

Nº 178988

O ensaio sísmico crosshole

Otávio Coaracy Brasil Gandolfo

*Palestra apresentada no: WORKSHOP:
AVANÇOS, PROBLEMAS E SOLUÇÕES EM
SONDAGENS NO BRASIL, 2024, Belo
Horizonte. 78 slides.*

A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública.

PROIBIDO REPRODUÇÃO

O ENSAIO SÍSMICO *CROSSHOLE*

Geof. Otávio Coaracy Brasil Gandolfo
gandolfo@ipt.br

07/06/2024

PATROCÍNIO:

APOIO:

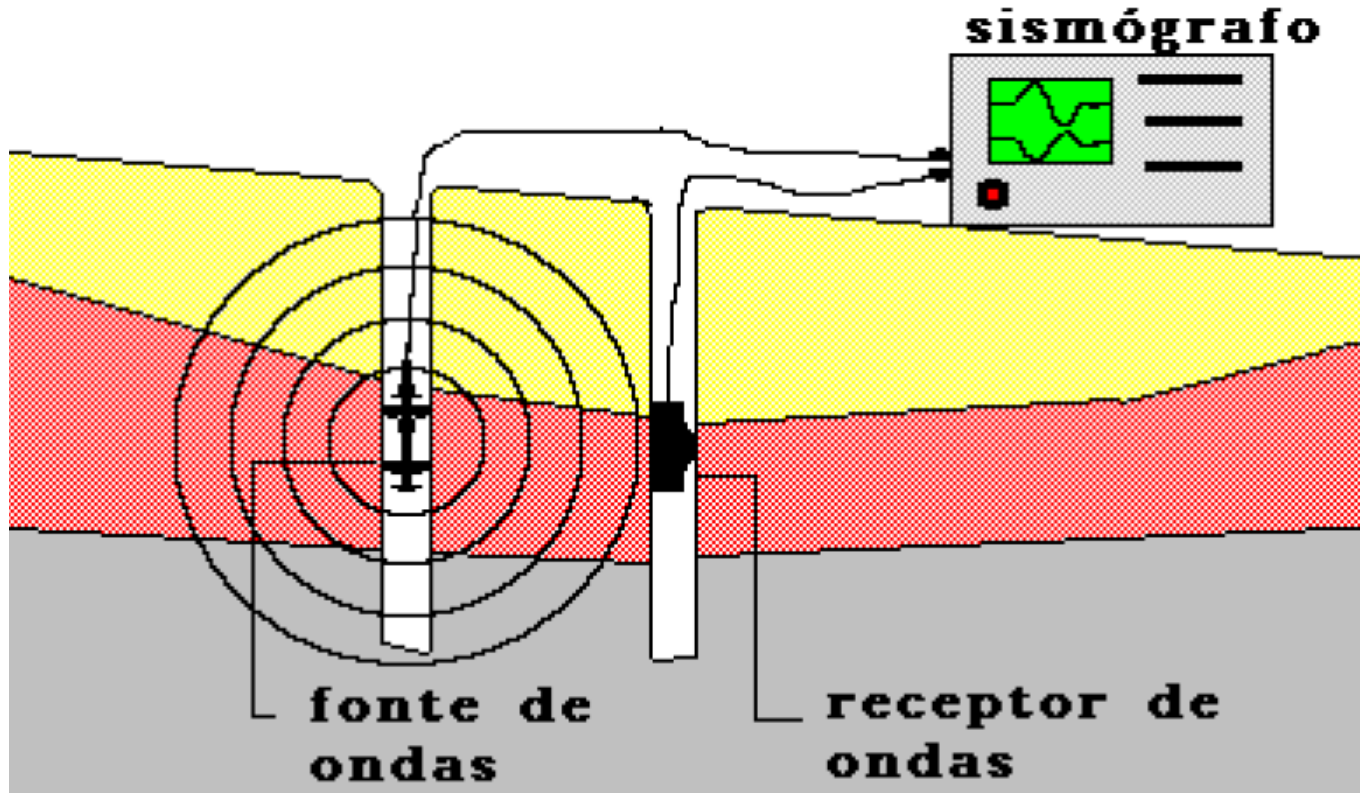
Curiosamente, o ensaio sísmico *crosshole* é mais conhecido pelos engenheiros civis do que pelos geofísicos....



Ensaio *Crosshole*

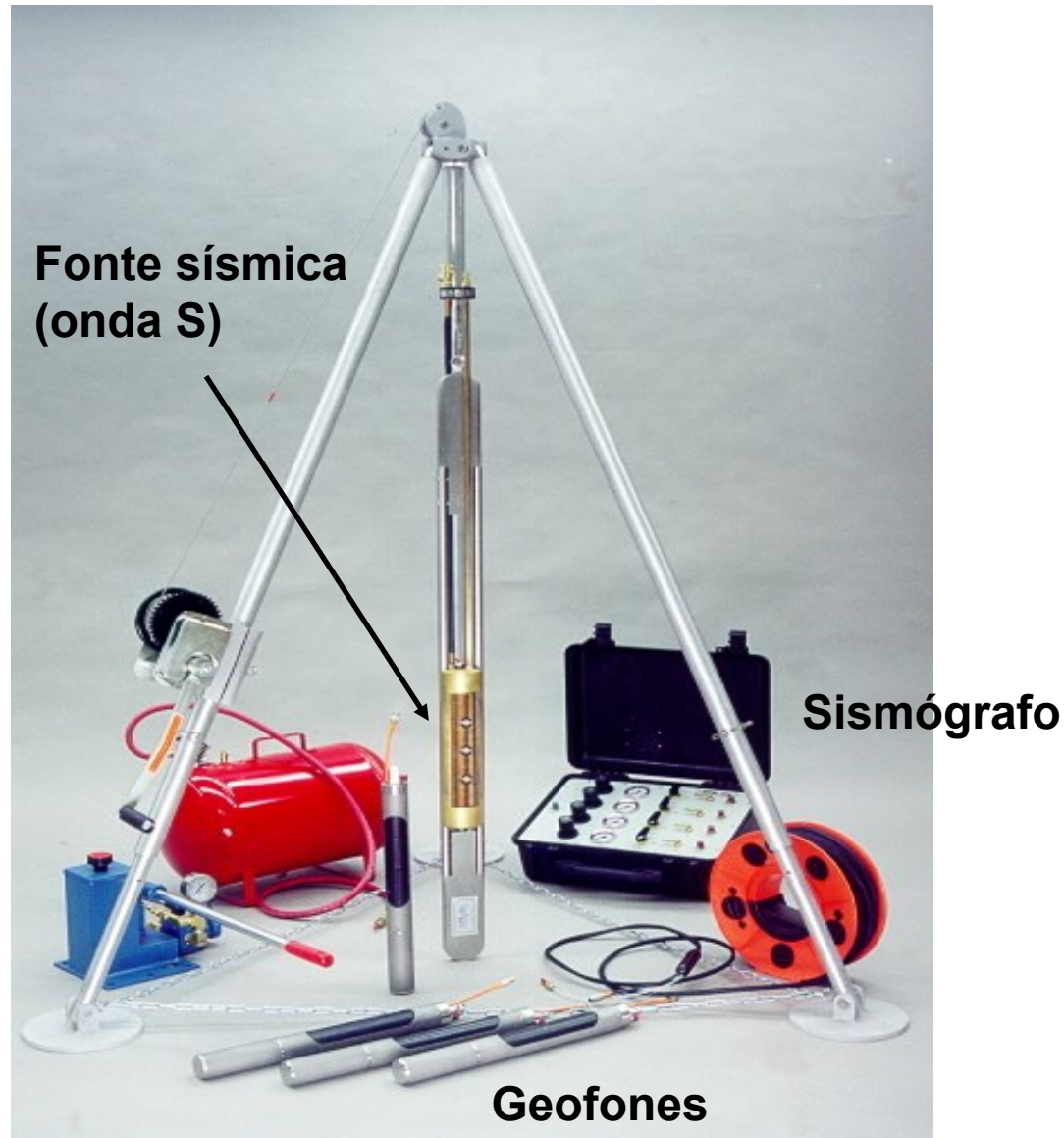
“Transmissão direta entre furos” ou “ensaio sísmico entre furos”

⇒ A onda sísmica é gerada em um furo, efetuando-se o seu registro em um ou mais furos adjacentes



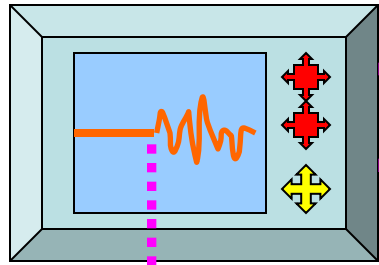
Equipamentos

- ◆ Fonte de ondas sísmicas (P e S)
- ◆ Geofones
- ◆ Sismógrafo



Ensaio *Crosshole*

Sismógrafo



Bomba de ar

Velocidade da onda S:

$$V_s = \Delta x / \Delta t$$

Fonte sísmica (martelo)

Geofone Triaxial

Cota de investigação

borracha pneumática

Δx

Furo revestido com PVC

Inclinômetro

Furo revestido com PVC

Inclinômetro



Standard Test Methods for Crosshole Seismic Testing¹

(American Society for Testing and Materials)

This standard is issued under the fixed designation D 4428/D 4428M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

1. Scope*

1.1 These test methods are limited to the determination of horizontally traveling compression (P) and shear (S) seismic waves at test sites consisting primarily of soil materials (as opposed to rock). A preferred test method intended for use on critical projects where the highest quality data must be obtained is included. Also included is an optional method intended for use on projects which do not require measurements of a high degree of precision.

1.2 Various applications of the data will be addressed and acceptable interpretation procedures and equipment, such as seismic sources, receivers, and recording systems will be discussed. Other items addressed include borehole spacing, drilling, casing, grouting, deviation surveys, and actual test conduct. Data reduction and interpretation is limited to the identification of various seismic wave types, apparent velocity relation to true velocity, example computations, effective borehole spacing, use of Snell's law of refraction, assumptions, and computer programs.

1.3 It is important to note that more than one acceptable device can be used to generate a high-quality P wave or S wave, or both. Further, several types of commercially available receivers and recording systems can also be used to conduct an acceptable crosshole survey. Consequently, these test methods primarily concern the actual test procedure, data interpretation, and specifications for equipment which will yield uniform test results.

1.4 All recorded and calculated values shall conform to the guide for significant digits and rounding established in Practice D 6026.

1.4.1 The procedures used to specify how data are collected/recorded and calculated in these test methods are regarded as the industry standard. In addition, they are representative of the significant digits that should generally be retained. The procedures used do not consider material variation, purpose for obtaining the data, special purpose studies, or any considerations for the user's objectives; and it is common practice to

increase or reduce significant digits of reported data to be commensurate with these considerations. It is beyond the scope of these test methods to consider significant digits used in analysis methods for engineering design.

1.4.2 Measurements made to more significant digits or better sensitivity than specified in these test methods shall not be regarded as nonconformance with this standard.

1.5 These test methods are written using SI units. Inch-pound units are provided for convenience. The values stated in inch pound units may not be exact equivalents; therefore, they shall be used independently of the SI system. Combining values from the two systems may result in nonconformance with these test methods.

1.5.1 The gravitational system of inch-pound units is used when dealing with inch-pound units. In this system, the pound (lbf) represents a unit of force (weight), while the unit for mass is slugs. The rationalized slug unit is not given, unless dynamic ($F = ma$) calculations are involved.

1.5.2 It is common practice in the engineering/construction profession to concurrently use pounds to represent both a unit of mass (lbm) and of force (lbf). This implicitly combines two separate systems of units; that is, the absolute system and the gravitational system. It is scientifically undesirable to combine the use of two separate sets of inch-pound units within a single standard. As stated, these test methods include the gravitational system of inch-pound units and do not use or present the slug unit for mass. However, the use of balances or scales recording pounds of mass (lbm) or recording density in lbm/ft^3 shall not be regarded as nonconformance with this standard.

1.6 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 653 Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids

D 3740 Practice for Minimum Requirements for Agencies Engaged in the Testing and/or Inspection of Soil and Rock as Used in Engineering Design and Construction

O ensaio *crosshole* é normalizado pela ASTM D4428

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D18 on Soil and Rock and are the direct responsibility of Subcommittee D18.09 on Cyclic and Dynamic Properties of Soils.

Current edition approved July 1, 2007. Published August 2007. Originally approved in 1984. Last previous edition approved in 2000 as D 4428/D 4428M – 00.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

PREPARAÇÃO DOS FUROS

Furos

- $\phi = 3''$ ou $4''$
- Prumo cuidadosamente verificado na perfuração (rigorosamente, a verticalidade dos furos deve ser medida)
- Revestidos com tubos de PVC (preferencialmente, de parede grossa)



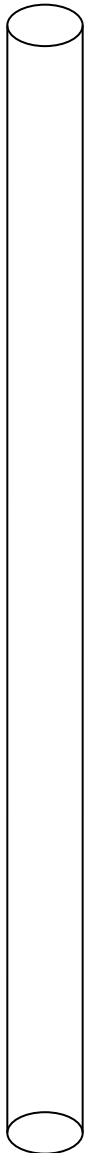
PREPARAÇÃO DOS FUROS

Furos

- Espaço anelar entre o furo e o revestimento preenchido com calda de cimento (com densidade semelhante à densidade do meio circundante), para garantir um bom acoplamento

Ex. relação volumétrica água-cimento = 1, após a pega apresenta uma densidade próxima à $1,7\text{g/cm}^3$ (GIACHETI & ZUQUETTE, 1993)

- Espaçamento entre furos:
 - ✓ Solos → em torno de 3 m
 - ✓ Rocha → espaçamento maior (ex., 6 m pois $V \uparrow \Rightarrow \text{tempo} \downarrow$)



PREPARAÇÃO DOS FUROS

I) Perfuração



II) Preparação dos tubos de PVC



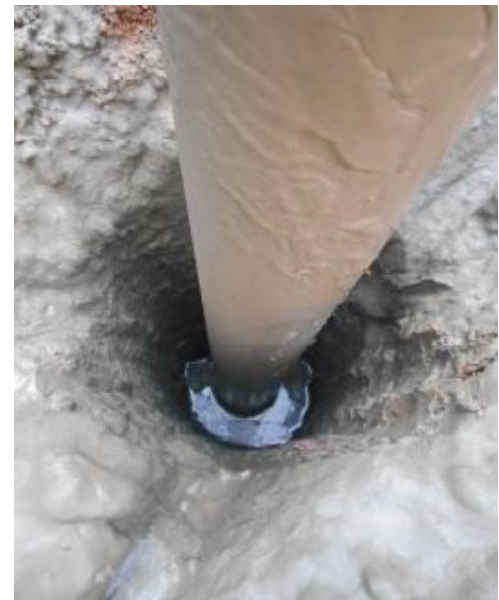
tamponado
na base

PREPARAÇÃO DOS FUROS

III) Instalação dos tubos de PVC



IV) Preenchimento com calda de cimento



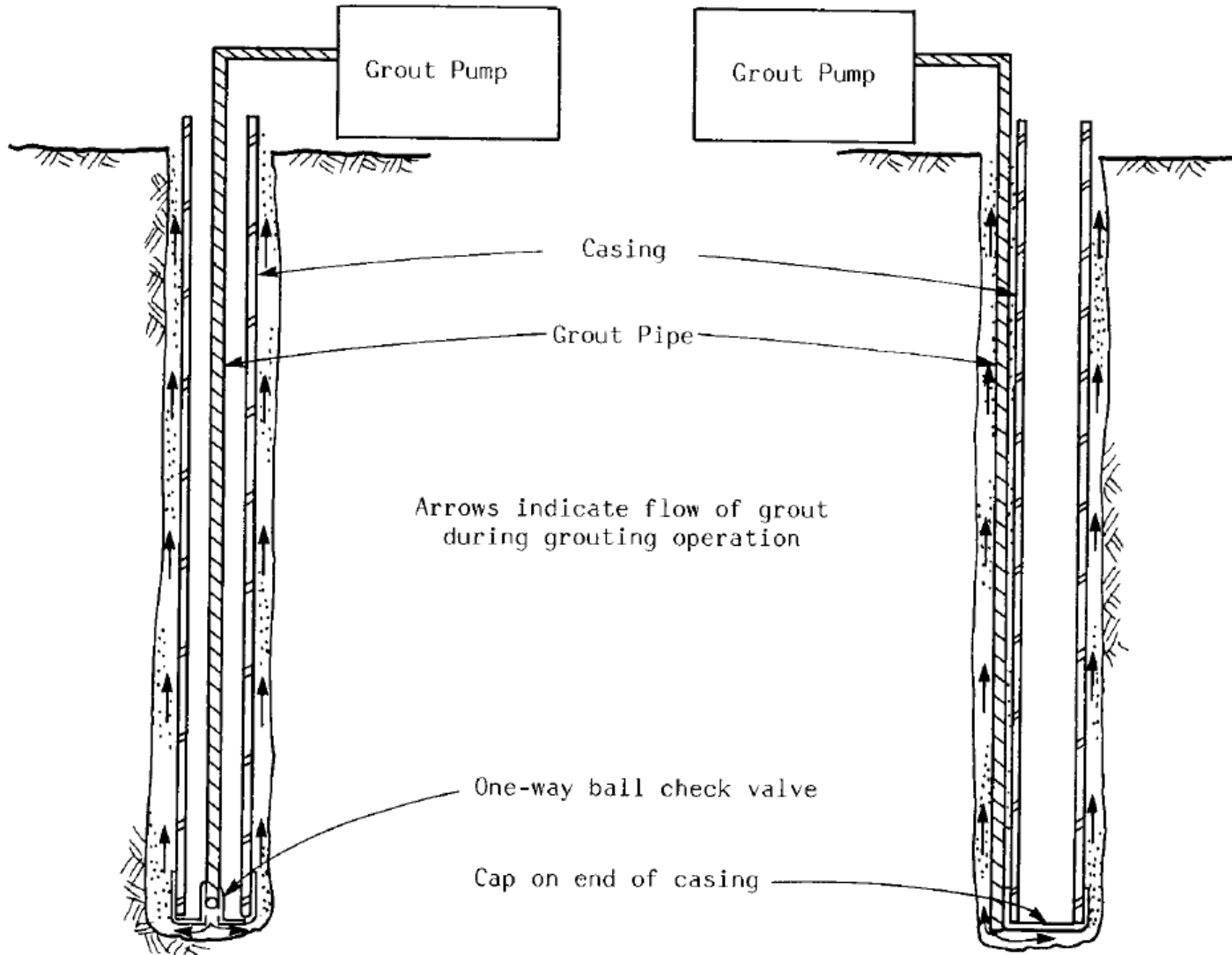


FIG. 4 Acceptable Grouting Techniques



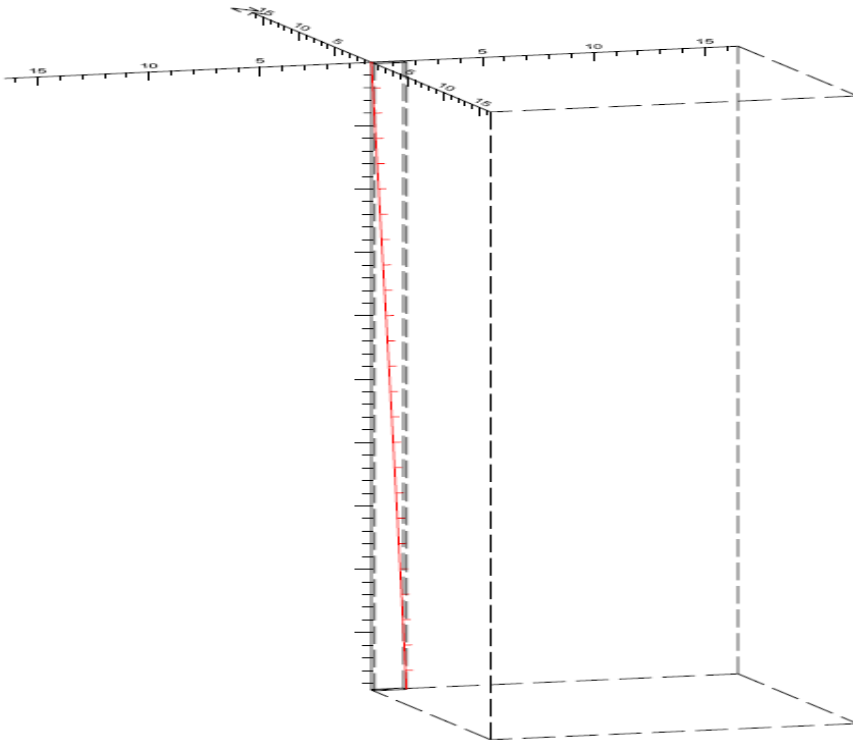
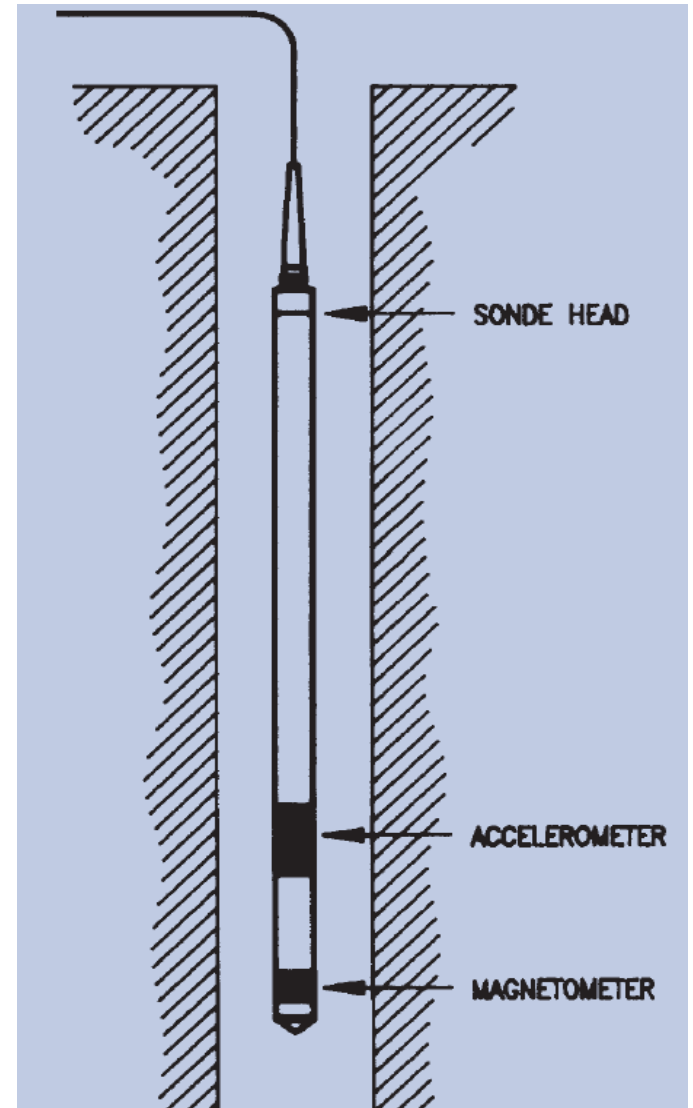
PROBE CHARACTERISTICS	
DIAMETER	<i>max 44 mm</i>
LENGTH	<i>1500 mm;</i>
WEIGHT	<i>6.9 kg</i>
RANGE OF MEASUREMENTS	
AZIMUTH (LATITUDINE +/-55 GRADI)	<i>+/- 0.3 gradi</i>
INCLINATION	<i>+/- 0.1 gradi</i>
ROTATION	<i>+/- 0.1 gradi</i>
OPERATING TEMPERATURE	<i>0-125°C</i>
MAXIMUM WORK PRESSURE	<i>20 bar</i>



Figure 10, 11 – Inclinator Probe A15 (sx) and its Acquisition Unit (dx)

