A UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS NÃO INVASIVOS PARA A CARACTERIZAÇÃO DOS TERRENOS

Paula Teves-Costa[1,2], Rui Carrilho Gomes[3], Henrique Vicêncio[4,5], Fátima Gouveia[3], Luis Matias[1,2] e Paulo Sá Caetano[5]

(1) Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, (2) CERU – Centro Europeu de Riscos Urbanos, (3) CEris, Instituto Superior Técnico, (4) Autoridade Nacional de Protecção Civil, (5) Dept. Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

APMG2017
Lisboa, 20 – 22 Março

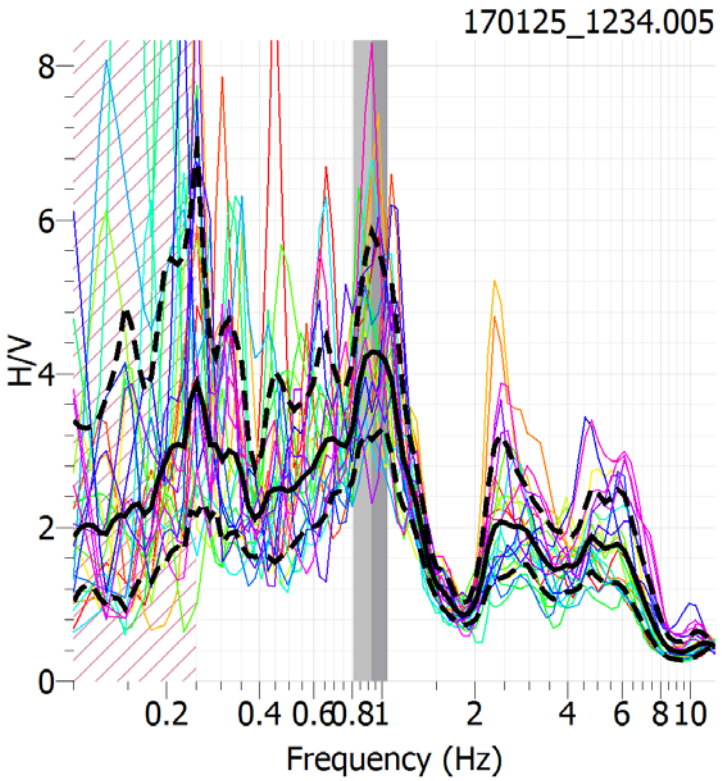
Introdução

- Os métodos não-invasivos são cada vez mais utilizados para caracterizar os solos e as camadas superficiais da crosta
- Estes métodos baseiam-se na análise de vibrações ambientais ou de vibrações produzidas por um pequeno impacto no solo
- H/V (método de Nakamura), MASW ("multichannel anaysis of surface waves"), ReMi ("refraction microtremor"), refracção e reflexão sísmicas
- Todos estes métodos (com excepção do H/V) podem realizar-se com o mesmo equipamento experimental.

Introdução

H/V ou HVSR

- A razão espectral H/V permite determinar a frequência própria do terreno
- Conhecendo a velocidade aproximada de propagação das ondas S, é possível estimar a profundidade do bedrock
- A solução é fácil quando as curvas apresentam um único pico nítido (indicativo de um forte contraste de impedâncias)
- Contudo nem todas as curvas H/V são de interpretação fácil pois, frequentemente, apresentam mais de um pico (ou apresentam picos fracos)
- H/V ≈ Elipticidade das onda de Rayleigh (informação complementar)



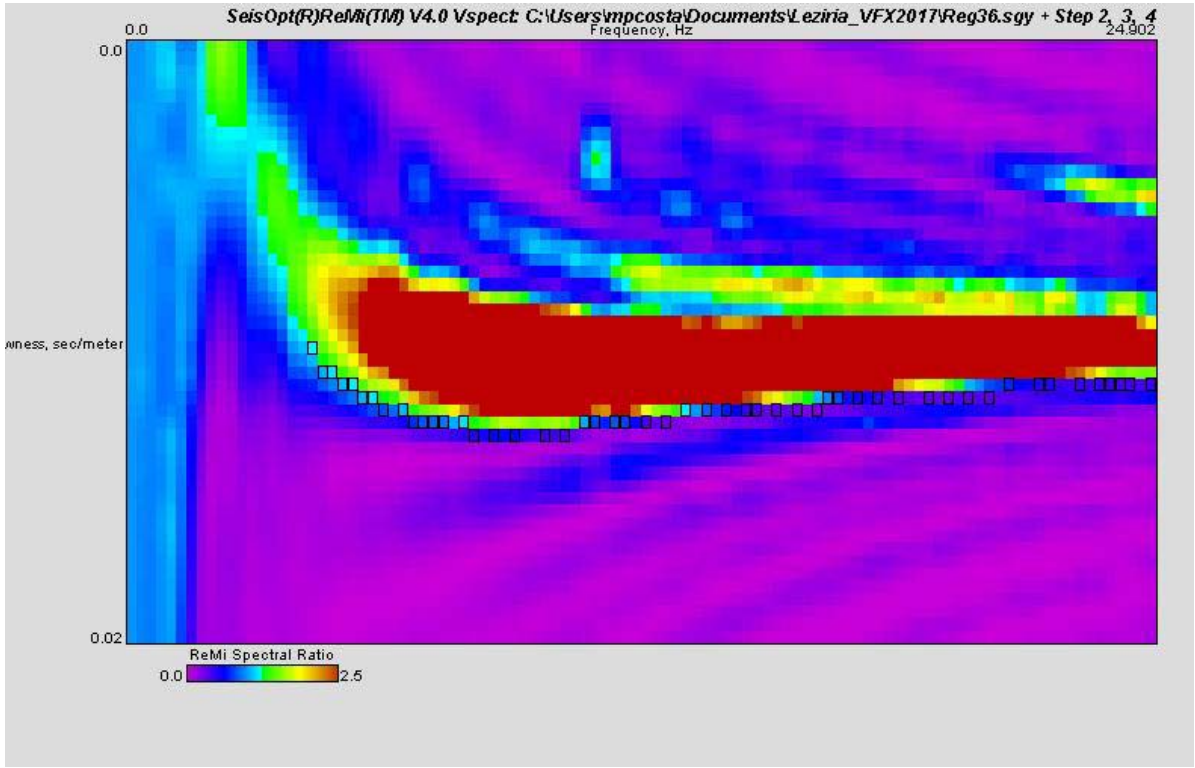
$$F_0 = \frac{Vs}{4H}$$

Introdução

Análise das ondas superficiais

- Natureza e composição do ruído ambiente
- Distribuição aleatória, ou direcional, das fontes de ruído
- Ondas de Rayleigh → Curva de dispersão

  - Análise no domínio f – k
  - Análise no domínio f - p
  - Correlações cruzadas, autocorrelações
  - Análise no domínio do tempo e da frequência



- Pickagem da curva de dispersão → Inversão (vários métodos) (solução não única) → Perfil Vs

Sítios de Estudo

- Vila Franca de Xira (Lezíria)

