxo (Nc) = (LF-1) = \_\_\_\_\_
- Número de linhas equipotenciais (Neq) = \_\_\_\_\_
- Número de quedas de fluxo (Nq) = (Neq – 1) = \_\_\_\_\_
- Fator de forma de rede (FF) = (Nc/Nq) = \_\_\_\_\_
- Perda de carga entre equipotenciais ( $\Delta h$ ) = (H/Nq) = \_\_\_\_\_

### 2.2 A poro-pressão nos pontos A, B, C, D...

Ponto	He(m)	Nq	$\Delta h$ (m)	$h$ (m)=He-Nq x $\Delta h$	Ha(m)	Hp(m)	$u$ (kN/m <sup>2</sup> )= $\gamma_w$ x Hp
A							
B							
C							
D							
E							

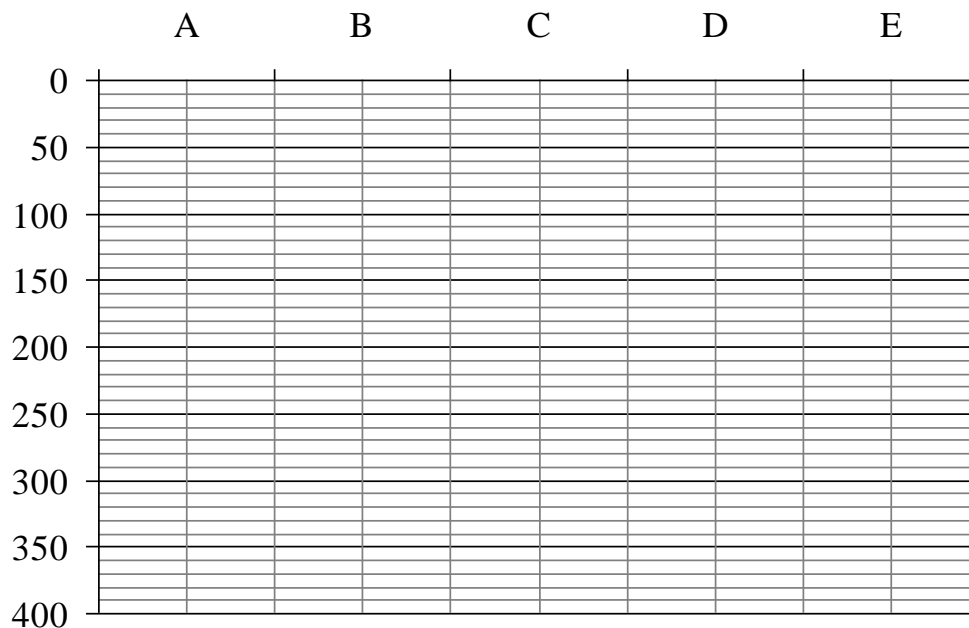
He = Altura do nível de água a partir do Datum.

Ha = Altura do ponto a partir do Datum.

Nq = Número de quedas de fluxo para o ponto.

Hp = Carga total dissipada por ponto (h) menos a altura do ponto a partir do Datum.

**2.3** Apresente o diagrama de sub-pressão.



**2.4** A vazão que percola pela fundação em l/dia/m -  $1 \text{ m}^3 = 1000$  litros.

$$Q = k \times H \times \frac{Nc}{Nq};$$

**2.5** Possibilidade de ruptura hidráulica a jusante.

Gradiente hidráulico de saída:

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

Gradiente hidráulico crítico:

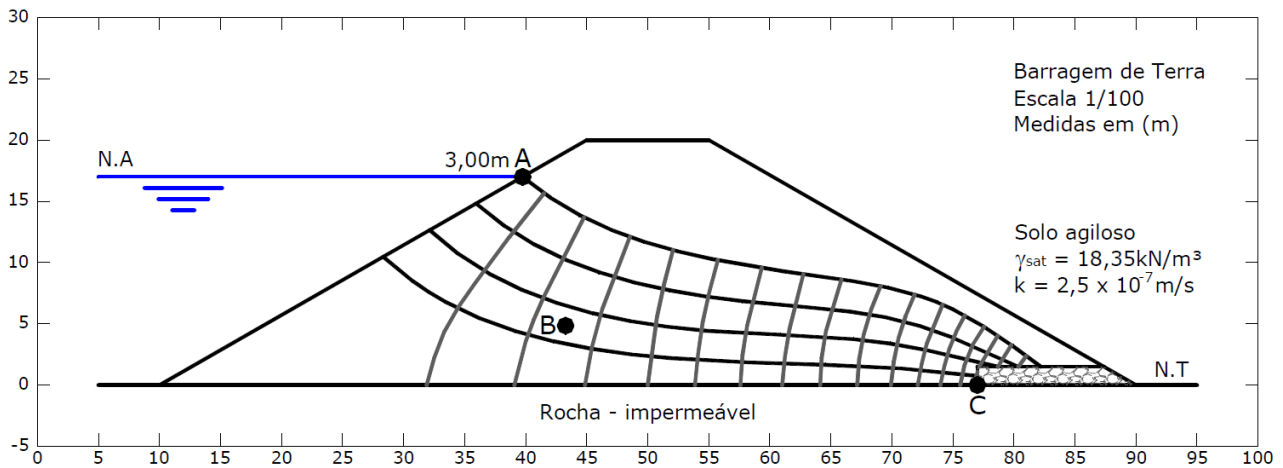
$$i = \frac{\gamma_{sub}}{\gamma_w}$$

**2.6** Haverá ruptura a jusante? Justifique a resposta.

3. Você foi contratado para a realização de alguns cálculos referentes ao corpo de uma barragem de terra compactada. O contratante solicitou as seguintes informações:

- a) A poro-pressão nos pontos A, B e C.
- b) Apresentar o Diagrama de sub-pressão.
- c) A vazão que percola através da barragem (litros/dia/m).

Obs.: (a) Os dados referentes ao solo estão apresentados na Figura. (b) Para localizar os pontos utilize as medidas apresentadas pelas coordenadas x e y. (c) Todas as medidas estão em metros.



### 3.1 Características da rede de fluxo.

- 1° Escolha do ponto de referencia (Datum): = \_\_\_\_\_
- 2° Carga total de entrada – Montante (HT) = \_\_\_\_\_
- 3° Carga total de saída – Jusante (HS) = \_\_\_\_\_
- 4° Carga total dissipada (H) = (HT – HS) = \_\_\_\_\_
- 5° Número de linhas de fluxo (LF) = \_\_\_\_\_
- 6° Número de canais de fluxo (Nc) = (LF-1) = \_\_\_\_\_
- 7° Número de linhas equipotenciais (Neq) = \_\_\_\_\_
- 8° Número de quedas de fluxo (Nq) = (Neq – 1) = \_\_\_\_\_
- 9° Fator de forma de rede (FF) = (Nc/Nq) = \_\_\_\_\_
- 10° Perda de carga entre equipotenciais ( $\Delta h$ ) = (H/Nq) = \_\_\_\_\_

### 3.2 A poro-pressão nos pontos A, B, C, D...

Ponto	He(m)	Nq	$\Delta h$ (m)	$h$ (m)=He-Nq x $\Delta h$	Ha(m)	Hp(m)	$u$ (kN/m²)= $\gamma_w$ x Hp
A							
B							
C							