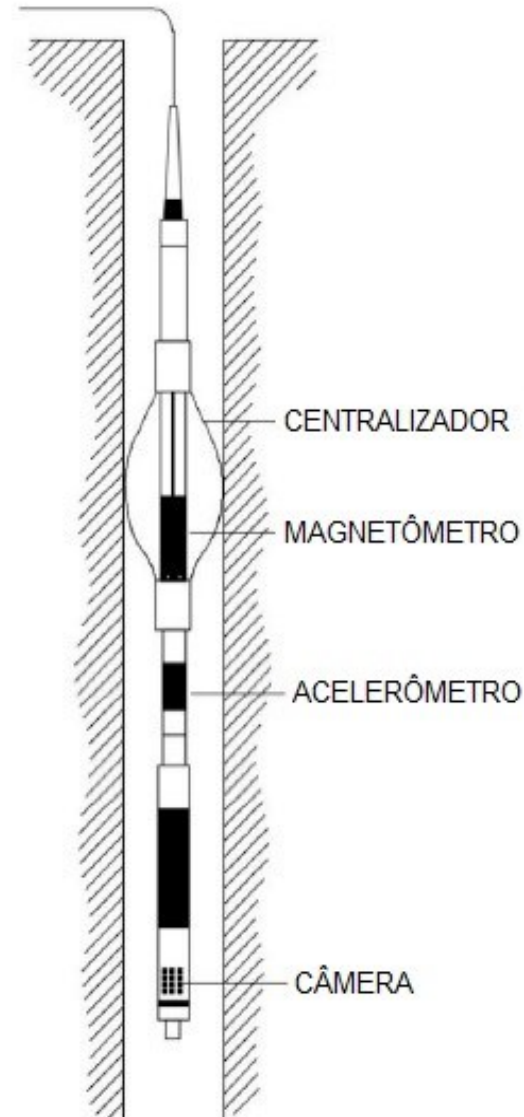
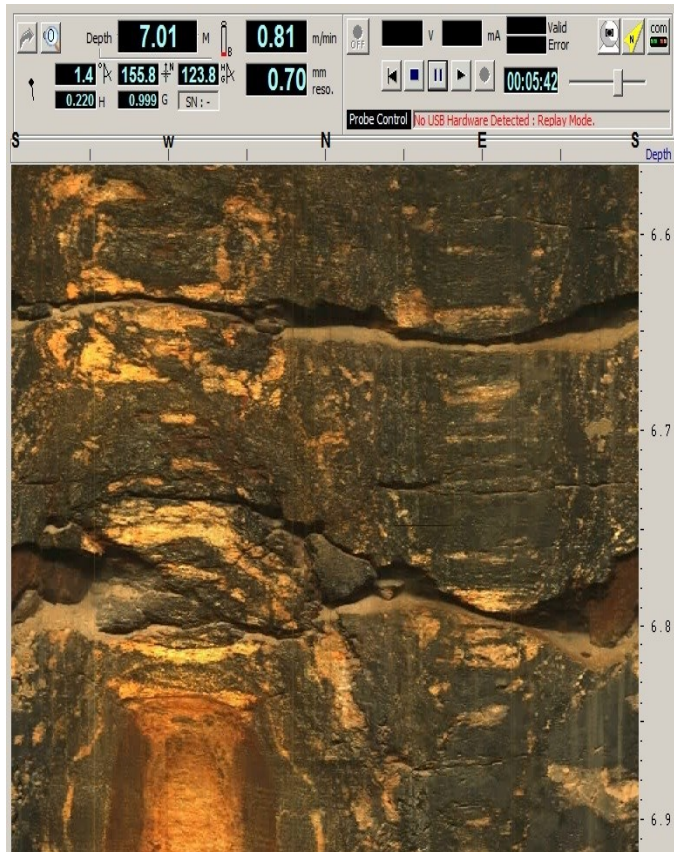
SONDA DE VERTICALIDADE

- Magnetômetro triaxial
→ orientação em relação ao norte magnético (e norte verdadeiro quando corrigida a declinação magnética)
- Três acelerômetros
→ para medida da inclinação do furo



SONDA OPTV (OPTICAL BOREHOLE TELEVIEWER)

Televisionamento de furo de sondagem

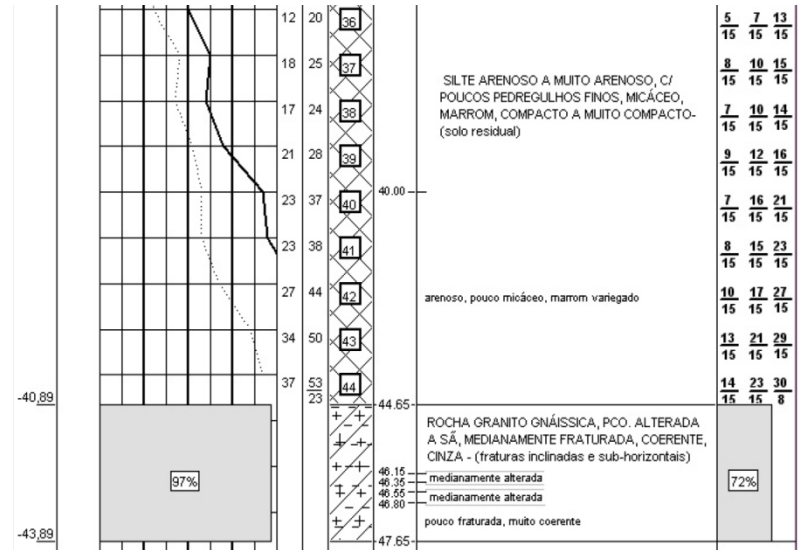


Ensaio *crosshole* em furo profundo ($\cong 48$ m), Itaguaí-RJ 12/2012



Cliente: ODEBRECHT SERVIÇOS DE ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO S.A. Obra: PROJETO SEPETIBA - ESTALEIRO NAVAL / BASE NAVAL Local: Ilha da Madeira, Itaguaí, RJ.						SONDAGEM MISTA CH-03 A Cota: 3,755 m Início: 02/07/12 Fim: 24/07/12 Coord. N : 7.464.012,359 Coord. E : 618.333,732				
Cota em Relação ao R.N.	Nível da Água	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO			NÚMERO DE AMOSTRAS	Profundidade da Camada	REVESTIMENTO: Ø 76,2 mm Ø INTERNO: 34,9 mm Ø EXTERNO: 50,8 mm PESO: 65 Kg ALTURA DA QUEDA: 75 cm	ENSAIO PENETRO-MÉTRICO (Golpes/cm)		
		AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI & PECK								
		No. DE GOLPES			I	F	CLASSIFICAÇÃO DA CAMADA			
		10	20	30						
					6	9	AREIA FINA A MÉDIA, COM POUCOS FRAGMENTOS DE CONCHAS, MARROM ACINZENTADO, MEDIANAMENTE COMPACTA cinza amarelado	$\frac{2}{15}$	$\frac{4}{15}$	$\frac{5}{15}$
					8	11		$\frac{4}{15}$	$\frac{4}{15}$	$\frac{7}{15}$
					8	13		$\frac{3}{15}$	$\frac{5}{15}$	$\frac{8}{15}$
					9	11		$\frac{4}{15}$	$\frac{5}{15}$	$\frac{6}{15}$
					8	12		$\frac{3}{15}$	$\frac{5}{15}$	$\frac{7}{15}$
					6	11		$\frac{2}{15}$	$\frac{4}{15}$	$\frac{7}{15}$
					11	15		$\frac{5}{15}$	$\frac{6}{15}$	$\frac{9}{15}$

Ensaio crosshole (m)	COTA DA LAJE = 3,890				COTA DA LAJE = 3,900				COTA DA LAJE = 3,940					
	Profundidade abaixo da laje	CH03A			Distância entre pontos	CH03			Distância entre pontos	CH03B				
		N (m)	E (m)	Z (m)		N (m)	E (m)	Z (m)		N (m)	E (m)	Z (m)		
0,00				4,053				4,053						
1,00				3,053				3,053						
2,00				2,053				2,053						
	-2,110	7.464.012,338	618.333,642	1,780	3,057	7.464.010,847	618.330,973	1,790	3,044	7.464.009,332	618.328,333	1,830		
	-2,606	7.464.012,344	618.333,639	1,284	3,062	7.464.010,839	618.330,972	1,294	3,045	7.464.009,329	618.328,328	1,333		
3,00	-2,847	7.464.012,347	618.333,637	1,053	3,068	7.464.010,836	618.330,971	1,053	3,048	7.464.009,328	618.328,326	1,053		
	-3,106	7.464.012,350	618.333,635	0,784	3,067	7.464.010,832	618.330,970	0,794	3,045	7.464.009,326	618.328,323	0,833		
	-3,606	7.464.012,356	618.333,632	0,284	3,072	7.464.010,824	618.330,969	0,294	3,046	7.464.009,323	618.328,318	0,333		
4,00	-3,847	7.464.012,359	618.333,630	0,053	3,076	7.464.010,820	618.330,968	0,053	3,047	7.464.009,321	618.328,316	0,053		
	-4,106	7.464.012,362	618.333,629	-0,217	3,078	7.464.010,816	618.330,967	-0,206	3,047	7.464.009,320	618.328,313	-0,167		
	-4,606	7.464.012,369	618.333,626	-0,717	3,084	7.464.010,808	618.330,965	-0,706	3,048	7.464.009,315	618.328,308	-0,667		
5,00	-4,847	7.464.012,372	618.333,624	-0,947	3,088	7.464.010,803	618.330,964	-0,947	3,048	7.464.009,311	618.328,306	-0,947		

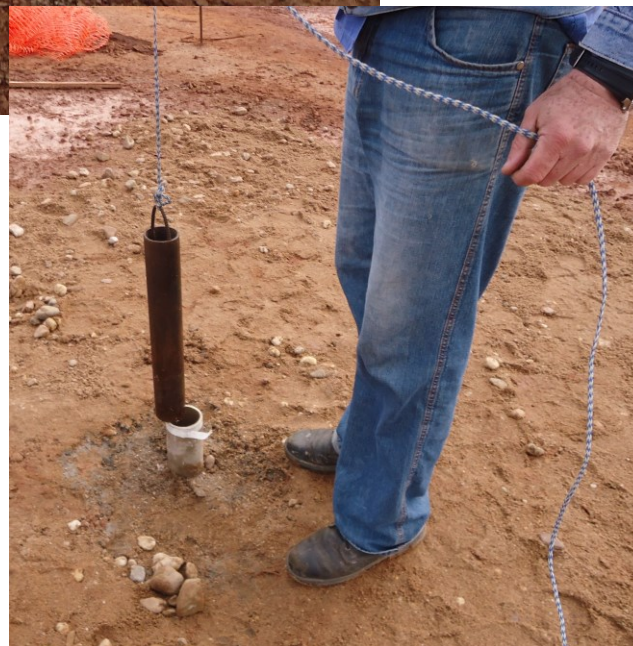


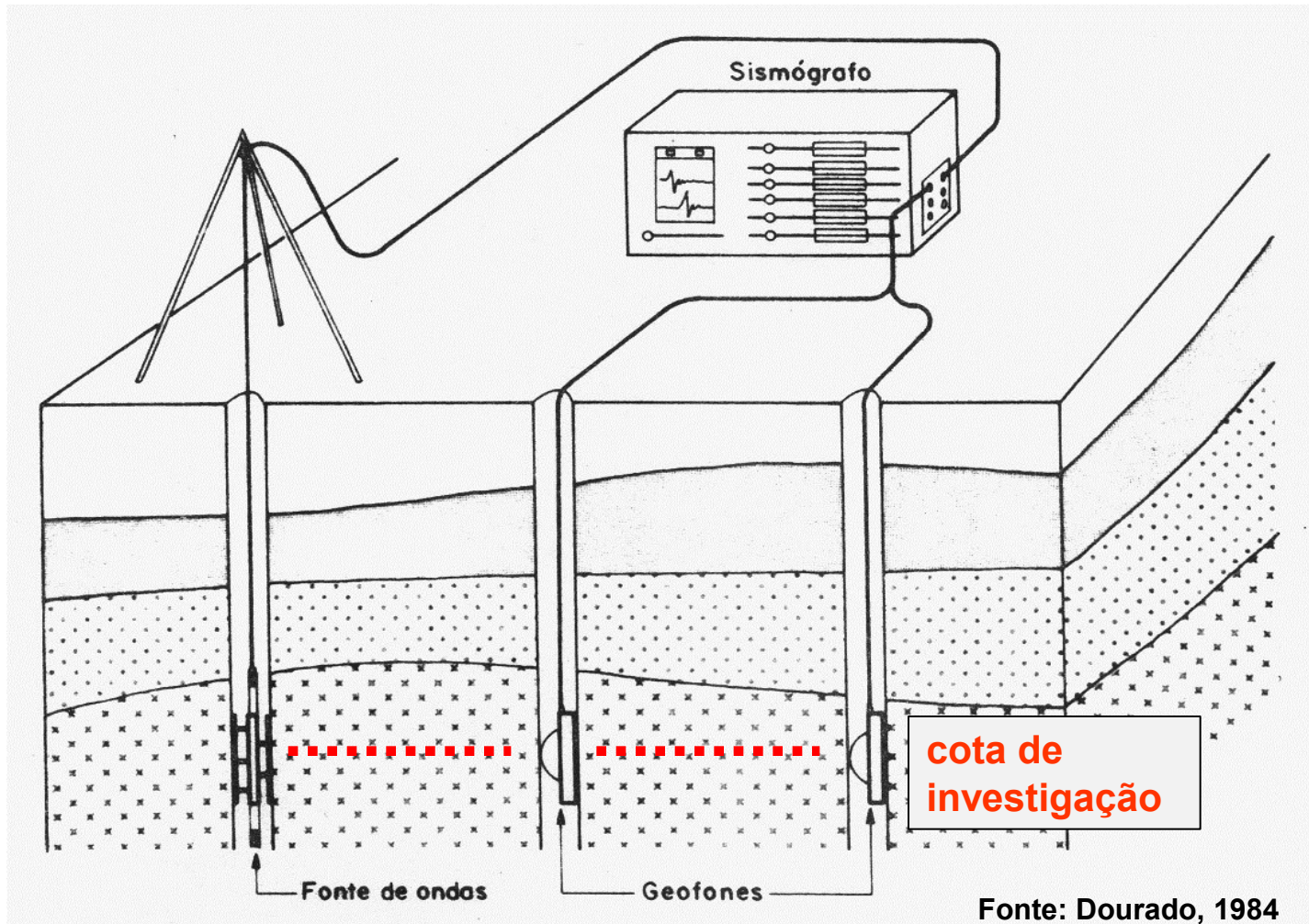
43,00	-42,847	7.464.012,701	618.333,272	-38,947	3,079	7.464.009,945	618.330,414	-38,947	2,980	7.464.008,597	618.328,214	-38,947
	-43,089	7.464.012,703	618.333,267	-39,212	3,972	7.464.009,943	618.330,410	-39,189	2,578	7.464.008,590	618.328,215	-39,158
	-43,589	7.464.012,706	618.333,258	-39,712	3,976	7.464.009,940	618.330,401	-39,689	2,577	7.464.008,581	618.328,212	-39,658
44,00	-43,847	7.464.012,707	618.333,253	-39,947	3,978	7.464.009,938	618.330,397	-39,947	2,976	7.464.008,578	618.328,209	-39,947
	-44,088	7.464.012,708	618.333,248	-40,212	3,979	7.464.009,936	618.330,393	-40,188	2,576	7.464.008,575	618.328,207	-40,158
	-44,588	7.464.012,711	618.333,238	-40,712	3,982	7.464.009,932	618.330,385	-40,688	2,576	7.464.008,568	618.328,200	-40,658
45,00	-44,847	7.464.012,712	618.333,234	-40,947	3,984	7.464.009,930	618.330,381	-40,947	2,576	7.464.008,566	618.328,196	-40,947
	-45,088	7.464.012,713	618.333,229	-41,212	3,986	7.464.009,928	618.330,376	-41,188	2,576	7.464.008,564	618.328,192	-41,158
	-45,588	7.464.012,715	618.333,217	-41,711	3,990	7.464.009,923	618.330,367	-41,688	2,573	7.464.008,561	618.328,183	-41,658
46,00	-45,847	7.464.012,715	618.333,211	-41,947	3,992	7.464.009,919	618.330,362	-41,947	2,572	7.464.008,560	618.328,179	-41,947
	-46,088	7.464.012,716	618.333,204	-42,211	3,995	7.464.009,915	618.330,356	-42,188	2,570	7.464.008,558	618.328,174	-42,157
	-46,588	7.464.012,717	618.333,190	-42,711	4,000	7.464.009,905	618.330,345	-42,688	2,565	7.464.008,555	618.328,164	-42,657
47,00	-46,847	7.464.012,717	618.333,183	-42,947	4,003	7.464.009,901	618.330,339	-42,947	2,565	7.464.008,554	618.328,160	-42,947
	-47,087	7.464.012,718	618.333,176	-43,211	4,005	7.464.009,895	618.330,334	-43,187	2,558	7.464.008,553	618.328,156	-43,157
	-47,587	7.464.012,718	618.333,162	-43,711	4,011	7.464.009,884	618.330,324	-43,687	2,550	7.464.008,550	618.328,150	-43,657
48,00	-47,847	7.464.012,718	618.333,157	-43,947	4,013	7.464.009,878	618.330,321	-43,947	2,548	7.464.008,549	618.328,149	-43,947

Nivelamento da boca dos furos



Descida da
"sonda falsa"





Objetivo: Determinação precisa dos valores de V_p e V_s “in situ”

⇒ É o ensaio que fornece com **maior precisão** os valores das **velocidades das ondas sísmicas** em subsuperfície

A Comparison of Four Geophysical Methods for Determining the Shear Wave Velocity of Soils

Neil Anderson¹, Thanop Thitimakorn¹, David Hoffman², Richard Stephenson², Ronaldo Luna²

Geological Sciences and Engineering, University of Missouri-Rolla, Rolla, Missouri

Civil, Architectural and Environmental Engineering, University of Missouri-Rolla, Rolla, Missouri

These CH shear wave velocity data are assumed to be more reliable than the corresponding SCPT, MASW and ReMI data, and were used as a “yard stick” for evaluating the accuracy of the acquired SCPT, MASW, and ReMI shear wave velocity data.

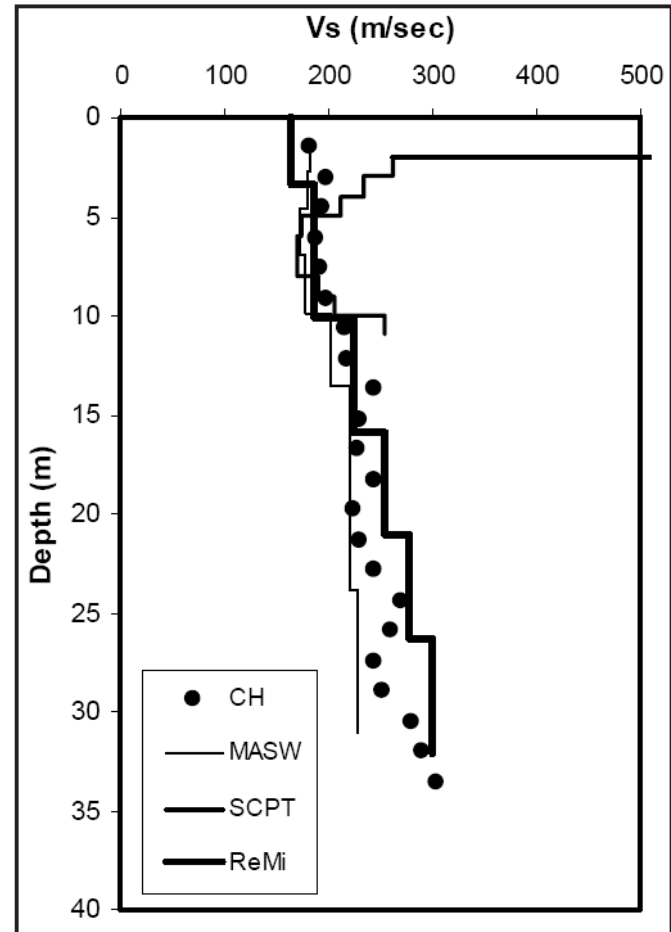
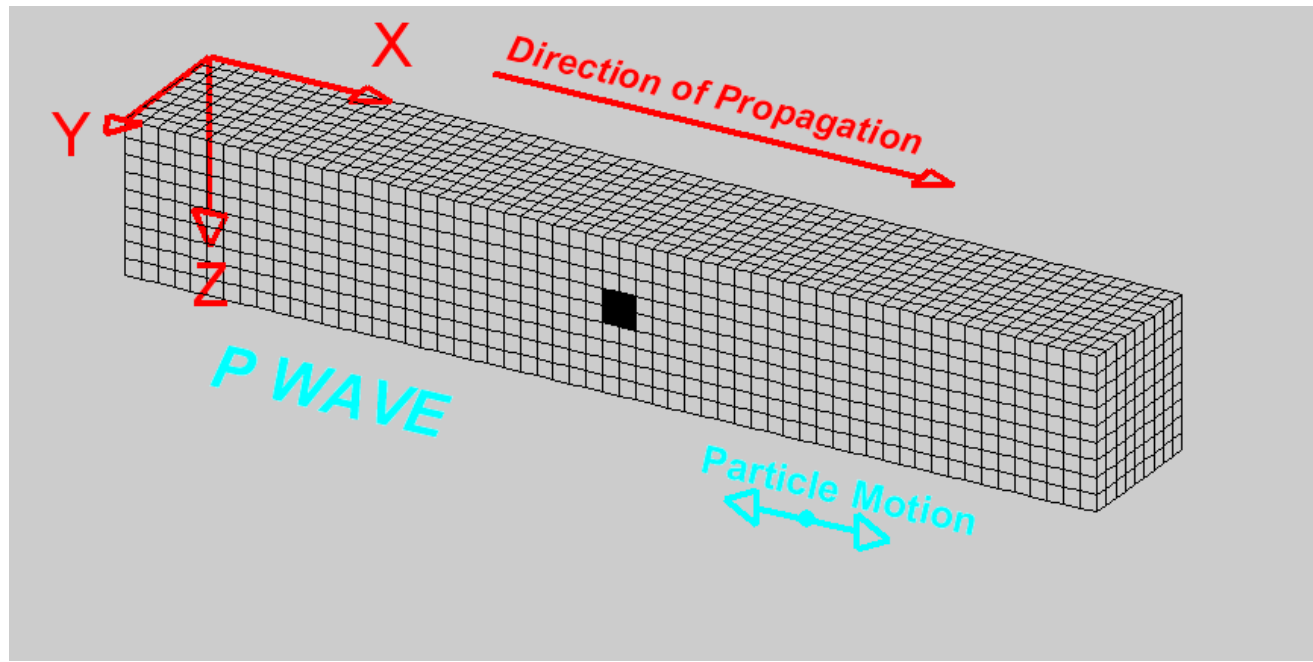
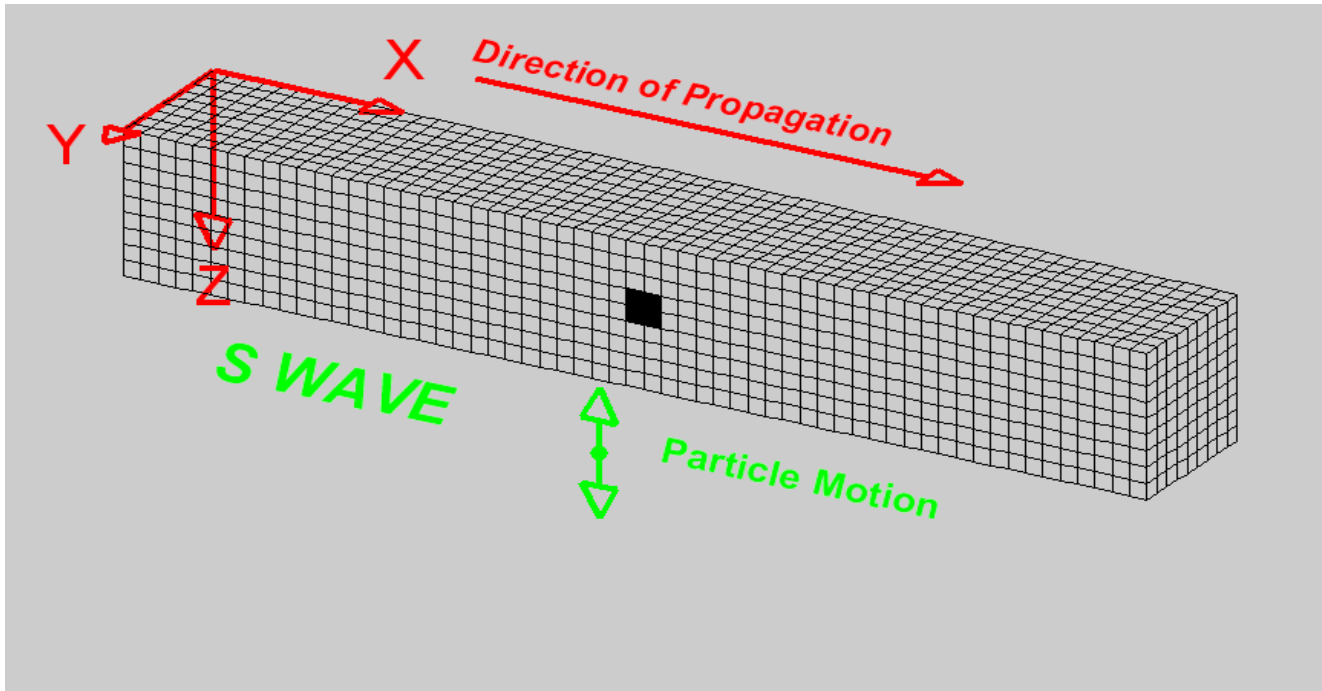


Fig. 1: CH, SCPT, MASW and ReMI shear wave velocity profiles for test site #3.

