

# Introdução aos Métodos Sísmicos

*Aula de 16/09*

1) Revisão da aula de 09/09:

- Interpretação do modelo geológico no **Método de Refração Sísmica**, considerando camadas planas (cálculo das velocidades e espessuras)
- Leitura dos tempos de chegada das ondas: identificação e rastreamento (picking) das primeiras quebras
- Interpretação das retas

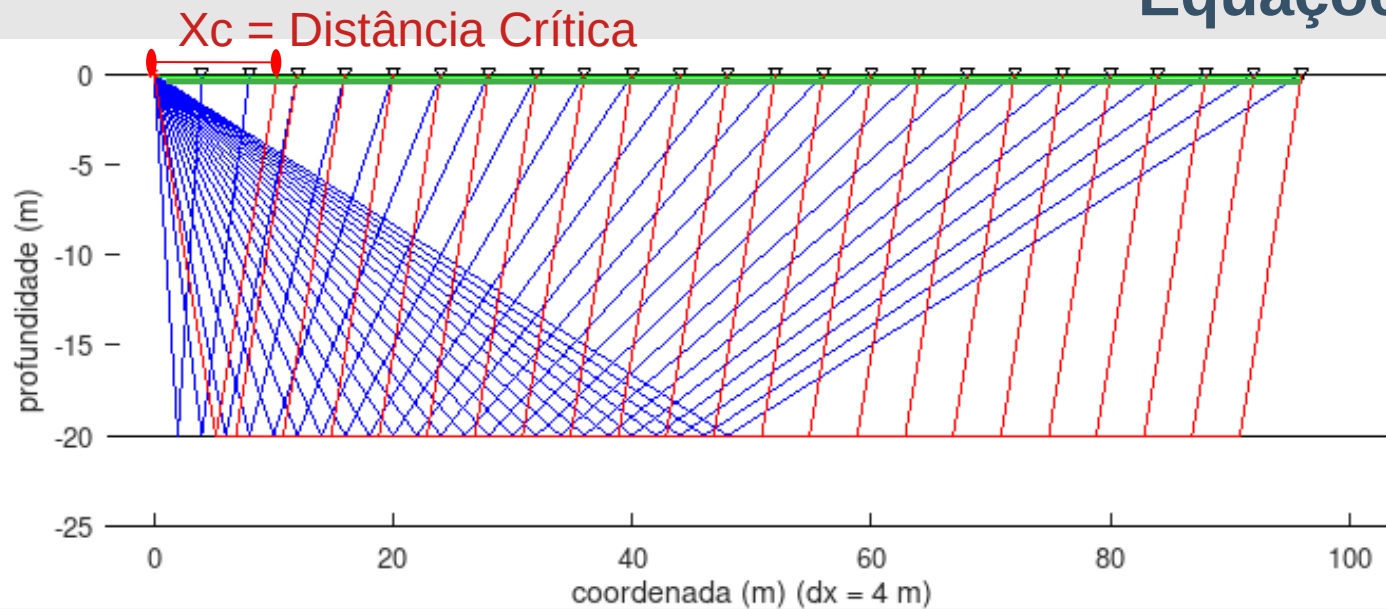
2) Revisão do final da aula de 02/09:

- Refração em camadas com mergulho (interface inclinada)

3) Camadas irregulares e Estruturas geológicas complexas:

como resolver ???

# Equações tempo-distância (t(x))



Onda Direta

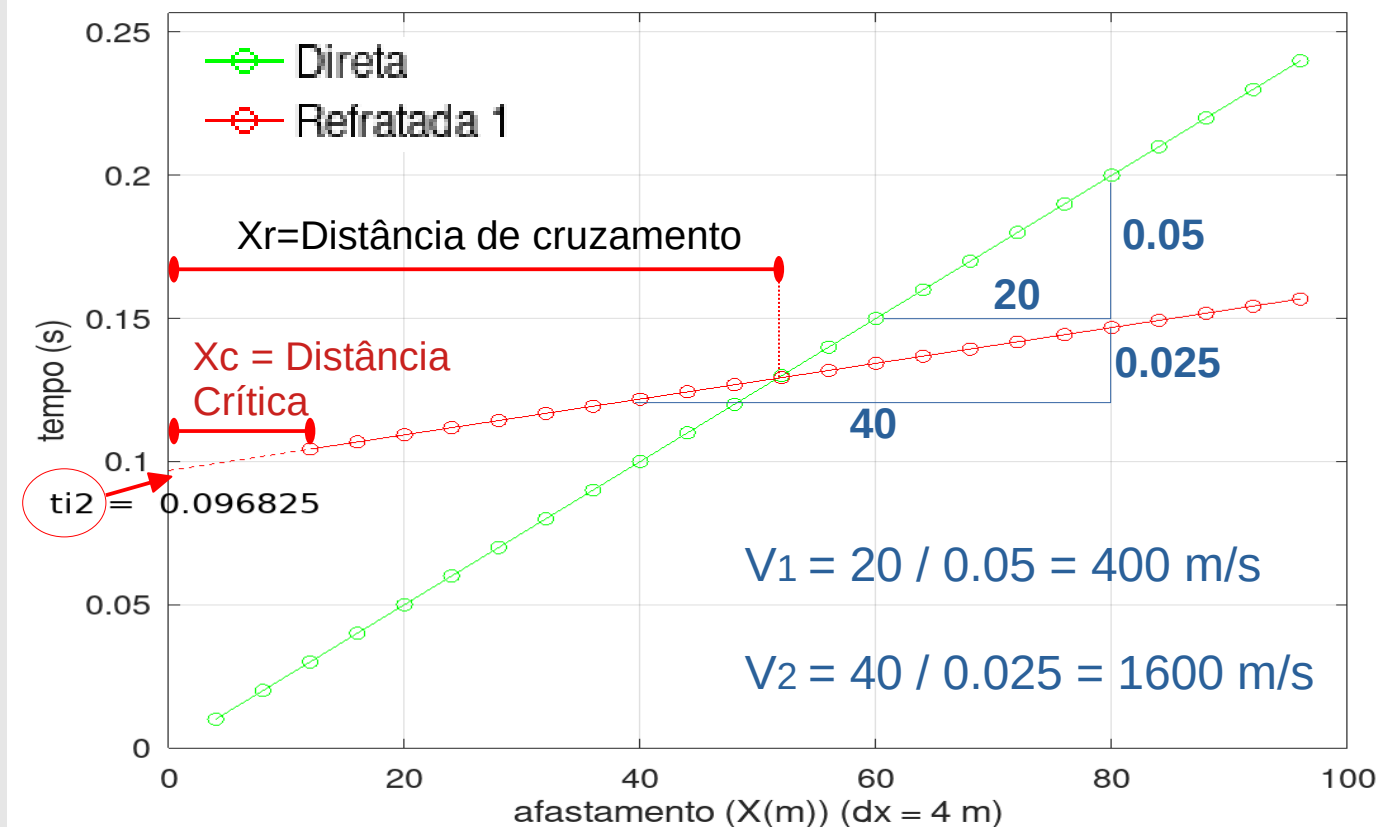
$$t_1(x) = \frac{X}{V_1}$$

Onda Refratada  
(refração crítica)

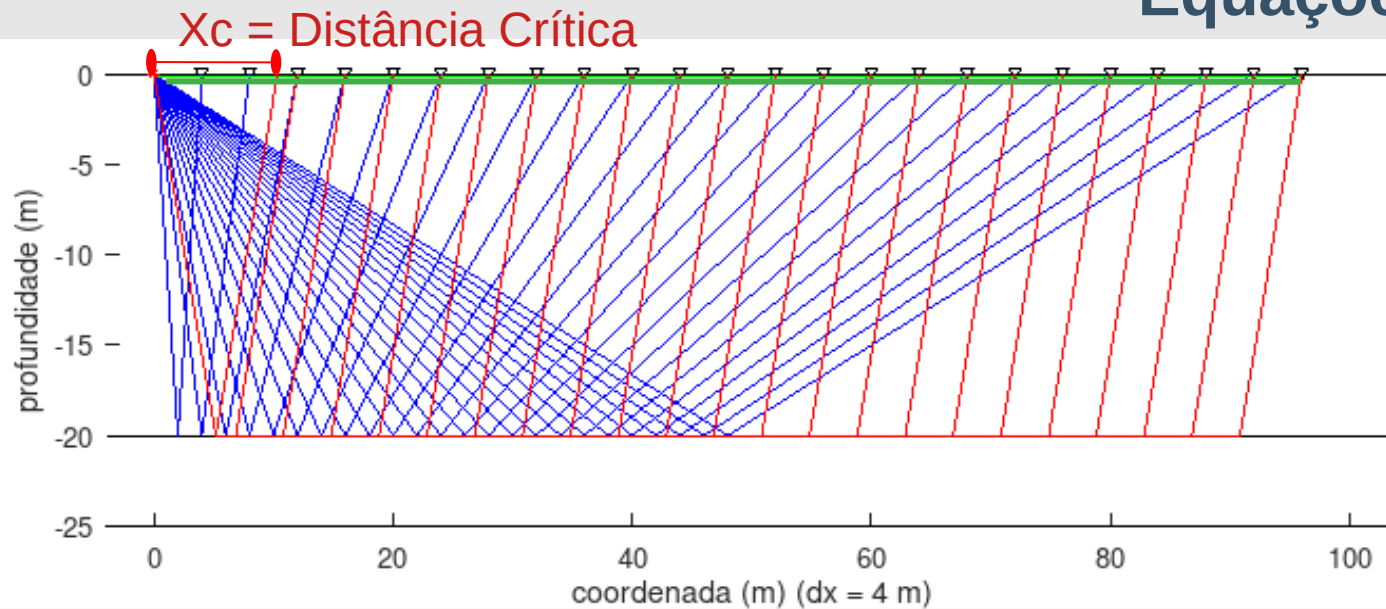
na primeira interface

$$t_2(x) = \frac{X}{V_2} + \frac{2h_1 \cos(i_{12})}{V_1}$$

$$i_c = i_{12} = \arcsen\left(\frac{V_1}{V_2}\right)$$



# Equações tempo-distância (t(x))



Onda Direta

$$t_1(x) = \frac{X}{V_1}$$

Onda Refratada  
(refração crítica)

na primeira interface

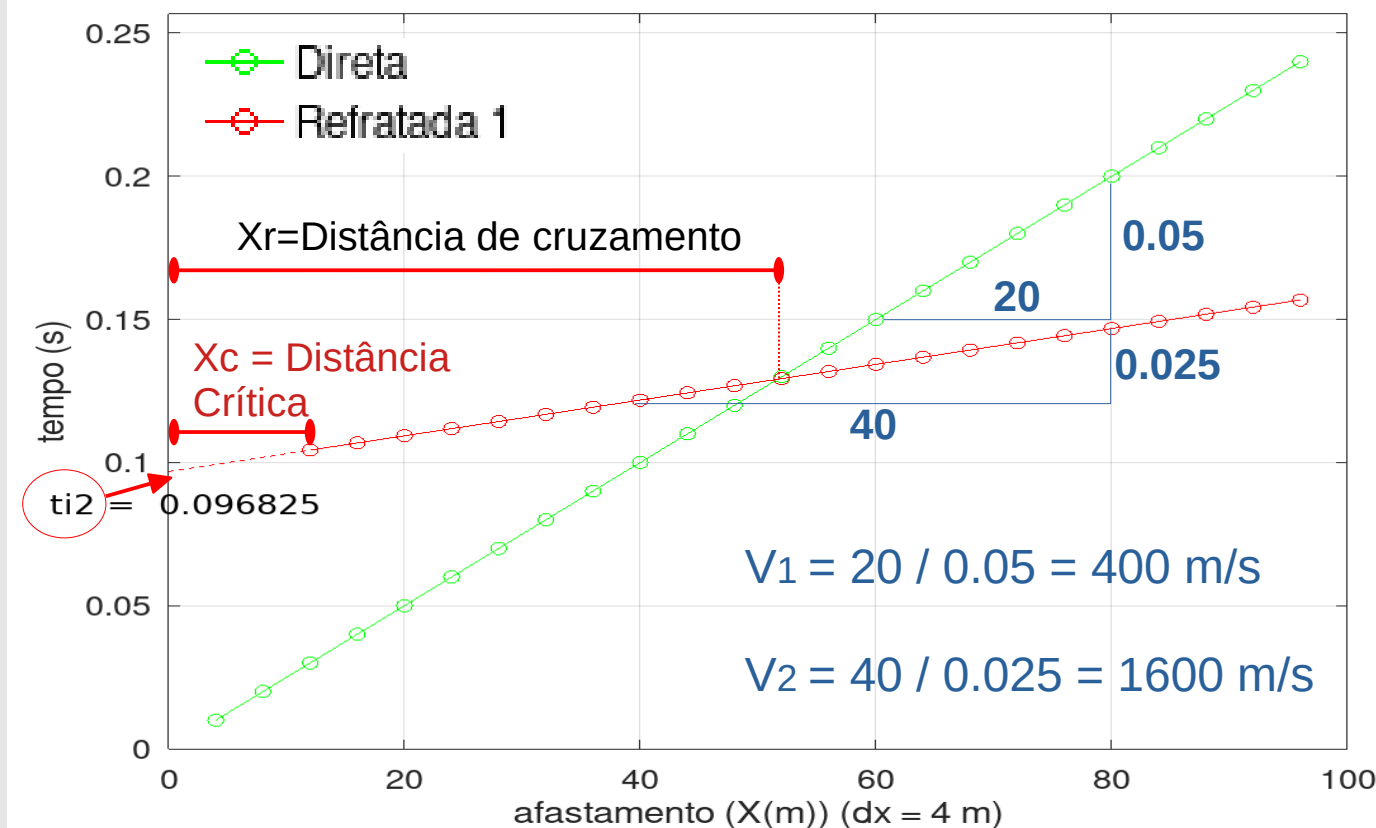
$$t_2(x) = \frac{X}{V_2} + \frac{2h_1 \cos(i_{12})}{V_1}$$

$$i_c = i_{12} = \arcsen\left(\frac{V_1}{V_2}\right)$$

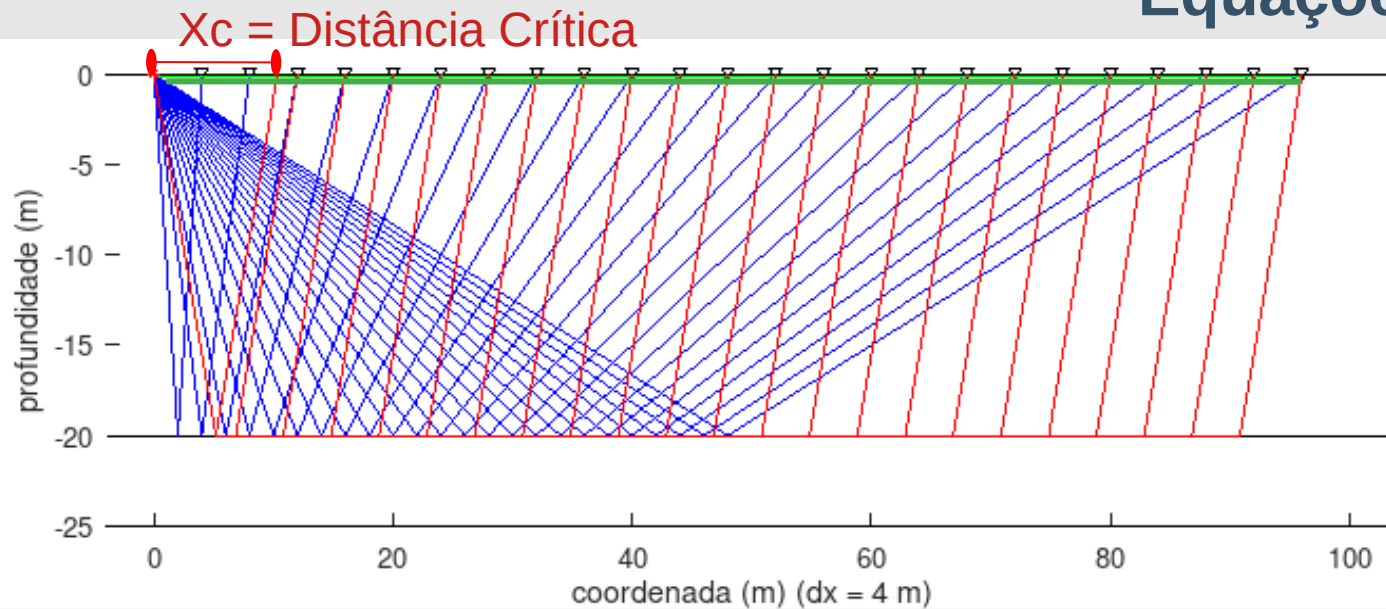
Tempo de interseção ( $t_i$ )  
(intercept time)

$$t_{i_2} = t_2(x=0) = \frac{2h_1 \cos(i_{12})}{V_1}$$

$$h_1 = \frac{V_1 t_{i_2}}{2 \cos(i_{12})}$$



# Equações tempo-distância (t(x))



Onda Direta

$$t_1(x) = \frac{X}{V_1}$$

Onda Refratada  
(refração crítica)

