

Exploração do Subsolo



Fernando A. M. Marinho
Revisões
Luiz G. de Mello
Maurício Abramento
Waldemar Hachich

O que vem antes da concepção de um programa de investigação de subsolo?

Modelo Geológico da Área

Definição do problema

Envolve solos, rochas
Tipos de ruptura
Deformações
Estabilidade
Água
Erosão
Sucção
Etc....

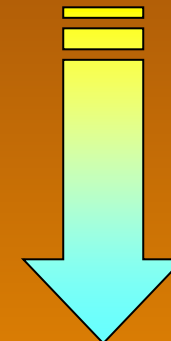
Como analisar o problema ?

Métodos de cálculo
Parametros representativos

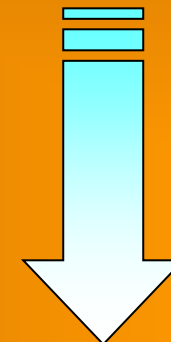
Quais os parametros necessários ?

Ensaio de campo
Ensaio de laboratório

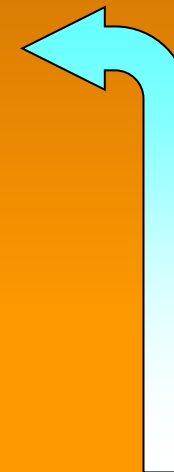
Problema



Solução



Investigação

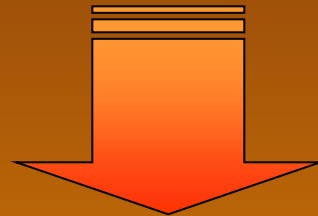


Porque devemos investigar o subsolo ?

- Entendermos a formação do solos do local em estudo (formação dos solos e, eventualmente, rochas e todos os materiais oriundos de sua decomposição, incluindo colúvios e talus no caso de proximidade de encostas)
- Prevermos comportamentos possíveis a luz dos carregamentos / solicitações antevistas nos distintos cenários de operação da obra no futuro, assim como das etapas construtivas relevantes
- Definirmos os parâmetros necessários para desenvolvermos os cálculos associados ao detalhamento do projeto, incluindo cenários extremos
- Desenvolvermos o projeto executivo dos aspectos geotécnicos e de interação solo-estrutura da obra
- Quantificarmos os serviços antevistos e detalhados no projeto, levando à proposição do custo e o cronograma da obra
- Avaliar os riscos associados à(s) solução(ões) proposta(s) no projeto

Investigação

CAUSAS



- **Geomorfologia**
- **Estratigrafia**
- **Nível de água e sua variação sazonal; Perfil de sucção e sua variação sazonal**
- **Caracterização geotécnica / geomecânica dos materiais**
 - **Resistência ao cisalhamento dos materiais envolvidos**
 - **Parâmetros de deformabilidade dos materiais envolvidos**
 - **Parâmetros hidráulicos dos materiais envolvidos**

Você já pensou sobre o subsolo sobre o qual você vive ?

- Ele possui desde mais de 4.600 milhões a poucas dezenas de milhares de anos – em alguns casos, como em aterros hidráulicos e rejeitos de mineração, os solos estão sendo formados agora !!



- Ele esteve submetido a inúmeros diastrofismos (movimentos da crosta terrestre produzidos por processos tectônicos, incluindo a formação de bacias oceânicas, continentes, platôs e cadeias de montanhas).
- O subsolo foi intemperizado, erodido, transportado e sedimentado
-esta cadeia de ações pode ter-se repetido inúmeras vezes

Após ter sido submetido a ação das forças da natureza temos como resultado o subsolo de hoje. Conhecendo o subsolo de forma adequada teremos condições de tomar decisões mais seguras antes de construirmos qualquer obra nele, reduzindo os riscos inerentes.

SISTEMÁTICAS DE INVESTIGAÇÃO

Ensaio de Laboratório

Vantagens

- Condições de contorno bem definidas
- Condições de drenagem totalmente controladas
- Trajetórias de tensão bem definidas, impostas ou observadas (limitado)
- Deformação e velocidade de drenagem controlados.
- O solo e as características físicas identificadas.

Desvantagens

- Em solos argilosos existe perturbação da amostra.
- Em solos granulares geralmente não é possível uma amostragem não deformada.
- O volume ensaiado é geralmente pequeno em relação as características da obra .

Ensaio de Campo

Vantagens

- Podem ser executados em muitos solos que não podem ser amostrados.
- Ensaio é realizado no ambiente natural.
- Um volume maior de solo é ensaiado em comparação com o laboratório
- Em alguns ensaios uma monitoração contínua do solo é possível.

Desvantagens

- Condições de contorno geralmente mal definidas.
- Condições de drenagem geralmente mal definidas. Medições de poro-pressões ajudam.
- Não uniformidade de tensões e deformações.
- Velocidades de deformação geralmente são maiores do que no laboratório.
- As características do solo ensaiado com frequência não são totalmente identificadas.
- Os modos de deformação e ruptura são geralmente diferentes daqueles das estruturas de engenharia.
- Grau de perturbação geralmente desconhecido

IMPORTANTE

Em qualquer tipo de investigação de campo o engenheiro geotécnico não deve perder a oportunidade de:

- Identificar tátil visualmente o solo obtido nos furos realizados – validade de associar ao ensaio SPT
- Registrar todas as mudanças observadas no perfil de solo
- Registrar o nível de água local
- Recolher amostras para determinação do teor de umidade

Outros aspectos importantes são:

- Obtenção de amostras indeformadas para eventuais ensaios complementares de laboratório
- Obtenção de amostras para identificação de eventual contaminação do solo, no caso de aplicação da geotecnia ambiental.


VALIDADE DE SE ASSOCIAR VARIOS ENSAIOS PRÓXIMOS CONCEITO DE ILHAS DE INVESTIGAÇÃO

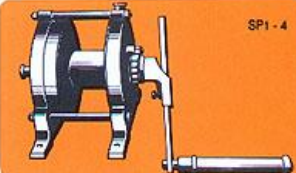
Cuidado com a sequência de execução e a distância entre ensaios para não perturbar o subsolo para o ensaio posterior

Ideal é começar com o CPTU e a Amostragem, e depois fazer SPT e Vane

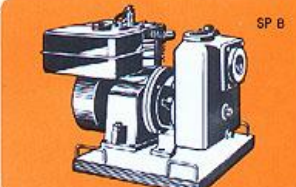
Sondagem a Percussão

Sondagem a Percussão






SP1-4




SP8


EQUIPAMENTO P/ SONDAGEM DE PERCUSSÃO




SP3



SP10




SP16



SP18






SP4



SP6



SP11



SP15



SP19



SP13



SP14



SP7



SP2



SP5



SP12



SP9



SP8



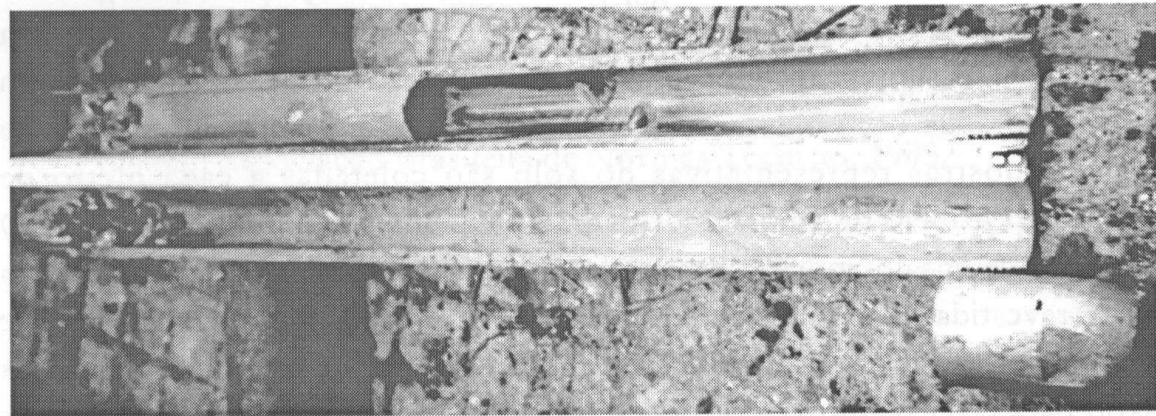
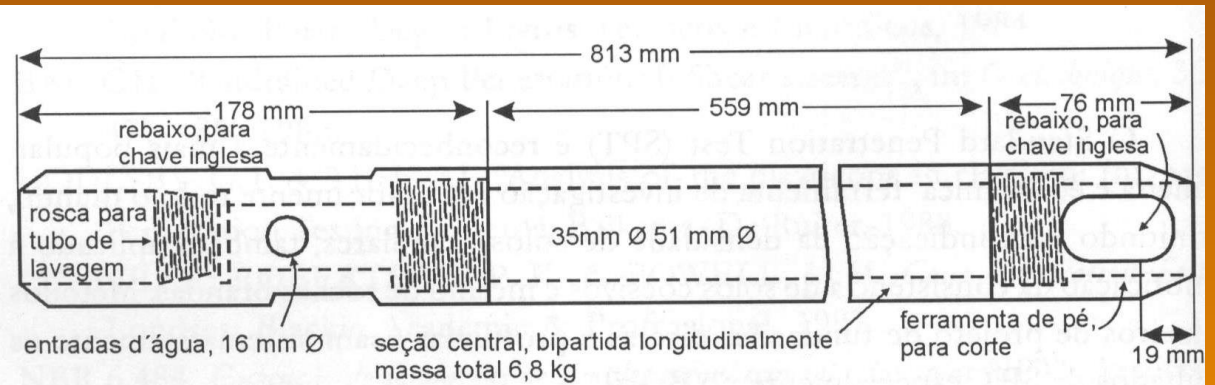
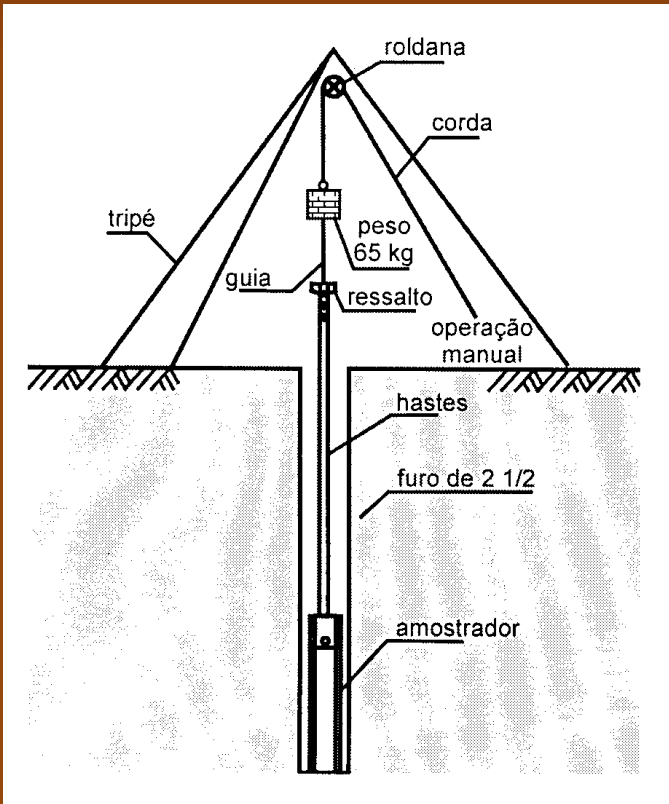
SP17

EQUIPAMENTO DA SONDA PERCUSSÃO

SP1	Tripé	SP6	Sapata Cortante	SP14	Lâmina de percussão
SP1 6	Torre motorizada	SP7	Balde interno	SP15	Tê de lavagem
SP1 4	Sarilho	SP8	Bomba de areia	SP16	Trado Concha
SP8	Bomba	SP9	Amostrador	SP17	Trado helicoidal
SP2	Haste Guia	SP10	Cruzeta de lavagem	SP18	Braçadeira
SP3	Peso batente	SP11	Girador	SP19	Macho Pescador
SP4	Cabeça batente	SP12	Haste		
SP5	Revestimento	SP13	Lâmina de lavagem		

Trados manuais



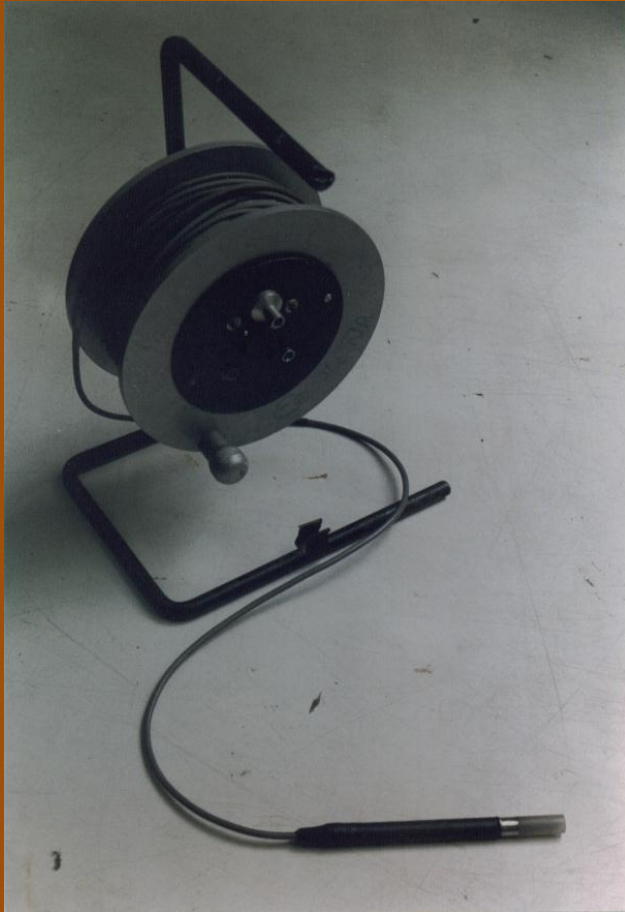


Amostrador Padrão Raymond

SPT – Vantagens

- Simplicidade
- Baixo custo
- Obtenção de valor numérico para correlações
- **Padronizado NBR-6484/80**

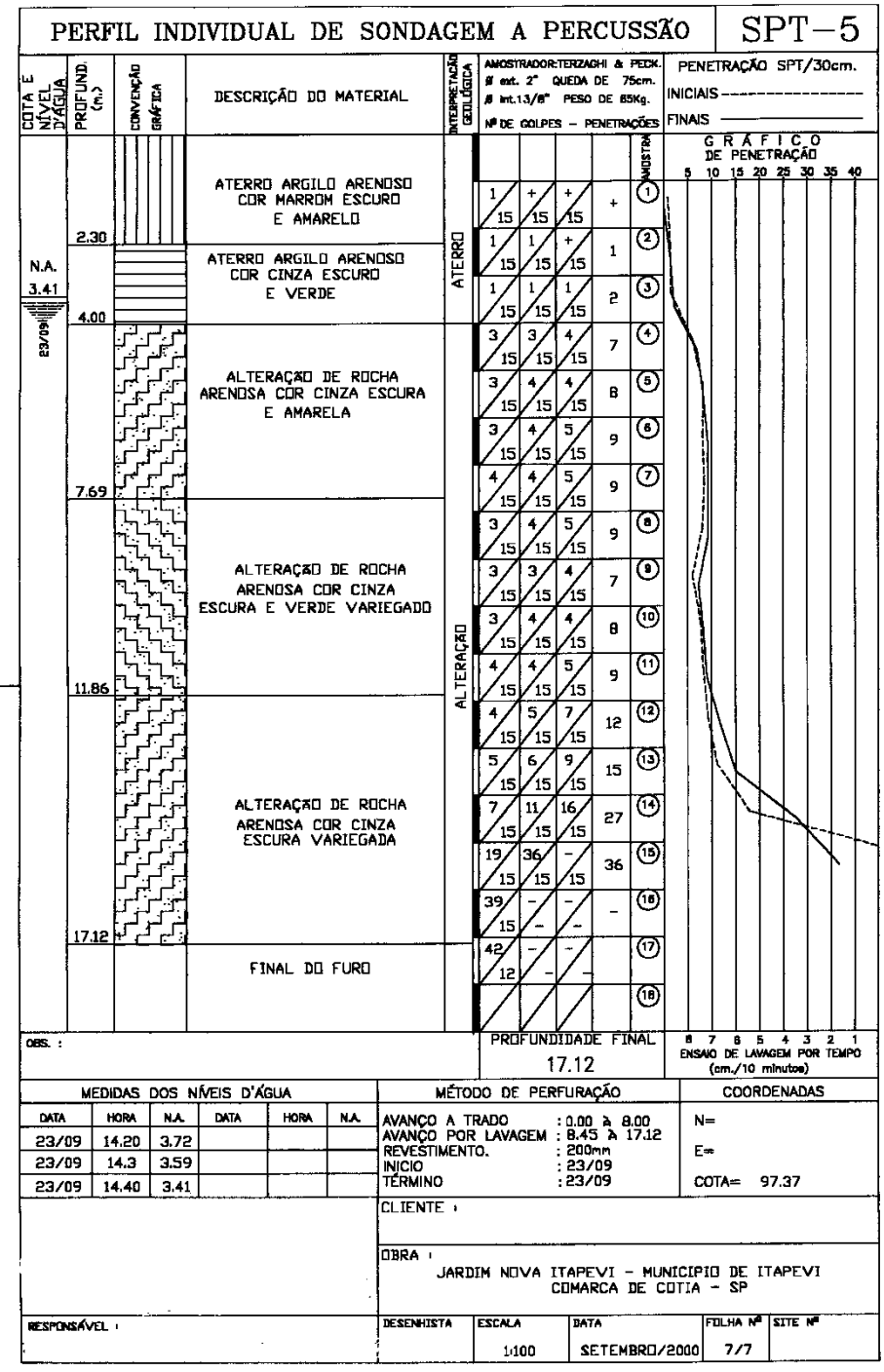
Indicador do nível d'água (INA)



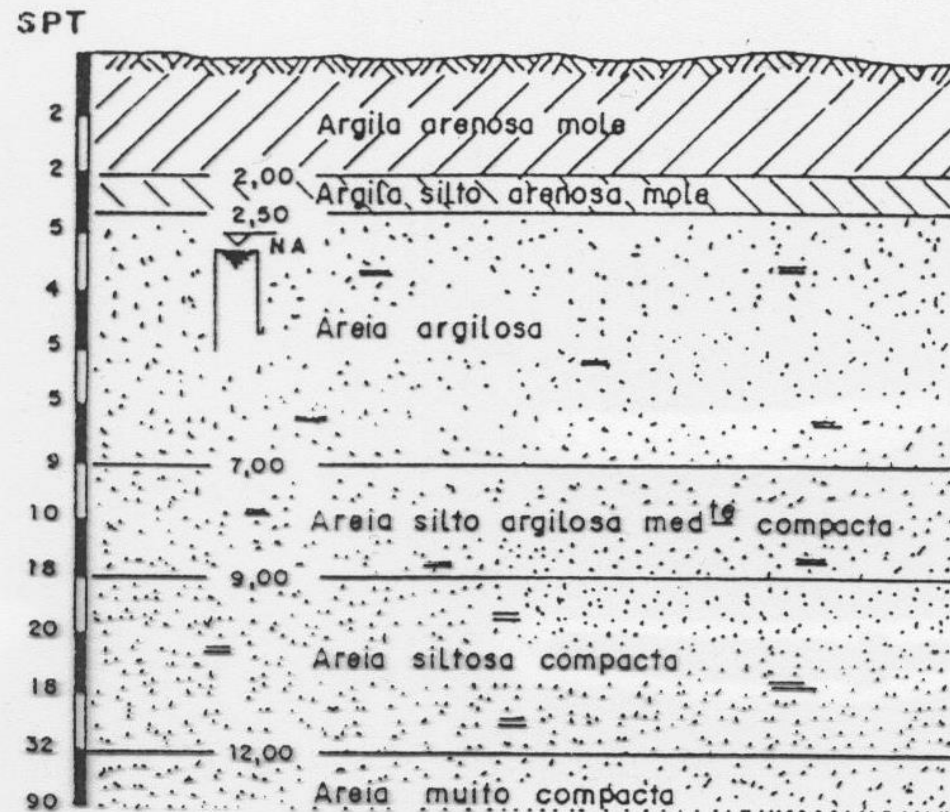
Lâminas e amostradores



Resultado típico de sondagem de simples reconhecimento com SPT (NBR-6484/80)

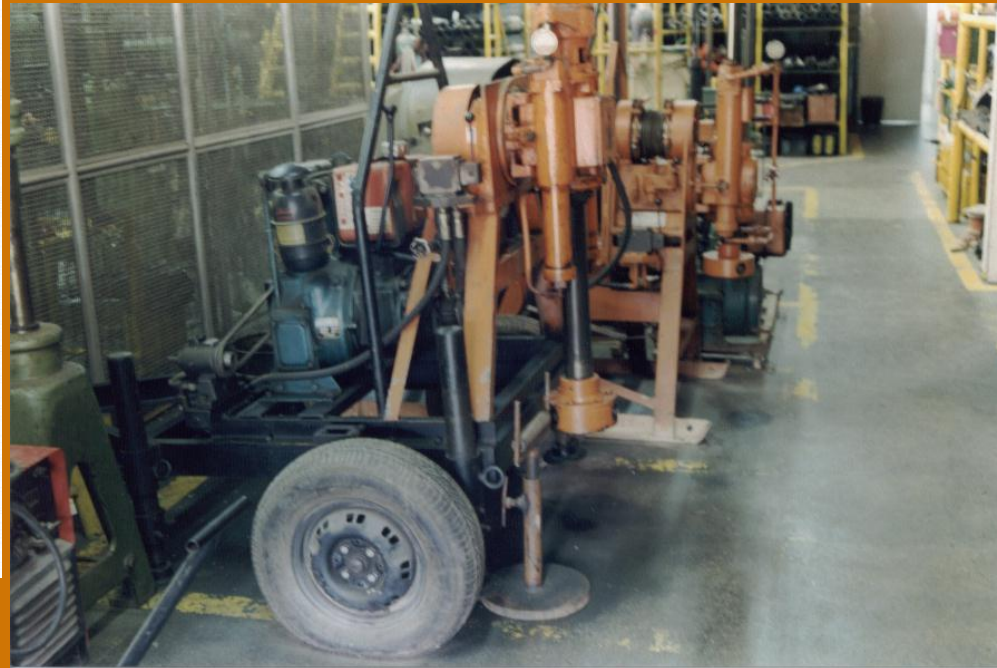


Sondagem de simples reconhecimento com SPT



Resultado de uma sondagem de simples reconhecimento

Sondagem rotativa



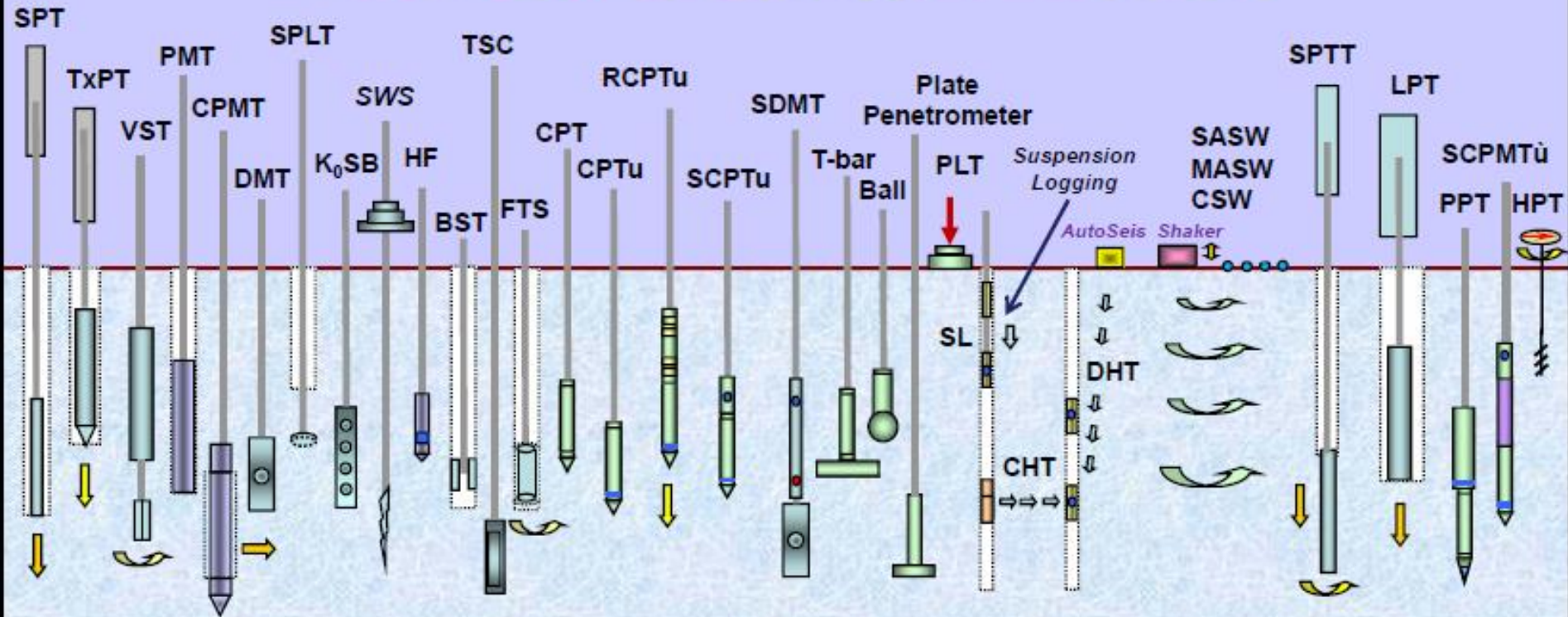
Testemunhos



Abertura de Poços de Investigação e coleta de amostras “indeformadas”



In-Situ Testing Methods

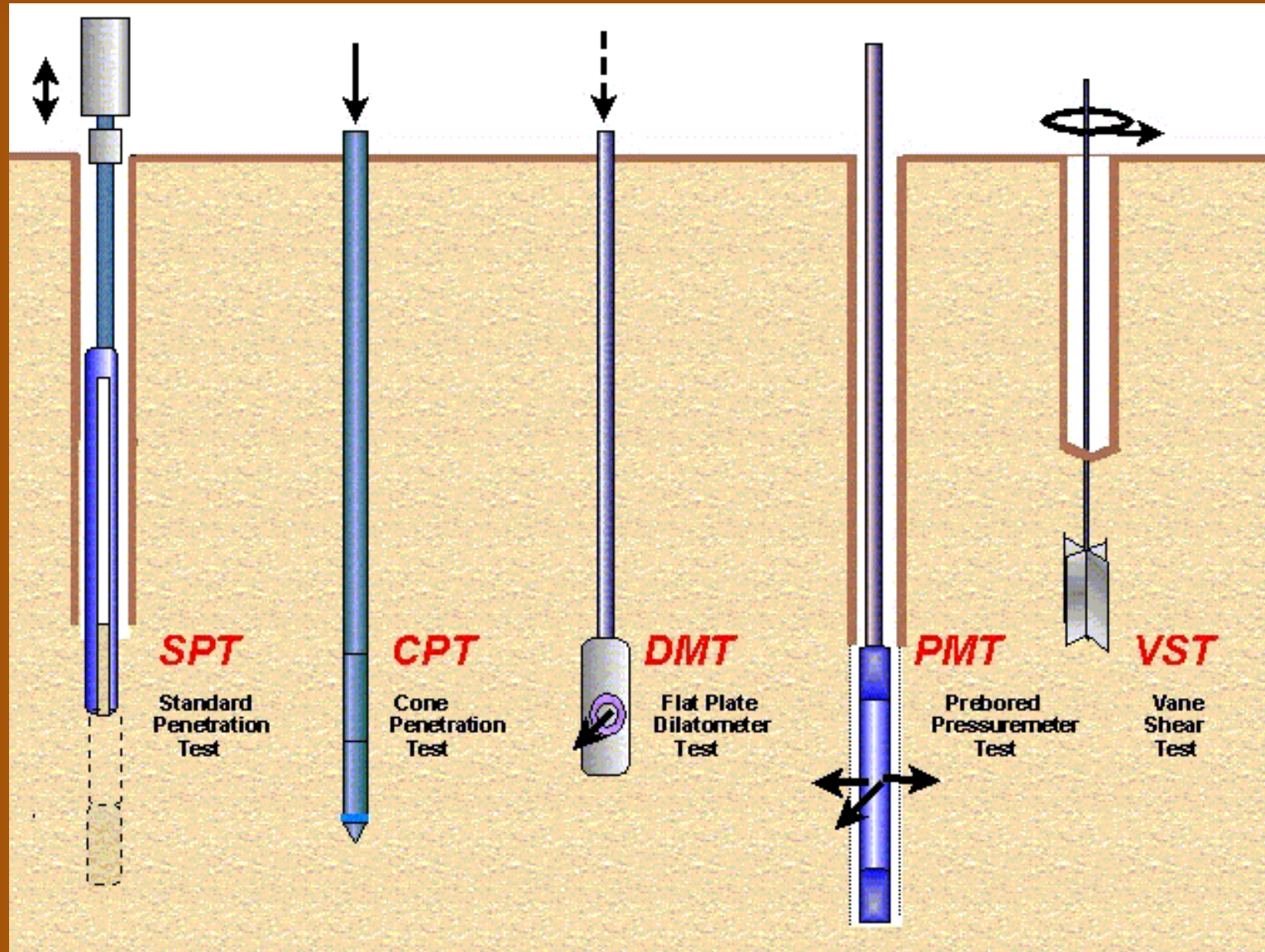


Standard Penetration Test
 Texas Penetration Test
 Vane Shear Test
 Pressuremeter Test
 Cone Pressuremeter
 Dilatometer Test
 Screw Plate Test
 K_0 Stepped Blade
 Swedish Weight Sounding
 Hydraulic Fracture
 Borehole Shear Test