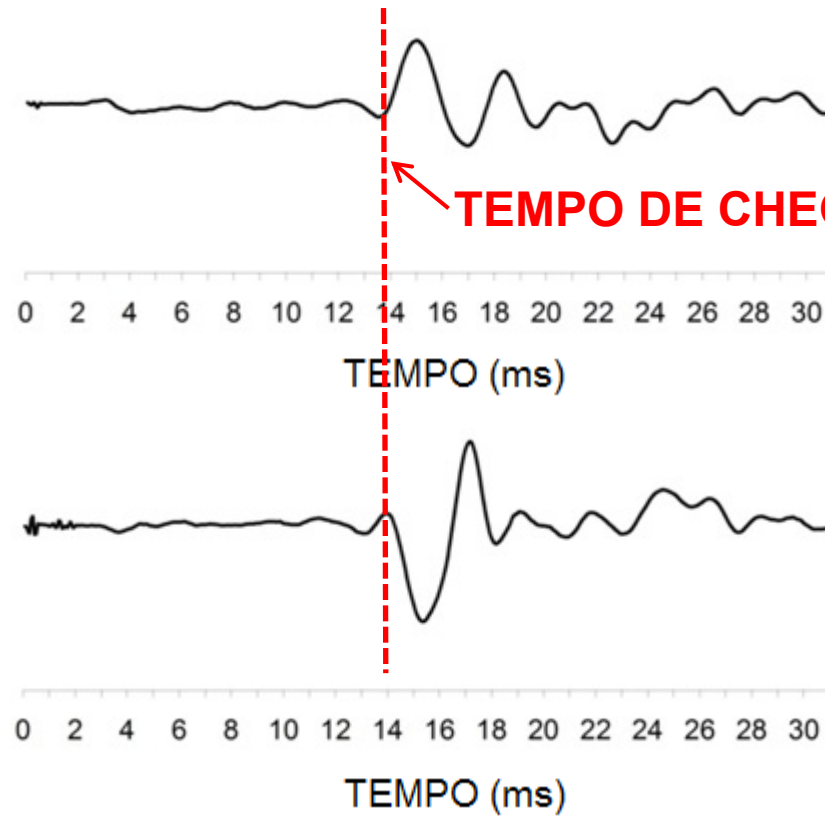
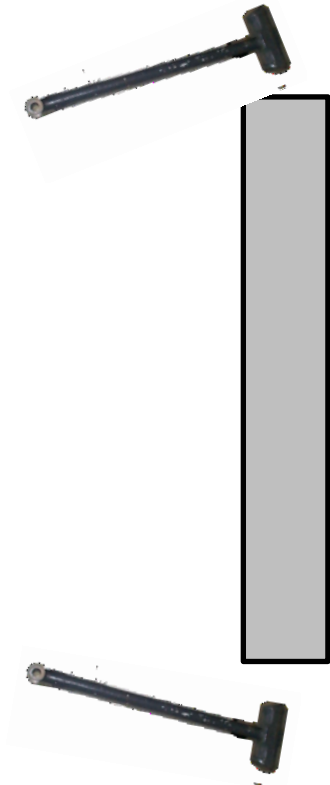
Onda P



Onda S



A onda cisalhante (onda S) tem a capacidade de polarizar-se



Relações entre os módulos dinâmicos com V_P e V_S

$$\nu = \frac{\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 - 2}{2 \cdot \left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 - 2} = \frac{(V_P^2 - 2 \cdot V_S^2)}{2 \cdot (V_P^2 - V_S^2)} \quad (\text{coeficiente de Poisson dinâmico})$$

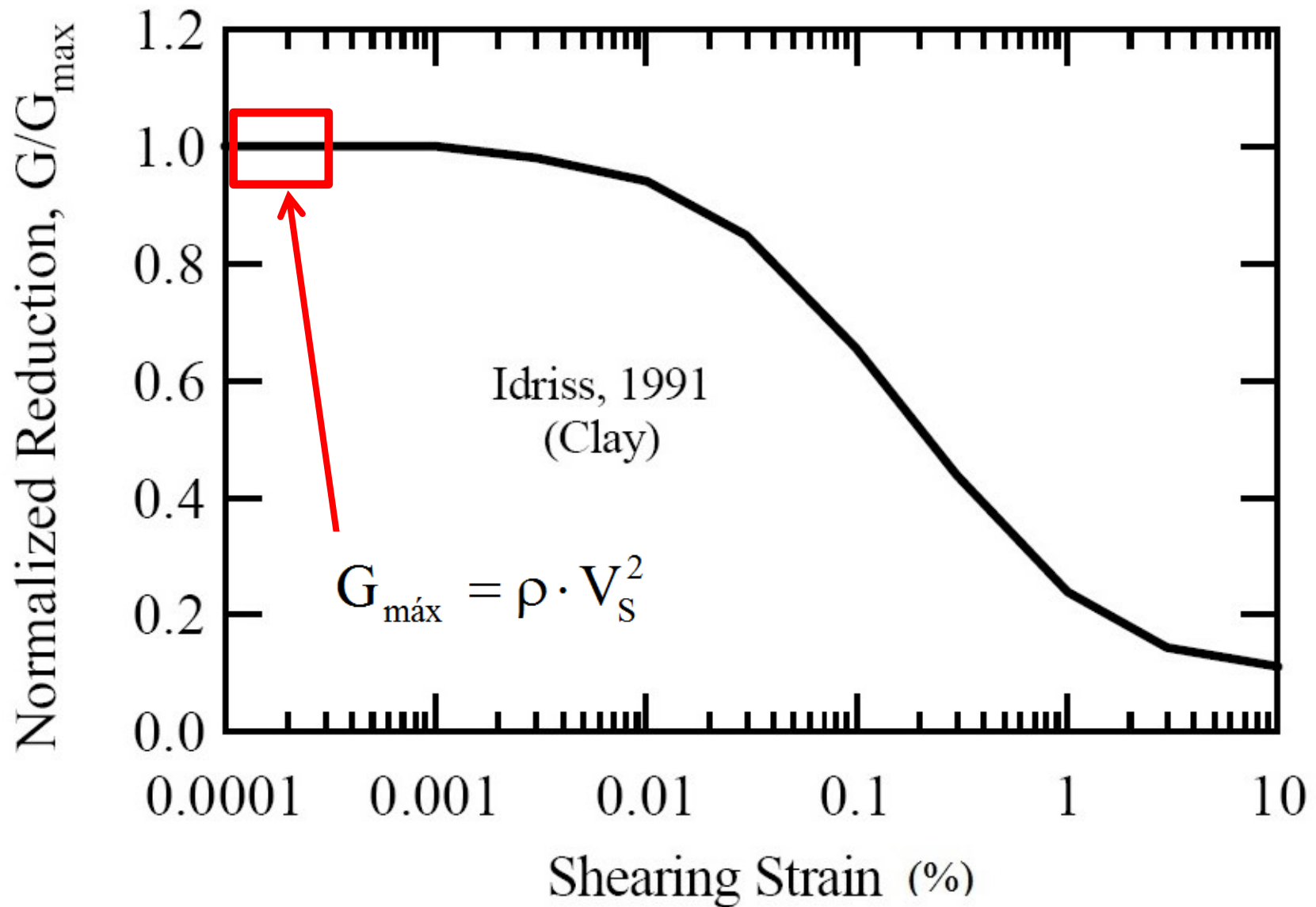
$$E = V_P^2 \cdot \rho \cdot \frac{(1-2\nu) \cdot (1+\nu)}{(1-\nu)} = 2 \cdot V_S^2 \cdot \rho \cdot (1+\nu) \quad (\text{módulo de Young dinâmico})$$

$$G = \rho \cdot V_S^2 \quad (\text{módulo de cisalhamento dinâmico})$$

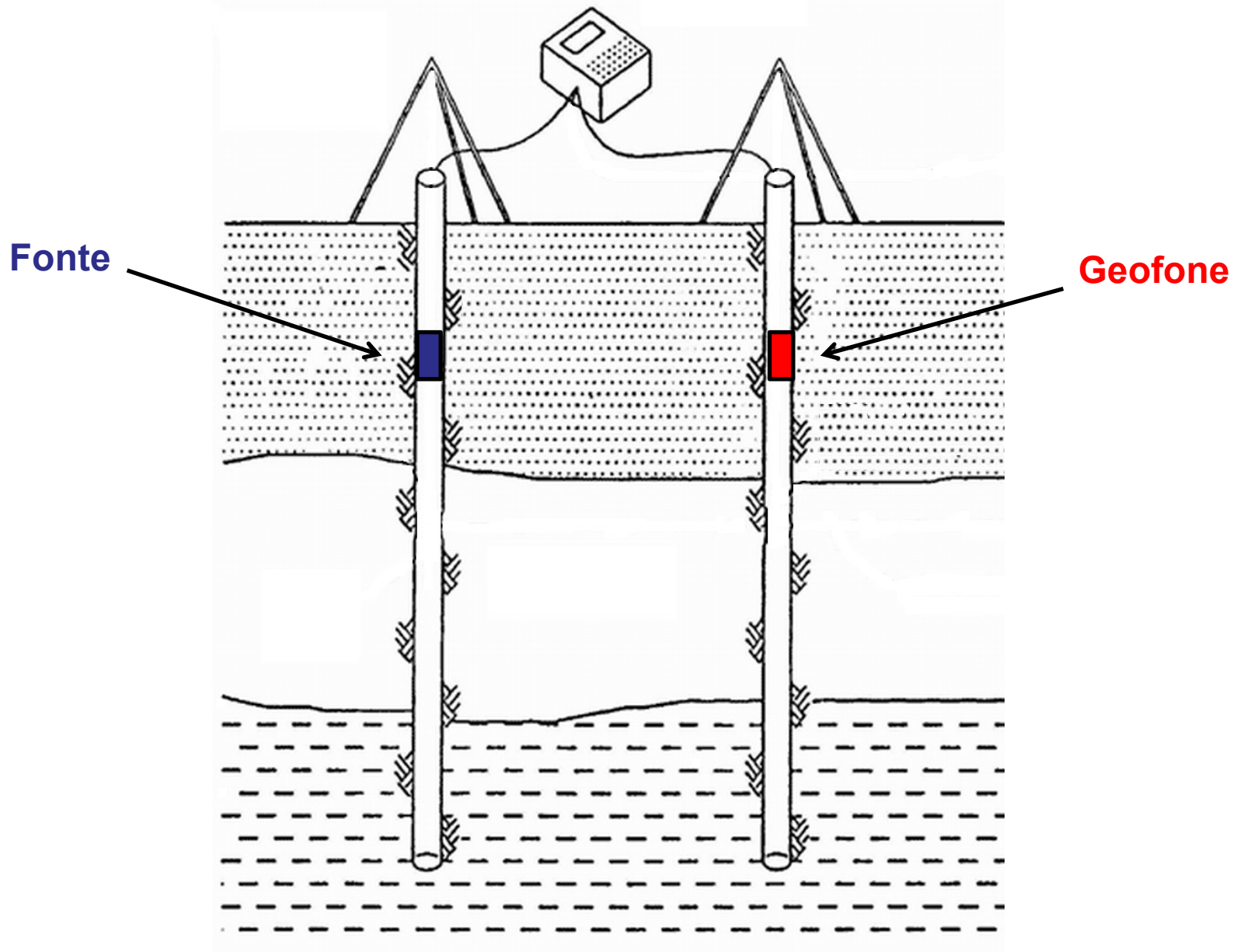
V_P e $V_S \rightarrow$ Medidos pelo ensaio sísmico *crosshole*

$$\rho \text{ (massa específica)} = \gamma_N / g$$

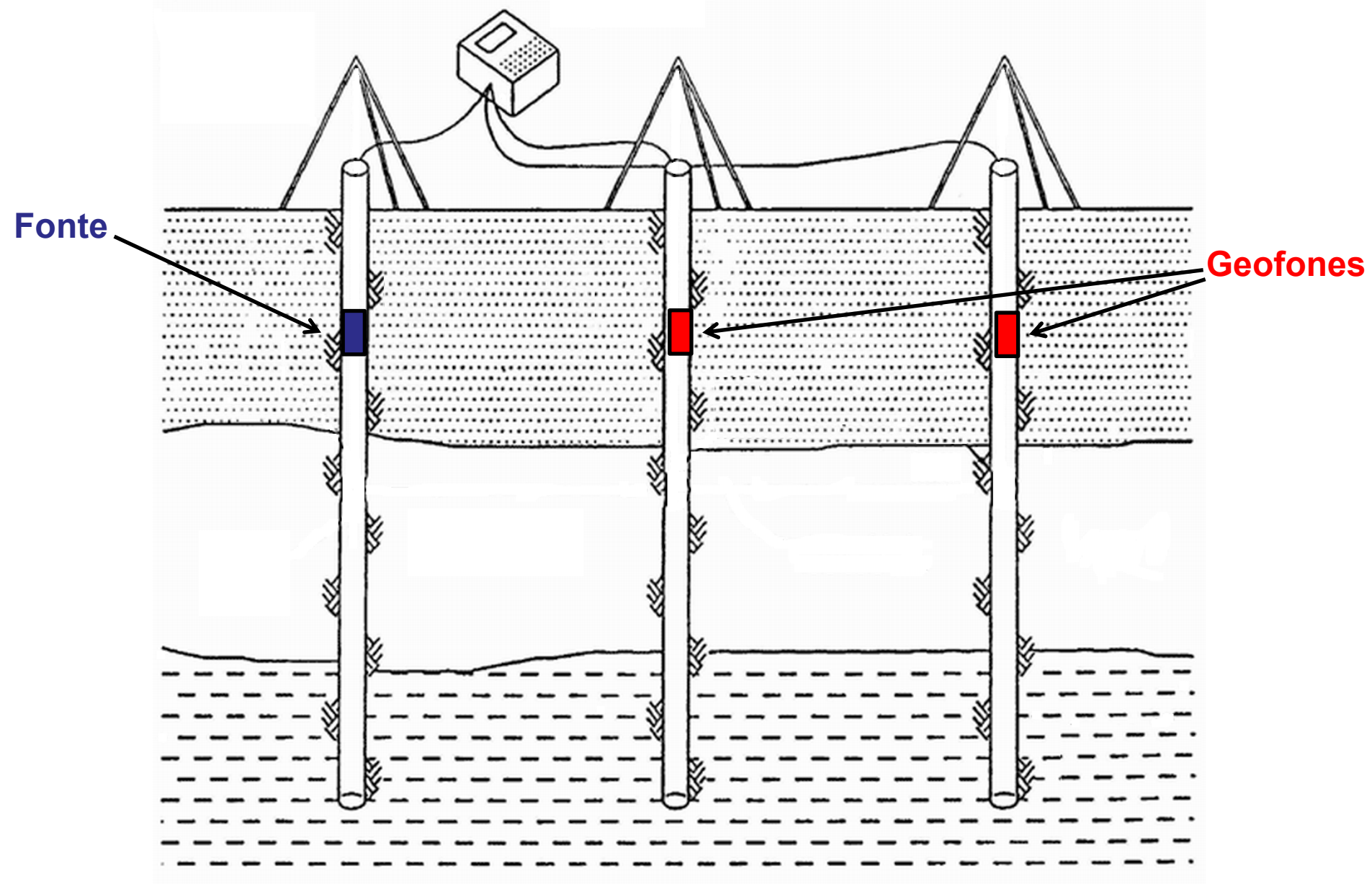
CURVA DE DEGRADAÇÃO DO MÓDULO DE RIGIDEZ (G)



O ensaio CH pode ser realizado utilizando-se 2 furos



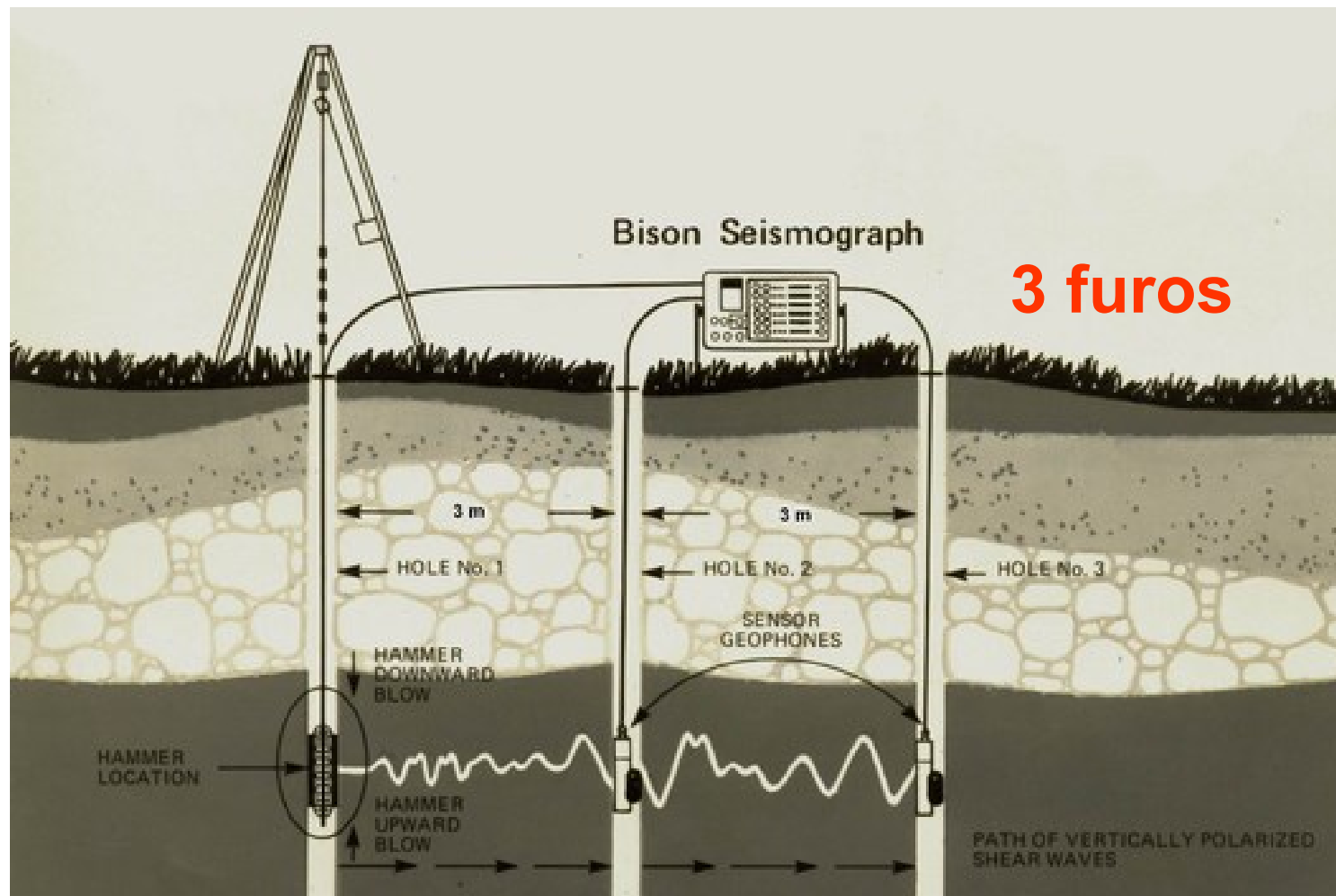
ou utilizando-se 3 furos (mais recomendado - ASTM D4428)





Eldorado Celulose (Três Lagoas - MS)
04/2019

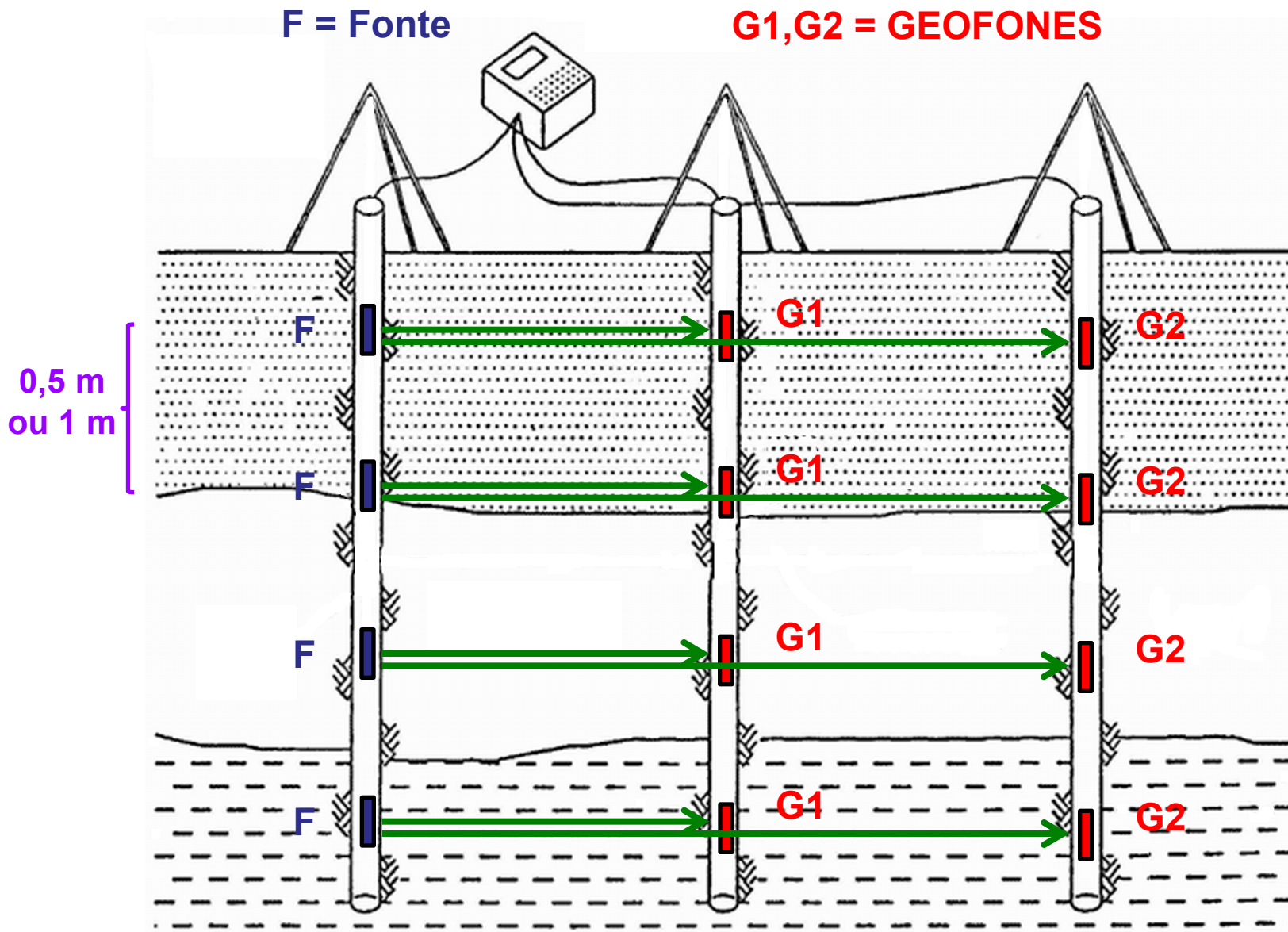
Ensaio Crosshole



PRINCIPAL LIMITAÇÃO:

A investigação está restrita a um volume limitado do maciço (existente entre os furos, em torno de 6 m)

Ensaio CROSSHOLE: como o ensaio é realizado?



