

# INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS

Prof. Maristâni G. Spannenberg F.

## INVESTIGAÇÃO DE SUBSOLO

### Métodos de Investigação:

- DIRETOS;
- SEMI-DIRETOS;
- INDIRETOS.

## MÉTODOS DIRETOS


- Permitem a **retirada de amostras** do solo e, conseqüentemente:
  - **Identificação** do solo;
  - **Classificação** do solo;
- **Resistência** das diversas camadas de solo.

Um exemplo típico é o Ensaio **SPT**

**STANDARD PENETRATION TEST**

## MÉTODOS DIRETOS (SONDAGENS)

Permitem a **retirada de amostras** do solo

- Sondagem a varejão
- Sondagem a trado
- Poços, trincheiras e galerias
- Sondagem a percussão  **SPT**
- Sondagem rotativa

## OBJETIVOS

- Determinação do tipo de solo e sua espessura (utiliza-se sondagem a percussão ou trado);
- Em terrenos moles utiliza-se sondagem a varejão ou trado;
- Em fase de investigação de detalhe, utiliza-se sondagem rotativa e percussão com retirada de amostras;
- Em fases do projeto onde é necessário realizar amostragem em maior volume ou estudos estruturais são executados poços e galerias.

## SONDAGEM A VAREJÃO

- Feita com uma haste lisa de ferro, cravada manualmente, ou golpes de marreta, em sedimentos inconsolidados;
- Para avaliar depósitos de areia, cascalho e argila;
- A haste penetra 2m, sendo o material identificado pela reação sonora, atrito e força necessária para penetração.

## SONDAGEM A VAREJÃO

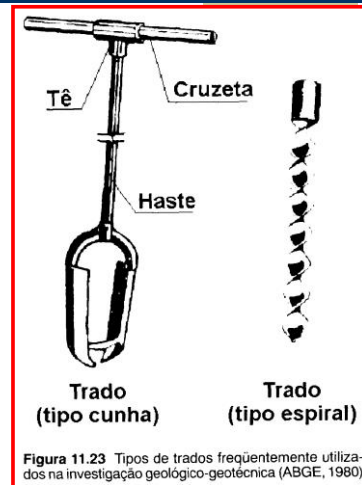
- ◆ Técnica utilizada para reconhecer aluviões, superfícies rochosas no leito de rios e analisar espessuras de areia e cascalhos.
- ◆ Em rochas o impacto é duro e resvala, já em argila a penetração é macia, em areia, áspera e em depósitos de areia com cascalho é possível observar bloqueios esparsos durante a cravação.

## SONDAGEM A VAREJÃO



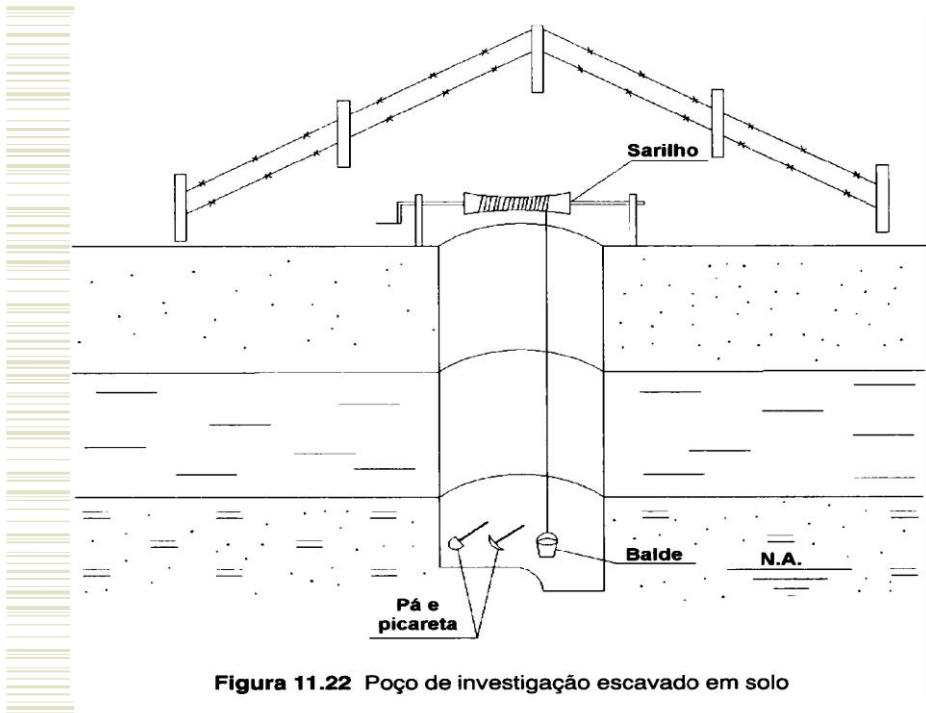
## SONDAGEM A TRADO

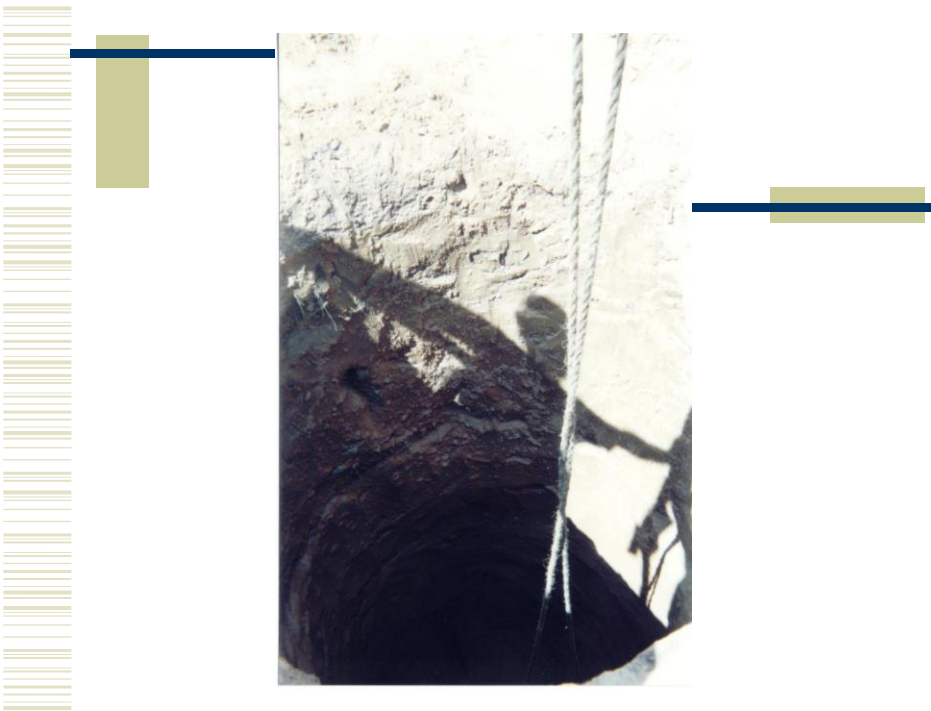
- Sondagem manual para investigação de solos de baixa e média resistência;
- Concha ou espiral que armazena o material amostrado com diâmetro entre 3 (7.6cm) e 4 (10.2cm) polegadas;
- Coleta de amostras de metro em metro ou quando muda a litologia;
- Investigação de áreas de empréstimo e subleitos de rodovias.