na primeira interface

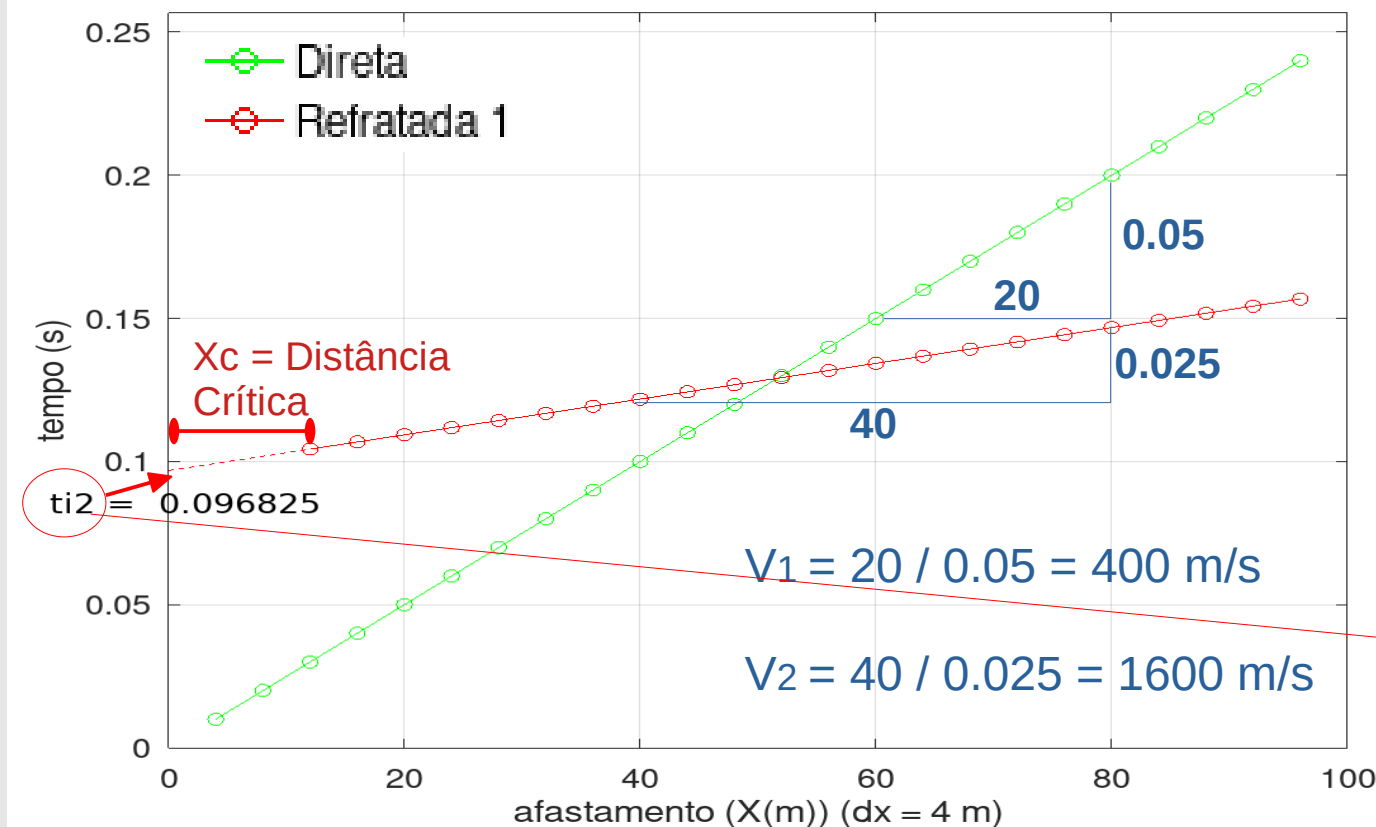
$$t_2(x) = \frac{X}{V_2} + \frac{2h_1 \cos(i_{12})}{V_1}$$

$$i_c = i_{12} = \arcsen\left(\frac{V_1}{V_2}\right)$$

Tempo de interseção (ti)  
(intercept time)

$$t_{i_2} = t_2(x=0) = \frac{2h_1 \cos(i_{12})}{V_1}$$

$$h_1 = \frac{V_1 t_{i_2}}{2 \cos(i_{12})}$$



# Equações tempo-distância (t(x)) modelo de 2 camadas

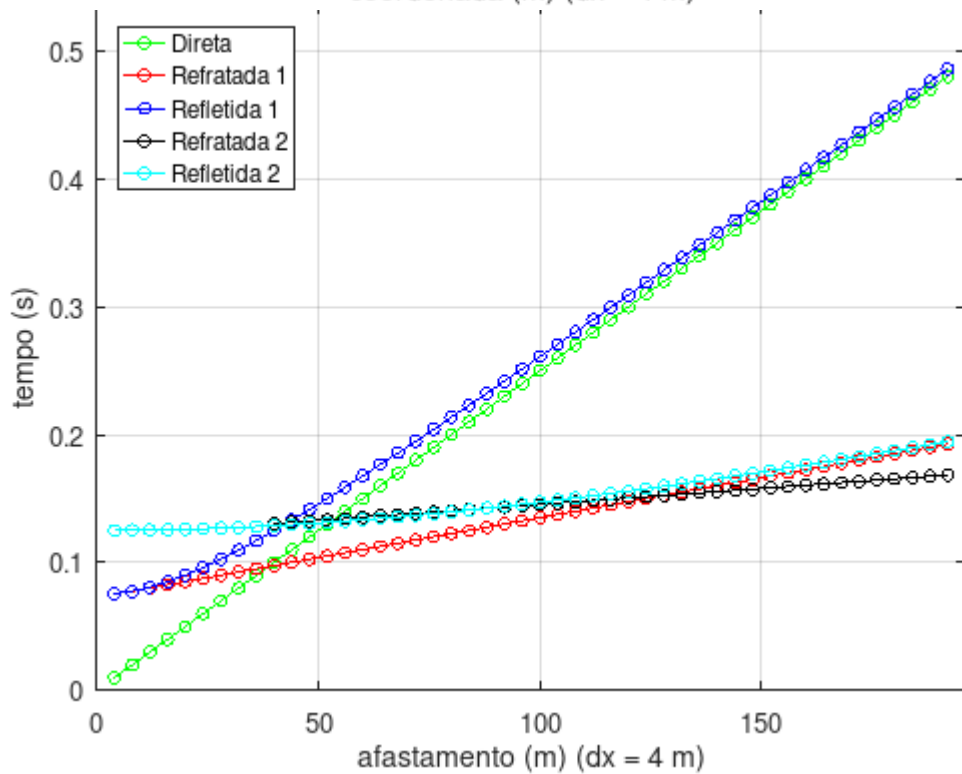
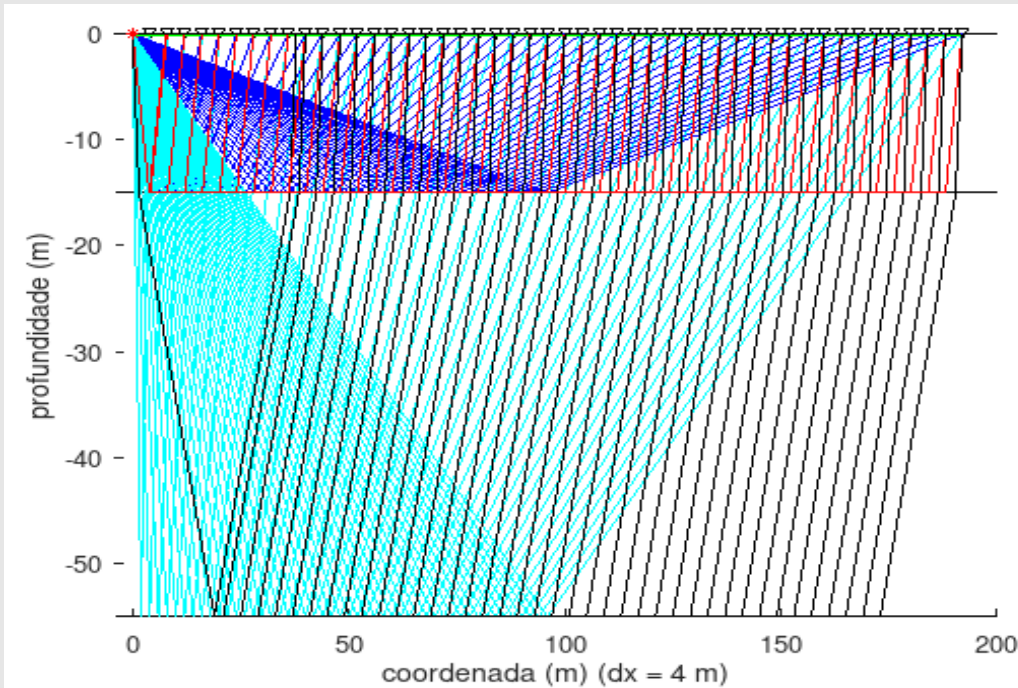
Equação da Onda Refratada  
na segunda interface

$$t_3 = \frac{X}{V_3} + \frac{2h_1 \cos(i_{13})}{V_1} + \frac{2h_2 \cos(i_{23})}{V_2}$$

$$i_{ab} = \arcsen\left(\frac{V_a}{V_b}\right)$$

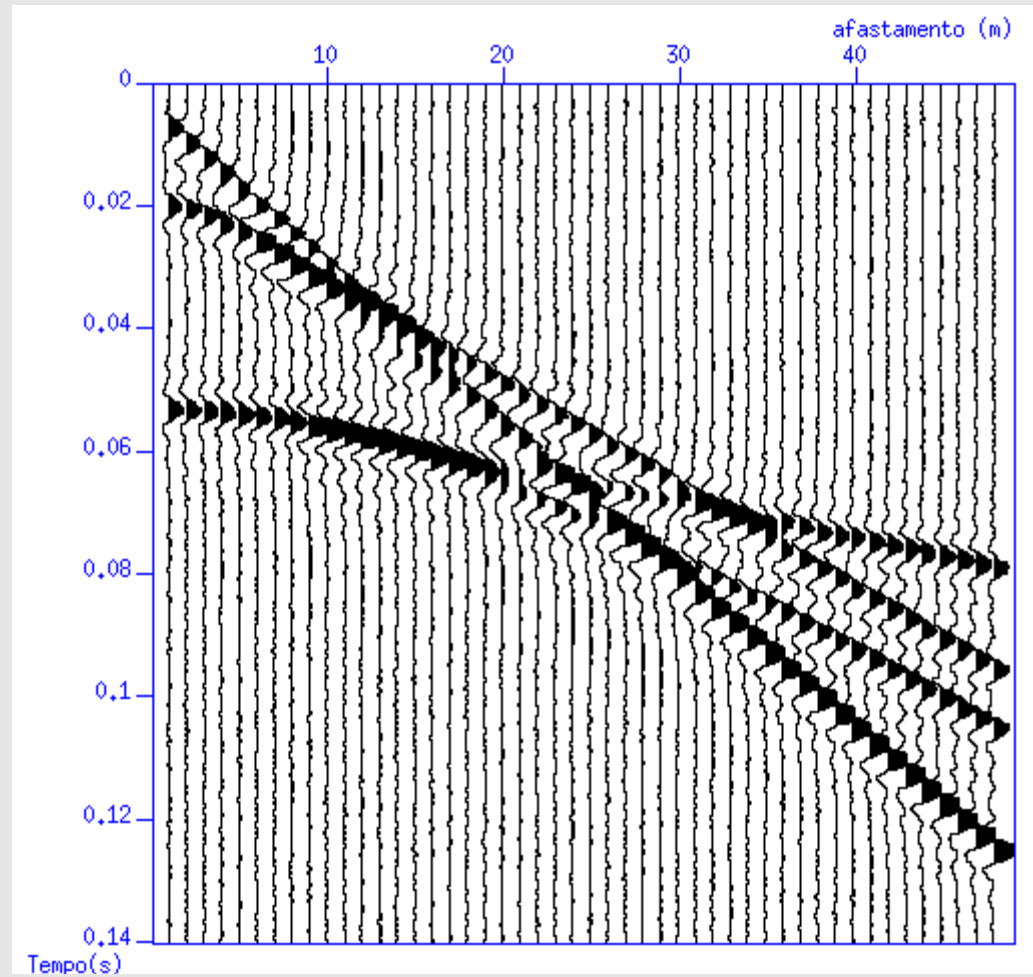
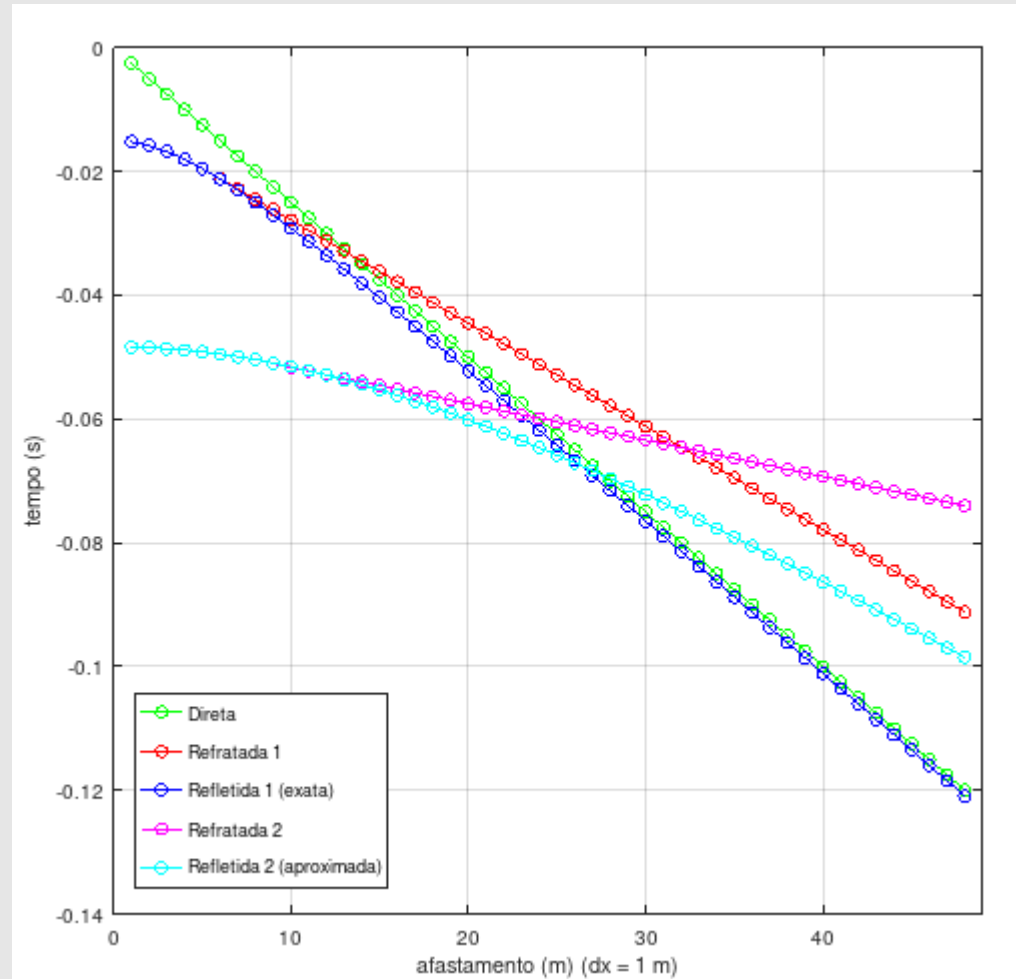
$$t_{i_3} = t_3(x=0) = \frac{2h_1 \cos(i_{13})}{V_1} + \frac{2h_2 \cos(i_{23})}{V_2}$$

$$h_2 = \frac{\left(t_{i_3} - \frac{2h_1 \cos(i_{13})}{V_1}\right) V_2}{2 \cos(i_{23})}$$