A fonte de ondas e os geofones são posicionados na mesma cota

A precisão e a resolução do ensaio CROSSHOLE é constante para todas as profundidades; com os ensaios de superfície, a precisão e a resolução diminuem com a profundidade

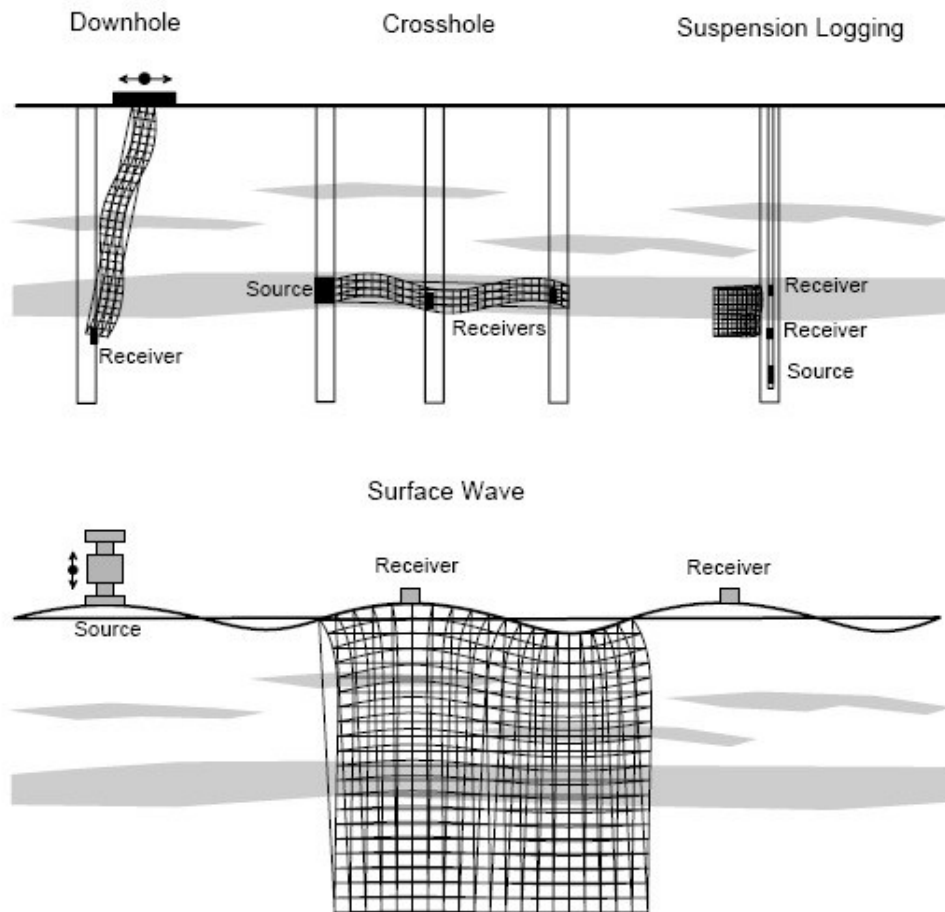
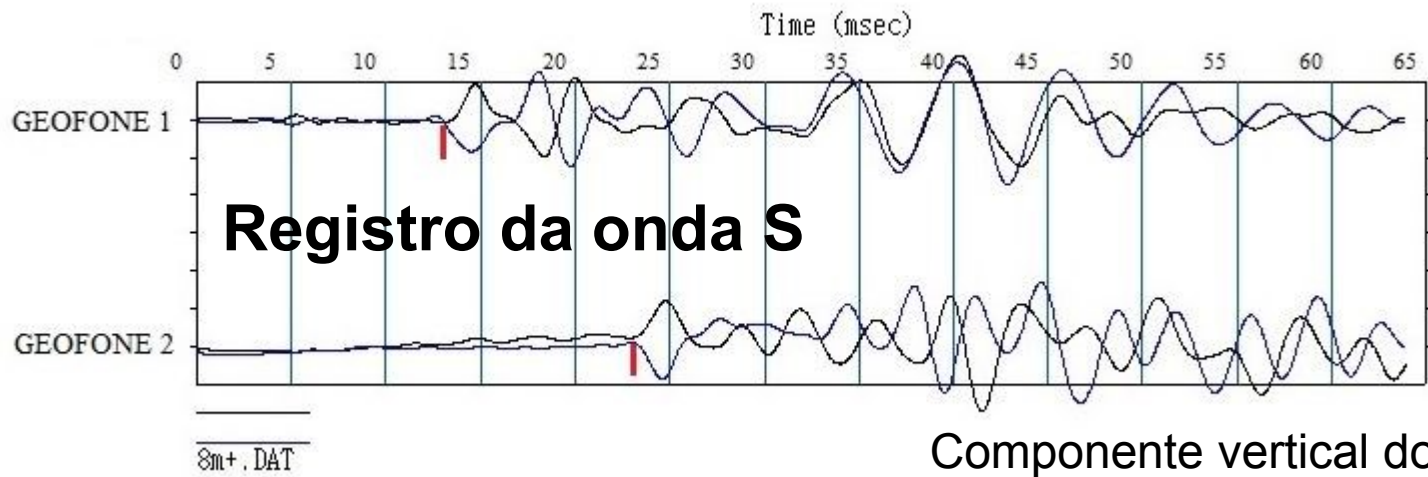
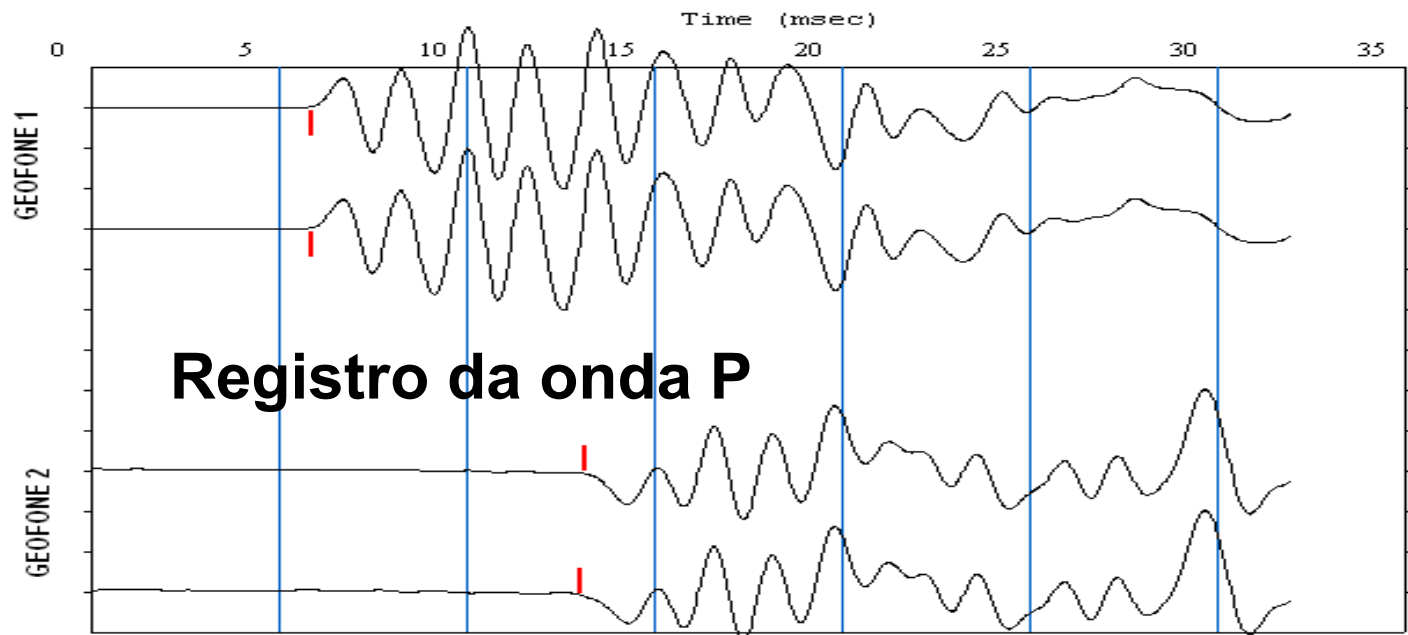


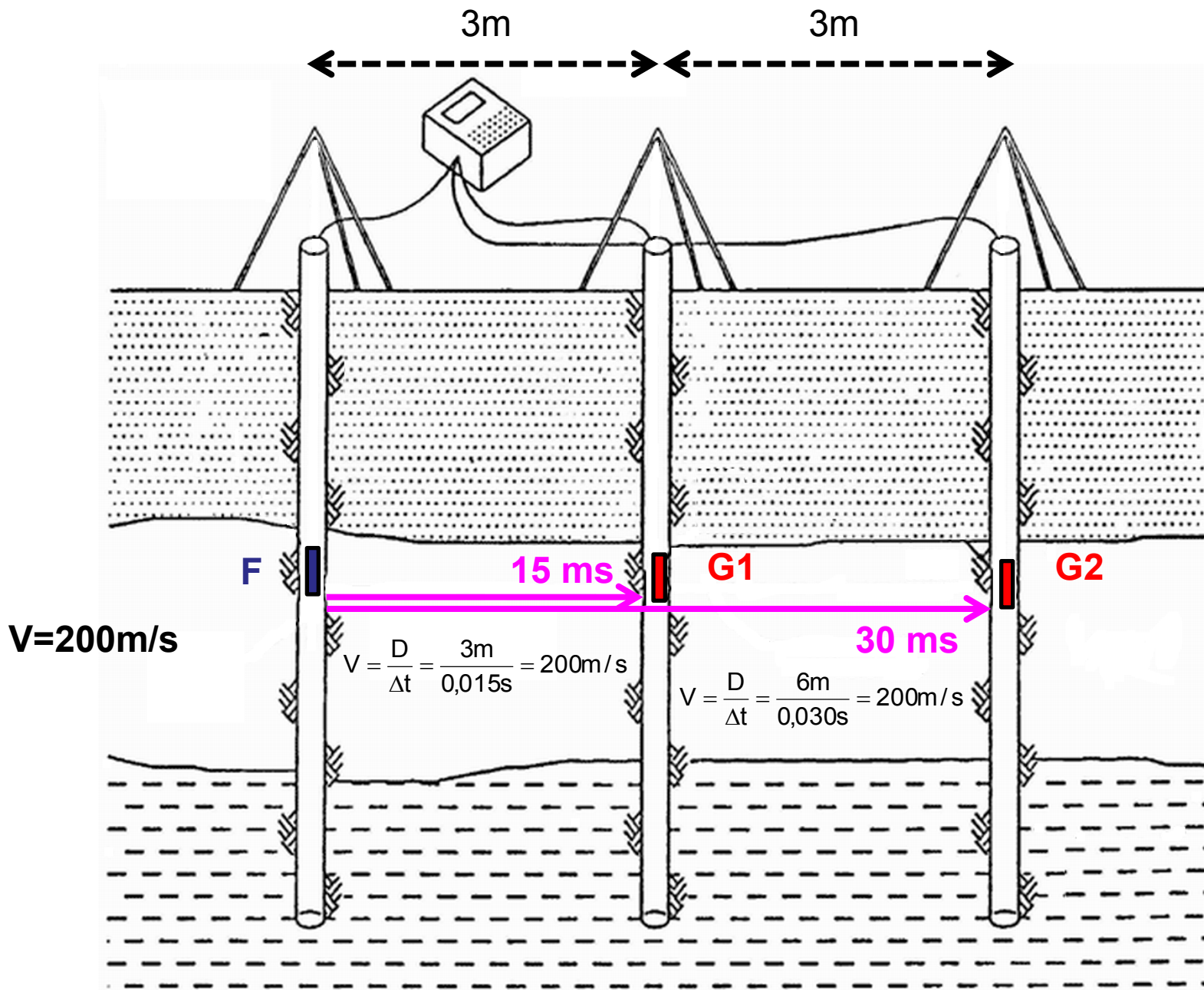
Figure 3.98: Difference in scale and resolution among various geophysical methods for measuring V_s .



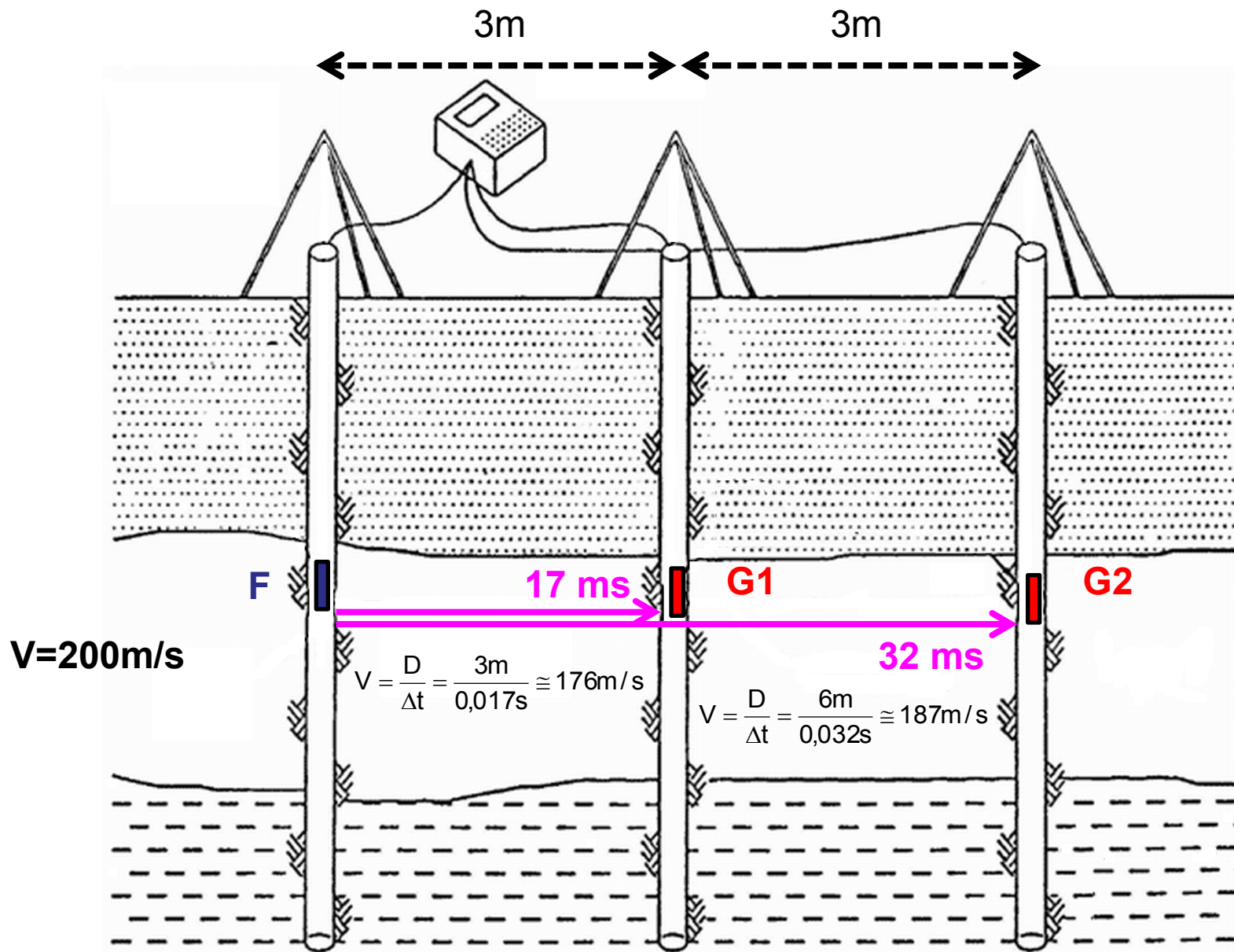
Componente vertical do geofone



Componentes horizontais do geofone



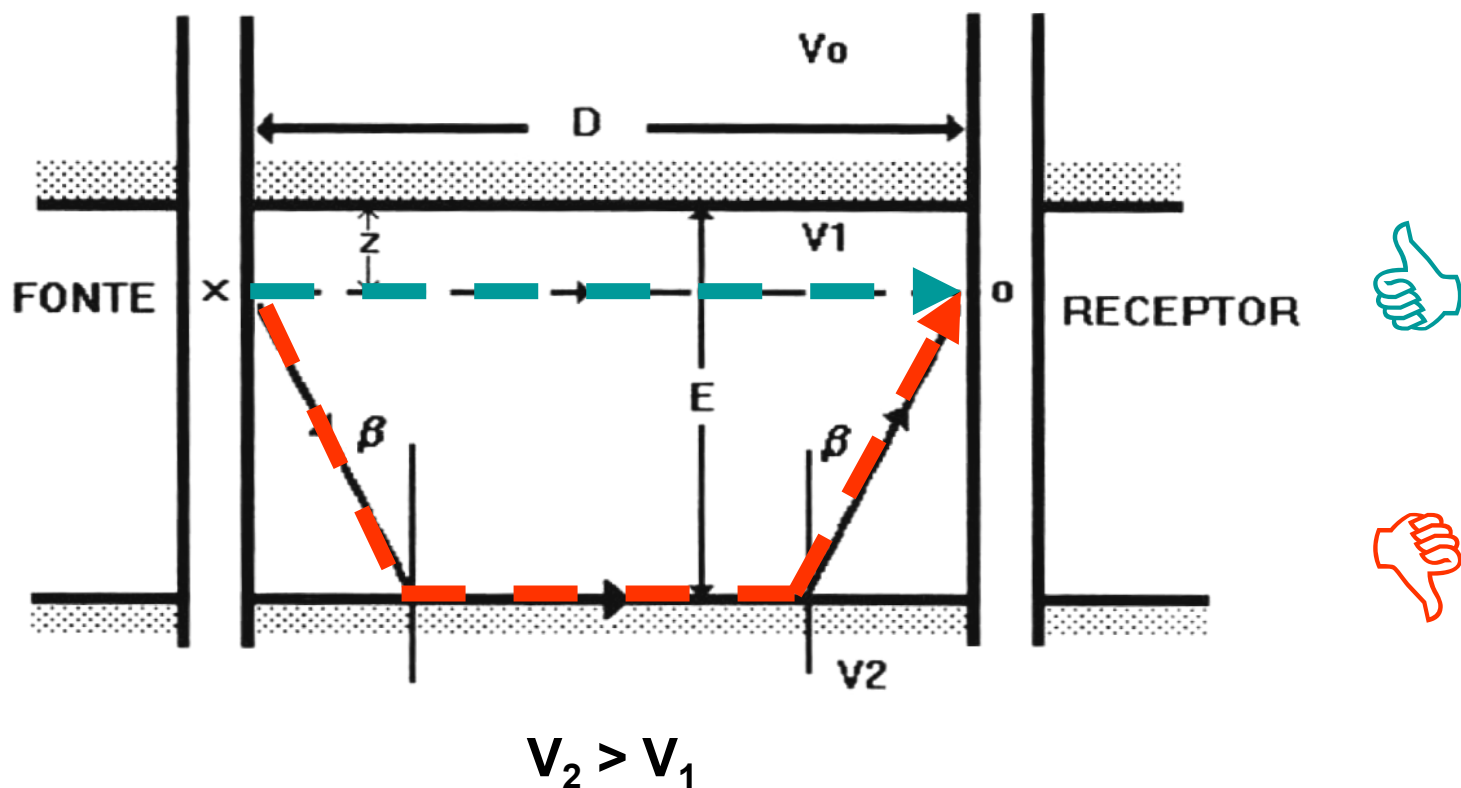
A importância de se utilizar 3 furos no ensaio *crosshole*



Trabalhando com as \neq de tempos, os erros devido a problema no "trigger" são eliminados!

$$V = \frac{D}{\Delta t_2 - \Delta t_1} = \frac{3\text{m}}{0,032\text{s} - 0,017\text{s}} = \frac{3\text{m}}{0,015} = 200\text{m/s}$$

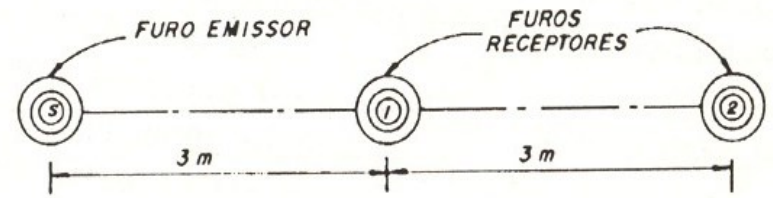
✓ O ensaio é concebido para captar as ondas diretas (trajetória direta, supostamente retilínea entre fonte e geofone), isto é, aquelas que não sofreram refração, obtendo-se os valores reais das velocidades de propagação das ondas P e S



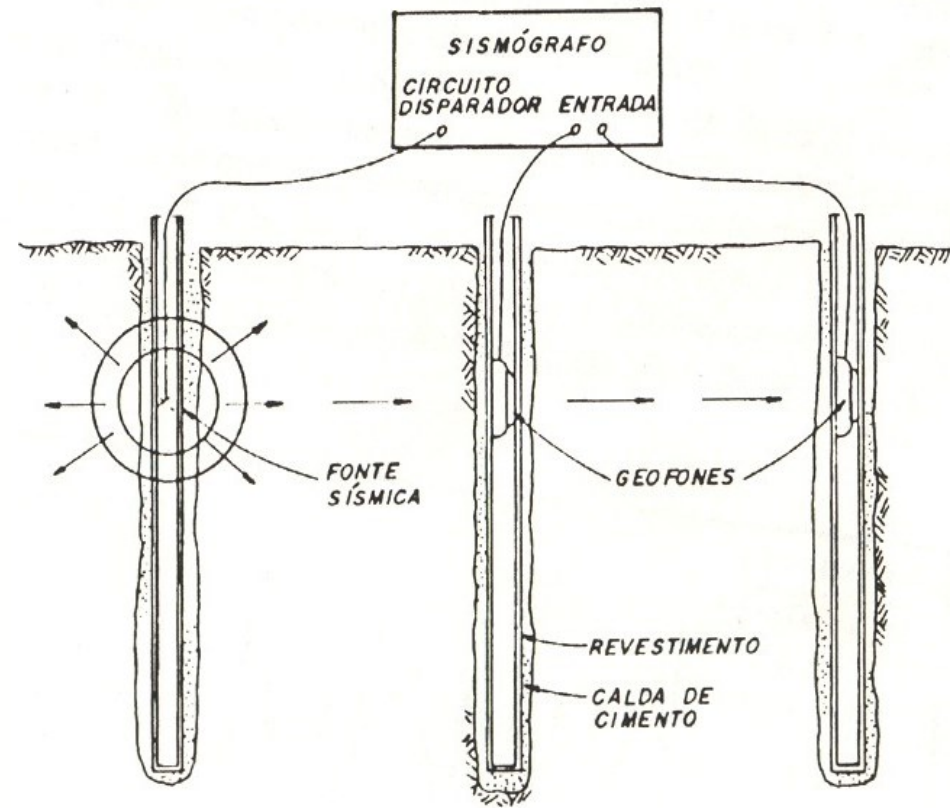
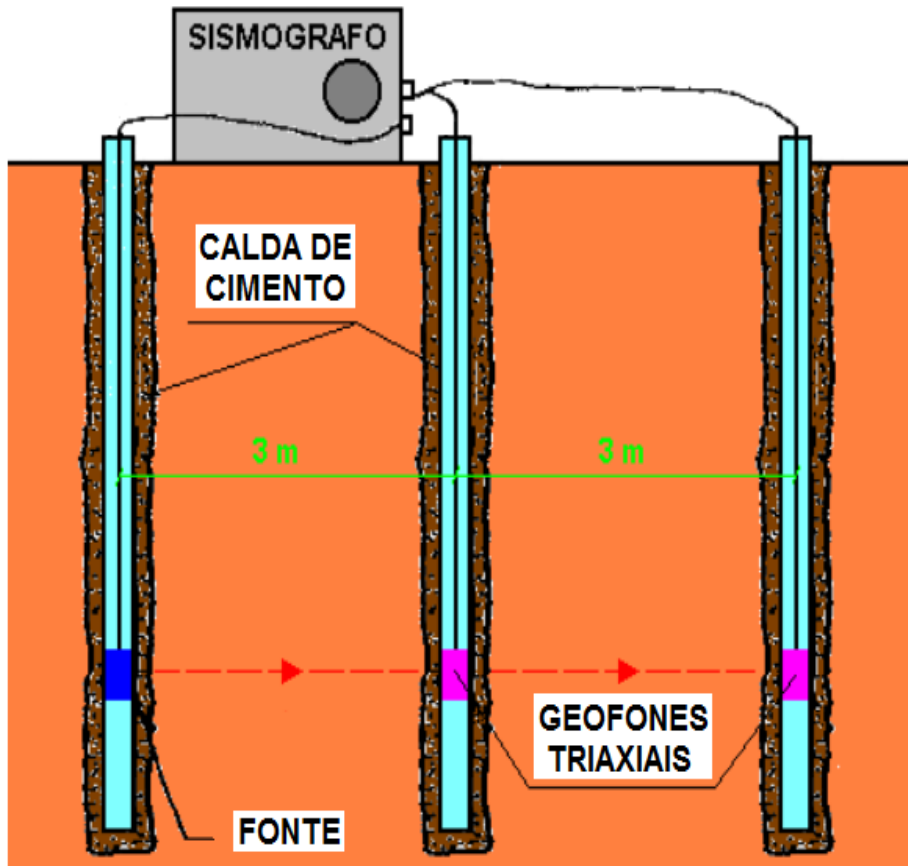
Por este motivo o espaçamento entre furos deve ser pequeno ($\cong 3$ m)

ASTM D4428

→ 3 furos coplanares, alinhados e igualmente espaçados (em geral 3 m)



