

Sísmica de Reflexão

Introdução

- Técnica geofísica mais utilizada
 - Investimento exacerbadamente alto devido à indústria de petróleo
- Revela estruturas
 - Escala variando das primeiras dezenas de metros até toda a litosfera
- Parte do sucesso consiste no fato de o processamento de dados brutos produzem uma seção sísmica
 - Imagem da estrutura de subsuperfície
 - Similar, mas fundamentalmente diferente de uma seção geológica em profundidade

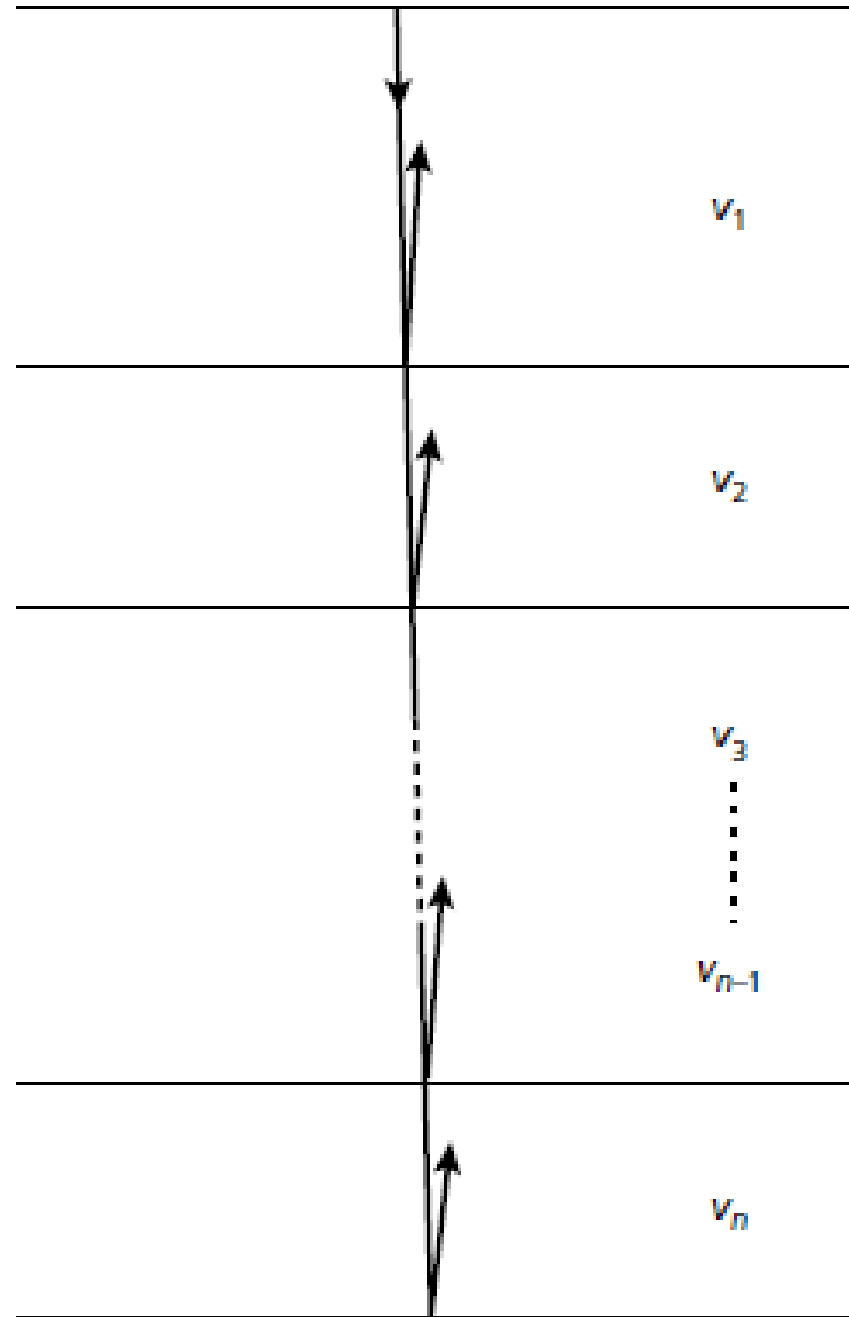
Aplicações

- Principal: hc e estrutura crustal (profundidade de vários km)
- Outras: aplicações rasas (até 200 m; engenharia e ambiental)
 - Mapeamento depósitos quaternários
 - Vales rochosos enterrados / falhas rasas
 - Estudos hidrogeológicos de aquíferos
 - Exploração de depósitos rasos de carvão
 - Investigação de solo pré–construção para:
 - tubos, canos, cabos, esgotos
 - fazenda de ventos offshore

Geometria dos Raios Refletidos

- Pulsos de energia são refletidos pela subsuperfície e adquiridos a uma incidência “quase normal” na superfície
- São medidos os tempos de chegada e estes podem ser convertidos em estimativas das profundidades das interfaces.
- Geralmente adquiridos em sequências sedimentares.
 - Velocidade varia como função da profundidade
 - Variações horizontais da velocidade ignoradas em uma primeira aproximação

- Figura ao lado mostra um simples modelo de camadas horizontais sendo percorrido por um raio sísmico.
- Cada camada possui uma *velocidade intervalar* v_i .
 - Pode ser a velocidade uniforme dentro de uma unidade geológica homogênea
 - Ou a média da velocidade dentro de um intervalo de profundidade contendo mais de uma unidade.



- Se z_i é a espessura do intervalo considerado e τ_i o tempo de ida de um raio através desse intervalo, a velocidade intervalar é $v_i = z_i / \tau_i$
- Pode ser calculada a média da velocidade intervalar sobre vários intervalos de profundidade para resultar em uma *velocidade média* \bar{V} que, para n camadas, é dada por

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n z_i}{\sum_{i=1}^n \tau_i} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i \tau_i}{\sum_{i=1}^n \tau_i}$$

- Ou, se Z_n é a largura total e T_n o tempo total de ida através das n camadas

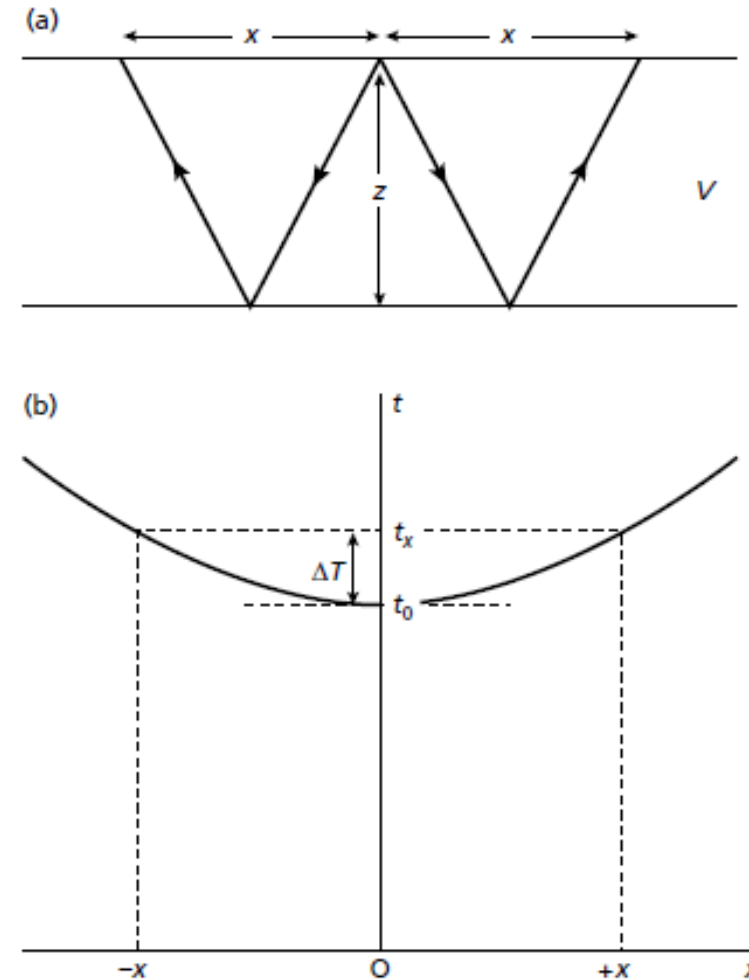
$$\bar{V} = \frac{Z_n}{T_n}$$

Refletor Horizontal Simples

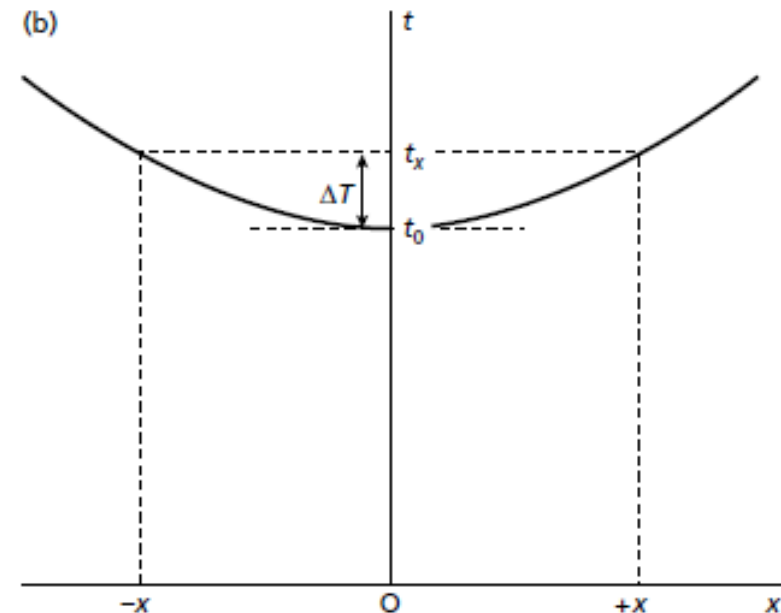
- Seja x a distância entre a fonte e o receptor, z a profundidade do refletor e V a velocidade da camada na qual viaja a onda, o tempo t de ida e volta da onda é dado por

$$t = \frac{(x^2 + 4z^2)^{1/2}}{V}$$

- Para vários receptores, o gráfico obtido é similar à hipérbole da figura (b) ao lado e é possível obter os valores desconhecidos de z e V .



- Substituindo $x = 0$ em $t = \frac{(x^2 + 4z^2)^{1/2}}{V}$ obtém-se $t_0 = \frac{2z}{V}$, que é o tempo de trânsito (ida e volta) de um raio verticalmente refletido.
- Este é o tempo no qual a hipérbole intercepta a curva tempo-distância (abaixo)



- A equação $t = \frac{(x^2 + 4z^2)^{1/2}}{V}$ pode ser reescrita como

$$t^2 = \frac{4z^2}{V^2} + \frac{x^2}{V^2} \rightarrow t^2 = t_0^2 + \frac{x^2}{V^2}$$

- Se escolhermos 2 pontos quaisquer de um gráfico $t - x$ obtido em um levantamento, podemos obter z e V fazendo

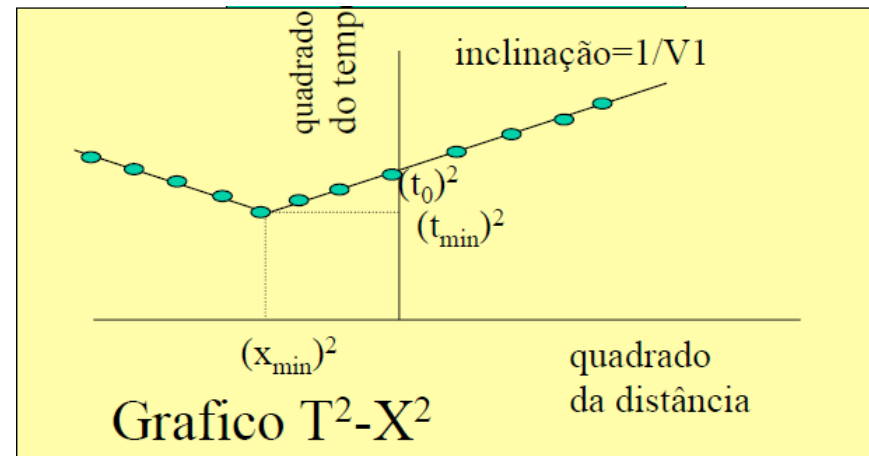
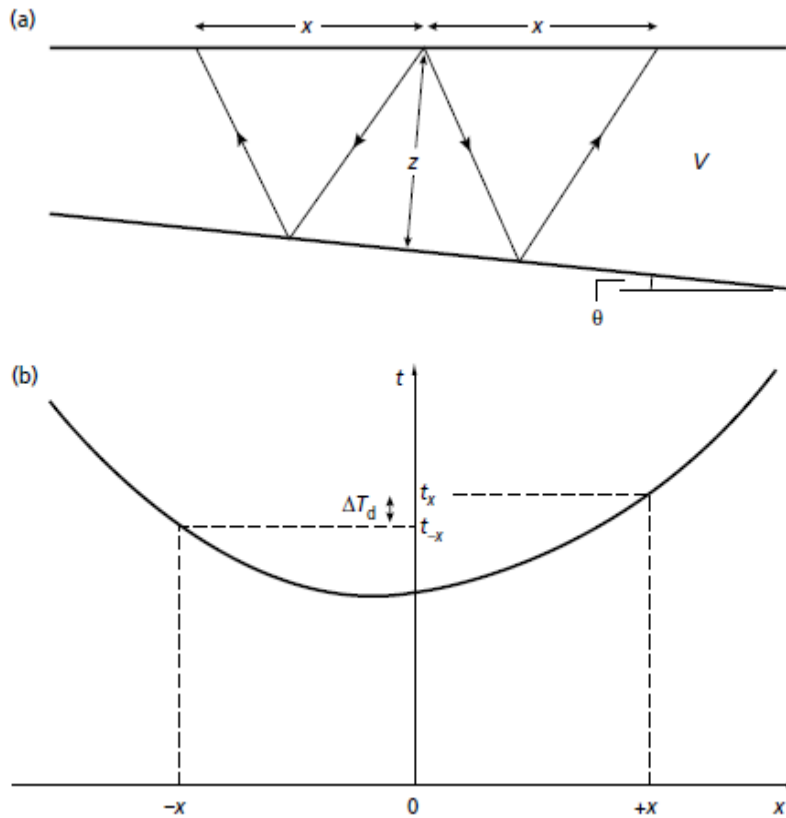
$$- t_0^2 = t_1^2 - \frac{x_1^2}{V^2} = t_2^2 - \frac{x_2^2}{V^2} \rightarrow V = \sqrt{\frac{x_2^2 - x_1^2}{t_2^2 - t_1^2}}$$

$$- \text{e } z = \frac{t_0 \cdot V}{2}$$

- Método deveras ineficiente

- Voltando a $t^2 = t_0^2 + \frac{x^2}{V^2}$, uma forma mais simples de se determinar a velocidade V é criar o gráfico $t^2 - x^2$
 - a inclinação da reta (coeficiente angular) equivalerá à $1/V^2$.
 - onde a reta intercepta o eixo vertical (coeficiente linear) equivalerá à t_0^2 .
- Na prática, esse método é insatisfatório
 - Valores de x possíveis é restrito
 - Ajuste da reta tem incerteza grande

Refletor Inclinado

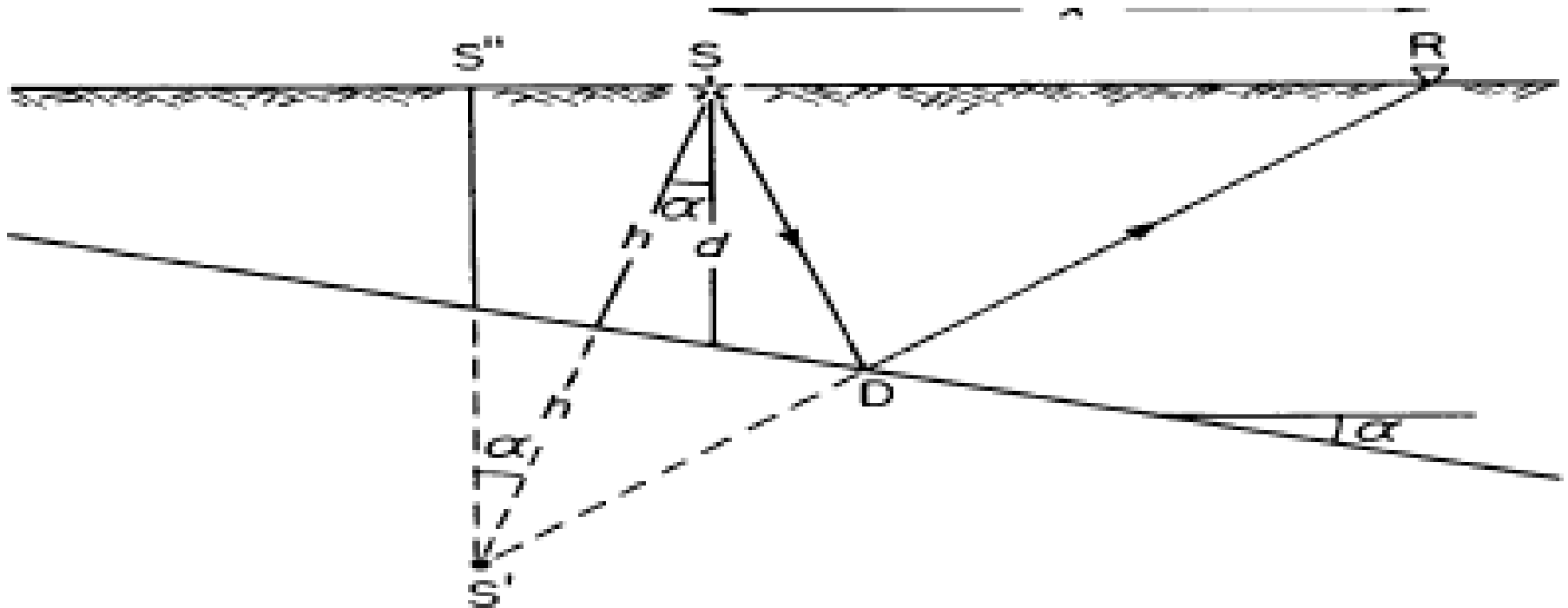


Inclinação $\rightarrow 1 / V^2$

$$\cos \alpha = t_{min} / t_0$$

$$h = x_{min} / 2 \sin \alpha$$

$$d = h / \cos \alpha = h \left(t_0 / t_{min} \right)$$



normal moveout

- Podemos reescrever

$$t^2 = \frac{4z^2}{V^2} + \frac{x^2}{V^2} \rightarrow t = t_0 \left[1 + \left(\frac{x}{Vt_0} \right)^2 \right]^{1/2}$$

- Esta forma é útil pois mostra claramente que o tempo de trânsito em qualquer *offset* x será o tempo de trânsito vertical mais uma quantidade adicional que aumenta à medida que x aumenta.
- Fazendo expansão binomial e truncando no 1º termo (pois $x \ll z$), podemos reescrever

$$t \approx t_0 + \frac{x^2}{2V^2 t_0}$$

- Esta é a forma mais extensivamente utilizada no processamento e interpretação de dados de sísmica de reflexão.