Total Stress Cell
 Freestand Torsional Shear
 Cone Penetration Test
 Piezocone Penetration
 Resistivity Piezocone
 Seismic Cone
 Seismic Flat Dilatometer
 T-Bar Penetrometer
 Ball Penetrometer
 Plate Penetrometer
 Plate Load Test

Suspension Logger
 Crosshole Geophysical Test
 Downhole Test
 Spectral Analysis of Surface Waves
 Modal Analysis (Rayleigh Waves)
 Continuous Surface Waves
 Standard Penetration Test with Torque
 Large Penetration Test
 PiezoProbe Test
 Seismic Piezocone Pressuremeter
 Helix Probe Test

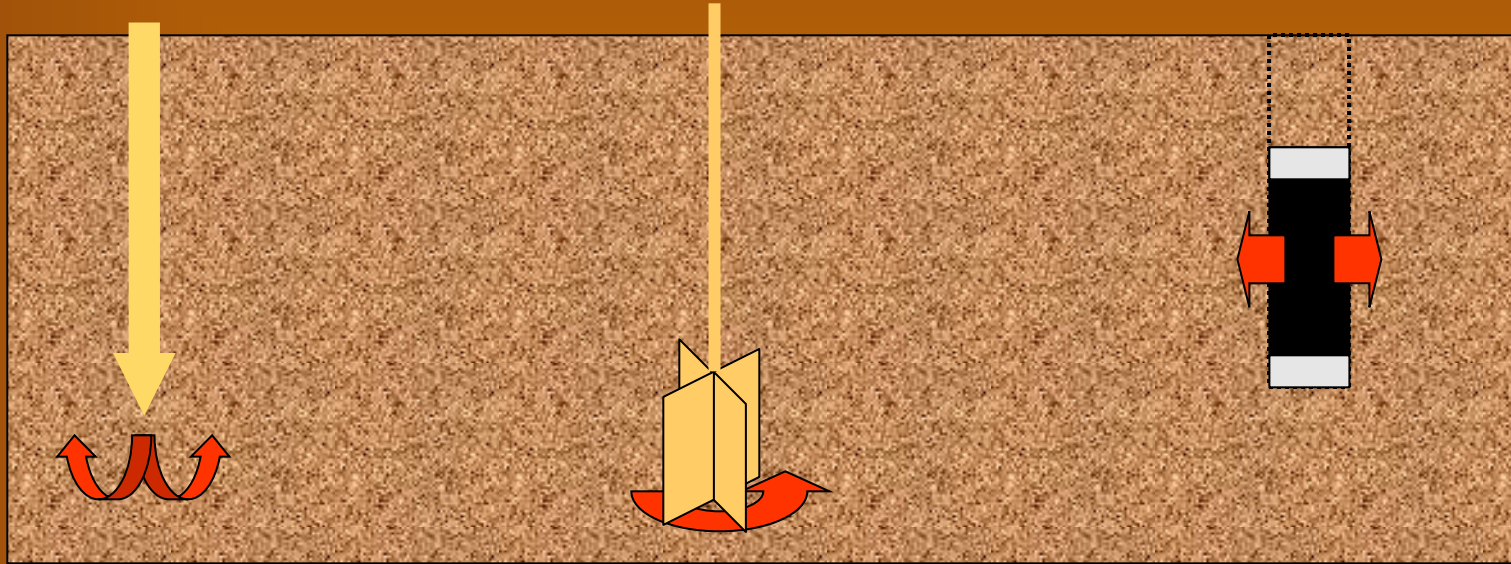
ENSAIOS MAIS USUAIS



Ensaio in Situ a Serem Estudados em Aula

Cisalhamento

Expansão de Cavidade



Cone e Piezocone

Vane Test(Palheta)

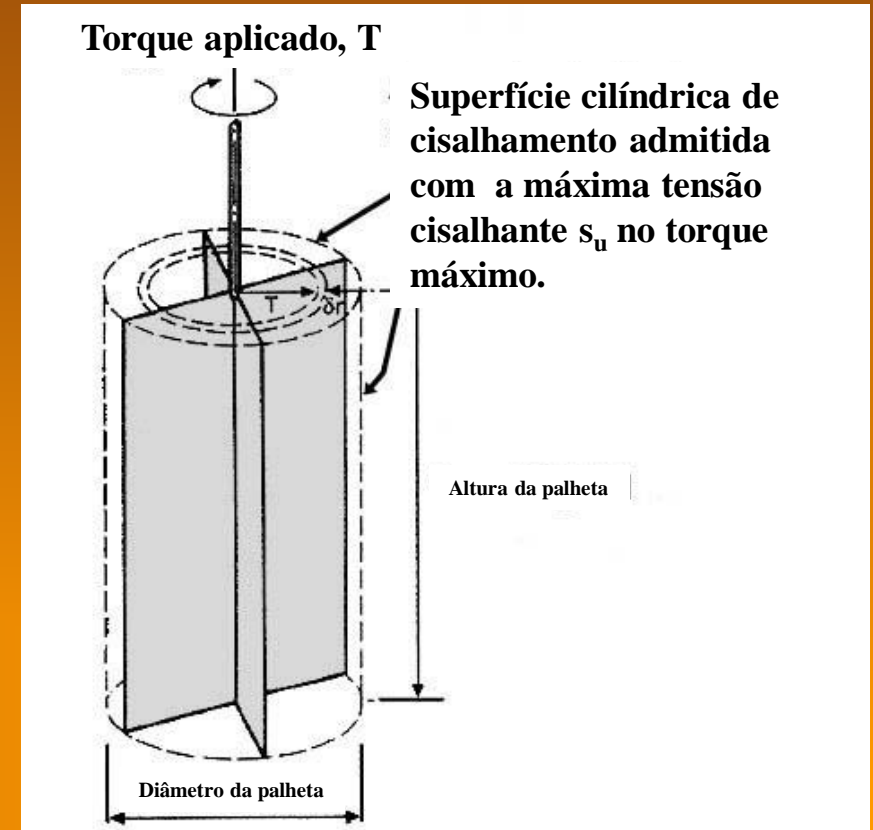
Pressiômetro
Dilatômetro

Ensaio de Palheta ou “Vane Test”

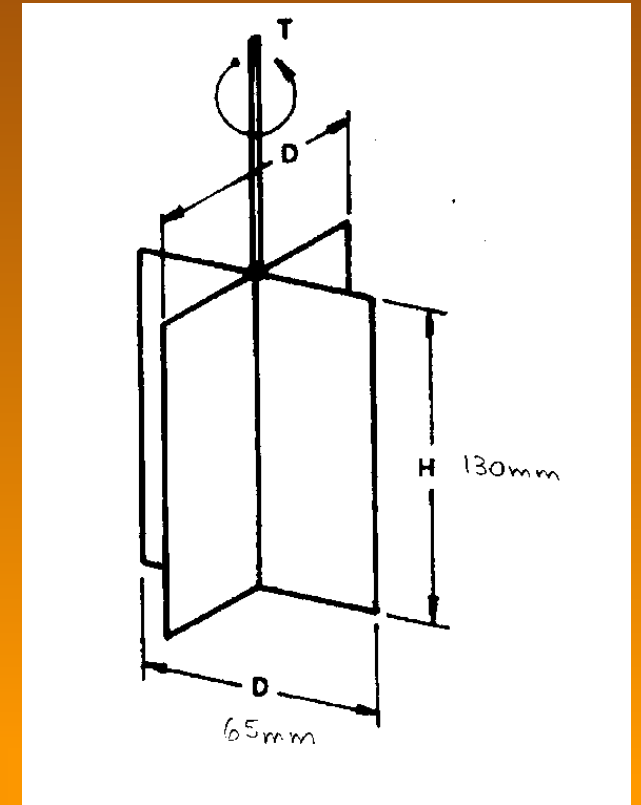
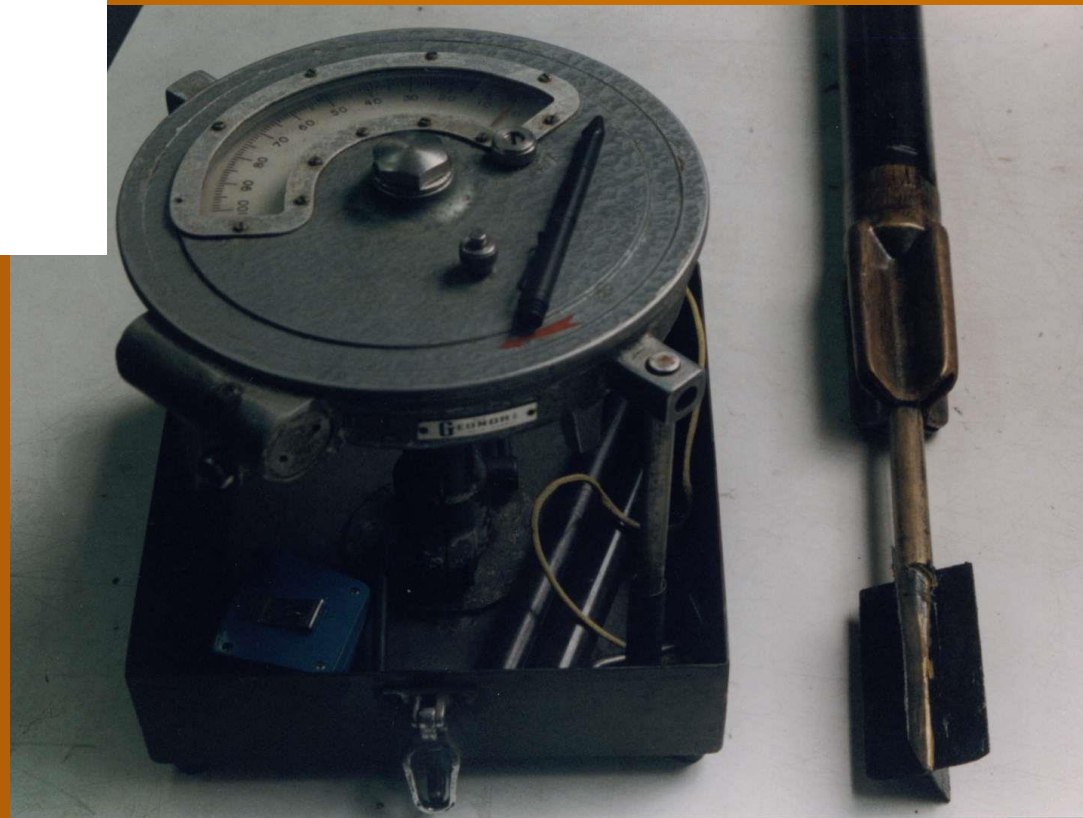
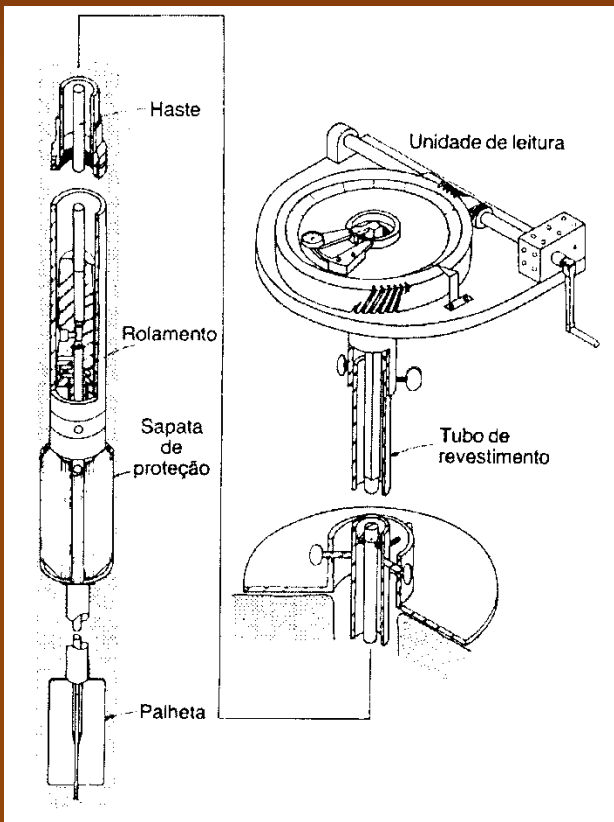


Ensaio de Palheta ou “Vane Test”

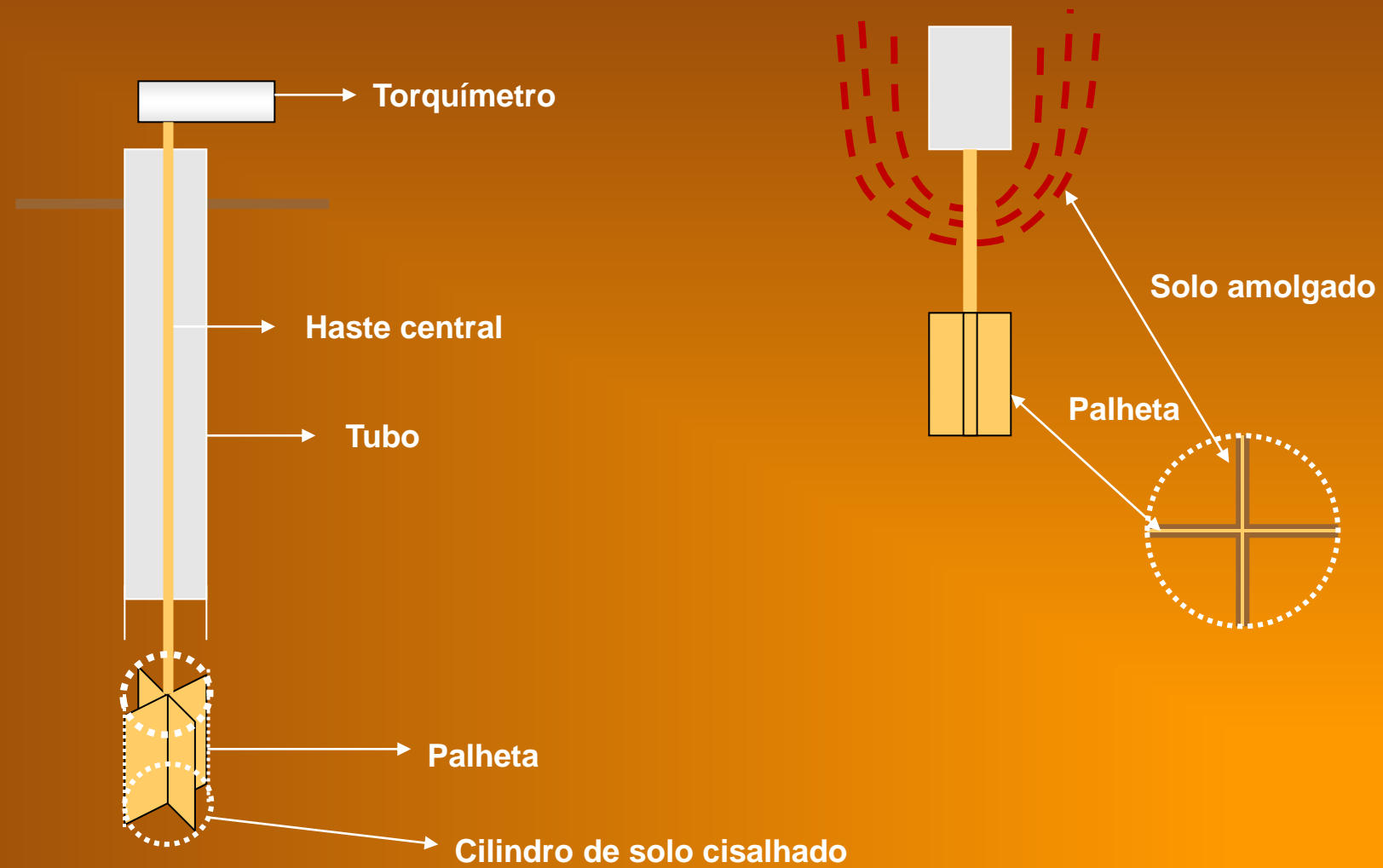
- Envolve a medição “in situ” do momento torsor requerido para causar a ruptura por cisalhamento de uma superfície cilíndrica por meio de uma palheta (foto).
- A informação obtida pode ser utilizada para se obter a resistência não drenada (s_u) de solo argiloso mole.
- O método consiste em introduzir a palheta no solo, adiante do fundo da escavação prévia, rotacionando-a em velocidade rápida ($6^\circ/\text{min}$), para não ocorrer drenagem, registrando-se o torque e a rotação induzida.



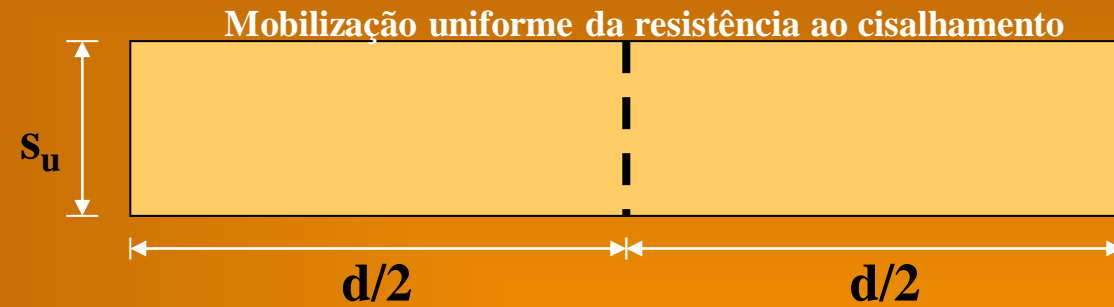
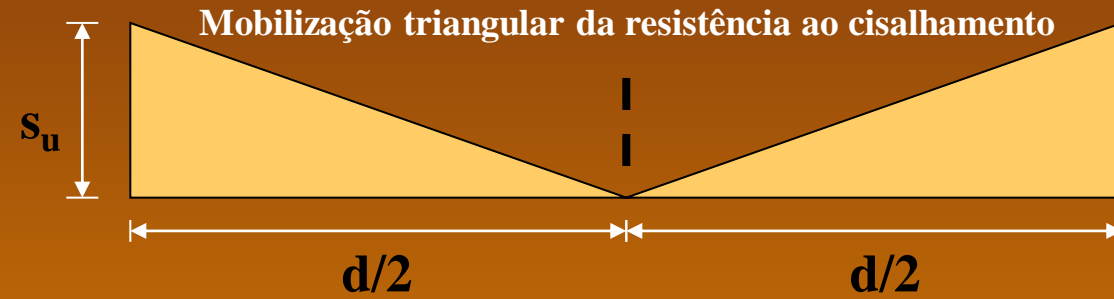
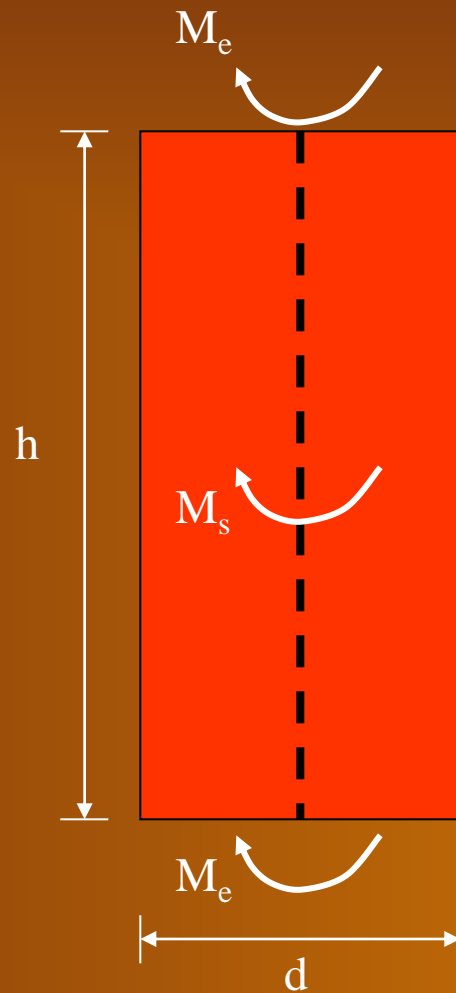
Ensaio de Palheta ou "Vane Test"



Ensaio de Palheta ou “Vane Test”



“Vane Test” – Relação com s_u



$$T = M_s + M_e + M_e$$

$$M_s = (\pi dh) S_u \left(\frac{d}{2} \right)$$

“Vane Test” – Relação com s_u

A resistência **não drenada** é obtida pela expressão:

$$s_u = \frac{T}{\pi \left[\frac{d^2 h}{2} + \beta \frac{d^3}{4} \right]}$$

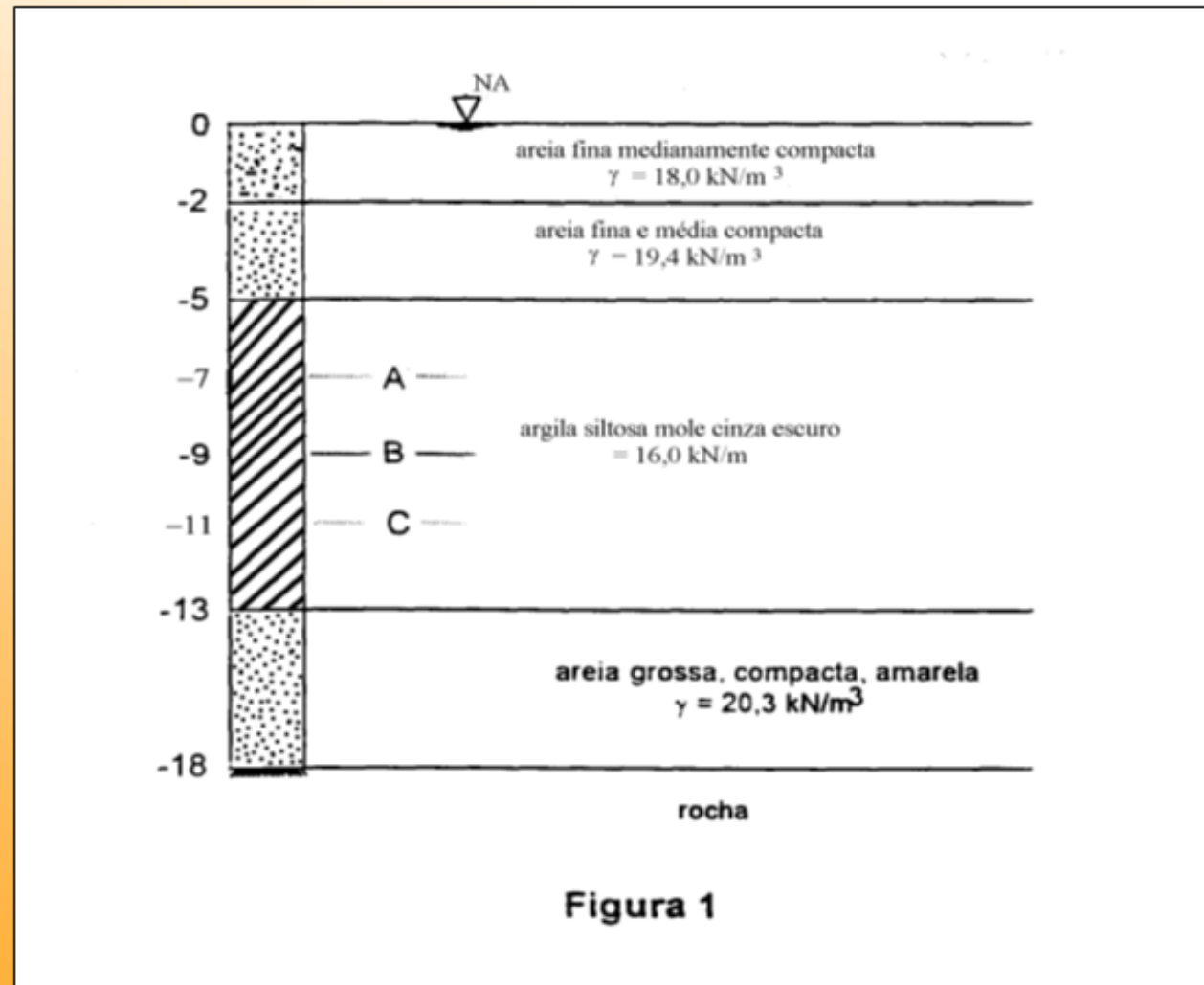
$$\beta = \frac{1}{2} \text{ para distribuição triangular}$$

$$\beta = \frac{2}{3} \text{ para distribuição uniforme}$$

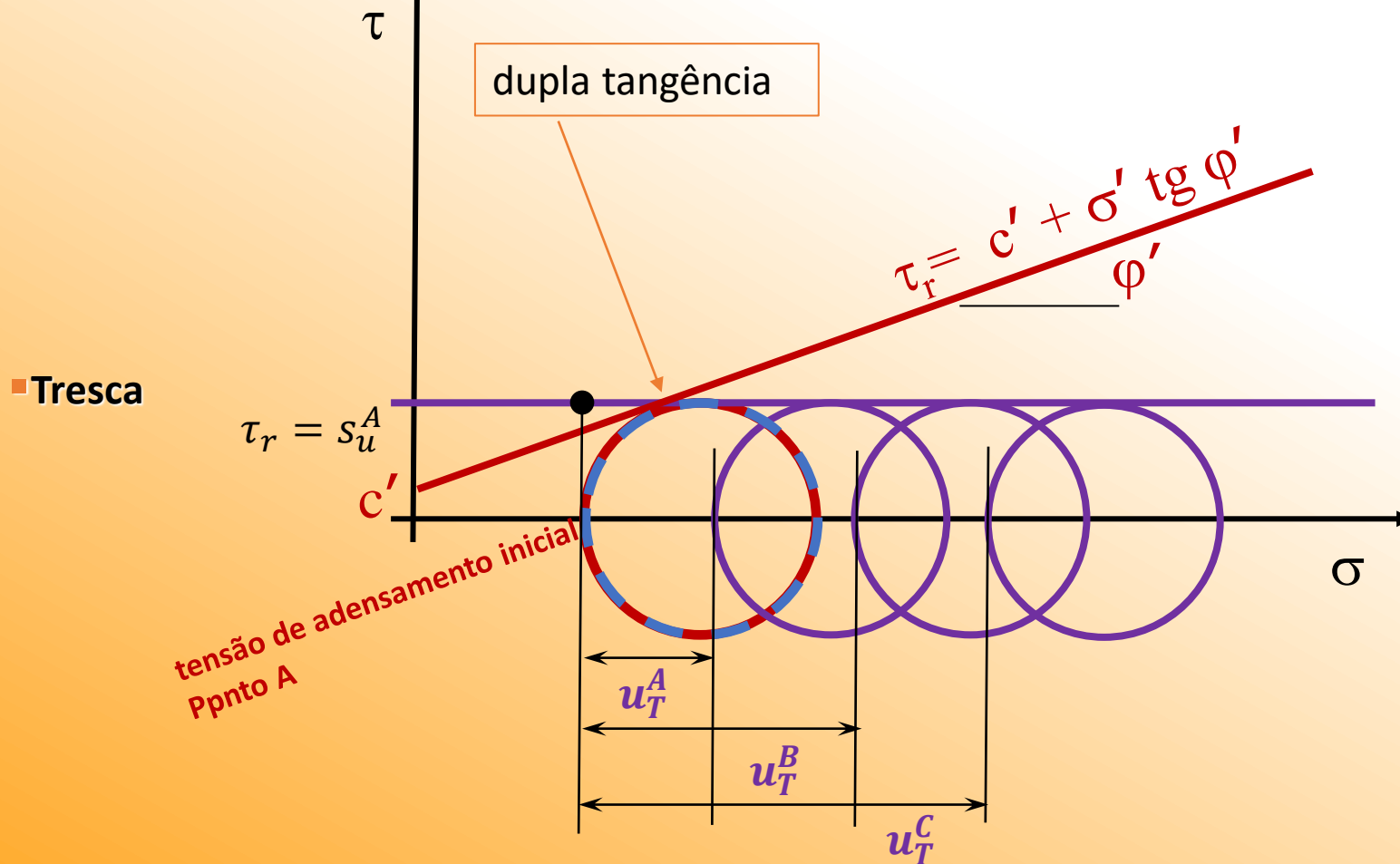
$$\beta = \frac{3}{5} \text{ para distribuição parabólica}$$

Para que a resistência medida seja de fato s_u , é fundamental que a velocidade de rotação seja rápida (ruptura a ser atingida no máximo em cerca de 10 min) para não permitir drenagem.