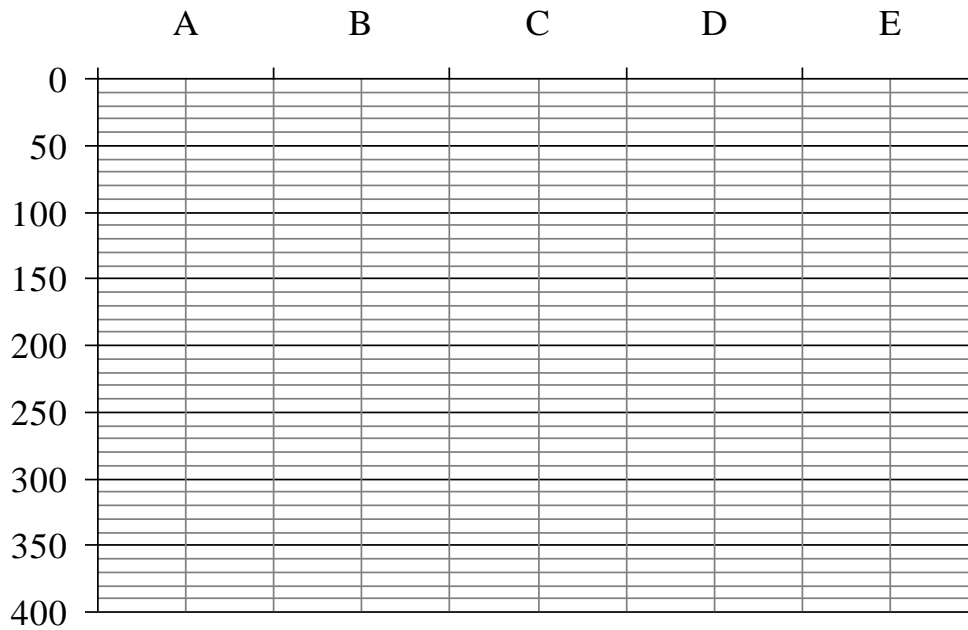
He = Altura do nível de água a partir do Datum.

Ha = Altura do ponto a partir do Datum.

Nq = Número de quedas de fluxo para o ponto.

Hp = Carga total dissipada por ponto (h) menos a altura do ponto a partir do Datum.

**3.3** Apresente o diagrama de sub-pressão.



**3.4** A vazão que percola pela fundação em l/dia/m -  $1 \text{ m}^3 = 1000$  litros.

$$Q = k \times H \times \frac{Nc}{Nq};$$

**3.5** Possibilidade de ruptura hidráulica a jusante.

Gradiente hidráulico de saída:

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

Gradiente hidráulico crítico:

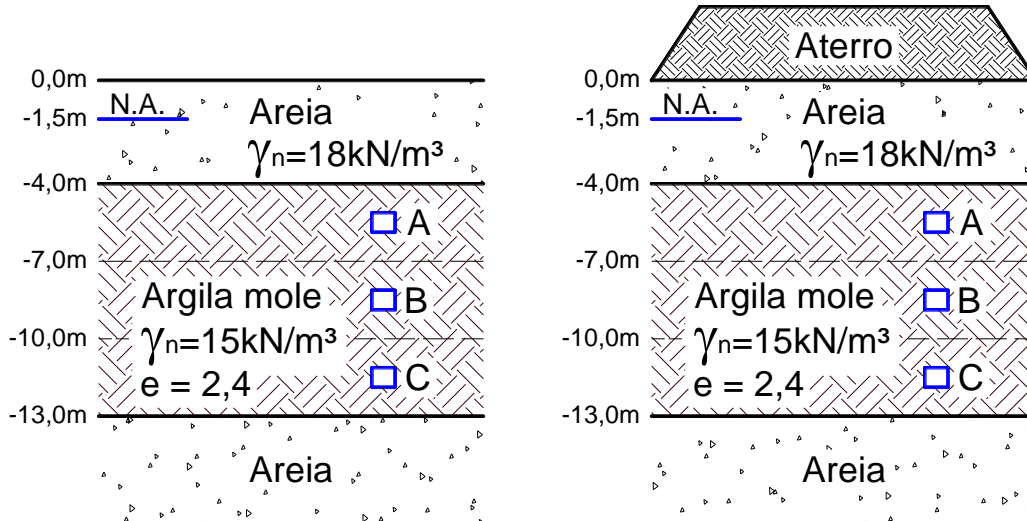
$$i = \frac{\gamma_{sub}}{\gamma_w}$$

**3.6** Haverá ruptura a jusante? Justifique a resposta.



## EXERCÍCIO DE CÁLCULO DE RECALQUE POR ADENSAMENTO

- 1) Considerando o terreno indicado abaixo, sobre o qual será construído um aterro que transmitirá uma pressão uniforme de 40kPa. O terreno foi sobre-adensado pelo efeito de uma camada de um metro da areia superficial, que teria sido retirada. Desta forma, sabe-se que a tensão de pré-adensamento é de 18 kPa superior à tensão efetiva existente em qualquer ponto. O recalque por adensamento ocorre na argila mole, cujo índice de compressão é de 1,8 e cujo índice de recompressão é 0,3.



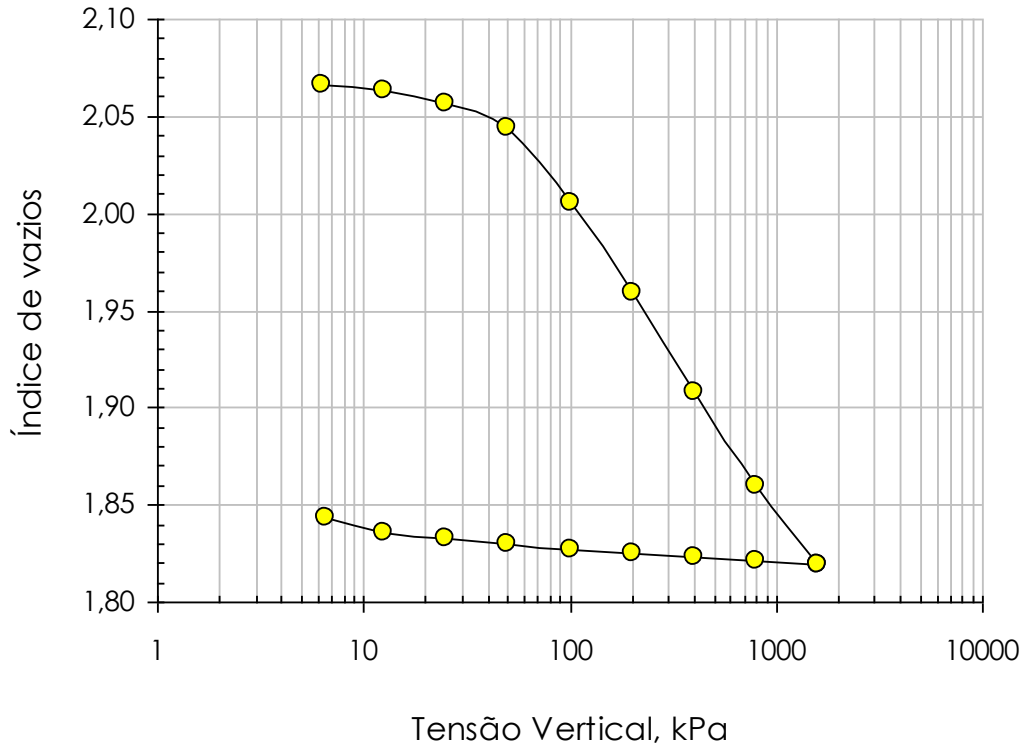
## EXERCÍCIO – DEFORMAÇÕES NO SOLO

- 2) O Engenheiro geotécnico foi contratado para a execução de um aterro de solo argiloso no novo porto de Porto Alegre. Devido ao grande número de obras o Engenheiro pediu aos seus consultores, também geotécnicos, que façam a interpretação dos ensaios obtidos em Laboratório. Foram realizados diversos ensaios, entre eles ensaios de adensamento onde foram obtidos os seguintes resultados.