# Sismograma simulado

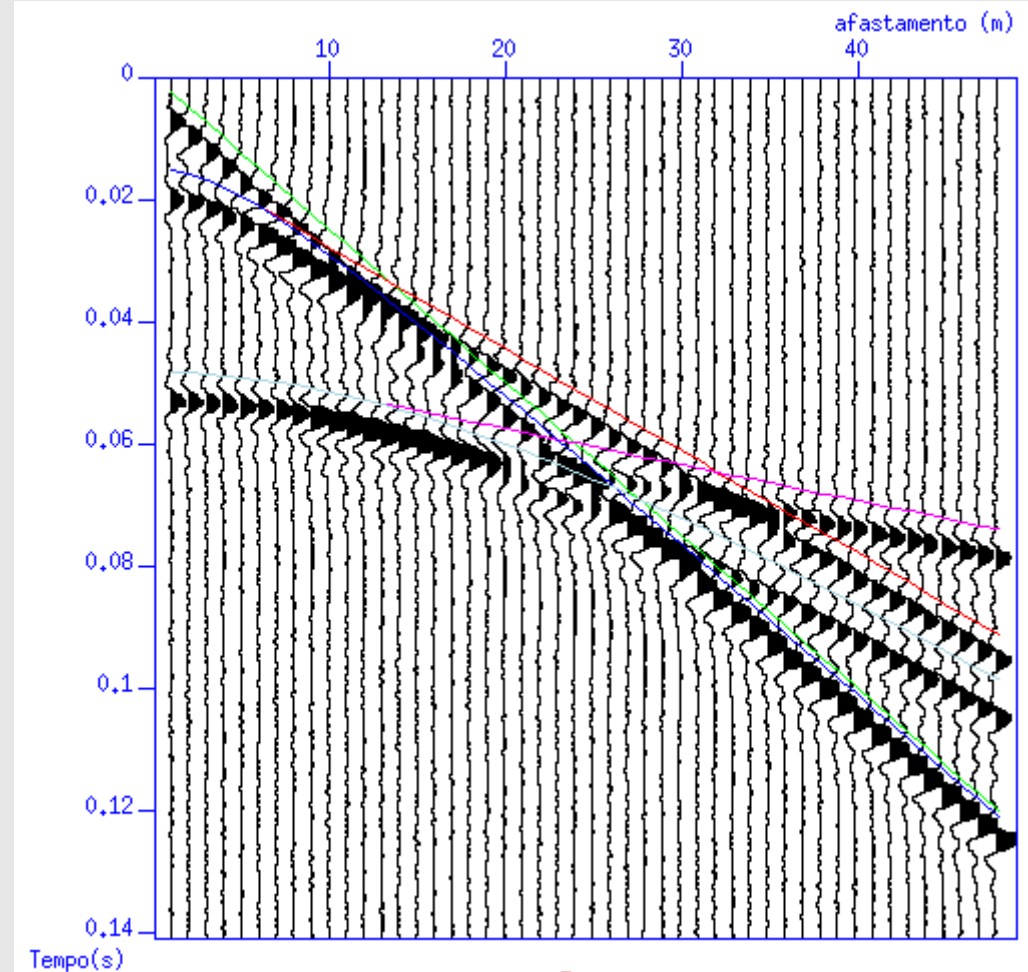
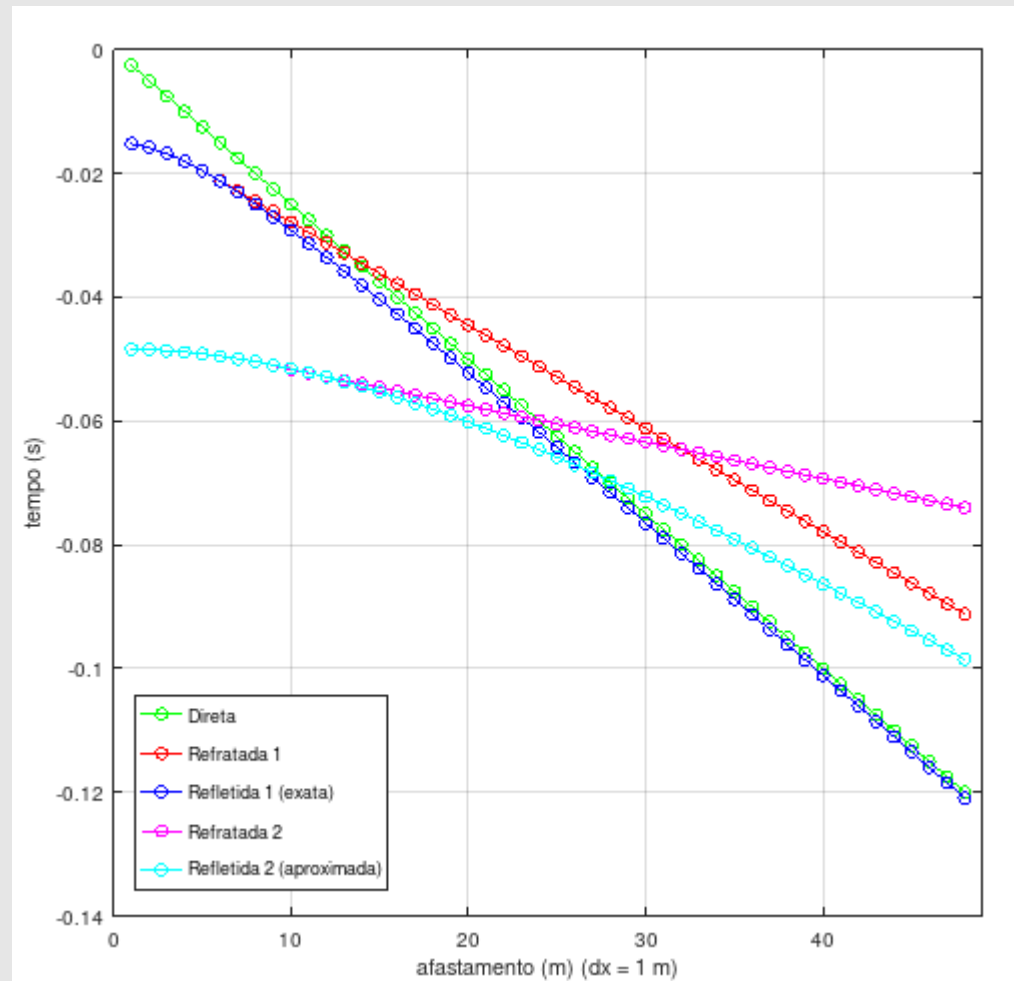
(modelo de duas interfaces)



*Sismograma sintético gerado com o SU-Seismic Unix, sem considerar a variação de amplitude com o afastamento.*

# Sismograma simulado

(modelo de duas interfaces)

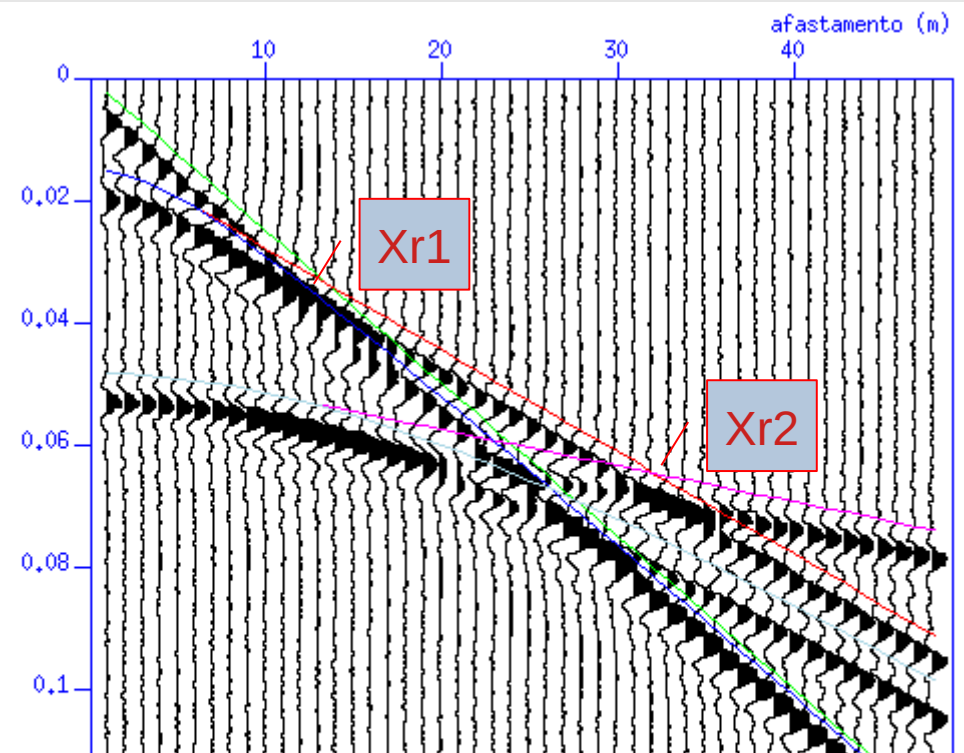
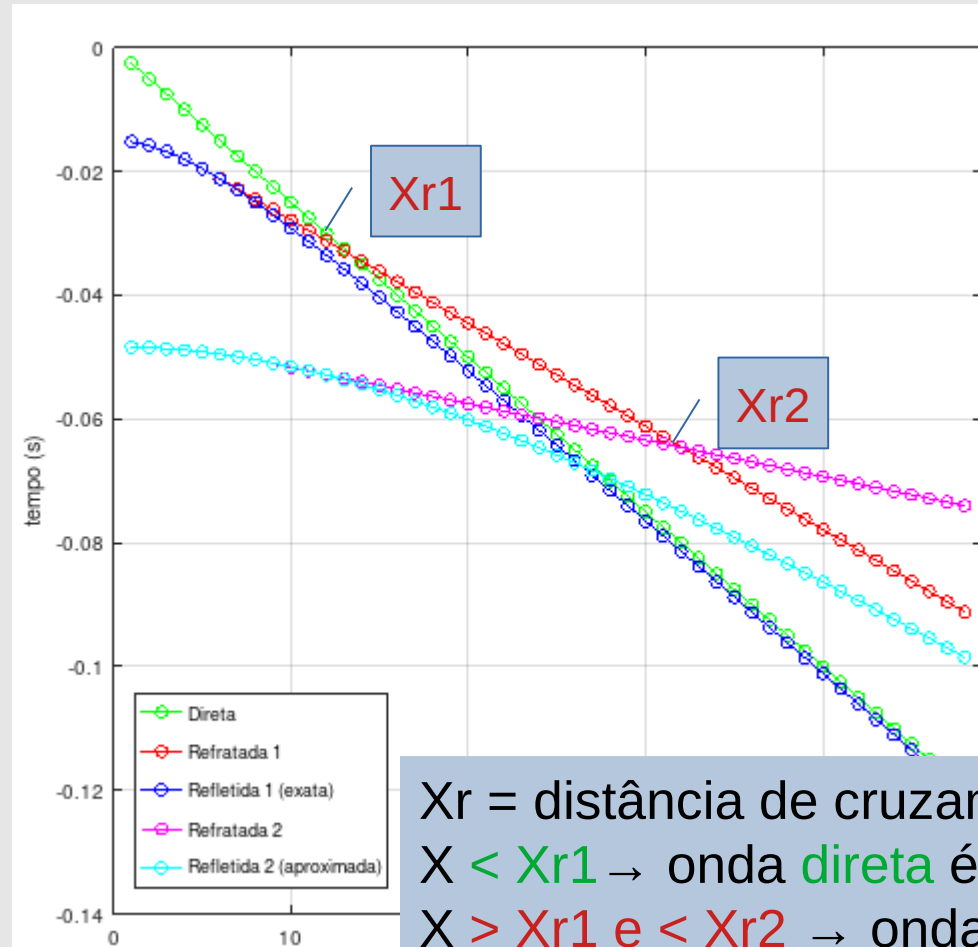


*Sismograma sintético gerado com o SU-Seismic Unix, sem considerar a variação de amplitude com o afastamento.*



# Sismograma simulado

(modelo de duas interfaces)



$Xr$  = distância de cruzamento

$X < Xr1$  → onda **direta** é a “primeira chegada em tempo”

$X > Xr1$  e  $< Xr2$  → onda **refratada na 1ª Interface** é a “primeira chegada em tempo”

$X > Xr2$  → onda **refratada na 2ª Interface** é a “primeira chegada em tempo”

Também é muito usado o termo “**primeiras quebras**” (“*first breaks*”) ao invés de “primeiras chegadas em tempo” (“*first time arrivals*”) ou apenas “*first arrivals*”)



Arquivo Editar Exibir Pesquisar Terminal Ajuda

`liliana@centrino:~/AGG0116/05-semana4-interpretacao$ suxpicker <s3.su &`

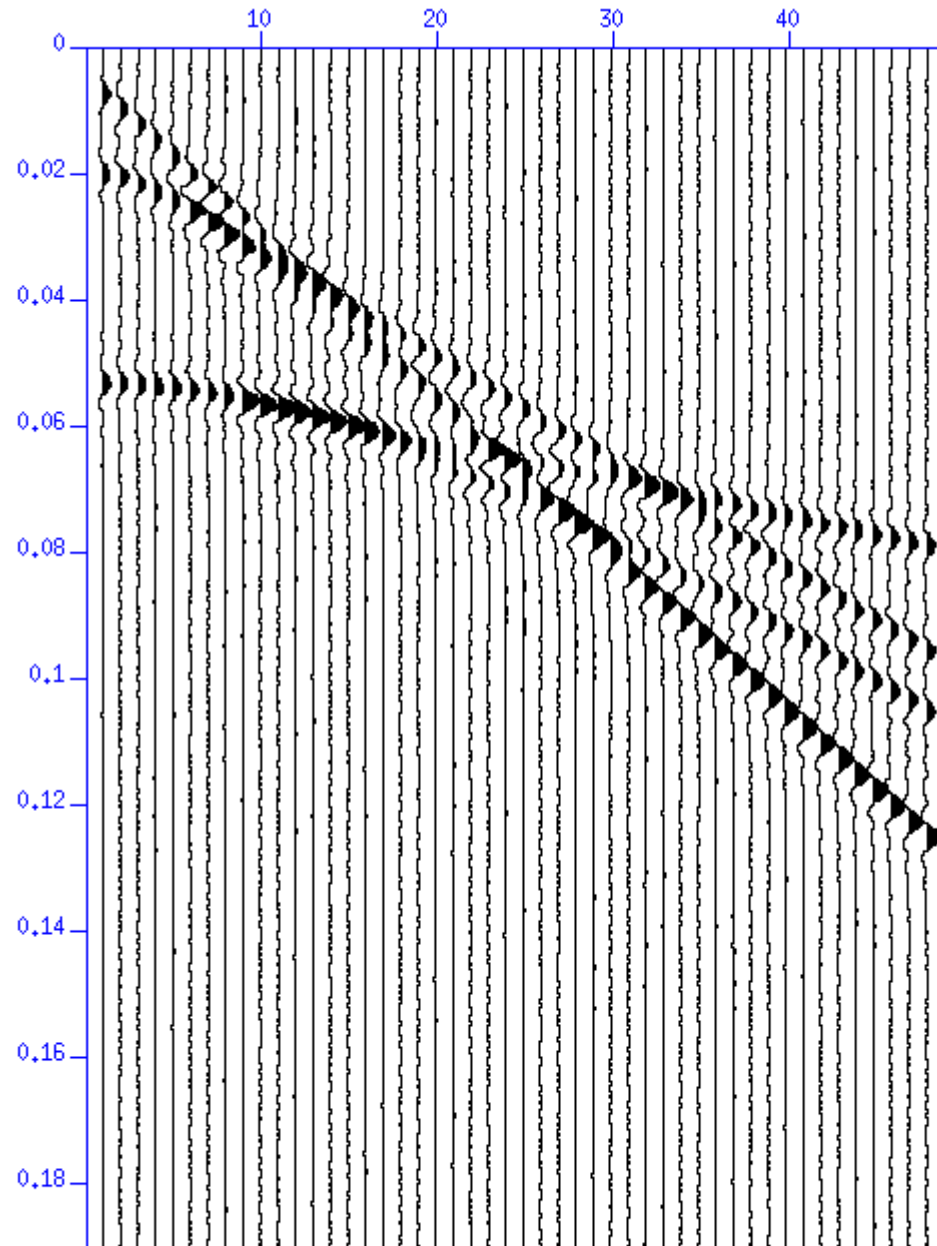
Arquivo Editar Exibir Pesquisar Terminal Ajuda

```
liliana@centrino:~/AGG0116/05-semana4-interpretacao$ suxpicker <s3.su &
```

```
[3] 11518
```

```
liliana@centrino:~/AGG0116/05-semana4-interpretacao$
```

```
/usr/local/SU/bin/xpicker: clip=0.425262
```