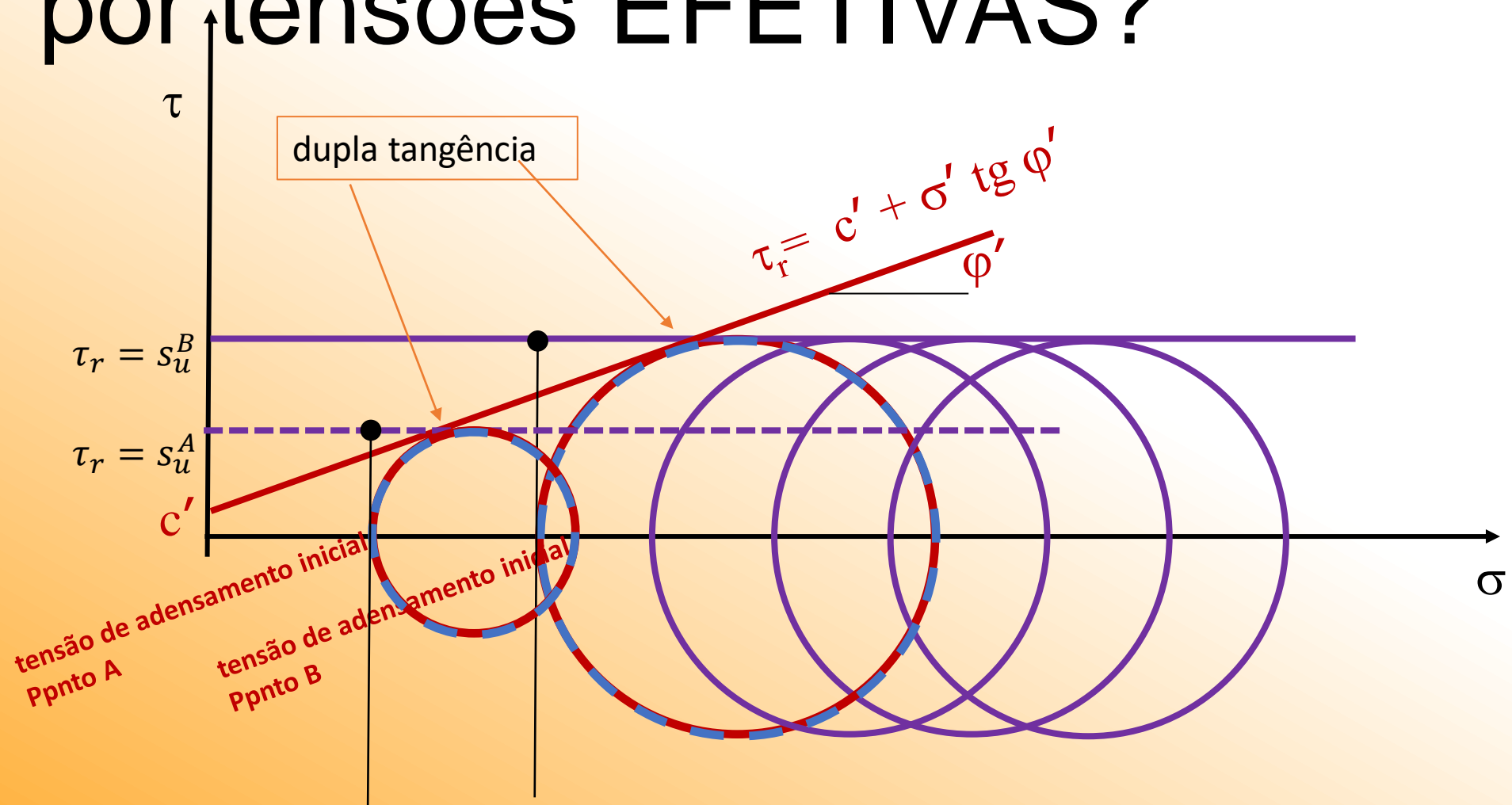
Camada de solo mole NA (OCR=1)



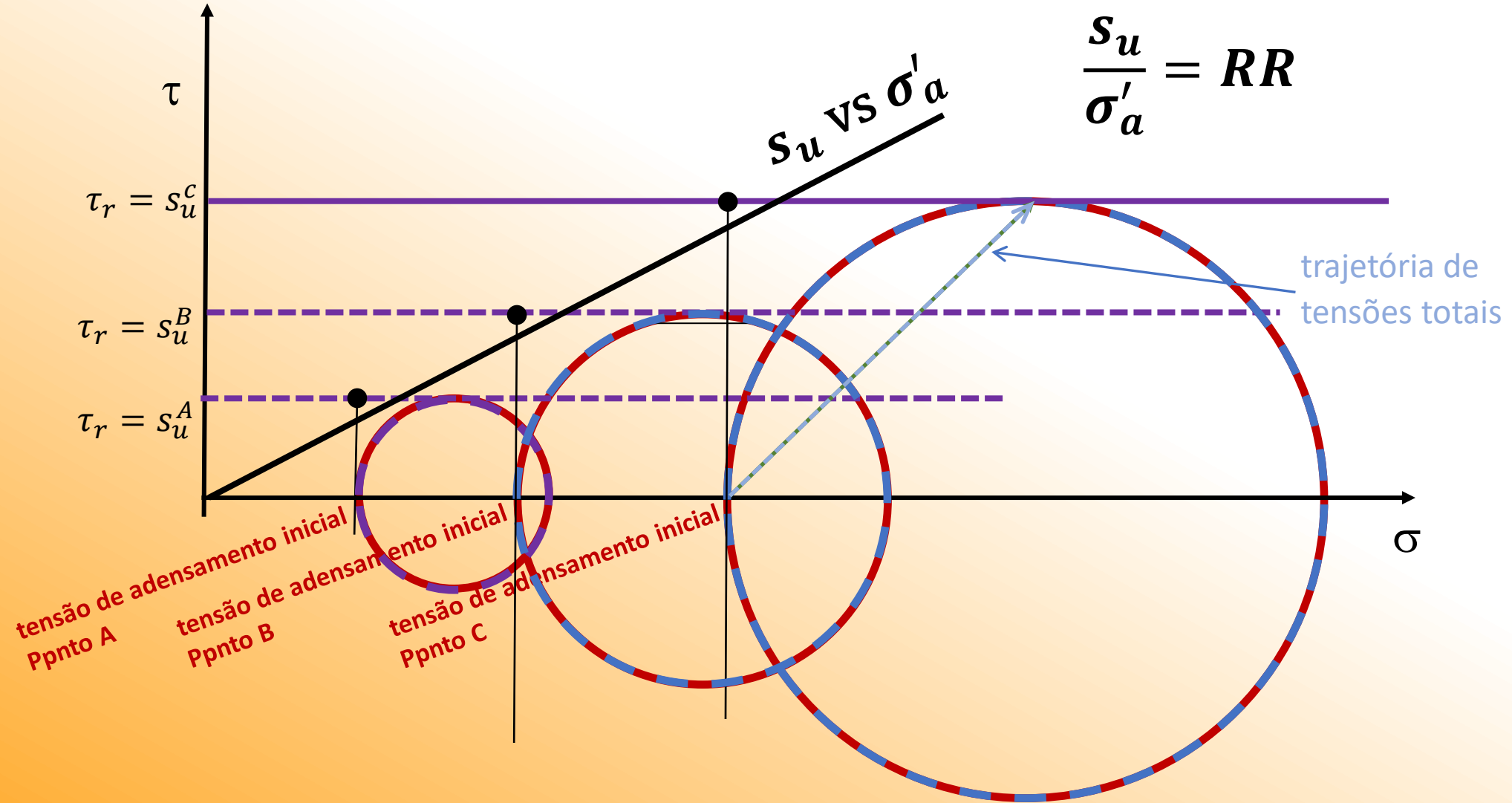
Comportamento não é sempre governado por tensões EFETIVAS?



Comportamento não é sempre governado por tensões EFETIVAS?



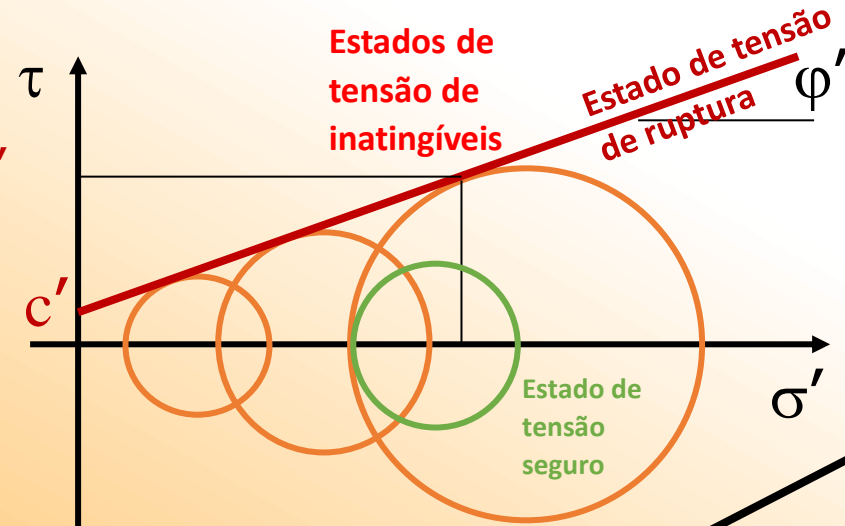
Resistência não drenada vs tensão de adensamento



Modelos de resistência usuais para solos e rochas

■ Mohr-Coulomb

$$\tau_r = c' + \sigma' \operatorname{tg} \phi'$$

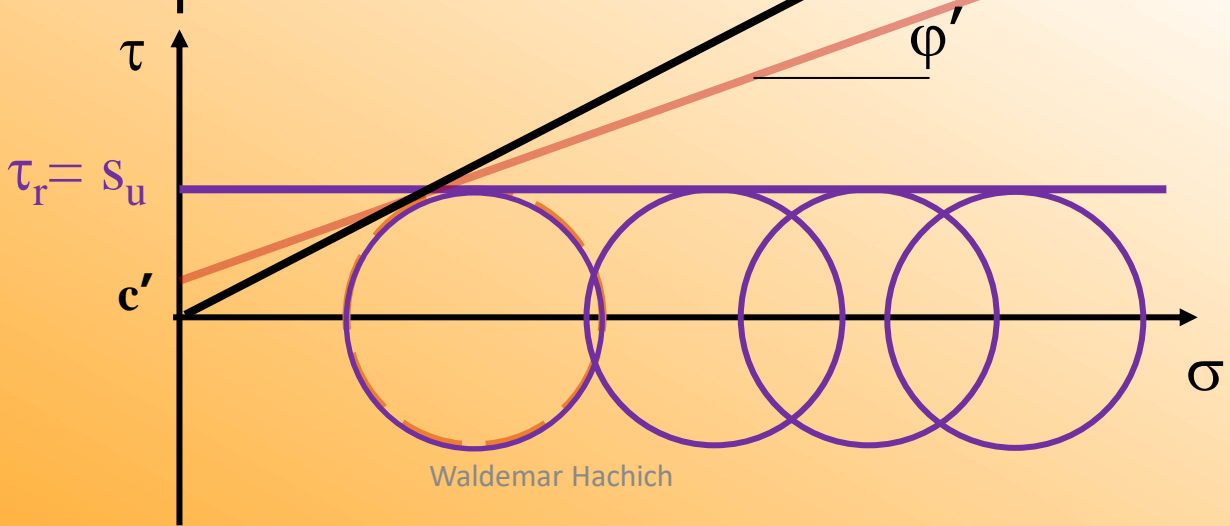


$$\frac{s_u}{\sigma'_a} = RR$$

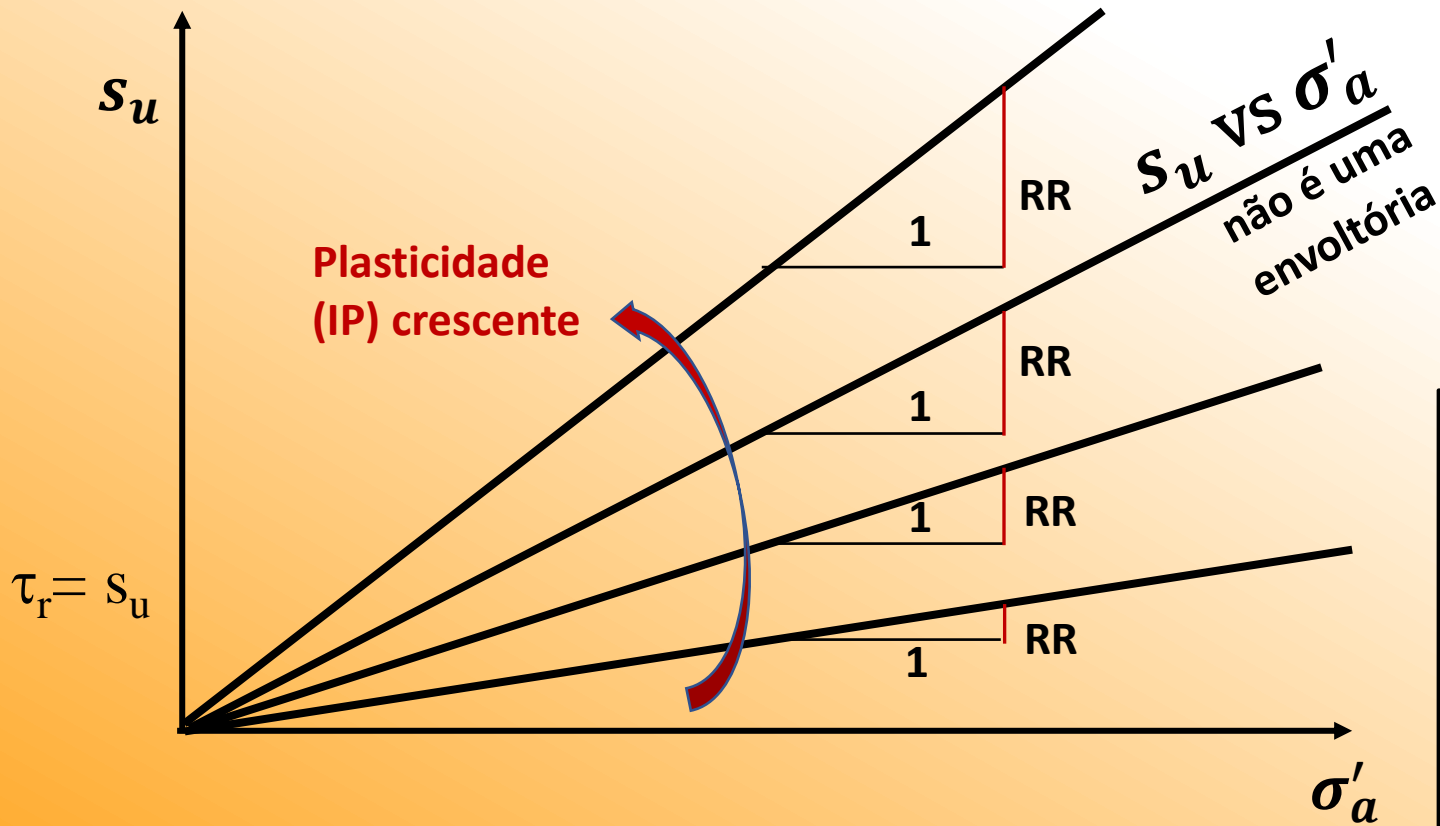
razão de resistência
(dessa argila, com seu IP)

S_u VS σ'_a
não é uma envoltória

■ Tresca

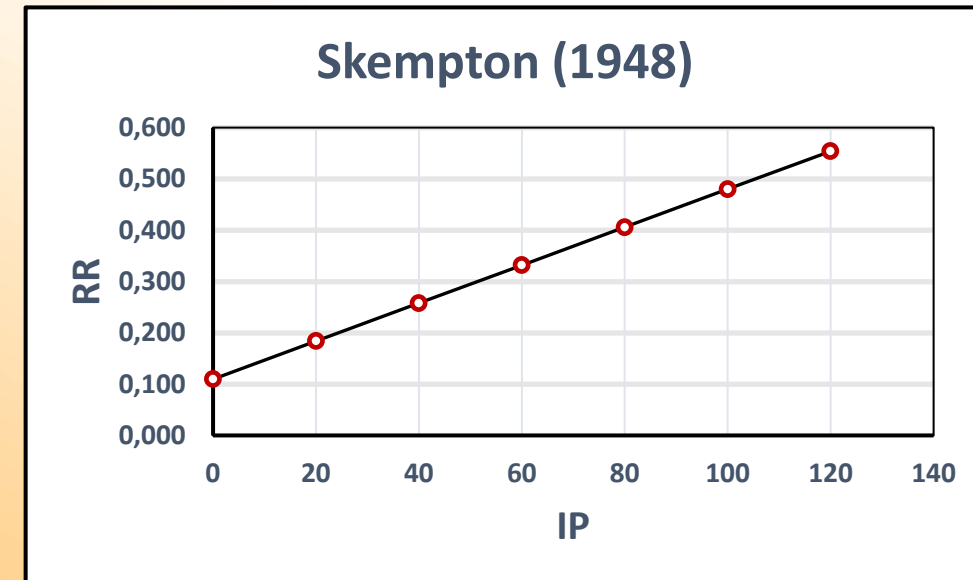


Variação de RR com IP (OCR=1)



$$\frac{S_u}{\sigma'_a} = RR$$

razão de resistência (de cada argila, com seu IP)



Variação de RR com OCR

A partir de pesquisas fundamentadas em resultados experimentais:

$$\left(\frac{s_u}{\sigma'_a}\right)_{OCR>1} = \left(\frac{s_u}{\sigma'_a}\right)_{OCR=1} OCR^m \quad m \cong 0,8$$

$$\frac{s_u(\text{proj})}{\sigma'_a} = (0,23 \pm 0,04) \times OCR^m \quad \text{Jamiolkovski \& Ladd}$$

$$\frac{s_u(\text{proj})}{\sigma'_a} \cong 0,22 \sigma'_a \quad \text{Mesri (1975)}$$

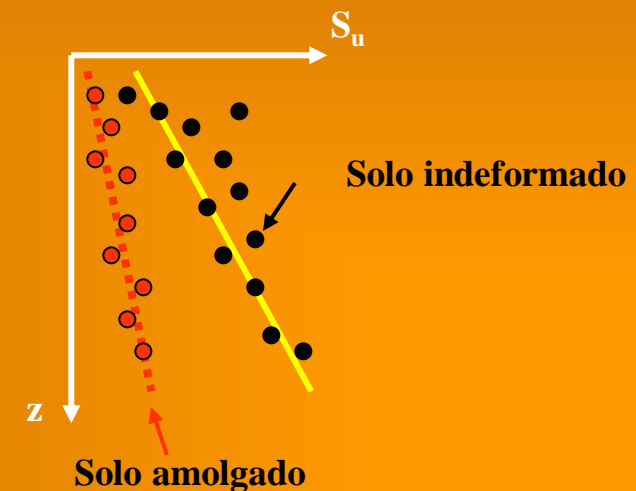
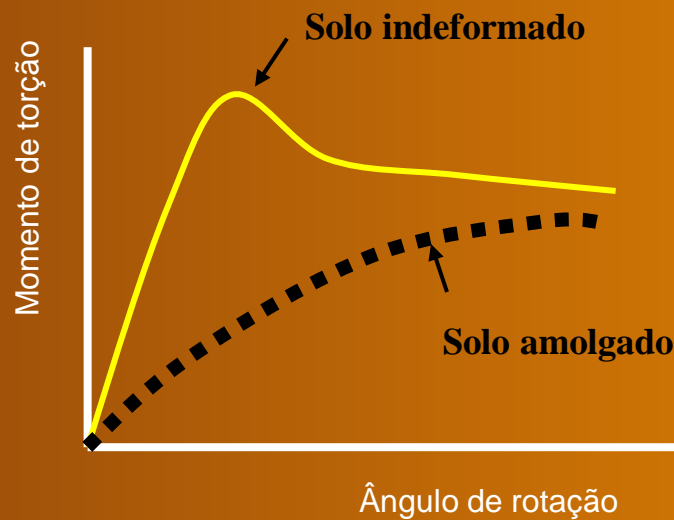
Ensaio de Palheta ou “Vane Test”

Problemas na execução e interpretação:

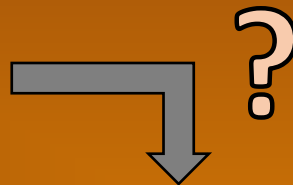
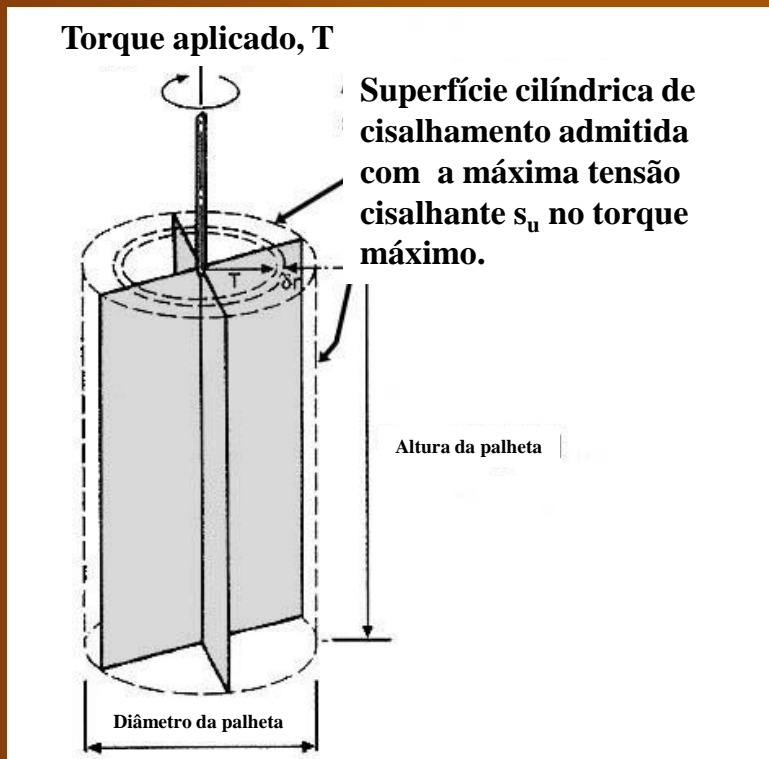
- Amolgamento do solo
- Ruptura progressiva
- Anisotropia
- Correção dos valores interpretados, por exemplo Bjerrum

Resistência residual

Para se obter a resistência não drenada residual gira-se a palheta um certo número de vezes (aprox. 25).