Carregamento		Descarregamento	
Tensão (kPa)	e	Tensão (kPa)	e
0,00	2,069	1600	1,819
6,25	2,066	800	1,821
12,5	2,063	400	1,823
25	2,057	200	1,824
50	2,044	100	1,827
100	2,006	50	1,830
200	1,959	25	1,832
400	1,908	12,5	1,836
800	1,860	6,25	1,843
1600	1,819	x-x	x-x

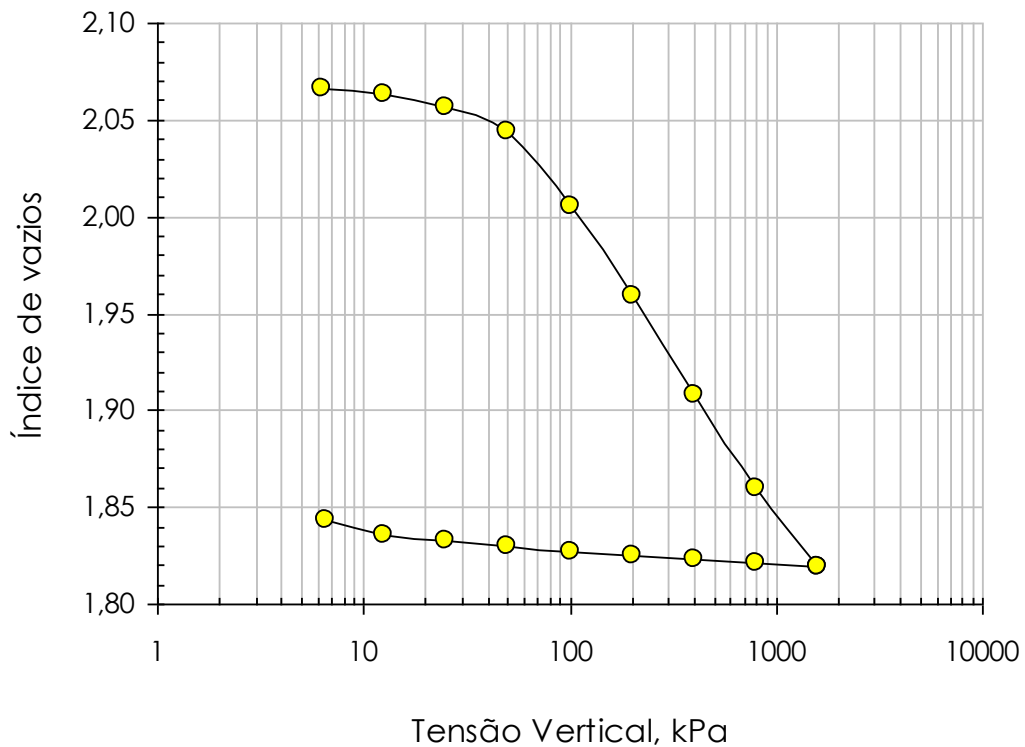
a) A partir dos resultados a equipe construiu o seguinte gráfico. Onde foi possível definir a tensão de pré-adensamento.

Utilizar método Pacheco Silva.



b) O geotécnico optou em analisar por outro método e pediu que os colegas consultores também o fizessem.

Utilizar método de Casagrande:



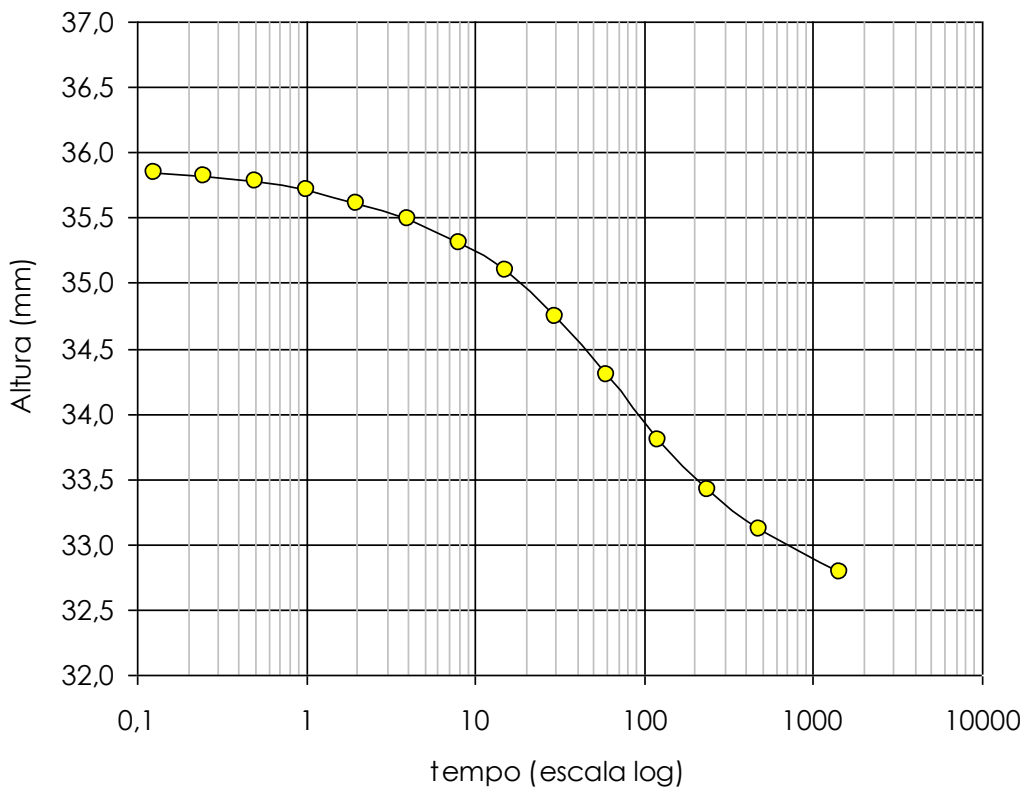
**EXERCÍCIO – COEFICIENTE DE ADENSAMENTO (MÉTODO DE CASAGRANDE)**

1. A partir dos ensaios realizados para a determinação da evolução dos recalques com o tempo, foram encontrados os resultados apresentados na Tabela 1. Para todos os estágios de carregamentos foram feitos os registros da altura do corpo de prova no decorrer do tempo. Os dados apresentados são decorrentes de estágios de 160 a 320 kPa.

Tabela 1: Registro dos tempos e alturas determinados em prensa de adensamento.

Tempo (min)	Altura (mm)
0	35,866
0,125	35,843
0,25	35,821
0,5	35,782
1	35,715
2	35,612
4	35,492
8	35,304
15	35,095
30	34,742
60	34,297
120	33,800
240	33,416
480	33,120
1440	32,786

a) A partir dos resultados construiu-se o seguinte gráfico.



