

Ensaio geofísicos aplicados à engenharia de fundações

Otávio Coaracy Brasil Gandolfo

Palestra apresentada no Minicurso 3, MC3, SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA, 10.; FEIRA DA INDÚSTRIA DE FUNDAÇÕES E GEOTECNIA, 4., 2023, São Paulo. 277 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**

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
S/A - IPT
Av. Prof. Almeida Prado, 532 | Cidade Universitária ou
Caixa Postal 0141 | CEP 01064-970
São Paulo | SP | Brasil | CEP 05508-901
Tel 11 3767 4374/4000 | Fax 11 3767-4099

www.ipt.br



Realização:



Organização:



Apoio:



www.sefe10.com.br

MINI CURSO 3 (MC 3)

Ensaaios geofísicos aplicados à engenharia de fundações

Ministrante: Otávio Coaracy Brasil Gandolfo (IPT)



04/12/2023



- 1) Ondas sísmicas (onda P, onda S e onda R) e equipamentos
- 2) Ensaio sísmico para determinar a velocidade da onda S (V_s)
- 3) Ensaio para determinar a profundidade de uma fundação

- 1) Ondas sísmicas (onda P, onda S e onda R) e equipamentos
- 2) Ensaio sísmico para determinar a velocidade da onda S (V_s)
- 3) Ensaio para determinar a profundidade de uma fundação

MÉTODOS SÍSMICOS

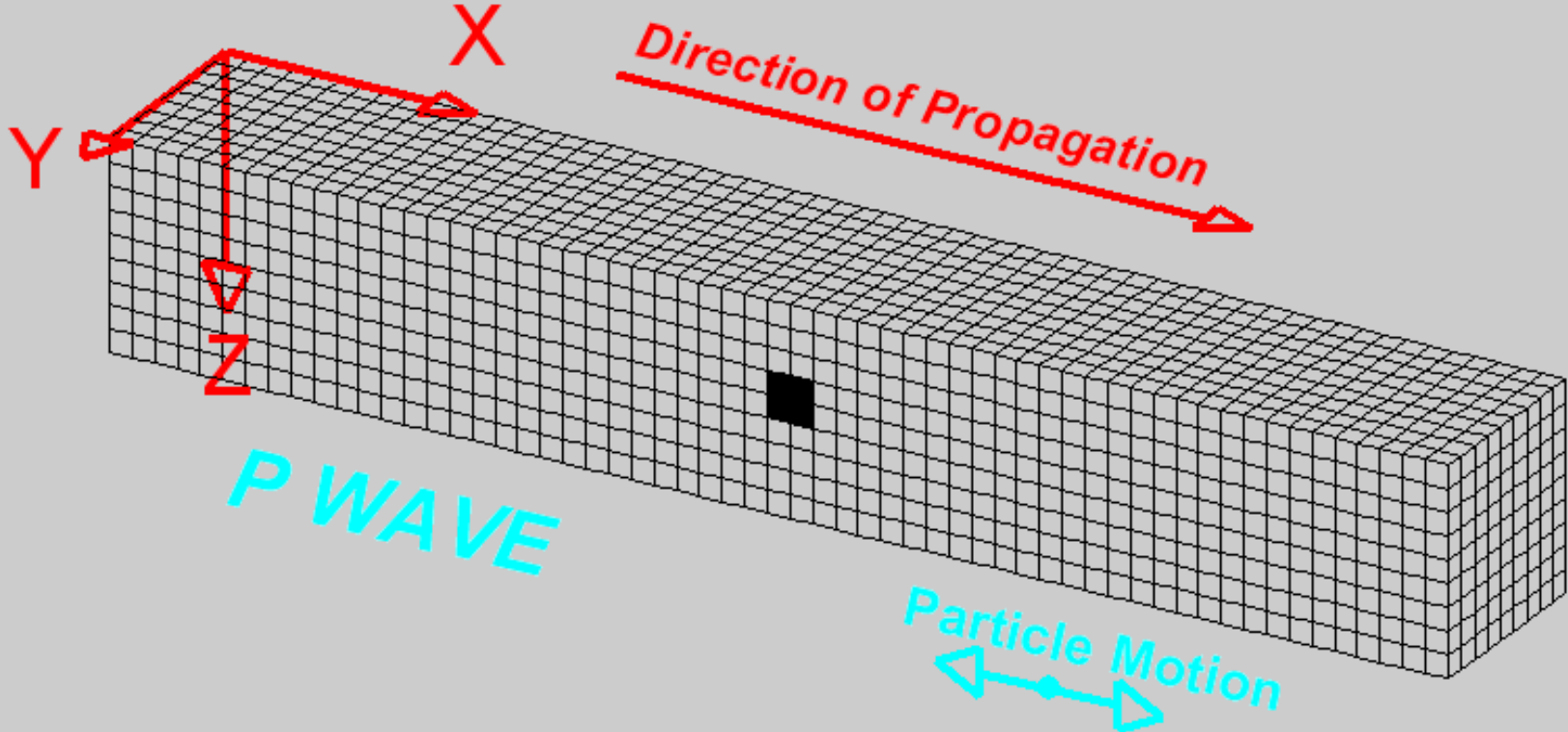
Os métodos sísmicos têm por objetivo estudar a distribuição em profundidade da velocidade de propagação das ondas sísmicas, parâmetro que está relacionado com as propriedades elásticas e a densidade dos materiais

$$V = \sqrt{\frac{M}{\rho}}$$

M = módulo de elasticidade

ρ = densidade (massa específica)

ONDA P (compressional)



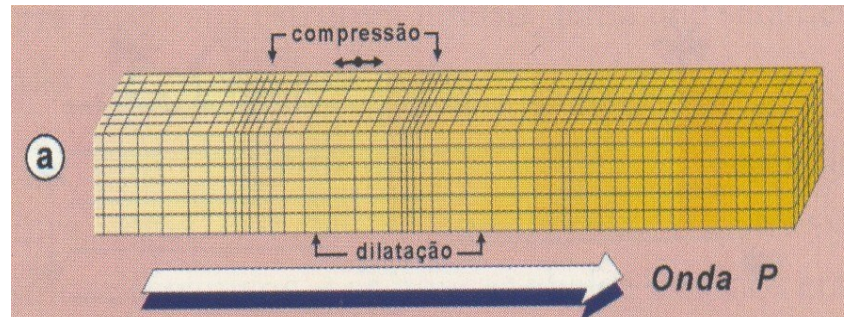
Ex: O som é uma onda P ($v \cong 340\text{m/s}$)

Partículas do meio sofrem **compressão** e **dilatação**, alternadamente
(alteração de volume sem mudança na forma)

Movimento da partícula paralelo à direção de propagação da onda
(**longitudinal**)

ONDA P (compressional)

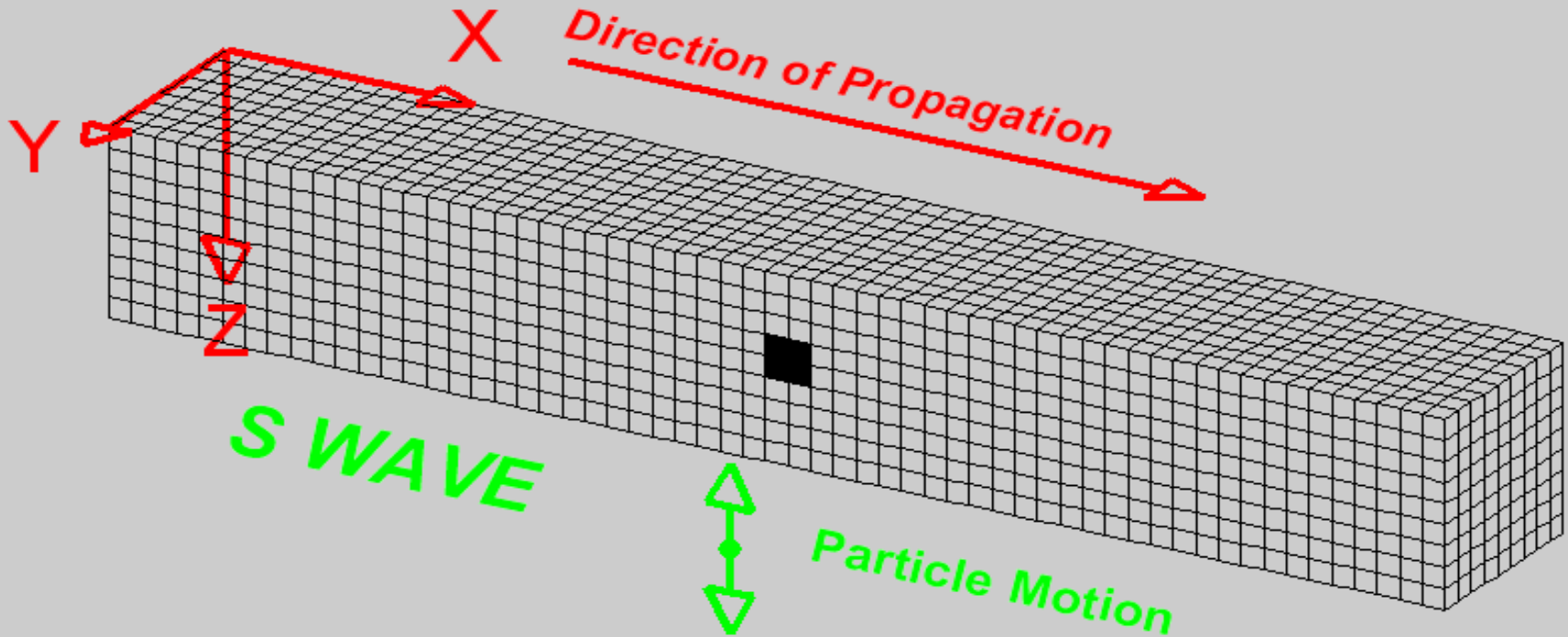
- Propagam-se nos solos/rochas e na água
 - Em solos saturados, estas ondas tendem a se propagar pela água, ao invés do solo
- ∴ a velocidade das ondas P em solos saturados ($V_p \sim 1500\text{m/s}$), não refletem as propriedades elásticas do meio



Velocidade de propagação da onda compressional (V_p)

MATERIAL	V_p (m/s)
Solos, sedimentos não consolidados	200 – 500
Solos consolidados secos, argilas compostas	600 – 1200
Solos saturados	1500 – 1900
Sedimentos inconsolidados saturados	1500 – 2000
Rochas seimentares sãs, não fraturadas	2000 – 4500
Rochas igneas/metamórficas altamente fraturadas ou alteradas, arenitos alterados e/ou fraturados	1900 – 2800
Rochas igneas/metamórficas pouco alteradas e/ou fraturadas, arenito são	2900 – 3900
Rochas igneas/metamórficas sãs, não fraturadas	4200 – 6000
Aço	5500 – 5800
Concreto	3500 – 4500
Água	1450 – 1550
Ar	340

Onda S (cisalhamento)



Movimento da partícula perpendicular à direção de propagação da onda (**transversal**), provocando o **efeito de cisalhamento** (mudança da forma sem alteração do volume)
Movimento transversal da partícula pode ser tanto vertical (SV, mostrado na animação) como horizontal (SH)

Onda S (cisalhamento)

- Propagam-se apenas nos meios sólidos e não na água (a água não oferece resistência ao cisalhamento)
- a velocidade das ondas S fornece informações sobre a rigidez do solo, mesmo estando saturado

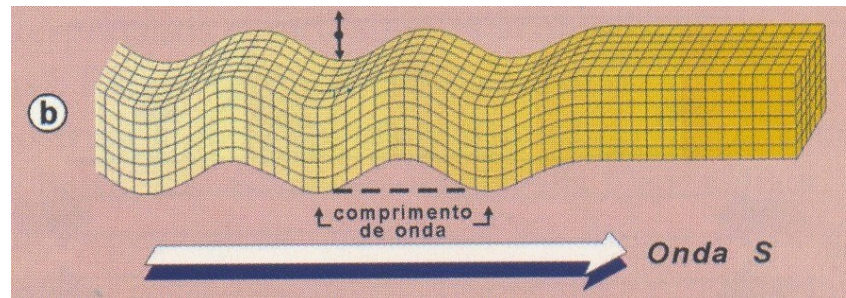
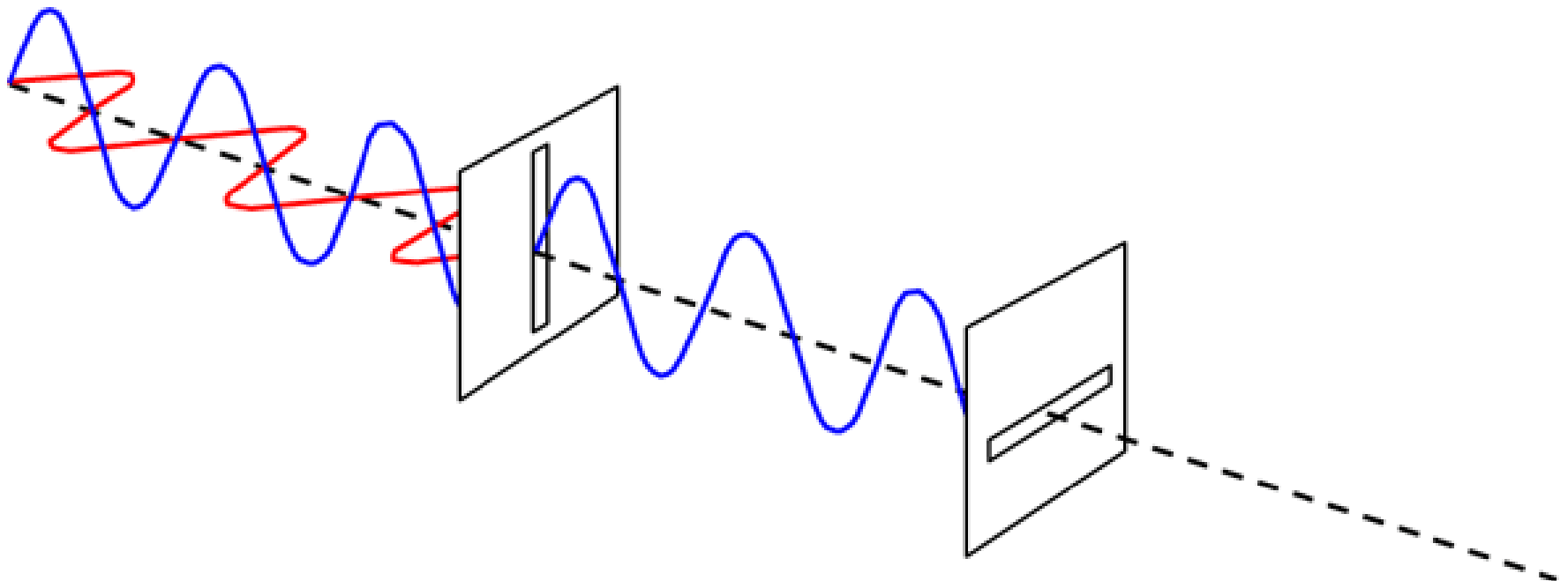


Table 1: Typical Values of V_s for Various Materials

<i>Material</i>	<i>Shear wave velocity V_s m/s</i>
Very soft soil	85-105
Soft soil	106-135
Medium soil	136-185
Stiff soil	186-275
Very stiff soil	276-365
Soft rock/cemented soil	366-760
Rock	761-1500
Hard rock	>1500
Concrete	2286-2438

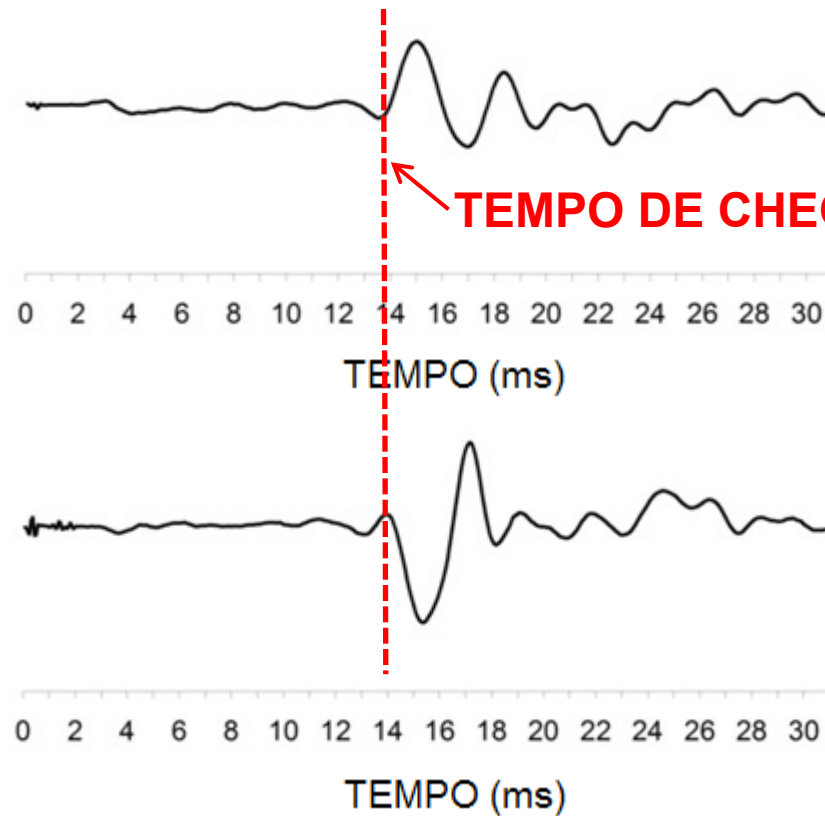
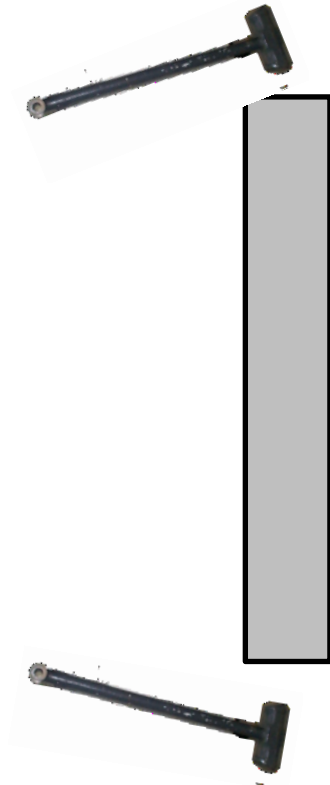
Ondas transversais são polarizáveis

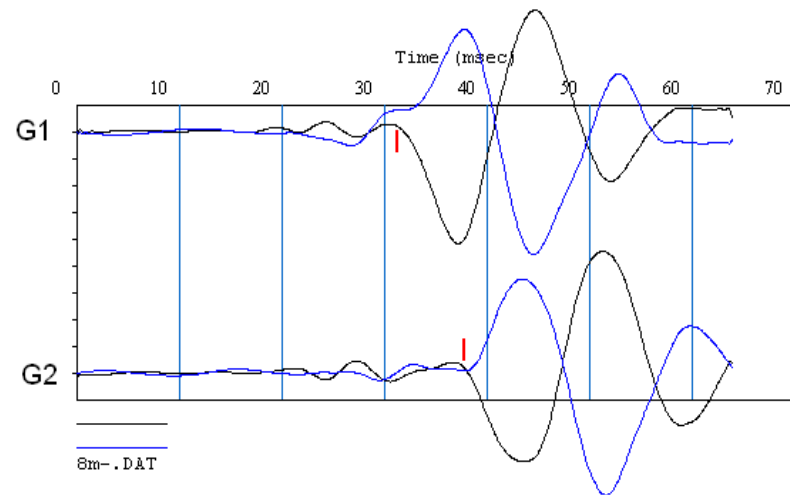
As ondas S podem ser polarizadas devido às partículas oscilarem ao longo de uma linha definida perpendicular à direção de propagação da onda



(Diagram: resourcefulphysics.org)

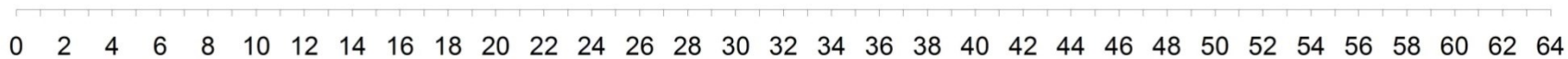
A onda cisalhante (onda S) tem a capacidade de polarizar-se



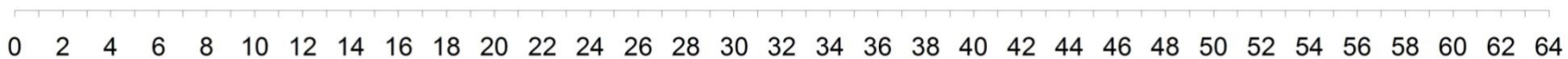


⇒ O impacto do material a ser investigado em duas direções opostas (acima/abaixo, direita/esquerda) produzirá onda S com o sinal defasado em 180° (invertido, reversão de polaridade)

A



B



Existem relações entre as velocidades de propagação de ondas sísmicas de corpo e dos módulos elásticos do solo, o que torna os métodos sísmicos uma eficiente opção para analisar propriedades mecânicas do meio

$$V_P, V_S \quad \leftrightarrow \quad E, G, \mu, K$$

$$V = \sqrt{\frac{M}{\rho}}$$

M = módulo de elasticidade
 ρ = densidade

$$M = K + \frac{4}{3}G$$

$\Rightarrow$ velocidade da onda P

$$V_P = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}G}{\rho}}$$

$$M = G$$

$\Rightarrow$ velocidade da onda S

$$V_S = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

K (módulo de compressibilidade)

$\rightarrow$ resistência à compressão = incompressibilidade

G (módulo de cisalhamento)

$\rightarrow$ resistência ao cisalhamento = rigidez

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 pelos ensaios sísmicos

ρ (massa específica) $\rightarrow$ Conhecida ou estimada

$$\rho = \gamma_N / g$$

V_s é um excelente parâmetro indicativo da **rigidez de solos**, pois:

$$G_{\text{máx}} = \rho \cdot V_s^2$$

MÓDULO DE RIGIDEZ

DENSIDADE
(MASSA ESPECÍFICA)

$$\rho = \gamma_N / g$$

$$G_{\text{máx}} = \rho \cdot V_s^2$$

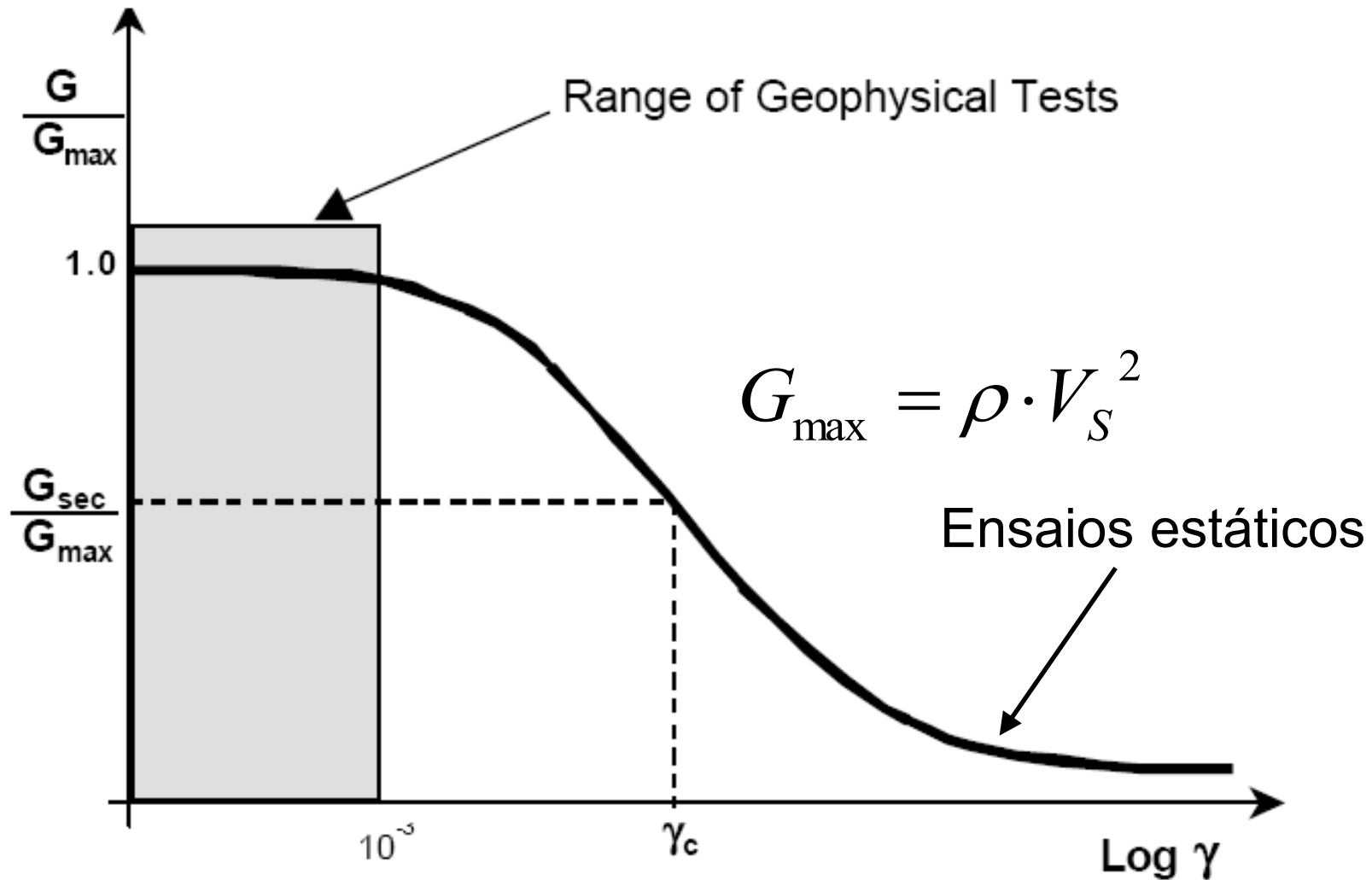
Exemplo:

$$\begin{aligned} V_s &= 270 \text{ m/s} \\ \gamma_N &= 20 \text{ KN/m}^3 \text{ (2,0 g/cm}^3\text{)} \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad G_{\text{máx}} = 145,8 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} V_s &= 270 \text{ m/s} \\ \gamma_N &= 18 \text{ KN/m}^3 \text{ (1,8 g/cm}^3\text{)} \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad G_{\text{máx}} = 131,2 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} V_s &= 360 \text{ m/s} \\ \gamma_N &= 18 \text{ KN/m}^3 \text{ (1,8 g/cm}^3\text{)} \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad G_{\text{máx}} = 233,3 \text{ MPa}$$

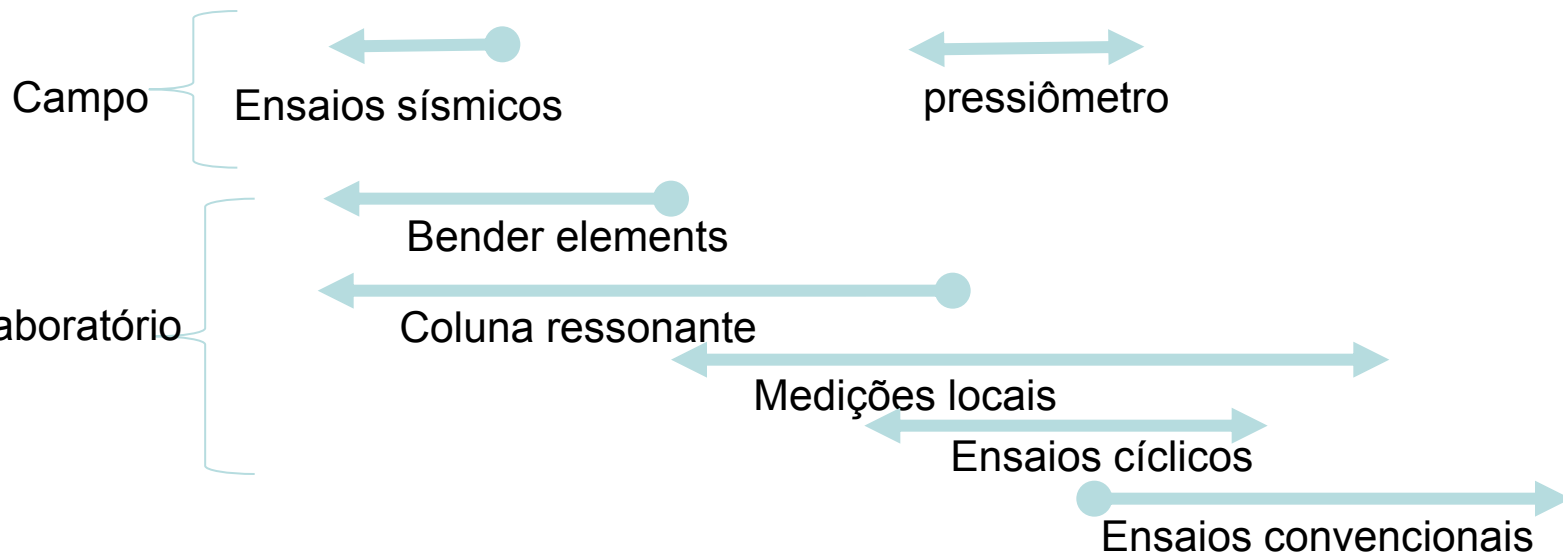
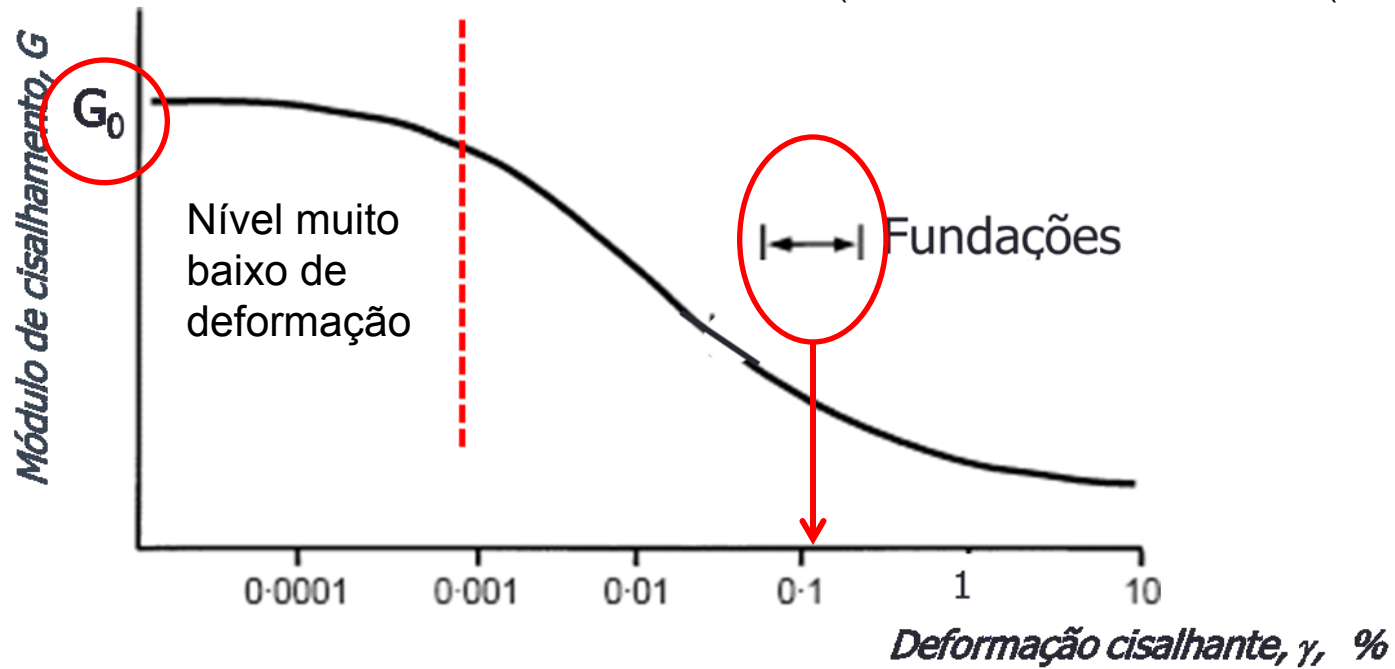
CURVA DE DEGRADAÇÃO DA RIGIDEZ EM RELAÇÃO A UM INTERVALO DE DEFORMAÇÕES



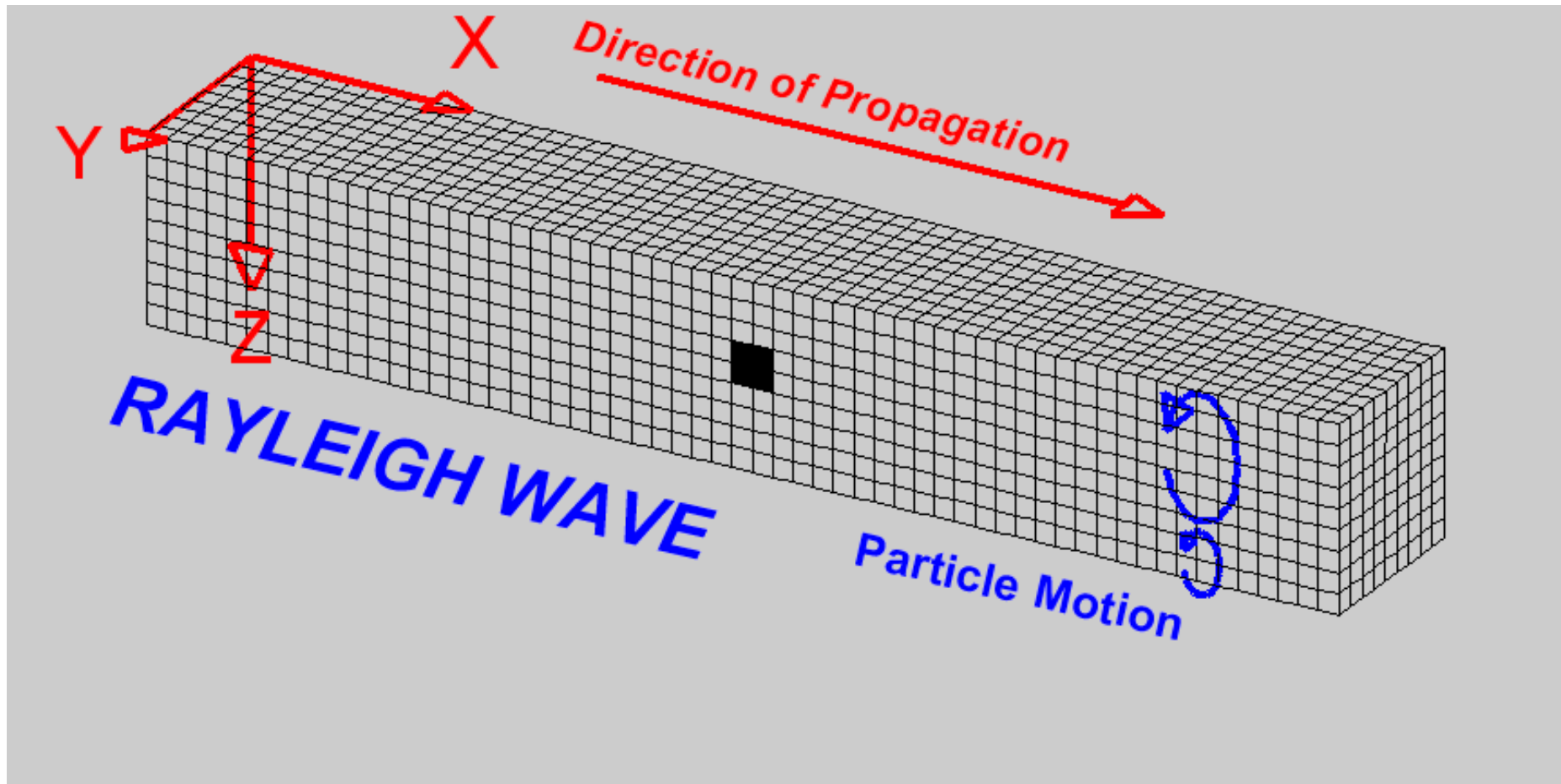
Em um solo ocorre uma expressiva diminuição da rigidez com o aumento dos níveis de deformação cisalhante a que ele está sujeito

Variação de G com a deformação cisalhante

(Modificado de Atkinson e Salfors (1991) e Mair (1993))



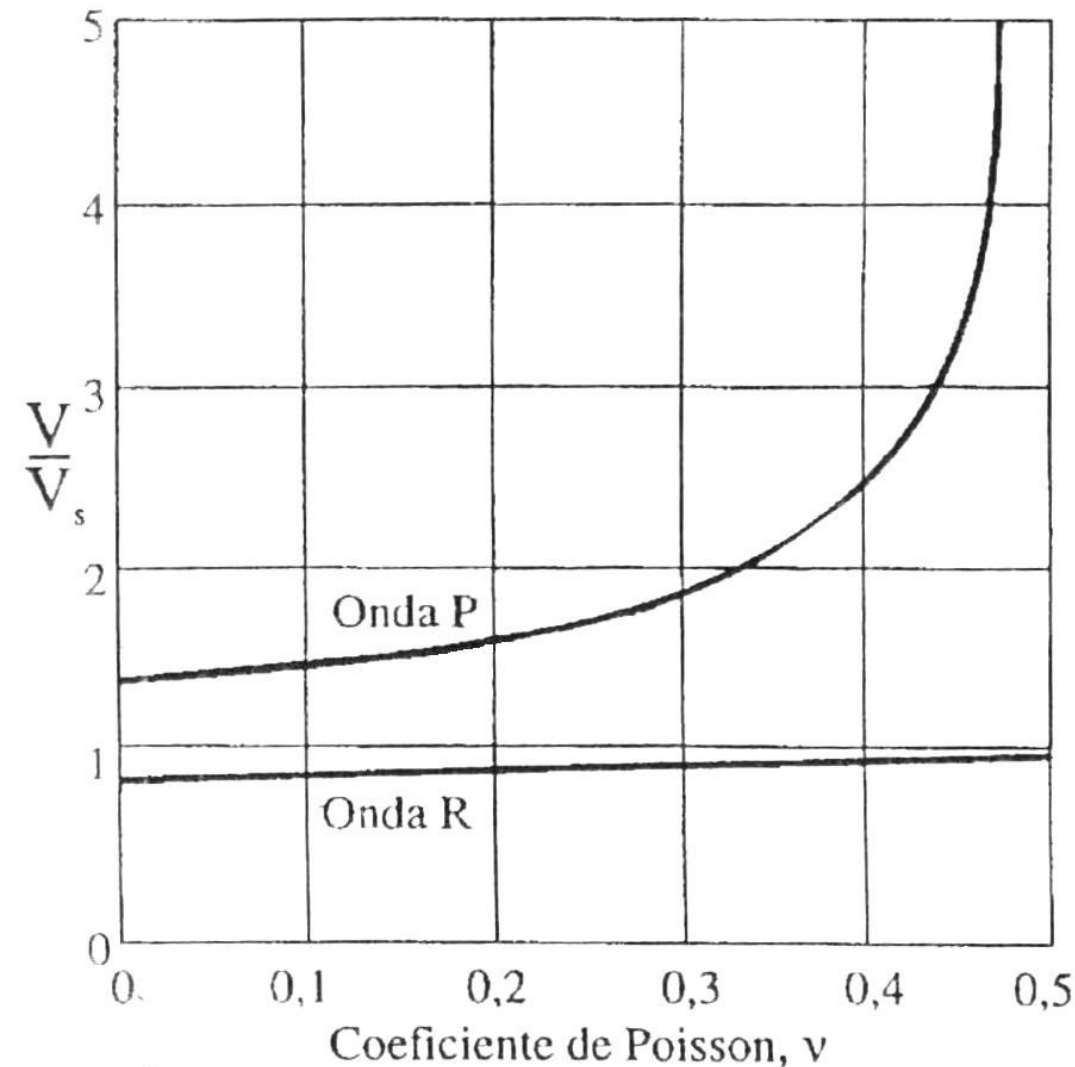
Ondas Rayleigh (ondas R)



O movimento da partícula consiste em uma trajetória elíptica retrógrada em um plano vertical, paralelo à direção de propagação da onda

A amplitude decresce exponencialmente com a profundidade

V_P/V_S & V_R/V_S em função do coeficiente de Poisson



No intervalo entre 0,2 e 0,5 do coeficiente de Poisson (ν), em um meio homogêneo, a diferença entre V_S e V_R é menor que 9%

Em termos práticos, pode-se considerar que:

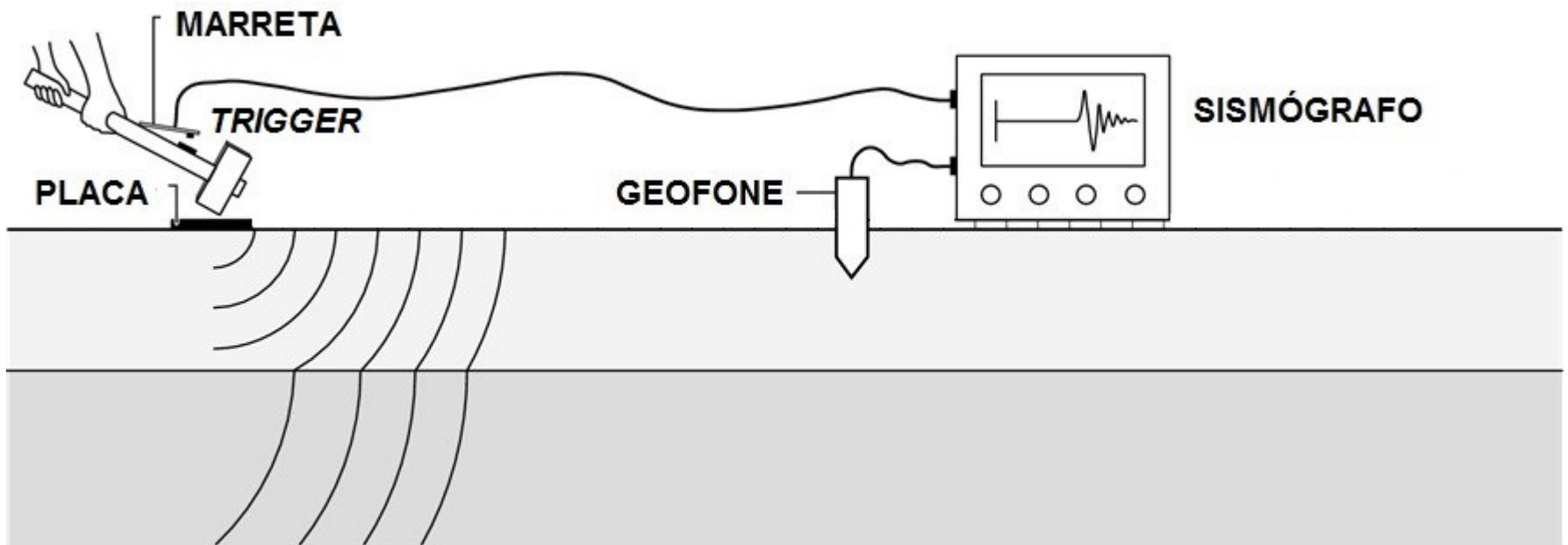
$$V_R \sim V_S$$

ou mais precisamente:

$$V_R \cong 0,9V_S$$

EQUIPAMENTOS

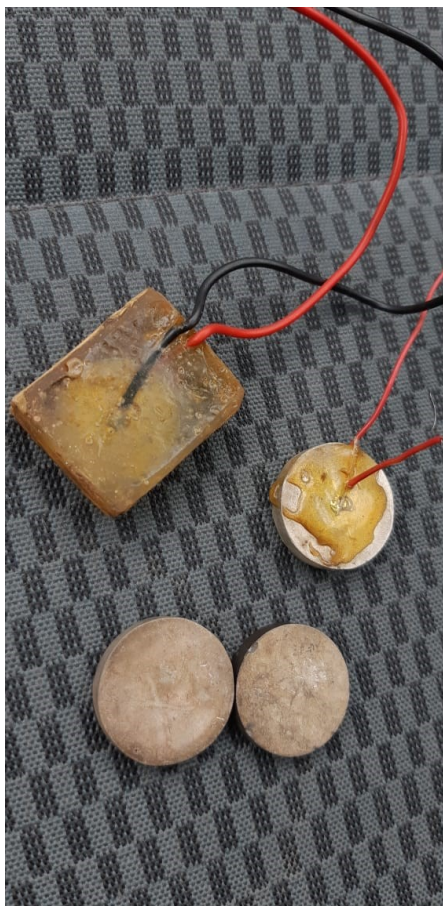
- FONTES SÍSMICAS
- GEOFONES
- SISMÓGRAFO



**BATENDO CONTRA
UMA PLACA
METÁLICA NO SOLO**

⇒ ONDAS P e R

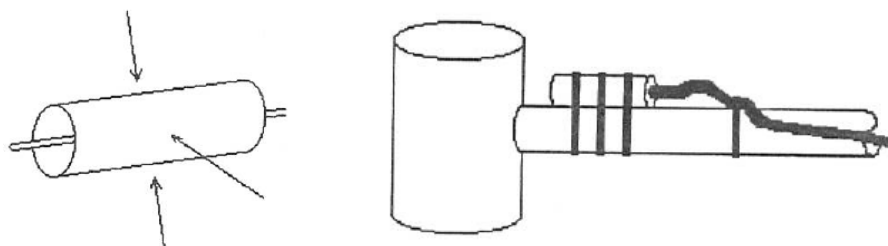




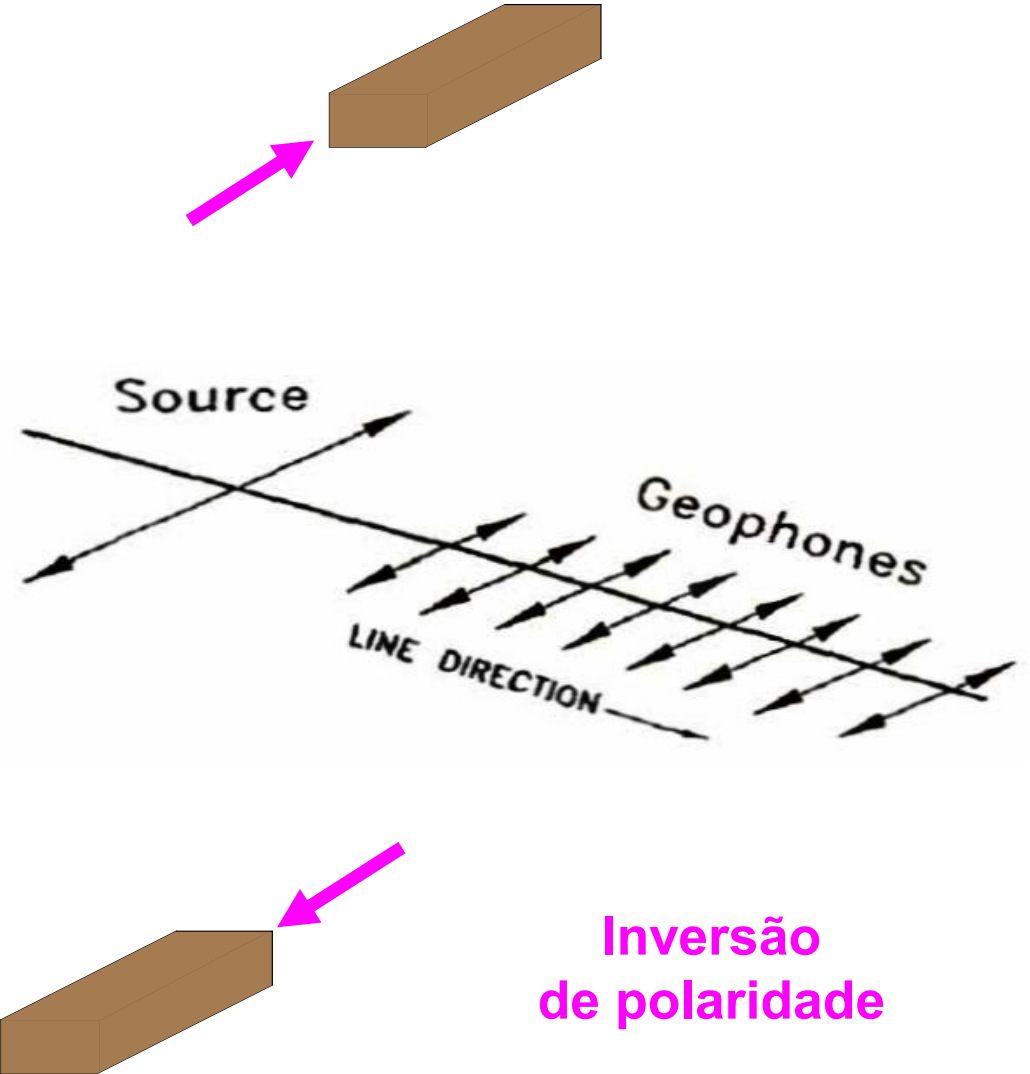
**Pastilhas
piezoelétricas**



Hammer switch



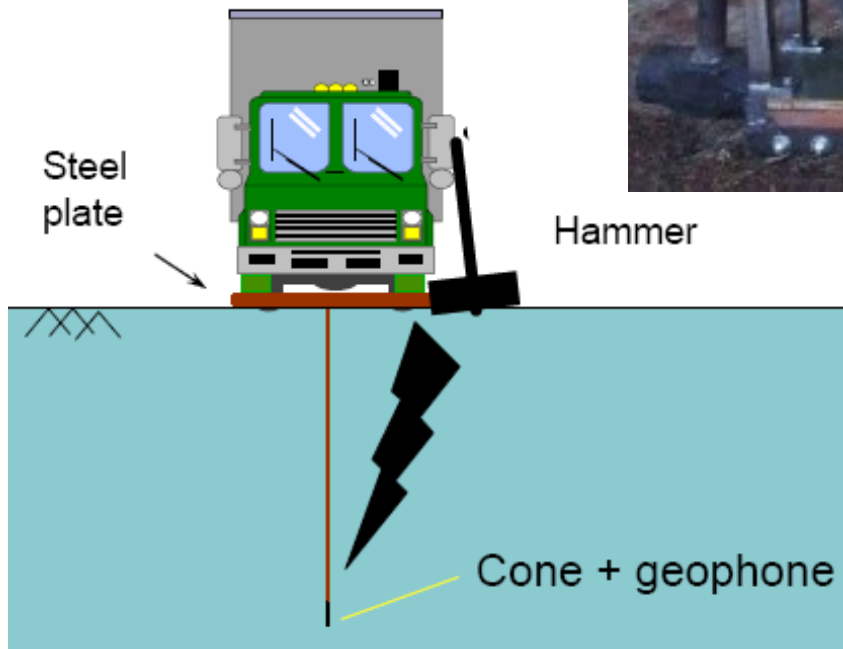
FONTE DE ONDAS DE CISALHAMNETO (ONDAS S)



FONTE DE ONDAS DE CISALHAMNETO (ONDAS S)

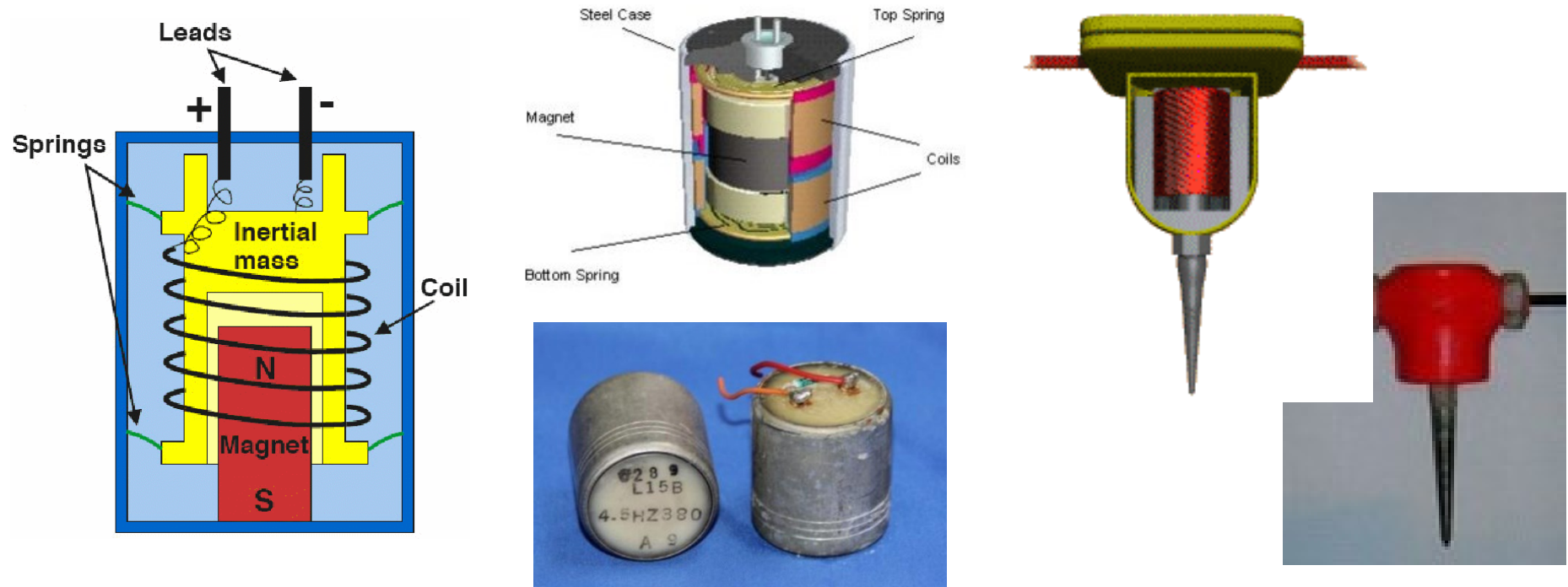
SCPT

→ CPT sísmico



GEOFONE

→ Transdutor eletromecânico que converte o movimento das partículas do terreno (vibrações mecânicas do solo) em um sinal elétrico (voltagem) cuja amplitude é proporcional à velocidade do movimento



O sinal elétrico é gerado a partir do deslocamento relativo entre um condutor em forma de bobina móvel e um forte ímã permanente

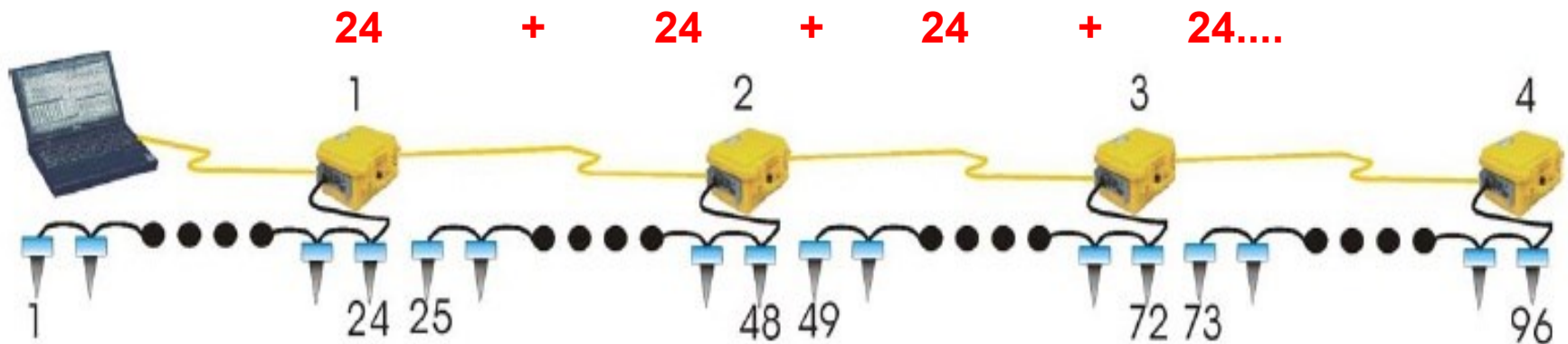
SISMÓGRAFOS DIGITAIS

Geometrics

Módulo GEODE
(24 canais)



12 or 24-channel
exploration seismograph



- 1) Ondas sísmicas (onda P, onda S e onda R) e equipamentos
- 2) Ensaio sísmico para determinar a velocidade da onda S (V_s)**
- 3) Ensaio para determinar a profundidade de uma fundação

ENSAIOS SÍSMICOS PARA DETERMINAÇÃO DE V_s

EM FUROS DE SONDAGENS:

- 1) *CROSSHOLE*
- 2) *DOWNHOLE*

ENSAIOS HÍBRIDOS:

- 3) CONE DE PENETRAÇÃO SÍSMICO (SCPT_u)
- 4) DILATÔMETRO DE MARCHETTI SÍSMICO (SDMT)

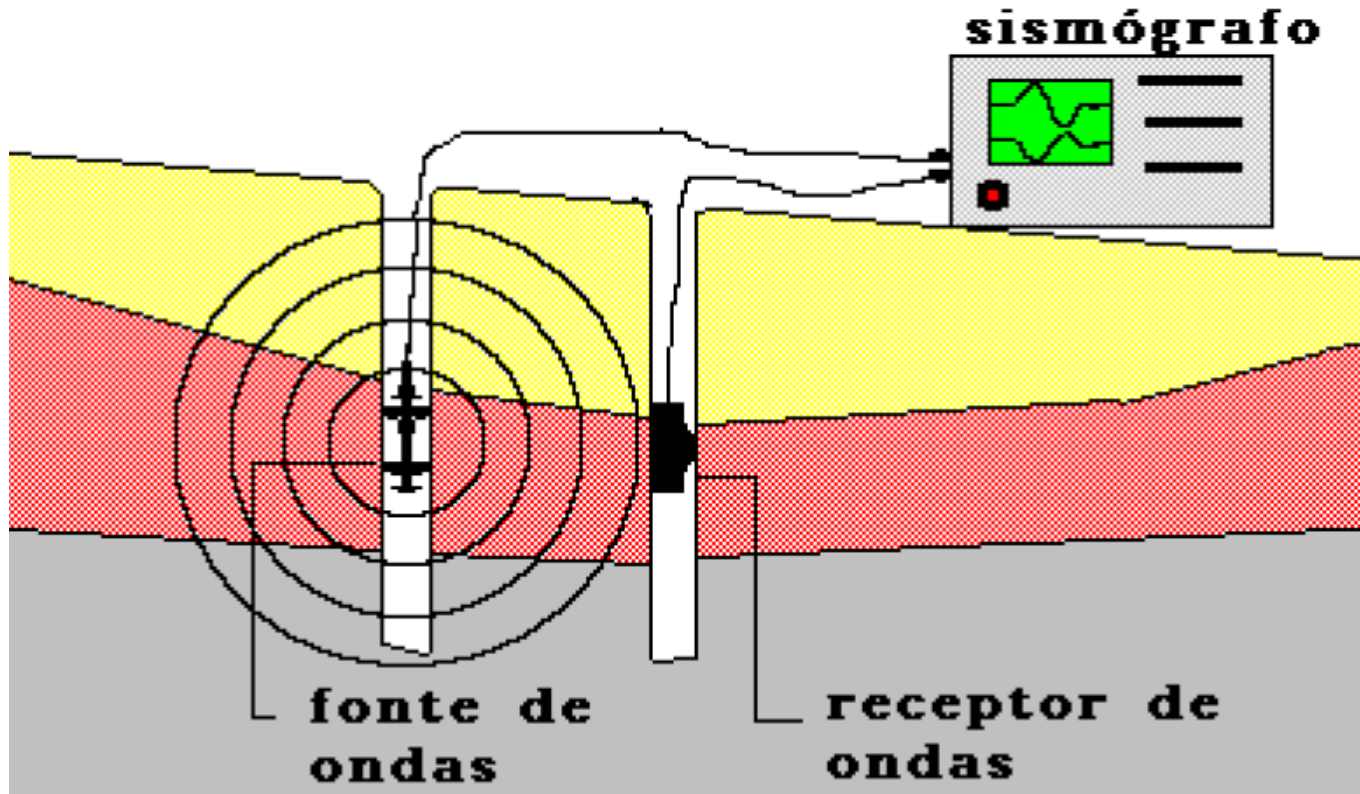
NA SUPERFÍCIE DO TERRENO:

- 5) MÉTODOS: REFRAÇÃO e *MASW*

ENSAIO *CROSSHOLE*

Ensaio *Crosshole*

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



Sismógrafo

Ensaio Crosshole

NORMA ASTM D 4428

Bomba
de ar

Δt

Velocidade da onda S:

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

Fonte sísmica
(martelo)

Cota de
investigação

borracha
pneumática

Furo revestido
com PVC

Inclinômetro

Geofone
Triaxial

Δx

Furo revestido
com PVC

Inclinômetro



Standard Test Methods for Crosshole Seismic Testing¹

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 reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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/ft³ 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:

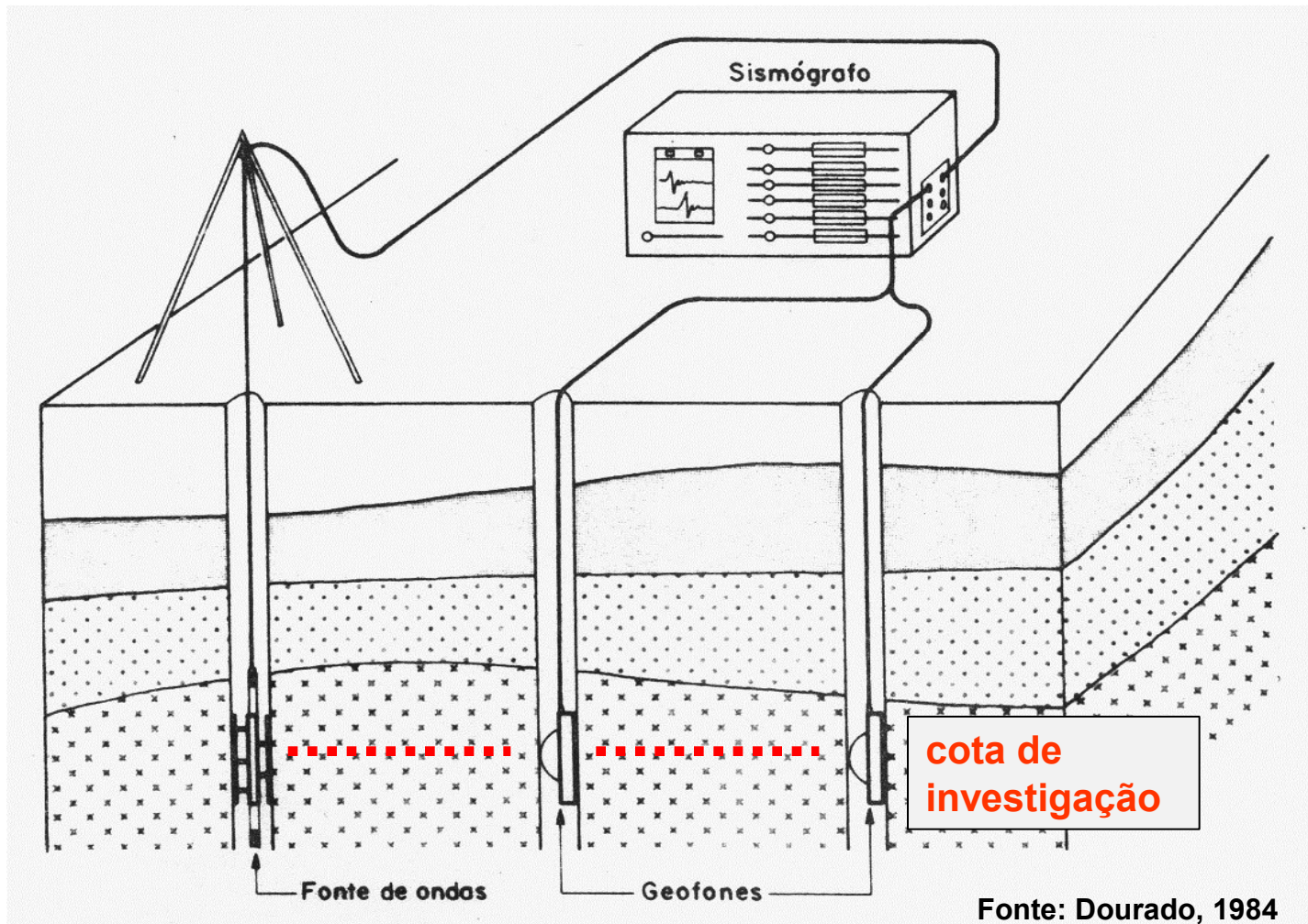
D 653 Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids

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.

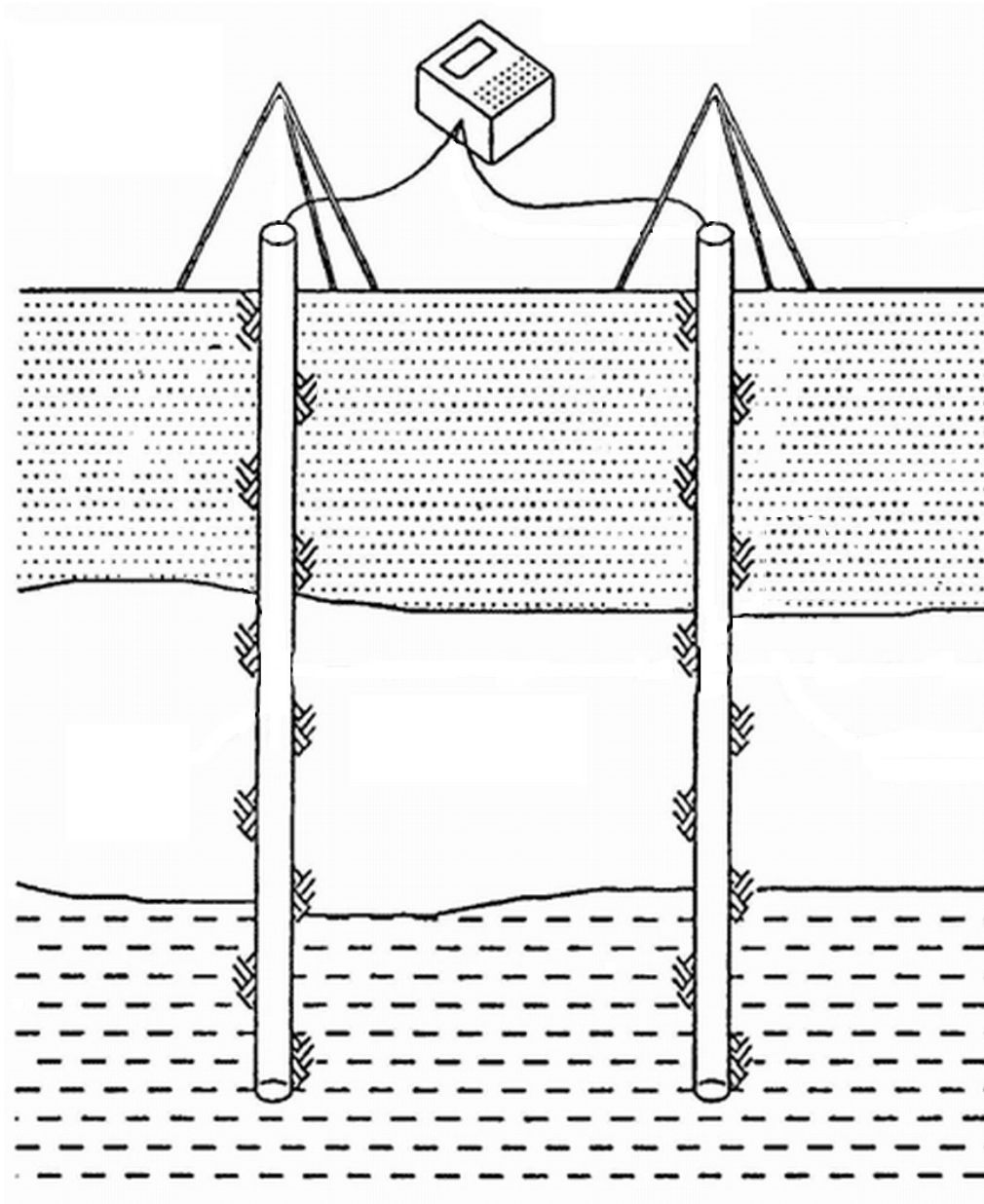
Current edition approved July 1, 2007. Published August 2007. Originally approved in 1984. Last previous edition approved in 2000 as D 4428/D 4428M – 00.



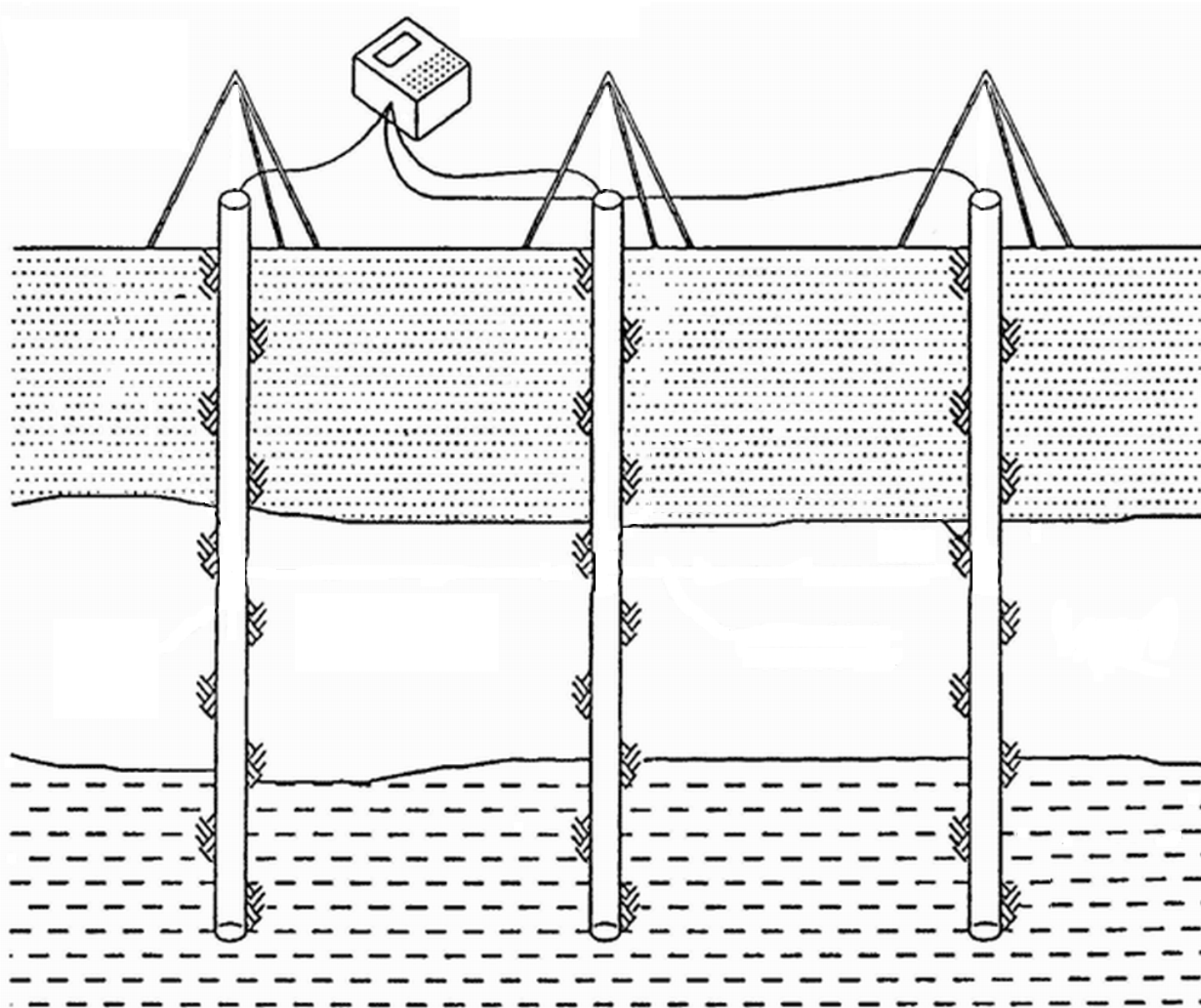
Objetivo: Determinação precisa dos valores de V_p e V_s “in situ”

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

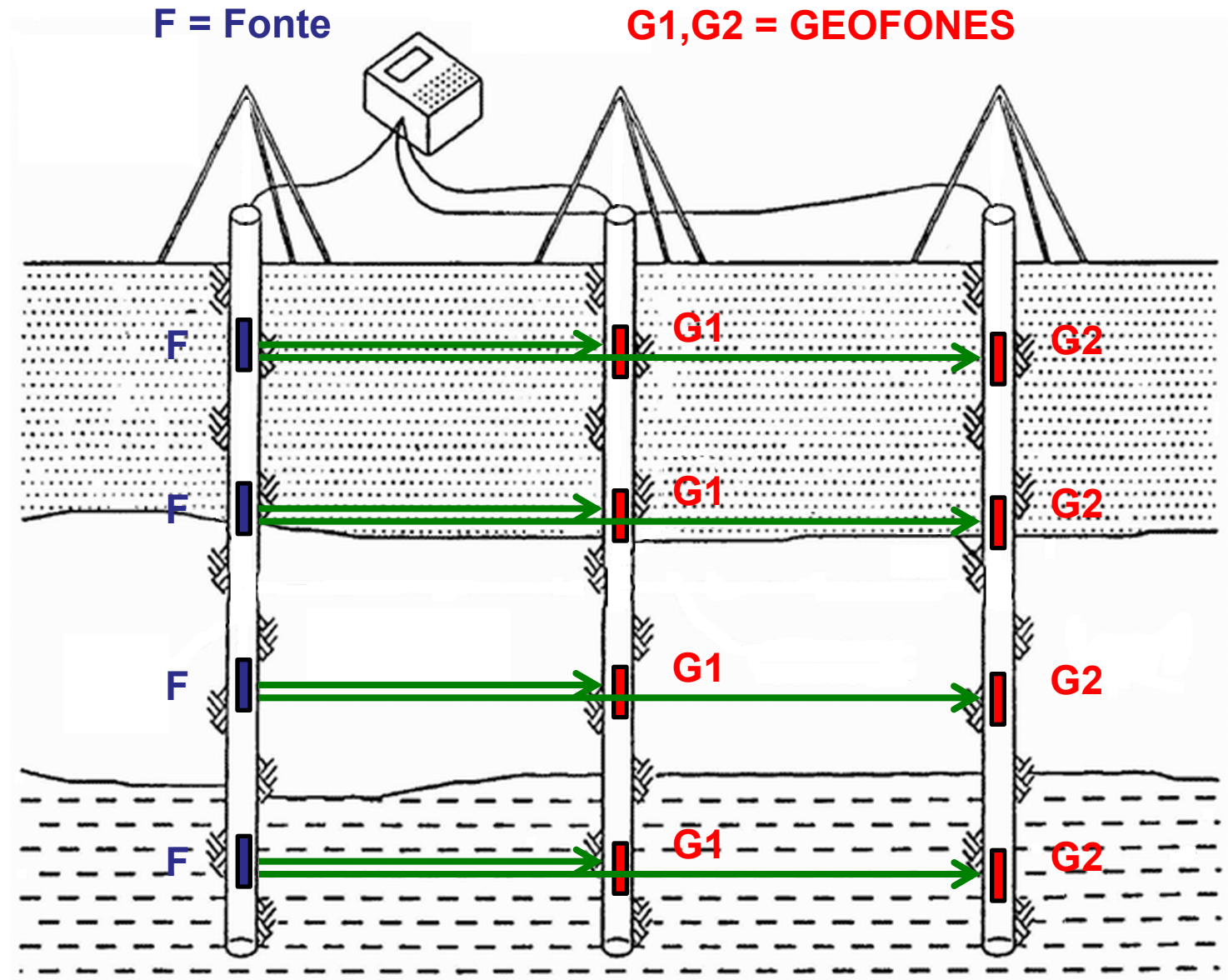
O ensaio CH pode ser realizado utilizando-se 2 furos...



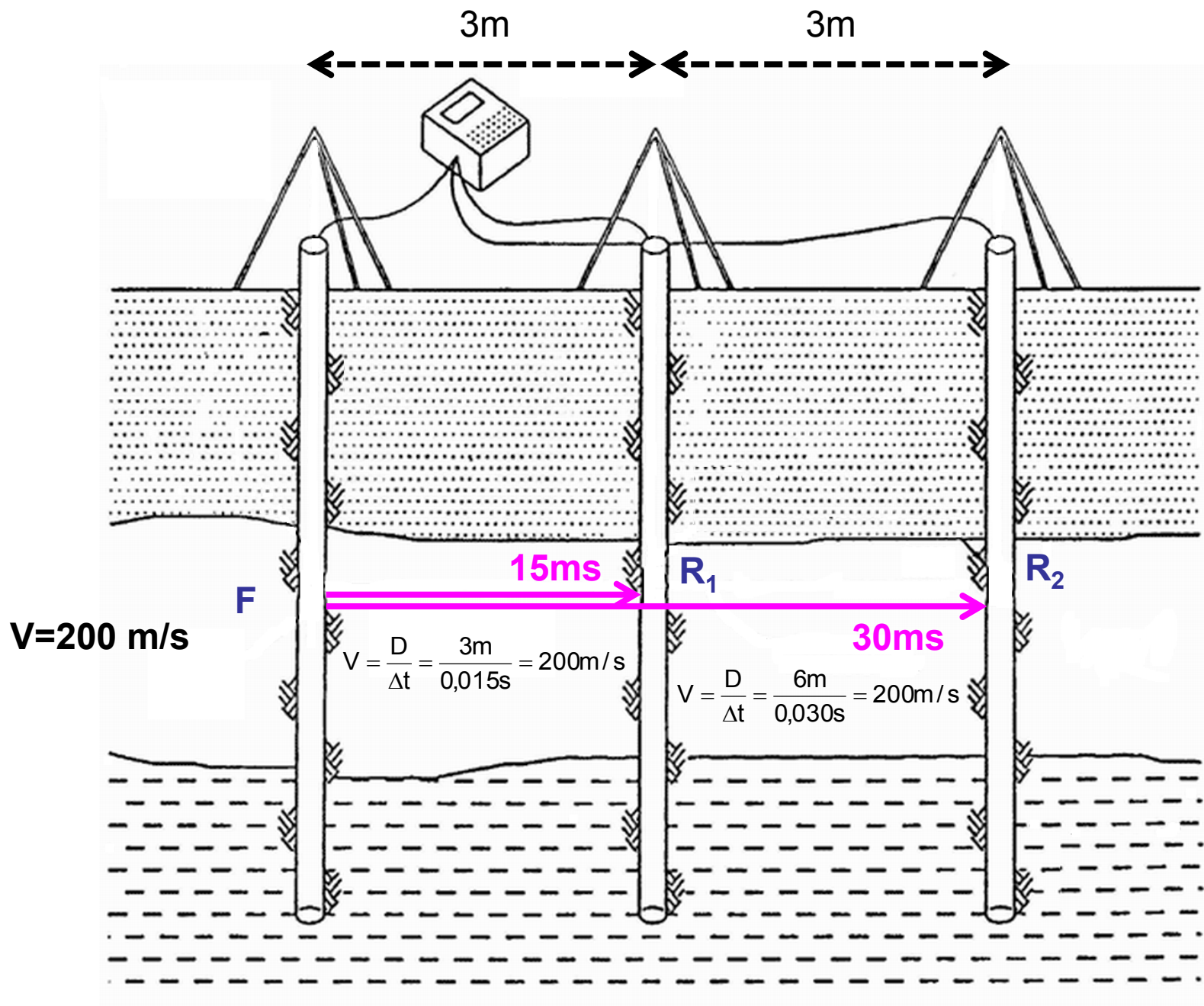
ou utilizando-se 3 furos (mais recomendado)

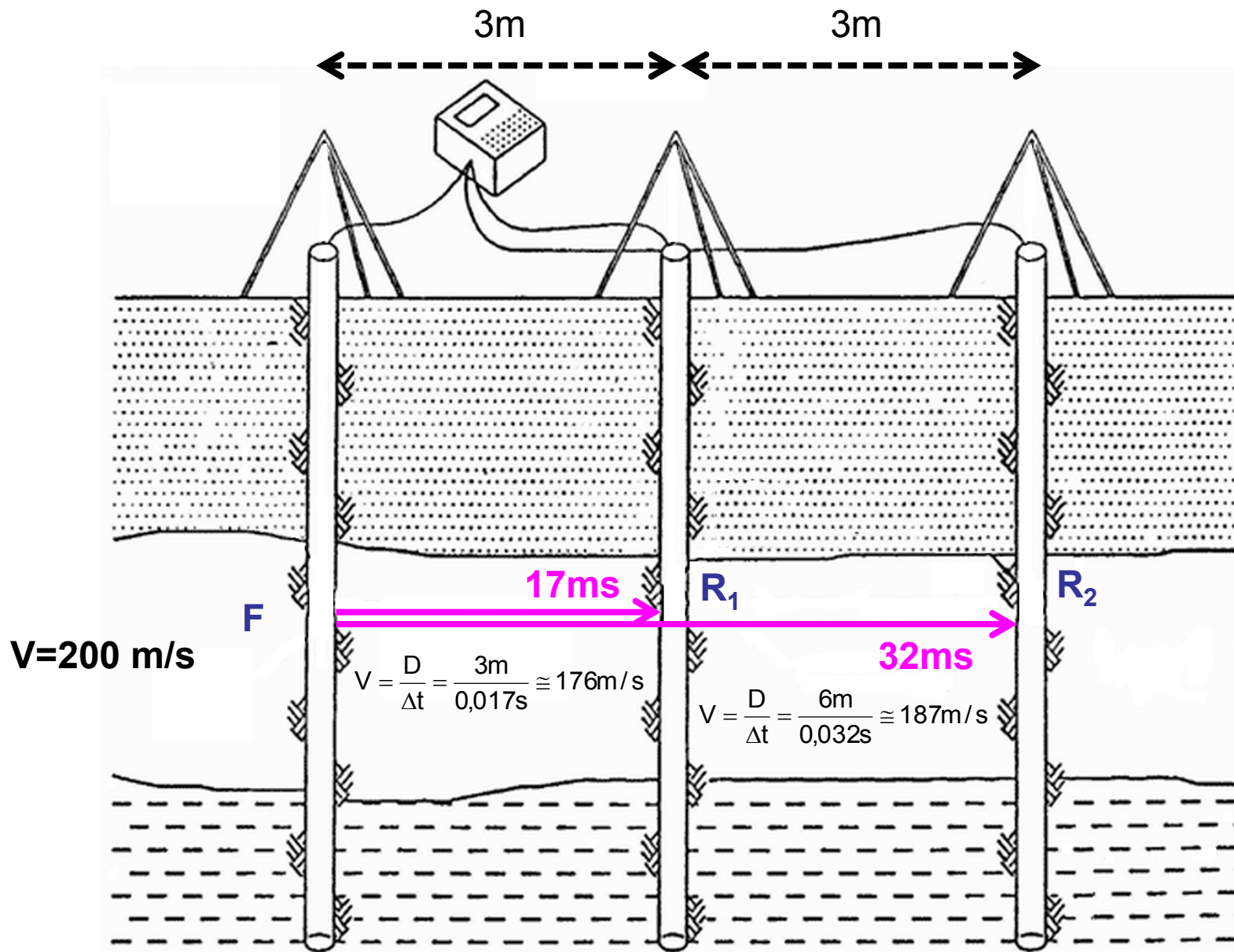


Ensaio CROSSHOLE: como o ensaio é realizado?