## POÇOS, TRINCHEIRAS E GALERIAS

- Exame *in-situ* do material (rocha e solo) e retirada de amostras de maior volume e não deformadas
- Estudo direto de estruturas (descontinuidades); permite a medição da posição espacial dos planos de fraqueza do maciço
- Em caso de análise de maiores extensões longitudinais utiliza-se trincheiras ou galerias
- Galerias servem como teste piloto, permitem a análise das condições do maciço (descontinuidades, sustentação, infiltrações)
- São utilizados pá e picareta para solos; e martetele e explosivos em rochas
- Podem ser utilizadas perfuratrizes de grande diâmetro





NBR6484/2001

# STANDARD PENETRATION TEST SPT

## Principais Vantagens:

- Custo relativamente Baixo;
- Facilidade de execução e possibilidade em locais de difícil acesso;
- Permite a coleta de amostra do terreno;
- Correlações com consistência e Compacidade;
- Determina a ocorrência e profundidade do lençol freático.





## Equipamento e amostrador padrão:

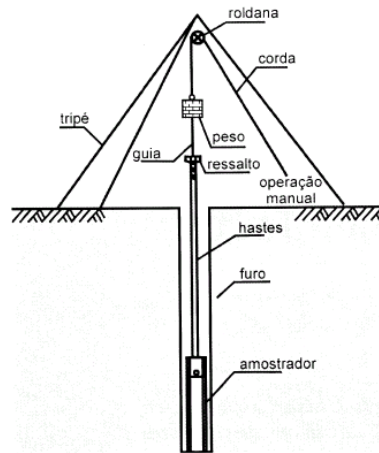
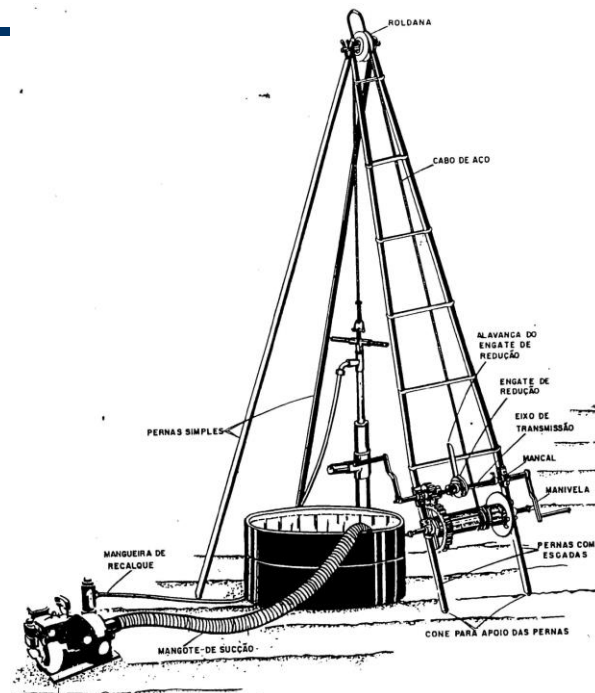
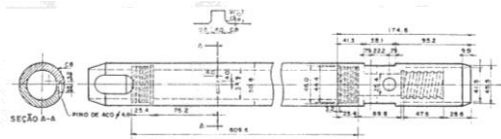
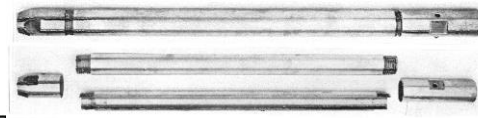
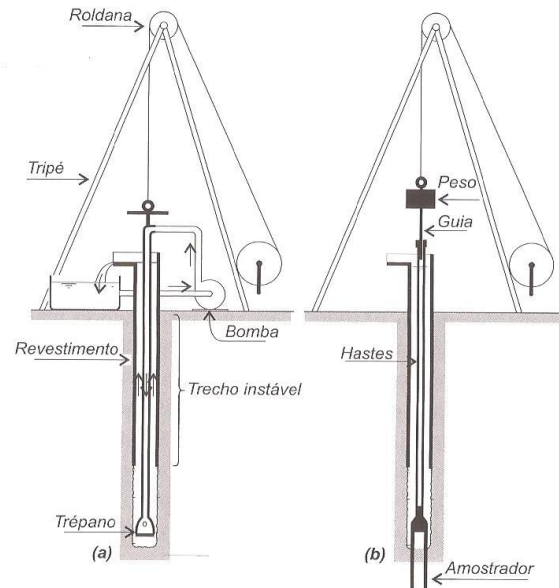


Ilustração do ensaio SPT





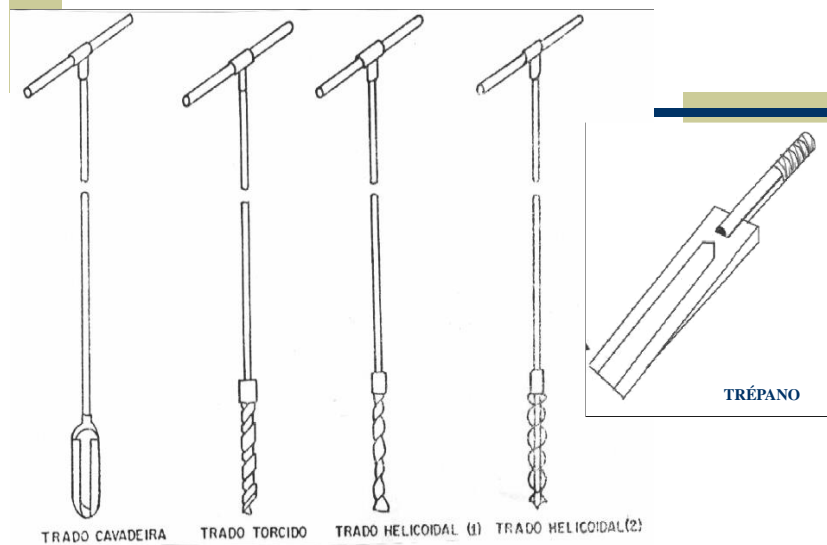
**Fig. 3.2** - Etapas na execução de sondagem a percussão: (a) avanço da sondagem por desagregação e lavagem; (b) ensaio de penetração dinâmica (SPT)





## Execução do ensaio:

- Limpeza da área
- Perfuração do 1º metro com trado (em caso de fundações superficiais (50cm))
- Continuar furo a trado até atingir o LF ou impenetrabilidade a trado (5cm/10min)
- Após o nível de água o avanço é com água através do trépano (55cm)  
OBS: Paredes instáveis colocar revestimento.
- Casos especiais – Lama Bentonítica
- Anotar transições das camadas
- Manter o nível do LF nas condições originais
- Marcar haste com giz para saber se o amostrador está no fundo do furo
- Amostragem do solo de metro em metro para análise e classificação



O amostrador é conectado às hastes de perfuração, descido no interior do furo de sondagem e posicionado na profundidade até então perfurada. O ensaio de penetração consiste na cravação do amostrador no solo através de quedas sucessivas do martelo de 65 kg de uma altura de 75 cm sobre uma cabeça de bater adaptada ao conjunto de hastes.