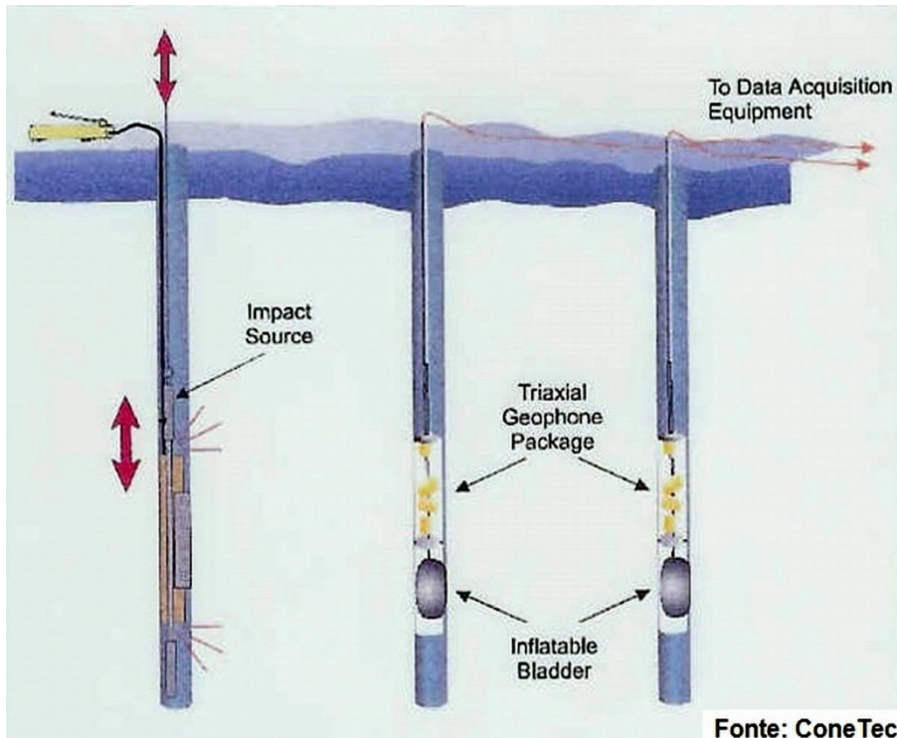
PLANTA



SEÇÃO TRANSVERSAL

Equipamentos utilizados para o ensaio *crosshole* e a aquisição dos dados

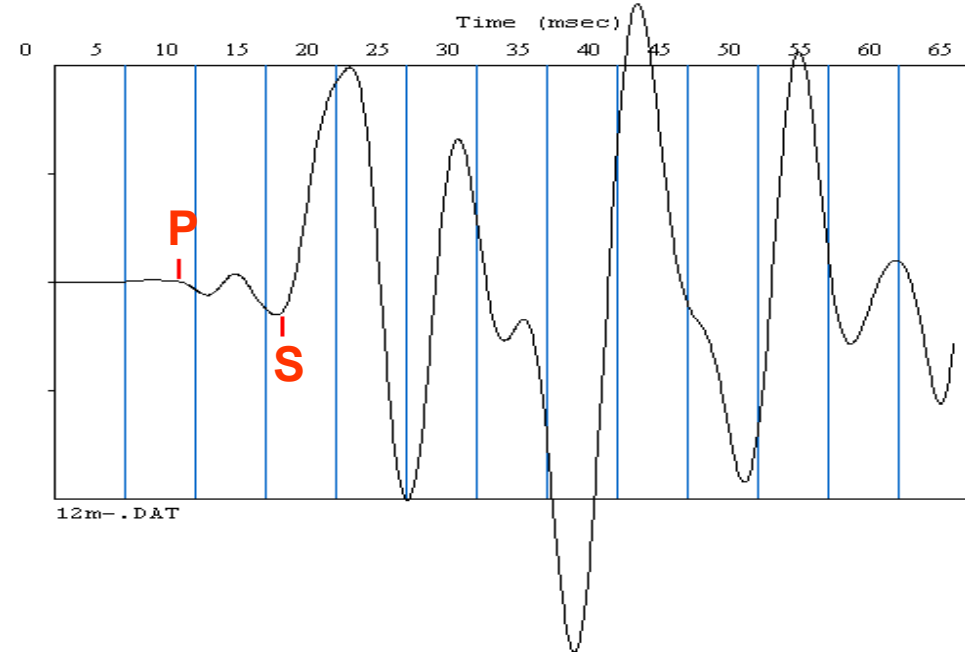
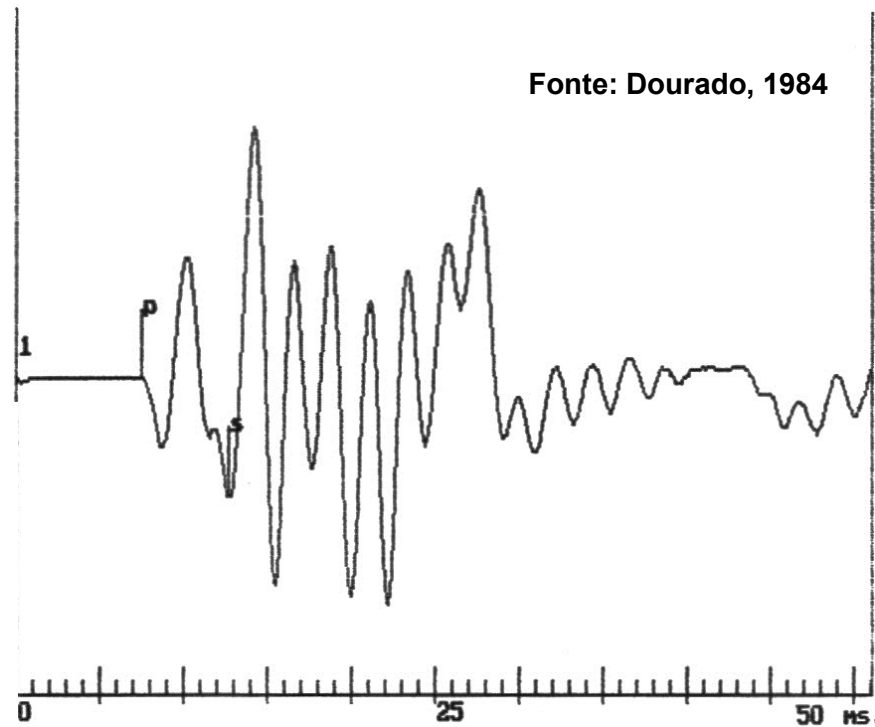
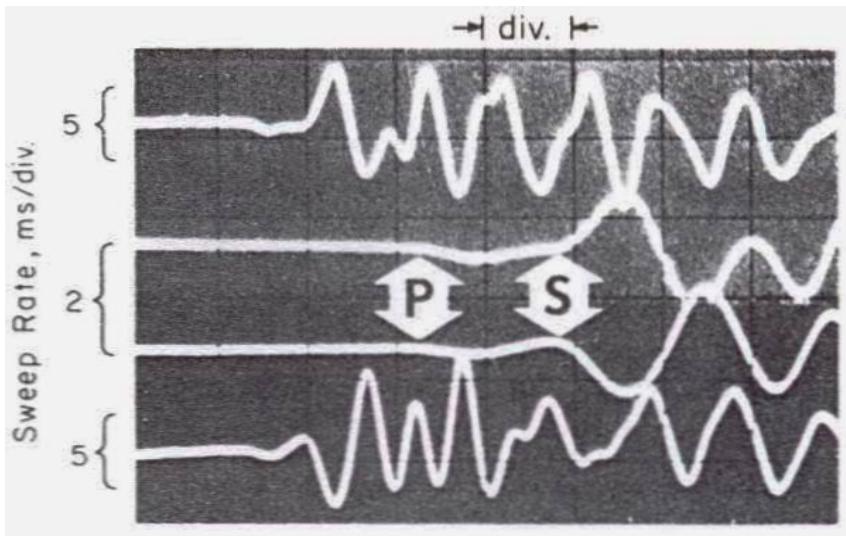
- ◆ Fonte de ondas sísmicas (P e S)
- ◆ Geofone triaxial
- ◆ Sismógrafo



Não existe uma fonte sísmica que gere de modo eficaz ondas P e ondas S ao mesmo tempo

⇒ Devem ser utilizadas fontes distintas!

Visualização da onda P e S em um mesmo registro de um ensaio *crosshole* (não muito comum)



1) Fonte de ondas sísmicas

Martelo de furo → gera preferencialmente onda S

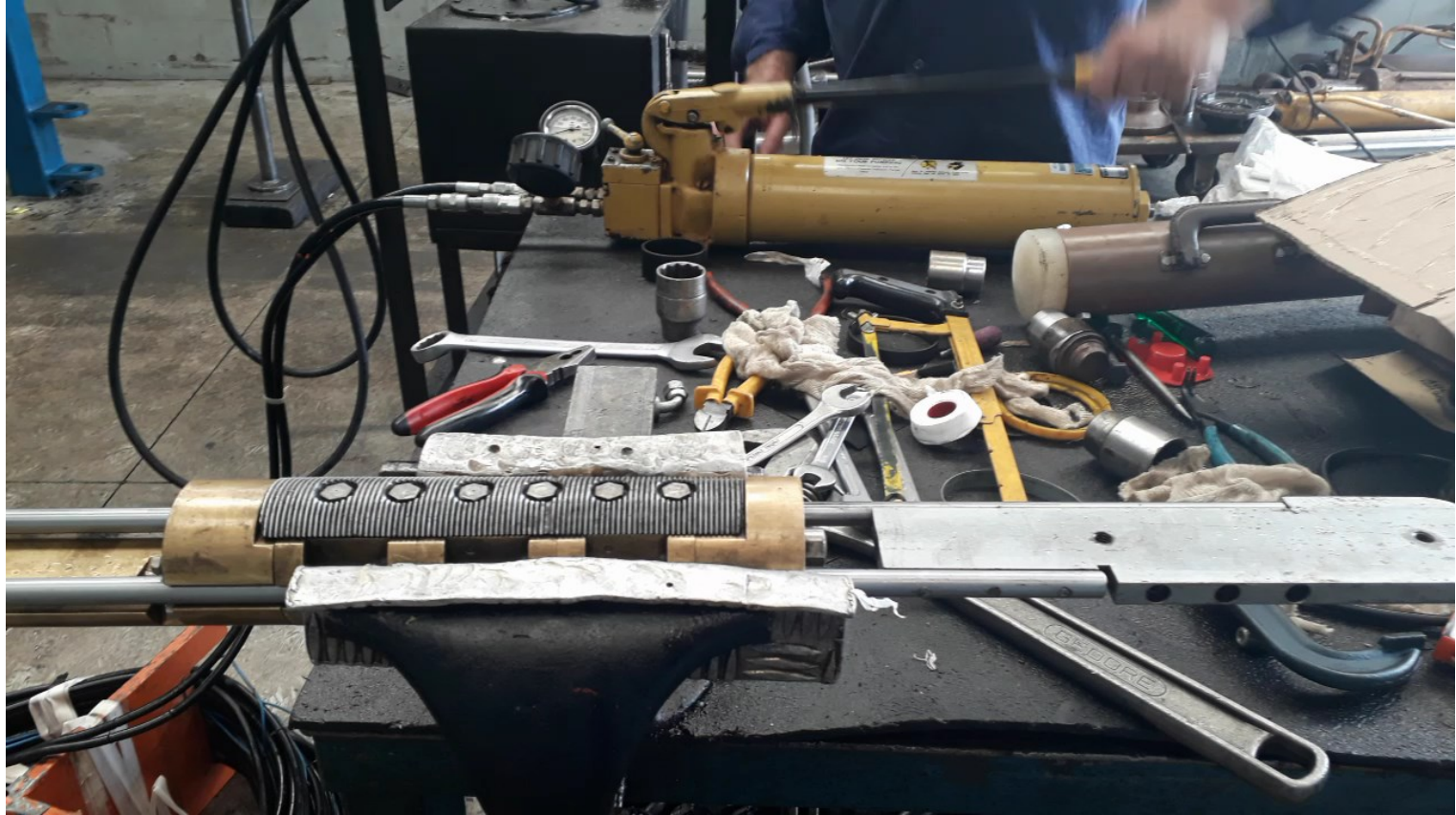
- Constituída de um martelo com um corpo fixo e um batedor corrediço, com mecanismo de fixação por meio de sapata ativada hidraulicamente
 - As ondas são geradas pelo impacto do batedor que golpeia o corpo fixo
- Este impacto pode ser “de cima para baixo” ou de “baixo para cima” gerando a inversão de polaridade da onda S



Fonte BISON-modelo 1465-1



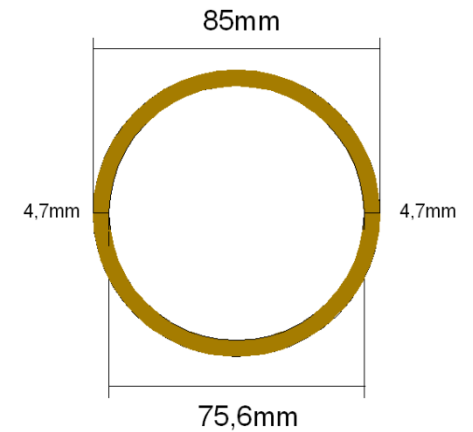
Vídeo





Batedor corrediço
que golpeia

Corpo que fica fixado
na parede do furo



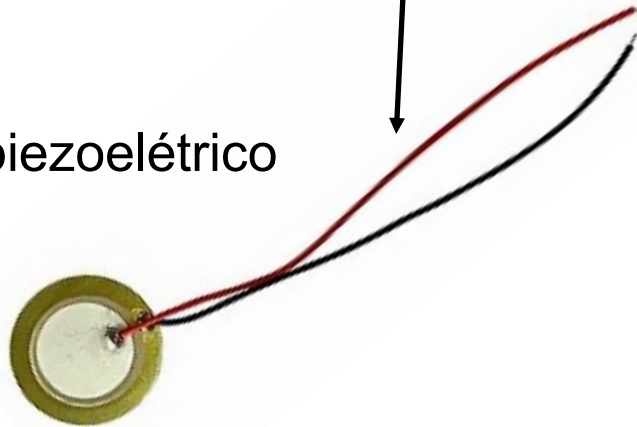
diâmetro externo = 85mm
diâmetro interno = 75,6mm
parede = 4,7mm
(marrom, parede grossa)

Bomba hidráulica



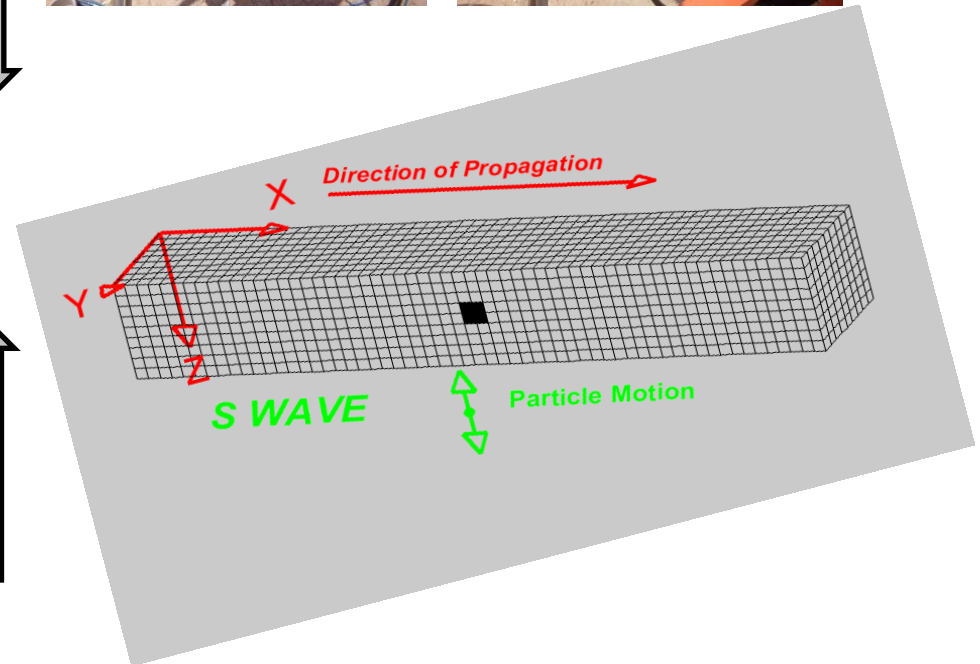
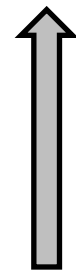
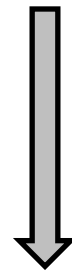


Pastilha transdutor piezoelétrico

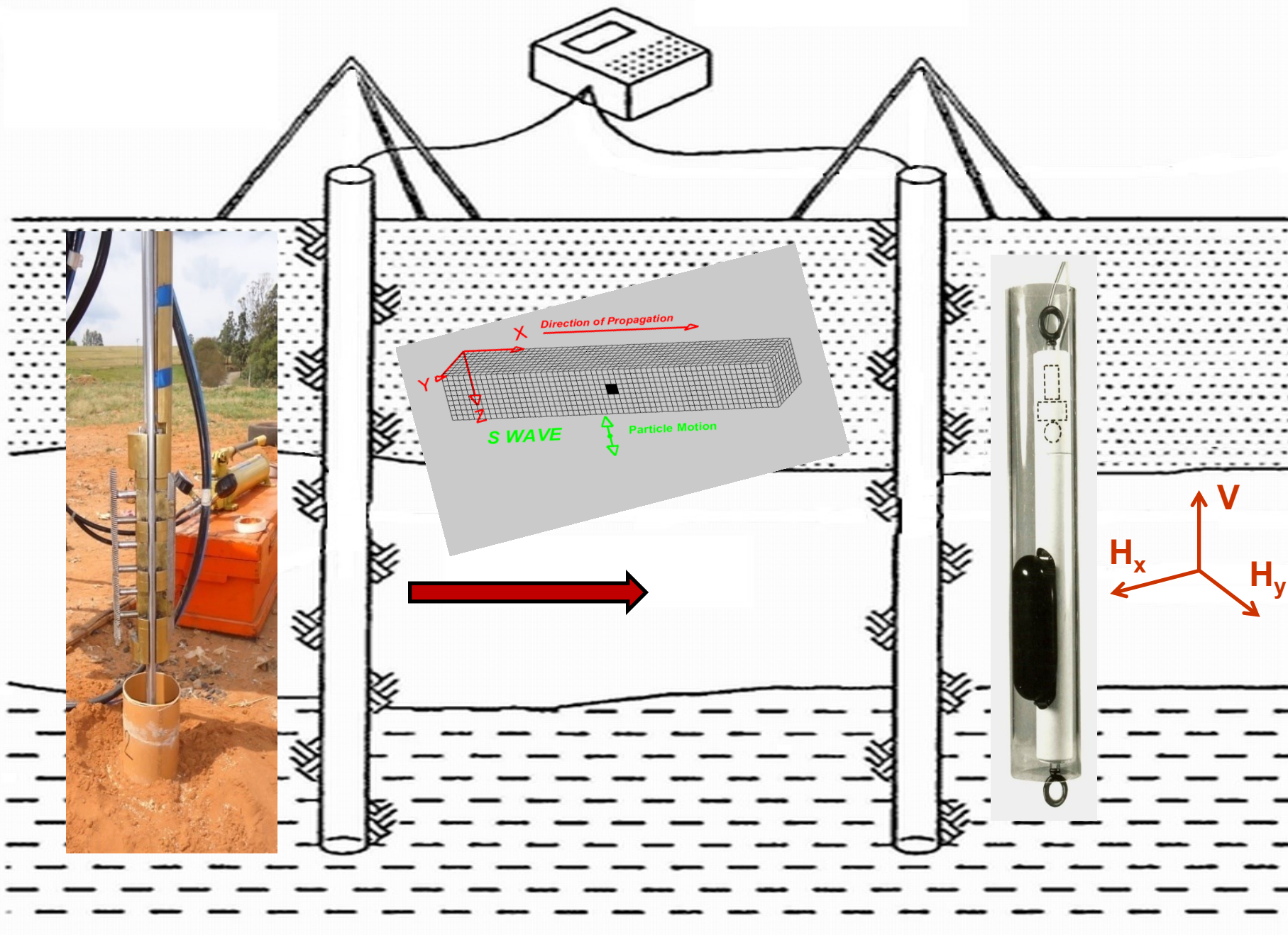


1) Fonte de ondas sísmicas

Martelo de furo → gera preferencialmente onda S



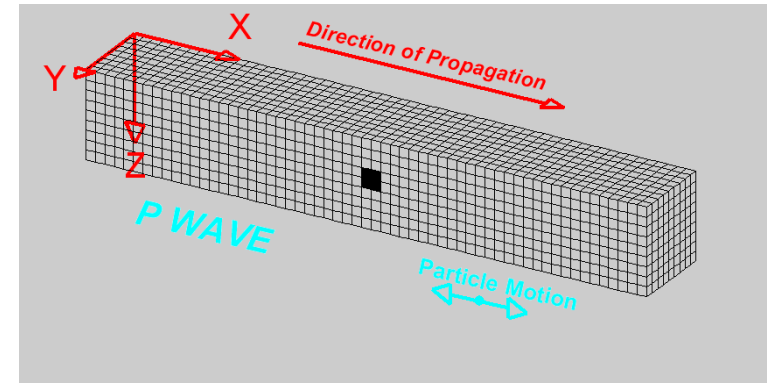
MARTELO DE FURO - GERA PREFERENCIALMENTE ONDAS CISALHANTES (S)



1) Fonte de ondas sísmicas

Canhão de ar comprimido (air gun)

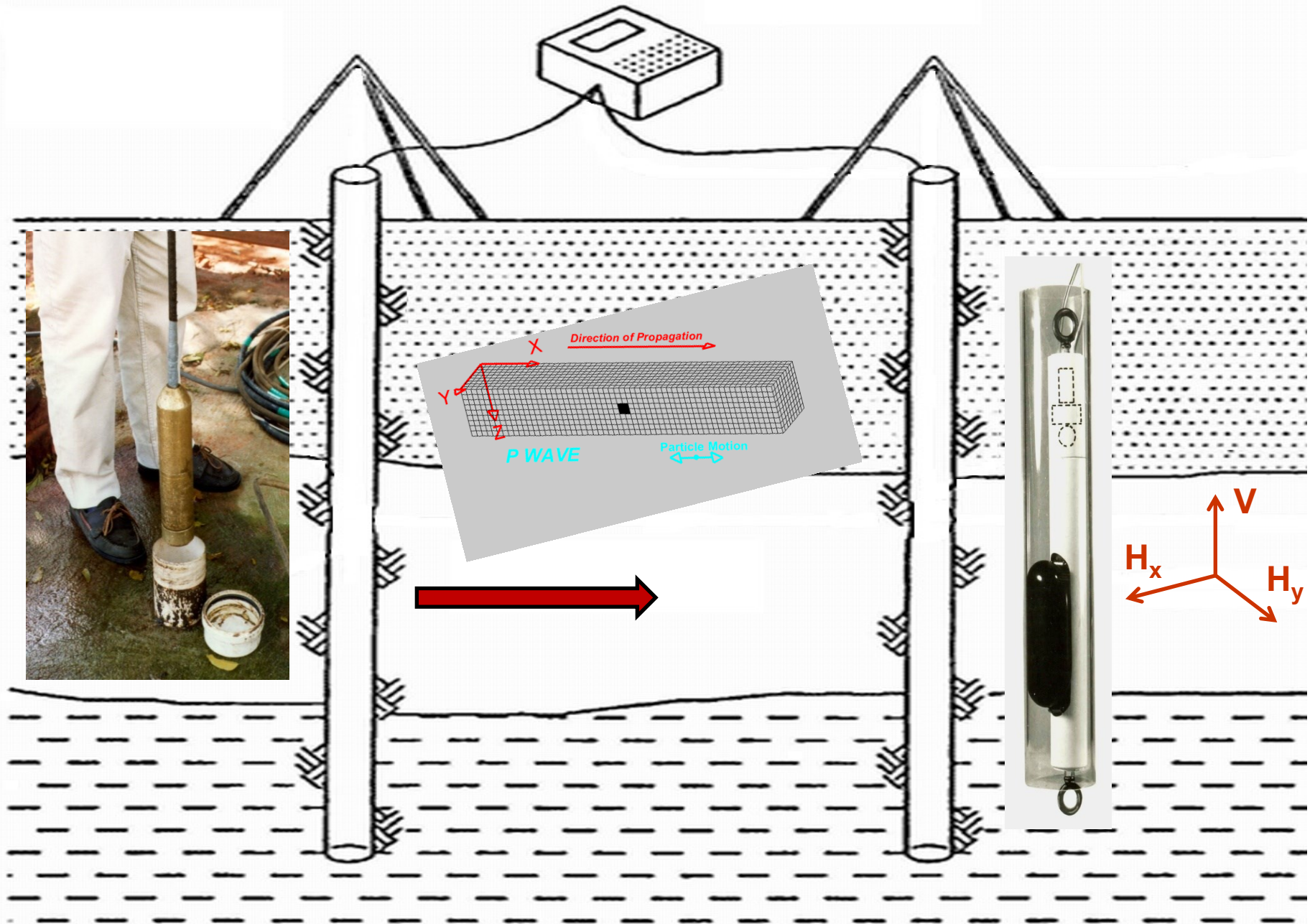
→ gera preferencialmente onda P



Canhão de ar comprimido (air gun)



AIR GUN - GERA PREFERENCIALMENTE ONDAS COMPRESSONAIS (P)