- **Sobretempo** (*Moveout*) é definido como a diferença entre tempos de trânsito t_1 e t_2 em dois receptores x_1 e x_2 , tal que

$$t_2 - t_1 \approx \frac{x_2^2 - x_1^2}{2V^2 t_0}$$

- **Sobretempo normal** (*Normal moveout* – NMO) a uma distância x é a diferença no tempo de trânsito ΔT entre uma chegada refletida em x e a chegada no *offset* zero, tal que

$$\Delta T = t_x - t_0 \approx \frac{x^2}{2V^2 t_0}$$

- O conceito de NMO é fundamental para o reconhecimento, correlação e melhorias dos eventos de reflexão, assim como para o cálculo de velocidades.
- Na análise $T - \Delta T$, rearranjando

$$\Delta T = t_x - t_0 \approx \frac{x^2}{2V^2 t_0}$$

temos

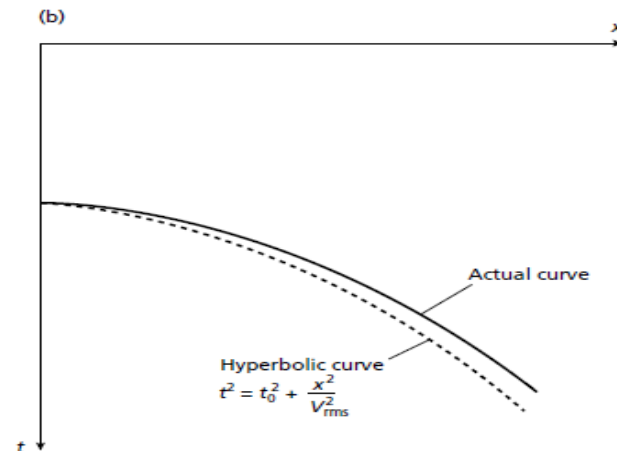
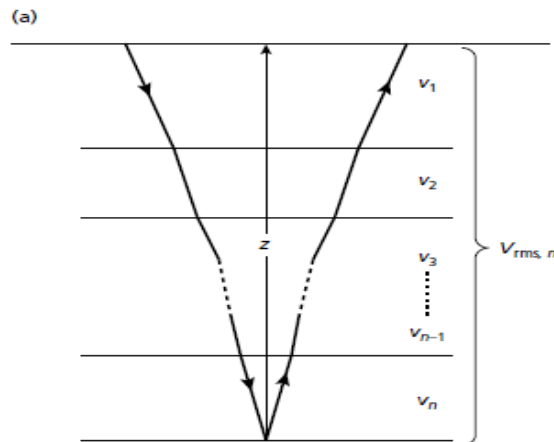
$$V = \frac{x}{(2t_0 \Delta T)^{1/2}}$$

- Note que t_0 e ΔT são oriundos do gráfico $\rightarrow V$ e então $\rightarrow z = \frac{V t_0}{2}$

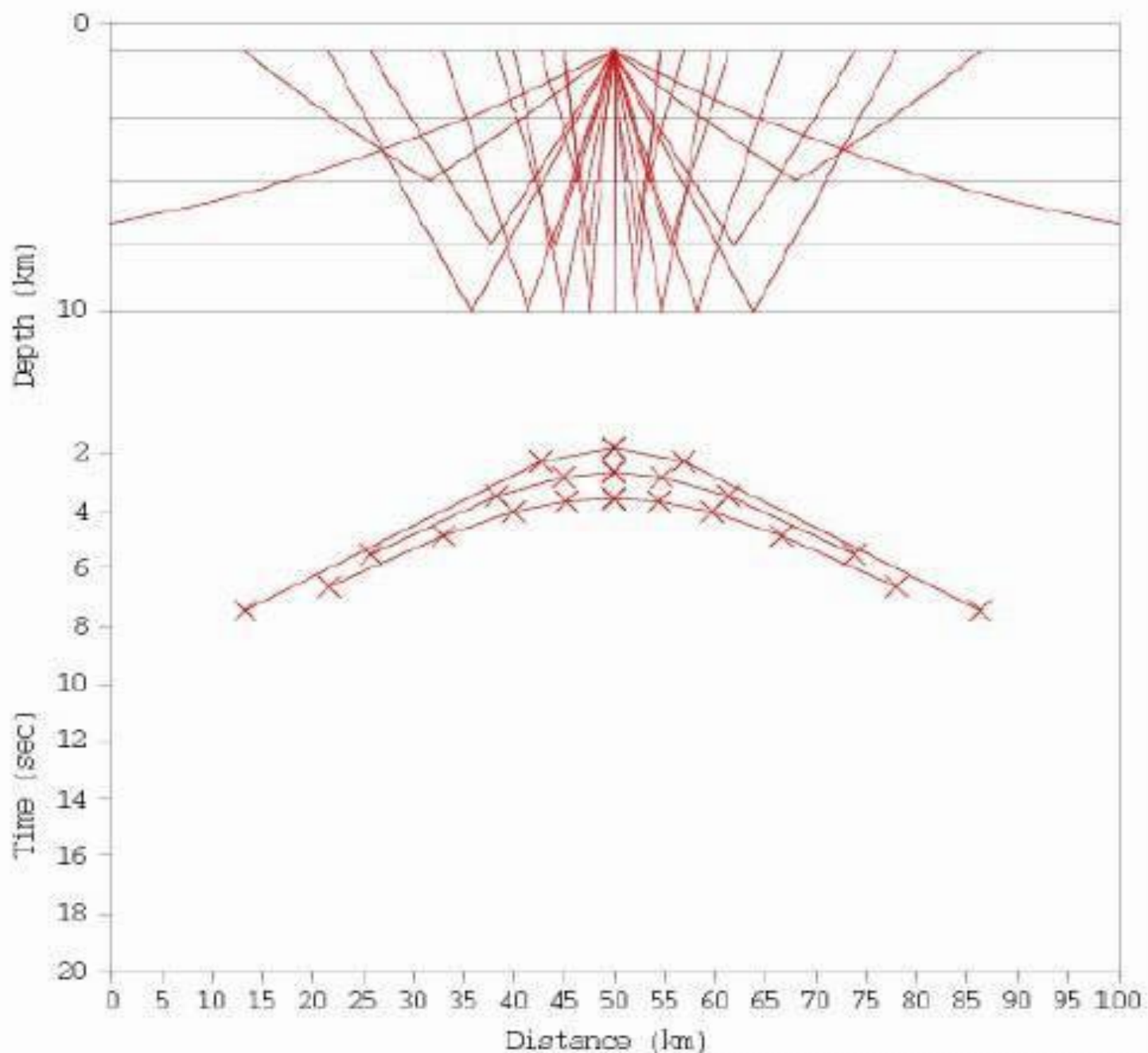
Sequência de Refletores Horizontais

- Curva não é mais hipérbole
- Velocidade média substituída pela *velocidade média quadrática* V_{rms} que, na n -ésima camada, é dada por

$$V_{rms,n} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2 \tau_i}{\sum_{i=1}^n \tau_i} \right]^{1/2}$$



Muitas Camadas: Muitas Hipérboles



- Análise do gráfico $t^2 - x^2$ resulta em V_{rms} de cada camada
- Para *offsets* pequenos ($x \ll z$), o tempo de trânsito total t_n do raio refletido na n -ésima interface à profundidade z é aproximadamente

$$t_n = \frac{(x^2 + 4z^2)^{1/2}}{V_{rms}}$$

- O NMO para o n -ésimo refletor é dado por

$$\Delta T = t_x - t_0 \approx \frac{x^2}{2V_{rms,n}^2 t_0}$$

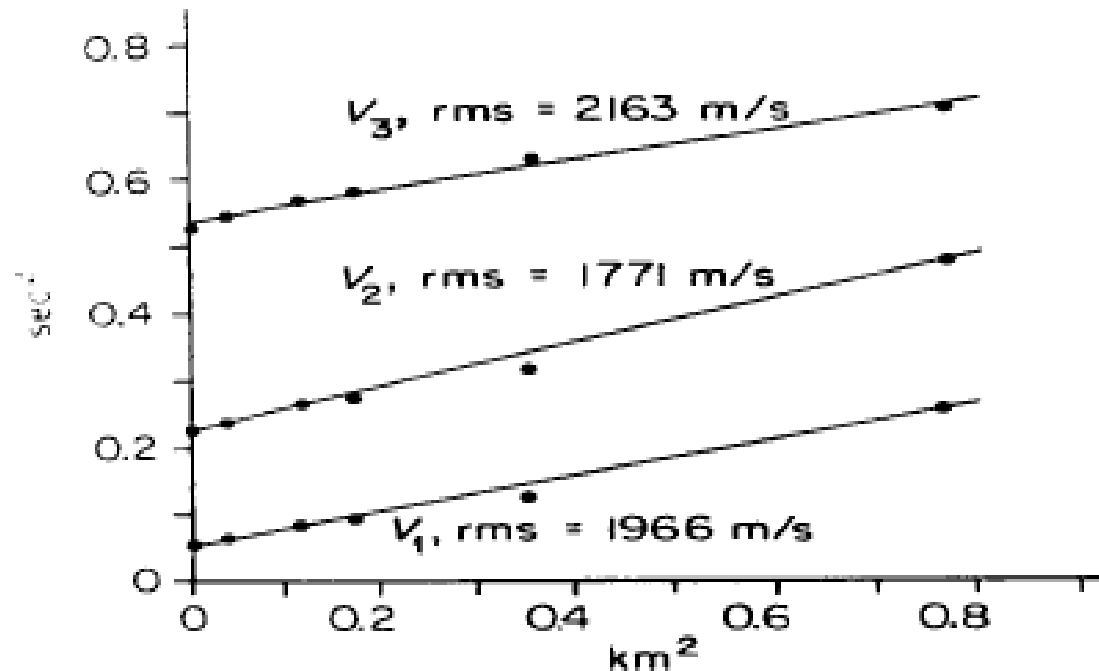
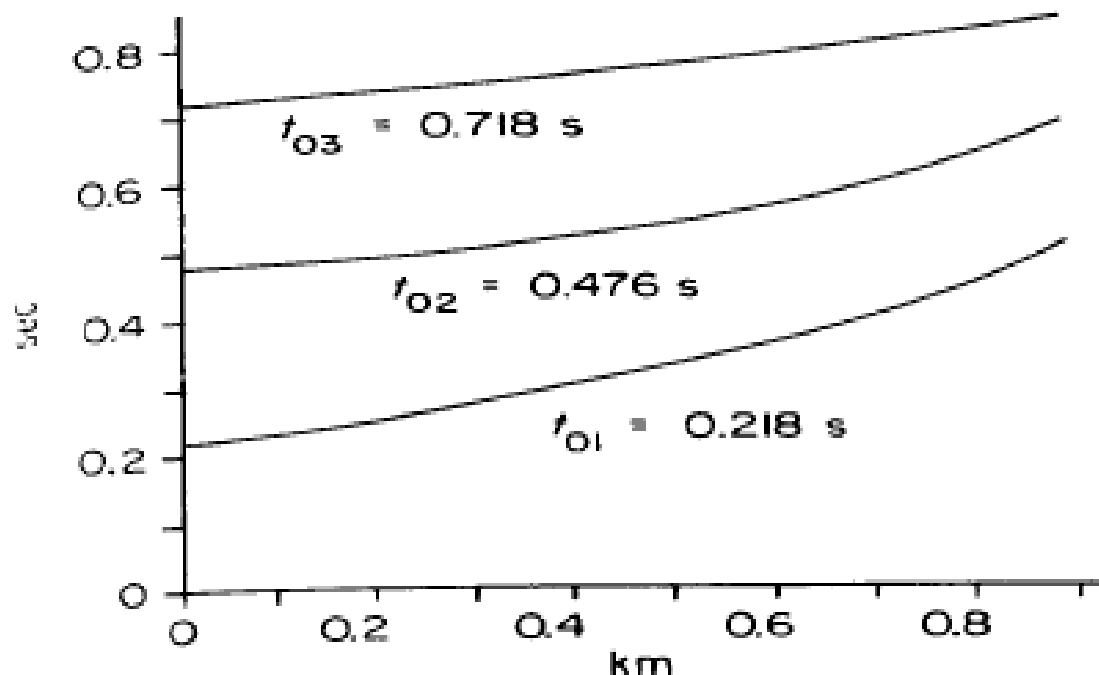
- O valor individual de NMO associado a cada evento de reflexão pode então ser usado para se obter uma velocidade média quadrática das camadas acima do refletor.
- Valores de V_{rms} de diferentes refletores podem ser utilizados para o cálculo da velocidade intervalar através da fórmula de Dix, dada por

$$v_n = \left(\frac{V_{rms,n}^2 \cdot t_n - V_{rms,n-1}^2 \cdot t_{n-1}}{t_n - t_{n-1}} \right)^{1/2}$$

$$z_n = \frac{v_n(t_{0,n} - t_{0,n-1})}{2}$$

- Na equação acima, n diz respeito ao n -ésimo refletor e $n - 1$ ao $(n-1)$ -ésimo refletor.
 - $V_{rms,1} = v_1$
 - $t_{0,0} = 0 \rightarrow$ caso $n = 1$

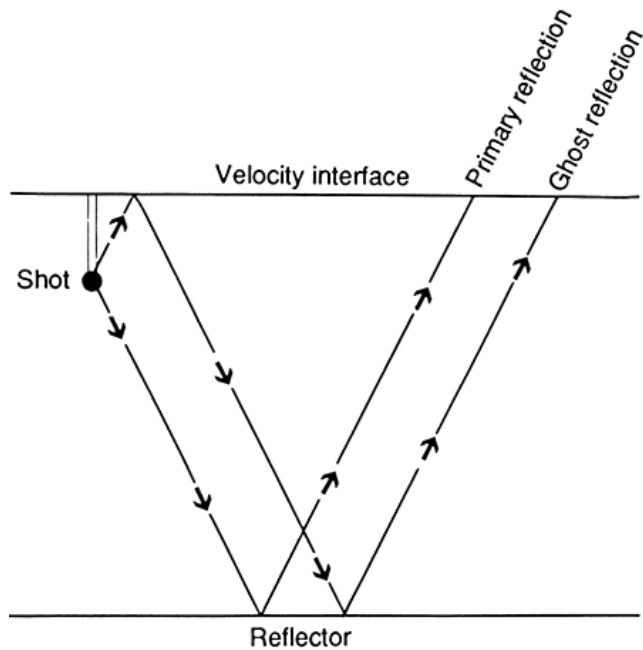
Encontre as
velocidades
intervalares e
espessuras de
cada camada
para o exemplo
ao lado



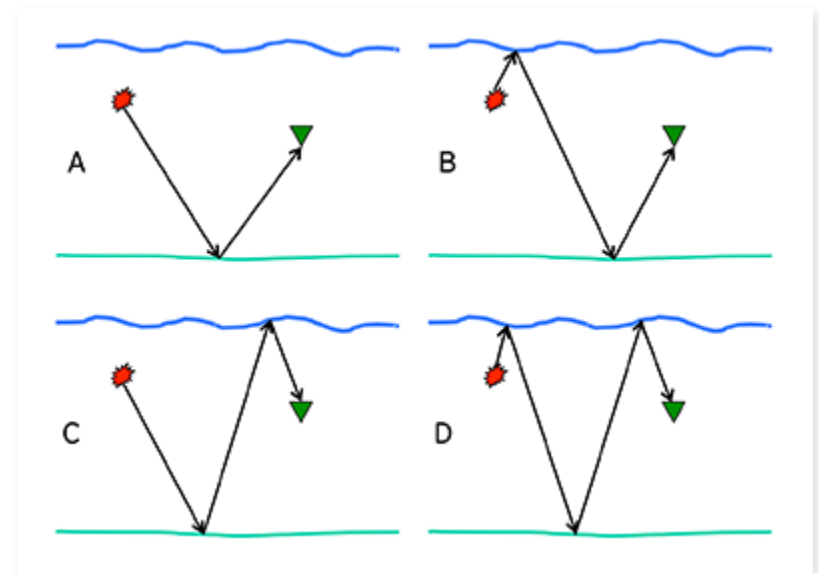
Múltiplas

- “outro caminho” que não a reflexão primária
 - Reverberações, reflexões múltiplas ou simplesmente múltiplas
 - Vários caminhos possíveis
- Menor amplitude devido à perda de energia
- Entretanto, há dois tipos de múltiplas com amplitudes comparáveis às de reflexões primárias:
 - Ghost reflections
 - Fonte enterrada
 - Water layer reverberation
 - Reverberação na lamina d’água entre o ar e o fundo oceânico

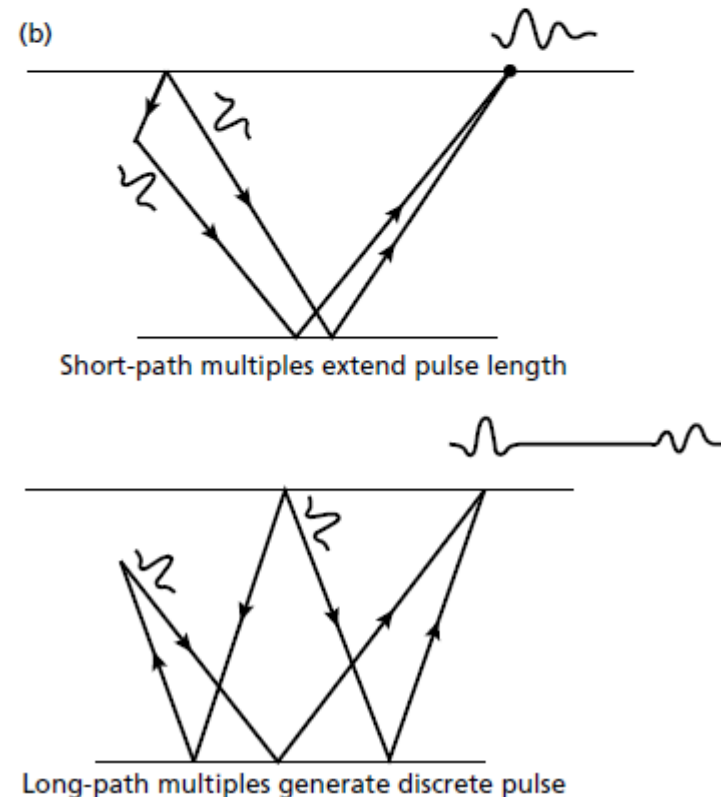
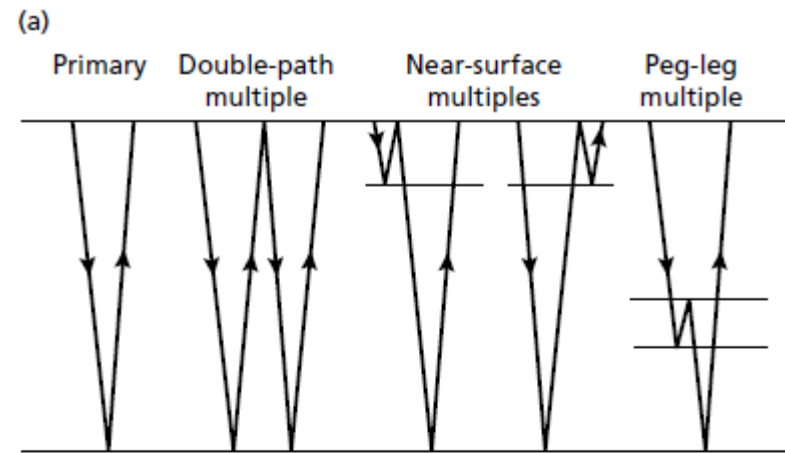
- Ghost reflections