## Medida do Valor N:

- Anotar profundidade de penetração pelo peso próprio da composição
- Marcar 3 segmentos de 15cm nas hastes
- Martelo de 65kg e altura de 75cm
- Precauções para evitar perda de energia de cravação
- Anotar o número de golpes para cravar cada 15cm do amostrador
- NSPT é o número de golpes para cravar os últimos 30cm

## FATORES QUE INFLUENCIAM O NSPT

### Técnicas de execução

- Mão de Obra não qualificada
- Altura de queda do martelo
- Queda livre do Martelo
- Limpeza do furo de sondagem
- Desmoronamento da parede do furo
- Diâmetro do furo em atrito com o amostrador
- Erro na contagem do valor N e no comprimento das barras

## FATORES QUE INFLUENCIAM O NSPT

### Equipamento

- Configuração do amostrador
- Tipos de hastes de perfuração

## FATORES QUE INFLUENCIAM O NSPT

### Tipo de solo em amostragem

- Areias finas e siltes grossos saturados-liquefação que diminui o valor N
- Pedregulhos ou solos pedregulhosos - Amostrador tende a desviar em direção aos vazios maiores, diminuindo o valor de N
- Solos colapsíveis o valor diminui em até 50% pelo perfuração com água
- Solos com micas - efeito lubrificante diminui o valor de N.

## Critérios para paralisação da sondagem:

- quando em 3m sucessivos  $NSPT > 45/15$
- em 4m sucessivos, NSPT entre 45/15 e 45/30
- em 5m sucessivos, NSPT entre 45/30 e 45/45
- penetração nula após 5 golpes
- perfuração por lavagem por 30min com medidas de avanço a cada 10min
- avanço  $< 5\text{cm}/10\text{min}$

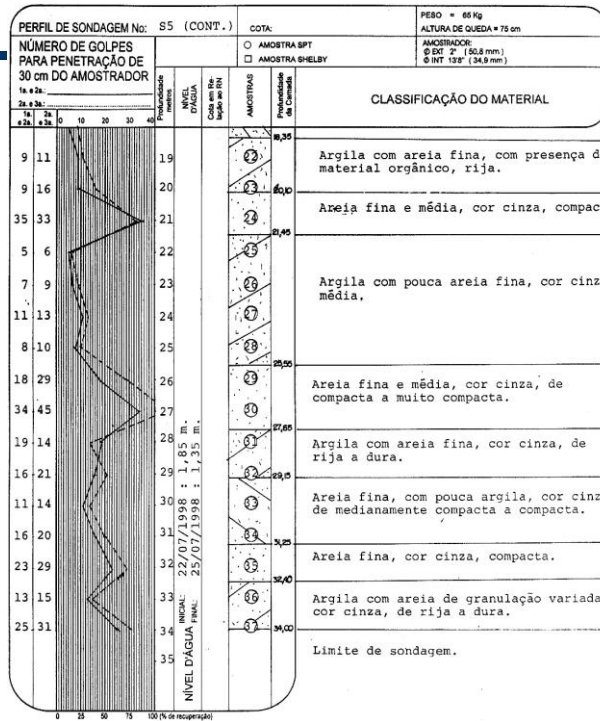
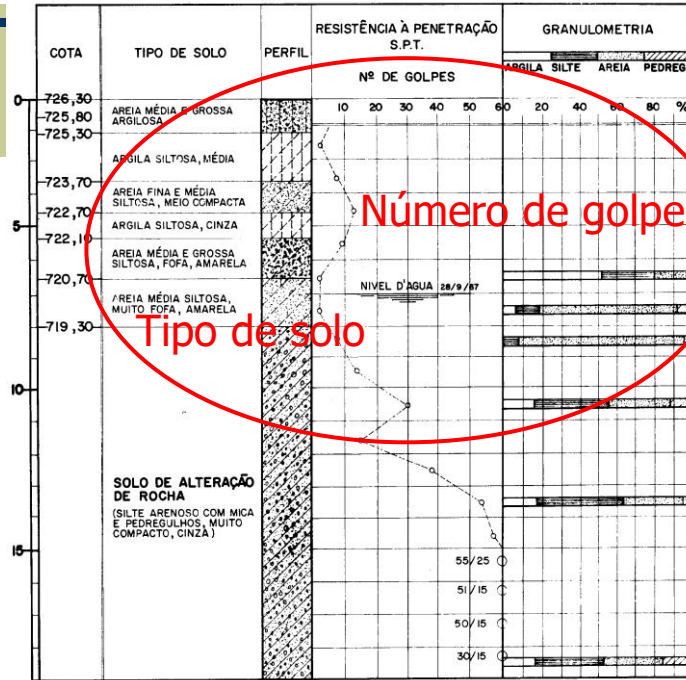
### ➤ Observação do NF

