

Vamos ver agora as equações de tempo de percurso para o caso de uma camada única com interface inclinada. Antes, porém, vamos recordar o conceito de velocidade aparente (a que se mede no gráfico *tempo x distância*) para camada plana.

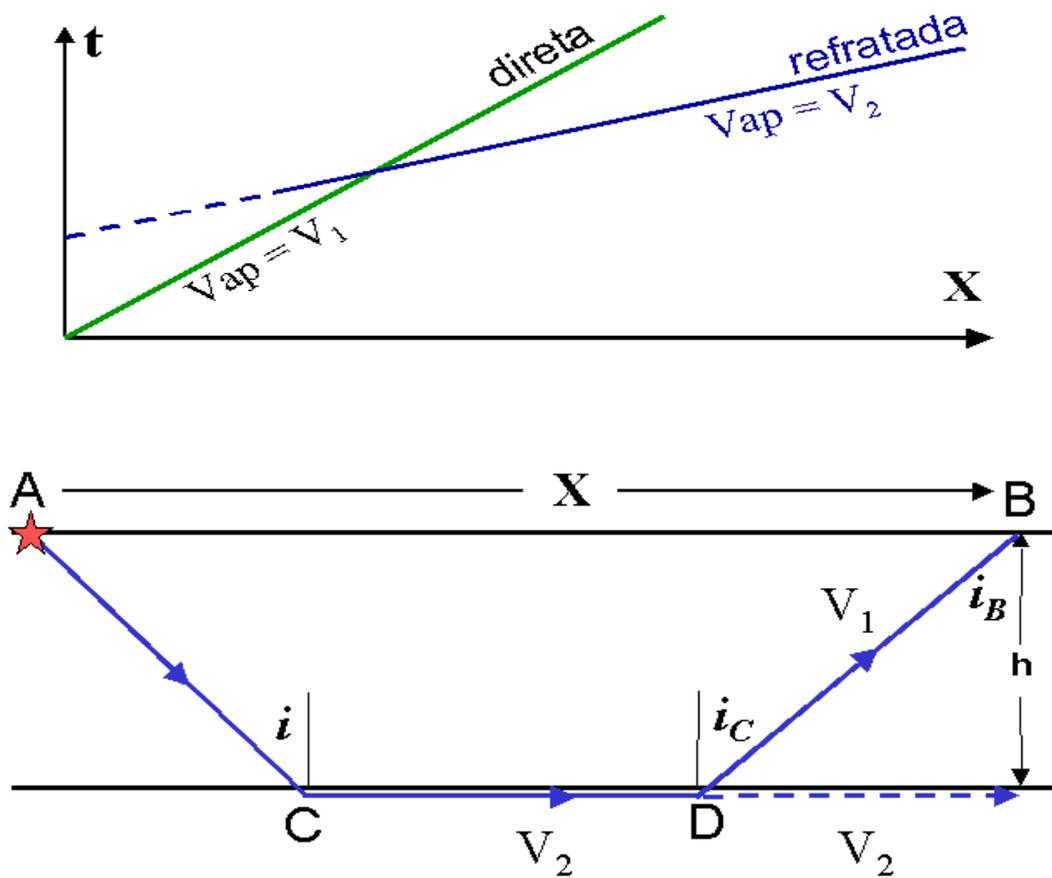


Fig. 1

A Lei de Snell no ponto de refração "D" fornece o ângulo crítico:  $\text{sen } i_C = V_1/V_2$ . A velocidade aparente no ponto "B" é dada por  $V_{ap} = V_1/\text{sen } i_B$ . Como a interface é paralela à superfície,  $i_B = i_C$ . Daí se vê que  $V_{ap}$  (medida do gráfico  $t \times X$ ) =  $V_2$  (vel. real na camada refratora). Agora vamos ver o que acontece quando a camada refratora é inclinada.