pick file

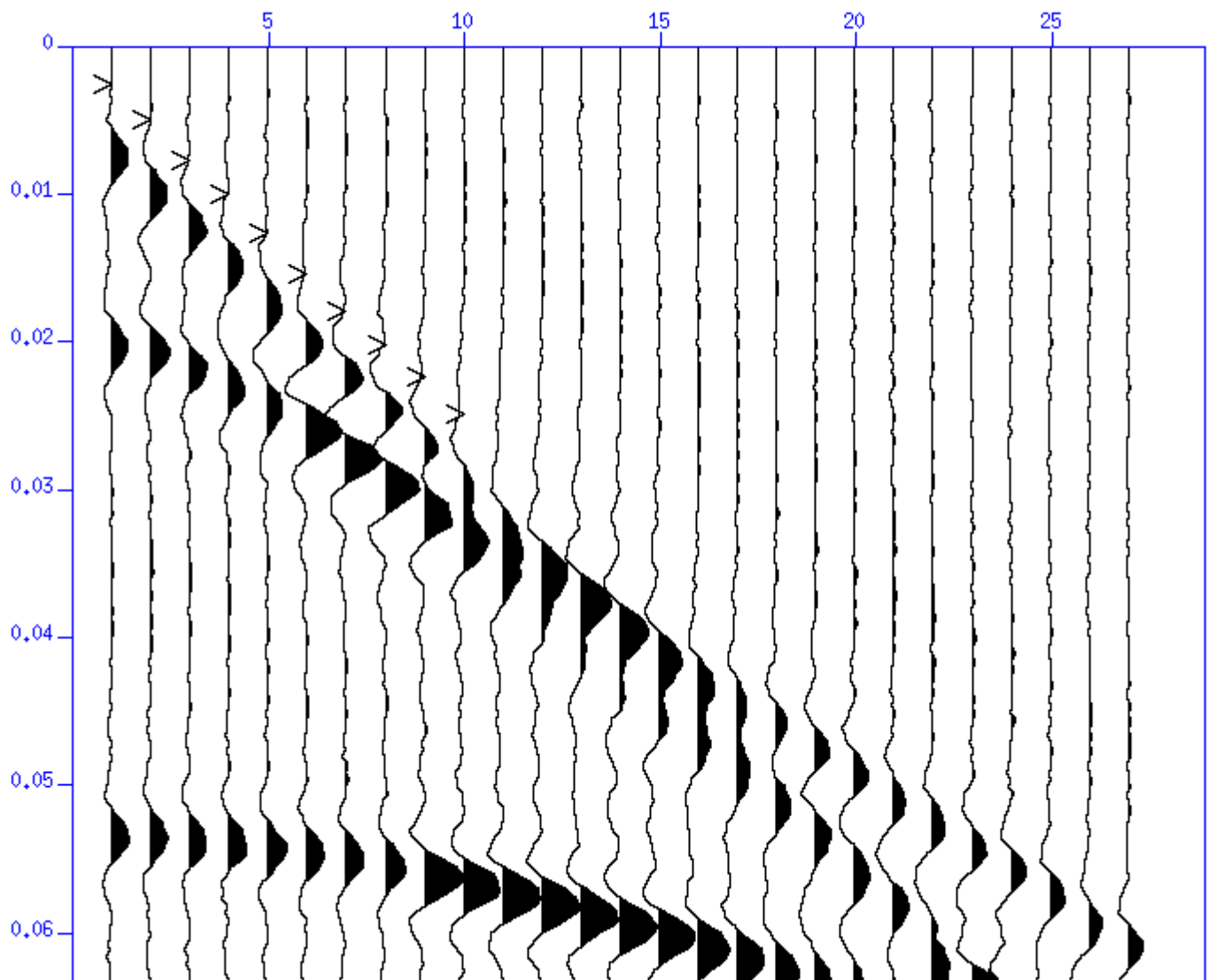
Load

Save

View Only

Add

Cross Off



direta.dat

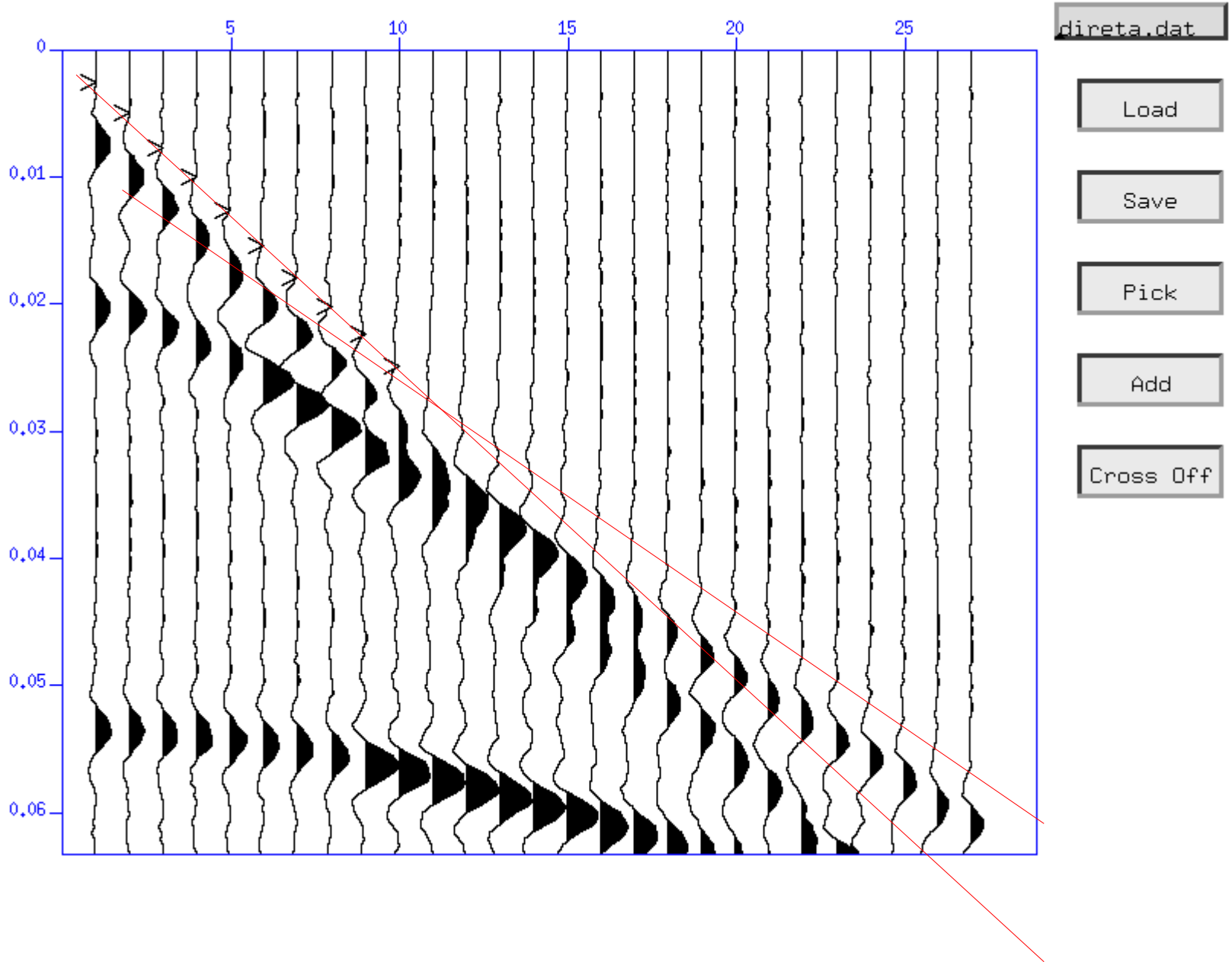
Load

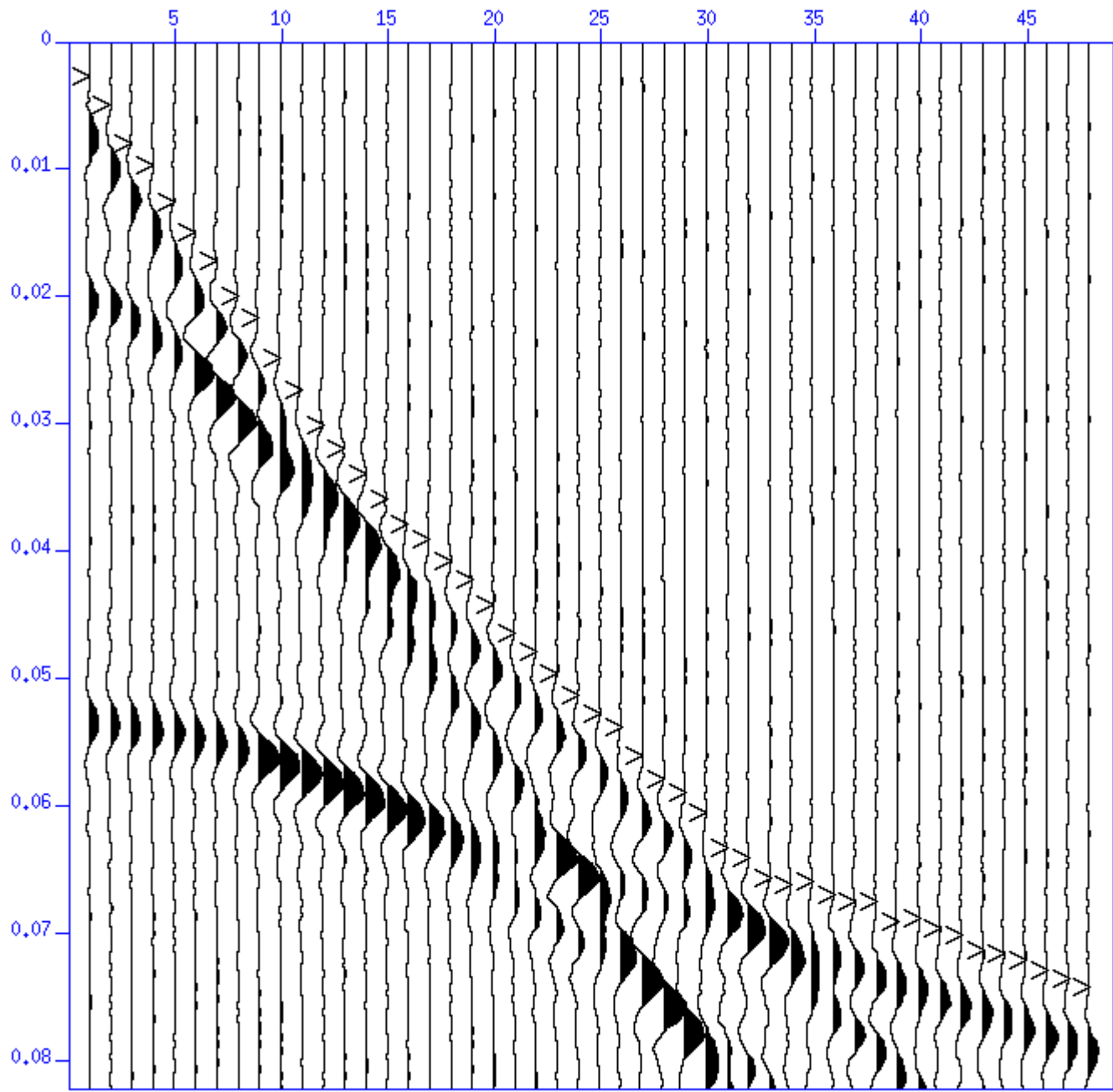
Save

Pick

Add

Cross Off





todos.dat

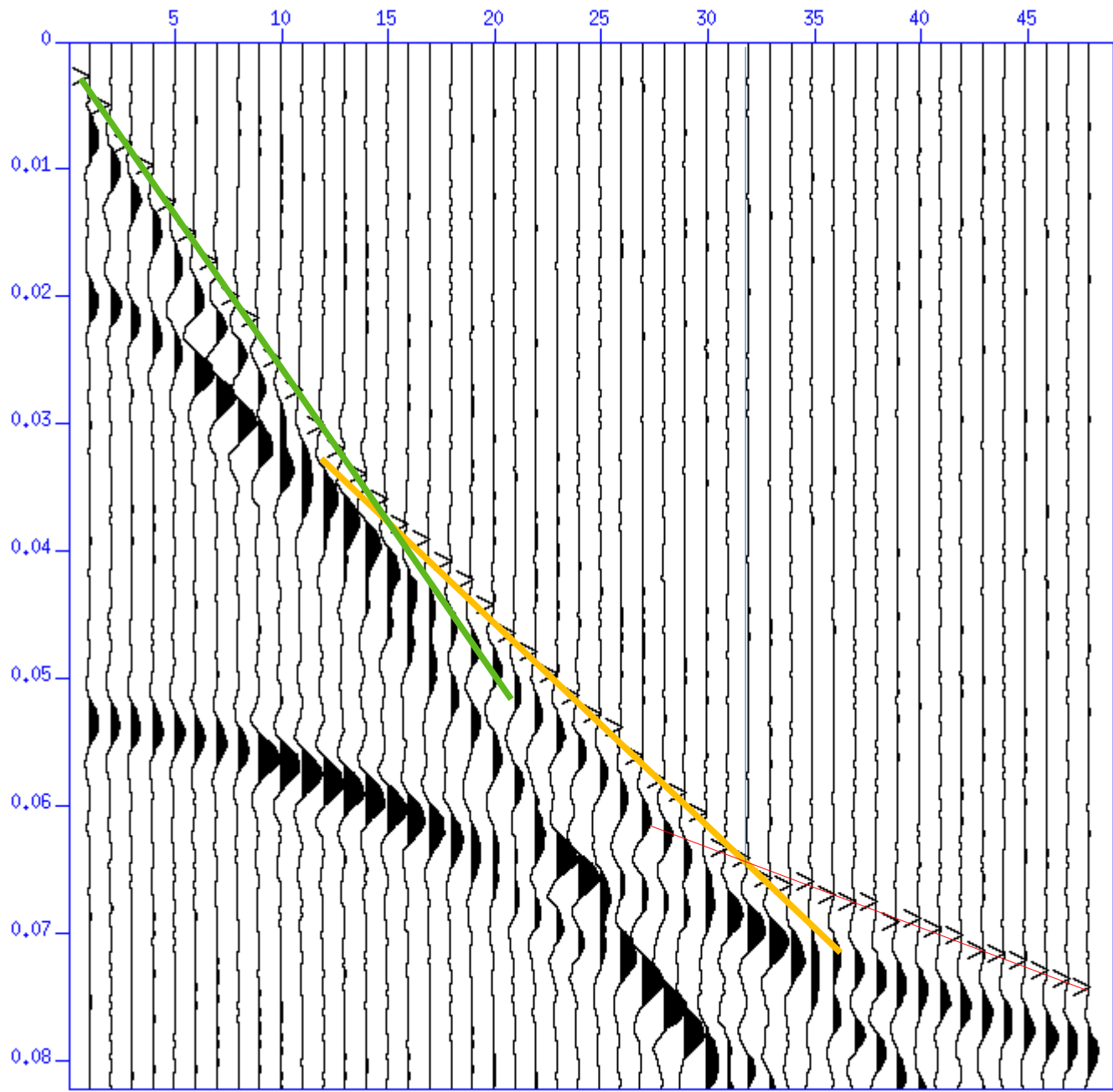
Load