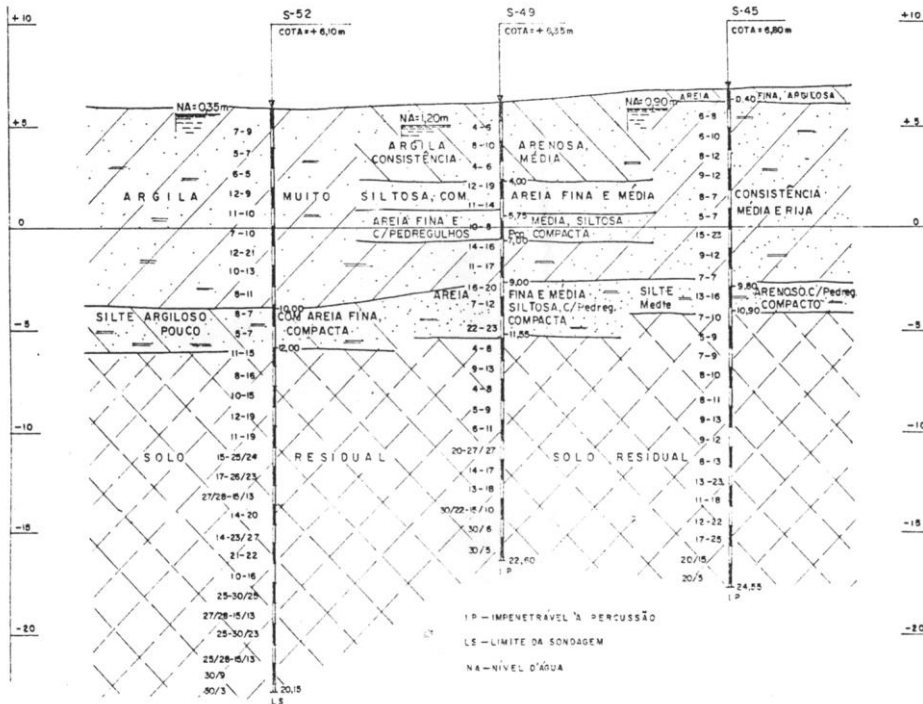
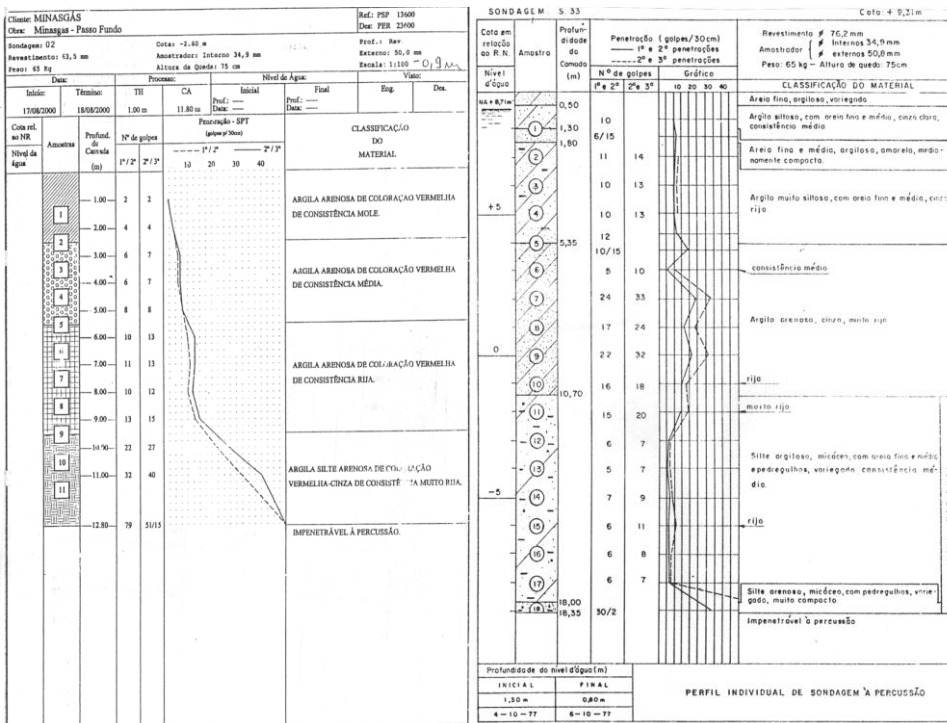
Observar após 24h







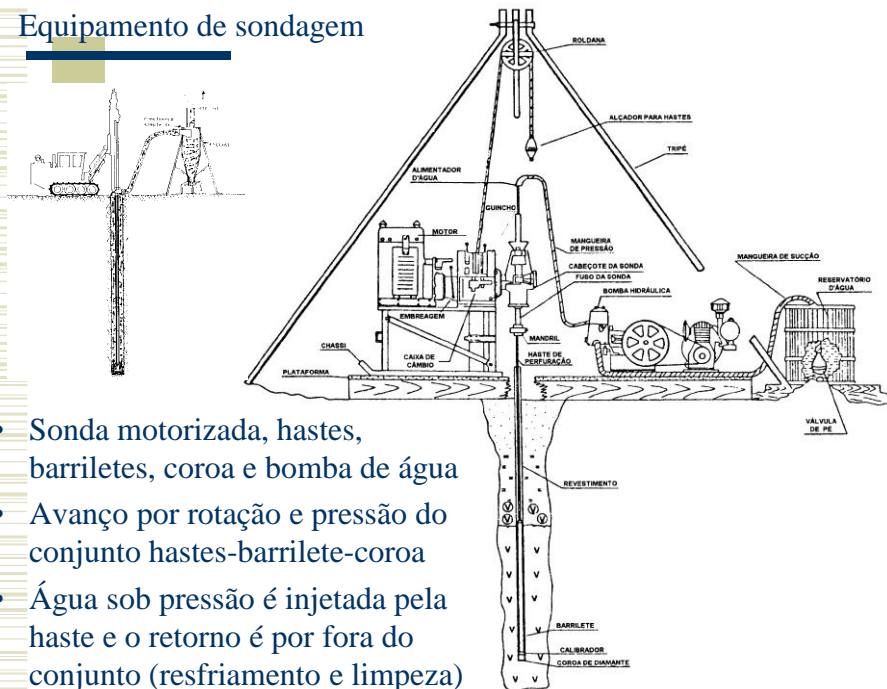




## SONDAGEM ROTATIVA

- Investigação feita com **barrilete**, onde uma peça cortante na ponta (**coroa**) que perfura o terreno por meio da rotação do conjunto
- É retirado uma amostra cilíndrica da rocha (**testemunho**), protegida dentro do barrilete por uma camisa livre
- A coroa pode ser de vídia ou diamante com diâmetros padrão
- A operação de sondagem se faz por ciclos (manobras) de furação e retirada de testemunho (comprimento de 1m a 5m)
- A execução do furo é feita em série telescópica para permitir o uso de revestimento para evitar desmoronamento das paredes do furo nos solos não consolidados
- Testemunhos são guardados em caixas dispostos na seqüência exata de sua posição no furo
- Normalmente a recuperação de testemunho por sondagem rotativa inicia quando o material atinge resistência de 50/30 golpes no ensaio SPT ou impenetrável ao trépano

### Equipamento de sondagem



- Sonda motorizada, hastes, barriletes, coroa e bomba de água
- Avanço por rotação e pressão do conjunto hastes-barrilete-coroa
- Água sob pressão é injetada pela haste e o retorno é por fora do conjunto (resfriamento e limpeza)