- Water layer reverberation

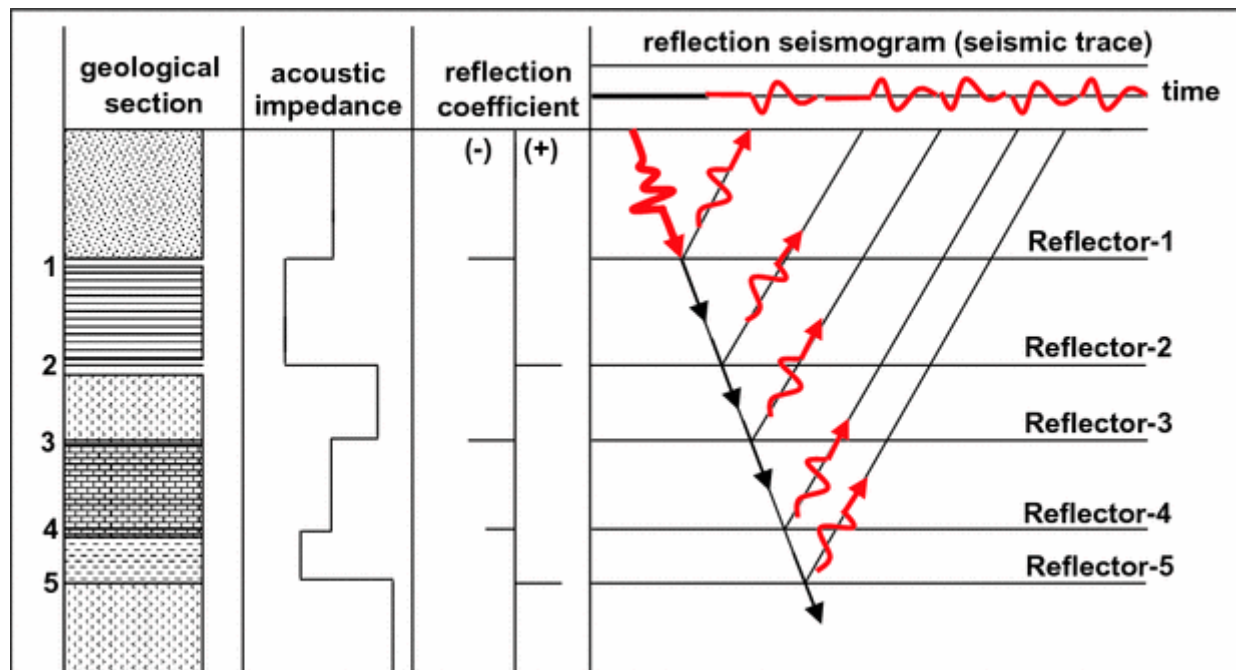


- Dois efeitos
 - Caminho curto: chegam logo após a reflexão primária
 - Apenas aumentam o tamanho total do pulso adquirido
 - Caminho longo: chegam muito tempo após a reflexão primária
 - Geram pulsos discretos
- Importante reconhecimento de múltiplas
 - Identificação de múltiplas de caminho longo como eventos primários geram sérios erros de interpretação
 - Tempos de chegadas predizíveis
 - Correspondente tempo de reflexão primária
 - Técnicas de processamento “somem” com as múltiplas



O Sismograma de Reflexão

- O *plot* do *output* de um simples detector em um espalhamento de reflexão é uma representação visual do padrão local do movimento vertical do chão (na terra – no mar, variação de pressão) em um curto intervalo de tempo após o disparo de uma fonte sísmica
- O traço sísmico representa a resposta combinada das camadas da terra e do sistema de aquisição ao pulso sísmico

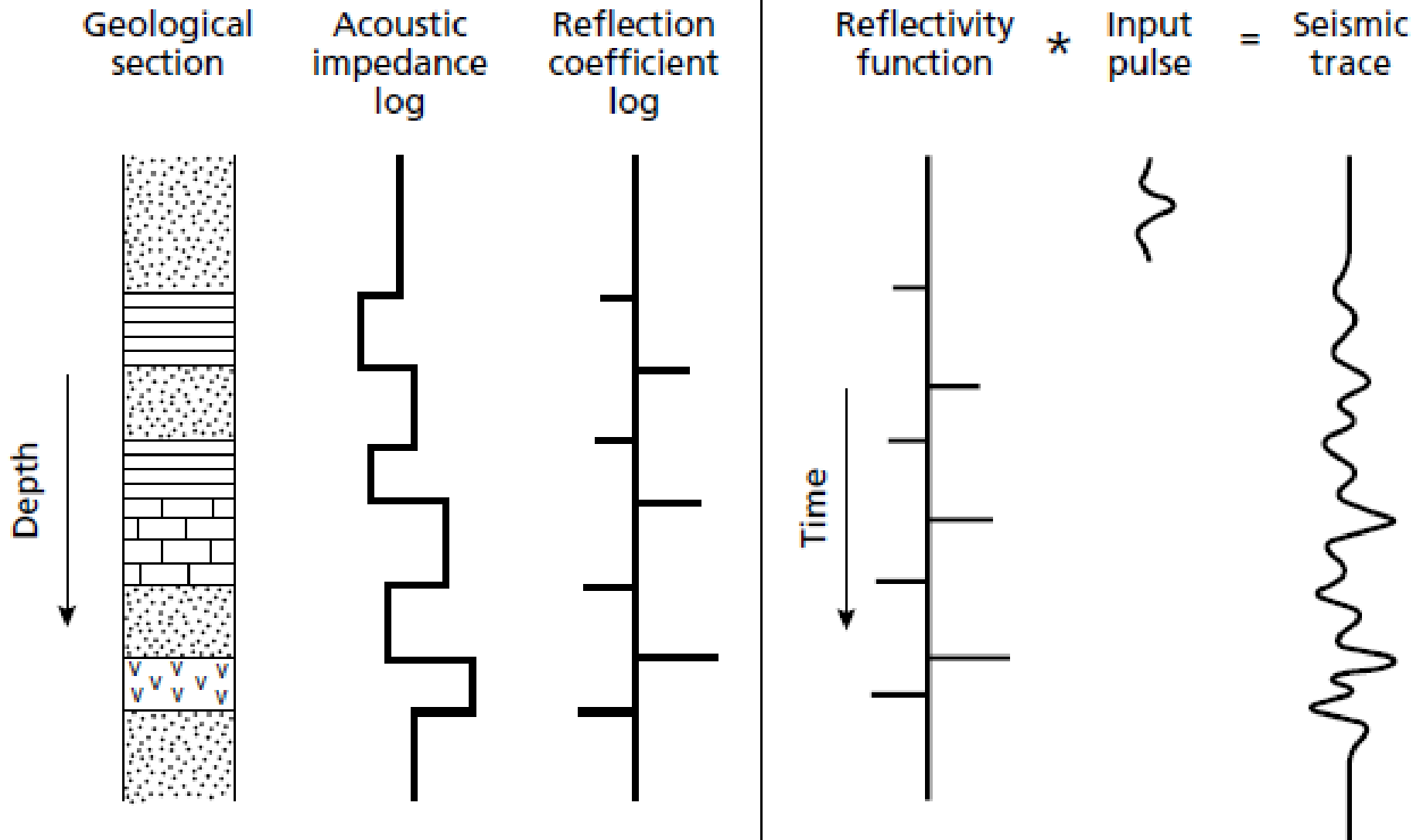


O Sismograma de Reflexão

- Um aglomerado de traços sísmicos representando a resposta de uma série de detectores à energia de um mesmo tiro é chamado de *shot gather*.
- Uma coleção de traços relacionando a resposta sísmica em um “meio-ponto” da superfície é chamado de *common mid-point gather (CMP gather)*
- A coleção de traços sísmicos para cada CMP e sua transformação para uma component de uma imagem apresentada como seção sísmica é a principal tarefa de um processador de sísmica de reflexão

O traço sísmico

- Assumindo que a forma do pulso permanece inalterada ao se propagar no meio estratigráfico, o traço sísmico resultante pode ser considerado uma convolução entre o pulso de entrada com uma série temporal conhecida como função reflectividade composta de uma série de spikes.
 - Cada spike tem uma amplitude relacionada ao coeficiente de reflexão naquela interface
- Na prática, o pulso “aumenta” de comprimento (de onda)
 - Perca de altas frequências devido à absorção



Shot gather

- Também conhecido como common shot point gather

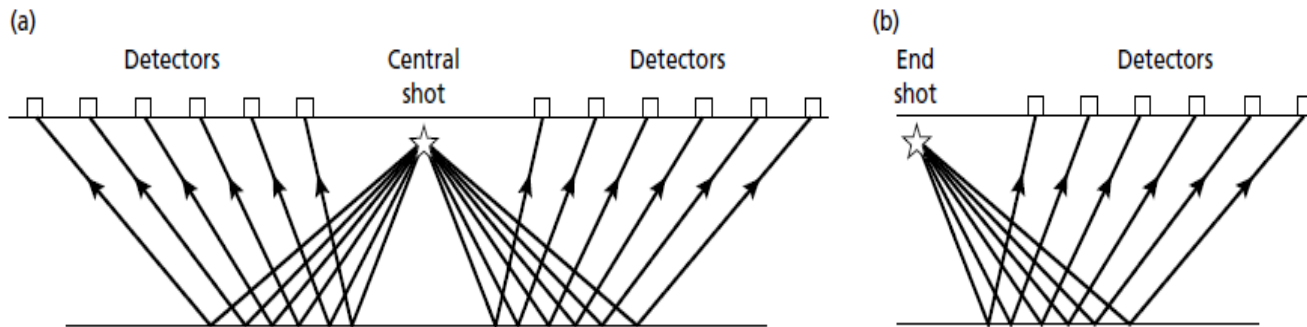
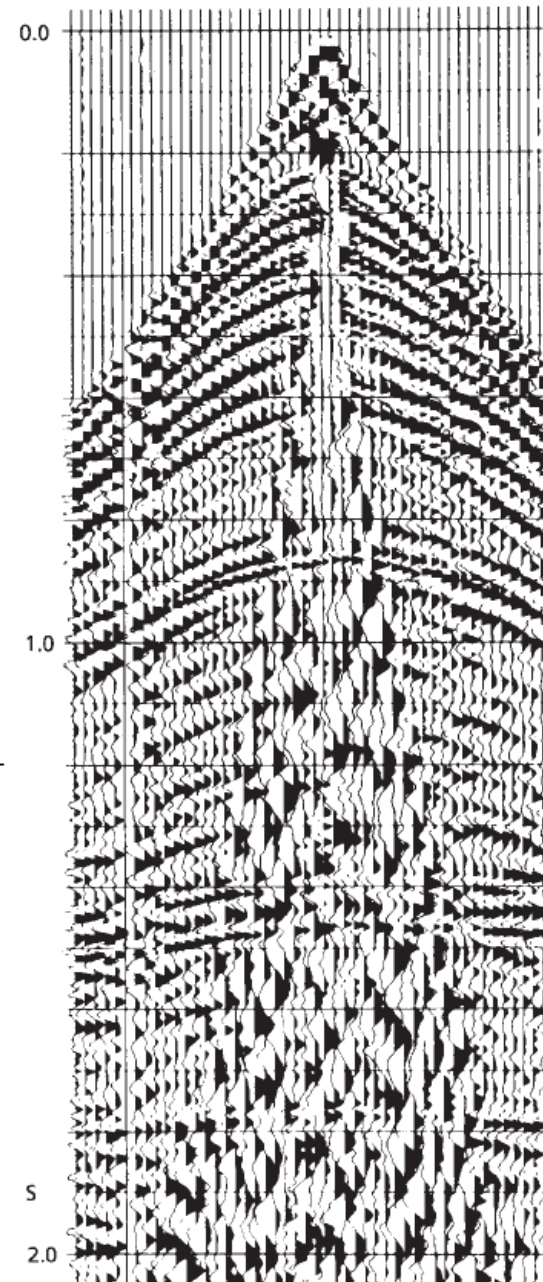
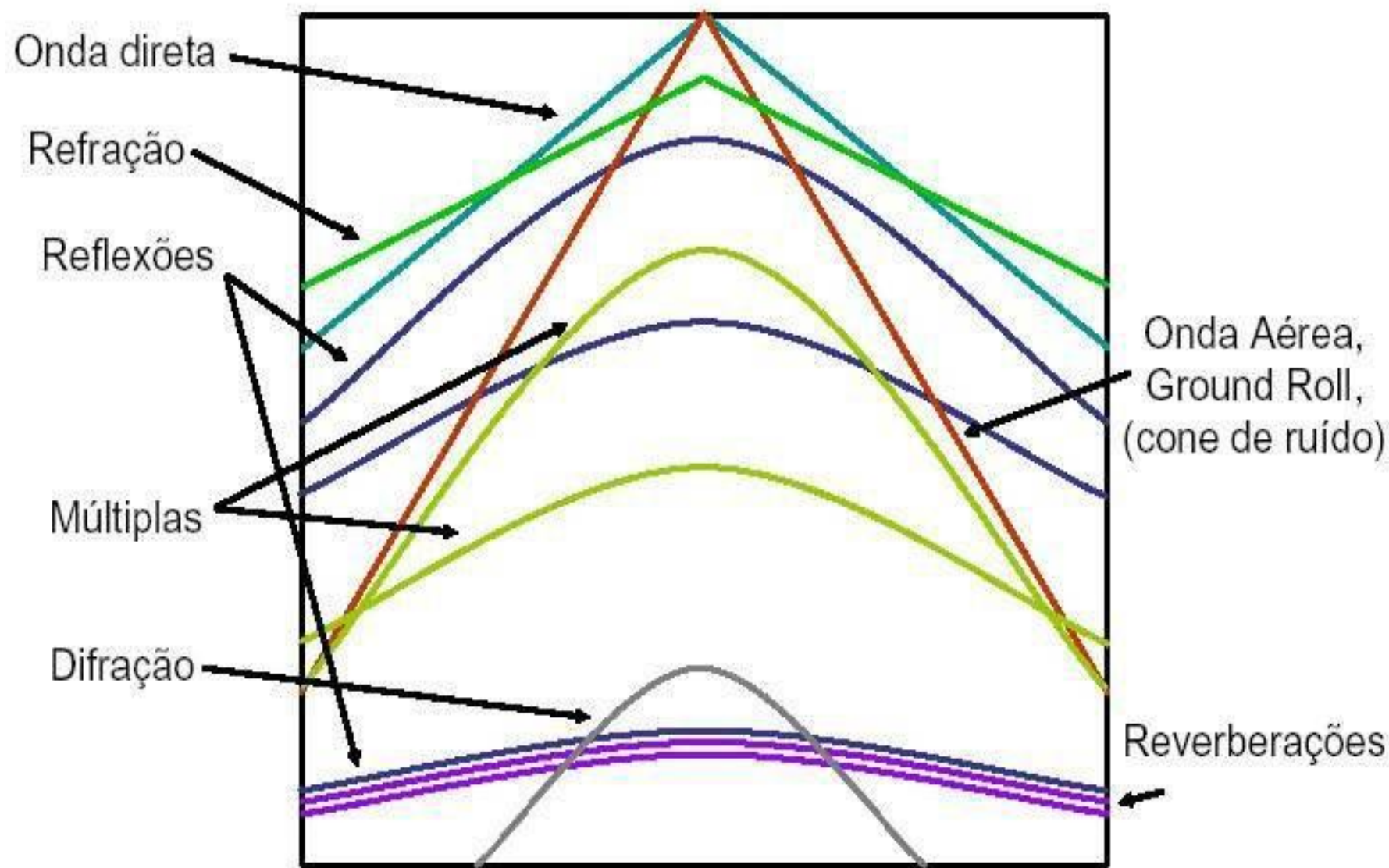
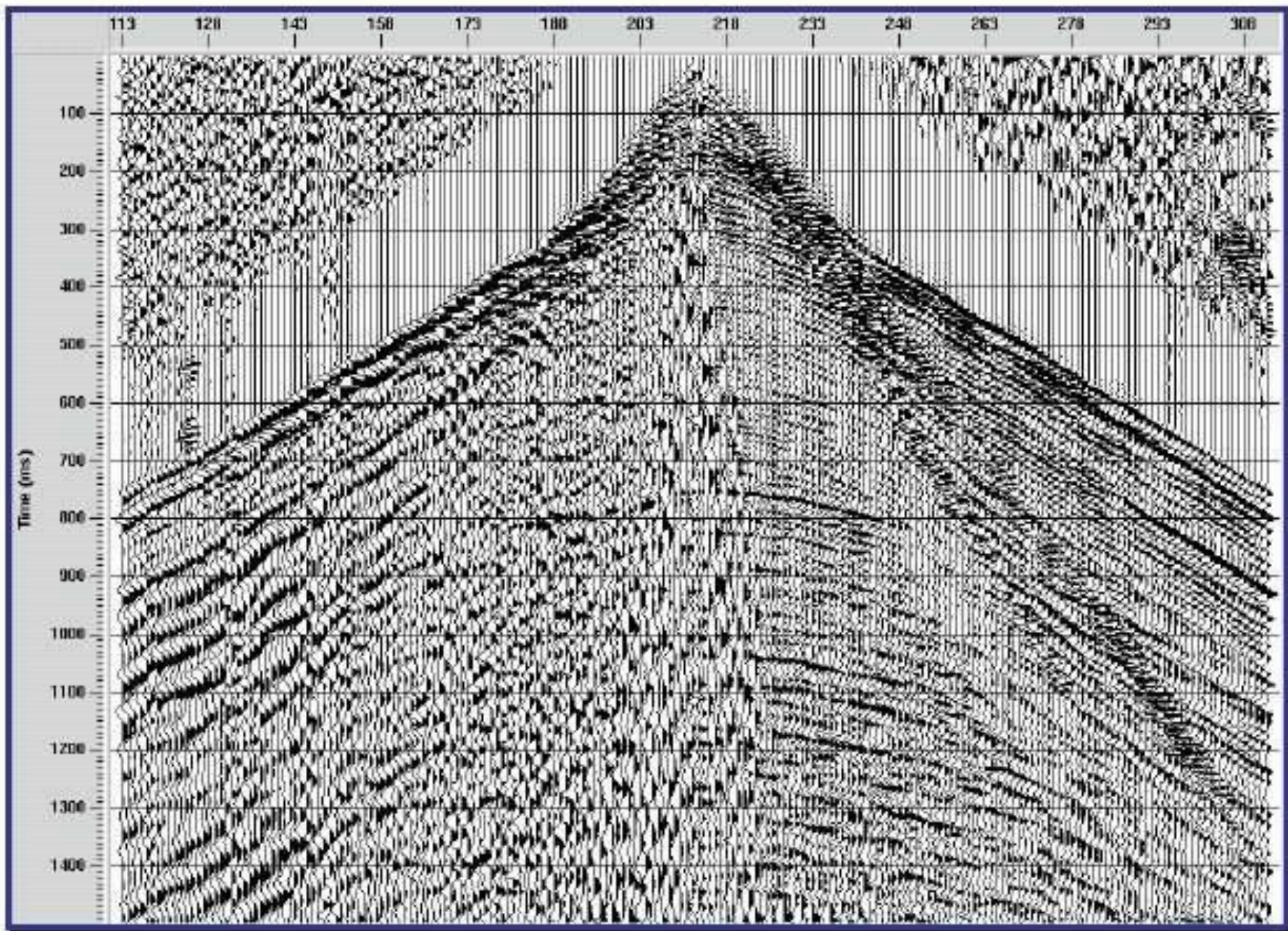


Fig. 4.7 Shot-detector configurations used in multichannel seismic reflection profiling. (a) Split spread, or straddle spread. (b) Single-ended or on-end spread.



