

**S**

tandard

**P**

enetration

**T**

est

# Standard Penetration Test

---

## Ensaio de Penetração Dinâmica

# DESCRIÇÃO GERAL DO ENSAIO SPT

O **SPT** é um ensaio dinâmico que consiste em cravar no fundo de um furo de sondagem, devidamente limpo, um amostrador normalizado.

O SPT desenvolvido em 1927 é hoje um dos ensaios correntemente mais usados e o mais económico para obter informação sobre solos de fundações.

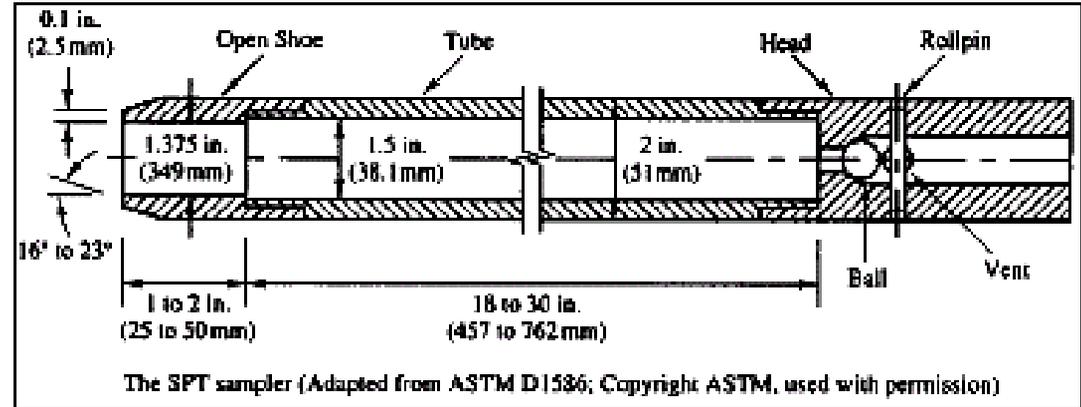
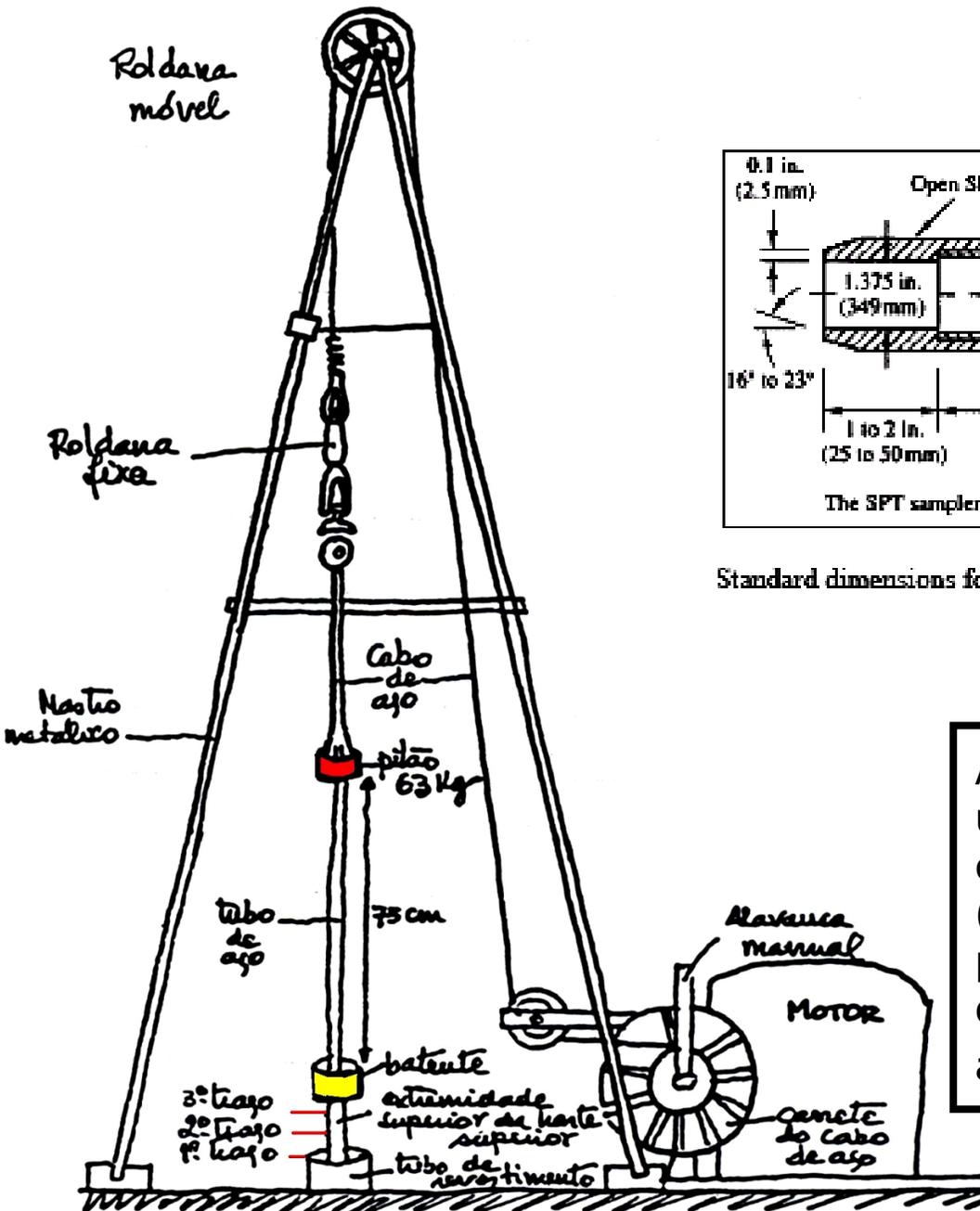
Estima-se que 85% to 90% das fundações convencionais nos EUA usem o SPT.