## Equipamento de sondagem

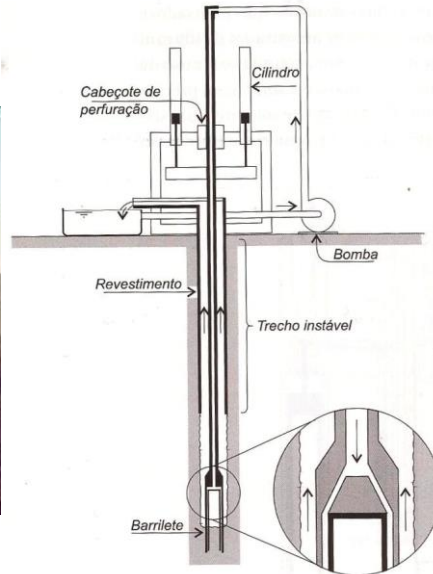


Fig. 3.5 - Esquema de funcionamento de sonda rotativa

## Diâmetros de testemunho e tipos de corôas

Tipo	Diâmetro furo	Diâmetro broca	Diâmetro amostra
EX	37.71	21.4	20.6
AX	48.00	30.00	29.2
BX	59.94	42.0	41.3
NX	75.69	54.7	54.0
HX	99.23	76.2	75.5

**TIPOS DE CORÔAS**

**SEM OBTENÇÃO DE TESTEMUNHO**

**COM OBTENÇÃO DE TESTEMUNHO**

**COM DIAMANTE**

WÍDIA, DIAMANTE, WÍDIA

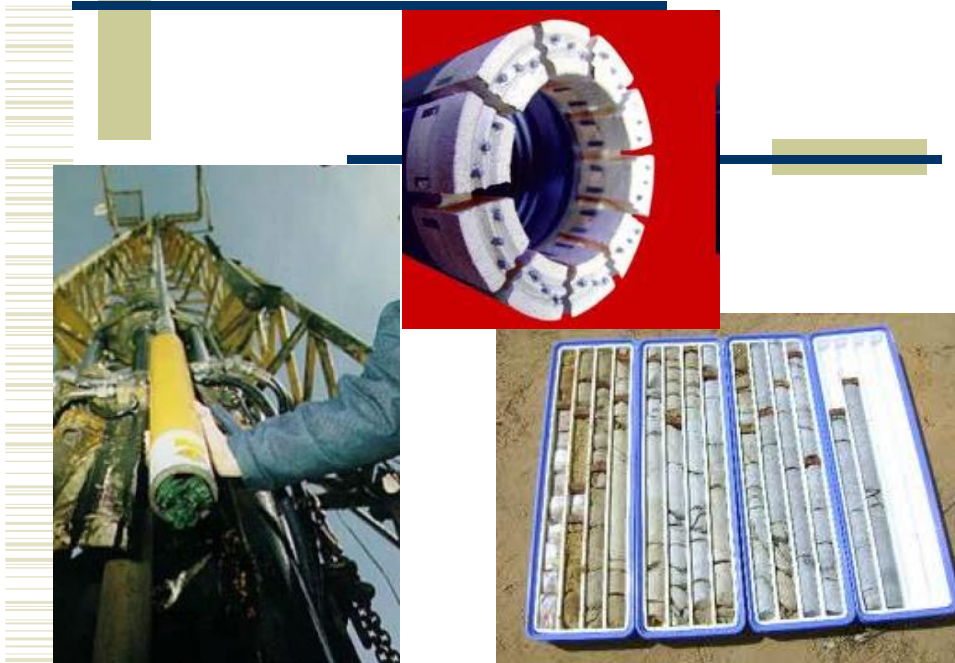
Pastilha de wídia, Corpo, Rosca, Batente matriz, Diamante, Seção calibradora ou lateral externa, Garganta, Face, Setores diamantados, Saída d'água, Diamante

Figura 11.26 Coroa de wídia com pastilhas retangulares (ABGE, 1980)

Figura 11.27 Coroa diamantada com saída de água lateral interna (ABGE, 1980)

Obs.: a 1ª letra corresponde ao diâmetro do furo, a 2ª (X) indica rosca padronizada da composição de perfuração; diâmetro (mm).

## Equipamento de sondagem

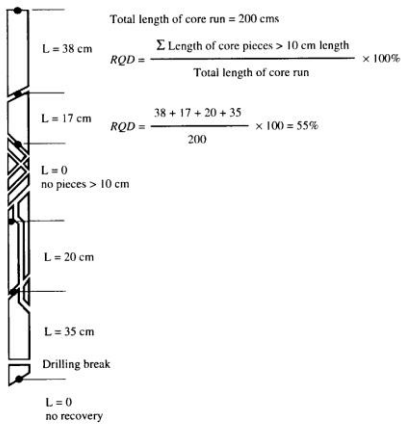
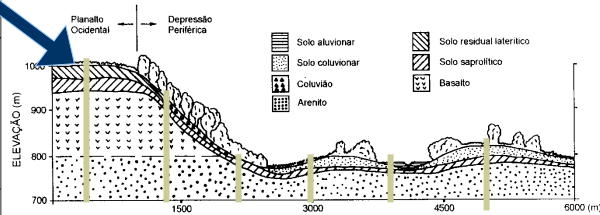
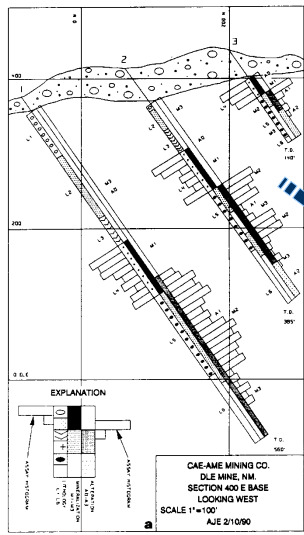


## Caixa para armazenar testemunho



### Interpretação

- Perfil litológico
- Índice de qualidade do maciço (RQD)
- Ensaios geofísicos (perfis geofísicos)



### RQD (Rock Quality Designation)

- Indica a qualidade da rocha e recuperação; é condicionado pelas discontinuidades e pelo grau de alteração

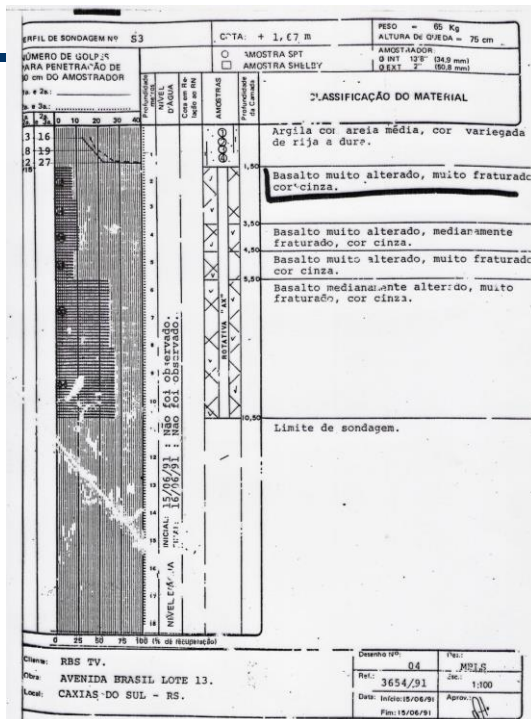
RQD	Qualidade
<25%	Muito pobre
25 – 50%	Pobre
50 – 75%	Fraca
75 – 90%	Boa
90 – 100%	Muito boa