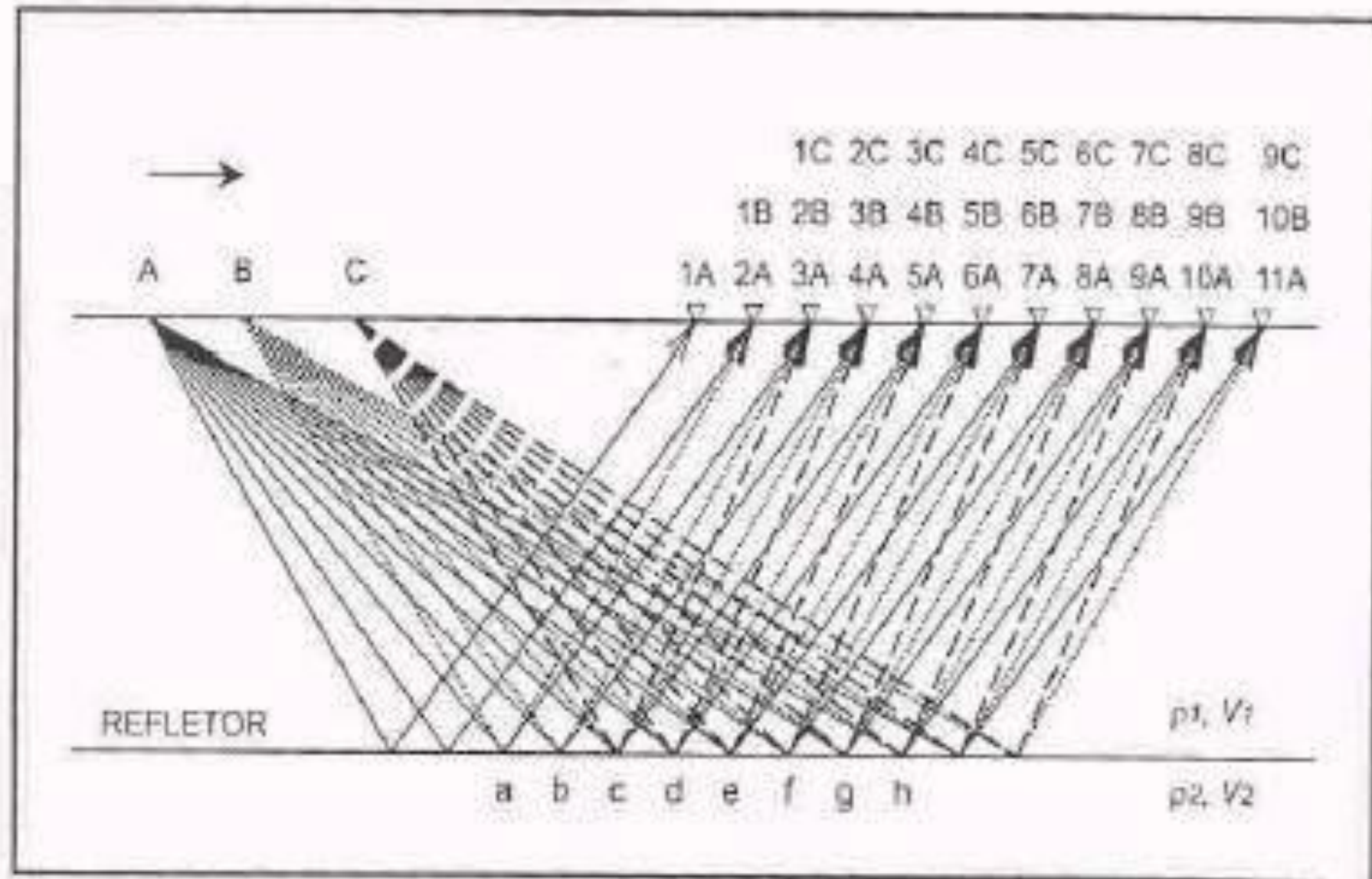
Cabe ao processamento destacar as reflexões ...





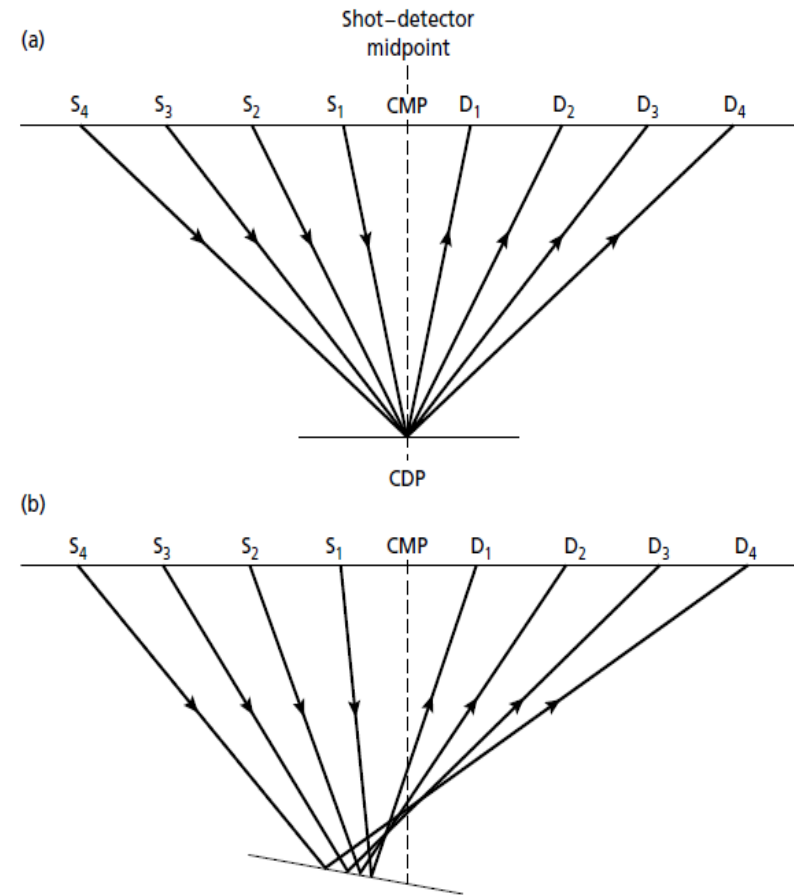
Famílias CMP (CDP)

- Cada traço sísmico tem 3 fatores geométricos primários que determinam sua natureza
 - Posições da fonte e receptor
 - O mais crítico: ponto de reflexão em subsuperfície
 - Desconhecido antes do processamento
 - Aproximado verticalmente abaixo do CMP
- Na literatura $\rightarrow CDP \equiv CMP$
 - $CDP \equiv$ common depth point

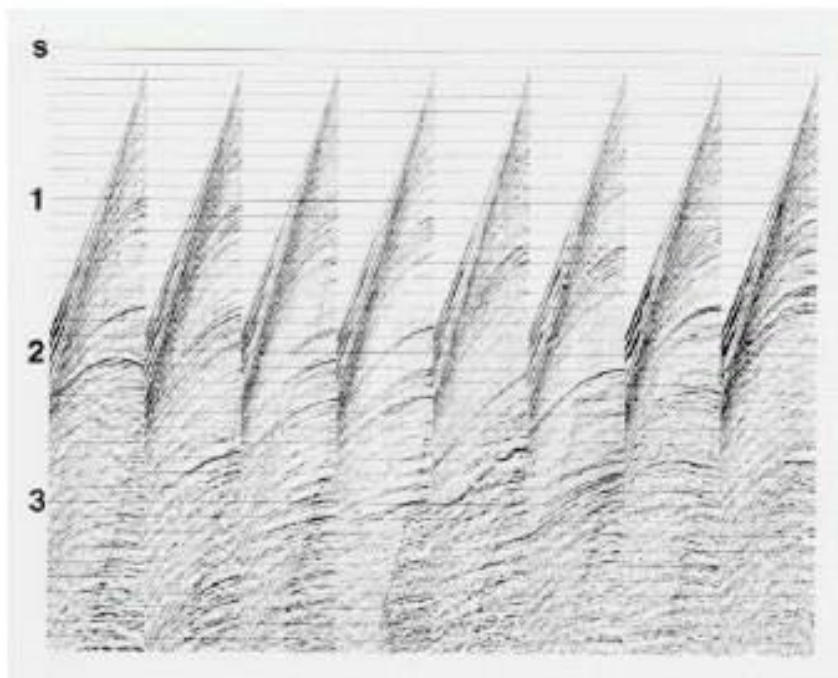


CMP gather é importante pois

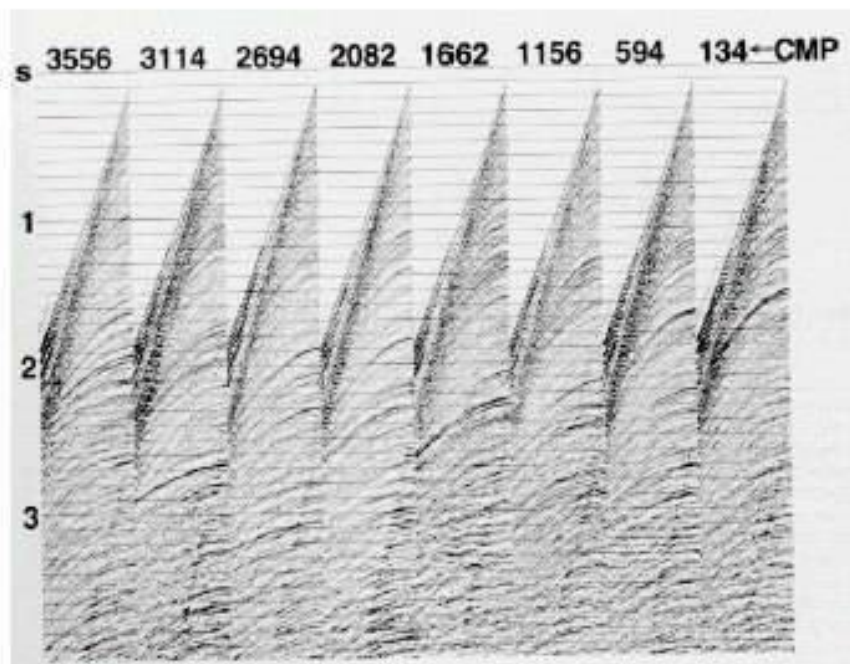
- Equações deduzidas (NMO) são aplicadas com menos erros a um conjunto de traços que passaram pela mesma estrutura geológica
 - Aproximação mais simples de tal conjunto de traços é o CMP gather
- Energia refletida fraca
 - Aumento da razão sinal ruído



Famílias de Tiro



Famílias CDP (CMP)



Design de um Levantamento de Reflexão Multicanais

- Obter dados de pulsos refletidos para vários offsets do ponto de tiro.
- Em 2D (perfil de reflexão), dados são adquiridos em linhas
 - Problemas em caso de cross-dip (pontos de reflexão fora do plano vertical)
 - Adequados para mapeamento de estruturas com geometria uniforme ao longo da direção de strike
 - Investigação de estruturas 3D mapeando variações laterais
 - Perfil de reflexão é movido (tiro + spread) progressivamente a fim de se obter cobertura lateral da seção geológica

- Duas configurações comuns
 - Lanço simétrico (Split-spread ou straddle spread)
 - terra
 - Lanço lateral (Single-ended spread)
 - Mar
- Podem ter centenas de detectores

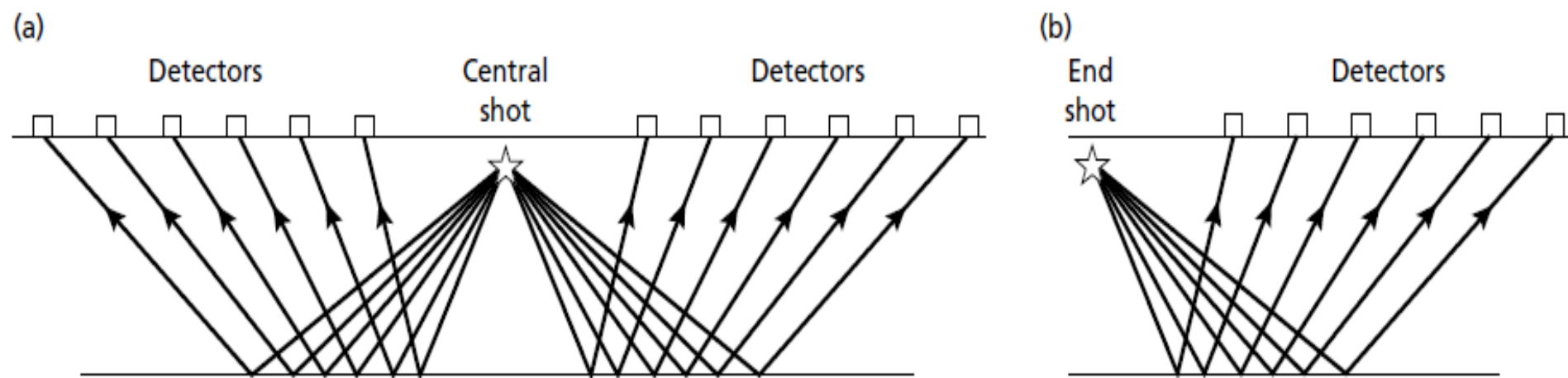


Fig. 4.7 Shot-detector configurations used in multichannel seismic reflection profiling. (a) Split spread, or straddle spread. (b) Single-ended or on-end spread.

Resolução

- Levantamentos de reflexão são projetados para fornecer
 - uma profundidade de penetração específica
 - e um grau de resolução particular da geologia em subsuperfície
- Resolução vertical é a habilidade de distinguir refletores “próximos”
 - Determinado pelo tamanho do pulso na seção sísmica adquirida
 - Simples ondaleta → resolução máxima entre $\lambda/8$ e $\lambda/4$

- Há dois fatores que influem na resolução horizontal
 - Espaçamento dos geofones
 - Igual à metade do espaçamento dos detectores (vide figura)
 - extrínseco
 - Zona de Fresnel
 - intrínseco

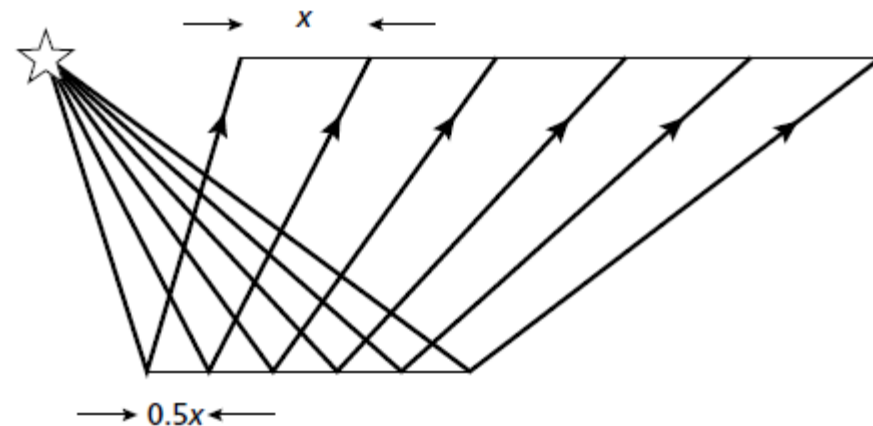


Fig. 4.10 The horizontal sampling of a seismic reflection survey is half the detector spacing.

- A energia que se direciona a um detector dentro da metade do comprimento de onda da reflexão inicial interfere construtivamente; à essa região especial, na qual isso ocorre, dá-se o nome de Zona de Fresnel.
- A largura da zona de Fresnel representa um limite absoluto na resolução horizontal de um levantamento de reflexão, uma vez que refletores separados por uma distância menor que essa não podem ser individualmente separados.

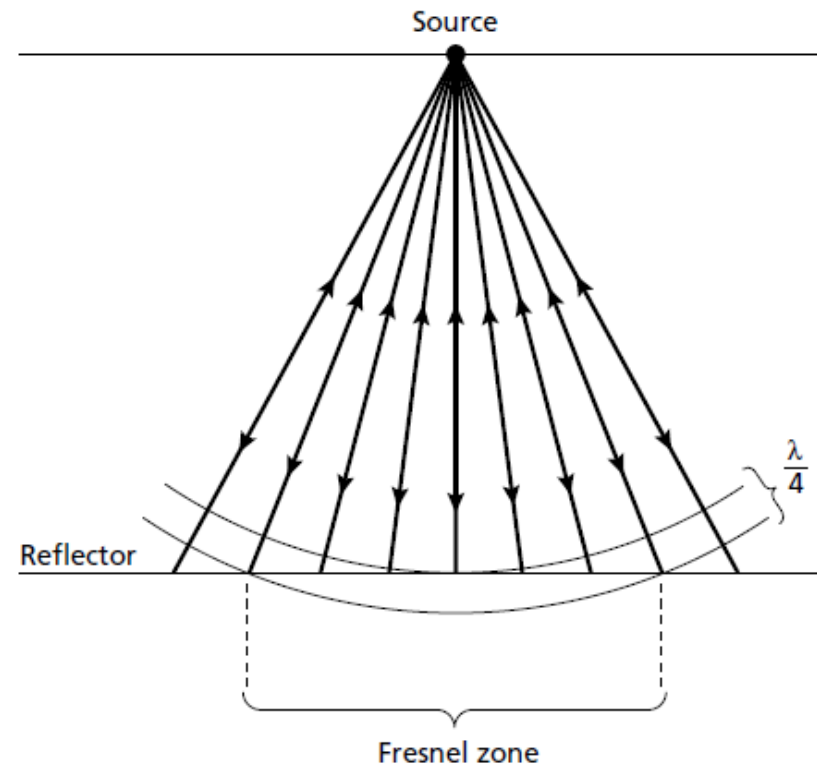


Fig. 4.11 Energy is returned to source from all points of a reflector. The part of the reflector from which energy is returned within half a wavelength of the initial reflected arrival is known as the Fresnel zone.