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



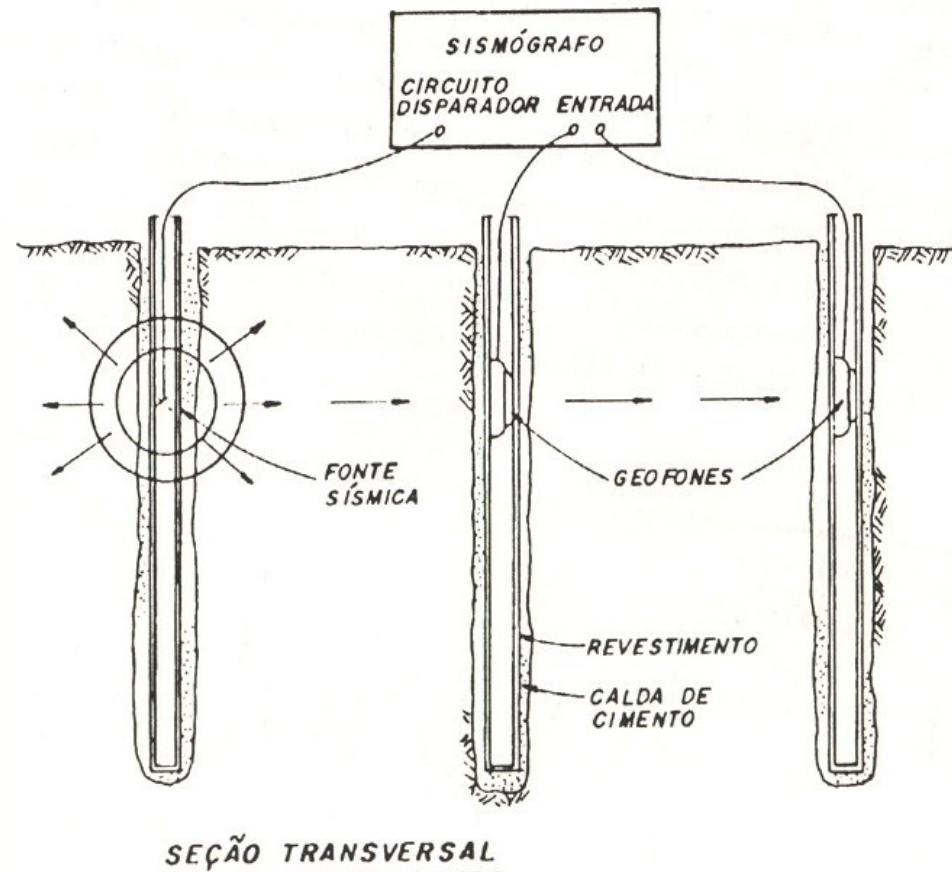
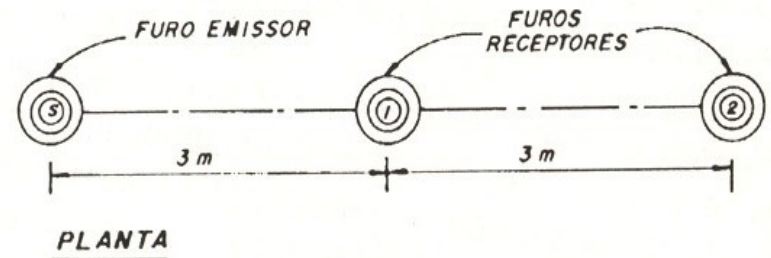
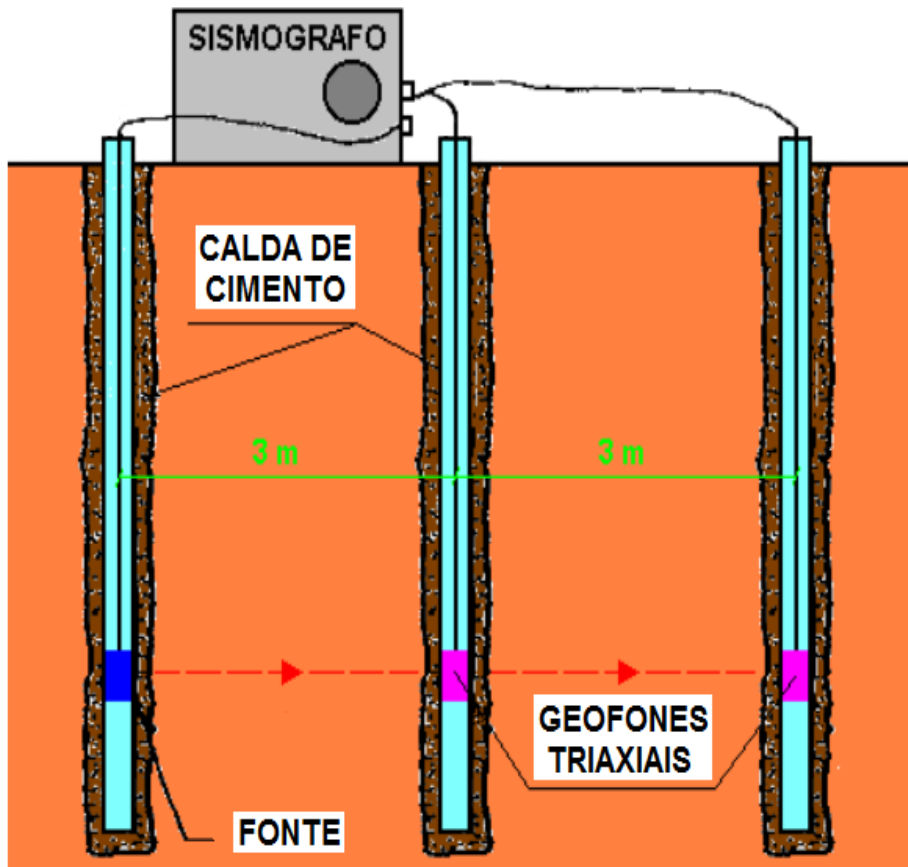


Trabalhando com as $\neq$ de tempos, os erros devido a problema no “trigger” são eliminados!

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

ASTM D4428 / D4428M

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



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

- Espaçamento entre furos:

- ✓ Solos → 2 a 4 metros

- ✓ Rocha → espaçamentos >>>
(V ↑ ⇒ tempo ↓)



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

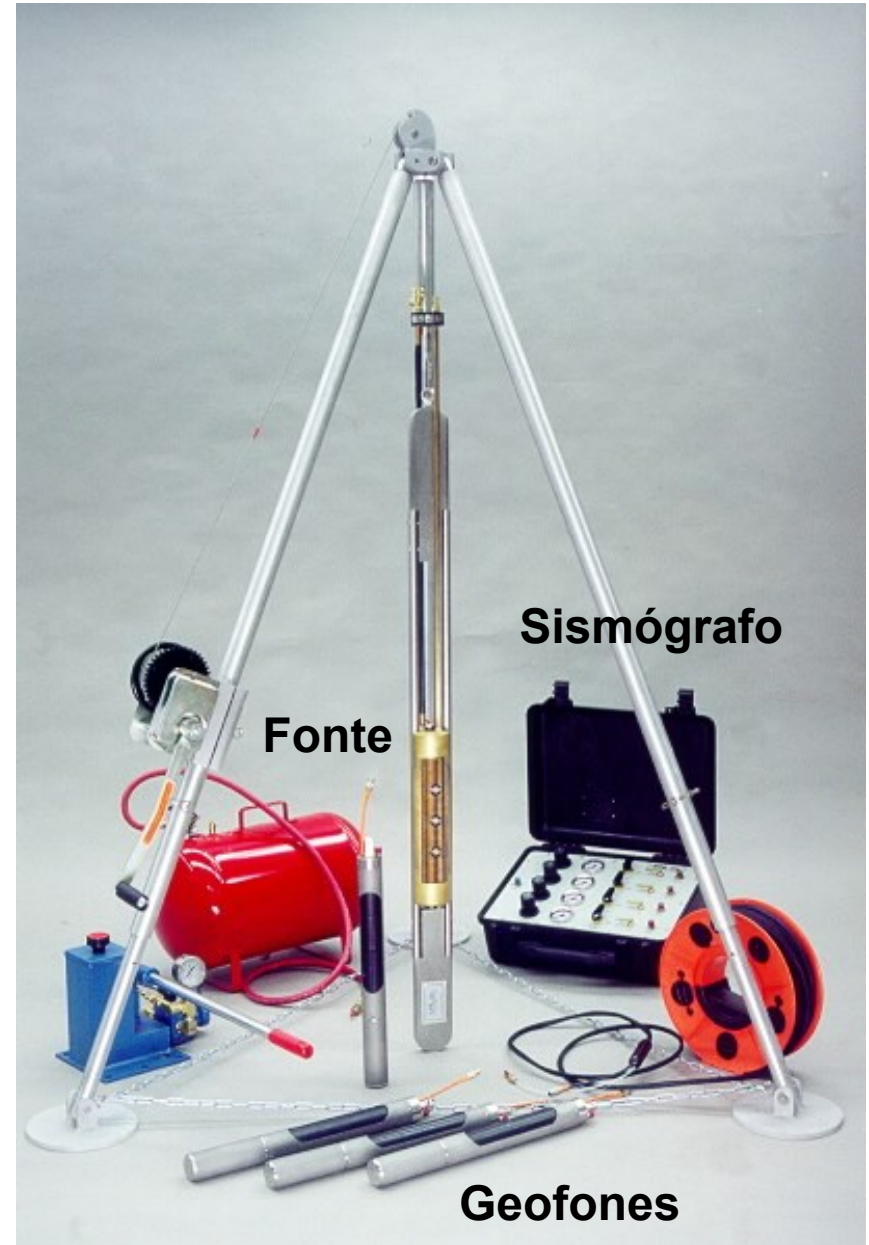




**ENSAIO
CROSSHOLE**

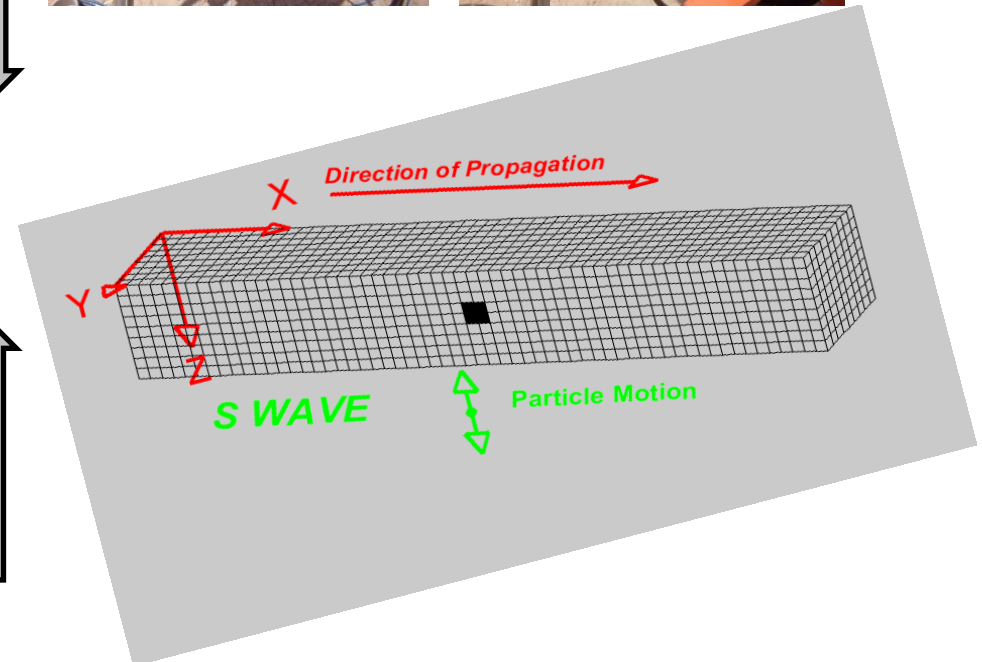
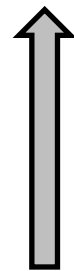
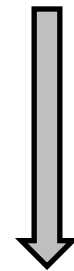
Equipamentos e aquisição dos dados

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

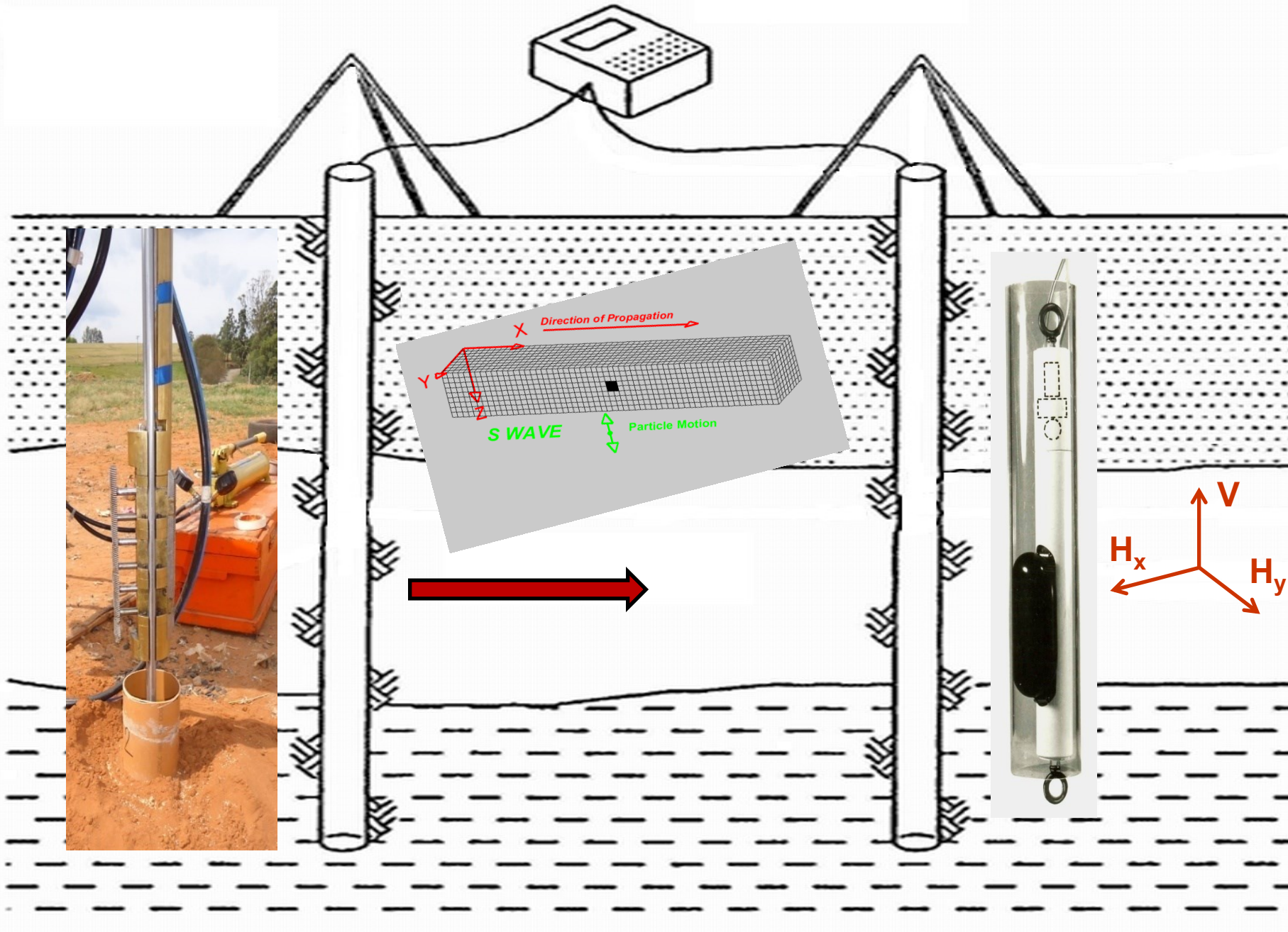


1) Fonte de ondas sísmicas

Martelo de furo → gera preferencialmente onda S



MARTELO DE FURO - GERA PREFERENCIALMENTE ONDAS CISALHANTES (S)

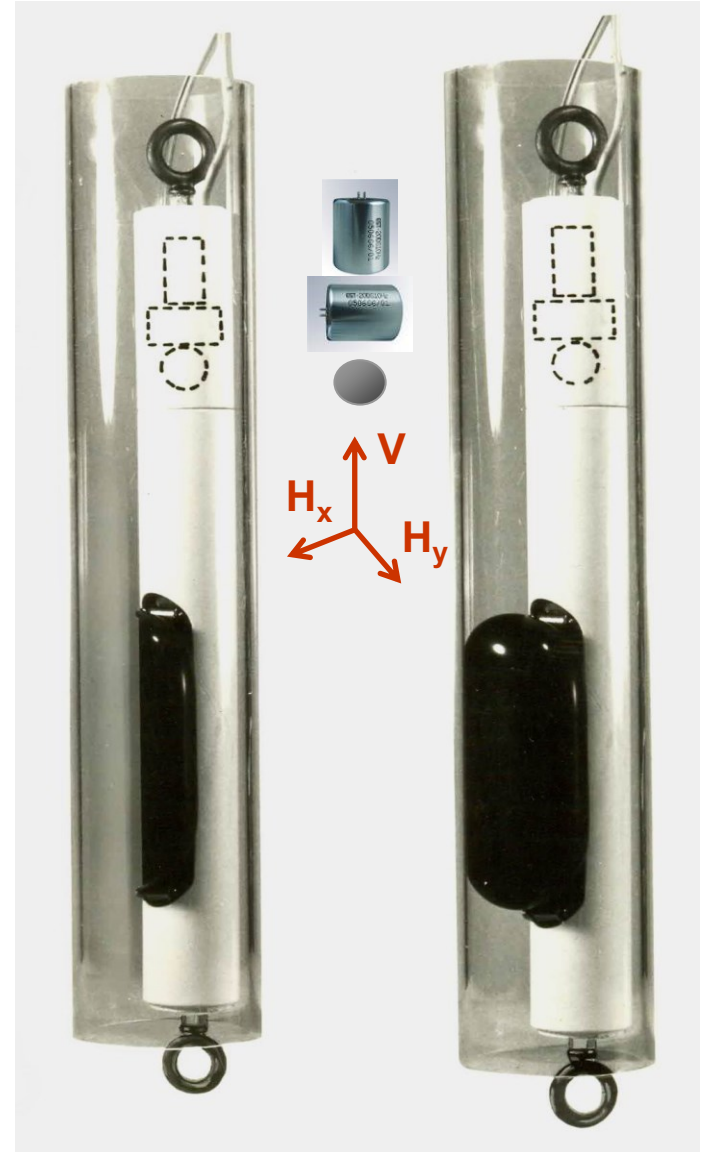


2) Geofones



2) Geofones

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



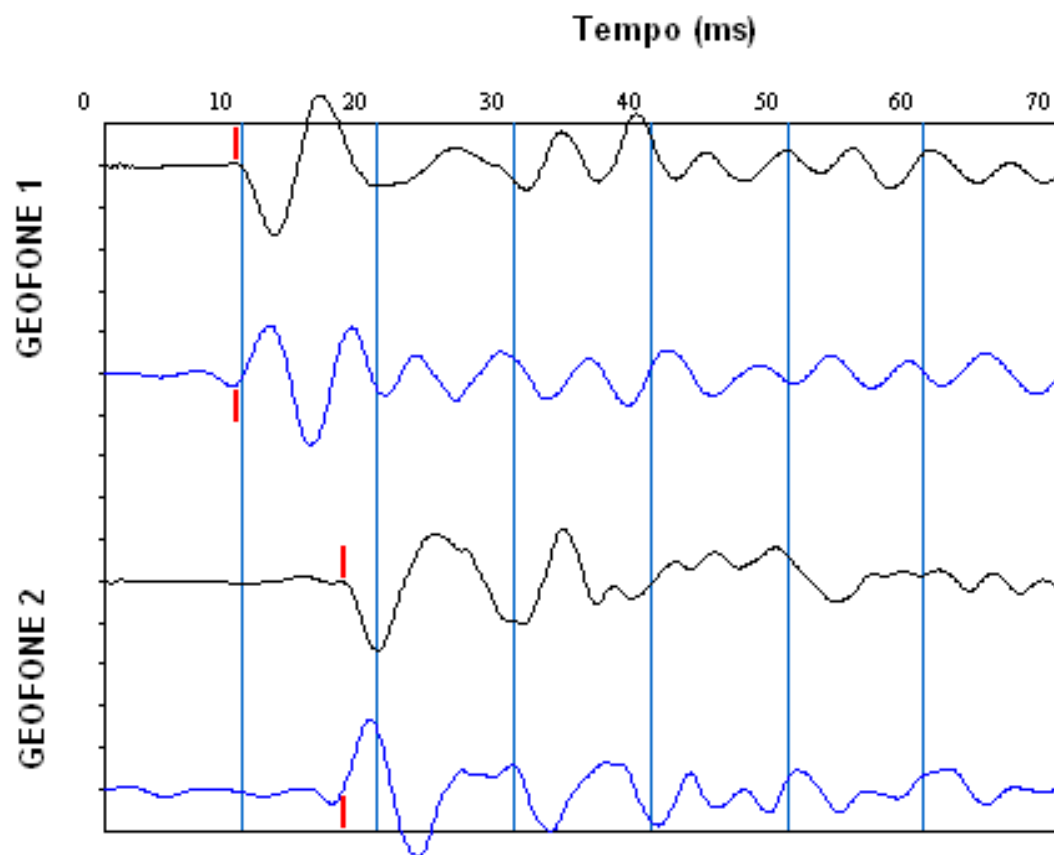
3) Sismógrafo



SmartSeis SE12
(doze canais)



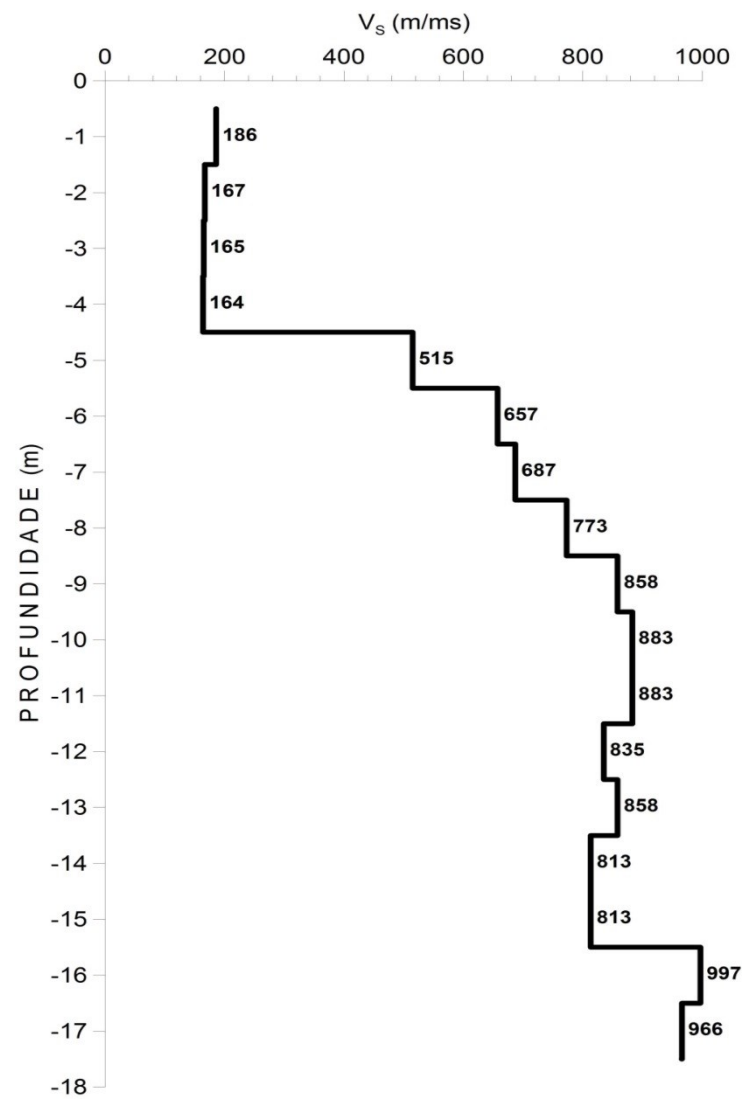
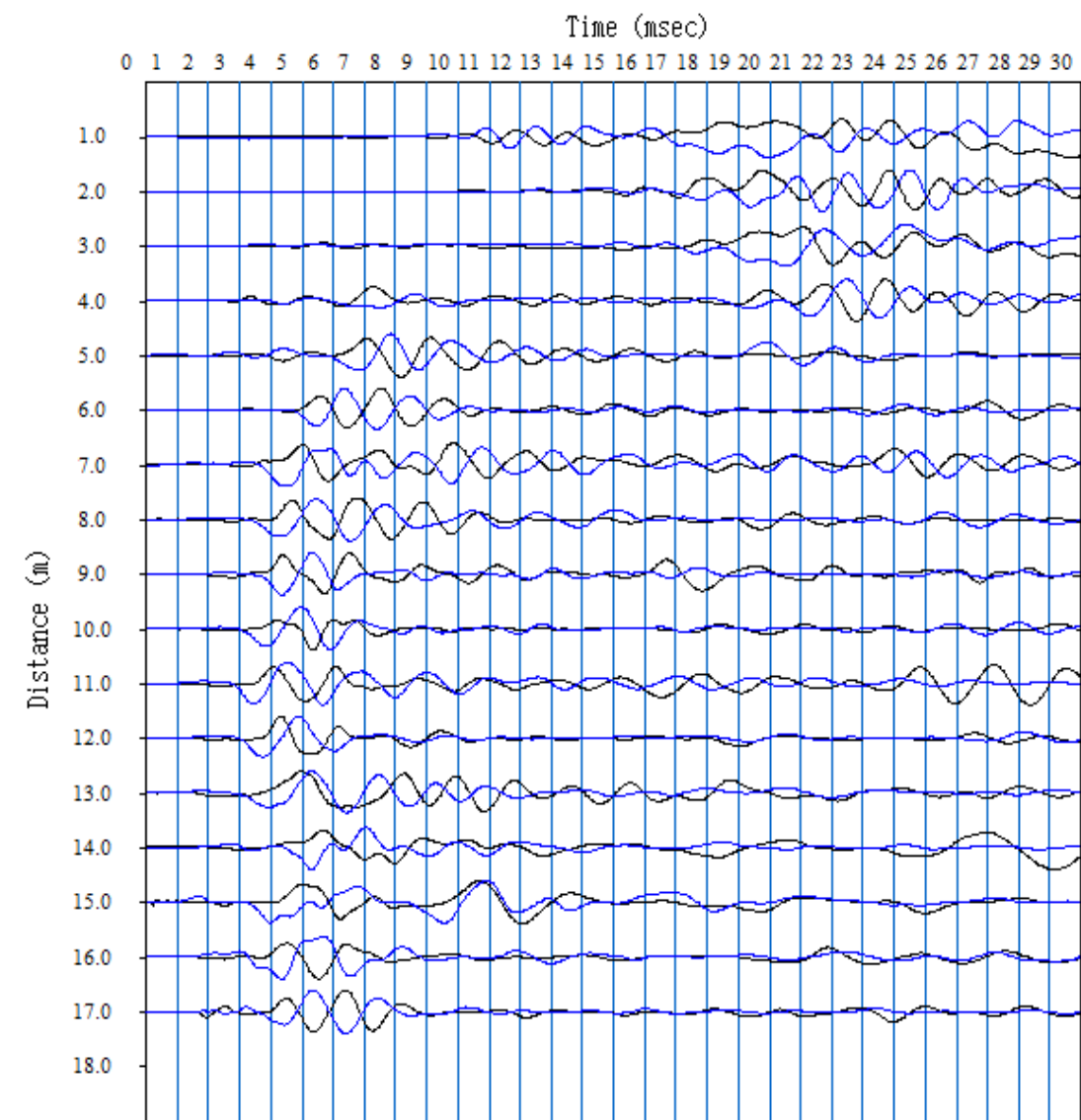
**Tempo de chegada
da onda S no
sismograma**



Ensaio *crosshole* em obra na cidade de Fortaleza-CE (2017)







PERFIL DE SONDAGEM SCH-04

COORDENADAS - (UTM)

E = 554.936,02 N = 9.588.369,06

AMOSTRADOR PADRÃO - SPT

Ø EXTERNO - 50,8 mm

MARTELO 65 Kg

Ø INTERNO 34,9 mm

QUEDA 75 cm

PROCESSO EXECUTIVO

A TRADO ATÉ 3.00 m

LAVAGEM - 3.00 m À 17.00 m

REVESTIDO DE 3.00 m À 5.00 m

GRÁFICO

10 20 30 40

SPT

ÍNDICE DE BÓLIO
IB

HUMIDADE
h%

DENSIDADE NATURAL
 γ_n g/cm³

TORQUE
(kf.m)

RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO
PROF. (m)
DE ATE

GOLPES P/15cm

AMOSTRA

PROF. (m)

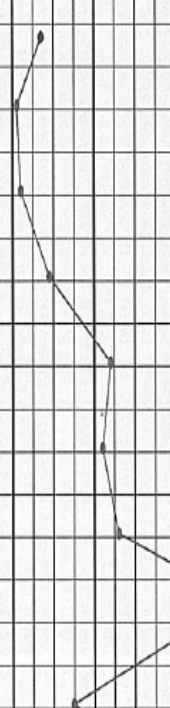
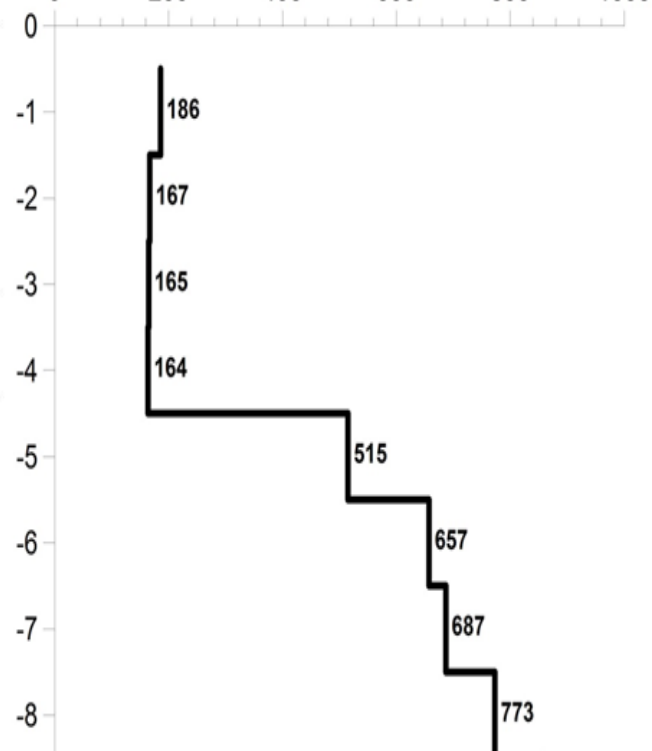
CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL

COTA
(m)

9.36

V_s (m/ms)

0 200 400 600 800 1000



17
11
12
19
34
32
36
50/23
25

16
16
17
17
82
43

0.20
0.65
1.00
1.45
2.00
2.45
3.00
3.45
4.00
4.45
5.00
5.45
6.00
6.45
7.00
7.23
8.00
8.45

4
4
4
10
10
10
10
10
10
10
8
11
29
8

7
5
6
9
9
9
9
9
9
9
9
9
19
10/4
9

10
6
6
10
25
23
17
10/4
16

1
2
3
4
5
6
7
8
9

0.53
0.65
2.85
3.16
5.10
5.10
8.20

Areia fina e média, siltsosa, com restos de alvenaria, medianamente compacta, marrom clara. (ATERRO)

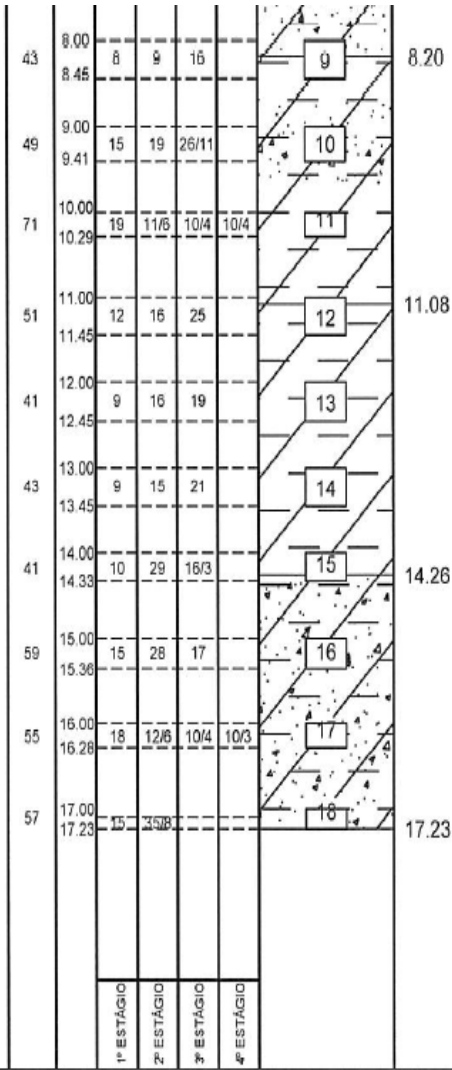
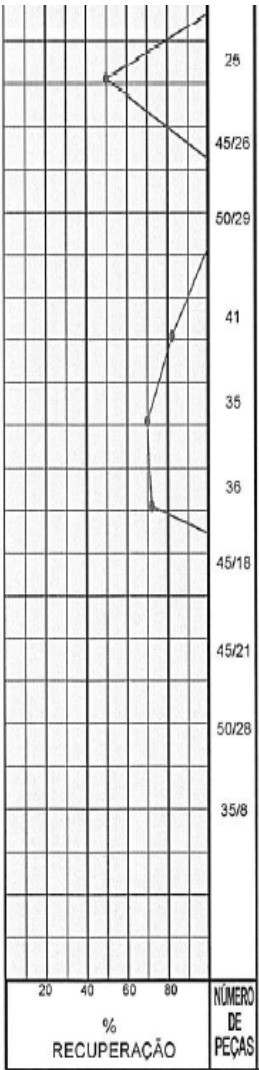
Areia fina, pouco siltsosa, medianamente compacta, amarela. (COBERTURA QUATERNÁRIA)

Areia fina, medianamente compacta, cinza clara. (COBERTURA QUATERNÁRIA)

Areia fina e média, pouco siltsosa, compacta, amarela e cinza. (COBERTURA QUATERNÁRIA)

Silte argiloso, com pedregulhos e concreções lateríticas, duro, cinza, vermelho e amarelo. (FORMAÇÃO BARREIRAS)

N.A.
5.00



Silte argiloso, duro, cinza e amarelo.
Com pedregulhos na amostra (10)
(FORMAÇÃO BARREIRAS)

0.00

Silte argiloso, duro, cinza claro.
(FORMAÇÃO BARREIRAS)

Silte argiloso, com pedregulhos e concreções lateríticas, duro, cinza, amarelo e vermelho.
(FORMAÇÃO BARREIRAS)

-5.00

OBS.:
1) Impenetrável ao trépano de lavagem na profundidade de 17.23m.

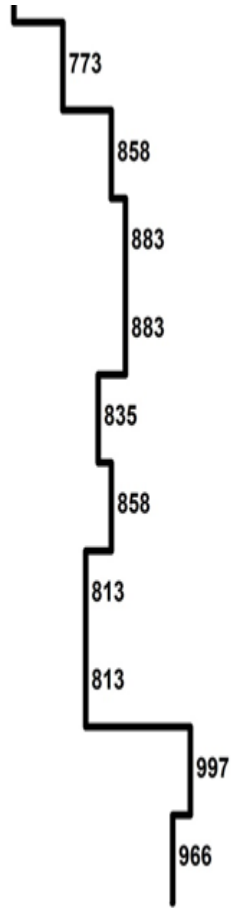
ENSAIO DE LAVAGEM

ESTÁGIO	TEMPO (min)	AVANÇO DO TRÉPANO (cm)
1º	10	3
2º	10	3
3º	10	2

2) Nos torques com valores de 82 kgf.m não houve ruptura.

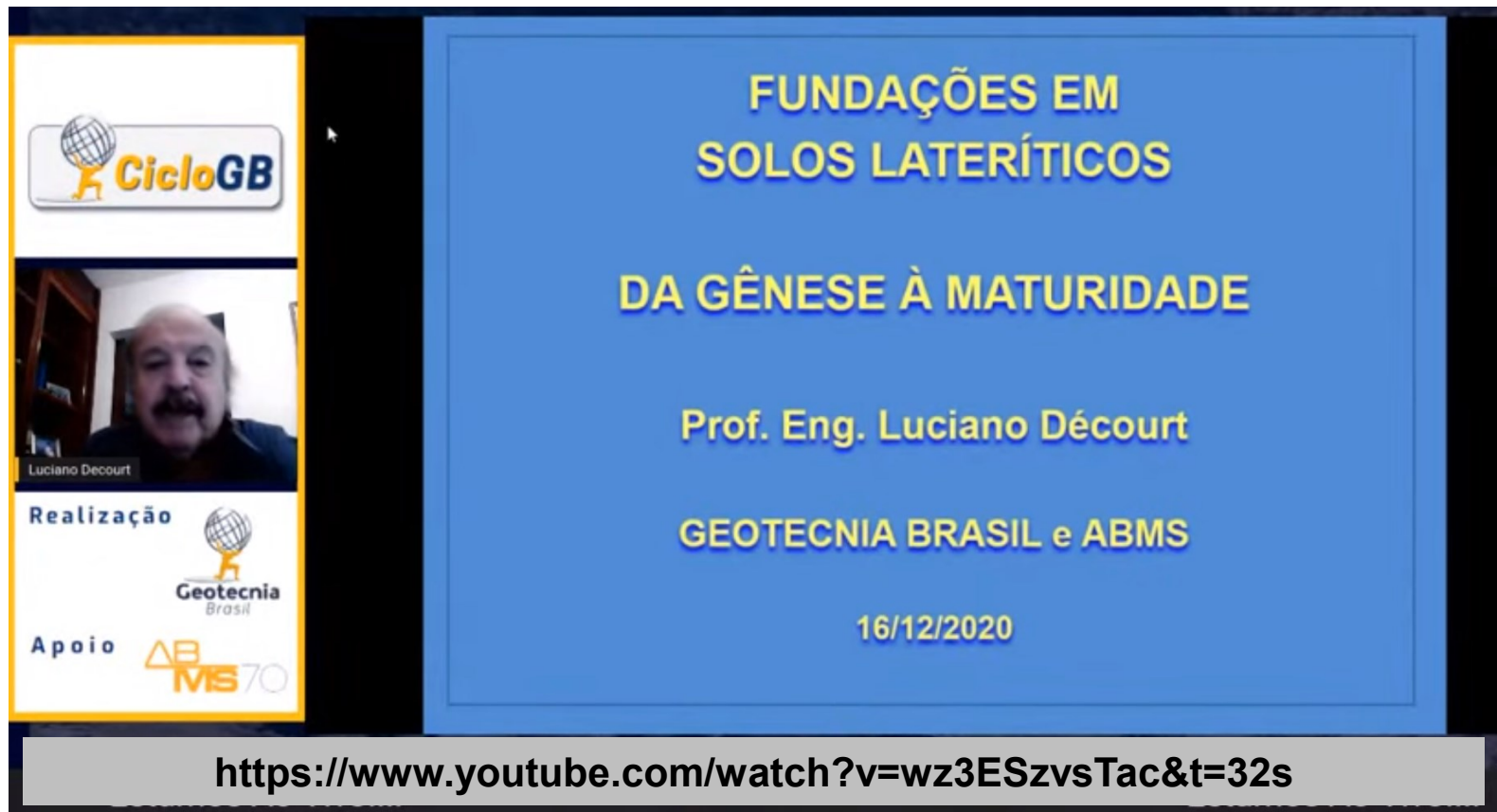
3) Nos trechos onde não há indicação do torque ocorreu ruptura abaixo de 16 kgf.m

-10.00



2021





The image shows a YouTube video player interface. On the left, there is a vertical sidebar with a yellow border. At the top of the sidebar is the 'CicloGB' logo, which features a globe icon and the text 'CicloGB'. Below the logo is a small video thumbnail of a man with a mustache, identified as 'Luciano Decourt'. Under the thumbnail, the text 'Realização' is followed by the 'Geotecnia Brasil' logo. At the bottom of the sidebar, the text 'Apoio' is followed by the 'ABMS70' logo. The main area of the video player is a blue rectangle containing white text. The text reads: 'FUNDAÇÕES EM SOLOS LATERÍTICOS', 'DA GÊNESE À MATURIDADE', 'Prof. Eng. Luciano Décourt', 'GEOTECNIA BRASIL e ABMS', and '16/12/2020'. At the bottom of the video player, there is a grey bar with the URL: <https://www.youtube.com/watch?v=wz3ESzvsTac&t=32s>.

FUNDAÇÕES EM SOLOS LATERÍTICOS

DA GÊNESE À MATURIDADE

Prof. Eng. Luciano Décourt

GEOTECNIA BRASIL e ABMS

16/12/2020

<https://www.youtube.com/watch?v=wz3ESzvsTac&t=32s>

"A utilização do módulo de cisalhamento máximo, G_0 , permite que sejam reconhecidas algumas notáveis propriedades dos solos, o que os tradicionais ensaios SPT, rotineiramente utilizados, não permitem nem remotamente avaliar"

(Luciano Décourt)

$N_{SPT} \rightarrow$ **RESISTÊNCIA**



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



Ensaio *Crosshole*

Correlações de V_S com o N_{SPT}

Existem correlações entre o valor do N_{SPT} (número de golpes em sondagens SPT - *Standard Penetration Test*) com a velocidade de propagação de ondas S (V_S)

São fórmulas empíricas dadas pelas seguintes expressões gerais

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

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

A, B = constantes empíricas

Tabela 2 - Correlações: N(SPT) e V_s (*adaptado de Hanumantharao & Ramana, 2008*).

Autor	Correlação	Solo	País
Imai & Yoshimura (1970)\$	$V_s = 76.0N^{0.39}$	Todos	Japão
Ohba & Toriumi (1970)\$	$V_s = 84.0N^{0.31}$	Aluvião	Japão
Shibata (1970) **	$V_s = 32.0N^{0.50}$	Areias	Japão
Ohta <i>et al</i> (1972)\$	$V_s = 87.0N^{0.36}$	Areias	Japão
Ohsaki & Iwasaki (1973)	$V_s = 82.0N^{0.39}$	Todos	Japão
Ohsaki & Iwasaki (1973)	$V_s = 59.0N^{0.47}$	Sem coesão	Japão
Imai <i>et al</i> (1975) **	$V_s = 90.0N^{0.34}$	Todos	Japão
Imai (1977)	$V_s = 91.0N^{0.34}$	Todos	Japão
Ohta & Goto (1978)	$V_s = 85.3N^{0.35}$	Todos	Japão
JRA (1980) **	$V_s = 100.0N^{0.33}$	Argilas	Japão
JRA (1980) **	$V_s = 80.0N^{0.33}$	Areias	Japão
Imai & Tonouchi (1982)	$V_s = 97.0N^{0.31}$	Todos	Japão
Yokota <i>et al</i> (1991) **	$V_s = 121.0N^{0.27}$	Todos	Japão
Seed & Idriss (1981) **	$V_s = 61.0N^{0.50}$	Todos	USA
Seed <i>et al</i> (1983)	$V_s = 56.4N^{0.50}$	Areias	USA
Sykora & Stokoe (1983)	$V_s = 106.7N^{0.27}$	Granulares	USA
Fumal & Tinsley (1985)	$V_s = 152 + 5.1N^{0.27}$	Areais	USA
Sykora & Koester (1988)	$V_s = 63.0N^{0.43}$	Holoceno - cascalho	USA
Sykora & Koester (1988)	$V_s = 132.0N^{0.32}$	Pleistoceno - cascalho	USA
Lee (1990)	$V_s = 57.0N^{0.49}$	Areias	USA
Lee (1990)	$V_s = 114.0N^{0.31}$	Argilas	USA
Lee (1990)	$V_s = 106.0N^{0.32}$	Siltes	USA
Rollins <i>et al</i> (1998a, b)	$V_s = 63.0(N_{60})^{0.43}$	Holocene - cascalho	USA
Rollins <i>et al</i> (1998a, b)	$V_s = 132.0(N_{60})^{0.32}$	Pleistocene - cascalho	USA
Rollins <i>et al</i> (1998a, b)	$V_s = 222.0N^{0.06}$	Aterro recente	USA

Andrus <i>et al</i> (2004)	$V_{s1cs} = 87.8(N_{1,60cs})^{0.25}$	Todos	USA
Pitikilas <i>et al</i> (1992)	$V_s = 155.1N^{0.17}$	Aterro de detritos	Grécia
Pitikilas <i>et al</i> (1992)	$V_s = 162.0N^{0.17}$	Aterro siltoso	Grécia
Pitikilas <i>et al</i> (1992)	$V_s = 165.7N^{0.19}$	Argilas moles	Grécia
Pitikilas <i>et al</i> (1992)	$V_s = 357.5N^{0.19}$	Argilas rijas	Grécia
Kalteziotis <i>et al</i> (1992)~	$V_s = 76.2N^{0.24}$	Todos	Grécia
Kalteziotis <i>et al</i> (1992)~	$V_s = 76.6N^{0.45}$	Coesivos	Grécia
Kalteziotis <i>et al</i> (1992)~	$V_s = 49.1N^{0.50}$	Sem coesão	Grécia
Athanasopoulos (1995)	$V_s = 107.6N^{0.36}$	Todos	Grécia
Raptakis <i>et al</i> (1995)	$V_s = 123.4N^{0.29}$	Areiafofa	Grécia
Raptakis <i>et al</i> (1995)	$V_s = 100.0N^{0.24}$	Area meio densa	Grécia
Raptakis <i>et al</i> (1995)	$V_s = 105.7N^{0.33}$	Argilas moles	Grécia
Raptakis <i>et al</i> (1995)	$V_s = 184.2N^{0.17}$	Argilas rijas	Grécia
Raptakis <i>et al</i> (1995)	$V_s = 192.4N^{0.13}$	Cascalho	Grécia
Jafari <i>et al</i> (1997) **	$V_s = 22.0N^{0.85}$	Todos	Iran
Jafari <i>et al</i> (2002)	$V_s = 27.0N^{0.73}$	Argilas	Iran
Jafari <i>et al</i> (2002)	$V_s = 22.0N^{0.77}$	Siltes	Iran
Jafari <i>et al</i> (2002)	$V_s = 19.0N^{0.85}$	Solo bem graduado	Iran
Chein <i>et al</i> (2000)	$V_s = 22.0N^{0.76}$	Areias siltosa	Taiwan
Kayabali (1996)	$V_s = 175 + 3.75N$	Granulares	Turquia

\$Adotado de Ohsaki & Iwasaki (1973);

**Adotado de Jafari *et al* (2002);

~Adotado de Athanasopoulos (1995).

Estimation of maximum shear modulus of Brazilian tropical soils from Standard Penetration Test

Evaluation du module de cisaillement maximum des sols tropicaux brésiliens à l'aide de l'Essai SPT

J.M.C. Barros – *Technological Research Institute (IPT), Brazil*
C.S. Pinto – *Polytechnic School, University of São Paulo (USP), Brazil*

1997

ABSTRACT: The maximum shear moduli, G_0 , of tropical soils from ten sites of São Paulo state, Brazil, including lateritic and saprolitic soils, were measured in situ using the crosshole method. N-values from Standard Penetration Tests were also determined in each site.

Barros e Pinto (1997) mostraram que uma estimativa de G_0 pode ser obtida para solos lateríticos em função do índice N_{SPT} :

$$G_0 = 56 + 20,3N_{SPT}$$

Table 2. Information on soils investigated

Site	Reference	Geol. Origin	Type of soil
Moema	Barros (1997)	red clays -	lateritic
Bela Vista		São Paulo	
Vila Madalena	Prado (1994)	Sedimentary	
Paraíso	Décourt (1994)	Basin	
Bauru	Giacheti (1991)	residual (sandstone)	lateritic and saprolitic
São Carlos		Cenozoic sediment	
Campinas		residual (diabase)	

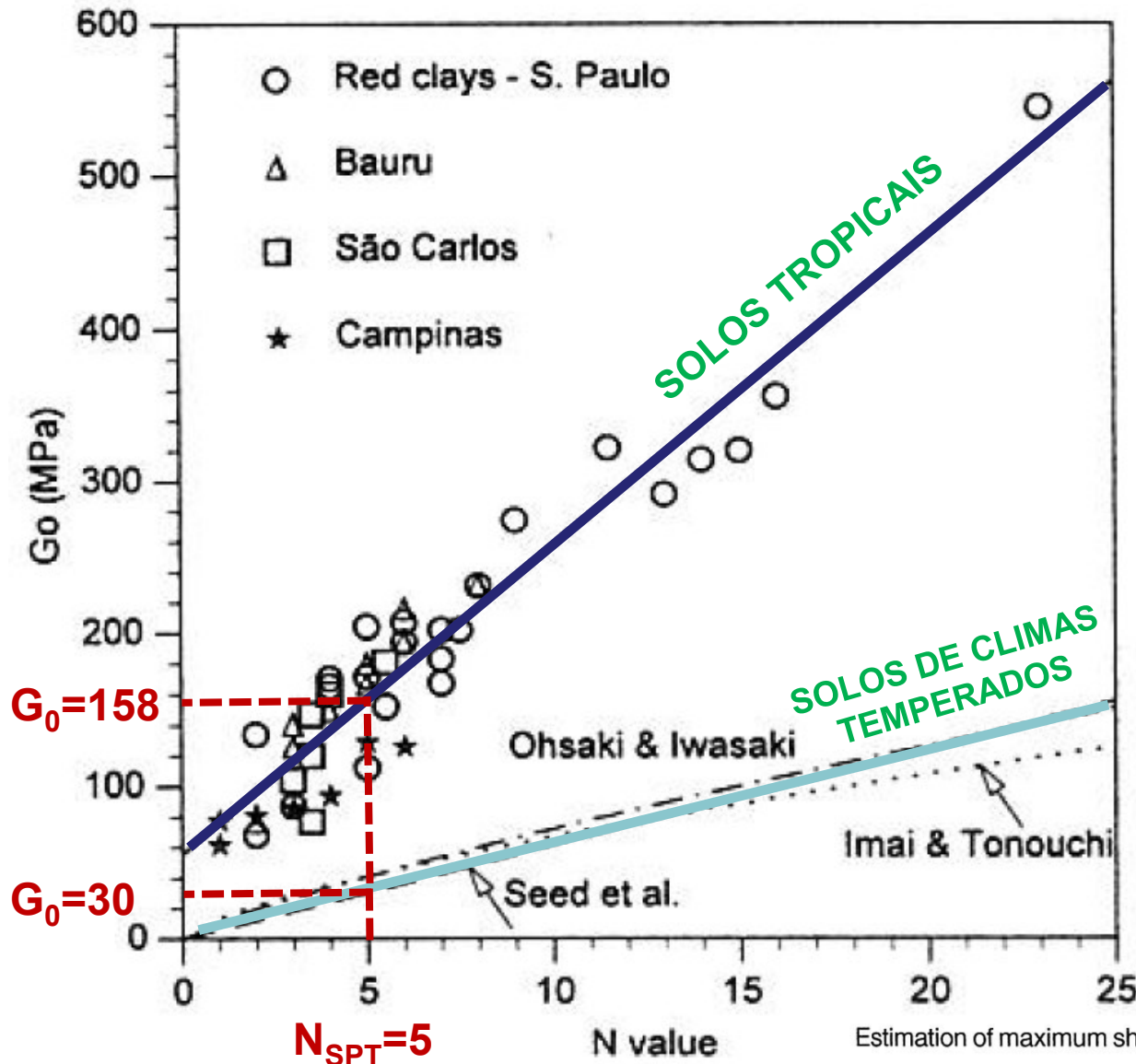
Table 1. Some correlations between G_0 and N-value from SPT

Reference	Correlations*	type of soil
Ohsaki and Iwasaki (1973)	$G_0 = 11.5 N^{0.8}$	all (Japan)
Imai and Tonouchi (1982)	$G_0 = 14.07 N^{0.68}$	all (Japan)
Seed et al. (1983)	$G_0 = 6.22 N$	sands

* G_0 in MPa

Estimation of maximum shear modulus of Brazilian tropical soils from Standard Penetration Test

Evaluation du module de cisaillement maximum des sols tropicaux brésiliens à l'aide de l'Essai SPT



$$G_0 = A + B \cdot N$$

$$G_0 = 56 + 20,3 N_{SPT}$$

$$G_0 = A \cdot N^B$$

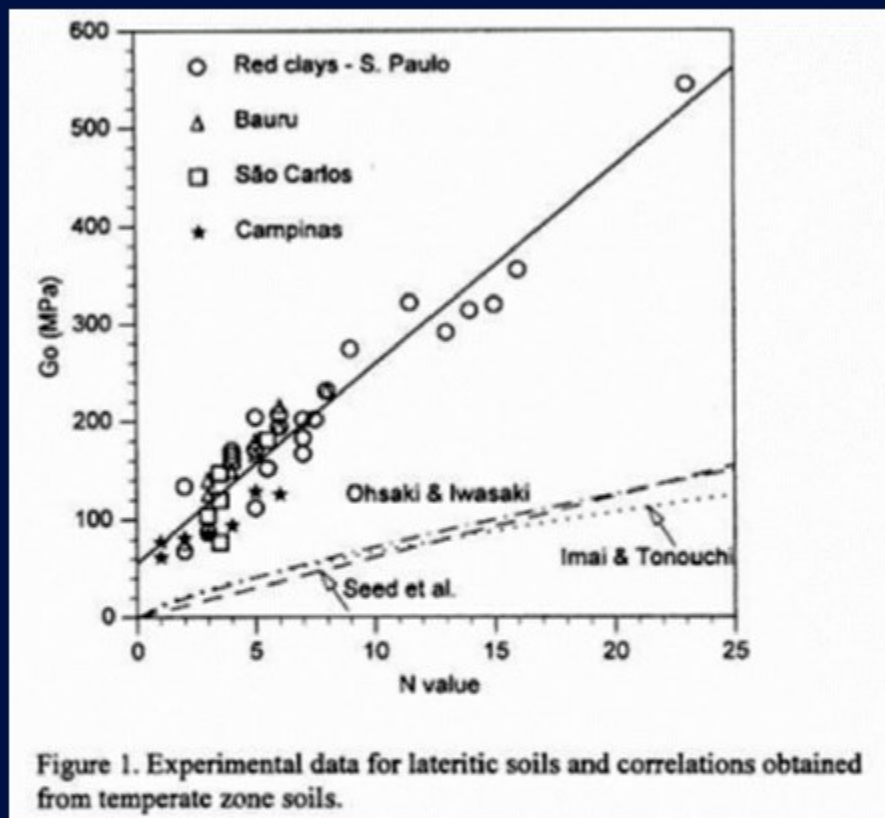
Reference	Correlations*
Ohsaki and Iwasaki (1973)	$G_0 = 11.5 N^{0.8}$
Imai and Tonouchi (1982)	$G_0 = 14.07 N^{0.68}$
Seed et al. (1983)	$G_0 = 6.22 N$

* G_0 in MPa

Estimation of maximum shear modulus of Brazilian tropical soils from Standard Penetration Test

Evaluation du module de cisailment maximum des sols tropicaux brésiliens à l'aide de l'Essai SPT

Rigidez dos Solos Lateríticos



Correlação G_o (cross-hole) e N_{spt}
Barros, 1997

Solos lateríticos mostram **rigidez muito superior** à que seria esperada pelo valor do N_{spt} (2 a 4 x)

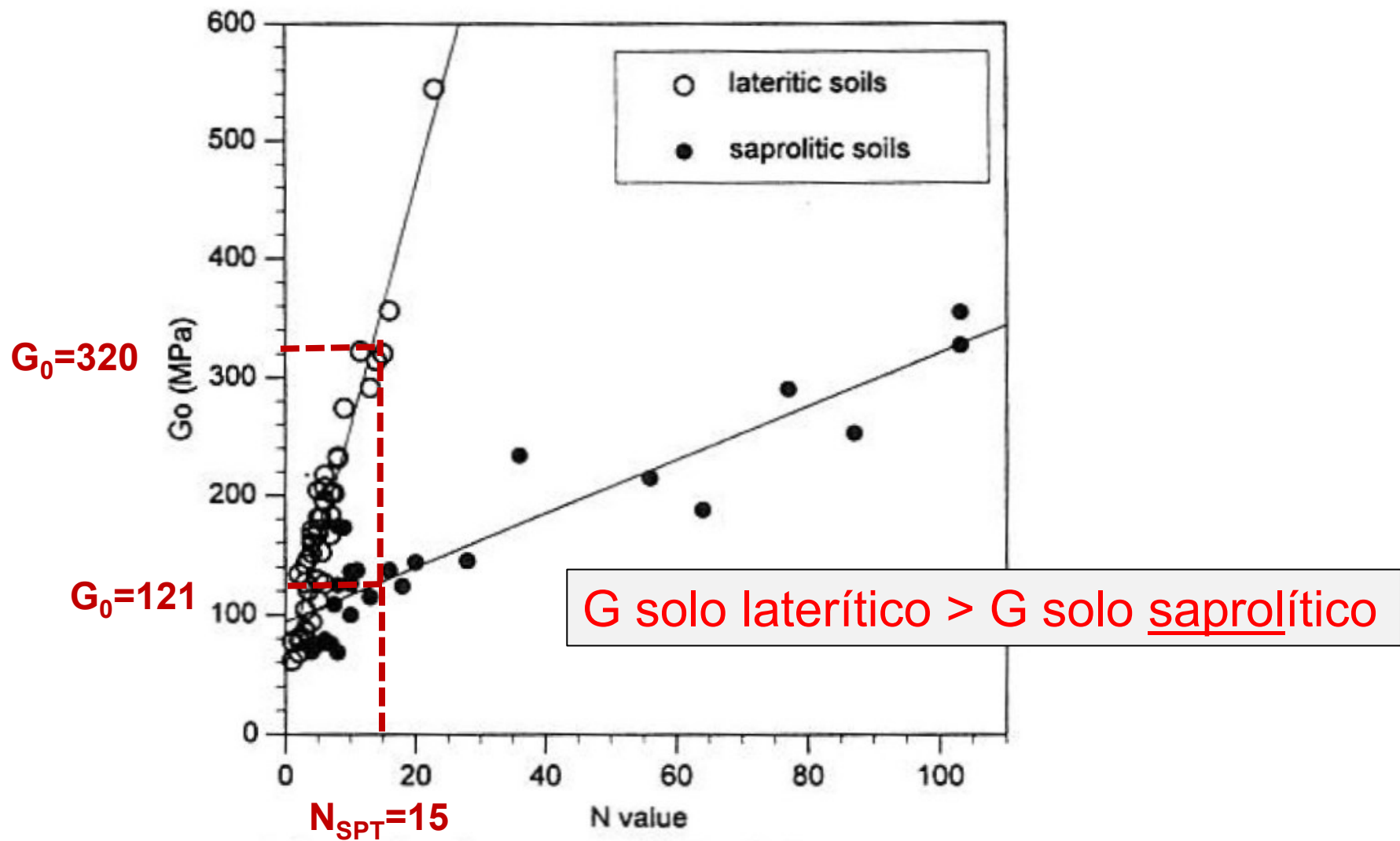


Figure 3. Comparison between results in lateritic and saprolitic soils.

Estimation of maximum shear modulus of Brazilian tropical soils from Standard Penetration Test

Evaluation du module de cisaillement maximum des sols tropicaux brésiliens à l'aide de l'Essai SPT

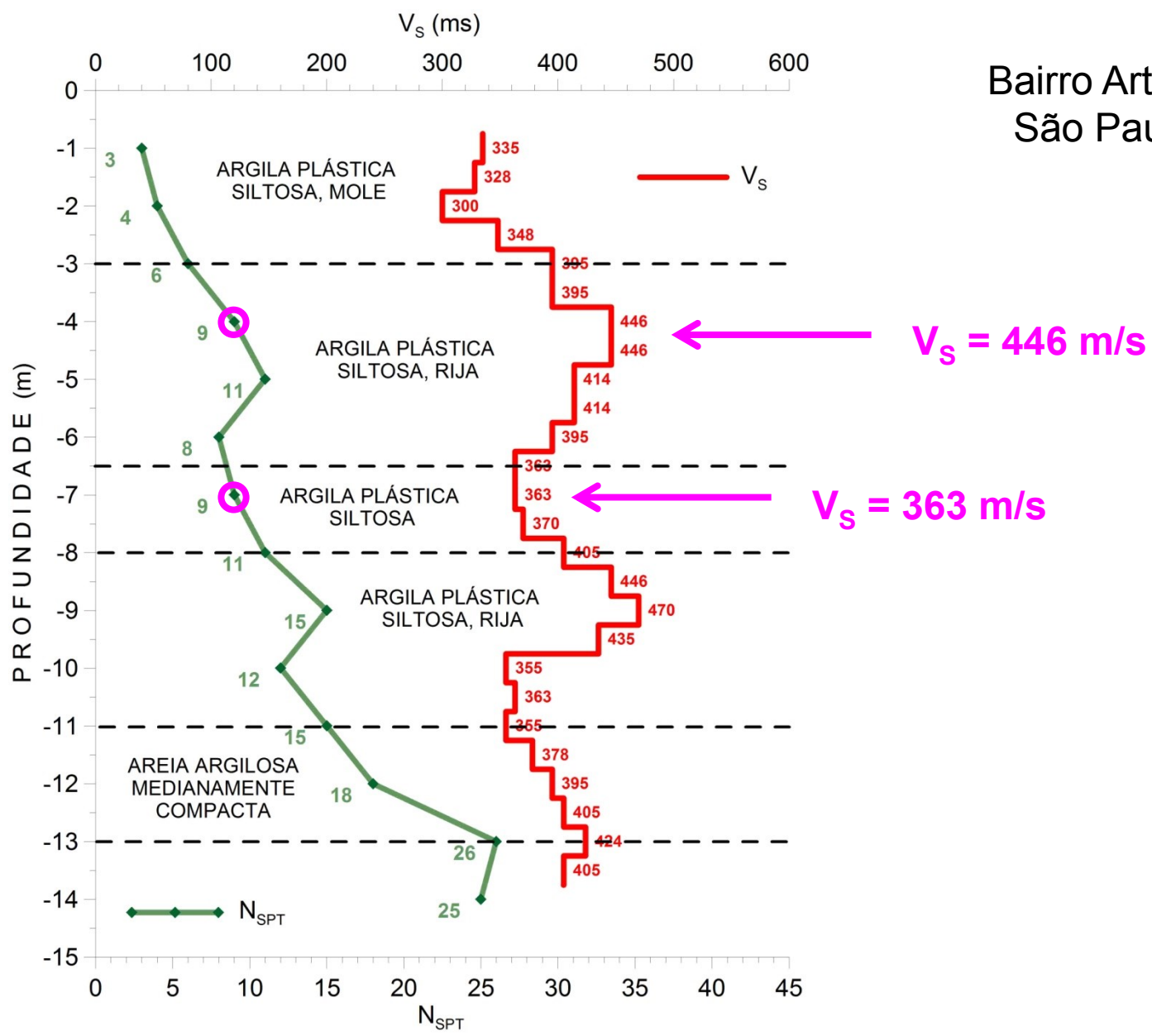
This discrepancy is related to the occurrence of a cemented structure in lateritic soils. It is interesting to note that Anderson et al. (1978) noticed similar behavior in partially cemented soils. The reason for this behavior indicated by these authors appears to be also valid for lateritic soils: because the SPT is a form of ultimate strength determination, it is possible that cementation effects break down during the SPT whereas crosshole tests cause no breakdown due to the low strain amplitudes.

Estimation of maximum shear modulus of Brazilian tropical soils from Standard Penetration Test

Evaluation du module de cisaillement maximum des sols tropicaux brésiliens à l'aide de l'Essai SPT

Integração de resultados de ensaaios de campo (geotécnicos e sísmicos)

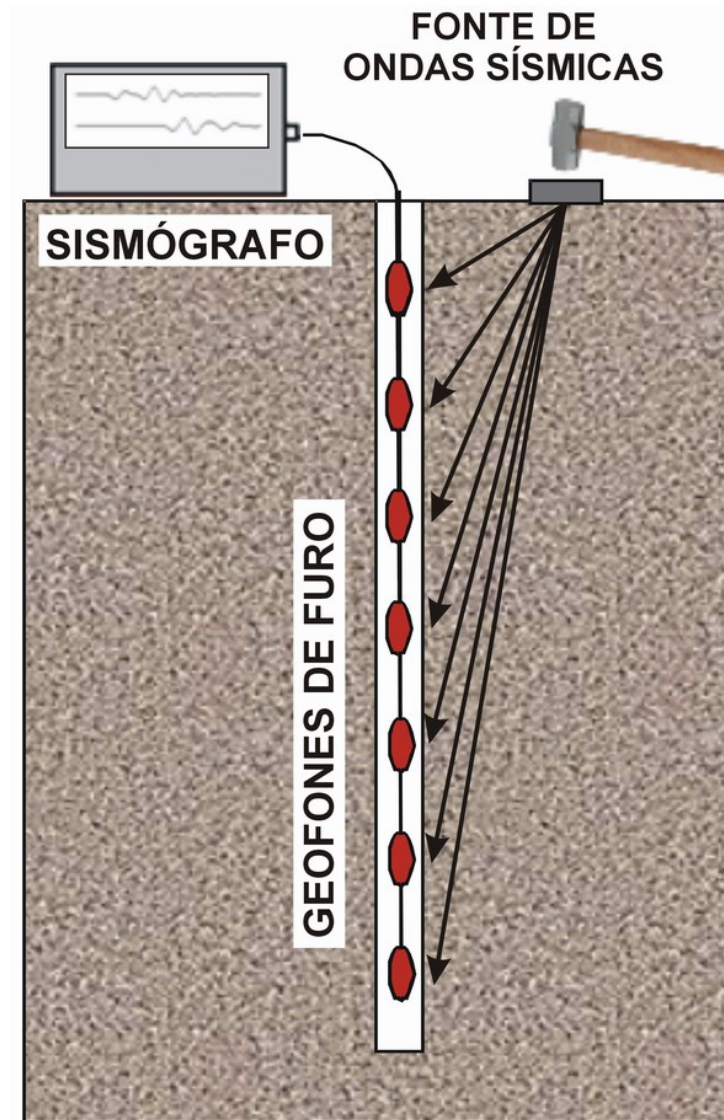
✓ Ensaaios de campo: **SPT** e *crosshole*



ENSAIO *DOWNHOLE*

ENSAIO DOWNHOLE

→ Fonte na superfície e geofone dentro do furo de sondagem



ENSAIO DOWNHOLE (NORMA ASTM D7400)



Designation: D 7400 – 08

Standard Test Methods for Downhole Seismic Testing¹

4. Summary of Test Method

4.1 The Downhole Seismic Test makes direct measurements of compression (P-) or shear (S-) wave velocities, or both, in a borehole advanced through soil or rock or in a cone penetration test sounding. It is similar in several respects to the Crosshole Seismic Test Method (Test Methods **D 4428/D 4428M**).

EQUIPAMENTOS

FONTES SÍSMICAS (ondas geradas na superfície)



ONDA P

MARRETA



ONDA S

**GEOFONES
DE FURO**



SISMÓGRAFO

ENSAIO DOWNHOLE (UTILIZANDO ONDA S)

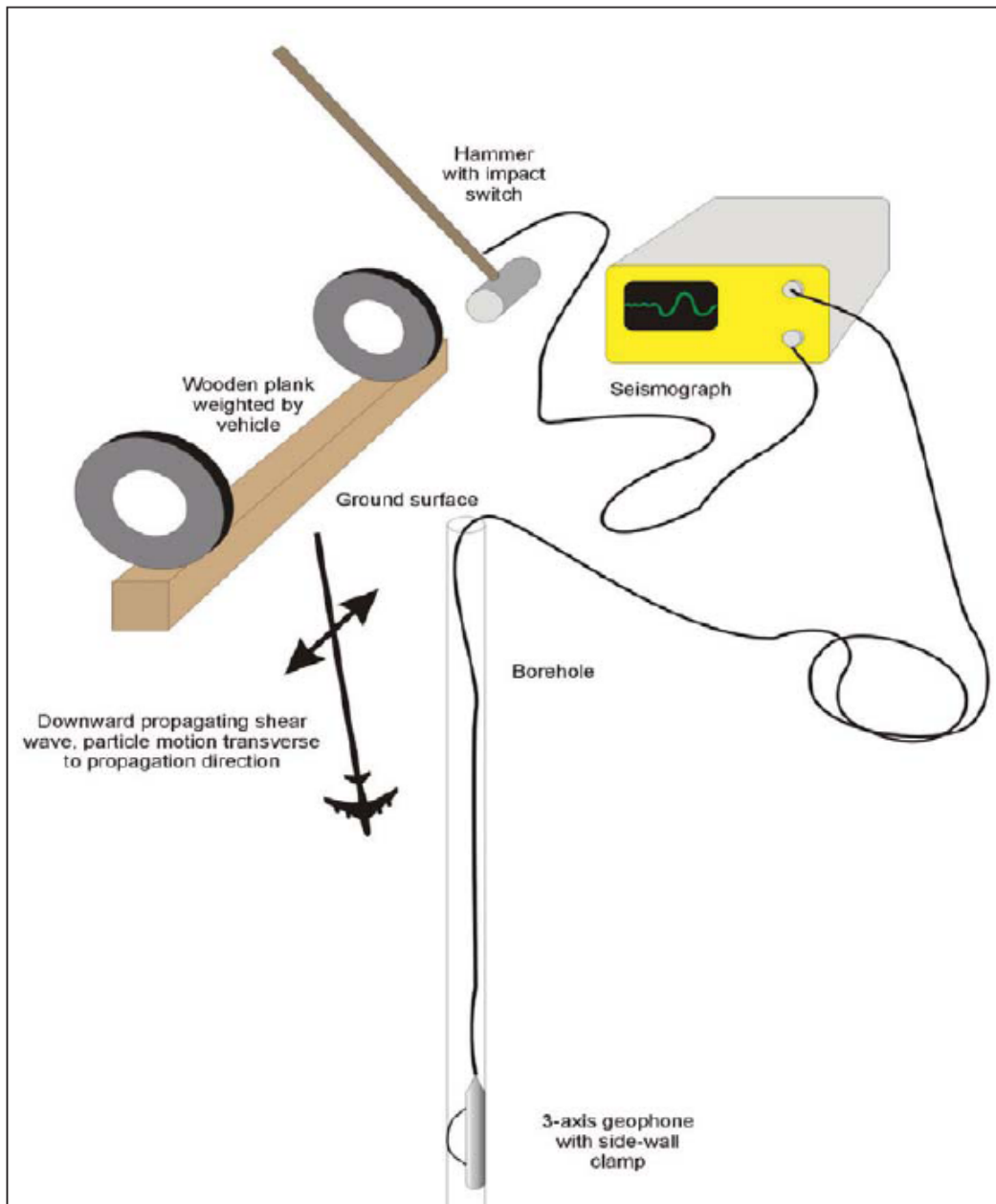


Figure 5. Downhole shear-wave configuration.

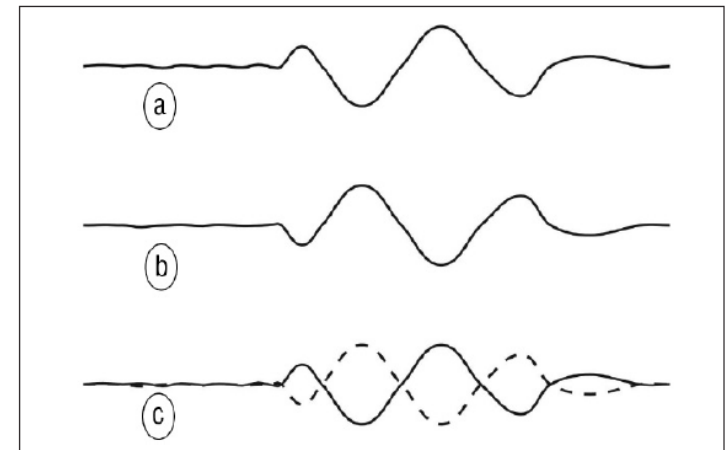


Figure 4. Shear waves reverse polarity when the energy source polarity is reversed.

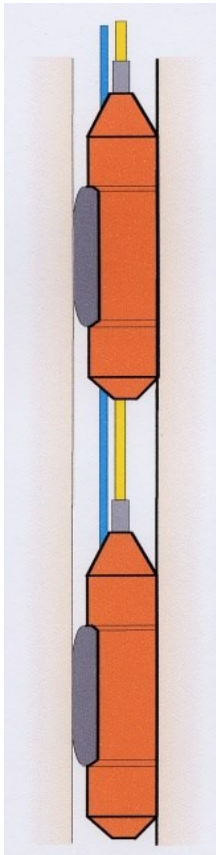
ENSAIO DOWNHOLE (UTILIZANDO ONDA S)



Fonte: www.geoexpert.ch

Utilização de dois geofones medindo simultaneamente o tempo de chegada da onda (P e/ou S) gerada em um único impacto

→ permite a determinação precisa de velocidades em um intervalo (velocidades intervalares)

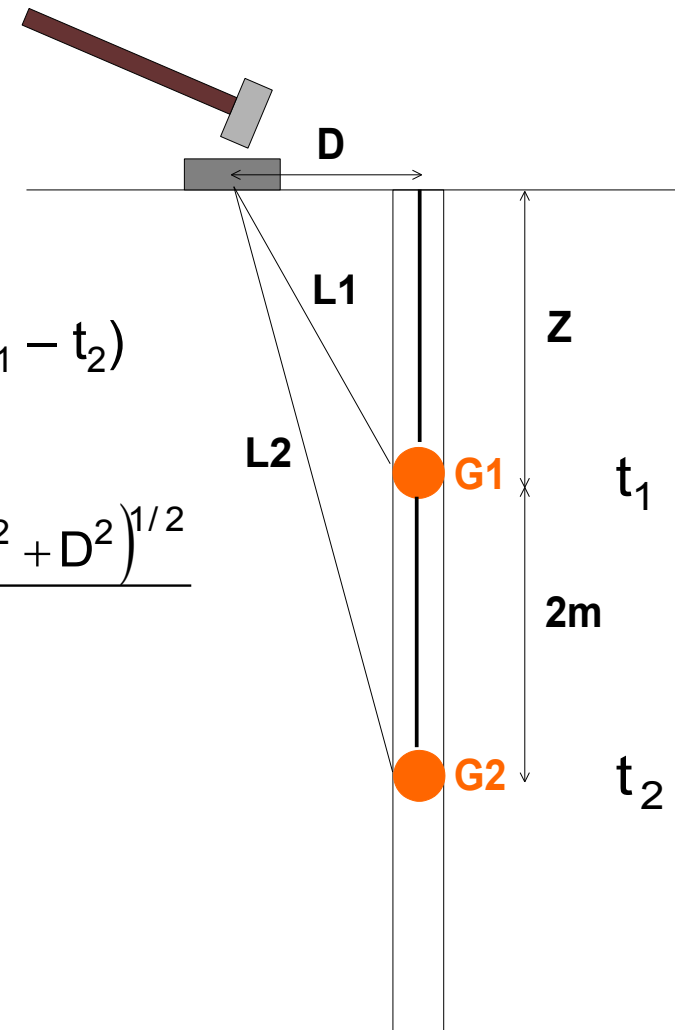


Dual Downhole System (DDS)

Mede-se t_1 e t_2

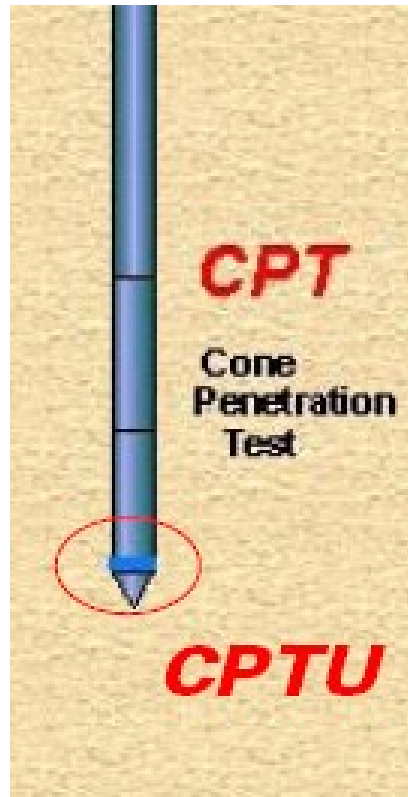
Conhecendo Z , D e $\Delta t = (t_1 - t_2)$

$$\Rightarrow v = \frac{[(Z + 2)^2 + D^2]^{1/2} - (Z^2 + D^2)^{1/2}}{\Delta t}$$



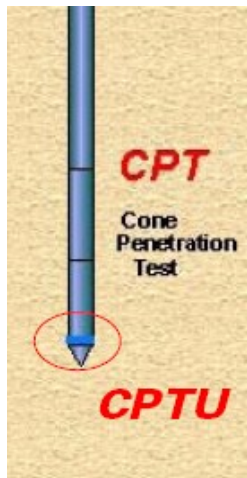
ENSAIOS HÍBRIDOS

Ensaio convencionais:
penetração do piezocone (**CPTu**)
e dilatômetro de Marchetti (**DMT**)



A inserção de 2 geofones nas ponteiros destas ferramentas agrega mais uma informação aos dados: são os chamados “ensaios híbridos”

ENSAIOS HÍBRIDOS: SCPTu e SDMT



+ 2 geofones → CPTU sísmico (**SCPTu**)
ou piezocone sísmico

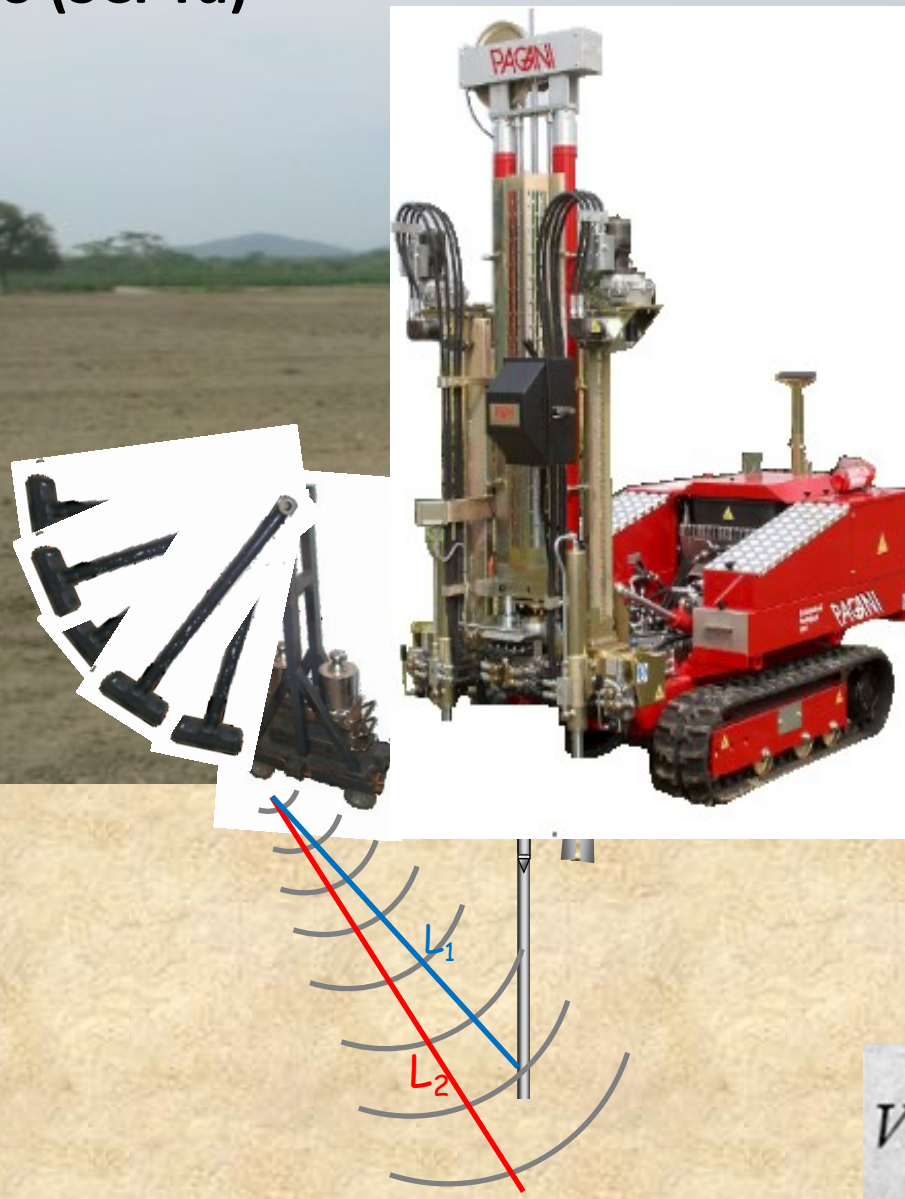


+ 2 geofones → DMT sísmico (**SDMT**)
ou dilatométrico sísmico

Vantagem: a inserção da ponteira (SCPTu) ou da lâmina (SDMT) não requer a preparação de um furo

CPTU Sísmico (SCPTu)

Ensaio CPTu sísmico (SCPTu)



$$V_s = \frac{L_2 - L_1}{t_2 - t_1}$$

Ensaio CPTu sísmico (SCPTu)

- A cravação do cone sísmico possibilita um contato mecânico firme entre o geofone e o solo, garantindo uma boa qualidade do sinal
- A orientação do geofone pode ainda ser realizada na superfície e a determinação de profundidade pode ser feita com muita precisão

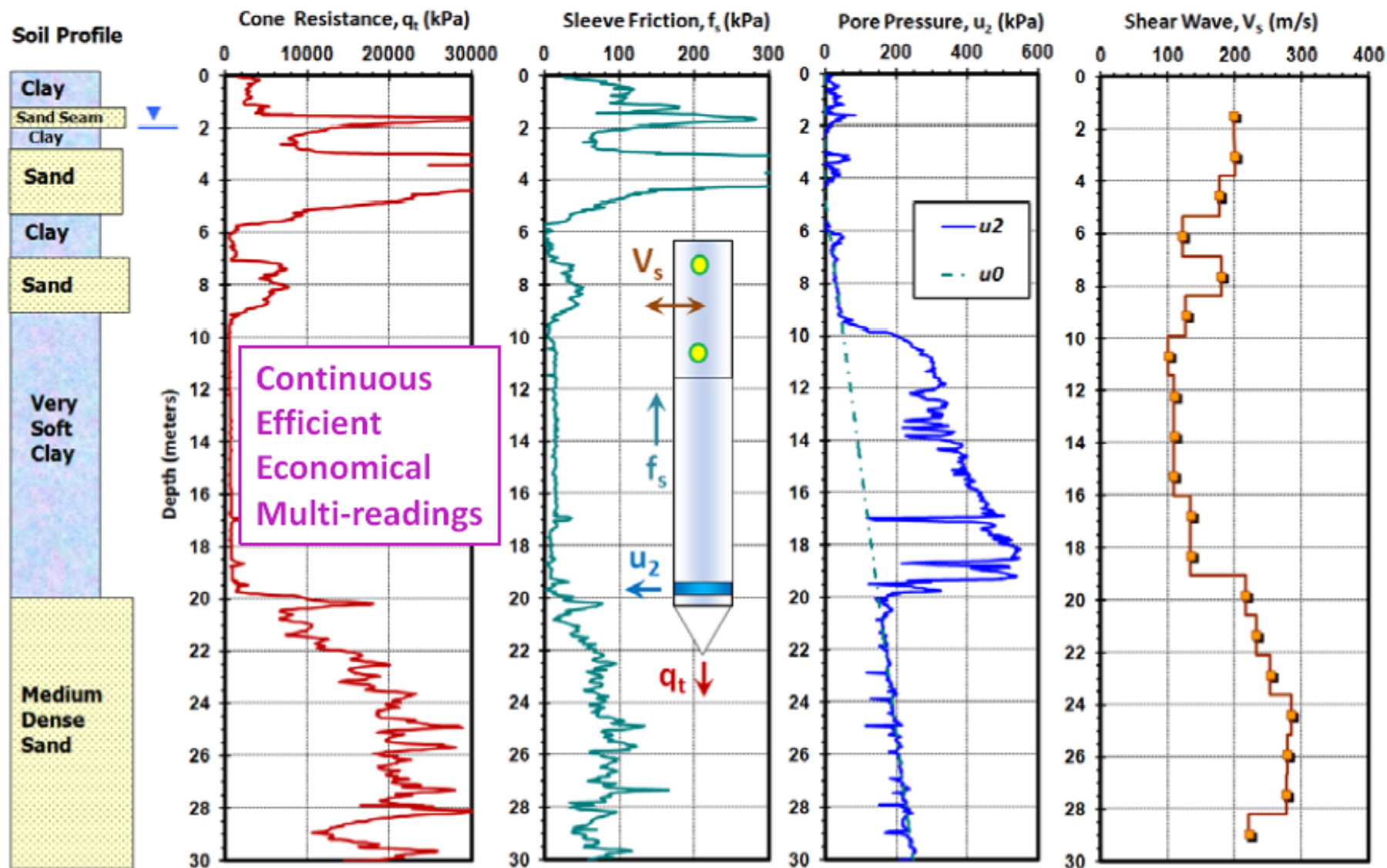
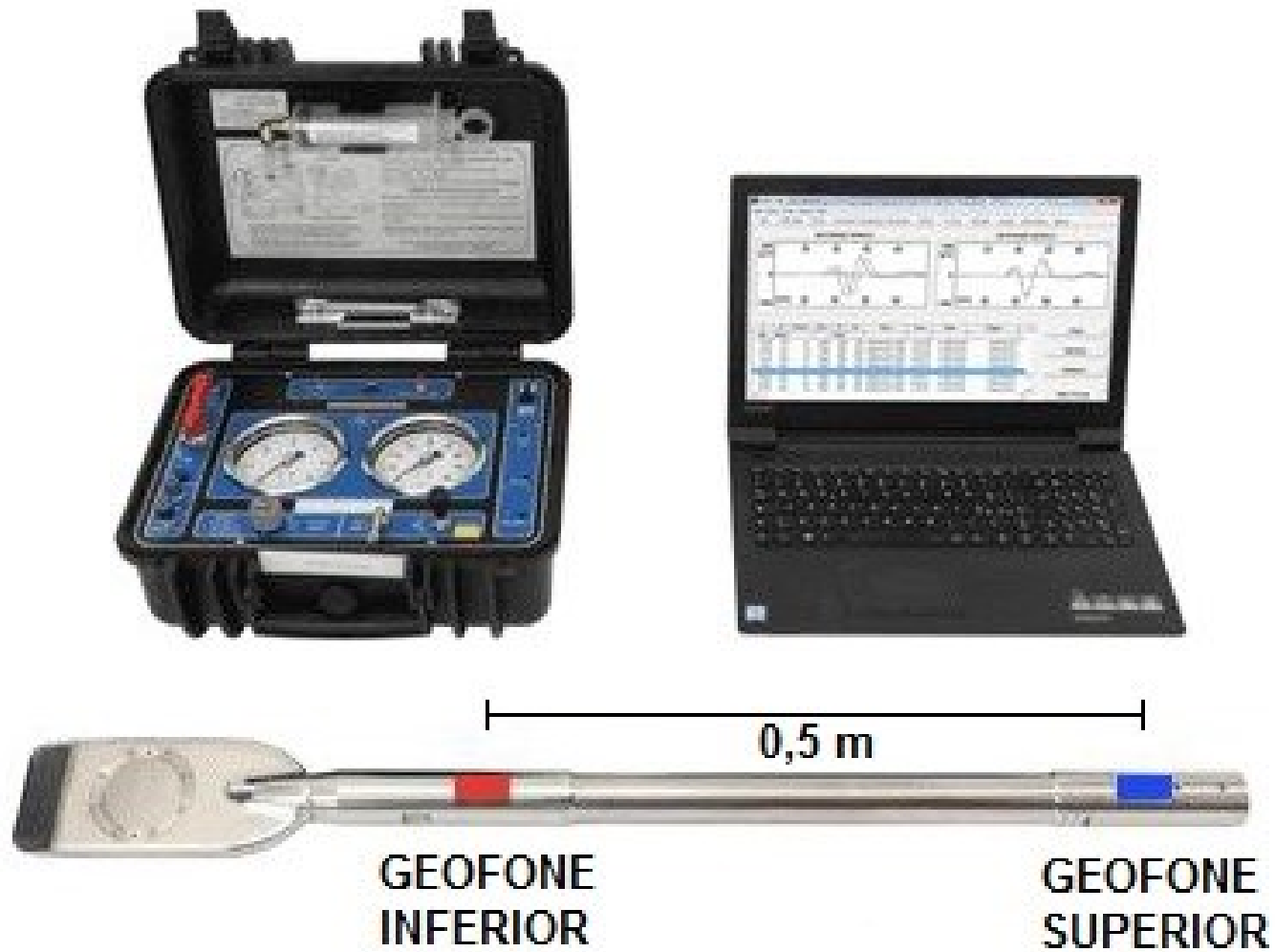


FIG. 4. Representative seismic piezocone test (SCPTu) from New Orleans, LA

Dilatômetro de Marchetti Sísmico (SDMT)

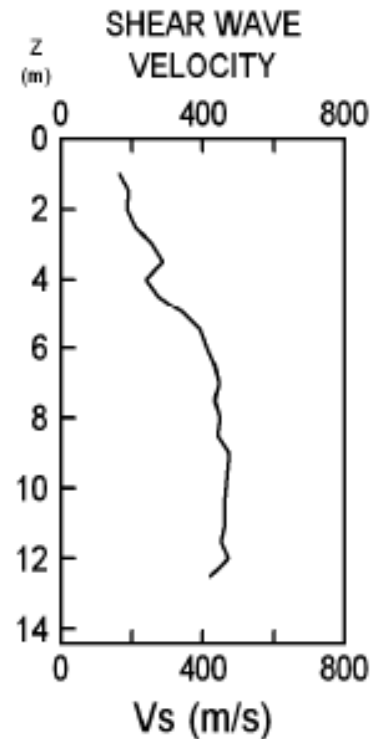
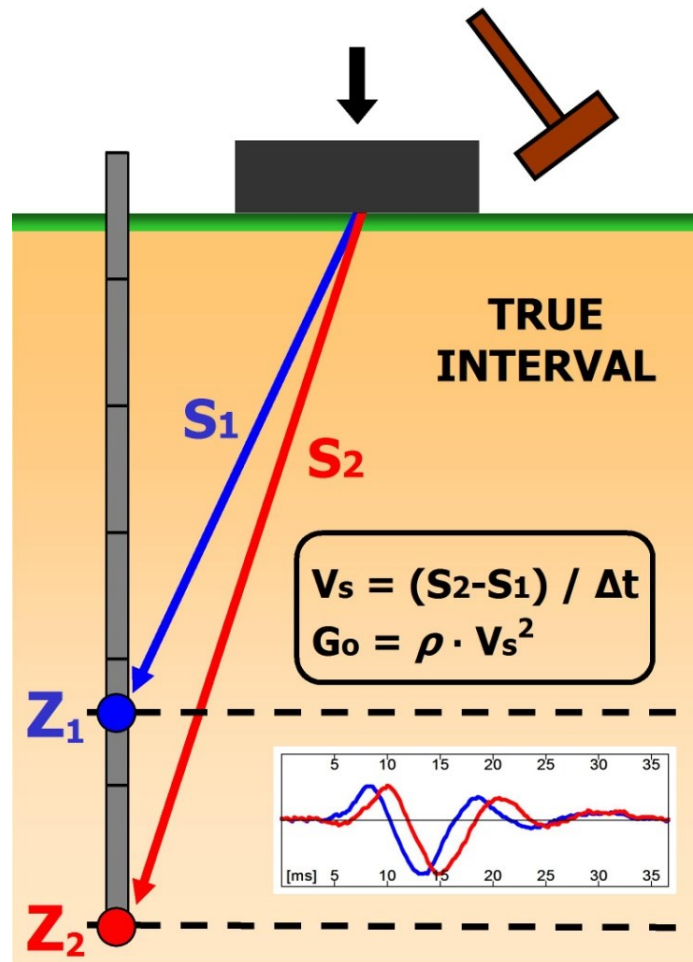
SEISMIC DILATOMETER (SDMT)



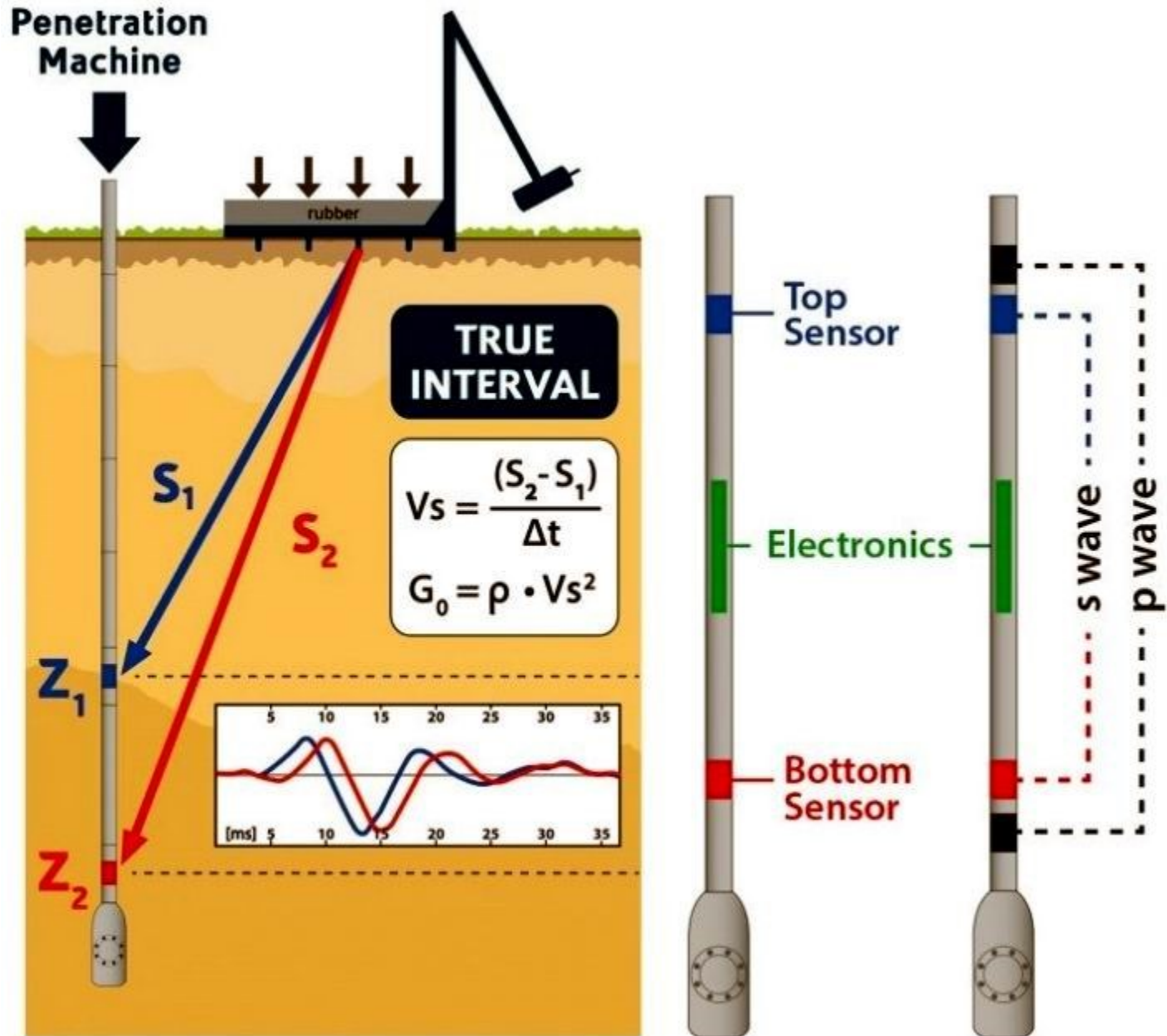
SEISMIC DILATOMETER (SDMT)

O “dilatômetro sísmico” é uma combinação do dilatômetro de Marchetti (DMT) e um módulo sísmico localizado acima da lâmina

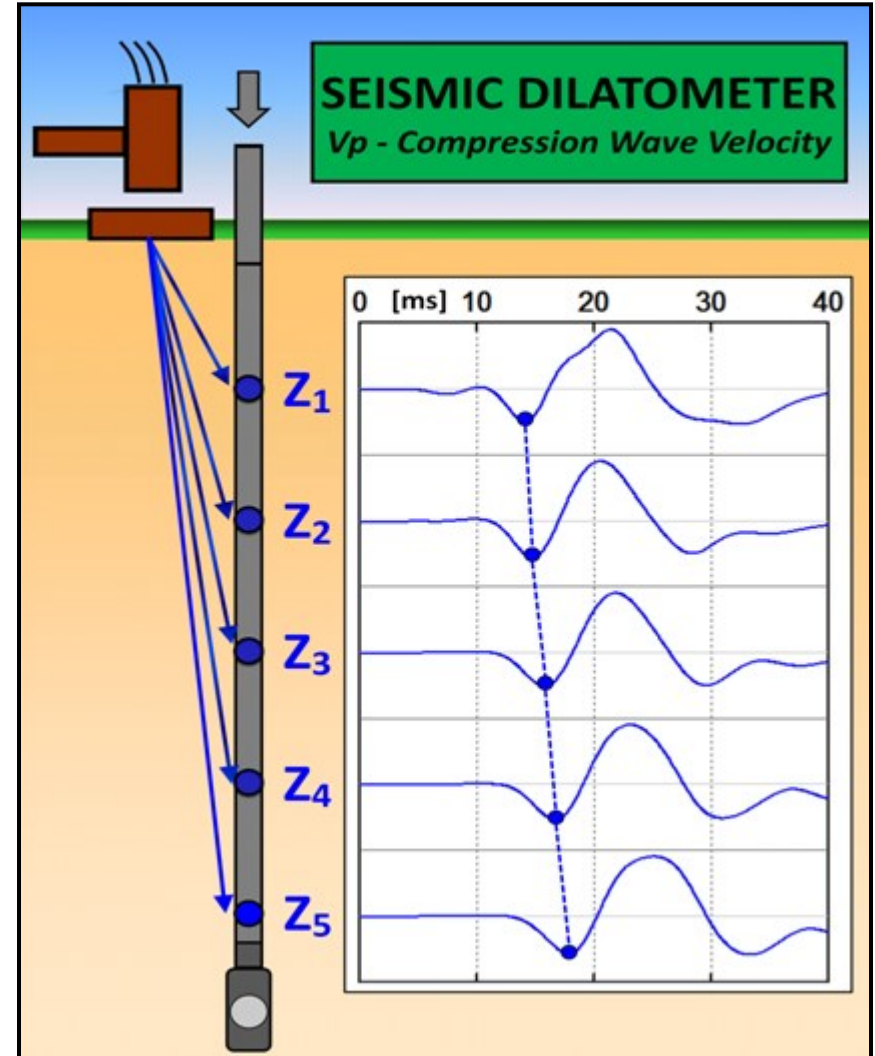
Os ensaios DMT e sísmico são independentes e são executados simultaneamente na mesma sondagem



SEISMIC DILATOMETER (SDMT)



V_p – compression wave velocity

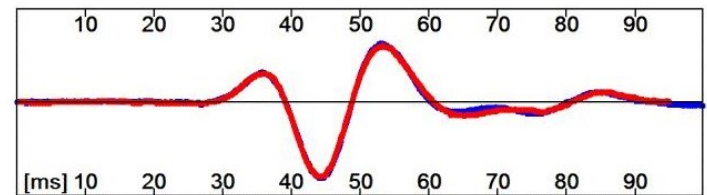
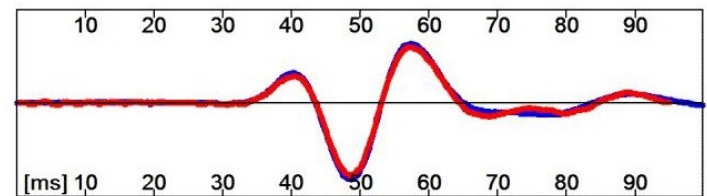
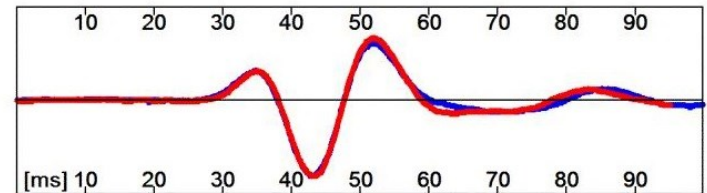
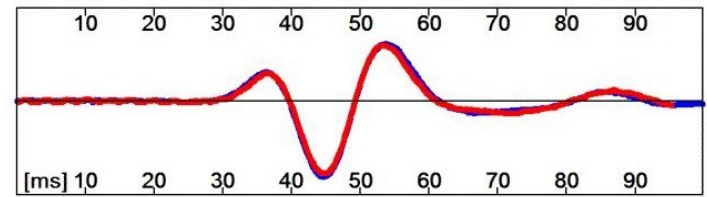
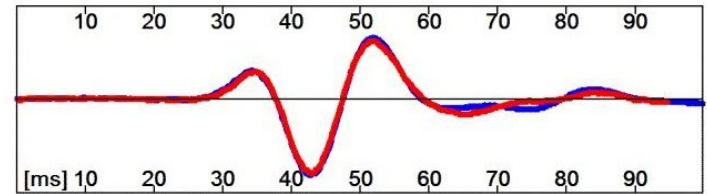
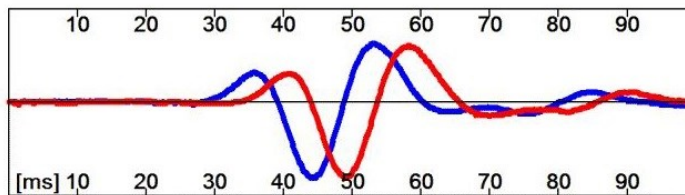
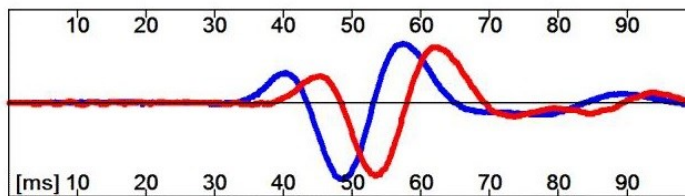
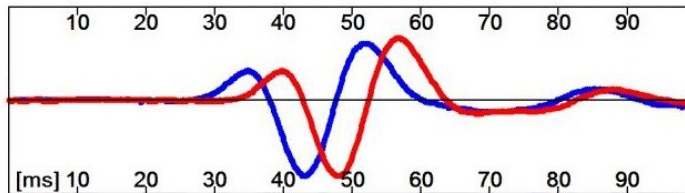
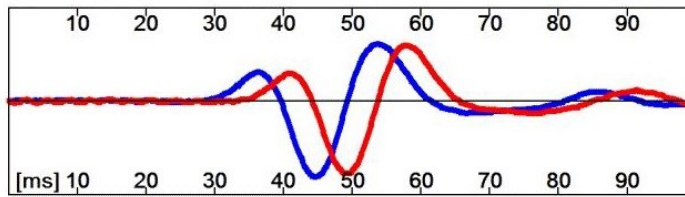
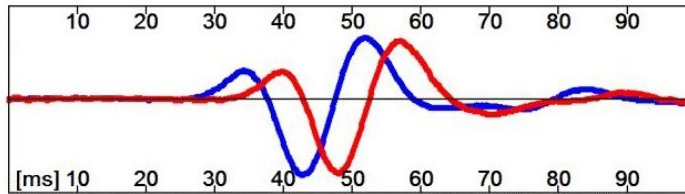


REGISTRO DO DADO DE CAMPO

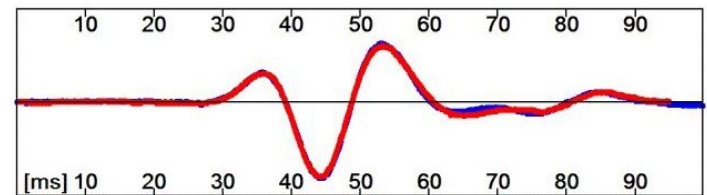
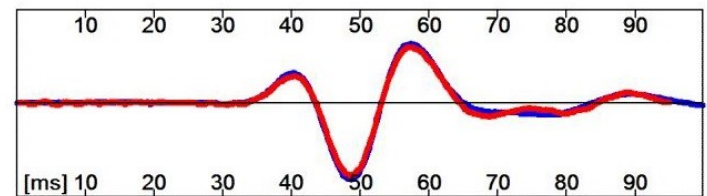
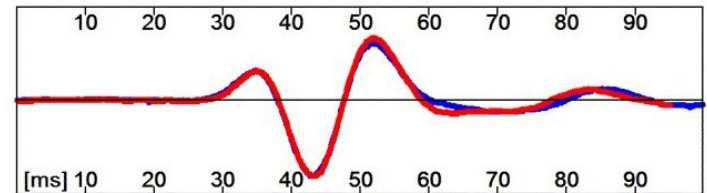
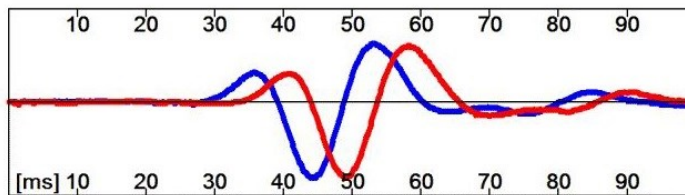
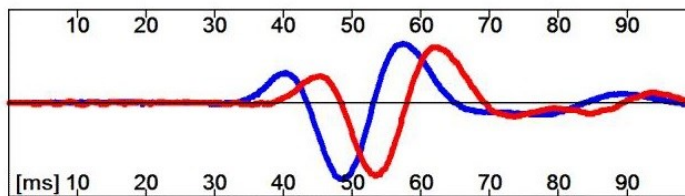
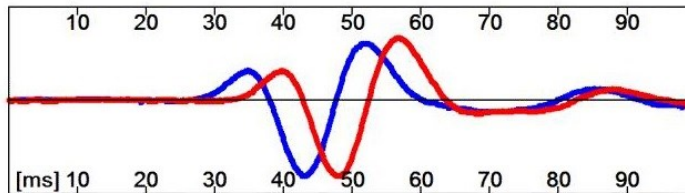


DADO COM A DIFERENÇA DE FASE (Δt) AJUSTADA

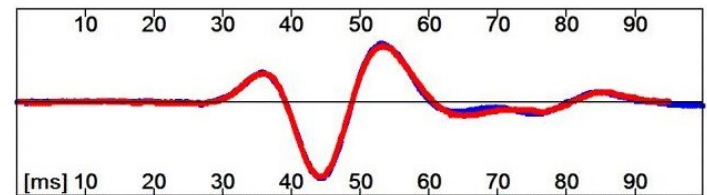
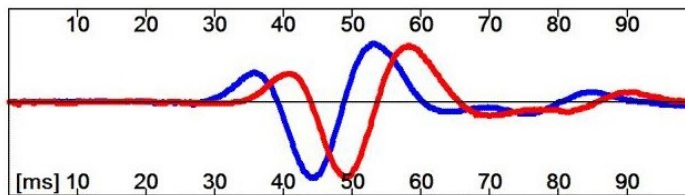
9 m



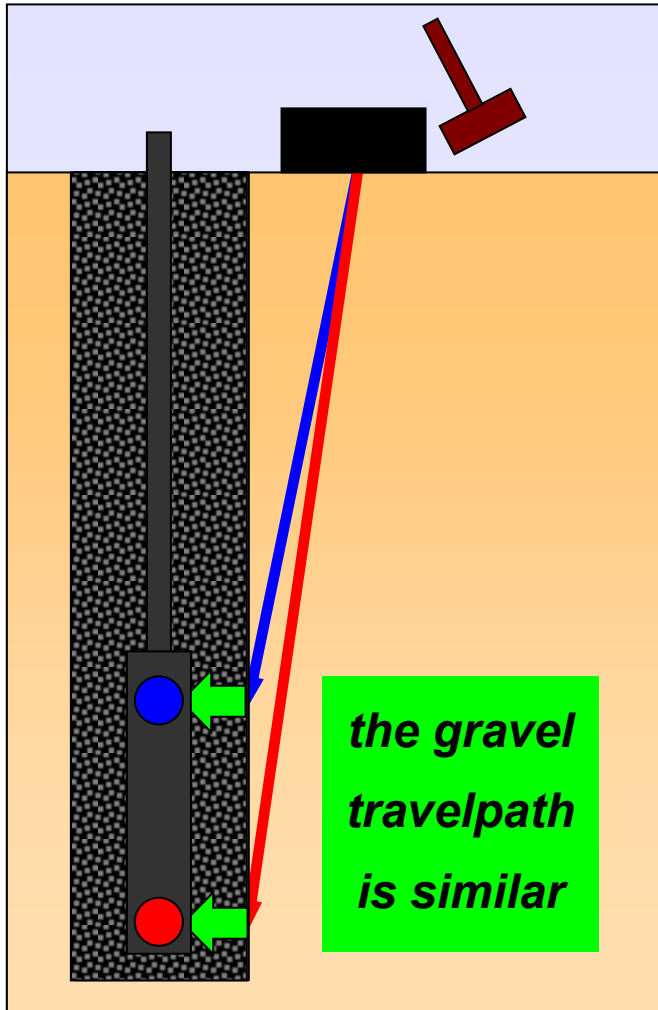
10 m



11 m



Vs in non-penetrable soils



Totani (2009)

Method (downhole):

- *Drill borehole*
- *careful backfill of borehole with gravel (grains $D = 5-15$ mm)*
- *V_s in borehole*

*Travel path includes short path in the sand backfill similar for both receivers
→ delay Δt does not change*

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



www.marchetti-dmt.it

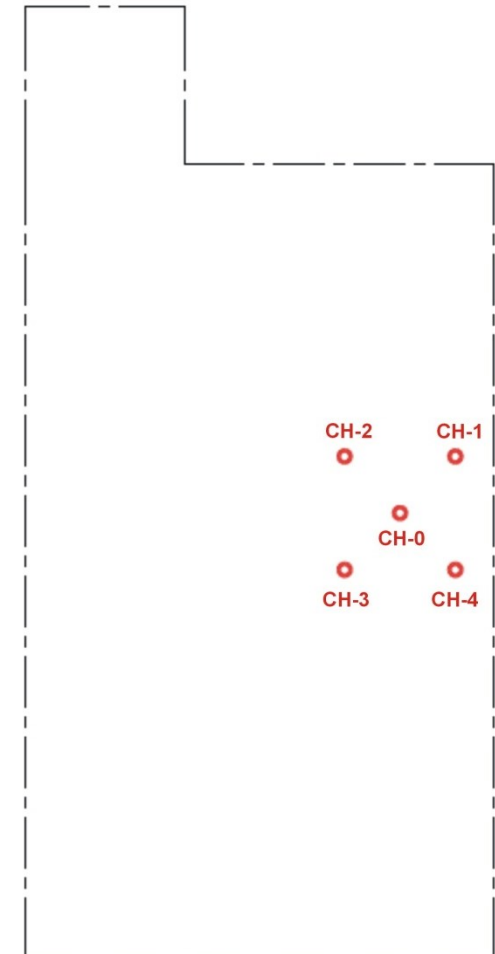
Estudo de caso: Ensaio *crosshole* (IPT) e SDMT-Seismic Dilatometer (Damasco Penna)

Local: Residencial Carmel

R. Vitória Régia nº 1113, Santo André-SP

◆ Foram realizadas medidas da velocidade da onda de cisalhamento em 4 direções ortogonais entre si, em furos de 20 m de profundidade

◆ Os resultados dos ensaios *crosshole* foram também utilizados para comparação com os dados obtidos em ensaios SDMT realizado pela empresa Damasco Penna



RUA VITÓRIA RÉGIA

2013



Equipamento DMT" (Dilatômetro de Marchetti)

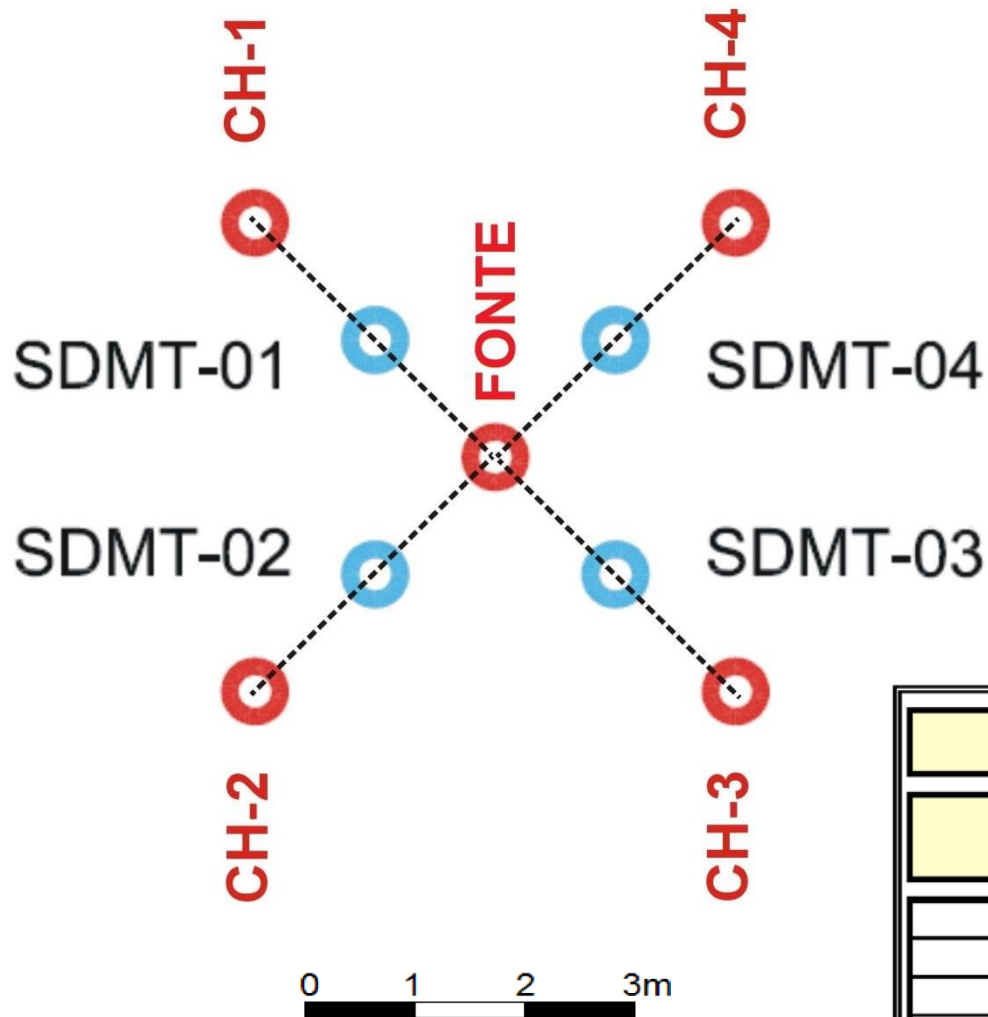


Detalhe do equipamento:
unidade de controle e lâmina



Cravação da lâmina no terreno realizada
de forma estática (equipamento hidráulico
“Geoprobe” ancorado no terreno)

Layout dos ensaaios 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 20m

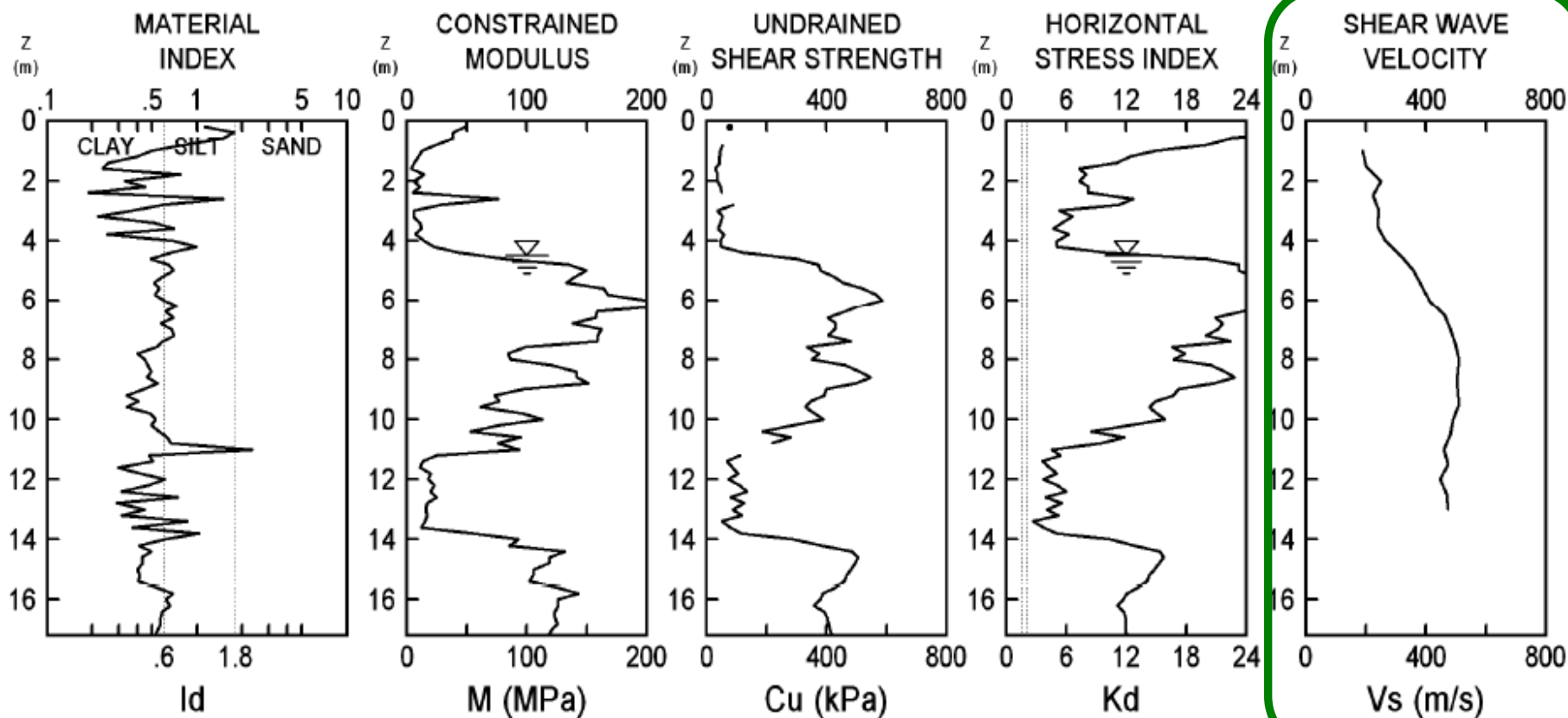
DAMASCO PENNA

4690-RT-00-ENS-GER-002

GSS ONE

Vitória Régia 1111 - Santo André

TEST
SDMT - 04
26 MAR 2013



SDMT - 02 - Tabular data: Vs, Go, Vs Repeatability

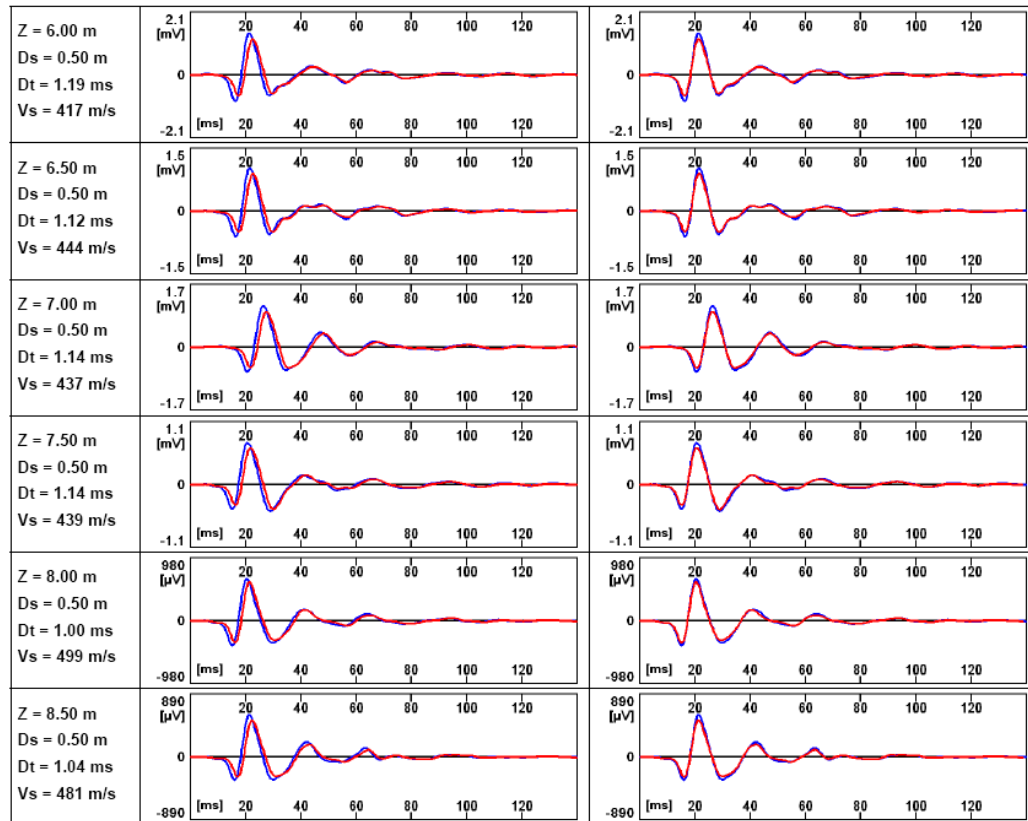
Each Vs value in the 'Vs Repeatability' column corresponds to a distinct energization.

Z	Vs	Go	Rho	Vs Repeatability	Var Coeff.
[m]	[m/s]	[MPa]	[kg/m^3]	[m/s]	[%]
1.00	180	58.3	1800	178,182,182,177,182	1.24
1.50	227	82.4	1600	227,228,227	0.25
2.00	208	73.5	1700	197,251,196,197,198	10.39
2.50	291	144	1700	289,294,294,288	0.96
3.00	211	80.1	1800	211,211,211	0.00
3.50	332	198	1800	329,334,334	0.72
4.00	250	106	1700	249,249,251	0.40
4.50	320	184	1800	318,321,322	0.54
5.00	335	202	1800	336,335,334	0.24
5.50	362	249	1900	362,361,363	0.23
6.00	420	362	2050	417,420,423	0.58
6.50	443	402	2050	444,441,445	0.39
7.00	437	391	2050	437,438,435	0.30
7.50	441	374	1925	439,439,445	0.64
8.00	501	515	2050	499,505,500	0.53
8.50	480	392	1700	481,480,480	0.12
9.00	496	443	1800	492,496,499	0.58
9.50	521	489	1800	524,521,519	0.40
10.00	461	436	2050	463,460,459	0.38
10.50	490	450	1875	485,493,492	0.73
11.00	483	455	1950	476,488,484	1.04
11.50	420	340	1925	421,411,428	1.66
12.00	429	331	1800	431,425,431	0.66
12.50	437	334	1750	435,443,433	0.99
13.00	464	388	1800	468,468,455	1.32
13.50	369	225	1650	369	0.00

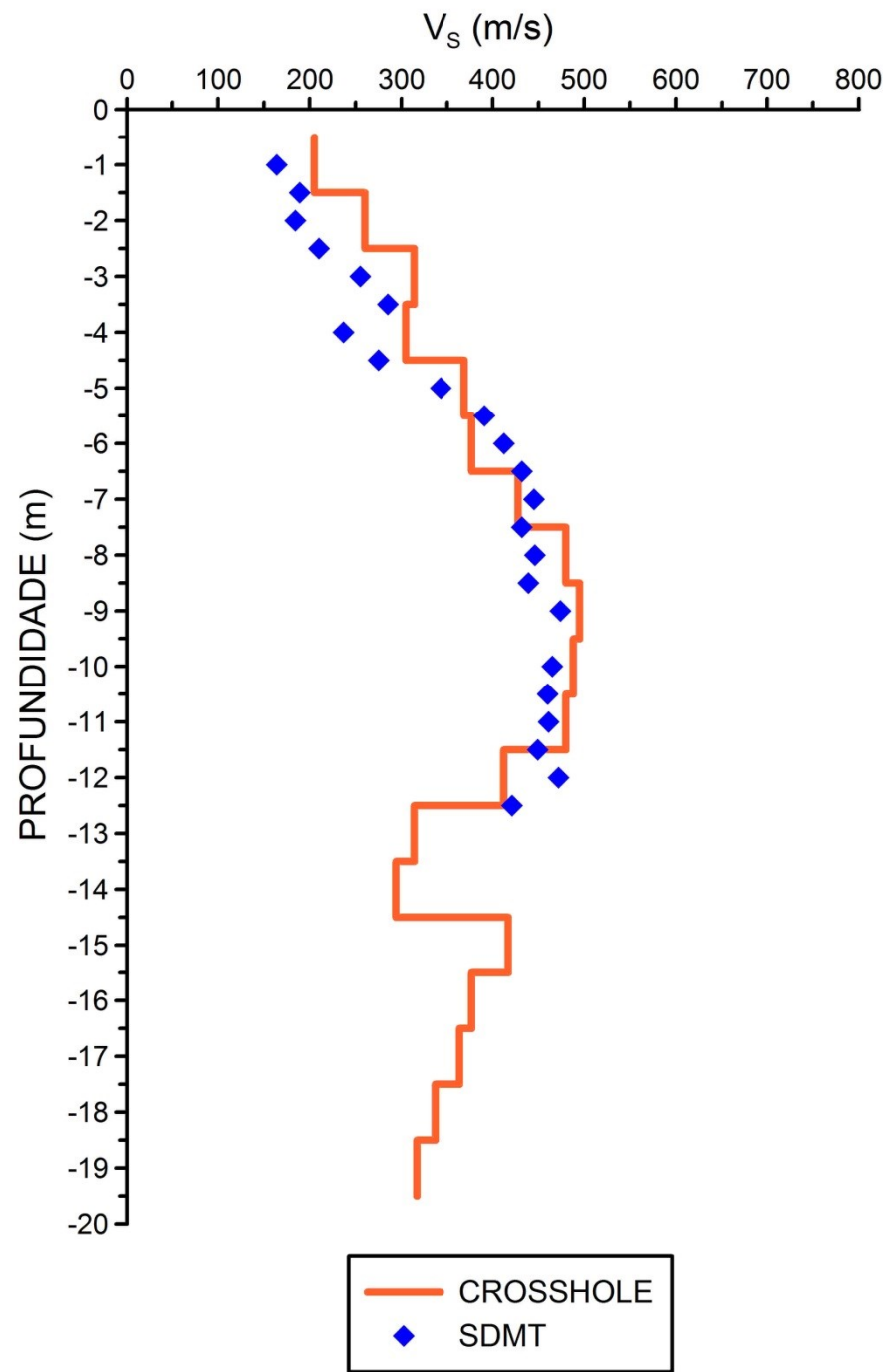
SDMT - 02 - Vs

RECORDED

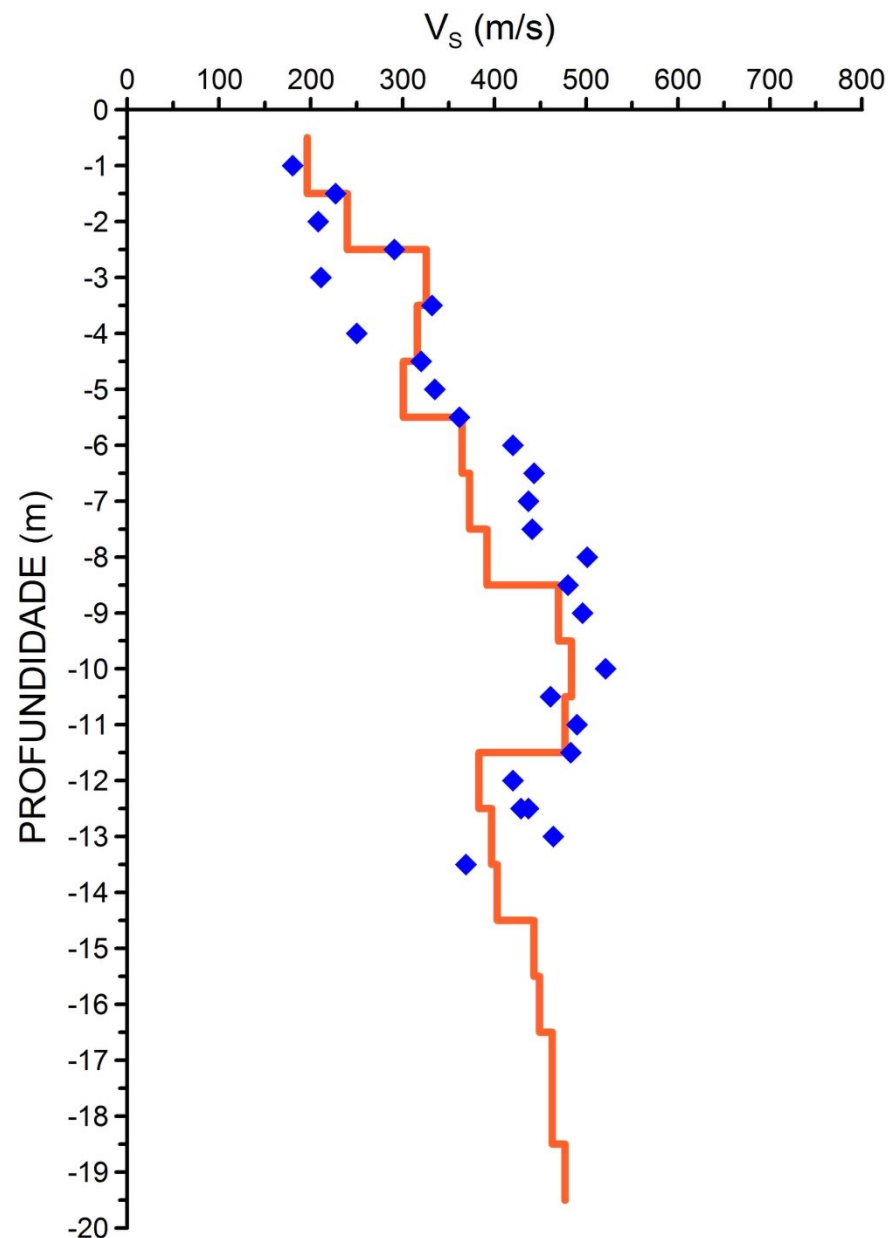
RE-PHASED



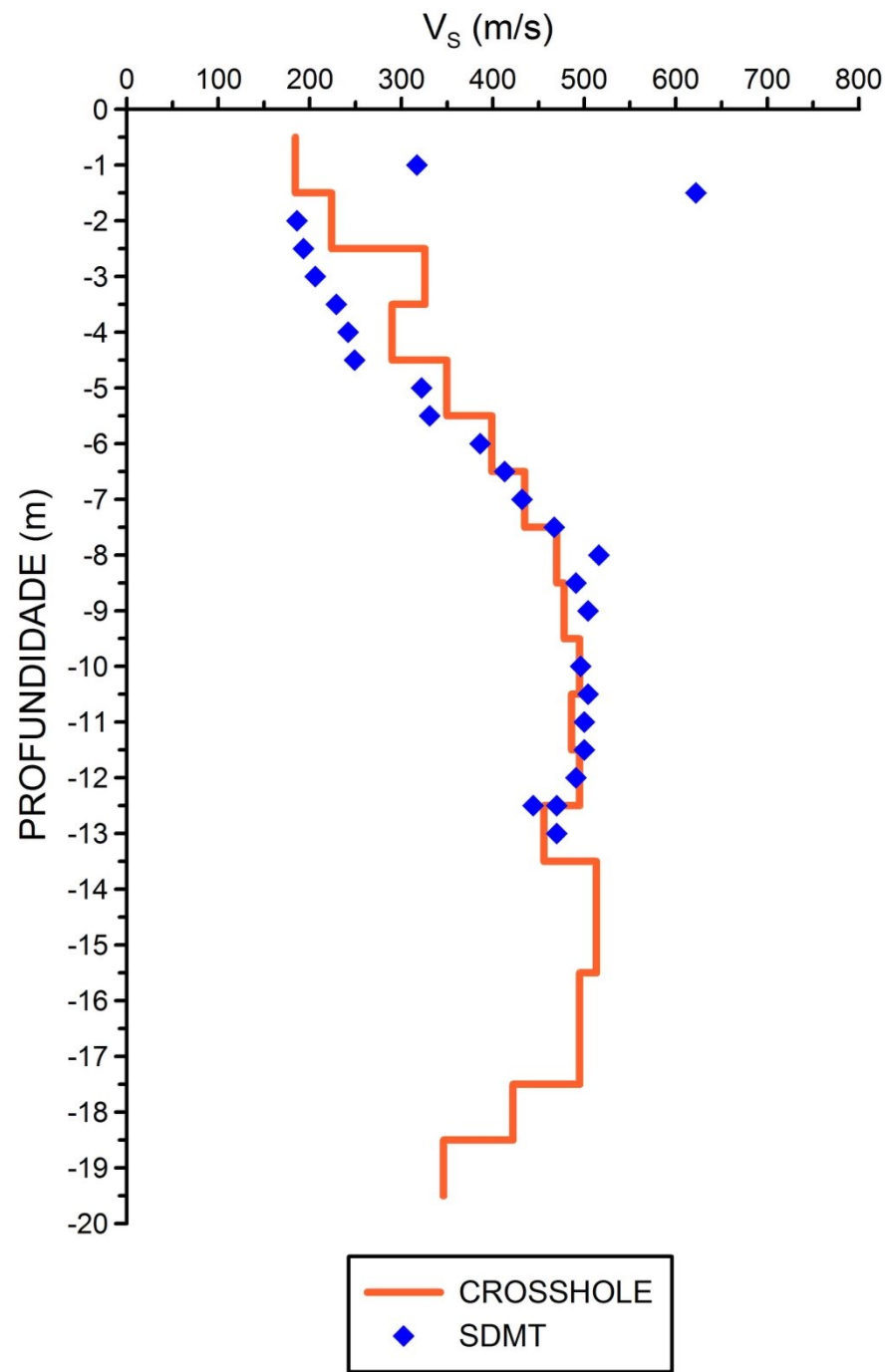
CH-1 & SDMT-1



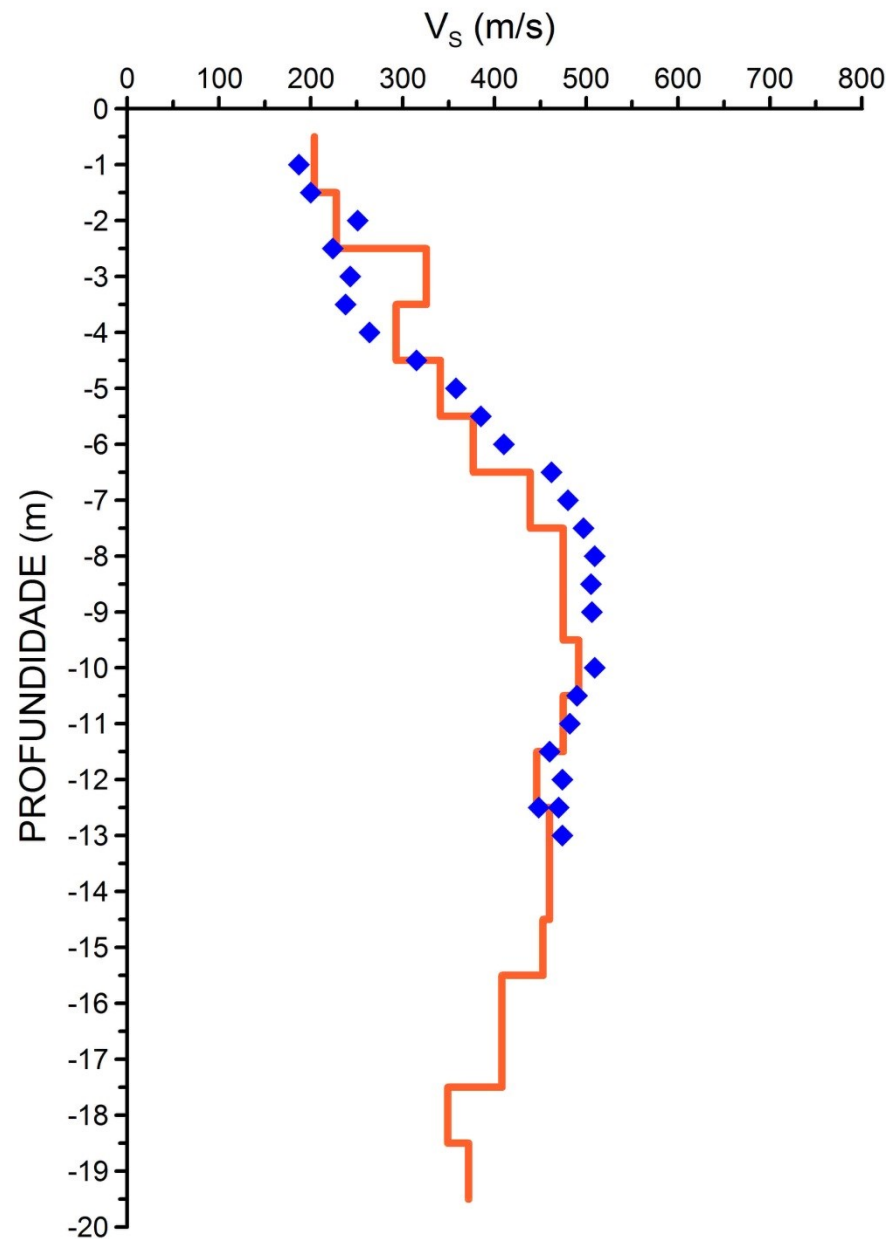
CH-2 & SDMT-2



CH-3 & SDMT-3



CH-4 & SDMT-4



Campinas-SP / Agosto de 2022



Diego Marchetti

Senior Engineer

☎ +39 328 62 89 030

✉ diego@marchetti-dmt.it

Studio Prof. Marchetti

📍 Via Bracciano, 38
00189 Rome
Italy

☎ +39 06 30 31 12 40

☎ +39 06 30 31 12 40

www.marchetti-dmt.it

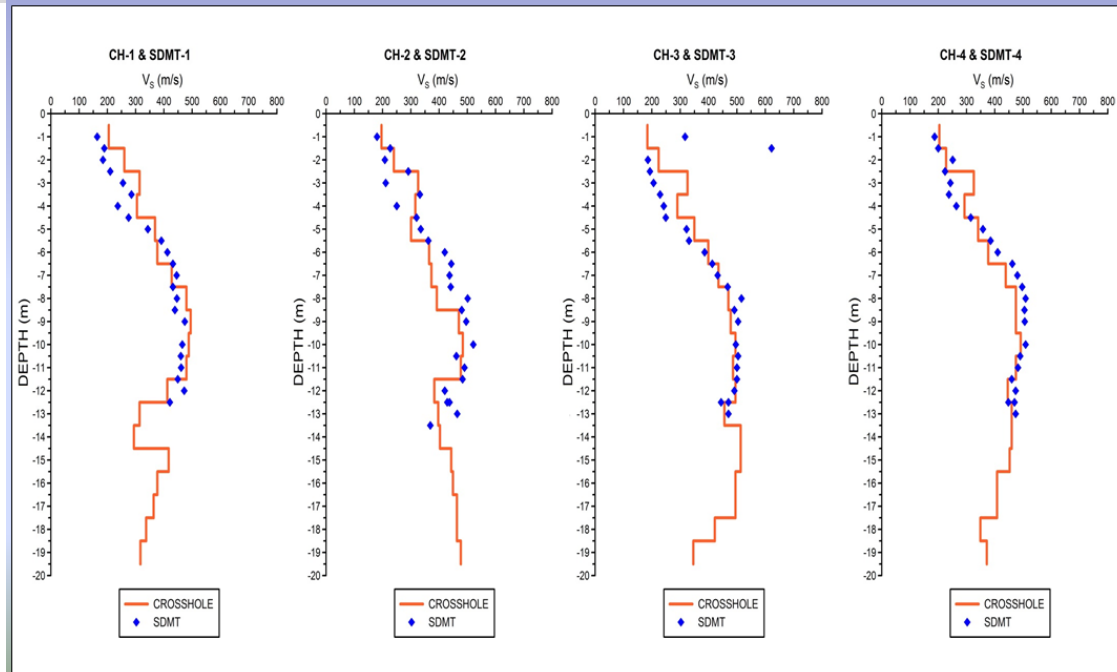
Course: Seismic Dilatometer Test (SDMT)

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

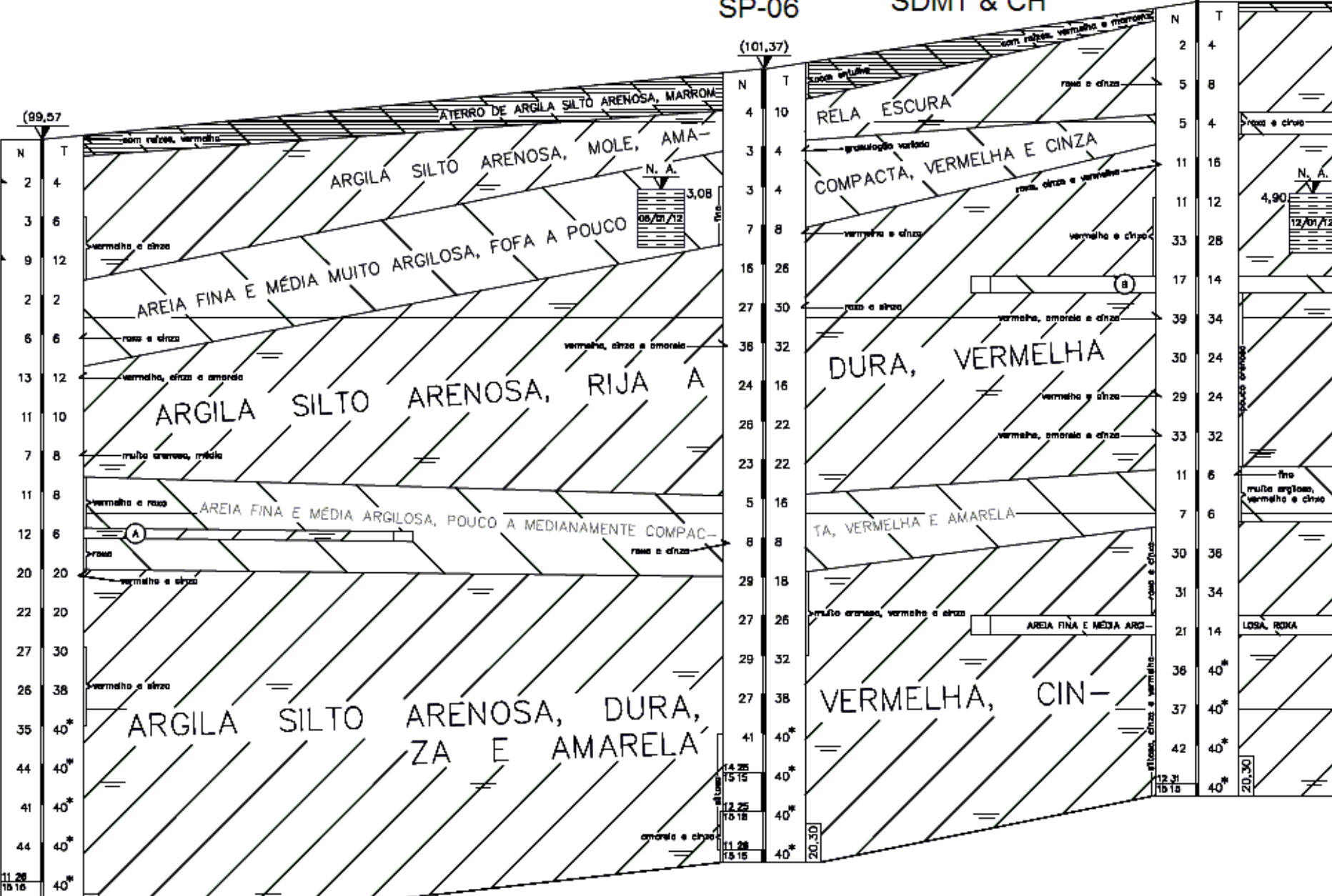


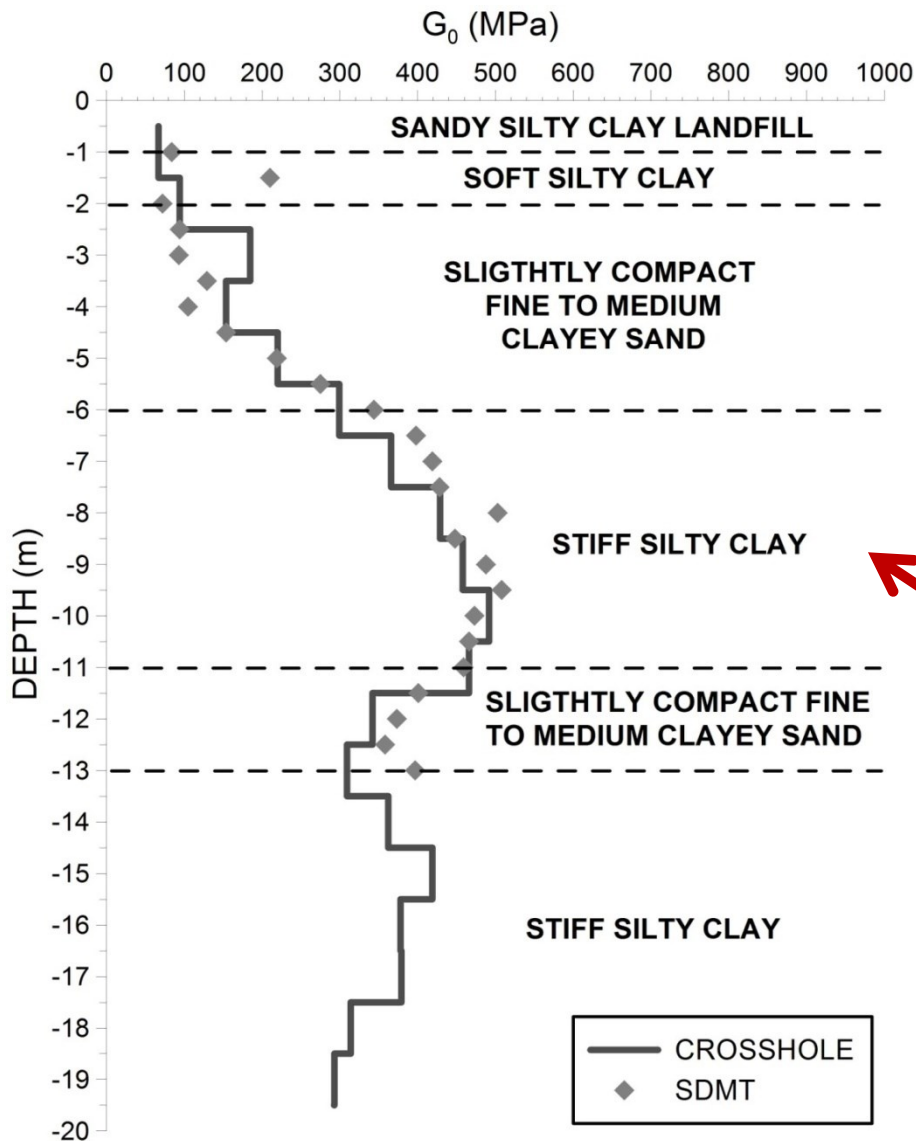
www.marchetti-dmt.it

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



SDMT & CH



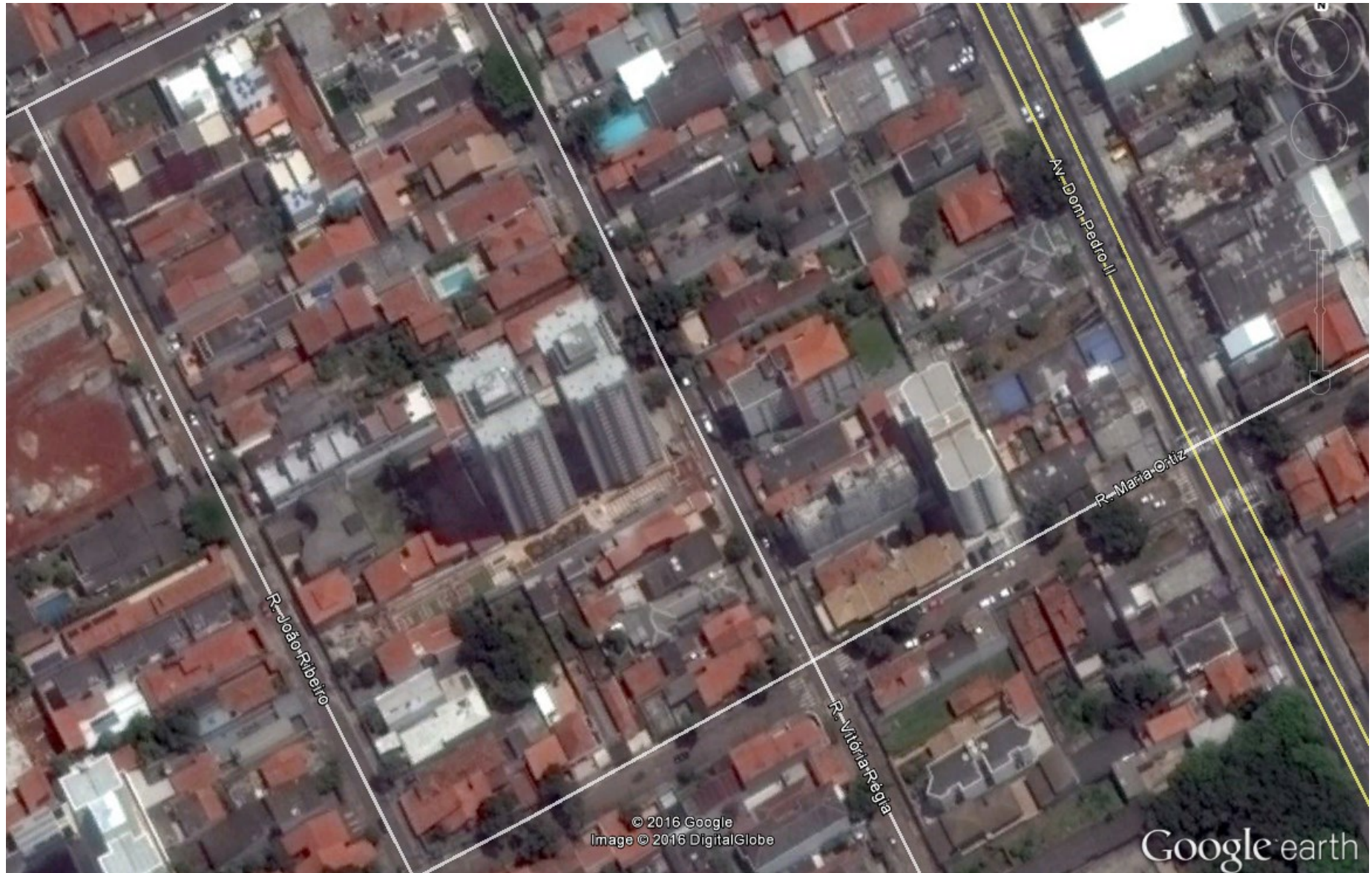


Média dos 4 ensaios
crosshole e *SDMT*

$$G_0 = \rho \cdot V_S^2$$

As fundações do edifício
foram assentadas sobre
esta camada de argila
rija a dura, com N_{SPT}
médio em torno de 30

2016

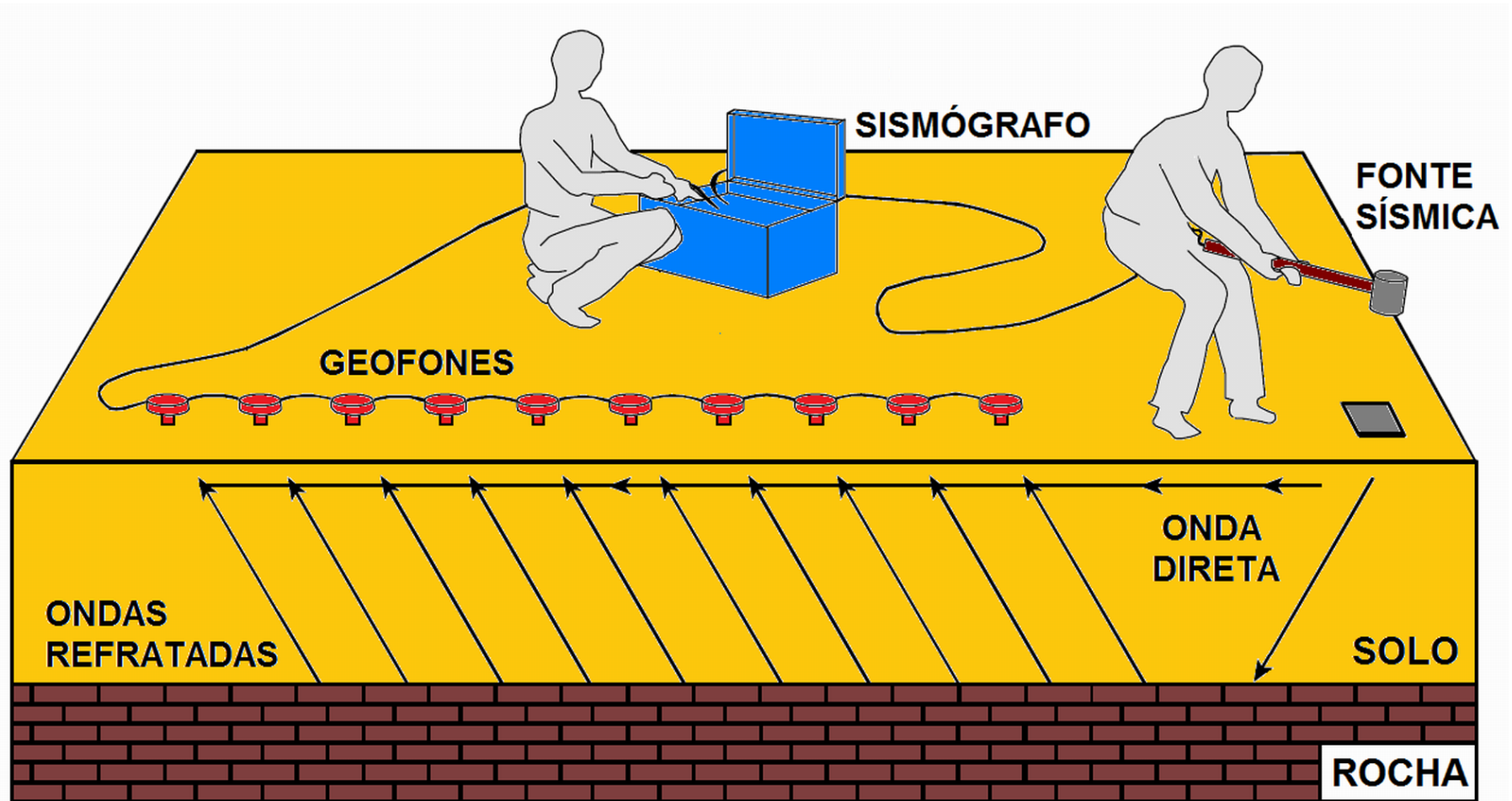


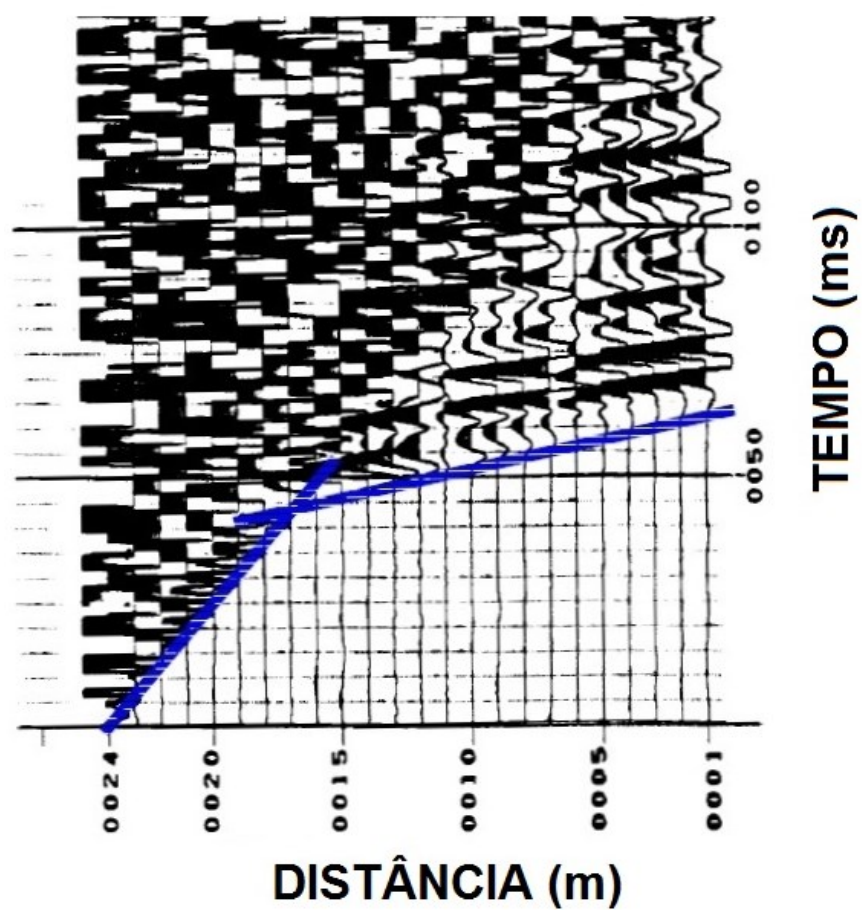
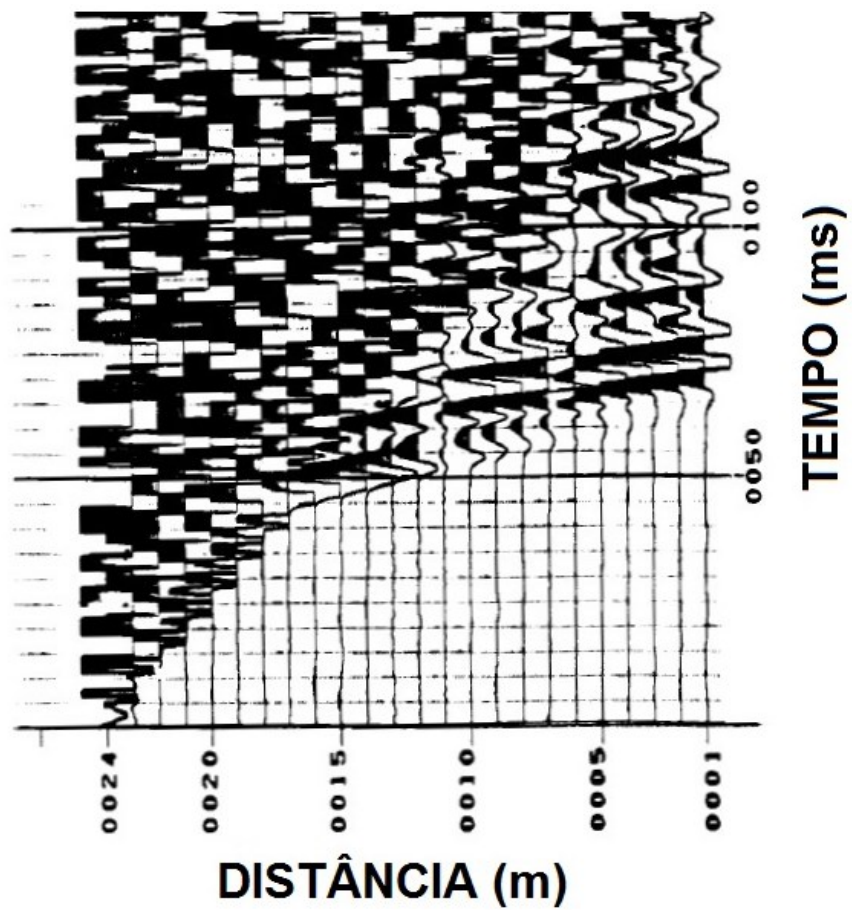
2016

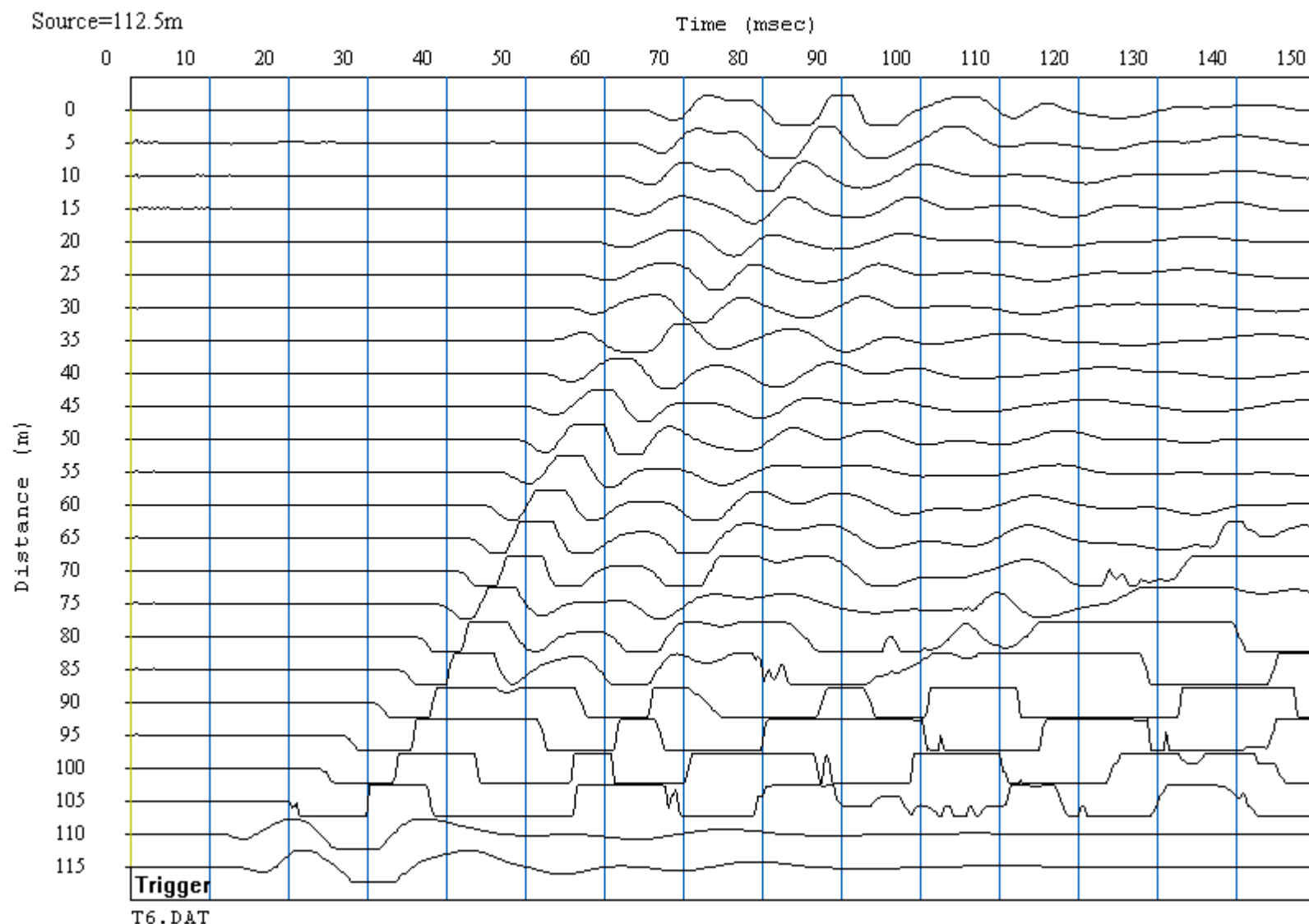


SÍSMICA DE REFRAÇÃO

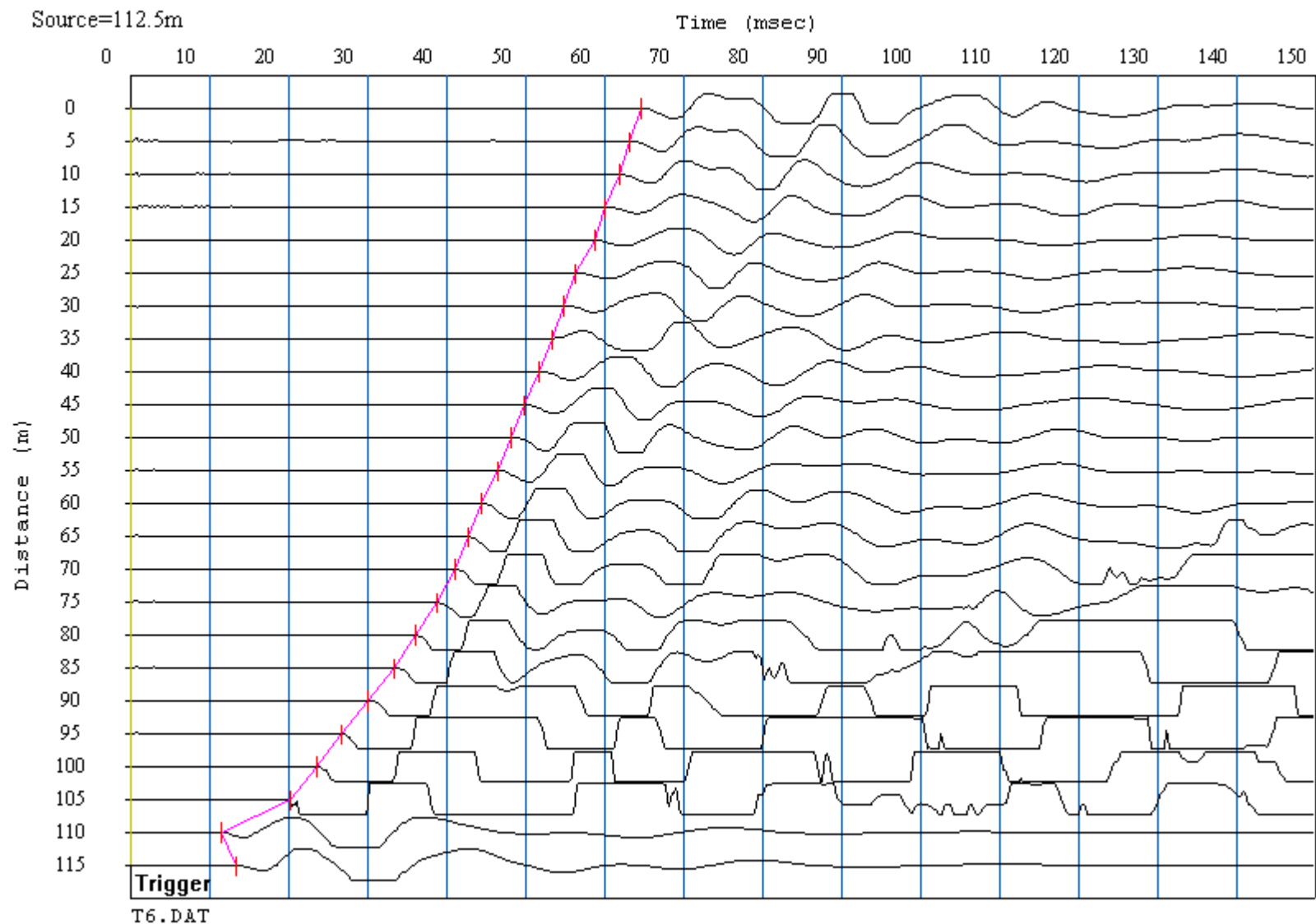
SÍSMICA DE REFRAÇÃO



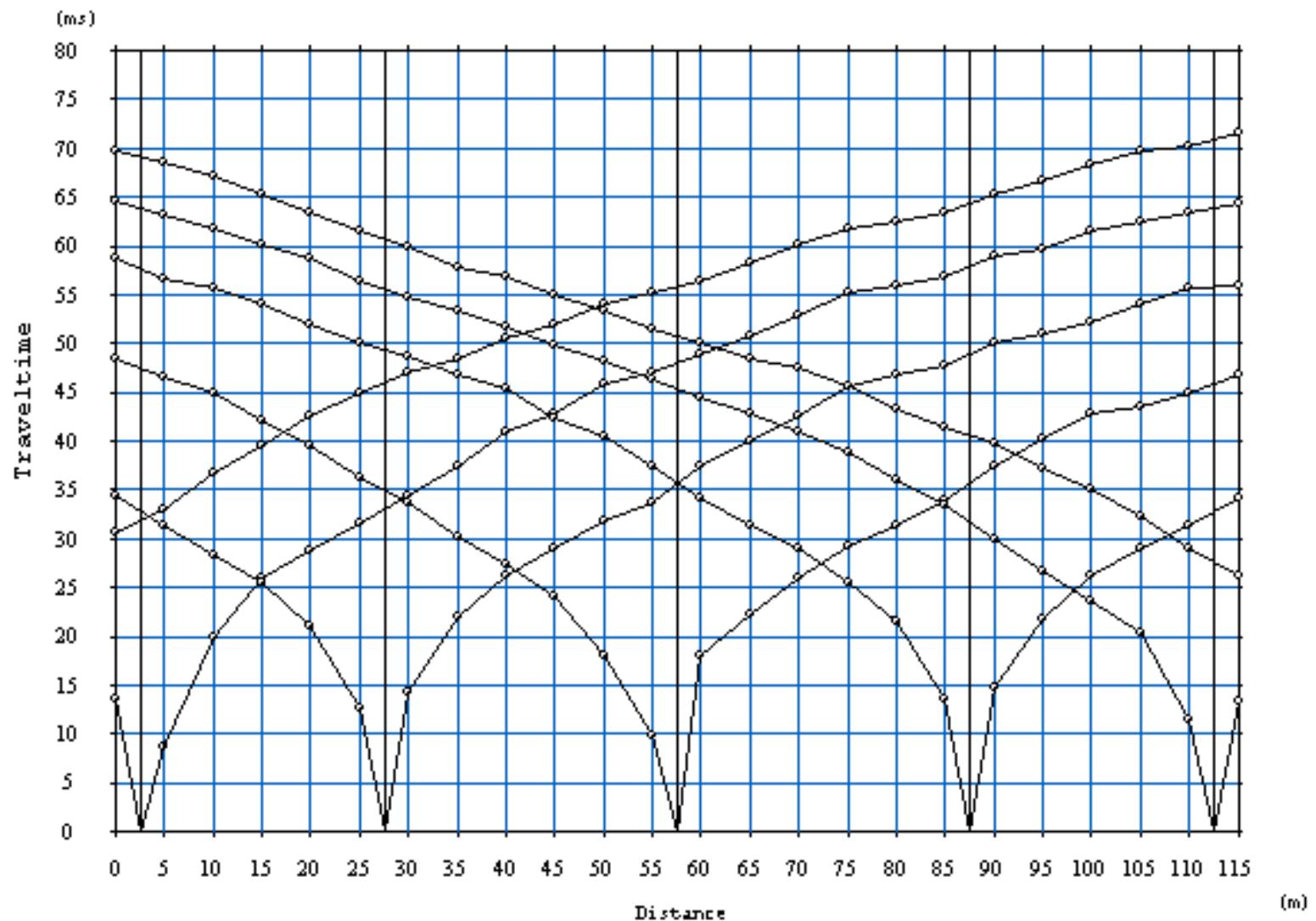




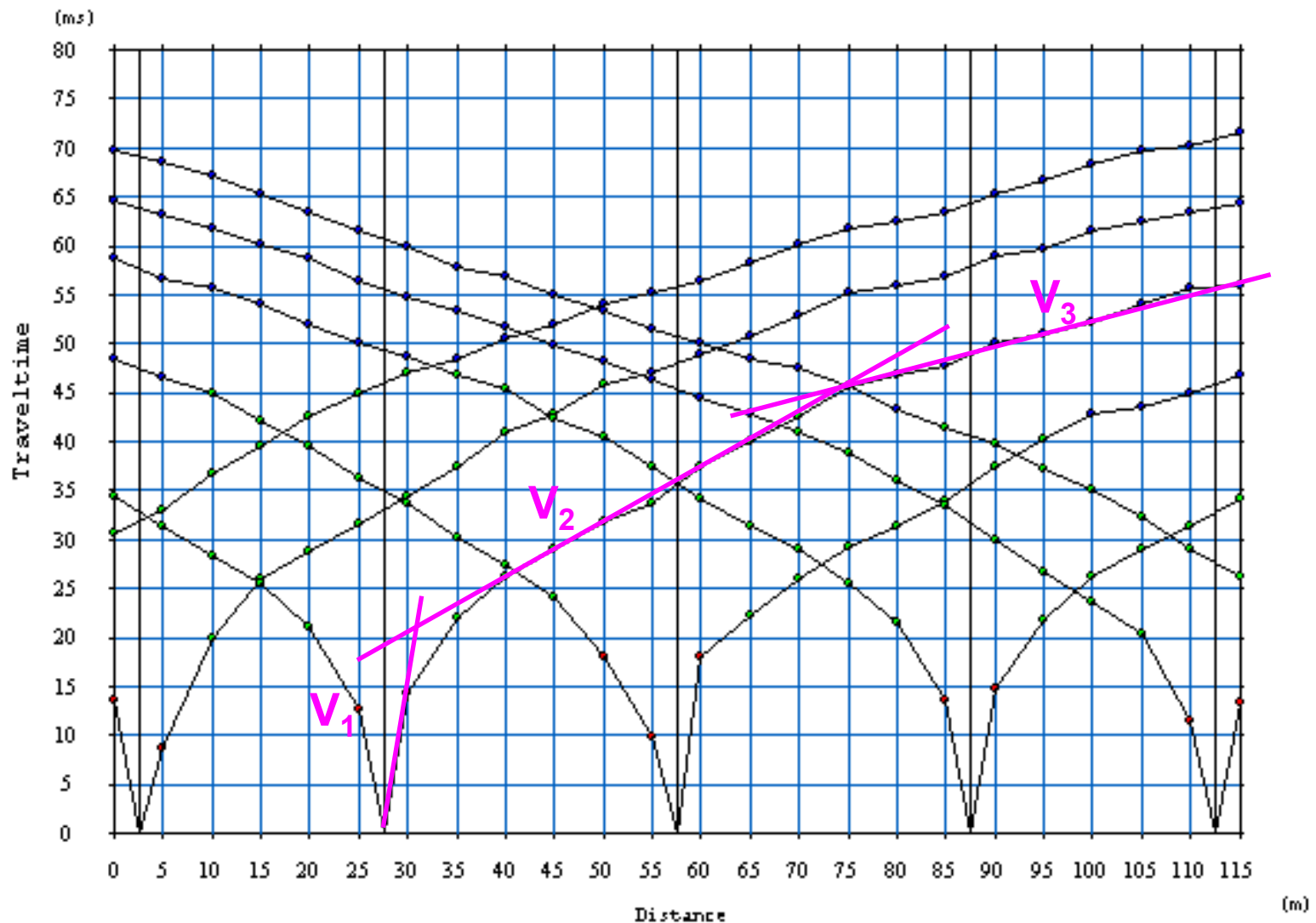
**SISMOGRAMA OBTIDO DO LEVANTAMENTO DE SÍSMICA DE REFRAÇÃO
LOCAL: BASE 35 / TIRO 6 (POSIÇÃO DA FONTE = 112,5m)**



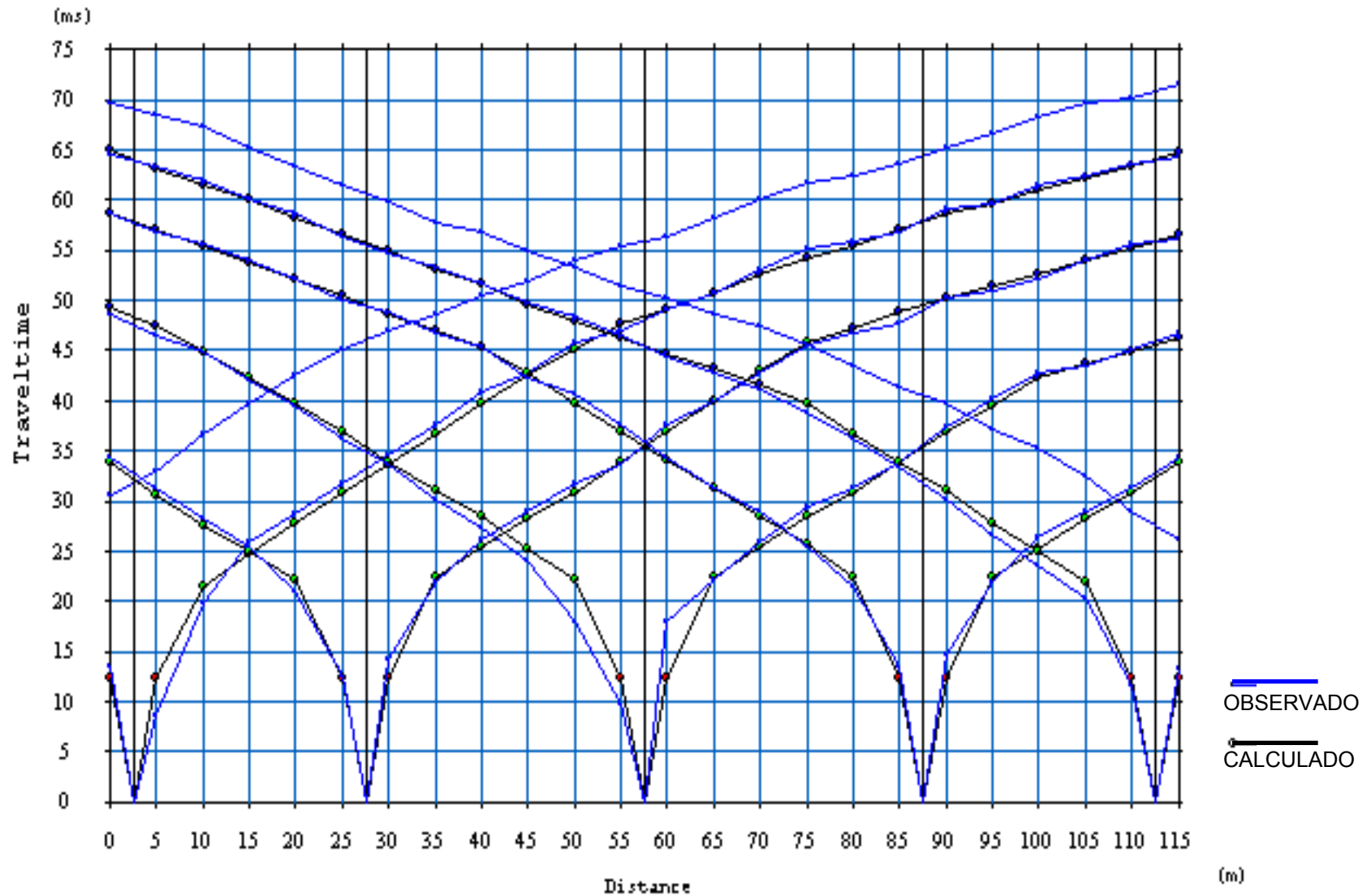
**LEITURA DOS TEMPOS DE CHEGADA DA ONDA SÍSMICA
(PRIMEIRA QUEBRA), PROCEDIMENTO CONHECIDO COMO “PICAGEM”**



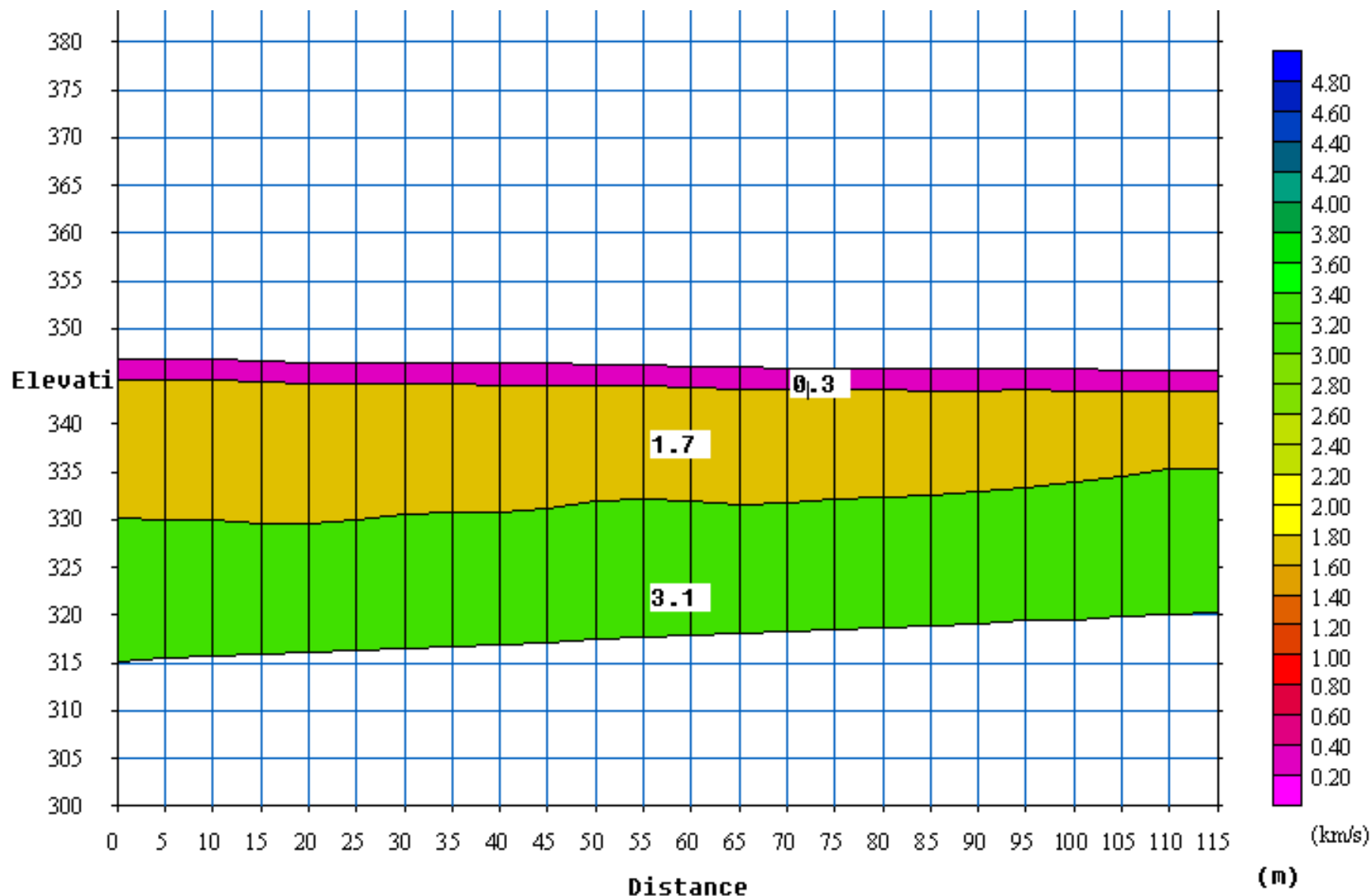
**CONSTRUÇÃO DOS GRÁFICOS TEMPO X DISTÂNCIA
 (“DROMOCRÔNICAS”) A PARTIR DA LEITURA DOS SISMOGRAMAS**



IDENTIFICAÇÃO DAS CAMADAS COM DIFERENTES VALORES DE VELOCIDADE A PARTIR DAS INFLEXÕES OBSERVADAS NO GRÁFICO

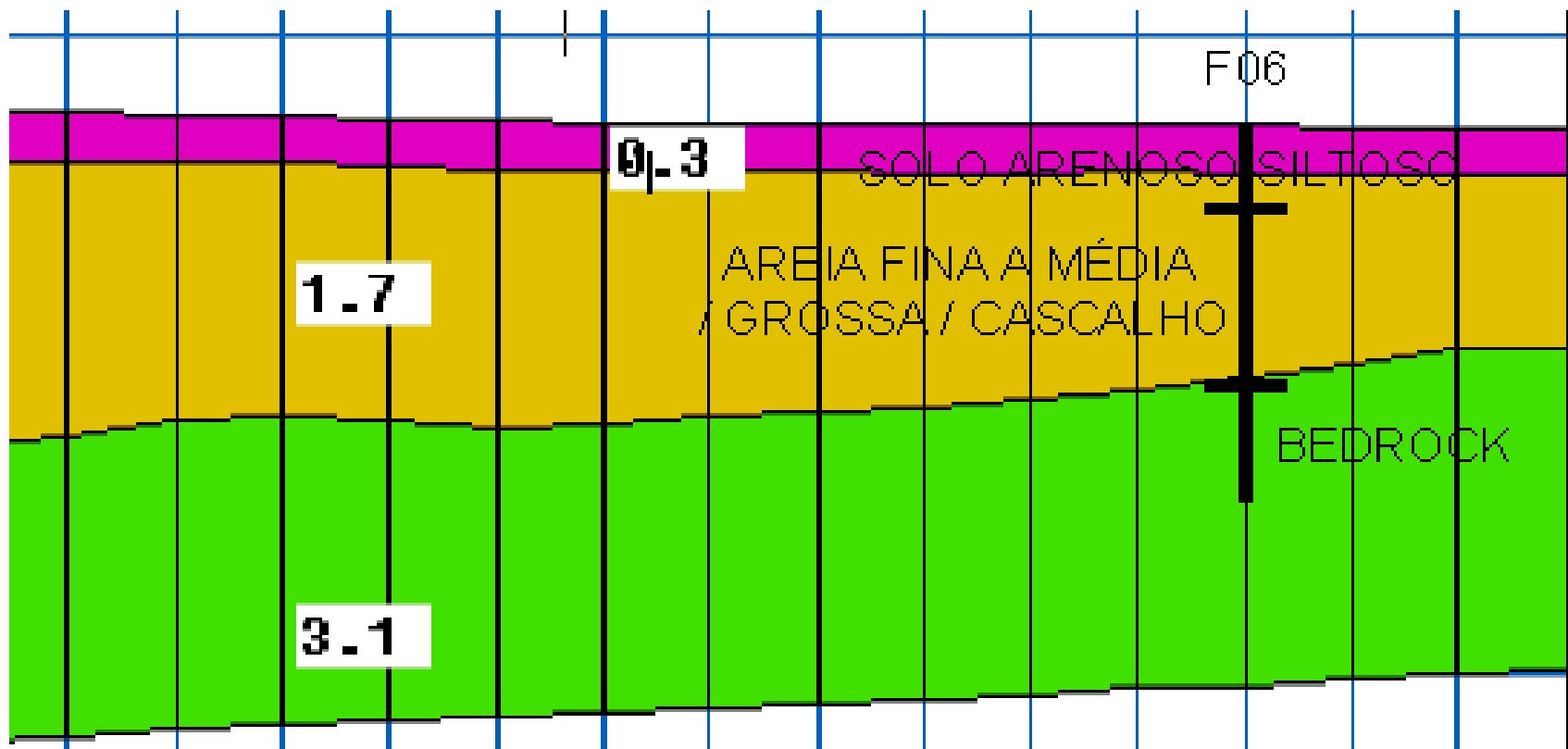


**PROCESSAMENTO POR INVERSÃO DOS DADOS PARA A DETERMINAÇÃO
DO MODELO QUE MELHOR SE AJUSTA AOS DADOS DE CAMPO**



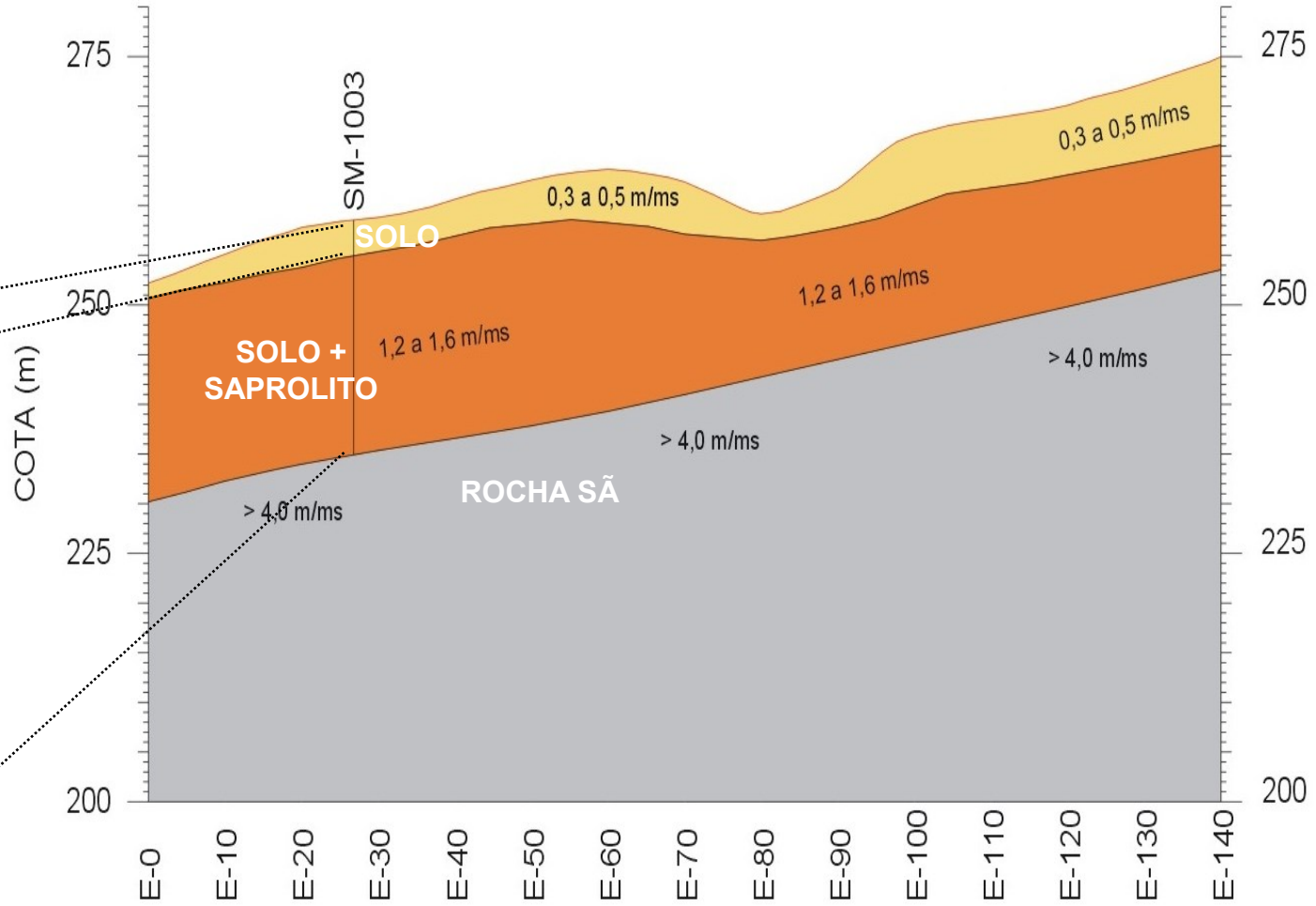
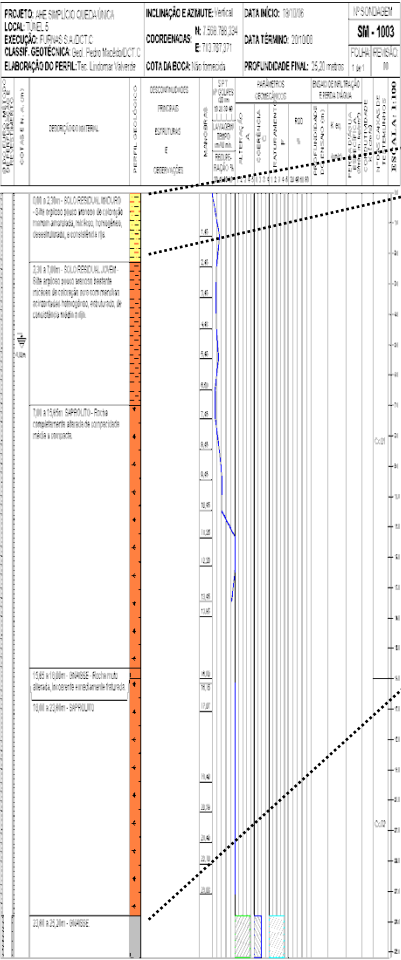
SEÇÃO FINAL OBTIDA APÓS O PROCESSAMENTO DOS DADOS

(MODELO DE 3 CAMADAS: $V_1=0,3\text{m/ms}$; $V_2=1,7\text{m/ms}$; $V_3=3,1\text{m/ms}$)



**CORRELAÇÃO DOS RESULTADOS DA SÍSMICA DE REFRAÇÃO
COM AS SONDAGENS MECÂNICAS**

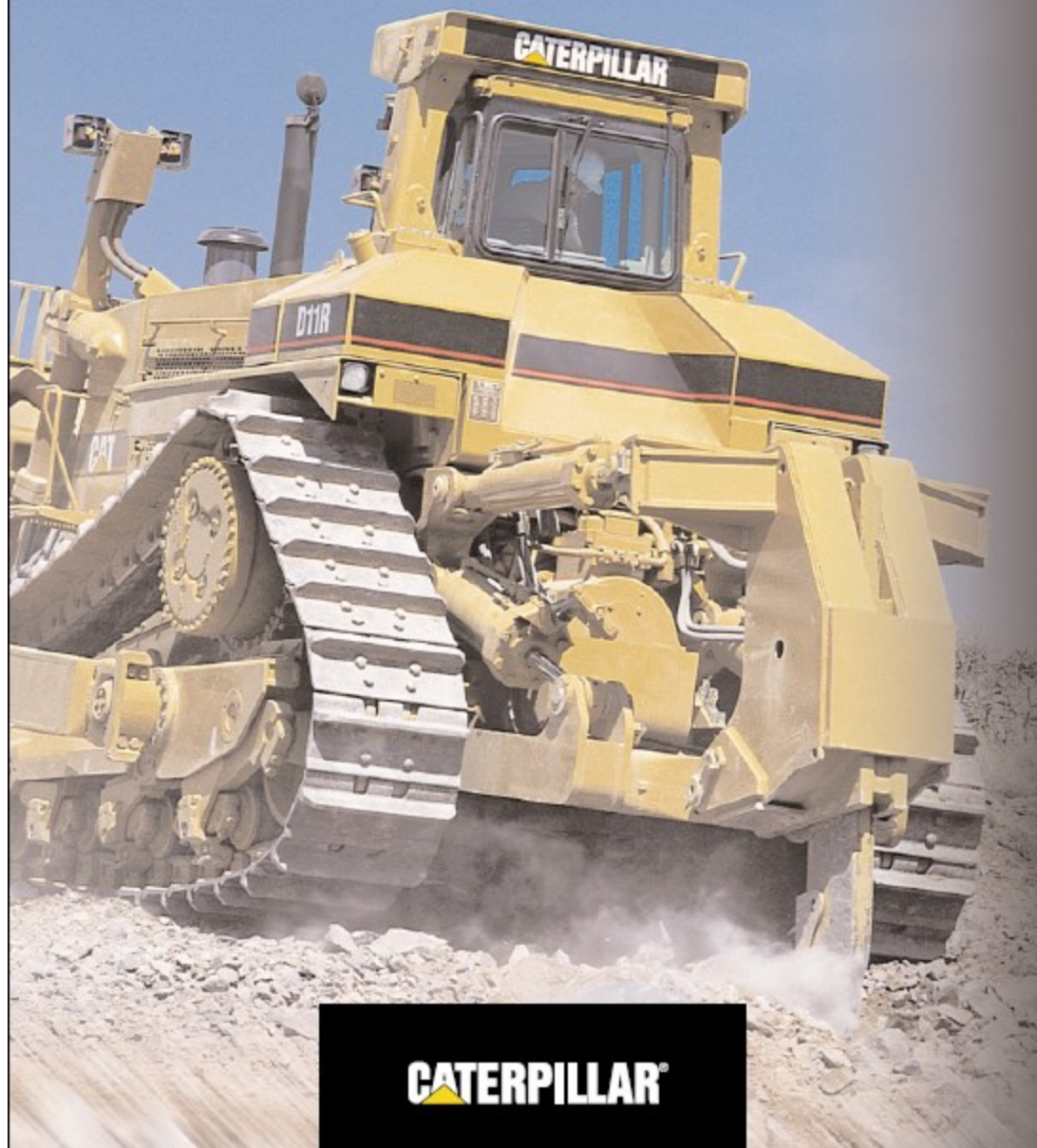
PERFIL DE SONDAGEM



SEÇÃO SÍSMICA INTERPRETADA

Twelfth Edition

HANDBOOK OF RIPPING



CATERPILLAR®

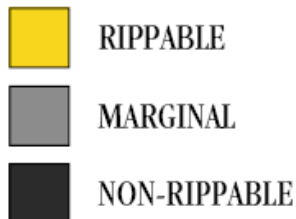
GRAU DE ESCARAFICABILIDADE

→ VARIA DE ACORDO COM
ESCARIFICADOR UTILIZADO



D8R Ripper Performance

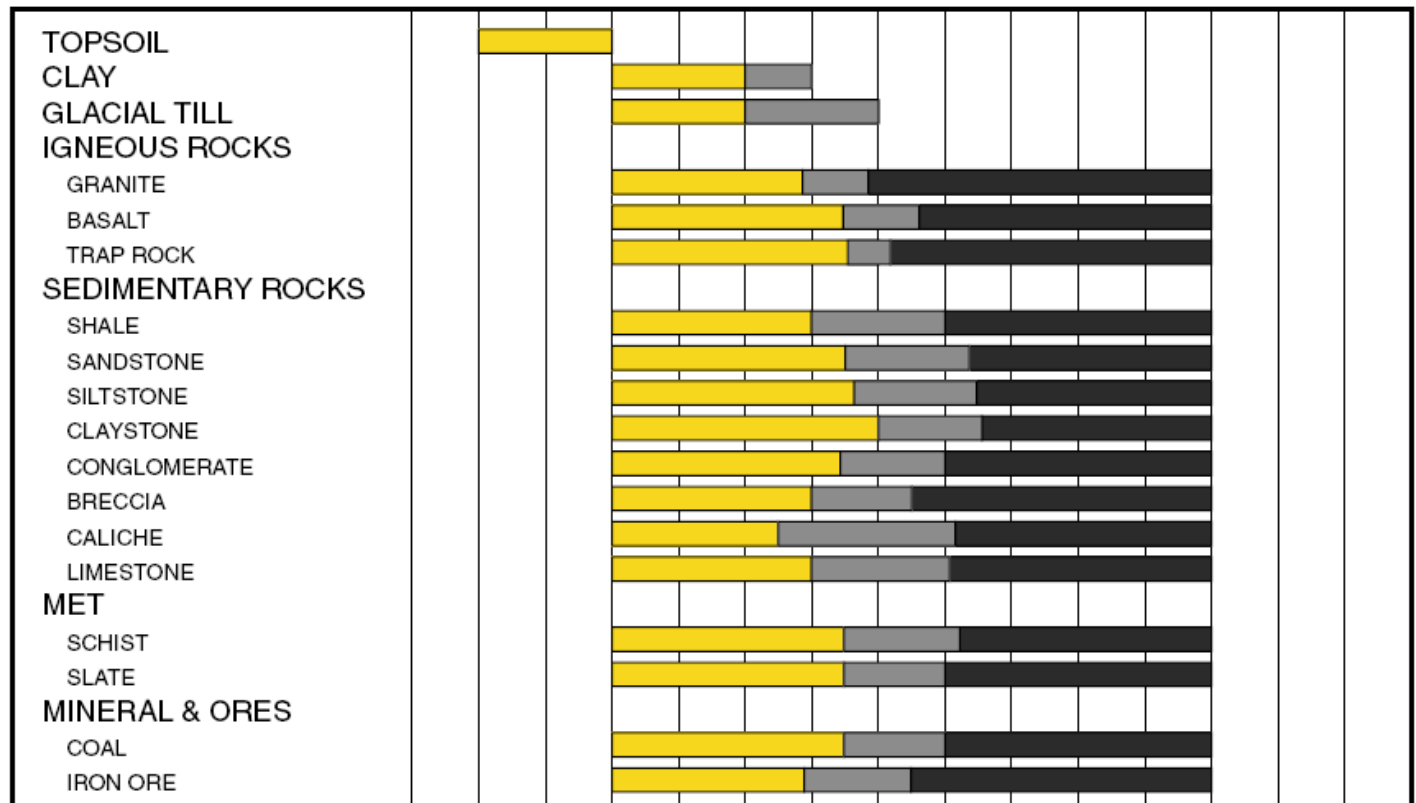
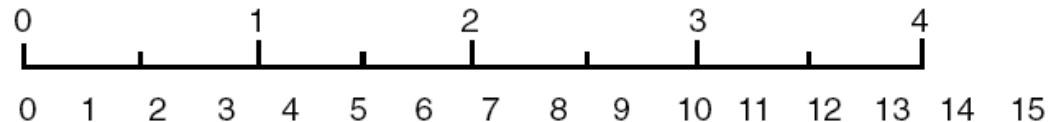
- Multi or Single Shank No. 8 Series D Ripper
- Estimated by Seismic Wave Velocities



Seismic Velocity

Meters Per Second x 1000

Feet Per Second x 1000





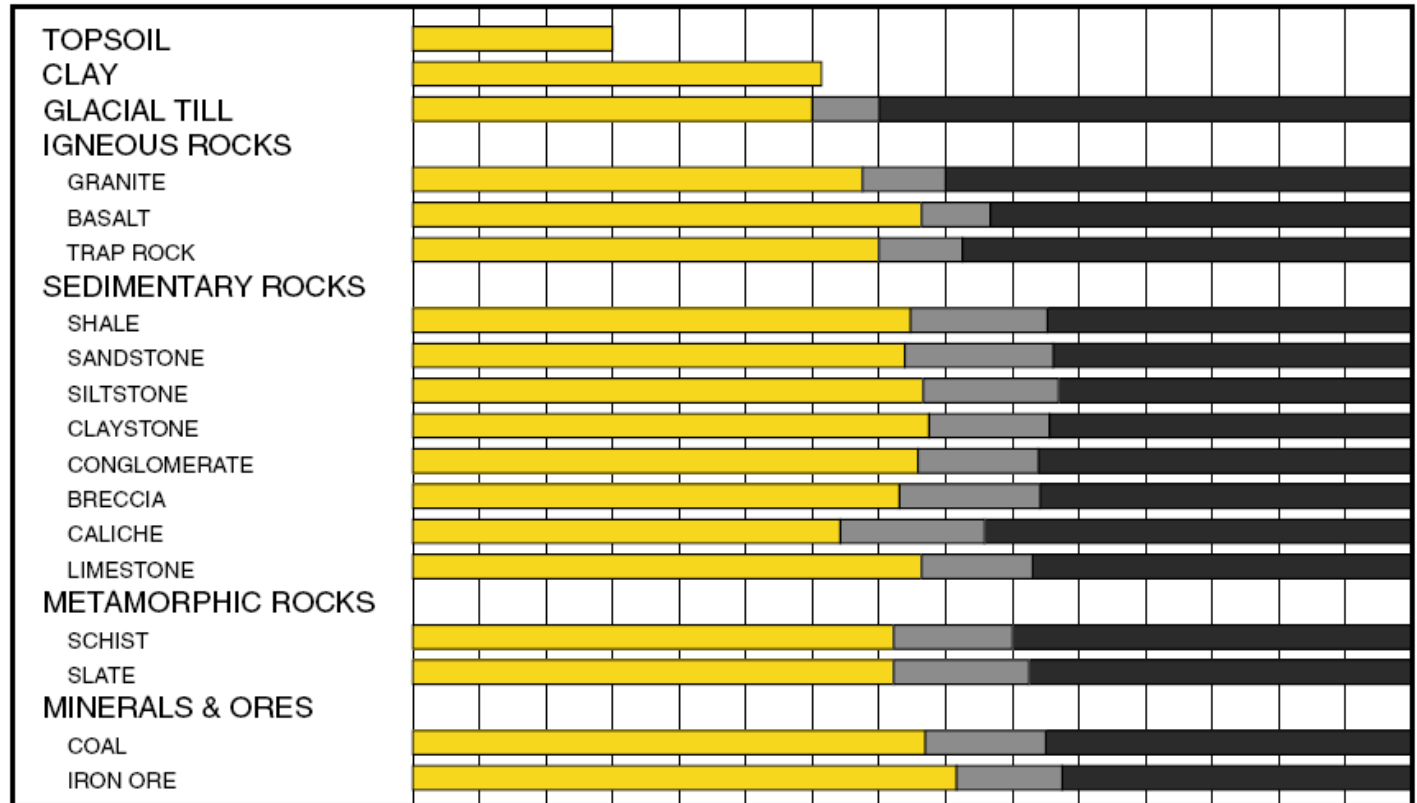
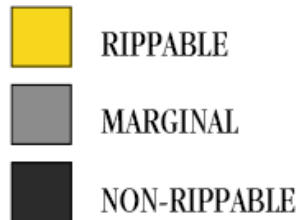
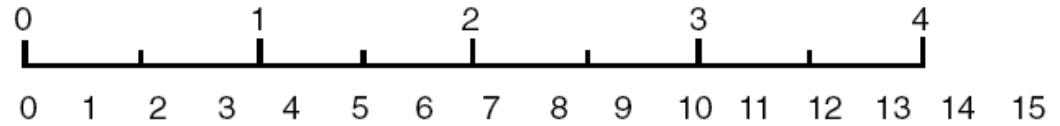
D9R Ripper Performance

- Multi or Single Shank Ripper
- Estimated by Seismic Wave Velocities

Seismic Velocity

Meters Per Second x 1000

Feet Per Second x 1000





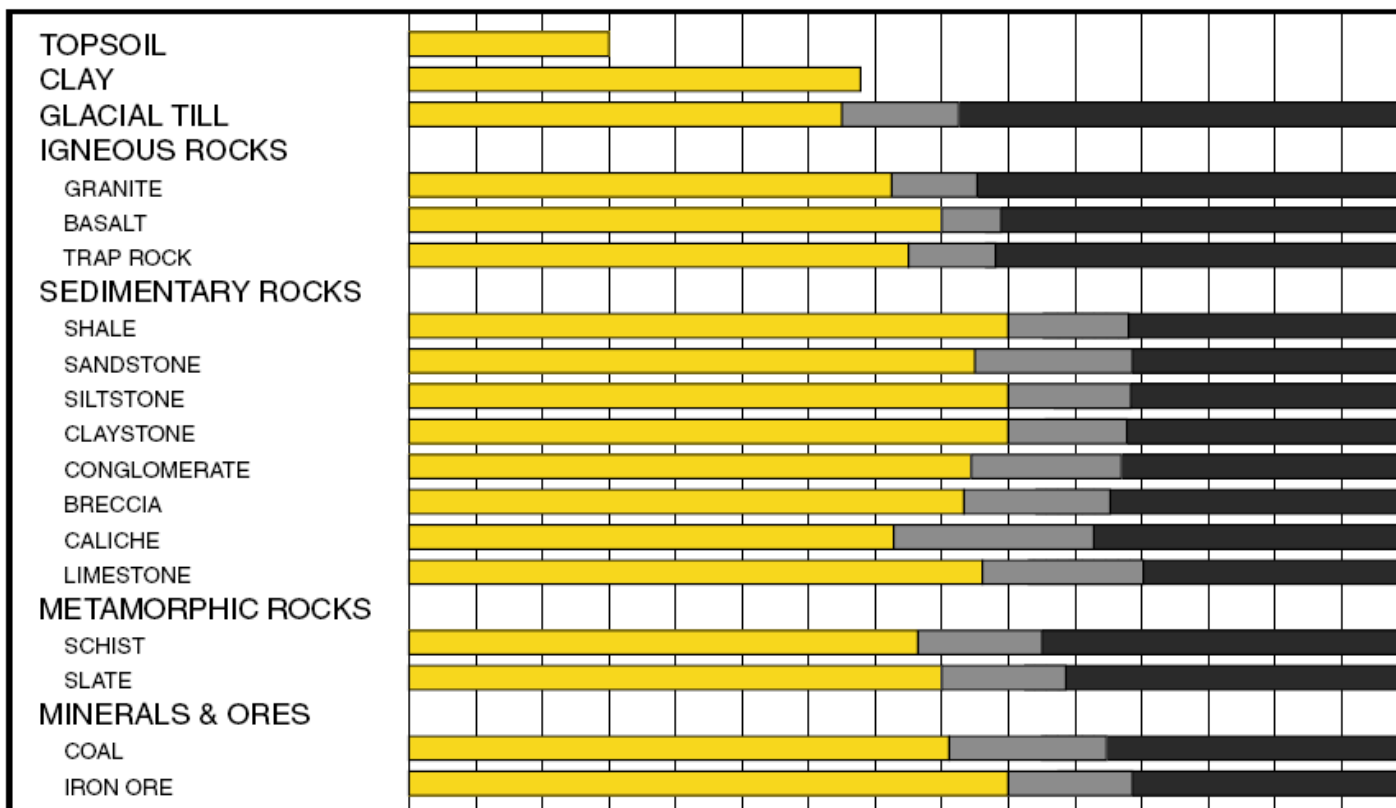
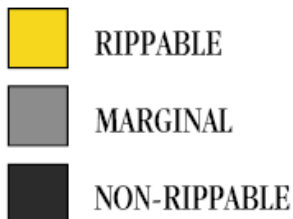
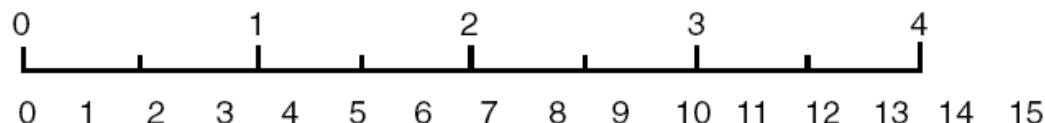
D10R Ripper Performance

- Multi or Single Shank Ripper
- Estimated by Seismic Wave Velocities

Seismic Velocity

Meters Per Second x 1000

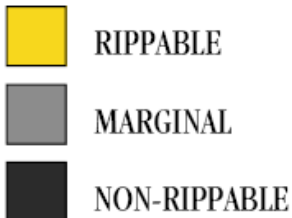
Feet Per Second x 1000





D11R Ripper Performance

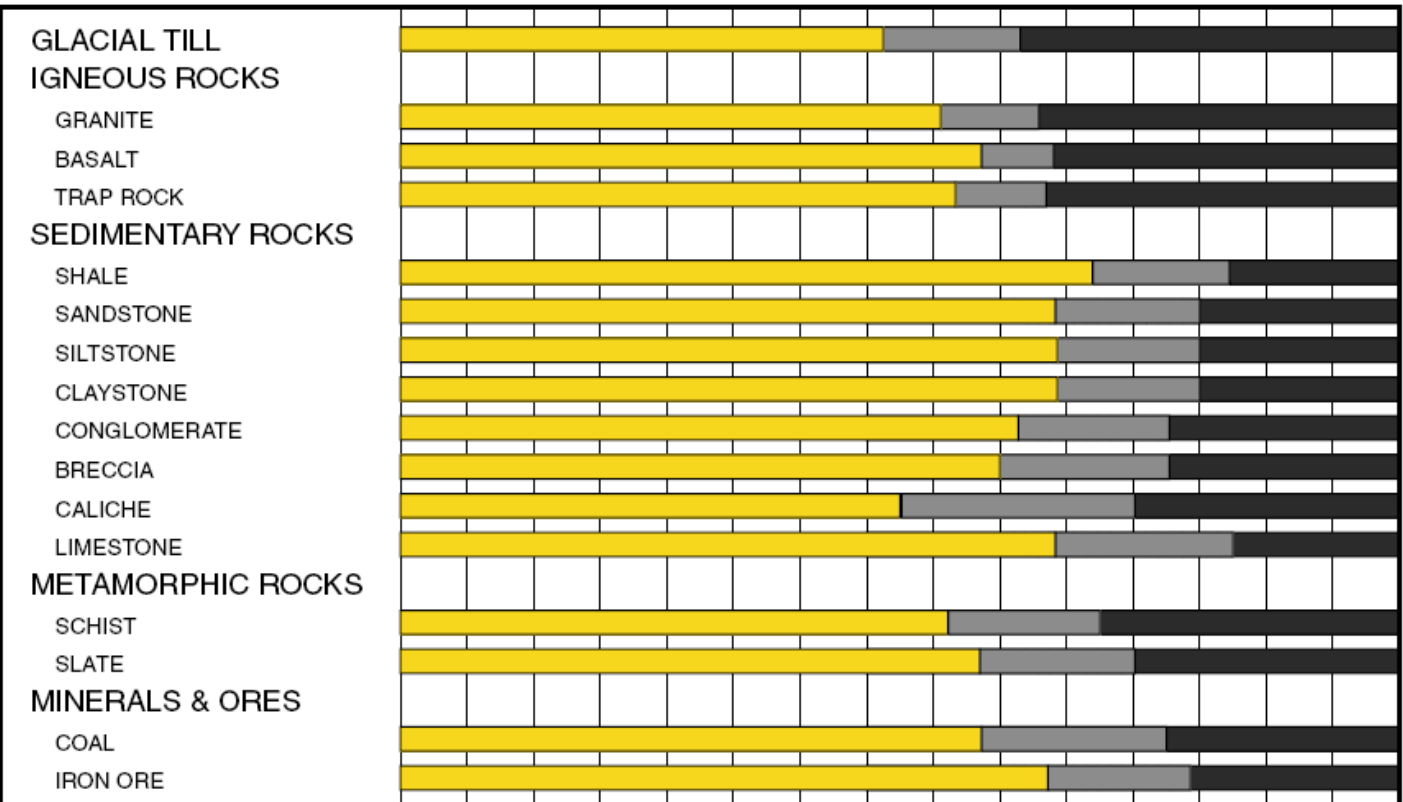
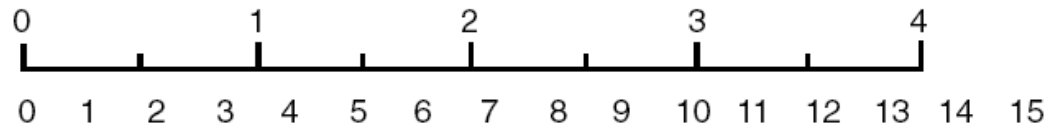
- Multi or Single Shank Ripper
- Estimated by Seismic Wave Velocities



Seismic Velocity

Meters Per Second x 1000

Feet Per Second x 1000



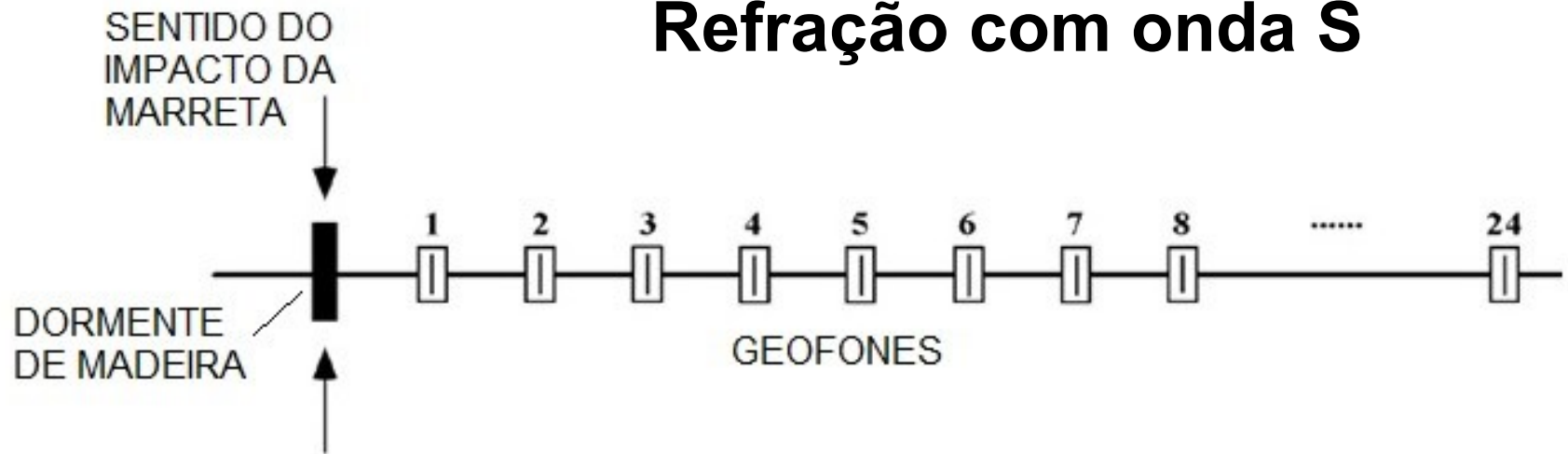
Classificação mais genérica e conservadora (Caltrans)

Velocity (m/s)	Rippability
< 1050	Easily Ripped
1050 – 1500	Moderately Difficult
1500 – 2000	Difficult Ripping
> 2000	Unrippable

Table 3.9: Caltrans rippability chart (adapted from Leeds 2002). Note: Limited to Caterpillar D9 series.

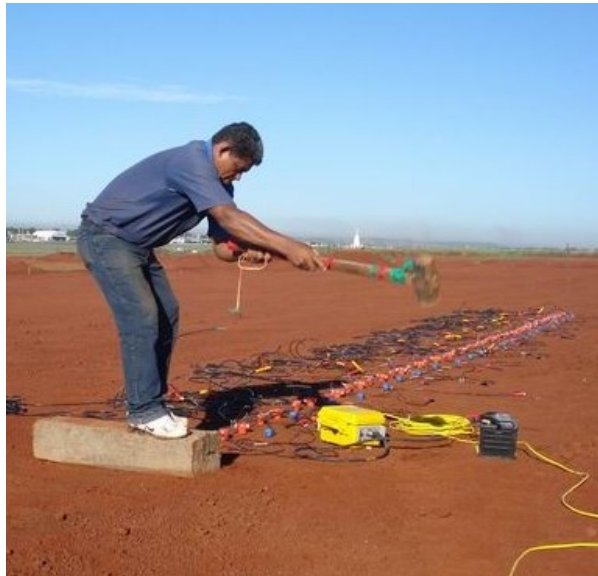


Refração com onda S

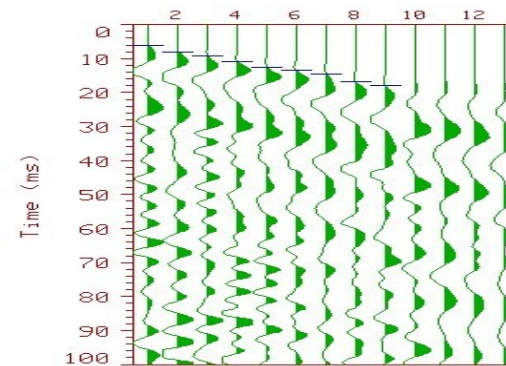
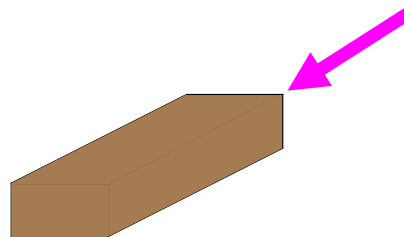
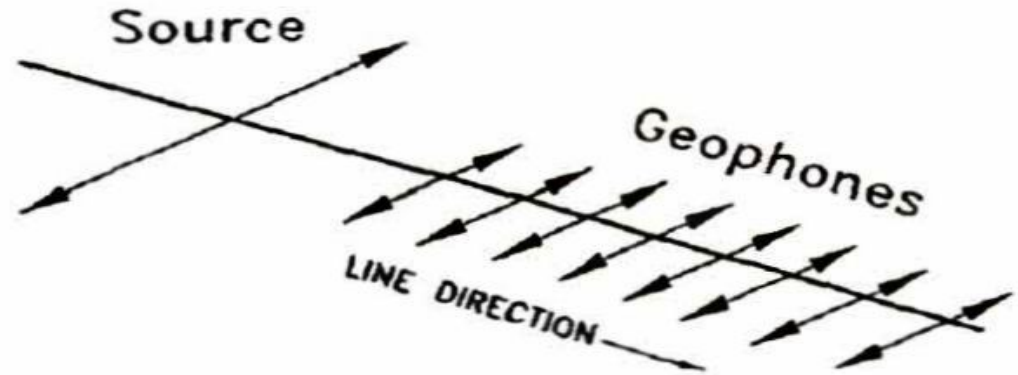
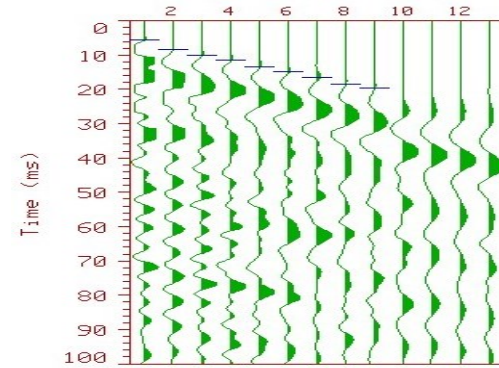
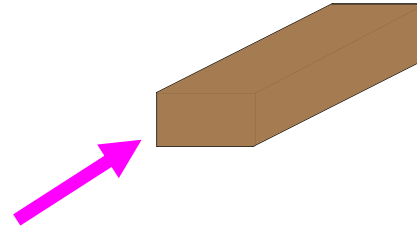


Geofones de componente horizontal

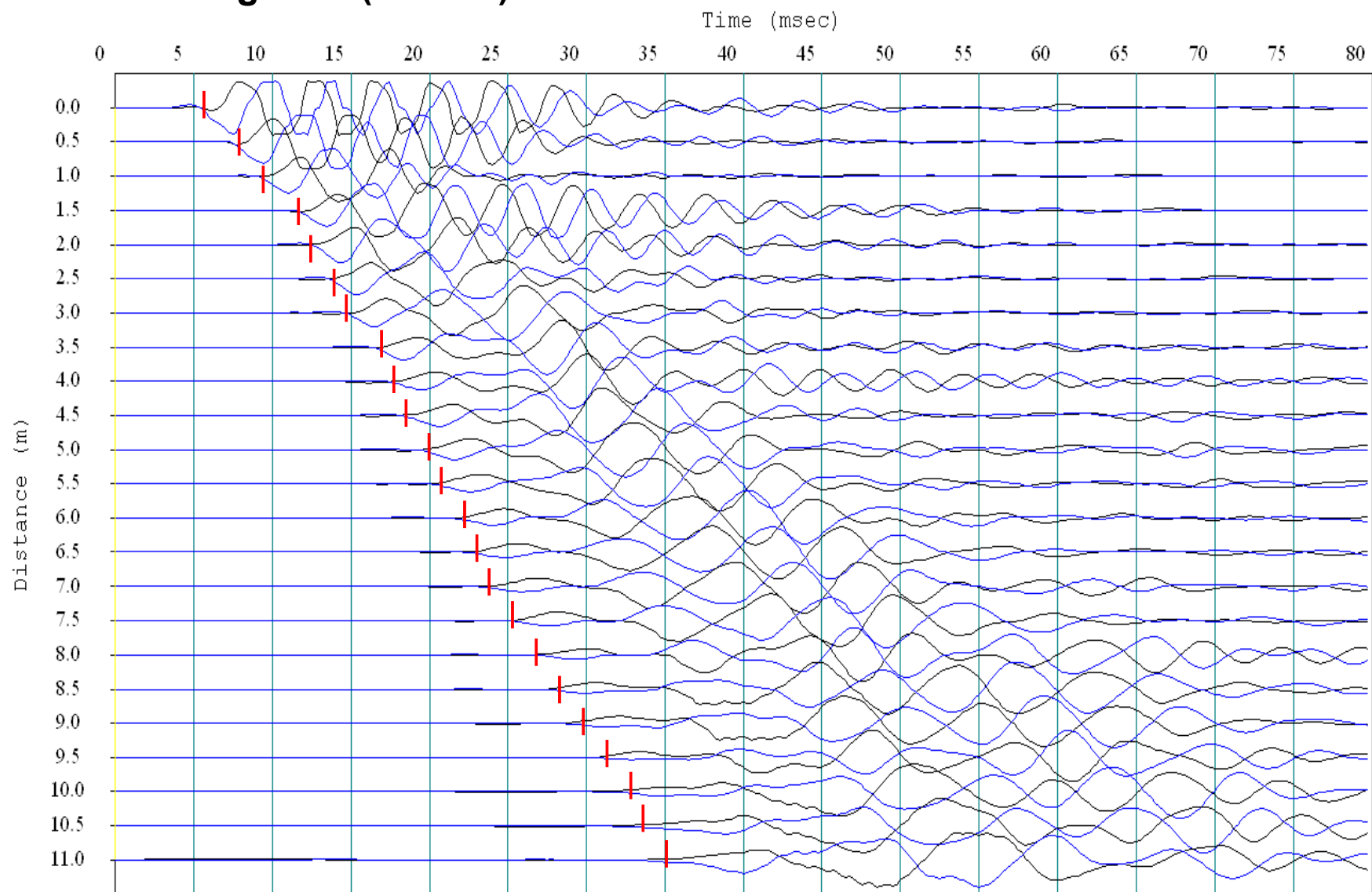
Refração com onda S



Inversão de polaridade

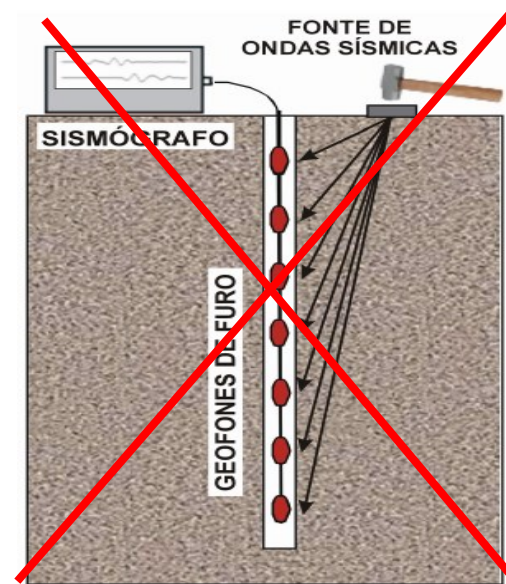
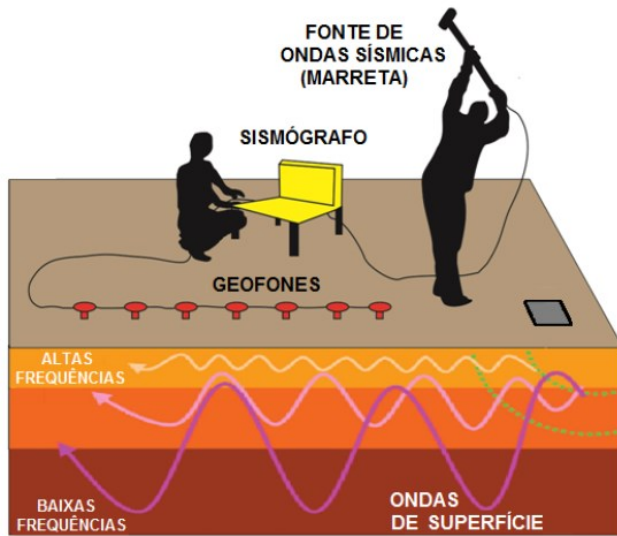


Sismograma (onda S)



MASW

I) É um ensaio realizado na superfície do terreno (não requer furo de sondagem, ao contrário dos ensaios *crosshole* e *downhole*)



II) **Determina V_s** a partir do registro das ondas de superfície (ondas Rayleigh - onda R)

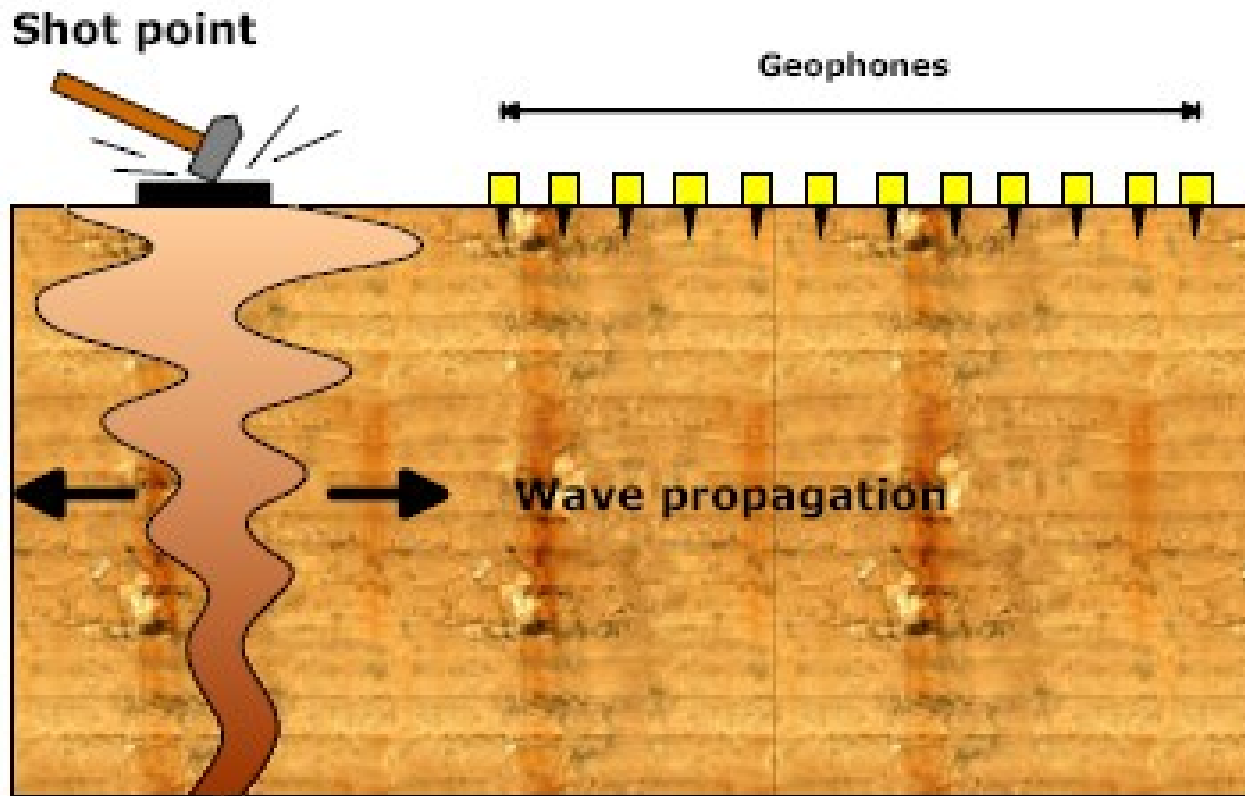
II) É possível realizar levantamentos em locais com presença de ruídos (situação que muitas vezes impossibilitam a execução de um ensaio de Sísmica de Refração, por exemplo)

MASW to Investigate Subsidence in the Tampa, Florida Area

Richard D. Miller
Jianghai Xia
Choon B. Park

Kansas Geological Survey
1930 Constant Avenue
Lawrence, Kansas 66047

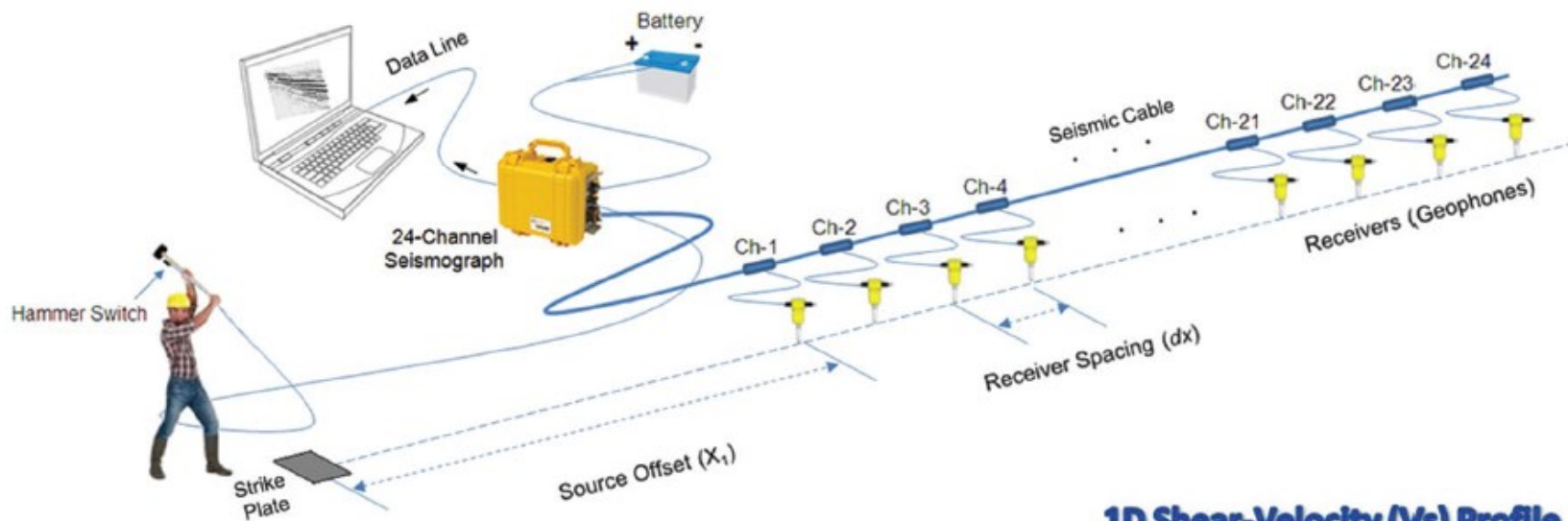




Profundidades de investigação (método MASW ativo):

→ usualmente entre 10 m e 30 m

(pode variar conforme às características do local e tipo de fonte utilizada)



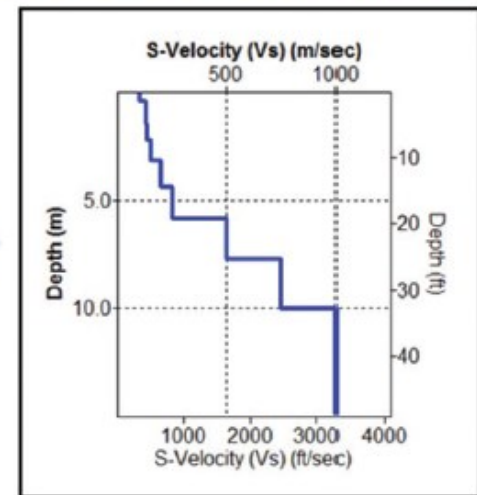
**Field
Data Acquisition**



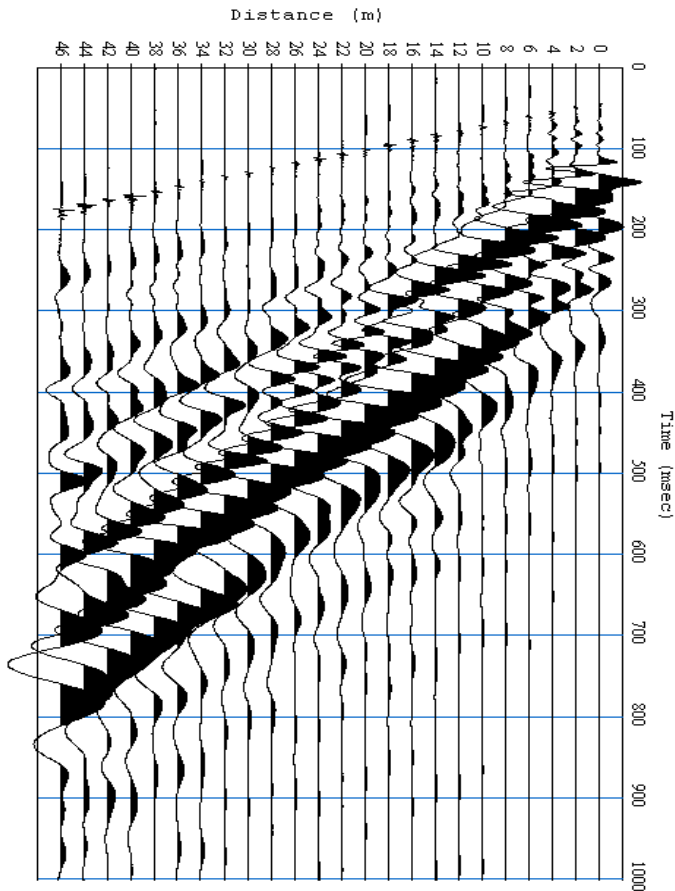
Data Analysis
(Dispersion + Inversion)



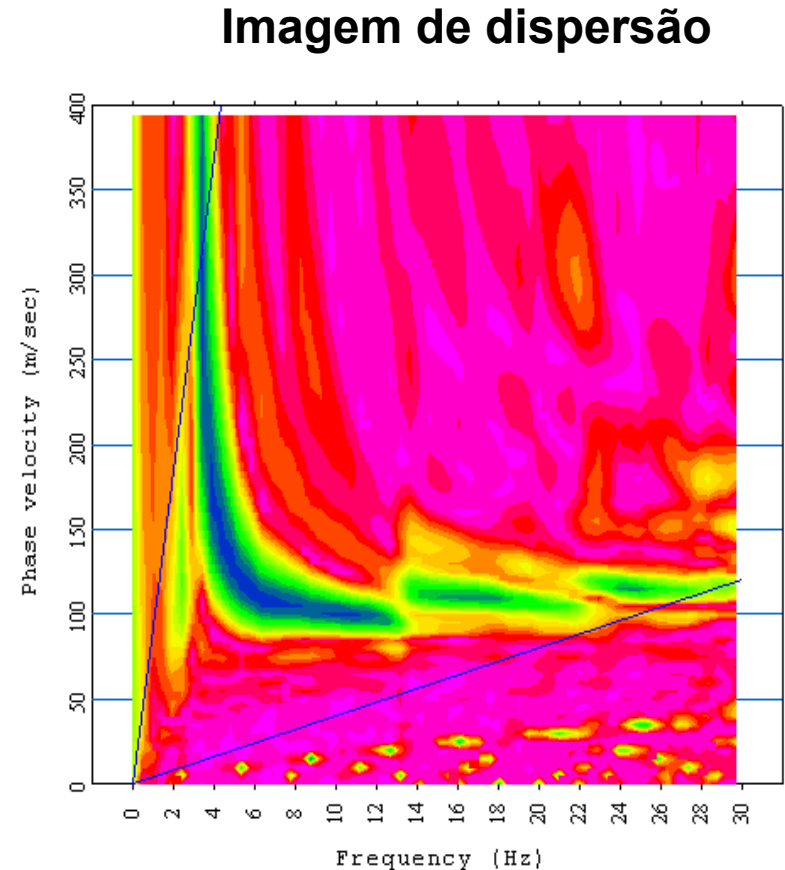
1D Shear-Velocity (V_s) Profile

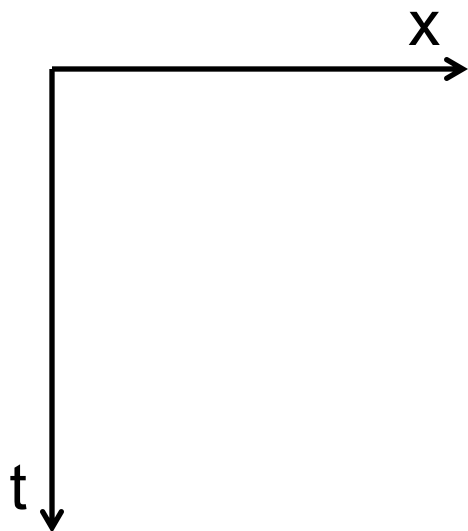


Do sismograma de campo, é gerada por processos matemáticos
(transformação de domínio “tempo x distância” para
“velocidade de fase x frequência”, aplicando FFT)
uma **imagem de dispersão**

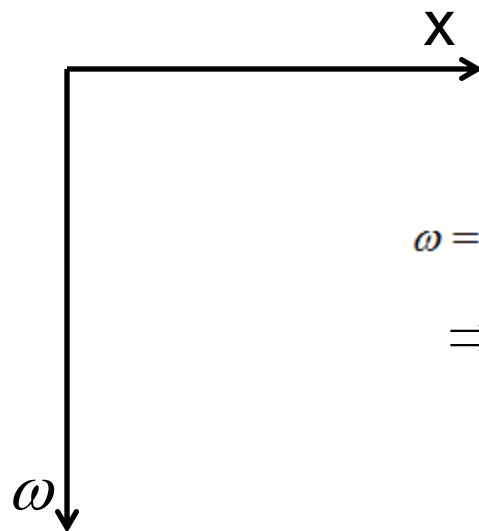


Sismograma

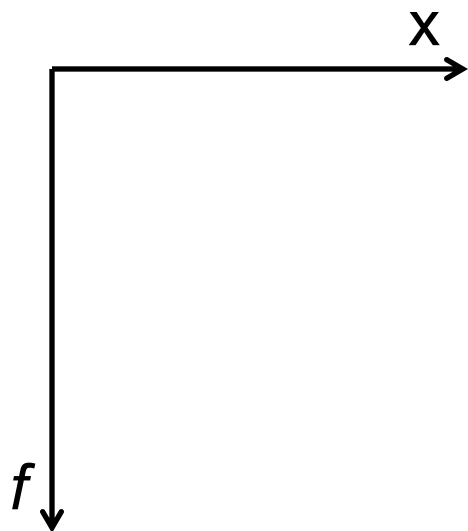
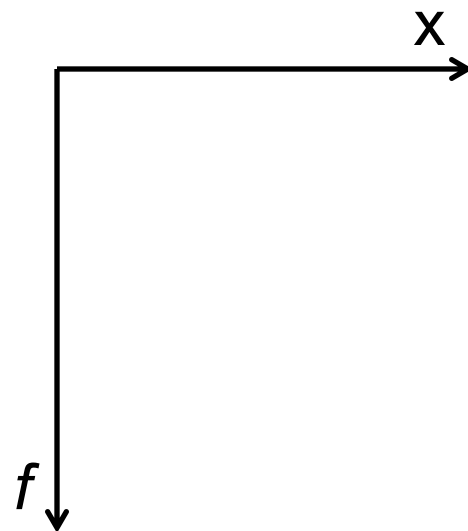




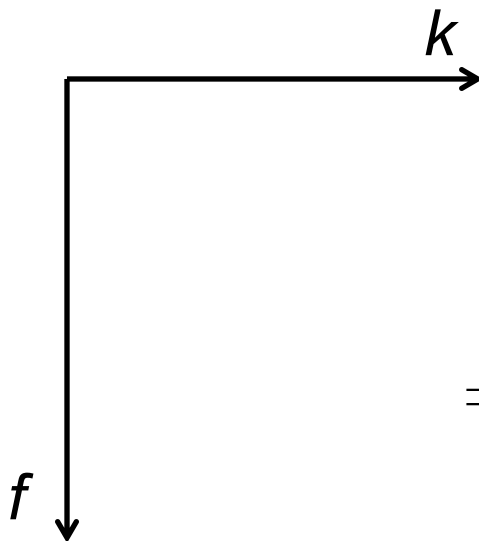
FFT



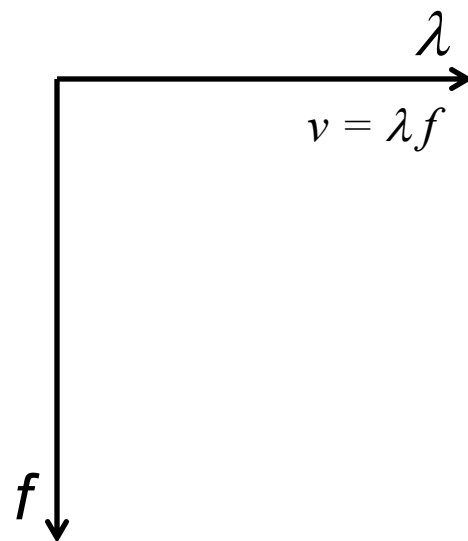
$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$
$$\Rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi}$$



FFT



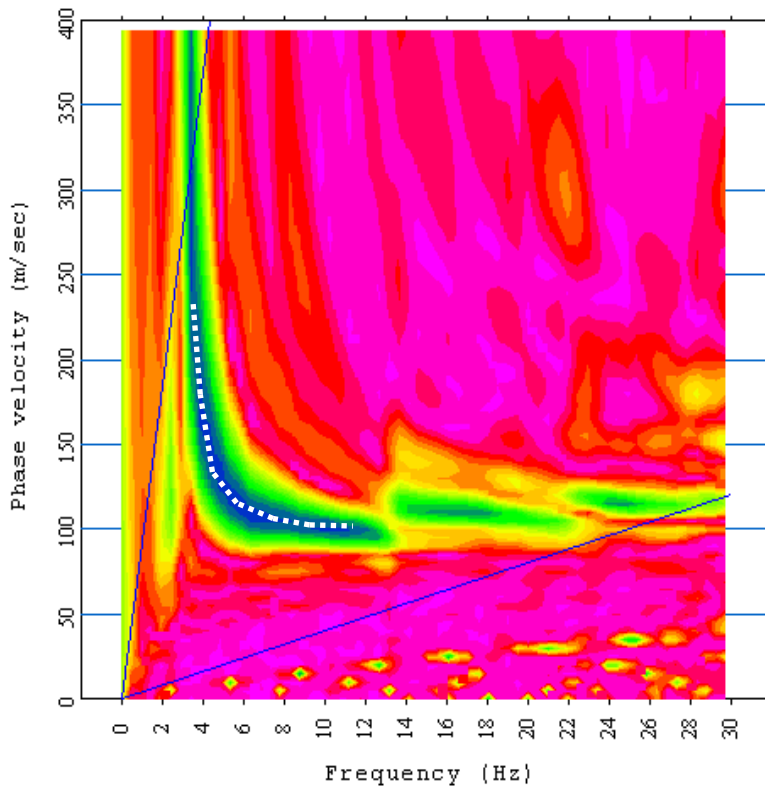
$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$
$$\Rightarrow \lambda = \frac{2\pi}{k}$$



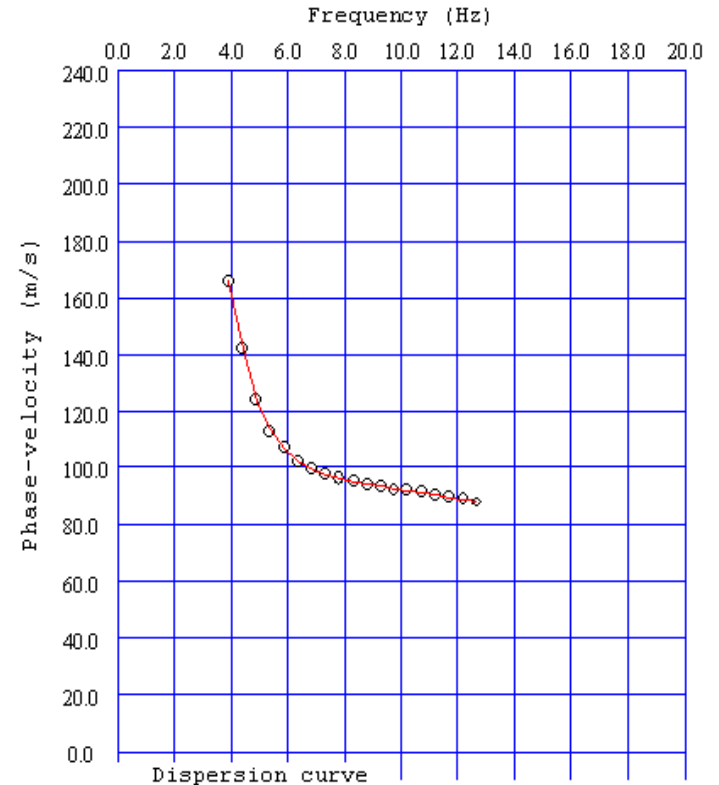
$$v = \lambda f$$

Da **imagem de dispersão** é extraída uma **curva de dispersão** a partir da seleção de pontos com os **máximos de amplitude** para cada frequência

Imagem de dispersão

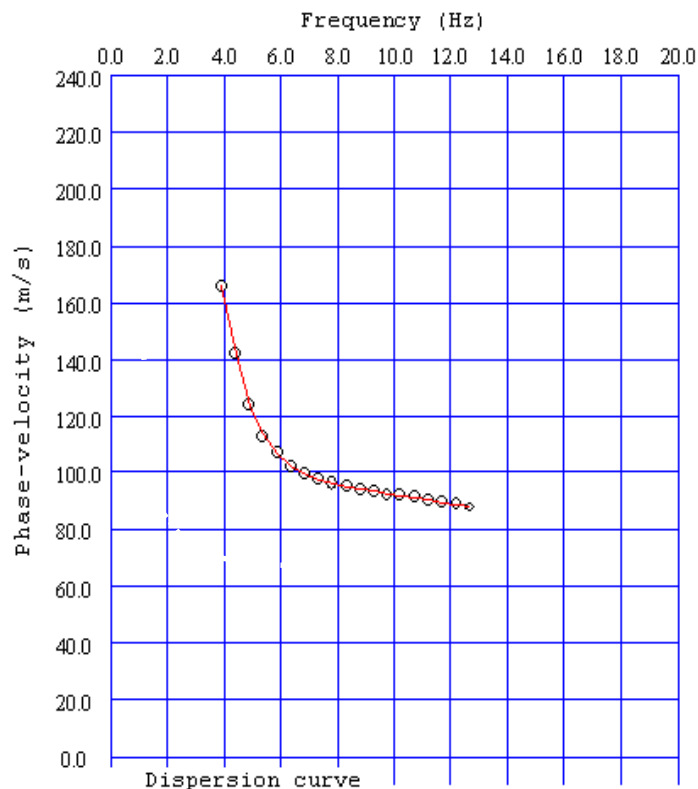


Curva de dispersão

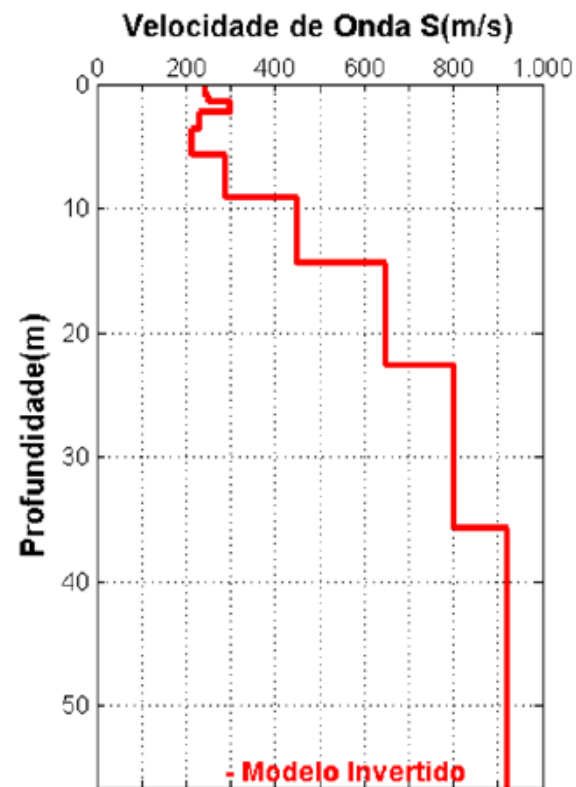


Processamento matemático obtém o perfil de VS versus a profundidade, a partir da inversão da **curva de dispersão**

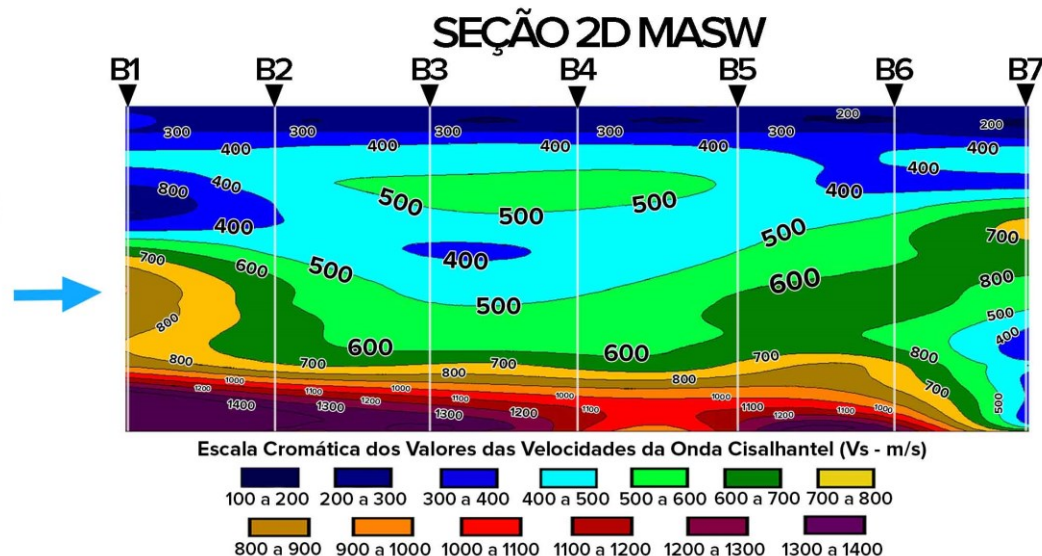
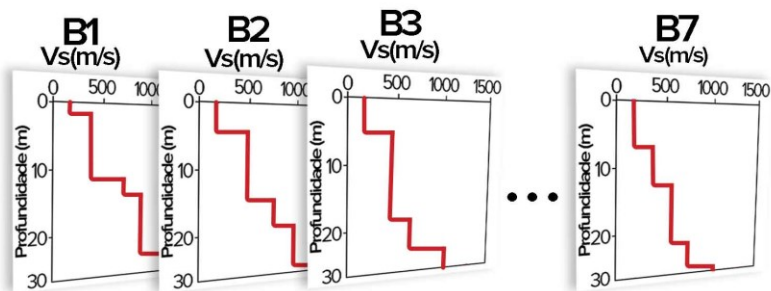
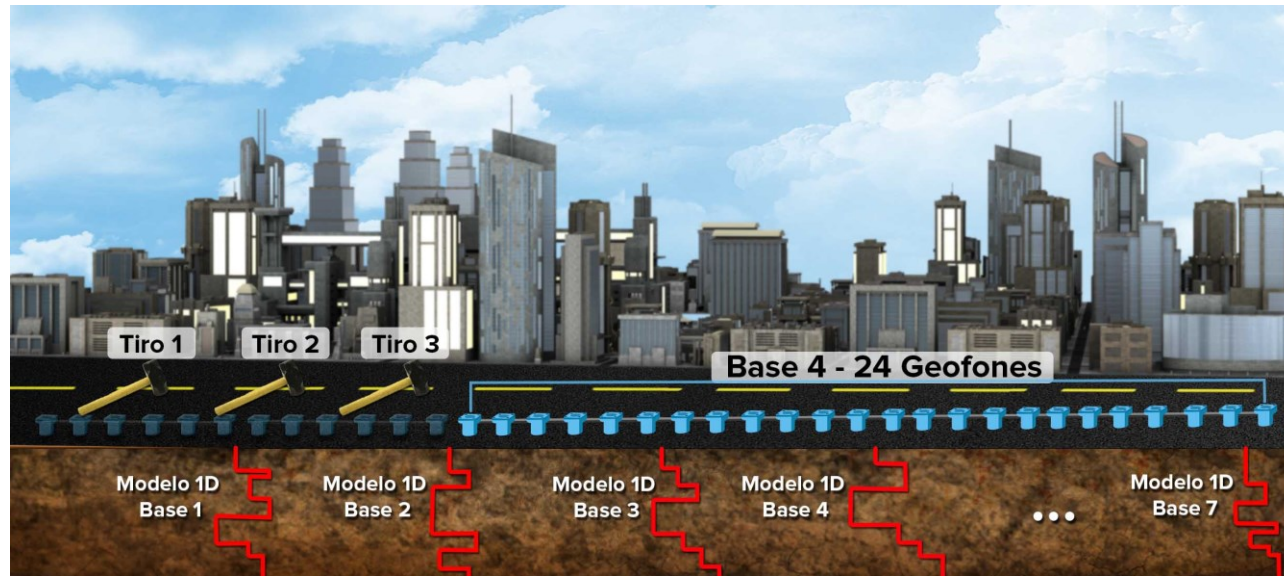
Curva de dispersão



Modelo VS x profundidade

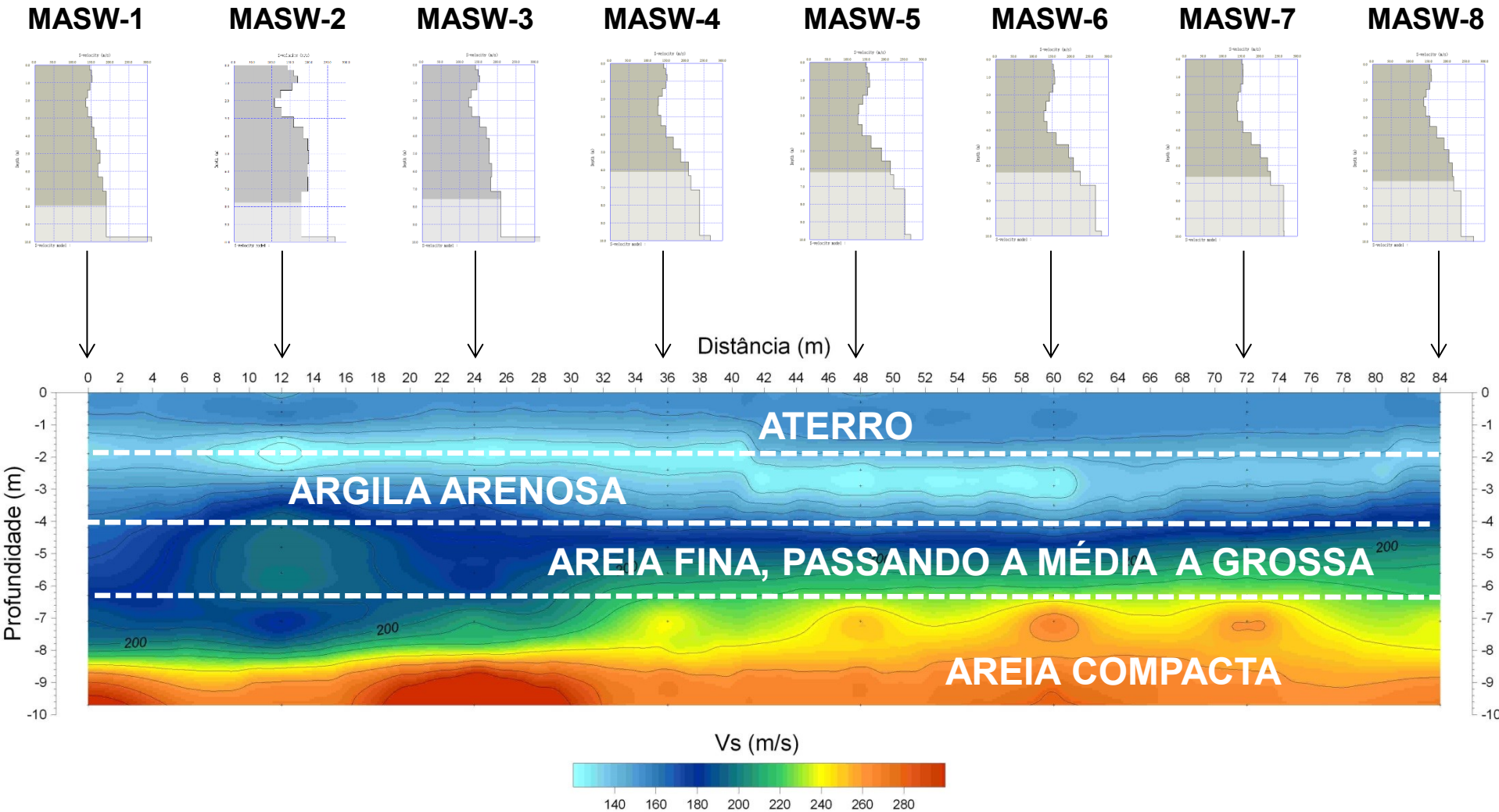


Composição das várias aquisições MASW 1D (B1 a B7) gera um perfil 2D



Fonte: Alta Resolução

8 levantamentos MASW 1D



Seção MASW 2D com a variação da velocidade da onda de cisalhamento (onda S) obtida por 8 ensaios de MASW 1D espaçados de 12 metros

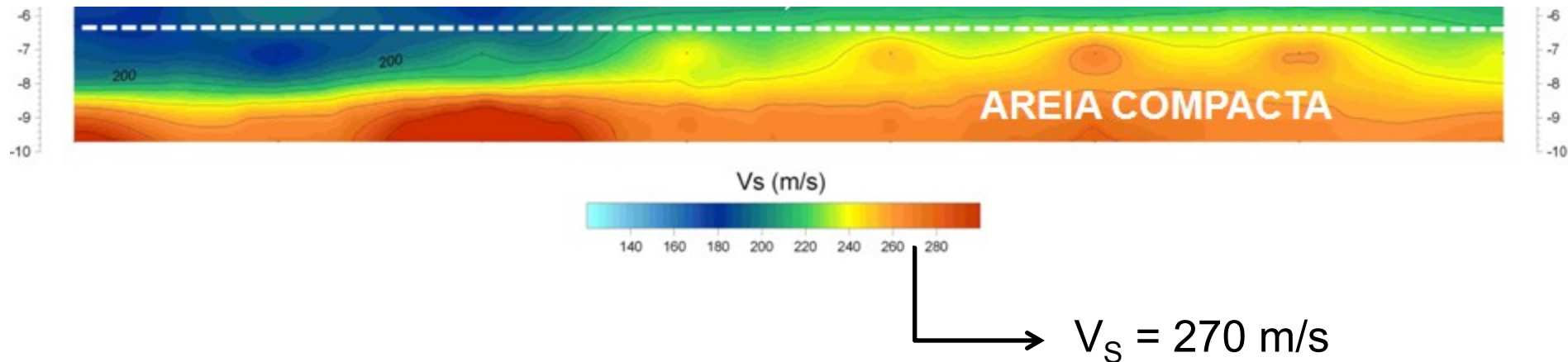


Tabela 2 - Correlações: $N(\text{SPT})$ e V_s (*adaptado de Hanumantharao & Ramana, 2008*).

Autor	Correlação	Solo	País
Shibata (1970) **	$V_s = 32.0N^{0.50}$	Areias	Japão
Ohta <i>et al</i> (1972)\$	$V_s = 87.0N^{0.36}$	Areias	Japão
JRA (1980) **	$V_s = 80.0N^{0.33}$	Areias	Japão
Seed <i>et al</i> (1983)	$V_s = 56.4N^{0.50}$	Areias	USA
Lee (1990)	$V_s = 57.0N^{0.49}$	Areias	USA

$$V_s = 32,0N^{0,50} \Rightarrow N_{\text{SPT}} = 71$$

$$V_s = 87,0N^{0,36} \Rightarrow N_{\text{SPT}} = 23$$

$$V_s = 89,0N^{0,33} \Rightarrow N_{\text{SPT}} = 40$$

$$V_s = 56,4N^{0,50} \Rightarrow N_{\text{SPT}} = 23$$

$$V_s = 57,0N^{0,49} \Rightarrow N_{\text{SPT}} = 24$$

Tabela 2.6 <i>Compacidade das areias em função do SPT</i>	Resistência à penetração (Número N do SPT)		Compacidade da areia
	0 a 4		muito fofa
	5 a 8		fofa
	9 a 18		compacidade média
	18 a 40		compacta
	acima de 40		muito compacta

Fonte: Carlos de Souza Pinto. Curso básico de mecânica dos solos. Oficina de Textos, 2000.

DEPÓSITO DE SOLO MOLE DE SARAPUÍ II, RIO DE JANEIRO - RJ



DEPÓSITO DE SOLO MOLE DE SARAPUÍ II, RIO DE JANEIRO - RJ

O depósito de Sarapuí é o mais antigo depósito de argila mole extensivamente estudado no Brasil

A área pertence à Marinha (Estação Rádio da Marinha no Rio de Janeiro)

A espessura do depósito é cerca de 6 m

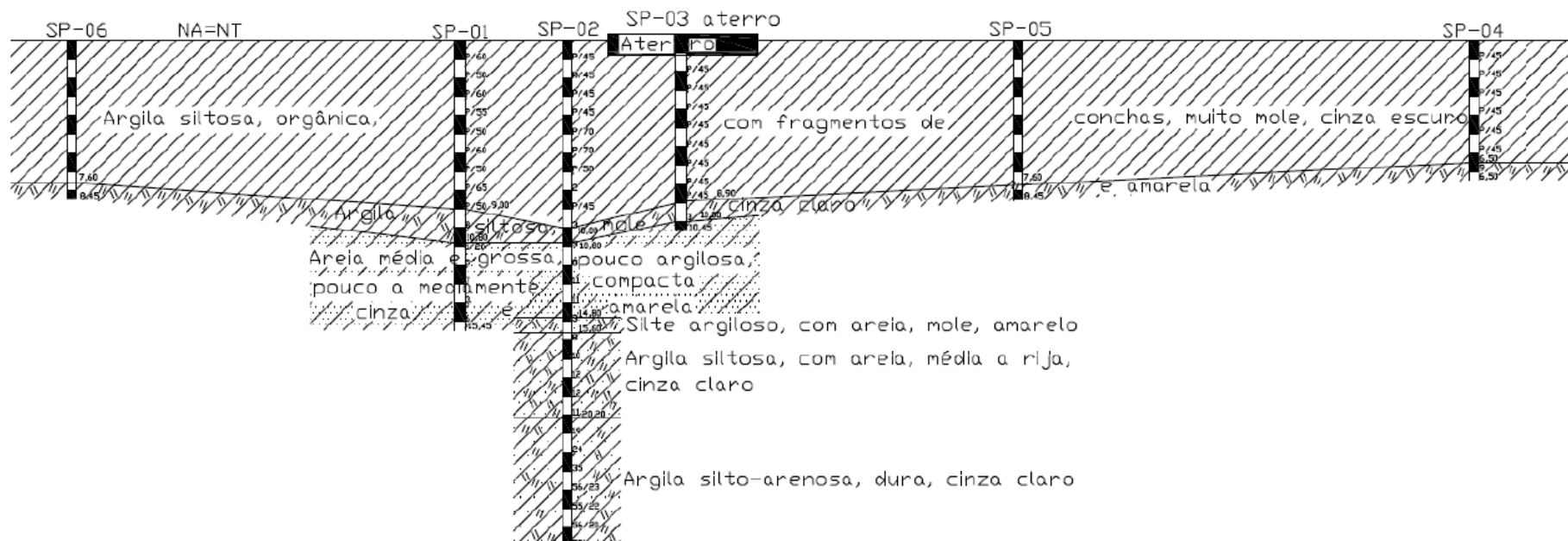
A argila do Sarapuí é mais homogênea do que outras argilas existentes no Rio de Janeiro

Diversos ensaios de campo foram desenvolvidos na área graças a um projeto PETROBRÁS/CENPES e a COPPE/UFRJ



Ensaios realizados:

- ✓ Sondagens à percussão (SP)
- ✓ Piezocone (CPTu)
- ✓ Palheta





JANEIRO / 2019

4. RELATÓRIOS MENSAIS

	SECRETARIA MUNICIPAL DE INFRAESTRUTURA, HABITAÇÃO E CONSERVAÇÃO FUNDAÇÃO GEO-RIO Relatório do Mês de Janeiro - 2019		
Média Histórica* (fonte INMET 1981-2010):		Janeiro →	181,8 mm
Média de 2019 (fonte GEO-RIO):			54,7 mm
Média de 2018 (fonte GEO-RIO):			236,7 mm

DEPÓSITO DE SOLO MOLE DE SARAPUÍ II, RIO DE JANEIRO - RJ



2ª feira, 4 / 2 / 2019

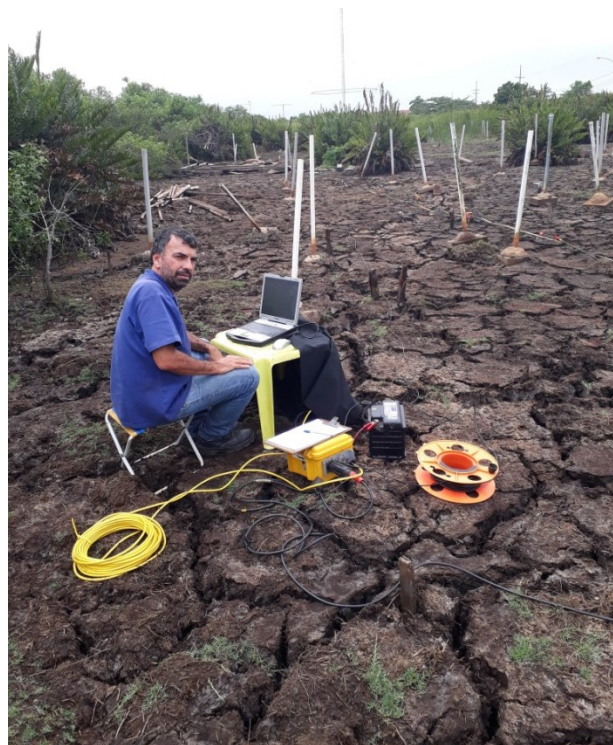
3ª feira, 5 / 2 / 2019





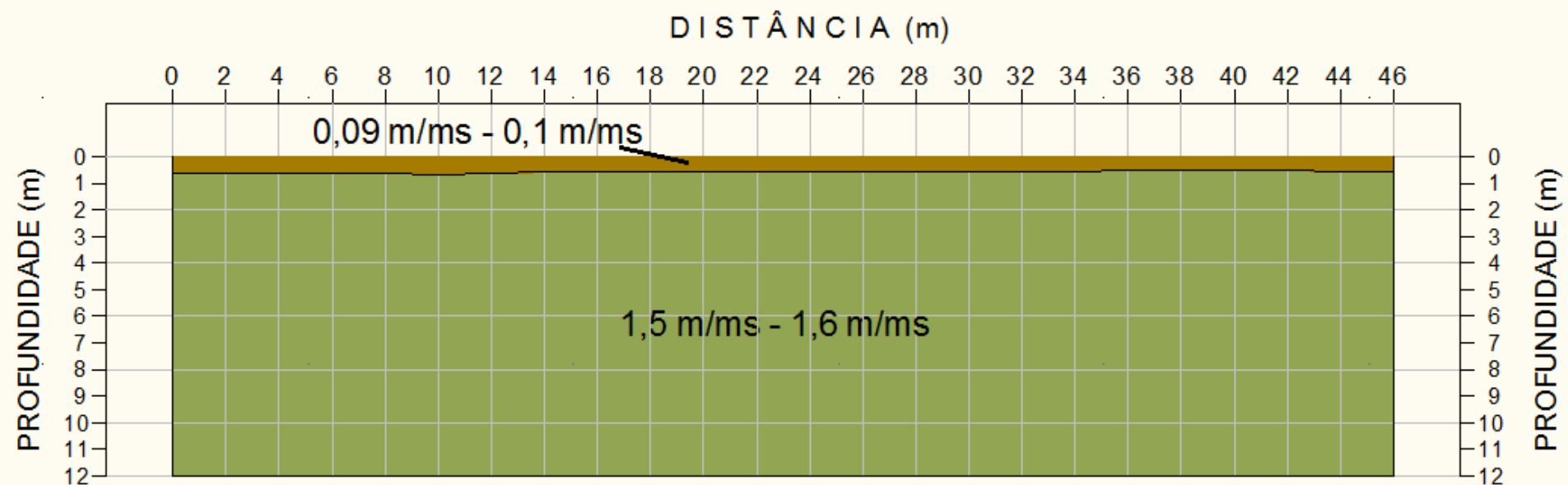
**Ensaio
Sísmicos**

- ✓ Refração (onda P)
- ✓ Refração (onda S)
- ✓ MASW

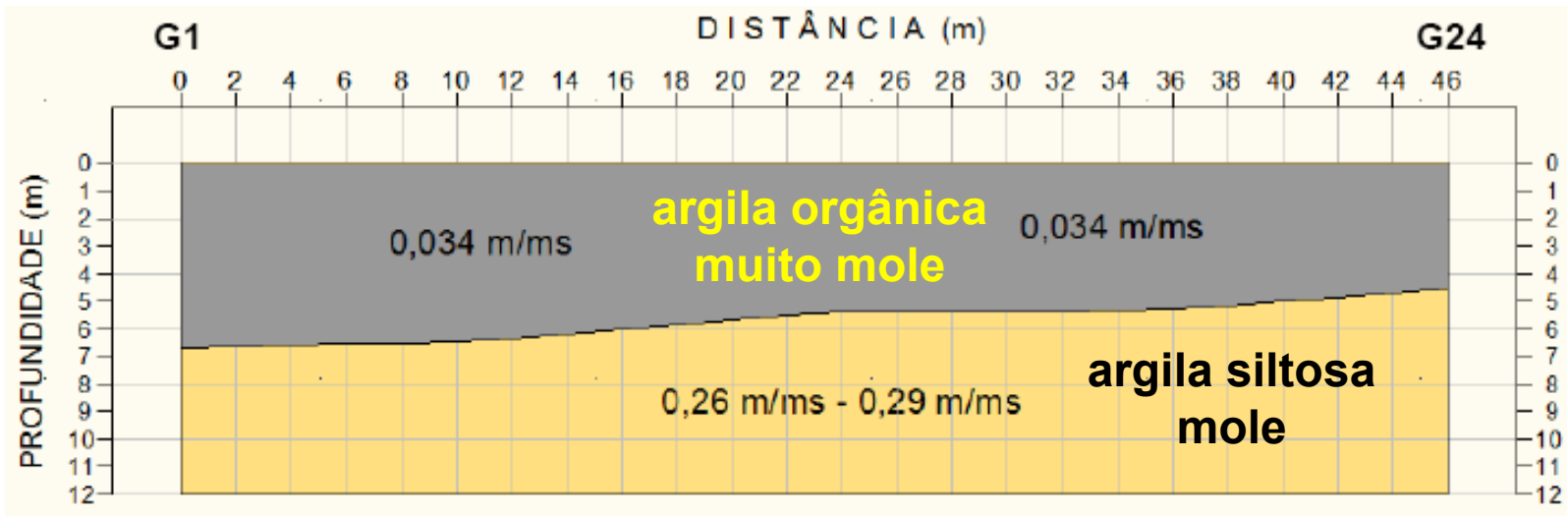
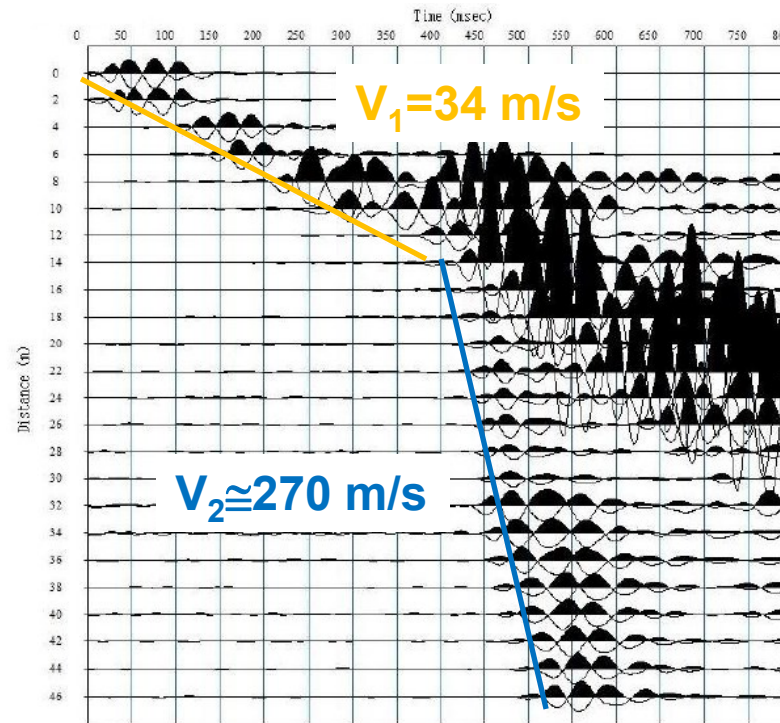


Resultado do ensaio de Refração (onda P)

Seção Sísmica - Linha 1 - Refração com onda P

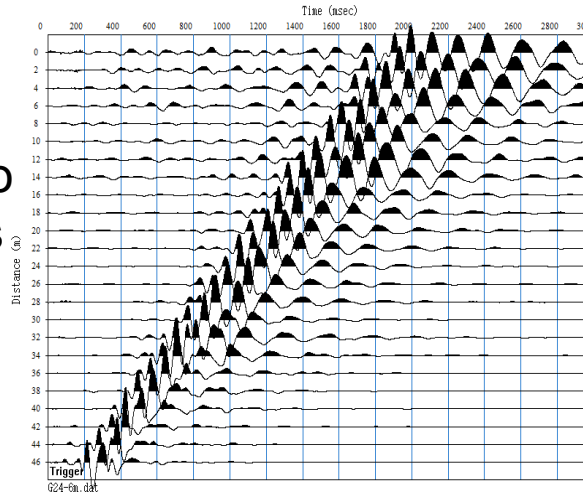


Sísmica de Refração (onda S)



MASW

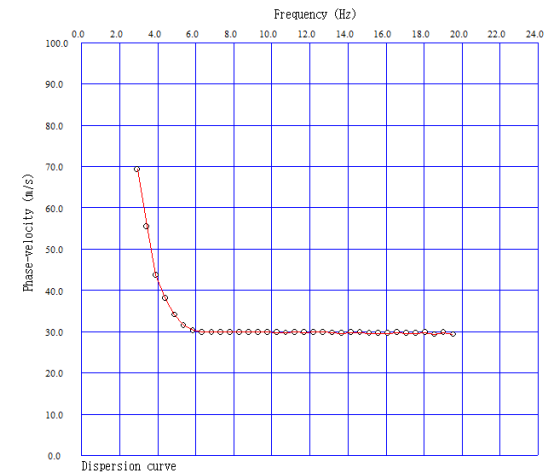
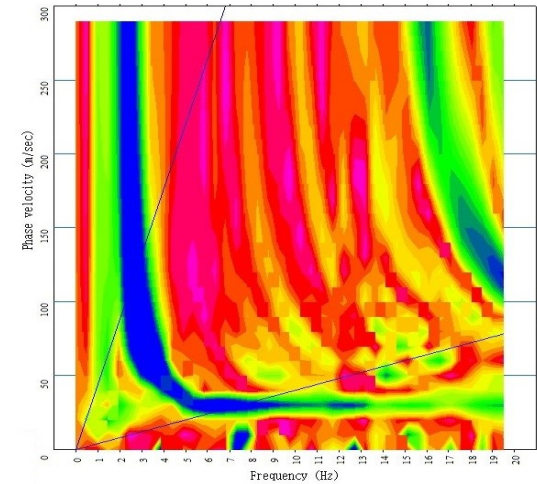
Sismograma com o registro das ondas de superfície (ondas Rayleigh)



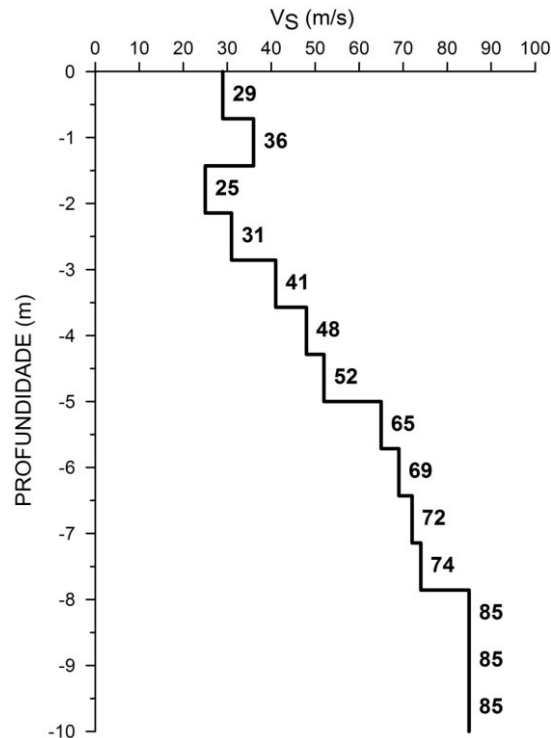
Dupla FFT



Imagem de dispersão



Curva de dispersão extraída da imagem

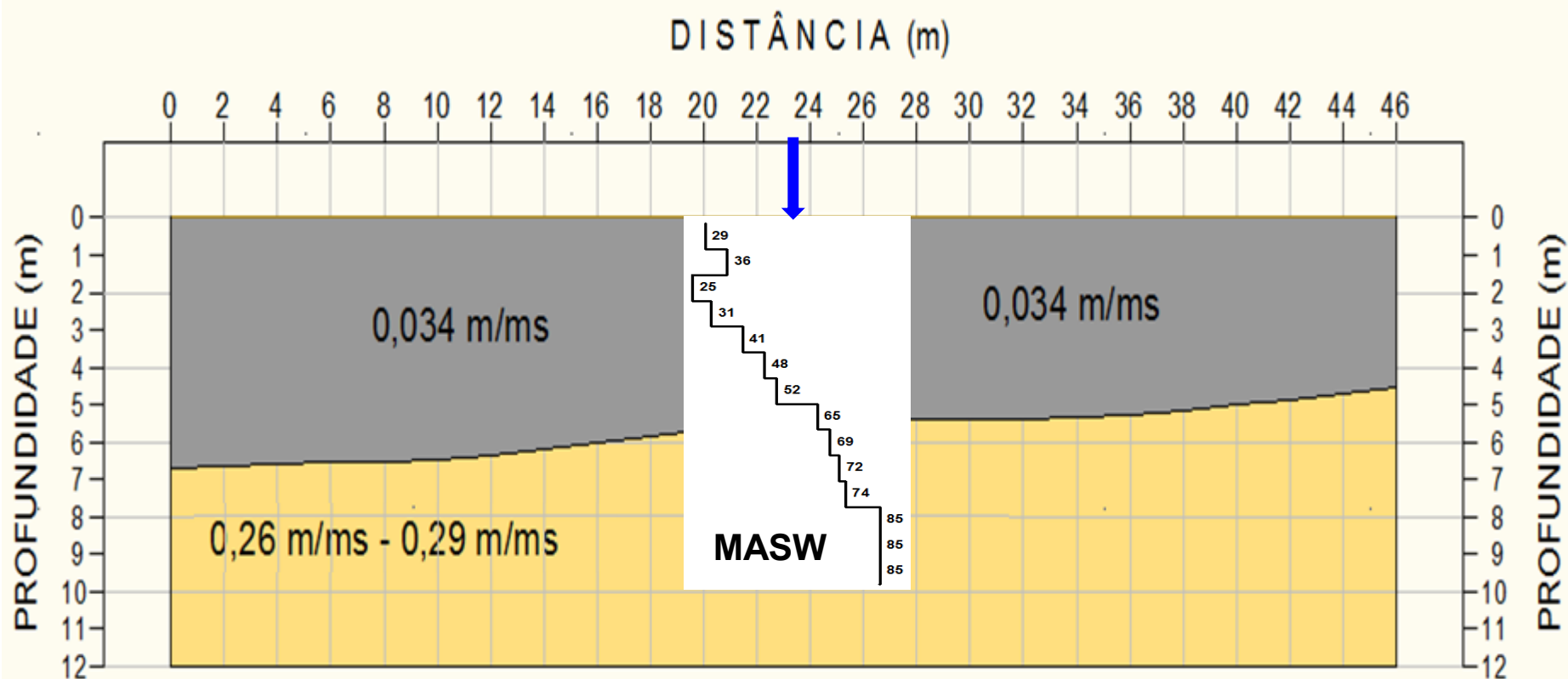


Perfil 1D (V_s x profundidade) obtido por processo de inversão

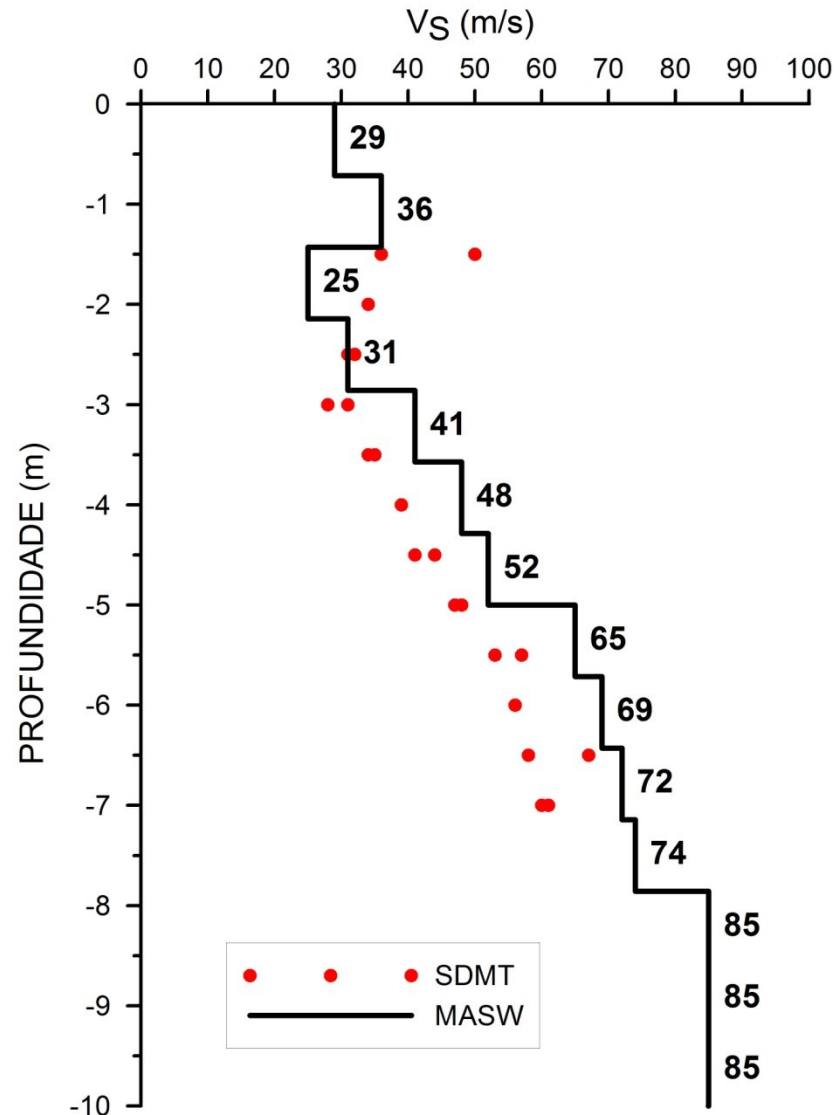


Comparação dos resultados de Refração com onda S e MASW

Seção Sísmica - Linha 1 - Refração com onda S



DEPÓSITO DE SOLO MOLE DE SARAPUÍ II, RIO DE JANEIRO - RJ





MASW Control of Grouting

Alessandro Cirone and Roger Rodrigues, Engegraut Ltda, and Choon Park, Park Seismic LLC*

Author Bio



Choon Park, Ph.D.

Park Seismic LLC,

Founder/Principal Geophysicist

Shelton, Connecticut, USA

choon@parkseismic.com

Dr. Choon Park is lead author of the MASW technique published in GEOPHYSICS in 1999 while he was working at the Kansas Geological Survey (KGS).

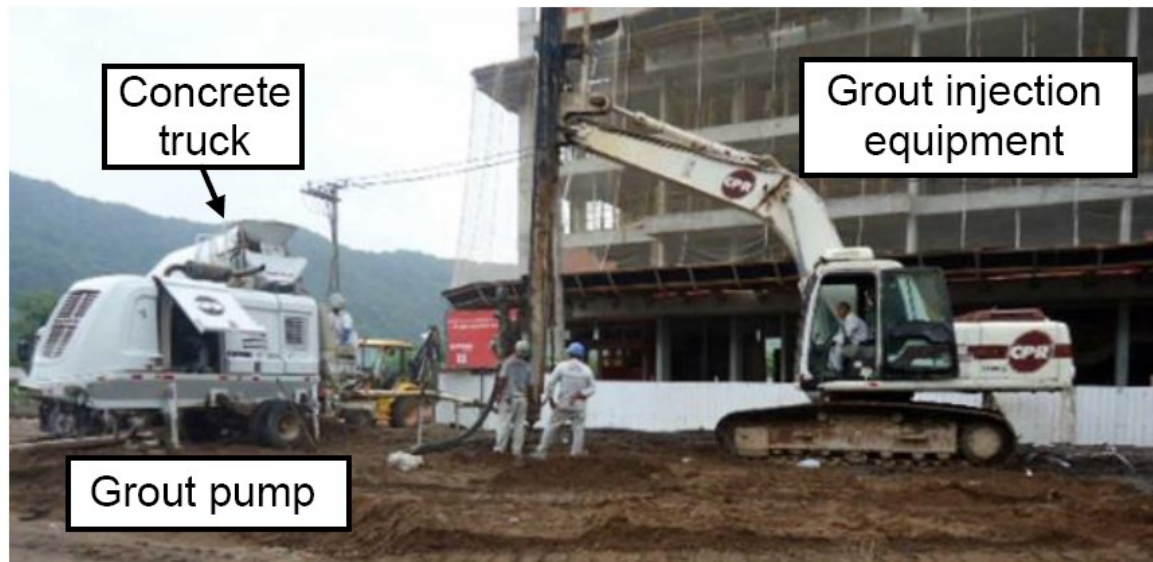


Figure 2. Grouting work in progress at Pontal Oceânico.

Local: área da Vila Olímpica nas obras para as Olimpíadas de 2016 no Rio de Janeiro-RJ

MASW Control of Grouting

Alessandro Cirone and Roger Rodrigues, Engegraut Ltda, and Choon Park, Park Seismic LLC*

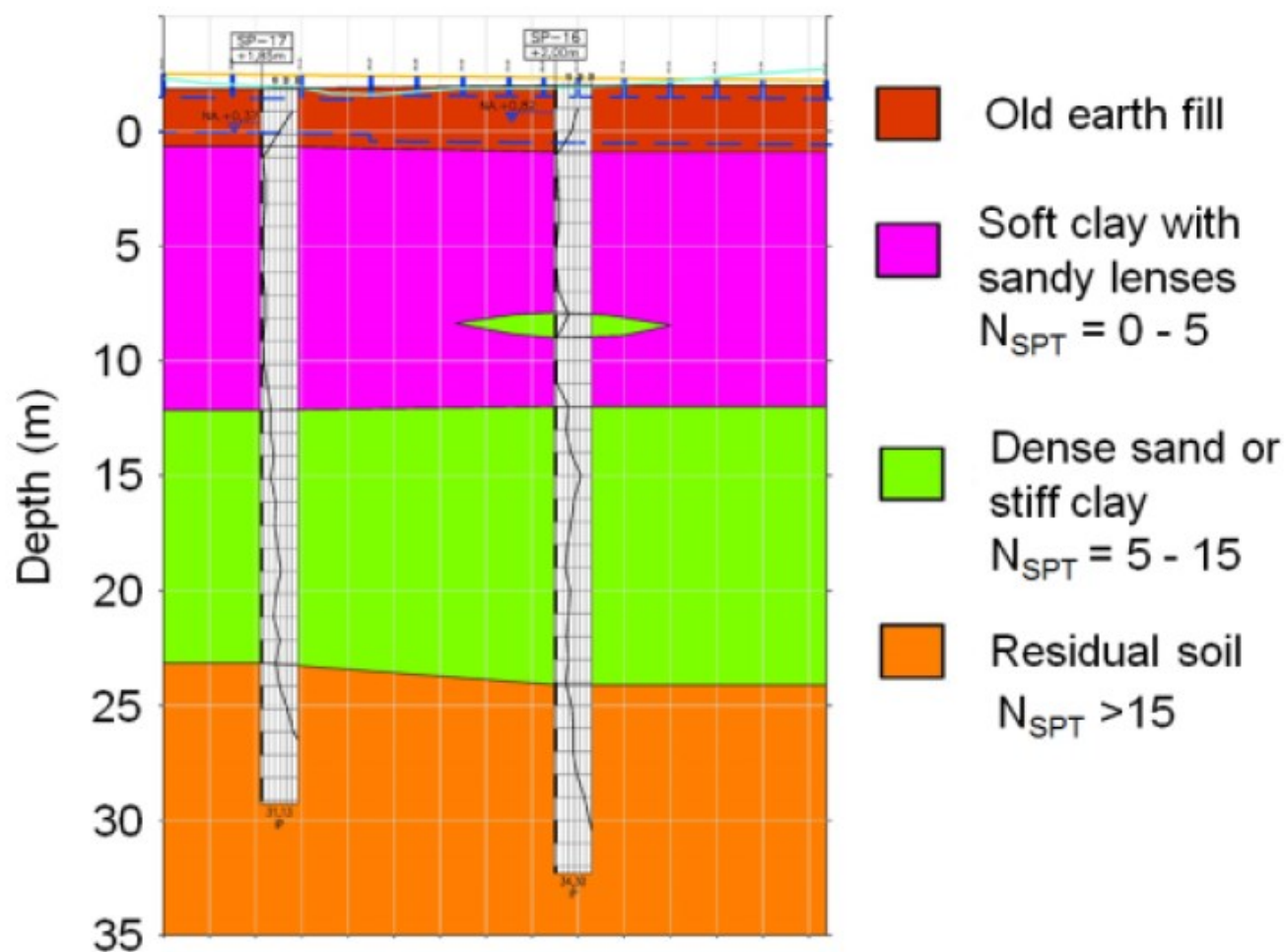


Figure 1. Generalized subsurface profile.

MASW Control of Grouting

Alessandro Cirone and Roger Rodrigues, Engegraut Ltda, and Choon Park, Park Seismic LLC*



NÃO TRATADO Linha 1

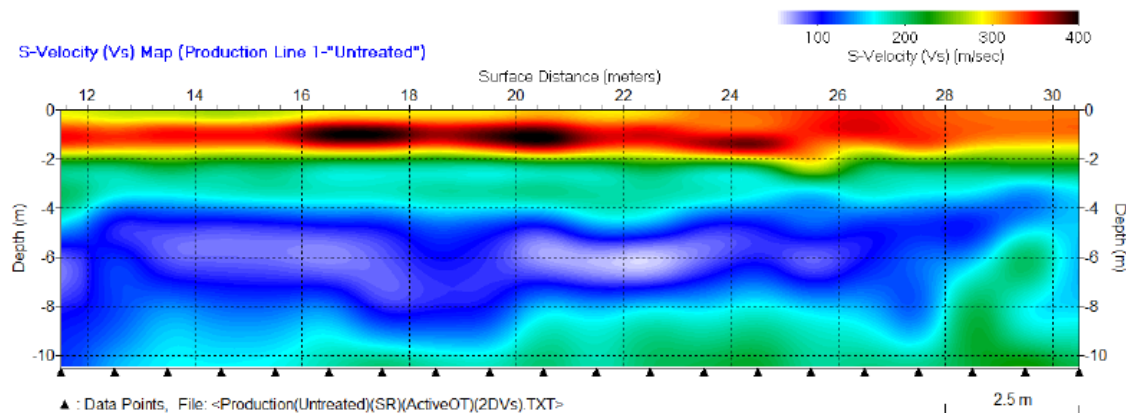


Figure 3. Velocity (Vs) map at Production Line 1 – untreated soil site.

TRATADO Linha 3

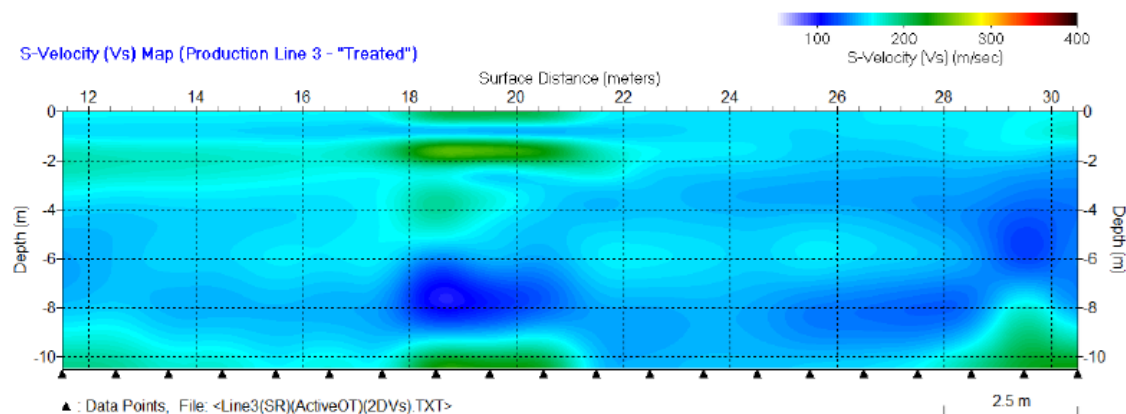


Figure 4. Velocity (Vs) map at Production Line 3 – improved (grouted) soil site.

DIFERENÇA Linha 3 - Linha 1

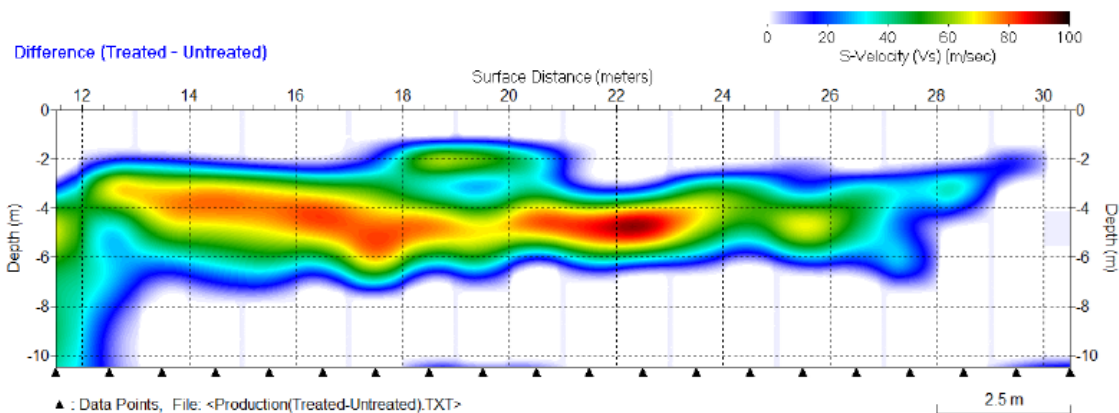


Figure 5. Velocity (Vs) difference map obtained by subtracting Line 1 from Line 3. A depth offset was applied to compensate difference in surface level between the two sites.

- 1) Ondas sísmicas (onda P, onda S e onda R) e equipamentos
- 2) Ensaaios sísmicos para determinar a velocidade da onda S (V_s)
- 3) Ensaaios para determinar a profundidade de uma fundação

Os ensaios para determinar a profundidade de uma fundação que tem fornecido os melhores resultados são:

- a) Ensaio paralelo sísmico
- b) Perfilagem magnética

⇒ A utilização conjunta destes dois métodos é altamente recomendável

Ensaio Paralelo Sísmico



Near-Surface Geophysics

um subgrupo de **American Geophysical Union (AGU)**

[Debates](#)[Integrantes](#)[Promoções](#)[Pesquisar](#)[Mais...](#)

[Seguir Matteo](#)

Hi all, do you have any advice on the detection of foundation pile depths, using some geophysical surface technic (no borehole)?

4 dias atrás

[Gostei](#)[Comentar](#)[Seguir](#)[Marcar](#)[Mais](#)

[Seguir Ernst](#)

Ernst Niederleithinger • @Mark: Parallel Seismics is one of my favorites. Made my ph. d. by improving it a bit, mainly developing a more accurate interpretation method. But it requires a borehole, Matteo doesn't want to you. @Matteo you might want to reconsider this.

@Fikos: Never seen a convincing, successful application of resistivity for pile length. Seriously doubt that there will be one (think of the geometry).



Ernst Niederleithinger
added an **update**

1h ago

Parallel Seismics at work

It is nice to see, that one of my favorite tools is successfully applied on many continents:

[Article](#) [The parallel seismic method for foundation depth evaluation:...](#)

[Comment](#) [Recommend](#)

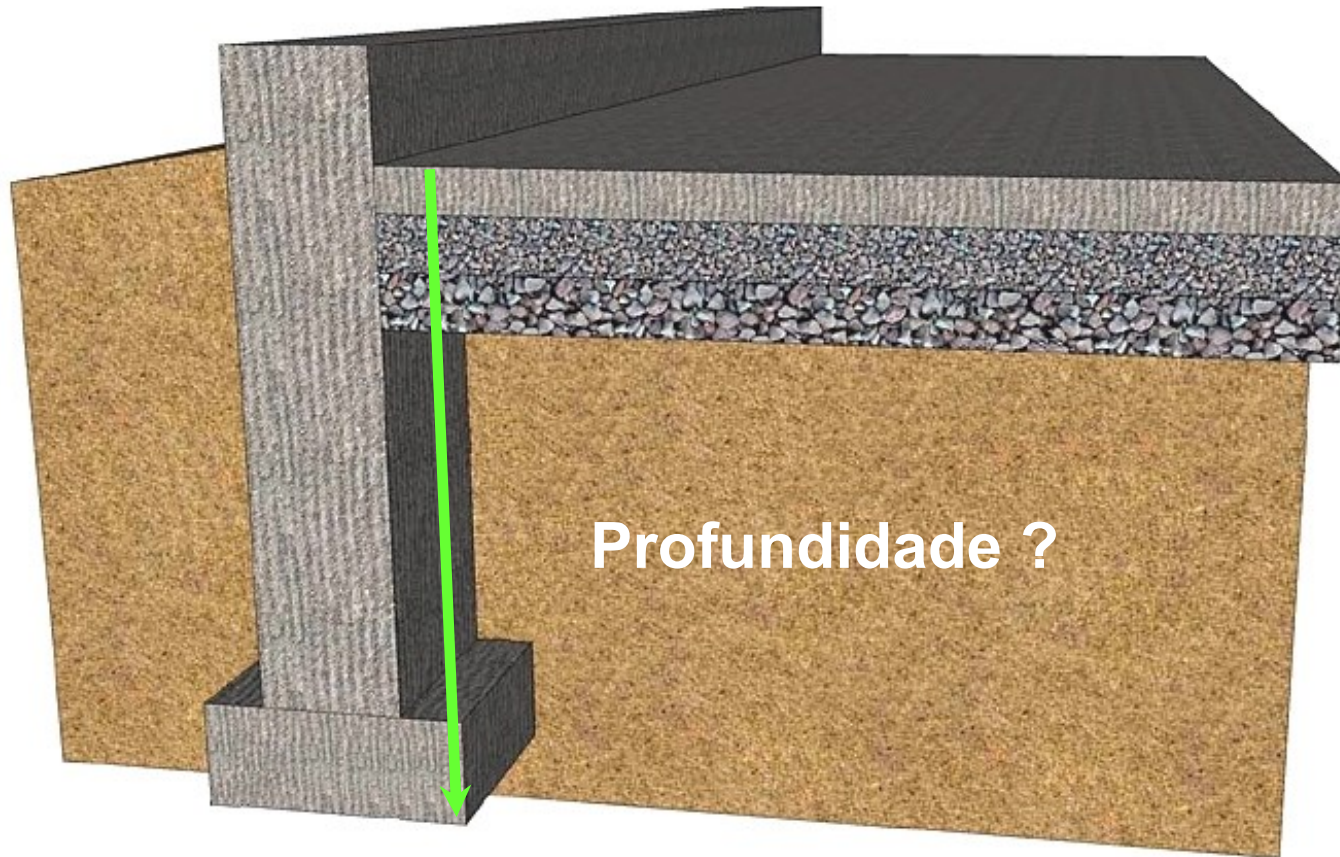
3 Reads



Otavio Coaracy Brasil Gandolfo
il 5.16 · Instituto de Pesquisas Tecnológicas

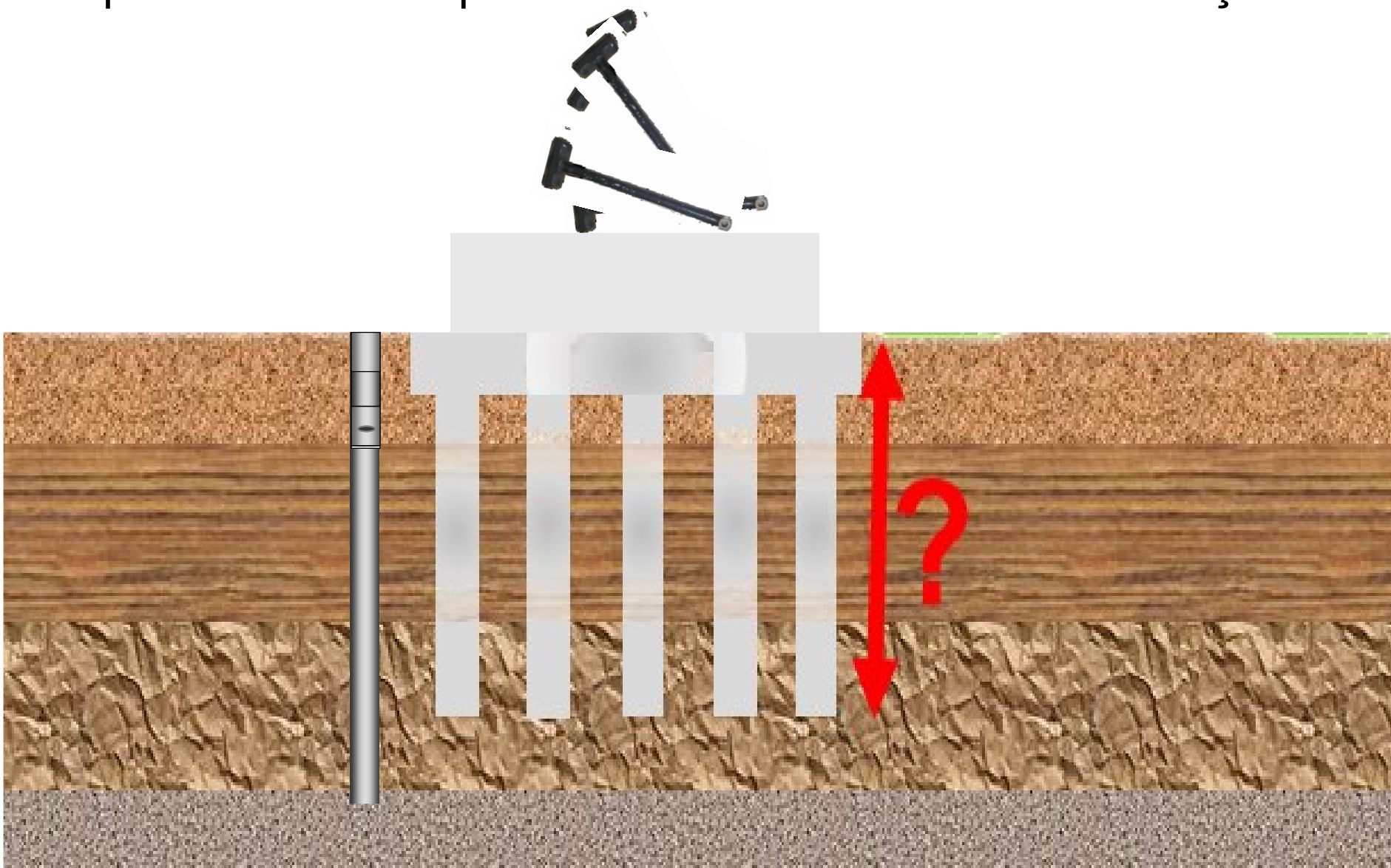
Add a comment (type @ to mention people)

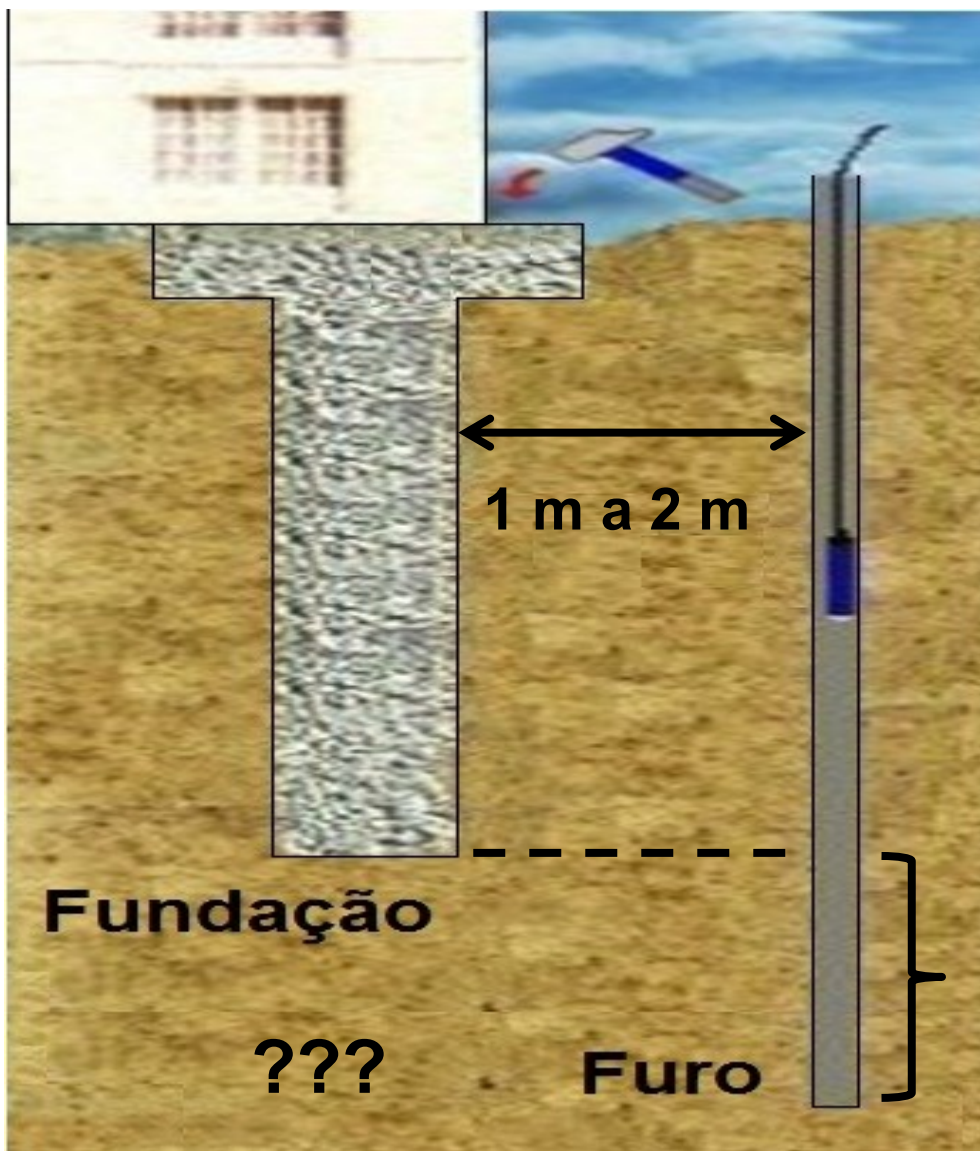
O ensaio **paralelo sísmico**, tradução do inglês ***parallel seismic test***, foi concebido na França e tem por objetivo determinar a profundidade desconhecida de uma fundação



No Brasil, passou a ser utilizado a partir de 2014 pelo IPT, com um grande apoio da empresa American Tower do Brasil

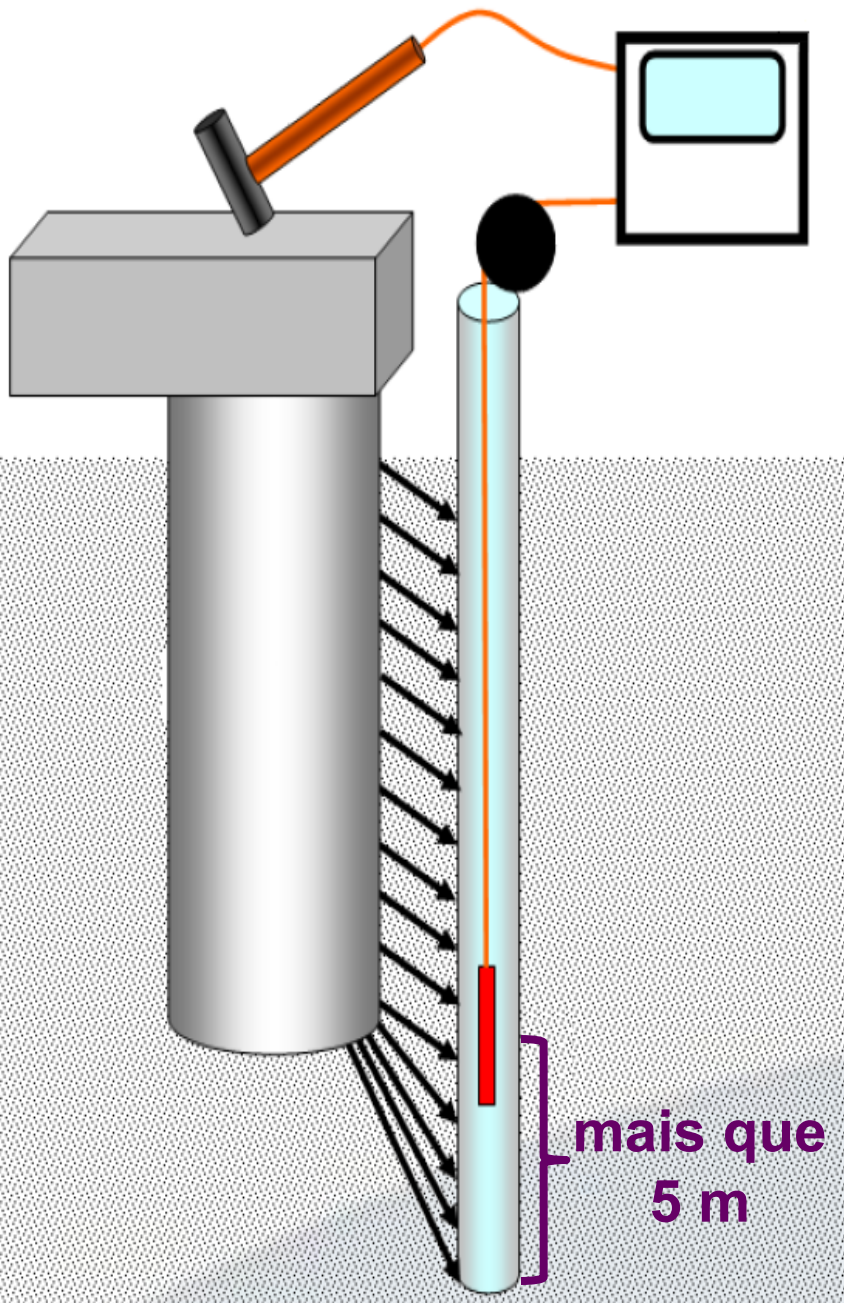
Para a execução do ensaio é necessário um furo de sondagem posicionado nas proximidades do elemento de fundação





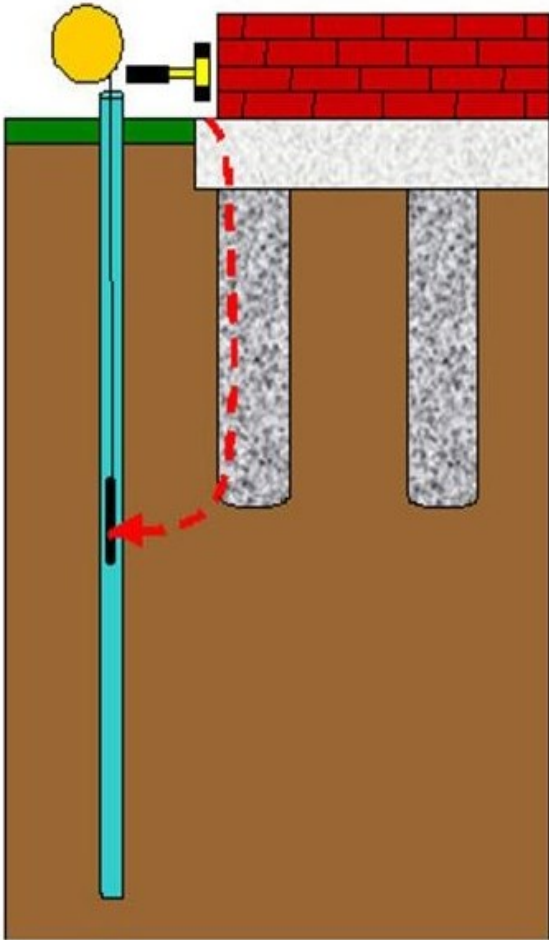
O furo deverá estar posicionado em torno de 1 m a 2 m do elemento de fundação e ter uma profundidade de pelo menos 5 m maior do que a profundidade máxima estimada para a fundação

mais que 5 m



O furo deve exceder em profundidade, pelo menos 5 metros além da profundidade máxima esperada para a estaca da fundação

Uma vantagem do ensaio paralelo sísmico é que ele pode ser utilizado mesmo quando não houver acesso diretamente ao topo da estaca de fundação



INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA PARA EXECUÇÃO DO ENSAIO



Sismógrafo (com a menos 3 canais)



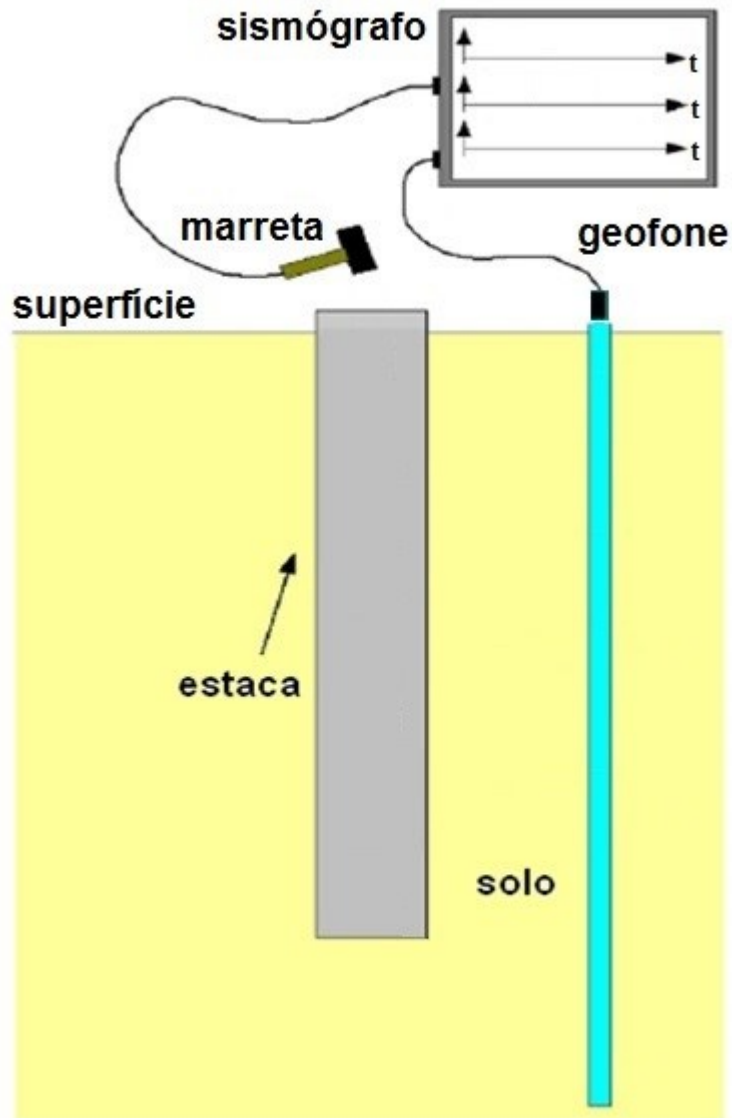
Marreta instrumentada
(munida de um “*trigger*”)



Geofone de furo
(com 3 sensores
ortogonais entre si)

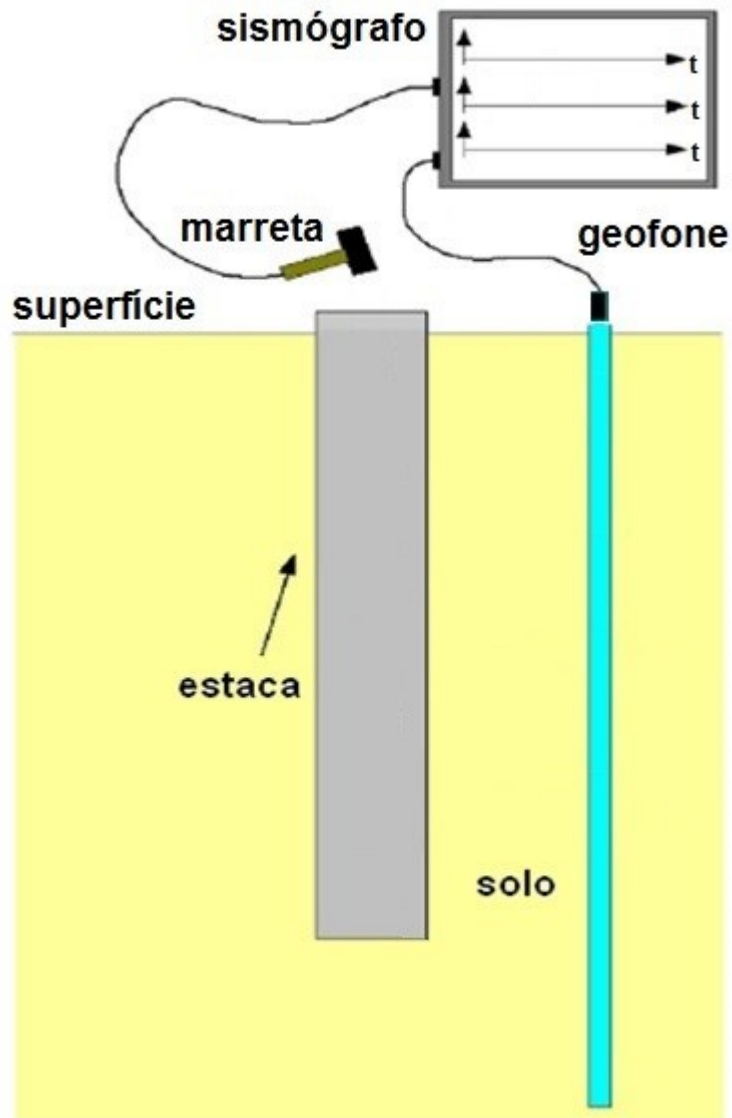


ENSAIO PARALELO SÍSMICO



Uma onda do tipo de compressão (onda P) é gerada pelo impacto de uma pequena marreta batendo contra alguma parte exposta da estrutura conectada à fundação (ou na cabeça da estaca, se ela estiver acessível)

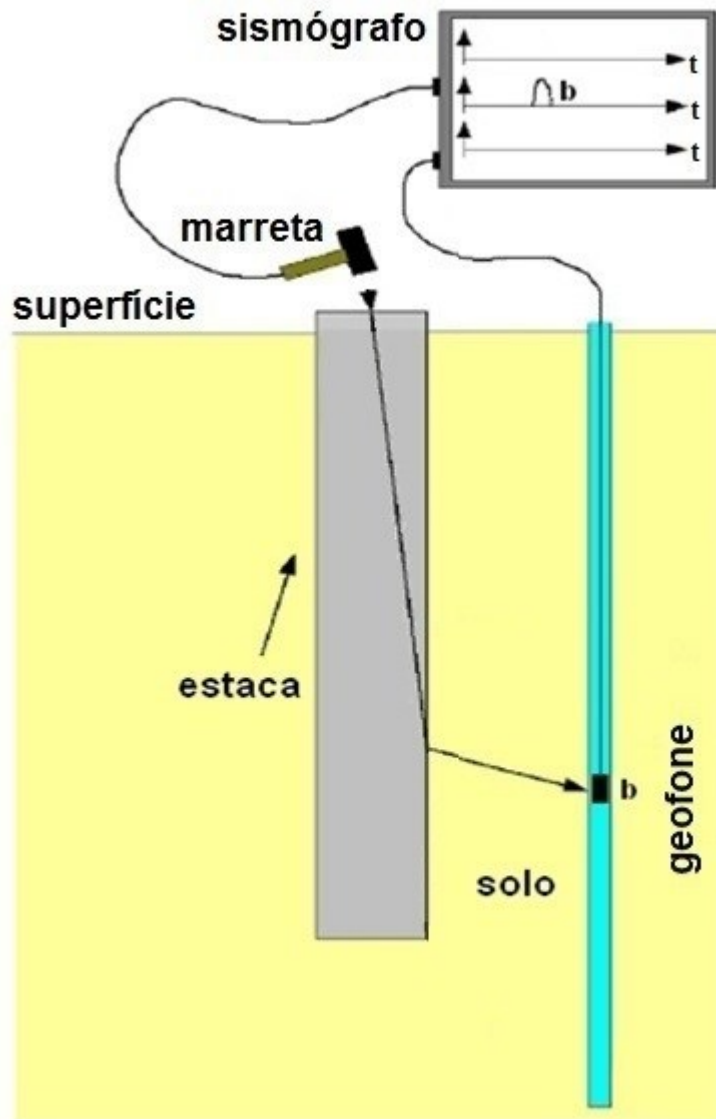
ENSAIO PARALELO SÍSMICO



As ondas se propagam através da estaca, são refratadas (devido ao contraste existente entre as propriedades elásticas do solo e do material constituinte da estaca (concreto, em geral) e captadas pelo geofone situado dentro do furo

O sinal é registrado e gravado no sismógrafo

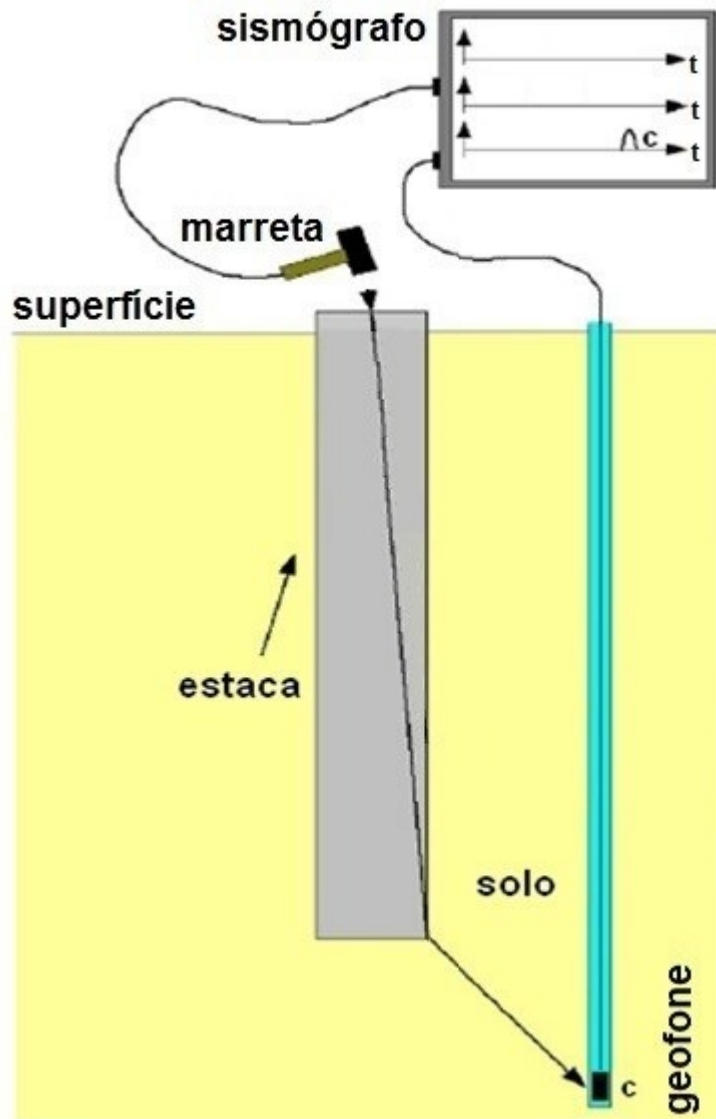
ENSAIO PARALELO SÍSMICO



Devido ao contraste entre as propriedades elásticas do solo e do material constituinte da estaca (concreto, em geral), as ondas sísmicas são refratadas e detectadas pelo geofone dentro do furo

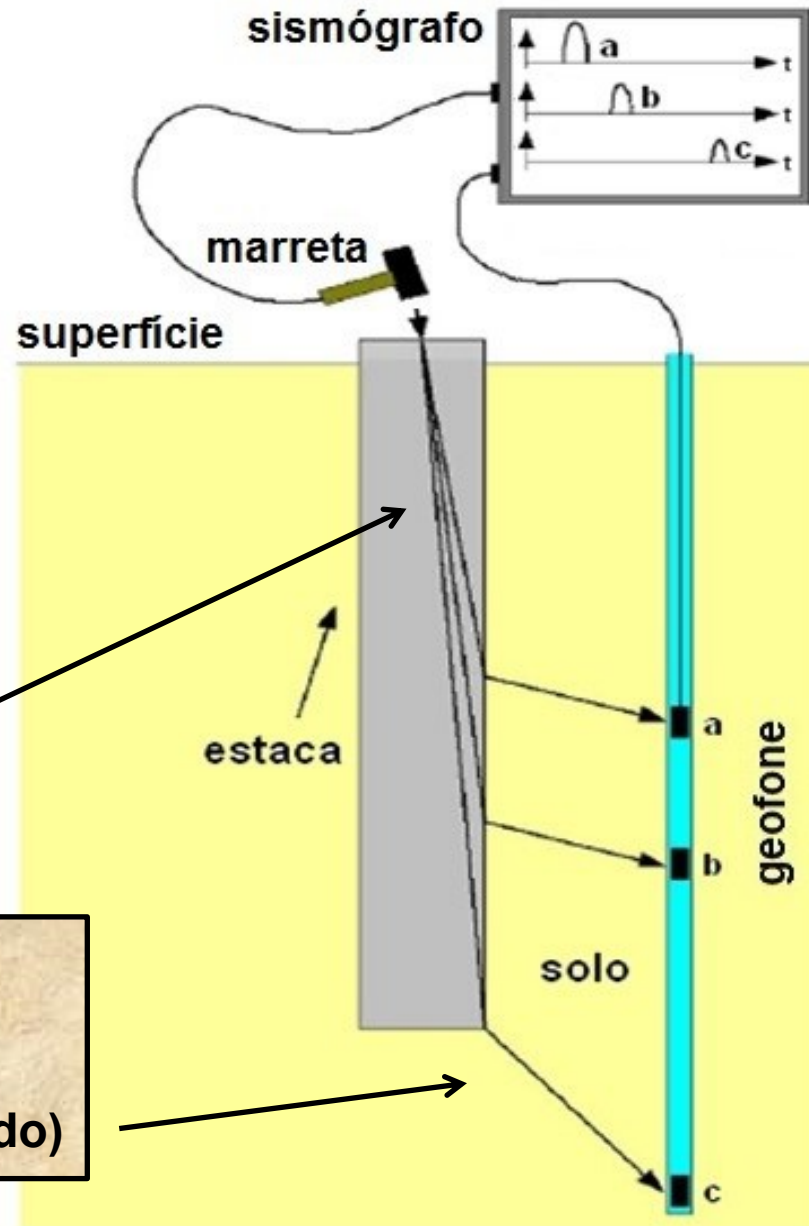
O sinal é registrado e gravado no sismógrafo

ENSAIO PARALELO SÍSMICO



A partir da base da estaca, este ponto passa a se comportar como uma nova fonte pontual geradora de frentes de ondas (princípio de Huygens) que agora se propagam apenas pelo solo

ENSAIO PARALELO SÍSMICO



V_p (concreto)

$3500 \text{ m/s} < V_p < 4200 \text{ m/s}$

Valor característico: 4000 m/s

V_p (solo)

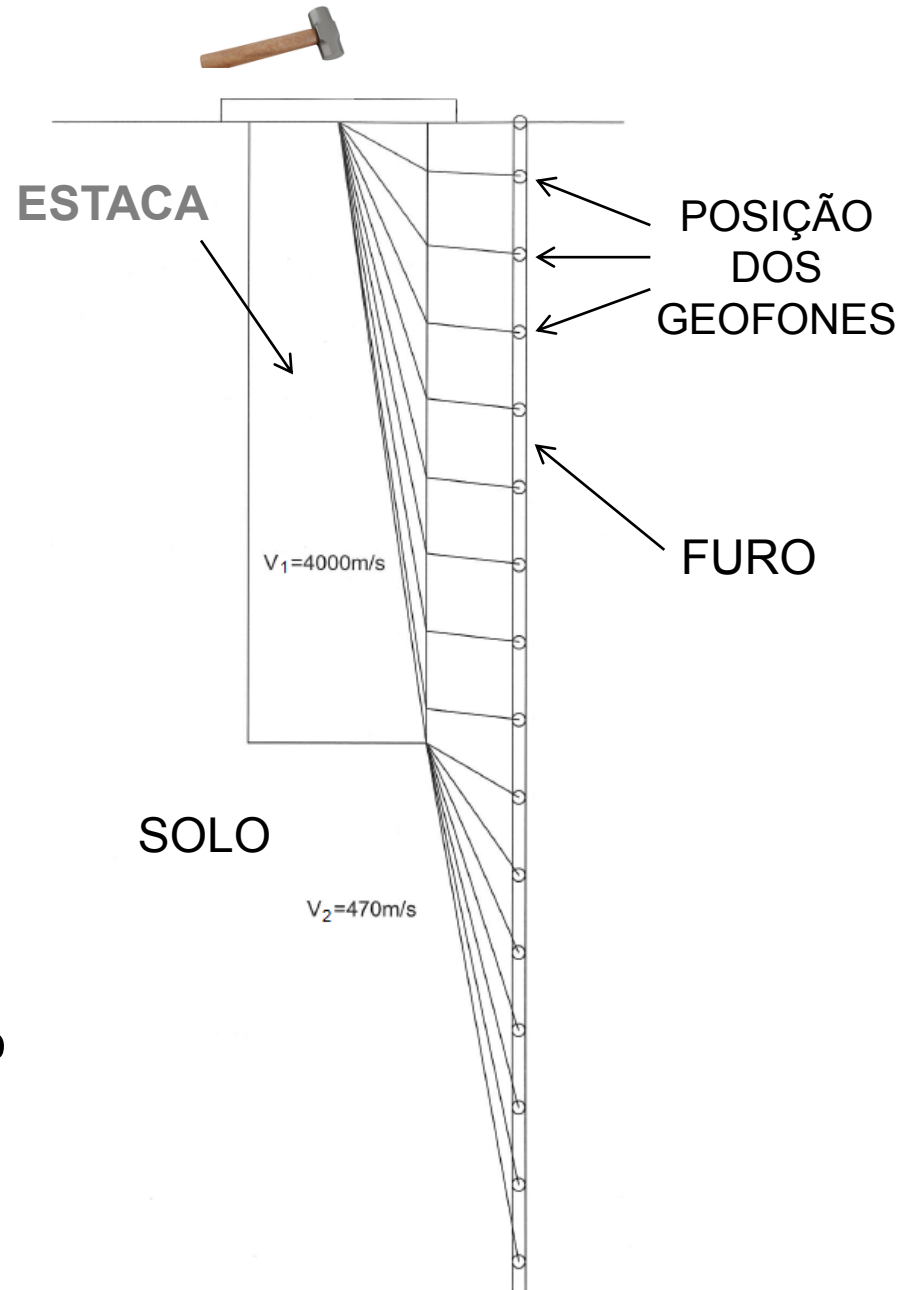
$\cong 300 \text{ m/s}$ a 600 m/s (solo seco)

$\cong 1400 \text{ m/s}$ a 1600 m/s (solo saturado)

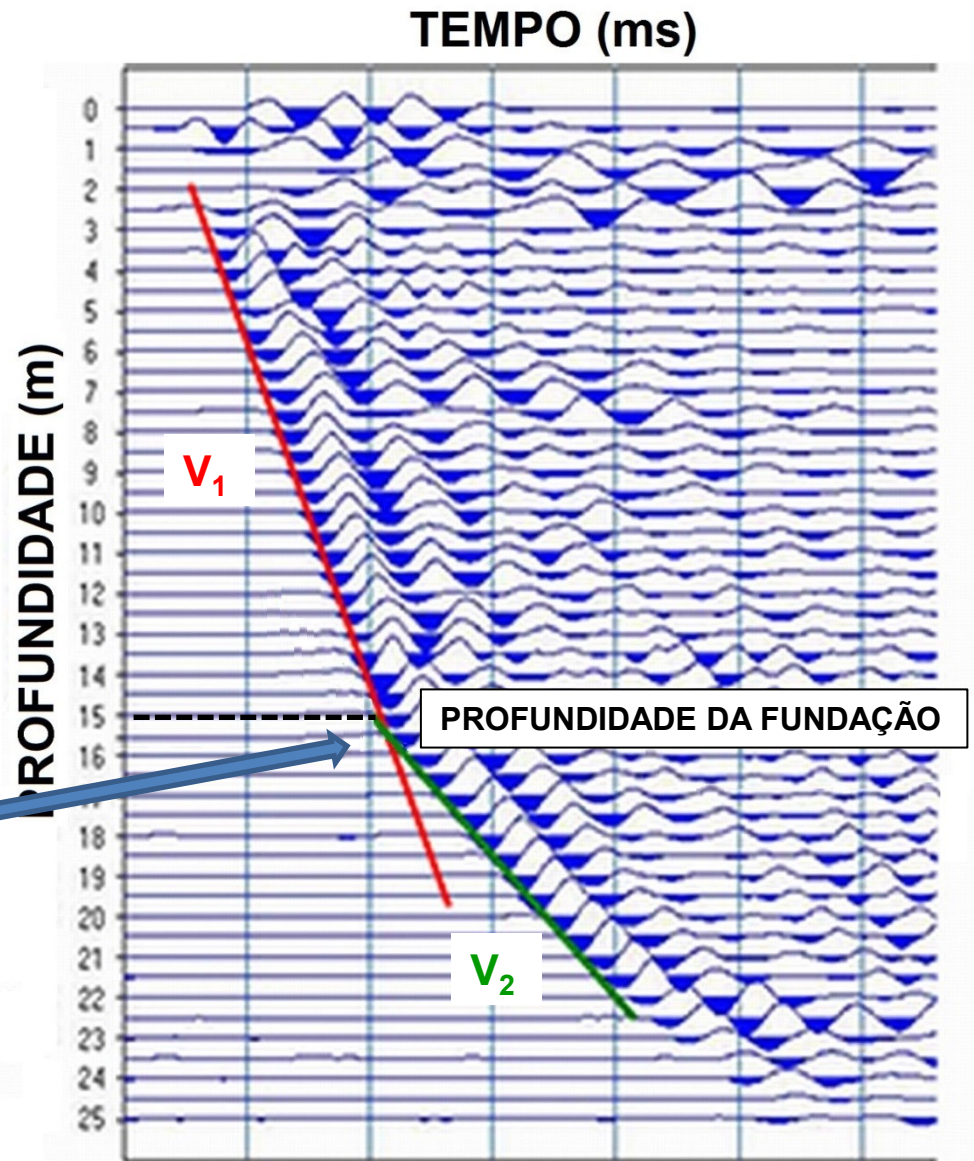
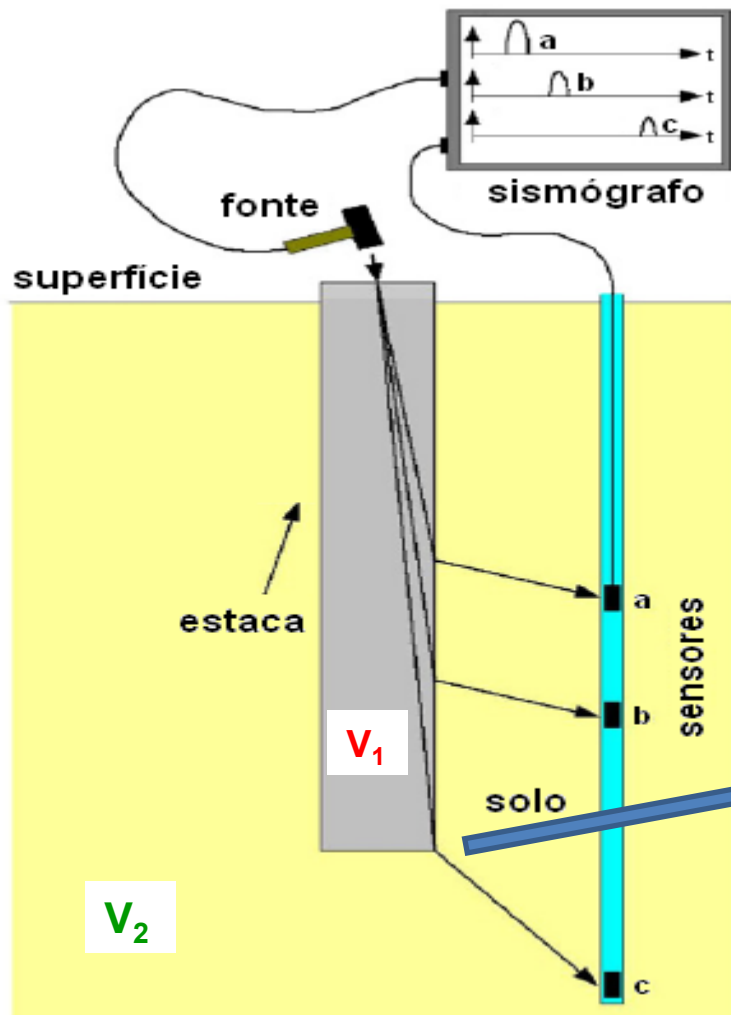
ENSAIO PARALELO SÍSMICO



As medidas são efetuadas em intervalos regulares dentro do furo (25 cm, 50 cm ou 1 m) até a sua profundidade máxima



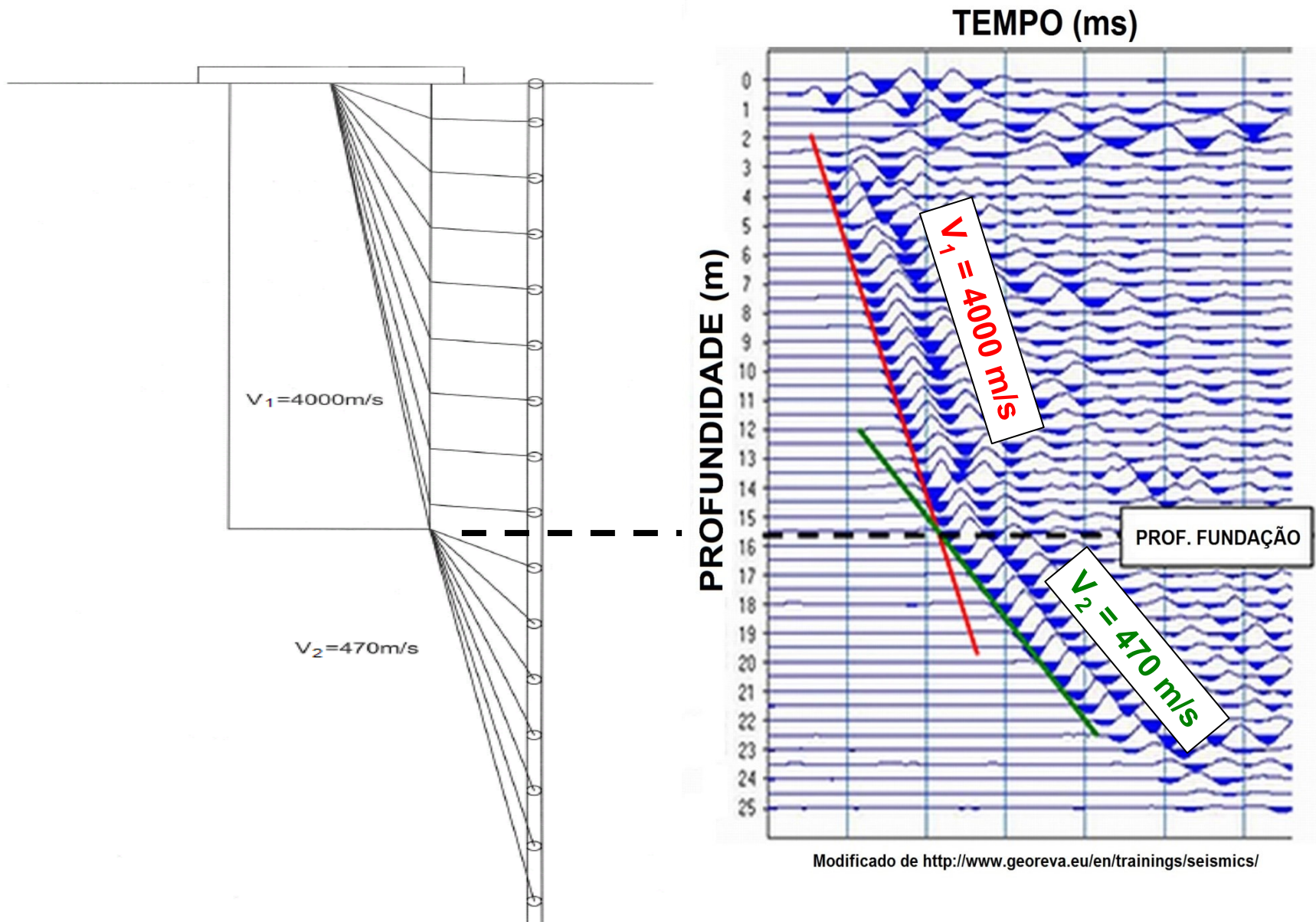
RESULTADO DO ENSAIO PARALELO SÍSMICO



V_1 = velocidade de propagação da onda na estaca

V_2 = velocidade de propagação da onda no solo

RESULTADO DO ENSAIO PARALELO SÍSMICO



1º ESTUDO DE CASO (julho/2014)

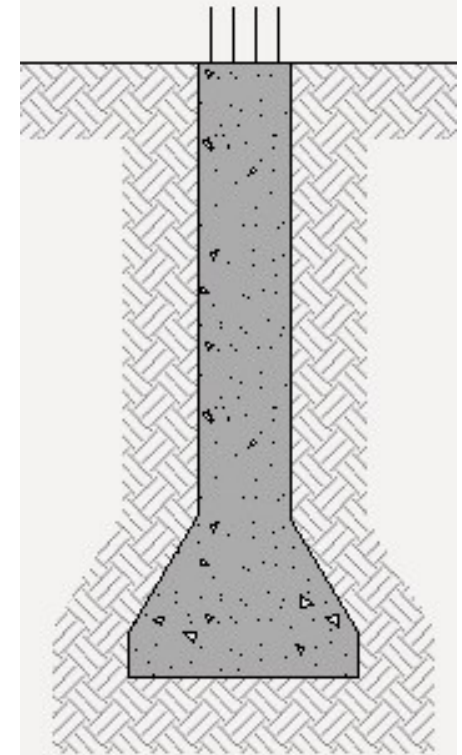


Objetivo:

Determinar a profundidade (desconhecida) de uma fundação constituída por um tubulão de grande diâmetros, de uma torre de telefonia em São Paulo-SP



TUBULÃO



Torre de telefonia

Problema:

Qual a profundidade (desconhecida) do elemento de fundação?

Possível solução:
reforço da fundação
(caro)

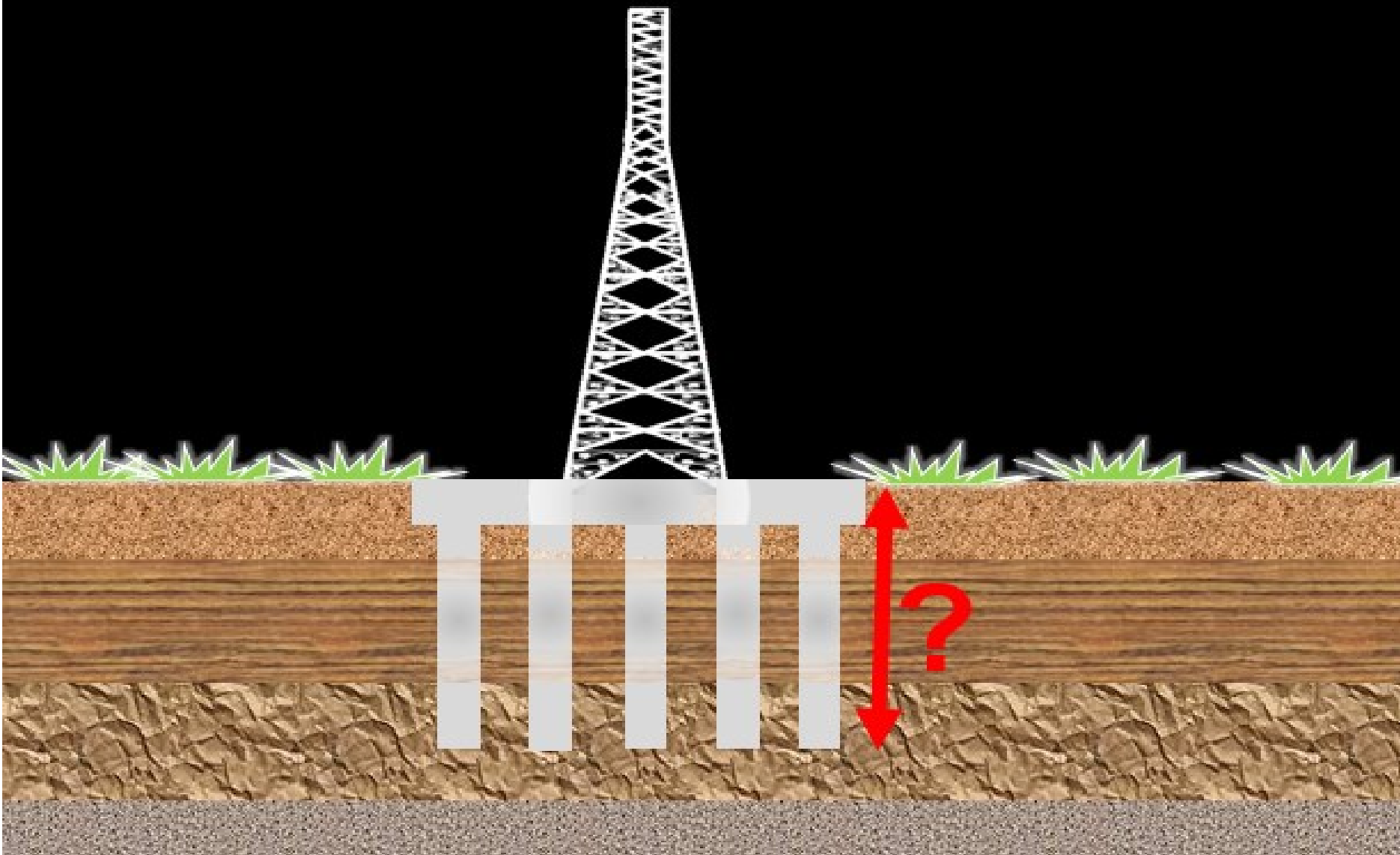


**AUMENTO
DE CARGA**

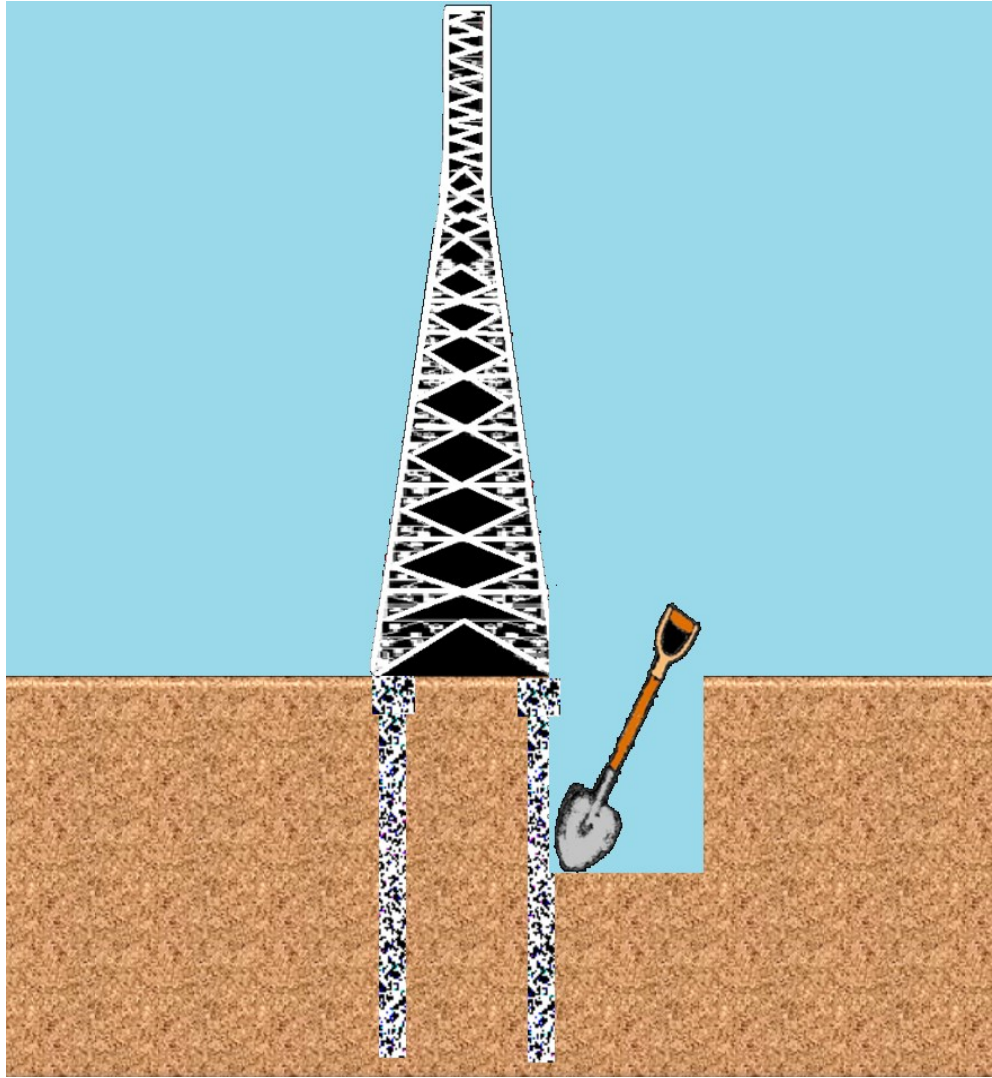


Torre de telefonia

Qual a profundidade (desconhecida) do elemento de fundação?



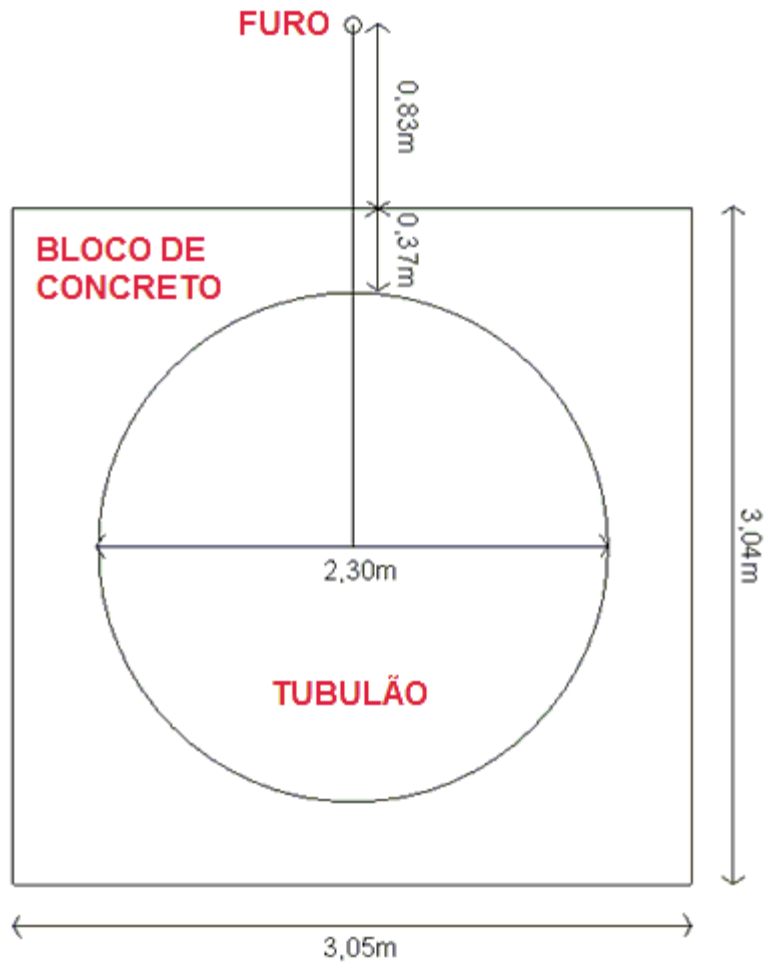
Torre de telefonia



Escavação: caro e arriscado!

**LOCAL: RUA JOÃO DE SANTANA, 393 JD. SÃO LUIZ,
SÃO PAULO-SP**

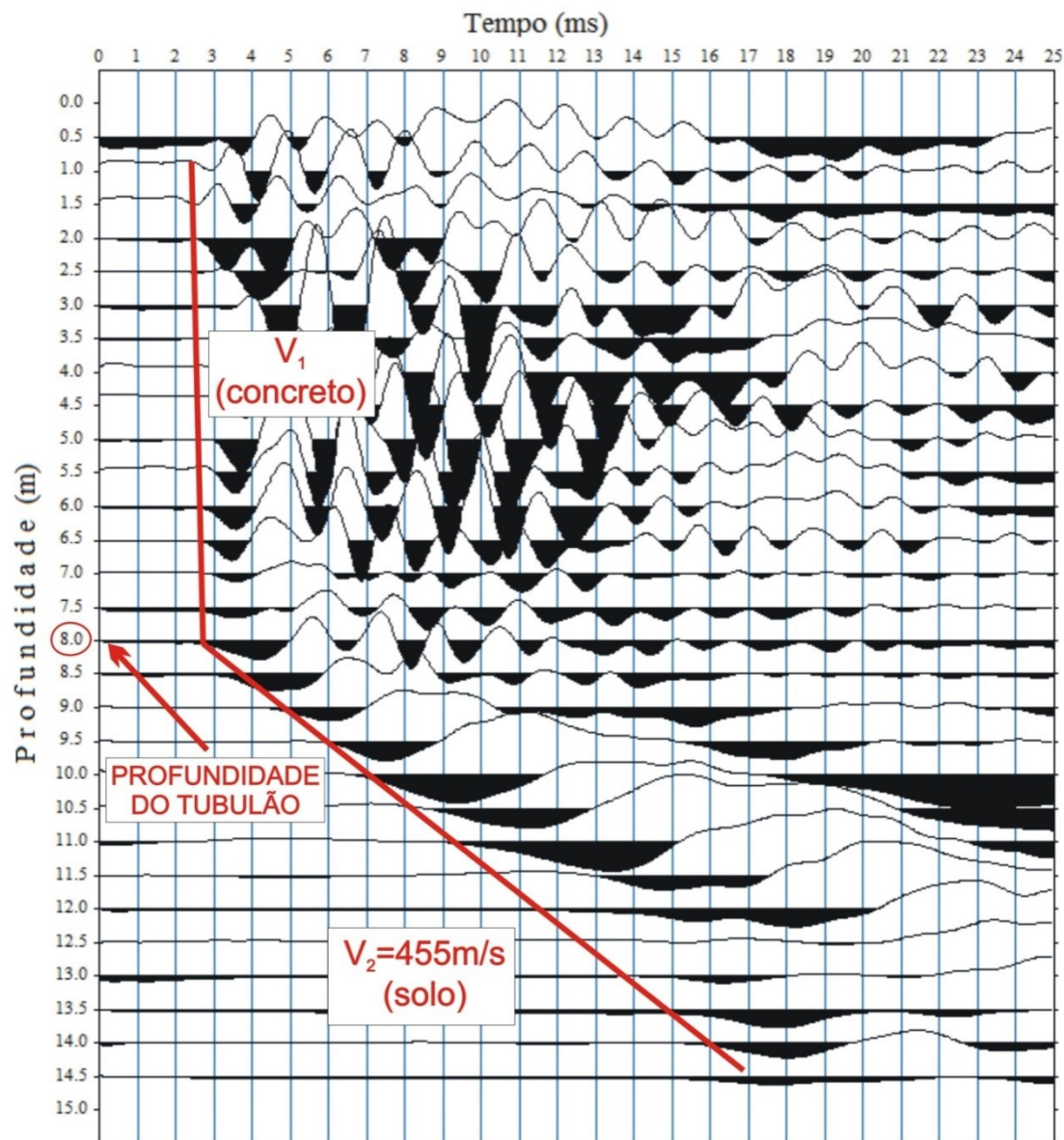
Site: torre de telefonia
Tipo da fundação: tubulão



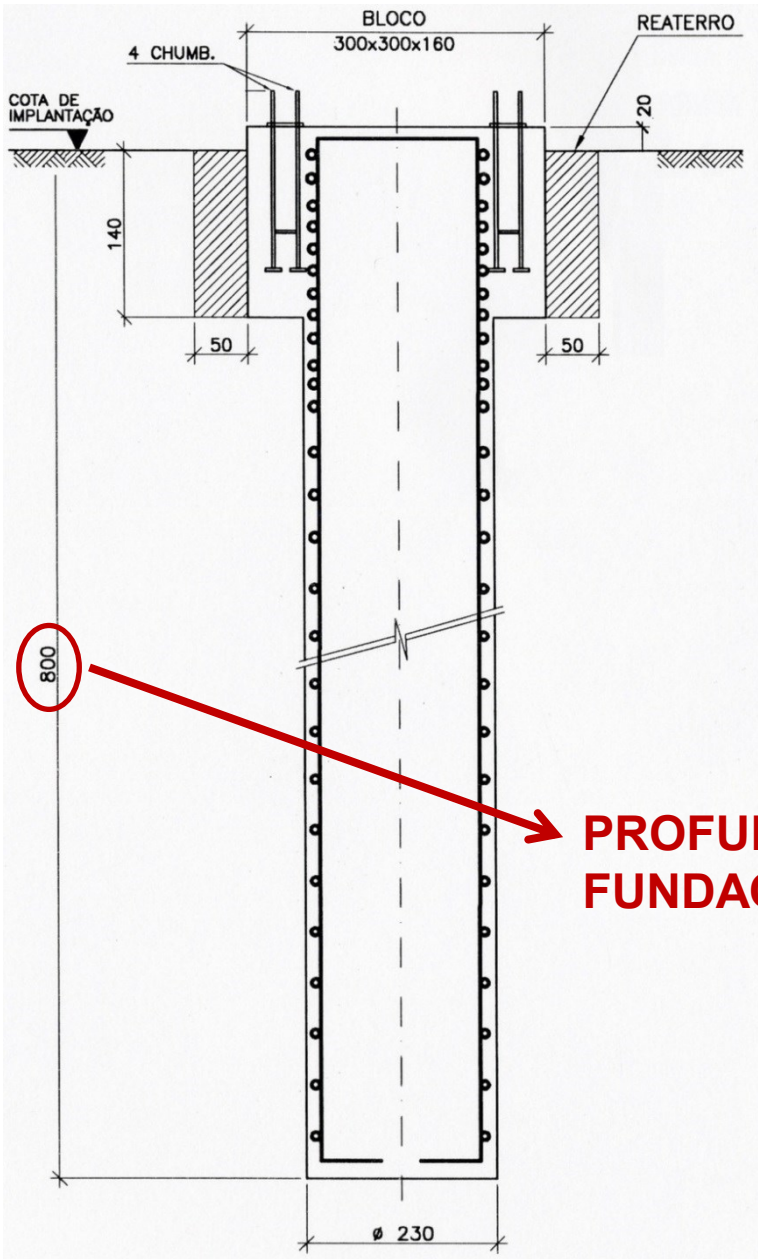
Execução do ensaio de campo
Profundidade do furo = 15 m
Medidas a cada 50 cm



Resultado obtido do ensaio paralelo sísmico

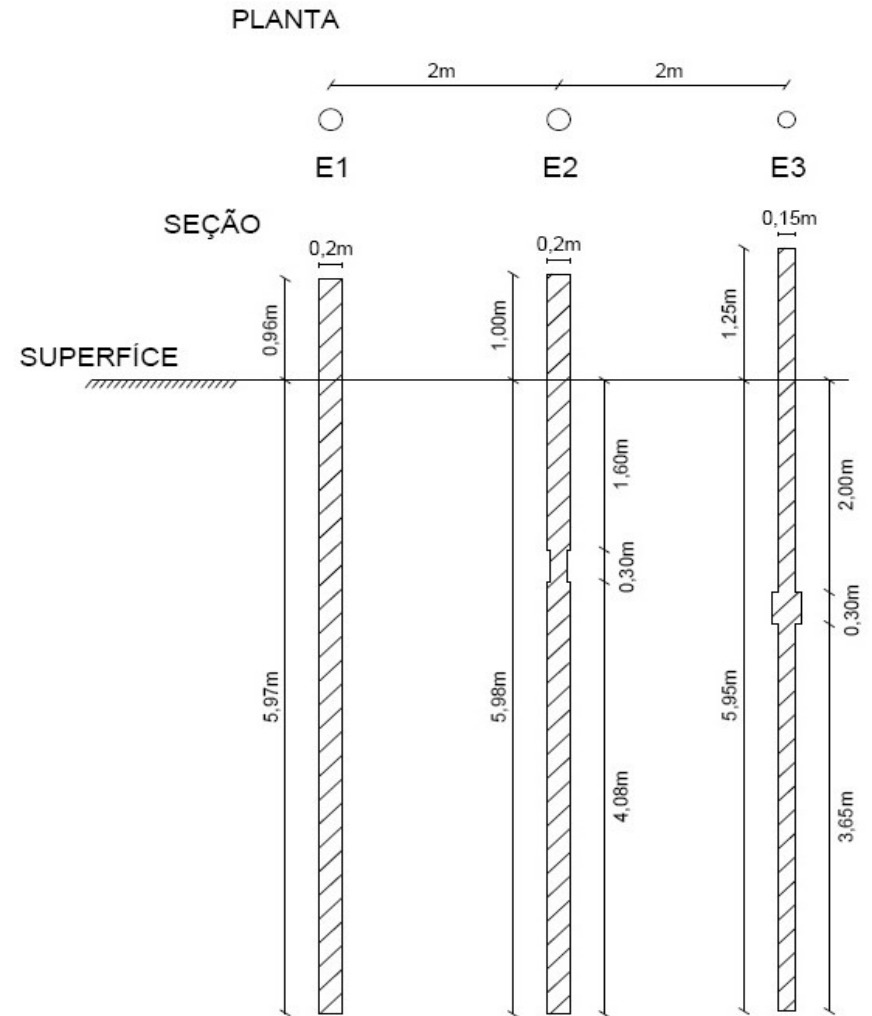


Confirmação do resultado com a planta da fundação



**PROFUNDIDADE DA
FUNDAÇÃO = 8 m**

ipt INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS



Execução dos furos próximos das três estacas para realização dos ensaios



Sondobase

GEOTECNIA, MEIO AMBIENTE E PARTICIPAÇÕES LTDA

R. Inácio Salomão 534, CEP 14075-730 - Ribeirão Preto-SP - Fone: (16) 3516 5656

Site : www.sondobase.com.br - E-mail: sondobase@sondobase.com.br

Cliente : INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS

Local: Av. Prof. Almeida Prado 532 - São Paulo - SP

Obra : Área de Estudo

Data Início: 14/06/16

Data Término: 15/06/16

SP

01

Cota: 100,00

cota (m)	N.A.	Prof. Da camada	Amostras	Golpes	S P T	Gráfico	Classificação Tátil-Visual do Subsolo
707580859095	5,32	0,20	0	- - -	-		Silte arenoso, pouco argiloso, vermelho - Aluvião
		2,00	1	5 5 6	11		Silte argiloso, pouco arenoso, amarelo escuro, rijo - Aluvião
		2	3 4 3	7	Areia muito fina, siltosa, vermelha, pouco a medianamente compacta - Aluvião		
		4,00	3	6 5 6	11		Areia fina, siltosa, branca e vermelha, com cascalhos, pouco a medianamente compacta - Aluvião
		6,00	4	1 2 3	5		Areia grossa a muito grossa, pouco argilosa, amarela, fofa a pouco compacta - Aluvião
		6	5 5 6	11	Argila roxa, rija - Solo residual de argilito (Fm. Resende)		
		7	1 1 2	3	Areia média, amarela a creme, compacta - Solo residual de arenito (Fm. Resende)		
		7	1 1 2	3/37	Profundidade determinada pelo cliente		
		8	2 2 3	5			
		9,15	9	8 10 9	19		
		10,75	10	7 9 9	18		
		11	8 8 10	18			
		12,45	12	7 8 8	16		
		13					
		14					
		15					
		16					
		17					
		18					
		19					
		20					
		21					
		22					
		23					
		24					
		25					
		26					
		27					
		28					
		29					
30							

— 1ª e 2ª Golpes

— 2ª e 3ª Golpes

N.A. INICIAL (m)4,8715/06/2016

N.A. FINAL (m)5,3215/06/2016

Sondador:José Ventura

Relatório:6462/16

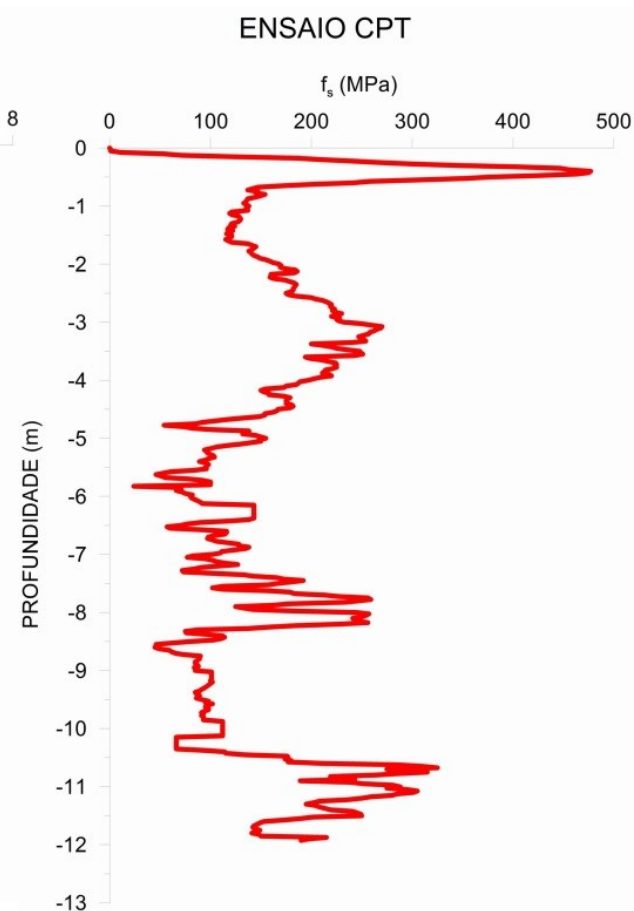
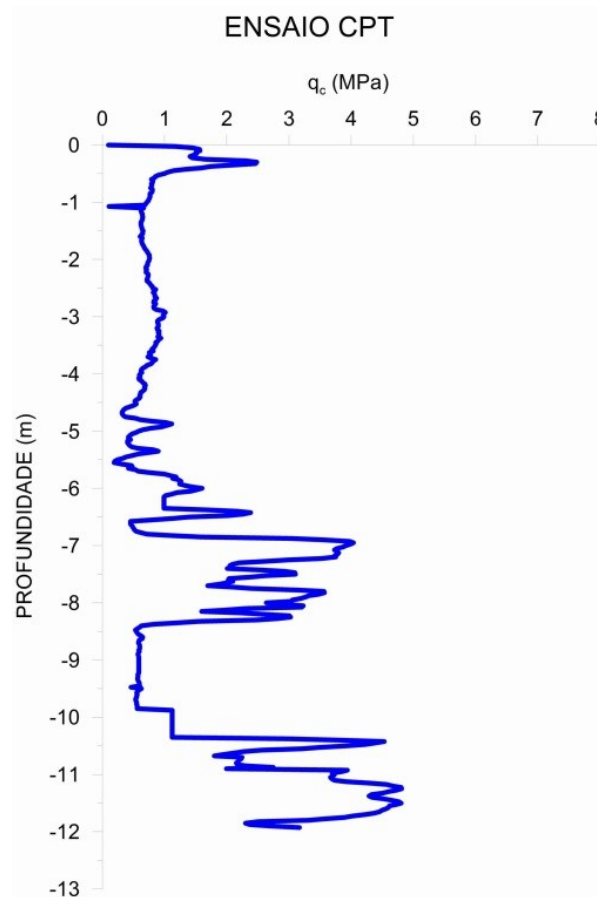
Folha02

Revestimento - a -

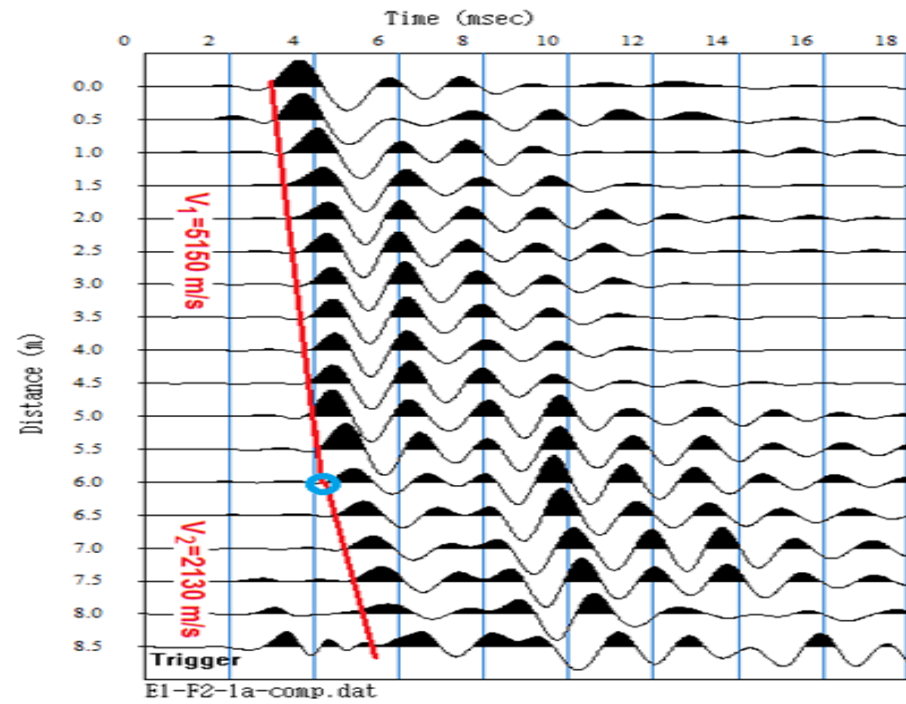
Tr. Cavadeira 0,00 a 1,00

Tr. Helicoidal 1,00 a 12,00

Execução de ensaios CPT na área



Execução de ensaios paralelo sísmico



Two in one: Parallel seismic for foundation length determination and downhole seismic for soil properties using a single borehole

E. Niederleithinger

BAM Federal Institute for Materials Research & Testing, Berlin, Germany

SAGEEP 2010

Keystone, Colorado

<http://www.eegs.org>

COMBINED PARALLEL SEISMIC AND CONE PENETROMETER TESTING OF EXISTING BRIDGE FOUNDATIONS AND LEVEE SHEET PILES FOR LENGTH AND CAPACITY EVALUATIONS

Dennis A. Sack, Olson Engineering, Inc., Wheat Ridge, CO 80033

Larry D. Olson, Olson Engineering, Inc., Wheat Ridge, CO 80033

Abstract

The use of the Parallel Seismic (PS) test method has been well documented and has been shown to be effective for foundation length evaluation when used with a cased borehole adjacent to the foundation being evaluated. In addition, the use of the Cone Penetrometer Test (CPT) to evaluate soil properties without a borehole has also been well documented. Recent research, hardware development, and field testing have been conducted on a system which combines the two methods to allow fast and economical evaluation of both soil properties and foundation depth without requiring a drill rig.



Figure 3: Geoprobe CPT rig at Levee Concrete Wall on Sheet Pile



Figure 7: Seismic Cone Probe with 3 Triaxial Geophones and 1 Hydrophone



Figure 5: Impacting the Top of the Levee Wall

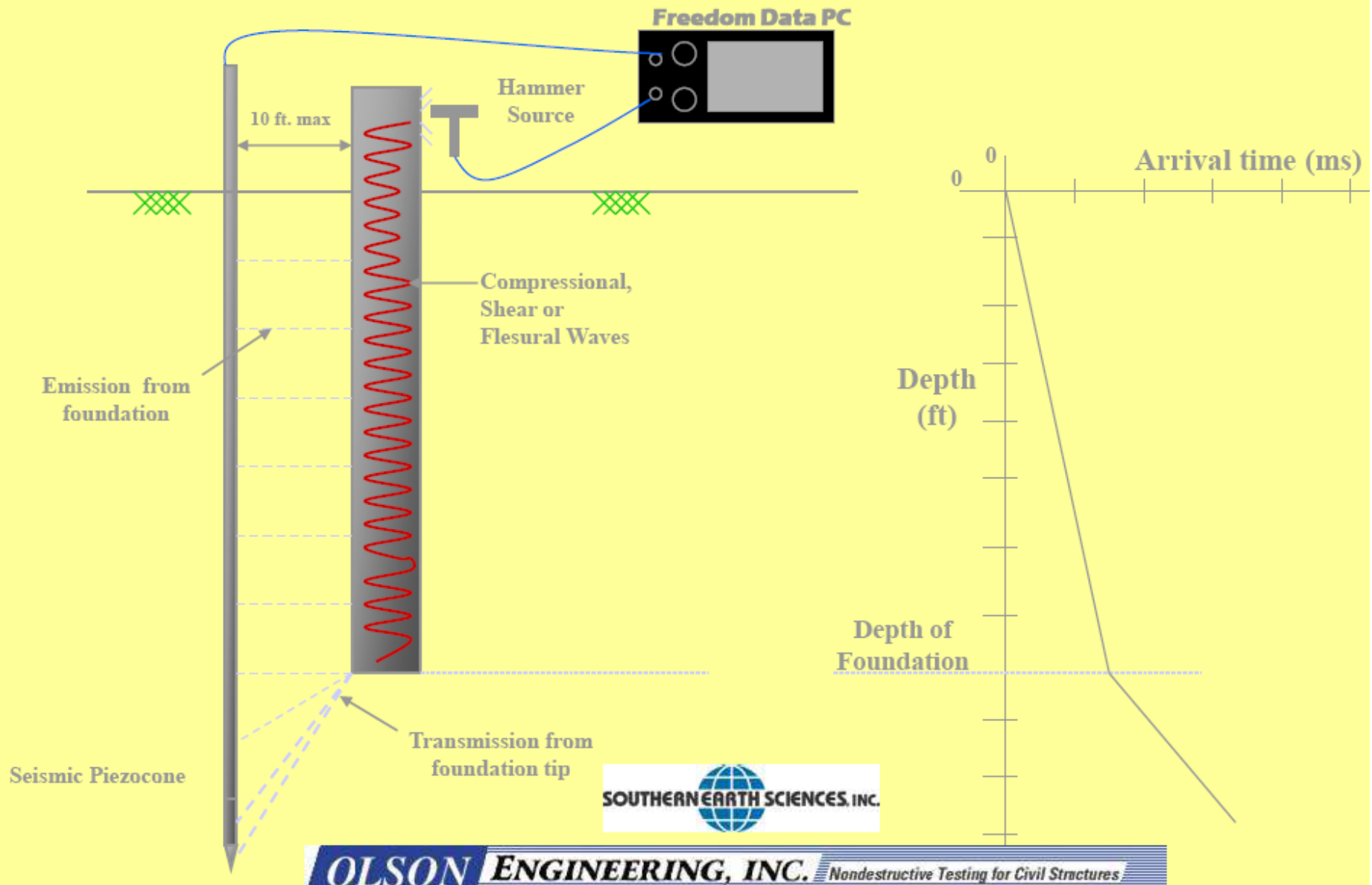


Figure 6: Freedom Data PC for PS Borehole Test



Figure 8: Small and Large Hydrophones for PS Testing in Water-Filled PVC Casings

CPT/PARALLEL SEISMIC METHODS FOR UNKNOWN FOUNDATION DETERMINATION





CPT/Parallel Seismic Method for Pile Length Determination

Calculated Pile Length

$14.079 \text{ m} \times 3.28 = 46.2 \text{ ft.}$

$46.2 \text{ ft.} + 4.1 \text{ ft (exposed)} = 50.3 \text{ ft.}$

Actual Pile Length = 50.0 ft.

Soil Properties and Foundation
Determination in a single Test
Procedure



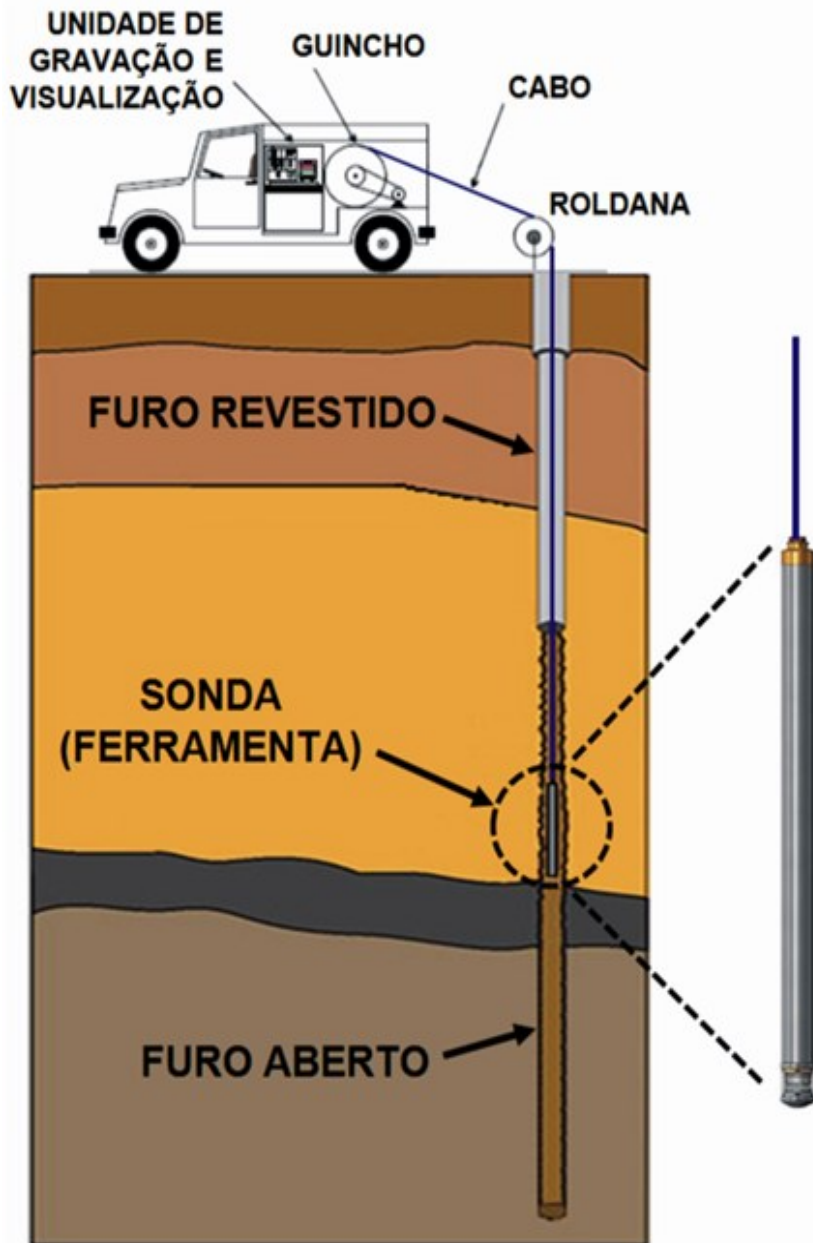
Perfilagem magnética

PERFILAGEM DE POÇO (WELL LOGGING)

Técnica geofísica que consiste em **medir no interior de furos de sondagens**, determinadas **propriedades físicas das camadas (solos e rochas) atravessadas pelo furo**

A utilização da perfilagem é imprescindível na indústria de **petróleo**, sendo também muito utilizada na **hidrogeologia** (caracterização dos materiais em poços tubulares profundos para colocação de filtros, etc.)

Na **geologia de engenharia**, vem sendo cada vez mais utilizada



Dispositivos de um sistema de perfilagem de poços:

- ◆ Sonda (*probe, tool*) que desce no furo
- ◆ Cabo de conexão suspenso por um “guincho”
- ◆ Sistema de registro dos dados na superfície

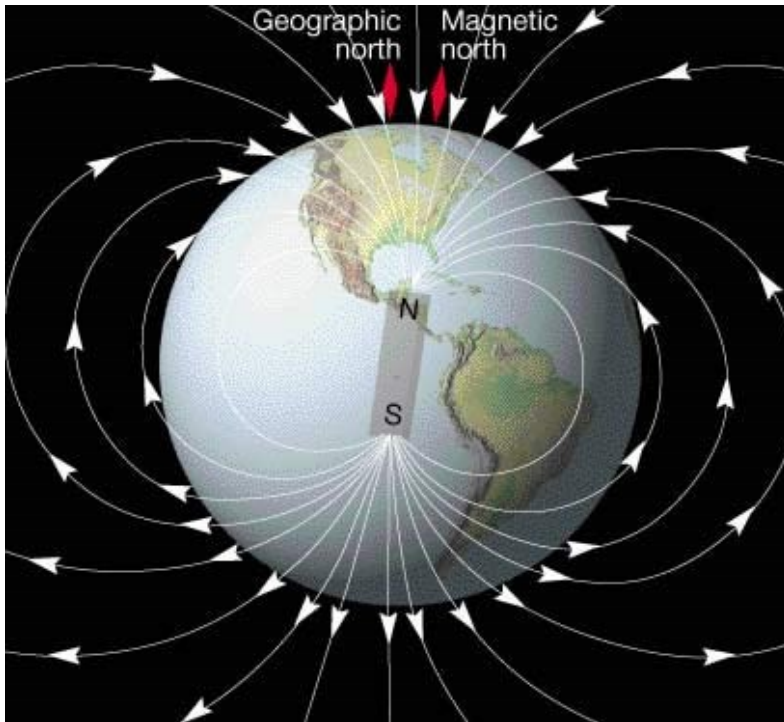
Table 4-2: Logging tools, property measured and typical application (after Glenn and Hohmann, 1981 and with permission of Economic Geology Publication Co.).

Logging tool	Property Measured	Application
Natural gamma	natural gamma radiation from lithology, borehole fluids	separating clays from contaminated sands on conductivity logs
Gamma-gamma	scattered gamma rays	bulk density, porosity, lithology
Neutron-neutron	thermal, epithermal or fission neutrons, capture gamma rays	porosity, chemically-bound water, lithology, chloride content
Electromagnetic induction	conductivity	lithology, clay content, conductive plumes
Resistivity	resistivity	lithology, clay content, conductive plumes
SP	natural voltage in the earth	lithology, clay/sand boundaries, water flow
Temperature	temperature	fracturing, fluid flow, oxidation, lithology, correction of other measurements
Magnetic	magnetic susceptibility	lithology, susceptibility, alteration zones
Three component magnetometer	X, Y, and Z components	detailed lithology, alteration zones
Sonic velocity	velocity of P waves	lithology, porosity, fracturing
Caliper	hole size	hole completion, fractures, lithology, corrections for other measurements

Parâmetros físicos medidos:

- ✓ Resistividade elétrica ou condutividade elétrica
- ✓ Densidade (massa específica)
- ✓ Velocidade das ondas P e S
- ✓ Potencial espontâneo (voltagem natural)
- ✓ Radioatividade natural
- ✓ Temperatura
- ✓ Componentes da intensidade do campo magnético
- ✓ Geometria das paredes do furo (diâmetro, condições, etc.)

A Terra possui um campo magnético natural (campo geomagnético) e sua magnitude pode ser medida por meio de equipamentos denominados de “magnetômetros”



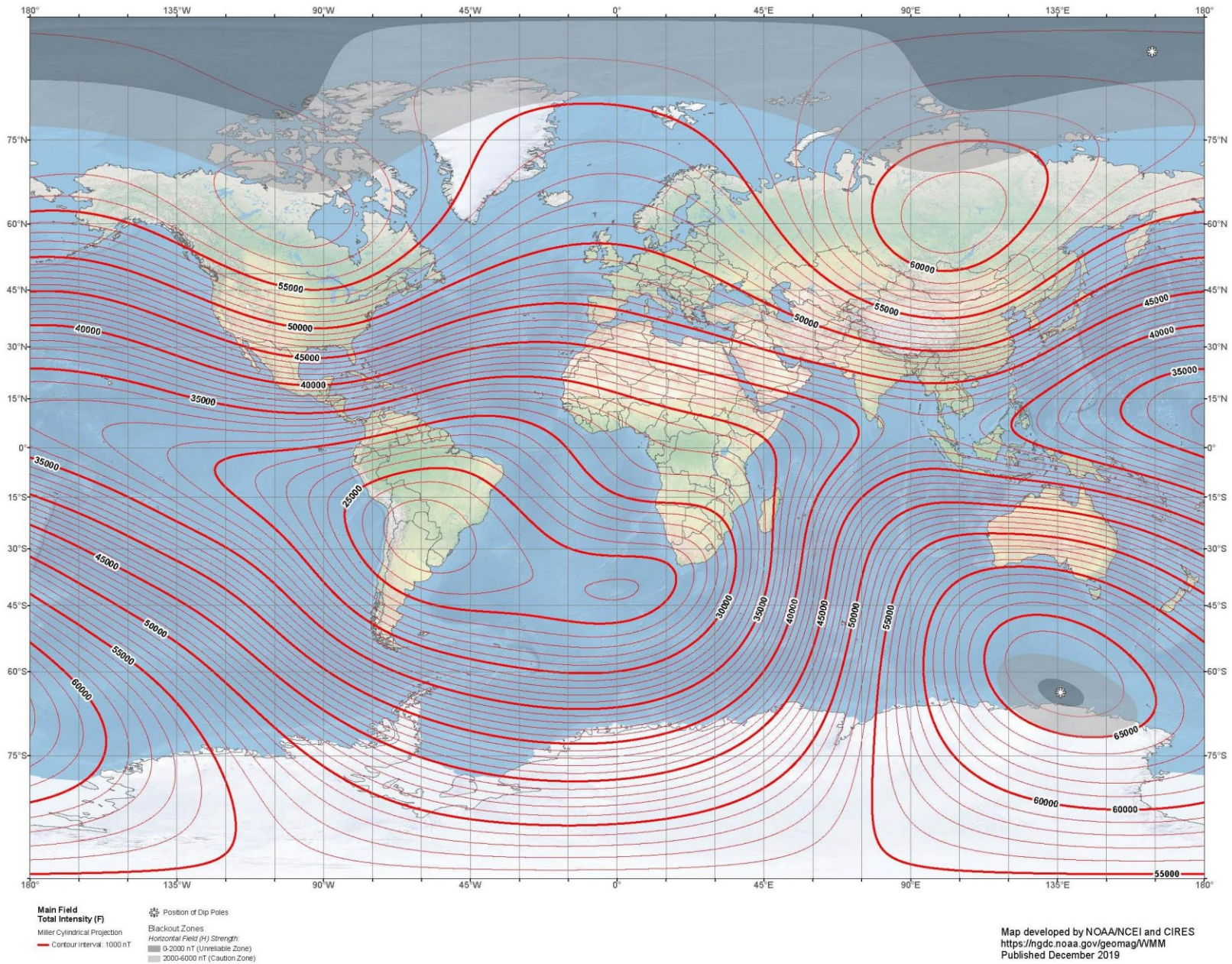
Magnetômetro



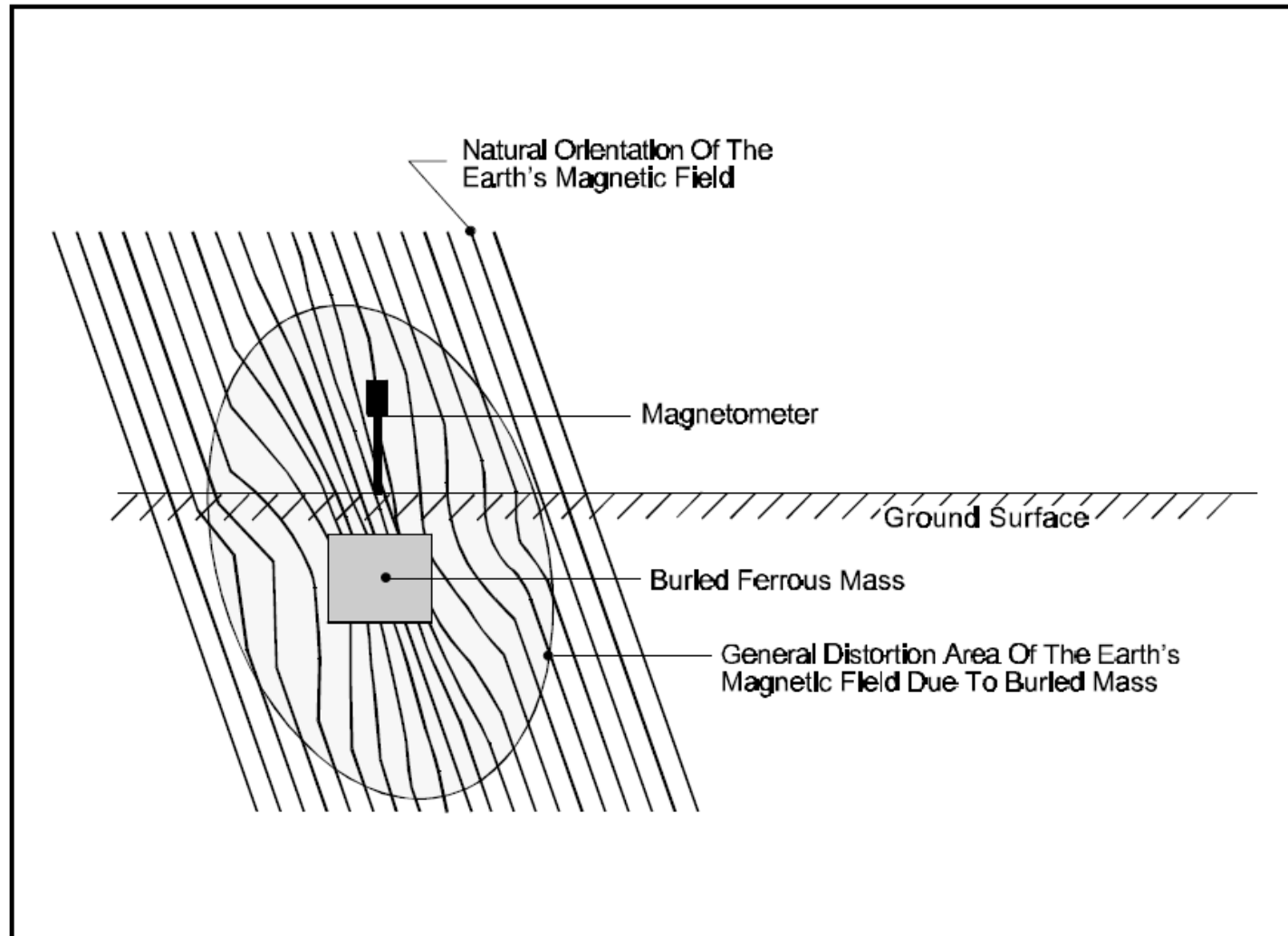
Overhauser Magnetometer | Gem Systems
(<https://www.youtube.com/watch?v=-p9nuDmLQug>)

US/UK World Magnetic Model - Epoch 2020.0

Main Field Total Intensity (F)

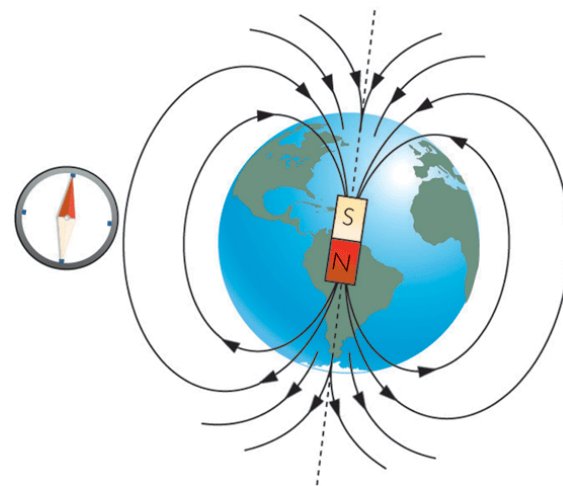
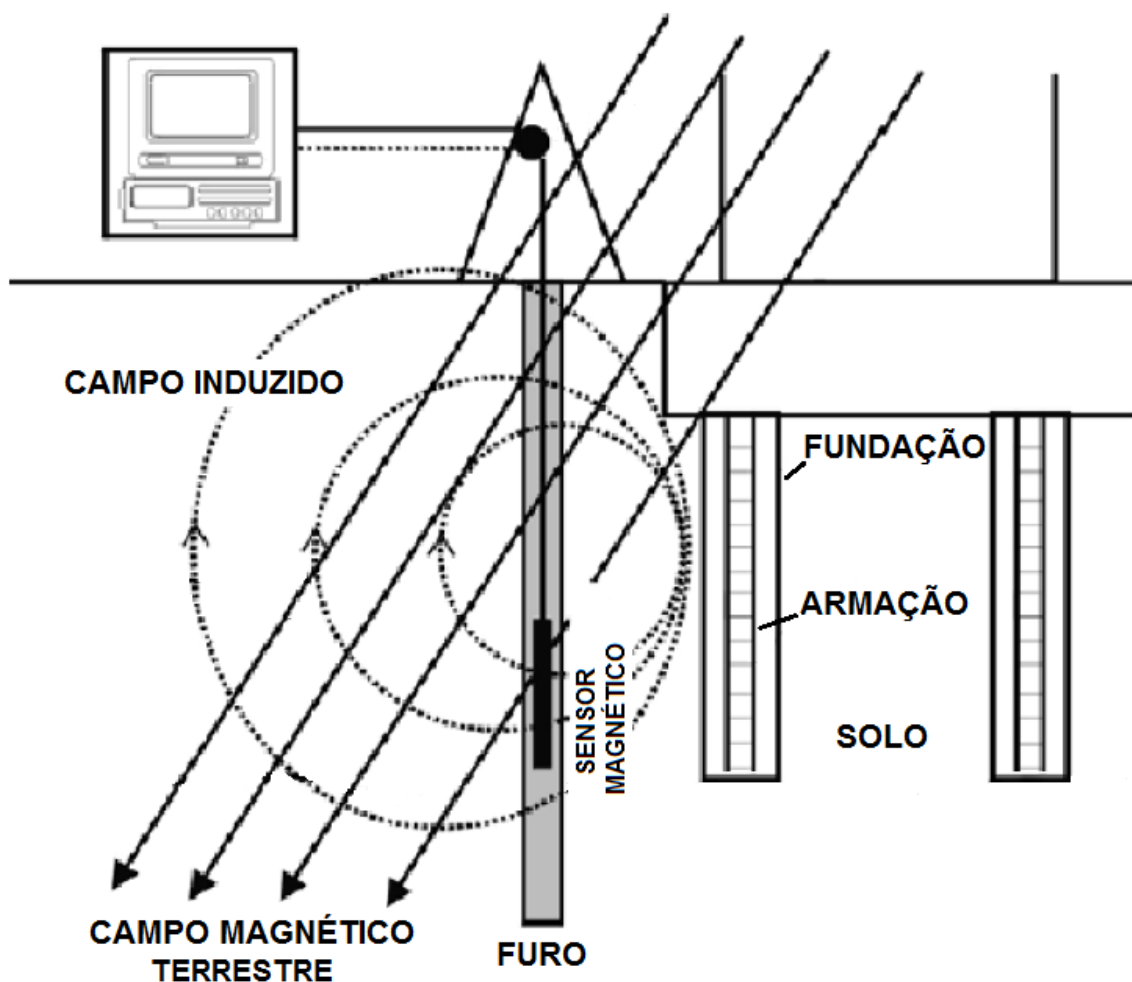


Objetos ferromagnéticos causam uma distorção do campo geomagnético



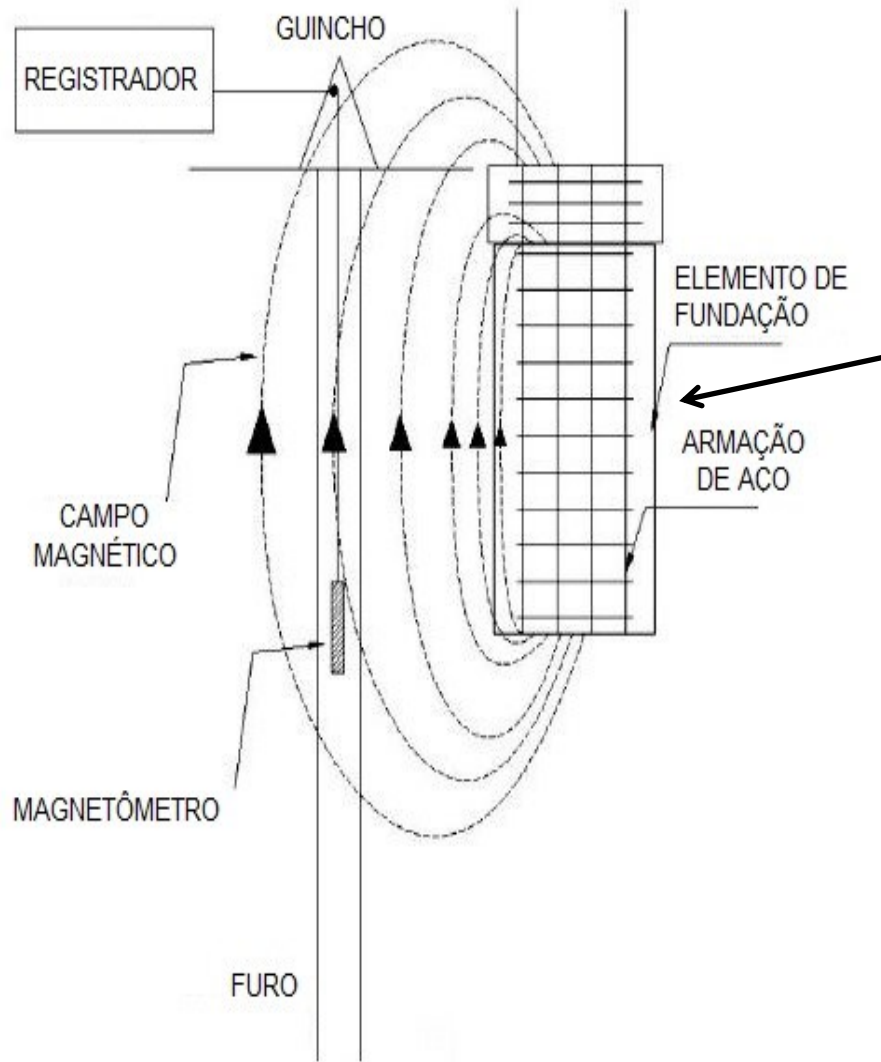
Source: Modified from U.S. EPA, 1993a

O ensaio consiste na medição do campo magnético utilizando um sensor (magnetômetro) dentro de um furo de sondagem



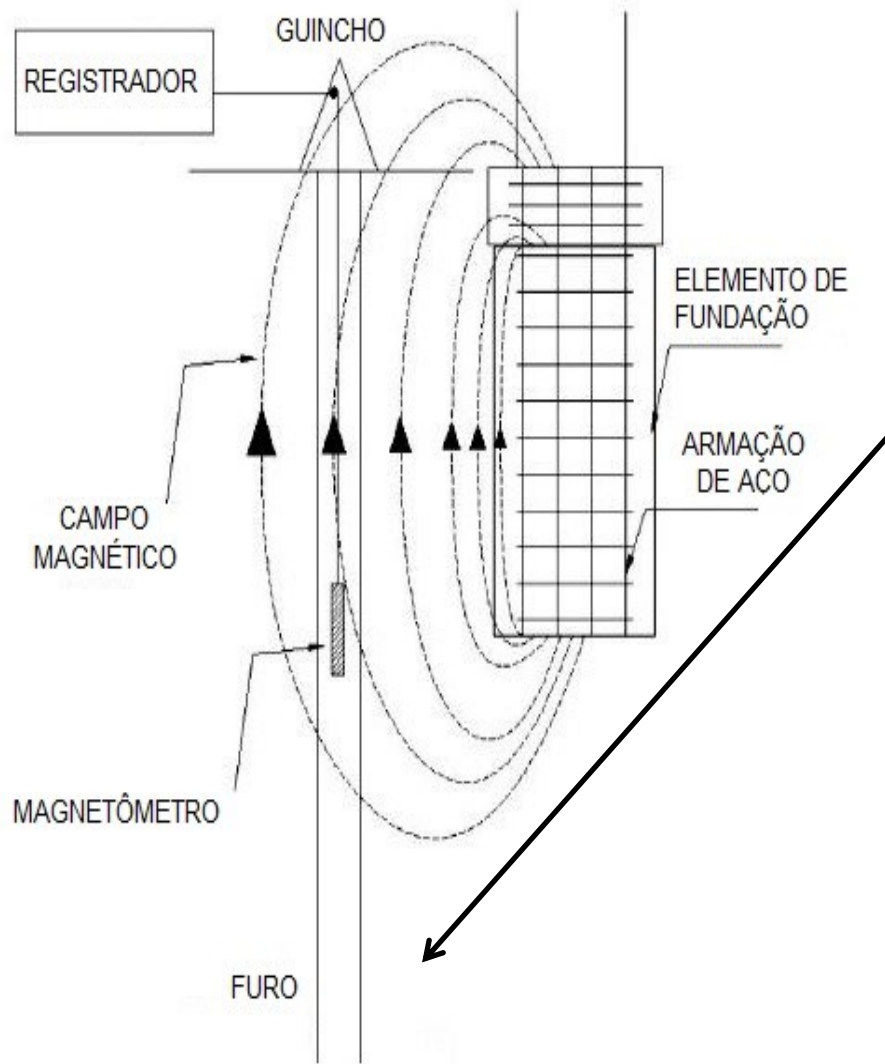
O furo deve estar bem próximo ao elemento de fundação (1 m - 2 m) e ser mais profundo que a máxima profundidade estimada da fundação (mais que 5 m)

ENSAIO DE PERFILAGEM MAGNÉTICA



As armações de aço da fundação constituem um material ferromagnético que geram um forte campo magnético induzido (em resposta ao campo magnético da Terra) intensificando-o e gerando uma anomalia em relação ao campo de “*background*” (natural)

ENSAIO DE PERFILAGEM MAGNÉTICA



Fora da influência da armação, abaixo da base da fundação, a intensidade do campo magnético é muito menor e o sinal registrado tende a retornar ao seu valor natural (“*background*”), pois o solo constitui um material não ferromagnético

A profundidade máxima do elemento de fundação pode ser estimada com base na observação do comportamento deste sinal



BHG-1

Bore Hole Gradiometer

Magnetometers Borehole Gradiometer

The borehole gradiometer is used to locate ferrous-metal objects. Typical applications include looking ahead of drilling operations, finding the bottom of sheet-piles, measuring the bottom of rebar in pilings and locating objects in a body of water.



DETERMINATION OF UNKNOWN LENGTH OF SHEET PILES USING THREE GEOPHYSICAL LOGGING METHODS

Frank Jalinoos ^{*a} Alex Gibson ^b John Diehl ^c Philip Hadfield ^d George Gordon IV ^e

Fluxgate Magnetometer

Since a steel foundation (as well as steel rebar) is ferromagnetic, it generates relatively strong induced magnetic fields in response to the earth's geomagnetic field. The surrounding soil is generally non-ferromagnetic, and its associated induced magnetic fields are much smaller to those of the foundation steel. If the induced magnetic field measured within a proximal borehole is assumed to be generated by steel imbedded within the deep foundation, estimates of the depth to the base of the foundations can be generated.

In this project, we used a borehole “deviation probe” which contains both a 3 axis fluxgate magnetometer and a 3 axis accelerometer (Figure 5).

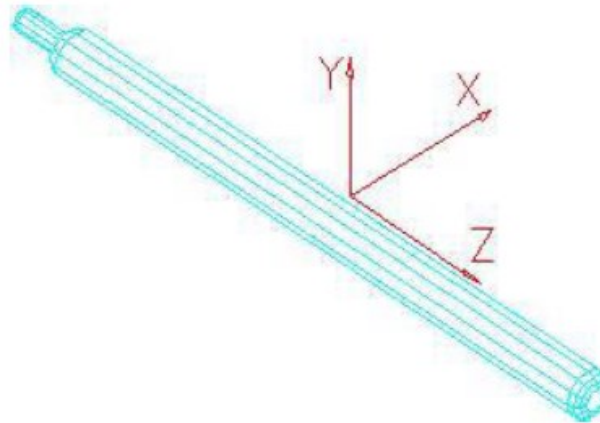
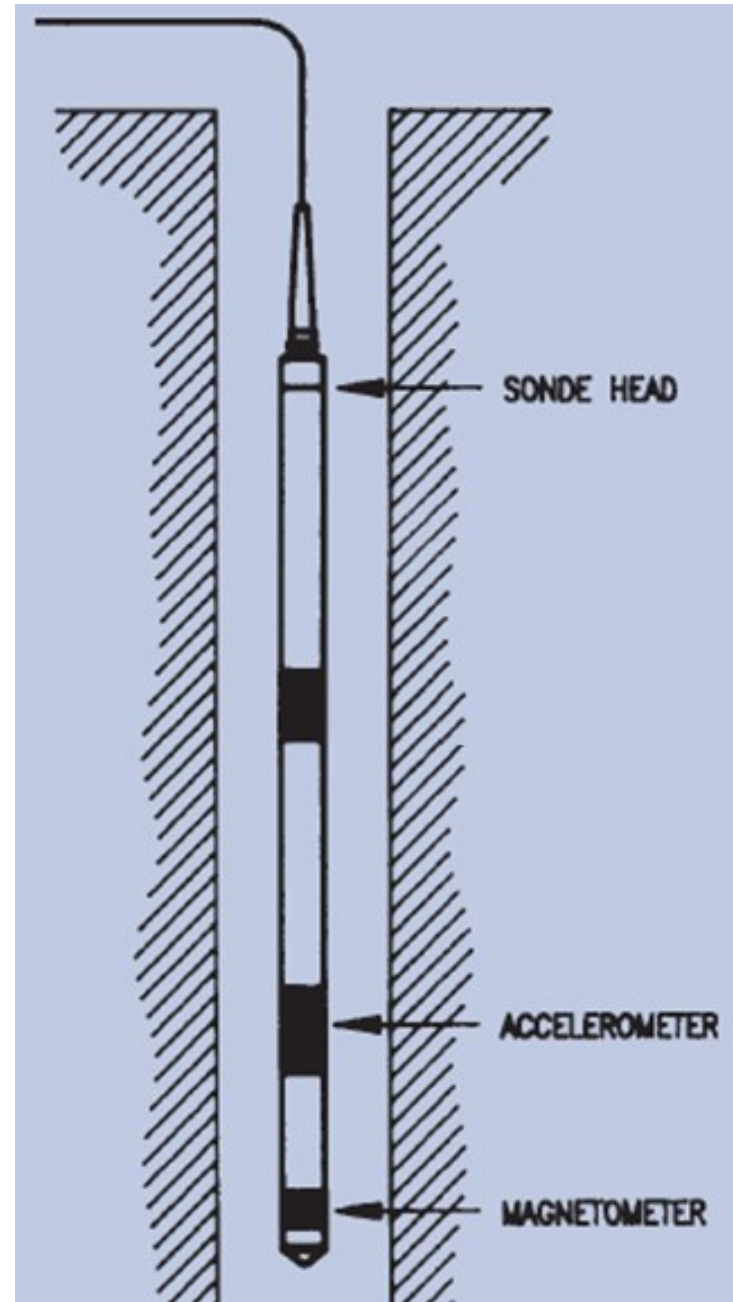


Figure 5. Borehole Deviation Probe

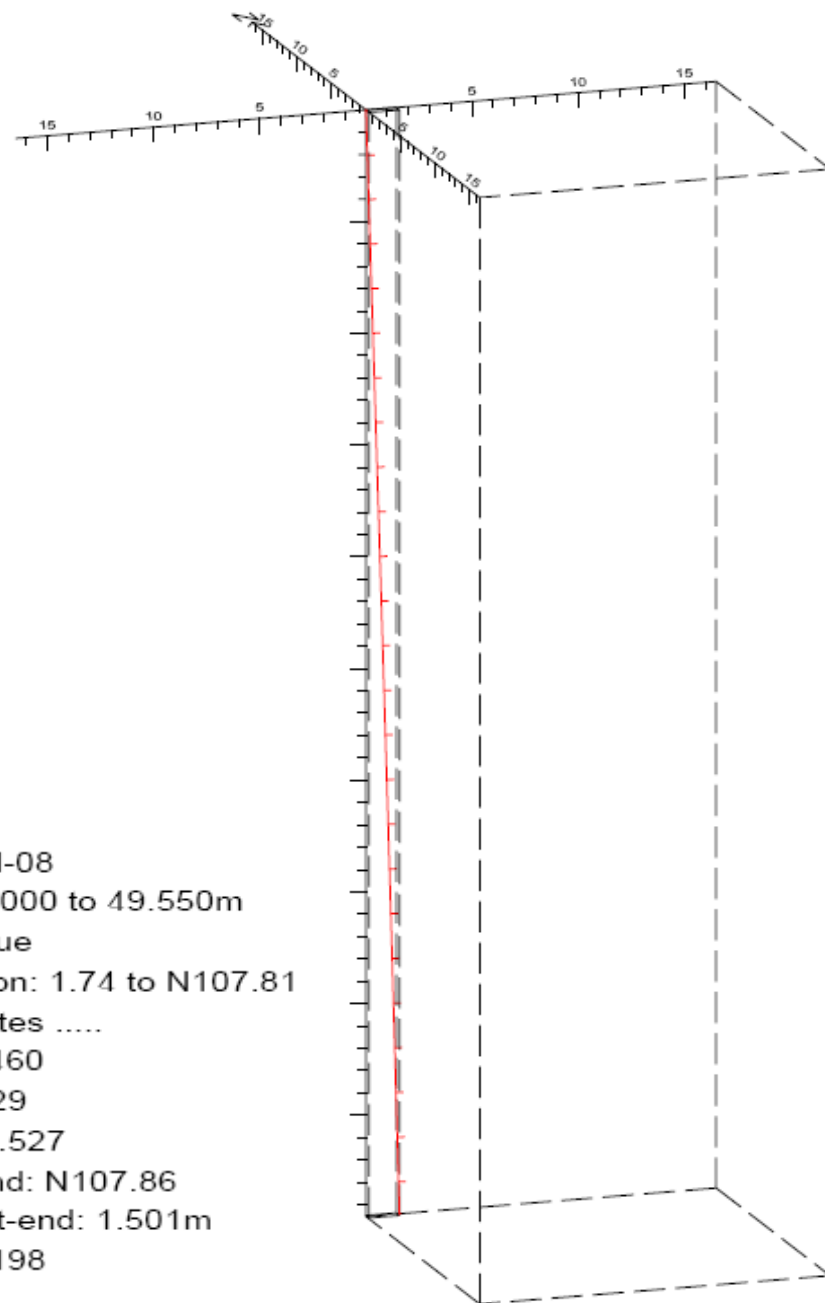
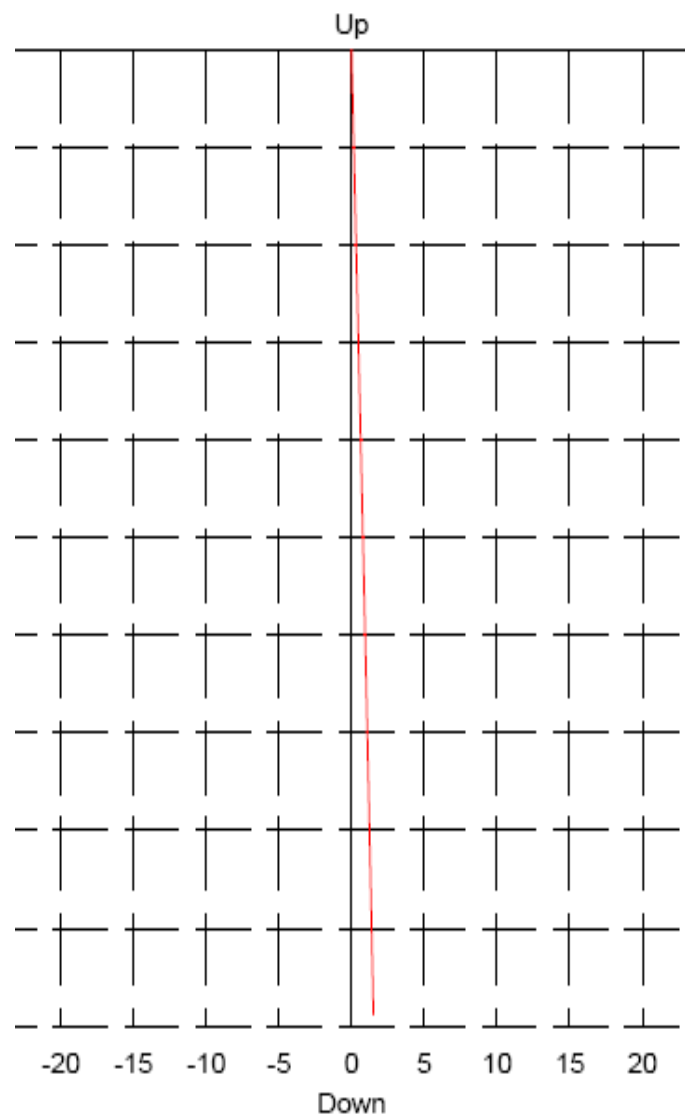


SONDA DE VERTICALIDADE

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



Projection onto vertical plane in end-borehole direction

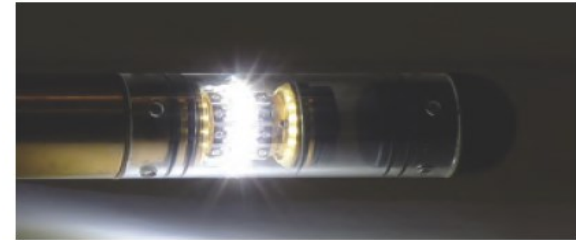
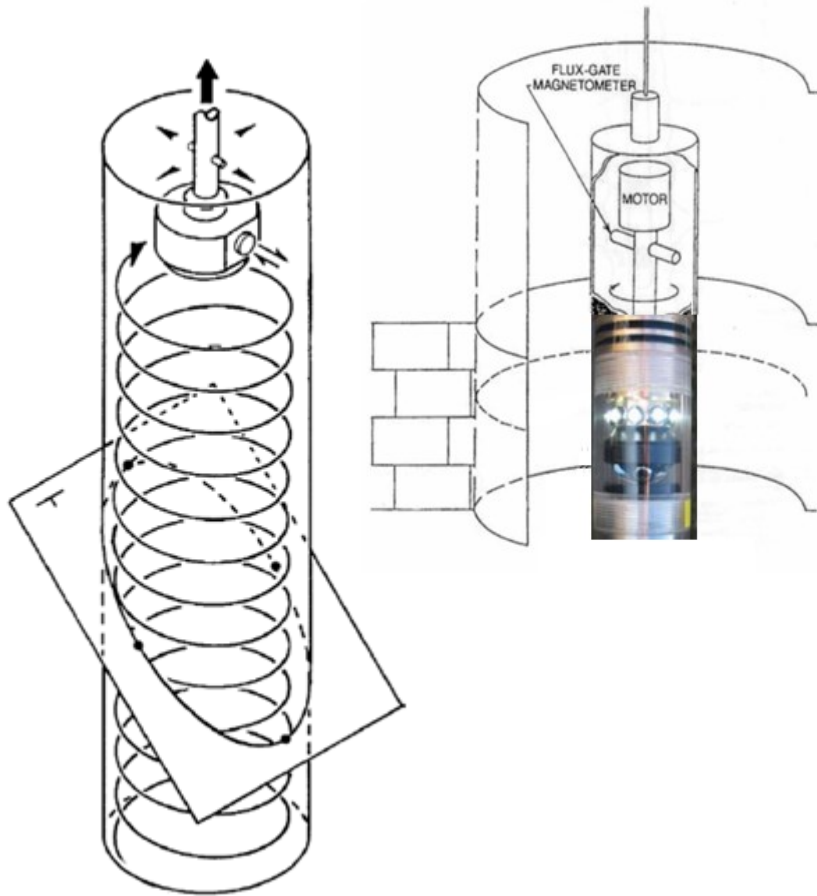


Borehole: SM-08
Zone from: 0.000 to 49.550m
North ref is true
Mean deviation: 1.74 to N107.81
End coordinates
North: -0.460
East : 1.429
Down : 49.527
Azimuth of end: N107.86
Distance start-end: 1.501m
Viewpoint: N198

SONDA OPTV (OPTICAL BOREHOLE TELEVIEWER)

Televisonamento de furo de sondagem

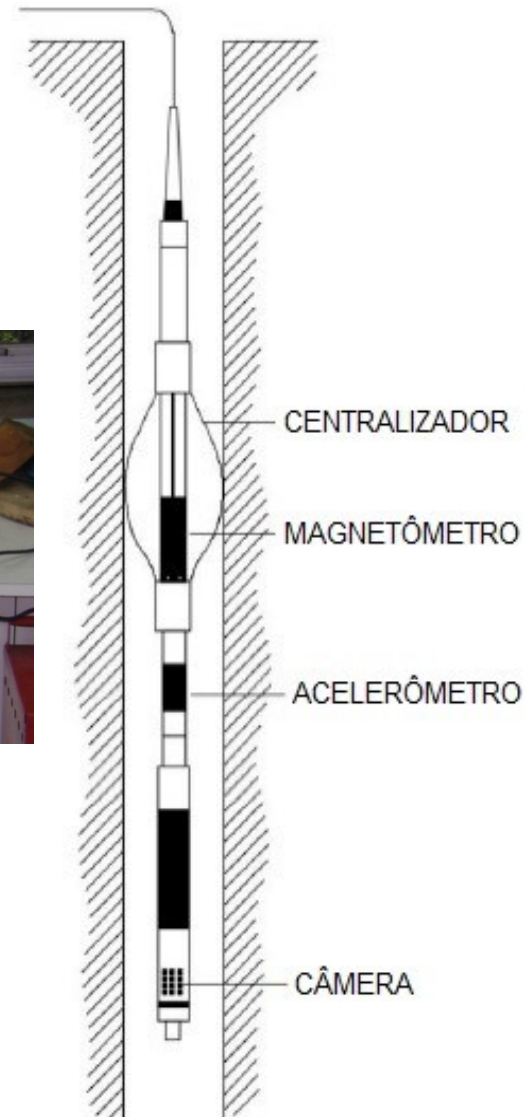
A ferramenta faz uma filmagem da parede do furo, girando continuamente à medida em que se desloca



SONDA OPTV (OPTICAL BOREHOLE TELEVIEWER)

Televisonamento de furo de sondagem

ipt
INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS



SONDA OPTV (OPTICAL BOREHOLE TELEVIEWER)

Televisonamento de furo de sondagem

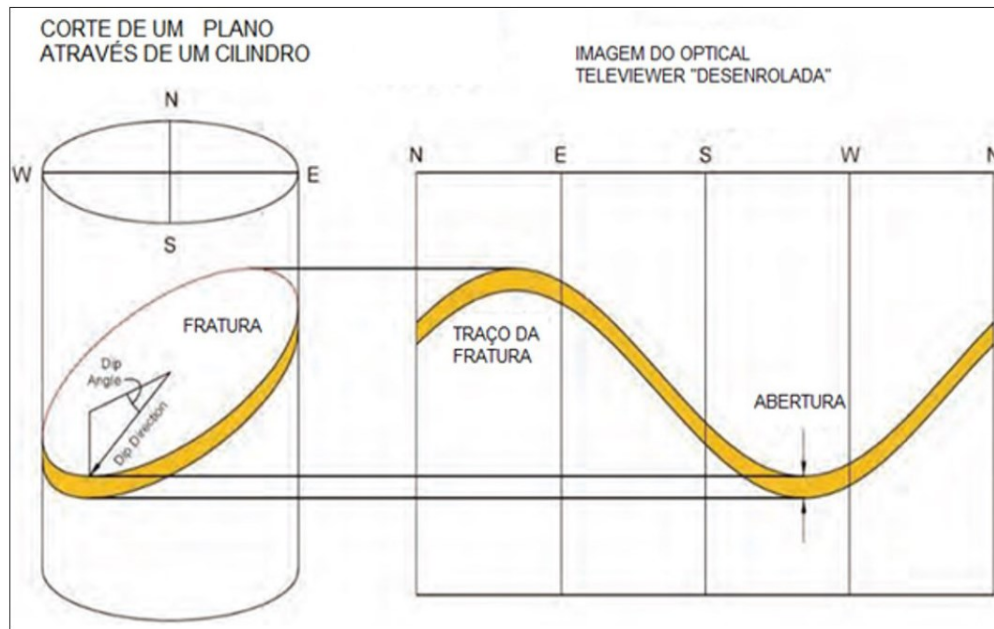
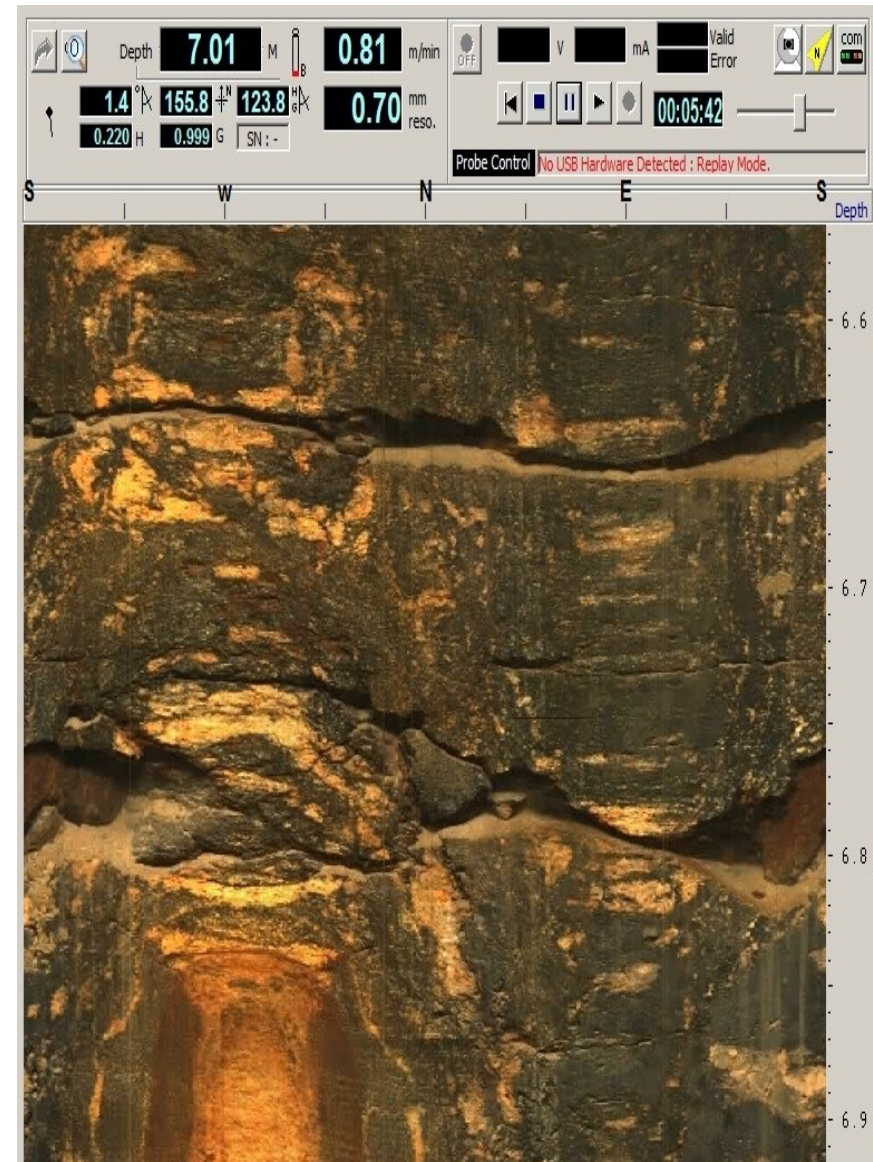
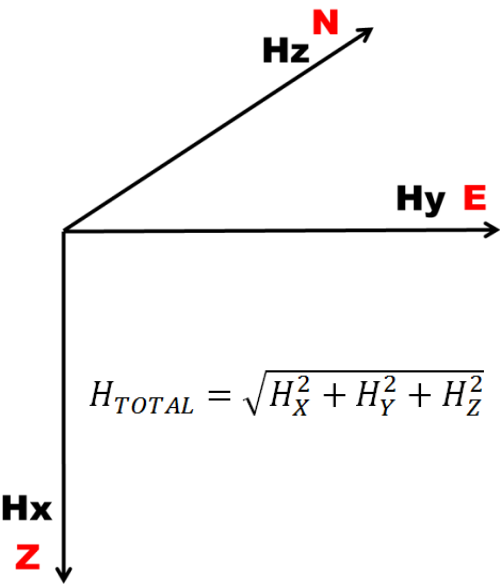


Figura 1. Formação e orientação da imagem gerada por OTV.

Imagem orientada, de alta resolução, das paredes do furo de sondagem



O magnetômetro (ex., do tipo “fluxgate”) mede as três componentes do campo magnético da Terra

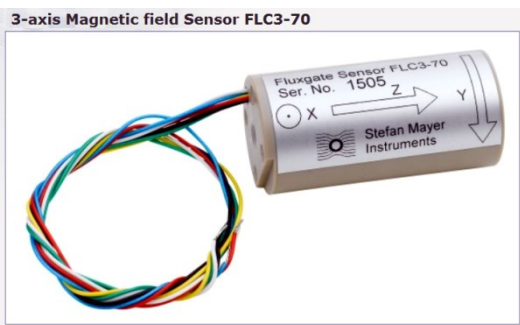


$$H_{TOTAL} = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2}$$

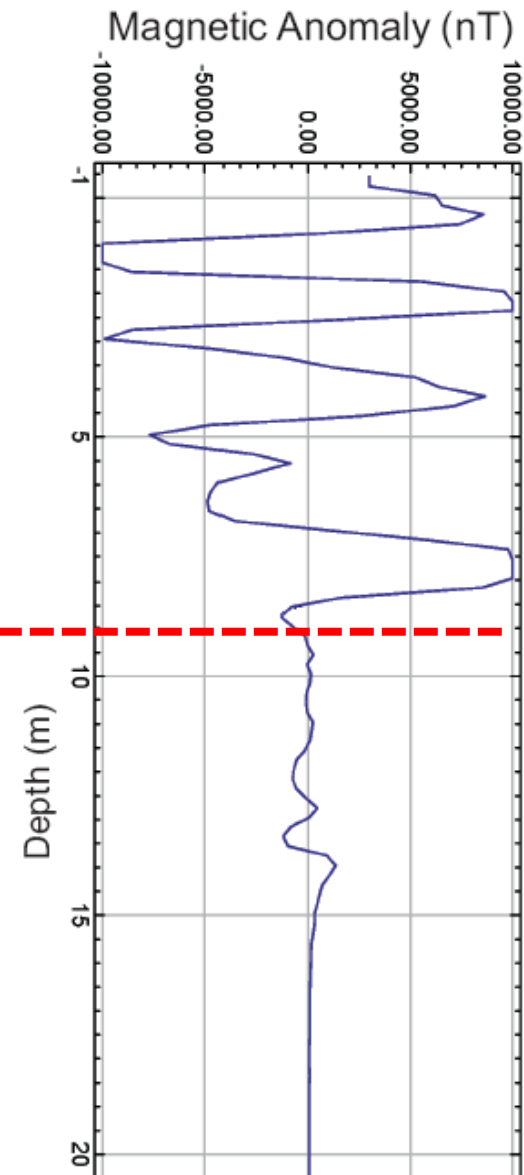
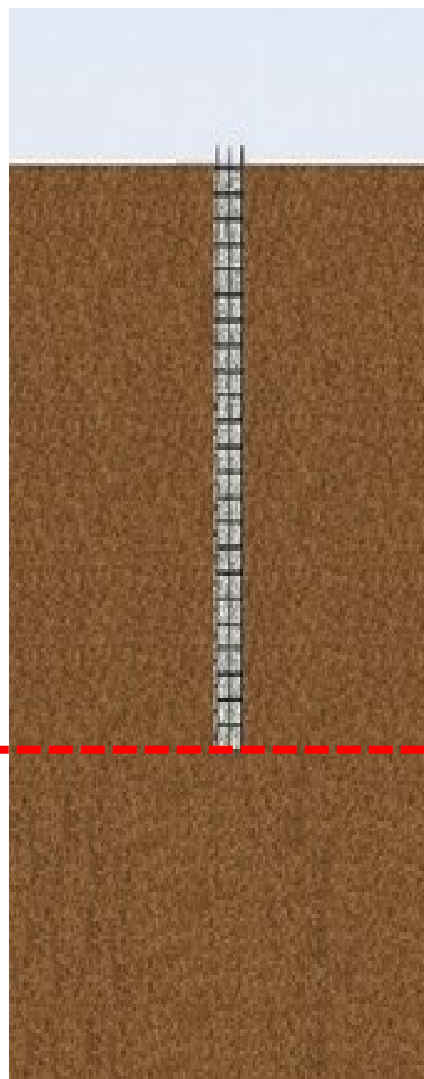
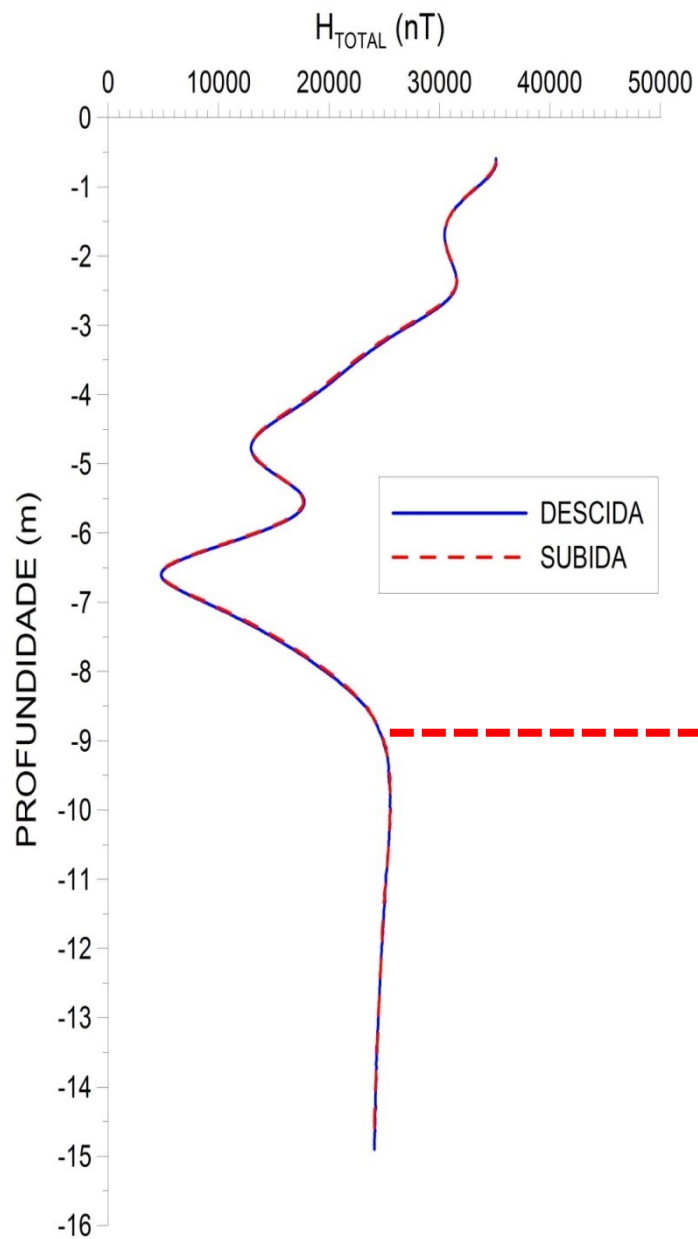
Notes: The log is recorded in Up Mode.

#	~CURVE INFORMATION	API CODE	CURVE DESCRIPTION
#	DEPTH .M		: Depth
	SPEED .M/Min		: Logging speed
	INCL .DEGREE		: Inclination
	AZ .DEGREE		: Azimuth
	HGDELTA .DEGREE		: HG Delta
	ROLL .DEGREE		: Roll
	MROLL .DEGREE		: Magnetic roll
	TGRAV .G		: Total gravity
	TMAG .NT		: Total Heading
	GX .RAW		: Accelerometer x axis
	GY .RAW		: Accelerometer y axis
	GZ .RAW		: Accelerometer z axis
	HX .RAW		: Magnetometer x axis
	HY .RAW		: Magnetometer y axis
	HZ .RAW		: Magnetometer z axis

DEPTH	SPEED	INCL	AZ	HGDELT	ROLL	MROLL	TGRAV	TMAG	GX	GY	GZ	HX	HY	HZ
26.00	-0.74	3.86	12.19	143.04	112.86	101.64	0.999	23433	-9967	619	-261	1775	-1498	308
25.99	-0.74	3.85	12.30	143.03	112.91	101.59	0.998	23415	-9962	618	-261	1774	-1497	307
25.98	-0.76	3.85	12.36	143.01	113.02	101.64	0.998	23398	-9956	616	-262	1772	-1496	308
25.97	-0.75	3.85	12.56	143.01	113.22	101.66	0.998	23385	-9958	616	-264	1771	-1495	308
25.96	-0.77	3.86	12.73	143.00	113.36	101.64	0.998	23371	-9956	617	-266	1769	-1495	308
25.95	-0.73	3.86	12.78	142.99	113.23	101.47	0.999	23355	-9965	617	-265	1768	-1495	303
25.94	-0.74	3.86	12.95	142.98	113.34	101.42	0.999	23336	-9967	617	-266	1766	-1494	301
25.93	-0.77	3.86	13.16	142.96	113.50	101.39	0.999	23318	-9968	616	-268	1765	-1493	300
25.92	-0.76	3.84	13.29	142.94	113.47	101.24	0.999	23304	-9970	614	-266	1763	-1494	296
25.91	-0.79	3.85	13.48	142.95	113.55	101.13	0.998	23282	-9956	615	-268	1762	-1493	293
25.90	-0.85	3.85	13.60	142.92	113.56	101.04	0.998	23268	-9959	614	-267	1760	-1493	291
25.89	-0.83	3.84	13.66	142.91	113.53	100.95	0.998	23255	-9958	613	-267	1759	-1492	288
25.88	-0.83	3.85	13.79	142.91	113.30	100.60	0.999	23232	-9965	615	-265	1757	-1493	279
25.87	-0.83	3.85	13.95	142.90	113.19	100.34	0.998	23219	-9960	615	-263	1756	-1494	272
25.86	-0.85	3.85	13.95	142.90	113.00	100.15	0.998	23205	-9961	616	-261	1755	-1494	267
25.85	-0.84	3.84	14.05	142.88	113.06	100.12	0.998	23187	-9960	615	-262	1753	-1493	266
25.84	-0.84	3.83	14.10	142.86	113.23	100.23	0.999	23173	-9964	613	-263	1752	-1492	269
25.83	-0.82	3.84	14.19	142.85	113.47	100.40	0.998	23160	-9962	613	-266	1751	-1491	273
25.82	-0.82	3.85	14.40	142.84	113.53	100.27	0.998	23144	-9959	614	-267	1749	-1491	270
25.81	-0.86	3.86	14.47	142.85	113.39	100.07	0.999	23127	-9963	617	-267	1748	-1491	264
25.80	-0.92	3.86	14.53	142.82	113.27	99.90	0.998	23113	-9958	617	-265	1746	-1491	260
25.79	-0.94	3.86	14.53	142.80	113.38	100.00	0.999	23098	-9962	616	-266	1744	-1490	262
25.78	-0.94	3.85	14.57	142.78	113.47	100.04	0.999	23085	-9967	614	-266	1743	-1489	263
25.77	-0.95	3.85	14.46	142.78	113.48	100.16	0.998	23069	-9959	614	-267	1742	-1488	266



Sensor do magnetômetro fluxgate



ESTUDOS DE CASOS COM UTILIZAÇÃO CONJUNTA DOS ENSAIOS PARALELO SÍSMICO E PERFILAGEM MAGNÉTICA

Rua Harmonia, 1085 - São Paulo/SP

2018

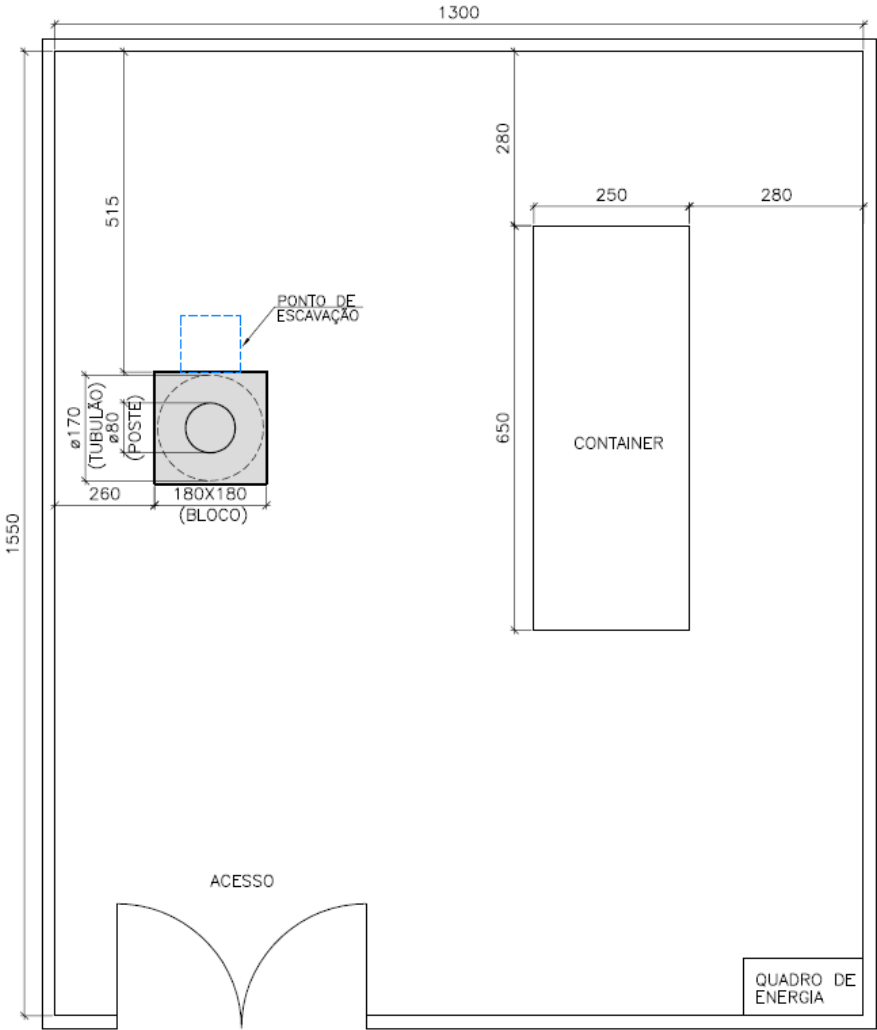


2023

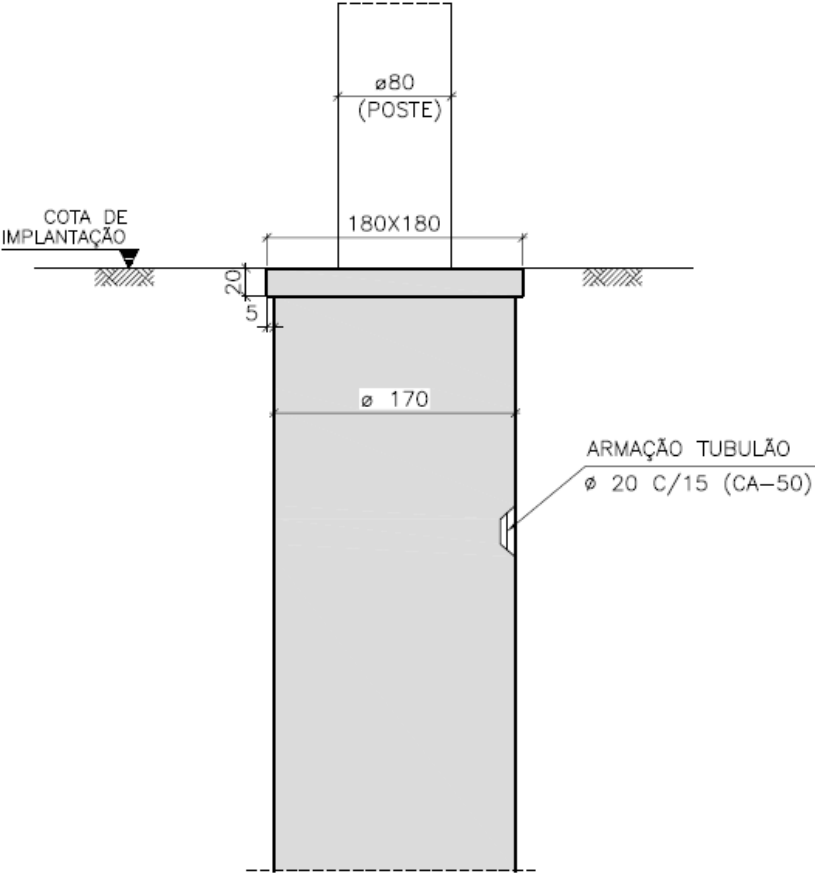


Rua Harmonia, 1085 - São Paulo/SP

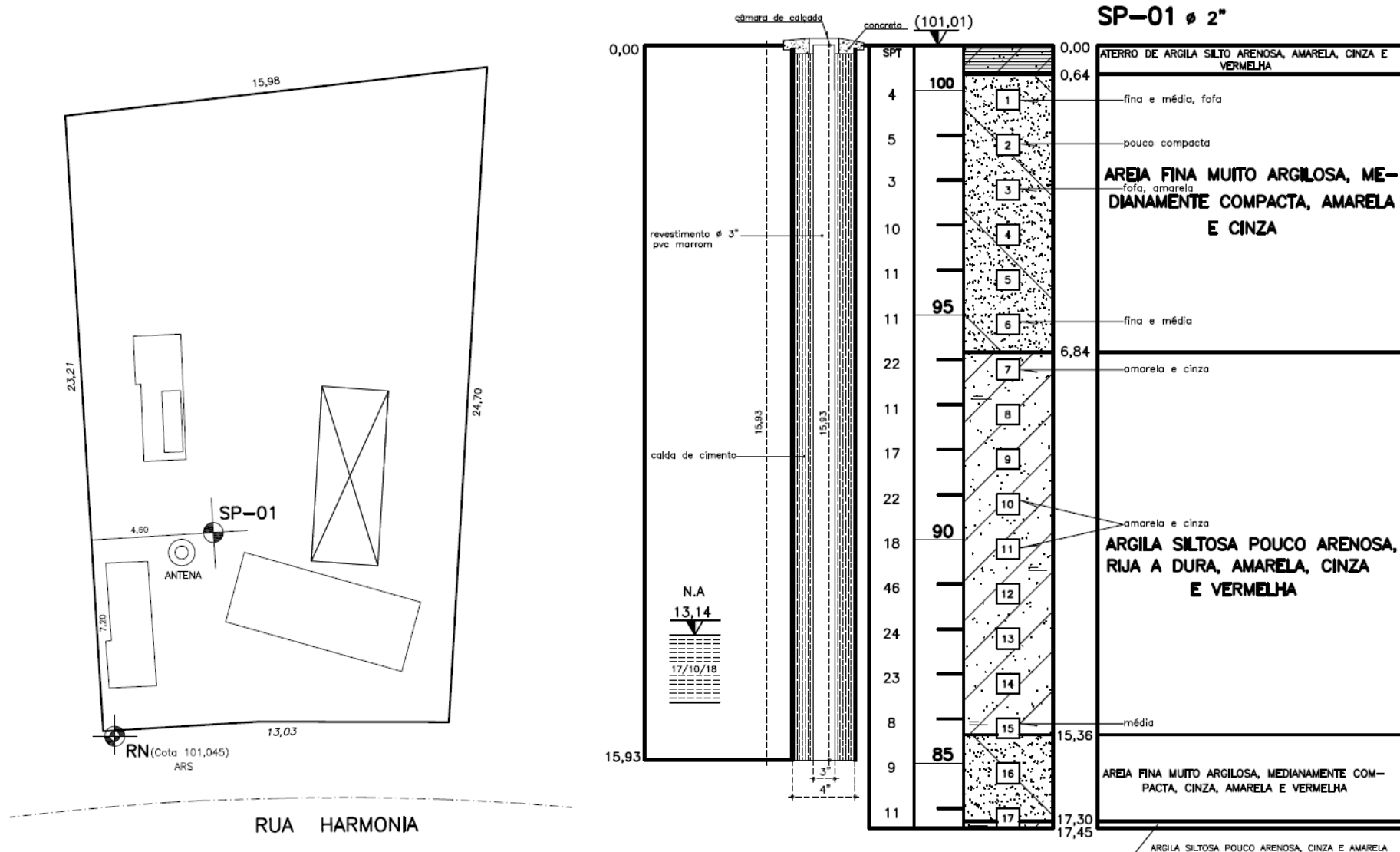
PLANTA DA FUNDAÇÃO



EM CORTE



Rua Harmonia, 1085 - São Paulo/SP

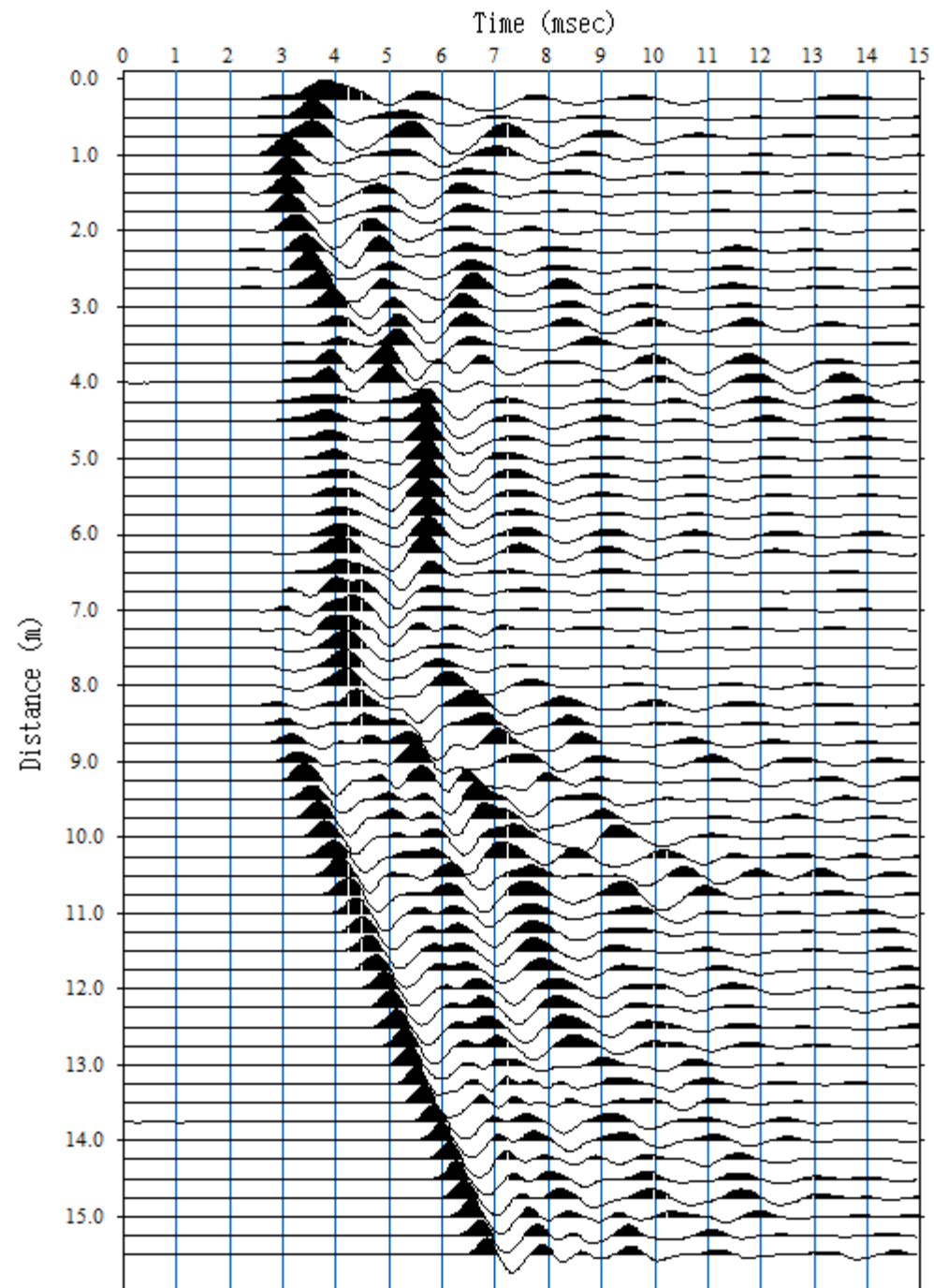


Ensaio Paralelo Sísmico



Resultado do ensaio
Paralelo Sísmico

Rua Harmonia, 1085
São Paulo/SP



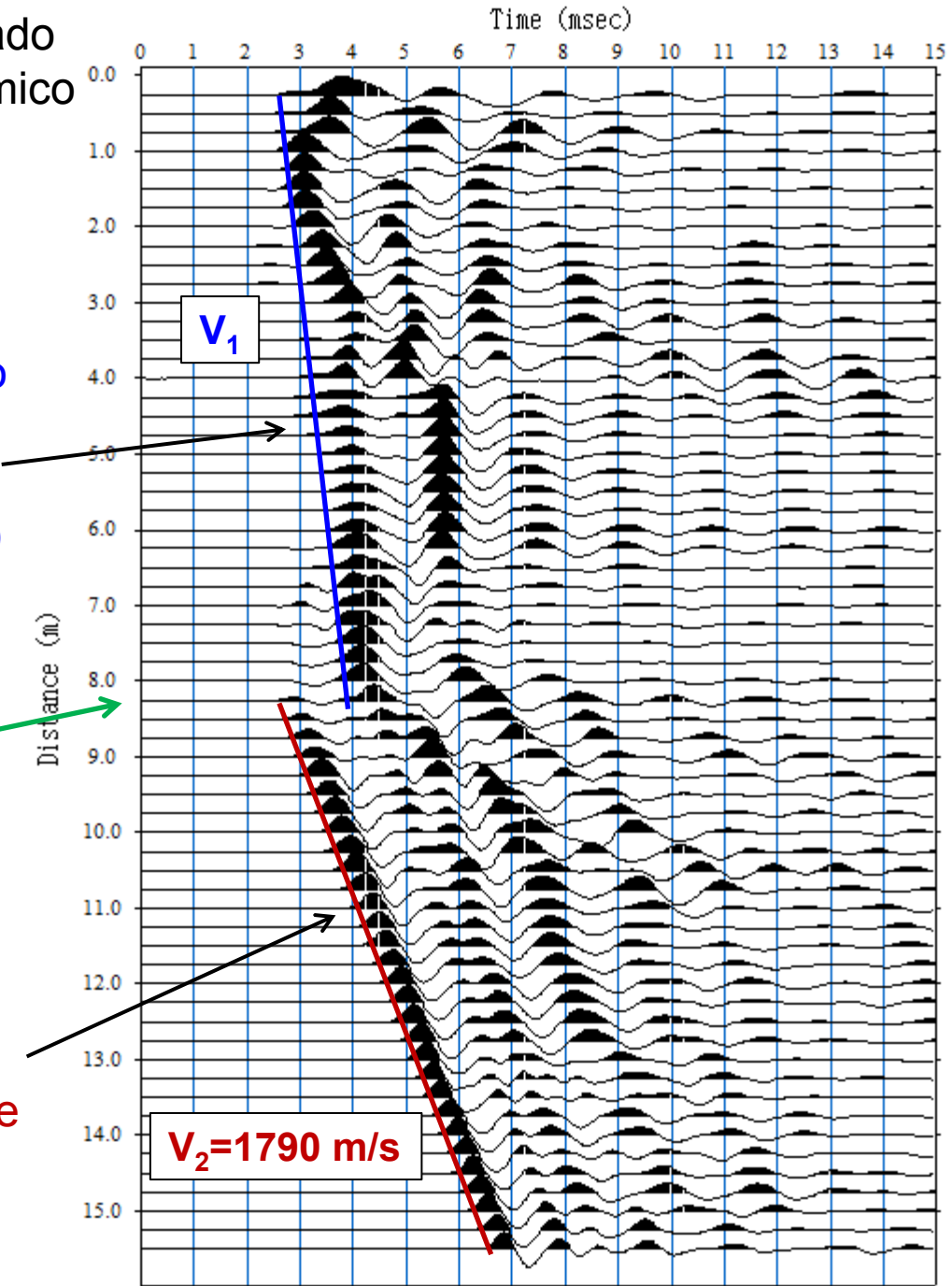
Interpretação do resultado
do ensaio Paralelo Sísmico

Rua Harmonia, 1085
São Paulo/SP

Velocidade da onda no
concreto (posição da
fundação, até a sua
máxima profundidade)

Profundidade
interpretada:
8,25 m

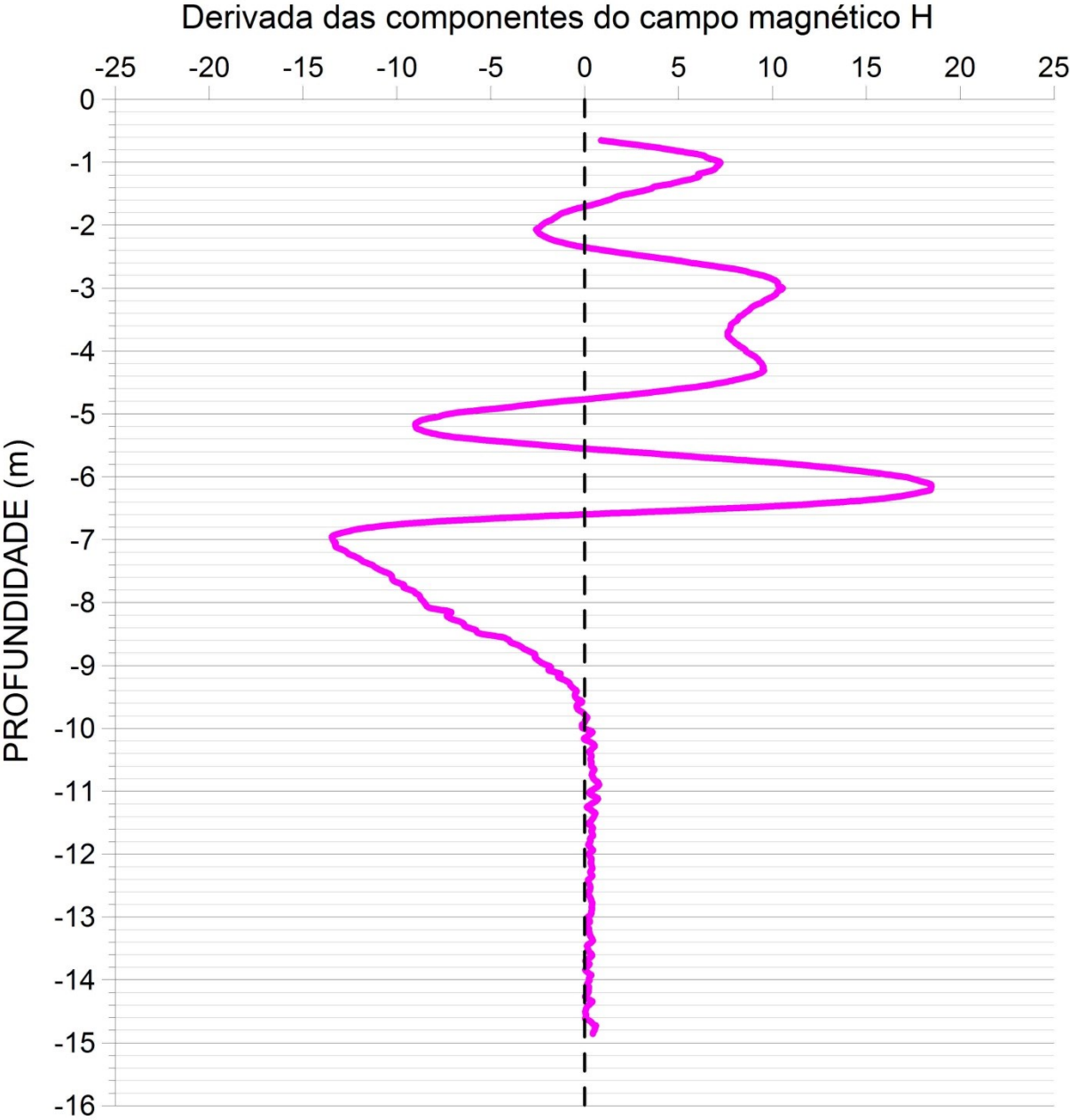
Velocidade da onda
sísmica no solo
(posição abaixo da
máxima profundidade
da fundação)



Ensaio de Perfilagem Magnética



Resultado do ensaio de Perfilagem Magnética

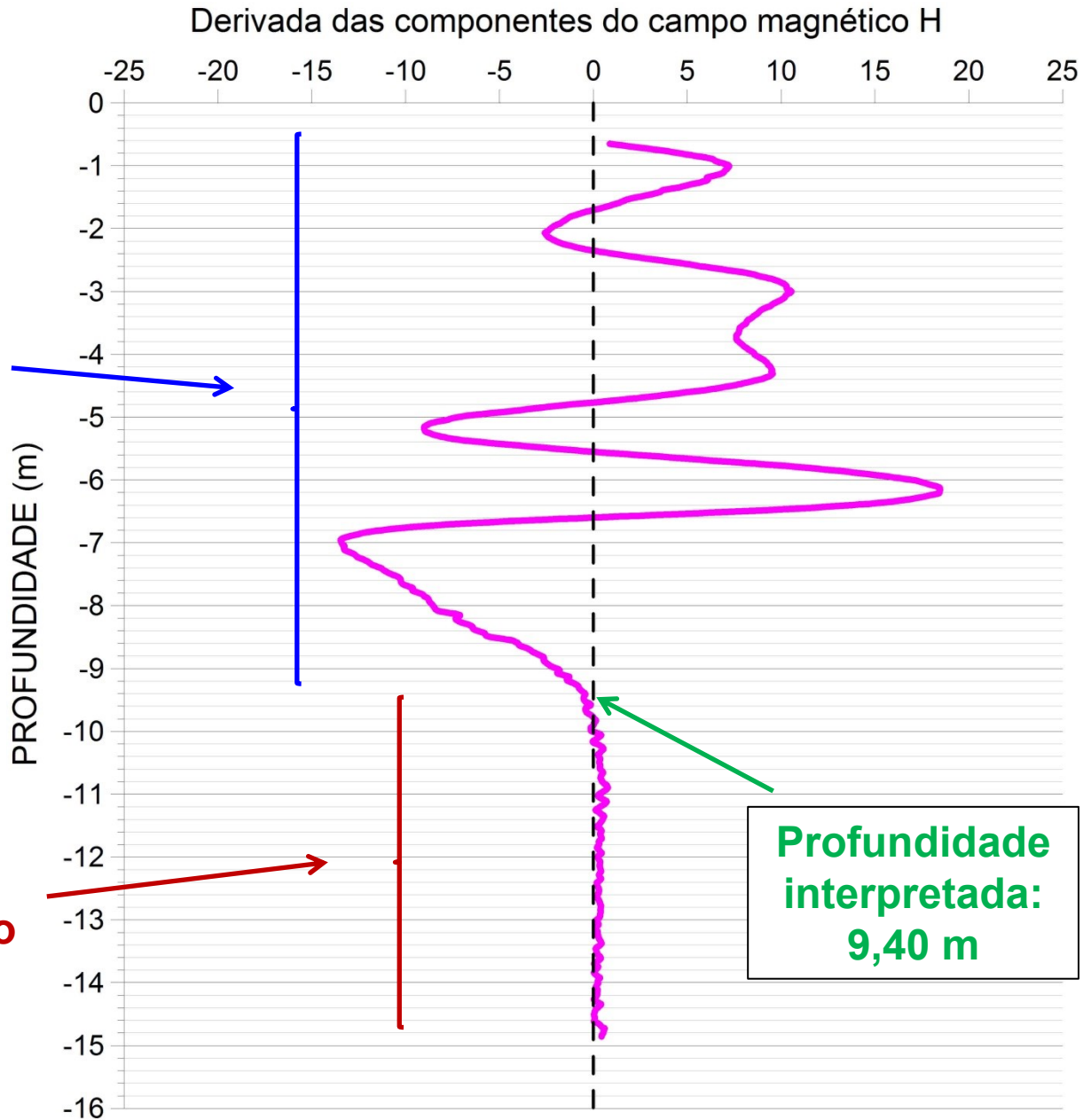


Resultado do ensaio de perfilagem magnética

INTERPRETAÇÃO

**Sinal do campo
magnético
perturbado (devido à
presença da ferragem
da fundação)**

**Sinal do campo
magnético
sem perturbação**



Os dois ensaios (Perfilagem magnética e Paralelo sísmico) indicam que a profundidade máxima da fundação (tubulão) encontra-se na faixa entre 8,25 m e 9,40 m, não ultrapassando 9,50 m

ENSAIO PARALELO SÍSMICO

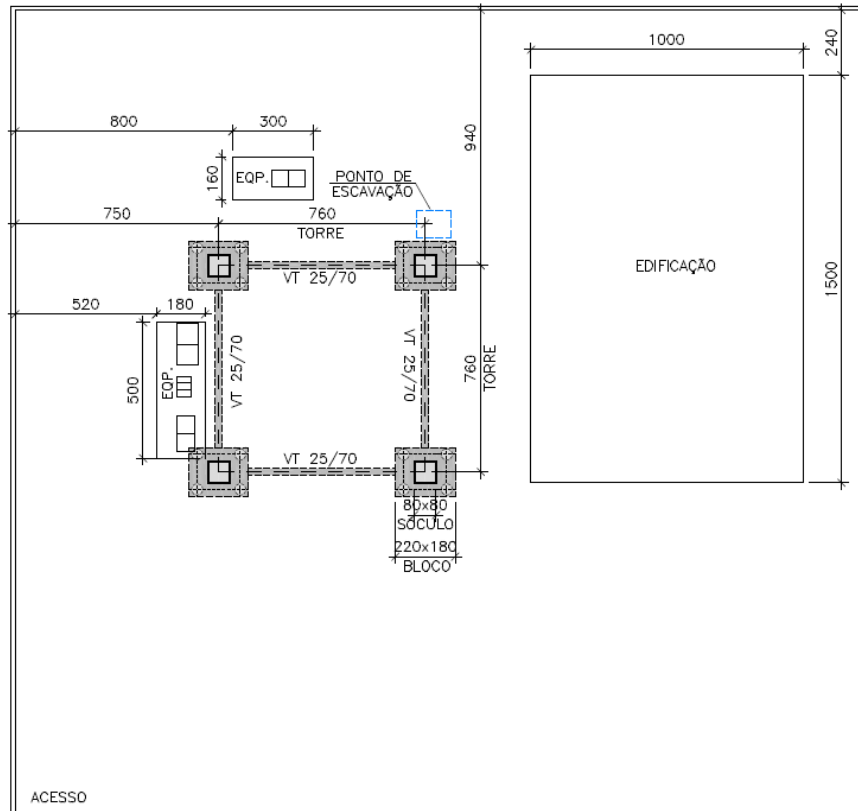


PERFILAGEM MAGNÉTICA

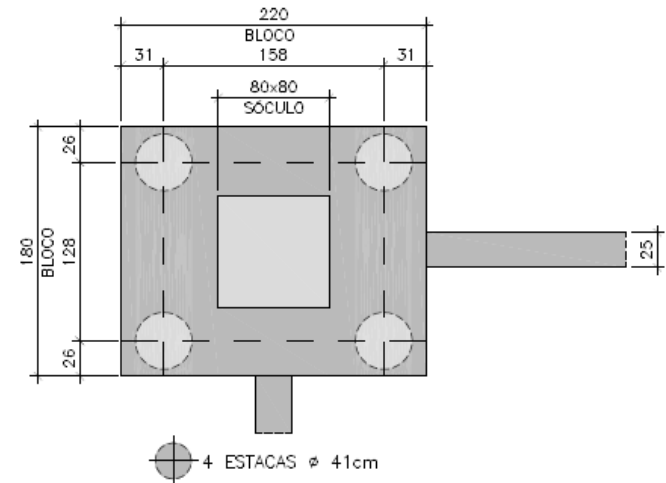


Site CLG002B3, Campo Largo - PR (2019)

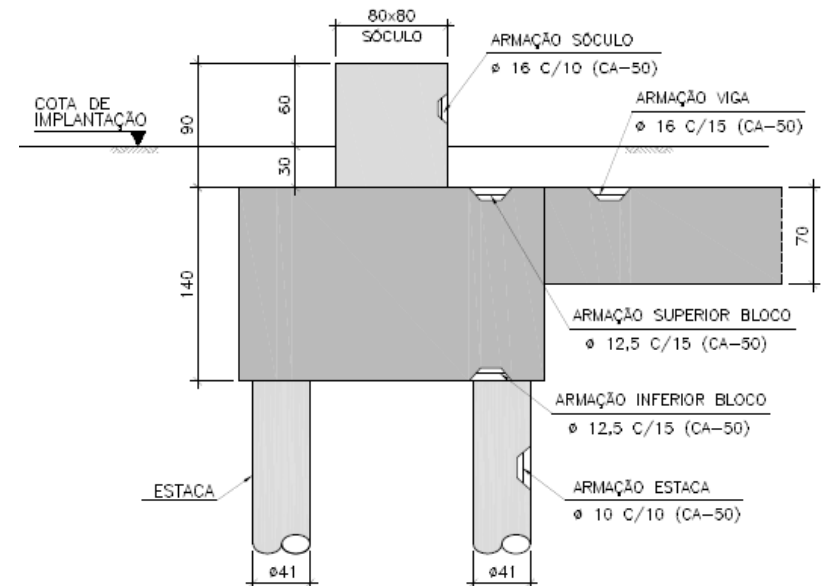
PLANTA DA FUNDAÇÃO



EM PLANTA (4x)



EM CORTE (4x)



Site CLG002B3, Campo Largo - PR (2019)

PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAÇÃO À PERCUSSÃO								CONFORME NBR6484/01 NBR6502/95		SP-01		1 /			
NA (m)	PROF. (m)	PERFIL GEOLOGICO	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	CLASS. GEOLOGICO- GEO TECNICA	COTA (m)	EQUIP. UTILIZADO: EQ01				AMOSTRA	AMOST.: TERZAGHI & PECK 4 2" QUEDA DE 75cm 1 1/2" PESO DE 65 kg	TORQUE	TORQUE		
						Nº DE GOLPES			SPT (N)						
						PENETRAÇÃO									
												GRÁFICO SPT (N) 10 20 30 40		kgf.m	
	0.10		Camada Vegetal				-	-	-	-	0	Perfuração com Trado manual de 0.00 a 1.00m			
	1.80		Argila plástica com matéria orgânica, muito mole, preta.	AL	1	-	1	-	-	1/40	1				
	2.90		Argila plástica arenosa (fina) com pedregulhos finos, mediantemente rija, cinza.	AL	2	-	20	26	15	1/45	2				
					3	-	15	30	15		3				
					4	-	15	15	15		4				
					5	-	15	15	15		5				
	5.75		Argila plástica pouco arenosa, com pedregulhos médios, mediantemente rija, branca.	AL	6	-	15	15	15		6				
					7	-	15	15	15		7				
					8	-	15	15	15		8				
					9	-	15	15	15		9				
					10	-	15	15	15		10				
					11	-	15	15	15		11				
	9.00		Argila siltosa, mole a mediantemente rija, vermelha.	AL	12	-	15	15	15		12				
					13	-	15	15	15		13				
					14	-	15	15	15		14				
					15	-	15	15	15		15				
					16	-	15	15	15		16				
					17	-	15	15	15		17				
					18	-	15	15	15		18				
					19	-	15	15	15		19				
					20	-	15	15	15		20				
					21	-	15	15	15		21				
					22	-	15	15	15		22				
					23	-	15	15	15		23				
					24	-	15	15	15		24				
					25	-	15	15	15		25				
					26	-	15	15	15		26				
					27	-	15	15	15		27				
					28	-	15	15	15		28				
					29	-	15	15	15		29				
					30	-	15	15	15		30				
					31	-	15	15	15		31				
					32	-	15	15	15		32				
					33	-	15	15	15		33				
					34	-	15	15	15		34				
					35	-	15	15	15		35				
					36	-	15	15	15		36				
					37	-	15	15	15		37				
					38	-	15	15	15		38				
					39	-	15	15	15		39				
					40	-	15	15	15		40				
					41	-	15	15	15		41				
					42	-	15	15	15		42				
					43	-	15	15	15		43				
					44	-	15	15	15		44				
					45	-	15	15	15		45				
					46	-	15	15	15		46				
					47	-	15	15	15		47				
					48	-	15	15	15		48				
					49	-	15	15	15		49				
					50	-	15	15	15		50				
					51	-	15	15	15		51				
					52	-	15	15	15		52				
					53	-	15	15	15		53				
					54	-	15	15	15		54				
					55	-	15	15	15		55				
					56	-	15	15	15		56				
					57	-	15	15	15		57				
					58	-	15	15	15		58				
					59	-	15	15	15		59				
					60	-	15	15	15		60				
					61	-	15	15	15		61				
					62	-	15	15	15		62				
					63	-	15	15	15		63				
					64	-	15	15	15		64				
					65	-	15	15	15		65				
					66	-	15	15	15		66				
					67	-	15	15	15		67				
					68	-	15	15	15		68				
					69	-	15	15	15		69				
					70	-	15	15	15		70				
					71	-	15	15	15		71				
					72	-	15	15	15		72				
					73	-	15	15	15		73				
					74	-	15	15	15		74				
					75	-	15	15	15		75				
					76	-	15	15	15		76				
					77	-	15	15	15		77				
					78	-	15	15	15		78				
					79	-	15	15	15		79				
					80	-	15	15	15		80				
					81	-	15	15	15		81				
					82	-	15	15	15		82				
					83	-	15	15	15		83				
					84	-	15	15	15		84				
					85	-	15	15	15		85				
					86	-	15	15	15		86				
					87	-	15	15	15		87				
					88	-	15	15	15		88				
					89	-	15	15	15		89				
					90	-	15	15	15		90				
					91	-	15	15	15		91				
					92	-	15	15	15		92				
					93	-	15	15	15		93				
					94	-	15	15	15		94				
					95	-	15	15	15		95				
					96	-	15	15	15		96				
					97	-	15	15	15		97				
					98	-	15	15	15		98				
					99	-	15	15	15		99				
					100	-	15	15	15		100				
					101	-	15	15	15		101				
					102	-	15	15	15		102				
					103	-	15	15	15		103				
					104	-	15	15	15		104				
					105	-	15	15	15		105				
					106	-	15	15	15		106				
					107	-	15	15	15		107				
					108	-	15	15	15		108				
					109	-	15	15	15		109				
					110	-	15	15	15		110				
					111	-	15	15	15		111				
					112	-	15	15	15		112				
					113	-	15	15	15		113				
					114	-	15	15	15		114				
					115	-	15	15	15		115				
					116	-	15	15	15		116				
					117	-	15	15	15		117				
					118	-	15	15	15		118				
					119	-	15	15	15		119				
					120	-	15	15	15		120				
					121	-	15	15	15		121				
					122	-	15	15	15		122				
					123	-	15	15	15		123				
					124	-	15	15	15		124				
					125	-	15	15	15		125				
					126	-	15	15	15		126				
					127	-	15	15	15		127				
					128	-	15	15	15		128				
					129	-	15	15	15		129				
					130	-	15	15	15		130				
					131	-	15	15	15		131				
					132	-	15	15	15		132				
					133	-	15	15	15		133				
					134	-	15	15	15		134				
					135	-	15	15	15		135				
					136	-	15	15	15		136				
					137	-	15	15	15		137				
					138	-	15	15	15		138				
					139	-	15	15	15		139				
					140	-	15	15</							

MATERIAL (ARGILA) ATÉ COTA DE 21,0 M



MATERIAL (ROCHA) A PARTIR DOS 21,0 M



MATERIAL (ROCHA) A PARTIR DOS 21,0 M



Site CLG002B3, Campo Largo - PR (2019)

TUBULAÇÃO UTILIZADA



TAMPÃO NA PARTE INFERIOR DO TUBO



INÍCIO DA INSTALAÇÃO DO TUBO



LANÇAMENTO DA CALDA DE CIMENTO



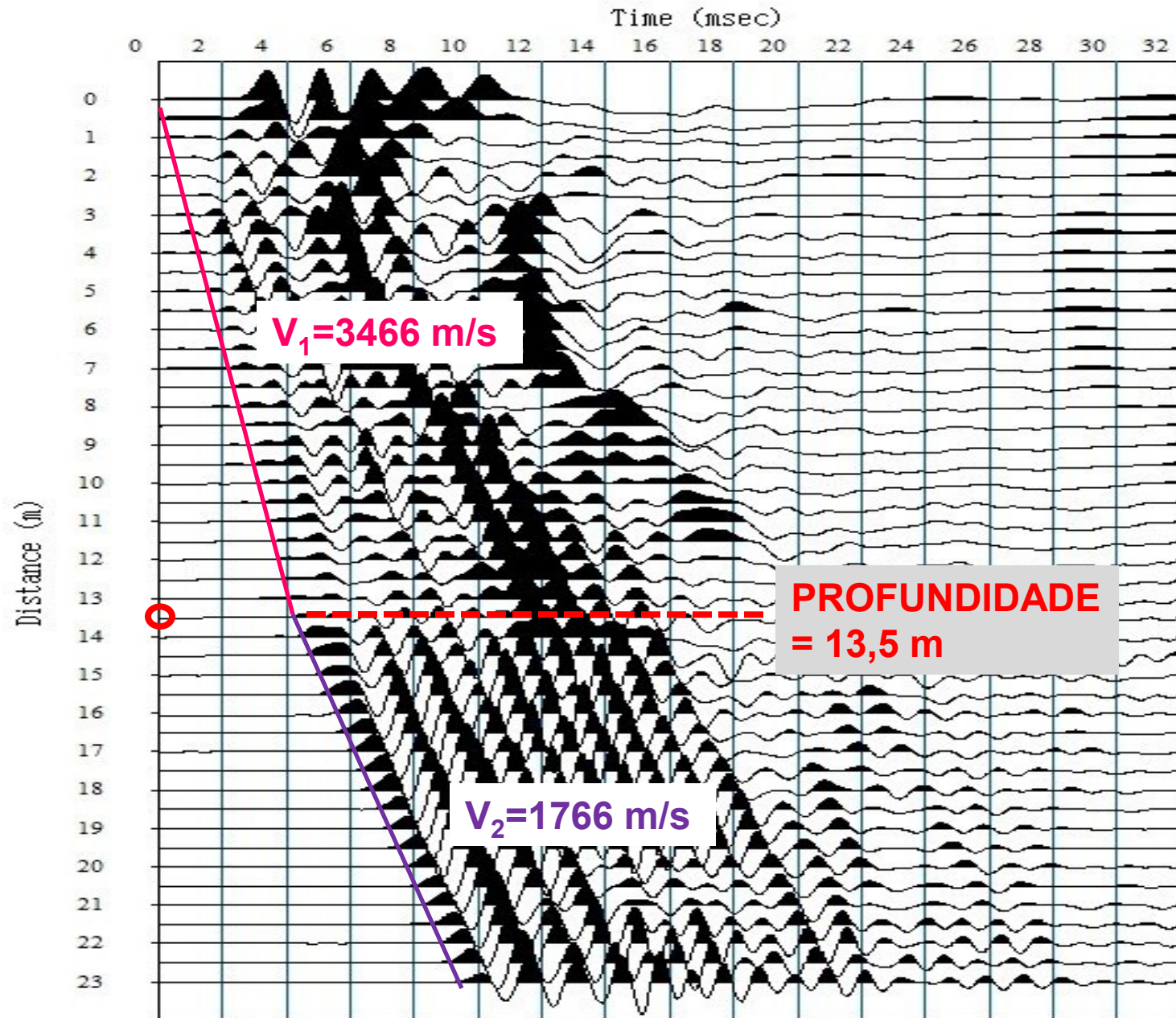
LANÇAMENTO DA CALDA DE CIMENTO



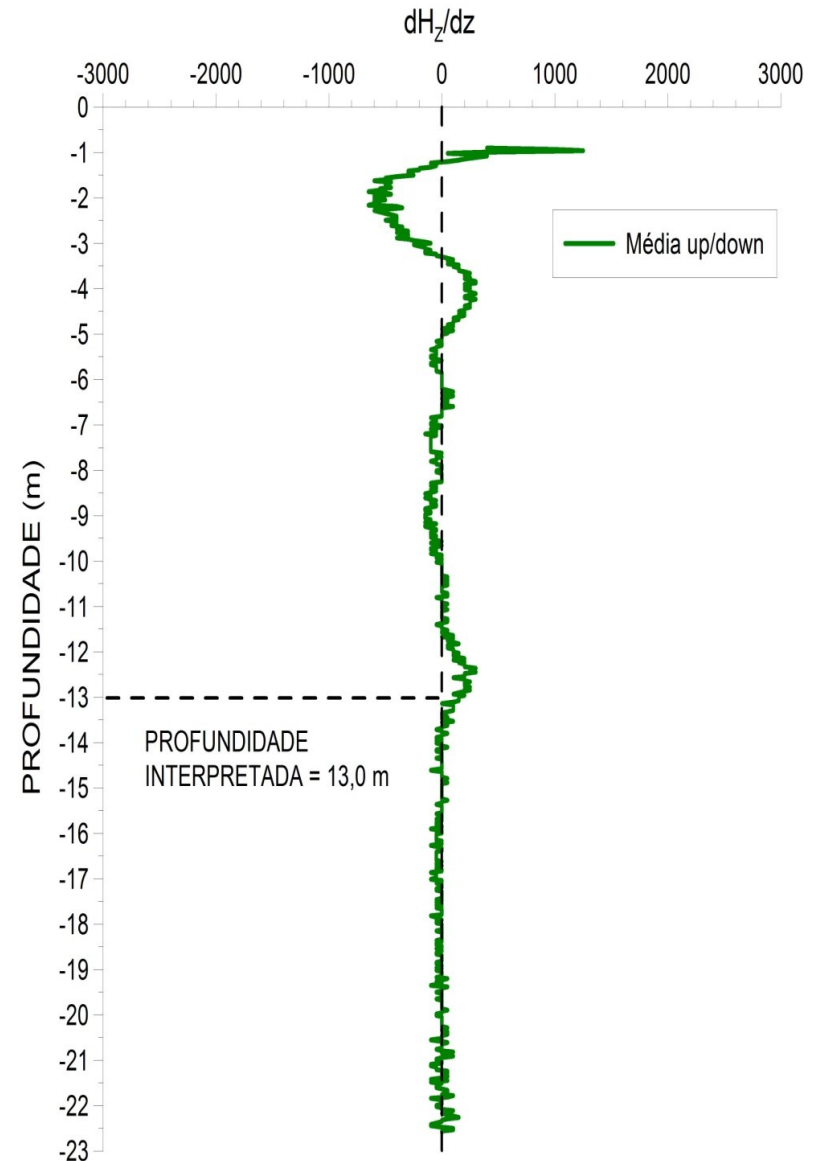
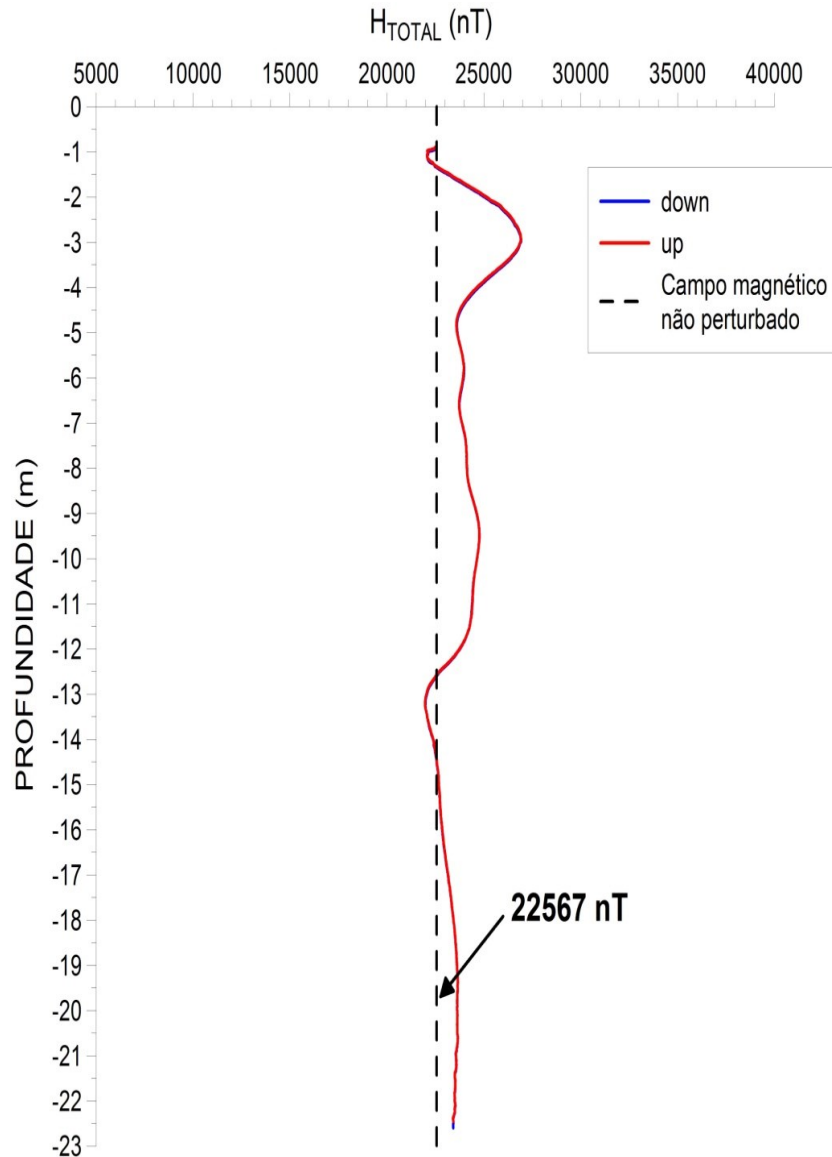
TUBO INSERIDO ATÉ PROFUNDIDADE DE 23,50 METROS



Resultado do ensaio Paralelo Sísmico



Resultado do Perfilagem Magnética



Profundidade do elemento de fundação (estaca): entre 13,0 m e 13,5 m

Moinho Fluminense

Rua Antônio Lage / Avenida Venezuela, bairro Gamboa
Rio de Janeiro - RJ (05/2021)



Moinho Fluminense

Rua Antônio Lage / Avenida Venezuela, bairro Gamboa
Rio de Janeiro - RJ (05/2021)



Folha de São Paulo
Junho de 2021



Silos de grãos desativados na região portuária da capital pernambucana; apartamentos vão custar entre R\$ 180 mil e R\$ 500 mil

Folha de São Paulo Junho de 2021



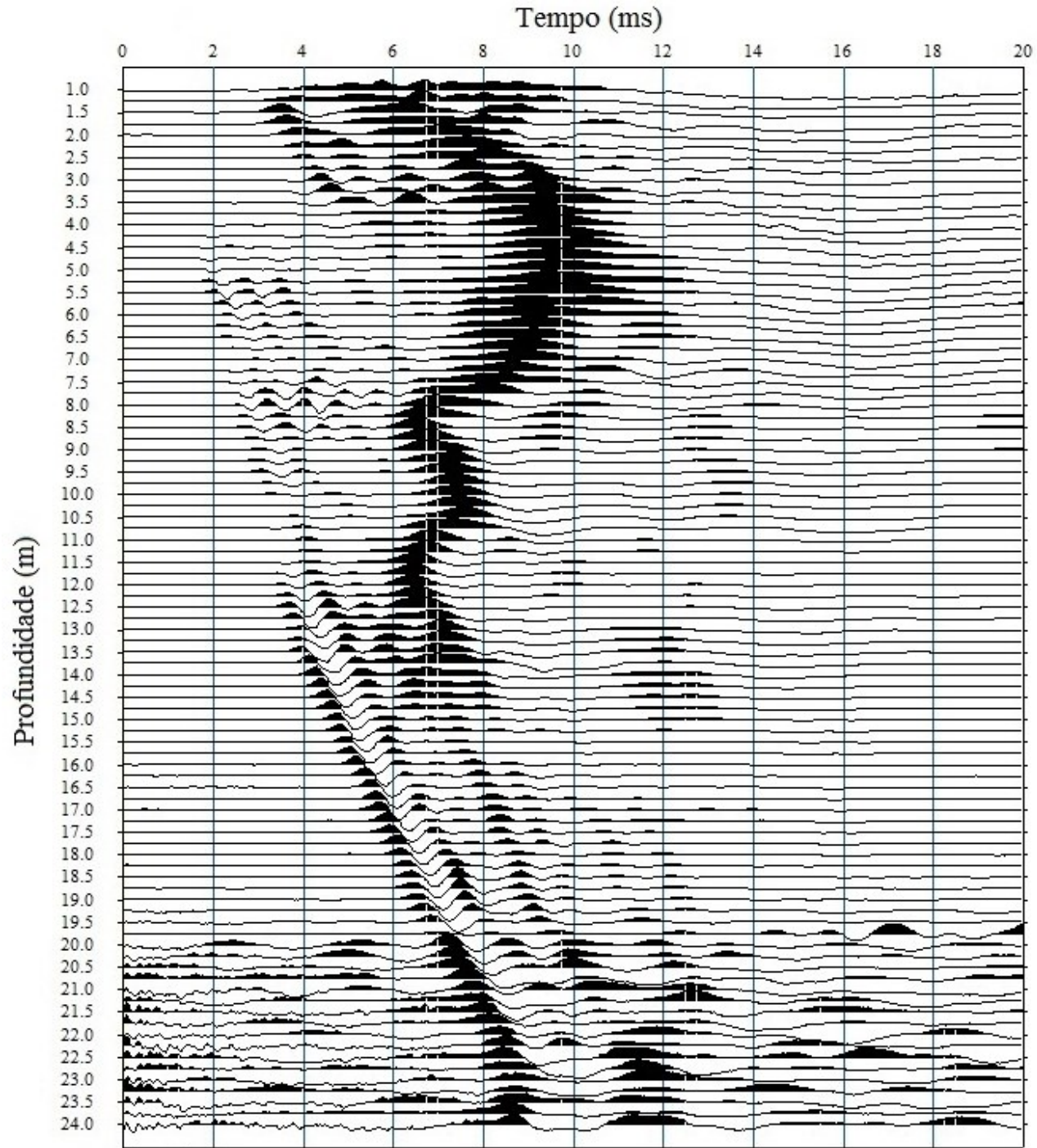
Projeção de retrofit dos silos; público-alvo são pessoas que trabalham no parque tecnológico Porto Digital e não encontram opções de moradia no bairro

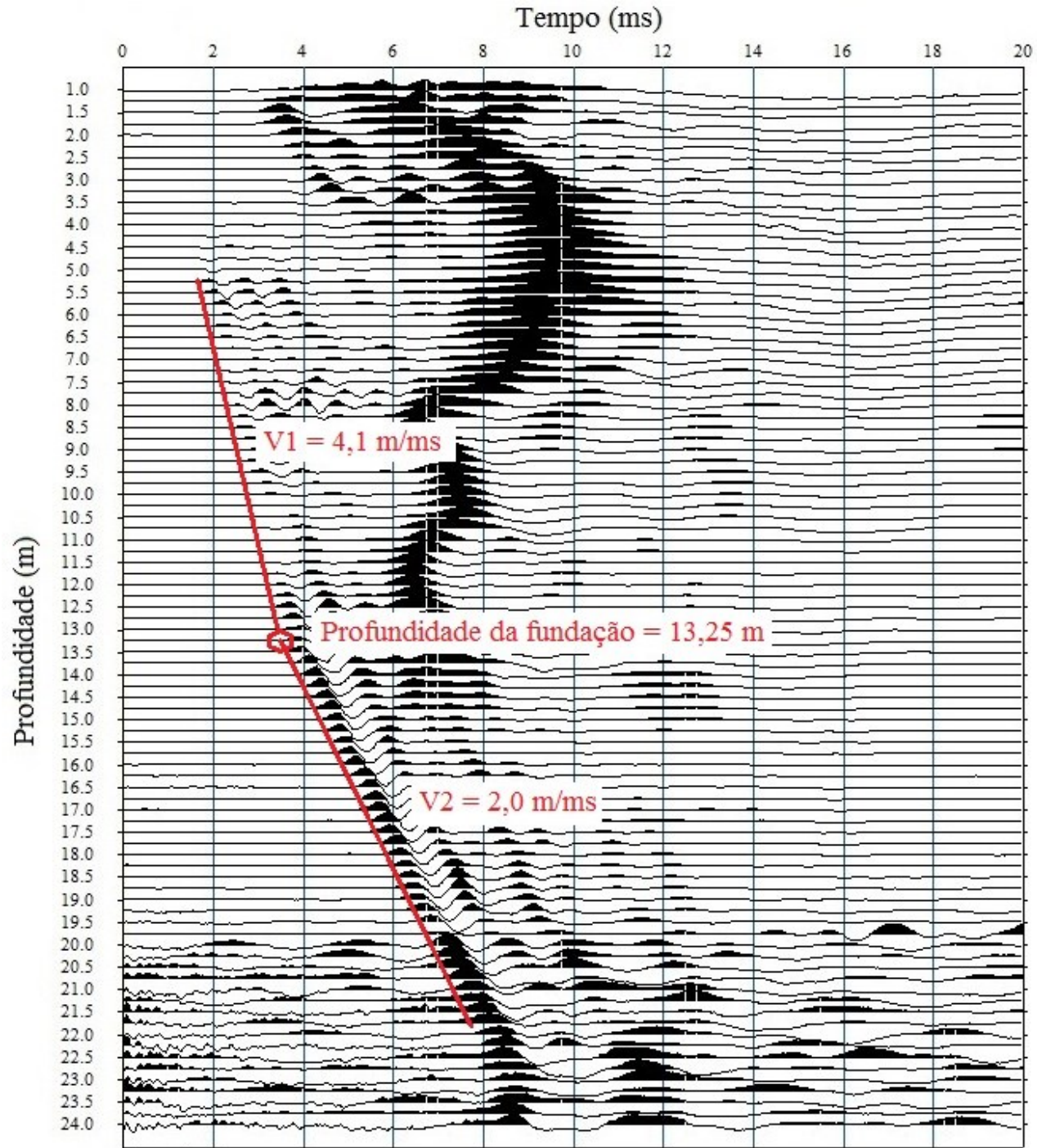
Fotos Divulgação



Ensaio Paralelo Sísmico

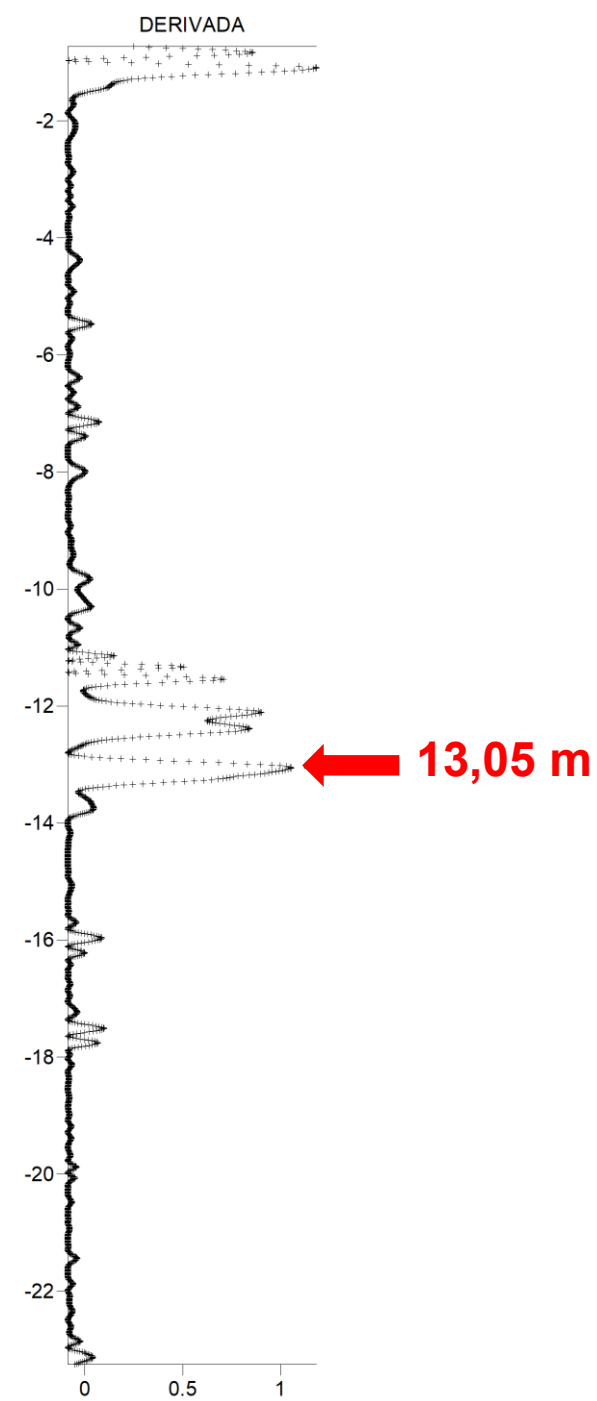
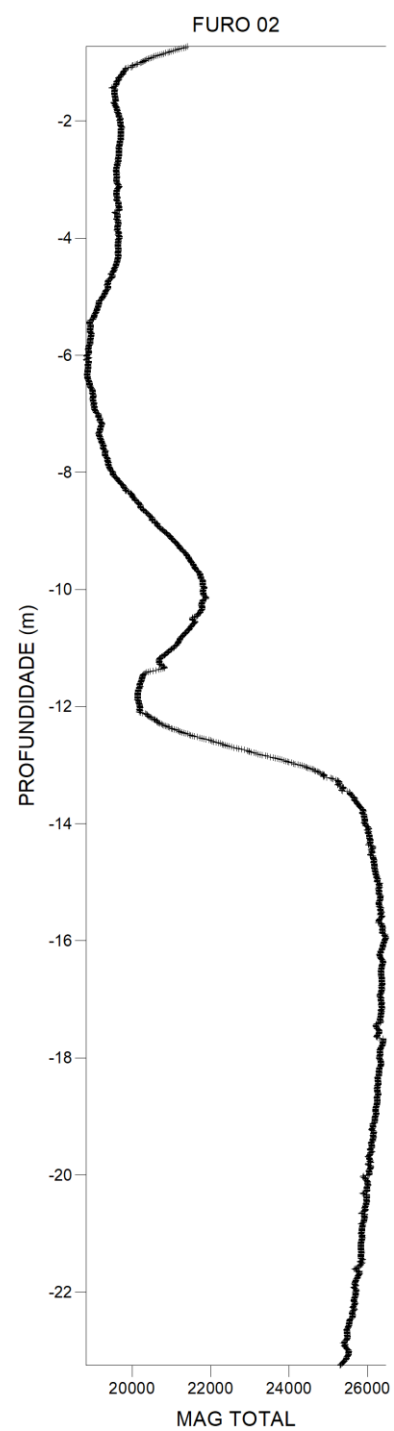






Ensaio de Perfilagem Magnética





Profundidade interpretada da fundação
(Perfilagem Magnética) = 13,05 m

Profundidade interpretada da fundação
(Ensaio Paralelo Sísmico) = 13,25 m

**Profundidade estimada do elemento de fundação:
entre 13,05 m e 13,25 m**



*XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
Geotecnia e Desenvolvimento Urbano
COBRAMSEG 2018 – 28 de Agosto a 01 de Setembro, Salvador, Bahia, Brasil
©ABMS, 2018*

Uso do Ensaio Paralelo Sísmico na Avaliação do Comprimento de uma Estaca Protendida na Baixada Santista

Tiago de Jesus Souza

Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, Brasil, tiagojs@ita.br

Paulo Scarano Hemsli

Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, Brasil, paulosh@ita.br

Otávio Coaracy Brasil Gandolfo

Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), São Paulo, Brasil, gandolfo@ipt.br

Paulo Cezar Aoki

ATC – American Tower do Brasil – Sessão de Infraestrutura, São Paulo, Brasil,
paulo.aoki@americantower.com.br

RESUMO:

O presente artigo tem por objetivo mostrar a aplicabilidade do ensaio Paralelo Sísmico (PS) para avaliar o comprimento de uma estaca pré-moldada de concreto protendida executada na Baixada Santista.



OKM
GEOLOGIA, GEOTÉCNICA E MEIO AMBIENTE

CLIENTE: MECONTEL ESTRUTURA METALICA MOGI DAS CRUZES

LOCAL: RODOVIA DOUTOR MANOEL HYPPOLITO REGO, S/N KM 246,1 SP 55 - SANTOS/SP

RELAT.: 741/15

DESENHO: VINICIUS

SON.:UGENITON

COTA.: 101,04

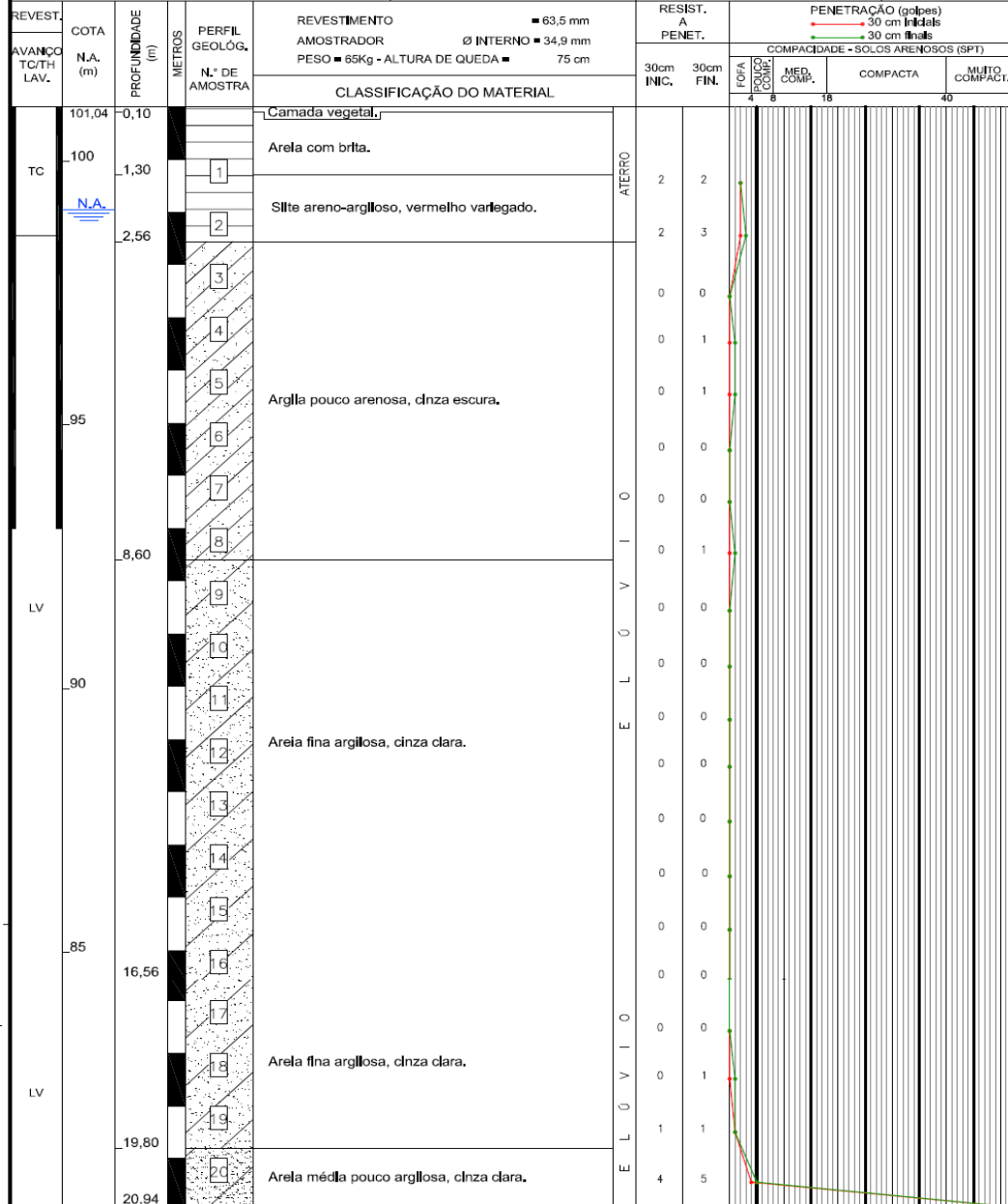
ESCALA: 1:100

FL.: 01/02

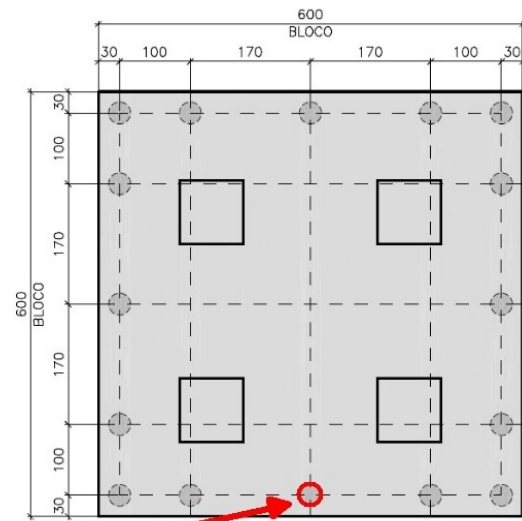
INICIO: 26/06/2015

TÉRMINO: 26/06/2015

SONDAGEM
STS020B1
SP_01

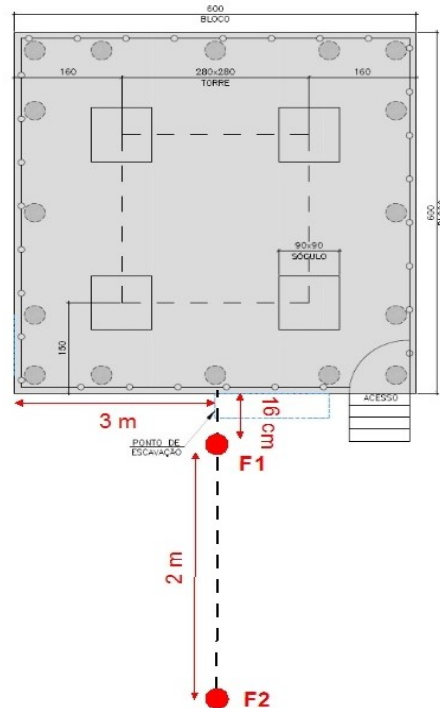
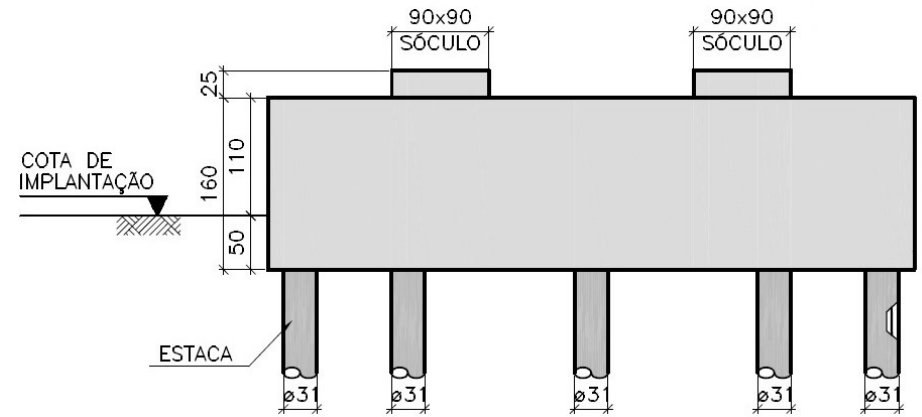


EM PLANTA



ESTACA ENSAIADA

16 ESTACAS Ø 31cm



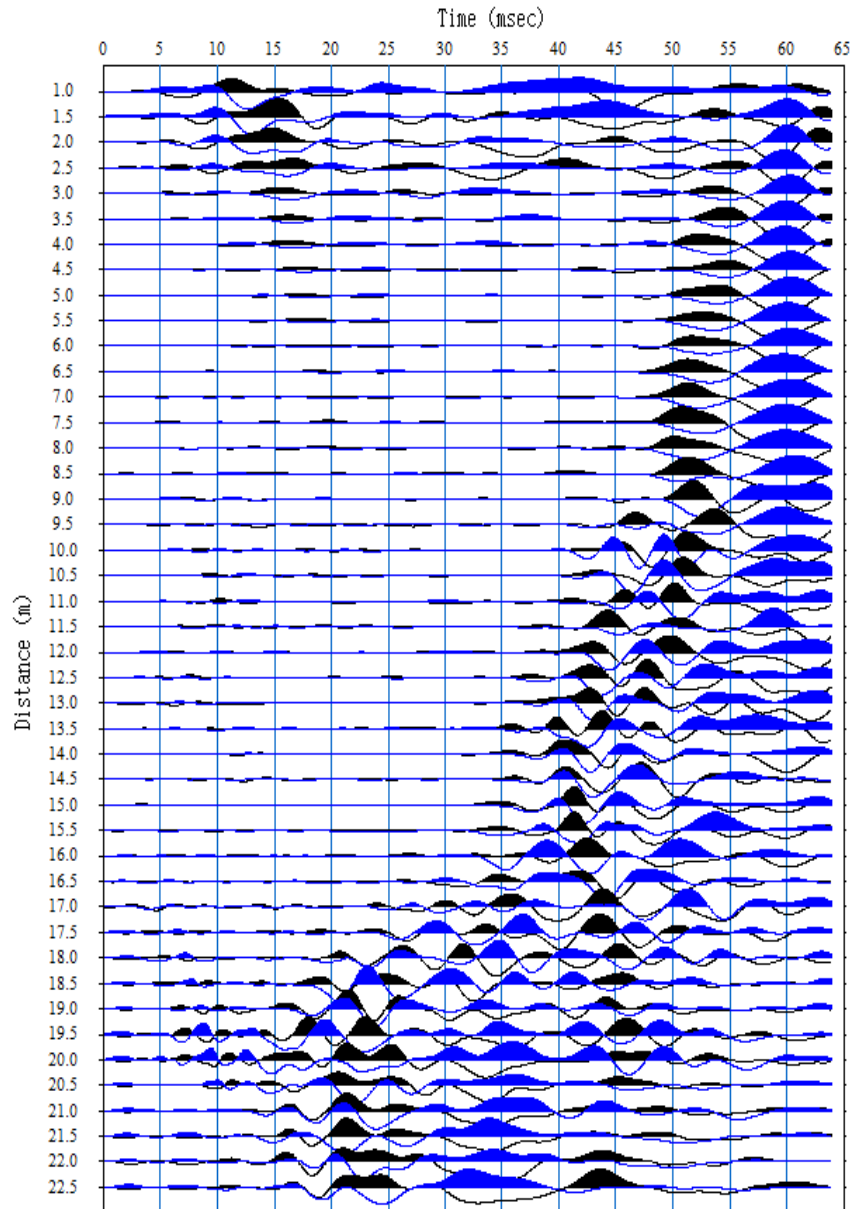
Ensaio *Crosshole*



Ensaio Paralelo Sísmico



Resultado do ensaio *Crosshole*



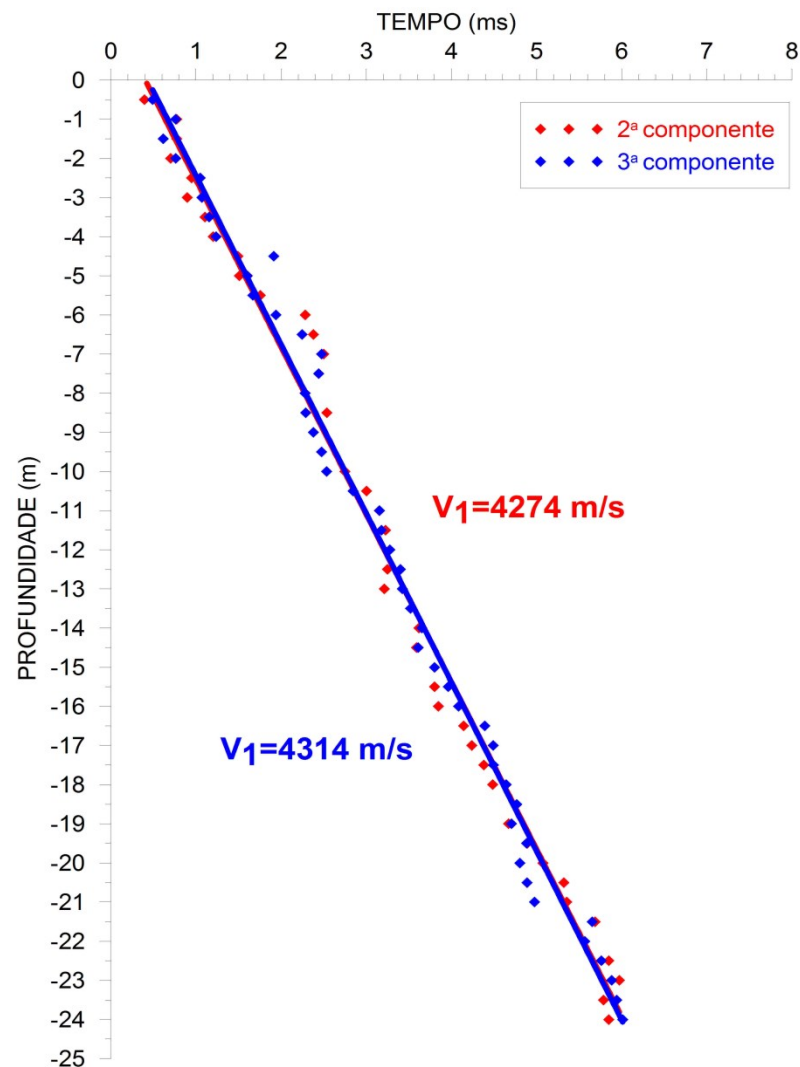
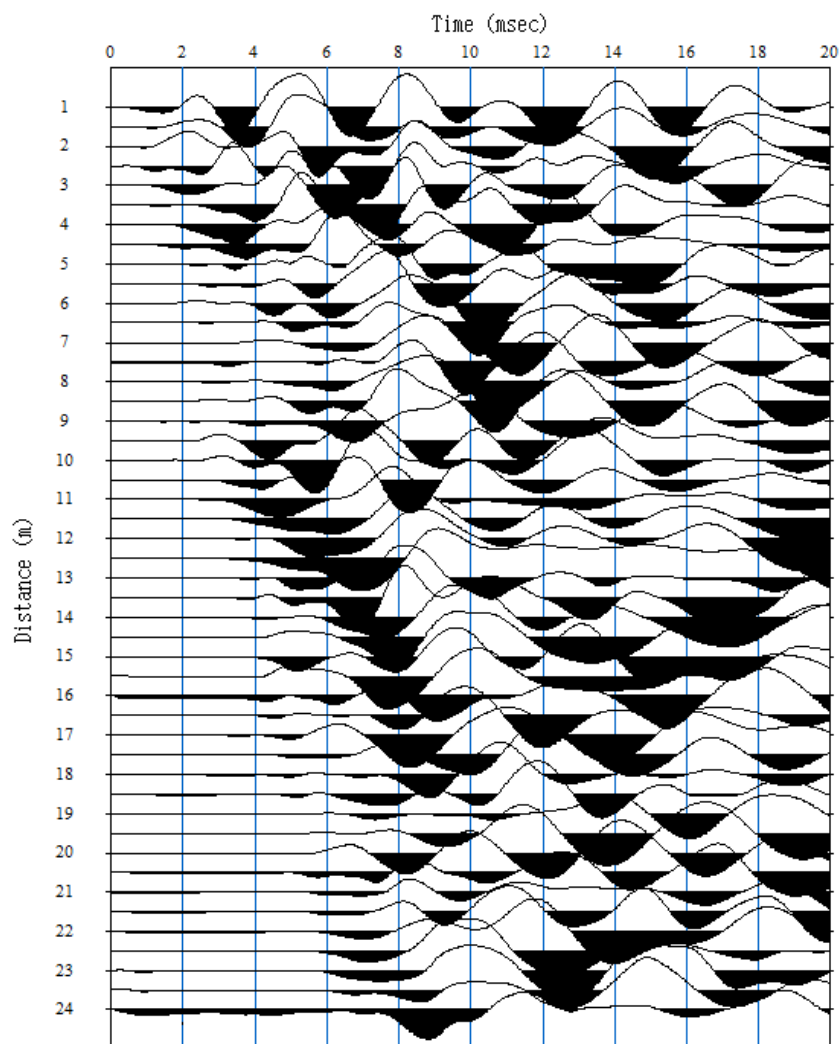
Tempos (T_s) e velocidades da onda S (V_s) obtidos pelo ensaio *crosshole* (distância entre fonte e geofone igual a 2,0 m) no intervalo entre as profundidades 3,0 m e 9,0 m

PROF (m)	T_s (ms)	V_s (m/s)
3,0	50,8	39
3,5	51,1	39
4,0	49,9	40
4,5	49,3	41
5,0	49,0	41
5,5	48,4	41
6,0	49,0	41
6,5	47,8	42
7,0	47,6	42
7,5	48,0	42
8,0	47,9	42
8,5	48,1	42
9,0	49,0	41

Table 1: Typical Values of V_s for Various Materials

Material	Shear wave velocity V_s m/s
Very soft soil	85-105
Soft soil	106-135
Medium soil	136-185
Stiff soil	186-275
Very stiff soil	276-365
Soft rock/cemented soil	366-760
Rock	761-1500
Hard rock	>1500
Concrete	2286-2438

Resultado do ensaio Paralelo Sísmico



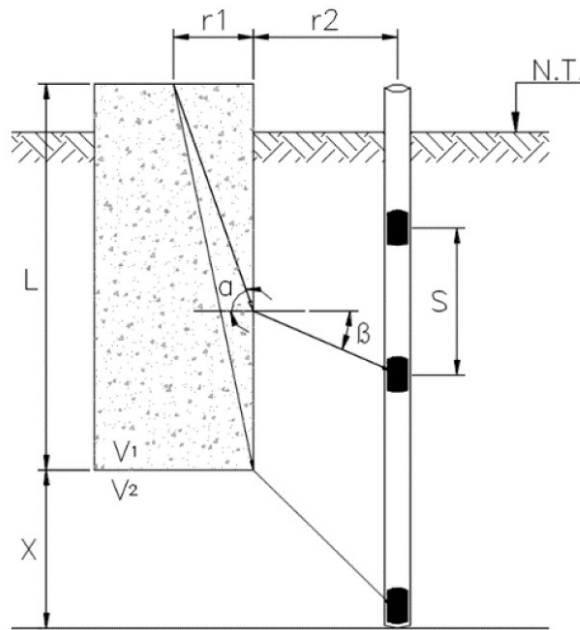


Figura 11. Descrição geométrica do modelo para o cálculo dos tempos teóricos (Souza et al., 2018).

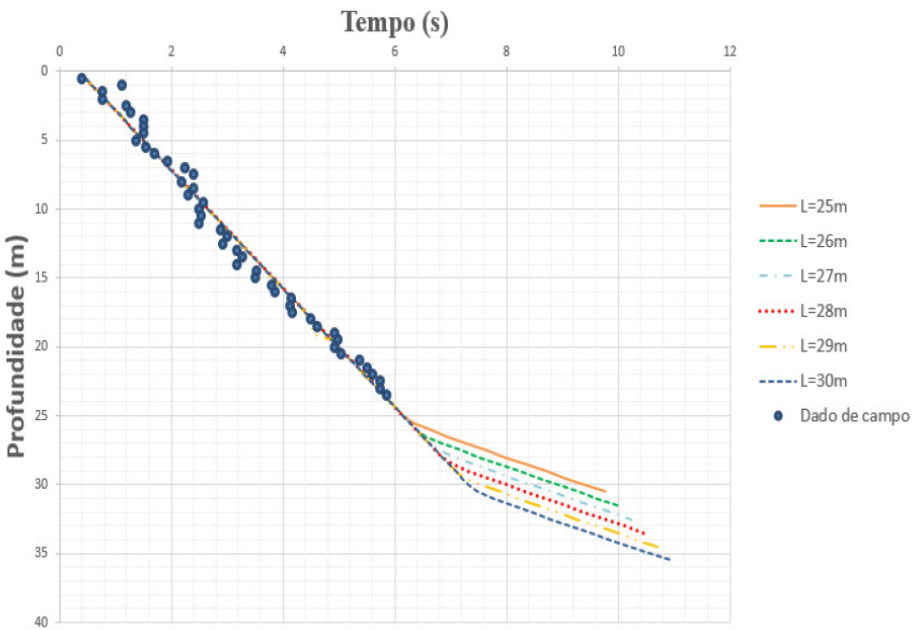


Figura 12. Comparação dos resultados de campo e de simulações, para diferentes comprimentos da estaca.

Site NTI005VV - Niterói-RJ



XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica

IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas

IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens

VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens

15 a 18 de Setembro de 2020 – Campinas - SP



Uso combinado dos ensaios “Paralelo Sísmico” e de “Perfilagem Magnética” na determinação da profundidade desconhecida de uma estaca raiz com a ponta em rocha

Otávio Coaracy Brasil Gandolfo

Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), São Paulo, Brasil, gandolfo@ipt.br

Tiago de Jesus Souza

Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, Brasil, tiagojs@ita.br

ATC - American Tower do Brasil - Sessão de Infraestrutura, São Paulo, Brasil,

tiago.souza@americantower.com

Paulo Scarano Hems

Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, Brasil, paulosh@ita.br

Vicente Luiz Galli

Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), São Paulo, Brasil, vicenteg@ipt.br

Paulo Cezar Aoki

ATC - American Tower do Brasil - Sessão de Infraestrutura, São Paulo, Brasil,

paulo.aoki@americantower.com

Site NTI005VV - Niterói-RJ



MASTERSOLO ENGENHARIA LTDA.

Rua Jacumã Qd.121 Lt.13 Jardim Atlântico - Goiânia-GO

Fone: (062) 3251-2202

FURO

SP 01

PERFIL DE SONDAGEM - SPT

Profundidade (m)	Número da amostra	Nível D'água (m)	Soma do número de golpes		RESIST. A PENETRAÇÃO DO BARRILHETE TIPO SPT		DESCRIÇÃO DO MATERIAL	
			1ª+2ª	2ª+3ª	GRÁFICO DO N.º GOLPES		Perfil Geológico	DESCRIÇÃO TÁCTIL VISUAL
-1,00	0				10	20		Argila arenosa vermelha
-2,00	1		10	12				Argila arenosa média vermelha
-3,00	2		12	16				Argila arenosa rija vermelha
-4,00	3		22	27				Areia grossa compacta marrom com veios variegado
-5,00	4		37	42				Areia grossa compacta marrom com veios variegado
-5,08	5		30/6					Areia grossa muito compacta marrom com veios variegado
	6							

Sondagem a
percussão com
ensaio SPT
24/08/2019



MASTERSOLO ENGENHARIA LTDA.

Rua Jacumã Qd.121 Lt.13 Jardim Atlântico - Goiânia-GO

Fone: (062) 3251-2202

FURO

SP 02

PERFIL DE SONDAGEM - SPT

Profundidade (m)	Número da amostra	Nível D'água (m)	Soma do número de golpes		RESIST. A PENETRAÇÃO DO BARRILHETE TIPO SPT		DESCRIÇÃO DO MATERIAL	
			1ª+2ª	2ª+3ª	GRÁFICO DO N.º GOLPES		Perfil Geológico	DESCRIÇÃO TÁCTIL VISUAL
-1,00	0							Argila arenosa vermelha
-2,00	1		10	12				Argila arenosa rija vermelha
-3,00	2		20	22				Argila arenosa dura vermelha
-4,00	3		26	22				Areia grossa compacta marrom
-4,45	4		44	54				Areia grossa muito compacta marrom

Sondagem rotativa
26/08/2019

Site NTI005VV - Niterói-RJ

MATERIAL ENCONTRADO COM COTA DE 9,0 M



MATERIAL ENCONTRADO A PARTIR DOS 9,0 M



MATERIAL ENCONTRADO COM 9,90 M

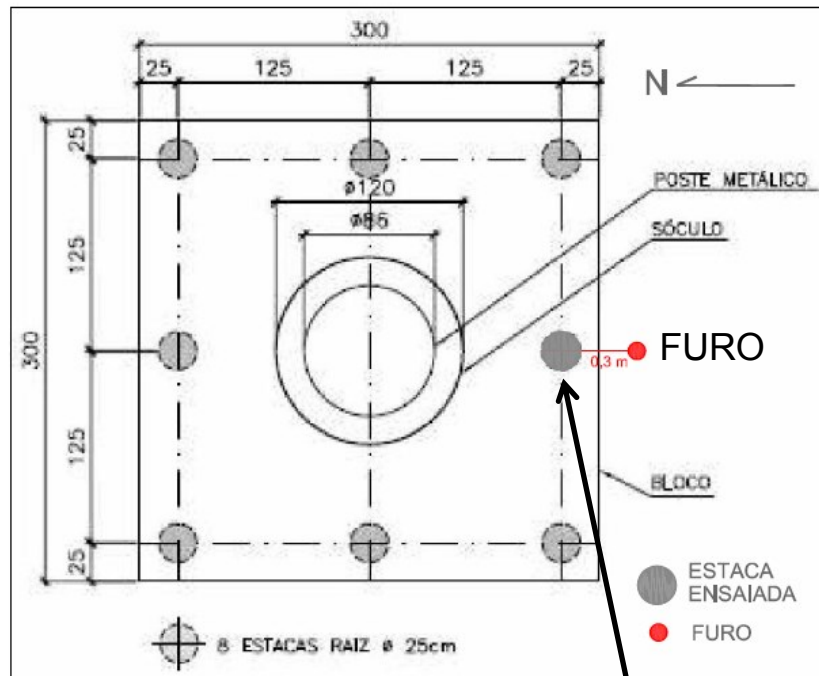


MATERIAL ENCONTRADO AOS 12,0 M



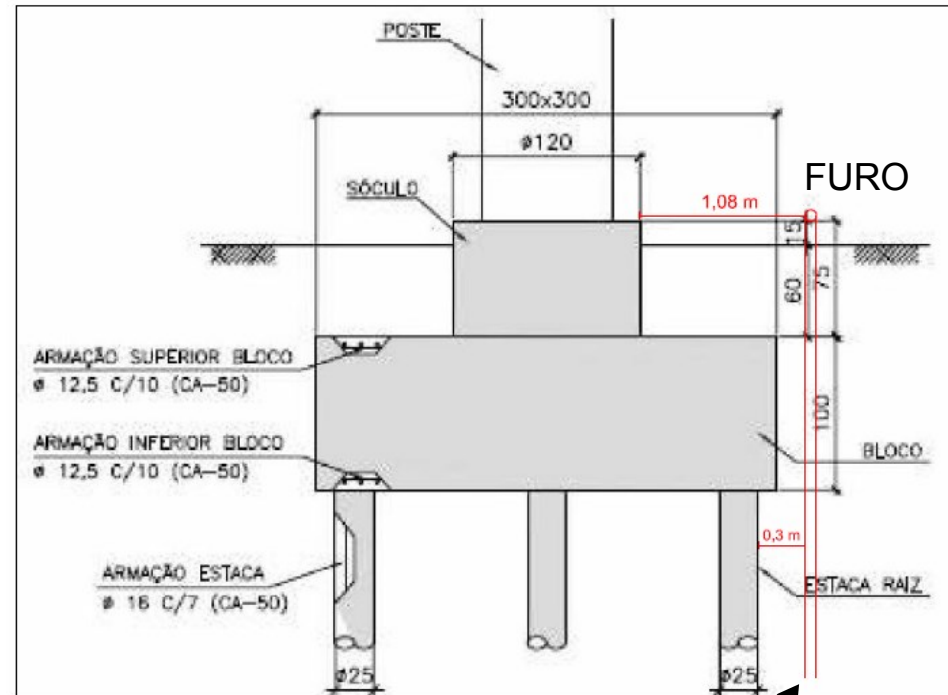
Site NTI005VV - Niterói-RJ

Mapeamento da fundação



Em planta

ESTACA
ENSAIADA



Em corte

Profundidade
do furo = 11,65 m

Site NTI005VV - Niterói-RJ



09 / 2019

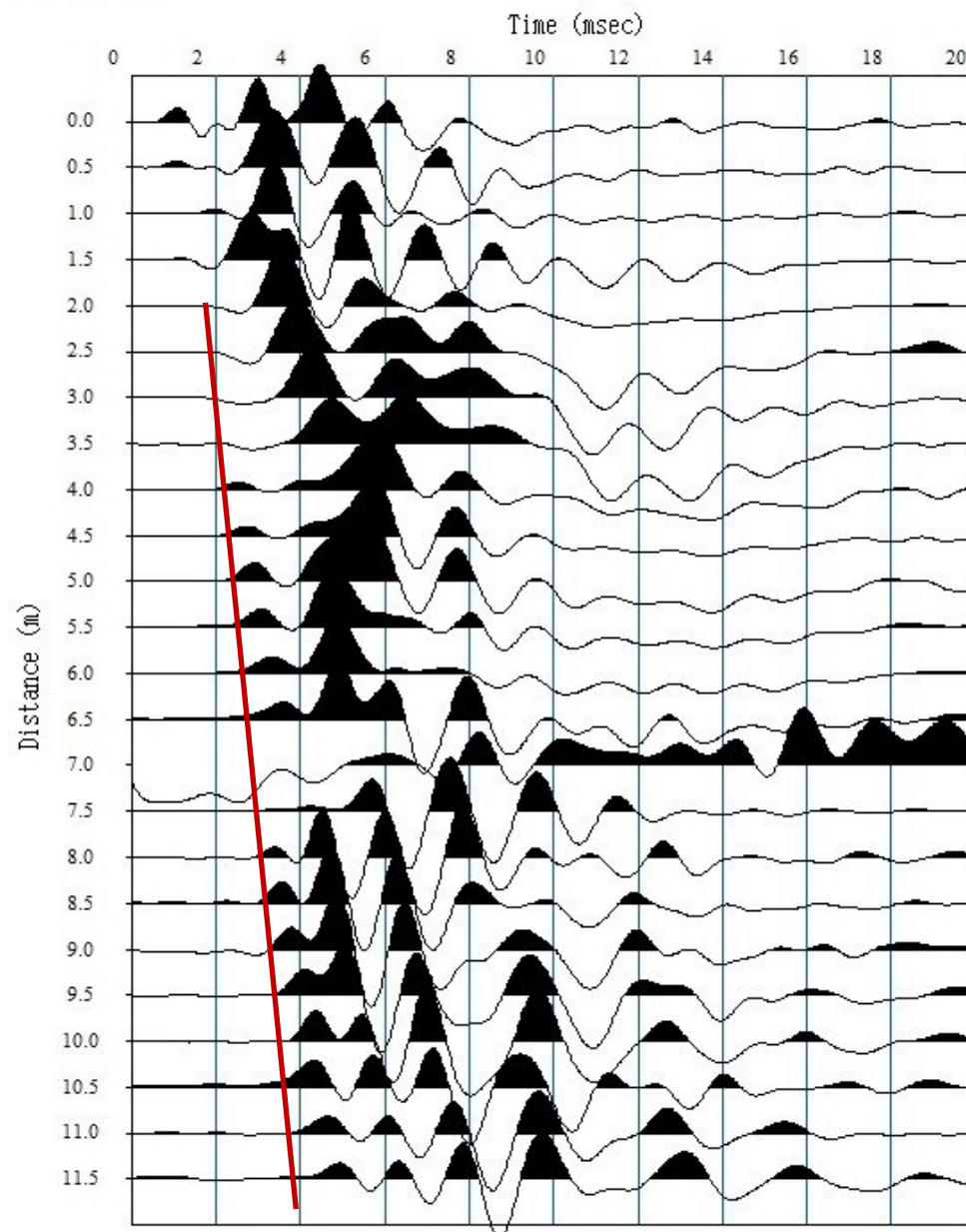
Ensaio Paralelo Sísmico



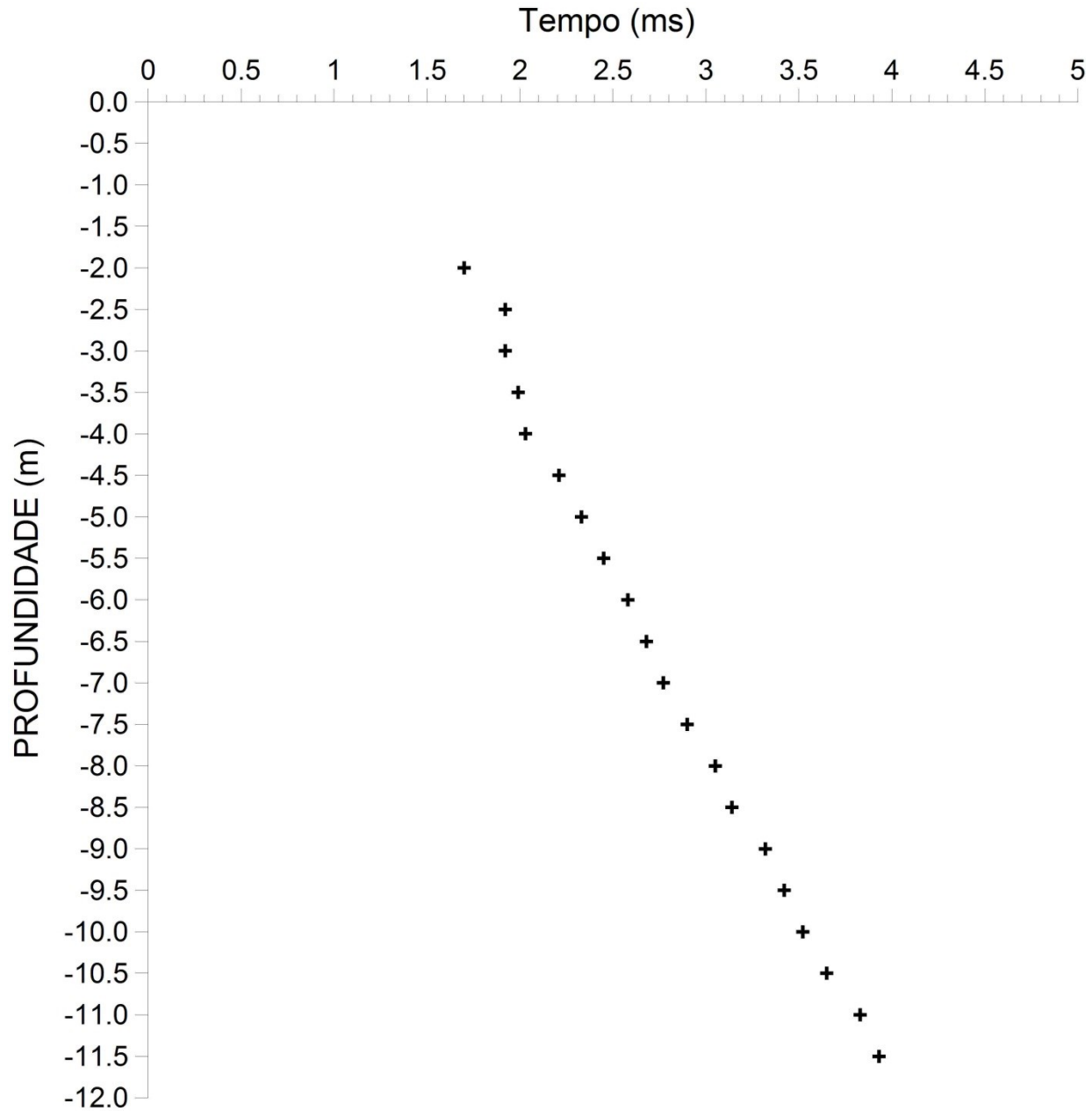
Perfilagem Magnética



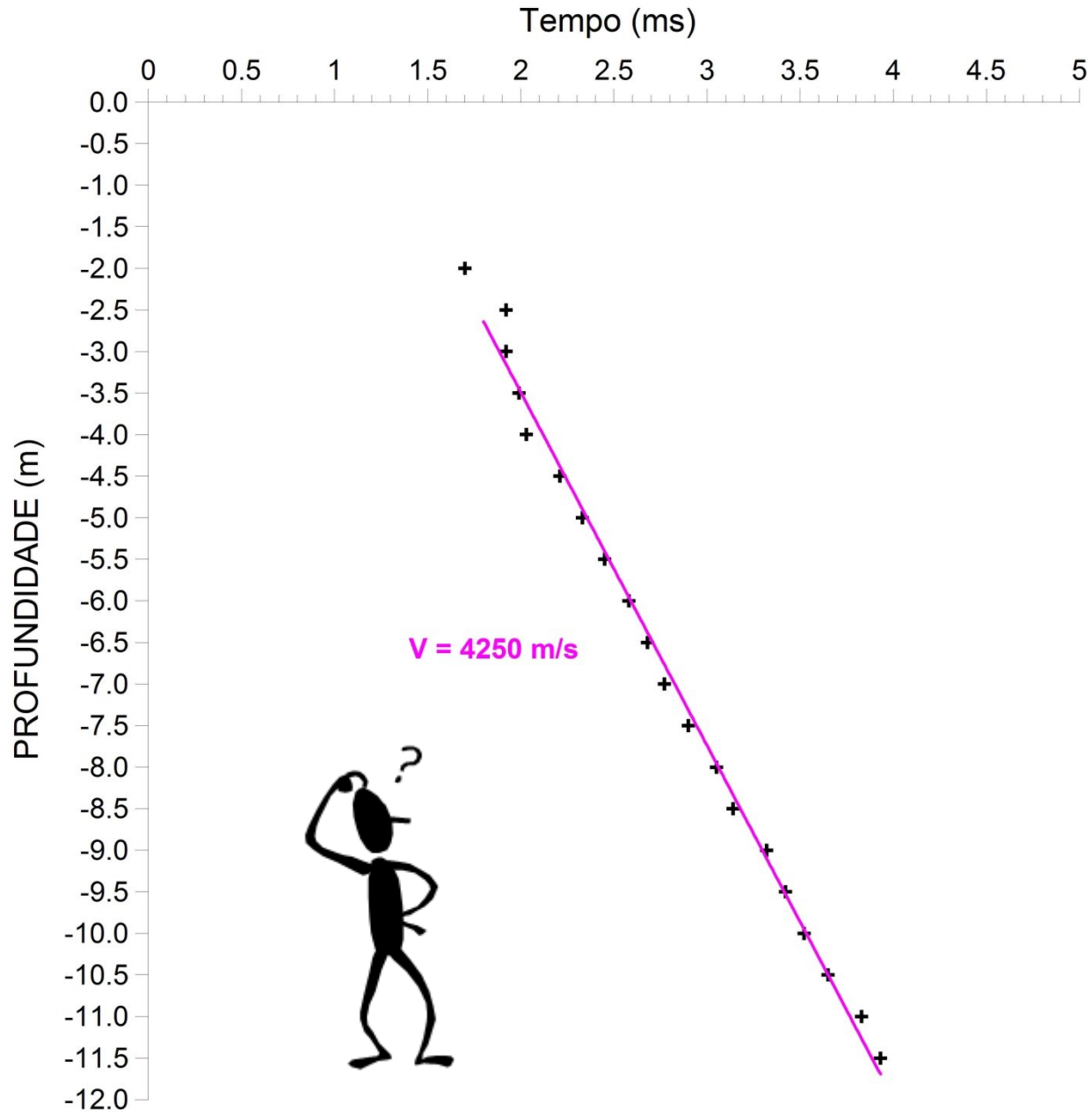
Resultados - Ensaio PS



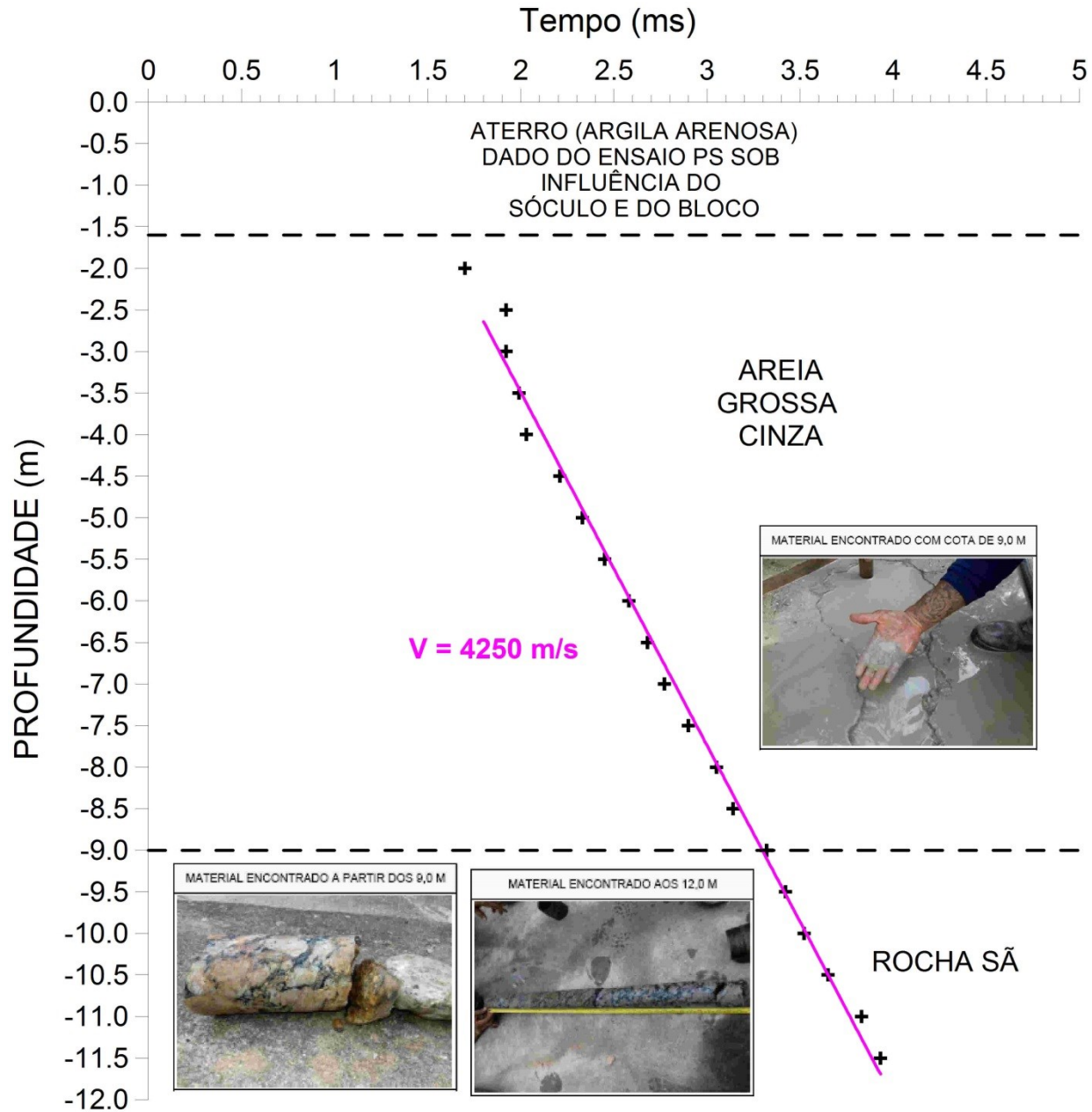
Resultados - Ensaio PS



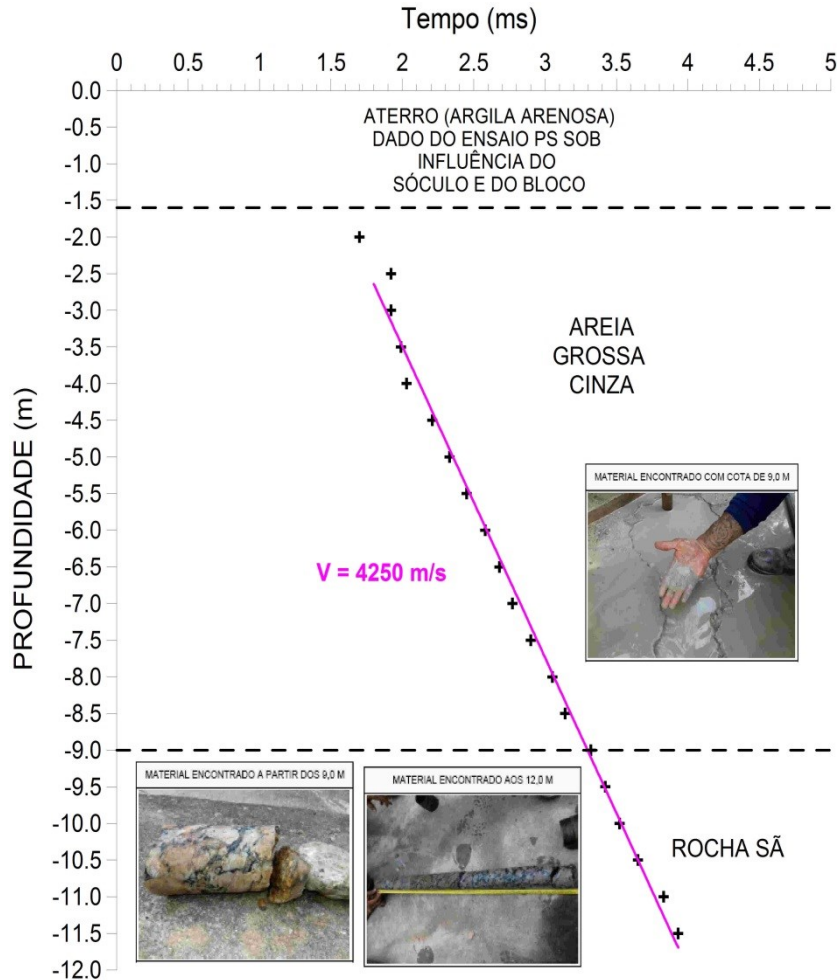
Resultados - Ensaio PS



Resultados - Ensaio PS



Resultados - Ensaio PS



Foi identificado no gráfico Profundidade x Tempo um único valor de velocidade (4250 m/s) que pode ser interpretado como a velocidade da onda de compressão no concreto da estaca e também como a velocidade da onda em uma rocha sã, o que gera uma ambiguidade na interpretação do resultado do ensaio

3-27-2007

Evaluation of Unknown Foundations

Ronald W. Florkowski
University of South Florida

Typical compression wave velocities in concrete range from 11484 ft/s to 14765

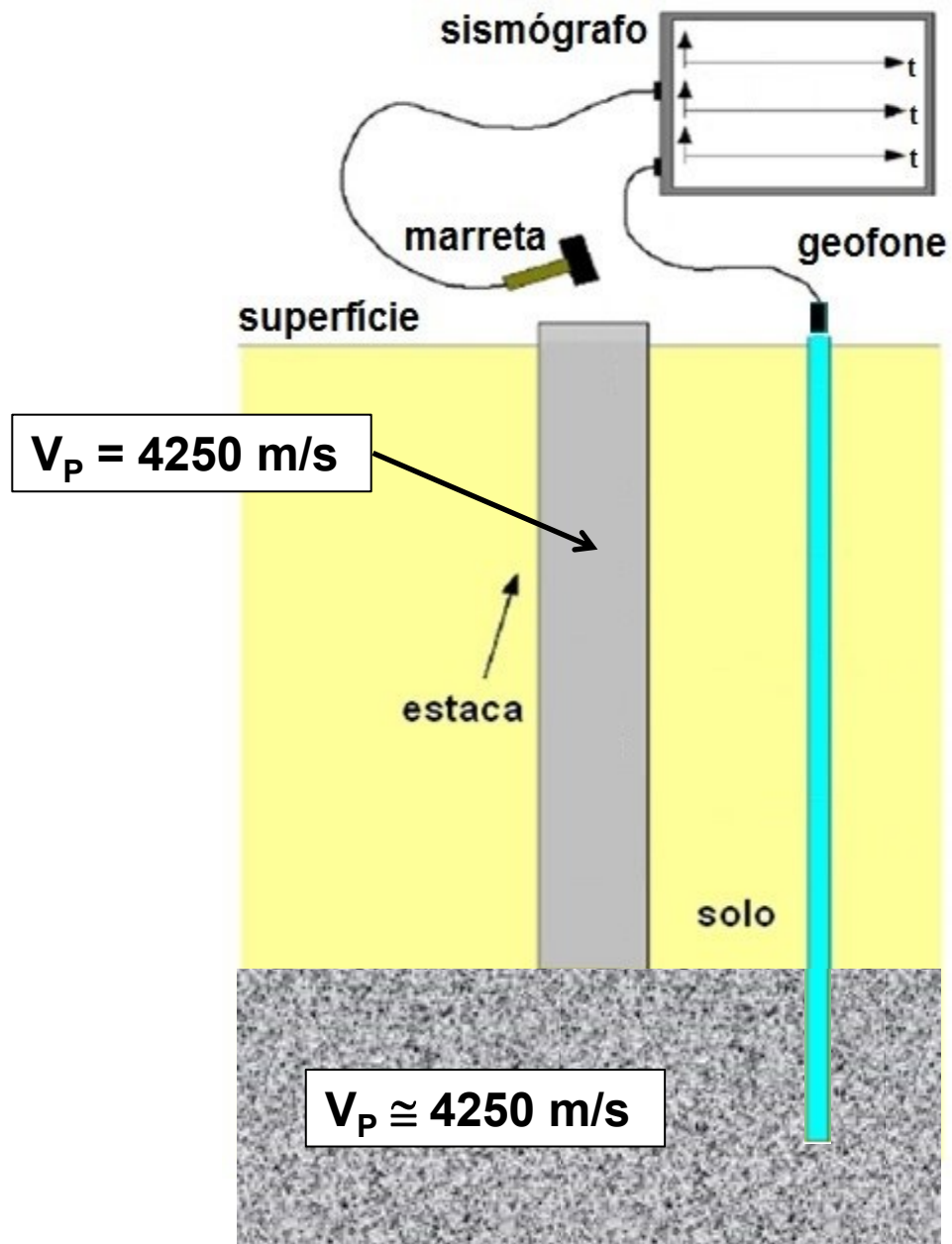
ft/s, depending on composition, condition and age. $\Rightarrow 3500 \text{ m/s} < V < 4500 \text{ m/s}$

$$V_p = 4250 \text{ m/s}$$

Típicos valores de V_p para gnaisses (Sjogren, 1984 apud Barton, 2007)

V_p (gnaisse)	Material
500 m/s	solo (acima do nível d'água)
1700 m/s	gnaisse biotítico altamente intemperizado
2800 m/s	gnaisse biotítico intemperizado
3500 m/s	gnaisse granítico biotítico fraturado
4900-5400 m/s	gnaisse são

$$V_p = 4250 \text{ m/s}$$



**Ressonância
Magnética**

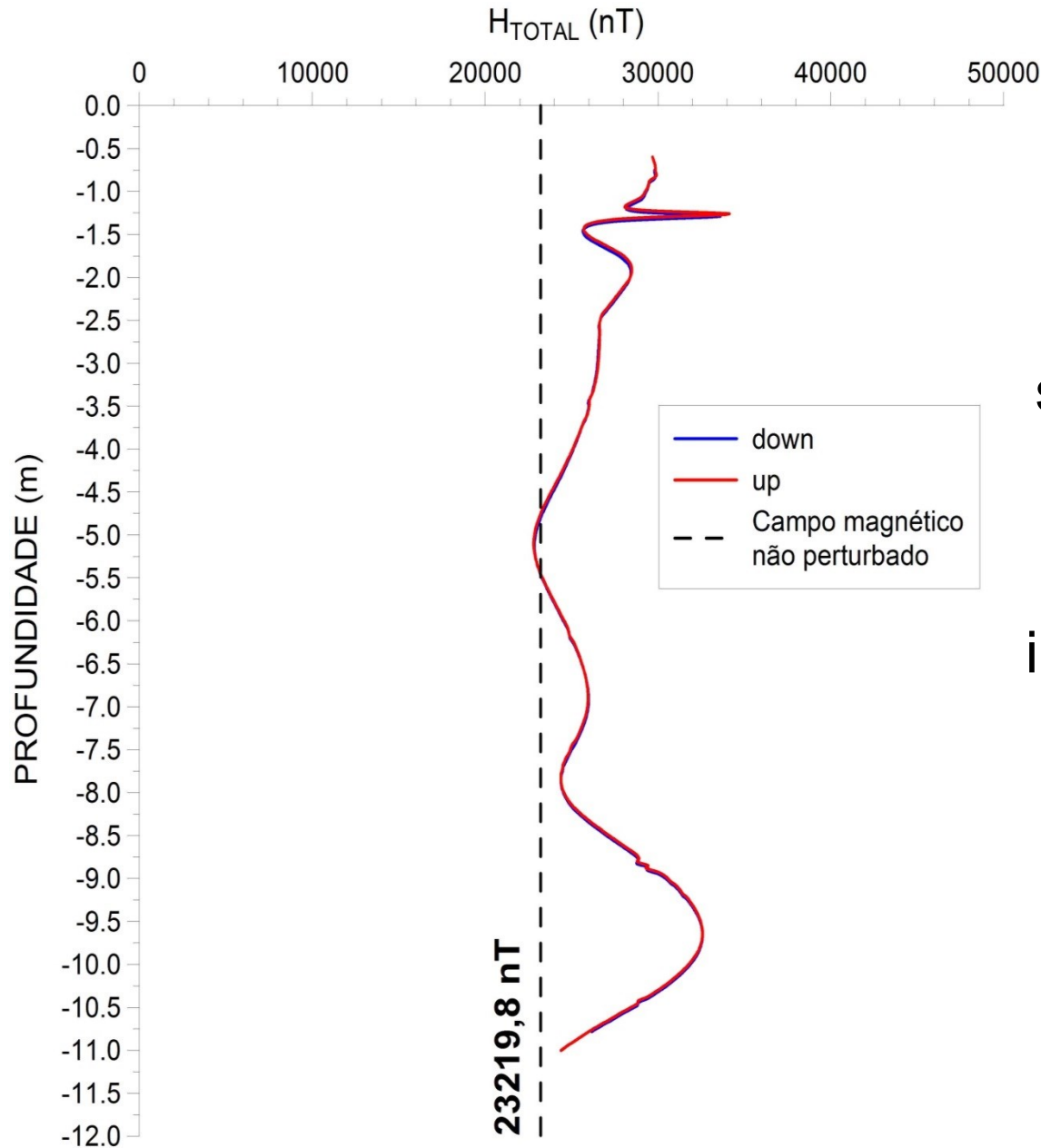


Raio X



**A importância de se utilizar mais de um ensaio
para a solução de um problema**

Resultados - Perfilagem magnética

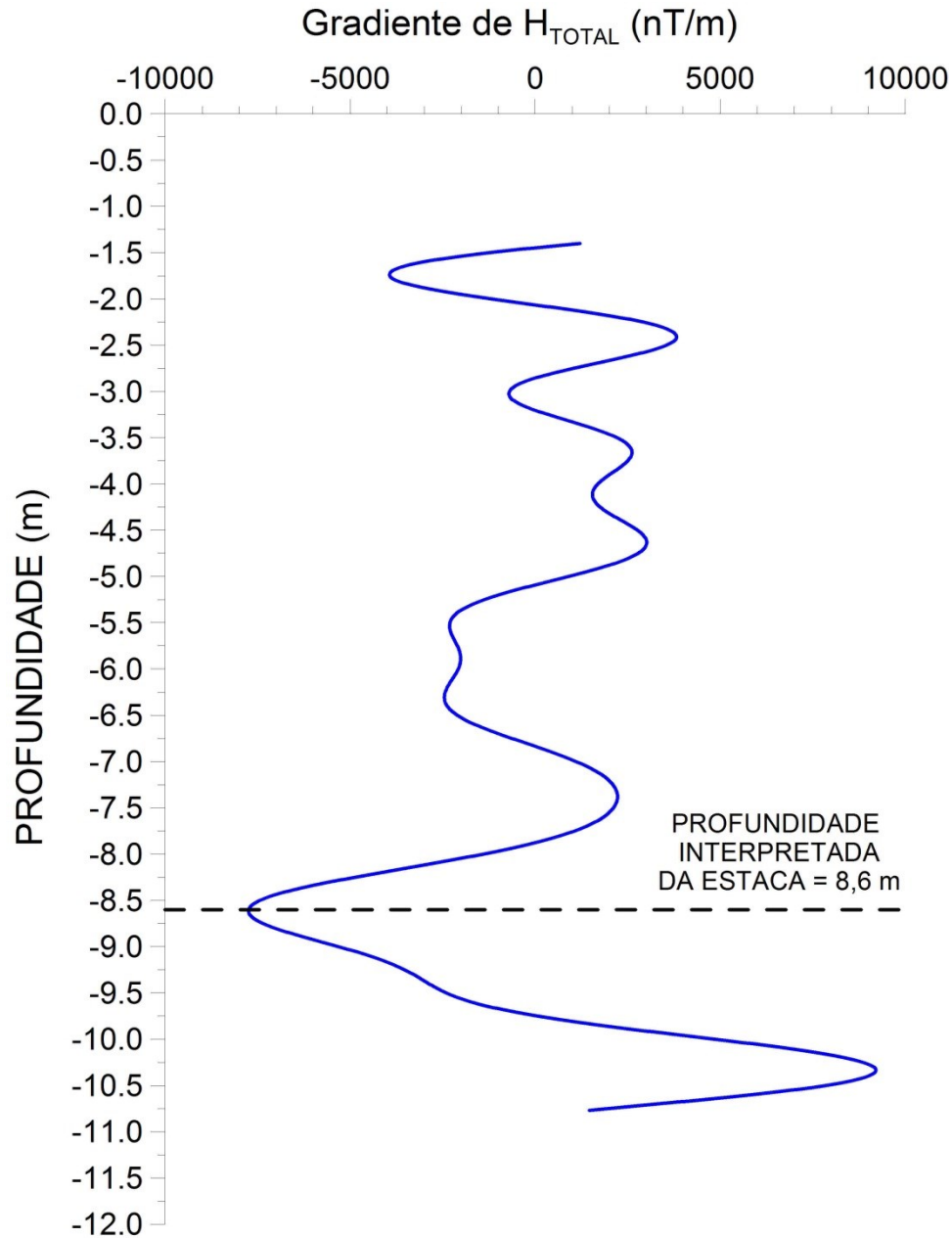


Uma análise avaliando somente a componente total do campo, não permitiu uma interpretação conclusiva da profundidade da estaca de fundação

Procedeu-se então com um processamento mais refinado, utilizando modelamento matemático, filtragem do dado, derivada do campo e a geometria relacionada à posição do furo e da estaca em relação ao norte magnético

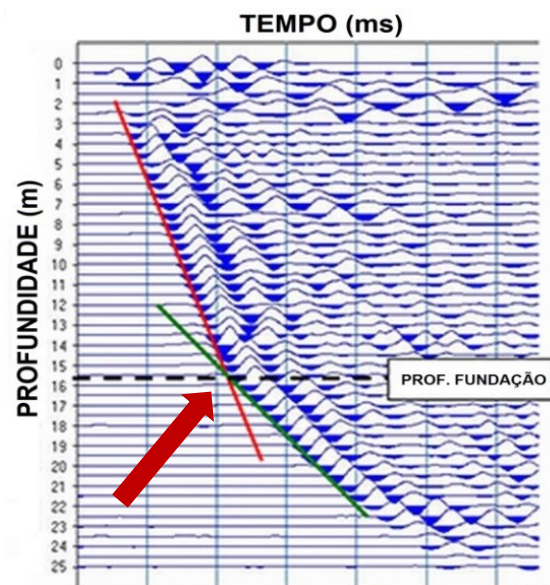
De acordo com o modelo esperado, considerando-se o posicionamento do furo em relação à estaca e ao norte magnético, a ponta da estaca corresponderia a um valor mínimo na curva da derivada do dado filtrado do campo magnético total

Resultados - Perfilagem magnética

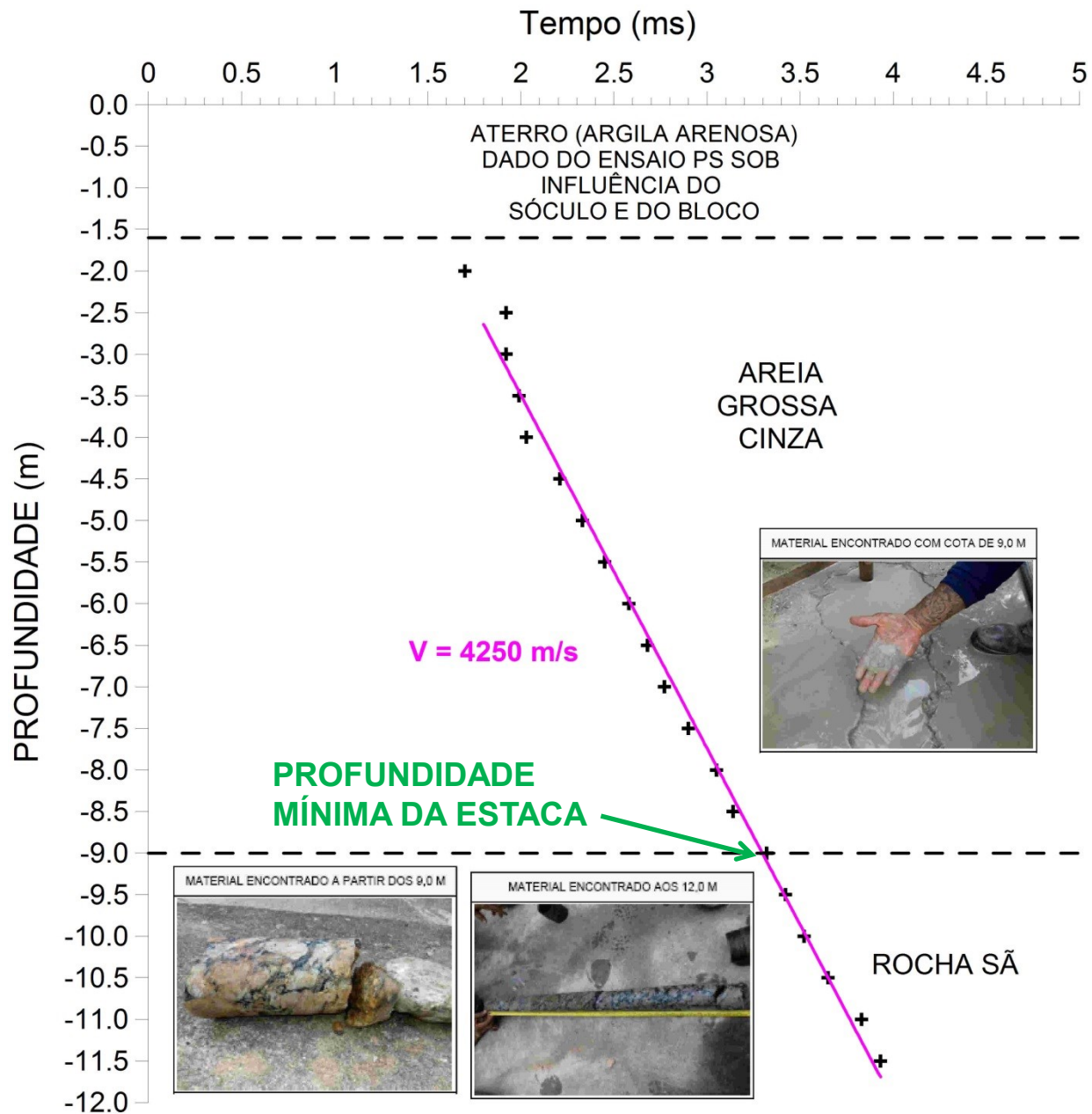


- O ensaio PS apresentou valores altos de velocidade (4250 m/s) até a profundidade de 9,0 m, sem a presença de rocha (a sondagem identificou uma areia grossa, cinza, até esta profundidade)
- Esta velocidade não é compatível com a velocidade esperada para este tipo de material (areia), que deveria apresentar uma velocidade bem mais baixa
- Conclui-se que todo este trecho (da superfície até 9,0 m de profundidade), o sinal sísmico esteja respondendo à presença do concreto da estaca

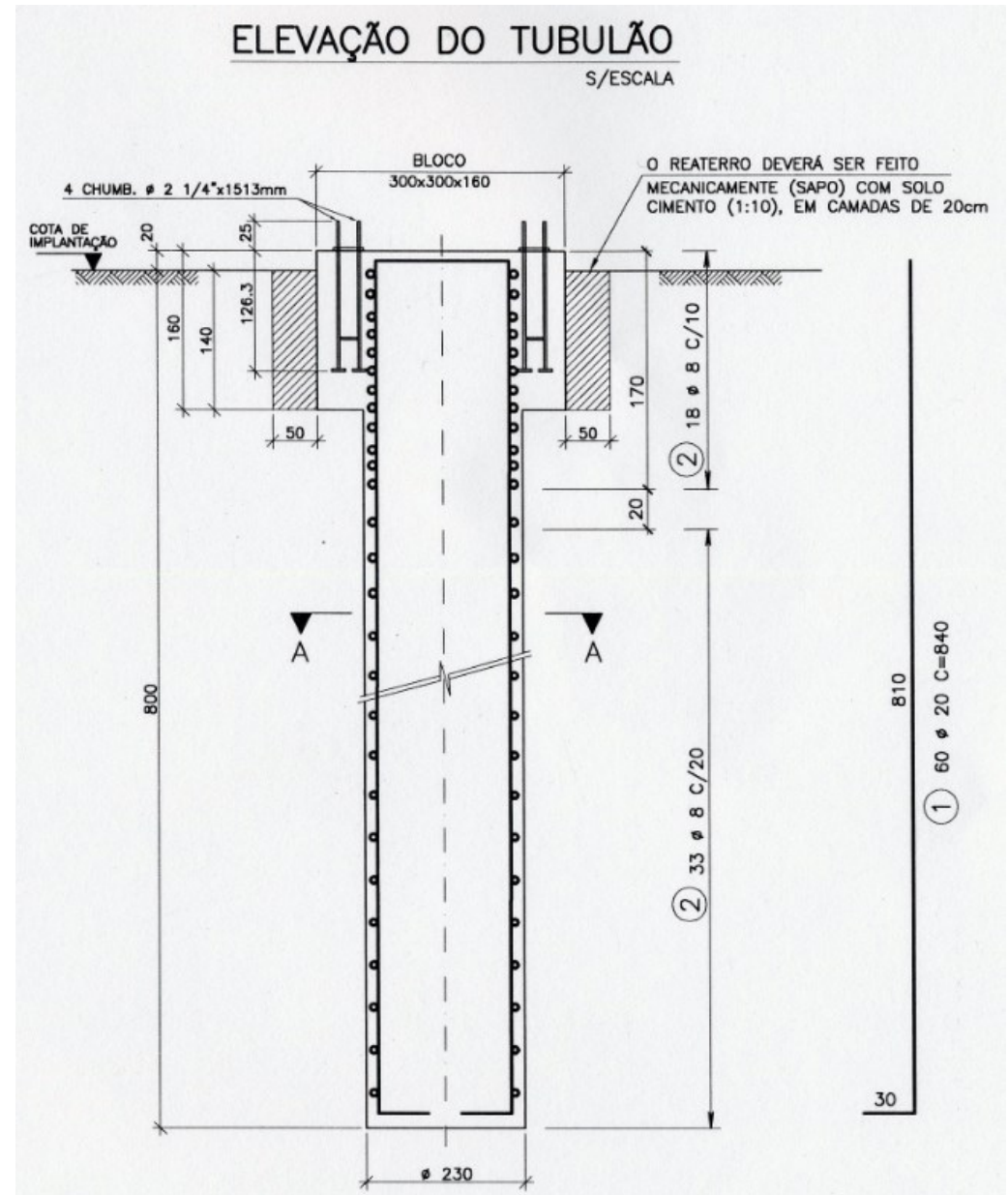
- Abaixo de 9,0 m, a presença da rocha, que também apresenta altos valores de velocidade da onda sísmica, da mesma ordem de grandeza que da velocidade de propagação da onda no concreto, não possibilitou a identificação do ponto de inflexão das retas ajustadas no gráfico tempo x profundidade



- Portanto, pela análise do ensaio Paralelo Sísmico a estaca estaria, no mínimo, a 9,0 m de profundidade



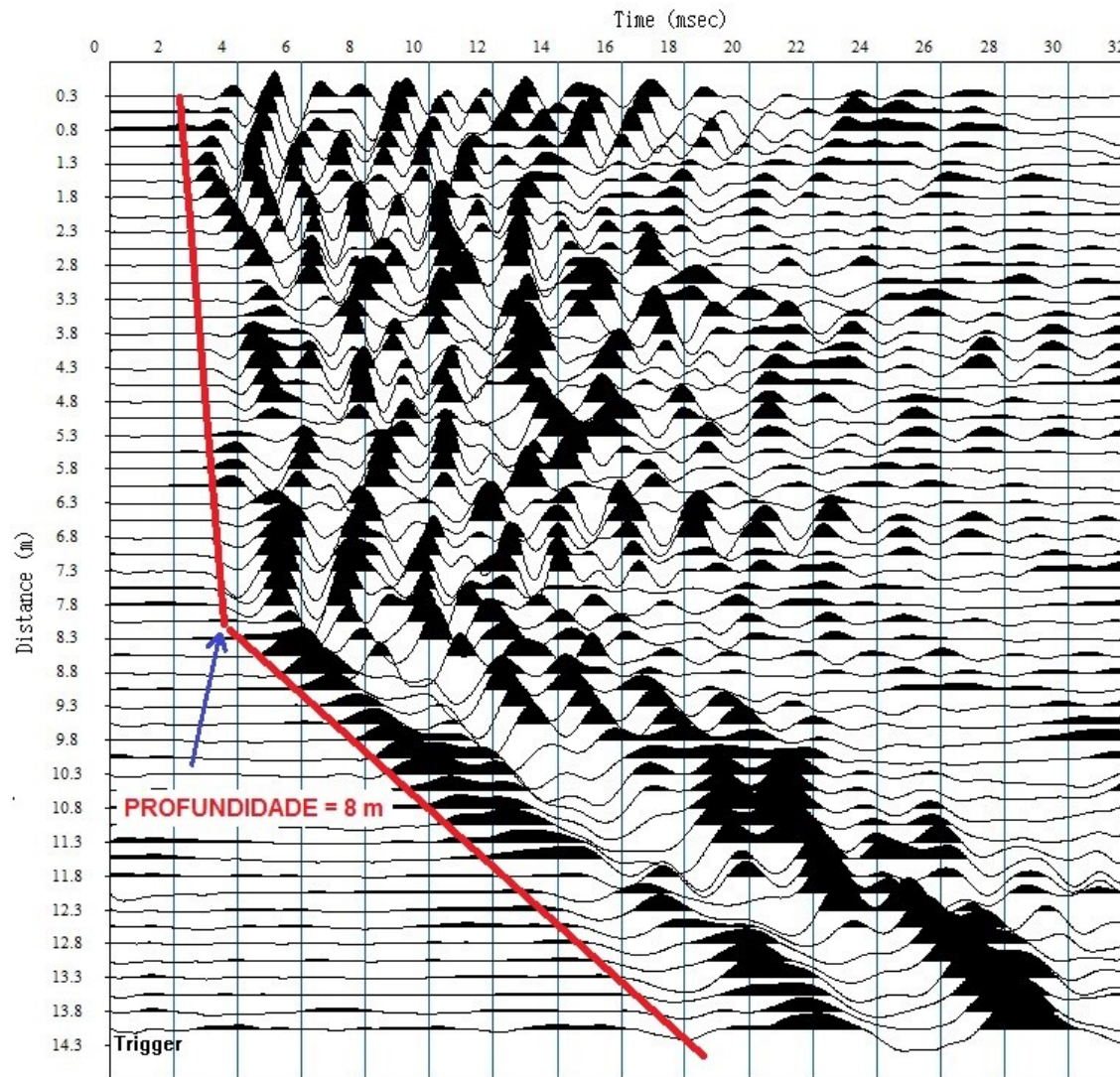
- A análise mais refinada do dado da perfilagem magnética permitiu que a ponta da estaca esteja posicionada na profundidade de 8,6 m
- A sondagem identificou a presença de um aterro, seguido de uma camada de areia grossa cinza até a profundidade de 9,0 m, a partir da qual foi identificada a presença de rocha
- Portanto, integrando-se as informações obtidas dos ensaios de campo (ensaio Paralelo Sísmico e de Perfilagem Magnética) com os dados de sondagem, conclui-se que a profundidade da estaca raiz esteja a uma profundidade de aproximadamente **9,0 m** abaixo da superfície do terreno, provavelmente apoiada no topo da rocha



Ensaio Paralelo Sísmico



Resultado do ensaio Paralelo Sísmico



Perfilagem Magnética



Resultado da Perfilagem Magnética