Recuperação	Qualidade da Rocha
<50%	Rocha muito alterada com solo
50% - 80%	Rocha medianamente alterada
>80%	Rocha de boa qualidade
Fraturas/metro	Qualidade da Rocha
1	Ocasionalmente fraturada
2 – 5	Pouco fraturada
6 – 10	Medianamente fraturada
11 – 20	Muito fraturada
>20	Rocha fragmentada

<b>EPT ENGENHARIA E PESQUISAS TECNOLÓGICAS S.A.</b> INTERESSADO : M. MARTINS ENGENHARIA E COMERCIO LTDA D B R A : PONTE SOBRE RIO DOS SINOS LOCAL : TABA-CANDAS		TRABALHO Nº : / <b>SR-04-P4</b> COTA : -0.888 INCLINAÇÃO : VERTICAL			
INÍCIO : 21 / 10 / 97 TÉRMINO : 22 / 10 / 97 FOLHA : 01 / 01					
RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI	GRAU DE FRATURA-MENTO	SOLOS	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	PROFUNDIDADE (m)	ENSAYOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA
Nº DE GOLPES / 30 cm 40 30 20 20 19 19	Nº DE FRATURAS/m 18 10 8	CONSISTÊNCIA COMPACTA			ABSORÇÃO /m x min Kg/cm²
		INTERPRETAÇÃO GEOLOGICA			
		REVESTIMENTO			
		DIÂMETRO			
		NÍVEL D'ÁGUA			
		PERFIL GEOLOGICO			
			LAMA D'AGUA	3.00	
			SILTITO	5.10	
			ARENITO	6.80	
			SILTITO	S.D.	
			ARENITO	9.75	
			LIMITE DA SONDAGEM	10.50	

Exemplos de relatórios Sondagem rotativa

Exemplos de relatórios Sondagem rotativa



INDICES PARA CLASSIFICAÇÃO DE ROCHA									
DUREZA		ALTERAÇÃO		FRATURAMENTO		ORIENTAÇÃO DAS FRATURAS		CONDIÇÕES DAS FRATURAS	
D1	MUITO DURA	A1	ROCHA Sã	F1	0 A 1 ( MACICO ) MUITO POUCO FRATURADA	H	0° HORIZONTAL	S1	RUGOSA
D2	DURA	A2	POUCO ALTERADA	F2	2 A 5 POUCO FRATURADA	SH	0° A 20° SUB HORIZONTAL	S2	L I S A
D3	MEDTE DURA	A3	MEDTE ALERADA	F3	6 A 10 METDE FRATURADA	I	20° A 70° INCLINADA	S3	ESPELHADA
D4	FRACA	A4	MUITO ALTERADA	F4	11 A 20 MUITO FRATURADA	SV	70° A 80° SUB VERTICAL	S4	PREENCHI MENTO GRANULAR
D5	MUITO FRACA	A5	SAPROLITO	F5	20 EM FRAGMENTOS EXTREMAMENT. FRATURADA	V	VERTICAL	S5	PREENCHI MENTO ARGILOSO

## MÉTODOS SEMI-DIRETOS

- Fornecem **propriedades mecânicas**: compressibilidade e resistência, dos solos e rochas *in situ*.
- **Não** indicam o **tipo de solo** e **Não** coletam **amostras**;
- Em muitos casos são também conhecidos como **métodos complementares** aos Métodos Diretos.
- Exemplos são: Ensaio **CPT - CONE PENETRATION TEST**
  - **Vane – Palheta**
  - **Pressiômetro**
  - **Dilatômetro**

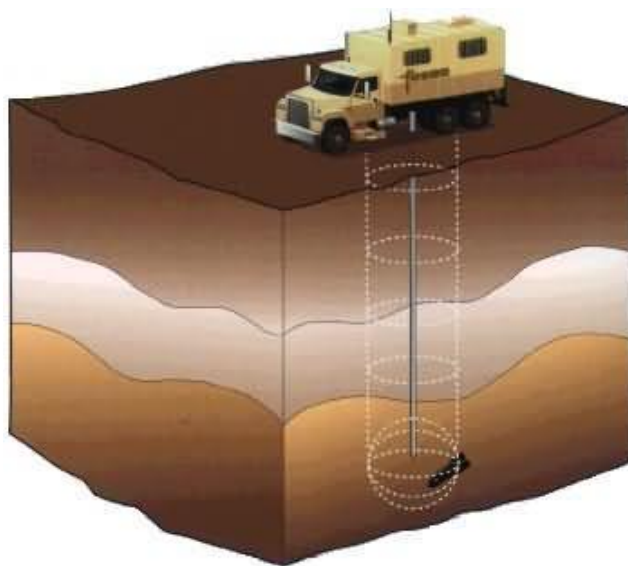


## CONE PENETRATION TEST Cone e Piezocone

- ◆ **Padronização:** ISSMFE (1977), ASTM (1979),  
ABNT MB 3406 (1991)
- ◆ **Princípio de ensaio** - cravação no terreno de uma ponteira cônica ( $60^\circ$  de ápice e  $10 \text{ cm}^2$ ) a uma velocidade constante de  $20 \text{ mm/s}$
- ◆ **Medidas de ensaios**
  - resistência de ponta  $q_c$  (ou  $q_t$ )
  - atrito lateral  $f_s$
  - pressões neutras  $U$  (piezocone)

## Tipos de Equipamento

- ◆ Cone Mecânico
- ◆ Cone Elétrico
- ◆ Piezocone





ENGINEERING • TESTING  
ENVIRONMENTAL SERVICES

Fuel Fluorescence  
Detection



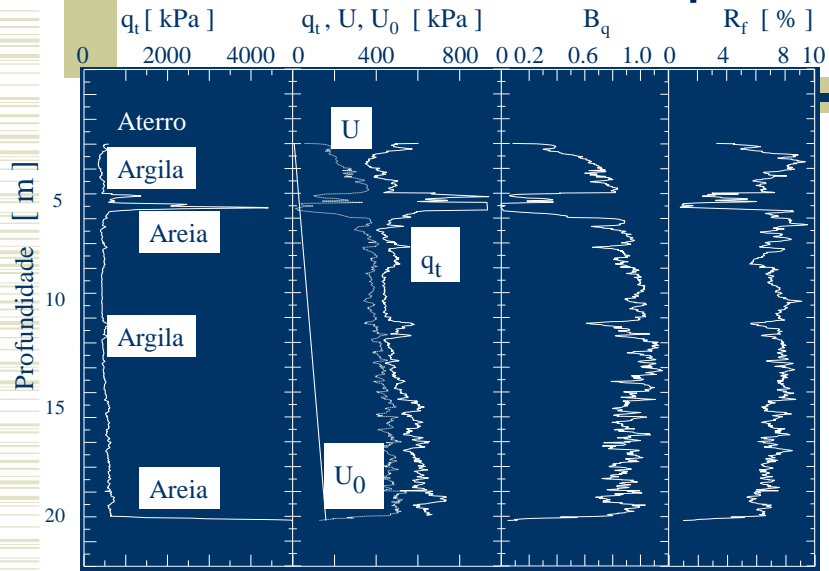


## Cone e Piezocone

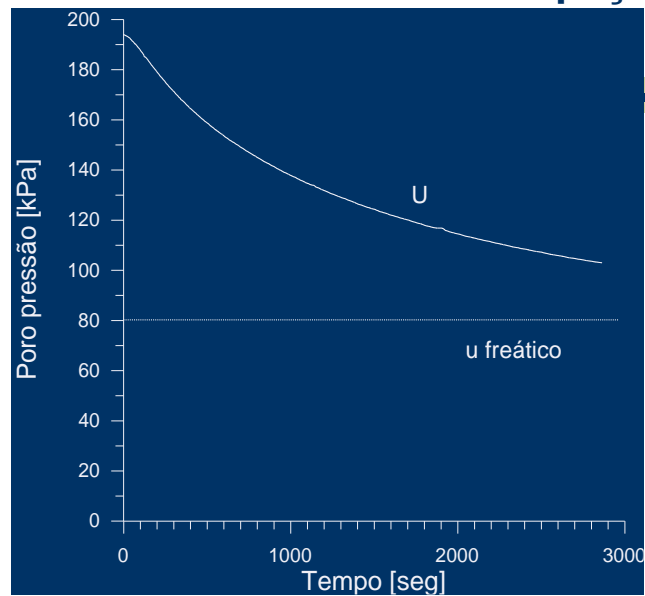
Ponteiras eléctricas



## Piezocone - Resultados Típicos



## Piezocone - Ensaio de Dissipação



## Cone e Piezocone Abordagens empíricas

### ARGILAS

- ◆ História de tensões (OCR) e Estado de tensões ( $K_0$ )
- ◆ Módulo de deformabilidade

### AREIAS

- ◆ Densidade relativa
- ◆ Ângulo de atrito interno
- ◆ Módulo de deformabilidade

### PREVISÃO DE CAPACIDADE DE CARGA

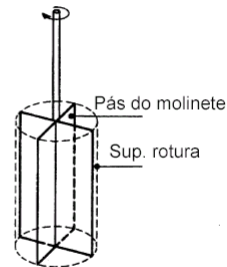
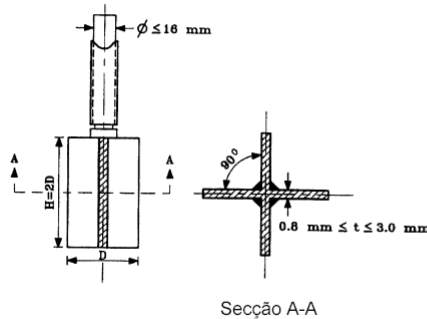
## Cone e Piezocone

### NOVOS EQUIPAMENTOS

- ◆ Cone sísmico
- ◆ Cone ambiental
  - Resistividade Elétrica
  - Permeabilidade
  - Temperatura
  - Amostragem
- ◆ Cone ópticos
- ◆ Cone pressiômetro

## ENSAIO DE PALHETA (Vane)

Caracterização de solos moles ( $N < 4$ , máx  $\approx 7$ )



## ENSAIO DE PALHETA (Vane)

Execução do Ensaio:

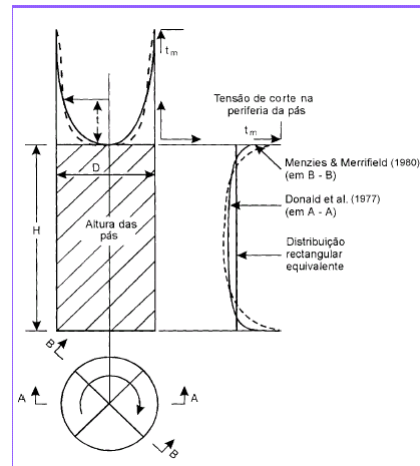
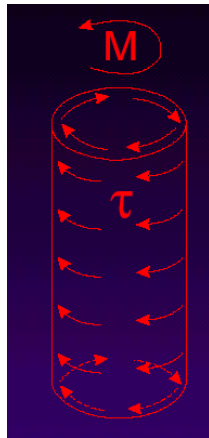
- 1) Cravação da Palheta no solo
- 2) furo deve acabar 50cm da cota do ensaio

Fatores que influenciam os resultados

- 3) Velocidade de rotação ( $6^\circ/\text{min}$ )
- 4) Falta de Homogeneidade
- 5) Hipótese de ruptura

## ENSAIO DE PALHETA (Vane)

### Esquema do Ensaio



## ENSAIO PRESSIOMÉTRICO

Criado na década de 30, foi aperfeiçoado e difundido por Ménard na década de 50.

A sonda pressiométrica é constituída de tubo cilíndrico metálico, envolto em membrana de borracha que pode ser expandida.

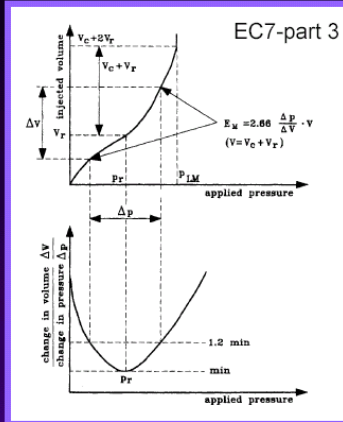
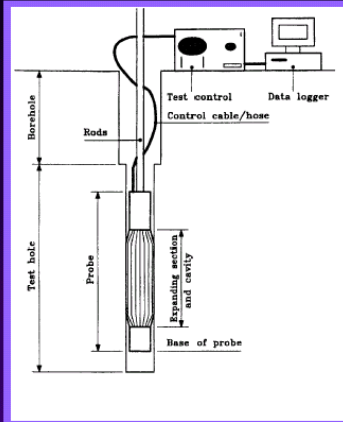
A pressão é aplicada a partir da superfície através da injeção de água ou outro fluído.

**Determina parâmetros de resistência ao cisalhamento e características de deformabilidade.**

A sonda pode ser inserida em pré-furo ou cravada diretamente por percussão ou estaticamente deslocando solo.

# ENSAIO PRESSIOMÉTRICO

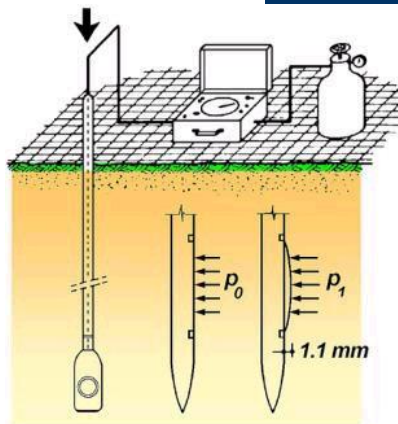
- Ensaio pressiométrico**
- 1) tipo Menard (em pré-furo)
  - 2) autoperfurador



Pressão limite:  
 $P_{LM} (P_L)$

Módulo Menard:  
 $E_M$

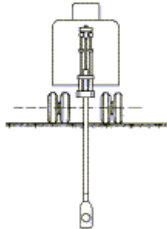
# DILATÔMETRO



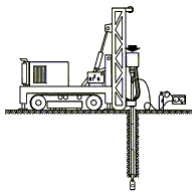


## Formas de cravação

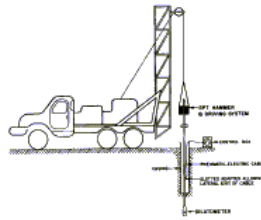
CONE



PRÉ FURO



PERCUSSÃO



<http://www.marchetti-dmt.it/>

Obtém-se

A- Pressão para deslocamento da membrana de 0,05mm (0,02mm)

B – Pressão para deslocamento da membrana de 1,1mm (0,003mm)

### Parâmetros Obtidos

Modulo dilatométrico (relacionado ao módulo de Elasticidade)

Índice do material (classificação do tipo do material)

Coefficiente de empuxo ao repouso ( $K_0$ )

Parâmetros de resistência do solo ( $S_u$ ,  $\phi$ )

OCR (razão de sobreadensamento)

## MÉTODOS INDIRETOS

- Permitem determinar apenas a **existência** de singularidade no terreno: presença de grandes **blocos de rocha**, **cavidades** subterrâneas, **espessuras** de camadas e a presença ou não de **lençol freático**;
- São importantes para o estudo preliminar de **grandes obras de engenharia** (barragens, aeroportos, ....);
- Devem ser utilizados **em conjunto** com **Métodos Diretos**.

Um exemplo típico é o Ensaio **GEOFÍSICO**

## GEOFÍSICO

- **Conceitos físicos fundamentais:**

Resistência (R)

Resistividade ( $\rho$ )

Lei de Ohm ( $V = R \times I$ )

Potencial elétrico (P)

Condutividade ( $\sigma$ )

Constante dielétrica ( $\epsilon$ )

- **Influências na resistividade:**

Porosidade

Faturamento

Presença de água

Presença de minerais condutivos (>10%)

# GEOFÍSICO

## Resistividade de alguns metais

Metals	Resistivity [Ohm-m]
Aluminum	$2.8 \times 10^{-8}$
Copper	$1.7 \times 10^{-8}$
Iron	$10 \times 10^{-8}$
Mercury	$95 \times 10^{-8}$
Silver	$1.6 \times 10^{-8}$
Steel	$15-90 \times 10^{-8}$

## Resistividade de rochas e solos

Tabela 01 – Resistividade de algumas rochas e solos. Fonte: Loke, 1999.

Material	Resistividade (Ohm.m)
<i>Rochas ígneas e metamórficas</i>	
Granito	$5.0 \times 10^3$ a $1.0 \times 10^6$
Basalto	$1.0 \times 10^3$ a $1.0 \times 10^6$
Ardósia	$6.0 \times 10^2$ a $4.0 \times 10^7$
Mármore	$1.0 \times 10^2$ a $2.5 \times 10^8$
Quartzito	$1.0 \times 10^2$ a $2.0 \times 10^8$
<i>Rochas sedimentares</i>	
Arenito	$8.0 \times 10^1$ a $1.0 \times 10^3$
Folhelho	$2.0 \times 10^1$ a $2.0 \times 10^3$
Calcário	$5.0 \times 10^1$ a $4.0 \times 10^2$
<i>Solos e água</i>	
Argila	$1.0 \times 10^0$ a $1.0 \times 10^2$
Aluvião	$1.0 \times 10^1$ a $8.0 \times 10^2$
Água fresca	$1.0 \times 10^1$ a $1.0 \times 10^2$
Água do mar	$2.0 \times 10^{-1}$

Campos, 2004.

# GEOFÍSICO

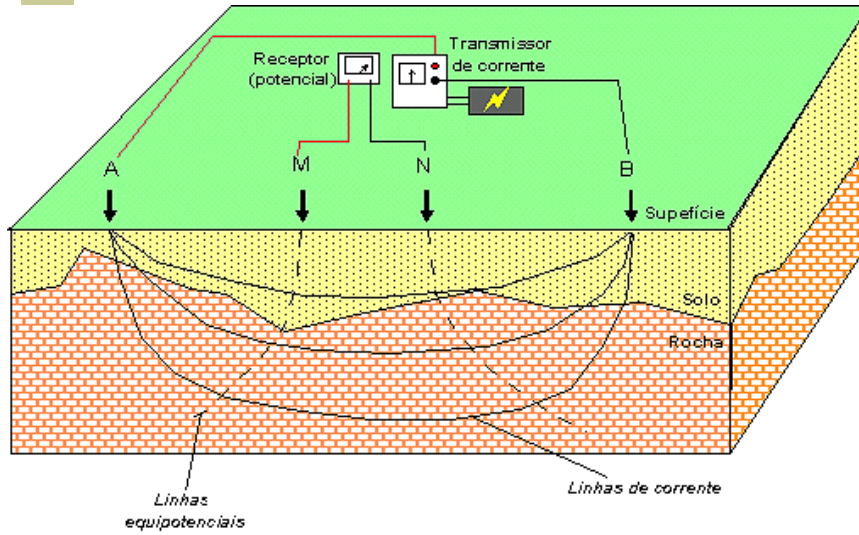
## Técnicas de Campo

- Sondagem vertical (SEV)
  - centro de arranjo dos eletrodos permanece fixo
  - Informação pontual com variação da profundidade (vertical)
- Caminhamento elétrico (CE)
  - centro de arranjo se desloca na superfície do terreno ao longo do ensaio
  - Estudo da variação lateral (horizontal) da resistividade a uma determinada profundidade
- Perfilagem Elétrica (PERF)



[http://www.bgr.bund.de/clin\\_030/nn\\_461220/EN/Themen/GG\\_Geophysik/Methoden/Geoelektrik/geoelektrik\\_bild2\\_en.htm](http://www.bgr.bund.de/clin_030/nn_461220/EN/Themen/GG_Geophysik/Methoden/Geoelektrik/geoelektrik_bild2_en.htm)

## Método da Eletrorresistividade



Fonte: <http://www.iag.usp.br/siae98/geofisica/geofmetodos.htm>