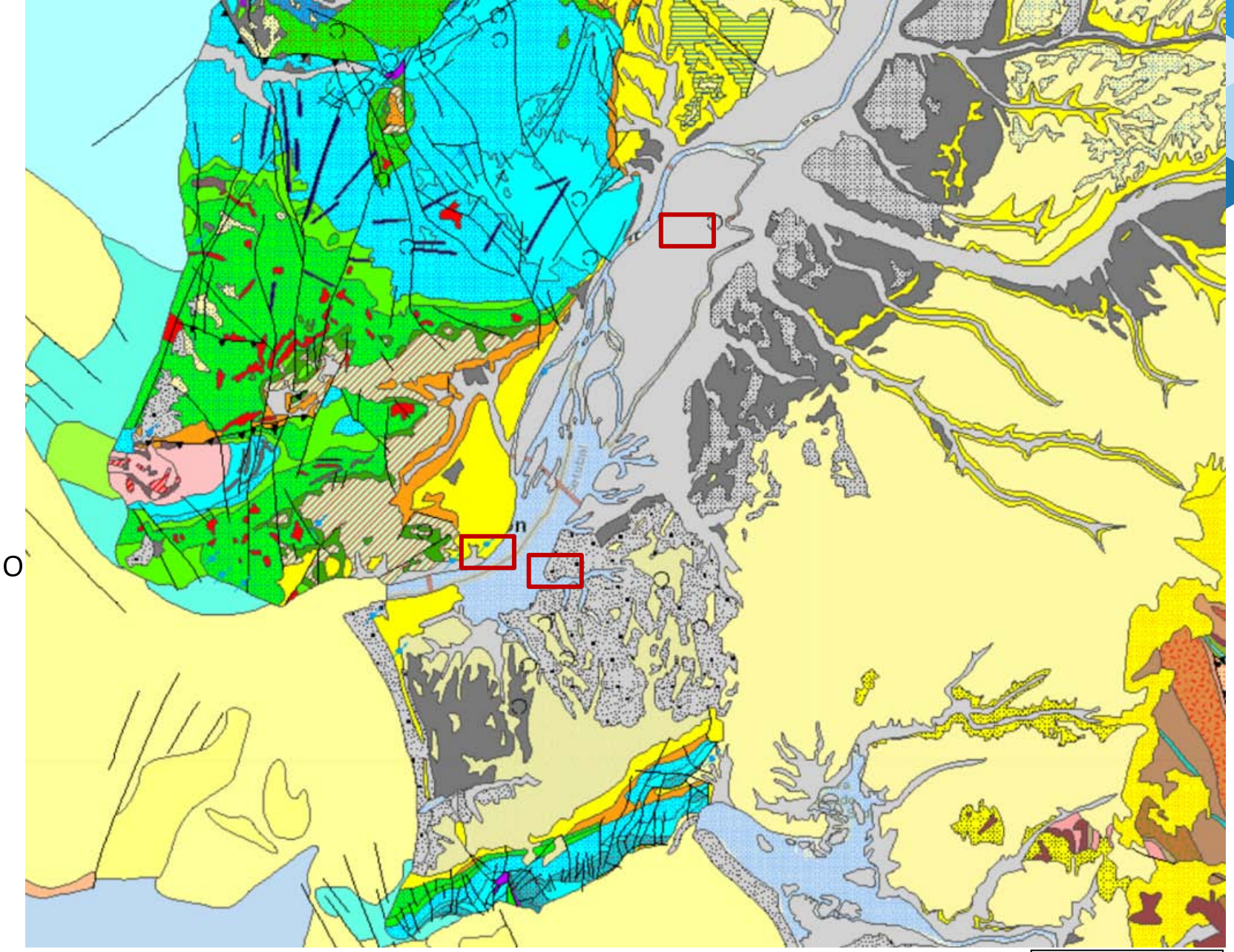
  - ~40 m aluviões sobre terraços do Quarternário

- Barreiro

  - ~3 m aluviões sobre areias do Pliocénico

- Lisboa (Terreiro do Paço)

  - ~25 m aluvião sobre argilas do Miocénico



Vila Franca de Xira - Lezíria

- Estudo do potencial de liquefacção
- Utilização/ avaliação de diferentes técnicas experimentais
- Sondagem até ~63m: ~45 m de aluviões

Vila Franca de Xira - Lezíria

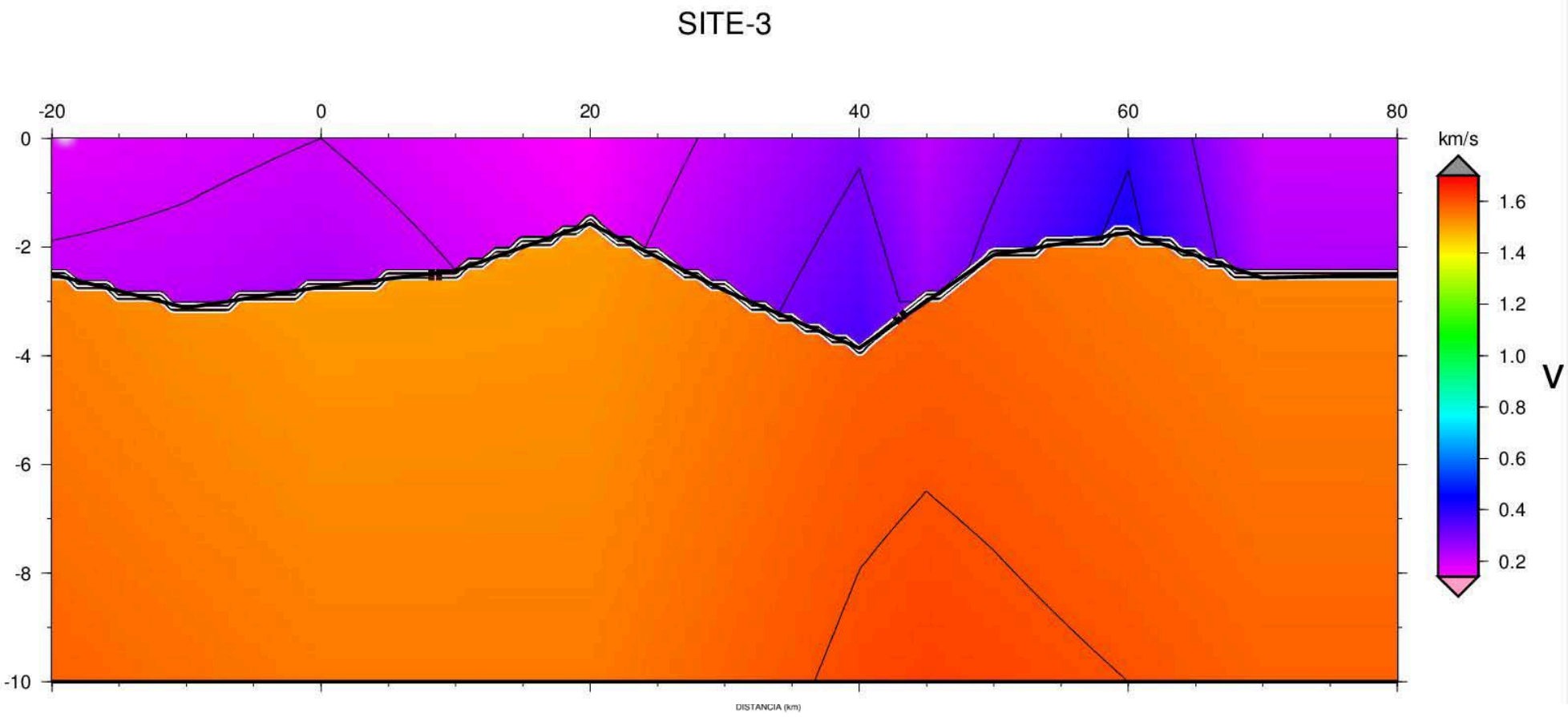
Aquisição:

- **Registos passivos efetuados com uma estação de 3 componentes**
  - Duração: 30m; Freq. amostragem: 200Hz

