

•  
•  
•

# Magnitude

- É a medida logarítmica do tamanho de um terremoto (ou explosão) baseada em medidas instrumentais.
- Conceito proposto por **Charles Richter** em 1935 através da comparação entre sismos no Sul da Califórnia (EUA).
- Terremoto de magnitude zero equivale a amplitude de 0,001 mm em sensor Wood-Anderson localizado a distância epicentral de 100 km.



- 
- 
- 

## Magnitude

- Teoricamente a Escala Richter não possui limites inferior ou superior.
- Na prática, o limite superior é dado pela Natureza. O tamanho máximo de um terremoto tectônico é dado pela extensão máxima de uma falha rúptil em uma placa litosférica finita e homogênea.
- Terremotos não tectônicos (impacto de meteoritos) não seguem essa limitação.

- 
- 
- 

## Magnitude

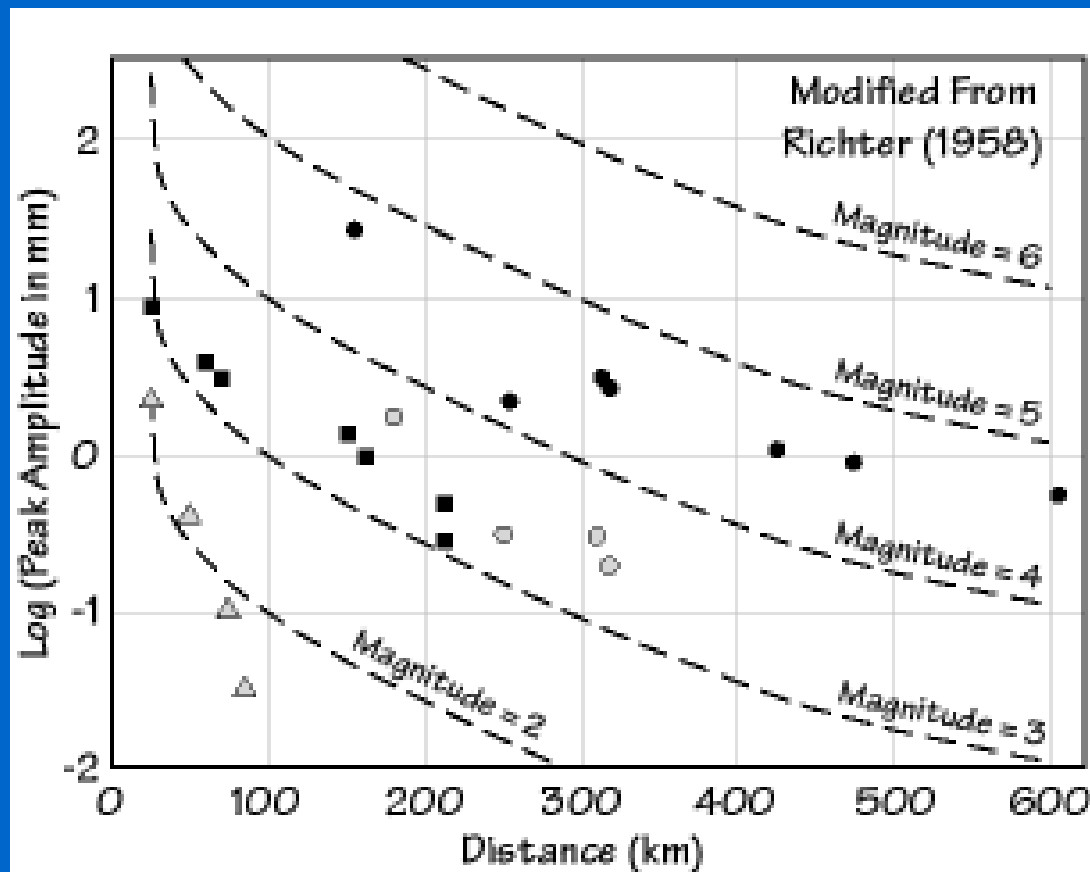
- Maior terremoto tectônico já registrado: Chile, 1960 – 9,5 Mw.
- Não existe limite inferior para a escala de magnitude. Instrumentos altamente sensíveis próximos a fontes sísmicas detectam magnitudes inferiores a 0 na Escala Richter – magnitudes negativas!