Save

Pick

Add

Cross Off



todos.dat

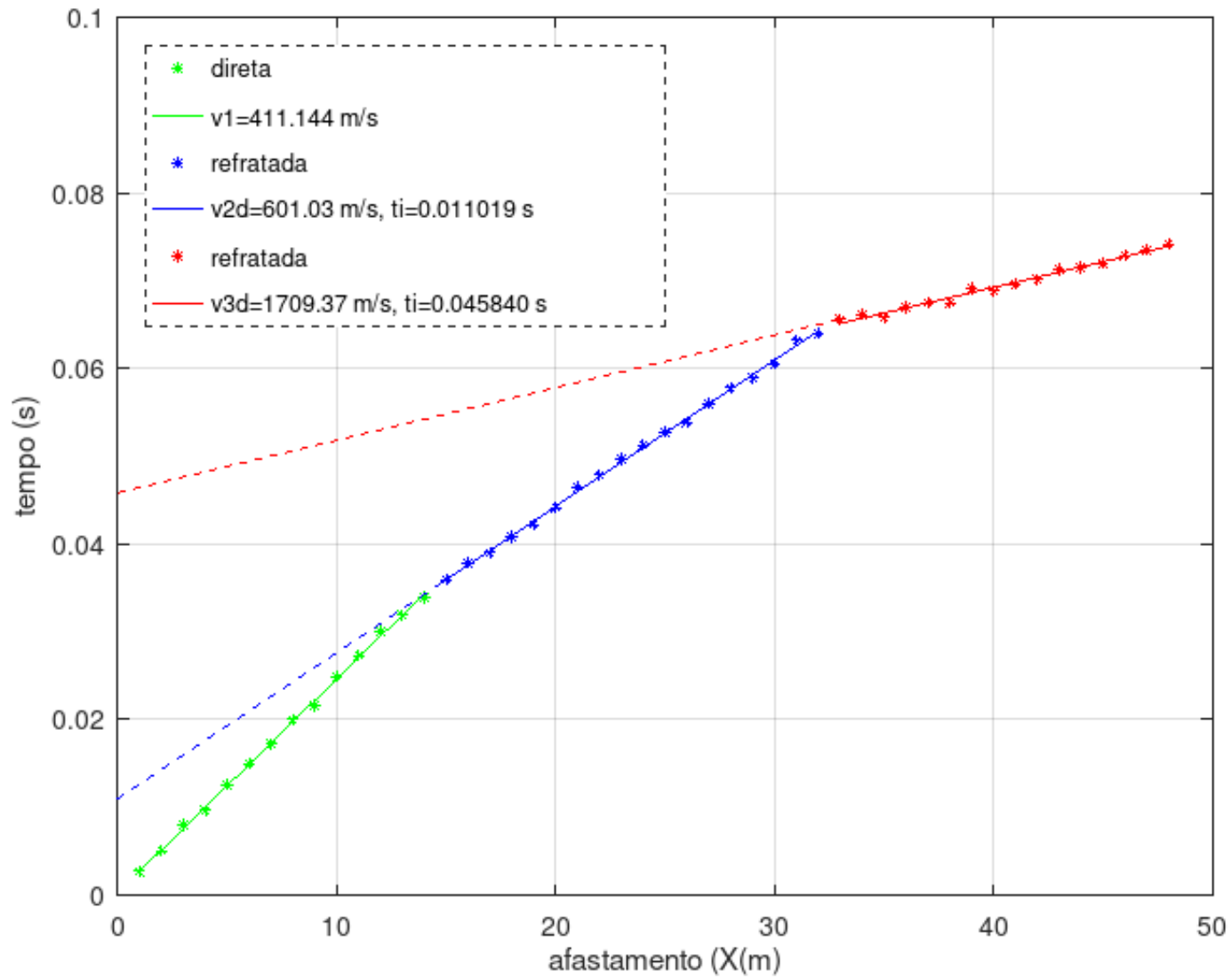
Load

Save

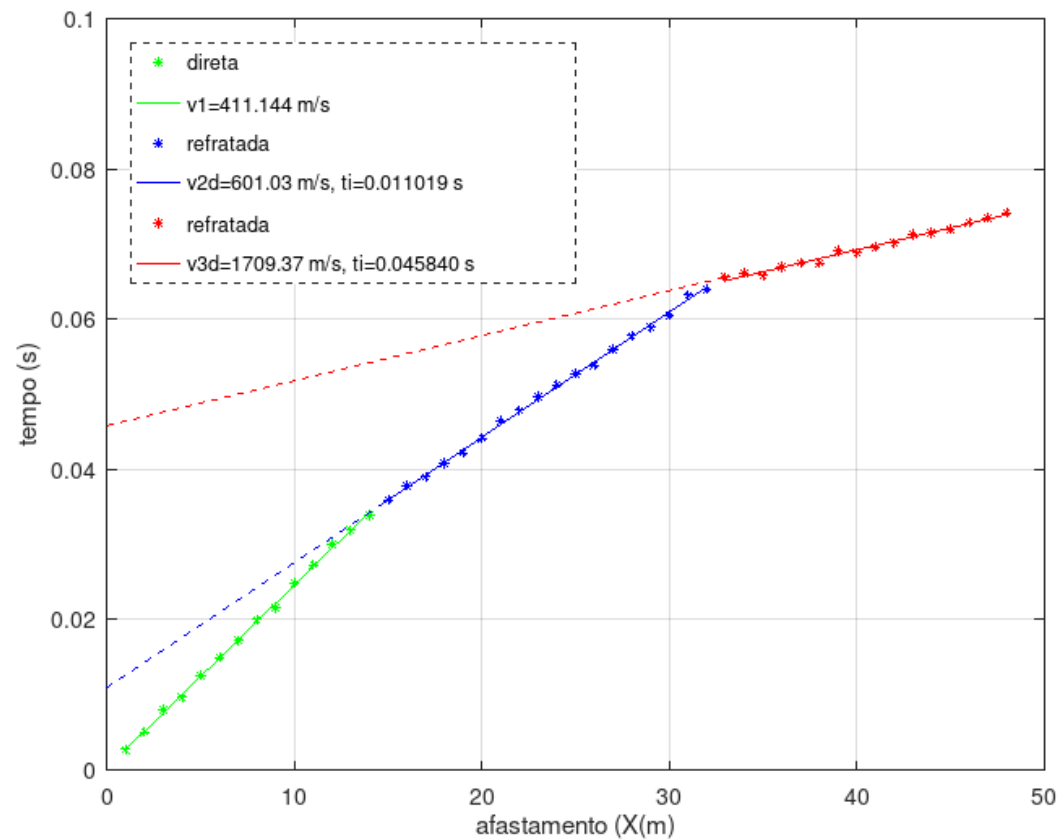
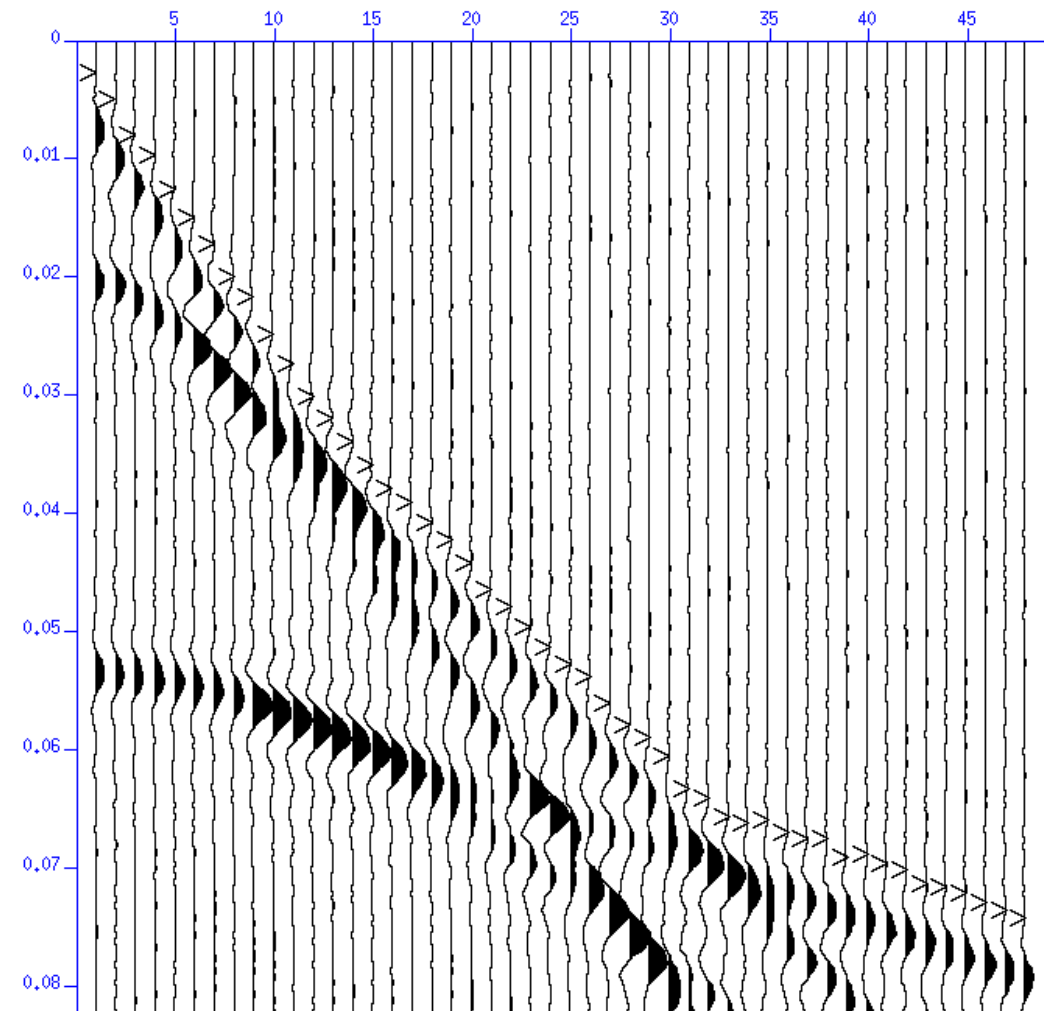
Pick

Add

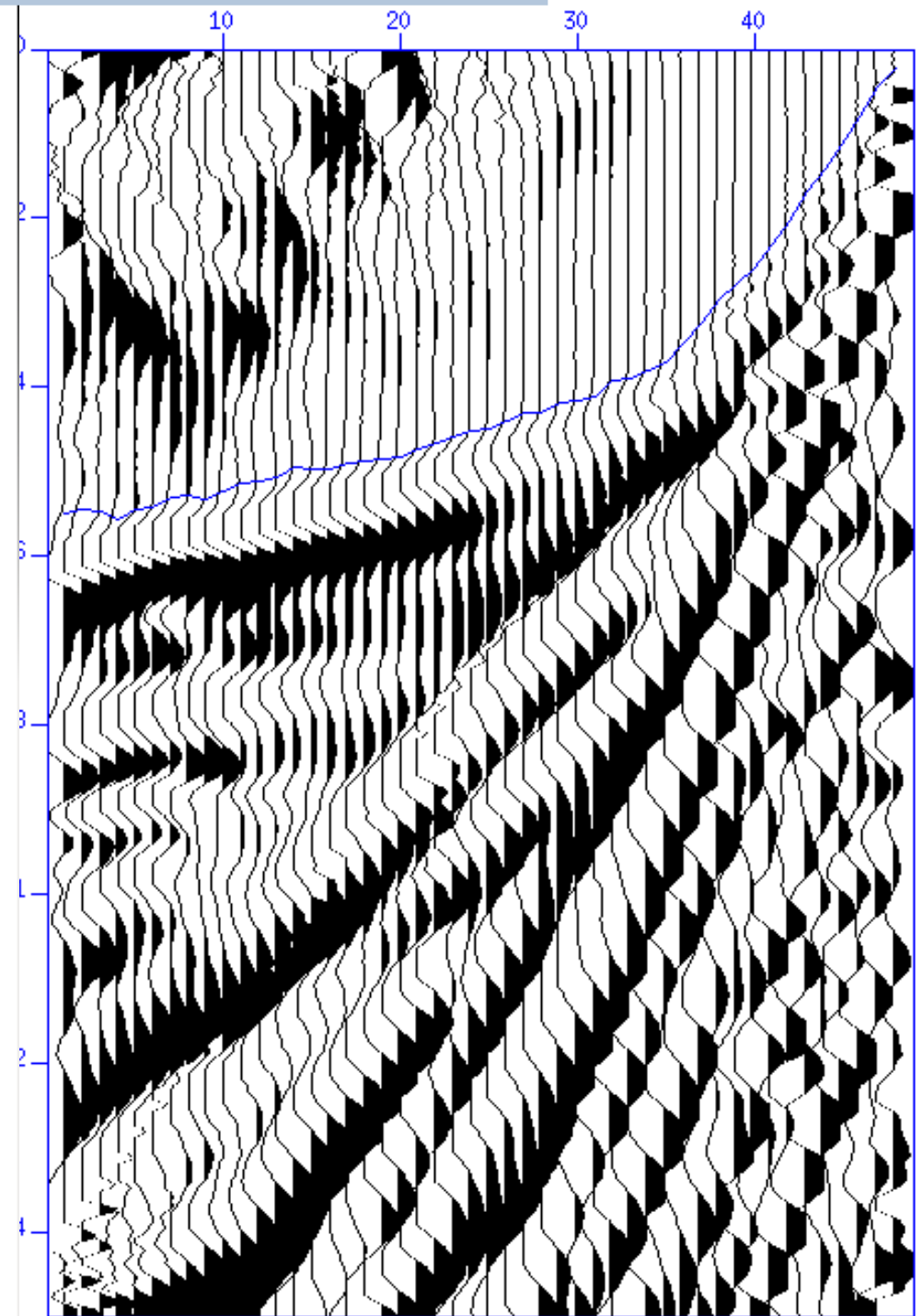
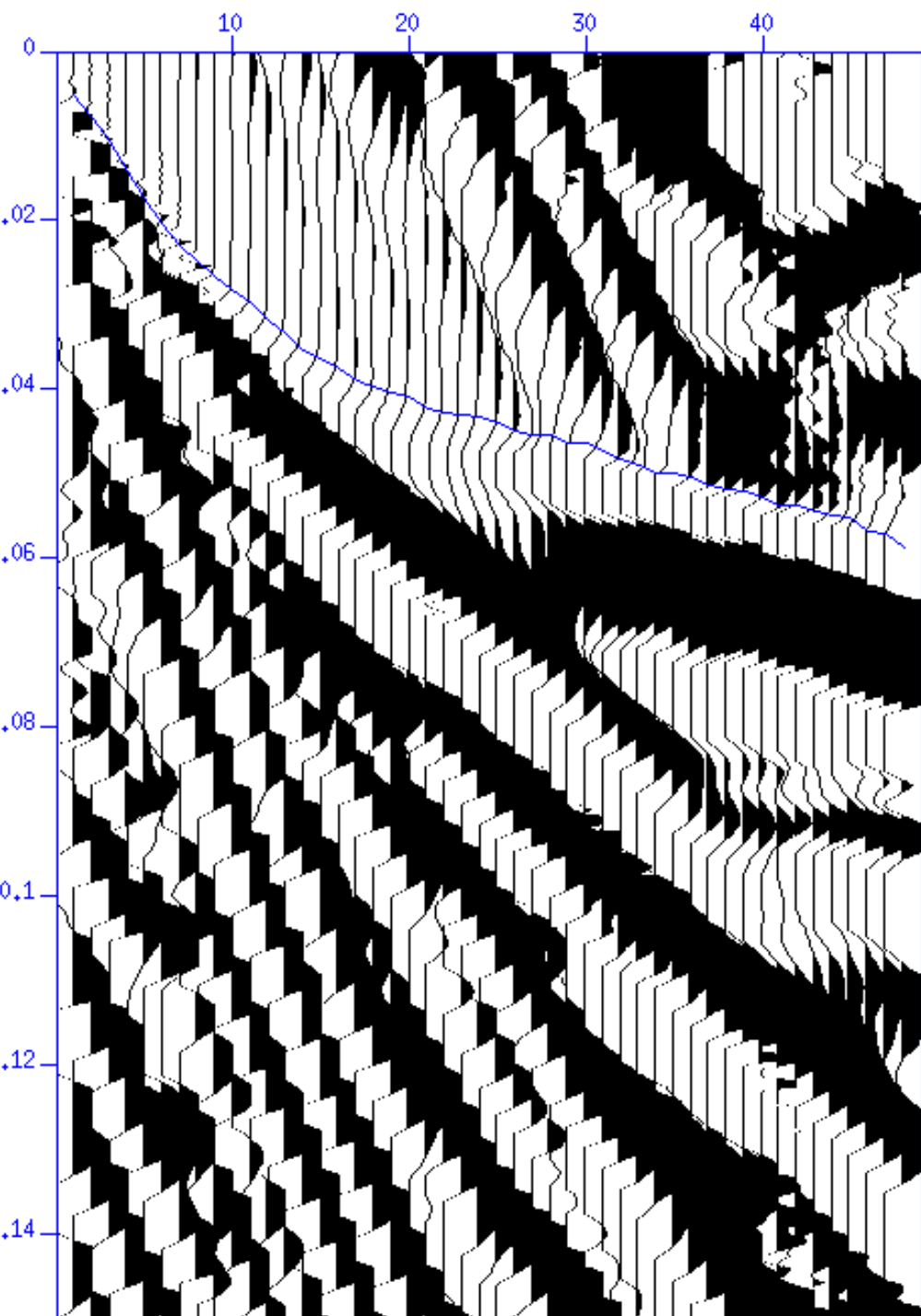
Cross Off