Os registros das ondas P e S são feitos separadamente

I) Fonte de onda S: furo deverá estar seco



Os registros das ondas P e S são feitos separadamente

II) Fonte de onda P: furo com água

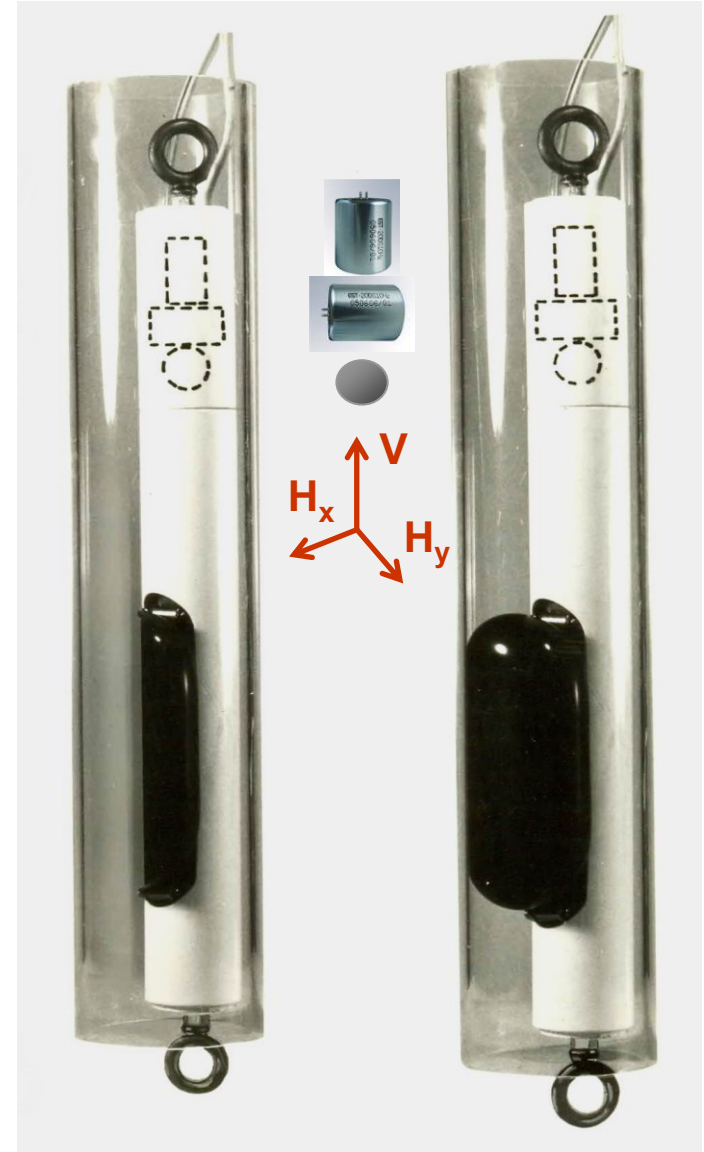


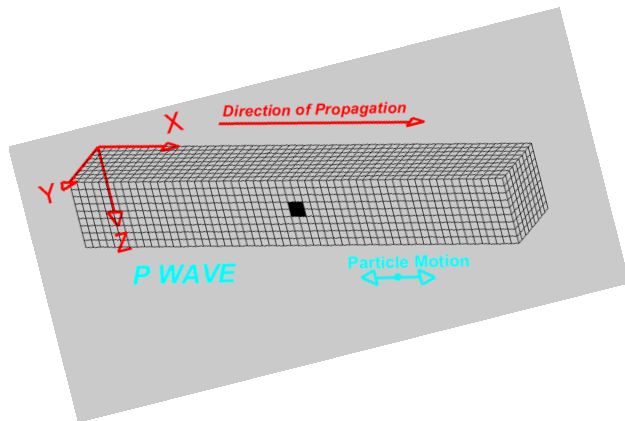
2) Geofones



2) Geofones

→ Devem ser geofones de furo e do tipo “triaxial”
(3 componentes dispostas ortogonalmente entre si)



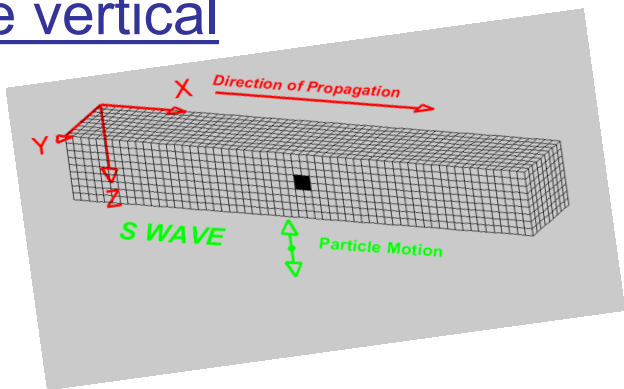
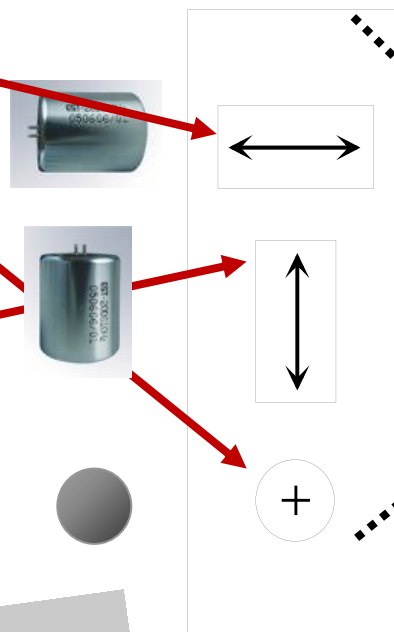


Ondas P

→ captadas preferencialmente pelas componentes horizontais

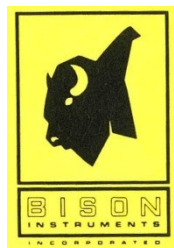
Ondas S

→ captadas com maior eficiência pela componente vertical



3) Sismógrafo

→ Deve ter pelo menos 6 canais
(3 canais para cada uma das 3 componentes de 2 geofones)



BISON modelo 1580-2
(seis canais)

IPT

1983

Relatório Nº 19.410

Natureza do Trabalho Ensaios "cross-hole" na área de fundações da Usina Nuclear de Angra III - Angra dos Reis - RJ.

Interessado Nuclebrás Construtora de Centrais Nucleares S.A. - NUCON

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Proposta DMGA-3686/83 "Ensaios "cross-hole" na área de fundações da Usina Nuclear de Angra III - Angra dos Reis - RJ", devidamente aprovada pela Interessada, o Agrupamento de Geofísica da Divisão de Minas e Geologia Aplicada do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT, executou ensaio "cross-hole" na área de fundações da Usina Nuclear de Angra III.

Os ensaios "cross-hole" foram realizados nos dias 20 e 21 de setembro de 1983 e tiveram como objetivo determinar as velocidades de propagação das ondas cisalhantes (S) em diversos tipos de sedimentos.

Sismógrafo
BISON modelo 1580-2



Fonte BISON modelo 1465-1



3) Sismógrafo

→ Deve ter pelo menos 6 canais
(3 canais para cada uma das 3 componentes de 2 geofones)



SmartSeis SE12 (doze canais)





- Ensaios:
- Crosshole
 - CPTu

Angra 3
12/2012

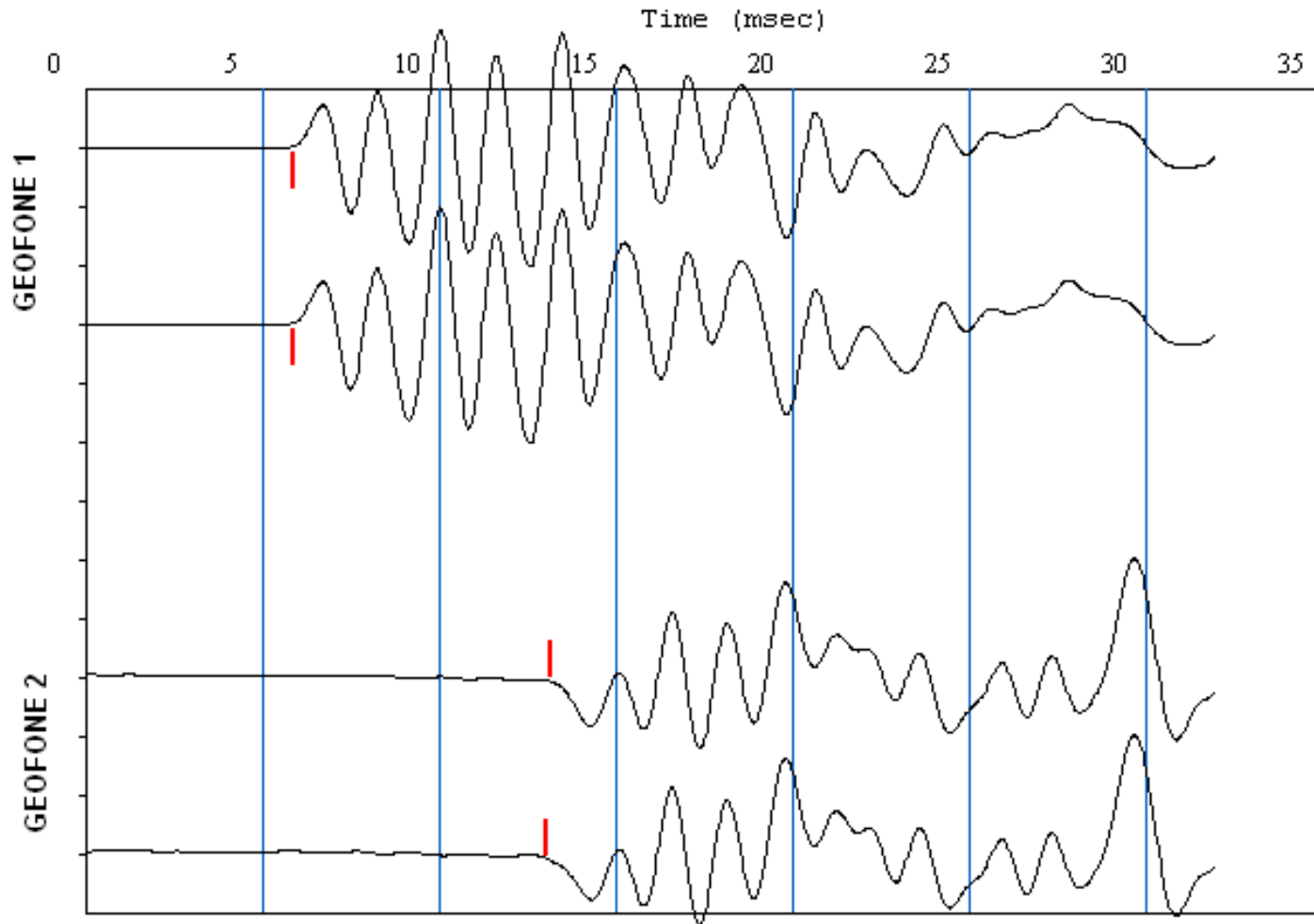


Vídeo



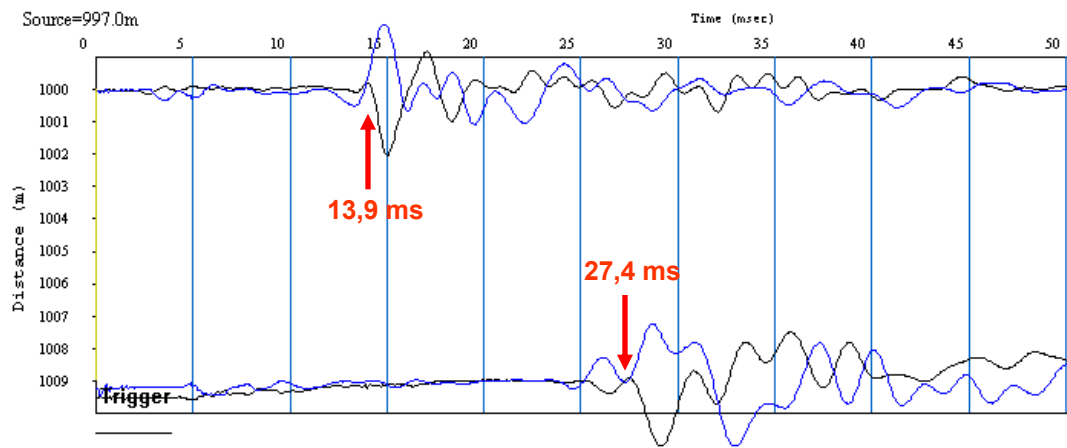
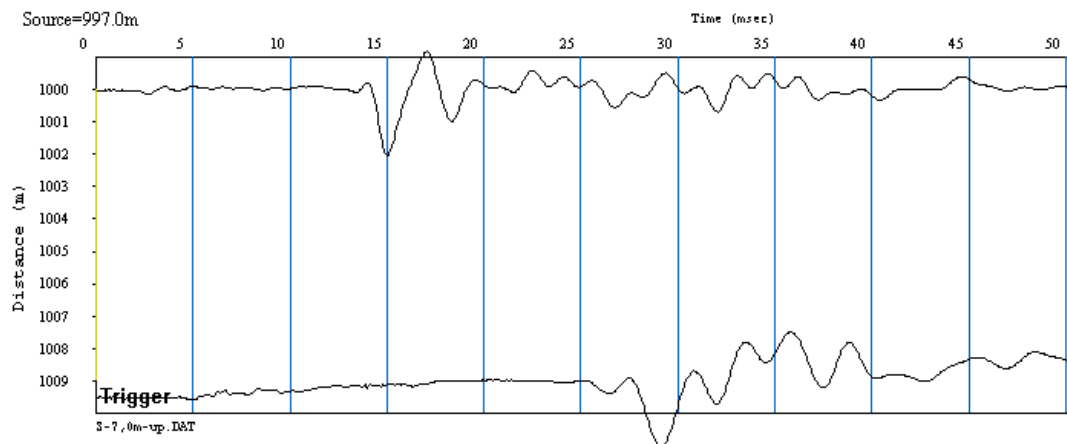
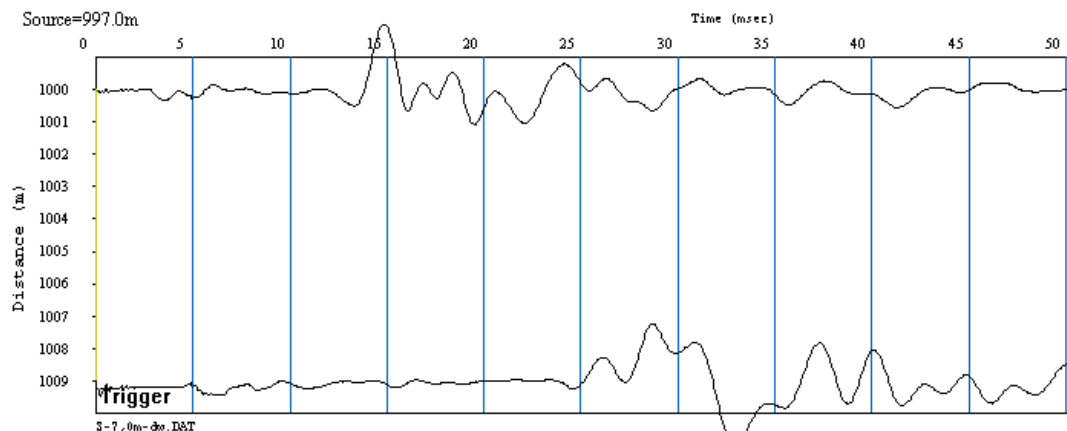
REGISTRO DA ONDA P EM 2 GEOFONES

(nas 2 componentes horizontais)



REGISTRO DA ONDA S EM 2 GEOFONES

(componente
vertical)



Projeto Níquel do Vermelho, Canaã dos Carajás-PA, 07/2006

Área de britagem e área industrial



Projeto Salobo, Marabá-PA, 02/2009

Área do moinho de bolas



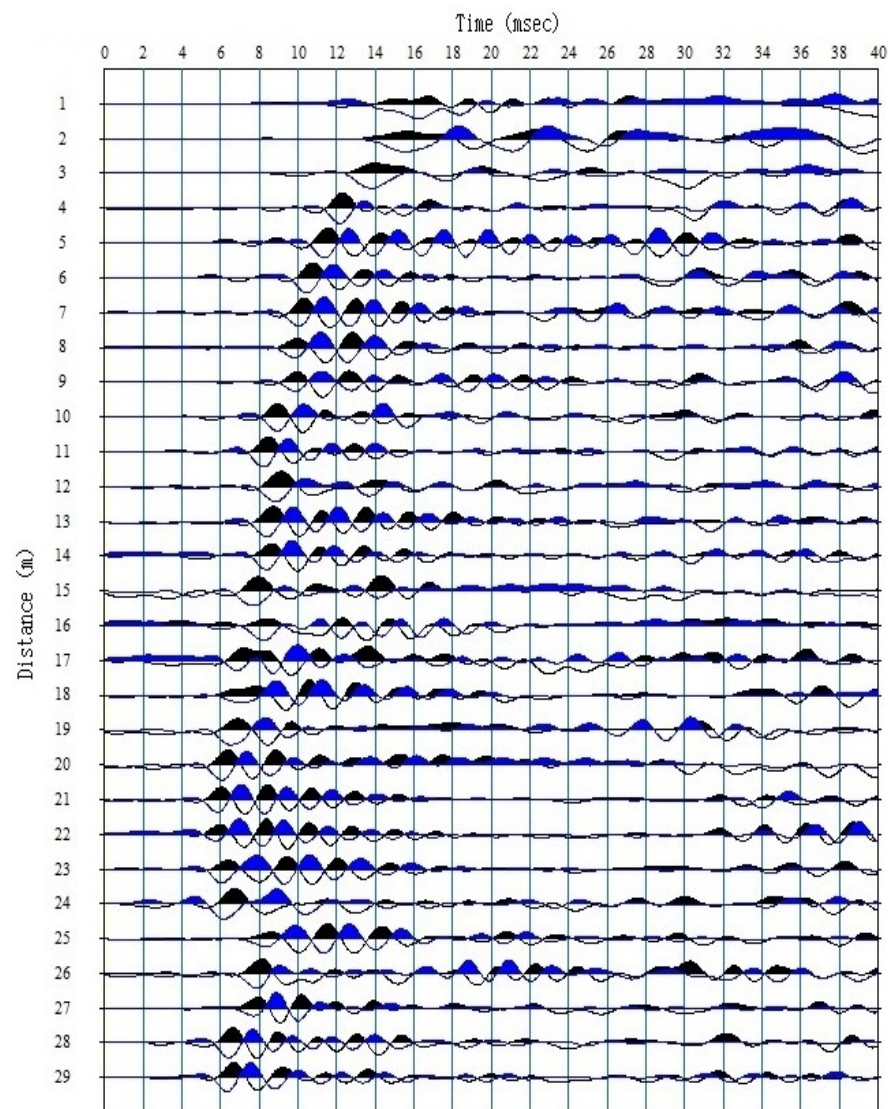
Projeto Salobo, Marabá-PA, 02/2009

Área do moinho de bolas

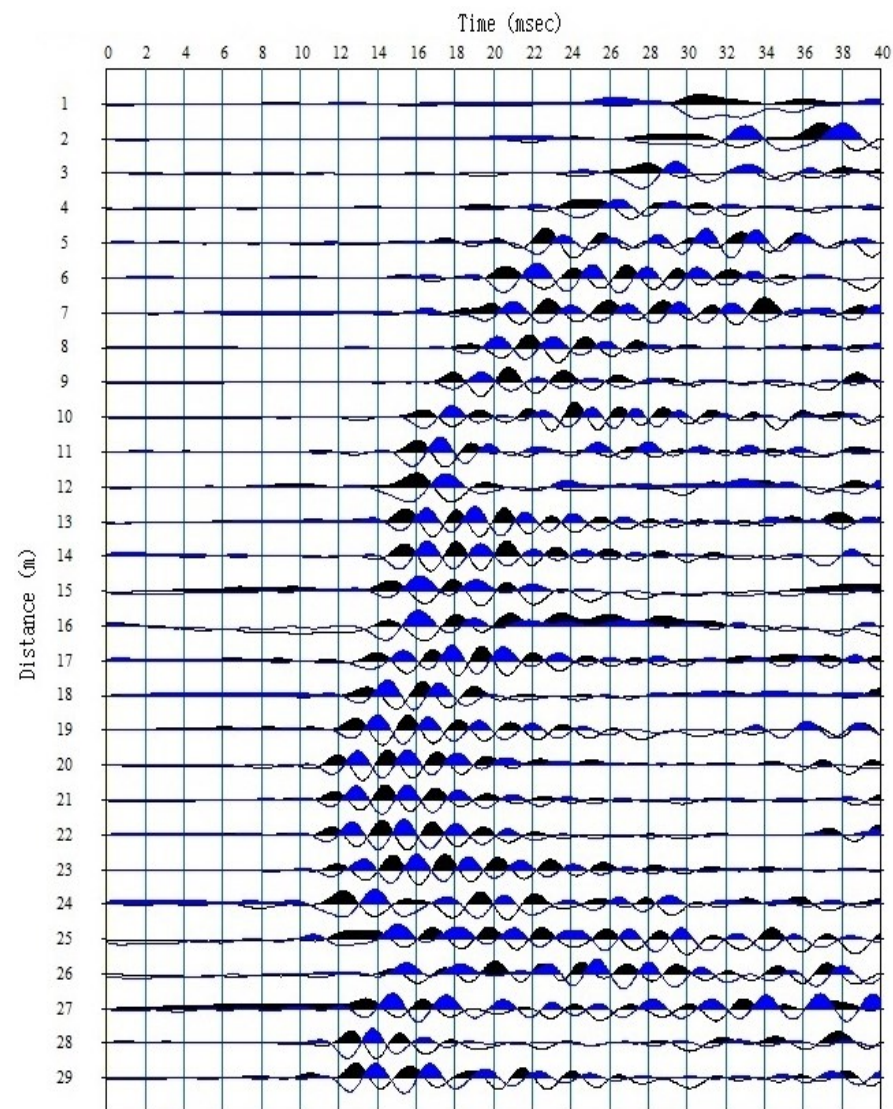


APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Geofone 1



Geofone 2



Furo = 30 m (registro da onda S)

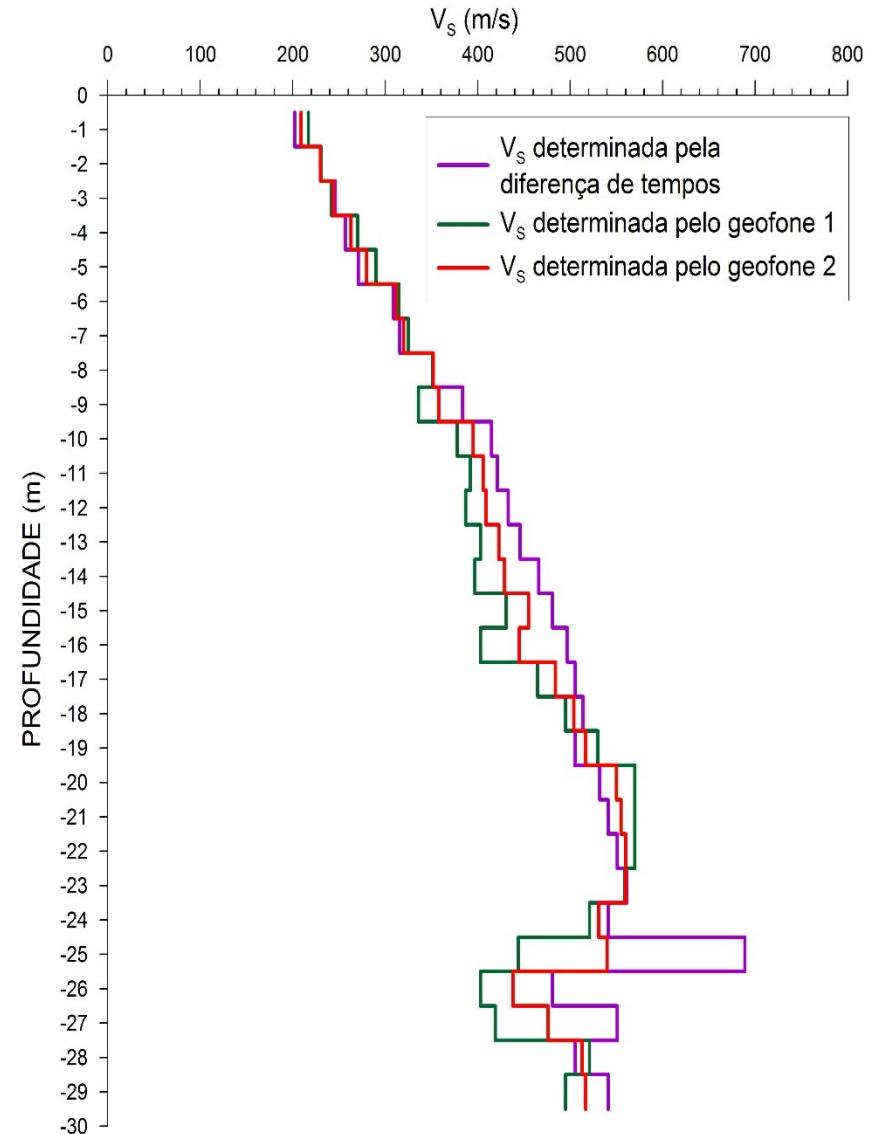
APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Distância fonte-geofone 1 = 3,02 m.
Distância fonte-geofone 2 = 6,05 m.