Cv = \_\_\_\_\_

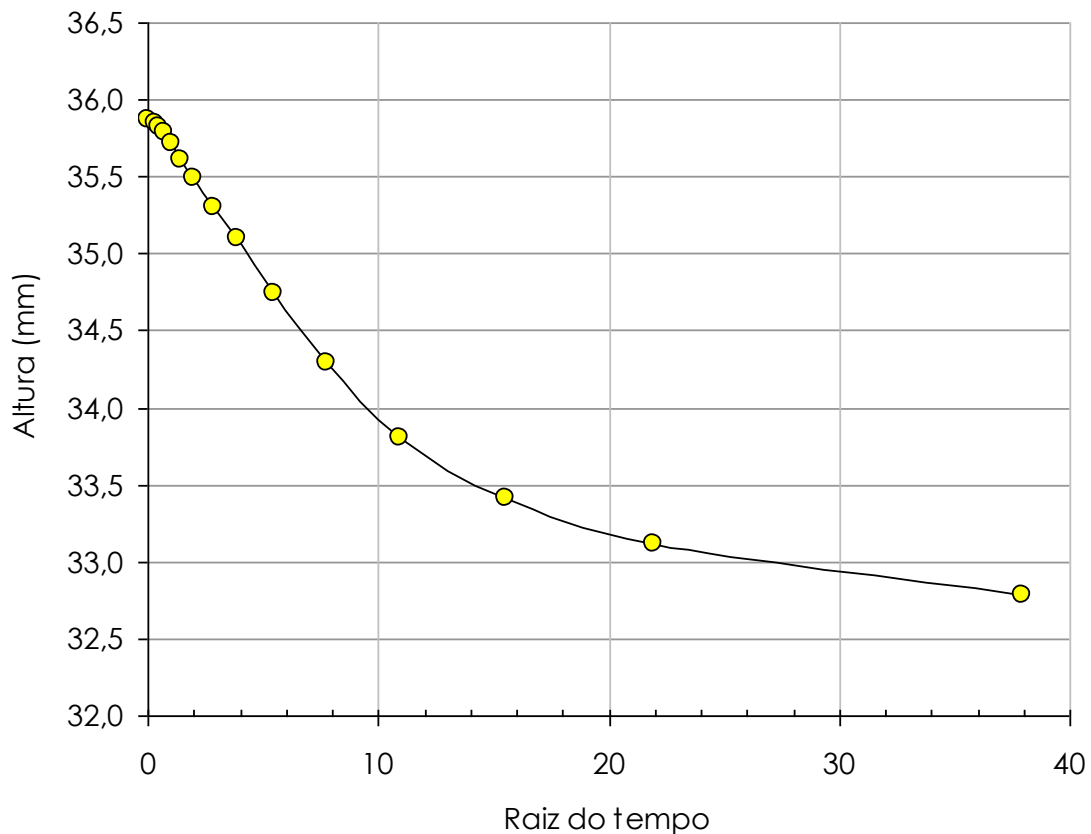
### EXERCÍCIO – COEFICIENTE DE ADENSAMENTO (MÉTODO DE TAYLOR)

1. A partir dos ensaios realizados para a determinação da evolução dos recalques com o tempo, foram encontrados os resultados apresentados na Tabela 1. Para todos os estágios de carregamentos foram feitos os registros da altura do corpo de prova no decorrer do tempo. Os dados apresentados são decorrentes de estágios de 160 a 320 kPa.

Tabela 1: Registro dos tempos e alturas determinados em prensa de adensamento.

Tempo (min)	Altura (mm)
0,00	35,866
0,35	35,843
0,50	35,821
0,71	35,782
1,00	35,715
1,41	35,612
2,00	35,492
2,83	35,304
3,87	35,095
5,48	34,742
7,75	34,297
10,95	33,800
15,49	33,416
21,91	33,120
37,95	32,786

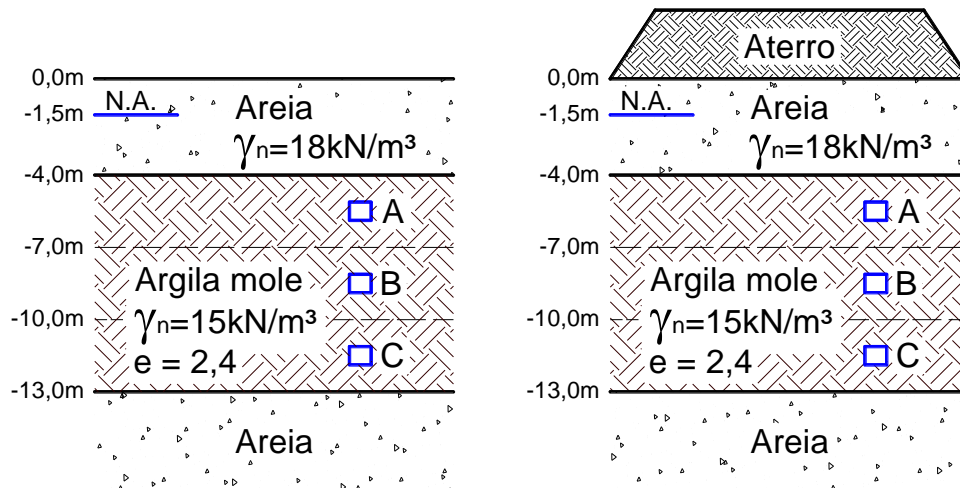
- a) A partir dos resultados construiu-se o seguinte gráfico.



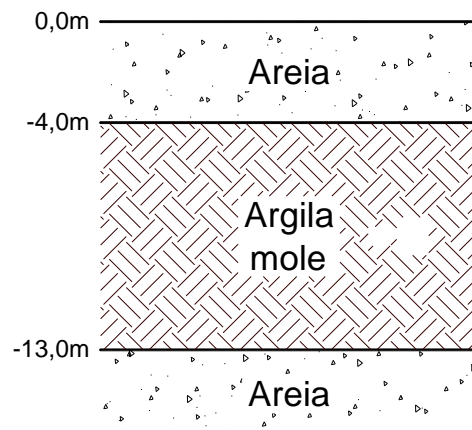
$C_v =$  \_\_\_\_\_

## EXERCÍCIO DE APLICAÇÃO DA TEORIA DO ADENSAMENTO

- 1) Considerando o terreno indicado abaixo, no qual foi calculado o recalque total devido a um carregamento ( $\rho=0,55m$ ). Deverá ser aplicada a teoria do adensamento para determinar como este recalque se desenvolverá através do tempo na camada de argila mole. Considere um coeficiente de permeabilidade para a argila mole de  $10^{-6}m/s$  e ao se aumentar a pressão efetiva de 40kPa um recalque específico de ( $\rho/H = 0,55m/9m = 0,061$ ).



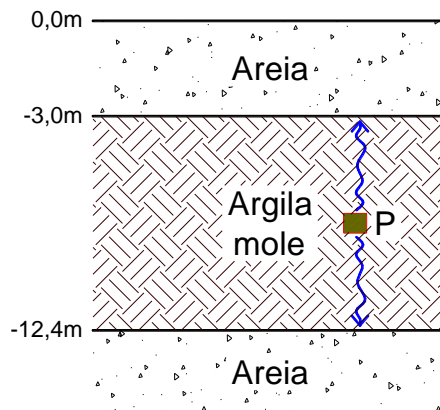
- 2) Considerando o terreno indicado abaixo, no qual foi calculado o recalque total devido a um carregamento ( $\rho=0,55m$ ). Deverão ser respondidas as seguintes perguntas:



**Dados obtidos:** Recalque de 55cm,  $H_d$  de 4,5m,  $k$  de  $10^{-6}cm/s$  e Índice de vazios do solo de 2,4. Carga aplicada ao terreno de 40kPa.

- Qual a variação do índice de vazios?
- Qual o coeficiente de compressibilidade?
- Qual o coeficiente de adensamento?