O método foi estandardizado em 1958 como ASTM D1586.

Na região de Lisboa (até 1991) realizaram-se mais de 16 000 ensaios em cerca de 1 800 sondagens, sendo o primeiro datado de 1953.

# SPT – EQUIPAMENTO E MEDIÇÕES

Amostrador



Standard dimensions for the SPT sampler, as given in ASTM D1586.

A cravação é feita recorrendo-se a um pilão com 63.5 kgf de peso que cai livremente de uma altura de 30'' (~ 75 cm), sobre um batente que por sua vez está ligado a um trem de varas, cuja ponta é um amostrador normalizado.

## Fase 1

O amostrador é cravado 15 cm, registrando-se o respectivo número de pancadas; a esta fase correspondem em regra solos remexidos pelo que o valor obtido nesta fase é meramente indicativo.

## Fase 2

O amostrador é cravado mais 30 cm, sendo o resultado do ensaio SPT o número de pancadas (N) obtido. Se após 60 pancadas, a penetração não atingir os 30 cm, termina-se o ensaio medindo a penetração obtida.

**PM**

Penetração com o peso do material

**n1**

Nº pancadas para atingir 15 cm  
ou  
Penetração conseguida  
com 30 pancadas

**N**

Nº pancadas para atingir 30 cm  
ou  
Penetração conseguida  
com 60 pancadas  
(repartido em duas medições  
 **$N = n2 + n3$** )