- A largura da zona de Fresnel é dada por

$$w = \sqrt{2z\lambda} \quad (\text{para } z \gg \lambda)$$

- Como regra prática, estima-se a zona de Fresnel para os horizontes alvos, então o espaçamento entre os geofones é fixado a não mais que $\frac{1}{4}$ dessa largura
- Nesse caso, a resolução horizontal será limitada apenas pela física da onda sísmica, não pelo projeto da campanha.

Arranjo de detectores

- Cada detector em um levantamento convencional de sísmica de reflexão consiste de um arranjo (ou grupo) de vários geofones arrumados sob um padrão específico e conectados em série ou paralelo para produzir-se um único *output*.
- O *offset* é considerado como o centro do arranjo
- Arranjo de geofones aumentam a resposta vertical dos pulsos e diminuem vários tipos de ruídos coerentes horizontais.

Curva de resposta de arranjos

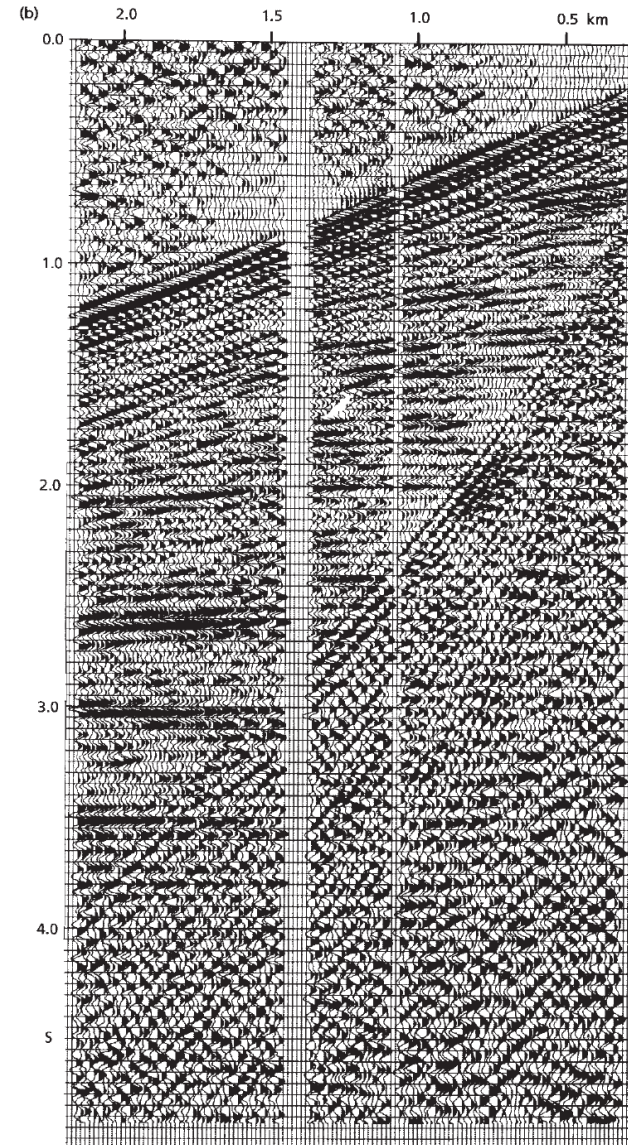
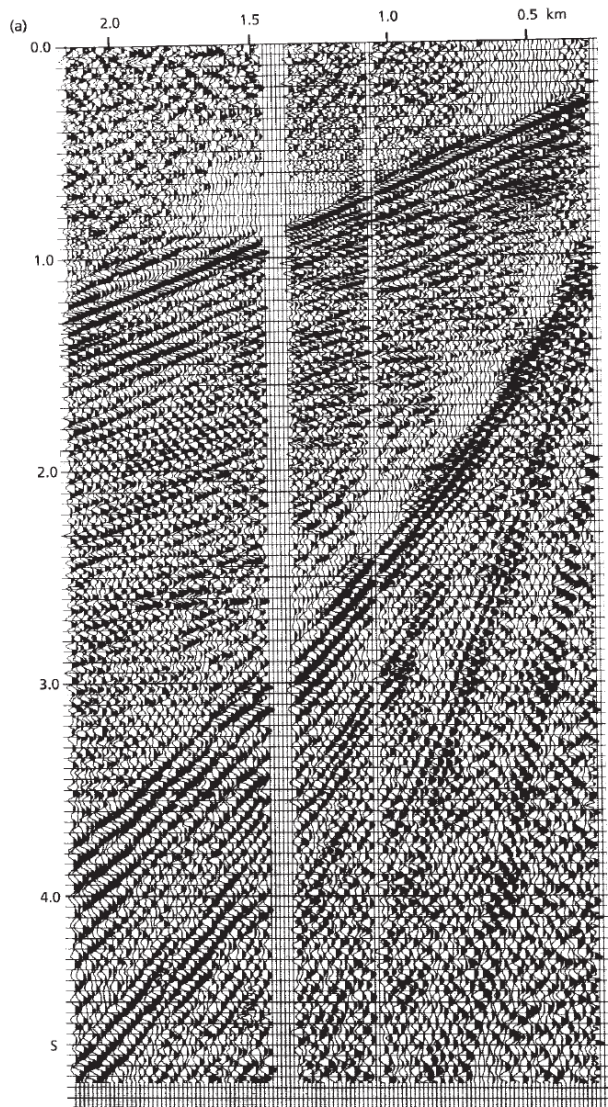


Fig. 4.12 Noise test to determine the appropriate detector array for a seismic reflection survey. (a) Draped seismic record obtained with a noise spread composed of clustered (or 'bunched') geophones. (b) Seismic record obtained over the same ground with a spread composed of 140 m long geophone arrays. (From Waters 1978.)

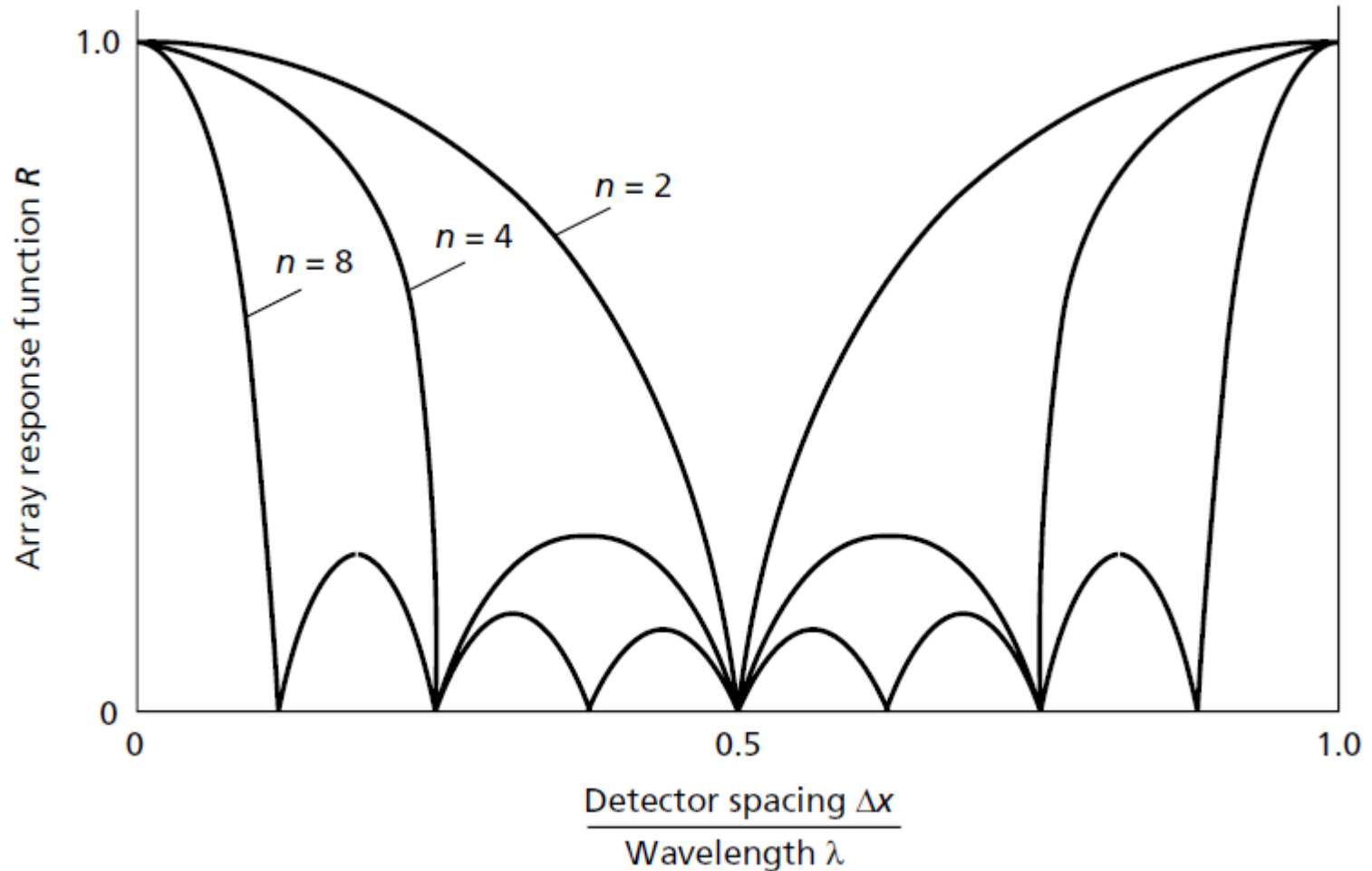
Arranjo de detectores

- A resposta direcional R (função resposta ou *response function*) de qualquer arranjo linear é governada pela relação entre o comprimento de onda aparente λ_a da onda em direção ao arranjo, o número de elementos n no arranjo e seus espaçamento Δx , dada por

$$R = \frac{\sin n\beta}{\sin \beta} \text{ e } \beta = \frac{\pi \Delta x}{\lambda_a}$$

- R é uma função periódica bem definida no intervalo $0 \leq \Delta x / \lambda_a \leq 1$ e simétrica sobre $\Delta x / \lambda_a = 0,5$.

Response Function para arranjos diferentes de detectores



- Estágios iniciais de um levantamento de reflexão envolvem tentativas na área de interesse para se determinar a combinação mais sutil de fonte, distância desta aos detectores, geometria do arranjo e espaçamento entre os detectores.
- Tentativas de fonte envolvem testes do efeito da variação da profundidade do tipo e da carga, por exemplo.
- Noise test: tiros disparados em um grupo de espaçamento curto
 - Determinar a característica do ruído coerente
 - Velocidade através do espalhamento de geofones
 - Frequência dominante das
 - *air-waves*
 - *Ondas de superfície*
 - *Ondas diretas*
 - *Ondas refratadas no raso*

Noise test

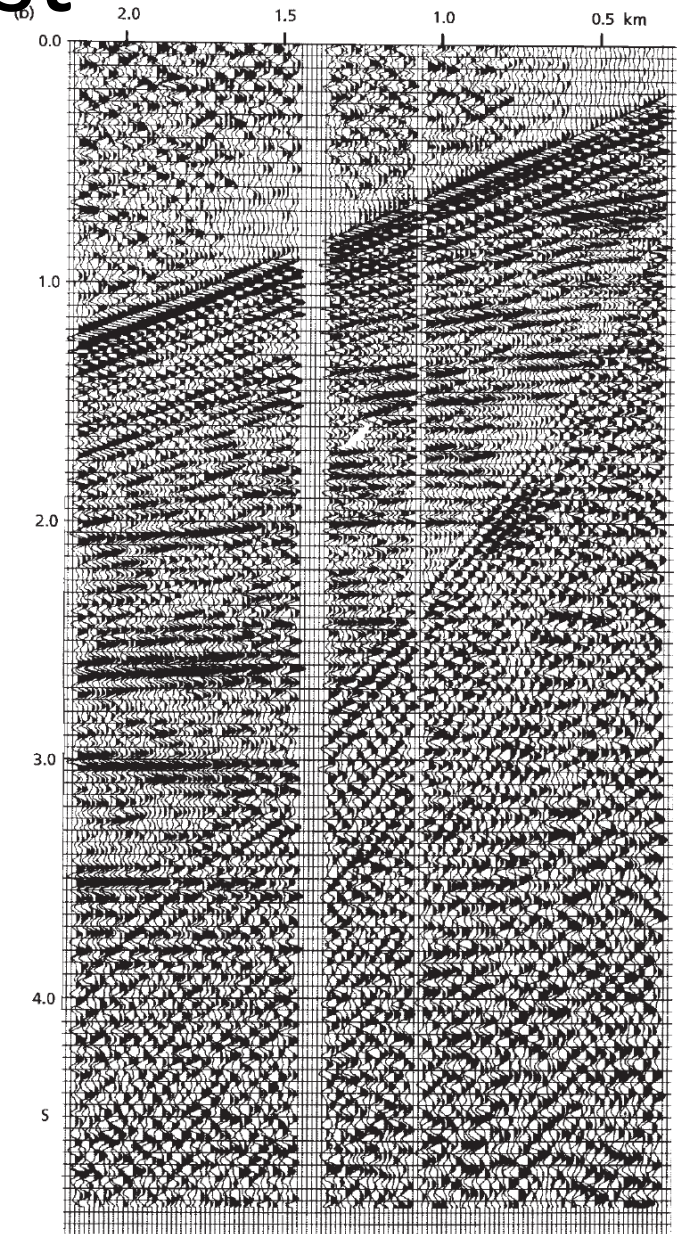
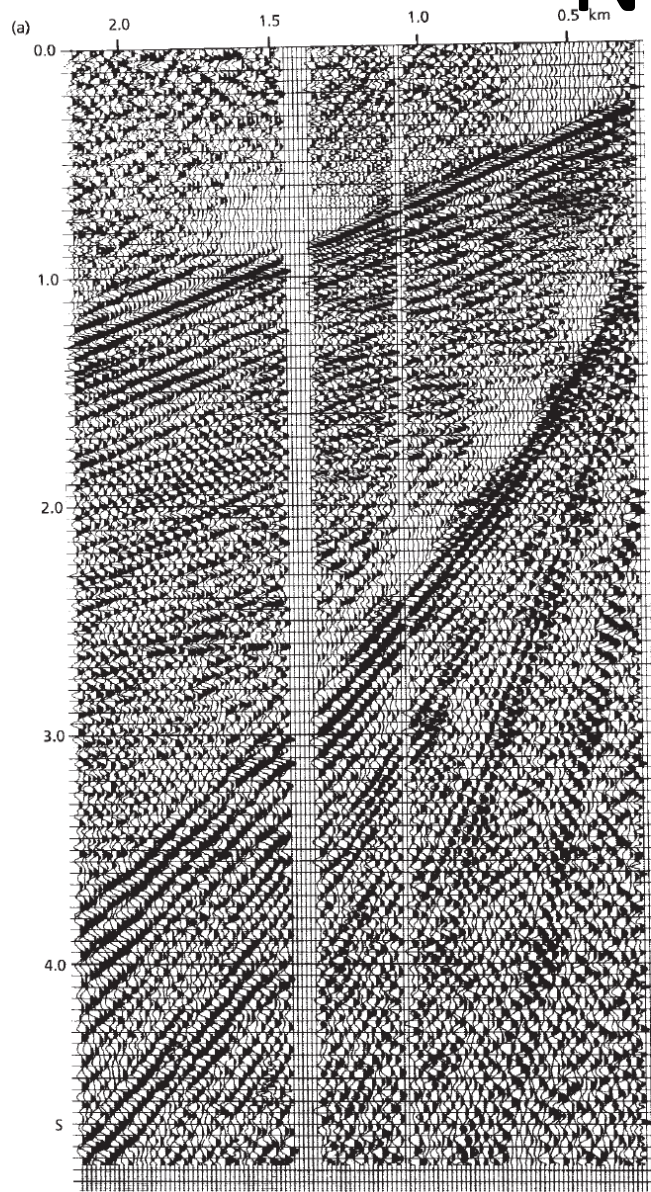


Fig. 4.12 Noise test to determine the appropriate detector array for a seismic reflection survey. (a) Draped seismic record obtained with a noise spread composed of clustered (or 'bunched') geophones. (b) Seismic record obtained over the same ground with a spread composed of 140m long geophone arrays. (From Waters 1978.)