“Vane Test” – Fator de correção para anisotropia



Além da anisotropia natural típica de solos moles sedimentares

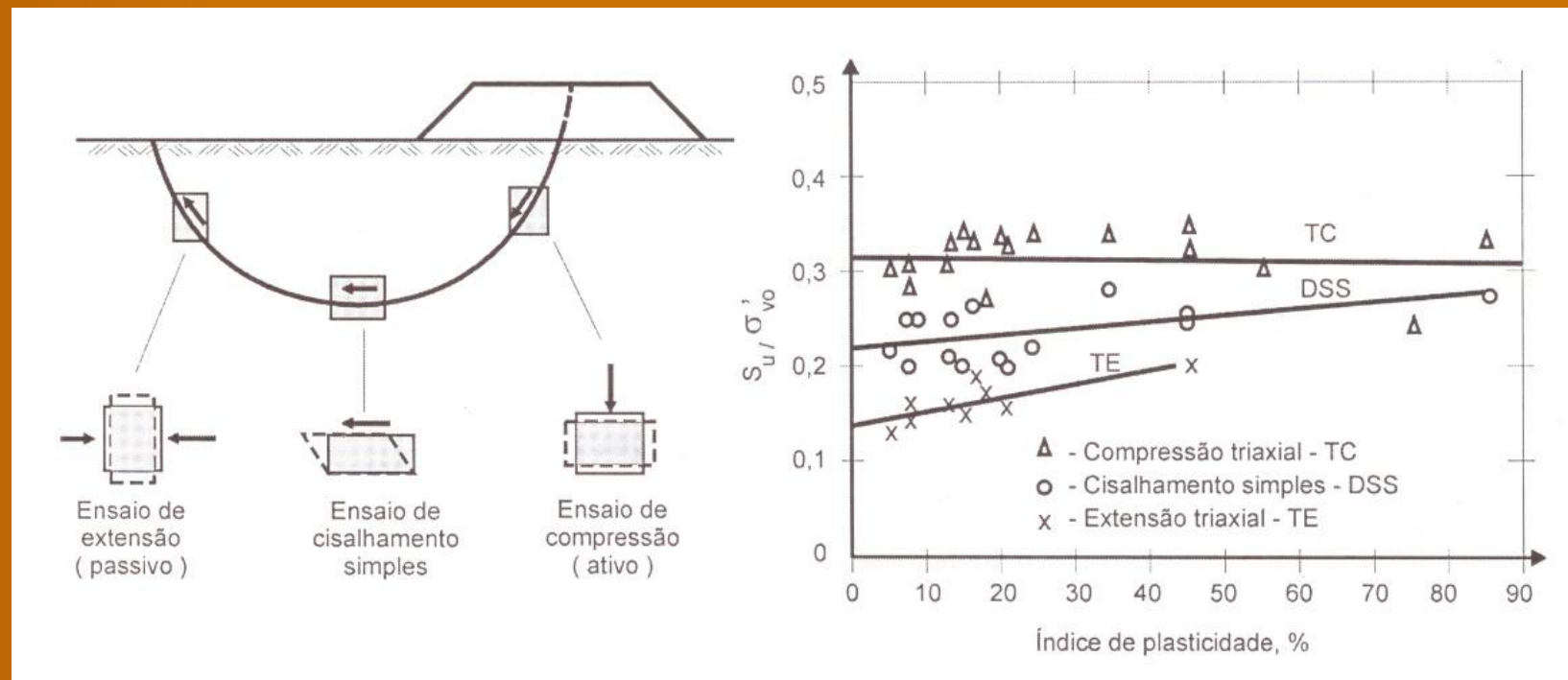
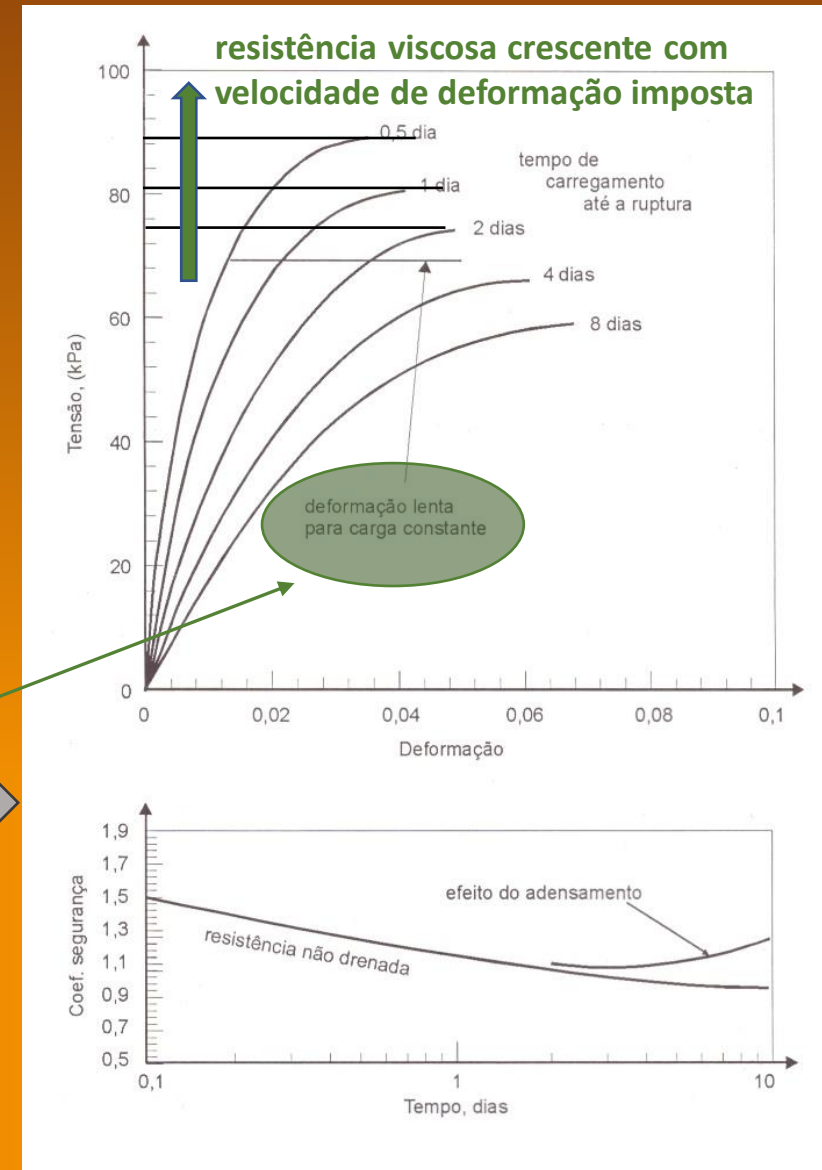
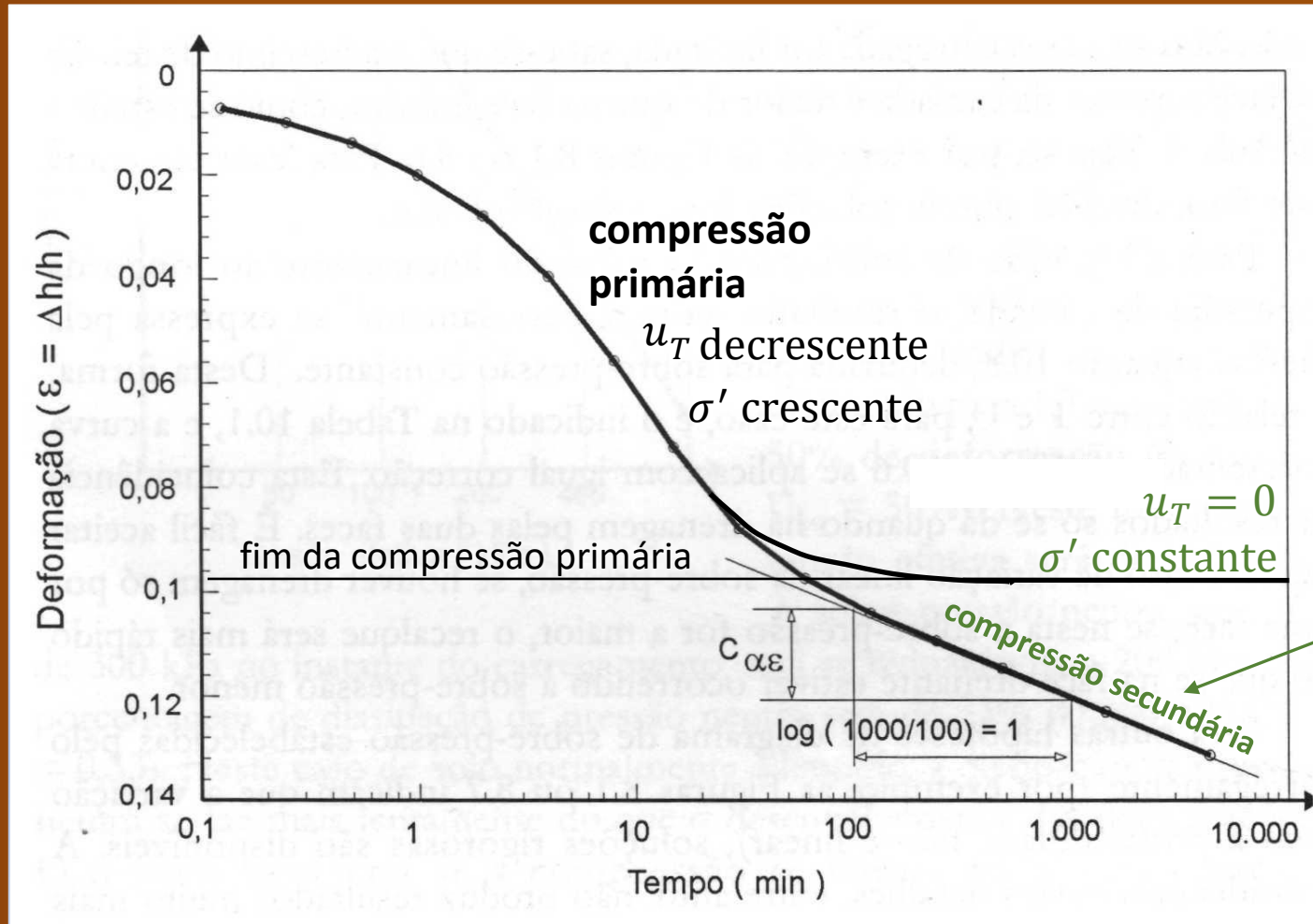


Fig. 15.5

“Vane Test” – Fator de correção para tempo até ruptura

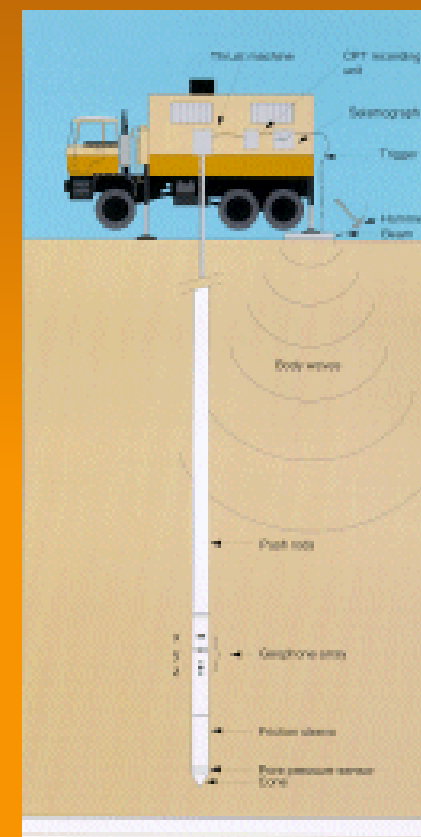


Livro do Prof. Carlos Pinto
Figs. 11.8 e 11.9 – compressão secundária
(deformação lenta)
Fig. 15.6 – seus efeitos

Ensaio de Cone – Piezocone CPTu

Dentre os equipamentos de ensaios “in situ” o ensaio penetrométrico (CPT) e o piezocone (CPTu) são os mais versáteis. Existe ainda o Cone Sísmico (SCPT) que permite a determinação do módulo cisalhante (G) e do coeficiente de Poisson.

No ensaio um cone é cravado no terreno a uma velocidade constante e medições contínuas de resistência de ponta e de atrito lateral são feitas. Se utilizado o CPTu, a pressão neutra gerada pela cravação é também medida, e provas de dissipação da sobrepressão neutra são realizadas em profundidades pré-determinadas.

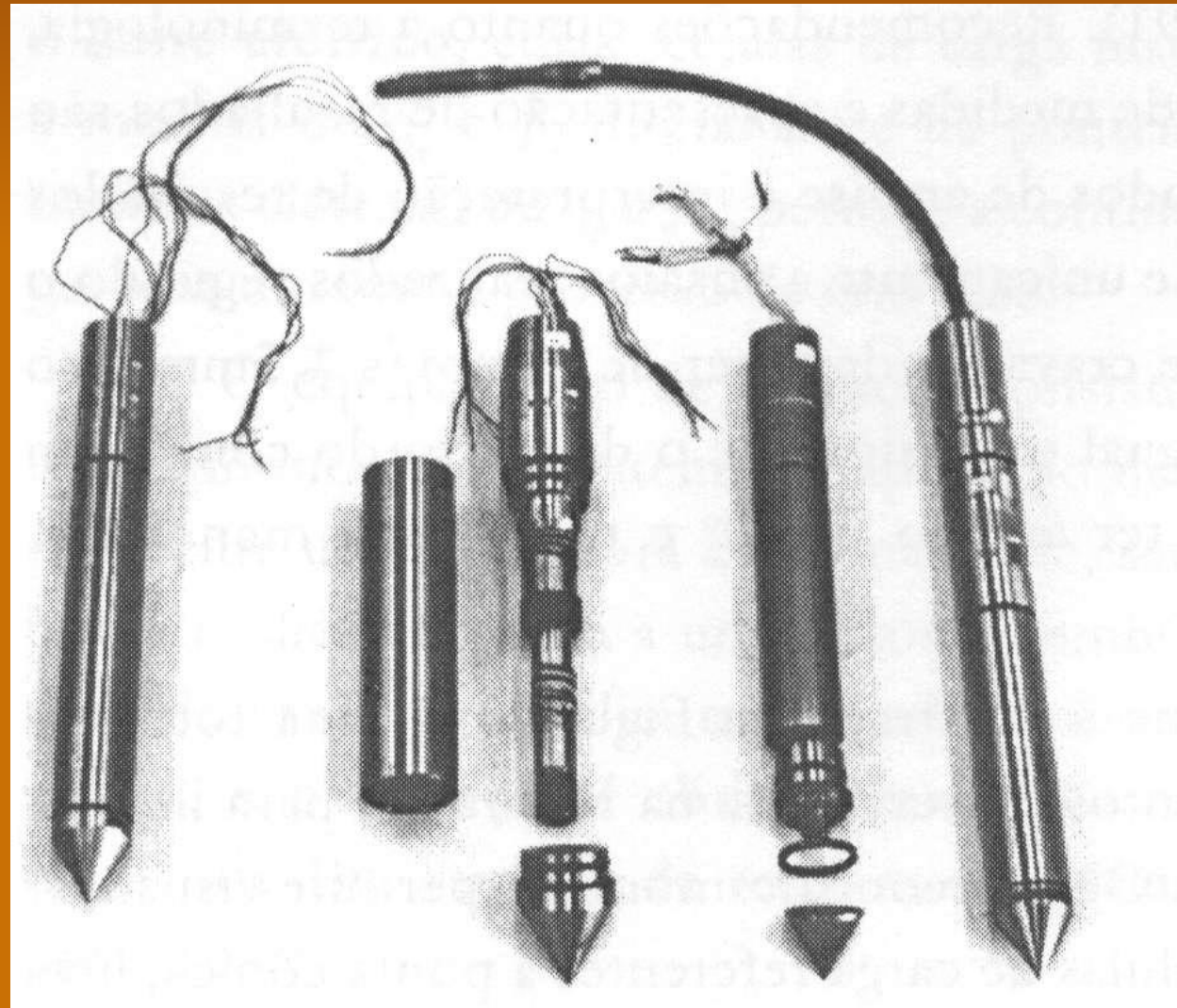
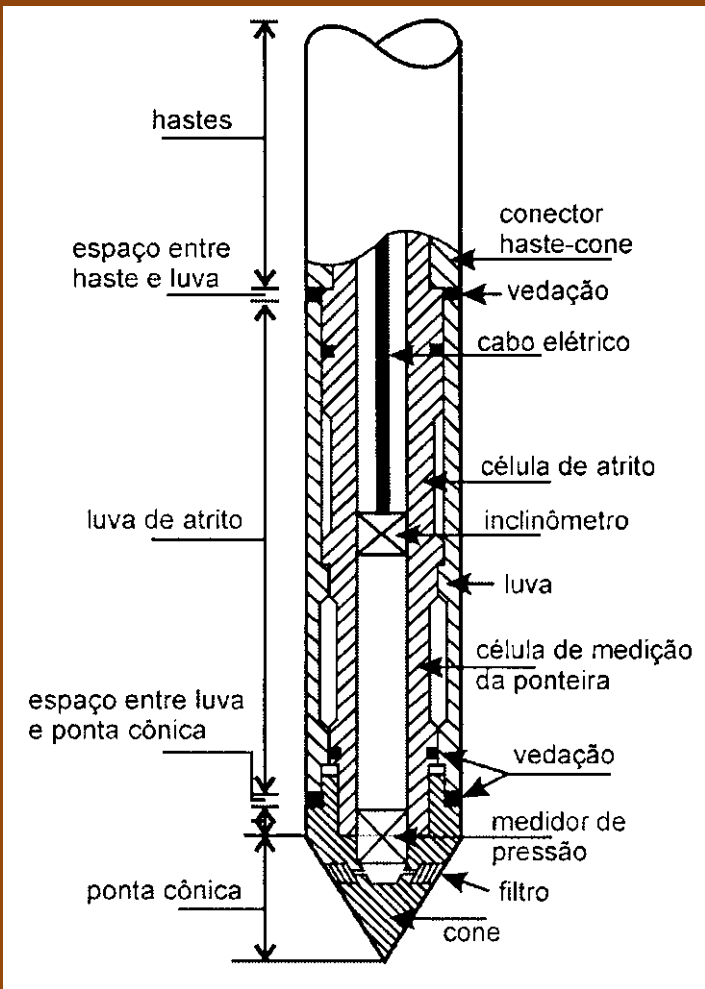


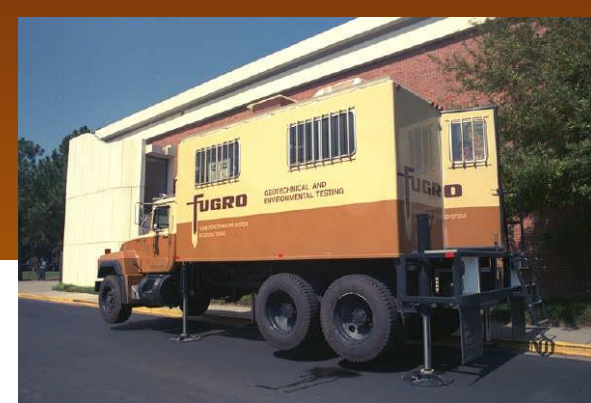
Ensaio de Piezocone

Aspectos importantes

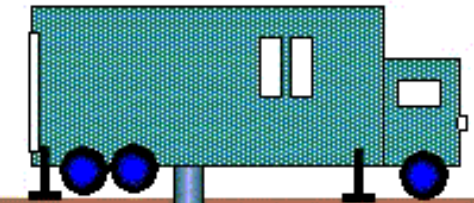
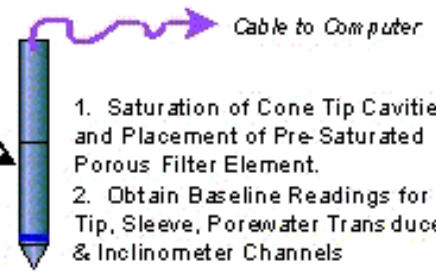
- Relações entre atrito lateral (f_s), pressão neutra (u) e resistência de ponta (q_c) contribuem para a identificação indireta do tipo de solo do perfil.
- Uma das importantes e amplamente utilizadas aplicações do cone é a definição da estratigrafia do perfil de solo.
- A penetração contínua associada a alta resolução permite que camadas finas sejam identificadas.
- Recomendada-se o seu uso em depósitos de solos compressíveis e de baixa resistência.
- O acompanhamento da dissipação da pressão neutra permite a estimativa do coeficiente de adensamento (C_v).



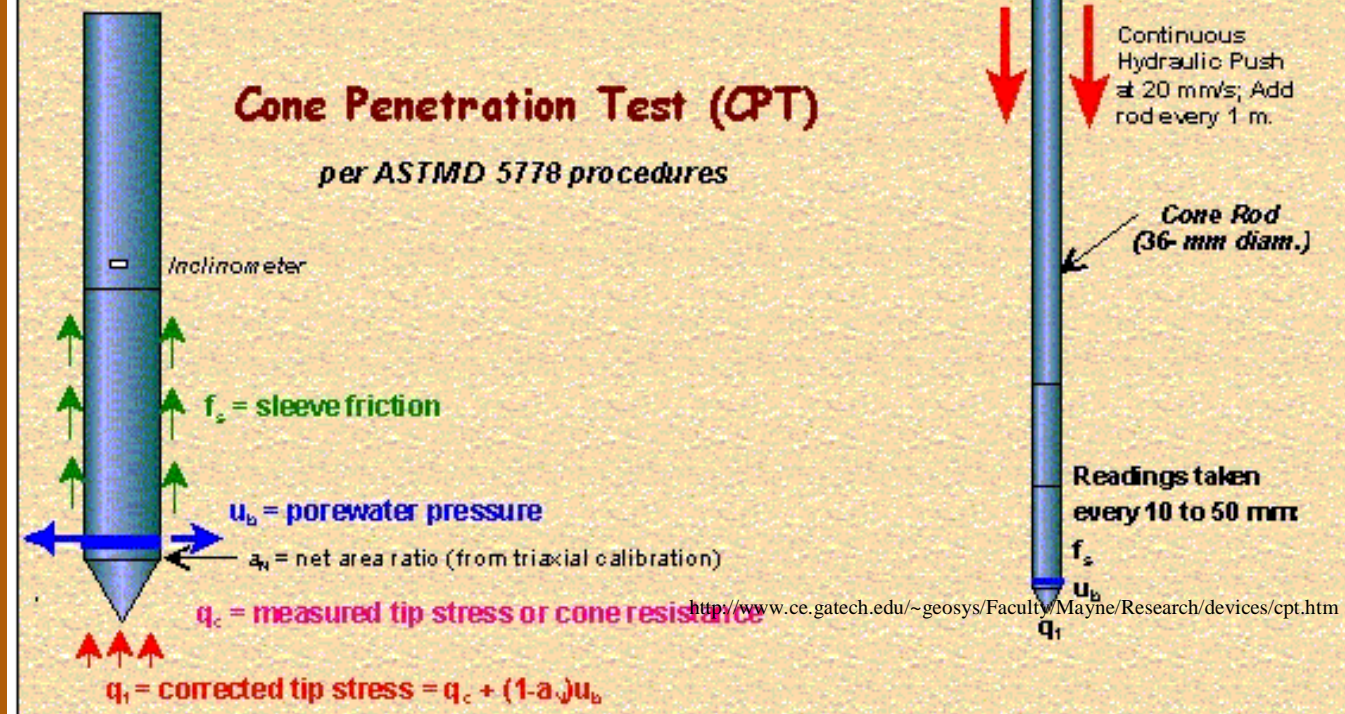




Electric Cone Penetrometer with 60° Apex:
 $d = 36 \text{ mm} (10 \text{ cm}^2)$
 or
 $d = 44 \text{ mm} (15 \text{ cm}^2)$



Cone Penetration Test (CPT) per ASTM D 5778 procedures



<http://www.ce.gatech.edu/~geosys/Faculty/Mayne/Research/devices/cpt.htm>

3. CONE PENETRATION TESTING (CPTu)

3.1. Standards

- NBR 12069/91 - Solo - Ensaio de penetração de cone *in situ* (CPT);
- PROC-INV-04 – Ensaio de penetração de cone com medida de poropressão – CPTu;
- ASTM D-5778-07 - *Standard test method for performing electronic friction cone and piezocone testing of soils.*

3.2. Procedures

Cone Penetration Testing CPTu

Cone penetration testing with pore pressure measurement are used to stratigraphic determination of soils profile, determining properties of materials prospected, particularly in deposits of soft clays and prediction of bearing capacity of foundations. The test provides cone resistance, friction and pore pressure data.

Test consists in a static spiking of a rod into soil, which at its lower end a conic tip, as showed in Figure 1, (vertex angle of 60°) and cross section of 10 cm².

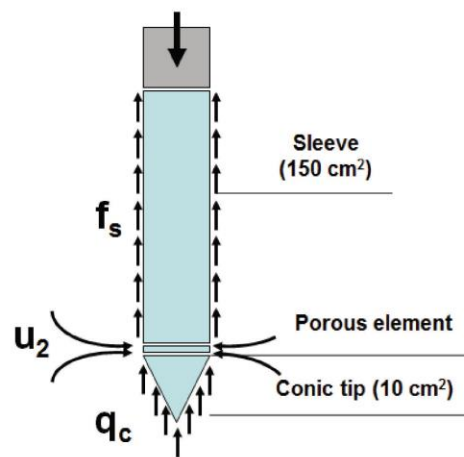
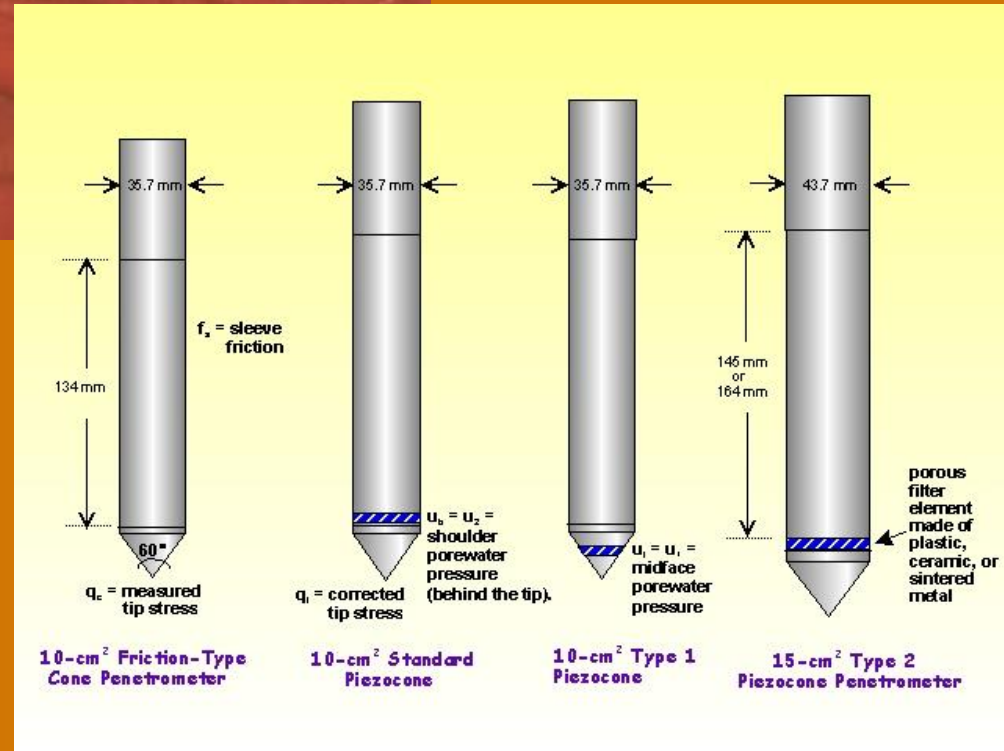
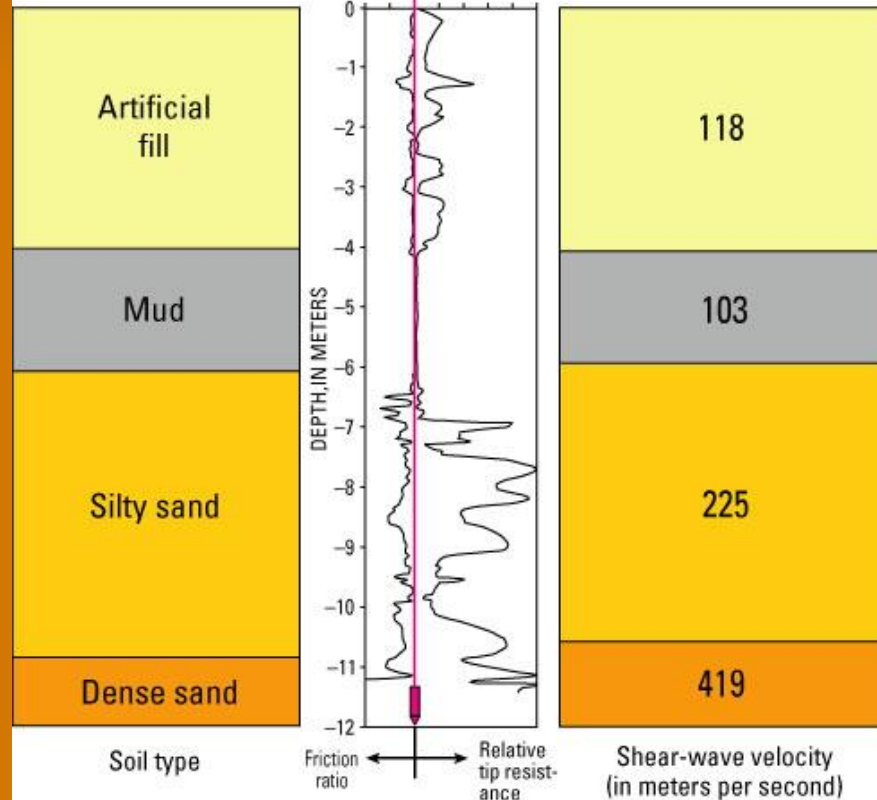
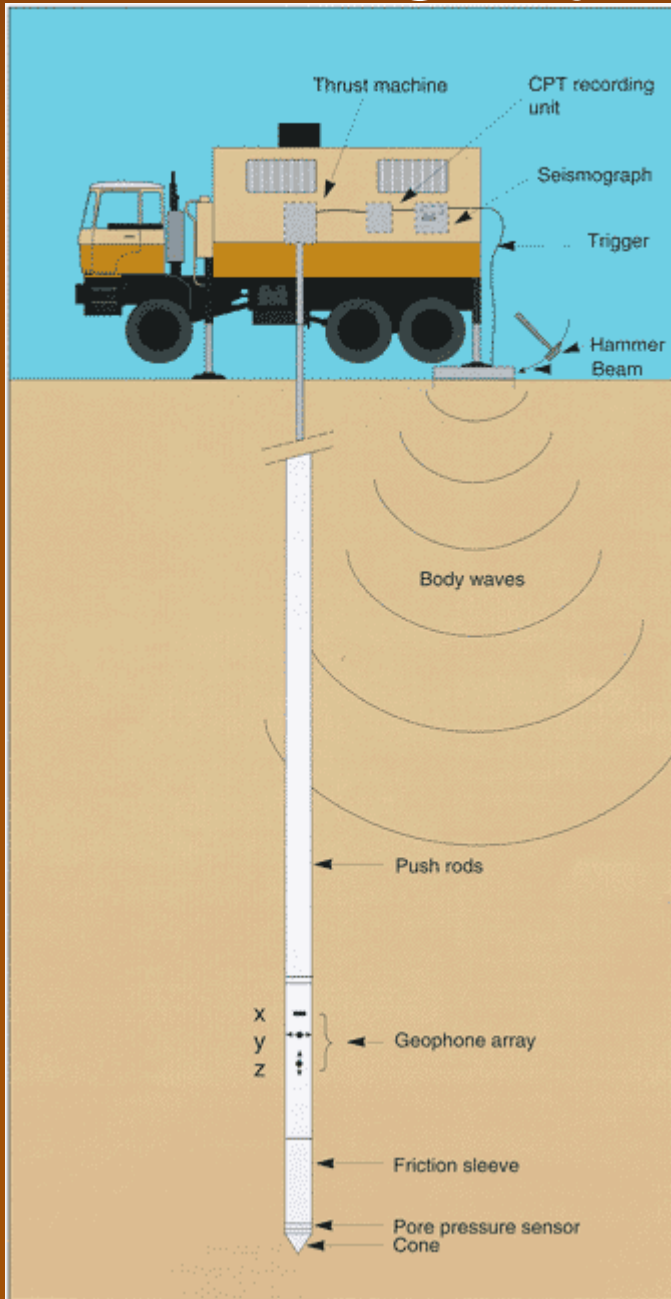


Figure 1 – Cone system.