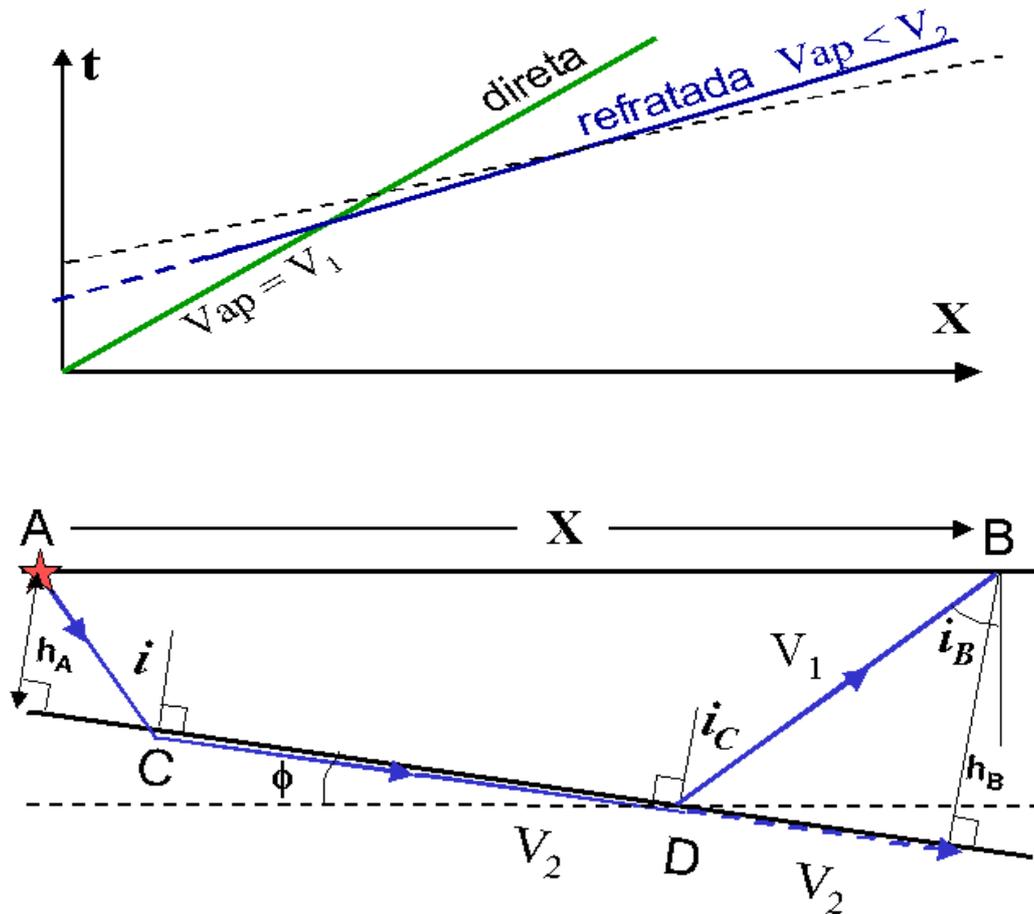


Fig. 2

O ângulo crítico no ponto de refração "D" continua sendo dado pela lei de Snell:

$$\text{sen } i_C = V_1/V_2$$

Note que o ângulo crítico  $i_C$  é medido entre o raio sísmico e a perpendicular à interface (que não é mais a vertical!). Porém, quando o refrator tem uma inclinação de  $\phi$  (o ângulo de inclinação, ou "mergulho" da camada, é medido com relação à horizontal), a onda refratada chega na superfície com um ângulo  $i_B$  diferente de  $i_C$ !

## Exercícios

1) Veja qual a relação entre os ângulos  $i_B$ ,  $i_C$  e  $\varphi$ . Mostre que a velocidade aparente medida no ponto "B" será menor do que  $V_2$ .

O tempo da onda refratada no percurso "ACDB" é dado por

$$t = \frac{X}{V_{ap}} + \frac{2h_A \cos i_C}{V_1} \quad [\text{eq. 1}]$$

Note que no caso de camada inclinada a definição da espessura  $h_A$  é pela perpendicular à camada, e não na vertical ! Na equação acima, a  $V_{ap}$  é dada por

$$V_{ap} = \frac{V_1}{\text{sen}(i_C + \varphi)} \quad V_{ap} < V_2 \quad [\text{eq. 2}]$$

Esta velocidade aparente é a que se mede quando a refração está descendo, ou seja, no sentido "para baixo". Pode-se entender que a velocidade aparente seja menor do que a velocidade real  $V_2$  da seguinte maneira: se a camada fosse horizontal, o tempo seria o da reta tracejada na Fig. 2. Quando o refrator está inclinado, à medida que a distância de registro  $X$  aumenta, mais a onda refratada tem que descer e maior será o atraso na camada 1 para voltar à superfície. Por isso, os tempos de percurso vão ficando cada vez maiores do que a linha tracejada (tempos mais atrasados, e portanto menor a velocidade aparente). **Este conceito é importante, procure entendê-lo bem !!!!!**

2) Deduza, por analogia, a equação da onda refratada no sentido inverso, de B para A, i.e., subindo pelo refrator.