# SPT – DOMÍNIO DE APLICAÇÃO

**Solos finos**

**homogéneos**

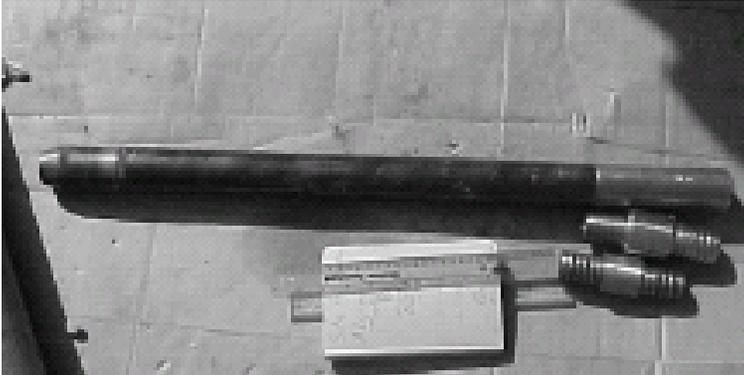
**pouco consolidados**

**areias • siltes • argilas**





## Ensaio de penetração dinâmica SPT



# SPT – INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS

(CORRELAÇÕES COM PROPRIEDADES FÍSICAS DOS SOLOS)

## CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS COERENTES QUANTO À SUA CONSISTÊNCIA

CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS	MUITO MOLE	MOLE	CONSISTÊNCIA MÉDIA	DURO	MUITO DURO	RIJO
PENETRAÇÃO SPT N	0 - 2	2 - 4	4 - 8	8 - 15	15 - 30	30
TENSÃO DE ROTURA kgf/cm <sup>2</sup>	0 - 0.25	0.25 - 0.50	0.50 - 1.00	1.00 - 2.00	2.00 - 4.00	>4.00

Há tabelas distintas para solos arenosos e solos argilosos

# SPT – CORRECÇÕES AO VALOR **N** DO ENSAIO

Factores correctivos:

$$(N_1)_{60} = ER_{\gamma}/60 \cdot \lambda \cdot C_N \cdot N \dots$$

$ER_{\gamma}$  – eficiência

$\lambda$  - factor de correcção do comprimento das varas

$C_N$  – factor de correcção da tensão efectiva de recobrimento (areias)

# Energia de Cravação

Factor correctivo relacionado com a energia de cravação ( $ER_v/60$ ):

Considerou-se para efeitos de normalização uma eficiência de 60% para o sistema de cravação, isto é, só 60% da energia potencial (produto da massa pela altura de queda do pilão) atinge o extremo inferior do equipamento.

Os equipamentos com dispositivo de disparo automático do pilão apresentam uma eficiência da ordem dos 60%, enquanto que os equipamentos mais antigos em que é necessário elevar e largar o martelo através de um dispositivo de corda e roldana, as perdas de energia são bastante superiores e a eficiência reduz para valores da ordem dos 45%.

(Nota:  $45\% / 60\% = 0.75$  – Assim, por exemplo, um resultado de  $N=20$  obtido num equipamento de corda e roldana é equivalente a um resultado de  $N=15$  num equipamento de disparo automático do pilão.

## Factores Correctivos

## Tensão efectiva de recobrimento

Factor correctivo relacionado com a tensão efectiva de recobrimento (EC7):

Tipo de areia	Compacidade relativa $I_D$ (%)	$C_N$
Normalmente consolidadas	40 a 60	$2/(1+\sigma'_v)$
	60 a 80	$3/(2+\sigma'_v)$
Sobreconsolidadas		$1,7/(0,7+\sigma'_v)$

Nota:  $\sigma'_v$  em  $\text{kPa} \times 10^{-2}$ , assim para uma tensão efectiva de recobrimento de 100kPa tem-se  $\sigma'_v=1$  e  $C_N=1$

Não são recomendáveis valores de  $C_N$  superiores a 2 (ou preferivelmente 1,5)

$$\text{Skempton(1986): } N_{60} = I_D^2 (a + b \sigma'_v) \quad (a, b \rightarrow \text{material})$$

## Comprimento das varas

Factor correctivo relacionado com o comprimento das varas (EC7):