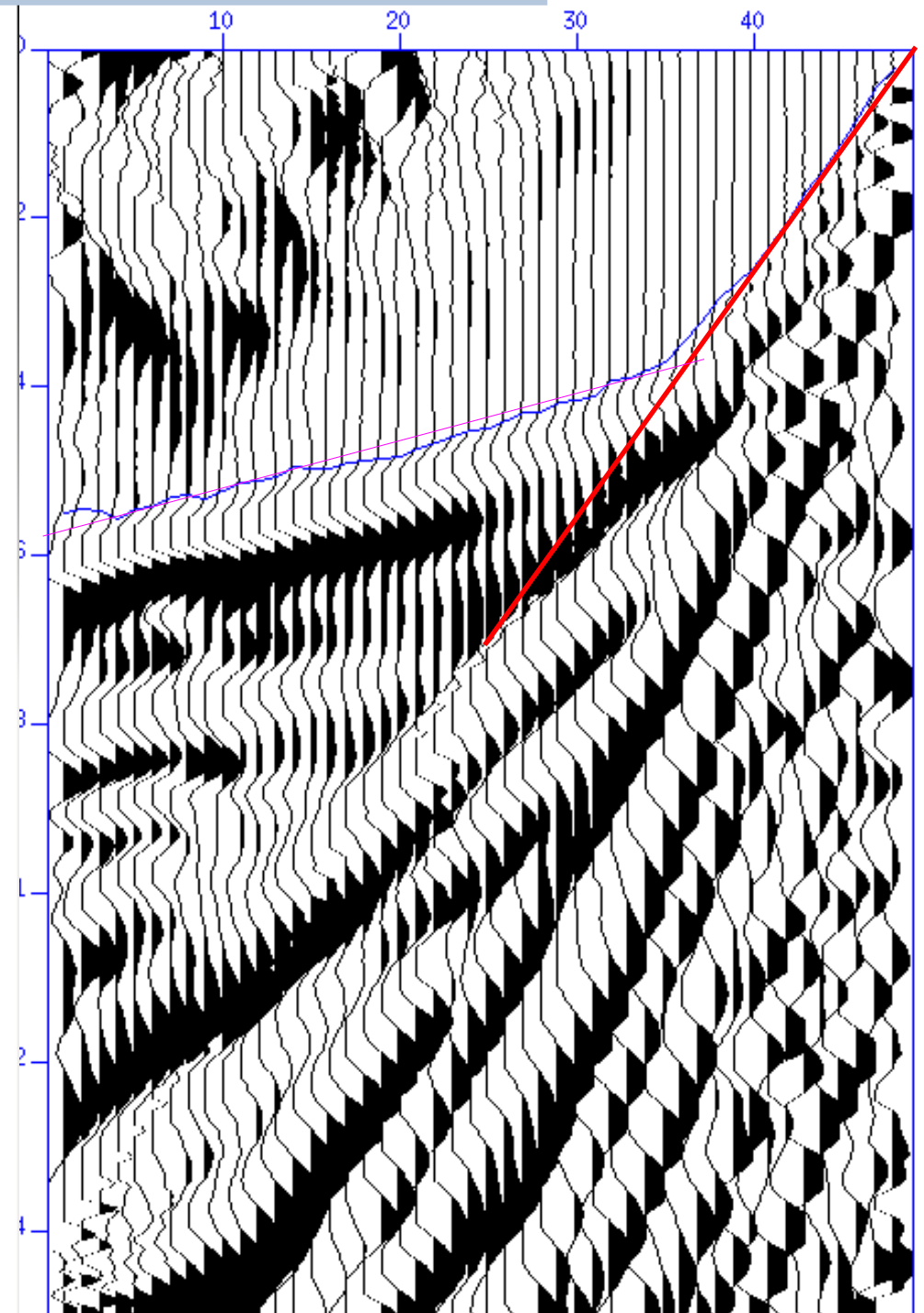
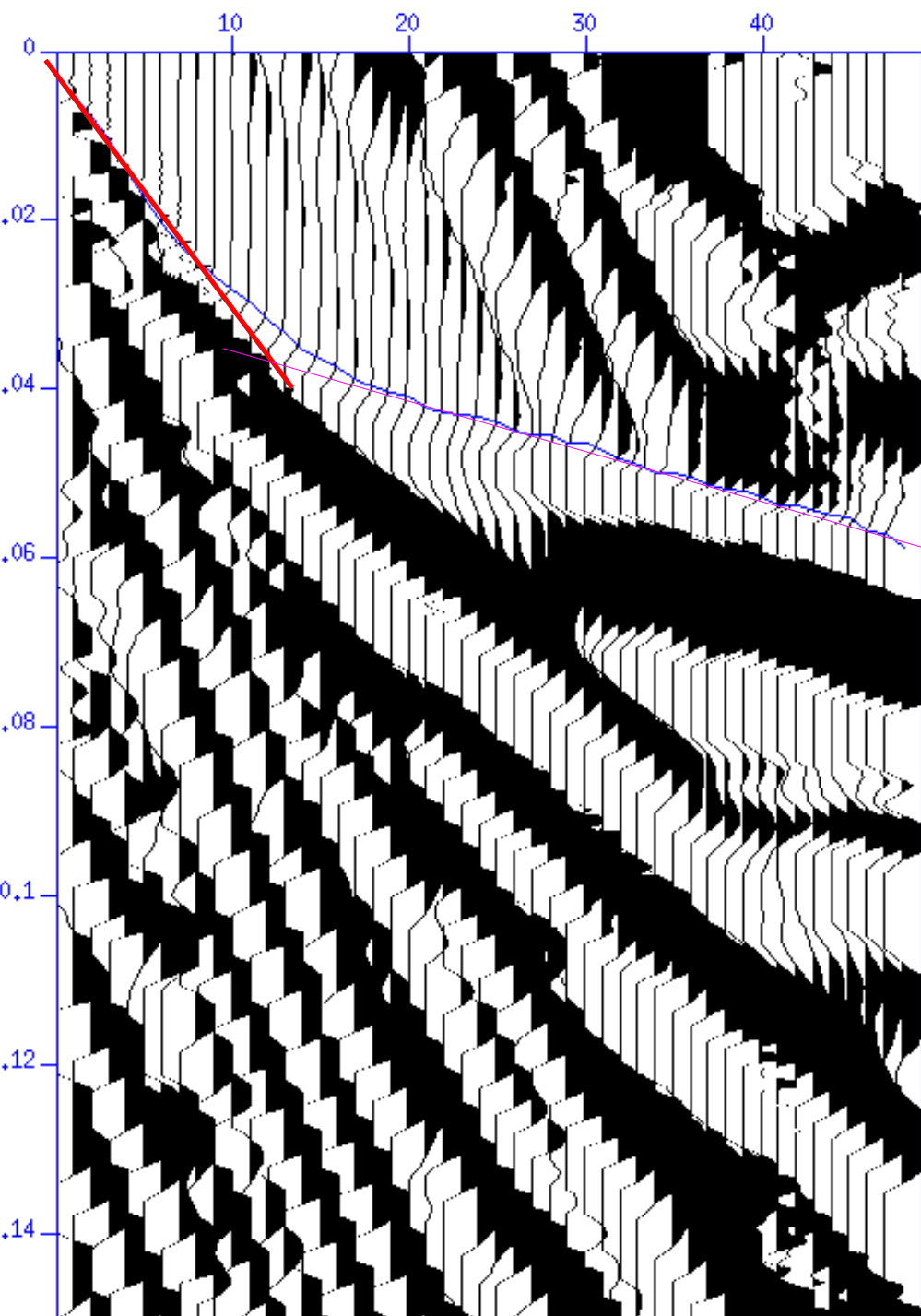




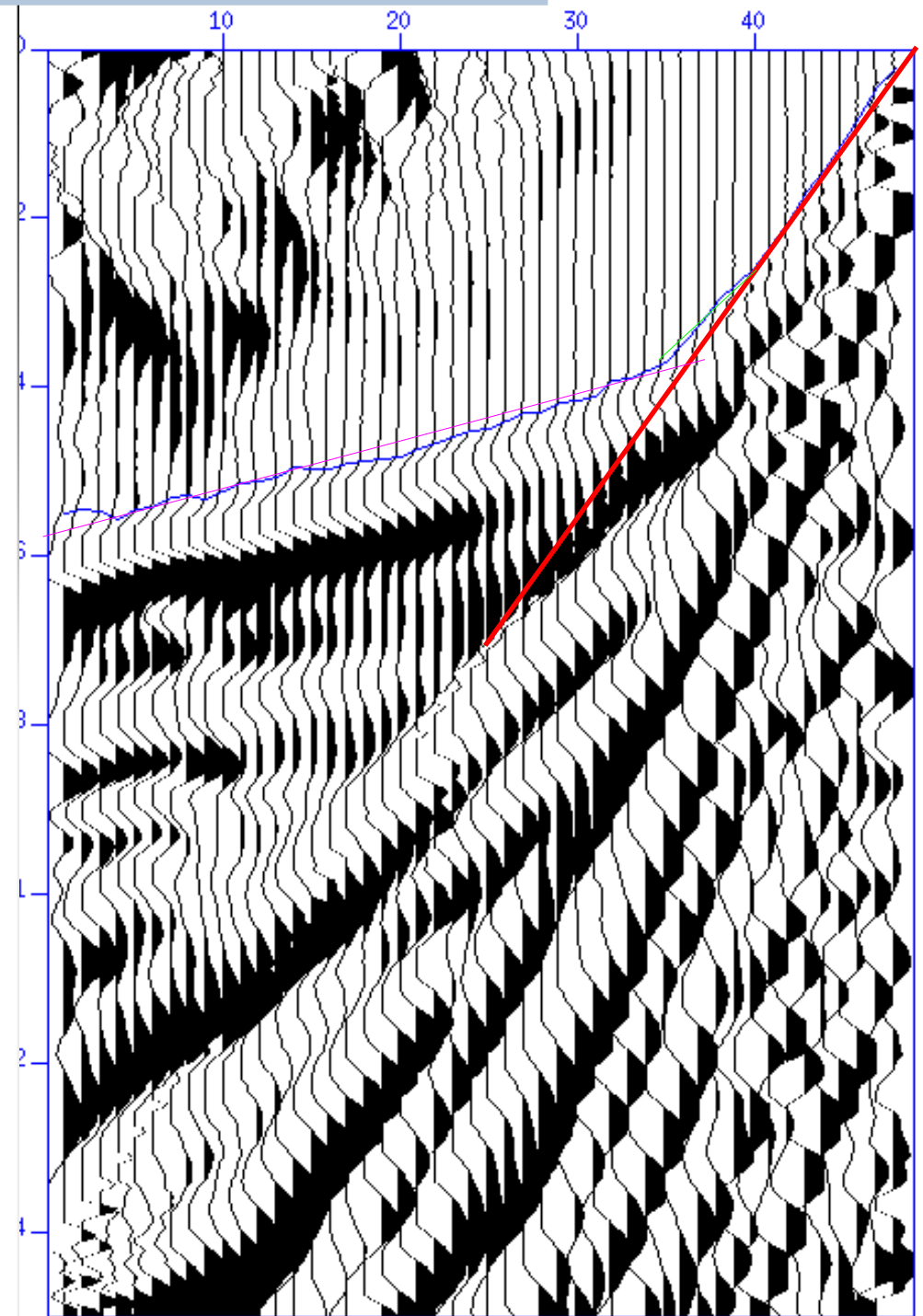
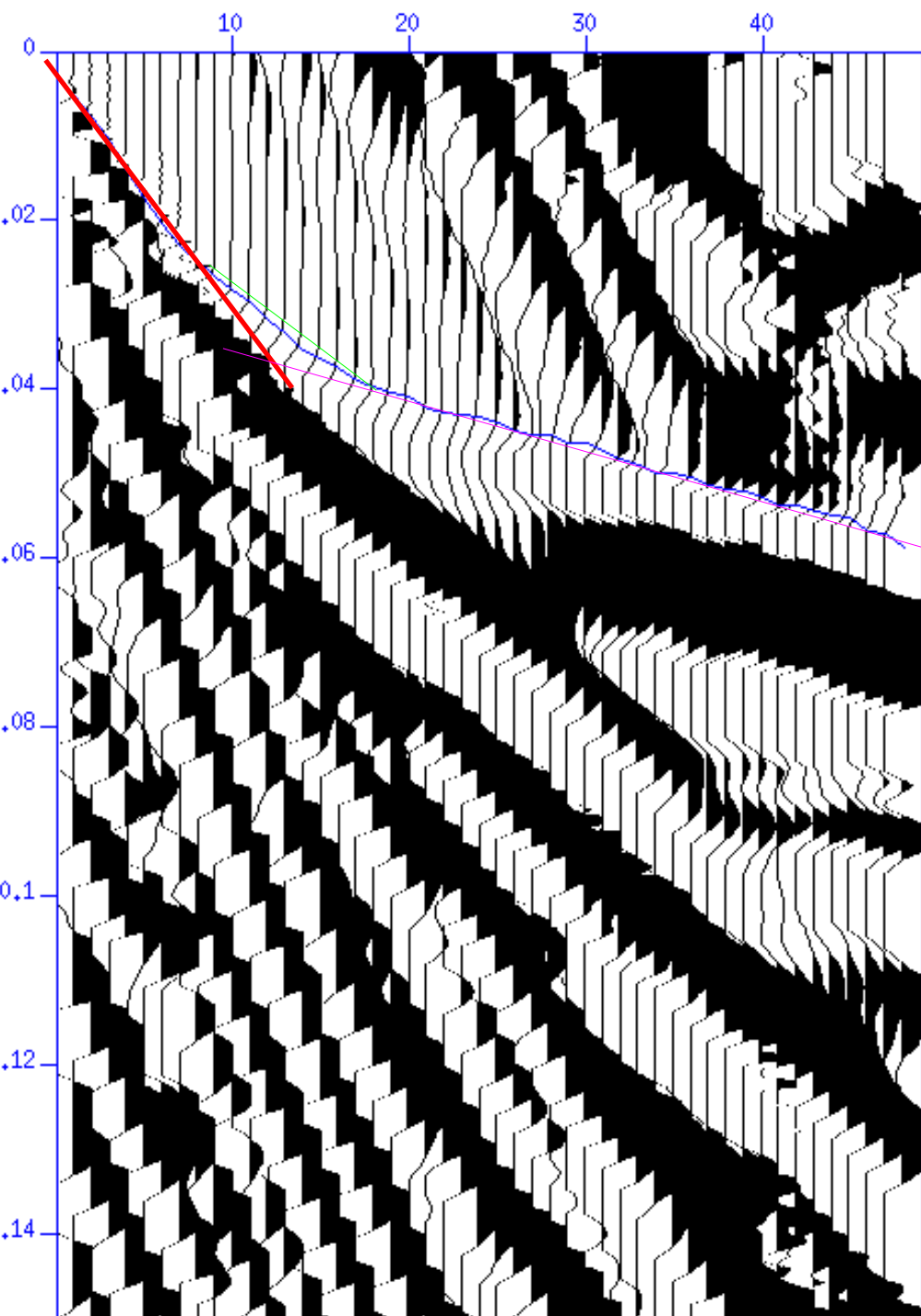
# Dados da aula prática de agg0116 - 2018



# Dados da aula prática de agg0116 - 2018

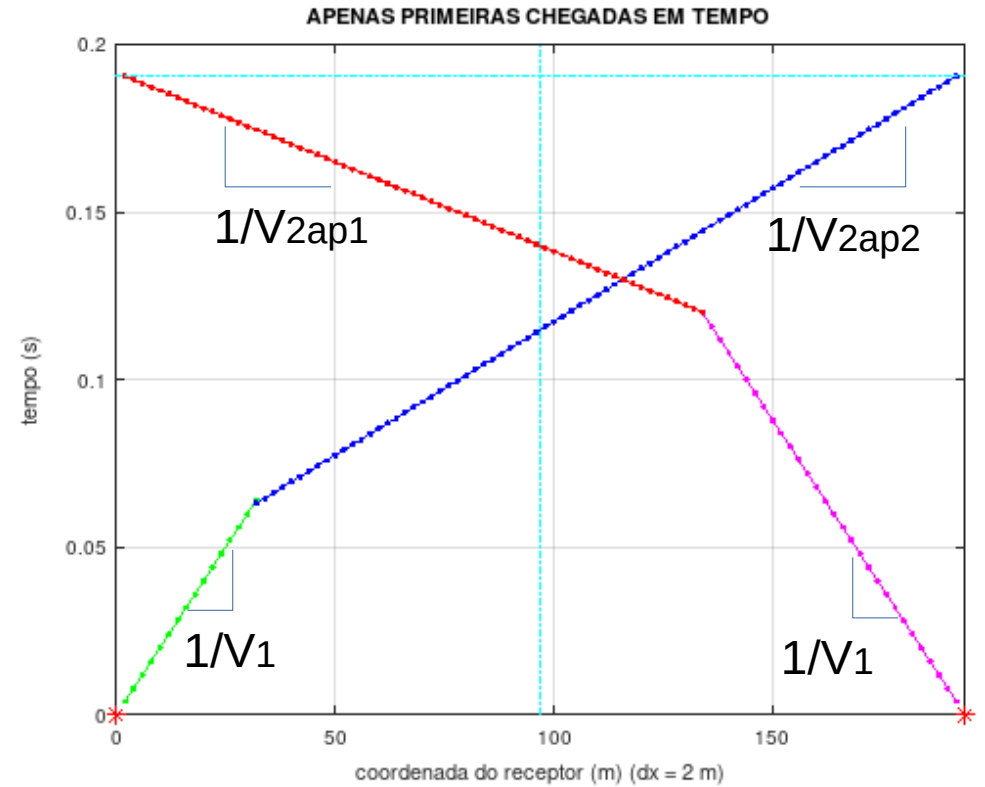
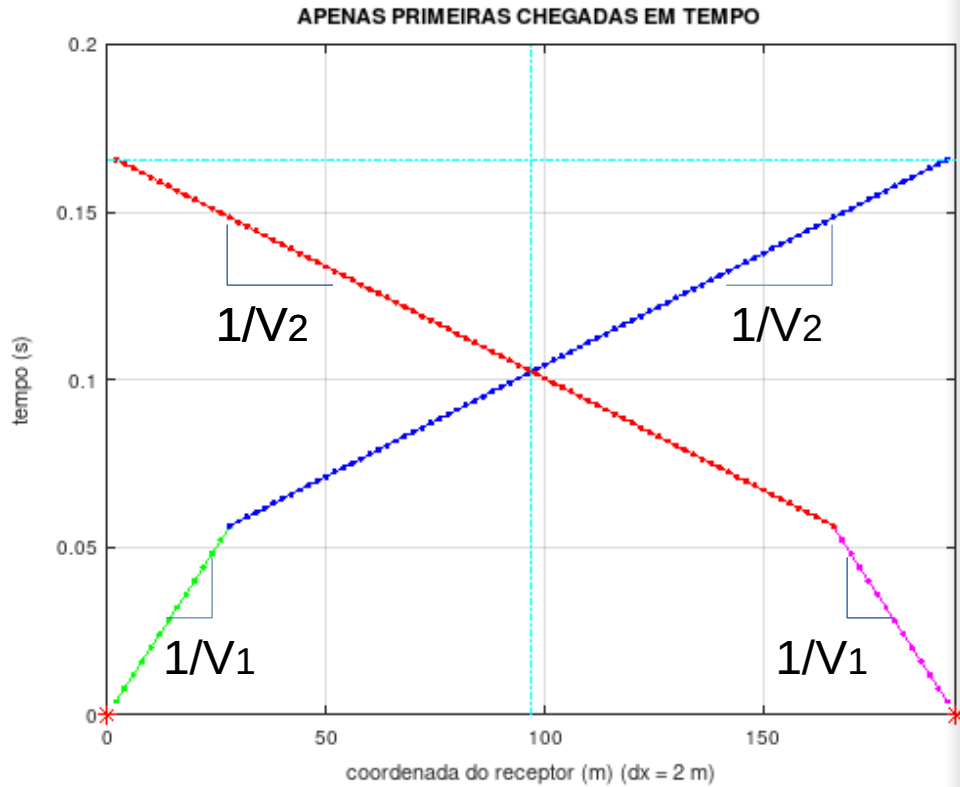


# Dados da aula prática de agg0116 - 2018



- 2) Revisão do final da aula de 02/09:
- Refração em camadas com mergulho (interface inclinada)

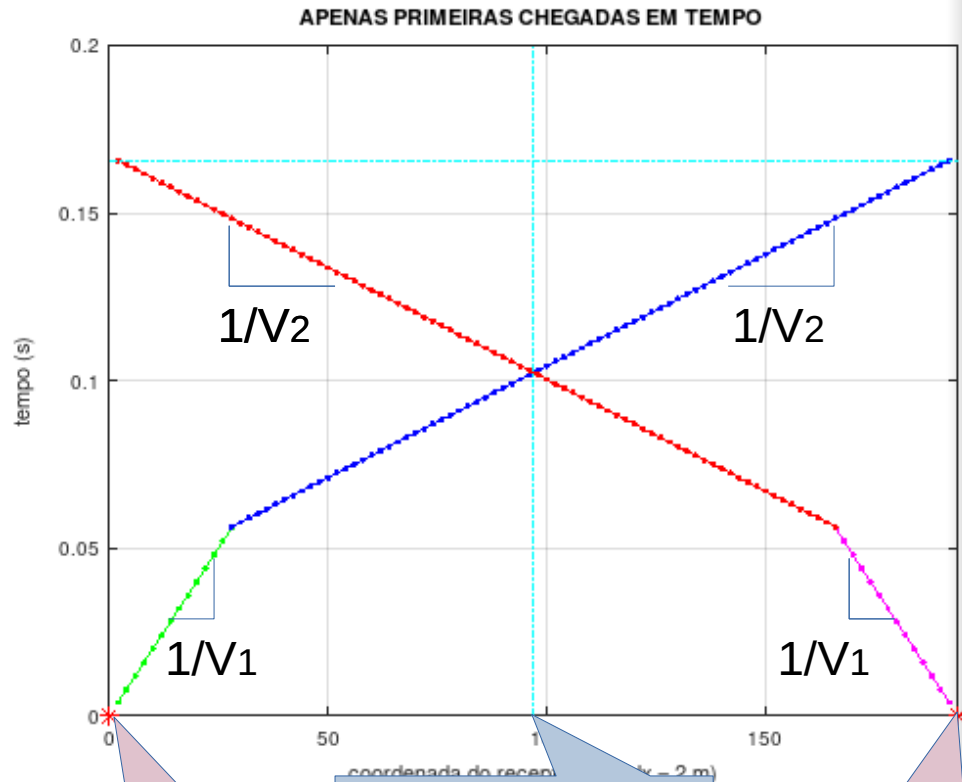
# Aquisição com a fonte (tiro) em sentidos opostos



Para **camada plana-horizonta**, as curvas de tempo para tiros em sentidos opostos apresentam mesma inclinação, são simétricas e se cruzam no centro do arranjo: estimativa da **mesma velocidade (verdadeira)** nos dois tiros.

Para **camada plana-inclinada**, as curvas de tempo para tiros em sentidos opostos apresentam inclinações diferentes e se cruzam em um ponto deslocado do centro do arranjo: estimativa de **velocidades diferentes** em cada tiro (velocidades **aparentes nos sentidos “updip” e “downdip”**)

# Aquisição com a fonte (tiro) em sentidos opostos

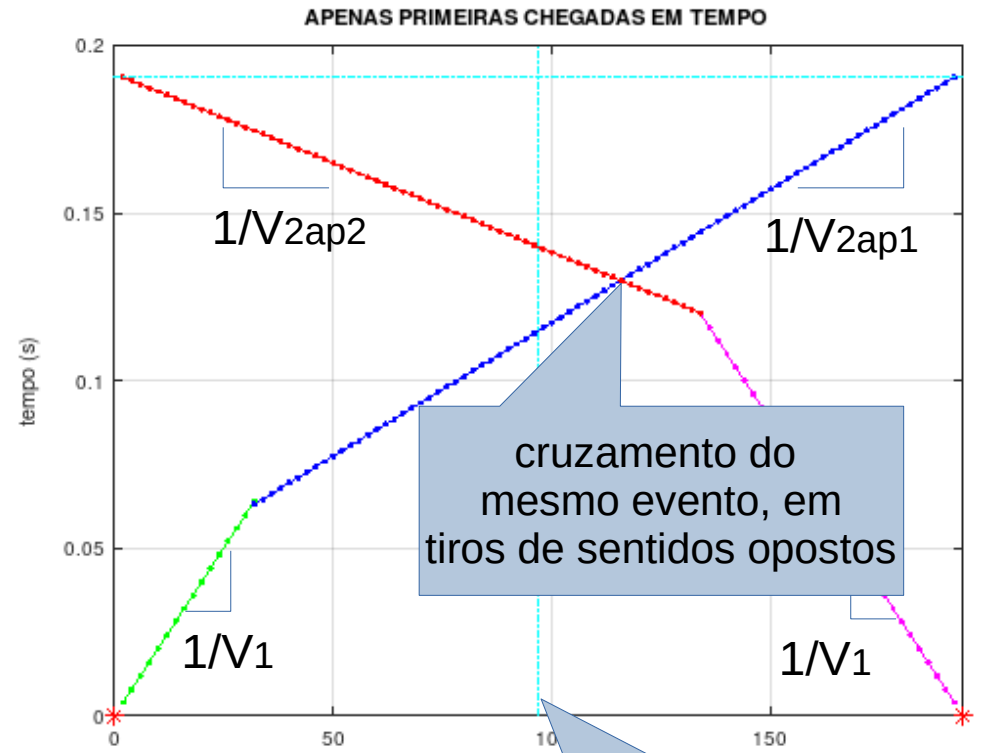


Fonte em 0 m

centro do arranjo em 97 m

Fonte em 194 m

Para **camada plana-horizantal**, as curvas de tempo para tiros em sentidos opostos apresentam inclinações diferentes e se cruzam no centro do arranjo: estimativa da **mesma velocidade (verdadeira)** nos dois tiros.



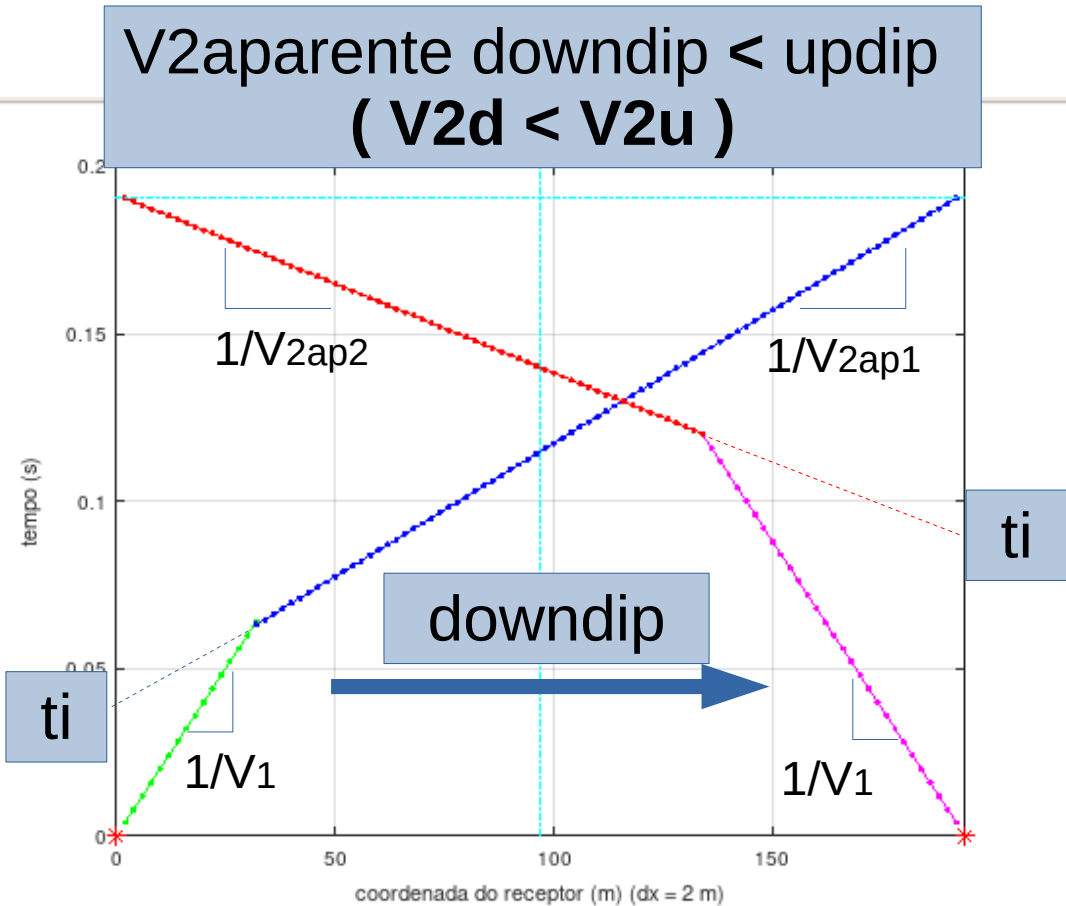
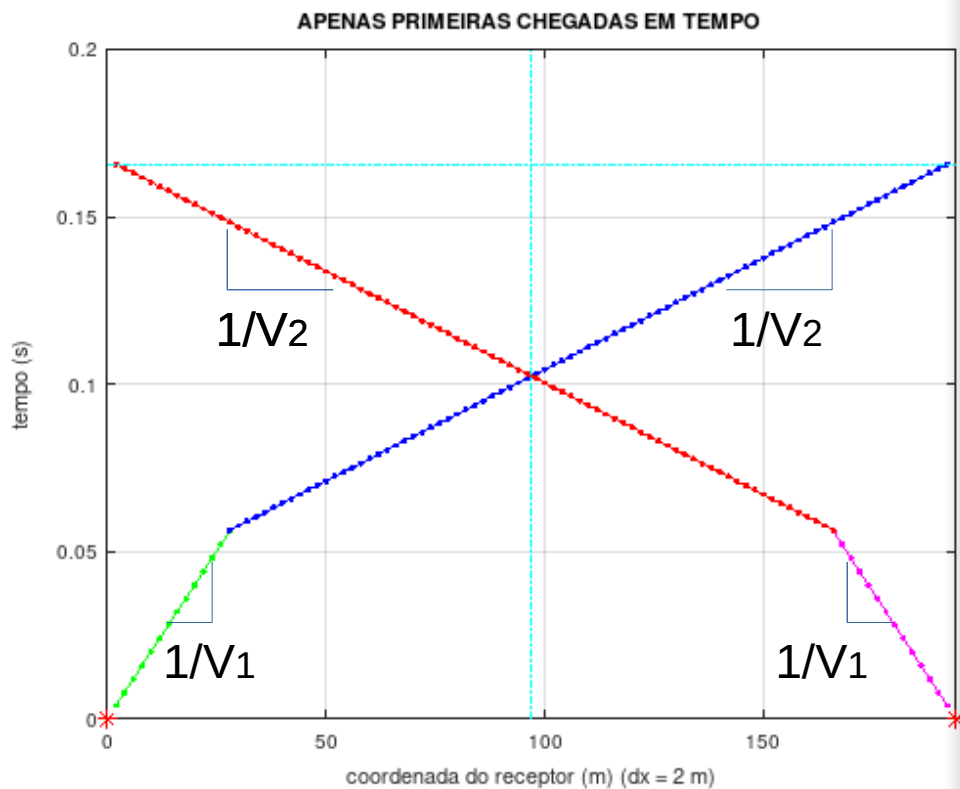
cruzamento do mesmo evento, em tiros de sentidos opostos

centro do arranjo em 97 m

Para **camada plana-inclinada**, as curvas de tempo para tiros em sentidos opostos apresentam inclinações diferentes e se cruzam em um ponto deslocado do centro do arranjo: estimativa de **velocidades diferentes** em cada tiro (velocidades **aparentes nos sentidos "updip" e "downdip"**)

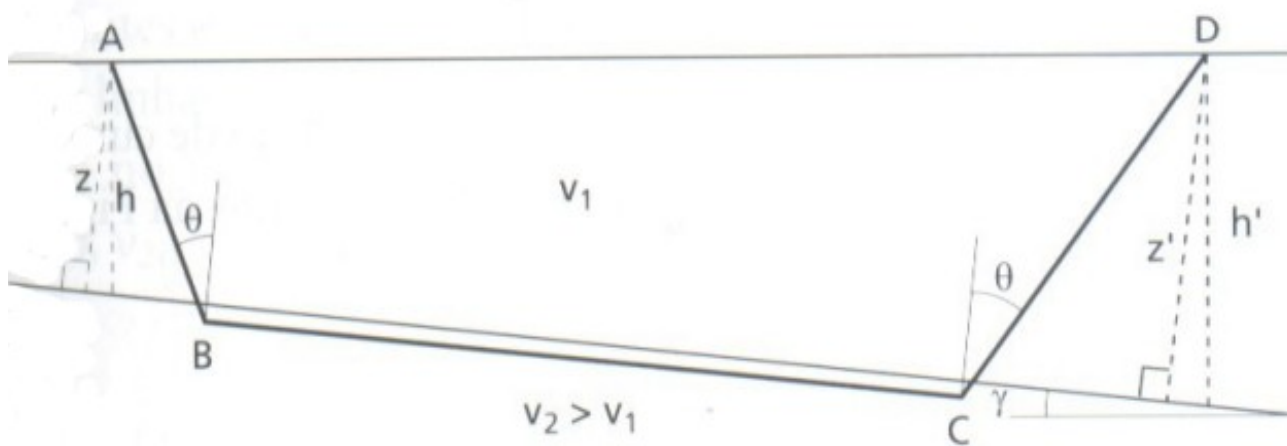


# Qual o sentido do mergulho da camada ?



Para **camada plana-horizonta**l, as curvas de tempo para tiros em sentidos opostos apresentam mesma inclinação, são simétricas e se cruzam no centro do arranjo: estimativa da **mesma velocidade (verdadeira)** nos dois tiros.