- 3) Considerando o terreno indicado abaixo, no qual foi calculado o recalque total devido a um carregamento ( $p=0,51m$ ). Deverá ser determinada a evolução do adensamento, respondendo as seguintes perguntas:



Dados obtidos: Coeficiente de adensamento =  $7,32 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{dia}$

- a) Que recalque terá ocorrido em 100 dias?  
 b) Em que tempo ocorrerá um recalque de 21cm?

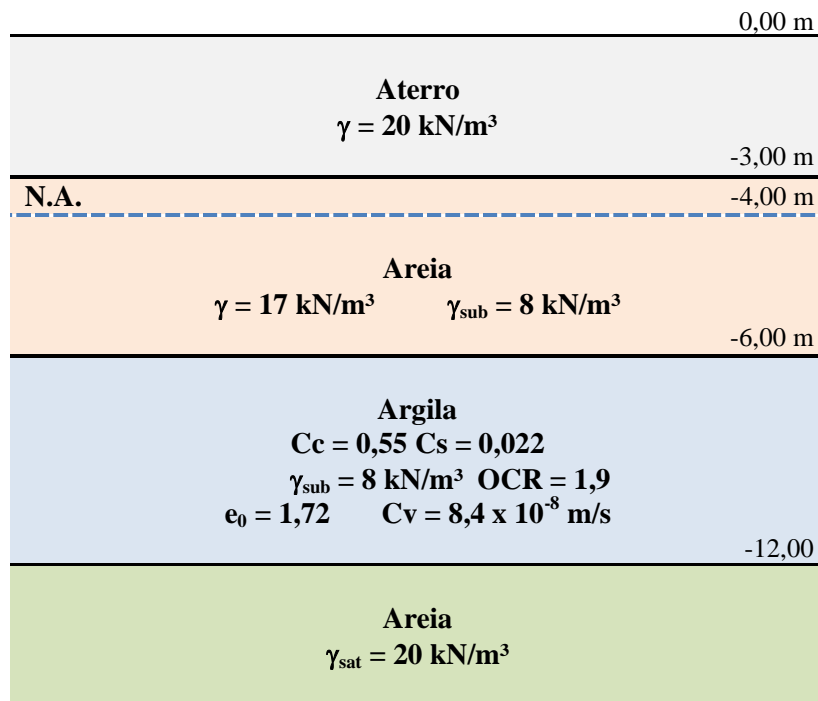
Tabela Auxiliar:

U (%)	T	U (%)	T	U (%)	T	U (%)	T	U (%)	T
1	0,0001	21	0,035	41	0,132	61	0,297	81	0,588
2	0,0003	22	0,038	42	0,139	62	0,307	82	0,610
3	0,0007	23	0,042	43	0,145	63	0,318	83	0,633
4	0,0013	24	0,045	44	0,152	64	0,329	84	0,658
5	0,0020	25	0,049	45	0,159	65	0,340	85	0,684
6	0,0028	26	0,053	46	0,166	66	0,352	86	0,712
7	0,0038	27	0,057	47	0,173	67	0,364	87	0,742
8	0,0050	28	0,062	48	0,181	68	0,377	88	0,774
9	0,0064	29	0,066	49	0,189	69	0,390	89	0,809
10	0,0079	30	0,071	50	0,196	70	0,403	90	<b>0,848</b>
11	0,0095	31	0,075	51	0,204	71	0,417	91	0,891
12	0,0113	32	0,080	52	0,212	72	0,431	92	0,939
13	0,0133	33	0,086	53	0,221	73	0,446	93	0,993
14	0,0154	34	0,091	54	0,229	74	0,461	94	1,055
15	0,0177	35	0,096	55	0,238	75	0,477	95	1,129
16	0,0201	36	0,102	56	0,246	76	0,493	96	1,219
17	0,0227	37	0,108	57	0,255	77	0,511	97	1,336
18	0,0254	38	0,113	58	0,264	78	0,529	98	1,500
19	0,0284	39	0,119	59	0,273	79	0,547	99	1,781
20	0,0314	40	0,126	60	0,283	80	0,567	100	$\infty$

Fator tempo em função da porcentagem de Recalque para o adensamento pela Teoria de Terzaghi.

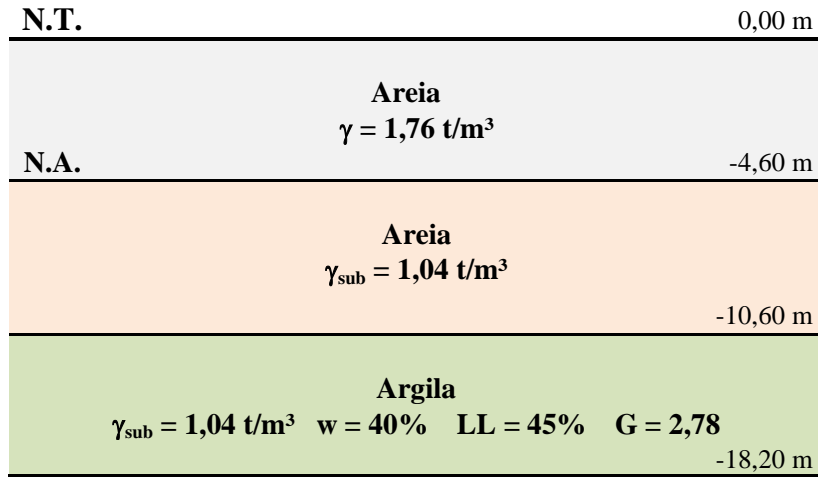
## EXERCÍCIOS - APLICAÇÃO DA TEORIA DO ADENSAMENTO - RECALQUES

- 1) Sobre o terreno foi lançado um aterro de 3,00 m de espessura no dia 30/10/2014. Pede-se:
  - a) Determinar em que data, aproximadamente, poderá ser construída um reservatório de combustível, sendo que as regras internas da petroquímica, ordenam que o recalque máximo admissível seja de 50mm.
  - b) Quanto tempo levará para ocorrer 90% do adensamento na camada de argila?
  - c) Qual o acréscimo de tensão efetiva no centro da camada de argila 1 (um) ano após a construção do aterro?

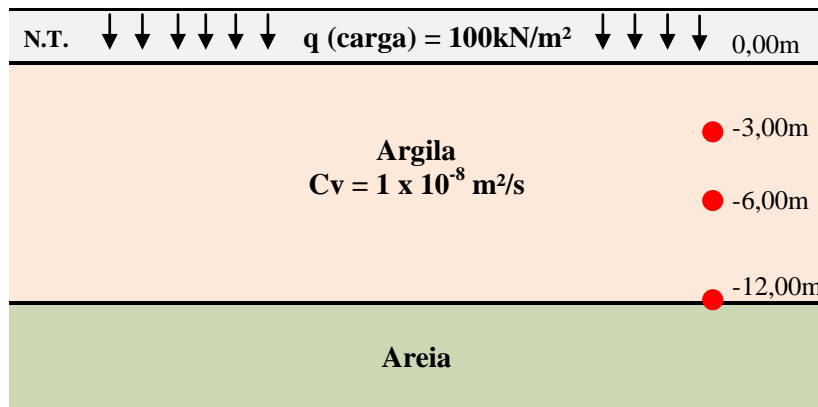


- 2) Uma camada compressível tem 6,00 m de espessura e seu índice de vazios inicial é de 1,037. Ensaios de laboratório indicam que o índice de vazios final, sob o peso de um edifício projetado, será de 0,981. Qual será o provável recalque total desse edifício?
- 3) Se o coeficiente de compressibilidade é de  $0,1071 \text{ cm}^2/\text{kg}$ , o coeficiente de consolidação  $12,960 \text{ cm}^2/\text{ano}$  e o índice de vazios médio é de 0,680, calcule o coeficiente de permeabilidade em  $\text{cm}/\text{seg}$ .
- 4) Uma camada de argila, com 3,00 metros de espessura, de argila normalmente carregada tem um índice de vazios de 1,4 e um índice de compressão de 0,6. Se a pressão vertical existente sobre a argila é duplicada, qual será a variação de espessura da camada de argila?
- 5) Em um ensaio de adensamento uma amostra com 4,00 centímetros de altura exigiu 24 horas para atingir um determinado grau de adensamento. Pede-se calcular o tempo (em dias) para que uma camada, com 8,00 metros de espessura, e do mesmo material atinja, sob as mesmas condições de carregamento, o mesmo grau de adensamento.
- 6) Estimar o valor do índice de compressão de uma argila normalmente adensada, sabendo-se que o seu limite de liquidez é de 25,70%.