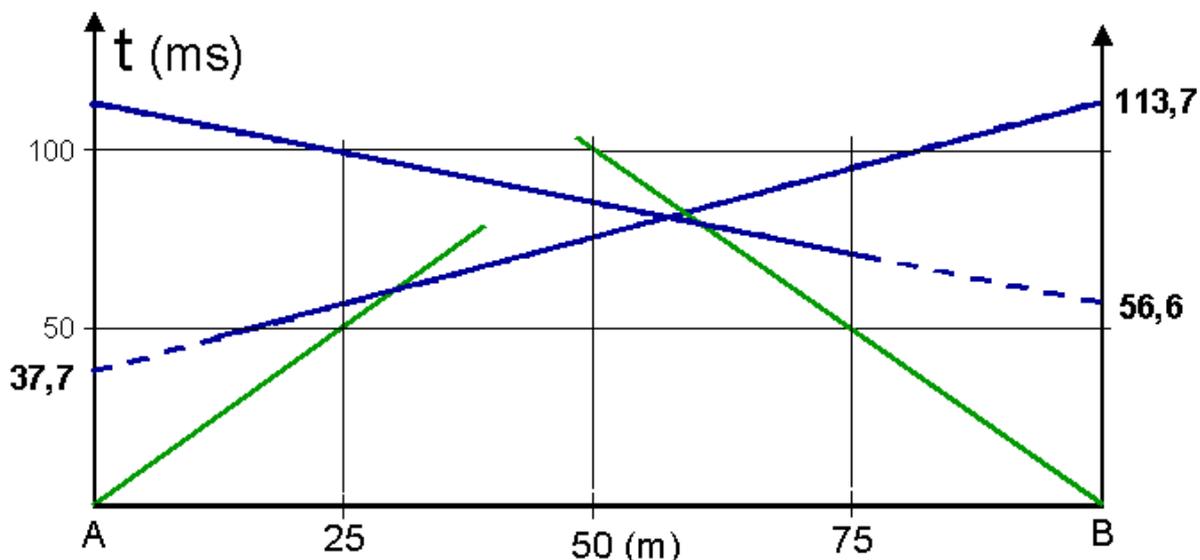
Em refração sísmica é sempre importante registrar tiros diretos e reversos para se poder determinar as inclinações das camadas. Fazendo-se-se dois tiros (um direto de A-> B e outro reverso de B-> A), medem-se as velocidades aparentes nos dois sentidos. A velocidade maior será a vel. aparente de "subida", e a menor a de "descida". Sabendo-se a velocidade da camada 1 (pelo tiro direto), pode-se determinar a ângulo crítico  $i_C$ , e o mergulho da camada,  $\phi$ :

$$i_C = \frac{1}{2} \left\{ \text{sen}^{-1} \left( \frac{V_1}{V_{desc}} \right) + \text{sen}^{-1} \left( \frac{V_1}{V_{sub}} \right) \right\} \quad [\text{eqs. 3,4}]$$

$$\phi = \frac{1}{2} \left\{ \text{sen}^{-1} \left( \frac{V_1}{V_{desc}} \right) - \text{sen}^{-1} \left( \frac{V_1}{V_{sub}} \right) \right\}$$

3) Deduza as equações acima, a partir da eq. 2 e da eq. deduzida no exercício 2.

4) O gráfico abaixo mostra os tempos de percurso de uma aquisição de refração rasa entre dois tiros A e B distantes 100m um do outro. Interprete os dados.



- Determine a velocidade do solo (confira se é a mesma nos dois tiros!)
- Determine as duas velocidades aparentes
- Use as equações 3 e 4 para determinar o ângulo crítico ( $i_C$ ) e o mergulho da camada ( $\phi$ ). Diga para que lado a camada mergulha.
- Tendo o valor de  $i_C$ , determine o valor da velocidade do refrator.
- Use o termo constante da equação 1 para determinar as espessuras da camada 1 sob o ponto A e sob o ponto B.
- Sabendo-se as duas espessuras,  $h_A$  e  $h_B$ , e a distância  $AB = 100\text{m}$ , confirme o valor do mergulho calculando-o geometricamente.

5) A velocidade real do refrator ( $V_2$ ) é aproximadamente a média entre as velocidades aparentes, para inclinações pequenas. Suponha um caso em que  $V_1 = 1000\text{m/s}$  (solo bem firme e compactado) e  $V_2 = 2000\text{m/s}$  (rocha sedimentar dura).

- Para uma inclinação de  $20^\circ$ , calcule as duas velocidades aparentes. Estime aproximadamente a velocidade do refrator ( $V_2$ ) por dois métodos:
  - Média das velocidades aparentes, e
  - Média dos inversos:  $1/V_2 = (1/V_{\text{sub}} + 1/V_{\text{desc}})/2$ . Determine o erro porcentual em relação ao valor verdadeiro de  $V_2 = 2000\text{m/s}$
- Repita para uma inclinação de  $10^\circ$ .