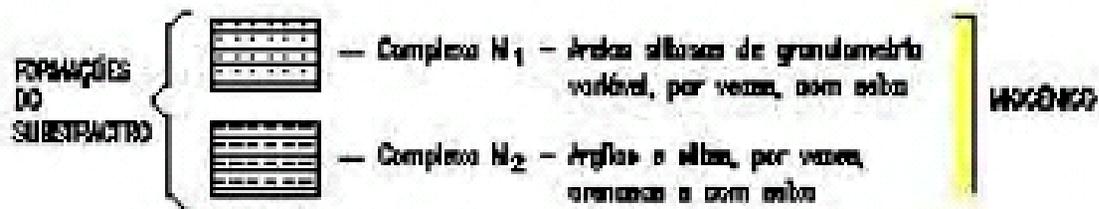
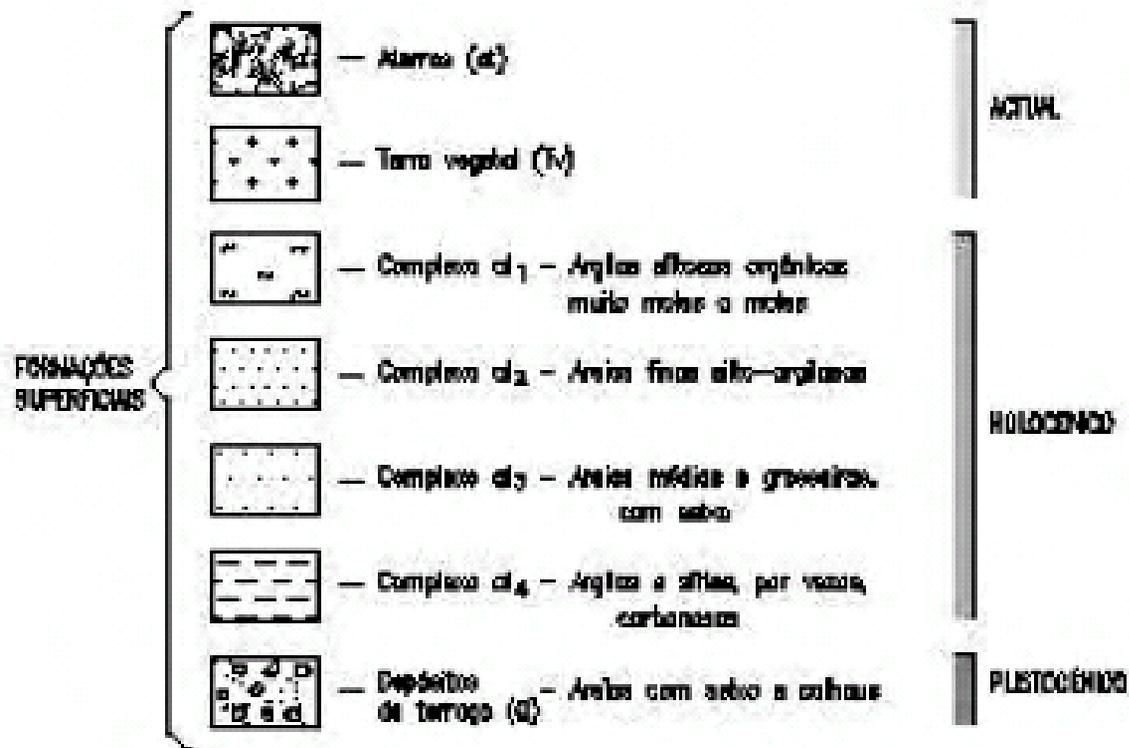
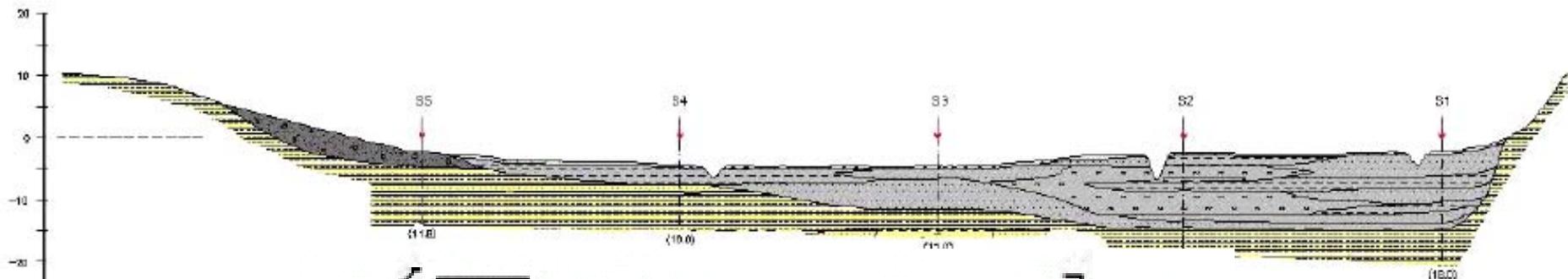
Comprimento total das varas (m)	$\lambda$
3 – 4	0,75
4 – 6	0,85
6 – 10	0,95
> 10	1,0

# EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DO SPT

OTA

PONTE VASCO DA GAMA

Coimbra (Aplicação prática na aula)





# Ponte Vasco da Gama (Lisboa - Montijo)

## Prospecção geotécnica, ensaios in situ e ensaios em laboratório

### Programas preliminar e complementar

#### Sondagens

- 114 com **ensaios SPT** (espaçamento 1,5 a 4 metros)
- 7 com **amostragem indeformada**

Foram intersectadas as seguintes formações :  
Aterros (At), aluviões (**a<sub>0</sub>, a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>**),  
**PQ** – Pliocénico-Quaternário e **M** – Miocénico

#### Ensaio sísmicos entre furos

Determinação de **V<sub>p</sub>** e **V<sub>s</sub>** e **E** (módulo de elasticidade)

#### Ensaio in situ

- 19 Ensaio **pressiométricos**  
tensão in situ horizontal  
módulo pressiométrico em regime de carga e descarga
- 18 Ensaio ao **corte não drenado**
- 112 Ensaio de **penetração estática** (de 28 a 52 metros)  
resistência de ponta  
resistência lateral

## Ensaio de Laboratório

230	<b>Ensaio de identificação</b> tipo de material e granulometria W <sub>I</sub> , W <sub>p</sub> e S <sub>w</sub>
60	<b>Ensaio edométrico</b> S <sub>w</sub> ( $\phi$ ) Coeficiente de compressibilidade volumétrica (a <sub>v</sub> ) Coeficiente de consolidação (c <sub>v</sub> ) Coeficiente de permeabilidade – condutividade hidráulica (k)
58	<b>Ensaio triaxial</b> Coesão Ângulo de atrito ( $\varphi$ ) Correlações entre tensões e extensões, ....
13	<b>Ensaio de corte</b>
8	<b>Ensaio químico</b> , etc

# TABELA COM A SÍNTESE DE ALGUNS VALORES

<b>SOLOS</b>	<b>a<sub>0</sub></b>	<b>a<sub>1</sub></b>	<b>a<sub>2</sub></b>	<b>a<sub>3</sub></b>	<b>a<sub>4</sub></b>
Espessura (m)	0 - 30	Variável			
USC	CL e CH	SM, SC e SW			
%> # 200	47 - 100	1 - 39			
Wl	33 - 93	0 - 35			
Wp	21 - 38	0 - 24			
Sw	38 - 88	16 - 41			
q <sub>u</sub> (kPa)	6 - 41				
c (kpa)	0 - 29		0		
φ	12 - 36		35		
av (m <sup>2</sup> /N)	8E-8 – 1,1E-2				
cv (m <sup>2</sup> /N)	1,2E8 – 5,8E-7				
k (m/s)	1E-11 – 3,8E-9				
<b>SPT (N)</b>	<b>0 - 6</b>	<b>4 - &gt;&gt;60</b>	<b>12 - &gt;&gt;60</b>	<b>34 - &gt;&gt;60</b>	<b>15 - &gt;&gt;60</b>
CPT (Mpa)	0,1 - 1,2	3 - 36	9,5 - 37	22 - 50	2 - 30
Vp (m/s)	665 - 1526	904 - 1073	1137 - 1671	1209 - 2750	1233 - 2493
Vs (m7s)	51 - 246	111 - 309	212 - 316	267 - 469	157 - 680