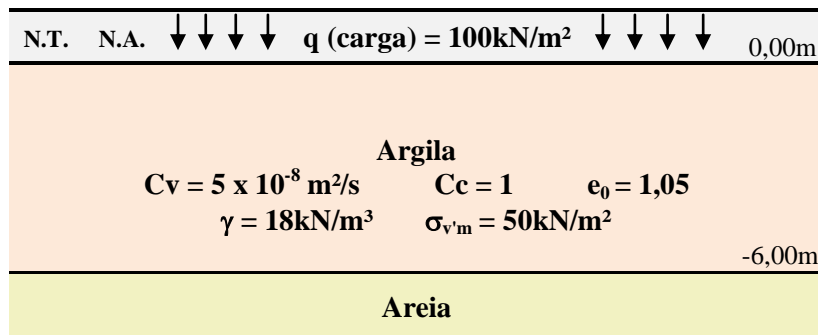
- 7) Um terreno é constituído por uma camada de areia fina de 10,60 metros de espessura, sobrejante a uma camada de argila mole com 7,60 metros. O N.A. está a 4,60 metros abaixo do N.T. O peso específico submerso é de 1,04 t/m<sup>3</sup> e o da areia acima do N.A., é de 1,76 t/m<sup>3</sup>. A argila é normalmente adensada, seu teor de umidade natural é de 40%, o seu limite de liquidez é de 45% e a densidade de suas partículas é de 2,78. A construção projetada aumentará a pressão, atuante na argila, de 1,20 kg/cm<sup>2</sup>. Pede-se o recalque médio da camada de argila.



- 8) Um depósito de argila do Cais do Porto de Rio Grande-RS tem drenagem através de uma camada de areia abaixo e é livre acima, sua espessura é de 12,00 metros. O Coeficiente de adensamento obtido em laboratório é  $1,0 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ . Obtenha o grau de adensamento e a poro pressão residual, 5 anos após o carregamento de 100kN, nos pontos  $Z = 3,00\text{m}$ ;  $6,00\text{m}$ ;  $12,00\text{m}$ .



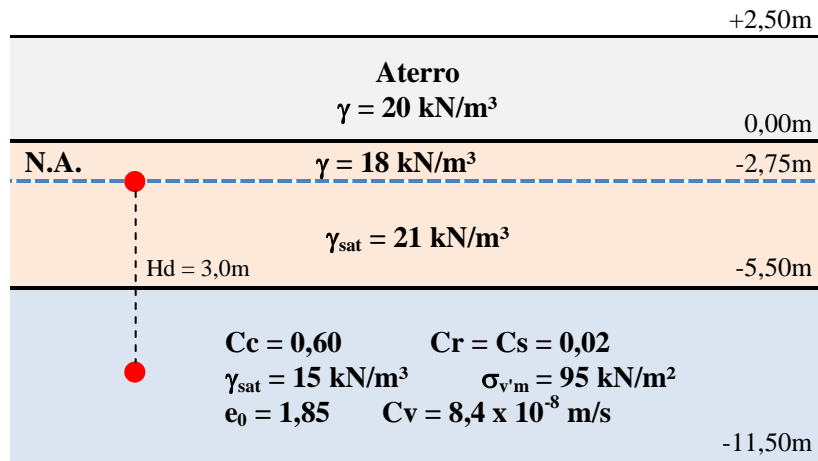
- 9) Calcule o recalque total da camada argilosa devido os acréscimo de tensão "q". Qual o recalque após 2 (dois) anos de acréscimo de tensão "q".





10) Sobre o perfil da figura abaixo foi lançado um aterro rodoviário de 2,50 metros de espessura e peso específico de  $20 \text{ kN/m}^3$ .

- Estimar o recalque total da camada compressível;
- Na superfície do aterro será executado um piso industrial que admite um máximo de recalque de 5,00 cm. Qual o tempo mínimo de espera para não haver problemas na construção.



- Uma estrutura apoiada sobre um perfil de argila mole de 13,00 metros de espessura (abaixo da argila mole existe rocha) recalcou 9,00 centímetros, após 2 (dois) anos. O recalque total estimado para a estrutura foi de 22,00 centímetros. Calcule quantos meses levaria para recalcar 70% se fosse colocada uma estrutura com o dobro de carga. Apresente um croqui do perfil do terreno.
- O recalque total de um edifício construído sobre uma camada de argila rija com 18,00 metros de espessura foi de 5,26 centímetros. Sabendo-se que a pressão média, na camada de argila, aumentou de  $0,7 \text{ kg/cm}^2$ , pede-se determinar o seu coeficiente de decréscimo de volume.
- A altura de uma amostra é  $h_0 = 2,00 \text{ cm}$  e seu índice de vazios  $e_i = 1,18$ . Submetida a um ensaio de adensamento, a altura se reduz para 1,28 cm. Qual o índice de vazios final?
- O recalque total de um edifício, devido ao adensamento de uma camada de argila, drenada pelas duas faces, é estimado em 10,00cm. Admite-se que a carga seja aplicada instantaneamente, pede-se calcular os tempos (em dias) necessários para que sejam atingidos recalques de 1,00, 5,00 e 8,00 cm, sendo dado:
  - Espessura total da camada de argila = 6,00 metros.
  - Coeficiente de adensamento =  $2,5 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{seg}$ .
- O recalque total previsto, devido ao adensamento de uma camada argilosa saturada é de 15,00 centímetros. Três meses após a aplicação da carga, ocorreu um recalque de 5,00 cm. Quantos meses serão necessários para atingir o recalque de 8,00 cm?