Fig. 4.12 *Continued*

Levantamento CMP

- *fold* (cobertura) diz respeito ao número de traços no CMP *gather* para o *stacking*
 - Convencionalmente 24, 30, 60 ou, excepcionalmente, mais de 1000
 - Se um ponto em subsuperfície foi atingido apenas 1 vez, diz-se que o ponto é *single-fold* = 100% de cobertura;
 - Se foi atingido 6 vezes, *six-fold* = 600% de cobertura
- O *fold* de um perfil CMP é determinado por $N/2n$, na qual N é o nº de arranjos de geofones em um espalhamento e n é o nº de espaçamentos de geofones que o arranjo é movido em uma direção entre tiros consecutivos (n é chamado de *move-up rate*)

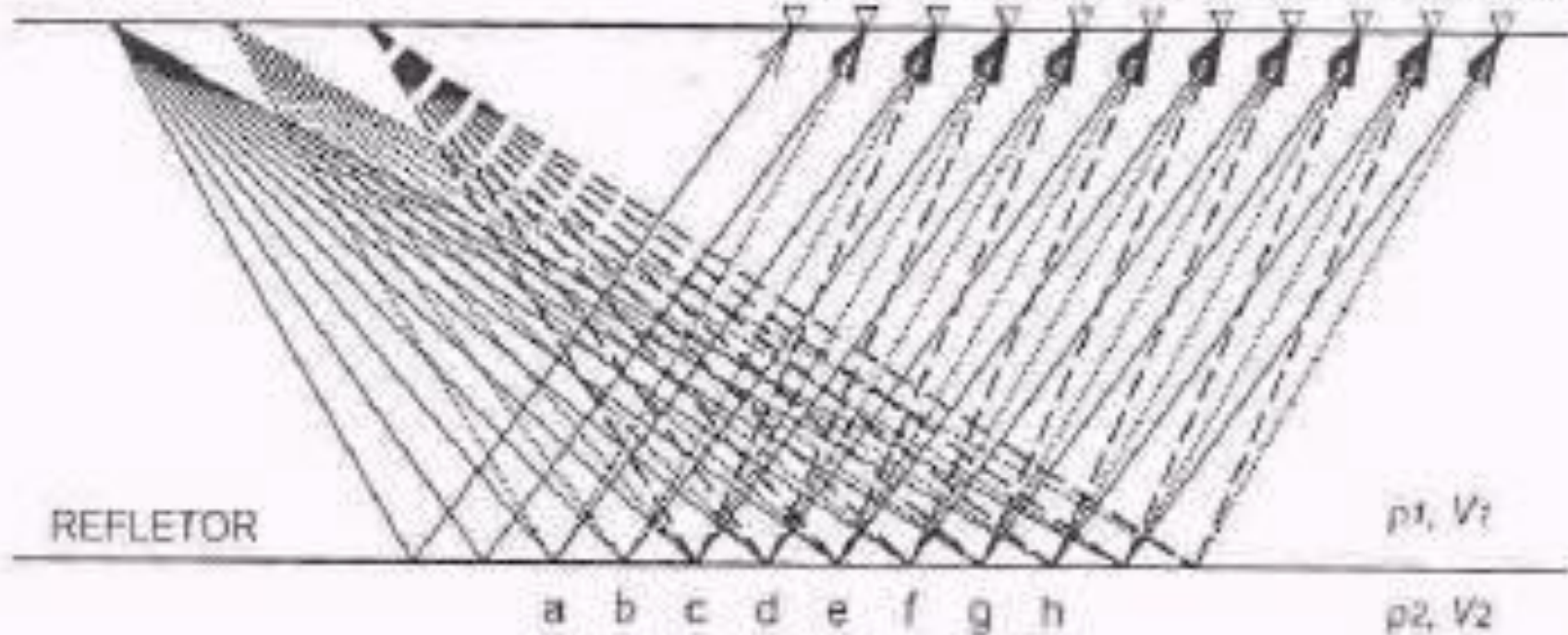


1C 2C 3C 4C 5C 6C 7C 8C 9C

1B 2B 3B 4B 5B 6B 7B 8B 9B 10B

A B C

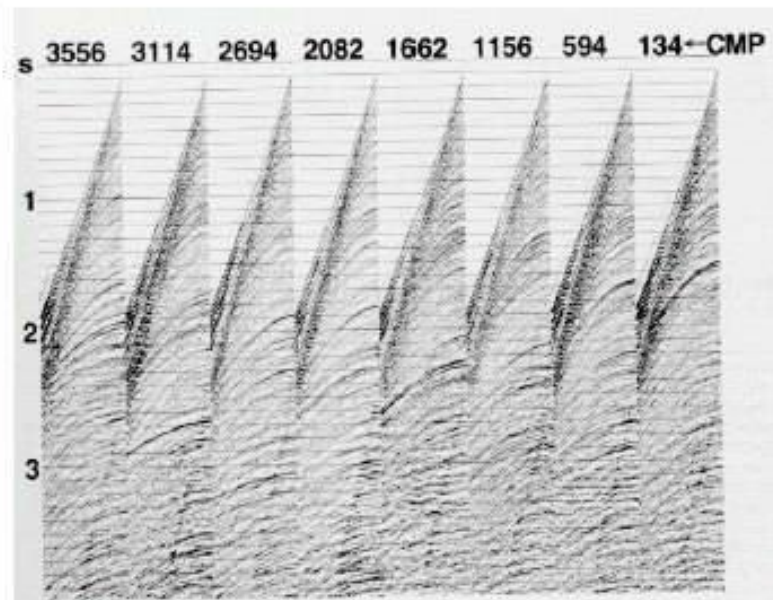
1A 2A 3A 4A 5A 6A 7A 8A 9A 10A 11A



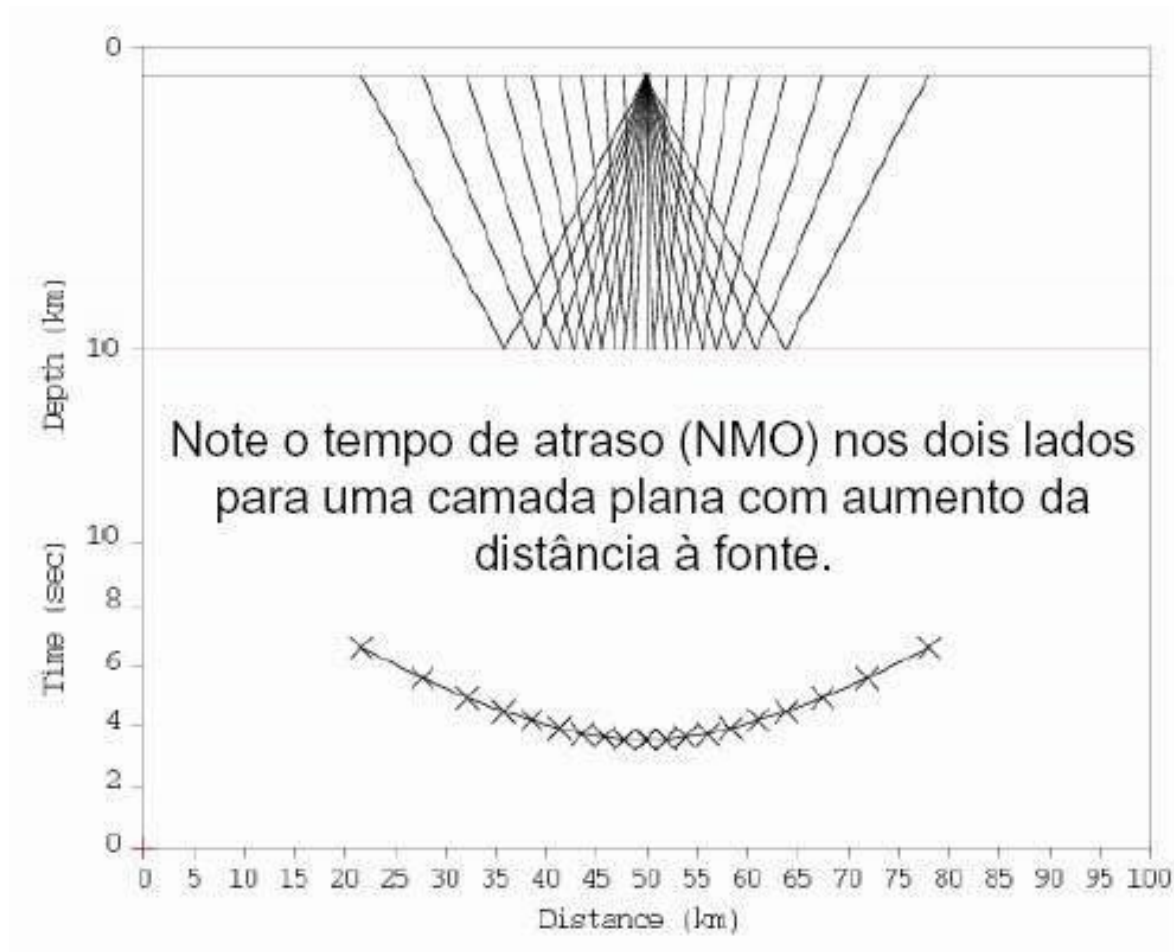
Famílias de Tiro



Famílias CDP (CMP)

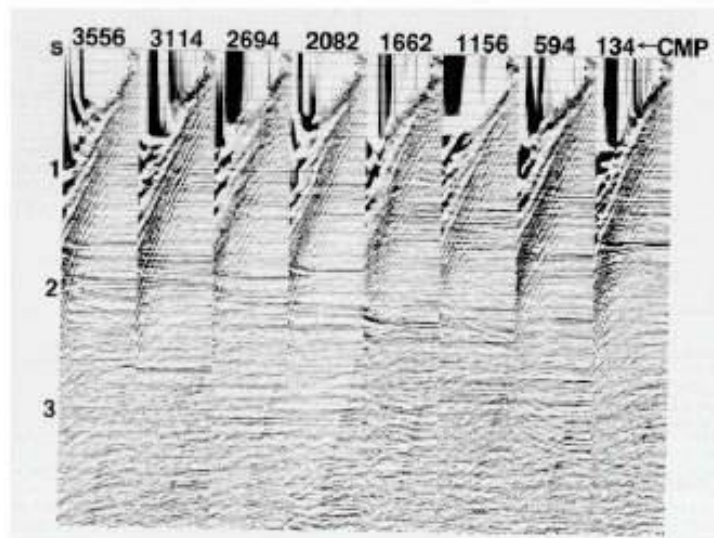


A segunda etapa é desfazer o efeito hipérbole do afastamento (NMO).

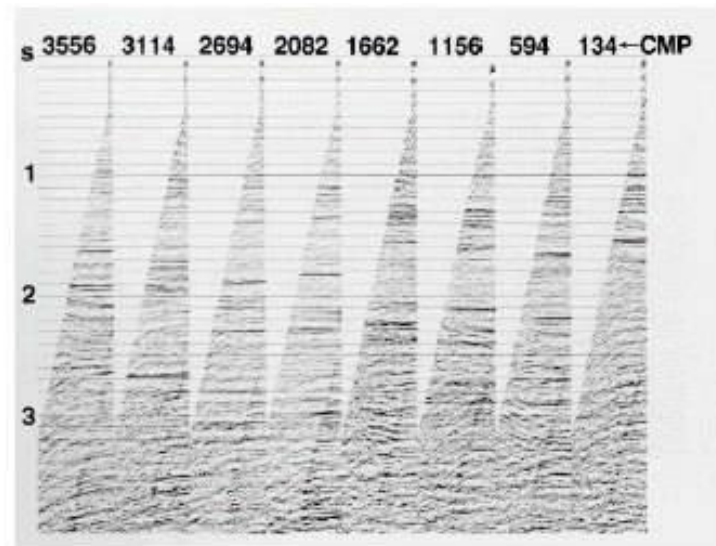


Correção NMO

Após o agrupamento das famílias, realiza-se a correção NMO que calcula, para cada sinal, a resposta correspondente a uma onda perpendicular ao refletor, ou seja, cuja trajetória de ida e volta coincidem.



Dado corrigido de NMO. (ver estiramento)



Dado onde a parte estirada foi removida (mute)

Empilhamento

- Uma vez que se sabe a velocidade, os traços em um CMP podem ser corrigidos para NMO para corrigir cada traço para o traço de zero offset.
 - Terão todos mesmos pulsos refletidos ao mesmo tempo, mas ruídos aleatórios e coerentes diferentes
 - Combinando estes traços em um CMP tirará a média do erro (assumida igual a 0) e aumentará a razão sinal ruído (SNR)
 - Esse processo é chamado **empilhamento ou stacking**.

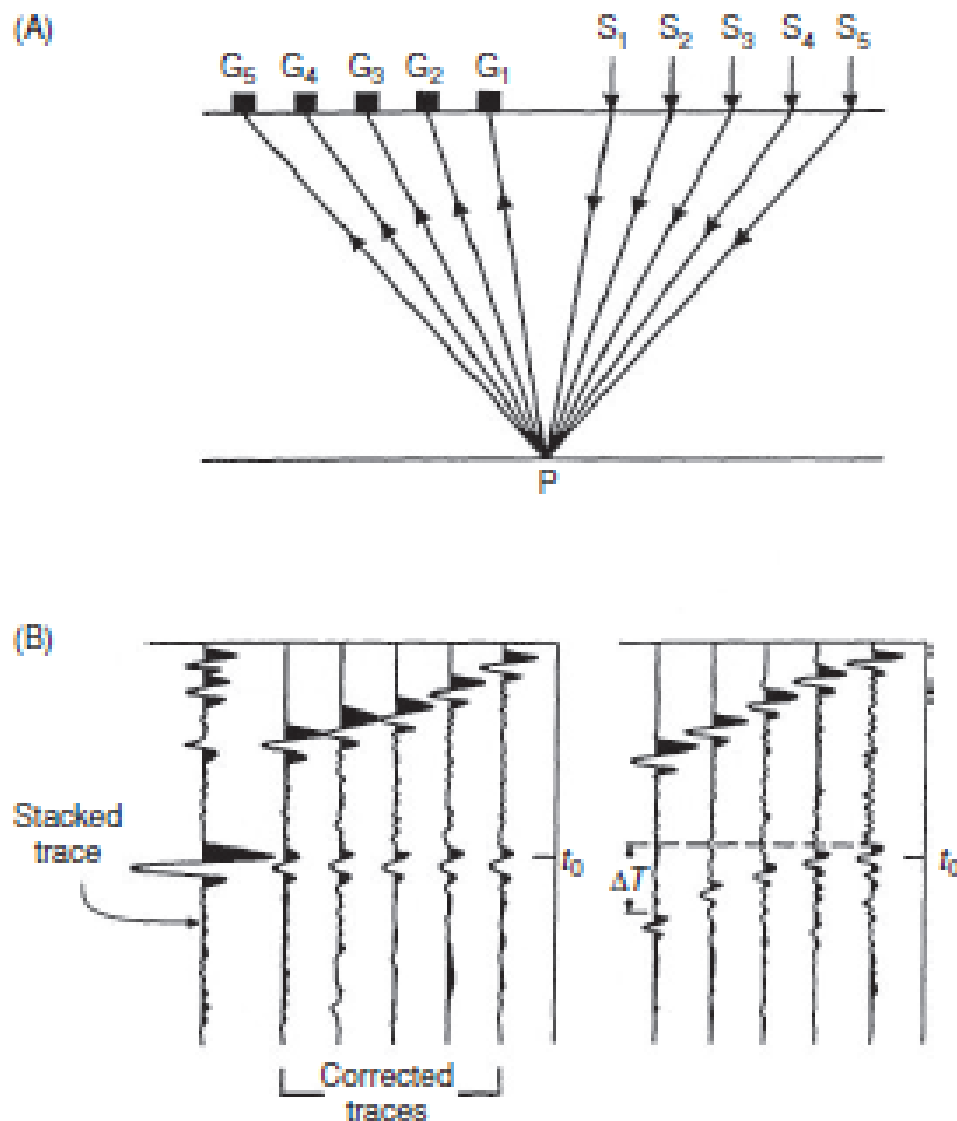


Figure 6.25 Given the source-receiver layout and corresponding raypaths for a common depth spread, shown in (A), the resulting seismic traces are illustrated in (B), uncorrected (on the right), corrected (in the middle) - note how the reflection events now are aligned - and the final stacked trace on the left. After Dohr (1981), by permission.

- Quando n traços são empilhados (“*stacked*”), a melhora na SNR é, teoricamente, \sqrt{n}
- Empilhamento também atenua múltiplas de caminho longo
 - Viajaram próximas à superfície (camada de baixa velocidade) e possuem *moveout* significativamente diferente das reflexões primárias
 - Portanto, quando empilhados com a função velocidade correta, as múltiplas não estão em fase e, conseqüentemente, não se somam
- O traço empilhado é o equivalente de um traço registrado com zero offset.

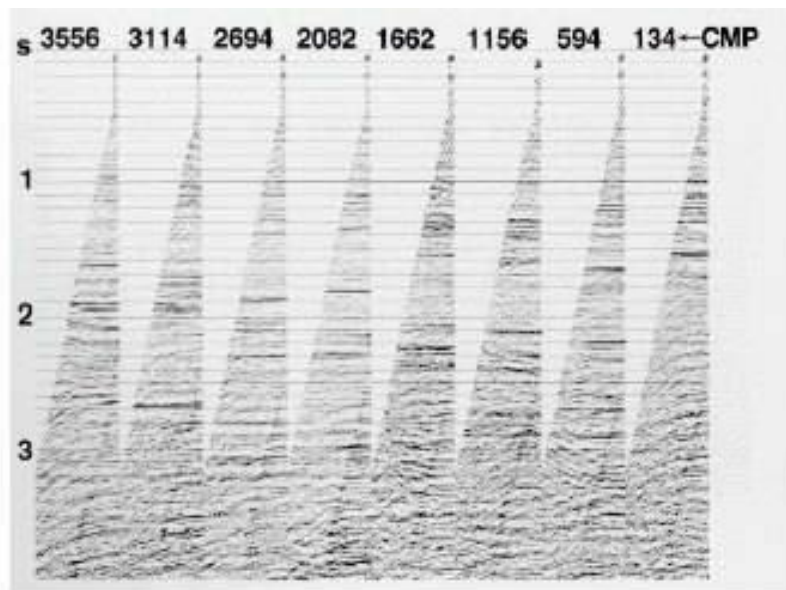
Empilhamento

A soma de todos os sinais de uma família CDP – filtro de ruído incoerente, realce do sinal.

Gera a seção sísmica bruta – Representação gráfica da variação de amplitude do sinal na escala vertical, que na verdade é medida em velocidade de ida e volta, ou velocidade dupla.

A transformação da velocidade dupla em profundidade exige conhecimento ou estimativa das velocidades de cada trecho.

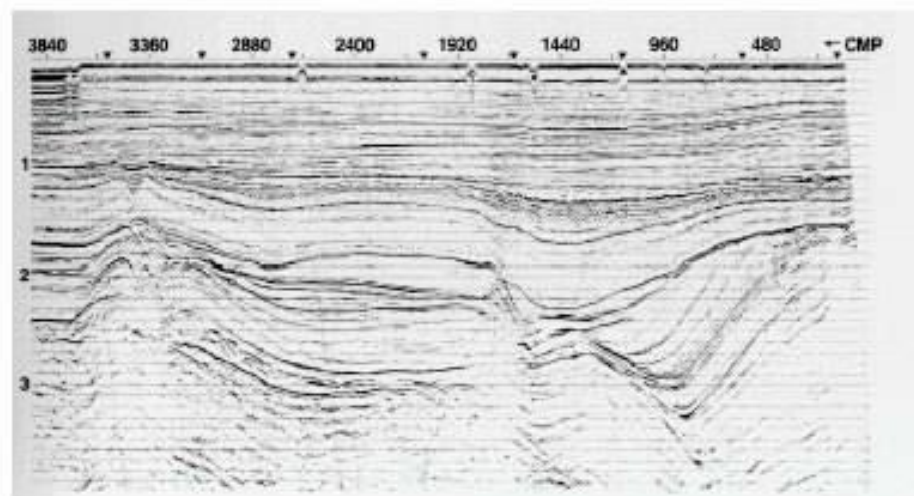
Essa é a essência do que representa uma seção sísmica, cada pico para a direita, realçado em preto, é uma reflexão positiva com amplitude proporcional à amplitude lida. Porém antes do empilhamento normalmente são realizadas algumas correções e análises necessárias.



Empilhamento - Stacking

Agora pode-se empilhar e gerar a imagem final!

Cada uma das famílias CDP é empilhada para gerar um traço na imagem final. O número de traços somados (multiplicidade) varia com a profundidade devido ao mute.