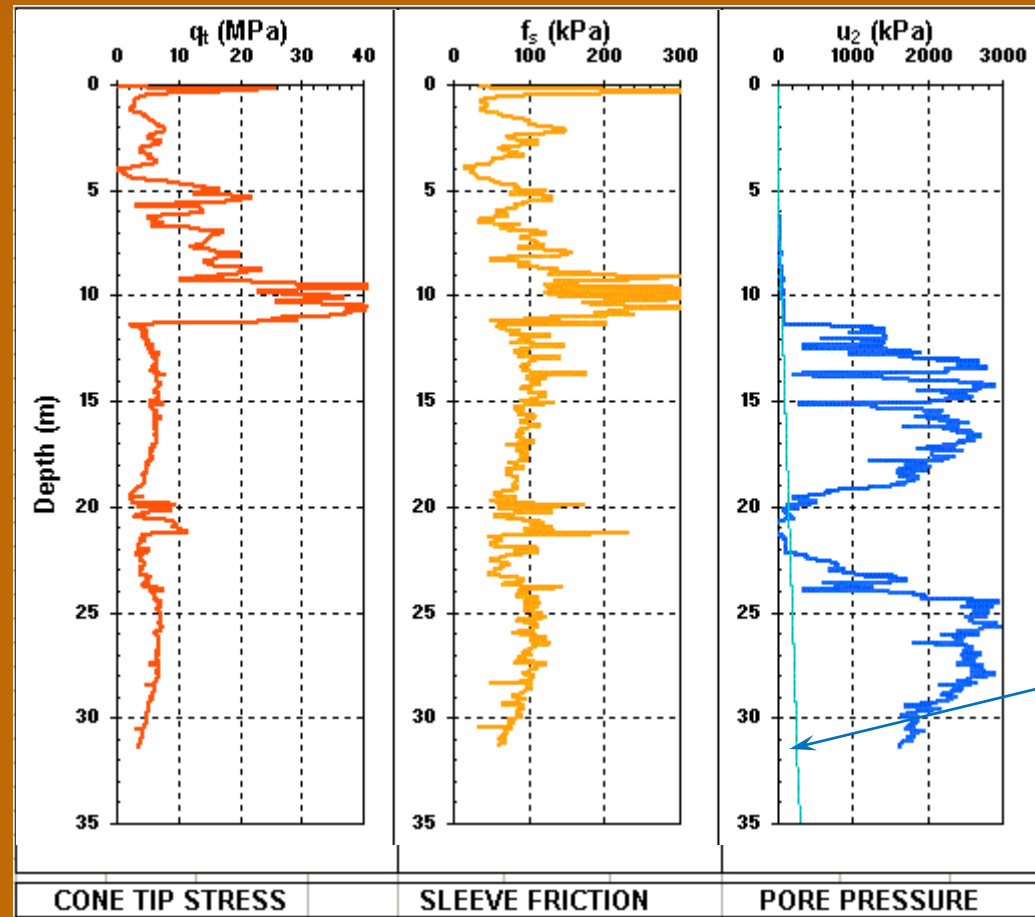
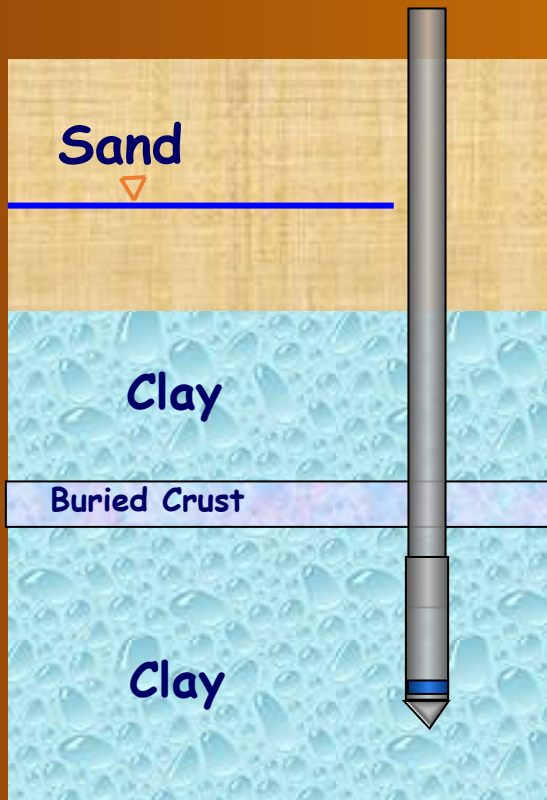
CPTu

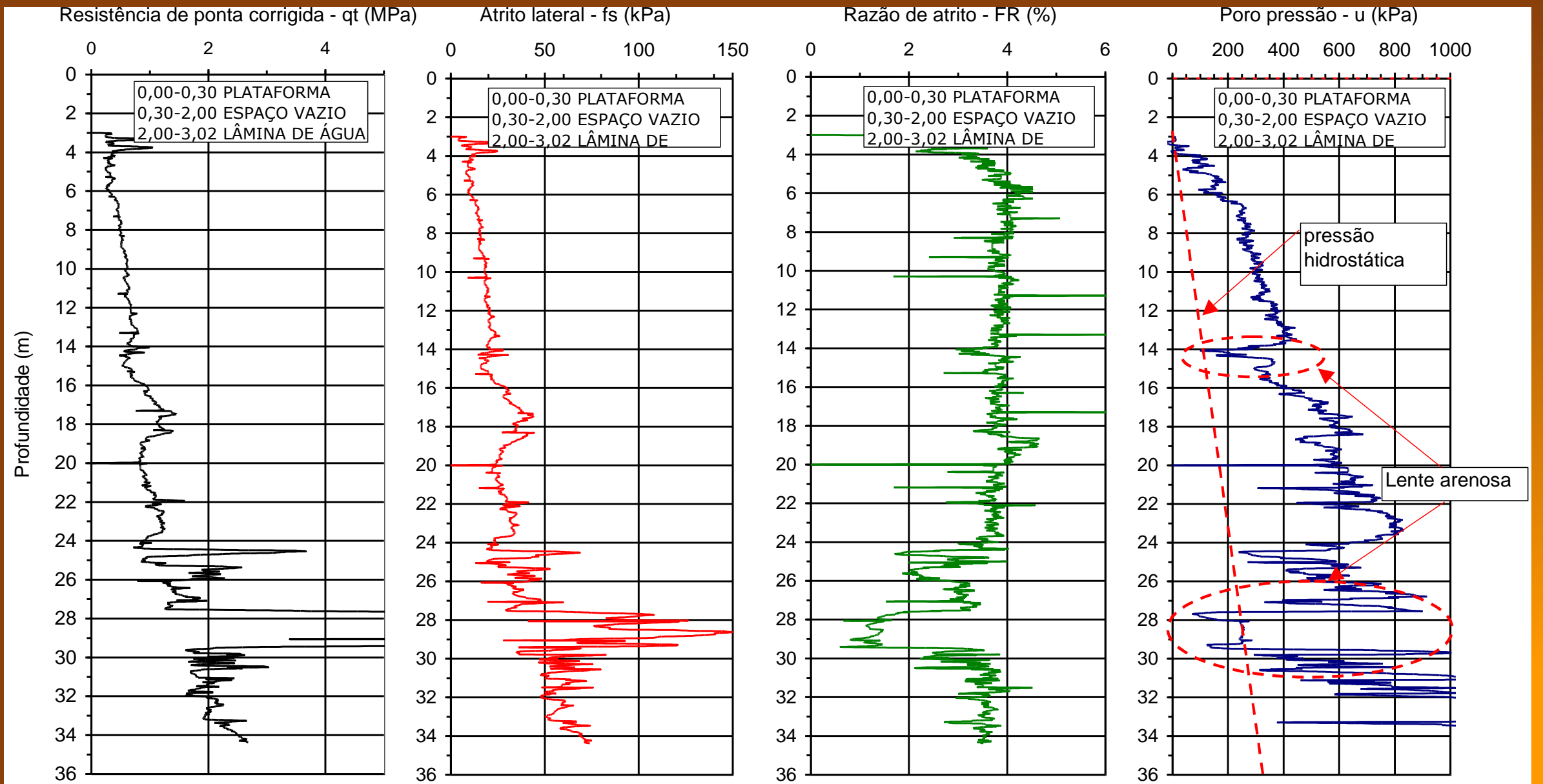


Cone Penetration Testing (CPT)

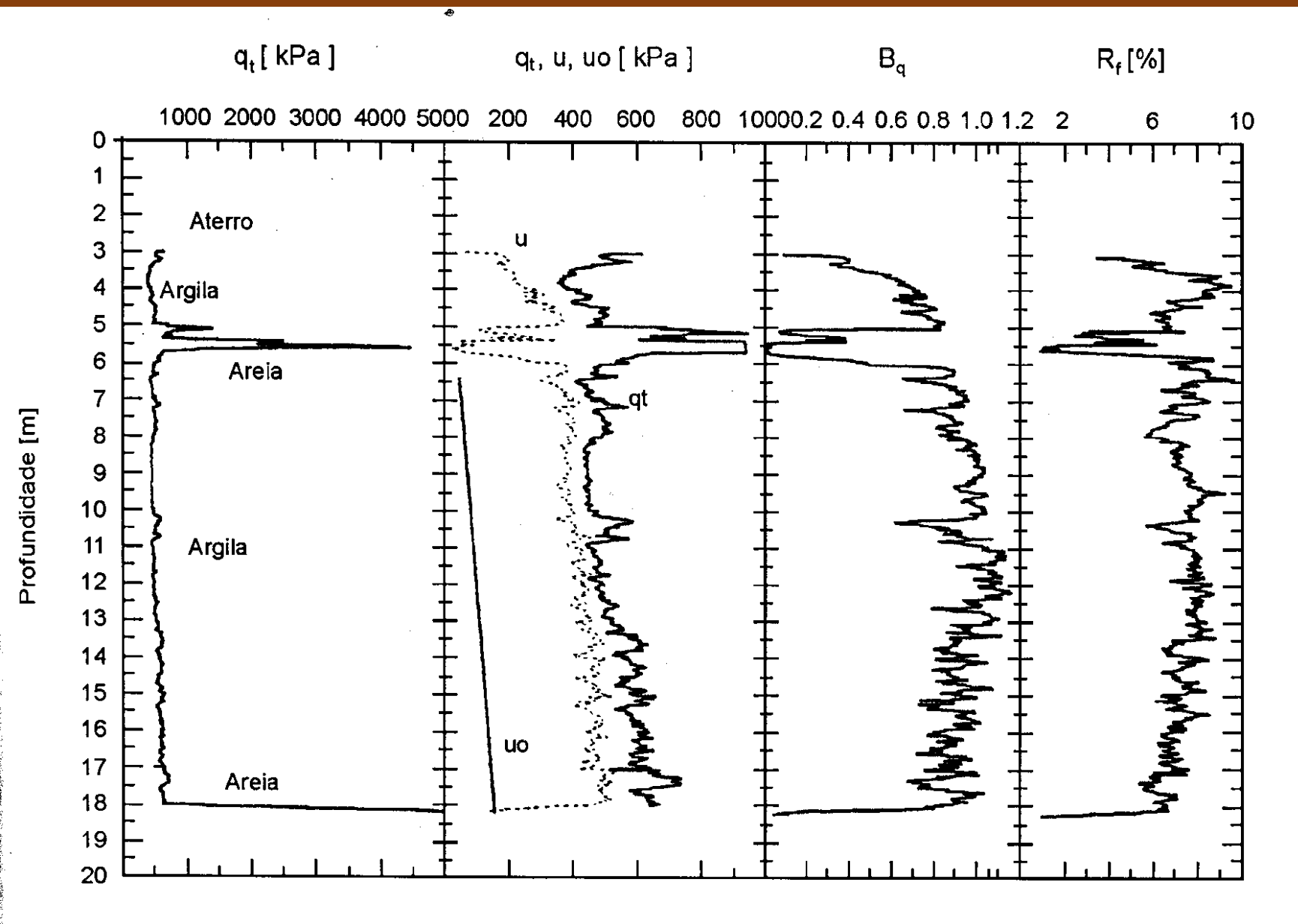
Real-Time readings in computer screen

Penetration at 2 cm/s





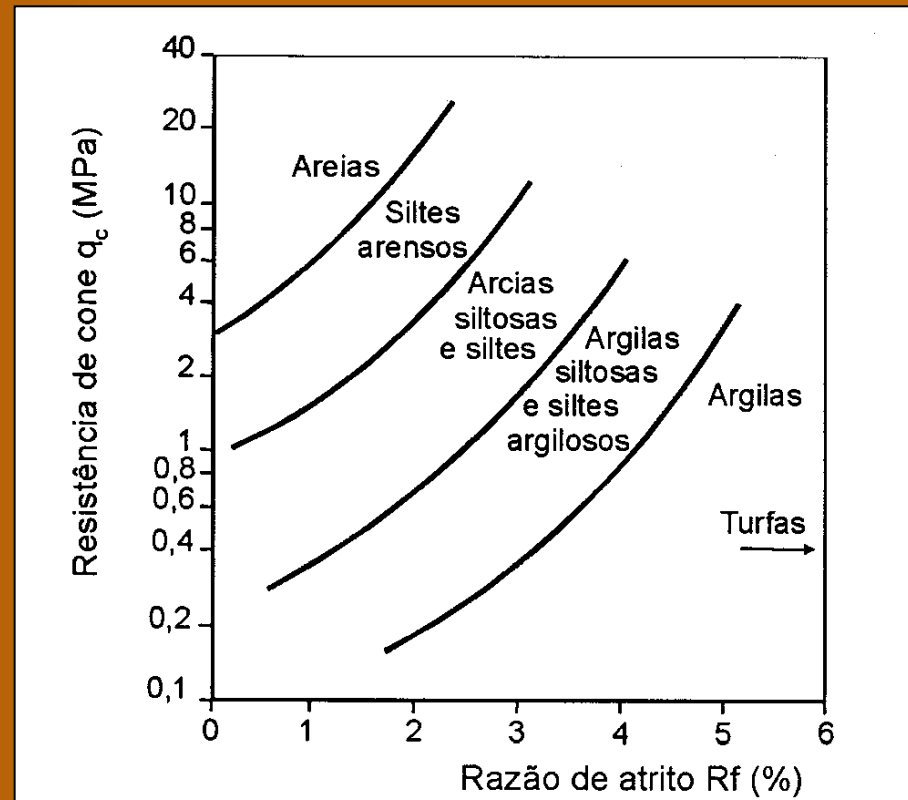
Resultado de um ensaio de piezocone em Guarujá (arquivo pessoal, LG)



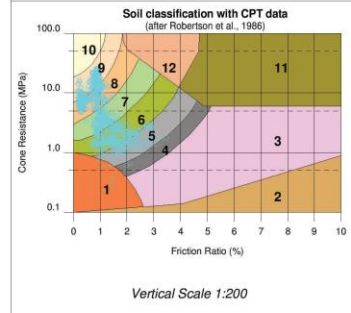
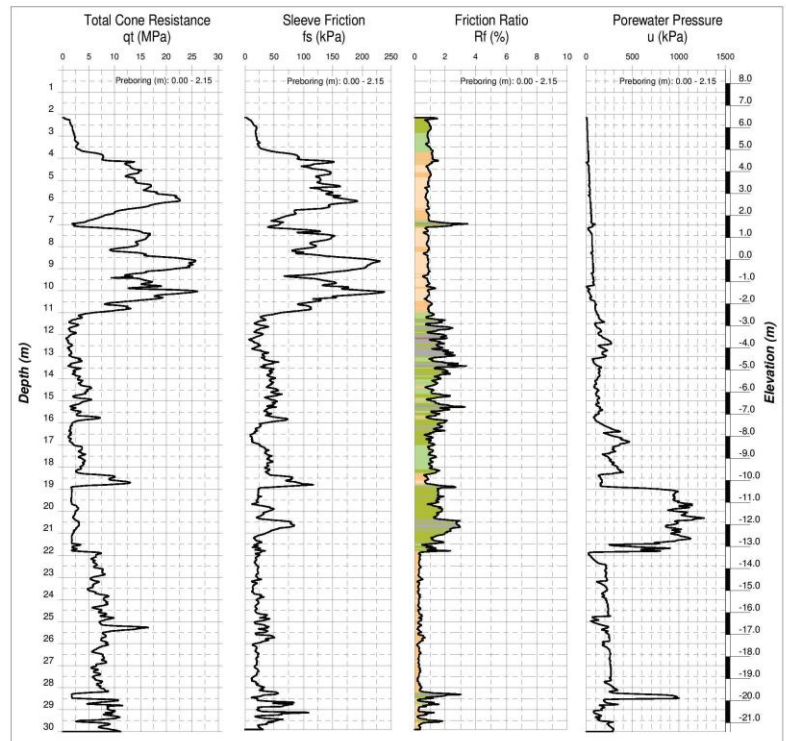
Resultado de um ensaio de piezocone na BR101 em Santa Catarina (Schnaid, 2000).

A razão de atrito (R_f) é utilizada para a classificação indireta dos tipos de solos

$$R_f = \frac{f_s}{q_c}$$

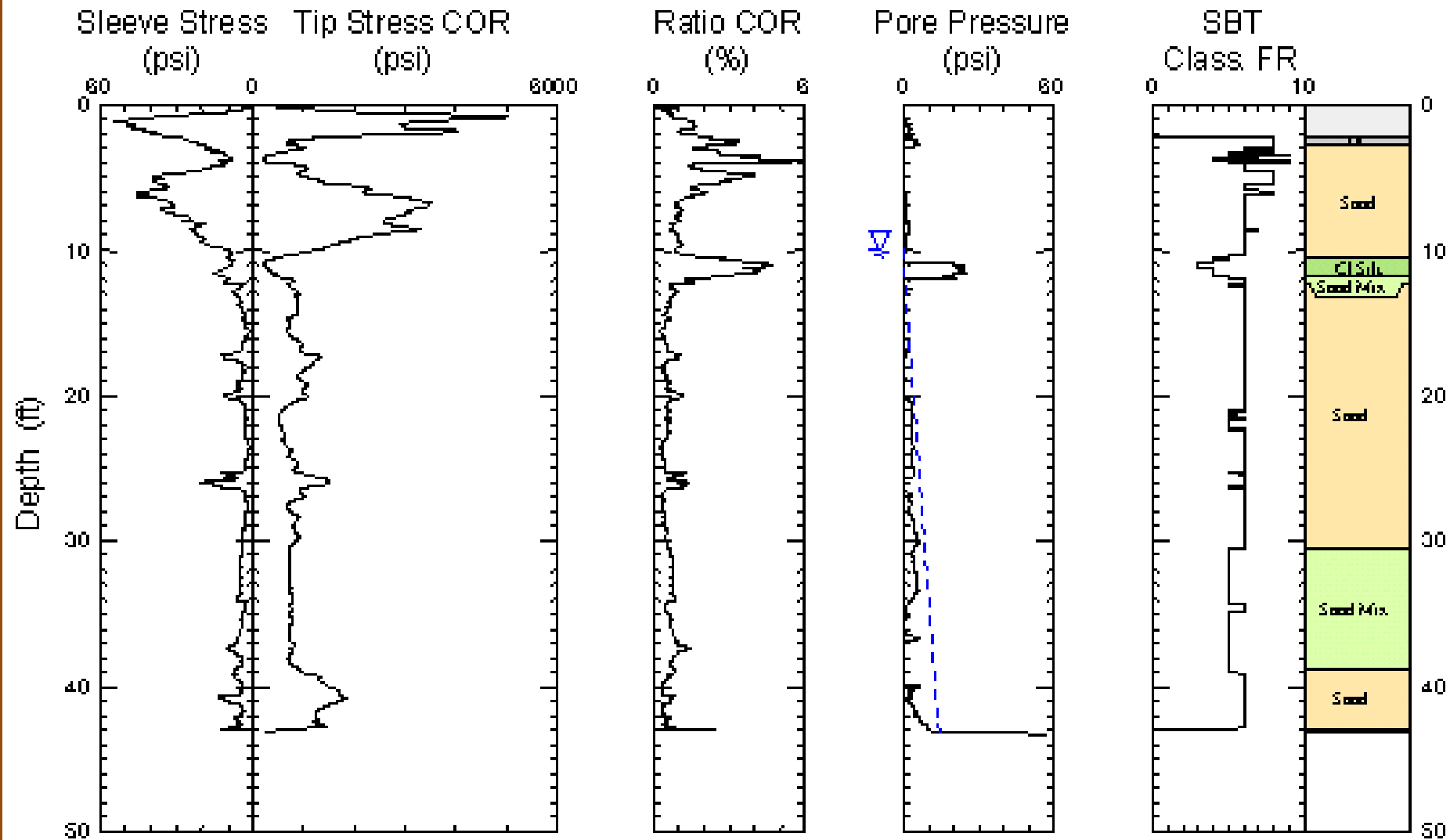


Ábaco para classificação do tipo de solo sedimentar (Robertson & Campanella, 1983).



- Legend (Colors in Friction Ratio Profile)**
- 1 Senescent, fine grained
 - 2 Organic soils, peat
 - 3 Clay
 - 4 Clay to silty clay
 - 5 Clayey silt to silty clay
 - 6 Sandy silt to clayey silt
 - 7 Silty sand to sandy silt
 - 8 Sand to silty sand
 - 9 Sand
 - 10 Gravelly sand to sand
 - 11 Very stiff fine grained soil
 - 12 Sand to clayey sand
- Soil type 11 and 12 are overconsolidated or cemented

	Client:	UFRIGS
	Project/Local:	EXPERIMENTAL LANDFILL
CPTu-F03		Coord. E: 727024 Elevation (m): 8.61
		Coord. N: 7068832 Water level (m): 1.70
		Final Depth (m): 30.01
Coordinator/ Technical Manager:	Report Number:	1/1
GUILHERME VARELA	URS-01-GRE-02	
Processed by: ARON	Test Date: 06/24/2014	



Maximum Depth: 43.22 (ft)

Class FR: Friction Ratio Classification (Ref: Robertson 1990)

▽ Estimated Phreatic Surface

Ensaio de Piezocone

Métodos de Interpretação

- O estado de tensões e deformações induzidas nos ensaios de cone são muito complexos.
- Algumas simplificações ou métodos semi-empíricos são necessários para possibilitar a análise dos resultados.

Dentre as formulações utilizadas temos:

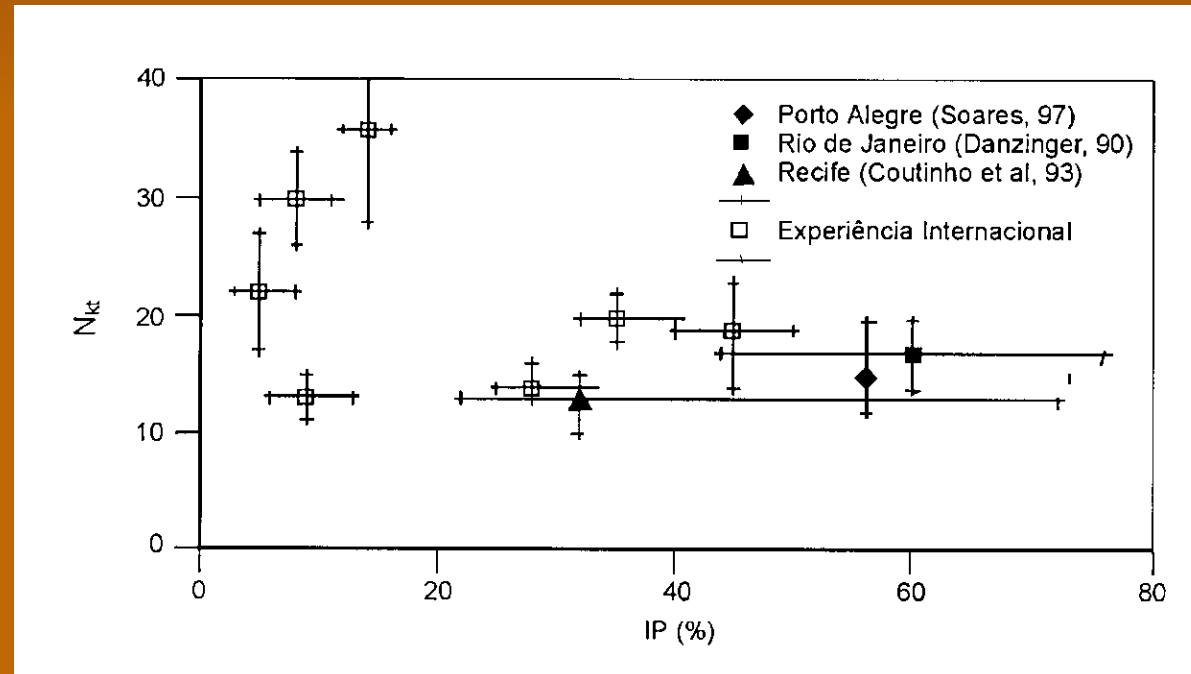
- Método de expansão de cavidade
- Método de equilíbrio limite
- Método de penetração contínua
- Métodos Numéricos
- Método de trajetória de deformações
- Métodos empíricos

Ensaio de Cone

Resistência não drenada

$$S_u = \frac{(q_c - \sigma_{vo})}{N_k}$$

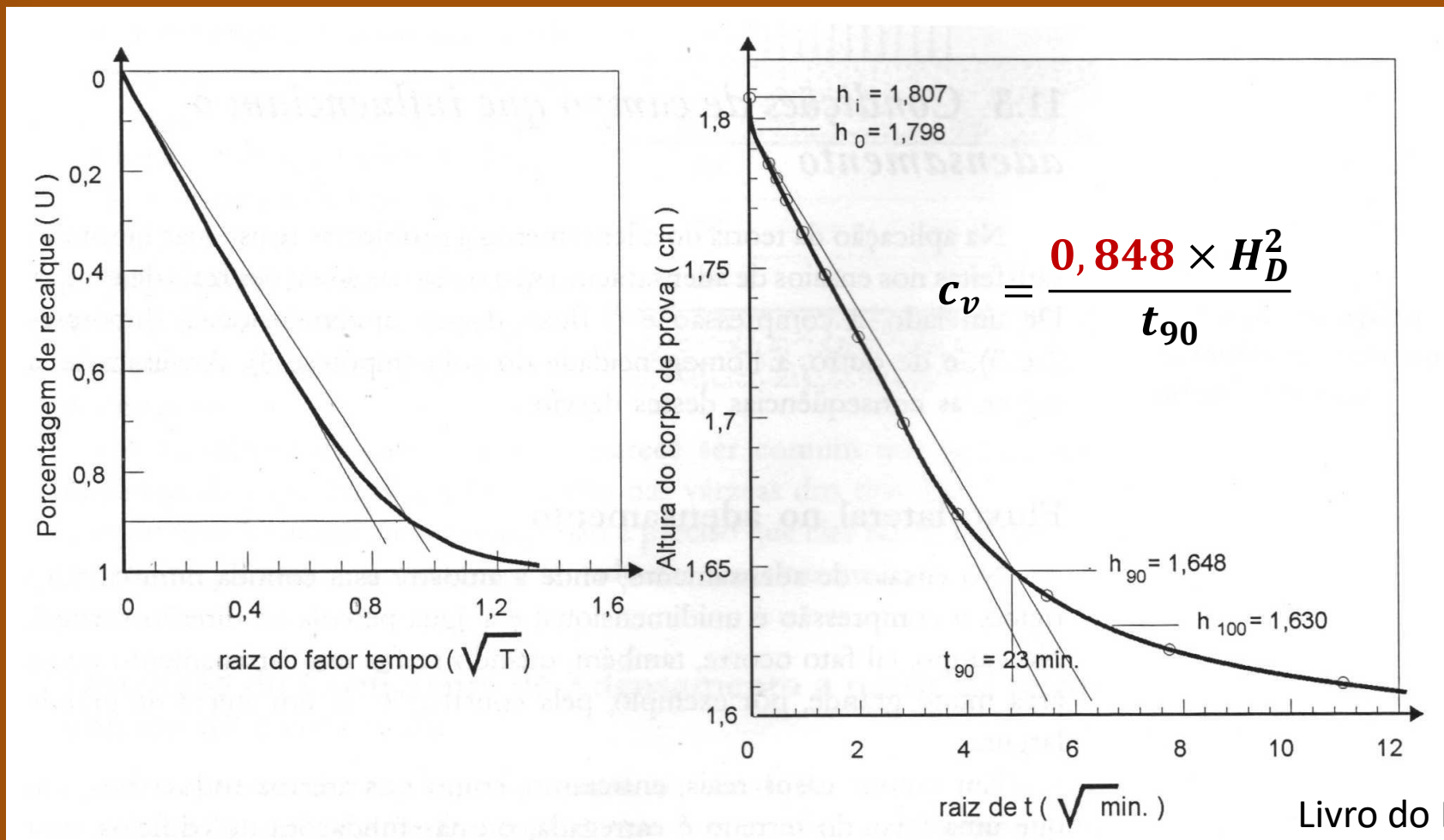
q_c – resistênci a de ponta do cone
 σ_{vo} – tensão vertical "in situ"
 N_k – fator de capacidade de carga



$N_k(\text{proj}) \cong 16$
Mesri (2001)

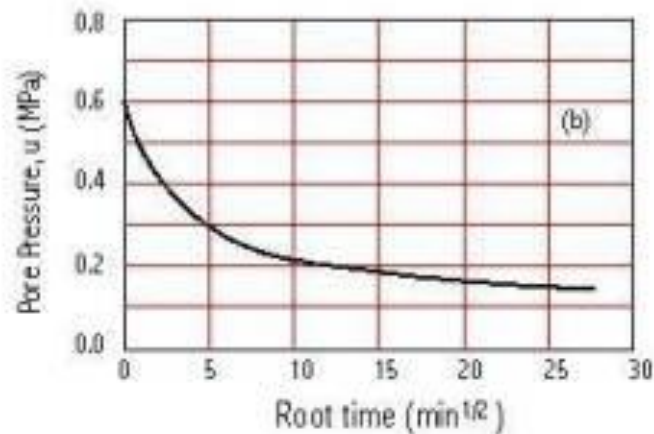
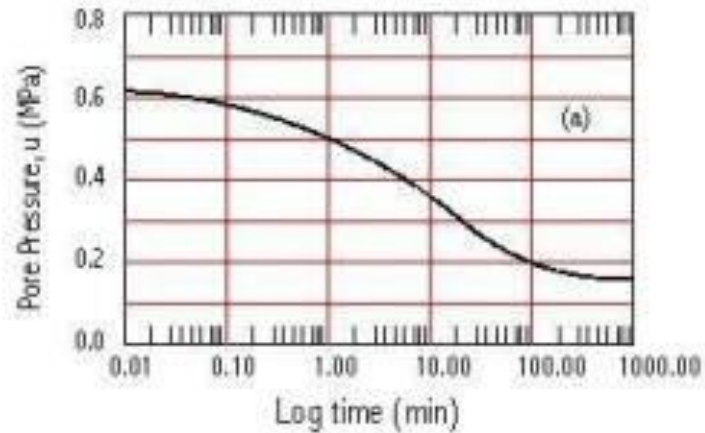
Para melhor determinar o valor de N_k é recomendável fazer ensaios vane próximos – conceito de ilhas de investigação

Ensaio de dissipação de u_T no laboratório

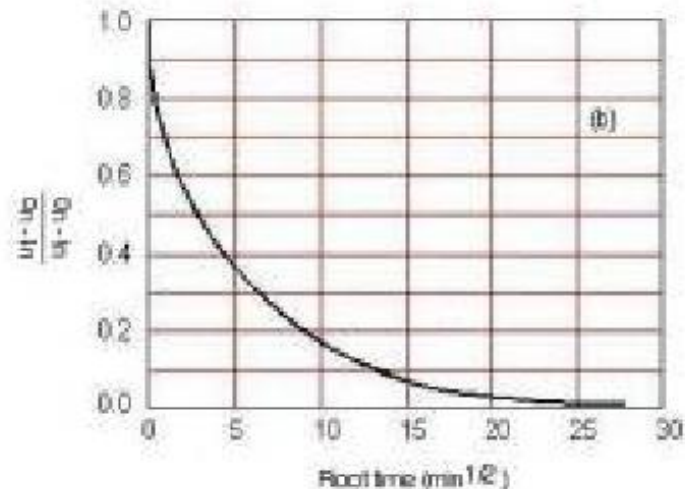
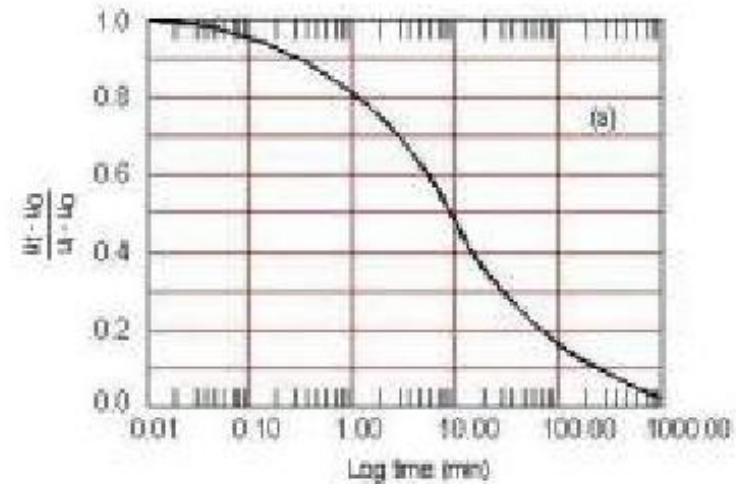


Livro do Prof. Carlos Pinto
Figs. 11.3 – determinação de c_v em laboratório pelo processo de Taylor

Ensaio de dissipação de u_T no campo



Exemplo da redução da poro pressão da água nas escalas (a) log tempo e (b) raiz quadrada do tempo.



Exemplo da redução da poro pressão normalizada nas escalas (a) log tempo e (b) raiz quadrada do tempo.

CPTu - c_h argilas

- Parâmetro importante para previsão t

$$T^* = \frac{c_h t}{R^2 \sqrt{I_r}} ; c_h = \frac{T^* R^2 \sqrt{I_r}}{t} ; I_r = G/S_u$$

Elasticidade

$$G = \frac{E}{(2(1 + \nu))}$$

Valores de T^*

1 - u (%)	Posição do filtro				
	Vértice do cone	Face do cone	Base do cone	5 raios acima da base	10 raios acima da base
20	0,001	0,014	0,038	0,294	0,378
30	0,006	0,032	0,078	0,503	0,662
40	0,027	0,063	0,142	0,756	0,995
50	0,069	0,118	0,245	1,110	1,460
60	0,154	0,226	0,439	1,650	2,140
70	0,345	0,463	0,804	2,430	3,240
80	0,829	1,040	1,600	4,100	5,240

Ensaio de dissipação de u_T no campo

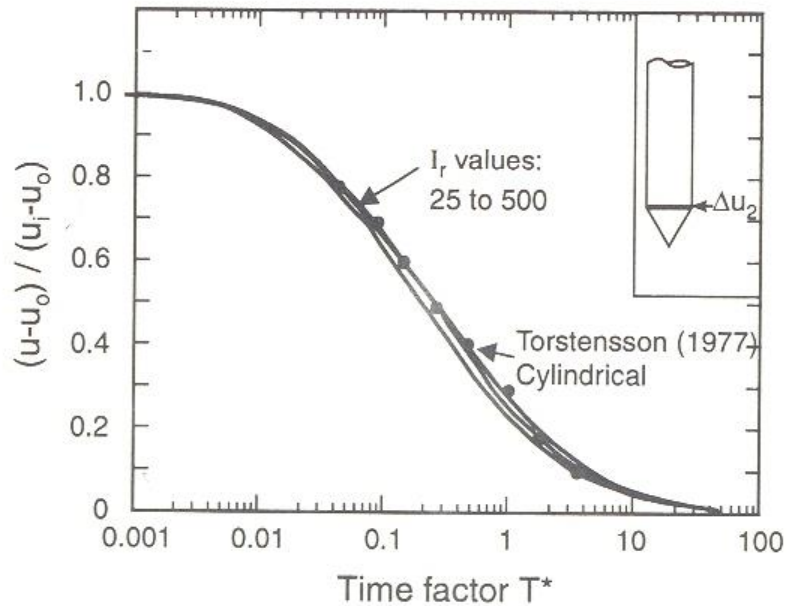


Figure 5.38 Theoretical solution of normalized pore pressure dissipation vs T (after Teh and Houlsby, 1991).

$$C_h = \frac{R^2 T^* \sqrt{I_r}}{t}$$

Coefficiente de Adensamento Horizontal (C_h)

Valores de T^* para outras posições da pedra porosa para registro de u



1 - u (%)	Posição do filtro				
	Vértice do cone	Face do cone	Base do cone	5 raios acima da base	10 raios acima da base
20	0,001	0,014	0,038	0,294	0,378
30	0,006	0,032	0,078	0,503	0,662
40	0,027	0,063	0,142	0,756	0,995
50	0,069	0,118	0,245	1,110	1,460
60	0,154	0,226	0,439	1,650	2,140
70	0,345	0,463	0,804	2,430	3,240
80	0,829	1,040	1,600	4,100	5,240

Ensaio de Dissipação Coeficiente de Adensamento Horizontal (c_h)

$$c_h = \frac{R^2 T^* \sqrt{I_r}}{t}$$

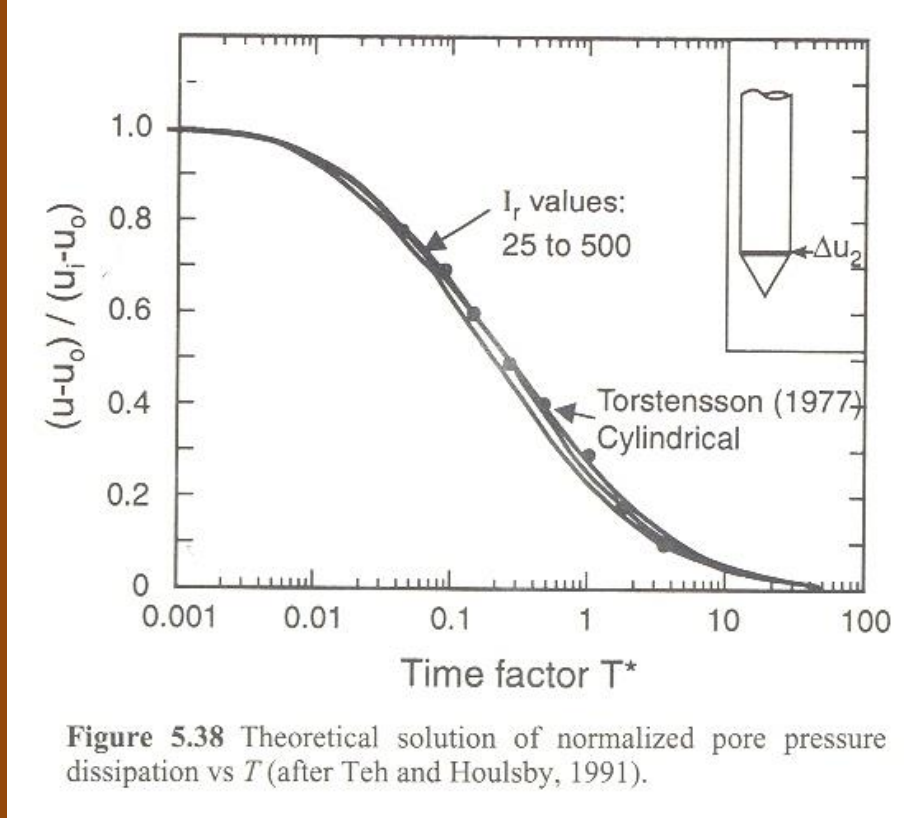
R : raio médio do piezocone, igual a 17,85mm;

T^* : fator tempo adimensional para uma dada percentagem de dissipação;

I_r : índice de rigidez do solo ensaiado = G/s_u ;

t : tempo de dissipação necessário para uma dada percentagem de dissipação.

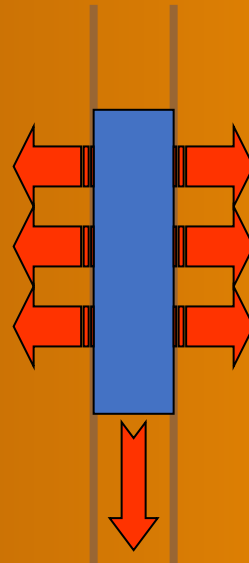
Os valores de T^* são obtidos a partir de gráficos



Soluções teóricas para definição de T^* , em função da percentagem de dissipação (Apud Lunne et al, 1997).

Ensaio Pressiométrico

- Pressiômetros em perfurações.
- Pressiômetros autoperfurantes.
- Pressiômetros cravados.



Ensaio Pressiométrico

- Medida contínua do comportamento tensão deformação.
- Interpretação racional: expansão de cavidade

A teoria considera que não haja perturbação durante a inserção do pressiômetro. Mantendo assim o estado de tensão inicial do solo

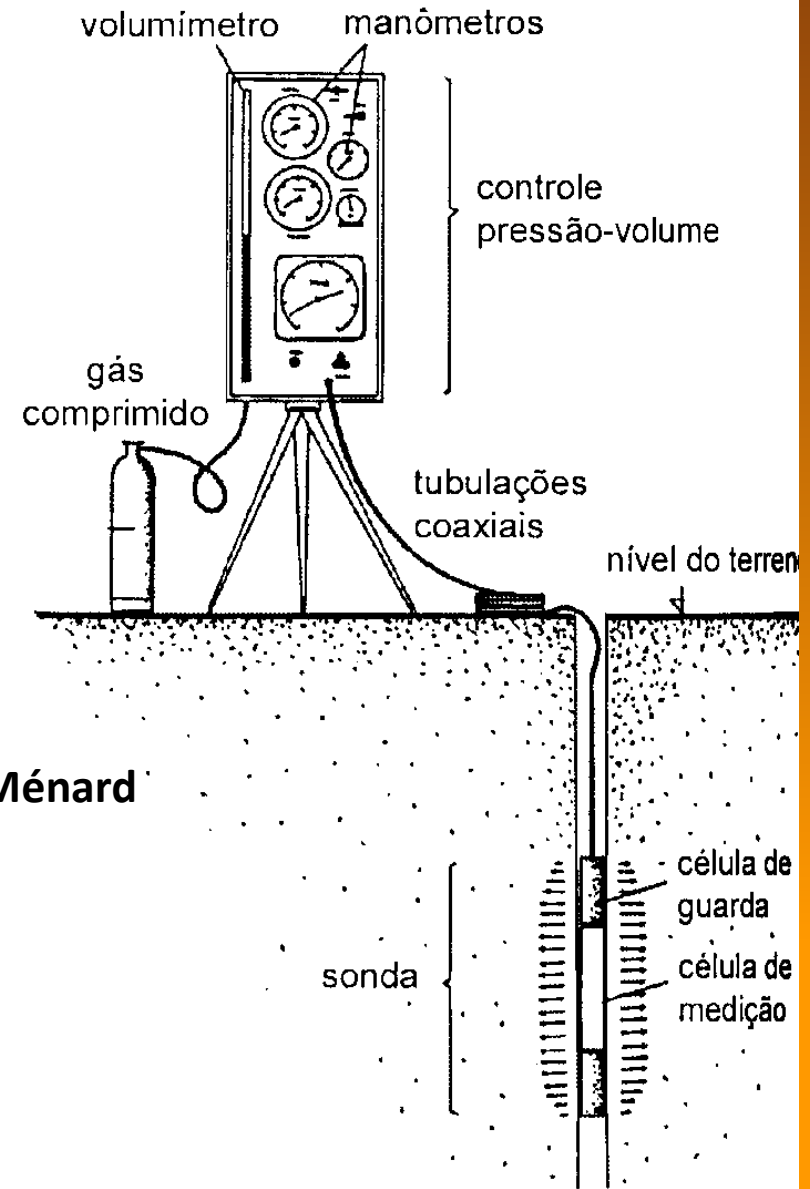
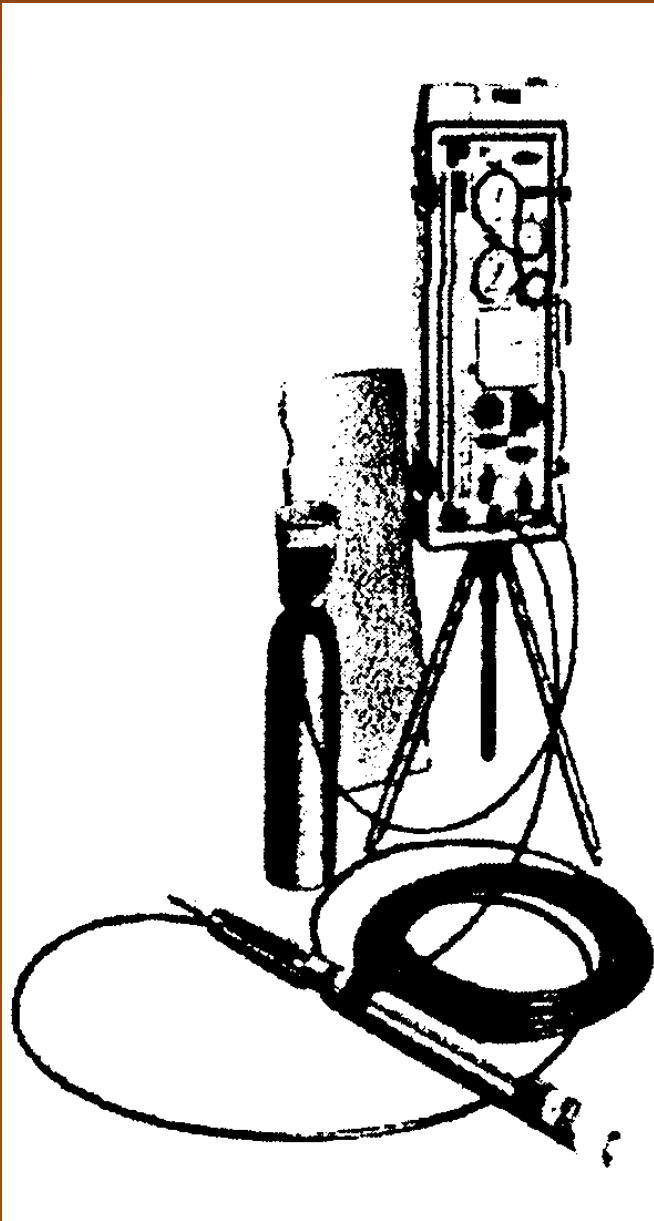
Pressiômetro - Tipos

- Ménard (MPM): instalado em pré-furo
- Auto-perfurante: *self boring pressuremeter* (SBP)
 - *pressiomètre auto foreur* (PAF)
 - Cambridge-Ko-meter (Camkometer)

Em geral:

$2,5 < P < 10$ MPa em solo

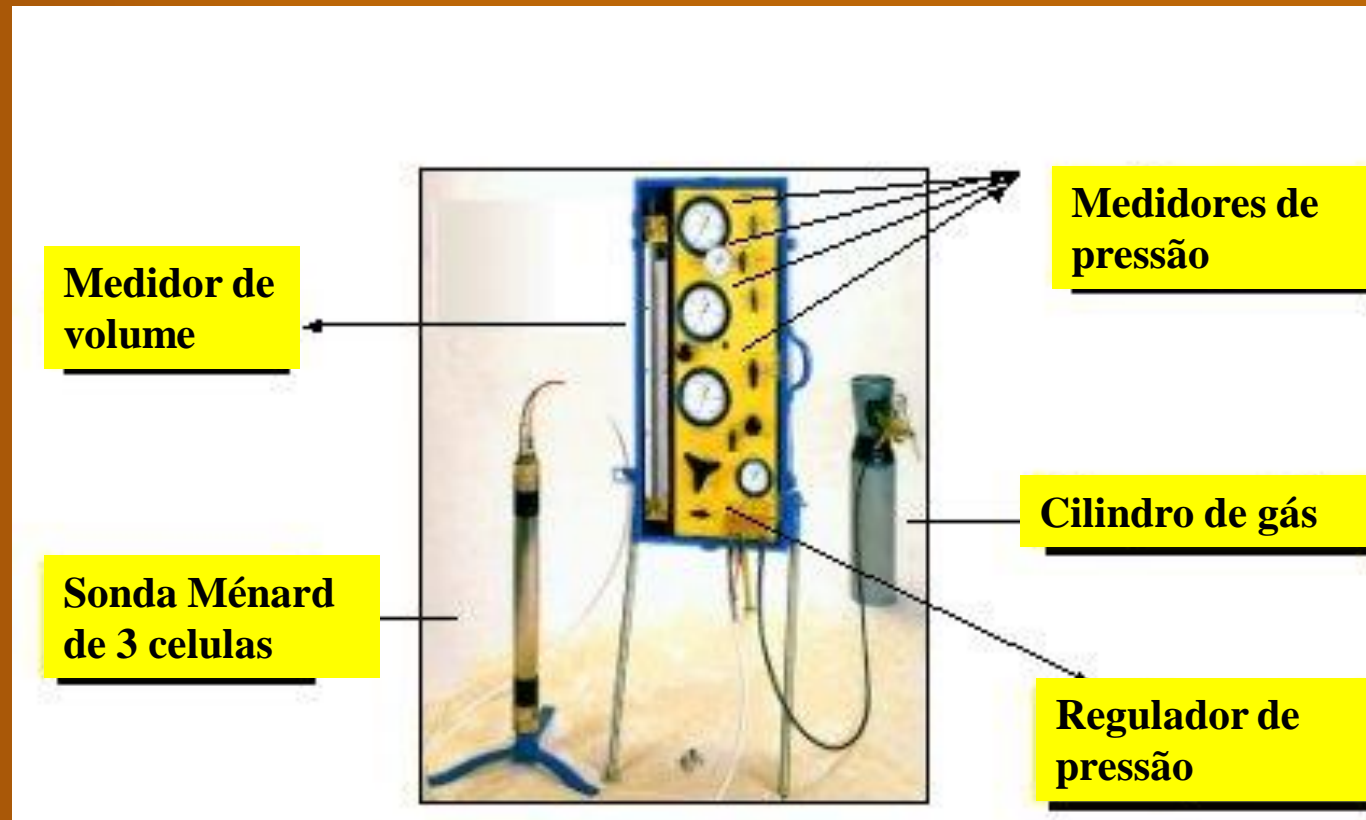
$10 < P < 20$ MPa em rocha



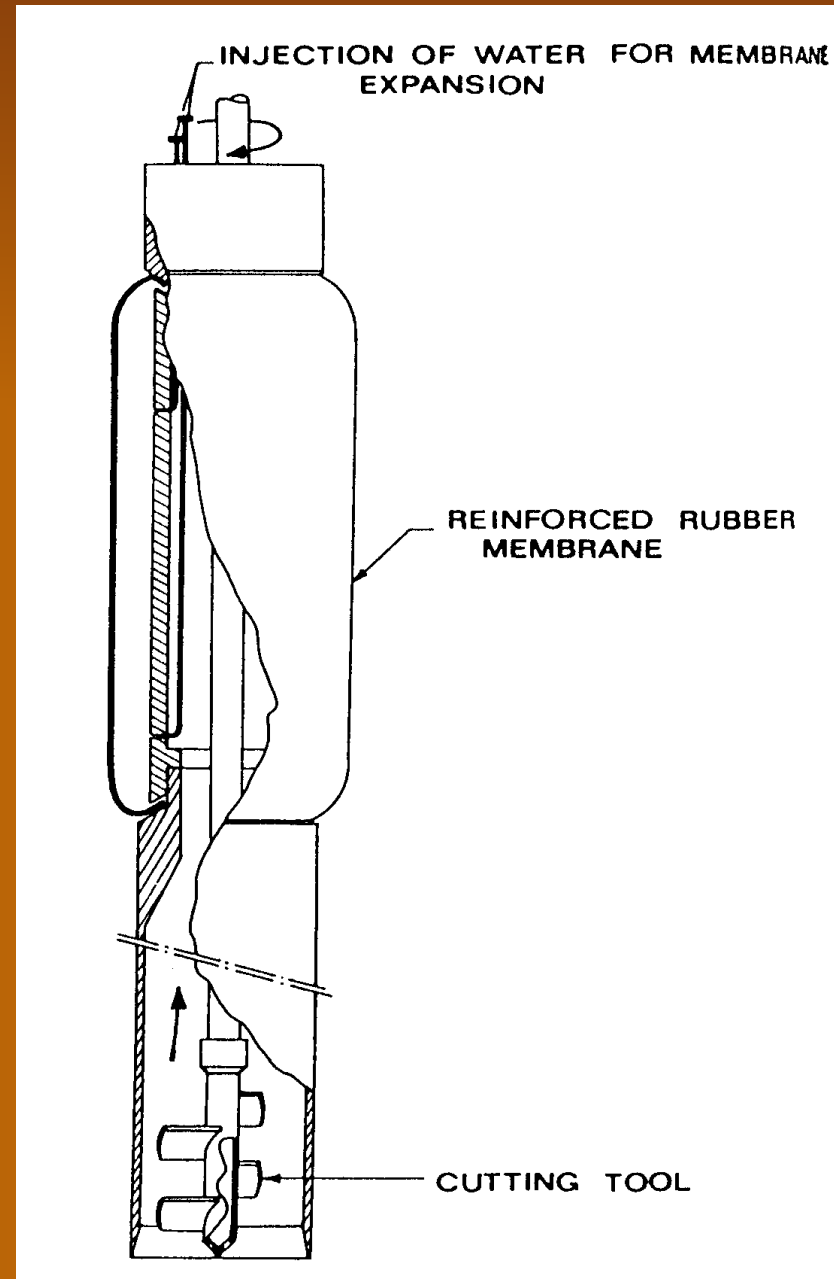
Pressiômetro Ménard

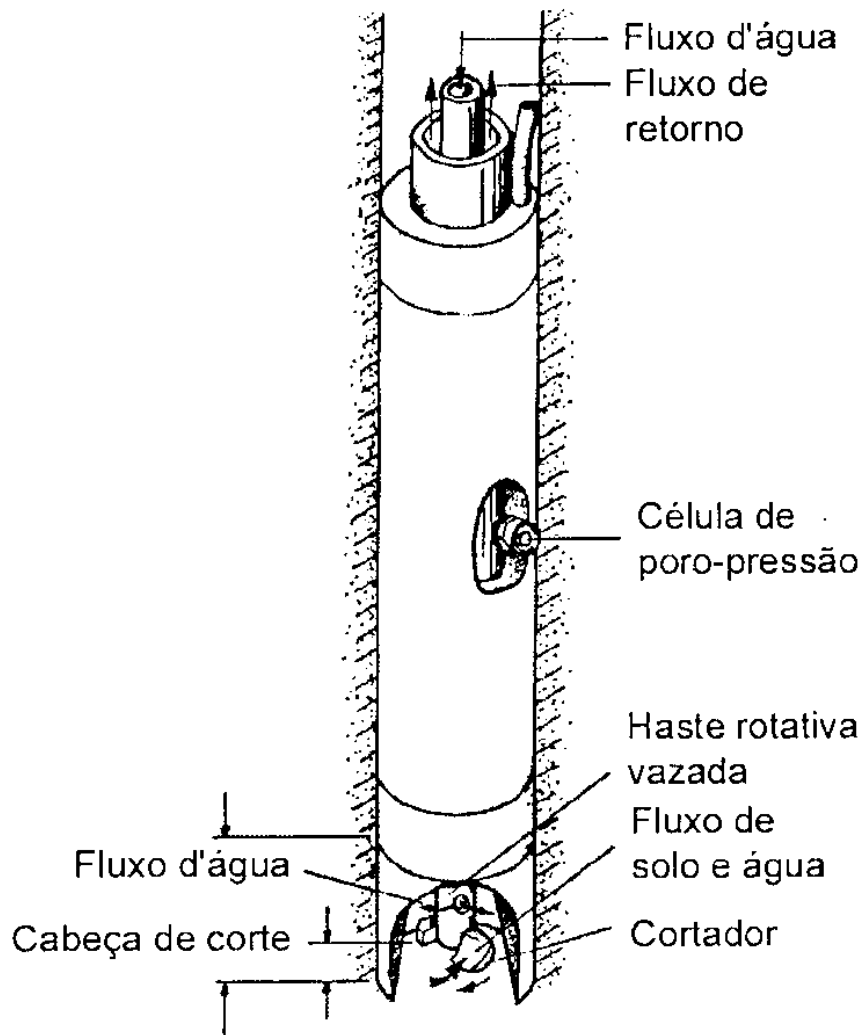
Ensaio Pressiométrico

- Pressiômetro em perfurações (Ménard).

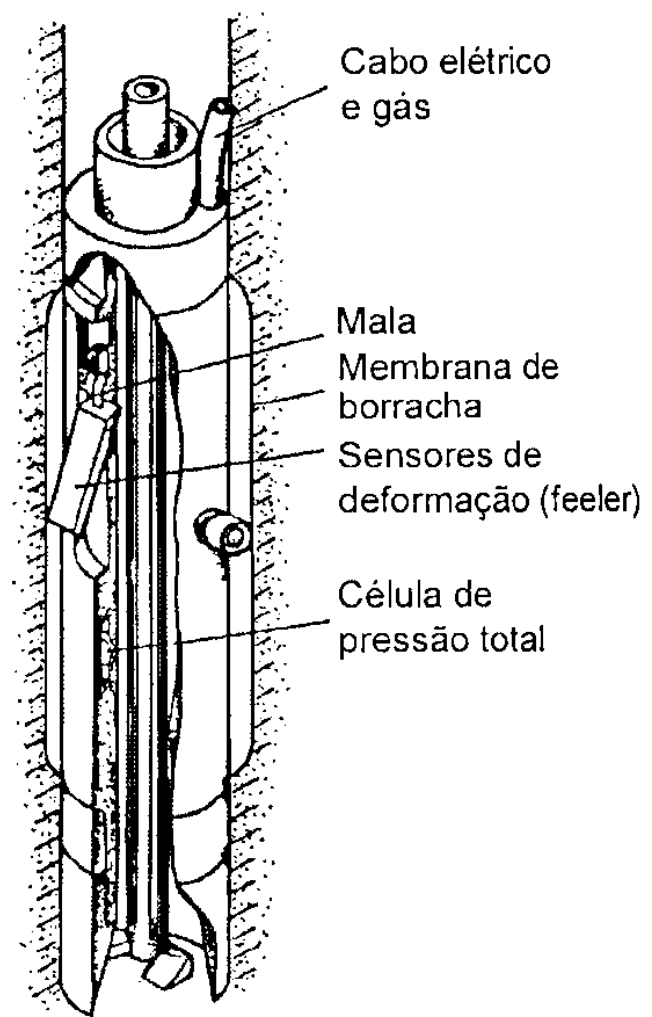


PAF





Módulo de cravação



Módulo de ensaio

Pressiômetro – SBP

- Camkometer (**Cambridge-Ko-Meter**)
 - expansão da membrana através de gás (N₂)
 - deslocamento da parede através de braços
 - cilindro rígido
 - lâmina cortante acionada através de haste ligada ao topo (rotativa)

Ensaio Pressiométrico

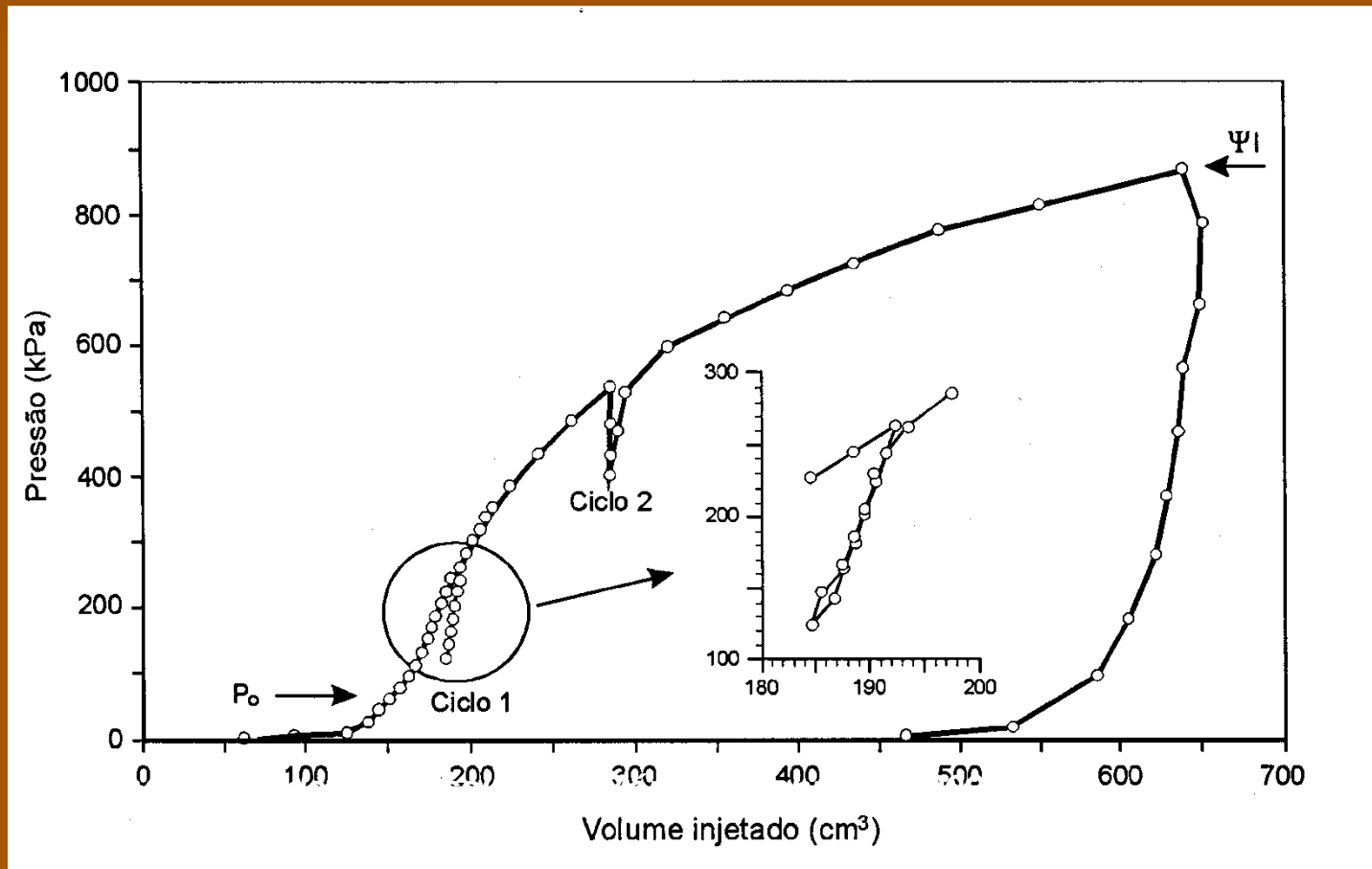
Ensaio com Camkometer



Pressiômetro-Parâmetros

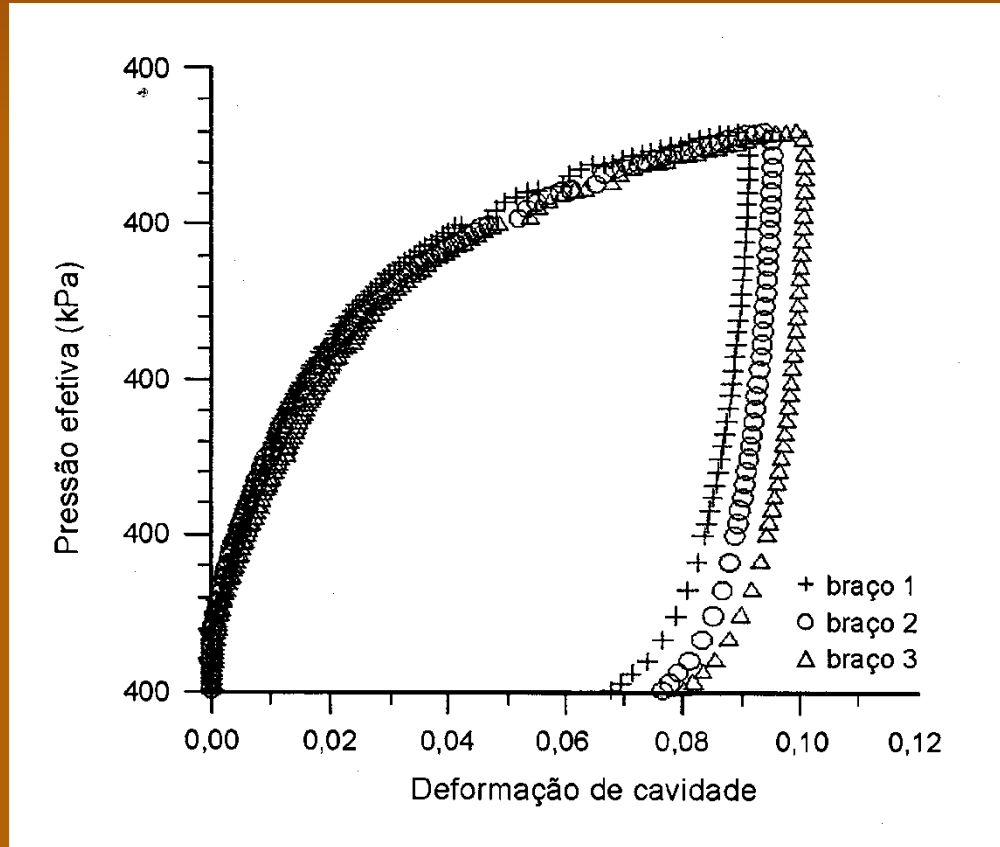
- Parâmetros de projeto possíveis de serem obtidos:
- rigidez ($G = E / (2(1+\nu))$)
- tensões horizontais in situ (σ_{ho})
- resistência drenada (ϕ) e não-drenada (s_u)
- permeabilidade e c_h
- Vantagens
 - parâmetros a partir de um único ensaio
 - condições de contorno bem definidas

Curva típica de um ensaio com pressiômetro Ménard



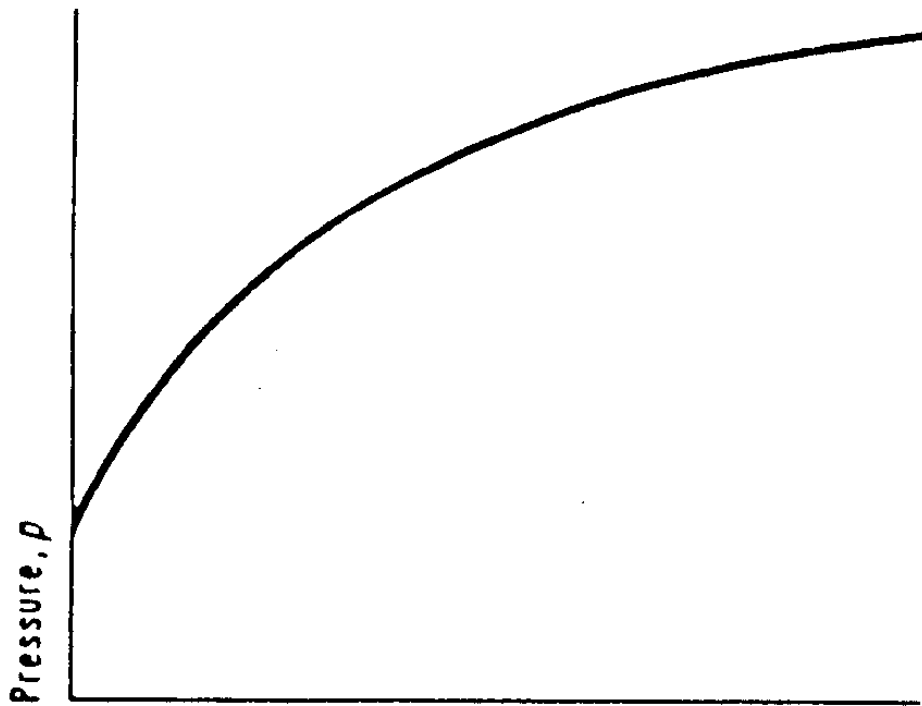
Curva típica de um ensaio com pressiômetro autoperfurante

CAMKOMETER

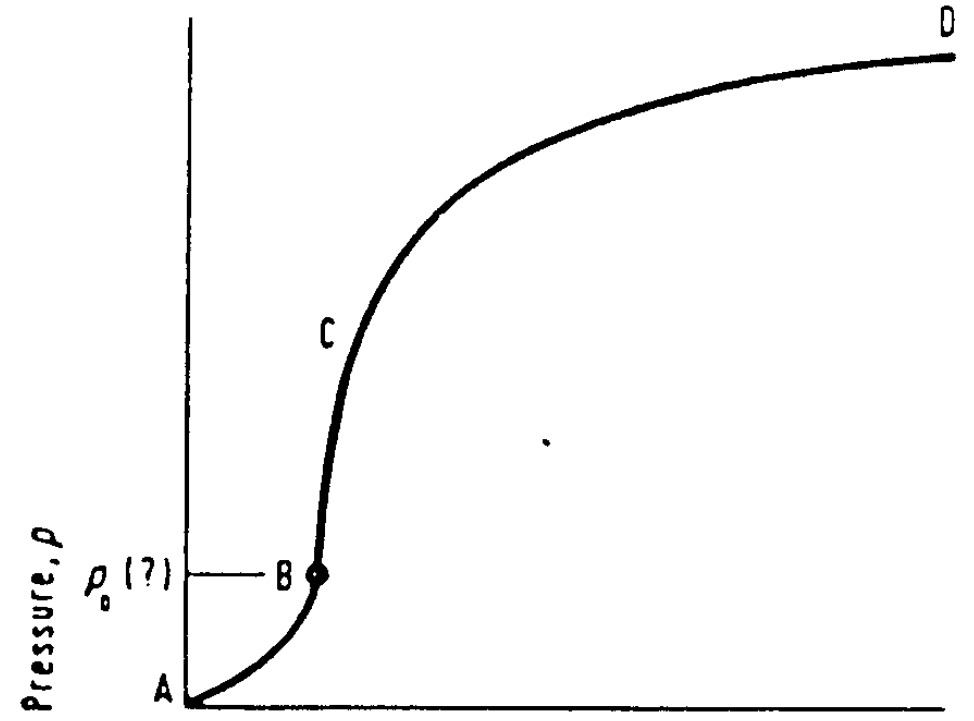


Curva típica de um ensaio pressiométrico autoperfurante (Abramento & Sousa Pinto, 1998).

Auto perforante x Ménard



(a) Ideal self-boring pressuremeter



(b) Ménard pressuremeter

Ensaio Pressiométrico

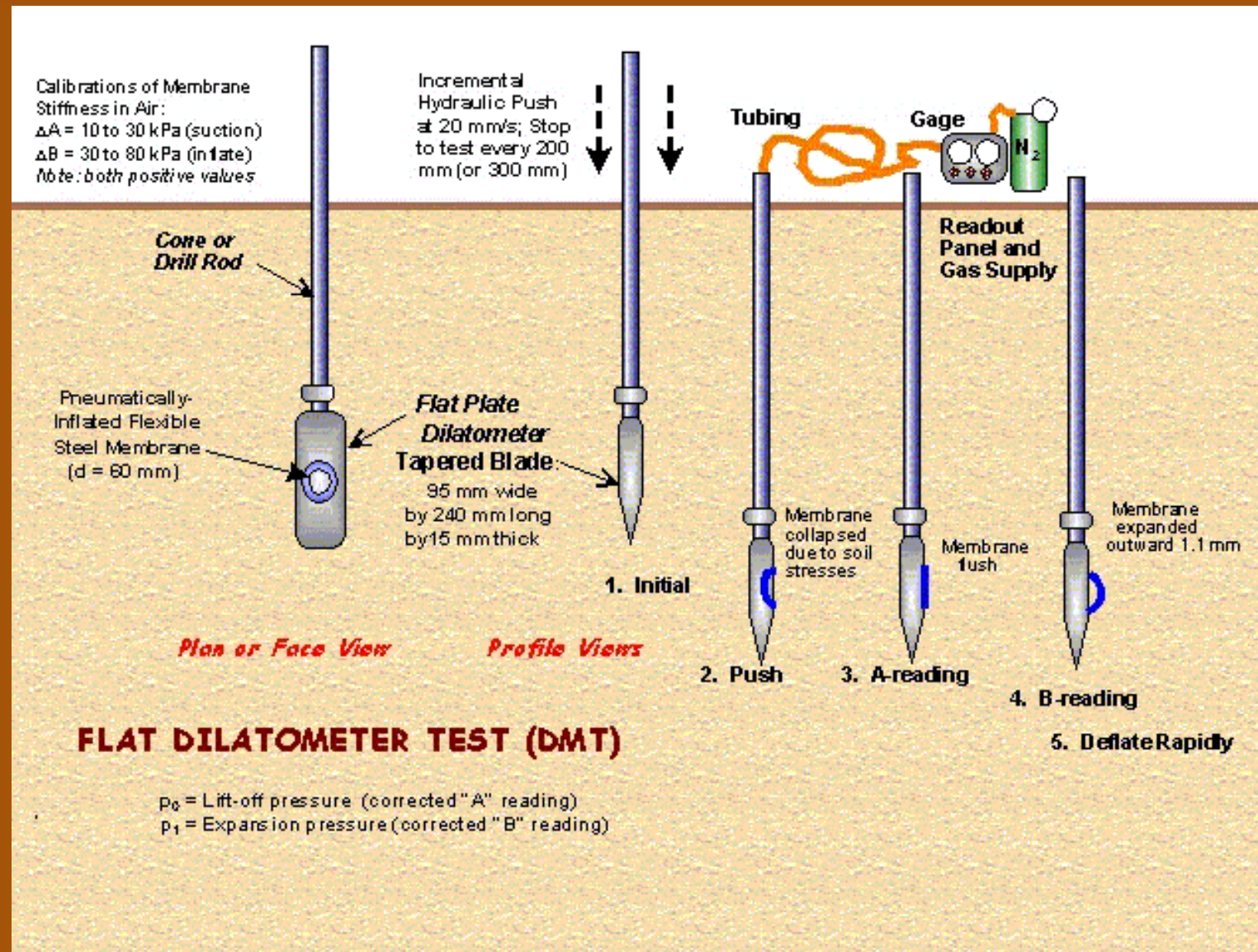
Pressiômetro cravado.



Ensaio Dilatométrico - DMT

- Concebido por Marchetti (1975)
- Patenteado em 1977 na Itália
- Normalizado nos EUA e Europa
- Estimativa semi-empírica: K_0 , E , OCR , s_u , ϕ'
- Estimativa do tipo de solo
- Brasil: em expansão

Ensaio Dilatométrico - DMT

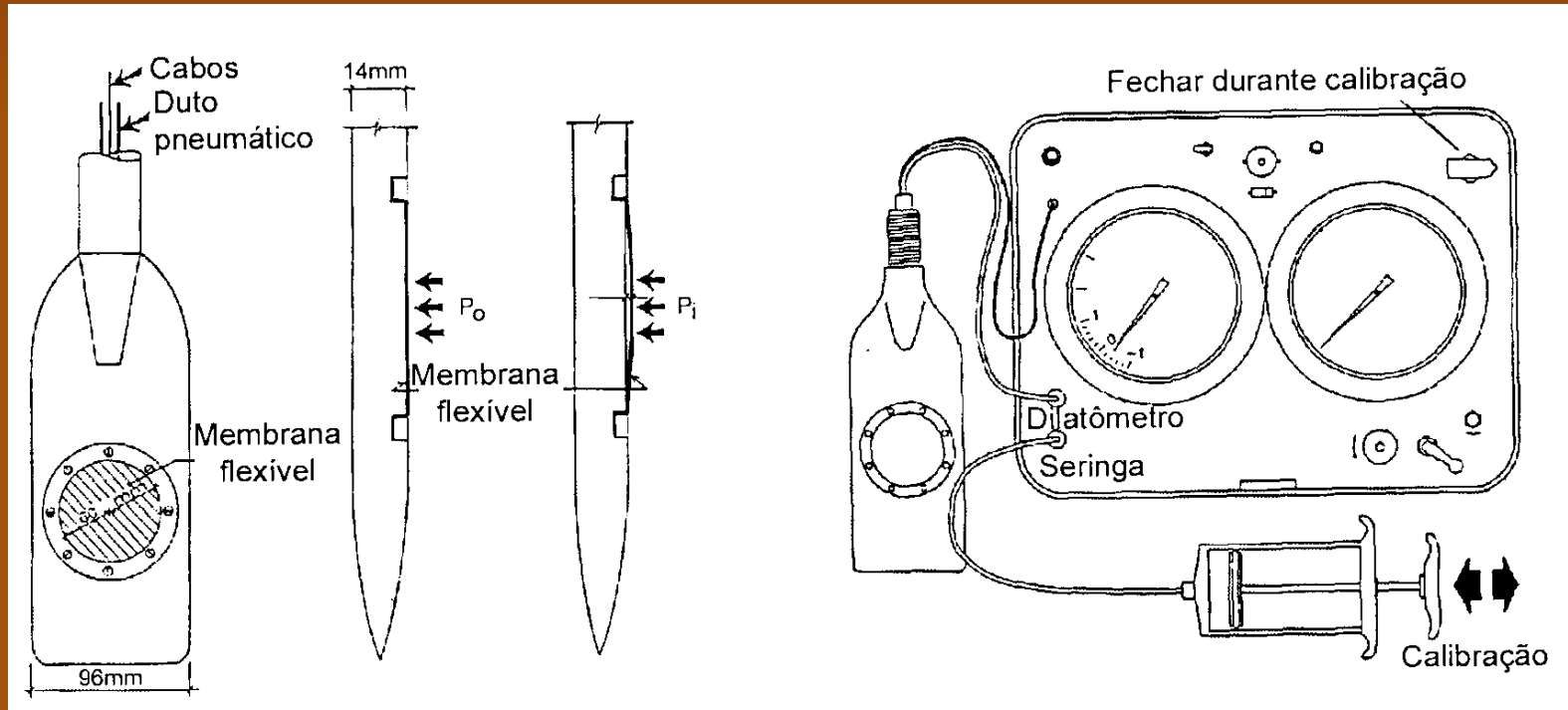


DMT - Características

- Lâmina dilatométrica
- Unidade de controle de pressões
- Cabo elétrico-pneumático
- Penetração estática da lâmina (2 a 4 cm/s)
- Penetração interrompida a cada 20 cm para injeção de gás e medidas de pressões

Ensaio Dilatométrico - DMT





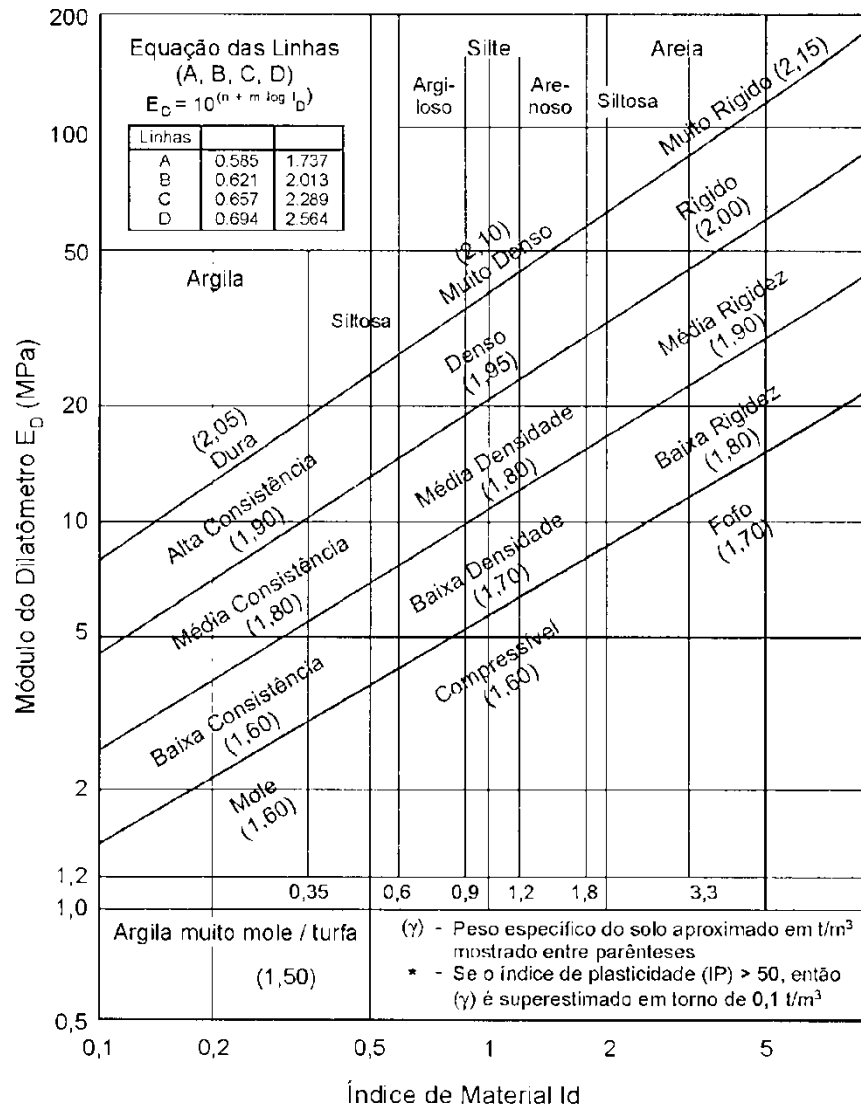
- Medem-se três pressões:
 - P_0 : pressão p/ desloc. horizontal de 0,5 mm
 - P_1 : pressão p/ desloc. de 1,1 mm
 - P_2 : pressão residual p/ desloc. de 0,5 mm (retorno)

DMT - Correlações

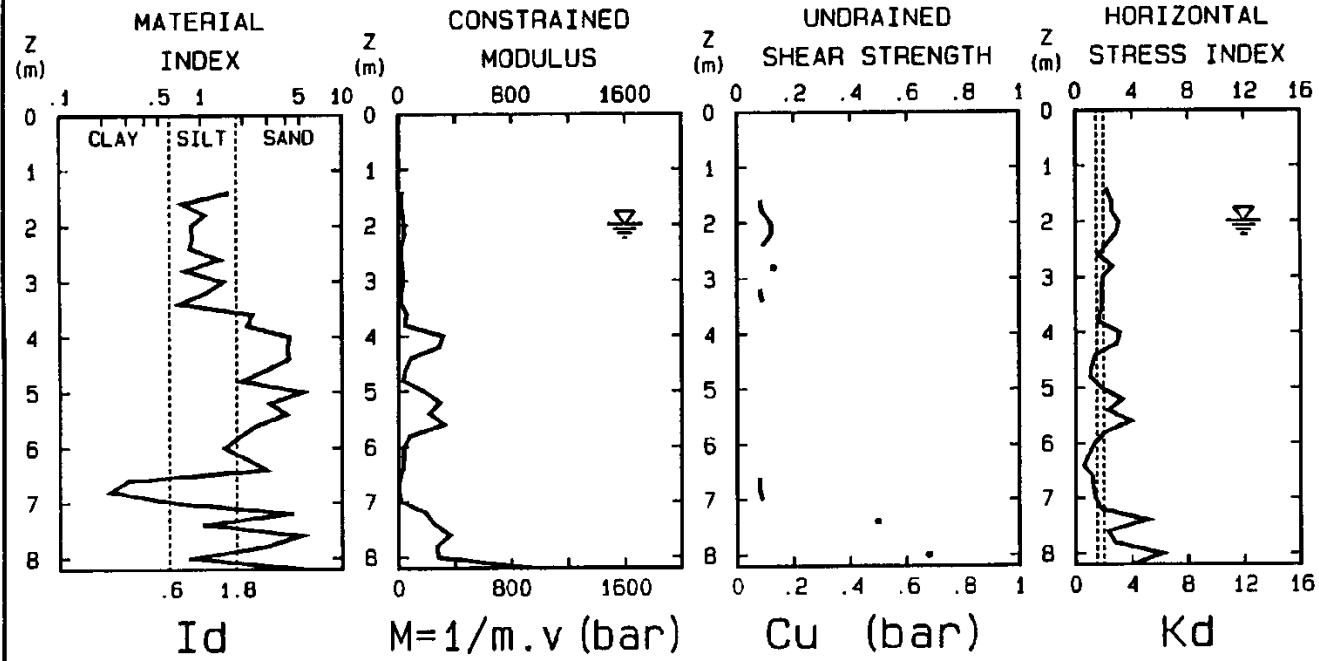
- $P_0 \Rightarrow$ Tensão horizontal in situ (K_0)
- $P_1 - P_0 \Rightarrow$ Módulo de Elasticidade (E)
- $P_2 \Rightarrow$ sobrepressão neutra na cravação

DMT – Índices Dilatométricos

- Módulo dilatométrico $E_d = 34,7 (P1-Po)$
- Índice de material: $I_d = (P1-Po) / (Po-u_o)$
- Índice da tensão horiz.: $K_d = (Po-u_o) / \sigma'_v$



Classificação dos solos (E_d e I_d)

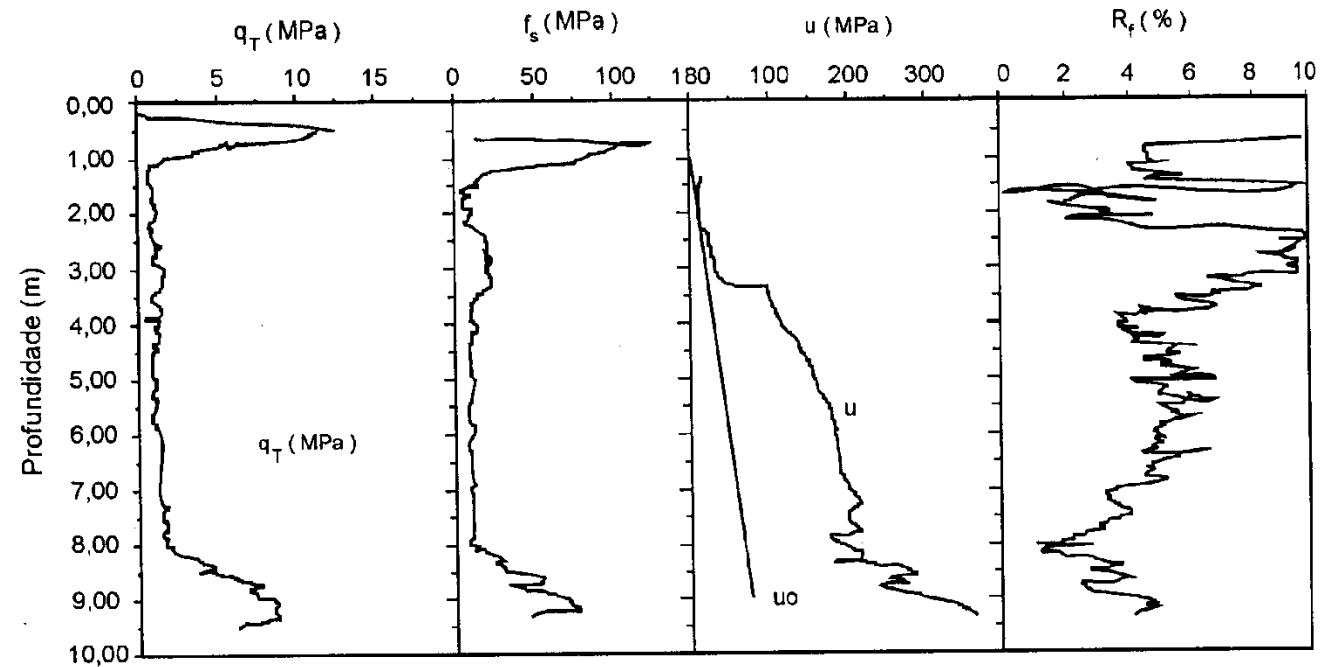


SAO PAULO BACKYARD INTERPRETED GEOTECHNICAL PARAMETERS	INSTITUTO DE ENGENHARIA TESTE PARA DEMONSTRACAO	TEST D1
		18 OCT 1995

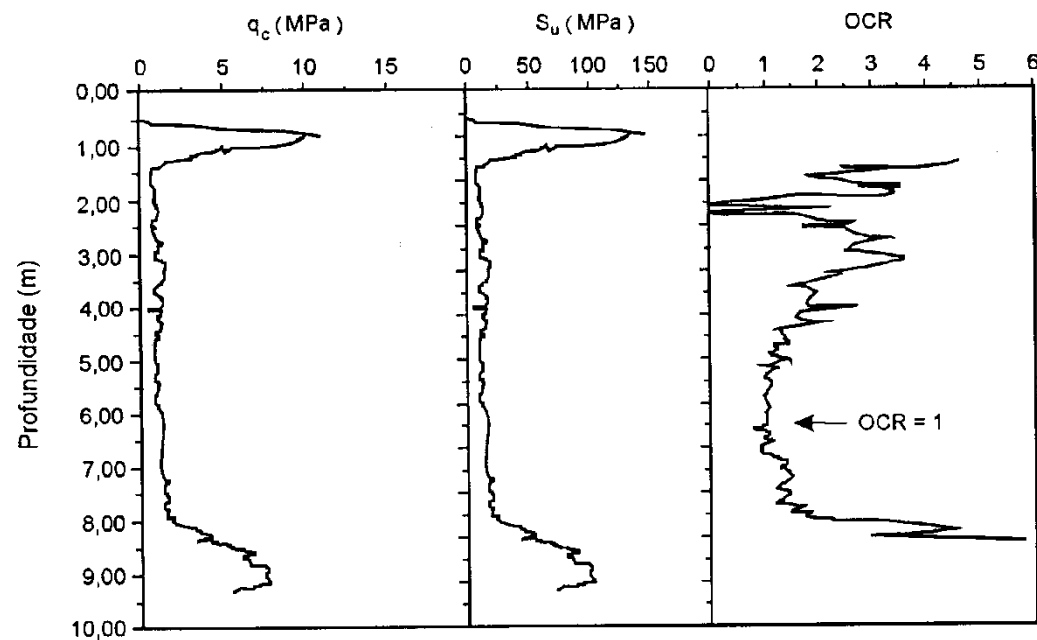
Outros Resultados

Cone CPTU

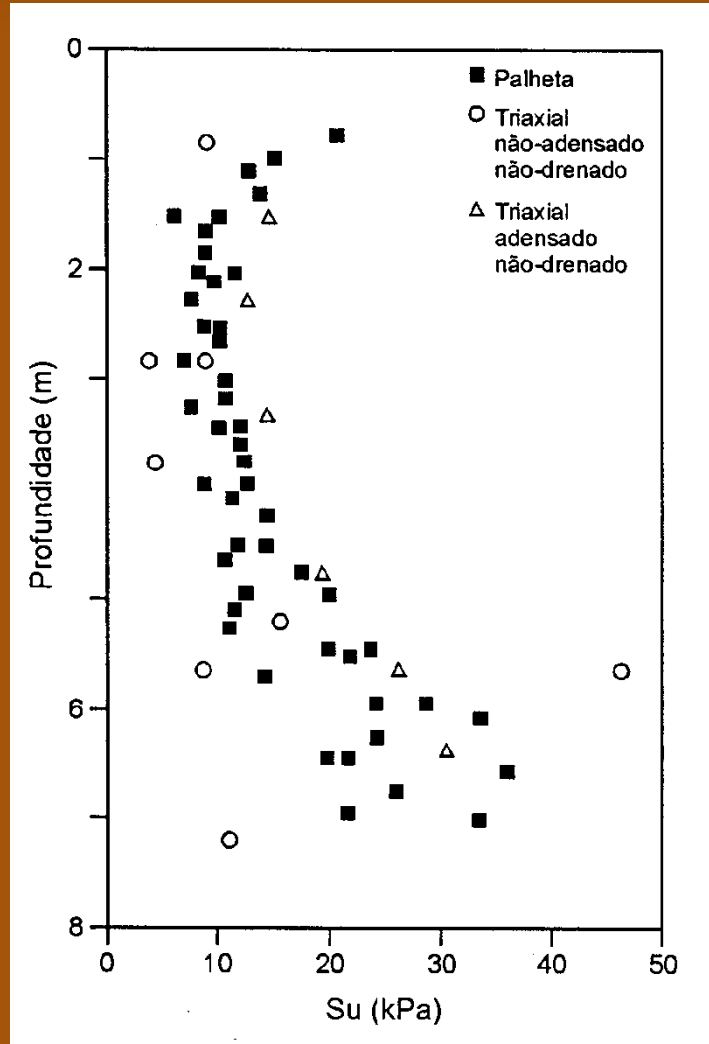
*Ensaio CPTU na
área de ampliação
do Aeroporto
Internacional
Salgado Filho
(Schnaid, 2000).*



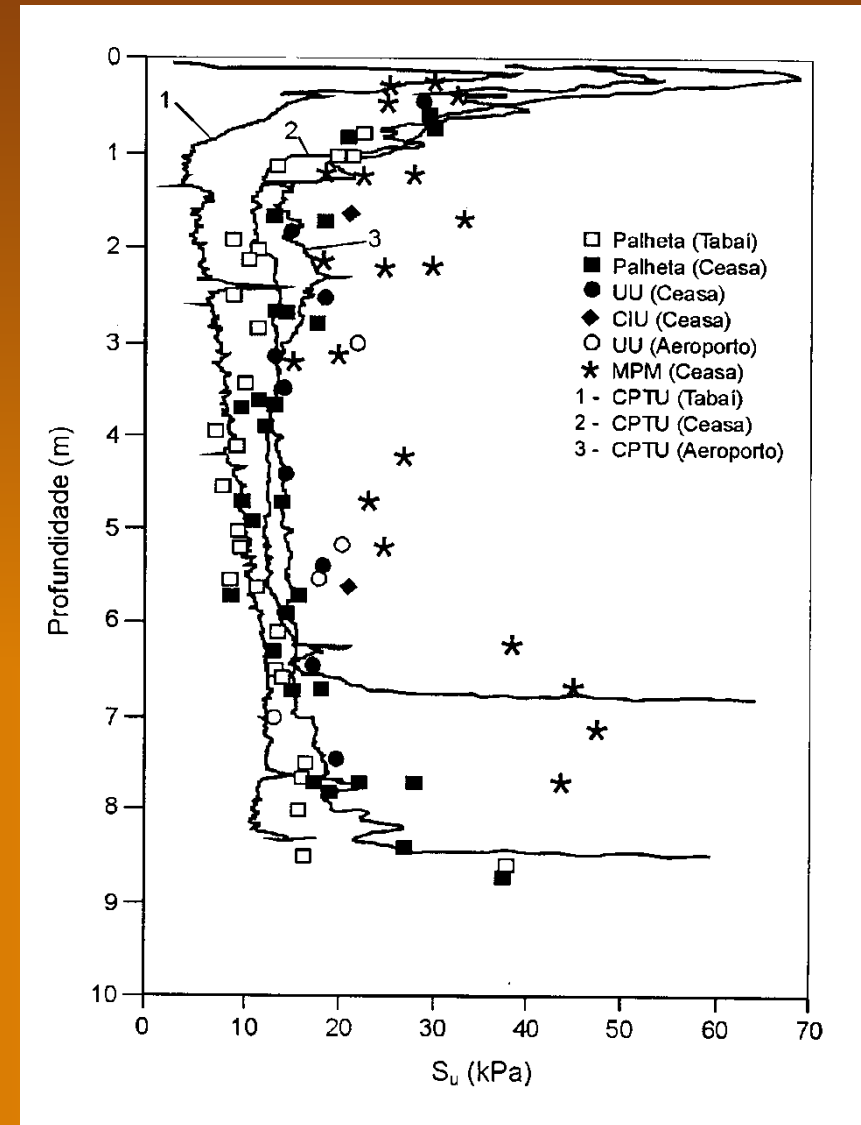
*Valores estimados
de S_u e OCR
do depósito de argilas
moles do
Aeroporto
Internacional
Salgado Filho
(Schnaid, 2000).*



Comparação entre ensaios de palheta e triaxiais



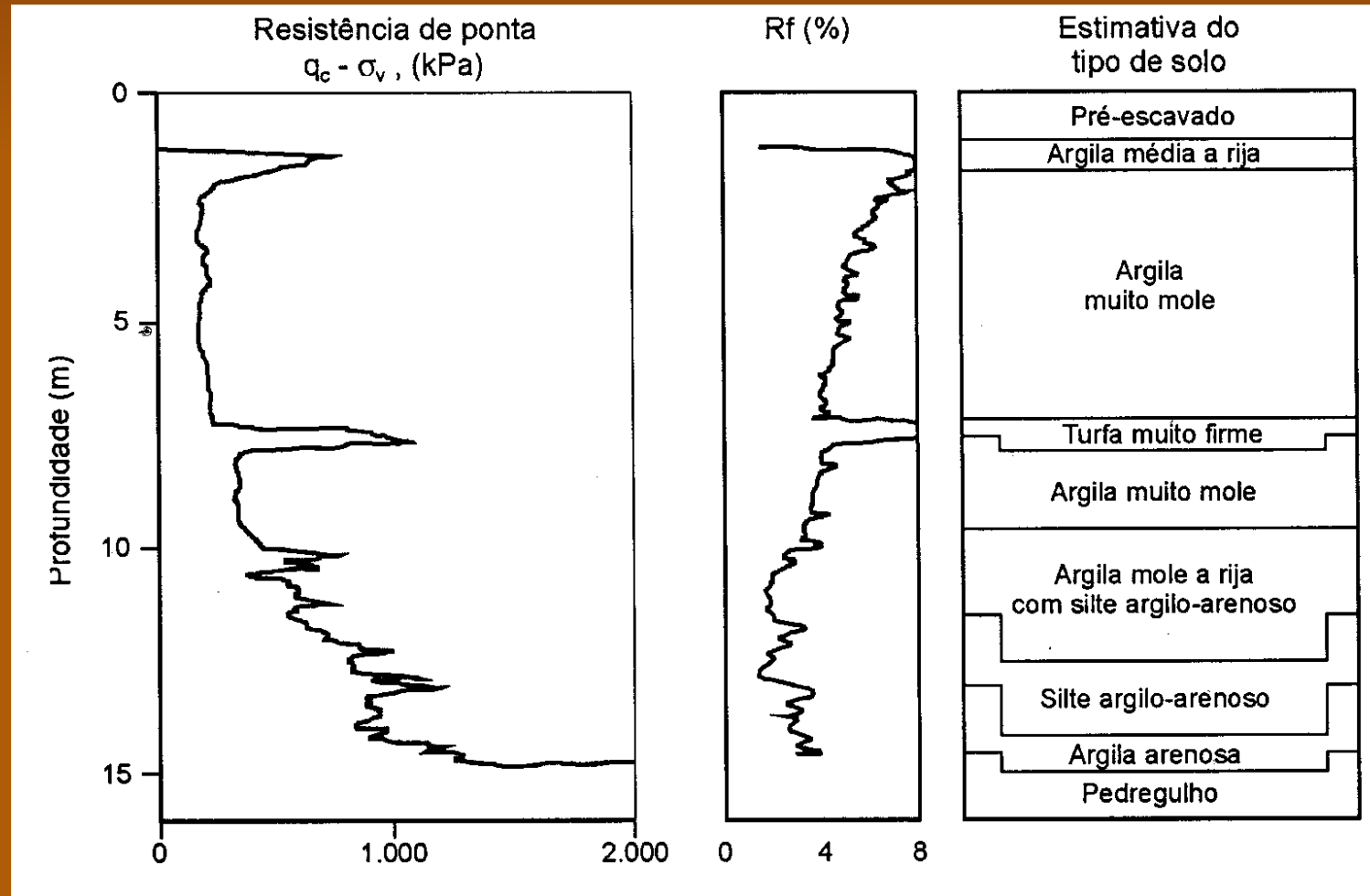
Perfil de resistência não drenada (Schnaid, 2000).

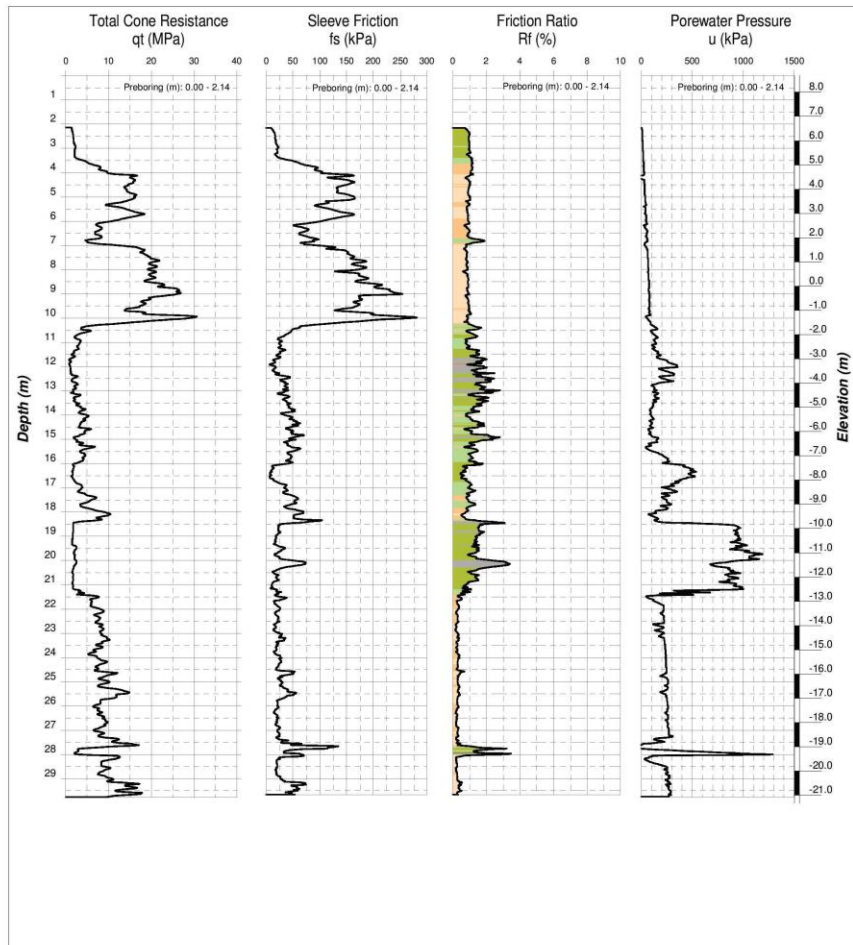


Varição de S_u com a profundidade (Schnaid, 2000).

Cone CPTu

Perfil típico do terreno natural (Schnaid, 2000).





Soil classification with CPT data
(after Robertson et al., 1986)

Vertical Scale 1:200

Legend (Colors in Friction Ratio Profile)

1 Sensitive, fine grained	7 Silty sand to sandy silt
2 Organic soils, peat	8 Sand to silty sand
3 Clay	9 Sand
4 Clay to silty clay	10 Gravely sand to sand
5 Clayey silt to silty clay	11 Very stiff fine grained soil
6 Sandy silt to clayey silt	12 Sand to clayey sand

Soil type 11 and 12 are overconsolidated or cemented

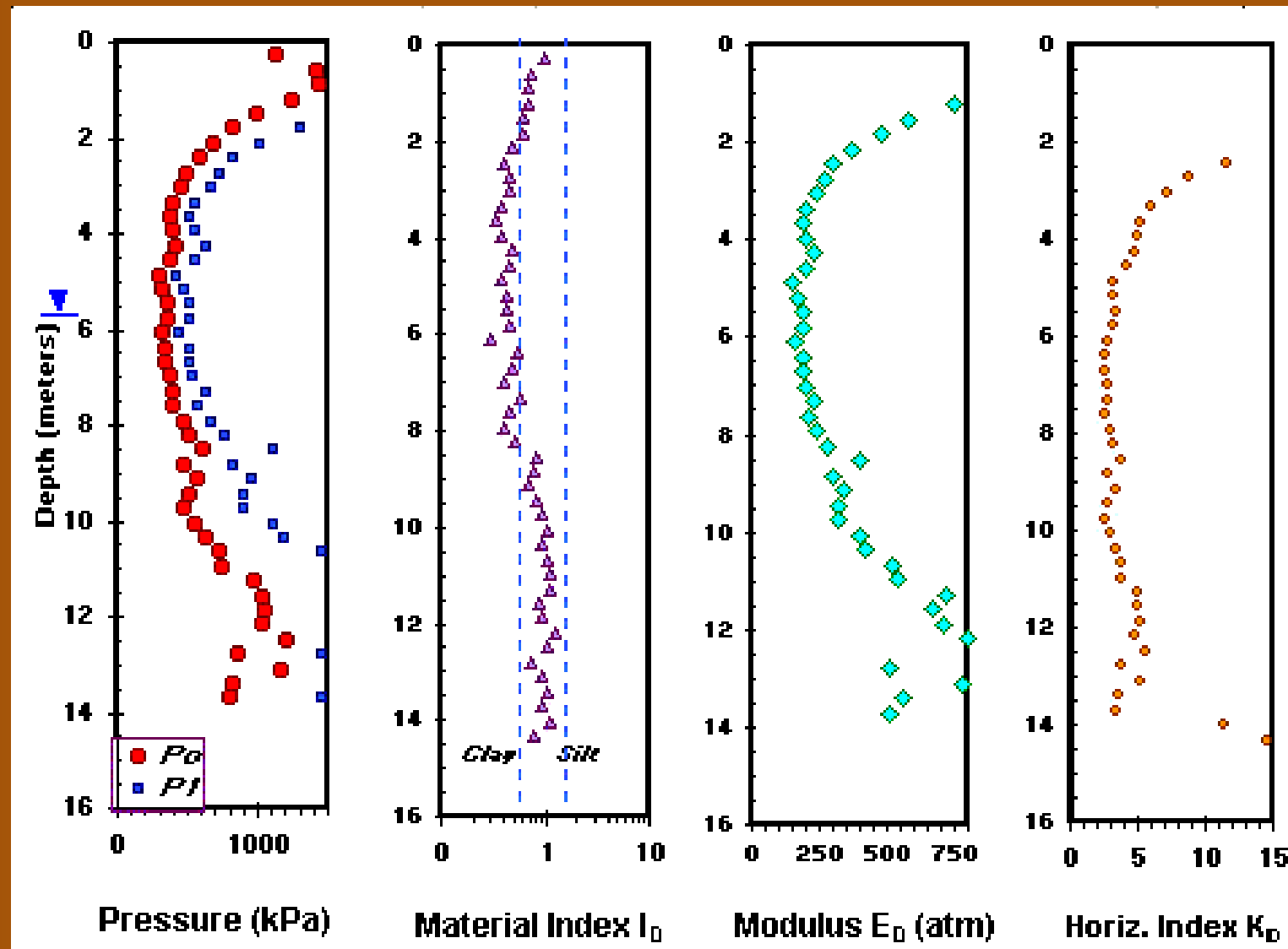
FUGRO
FUGRO IN SITU GEOTECHNICA

Client:
UFRGS

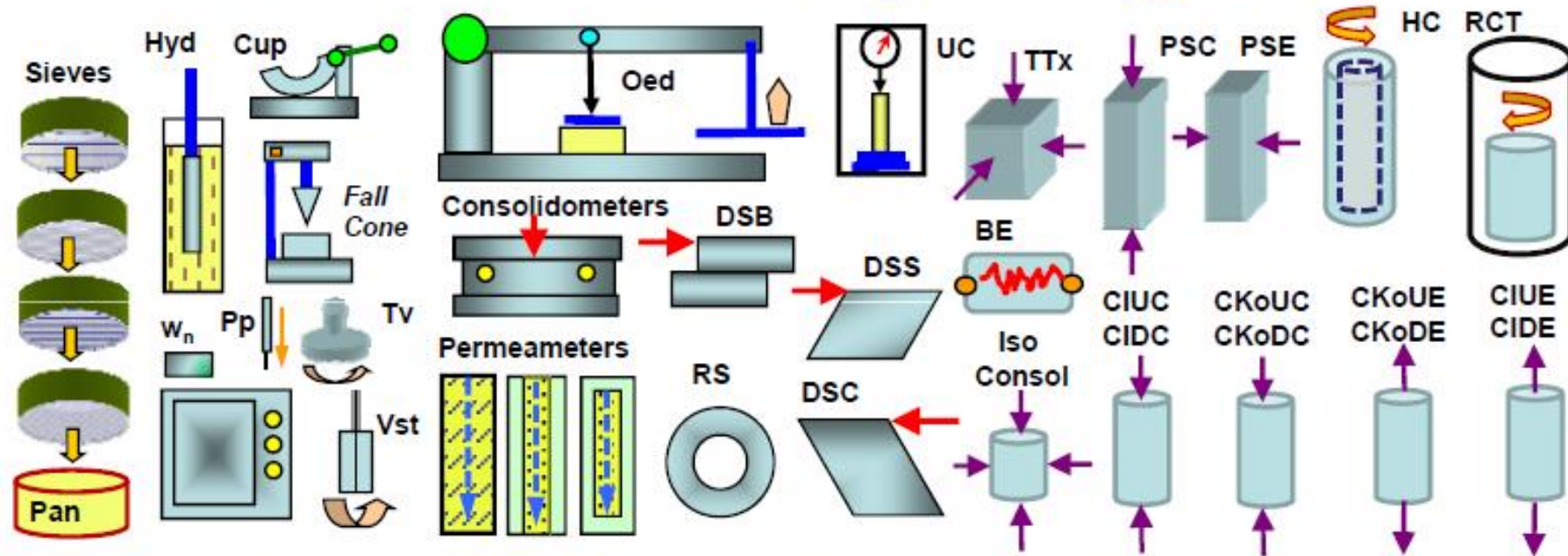
Project/Local:
EXPERIMENTAL LANDFILL
JOINVILLE/SC

CPTu-F04	Coord. E: 727027	Elevation (m): 8.69
	Coord. N: 7068839	Water level (m): 1.70
	Final Depth (m): 29.76	
Coordinator/ Technical Manager: GUILHERME VARELA	Report Number: URS-01-GRE-02	1/1
Processed by: ARON	Test Date: 06/26/2014	

Índices do ensaio dilatométrico



Mechanical Laboratory Testing Methods



Grain size analyses

Hydrometer

Water content by oven

Liquid limit cup

Plastic limit thread

Fall cone device

Pocket penetrometer

Torvane

Unconfined compression

Miniature vane

Digital image analysis

Mechanical oedometer

Consolidometer

Constant rate of shear (CRS)

Falling-head permeameter

Constant-head permeameter

Flow permeameter

Direct shear box

Ring shear

Unconsolidated undrained Tx

Simple shear

Directional shear cell

Triaxial apparatus (iso-consols,

CIUC, CKoUC, CAUC, CIUE, CAUE,

CKoUE, stress path, CIBC, CKoDC,

CIDE, CKoDE, constant P')

Plane strain apparatus (PSC, PSE)

True triaxial (cuboidal)

Hollow cylinder

Torsional Shear

Resonant Column Test device

Non-resonant column

Bender elements

Considerações Finais

- O conhecimento das condições do subsolo é fundamental para projetos de qualquer obra.
- O custo envolvido com a investigação no Brasil é da ordem de 0,2 a 0,5% do custo total da obra.
- A programação das investigações é tão importante quanto a própria campanha de ensaios.
- O fator de segurança e custos de uma obra estão associados e dependem do detalhamento e interpretação das investigações.