Para **camada plana-inclinada**, as curvas de tempo para tiros em sentidos opostos apresentam inclinações diferentes e se cruzam em um ponto deslocado do centro do arranjo: estimativa de **velocidades diferentes** em cada tiro (velocidades **aparentes nos sentidos “updip” e “downdip”**)



**Sentido downdip**

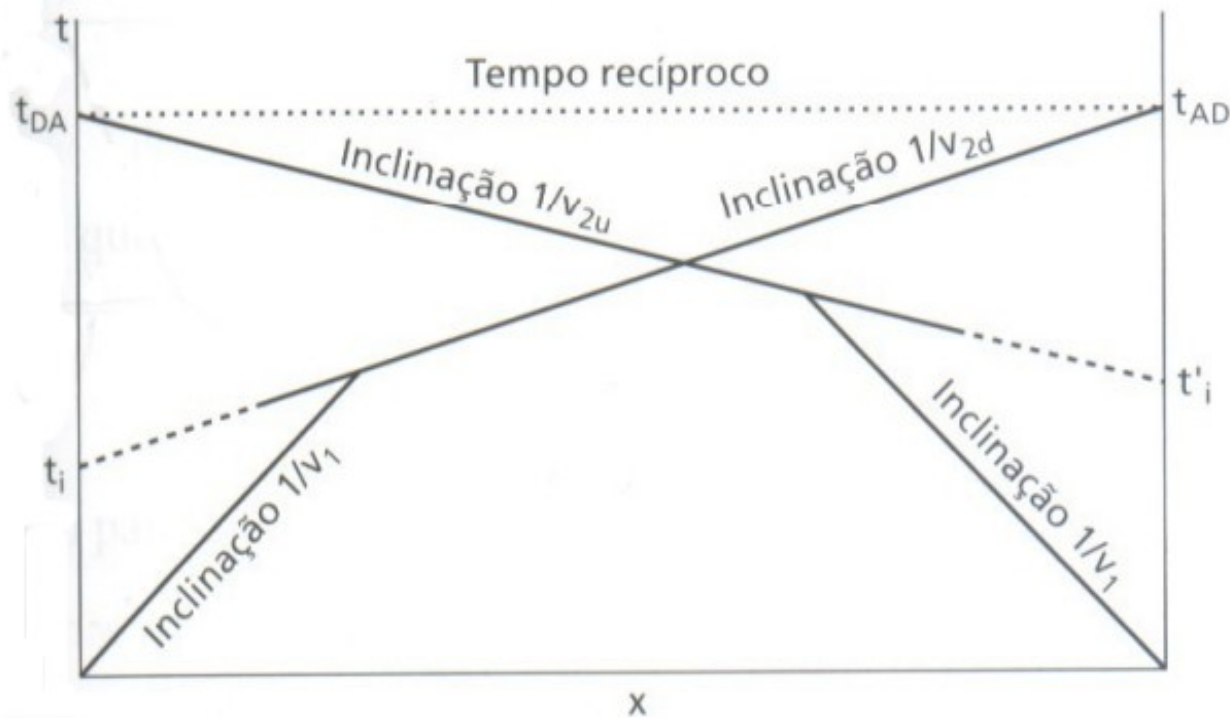
$$t_2 = \frac{x \text{ sen } (\theta_{12} + \gamma_1)}{v_1} + \frac{2z \text{ cos } \theta_{12}}{v_1}$$

$$1/v_{2d} = \text{sen } (\theta_{12} + \gamma_1)/v_1$$

**Sentido updip**

$$t'_2 = \frac{x \text{ sen } (\theta_{12} - \gamma_1)}{v_1} + \frac{2z' \text{ cos } \theta_{12}}{v_1}$$

$$1/v_{2u} = \text{sen } (\theta_{12} - \gamma_1)/v_1$$



$$\theta_{12} + \gamma_1 = \text{sen}^{-1} (v_1/v_{2d})$$

$$\theta_{12} - \gamma_1 = \text{sen}^{-1} (v_1/v_{2u})$$

$$\theta_{12} = \frac{1}{2} [\text{sen}^{-1} (v_1/v_{2d}) + \text{sen}^{-1} (v_1/v_{2u})]$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{2} [\text{sen}^{-1} (v_1/v_{2d}) - \text{sen}^{-1} (v_1/v_{2u})]$$

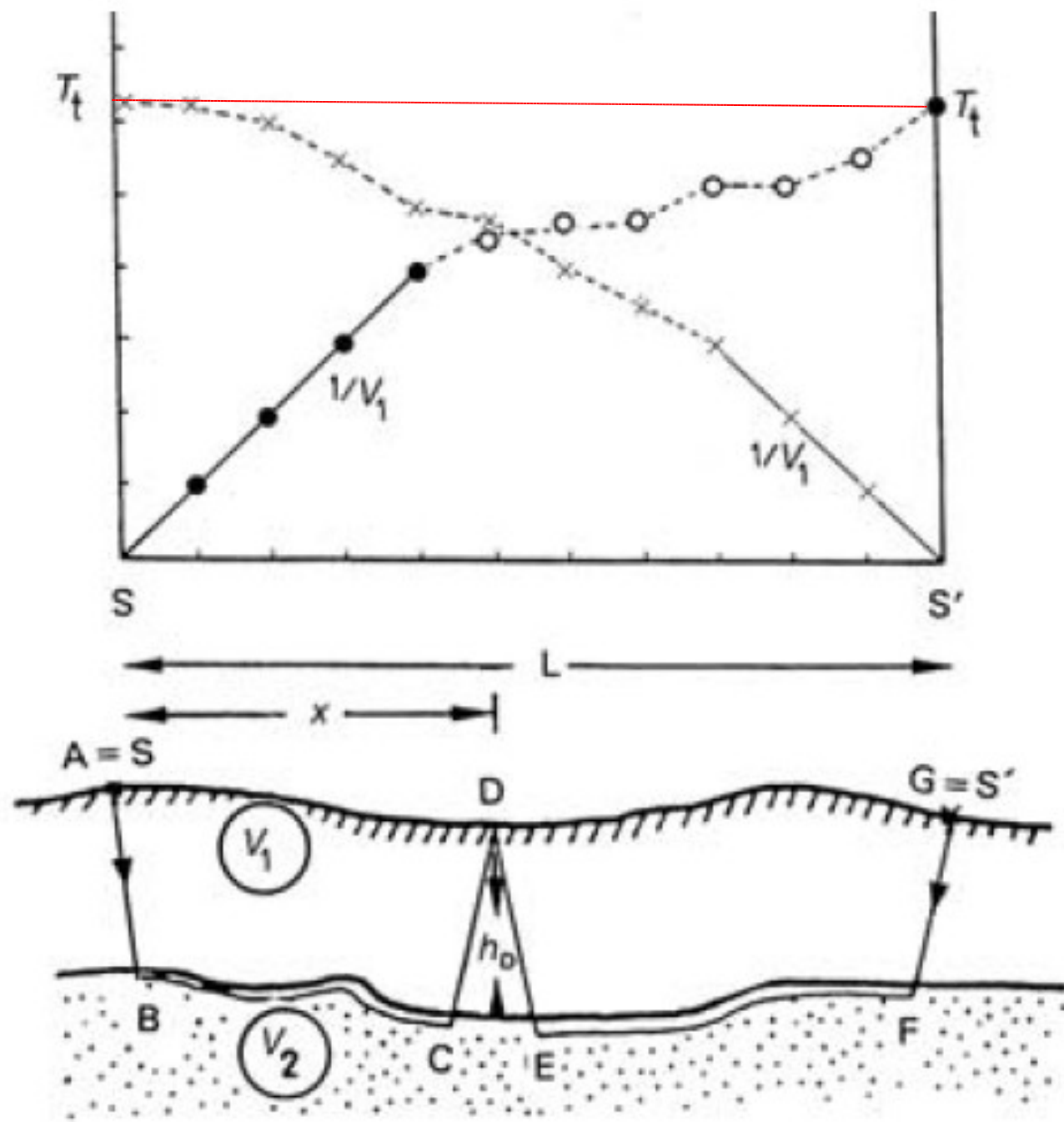
$$t_i = 2z \text{ cos } \theta_{12}/v_1$$

$$z = v_1 t_i / 2 \text{ cos } \theta_{12} \quad z' = v_1 t'_i / 2 \text{ cos } \theta_{12}$$

$$h = z / \text{cos } \gamma_1 \quad h' = z' / \text{cos } \gamma_1$$

3) Camadas irregulares e Estruturas geológicas complexas:  
como resolver ???

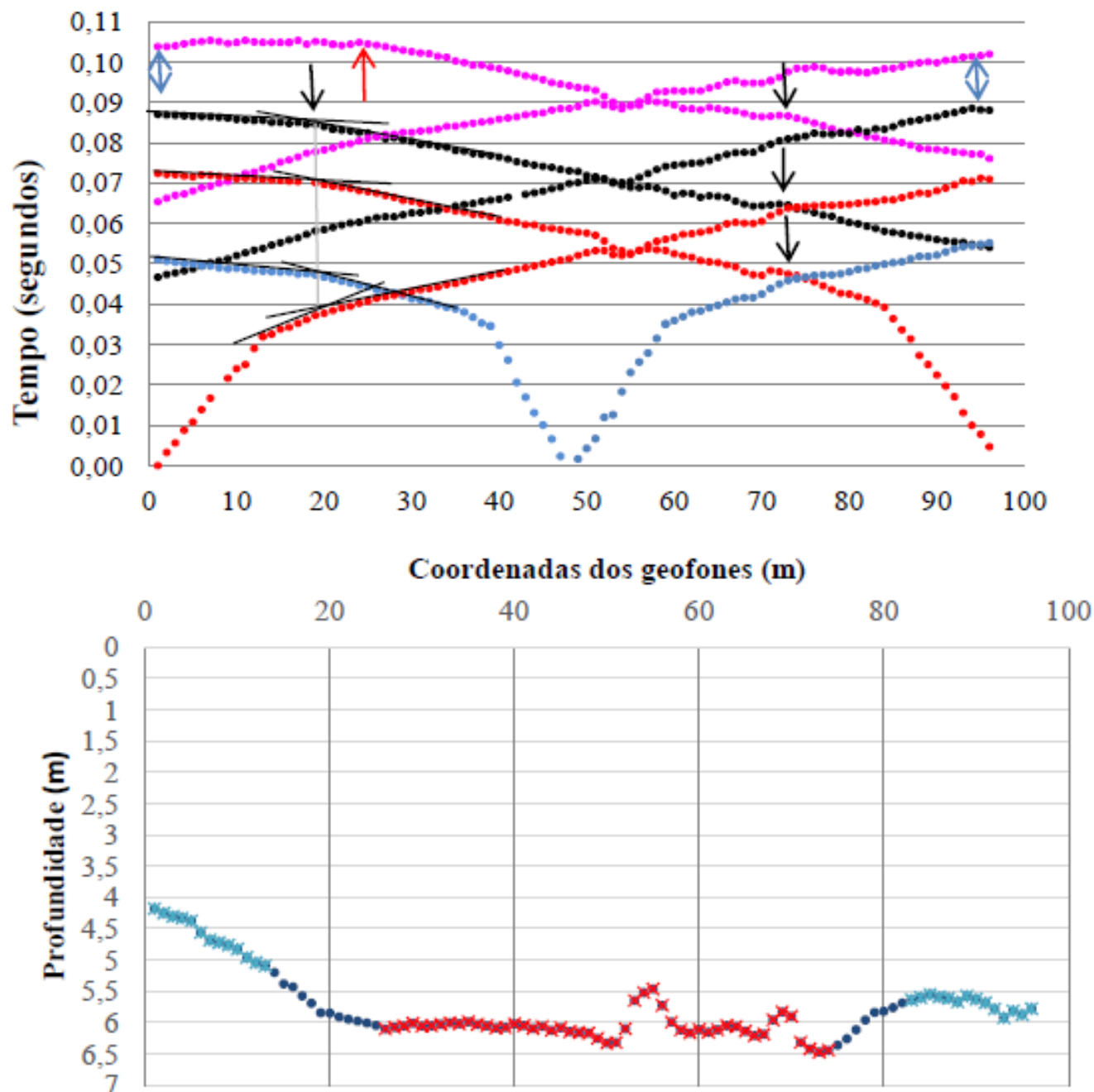
# Efeito de superfície e interfaces irregulares nas curvas de tempo-distância da refração



# Aperfeiçoando a interpretação: como calcular interfaces irregulares

Com dois tiros em sentidos opostos é possível resolver se a camada é plana ou inclinada, mas para interpretar e calcular corretamente camadas irregulares são necessários mais tiros.

O método para essa interpretação é apresentado na disciplina: **AGG0232 - Sísmica I**



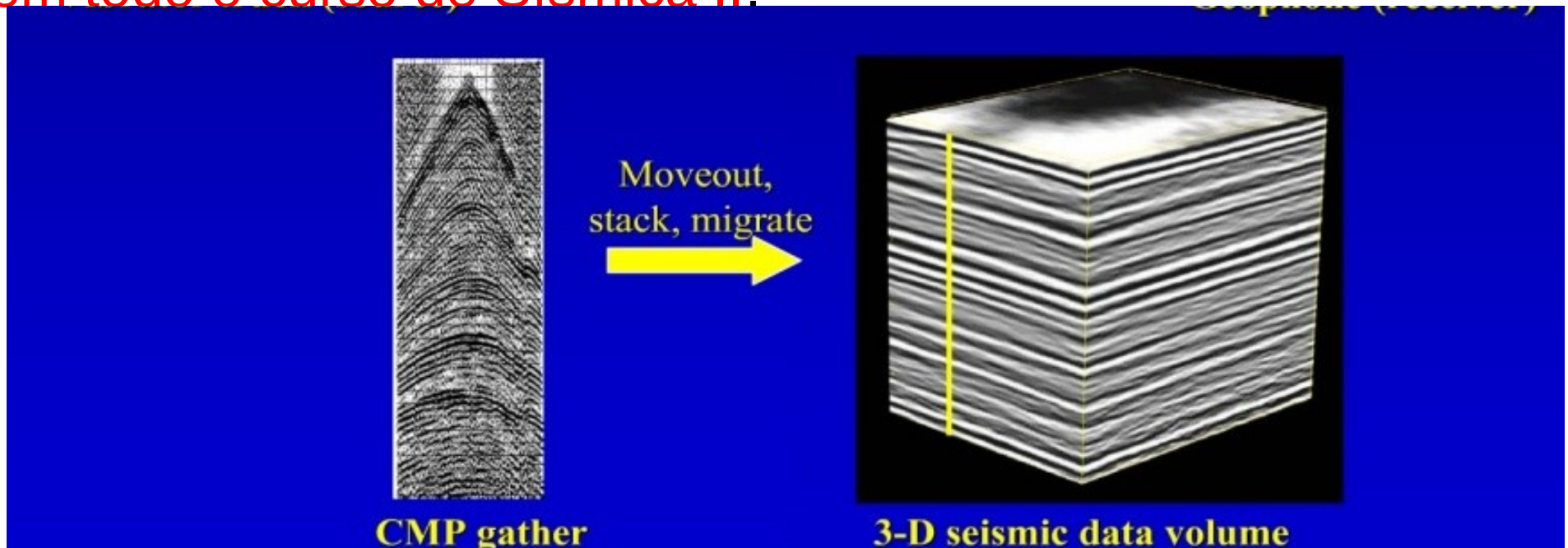
Extraído do Trabalho de Graduação de Daniella M. G. Ruiz, defendido em 2014

# O Método Sísmico de Reflexão

O Método de reflexão requer um volume de dados bem maior do que o método de refração e procedimentos de aquisição de dados no campo também bem diferentes.

E após a realização de uma sequência de processamento específico, pode-se obter a partir dos sismogramas de campo uma imagem representativa das estruturas geológicas em subsuperfície.

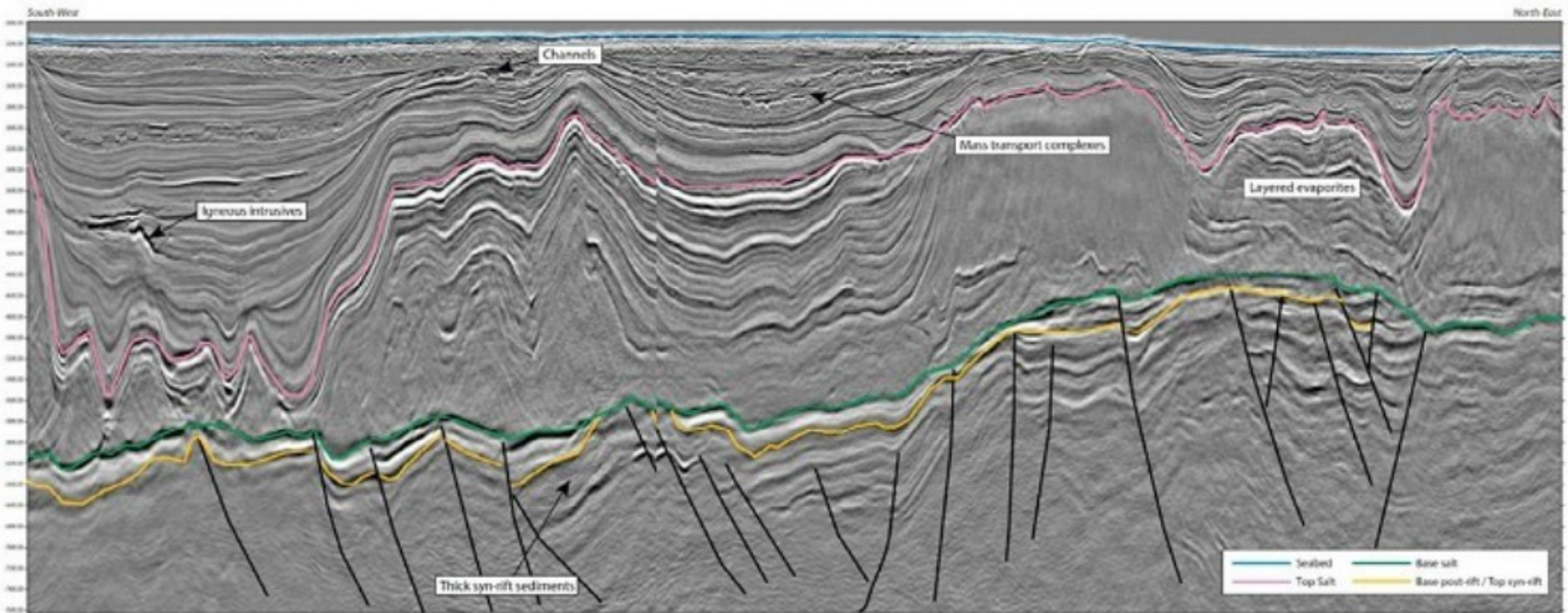
Esse assunto é abordado desde o final do curso de Sísmica I e em todo o curso de Sísmica II.





# Seção Sísmica 2D obtida pelo Método de Reflexão

É possível interpretar estruturas geológicas complexas: sistemas de falhas, diversos horizontes irregulares, sinclinais, anticlinais, etc.



74 GEO Educ. (2019) 20(1)

Seção sísmica região VI-B – Fonte: Emp. Imagem obtida do Boletim 108/2019 da SBGF – Projeto Santos Fase 2 – <https://sbgf.org.br/noticias/2018/08/21/693/>