Correções

Pré-processamento

- Demultiplexação
- Edição
- Recuperação de ganho

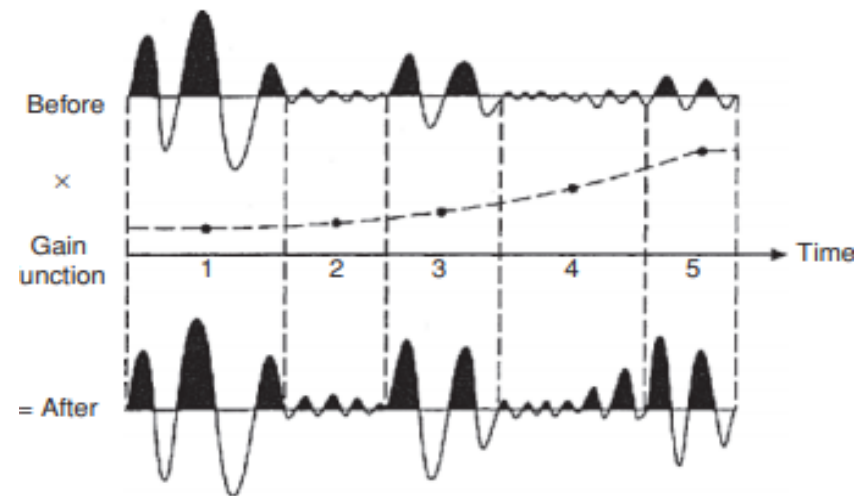
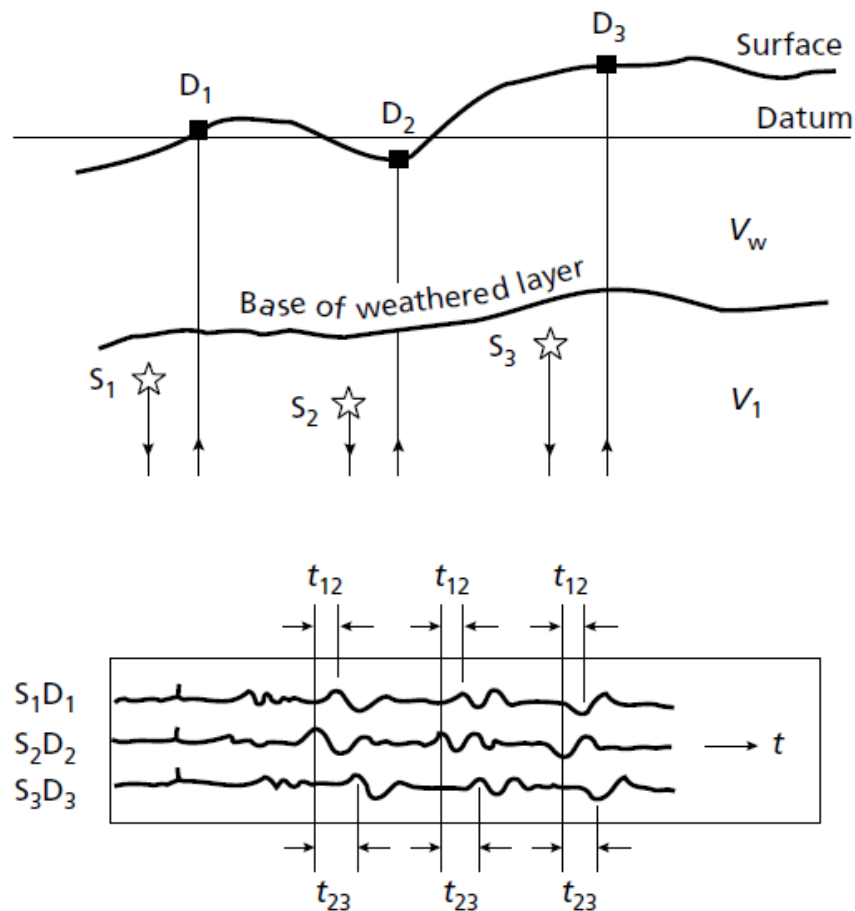


Figure 6.19 The application of a time-varying gain function to a waveform exhibiting spherical divergence, in order to recover signal amplitudes at later travel times. Gain functions are applied in discrete windows (labelled 1 to 5 shown here).

Correções

- Estáticas
 - Elevação: colocar a fonte e os geofones no mesmo datum
 - Não há em levantamento marinho
 - Camada de intemperismo: retira a camada superficial de anormal baixa velocidade
 - Em terra
 - Sísmica de refração
 - Levantamento uphole
 - Camada de água para levantamento marinho
- Dinâmicas
 - NMO -> análise de velocidades
 - Para depois se fazer o stacking

(a)



(b)

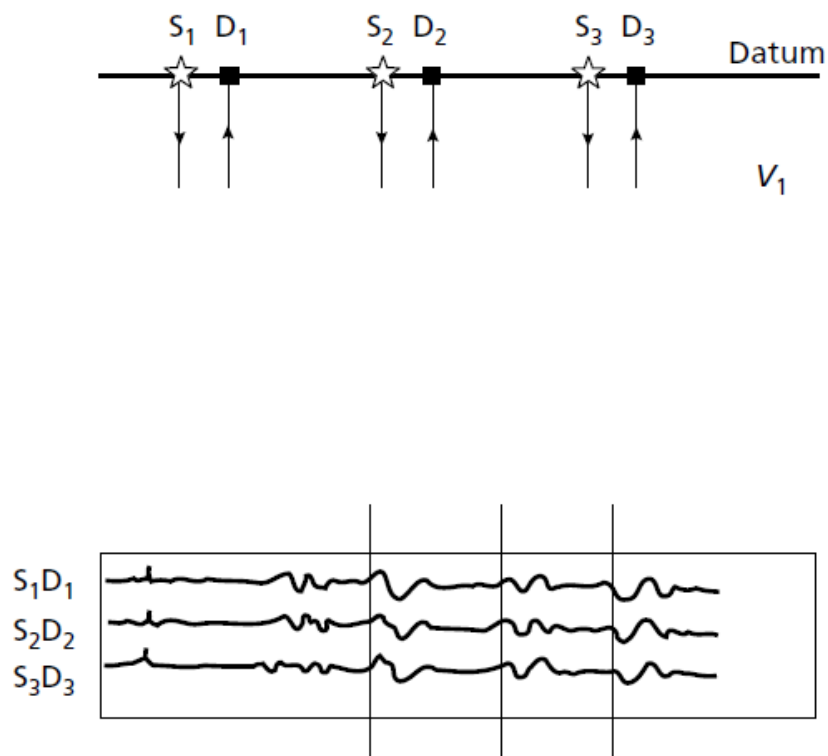


Fig. 4.15 Static corrections. (a) Seismograms showing time differences between reflection events on adjacent seismograms due to the different elevations of shots and detectors and the presence of a weathered layer. (b) The same seismograms after the application of elevation and weathering corrections, showing good alignment of the reflection events. (After O'Brien, 1974.)

Box 6.2 Static correction for elevation (see Figure 6.20)

The time delay due to the difference in elevation between source and datum (t_s) is given by:

$$t_s = (E_s - E_d)/V.$$

The time delay due to the difference in elevation between a given geophone and datum (t_g) is given by:

$$t_g = (E_g - E_d)/V.$$

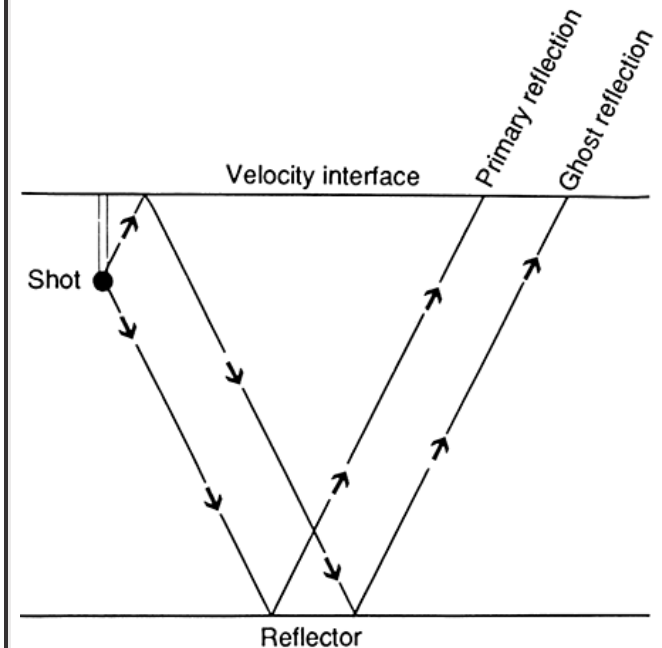
Total static correction due to elevation (t_e) is given by:

$$t_e = t_s + t_g$$

Velocity in the near-surface can be calculated from the measurement of the uphole travel time (t_{uh}) and the depth of the shot (h), such that:

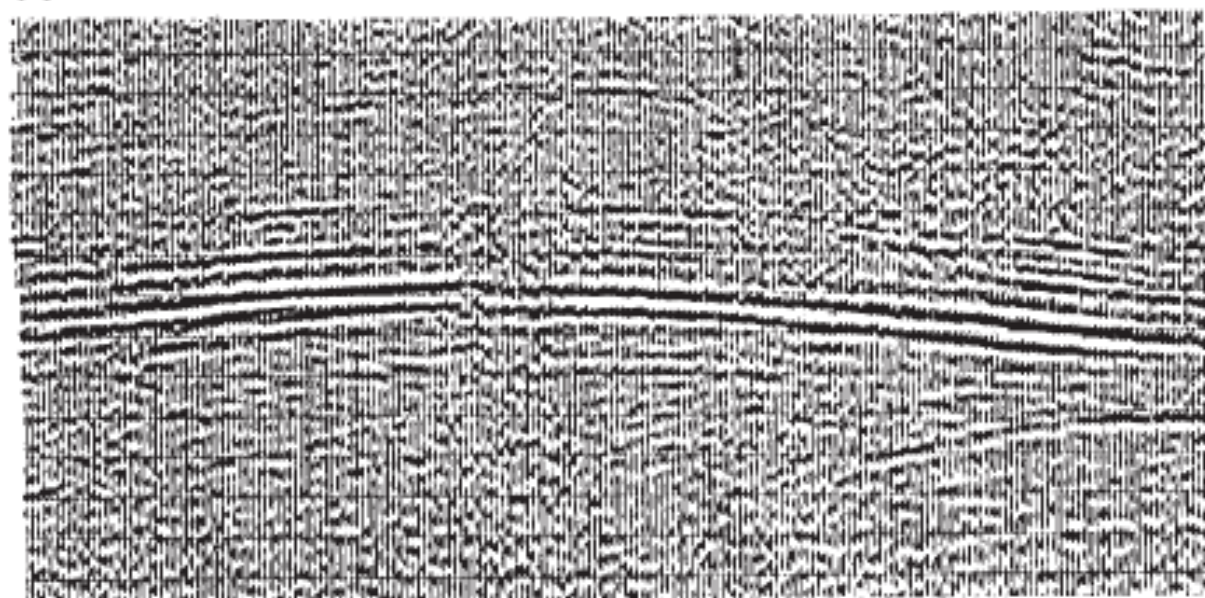
$$V = d/t_{uh}.$$

E_s , E_g and E_d are the elevations of the shot, any geophone and the reference datum respectively.



- Análise estática residual
 - Empírico
 - Camada de intemperismo e topografia são as únicas fontes de irregularidade nos tempos de trânsito dos raios refletidos de uma interface rasa
 - Busca sistemática traço-a-traço
 - Antes do empilhamento CMP

(a)



(b)

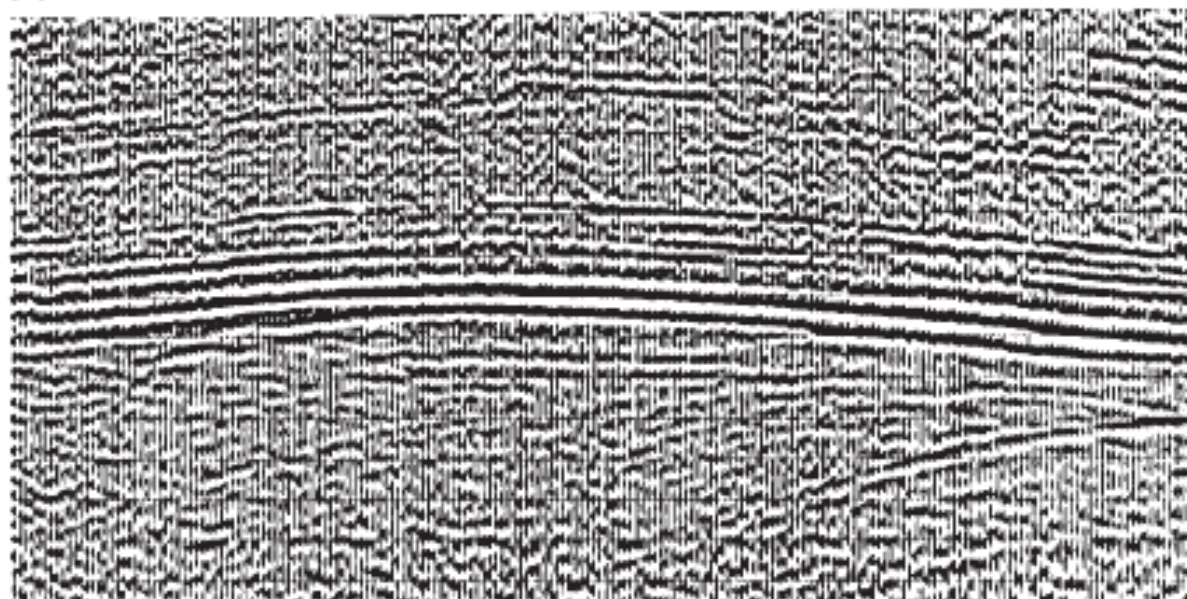


Fig. 4.16 Major improvement to a seismic section resulting from residual static analysis. (a) Field statics only. (b) After residual static correction. (Courtesy Prakla Seismos GmbH.)

Análise de Velocidades

- Correção dinâmica para remover NMO
 - Tem que ser feita separadamente para cada incremento de tempo em um traço sísmico
- Em levantamentos CMP, a velocidade apropriada é obtida através de análise computacional de grupos de traços de um CMP.
- Correções estáticas devem ser feitas antes

- A velocidade de stacking V_{st} é definida como o valor de velocidade que produz a máxima amplitude do evento de reflexão no empilhamento dos traços
- V_{st} claramente representa a velocidade que corrige o NMO, e aparece como

$$t^2 = t_0^2 + \frac{x^2}{V_{st}^2}$$

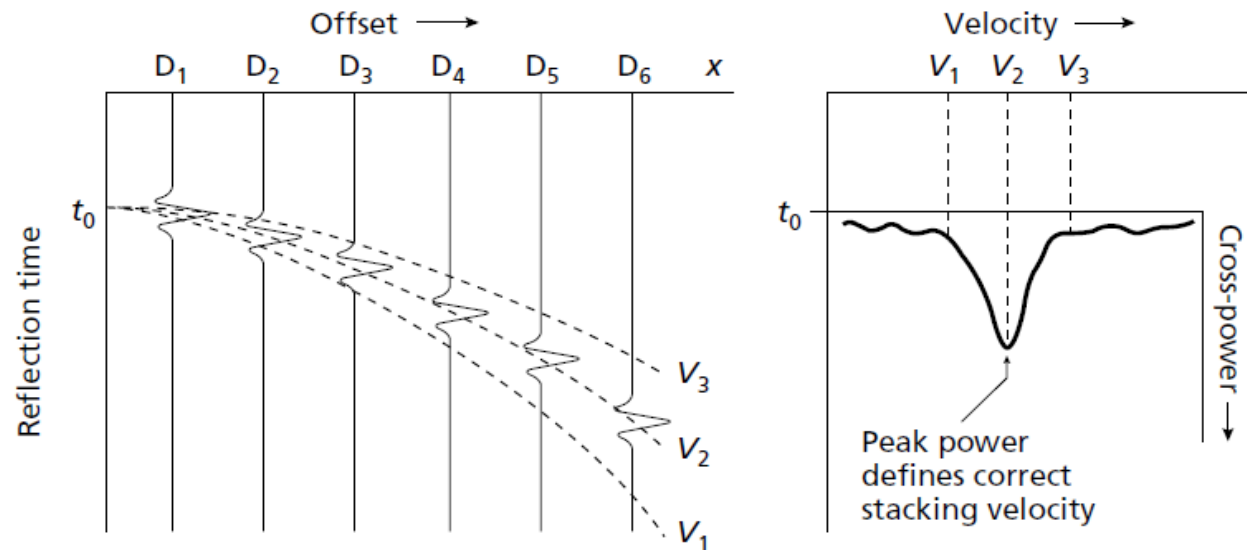


Fig. 4.17 A set of reflection events in a CMP gather is corrected for NMO using a range of velocity values. The stacking velocity is that which produces peak cross-power from the stacked events; that is, the velocity that most successfully removes the NMO. In the case illustrated, V_2 represents the stacking velocity. (After Taner & Koehler 1969.)

- Na prática, NMO é corrigida para pequenas janelas temporais
 - Aproximação da hipérbole
 - $V_{st} \cong V_{rms}$
 - Se produz um espectro de velocidades
- O valor de cada velocidade é obtido calculando-se uma correlação multitraços chamada *semblance* entre os traços corrigidos do CMP gather
 - Este avalia a potência da wavelet refletida empilhada
 - Os valores de *semblance* são de contorno, de forma que os picos ocorrem em tempos correspondentes a reflexões de wavelets, e a velocidades que produzem uma ótima wavelet empilhada
- A função velocidade (da análise de velocidade) definindo o aumento de velocidade com profundidade para aquele CMP é feito escolhendo a localização dos picos no gráfico do espectro de velocidade.
 - Funções velocidade são obtidas em intervalos regulares ao longo de um perfil CMP para serem usadas na correção dinâmica de cada traço individual.