Prof. (m)	GEOFONE 1		GEOFONE 2		GEOFONE 2 - GEOFONE 1	
	Ts1 (ms)	Vs1 (m/s)	Ts2 (ms)	Vs2 (m/s)	Ts2-Ts1 (ms)	Vs2-1 (m/s)
1	13,9	217	28,9	209	15,0	202
2	13,1	231	28,3	230	13,2	230
3	12,5	242	24,8	244	12,3	246
4	11,2	270	23,0	283	11,8	257
5	10,4	290	21,8	280	11,2	271
6	9,6	315	19,4	312	9,8	309
7	9,3	325	18,9	320	9,6	316
8	8,6	351	17,2	352	8,6	352
9	9,0	338	16,9	358	7,9	384
10	8,0	378	15,3	395	7,3	415
11	7,7	392	14,9	406	7,2	421
12	7,8	387	14,8	409	7,0	433
13	7,5	403	14,3	423	6,8	446
14	7,6	397	14,1	429	6,5	468
15	7,0	431	13,3	455	6,3	481
16	7,5	403	13,8	445	6,1	497
17	6,5	465	12,5	484	6,0	505
18	6,1	495	12,0	504	5,9	514
19	5,7	530	11,7	517	6,0	505
20	5,3	570	11,0	550	5,7	532
21	5,3	570	10,9	555	5,6	541
22	5,3	570	10,8	560	5,5	551
23	5,4	559	10,8	560	5,4	561
24	5,8	521	11,4	531	5,6	541
25	6,8	444	11,2	540	4,4	689
26	7,5	403	13,8	438	6,3	481
27	7,2	419	12,7	478	5,5	551
28	5,8	521	11,8	513	6,0	505
29	6,1	495	11,7	517	5,6	541

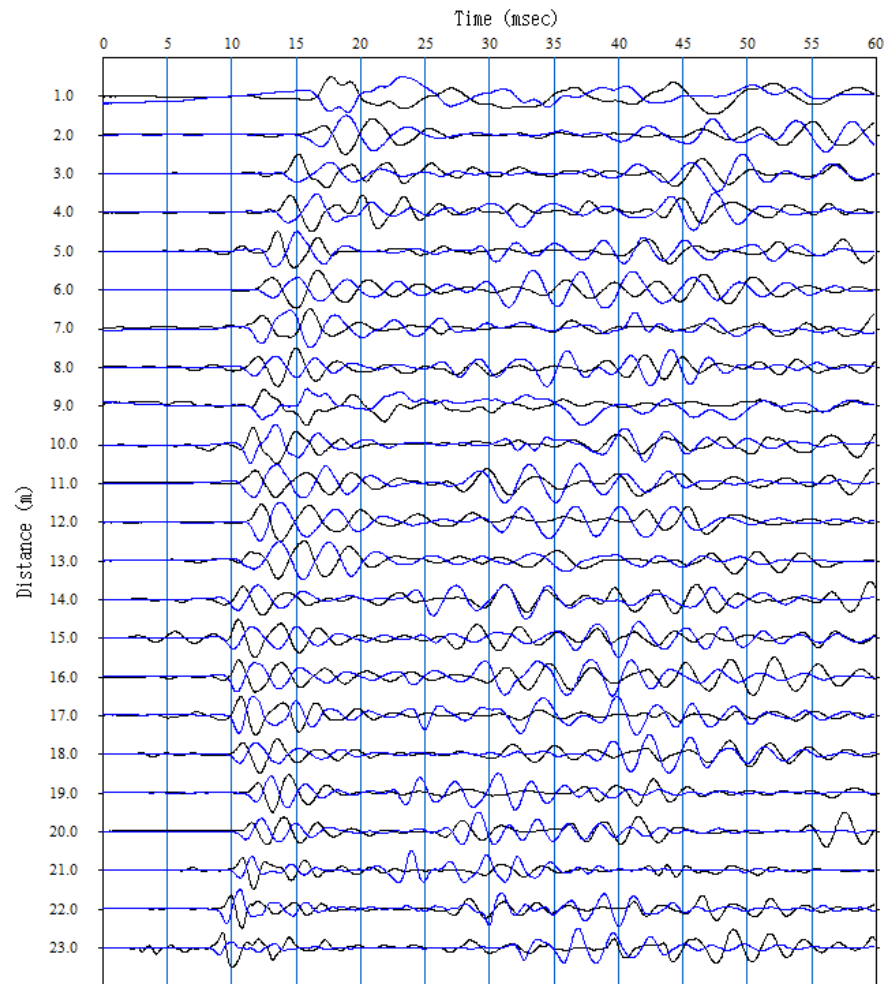
Onde:
 T_{s1} = tempo de propagação da onda S (geofone 1).
 V_{s1} = velocidade da onda S (geofone 1).
 T_{s2} = tempo de propagação da onda S (geofone 2).
 V_{s2} = velocidade da onda S (geofone 2).
 $T_{s2} - T_{s1}$ = diferença de tempos para o intervalo entre os geofones 2 e 1.
 V_{s2-1} = velocidade calculada para o intervalo entre os geofones 2 e 1.

ENSAIO CROSSHOLE

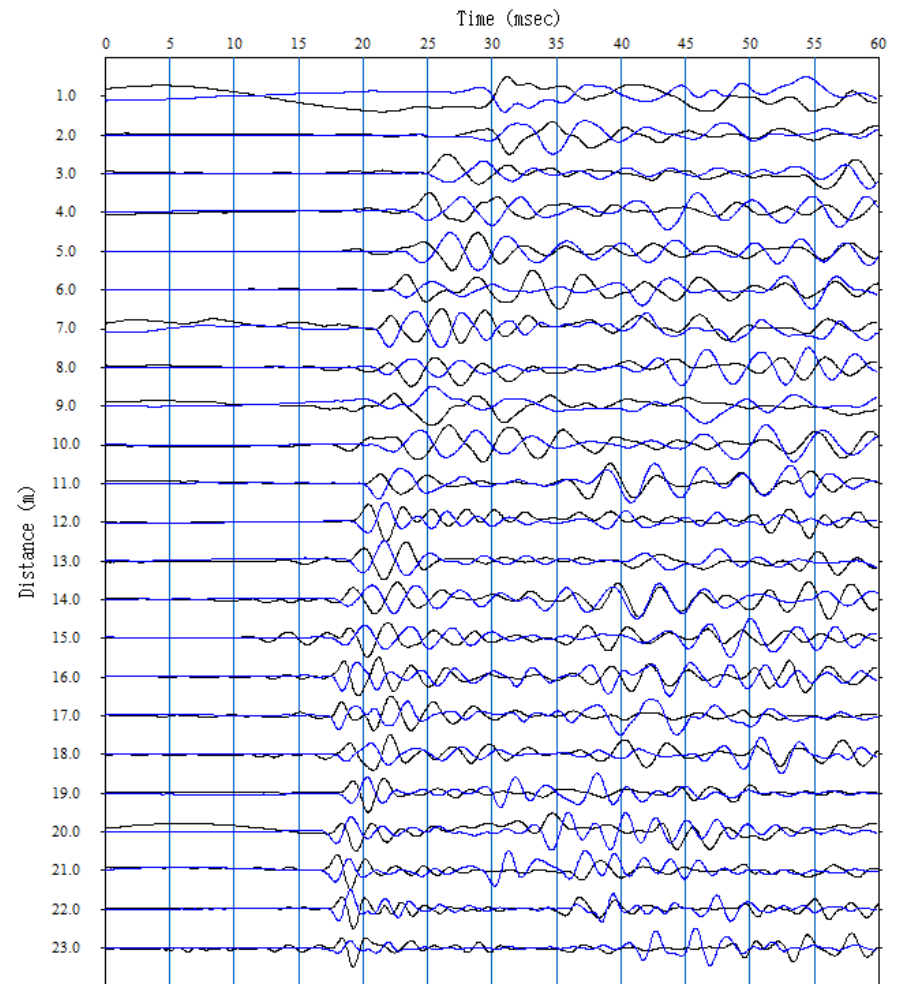


APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Geofone 1

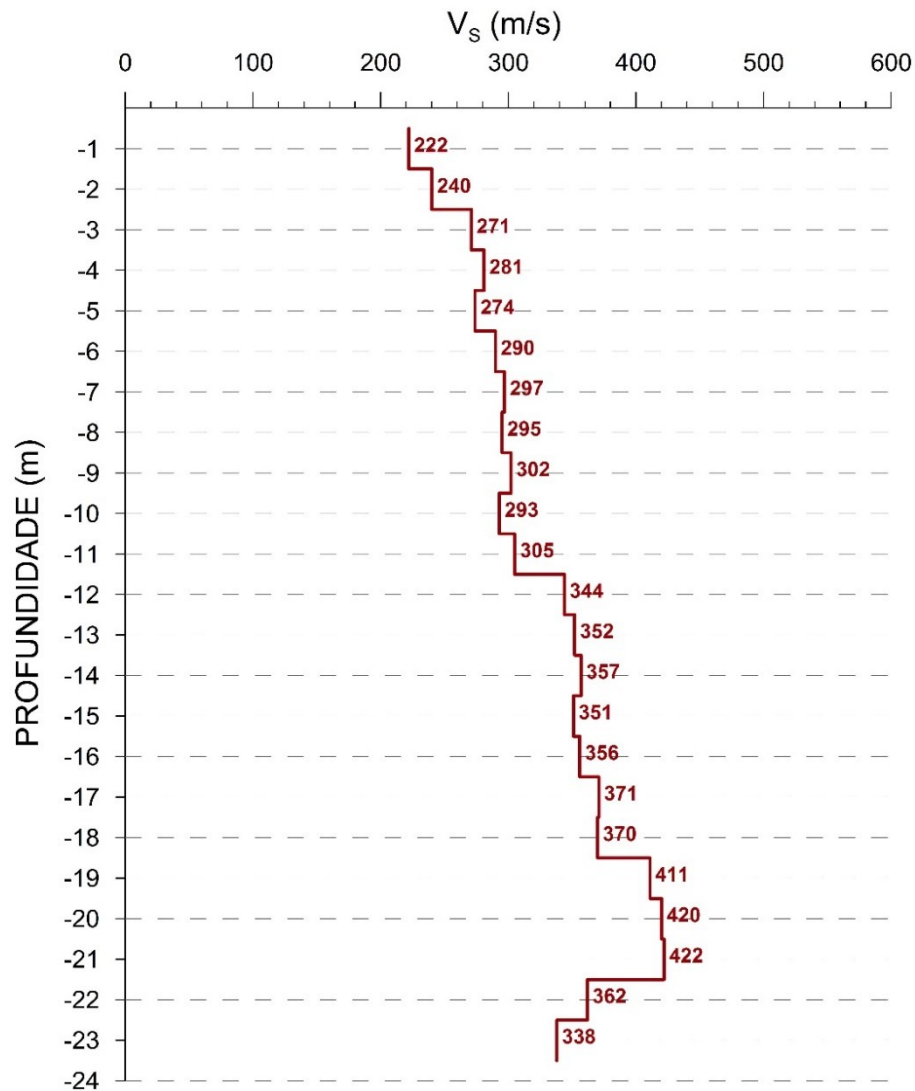


Geofone 2

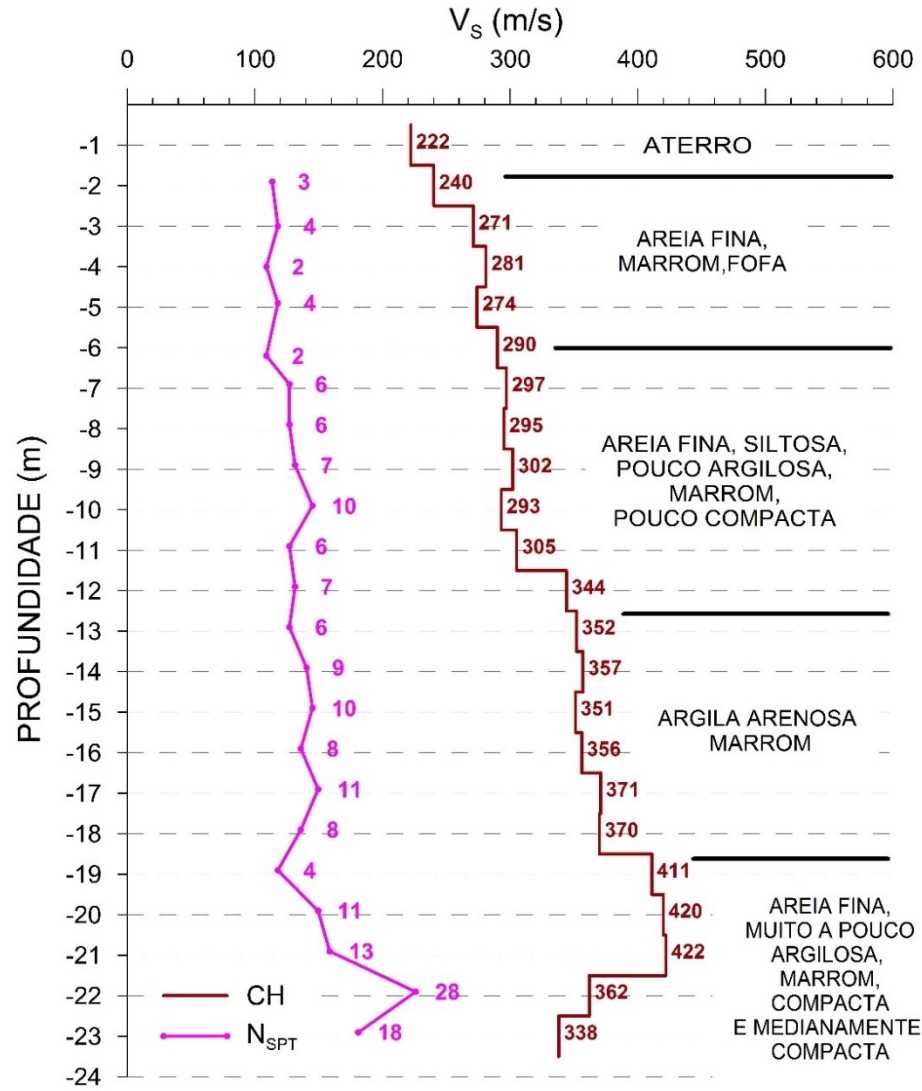


Furo = 25 m (registro da onda S)

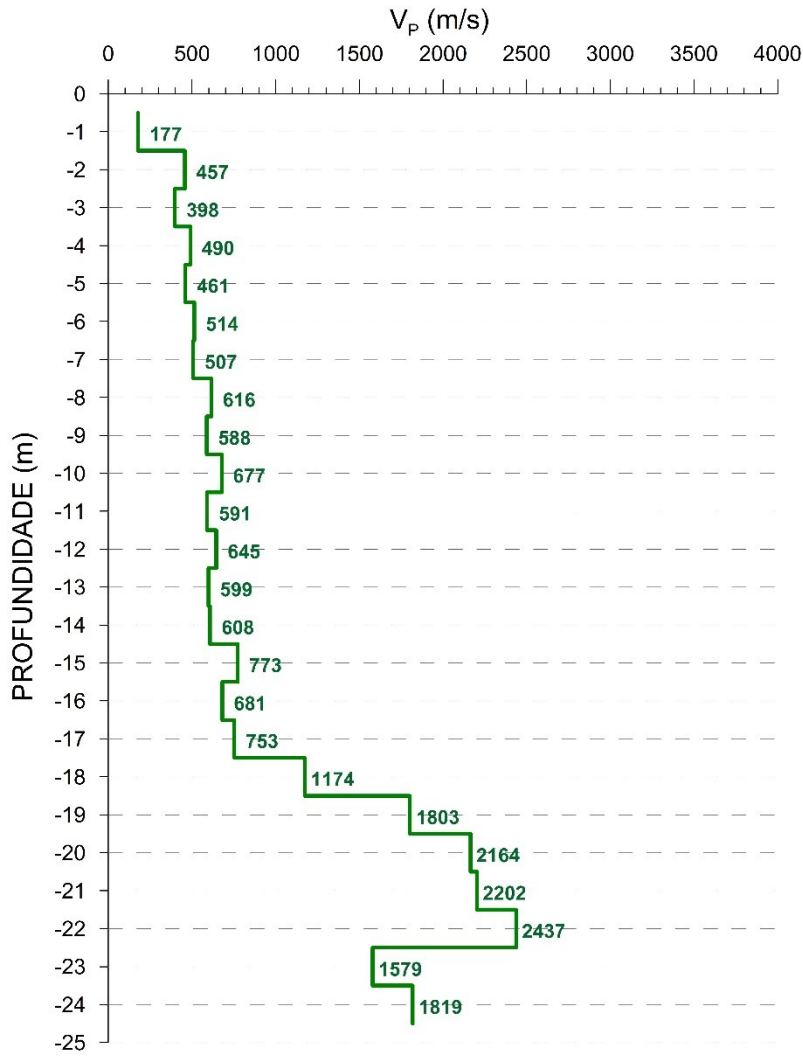
ENSAIO CROSSHOLE - PERFIL DE VELOCIDADE DA ONDA S



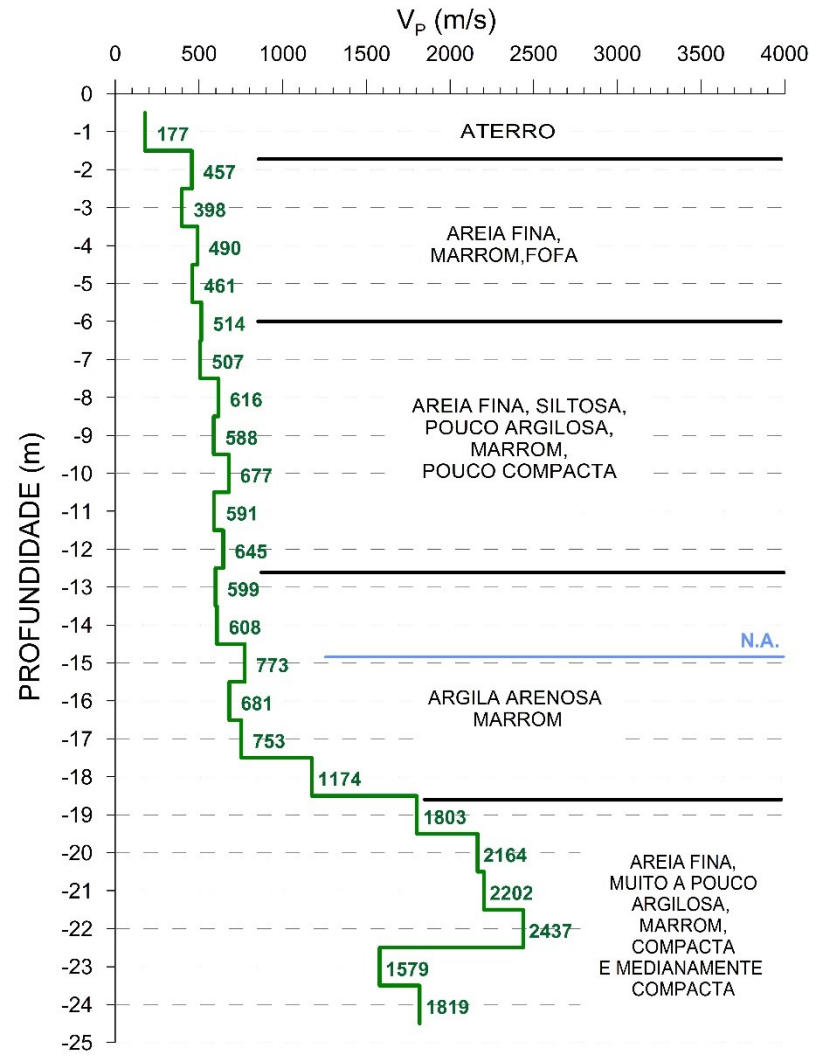
ENSAIO CROSSHOLE - PERFIL DE VELOCIDADE DA ONDA S



ENSAIO DOWNHOLE - PERFIL DE VELOCIDADE DA ONDA P



ENSAIO DOWNHOLE - PERFIL DE VELOCIDADE DA ONDA P



$E_{MÁX}$

σ

$G_{MÁX}$

MÓDULO DE YOUNG X PROFUNDIDADE

COEFICIENTE DE POISSON X PROFUNDIDADE

MÓDULO DE RIGIDEZ/CISLHAMENTO X PROFUNDIDADE

$E_{MÁX}$ (MPa)

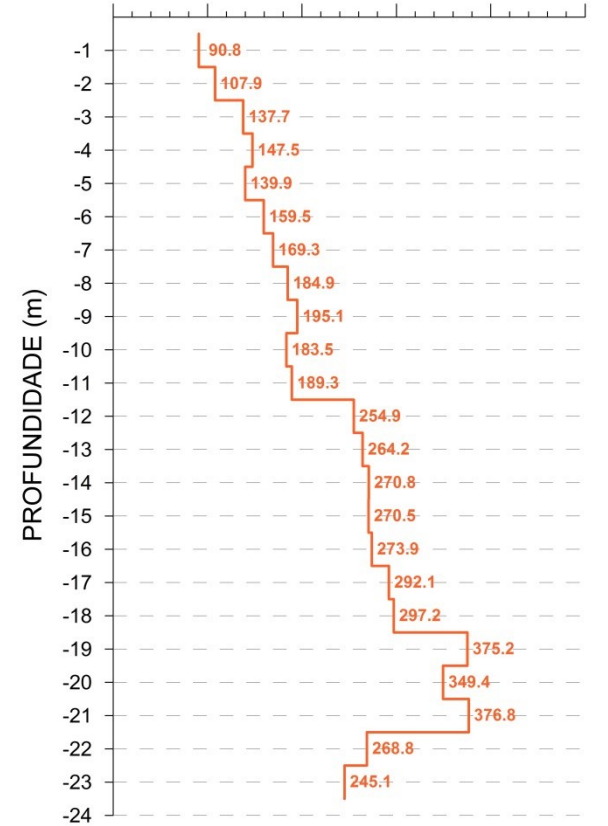
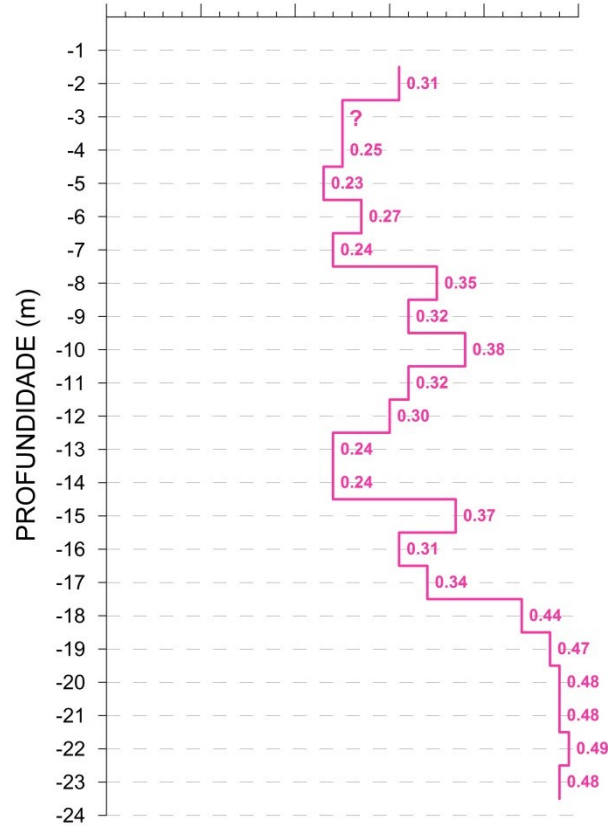
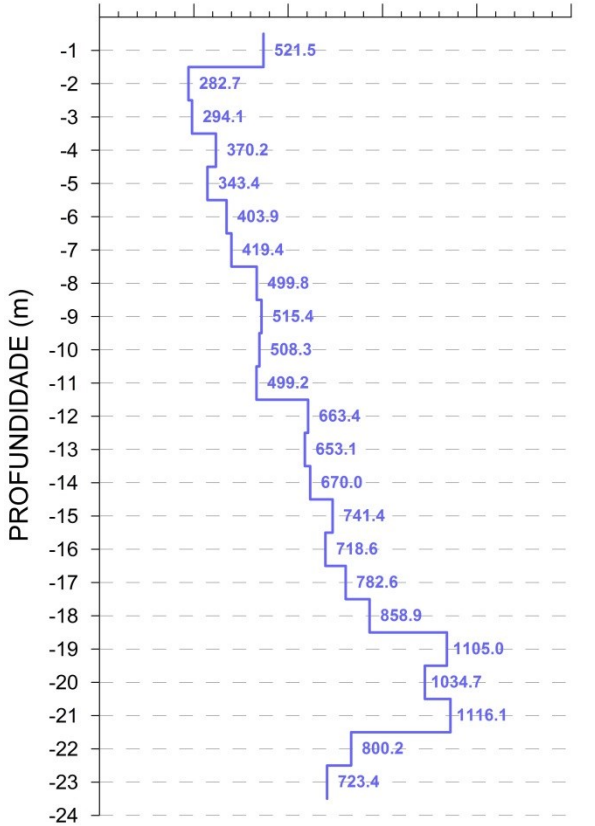
POISSON (σ)

$G_{MÁX}$ (MPa)

0 300 600 900 1200 1500

0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5

0 100 200 300 400 500



PERSPECTIVAS NO BRASIL

- ✓ Poucas empresas no Brasil executam o ensaio *crosshole*
- ✓ Preço dos equipamentos: caro!
- ✓ Mesmo não executando o ensaio *crosshole*, outros ensaios que determinam V_s deveriam ser utilizados na investigação geotécnica:
 - SCPT_u
 - SDMT
 - MASW