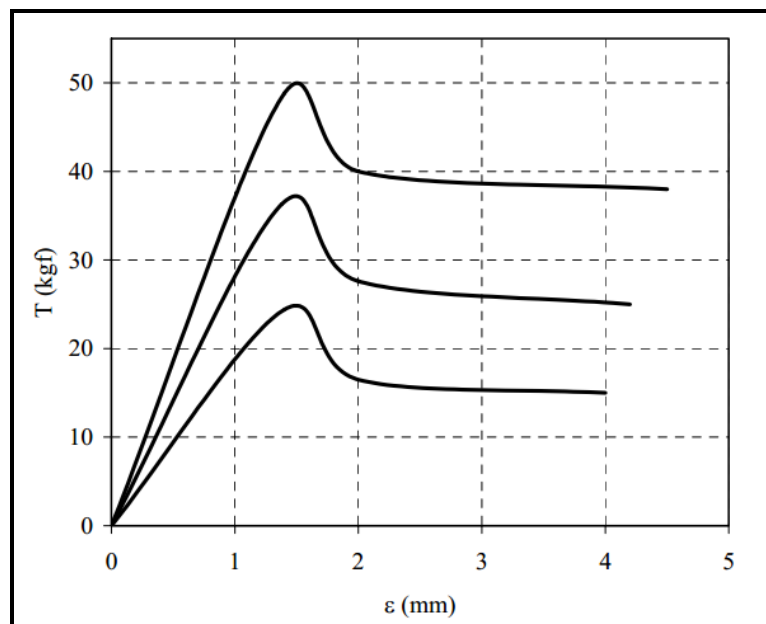
### EXERCÍCIO DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO

- 1) Uma amostra de areia, submetida a um ensaio de cisalhamento direto a uma pressão normal de  $1,0 \text{ kg/cm}^2$ , rompeu quando a tensão de cisalhamento atingiu  $0,60 \text{ kg/cm}^2$ . Qual o valor do ângulo de atrito interno? Para que tensão de cisalhamento romperia a amostra se a tensão normal fosse  $2,5 \text{ kg/cm}^2$ .
- 2) Uma amostra de areia seca foi submetida a um ensaio de compressão triaxial. O ângulo de atrito interno determinou-se ser aproximadamente  $37^\circ$ . Se a tensão principal menor é de  $2,00 \text{ kg/cm}^2$ , para que valor da tensão principal maior ocorrerá a ruptura da amostra?
- 3) Determine o ângulo de atrito interno de uma amostra de areia que rompe em um ensaio de compressão triaxial, quando  $\sigma_1 = 3\sigma_3$ .
- 4) Foram realizados três ensaios triaxiais de uma areia, tendo sido obtidos os seguintes resultados:

Pressão Lateral de confinamento ( $\sigma_3$ )	Pressão Vertical de ruptura ( $\sigma_1$ )
$0,2 \text{ kg/cm}^2$	$0,2 \text{ kg/cm}^2$
$0,2 \text{ kg/cm}^2$	$0,2 \text{ kg/cm}^2$
$0,2 \text{ kg/cm}^2$	$0,2 \text{ kg/cm}^2$

- a) Determine pelo diagrama de mohr, o valor do ângulo de atrito  $\phi$  e as tensões de cisalhamento  $\tau$  nos planos de ruptura.
  - b) Desenhe o diagrama de mohr.
- 5) Ensaio de cisalhamento direto em amostras de areia com  $15 \text{ cm}^2$  de área, forneceram curvas ( $T$  x  $\epsilon$ ) abaixo indicadas. Calcular o ângulo de atrito interno dessa areia, sabendo-se que:

$N1 = 30 \text{ kgf}$ ,  $N2 = 45 \text{ kgf}$  e  $N3 = 60 \text{ kgf}$ .



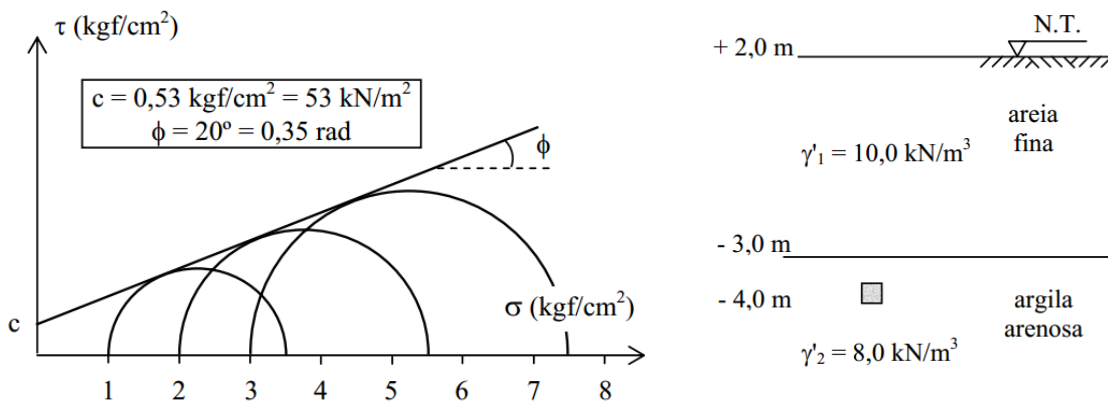
- 6) Os seguintes resultados foram obtidos no instante da ruptura em uma série de ensaios triaxiais (consolidado e não drenado CU) em uma argila saturada.

$\sigma_c$ (kPa)	75	150	225
$\sigma_d$ (kPa)	50	105	155
u (kPa)	40	85	125

- a) Determine os parâmetros de resistência em termos de tensões efetivas ( $c'$  e  $f$ ).  
 b) Como seria classificada a argila?
- 7) Calcular a resistência ao cisalhamento da amostra indicada no perfil abaixo, sabendo que num ensaio triaxial foram obtidos os seguintes valores para:

$\sigma_3$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	1,0	2,0	3,0
$\sigma_1$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	3,5	5,5	7,5

- a) Com os pares de valores acima, determina-se a envoltória de cisalhamento dessa areia argilosa.



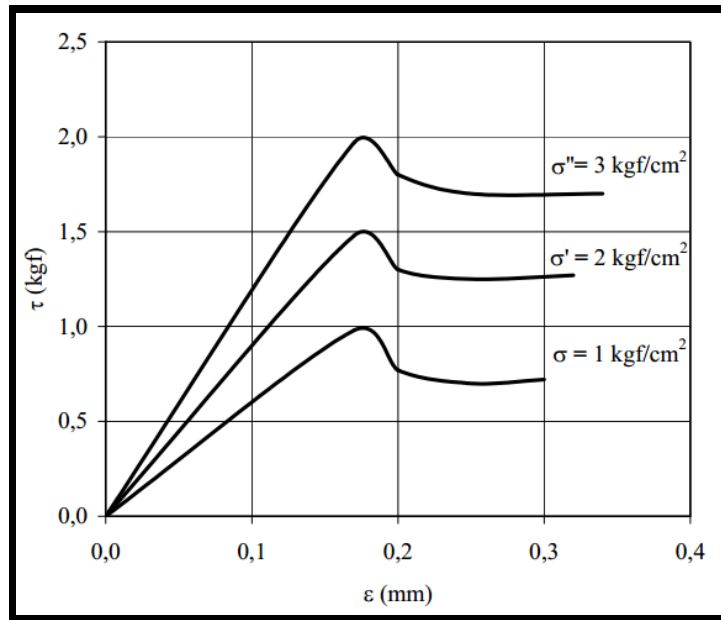
- 8) Calcular as envoltórias de resistência ao cisalhamento de um material terroso que, ensaiado em equipamento triaxial, forneceu os pares de valores indicados.

$\sigma_1$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	3,0	4,9	9,2
$\sigma_3$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	0,5	2,0	5,0
$\sigma'_1$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	4,0	4,9	7,2
$\sigma'_3$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	1,5	2,0	3,0

- 9) Quais os valores das resistências ao cisalhamento ( $\tau$  e  $\tau'$ ) de amostras rompidas em ensaios triaxiais (CD) e (CU) que forneceram os valores abaixo indicados, sabendo que, no terreno, as amostras estão submetidas a uma pressão total de 20kN/m<sup>2</sup> e a uma pressão neutra de 8kN/m<sup>2</sup>?

Ensaio CU				Ensaio CD			
$\sigma'_1$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	2,3	4,0	6,9	$\sigma_1$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	2,9	4,9	6,9
$\sigma'_3$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	0,5	1,0	2,0	$\sigma_3$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	0,5	1,5	2,5

- 10) Um solo residual de granito, rompido em cisalhamento direto, apresentou as curvas a seguir. Calcular  $c$  e  $\phi$ .



- 11) Uma amostra de areia foi submetida a um ensaio de cisalhamento direto, com os seguintes resultados:

CP 1		CP 2		CP 3	
$\sigma = 1,0 \text{ kgf/cm}^2$		$\sigma' = 2,0 \text{ kgf/cm}^2$		$\sigma'' = 3,0 \text{ kgf/cm}^2$	
$\tau$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\Delta L$ (mm)	$\tau'$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\Delta L$ (mm)	$\tau''$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\Delta L$ (mm)
0,27	0,40	0,55	0,40	1,25	0,30
0,55	0,85	1,10	0,75	2,00	0,55
0,86	1,50	1,55	1,30	2,47	1,00
0,64	3,45	1,06	6,10	1,80	5,20
0,55	9,20	1,00	10,70	1,54	11,20
0,50	18,00	0,95	21,00	1,50	19,00

- a) determinar para cada ensaio o valor  $\tau_{\text{máx.}}$  e  $\tau_{\text{residual}}$ .

- 12) Correlações para determinação de  $\phi'$ . valor de  $\phi'$  para argilas normalmente adensadas pode ser estimado através de correlações empíricas. O valor de  $\phi'$  é correlacionado com propriedades mais fáceis de serem obtidas, como os limites de Atterberg. A tabela abaixo apresenta os dados empregados por Kenney (1959) e por outros autores.

Equação (*)	Referência
$\text{sen } \phi' = 0,82 - 0,24 \log IP$	Kenney (1959)
$\text{sen } \phi' = 0,656 - 0,409 \frac{IP}{LL}$	Mayne (1980)

(\*) IP = índice de plasticidade; LL = limite de liquidez

- b) Prever o valor de  $\phi'$  para a argila mole do Rio de Janeiro, cujos valores de IP e LL são, respectivamente, 80 e 150%.

## **LISTA DE EXERCÍCIOS (PROVA 1)**

1. Defina Geotecnia e Mecânica dos Solos.
2. Situe, dentro da sua óptica, a Mecânica dos Solos no contexto da Engenharia e Geologia.
3. Defina solo sob a ótica da engenharia e geologia..
4. Defina solo residual e solo transportado.
5. Resuma os principais fatores que interferem no processo de formação dos solos.
6. Quais os dois tipos básicos de estruturas de um sistema solo água?
7. Quais as principais características do argilomineral Caolinita?
8. Descreva a fase sólida de um solo quanto aos aspectos relacionados com o tamanho, a forma, a composição química e mineralógica das partículas.
9. Descreva o ensaio SPT e indique quais as informações que podem ser obtidas.
10. Descreva a sondagem piezocone e onde esse tipo de sondagem fornece maiores informações dos solos que a sondagem SPT
11. O que é granulometria dos solos, como se classificam os solos de acordo com a sua granulometria?
12. Como pode ser obtida a curva granulométrica?
13. Em que se baseia a determinação da granulometria dos solos finos?
14. Quais são os principais métodos de identificação tátil visual dos solos e quais os procedimentos para sua identificação?
15. O que se entende por plasticidade de um solo? Em que tipos de solos ela ocorre?
16. Quais são os índices de consistência (Limites de Atterberg) e qual o emprego dos índices de consistência? Através de um desenho ilustre os estados e os limites ou caracteriza cada um deles.
17. Qual o parâmetro que indica a atividade da fração argilosa em um determinado solo? Como se determina este parâmetro?
18. Todos os índices físicos podem ser determinados a partir do conhecimento de quatro propriedades de uma amostra de solo, em laboratório. Quais são estas propriedades e como podem ser obtidas?
19. Qual o objetivo da classificação do solo?
20. Porque é muito discutida a validade dos sistemas de classificação do solo?
21. Quais as características dos solos Orgânicos?
22. Quais as características dos solos Lateríticos?
23. Qual a importância e utilização da compactação para as obras de engenharia?
24. Defina os parâmetros básicos da compactação. Como estes parâmetros são obtidos em laboratório? Se necessário desenhe.
25. Quais são os três métodos alternativos de compactação? Explique cada um deles.
26. A compactação de campo consiste em quais operações? Explique cada uma delas.
27. Qual a influência da energia de compactação nos parâmetros de compactação de um solo?
28. Qual a influência do tipo de solo nos parâmetros de compactação de um solo?
29. O controle da compactação no campo é uma etapa de extrema importância em obras geotécnicas. Em que parâmetros se baseia este controle?
30. Quais as principais diferenças entre os solos finos e os solos granulares quanto à compactação?

## LISTA DE EXERCÍCIOS (PROVA 2)

1. O estudo da percolação da água nos solos é muito importante porque ela intervém num grande número de problemas práticos, que podem ser agrupados em três tipos. Quais são os três tipos e seus detalhes?
2. Cite quatro procedimentos que podem ser empregados para a determinação do coeficiente de permeabilidade.
3. Quais são os fatores que exercem influência na permeabilidade do solo? Explique cada um deles.
4. O que são recalques e qual a sua importância em obras de engenharia?
5. Qual a ordem de grandeza do coeficiente de permeabilidade das areias, siltes e argilas?
6. Defina força de percolação em um solo. Deduza a sua expressão matemática.
7. O que é areia movediça? E erosão progressiva (piping)? Que medidas preventivas poderiam ser tomadas para prevenir estes fenômenos?
8. O que é areia movediça? Cite ou ilustre dois exemplos de estados de areia movediça criados em obras.
9. O que é gradiente hidráulico crítico?
10. Os recalques são causados por deformações de dois tipos. Quais tipos e em quais solos cada um deles acontece?
11. O que é adensamento do solo?
12. Descreva a analogia de Terzaghi com relação ao adensamento.
13. Qual a definição de grau de adensamento?
14. Defina tensão de pré-adensamento de um solo. Qual a principal informação que ela fornece a respeito de um solo?
15. Quais os ensaios utilizados para a determinação da deformabilidade dos solos?
16. Como se pode obter o coeficiente de adensamento de um solo a partir do ensaio edométrico? Explique detalhadamente os métodos de Taylor e Casagrande.
17. Que tipo de recurso o geotécnico pode utilizar para reduzir ou acelerar os recalques futuros?
18. Quais as duas dificuldades para a aplicação da teoria da elasticidade para a determinação dos recalques?
19. O que é razão de sobre-adensamento e como podem ser classificados?
20. Cite duas condições de campo que influenciam o adensamento? Explique cada uma delas.
21. Através de quais métodos pode-se obter o coeficiente de adensamento a partir de ensaios?
22. Qual a influência do amolgamento no ensaio de adensamento?
23. O que é o adensamento secundário?
24. Explique, do ponto de vista físico, como se dá a mobilização da resistência ao cisalhamento em um solo. Considere separadamente as parcelas de atrito e coesão.
25. O que se entende por coesão aparente? Cite exemplos da sua ocorrência.
26. Defina ruptura de um solo. Como ela pode ser determinada?
27. Descreva resumidamente o ensaio de compressão triaxial.
28. Quais os principais tipos de ensaios triaxiais?
29. Qual a definição de resistência ao cisalhamento do solo?
30. Quanto à mobilização do atrito entre as partículas de solo, diga em que aspectos os solos grossos se distinguem dos solos finos.