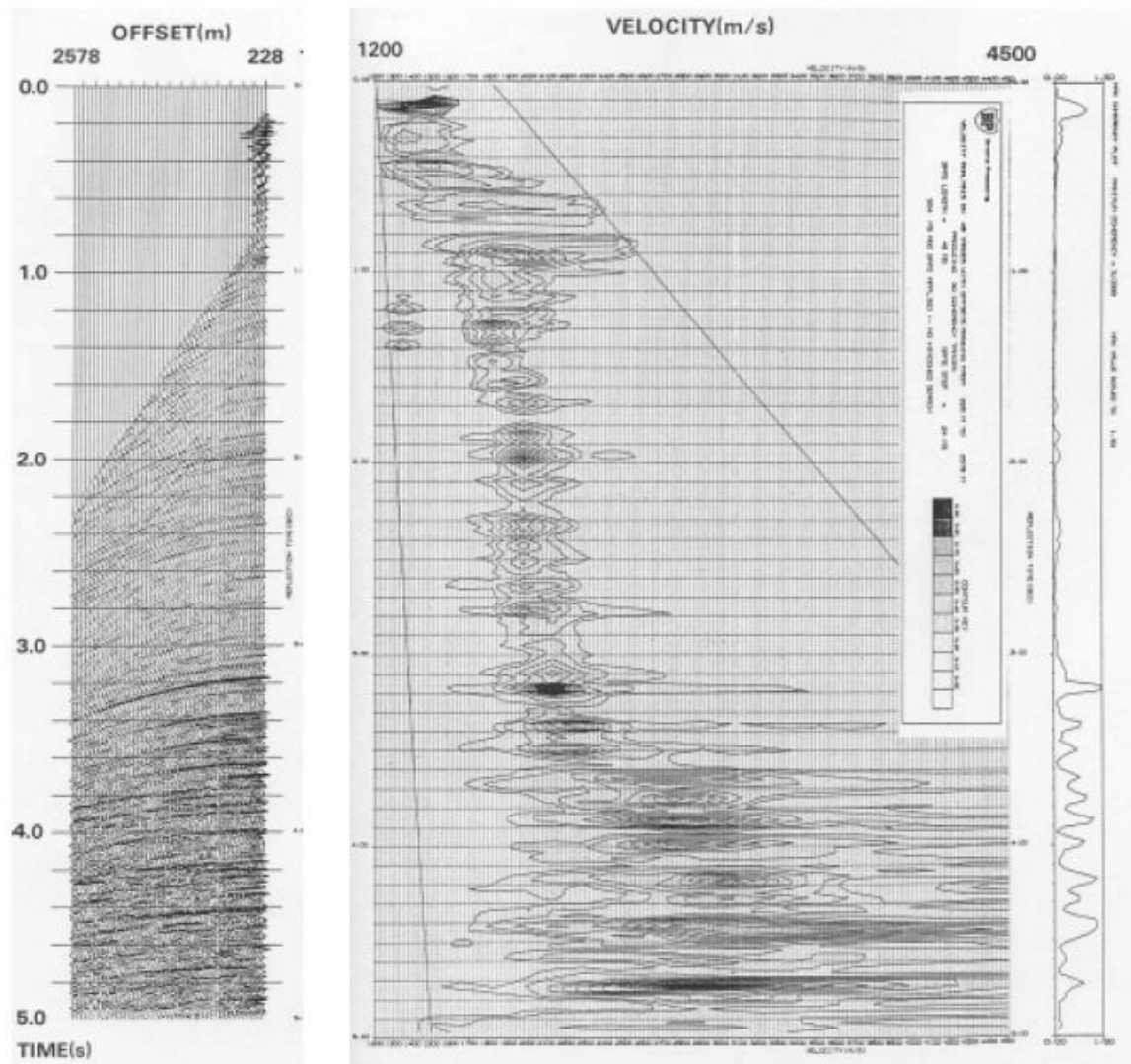


Fig. 4.18 The velocity spectrum is used to determine the stacking velocity as a function of reflection time. The cross-power function (semblance) is calculated over a large number of narrow time windows down the seismic trace, and for a range of possible velocities for each time window. The velocity spectrum is typically displayed alongside the relevant CMP gather as shown. Peaks in the contoured semblance values correspond to appropriate velocities for that travel time, where a reflection phase occurs in the CMP gather.

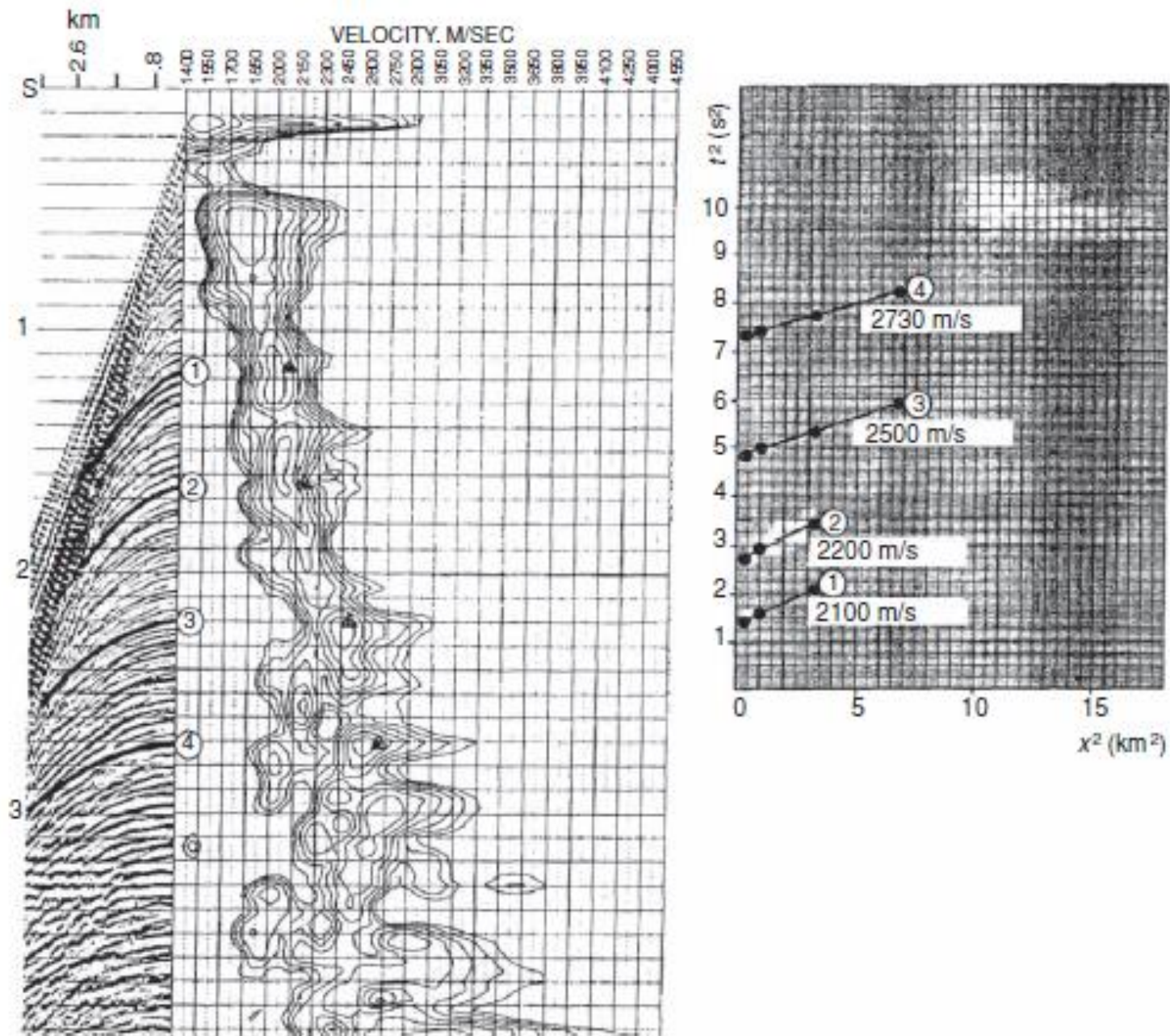


Figure 6.27 The $(t^2 - x^2)$ velocity analysis applied to a CMP gather. The triangles on the velocity spectrum (left panel) represent velocity values derived from the slopes of the lines shown on the graph at the right. From Yilmaz (2001), by permission.

Filtragem

- Várias técnicas de processamento digital de dados estão disponíveis para a melhora de uma seção sísmica.
- Em geral, o objetivo do processamento de dados de reflexão é:
 - aumentar o SNR
 - e a resolução vertical de traços sísmicos.
- Dois tipos principais de filtragem:
 - Filtro de frequência
 - Filtro inverso

Filtro de frequência

- passa-banda
 - Ground-roll ou ruído de embarcação → passa-alta
 - Ruído do vento → passa-baixa
-
- No início → remover ruídos óbvios
 - No final → remover artefatos produzidos por outros estágios de processamento

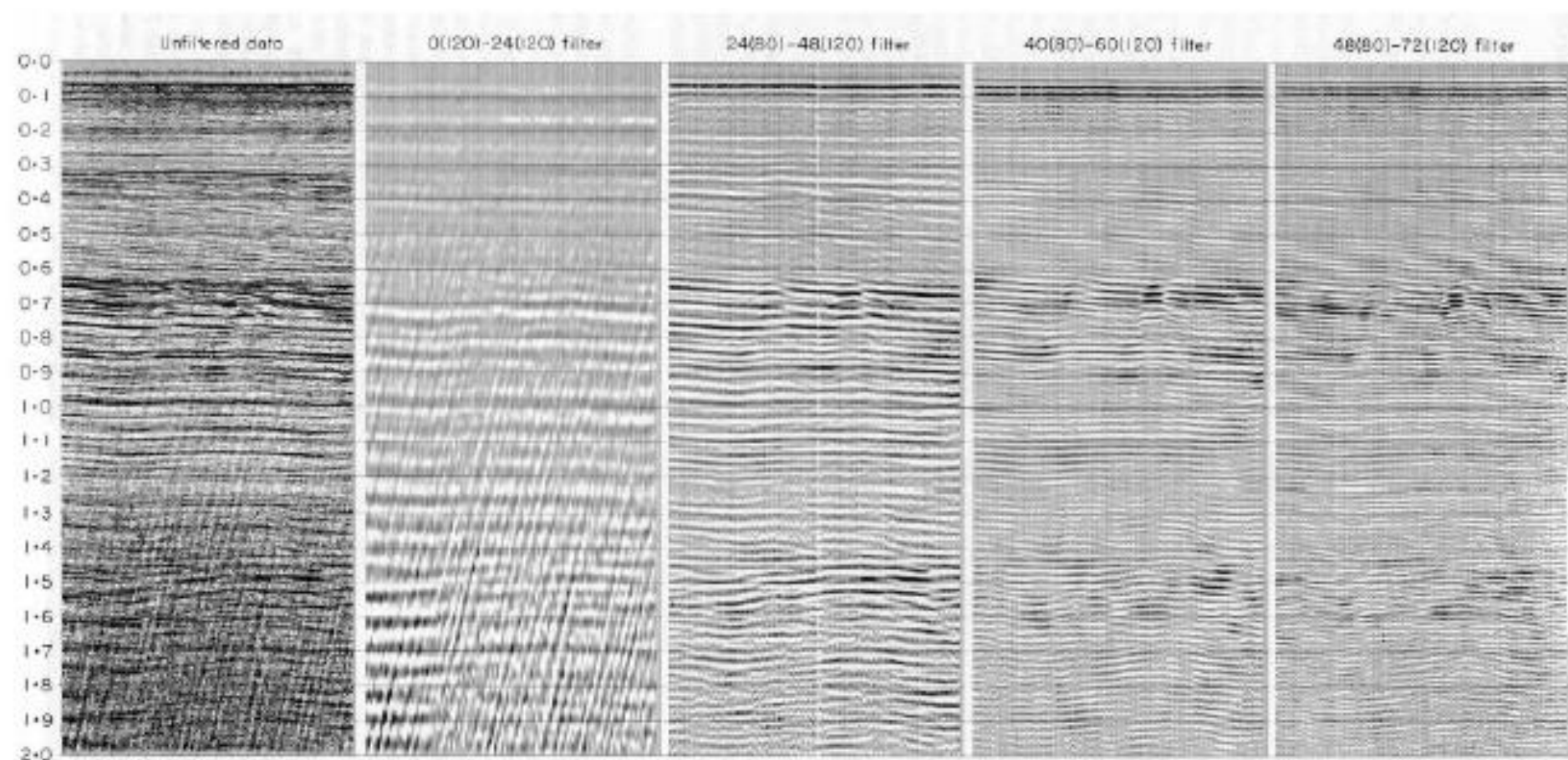


Fig. 4.19 Filter panels showing the frequency content of a panel of reflection records by passing them through a series of narrow-band frequencies. This plot allows the geophysicist to assess the frequency band that maximises the signal-to-noise ratio. Note that this may vary down the traces due to frequency-dependent absorption. (From Hatton *et al.* 1986, p. 88)

Convolução

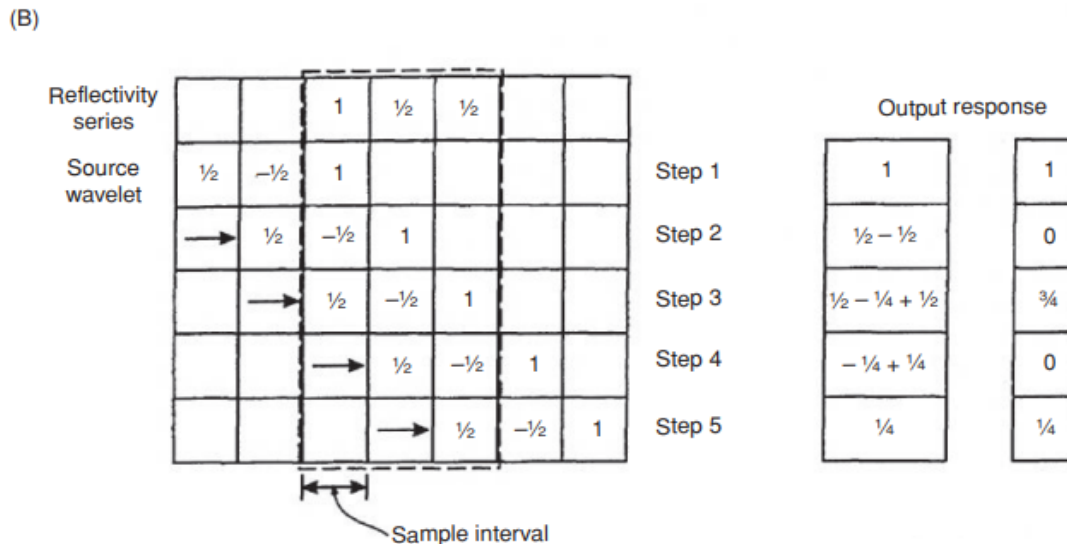
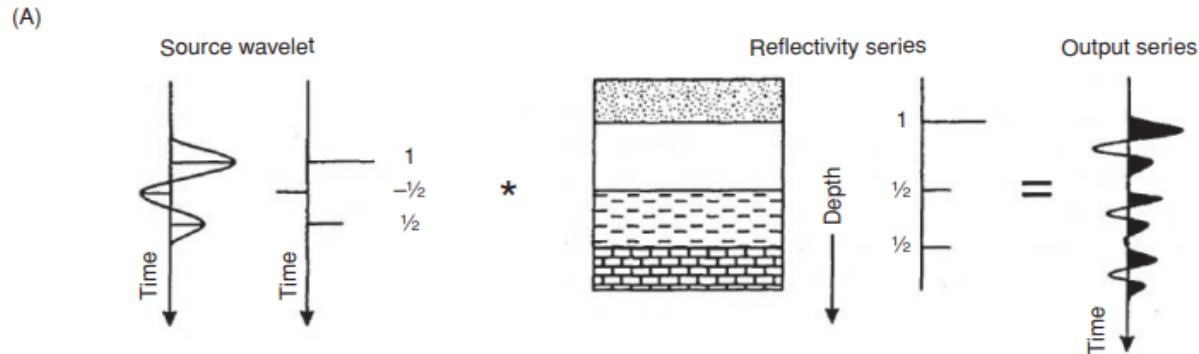


Figure 6.22 The principle of convolution:

Step 1: Convolve source wavelet and reflectivity series by multiplying the first sample of the source wavelet (1) by the first component of the reflectivity series (1) to give the first constituent of the output response.

Step 2: Move the source array on one sample and convolve; hence $(1 \times \frac{1}{2}) + (1 \times (-\frac{1}{2})) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} = 0$.

Step 3: Move the source wavelet array on one sample and convolve; hence $(\frac{1}{2} \times 1) + (\frac{1}{2} \times (-\frac{1}{2})) + (1 \times \frac{1}{2}) = \frac{1}{2} + (-\frac{1}{4}) + \frac{1}{2} = \frac{3}{4}$.

Step 4: Move the source wavelet array on one sample and convolve; hence $(\frac{1}{2} \times (-\frac{1}{2})) + (\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}) = -\frac{1}{4} + \frac{1}{4} = 0$.

Step 5: Move the source wavelet array on the sample and convolve; hence $(\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}) = \frac{1}{4}$.

Deconvolução

- Descobrir a série de refletividade
- Tipos mais comuns:
 - Derreverberação – atenua reverberação
 - Defastasmização – atenua ondas fantasmas
 - Branqueamento – todas as frequências dentro de uma banda terão a mesma amplitude.

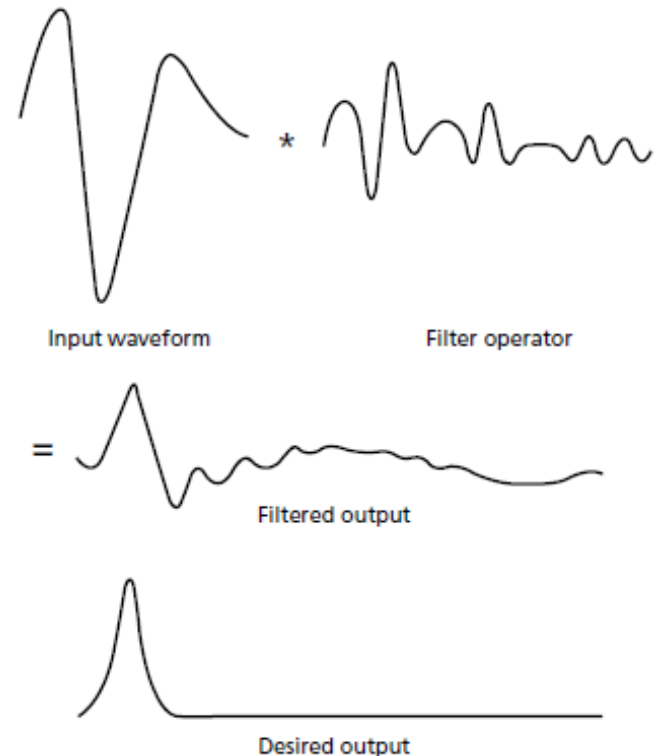


Fig. 4.20 The principle of Wiener filtering.

Deconvolução

- O efeito de cada um dos 3 processos é diminuir o tamanho do pulso em sismogramas processados, melhorando a resolução vertical
- O objetivo mór (ainda não alcançado) é a compressão de cada forma de onda em um simples pico (delta de Dirac), de modo que cada reflexão seja um simples pico também.
- Dessa forma, seria possível determinar R e portanto a sequência estratigráfica
- Operador deconvolução (ou filtro inverso) I é definido de forma que $I * W = \delta$ (box 6.3)
- $I * S = R$
- Melhor filtro que melhor reduz para um pico é o filtro de Wiener
 - Deconvolução branqueadora

Box 6.3 Deconvolution processes

A source wavelet (W) convolved (indicated by $*$) with a reflectivity series (R) produces the observed seismic trace (S), which is denoted:

$$R * W = S. \quad (1)$$

A deconvolution operator (D) can be designed such that when it is convolved with the source wavelet (W) it produces a spike output (δ):

$$D * W = \delta. \quad (2)$$

As seismic data processing aims to image the subsurface geology, the objective of the deconvolution process is to unwrap the seismic trace to reveal the reflectivity series (R):

From Equation (1) above, $D * S = D * R * W = D * W * R$.

From Equation (2) above, $D * W * R = \delta * R = R$ (as $\delta = 1$).

Deconvolução

- Se $I \rightarrow I(t) \rightarrow$ deconvolução variável no tempo
 - Conteúdo de frequências da onduleta varia ao longo do seu caminho devido à atenuação preferencial das componentes de altas frequências pelo chão
 - Consequentemente, aumenta o tempo de viagem da onda
- Deconvolução preditiva – prever as múltiplas
- Técnicas de correlação ajudam a identificar reflexões primárias e secundárias
 - Autocorrelação (parte da série temporal com ela mesma)
 - Correlação cruzada (uma série temporal com outra)