$N_{SPT} \rightarrow$ **RESISTÊNCIA**



V_s (ou G_0) \rightarrow **RIGIDEZ**



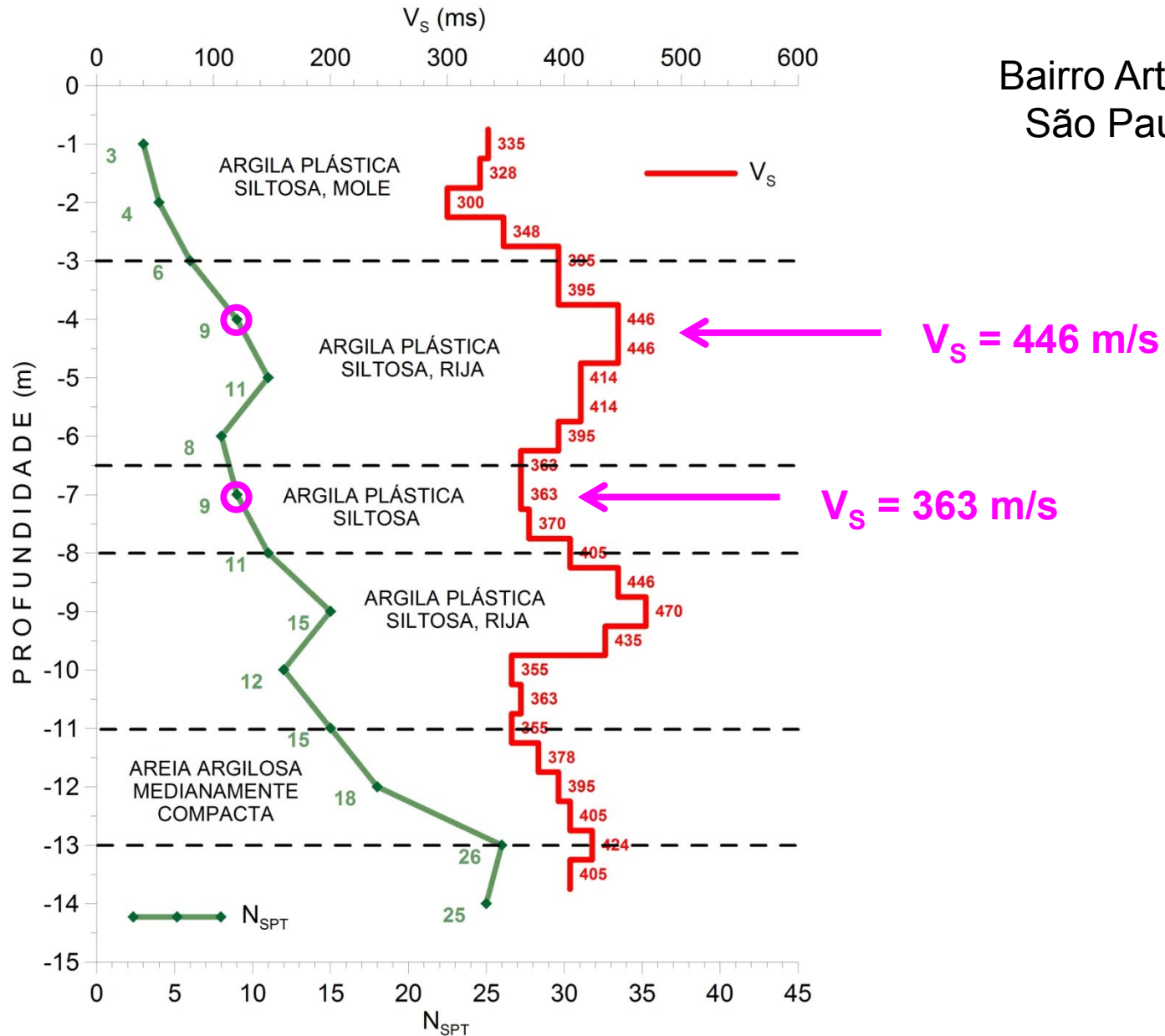
Ensaio *crosshole*

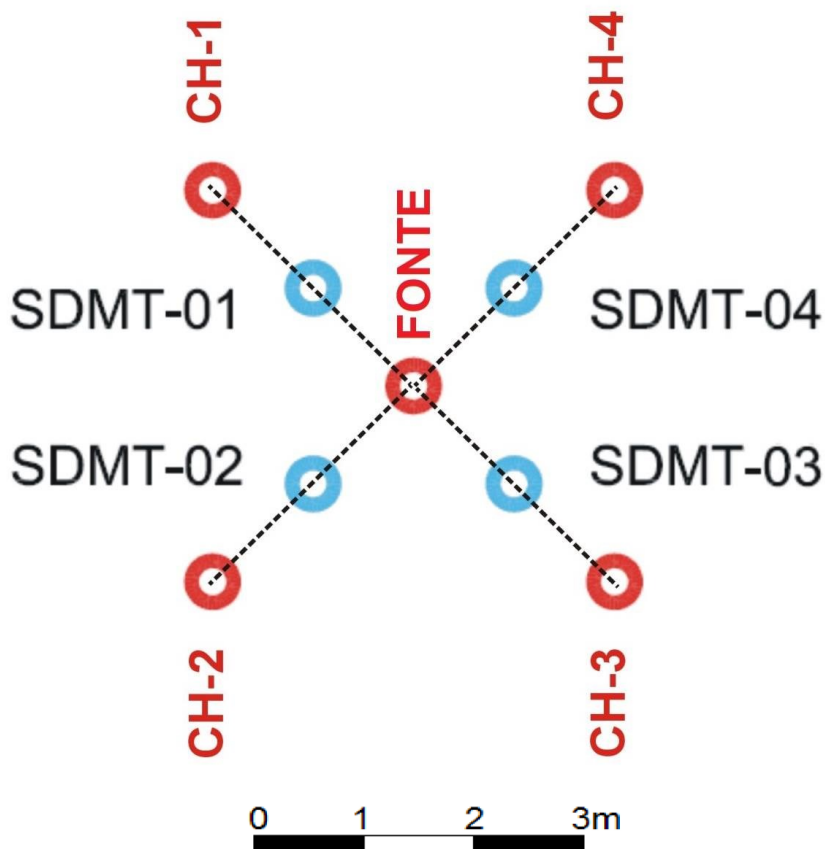
$$V_s = A \cdot N_{SPT}^B$$

$$V_s = A + B \cdot N_{SPT}$$

A, B = constantes empíricas

SPT & *crosshole*



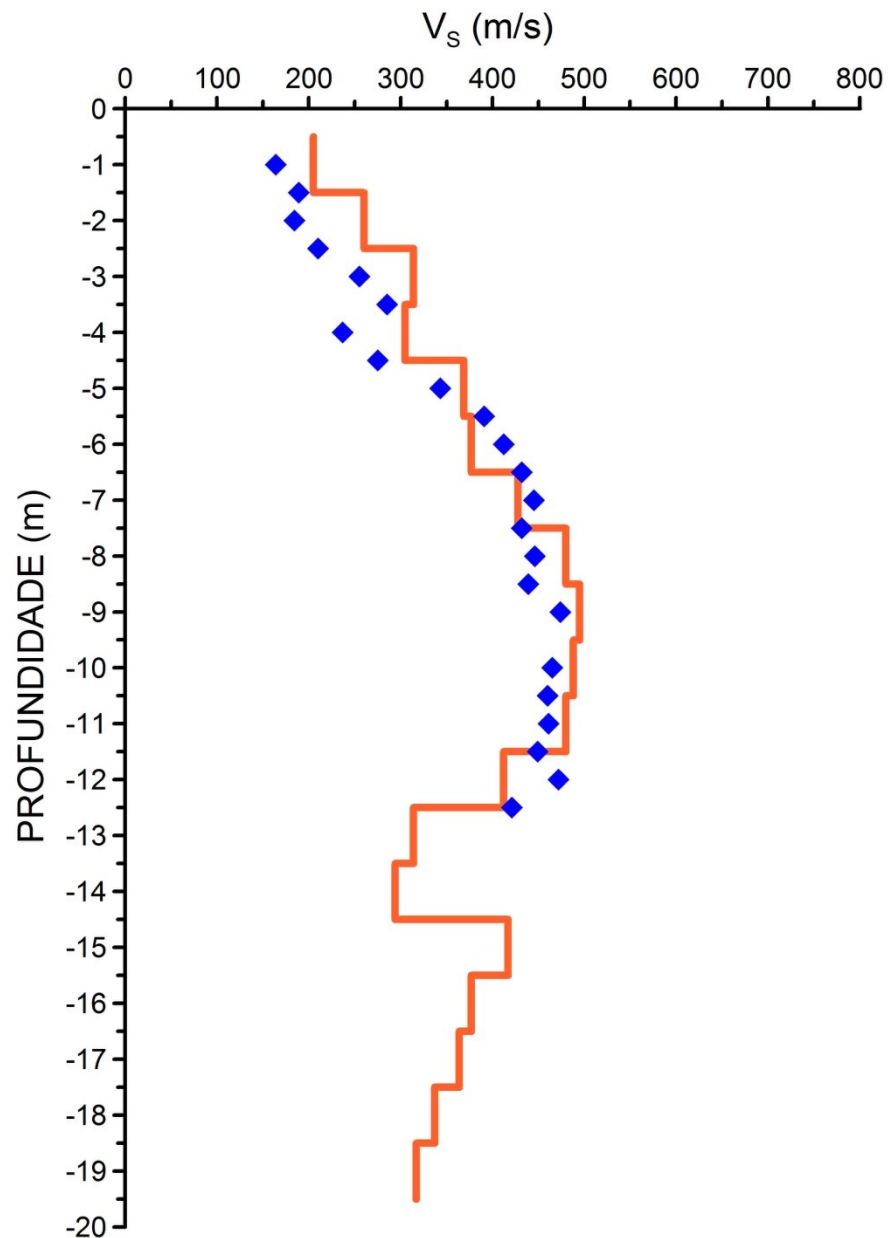


Layout dos ensaios de campo

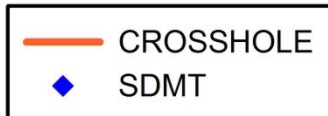
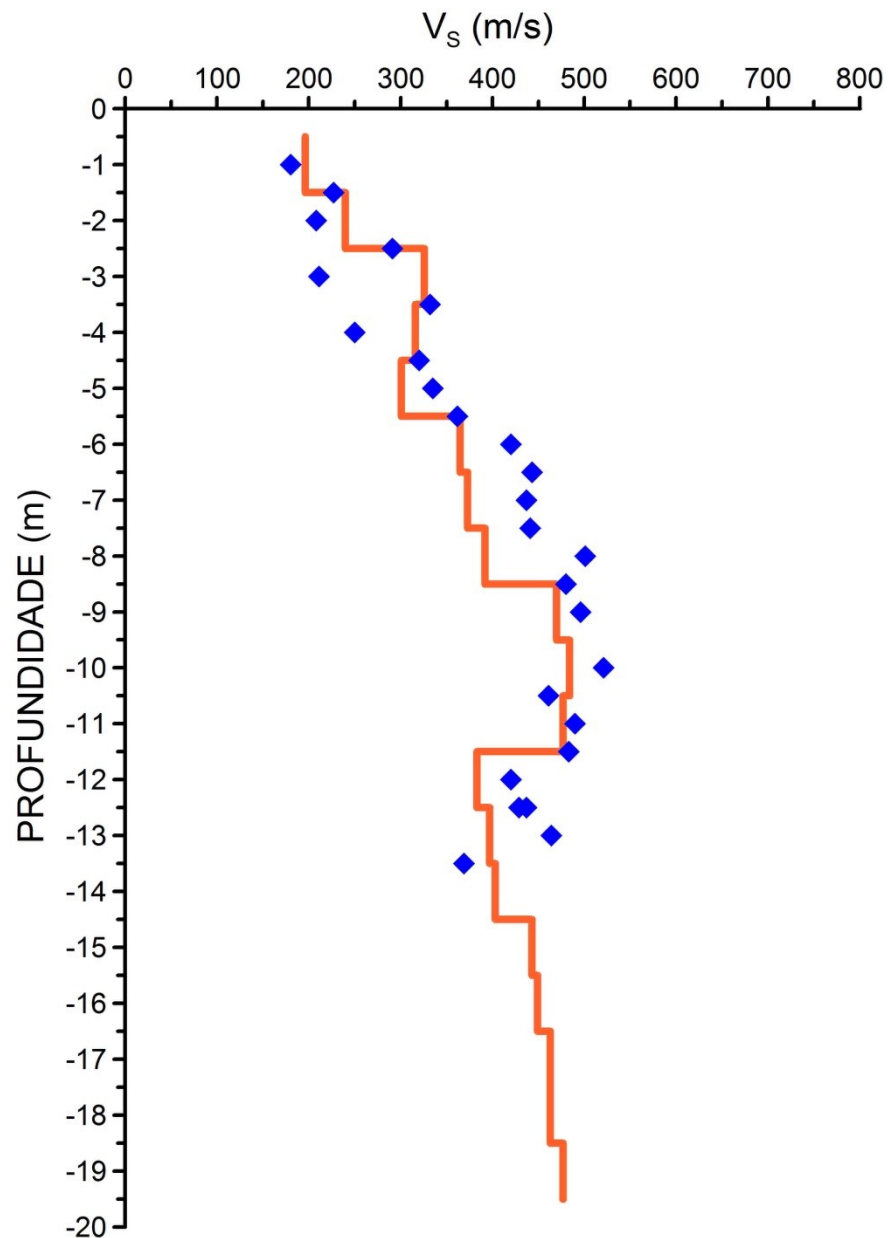
QUADRO RESUMO DE PERFURAÇÕES	
Sondagens	Profundidade
SDMT - 01	16,20
SDMT - 02	15,20
SDMT - 03	14,40
SDMT - 04	17,20
Total perfurado	63,00

CROSSHOLE : 5 FUROS DE 20 m

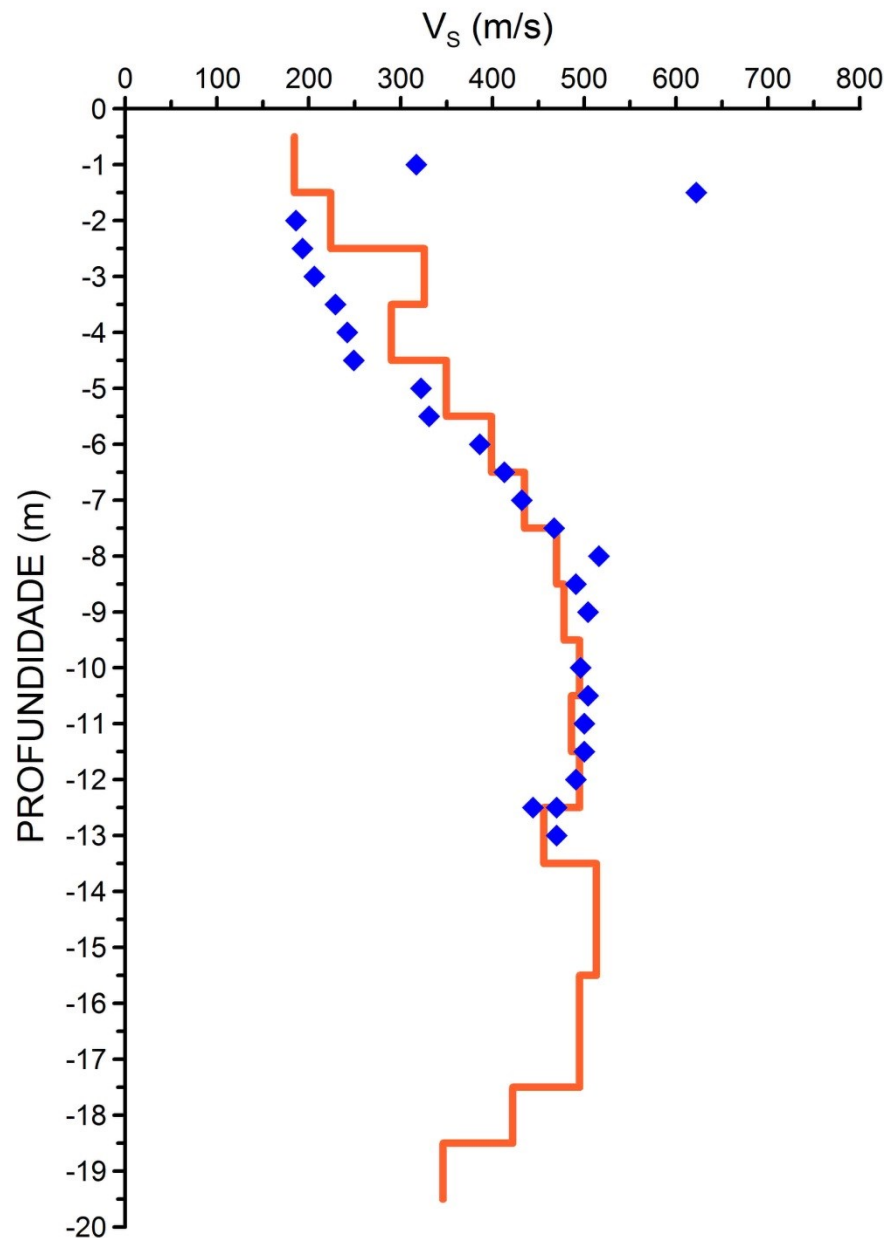
CH-1 & SDMT-1



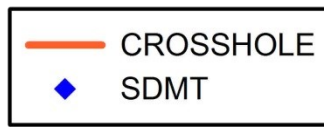
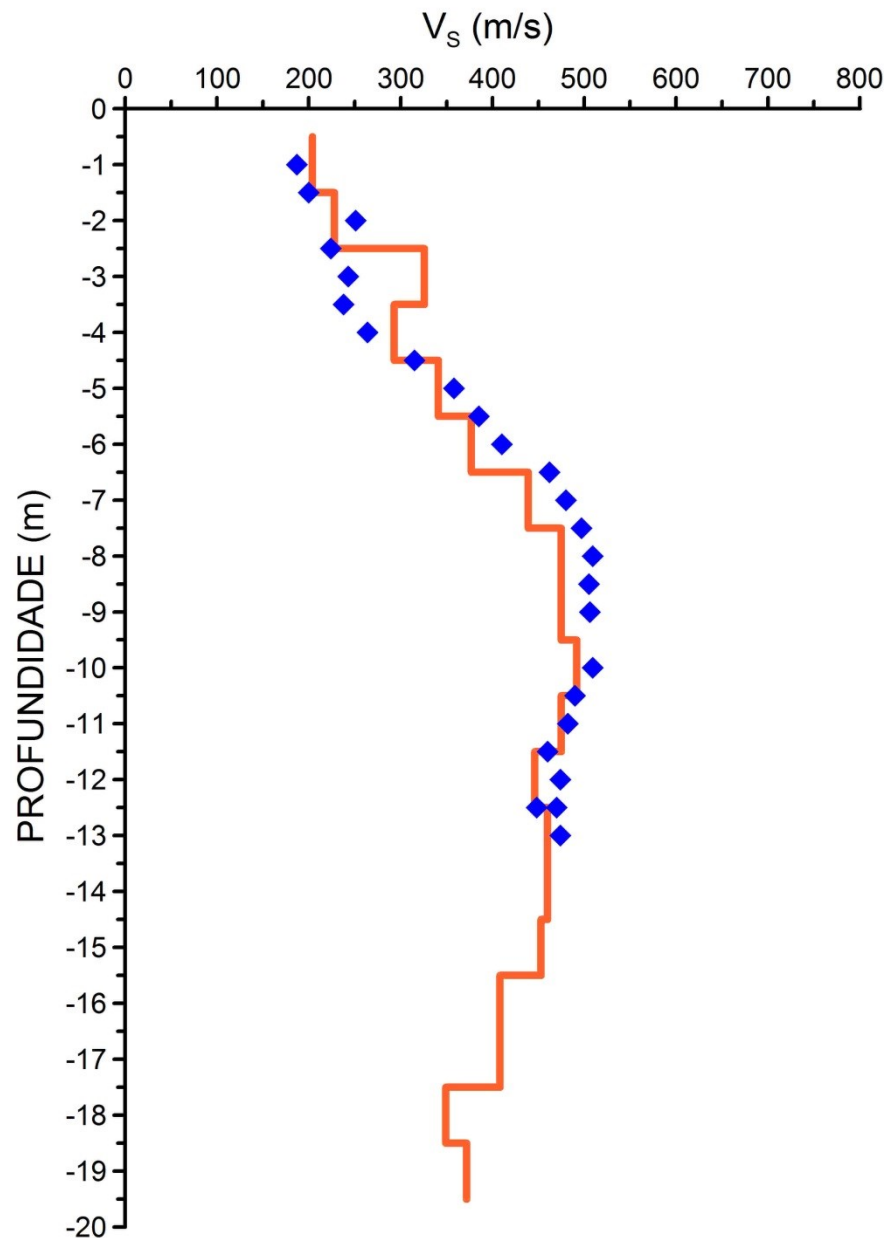
CH-2 & SDMT-2



CH-3 & SDMT-3



CH-4 & SDMT-4



Campinas-SP 08/2022



Course: Seismic Dilatometer Test (SDMT)

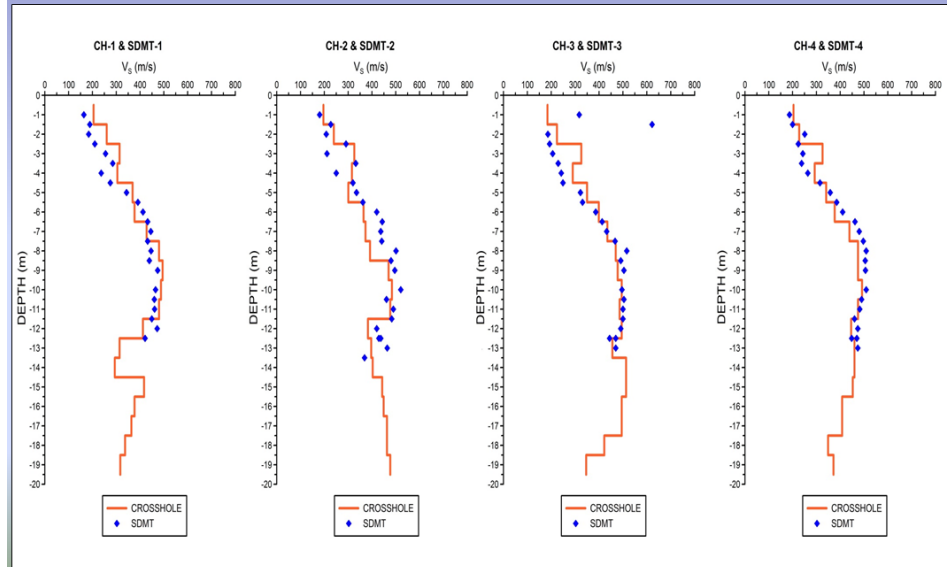
Eng. Diego Marchetti
(diego@marchetti-dmt.it)

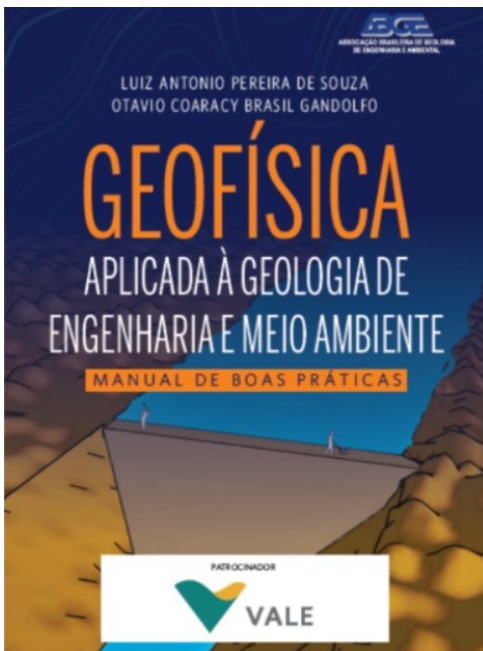


www.marchetti-dmt.it



Santo André-SP / Brazil Comparing the results: SDMT x Cross Hole Test





ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE
GEOLOGIA DE ENGENHARIA
E AMBIENTAL

<https://www.abge.org.br/abge-normas>

Normas ABGE

Situação em 10.05.2024

João Jeronimo Monticelli
Editor de Normas ABGE

SÉRIE 200 - Geofísica aplicada (investigações indiretas)

NORMA ABGE 200/2023: Geofísica aplicada – Métodos e técnicas

NORMA ABGE 201/2023: Investigação geofísica em terra - Métodos sísmicos

NORMA ABGE 202/2023: Investigação geofísica em terra - Métodos elétricos

NORMA ABGE 203/2023: Investigação geofísica em terra – Métodos eletromagnéticos e potenciais

NORMA ABGE 204/2023: Investigação geofísica em água – Métodos acústicos: batimetria e sonar de varredura lateral para investigação de superfícies submersas e perfilagem sísmica contínua para investigação de subsuperfícies submersas

NORMA ABGE 205/2023: Investigação geofísica em água – Investigação de superfície e subsuperfície submersas através de radar de penetração no solo, eletrorresistividade, magnetometria, câmeras acústicas, *laser scanner* subaquático e filmagem



BH, 07/06/2024

WORKSHOP:

AVANÇOS, PROBLEMAS E SOLUÇÕES EM

SONDAGENS NO BRASIL

OBRIGADO!

PATROCÍNIO:



APOIO:

