

A utilização geofísica na engenharia civil

Otávio Coaracy Brasil Gandolfo

Palestra on-line apresentada no Youtube, SBGf, 15/01/2021.

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.



A UTILIZAÇÃO DA GEOFÍSICA NA ENGENHARIA CIVIL

Otávio Coaracy Brasil Gandolfo

gandolfo@ipt.br



CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE
Seção de Investigações, Riscos e Gerenciamento Ambiental

GEOFÍSICA APLICADA

PETRÓLEO

MINERAÇÃO

**ENGENHARIA
E
AMBIENTAL**

Volume XXVII

APRIL, 1962

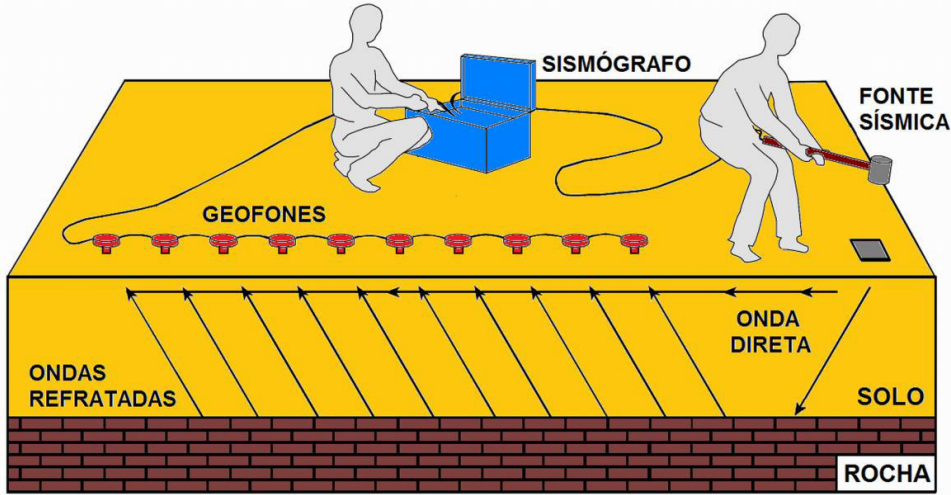
Number 2

GEOPHYSICS

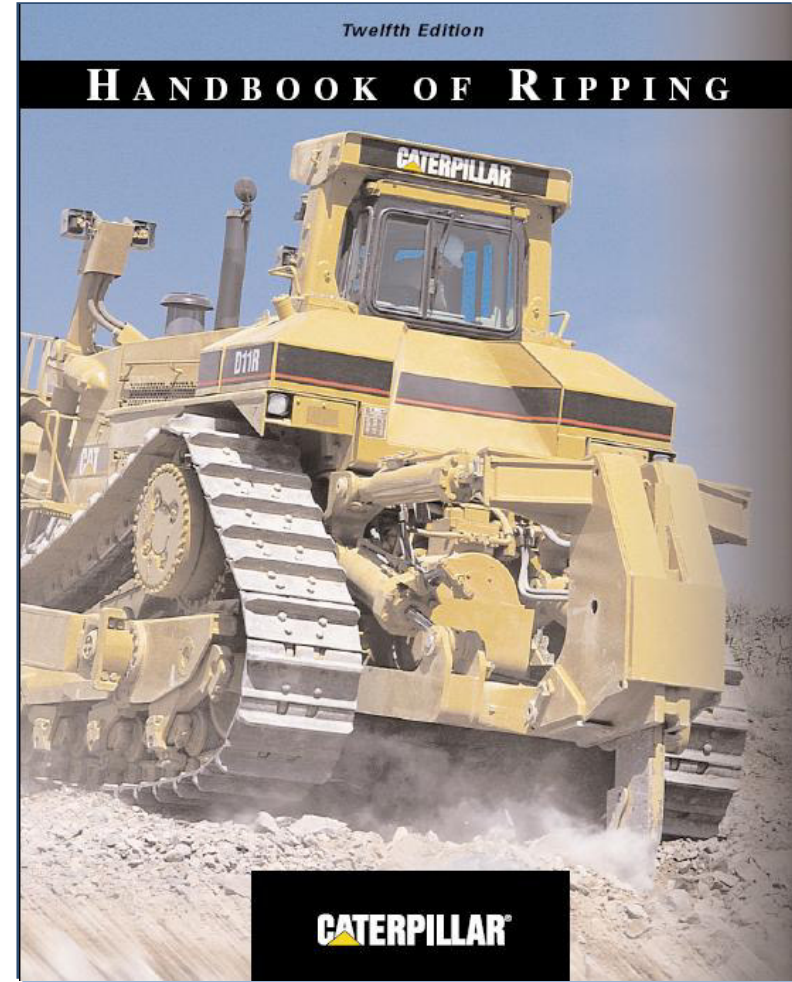
GEOPHYSICS, "GEOPHYSICS," AND ENGINEERING*

Of the various geophysical methods, those involving the propagation of seismic waves are among the most important in engineering studies.

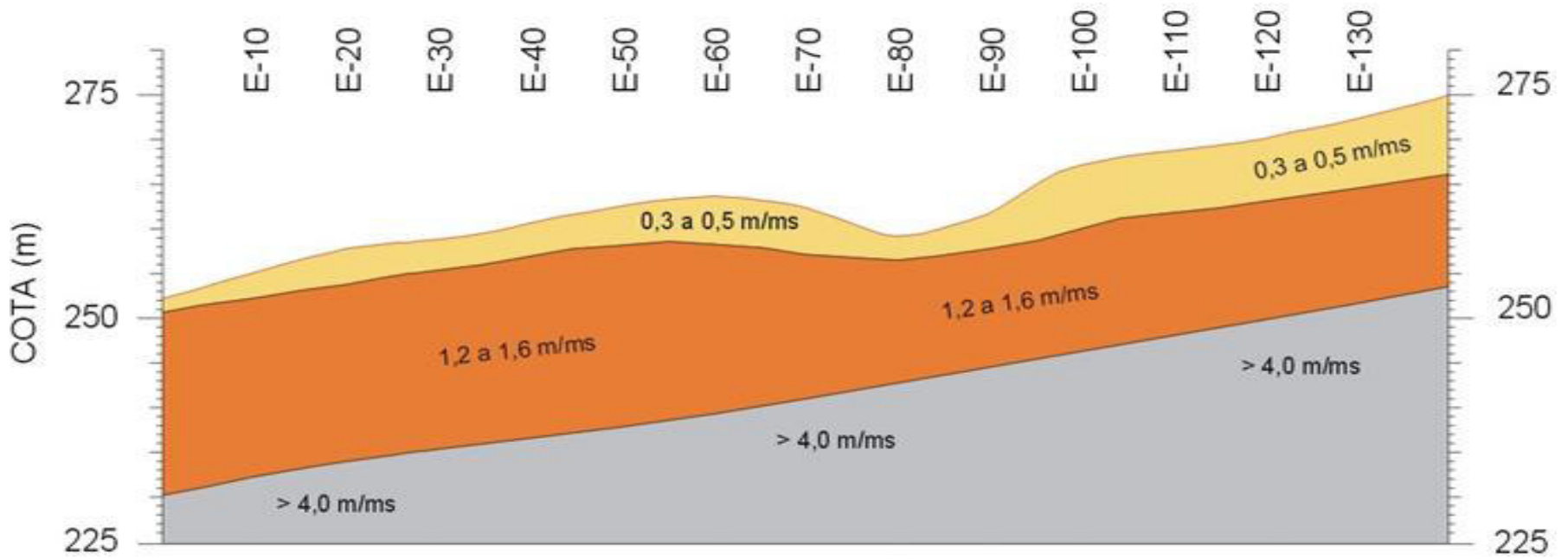
Avaliação do grau de escarificabilidade de maciços terrosos e rochosos



Método da Sísmica de Refração



Avaliação do grau de escarificabilidade de maciços terrosos e rochosos

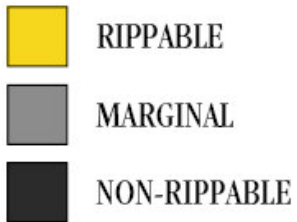


Avaliação do grau de escarificabilidade de maciços terrosos e rochosos



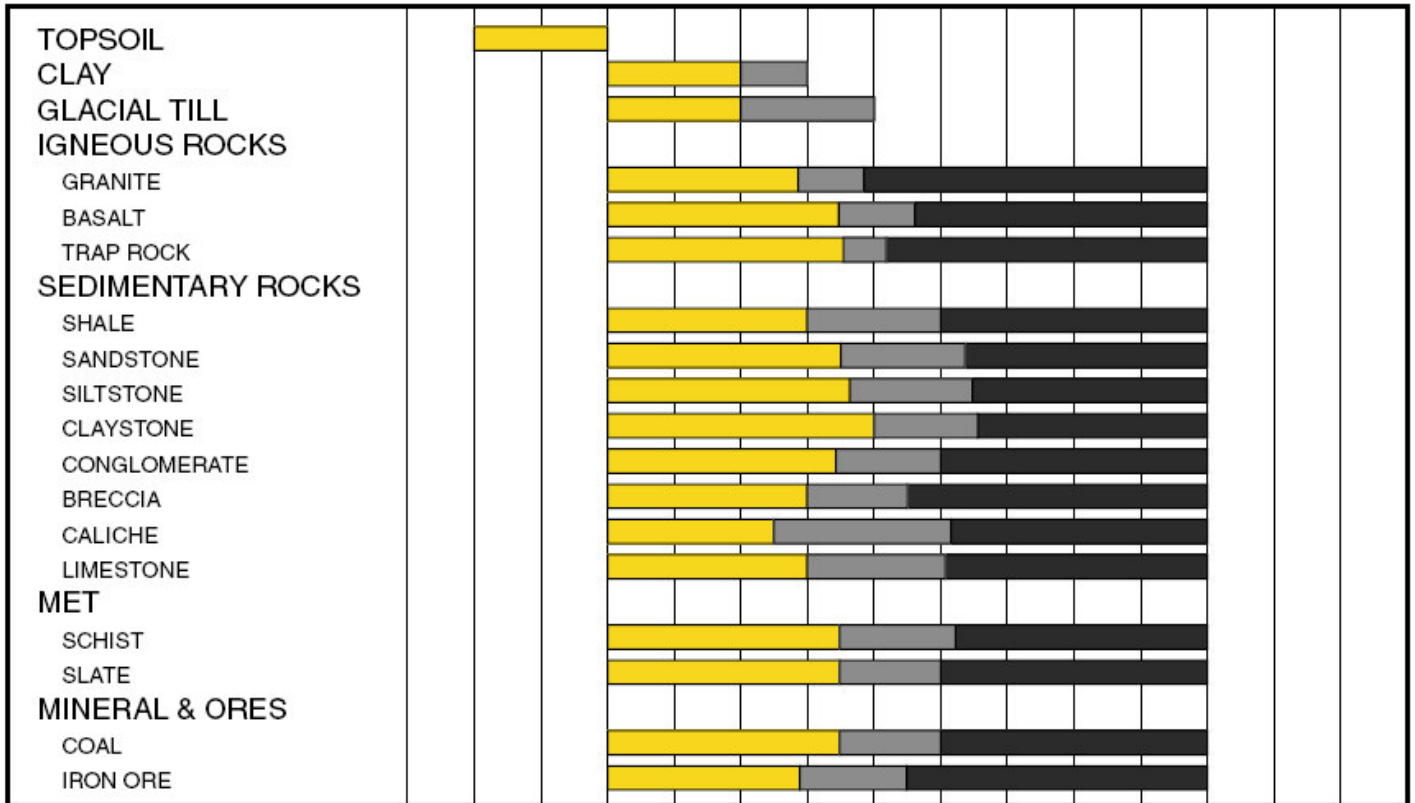
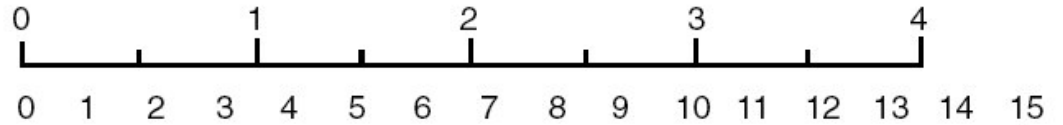
D8R Ripper Performance

- 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

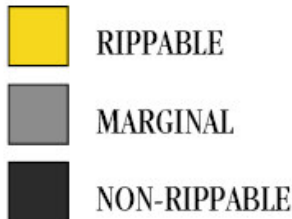


Avaliação do grau de escarificabilidade de maciços terrosos e rochosos



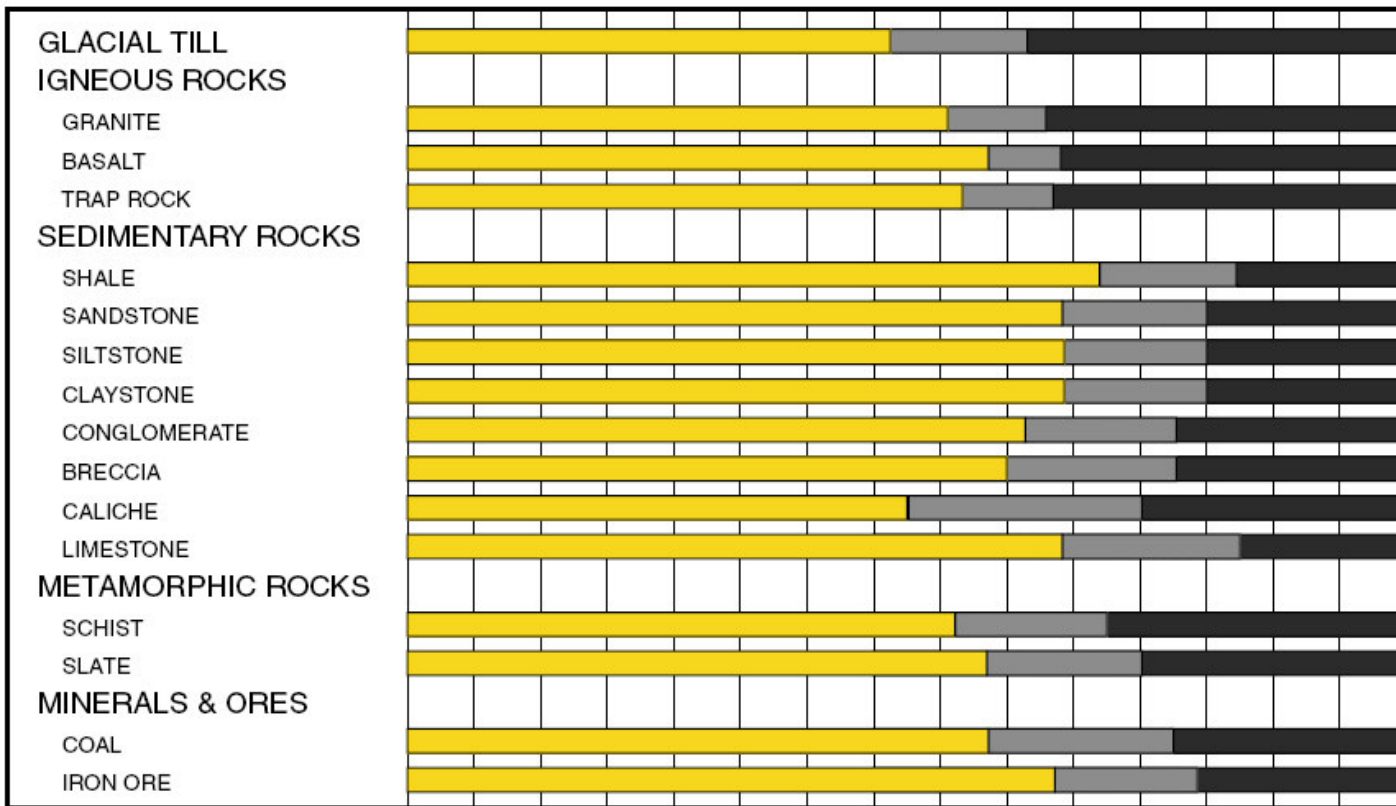
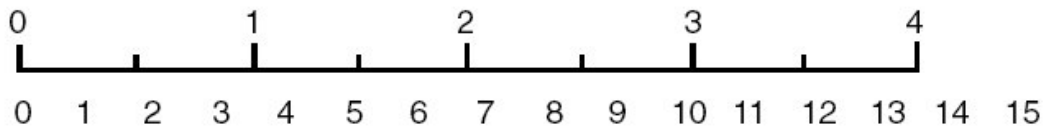
D11R Ripper Performance

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



Seismic Velocity

Meters Per Second x 1000
Feet Per Second x 1000



Parâmetros elásticos dinâmicos

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

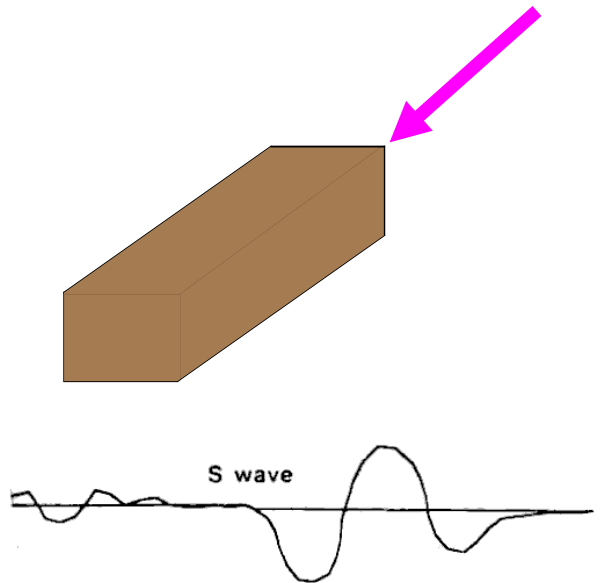
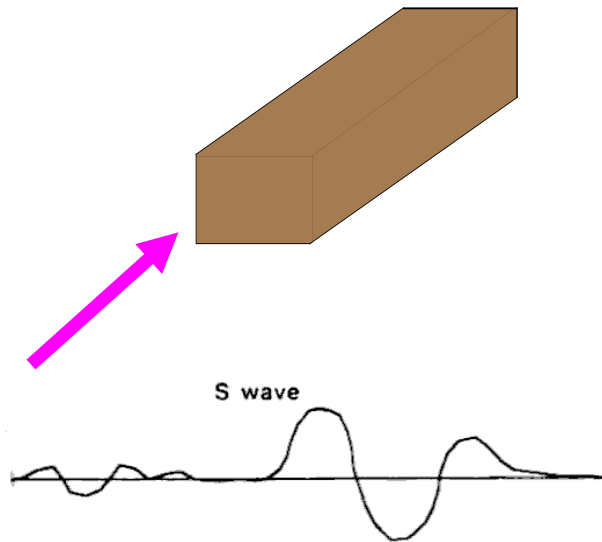
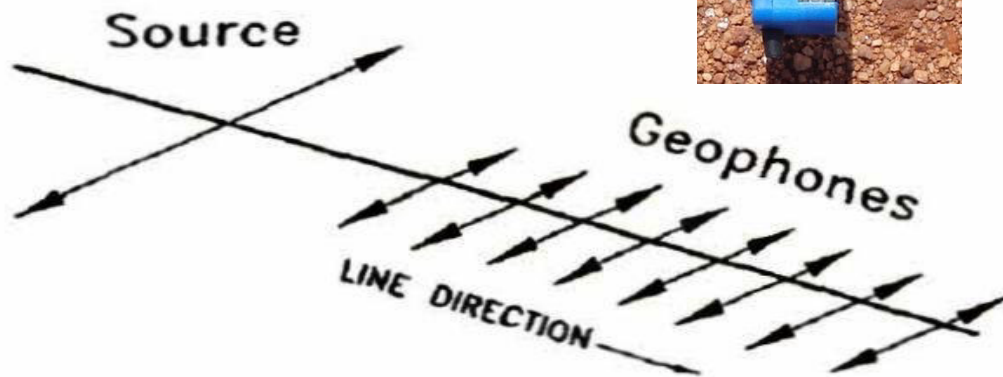
$$E = V_P^2 \cdot \rho \cdot \frac{(1 - 2\nu) \cdot (1 + \nu)}{(1 - \nu)} = 2 \cdot V_S^2 \cdot \rho \cdot (1 + \nu) \quad (\text{módulo de Young dinâmico})$$

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

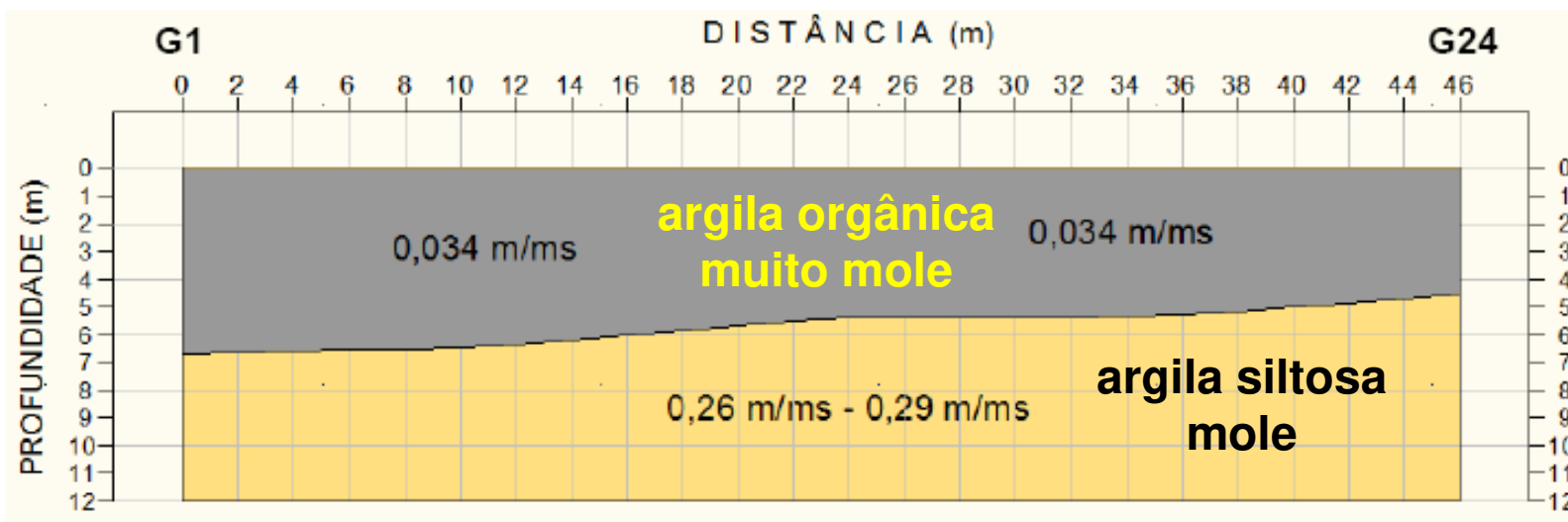
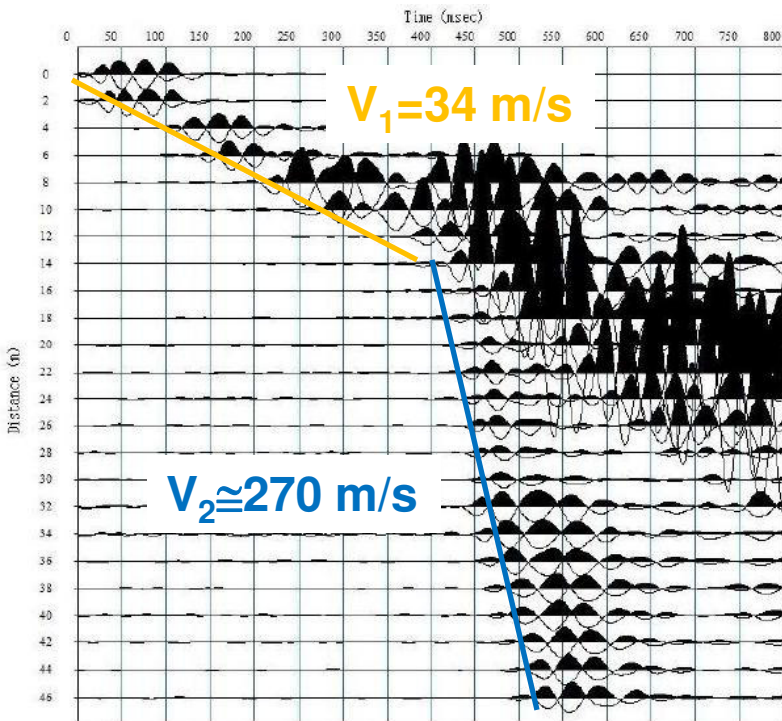
ρ (massa específica) \rightarrow solos em geral: 1,8 g/cm³ (18 KN/m³)

$$\rho = \gamma_N / g$$

Sísmica de Refração utilizando a onda S



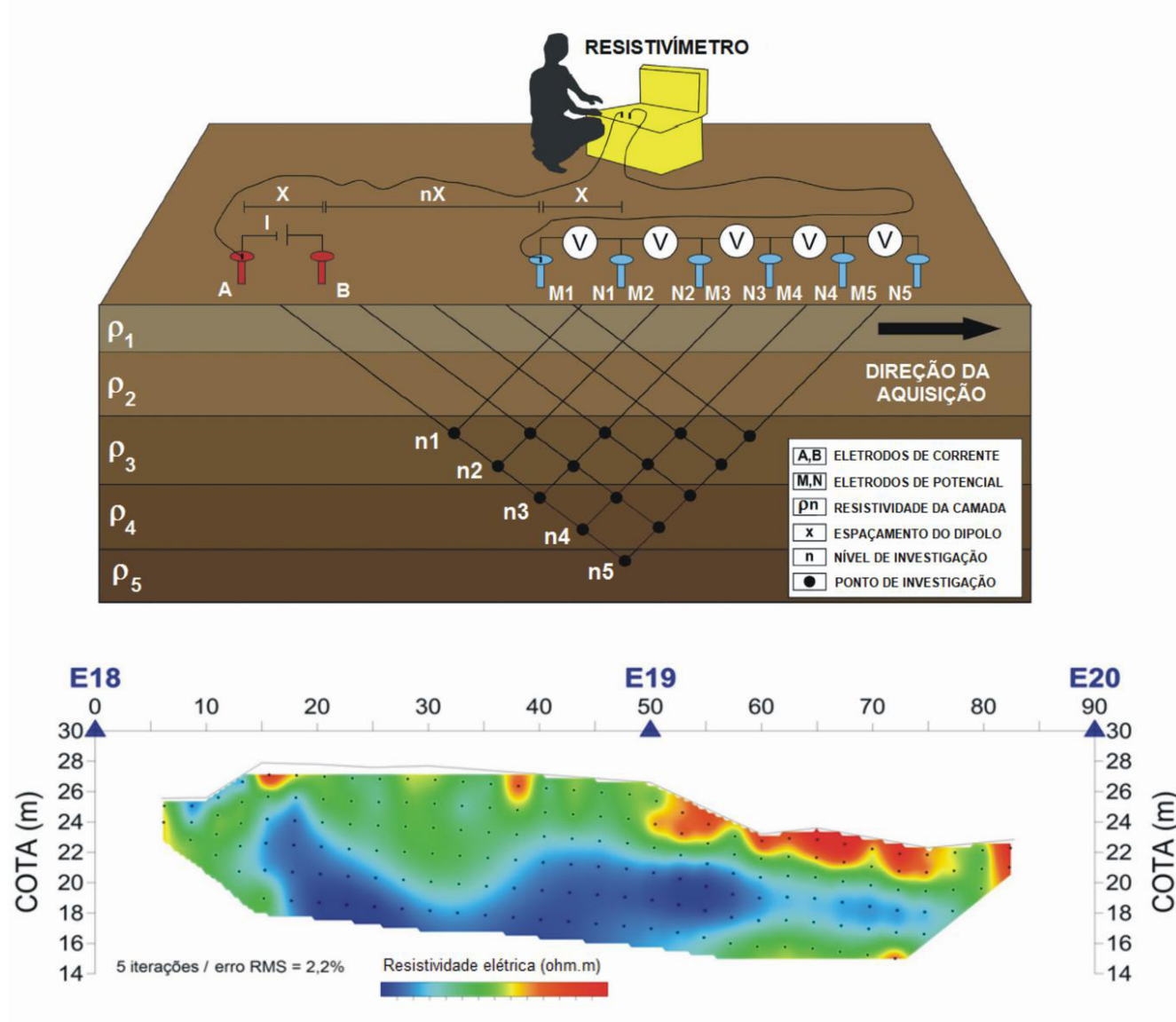
Sísmica de Refração utilizando a onda S

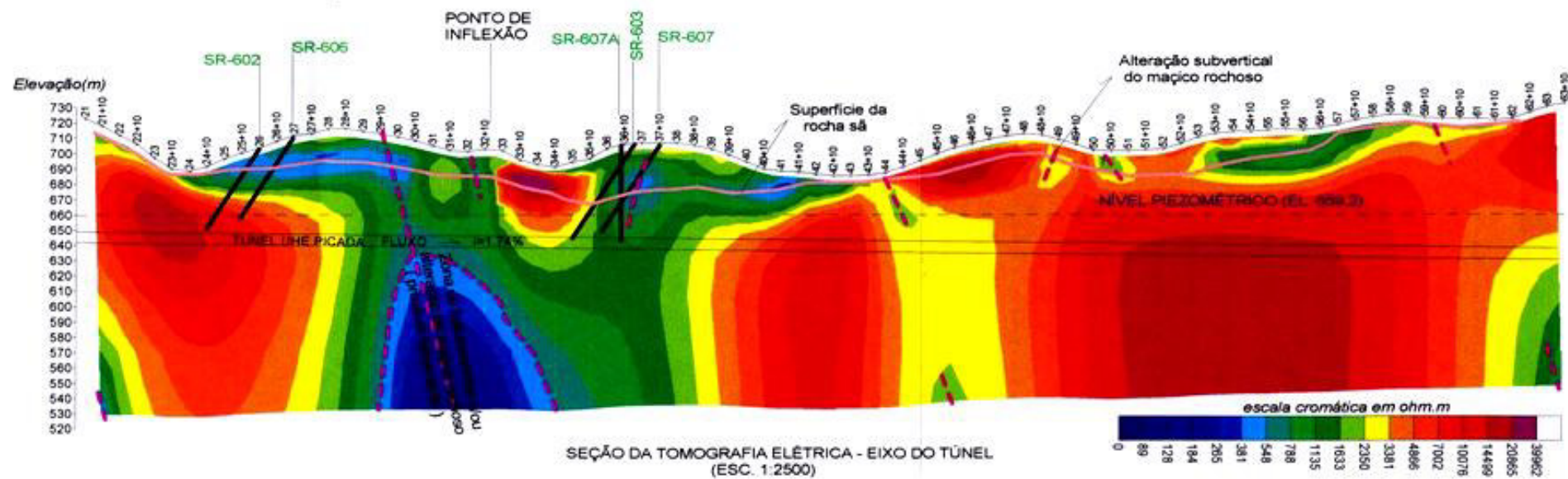


TÚNEIS



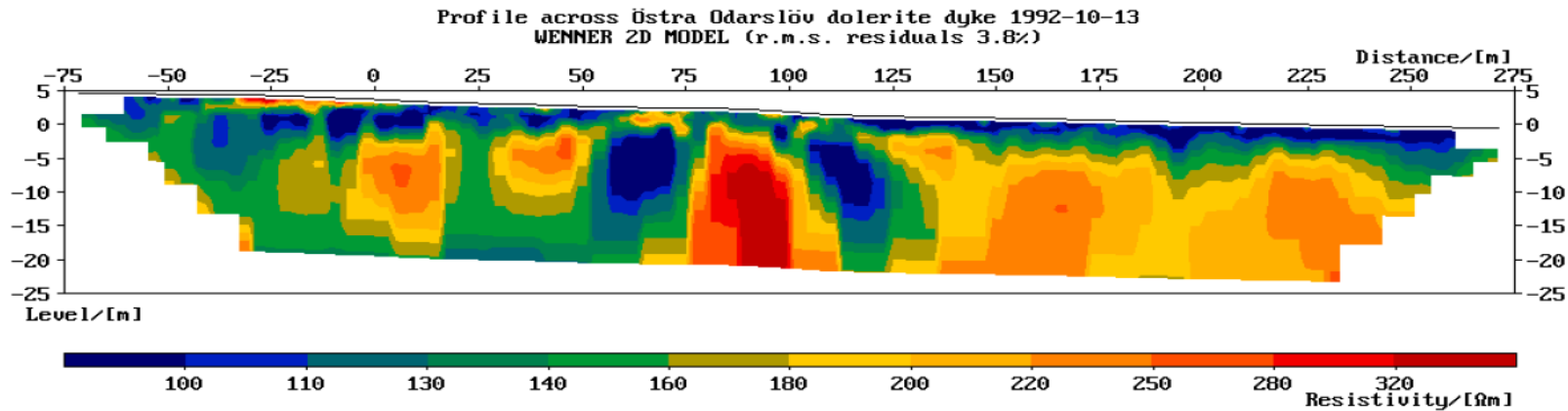
Método da Eletrorresistividade / Caminhamento Elétrico (Imageamento)



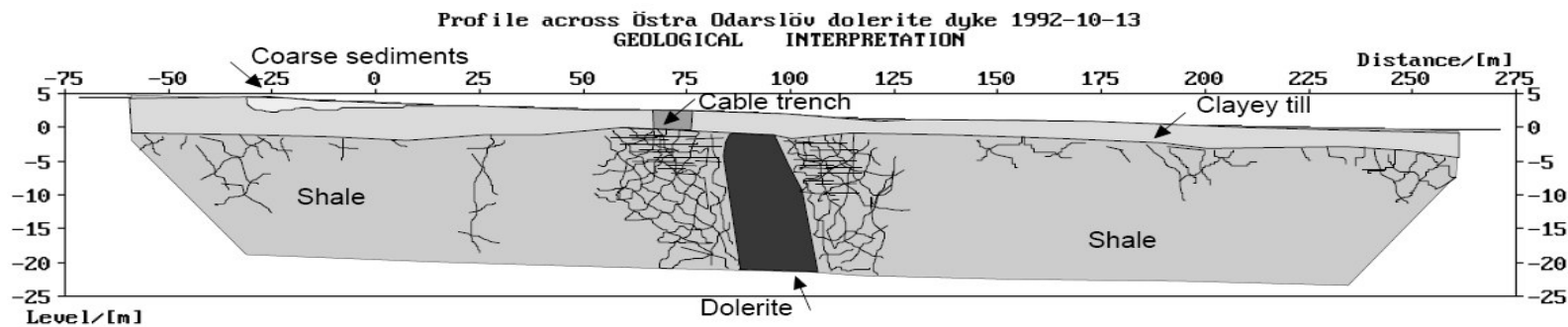
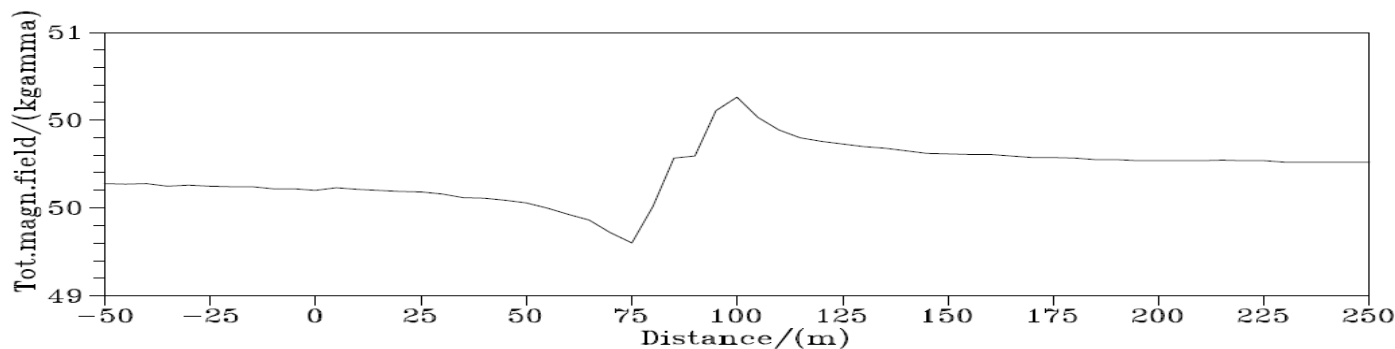


Métodos: Sísmica de Refração / Eletrorresistividade

Profile over dolerite dyke cutting through shale under clayey till



Proton magnetometer profile at Odarslöv 1992-12-22



BARRAGENS



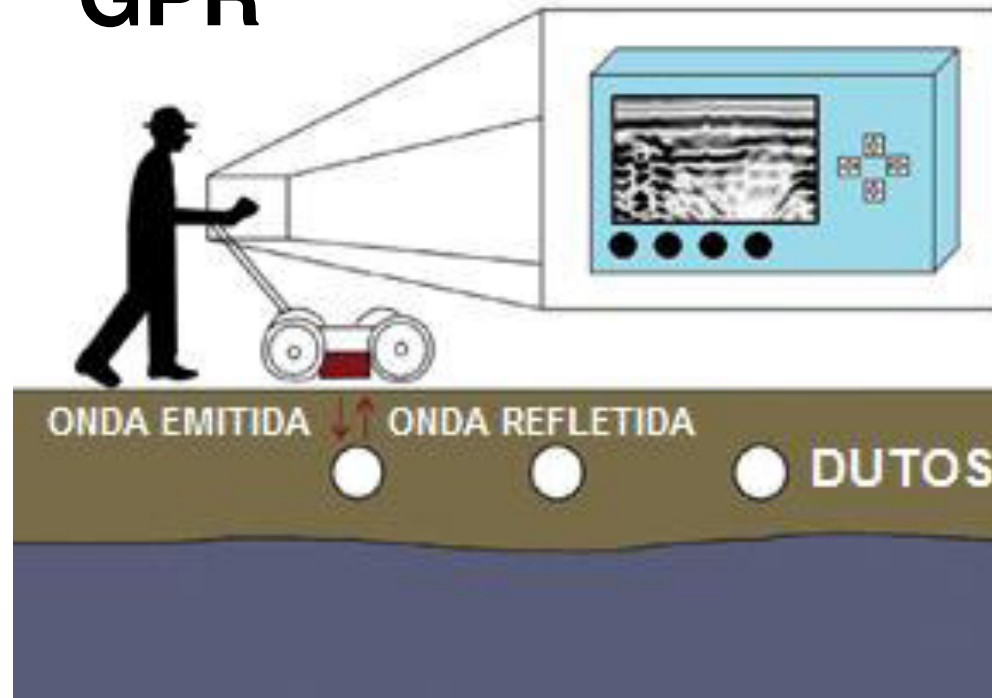
- Eletrorresistividade (ER)
- Potencial Espontâneo (SP)
- Microssímica (convencional / Interferometria)
- Sísmica (MASW, Refração), GPR

Referências de artigos - Potencial Espontâneo (SP)

Geophysical Prospecting

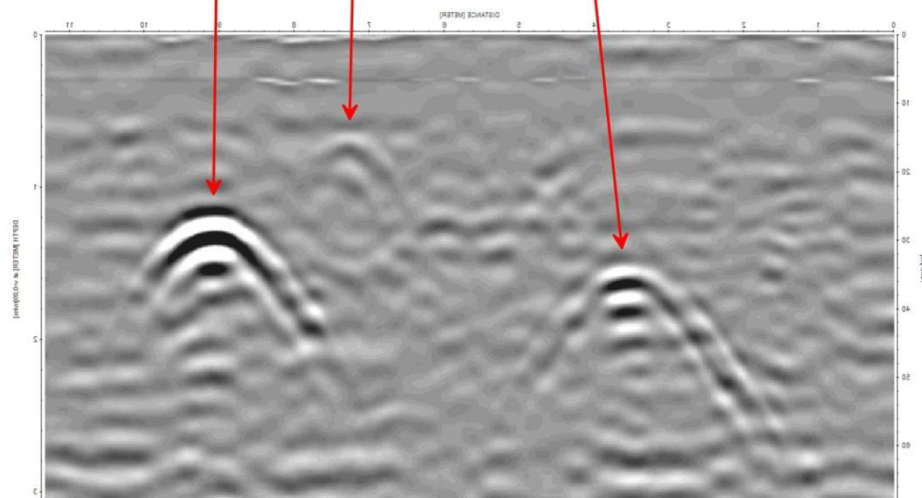
- BOGOSLOVSKY, V.;A.; OGILVY, A.A. 1970a. Application of geophysical methods for studying the technical status of earth dams. *Geophysical Prospecting*, 18: 758–773
- BOGOSLOVSKY, V.A.; OGILVY, A.A. 1970b. Natural potential anomalies as a quantitative index of the rate of seepage from water reservoirs. *Geophysical Prospecting*, 18: 261–268
- BOGOSLOVSKY, V.A.; OGILVY, A.A. 1973a. Electrometric observations of antifiltrational cementation curtains. *Geophysical Prospecting*, 21: 296– 314
- BOGOSLOVSKY, V.A.; OGILVY A.A. 1973b. Deformations of natural field near drainage structures. *Geophysical Prospecting*, 21: 716–723
- OGILVY, A.A.; AYED M.A.; BOGOSLOVSKY, V.A. 1969, Geophysical studies of water leakages from reservoirs. *Geophysical Prospecting*, 17, p.36-62.

GPR

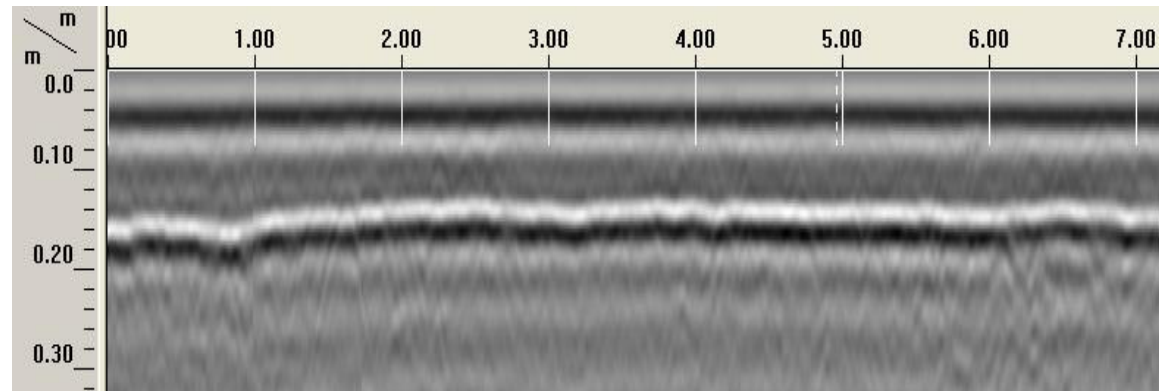
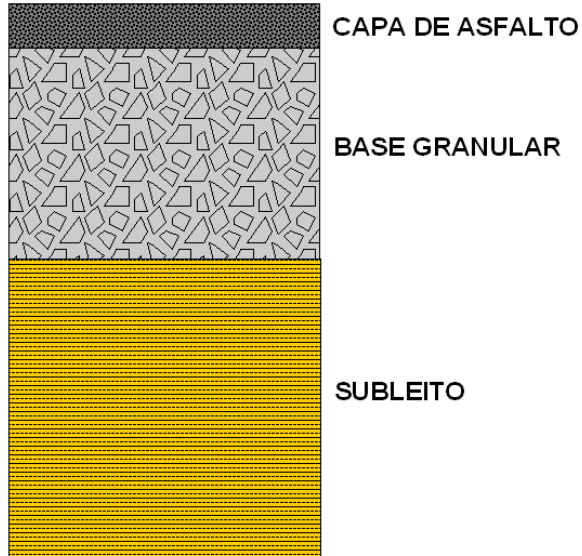


- Localização de dutos e tubulações enterradas
- Determinação da estrutura de pavimentos
- Inspeção em estruturas de concreto

Localização de dutos e tubulações enterradas



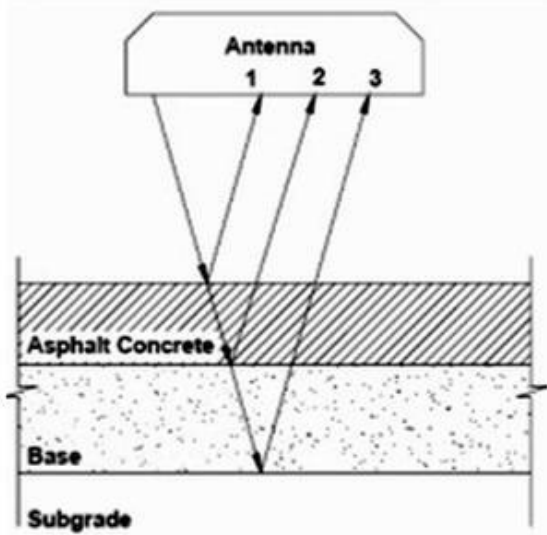
Determinação da estrutura de pavimentos



Determinação da estrutura de pavimentos



Determinação da estrutura de pavimentos



Determinação da estrutura de pavimentos

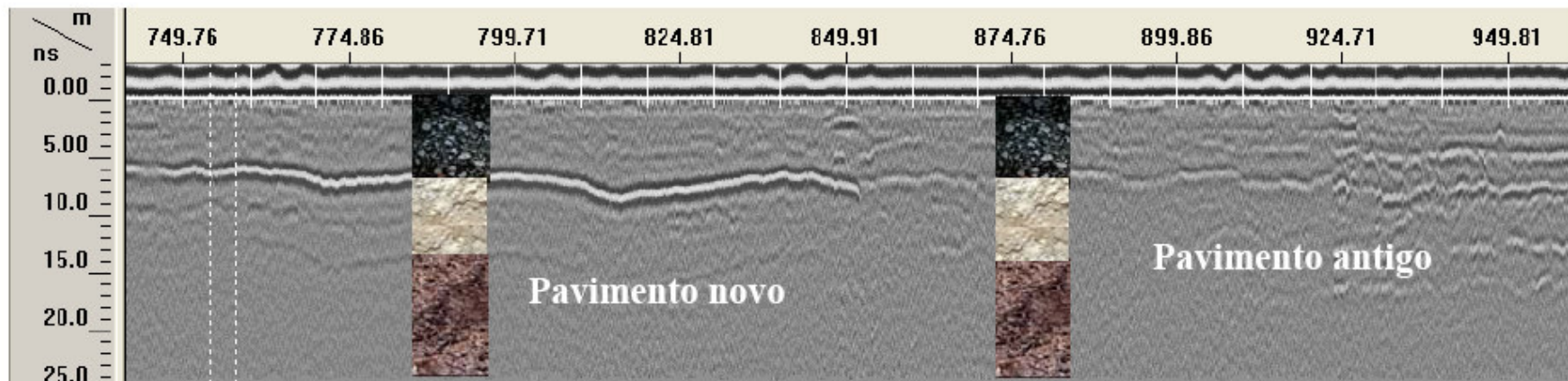
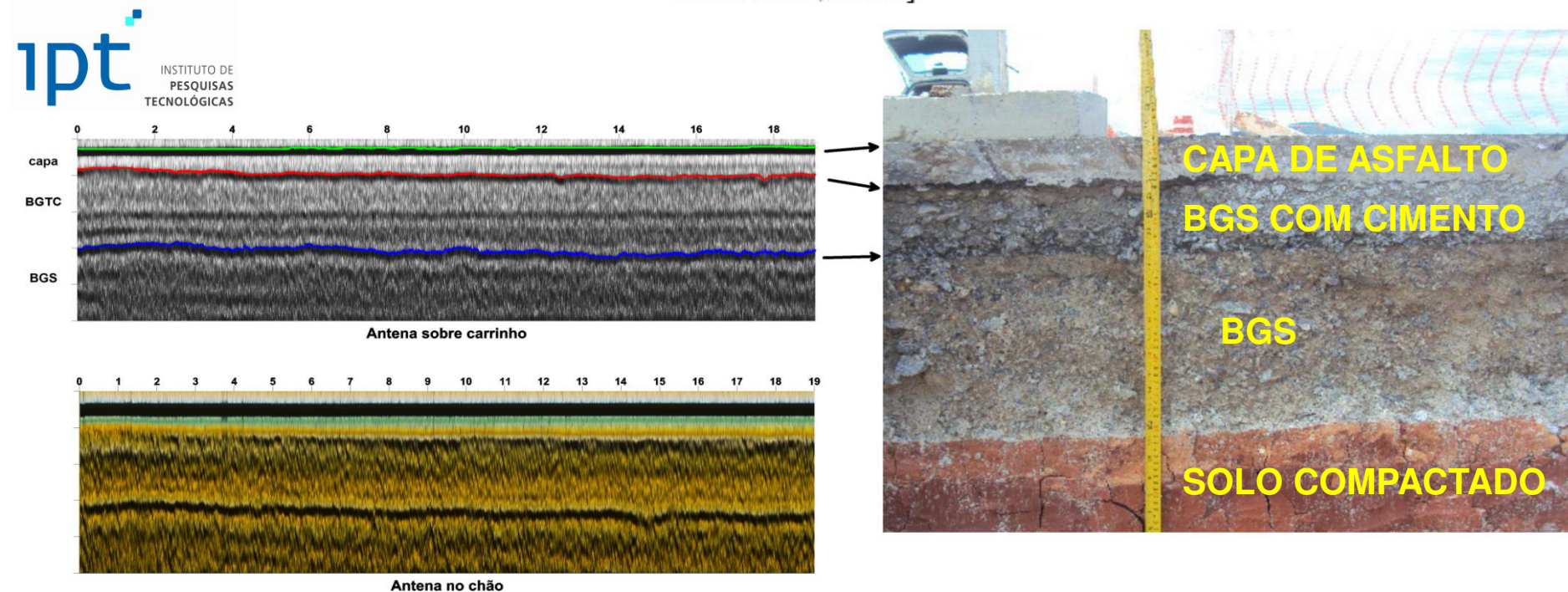
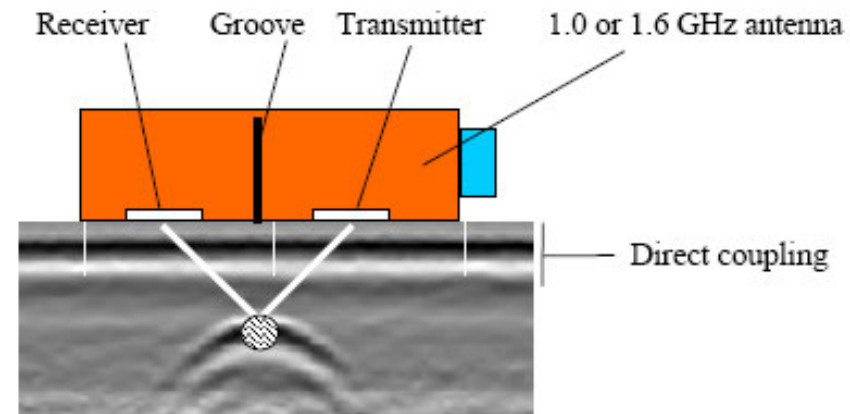


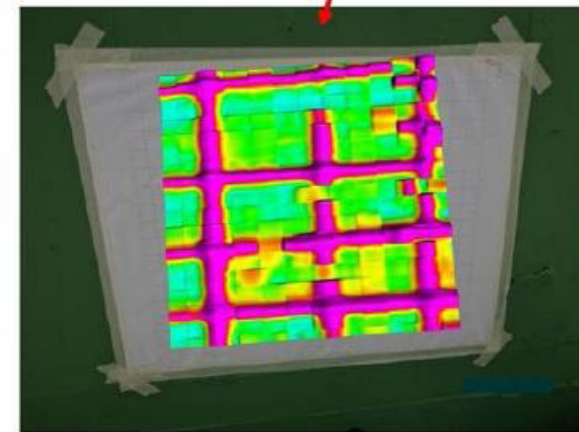
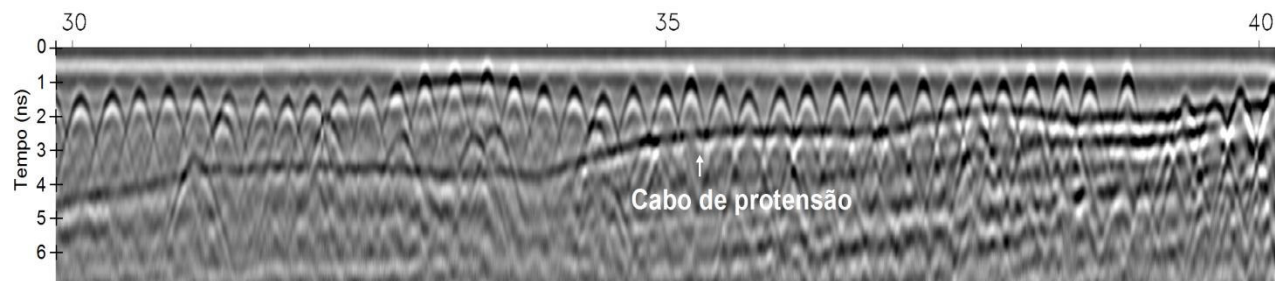
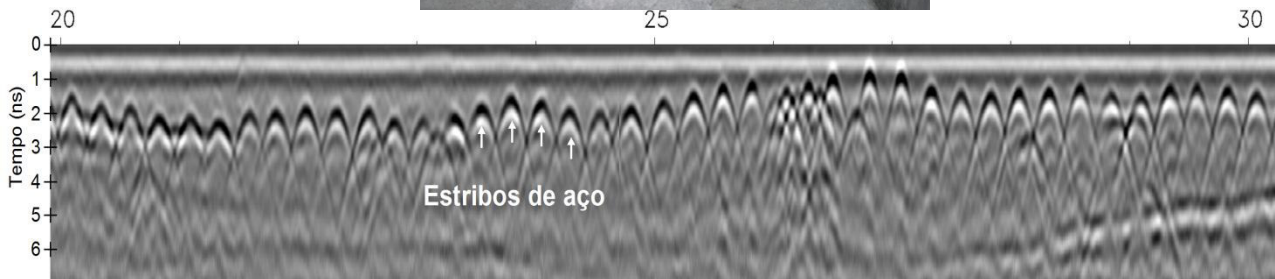
Figura 3.21 – Comparação entre os resultados obtidos com o Radar de Prospecção num pavimento novo e um pavimento antigo constituídos por uma camada betuminosa, e uma camada de base tratada com cimento [adaptado de Fontul *et al*, 2007^a].



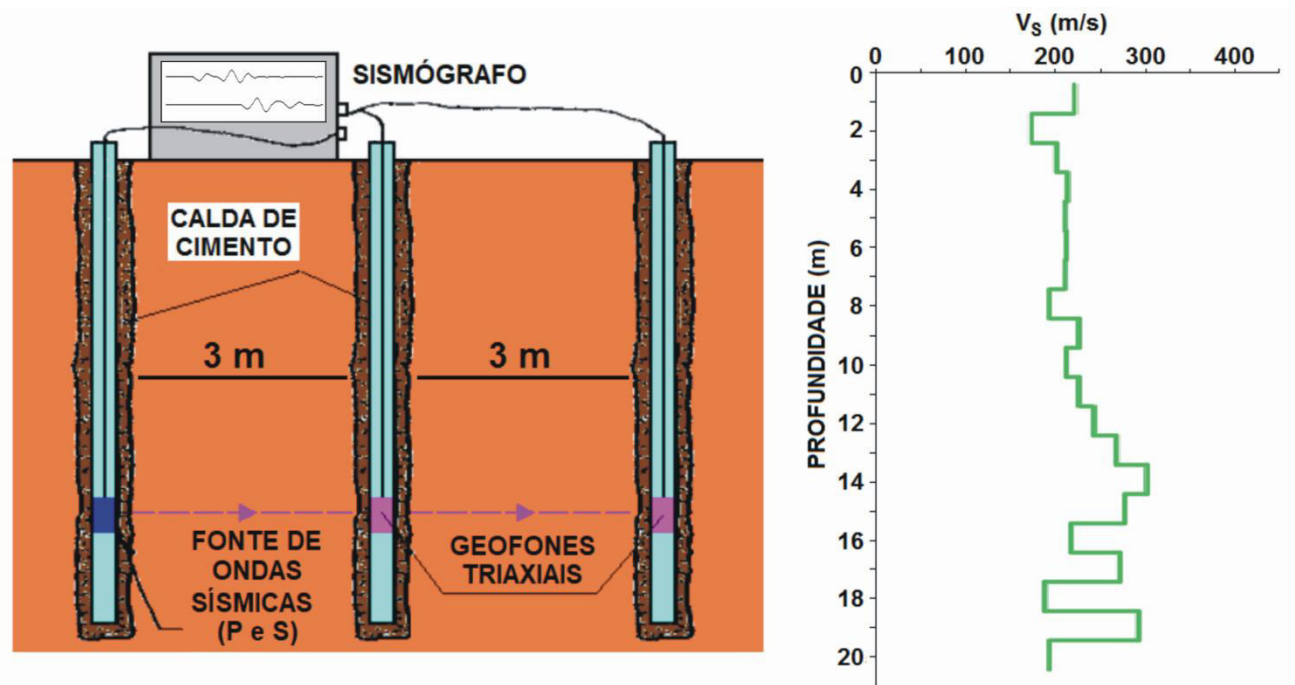
Inspeção de estruturas de concreto



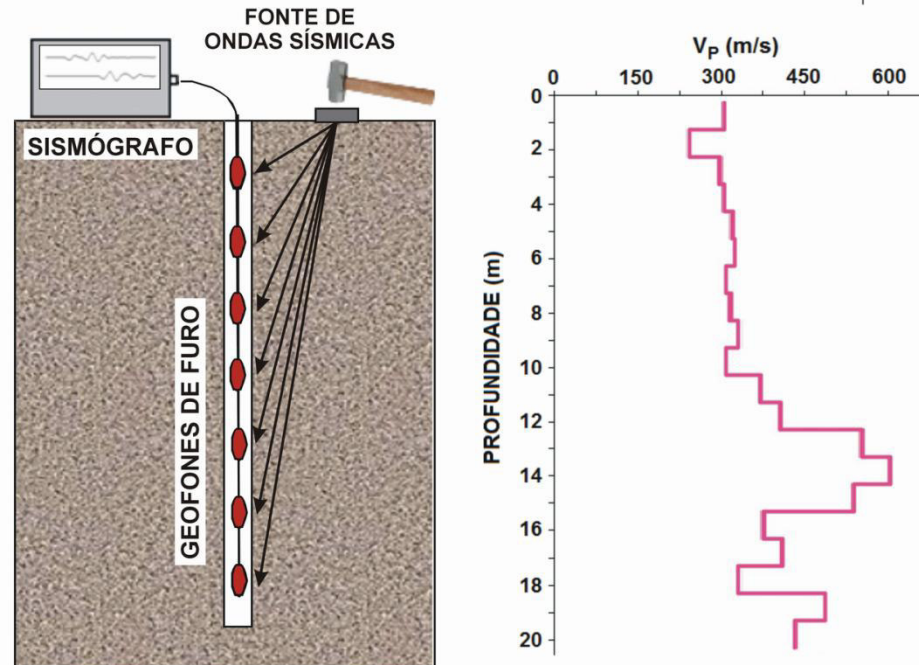
Inspeção de estruturas de concreto



Ensaio Crosshole



Ensaio Downhole

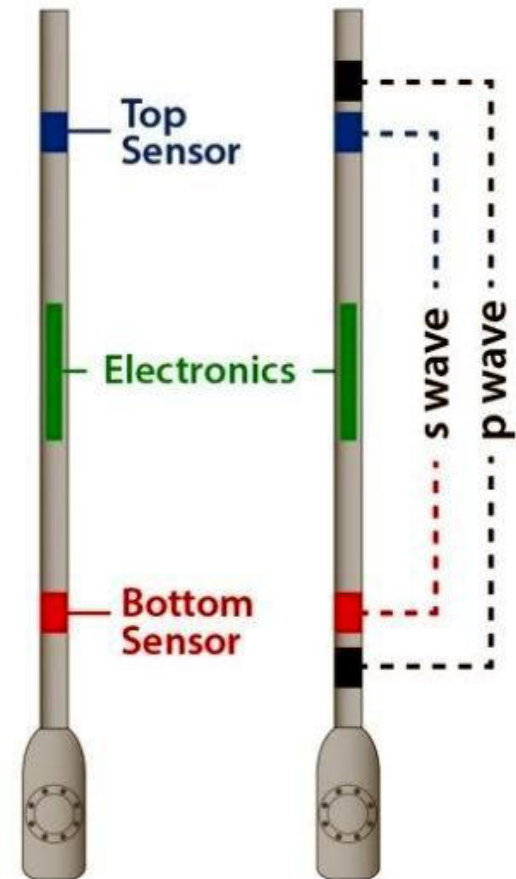
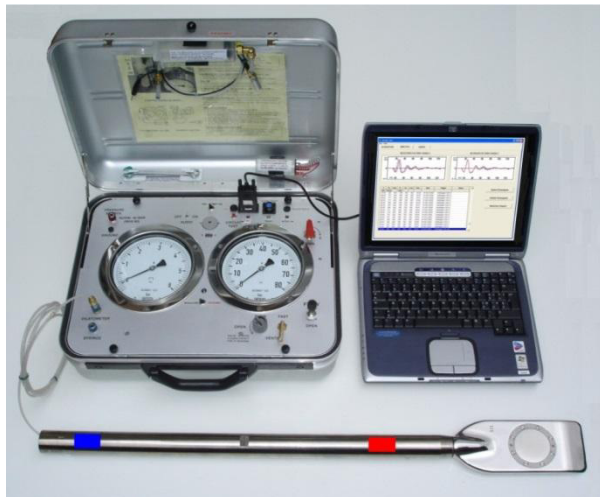
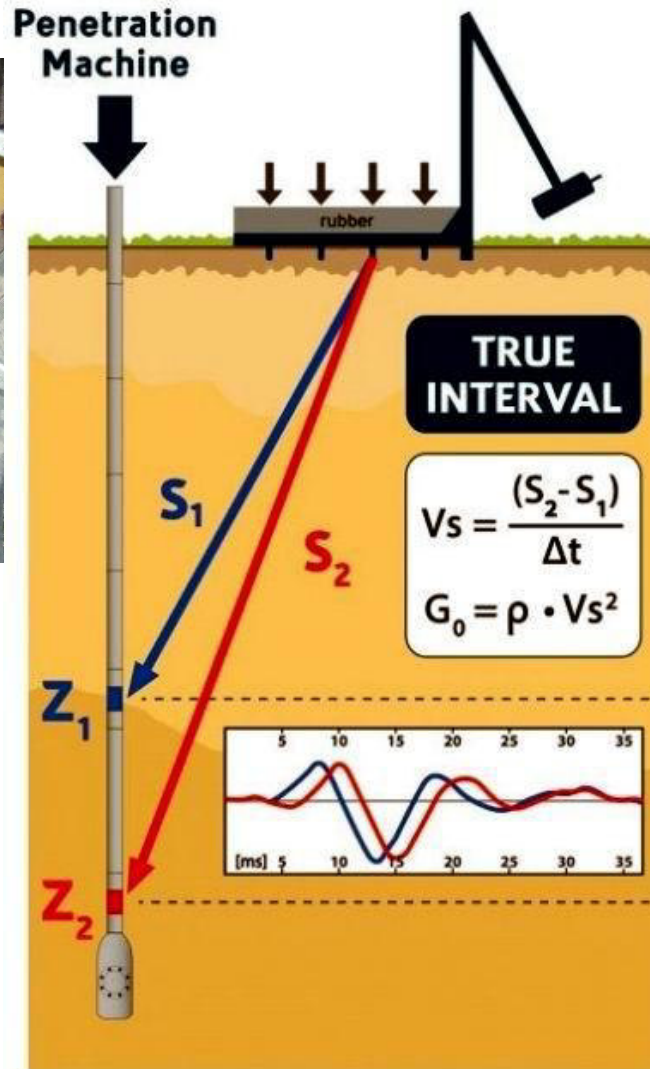


Ensaio CPT Sísmico (SCPT)

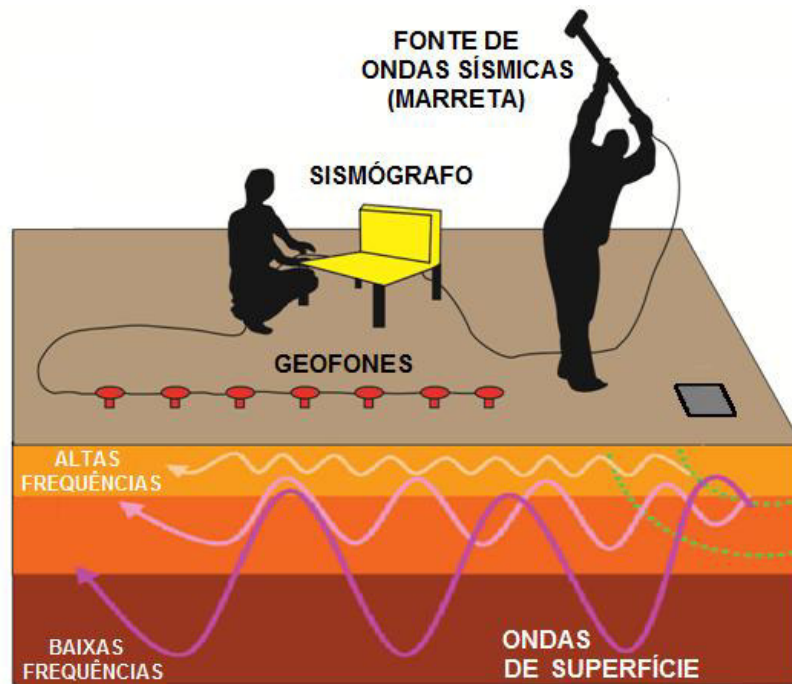


$$V_s = \frac{L_2 - L_1}{t_2 - t_1}$$

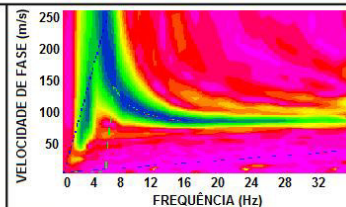
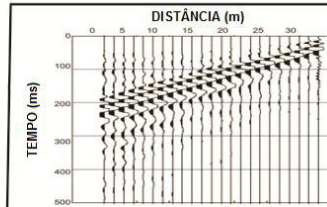
Dilatômetro de Marchetti (DMT) DMT Sísmico (SDMT)



MASW

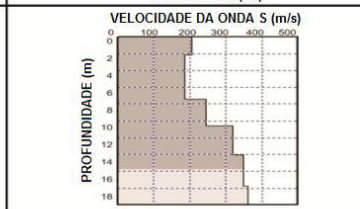
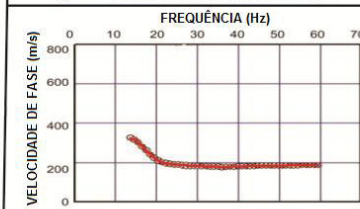


I) SISMOGRAMA



II) IMAGEM DE DISPERSÃO

III) CURVA DE DISPERSÃO



IV) MODELO FINAL
PERFIL 1D
(V_s x PROFUNDIDADE)

Existe uma relação entre o valor N_{SPT} com a velocidade de propagação de ondas S (V_S)

São fórmulas empíricas dadas de modo geral por:

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

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)	$V_s = 152 + 5.1N^{0.27}$	Areias	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)	$V_s = 63.0(N_{60})^{0.43}$	Holoceno - cascalho	USA
Rollins <i>et al</i> (1998a, b)	$V_s = 132.0(N_{60})^{0.32}$	Pleistoceno - cascalho	USA
Rollins <i>et al</i> (1998a, b)	$V_s = 222.0N^{0.06}$	Aterro recente	USA

Fonte: Pedrini, R.A.A. 2012. DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA PARA SÍSMICA UP-HOLE EM CONJUNTO COM O ENSAIO SPT. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO (FEB/UNESP – BAURU-SP)

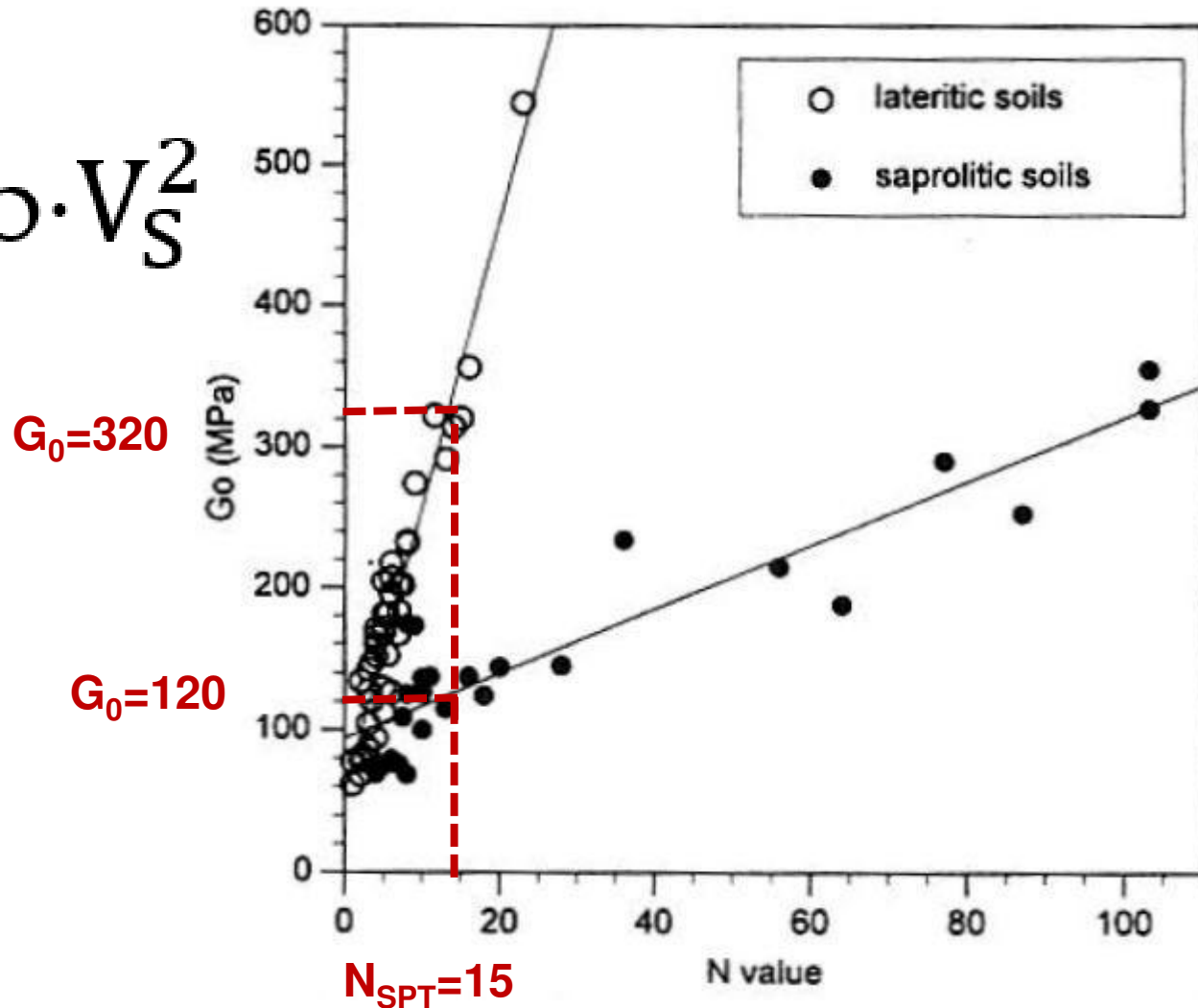
SONDAGEM A PERCUSSAO - SPT



Em solos tropicais (lateríticos e saprolíticos) os ensaios sísmicos, por meio da determinação de V_s , permitem identificar propriedades dos solos (**grau de cimentação, estruturação**) muitas vezes **não identificadas pelas sondagens SPT**

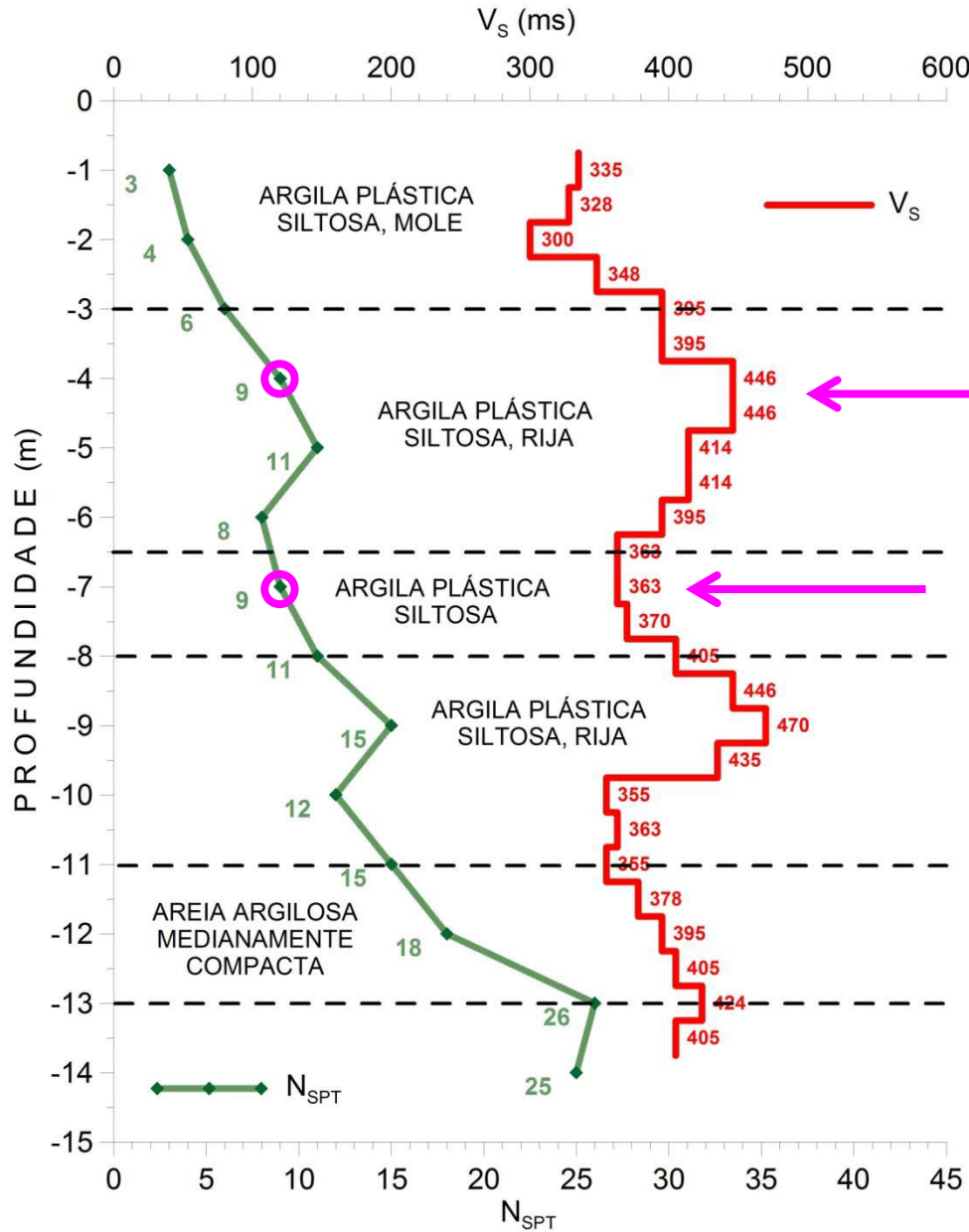
Solos lateríticos mostram **rigidez muito superior** a que seria esperada pelo valor do N_{SPT} (2x a 4x)

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



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

Bairro Artur Alvim
São Paulo, SP



$V_s = 446$ m/s

$V_s = 363$ m/s

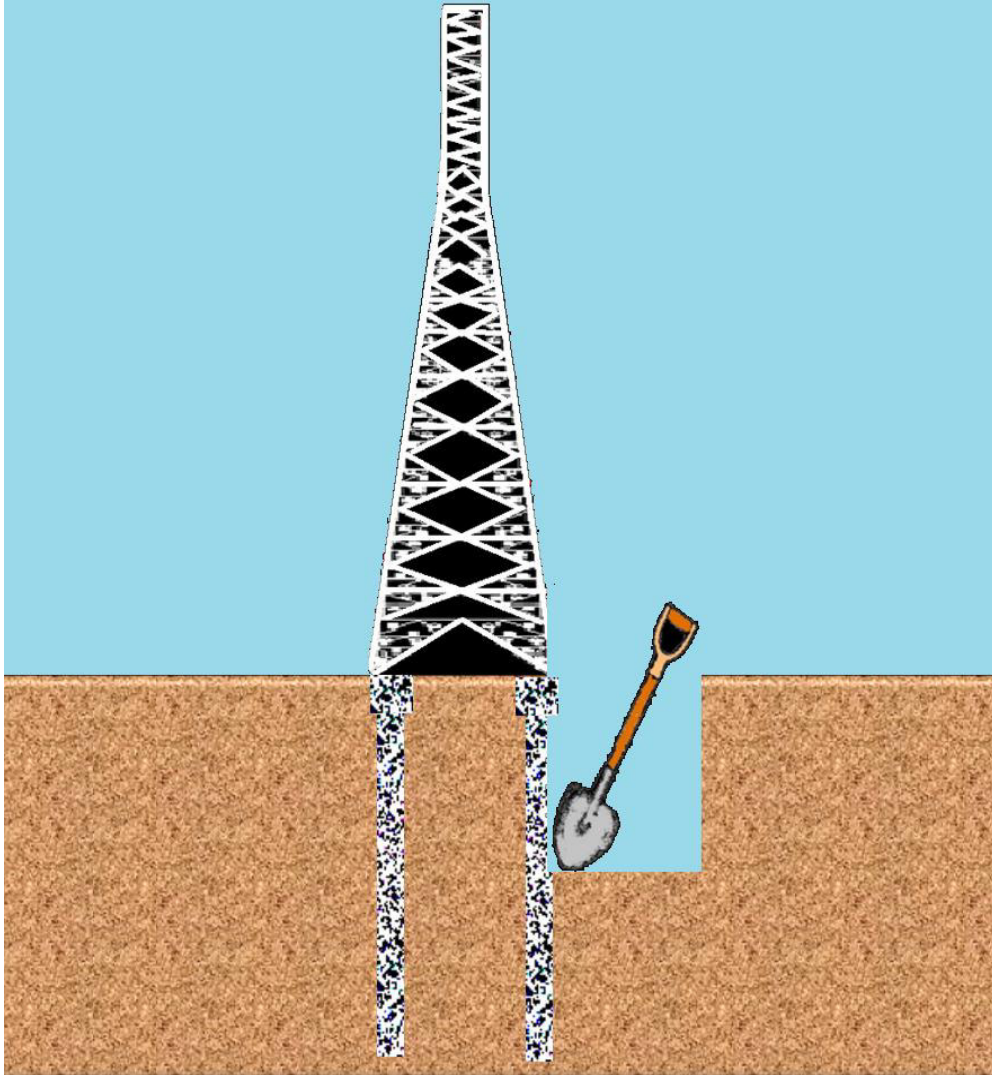
Determinação da profundidade (desconhecida) de uma fundação

**AUMENTO
DE CARGA**

**Possível solução:
reforço da fundação
(caro)**

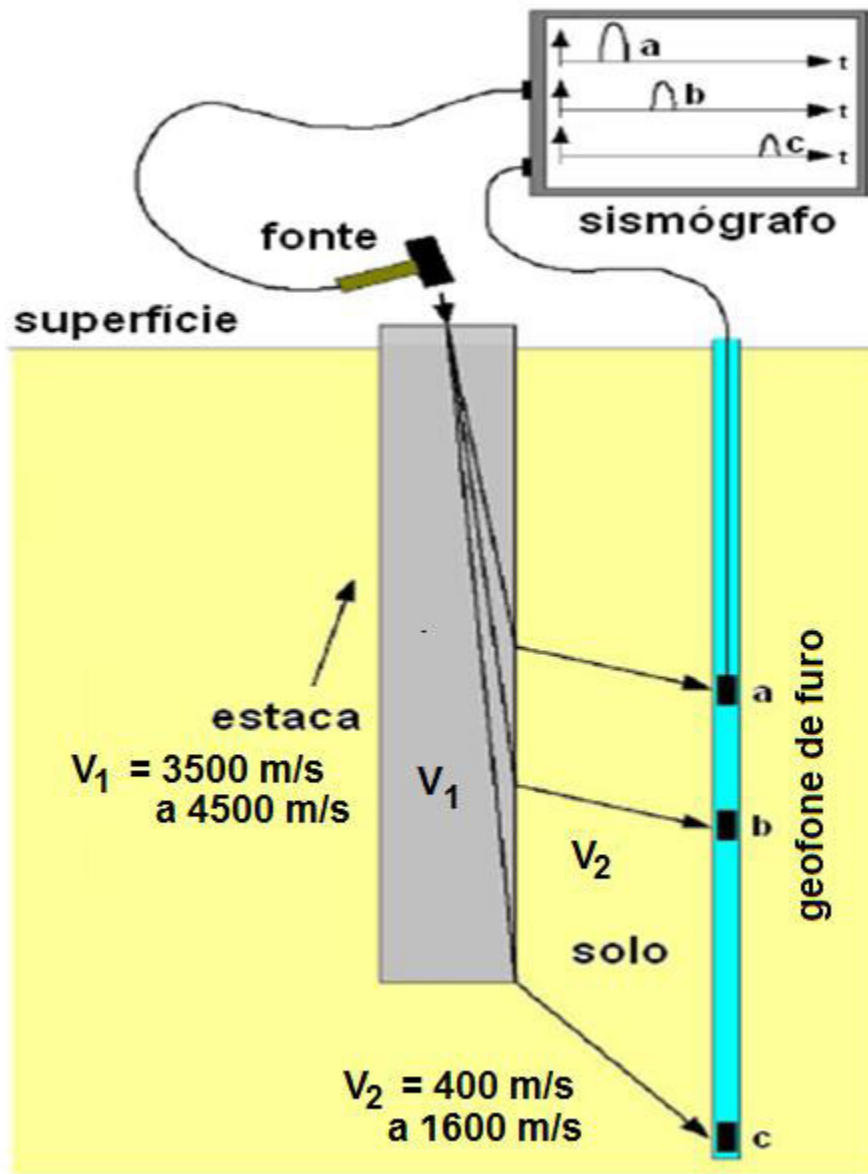


Torre de telefonia

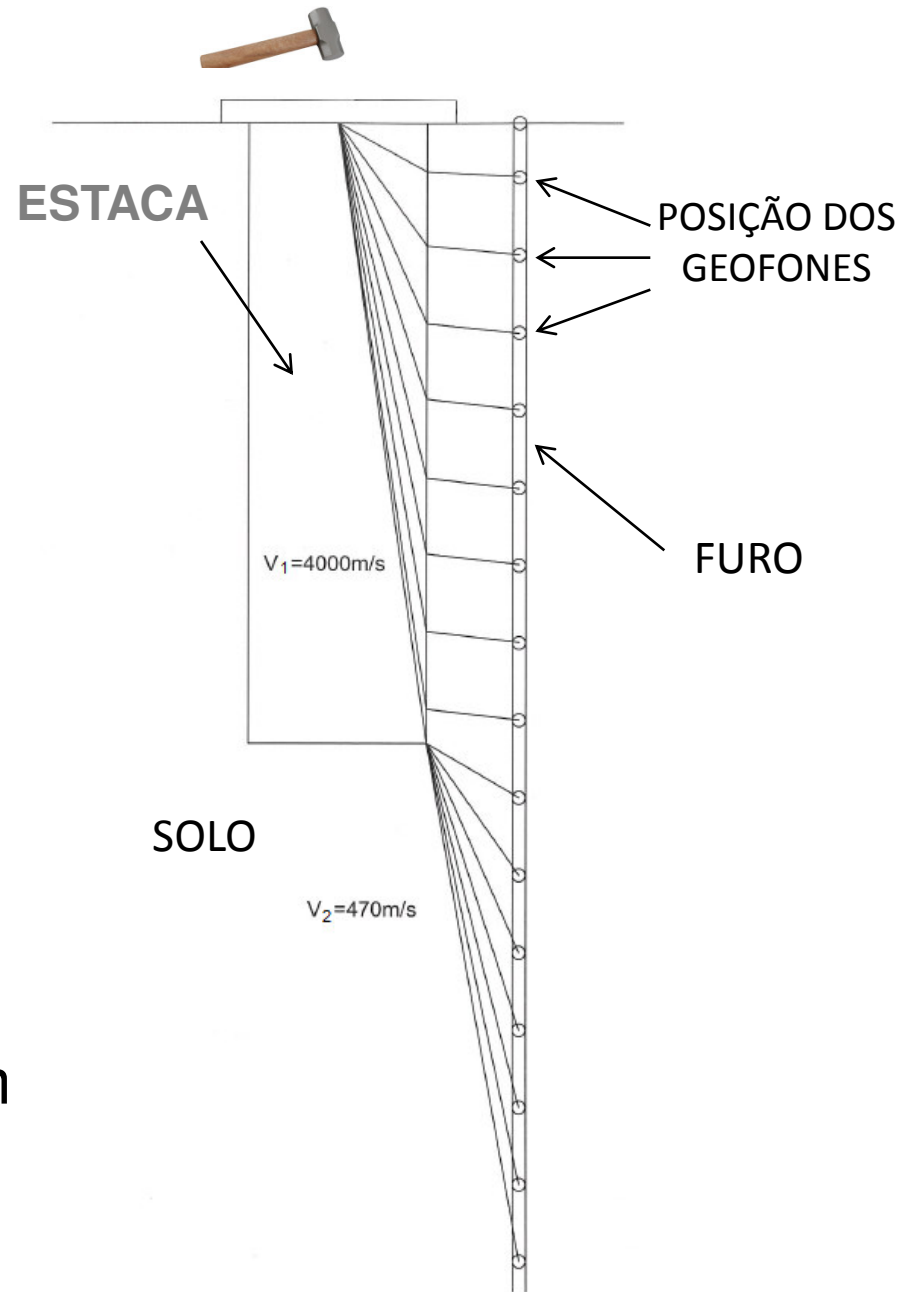


Escavação: caro e arriscado!

ENSAIO SÍSMICO PARALELO (*PARALLEL SEISMIC*)

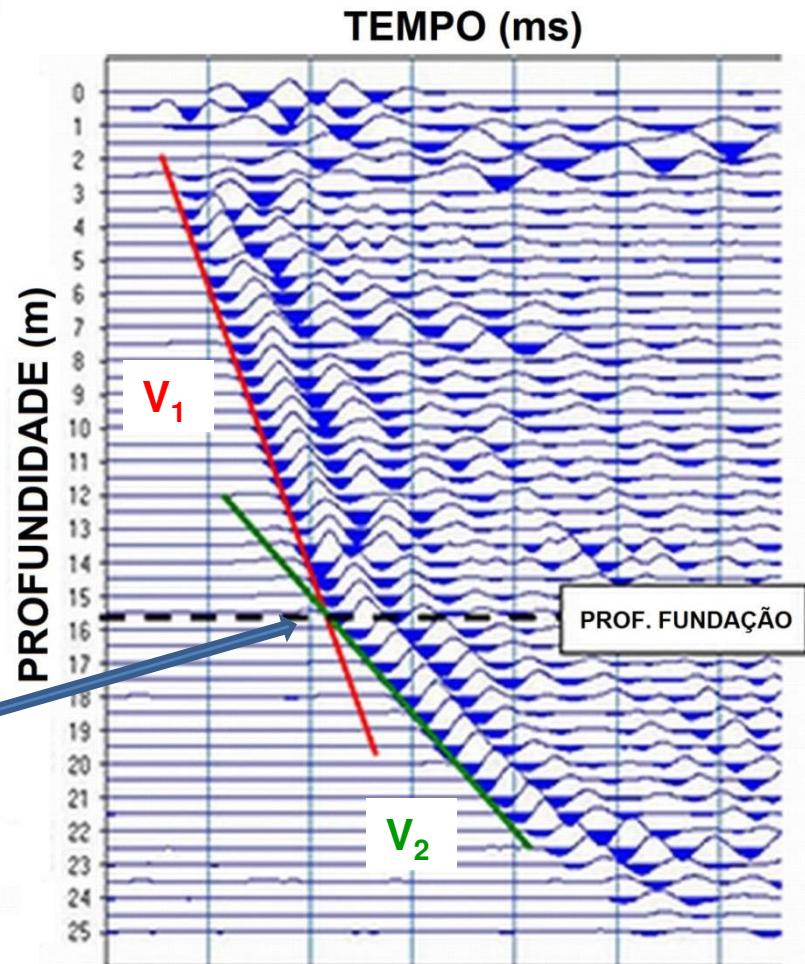
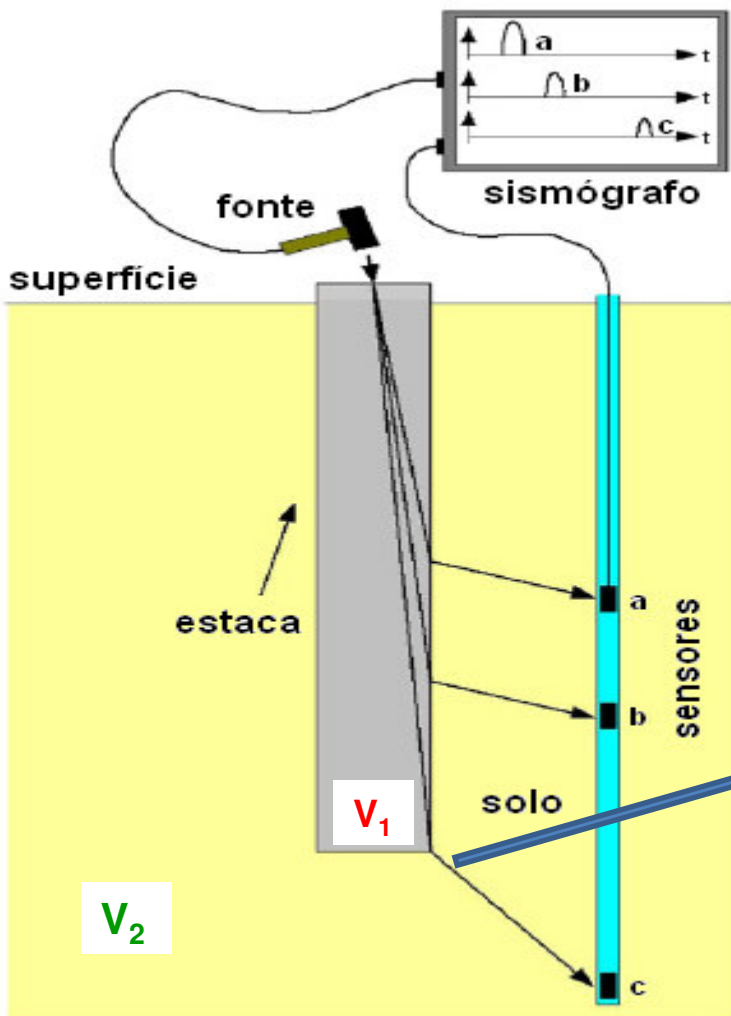


Modificado de Niederleithinger, 2012



Medidas a cada 50 cm ou 1 m

RESULTADOS



V_1 = velocidade de propagação da onda na estaca
 V_2 = velocidade de propagação da onda no solo

A profundidade na qual é observado o **ponto de inflexão** no sismograma, corresponde à **profundidade da fundação**



MAGNETÔMETRO DE FURO



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

^aProgram Manager, NDE Validation Center, Federal Highway Administration, Office of Infrastructure R&D,
6300 Georgetown Pike, McLean, VA 22101

^bSenior Civil Engineer, Layne Christensen Co.-Colog Division, 810 Quail St., Ste E, Lakewood CO 80215

^cPresident, GEOVision Geophysical Services, 1151 Pomona Road, Unit P, Corona, California 92882

^dSenior Project Engineer, URS Corporation, 915 Wilshire Blvd., Suite 700, Los Angeles, CA 90017-3437

^eSenior Program Manager, Port of Long Beach, 925 Harbor Plaza, Long Beach, CA 90802

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

The system uses three fluxgate magnetometers to measure the magnetic field in the direction of each of the axis.

Therefore, this probe measures the magnetic field and acceleration in three different directions, that is, along three orthogonal axis.

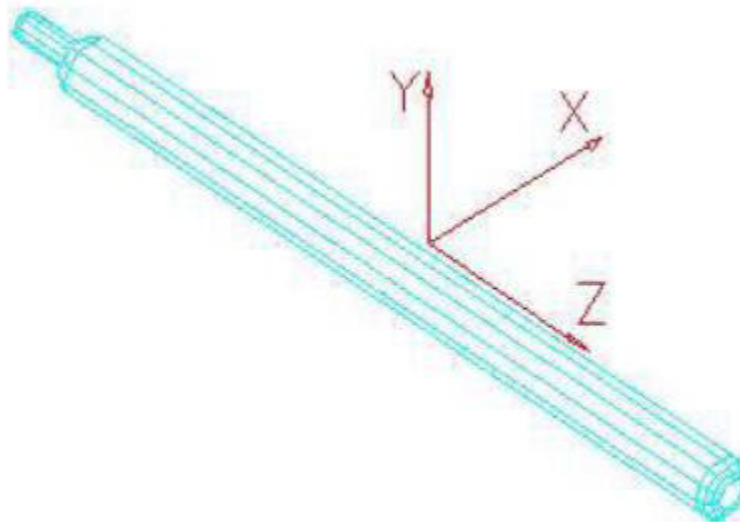
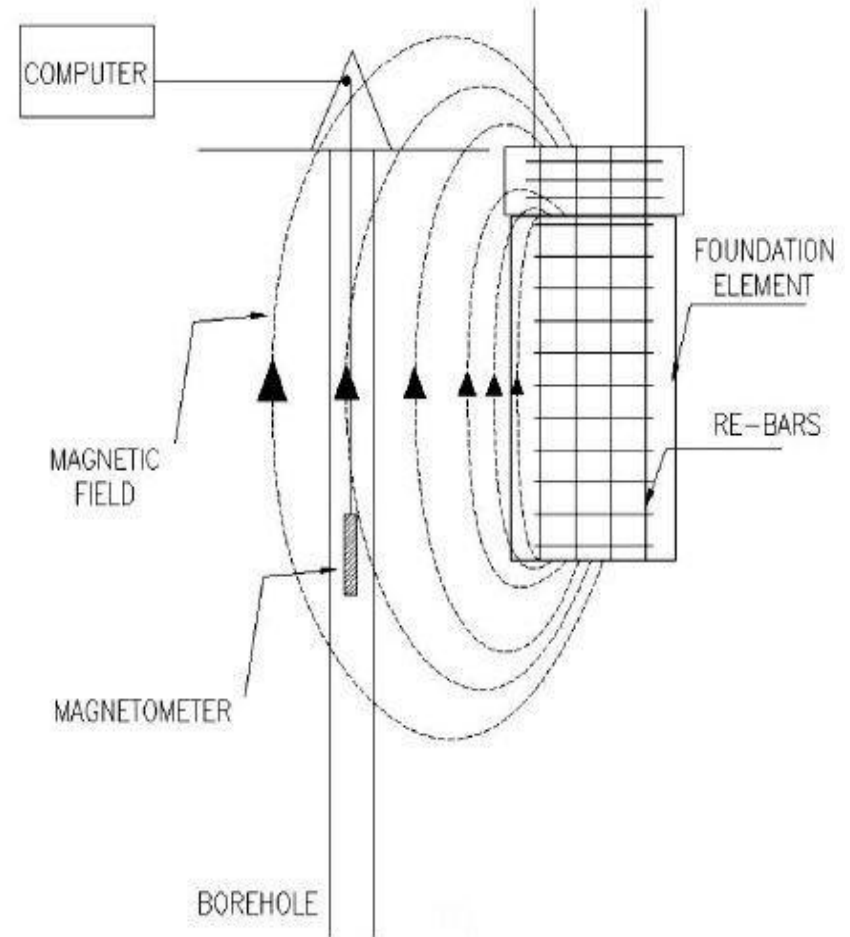
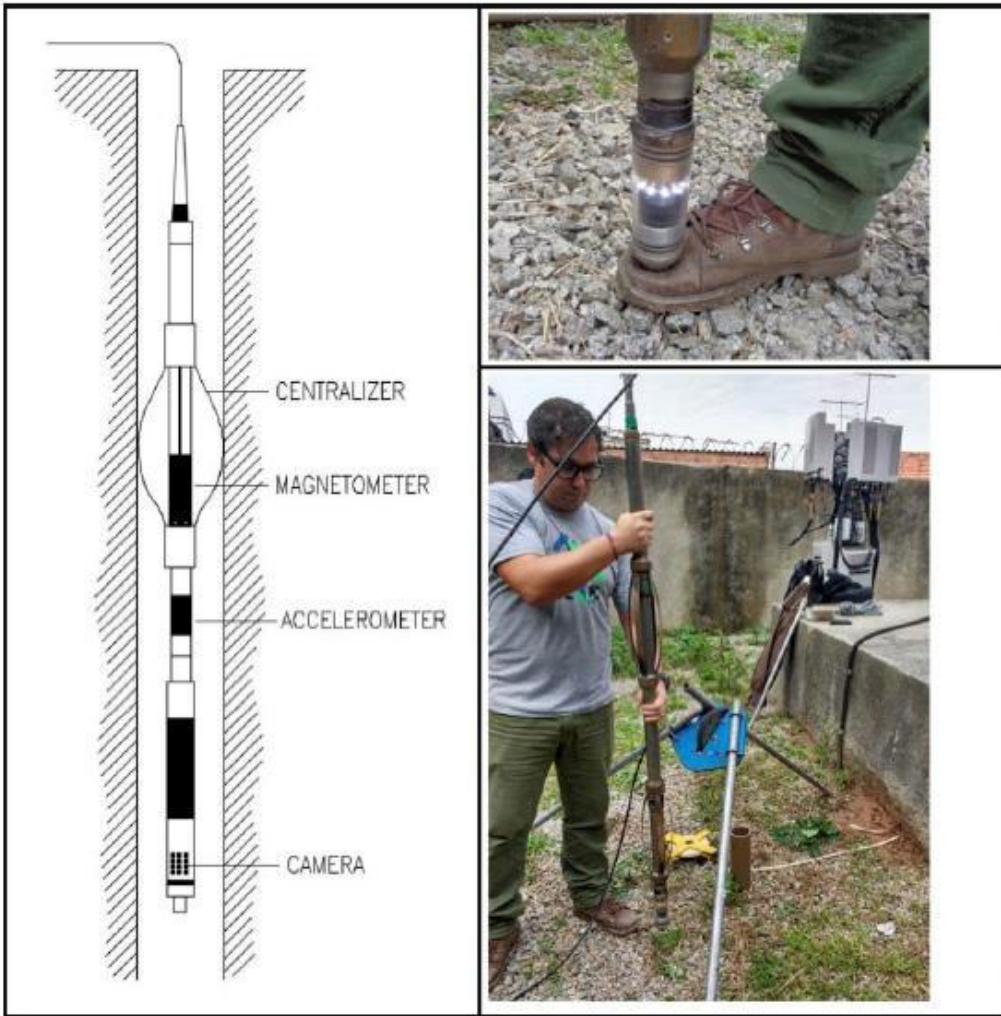


Figure 5. Borehole Deviation Probe

PERFILAGEM MAGNÉTICA UTILIZANDO UMA SONDA DE TELEVISIONAMENTO DE FURO (OPTV)



ESTUDO DE CASO: CAMPO LARGO-PR

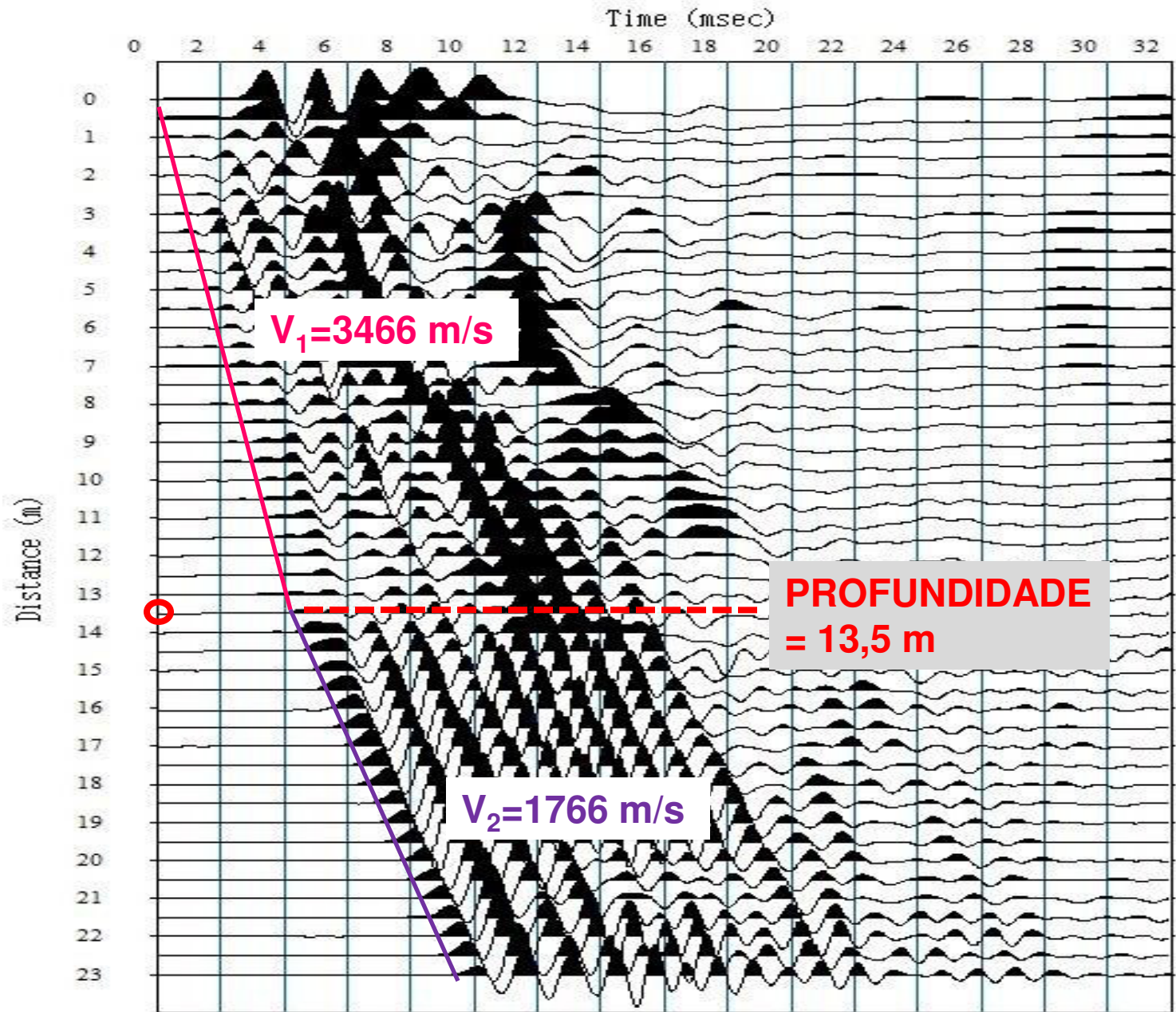
ENSAIO SÍSMICO PARALELO

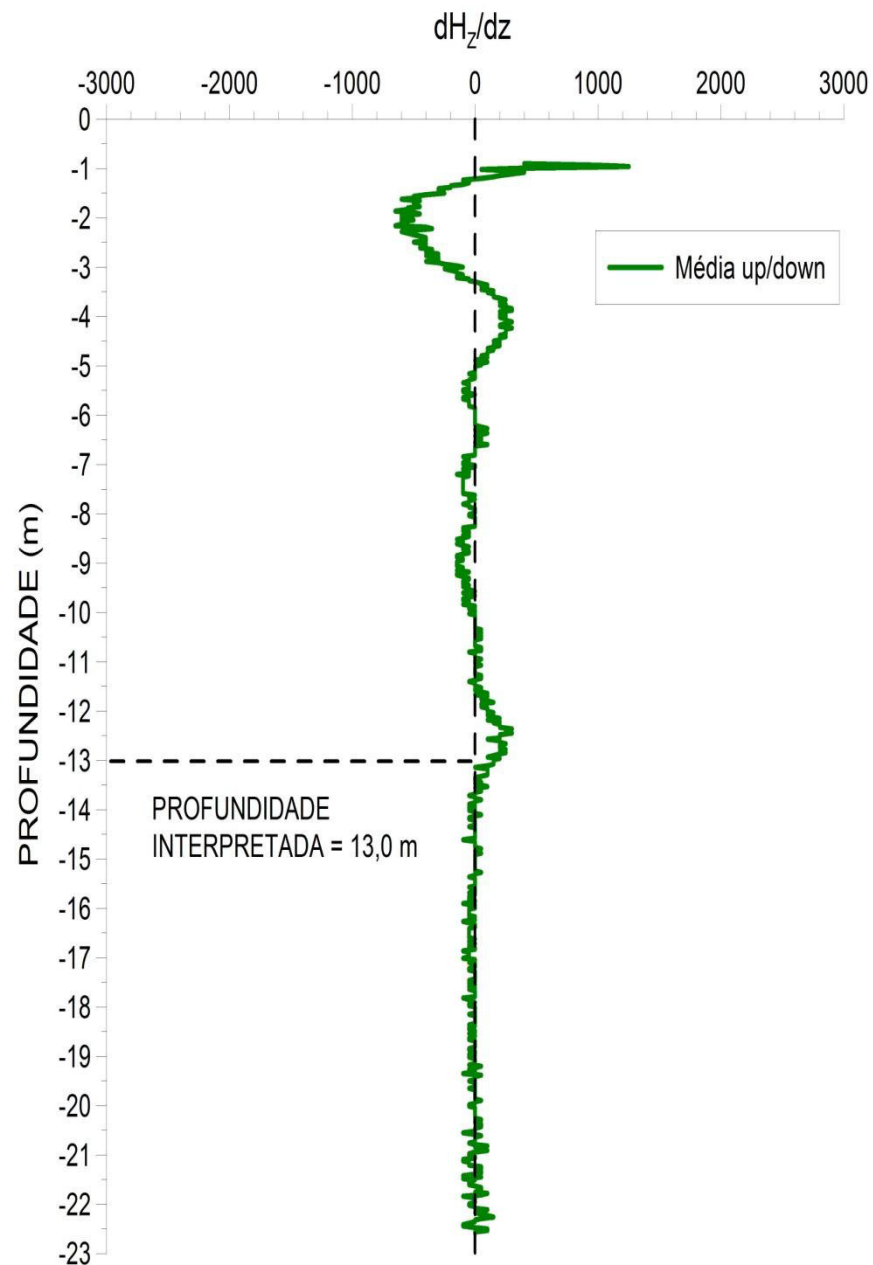
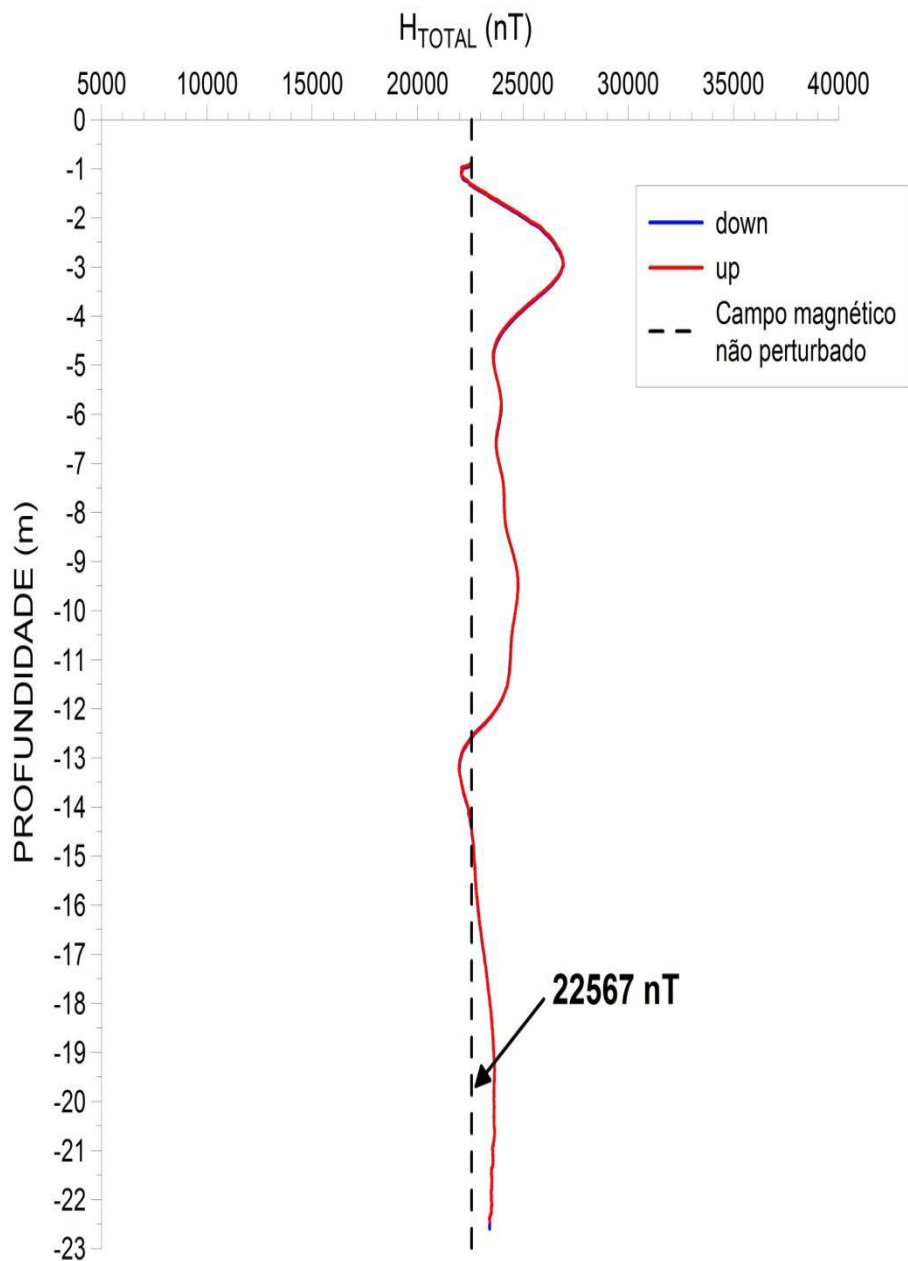


PERFILAGEM MAGNÉTICA



ESTUDO DE CASO: CAMPO LARGO-PR





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

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- ✓ O geofísico, em seus relatórios, pareceres, etc., deve utilizar uma linguagem adequada para os profissionais da Engenharia Civil
- ✓ A Geofísica, para atender à Engenharia Civil, deve mostrar resultados



“De um lado, a tecnologia necessita utilizar-se de conhecimentos científicos, para resolver os problemas técnicos, suscitados pelo progresso social. Mas do outro lado, os mesmos conhecimentos científicos enriquecem-se e desenvolvem-se com os resultados de suas aplicações tecnológicas.”

Milton Vargas (1914-2011)

Engenheiro Civil, Filósofo, especialista em Mecânica de Solos



capa preliminar

Execução:



Apoio institucional :



INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS



OBRIGADO