- **Registos ativos e passivos efetuados em várias estações**
  - Sismógrafo de 24 bits RAS-24 ligado a 24 geofones verticais de 4.5 Hz.
  - Espaçamento entre sensores: 2m
    - Registos activos:
      - Fonte : Impacto de um martelo com 8kg
      - Duração: 2s, Freq. amostragem: 1000Hz
    - Registos passivos:
      - Duração: 32s, Freq. amostragem: 500Hz

Vila Franca de Xira - Lezíria

Refracção P

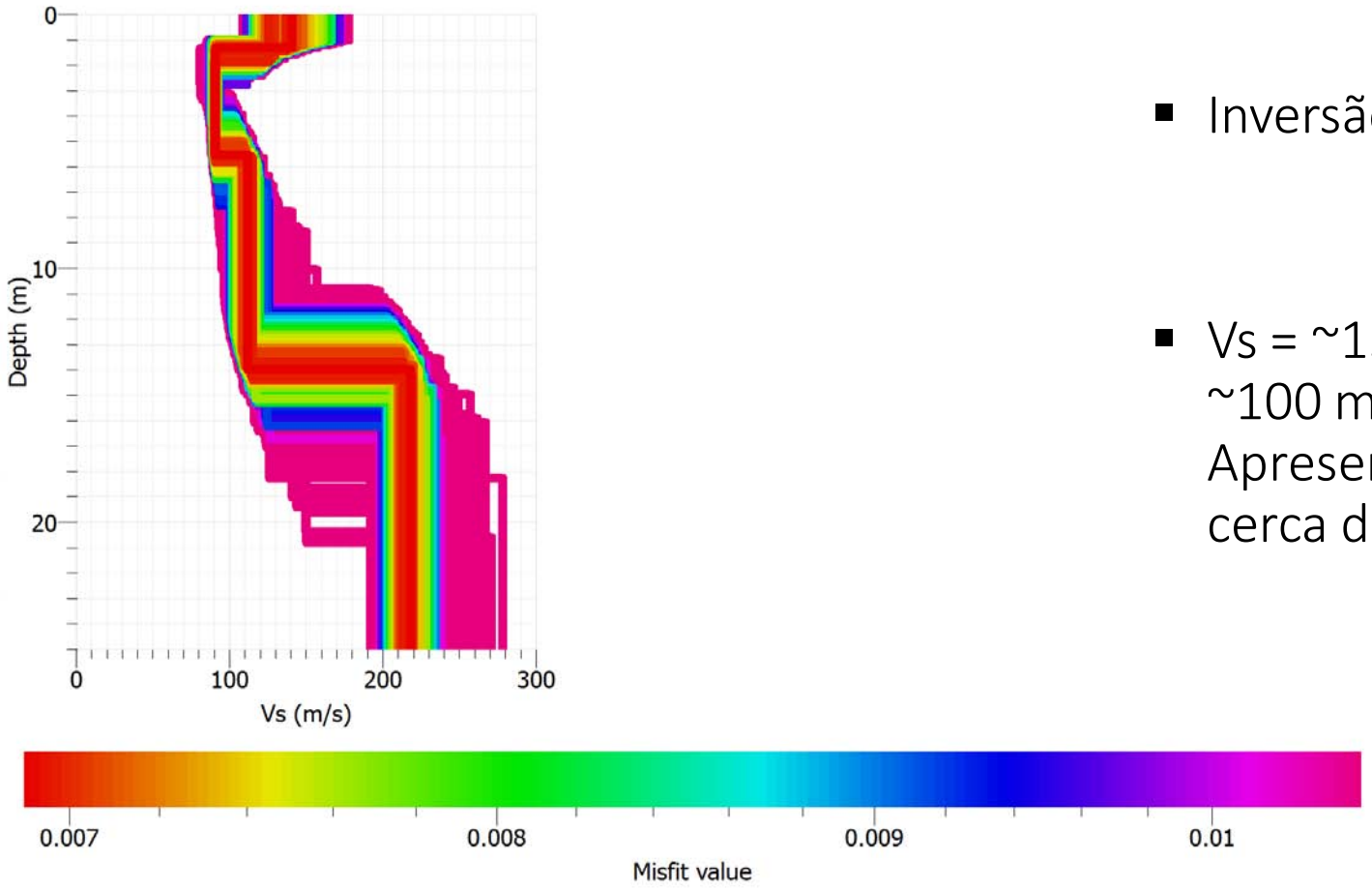


1 camada com ~2-3 m espessura (Vp ≈ 200 – 400 m/s)

Profundidade do nível freático (?)

Vila Franca de Xira - Lezíria

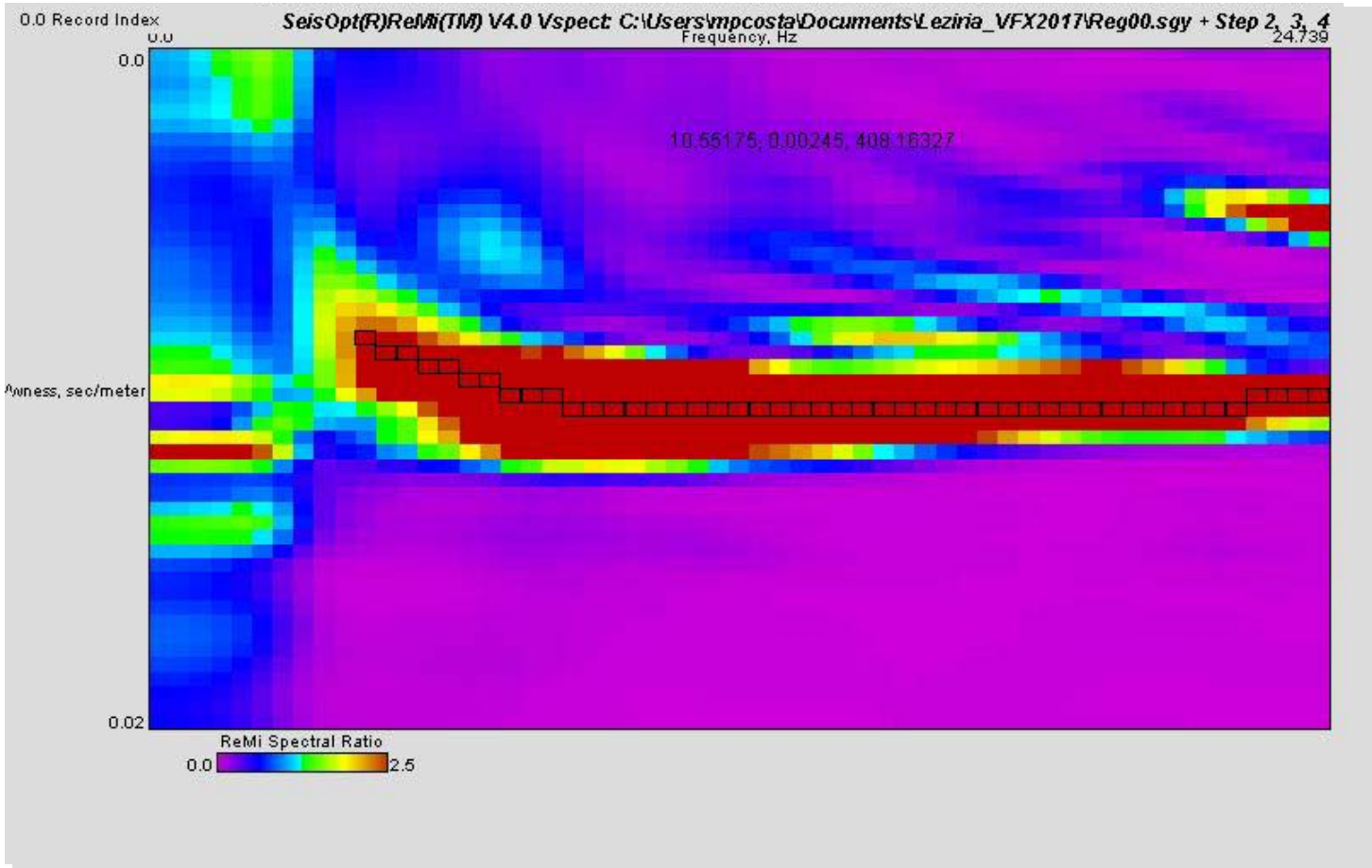
MASW



- Inversão da curva de dispersão
- Vs = ~150 m/s à superfície, descendo para ~100 m/s a 1-2 m de profundidade. Apresenta uma discontinuidade forte a cerca de 14 m profundidade

Vila Franca de Xira - Lezíria

ReMi

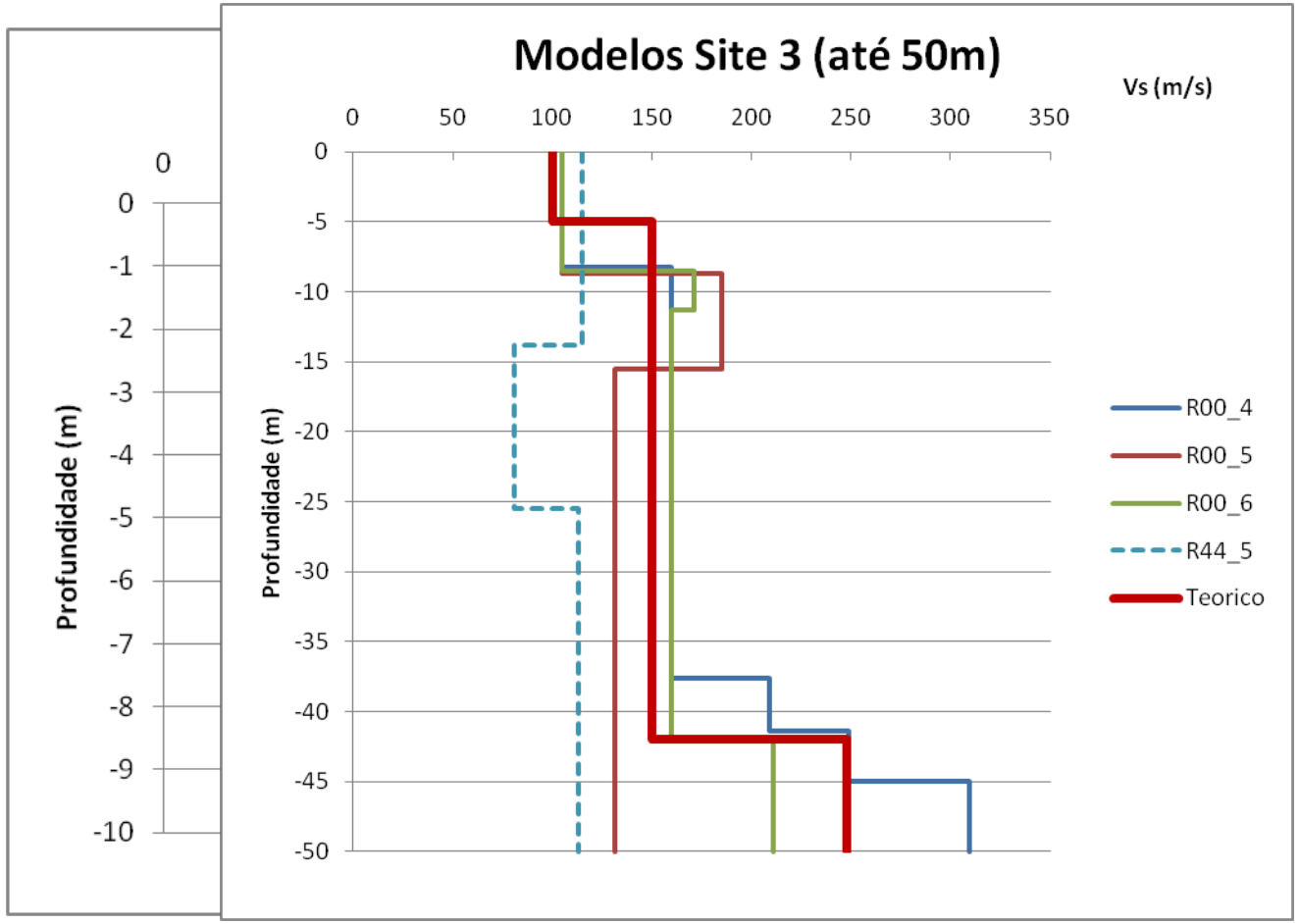


- Pickagem da curva de dispersão
- (registos passivos e registos activos)

→ Inversão

Vila Franca de Xira - Lezíria

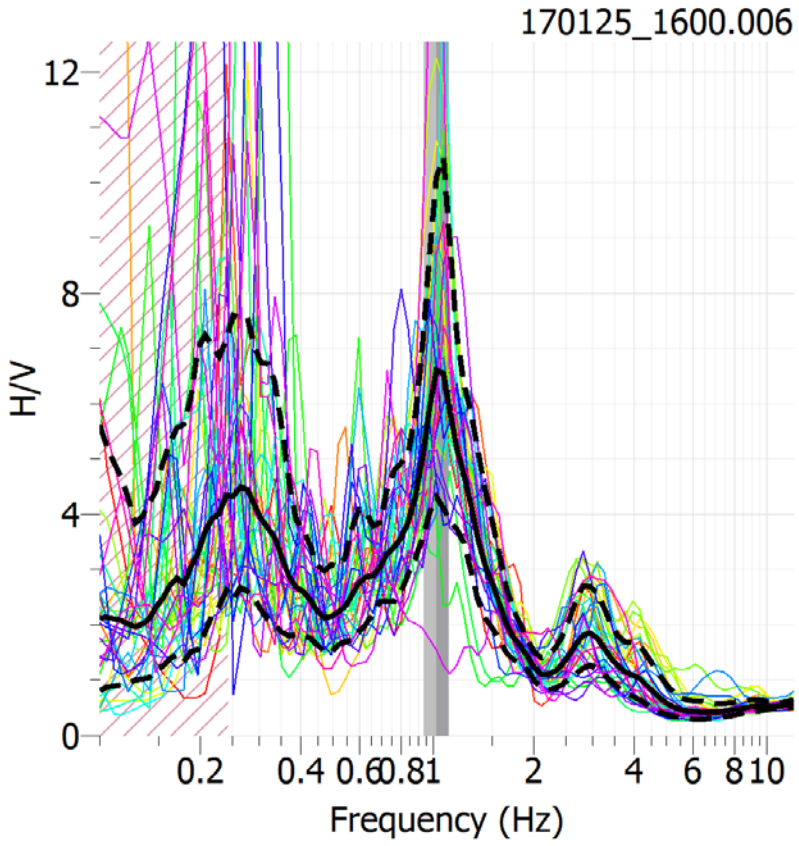
ReMi

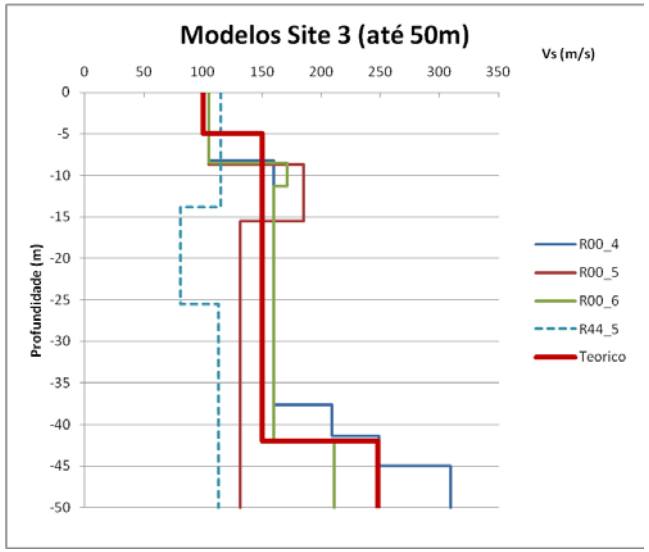


- (1) Profundidade livre (7 – 9m)
- Vs = ~75 - 150 m/s à superfície, descendo para ~100 m/s a ~2 m de profundidade. Retoma os 150 m/s a cerca de 8m de profundidade.
- (2) Forçando até 50 m
- V_{S30} = 137 m/s – 140 m/s

Vila Franca de Xira - Lezíria

H/V



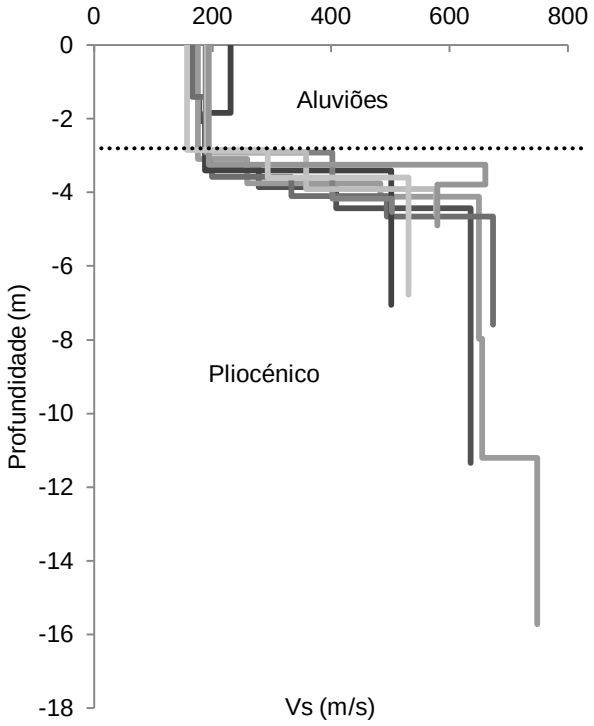


- F_0 = 1 Hz
  - ➢ Compatível com a discontinuidade a ~40 m
- F_1 = 0.3 Hz
  - ➢ Compatível com a base da bacia a ~200 m (?)

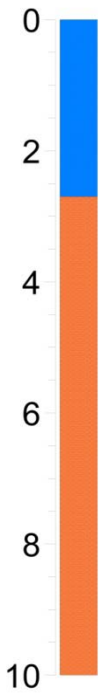
Barreiro

- Ensaios
  - H/V
  - ReMi
  - Comparação com informação de sondagem (a menos de 50m)

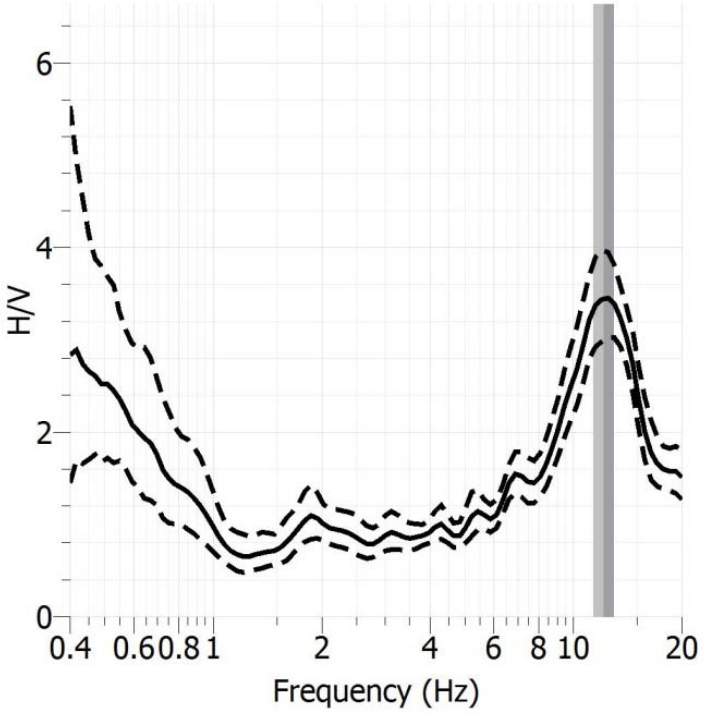
Barreiro



Resultados ReMi
(dx = 3 m)



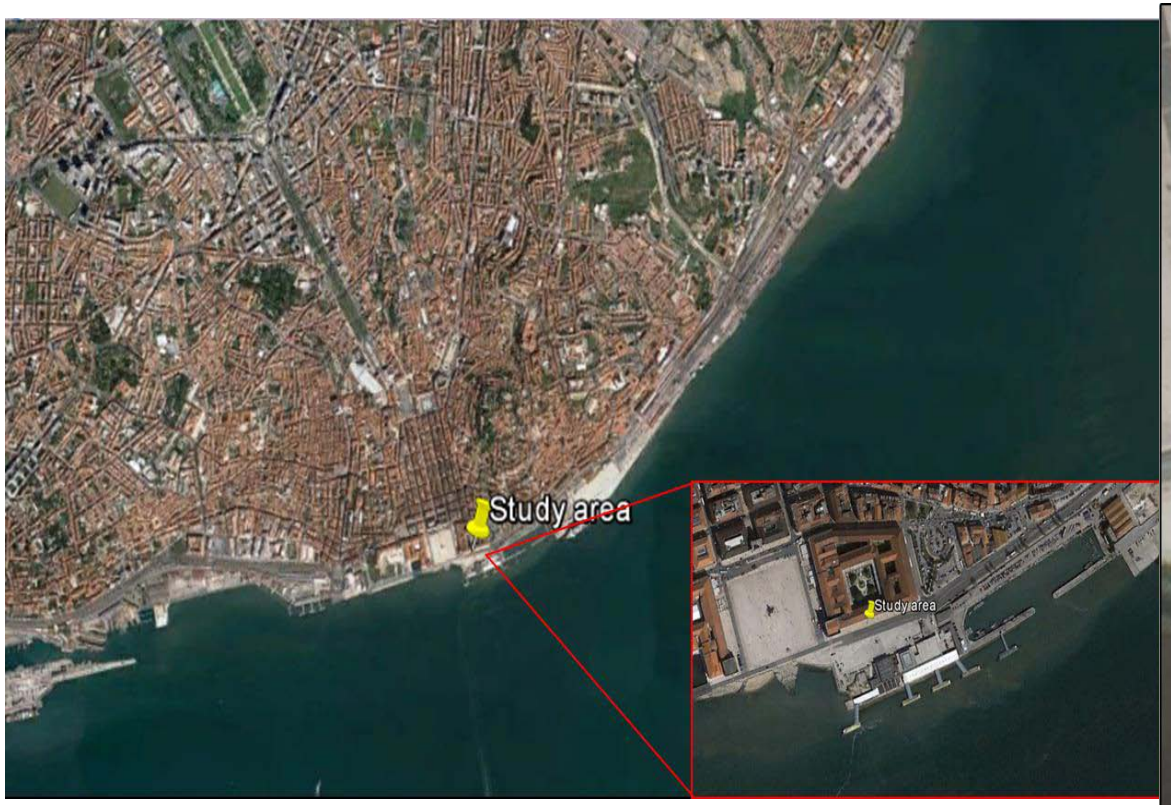
Sondagem geotécnica



Curva H/V

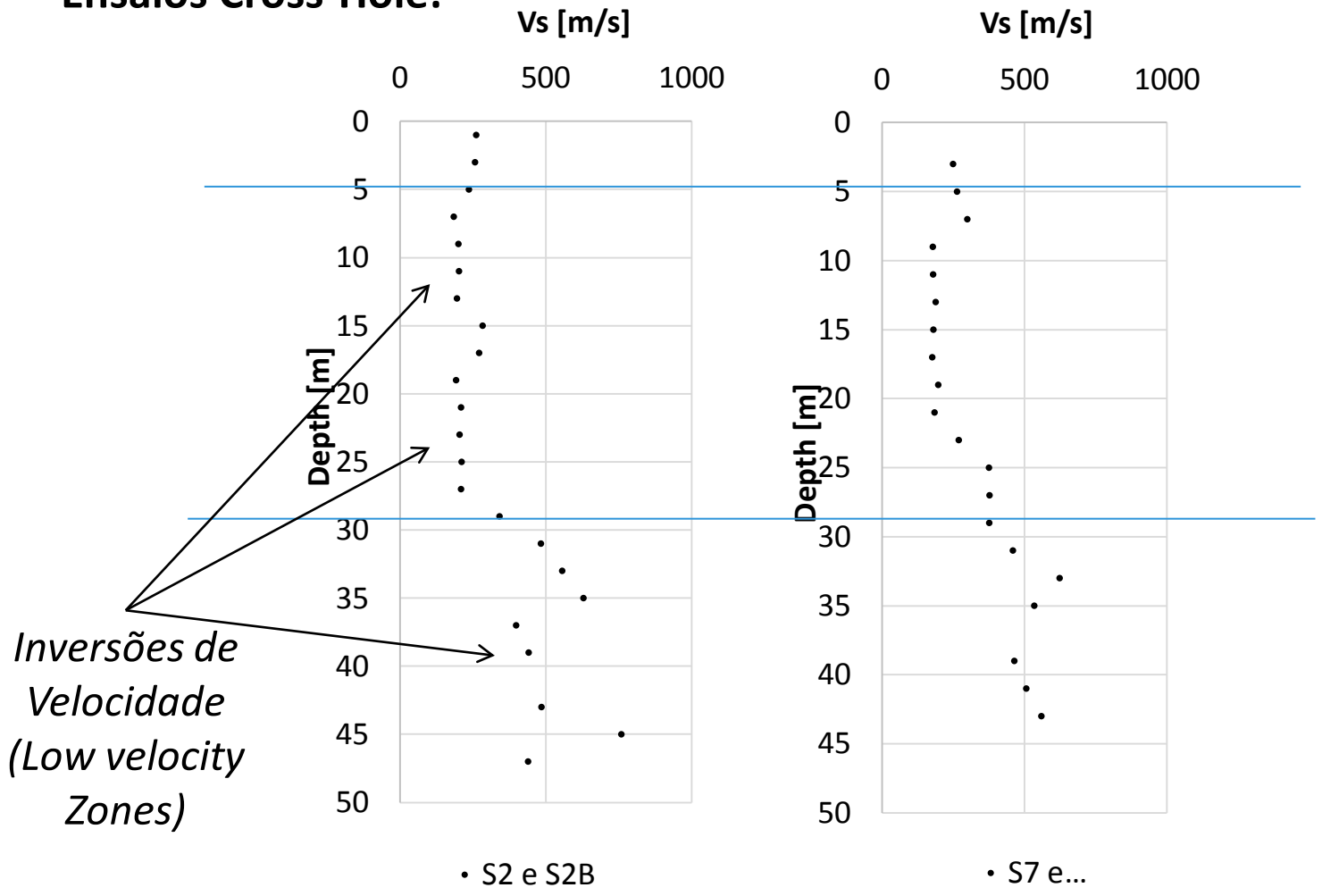
- Compatível com o contraste entre os aluviões e o Pliocénico (Vs ≈ 180 m/s; h = 3 m; F_0 = 15 Hz)

Lisboa - Terreiro do Paço



Lisboa - Terreiro do Paço

Ensaios Cross-Hole:



Aterro

Aluviões (lodos e arenosos)

Formação Miocénica: argilas rijas com materiais carbonatados ("Areias da Quinta do Bacalhau" – M2IVb e "Argilas do Forno de Tijolo" – M2Iva).

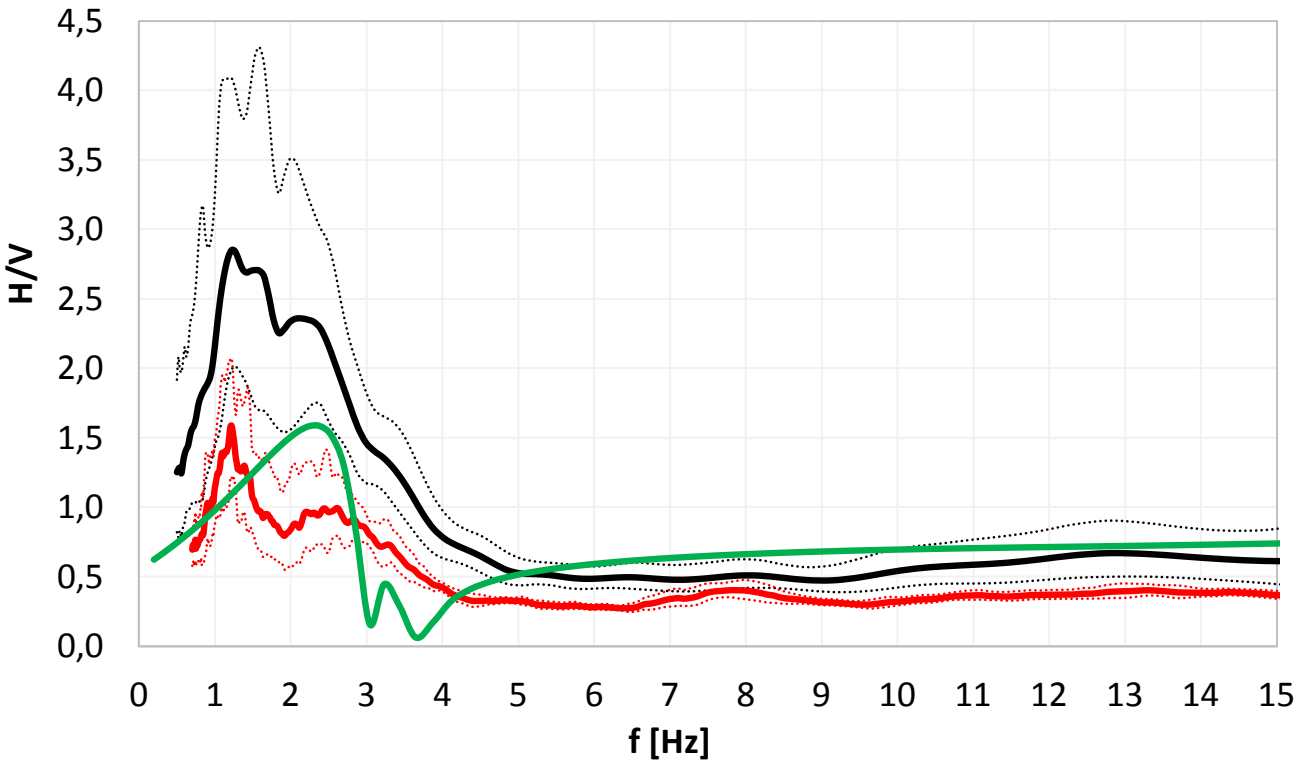
Lisboa - Terreiro do Paço

Aquisição:

- **Registos passivos efetuados numa única estação**
  - Duração: 35m; Freq. amostragem: 400Hz
- **Registos ativos e passivos efetuados em várias estações**
  - Sismógrafo de 24 bits RAS-24 (SEISTRONIX) ligado a 24 geofones verticais de 4.5 Hz (GEOSPACE).
  - Espaçamento entre sensores: 1.5m (Linha 1 – SWM1), 2m (Linha 2 – SWM2)
    - Registos activos: SWM1 e SWM2
      - Fonte: Impacto de um martelo com 10kg
      - Duração: 2s, Freq. amostragem: 1000Hz
    - Registos passivos: SWM1
      - Duração: 30s, Freq. amostragem: 500Hz

Lisboa - Terreiro do Paço

Registos passivos (única estação, sensor de velocidades com 3 componentes):



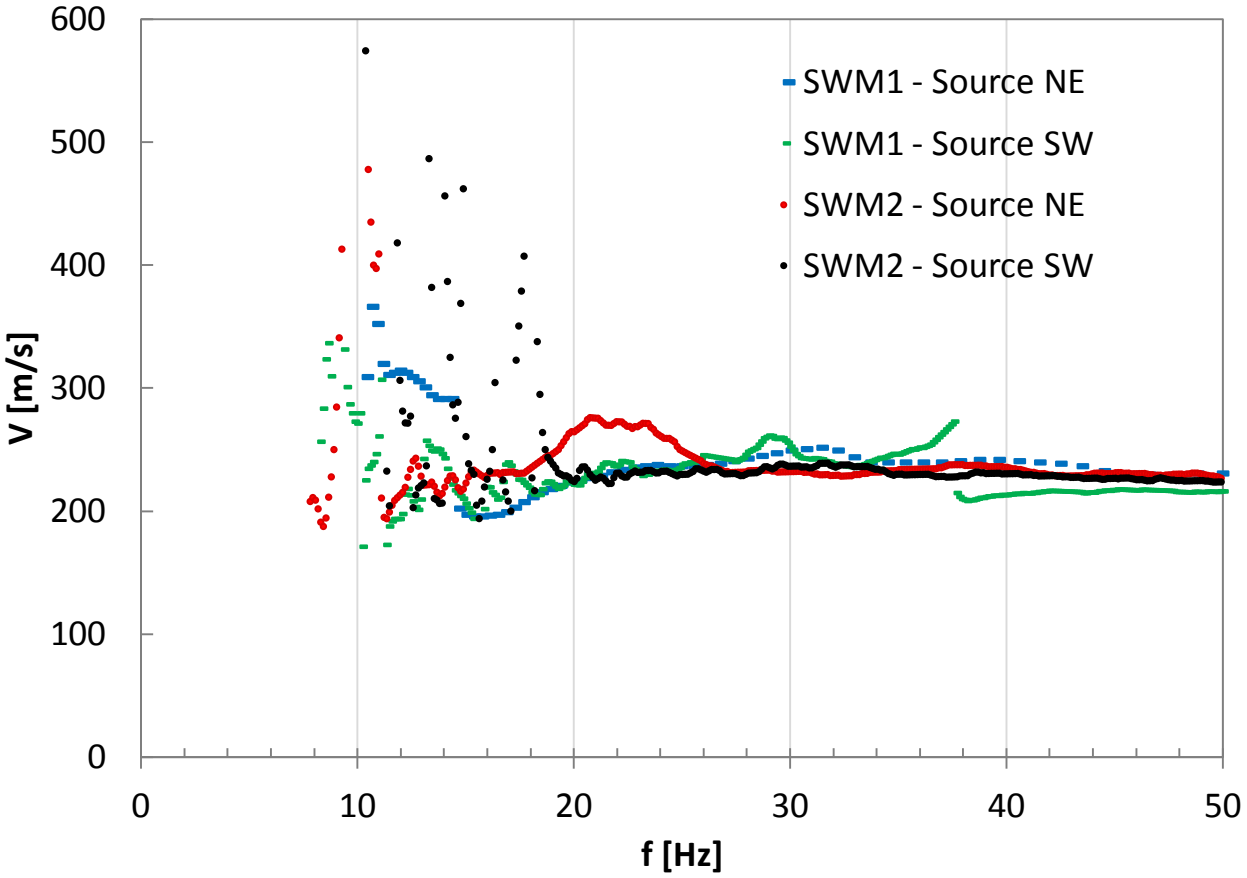
Curva preta: Curva *HVSR* → Apresenta 2 picos: 1,3 Hz e 2,3 Hz com amplitude entre 2 e 3

Curva vermelha: *Curva de Elipticidade experimental* → Picos alinhados com os picos da curva HVSR. Pico aos 1,3Hz coincidente com maior amplitude

Curva verde: *Curva de elipticidade teórica associada ao perfil de velocidade obtido no ensaio CH* → O pico ocorre cerca de 2,3 Hz, sendo compatível com o 2º pico da curva HVSR

Lisboa - Terreiro do Paço

MASW – aquisição linear (activa) – 24 geofones espaçados de 1.5m (SWM1) e 2m (SWM2)



Linha SWM1 – 1.5 m espaçamento

Linha SWM2 – 2m espaçamento

Fonte em cada um dos extremos da linha (NE e SW)

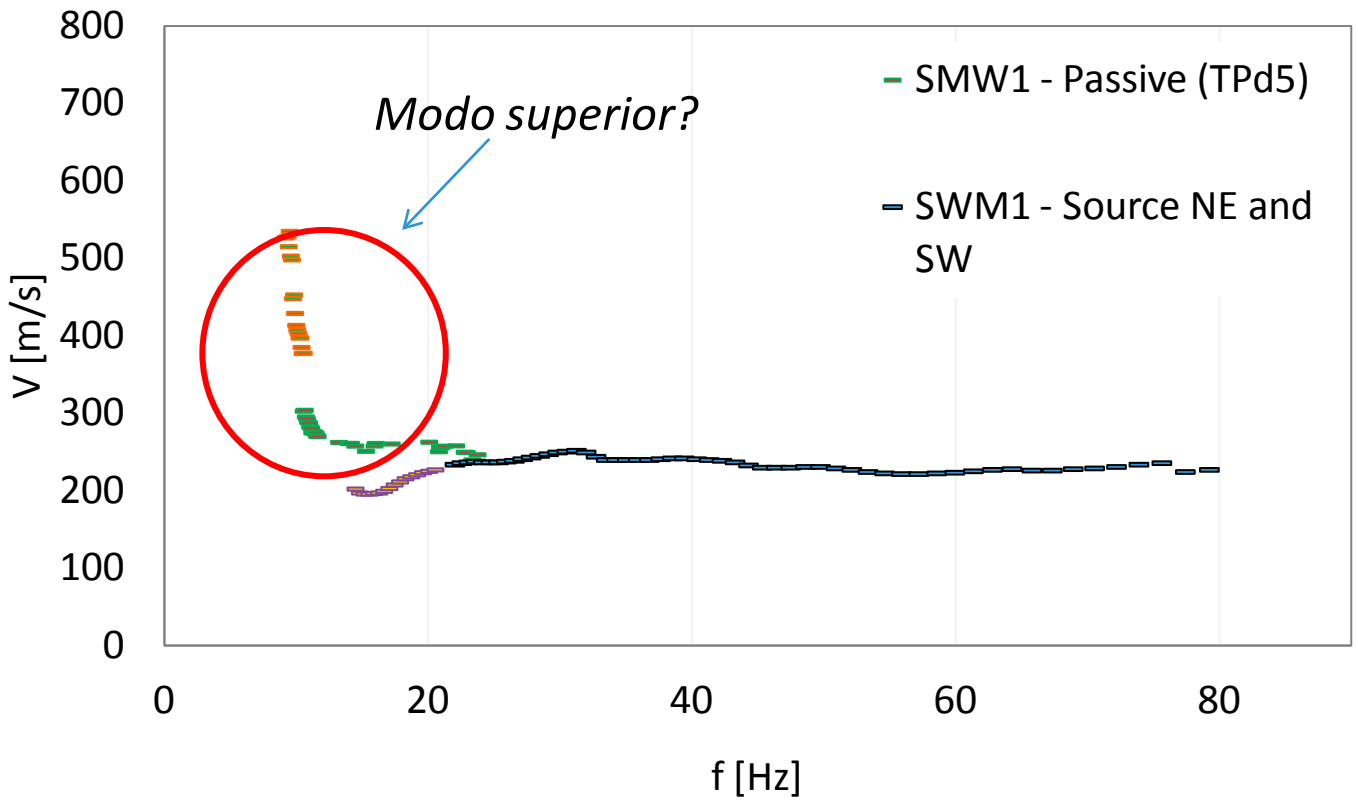
→ A estratificação é horizontal ao longo da linha de aquisição?

Curva de dispersão com fonte em ambos os lados da linha:

- f > 20 Hz – curvas de dispersão quase coincidentes
- f < 20 Hz – grande dispersão de resultados

Lisboa - Terreiro do Paço

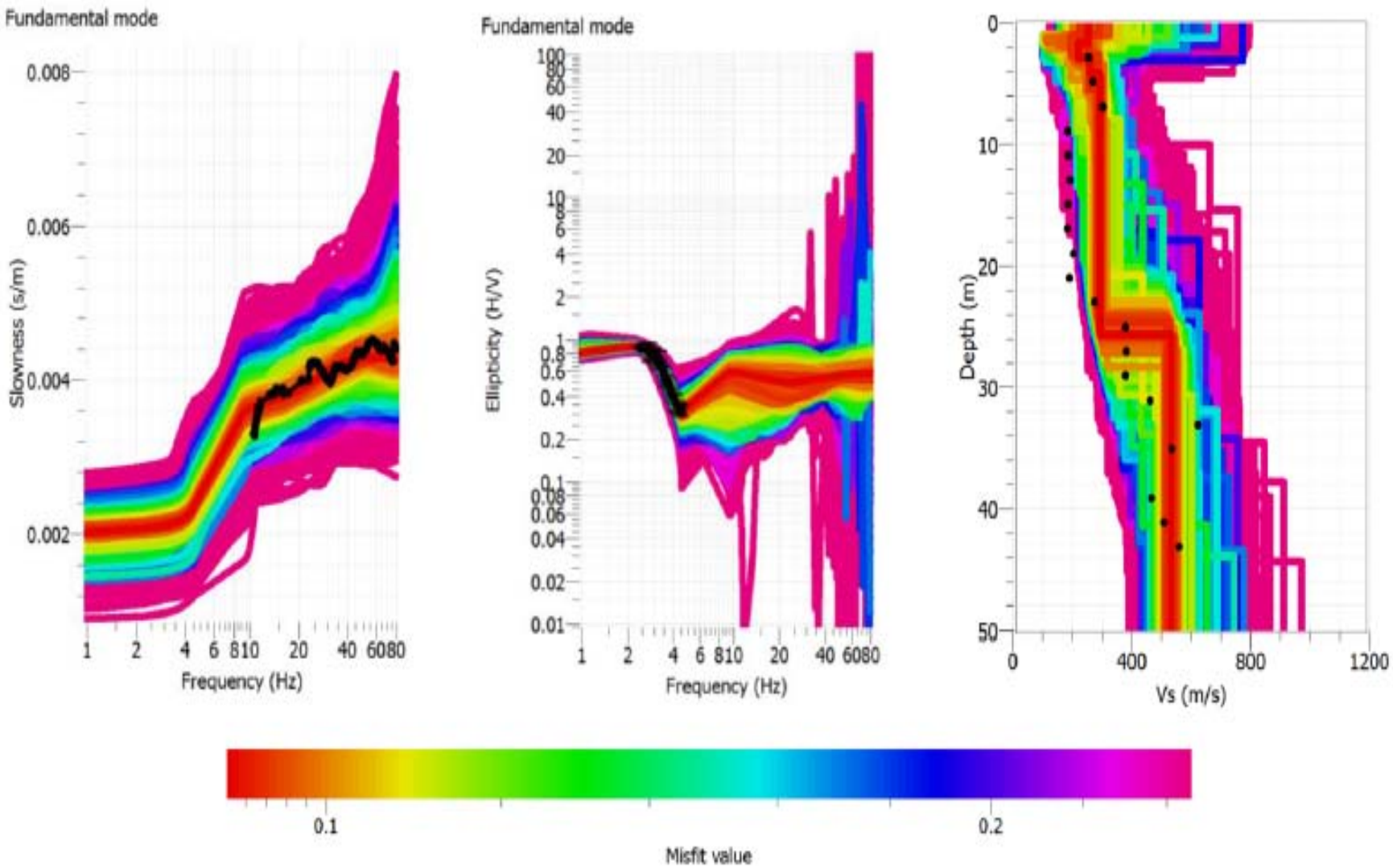
Curvas dispersão selecionadas na inversão conjunta:



Foram feitos vários testes considerando diferentes combinações (ex.: curvas a preto, verde e laranja, ou curvas a preto, azul e laranja) de forma a identificar qual corresponderia ao modo fundamental

Lisboa - Terreiro do Paço

Inversão conjunta MASW (activo) + curva de elipticidade (passivo)



- O recurso à curva de elipticidade foi fundamental para complementar a informação da curva de dispersão nas frequências inferiores a 20 Hz.
- A inversão dos troços da curva representados a verde e laranja conduziu a maus resultados → podem estar associados a um modo superior. Inverteu-se unicamente o segmento da curva representado a preto, como modo fundamental.

INSTITUTO DOM LUIZ

Conclusões

- As curvas H/V fornecem informação sobre a frequência natural do terreno, assim como sobre a espessura das formações superficiais.
  - Podem ser utilizadas para constranger os modelos
- A utilização de métodos activos clássicos (refração sísmica) é de grande utilidade para estimar o modelo inicial
- Os métodos baseados na análise das ondas superficiais parecem fornecer um maior detalhe, em particular na zona mais superficial do solo
  - Contudo, pequenas heterogeneidades podem influenciar grandemente o perfil de velocidades e "mascarar" o perfil global da zona
- A utilização de vários métodos experimentais em simultâneo (assim como de diferentes processamentos) permite "escolher" as melhores curvas a inverter e realizar uma inversão conjunta
- Tendo em conta a não unicidade da solução, a existência de informação complementar (geológica e/ou geotécnica) é fundamental.