## Magnitude Local - Escala Richter

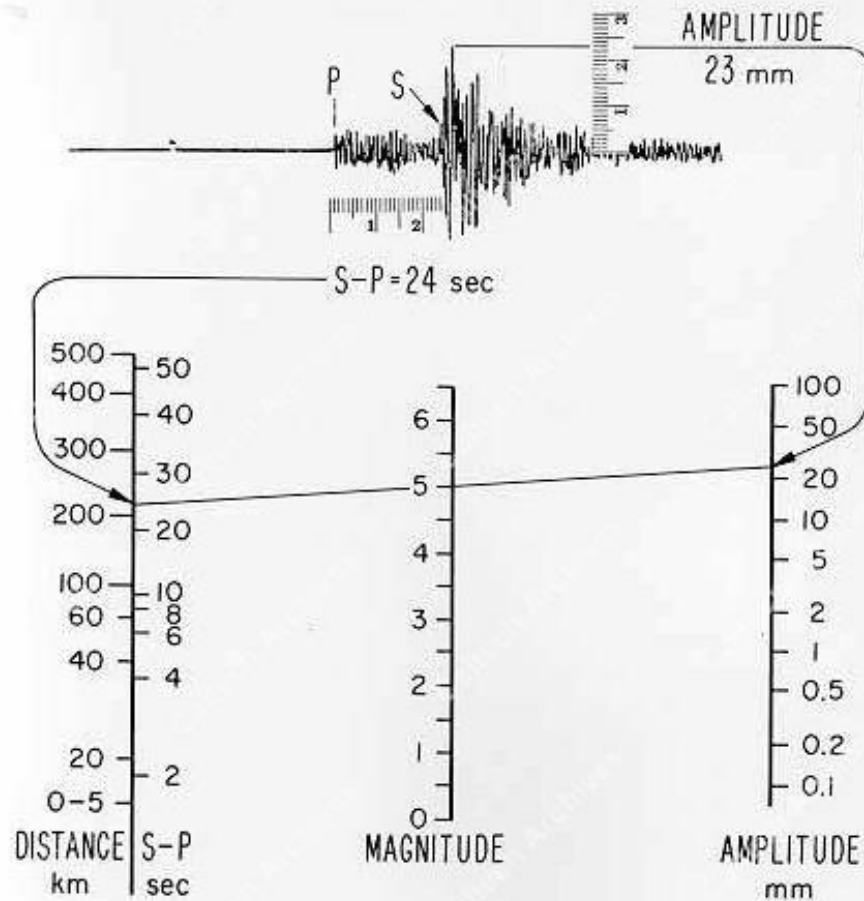
$$M_L = \log A - \log A_0$$

- $A \rightarrow$  máxima amplitude (mm) do deslocamento do chão no plano horizontal detectado por sensor Wood-Anderson.
- $A_0 \rightarrow$  amplitude (mm) do terremoto de magnitude zero.
- $-\log A_0 \rightarrow$  termo para correção de atenuação das ondas na Califórnia – dependente da distância epicentral e profundidade (valor tabelado p/ até 600 km).
- Magnitude zero – terremoto com amplitude de 0,001 mm em sensor Wood-Anderson a 100km de distância.

- 
- Magnitude local
- Instrumento padrão: Sismógrafo Wood-Anderson
- Gráfico de  $\log A$  versus distância



## THE RICHTER SCALE



TO DETERMINE THE MAGNITUDE OF AN EARTHQUAKE WE CONNECT ON THE CHART  
 A. THE MAXIMUM AMPLITUDE RECORDED BY A STANDARD SEISMOMETER, AND  
 B. THE DISTANCE OF THAT SEISMOMETER FROM THE EPICENTER OF THE  
 EARTHQUAKE (OR THE DIFFERENCE IN TIMES OF ARRIVAL OF THE P AND S WAVES)  
 BY A STRAIGHT LINE, WHICH CROSSES THE CENTER SCALE AT THE MAGNITUDE

## Escala Richter

- Forma gráfica

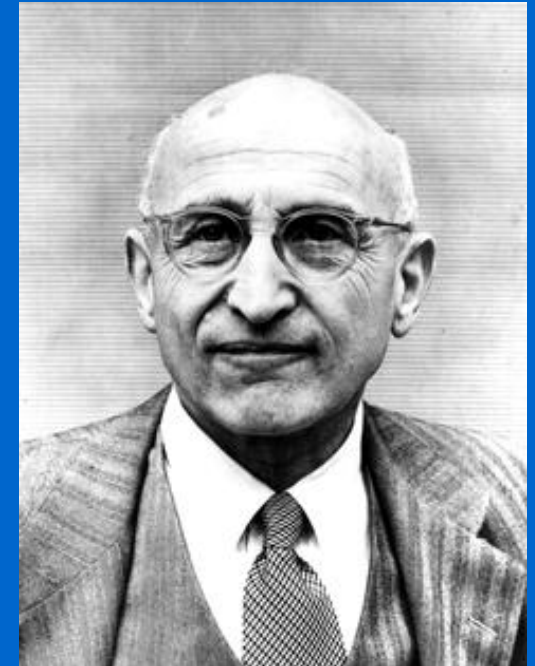


•  
•  
•

## Magnitude de ondas superficiais ( $M_s$ )

Definida por **Beno Gutenberg** (1945)  
para ondas de superfície telessísmicas.

$$M_S = \log (A/T)_{max} + 1,66 \log \Delta + 3,3$$



Onde:

A - amplitude (em  $\mu\text{m}$ ) da onda superficial medida  
no intervalo de período (T) de 18 a 22 segundos;

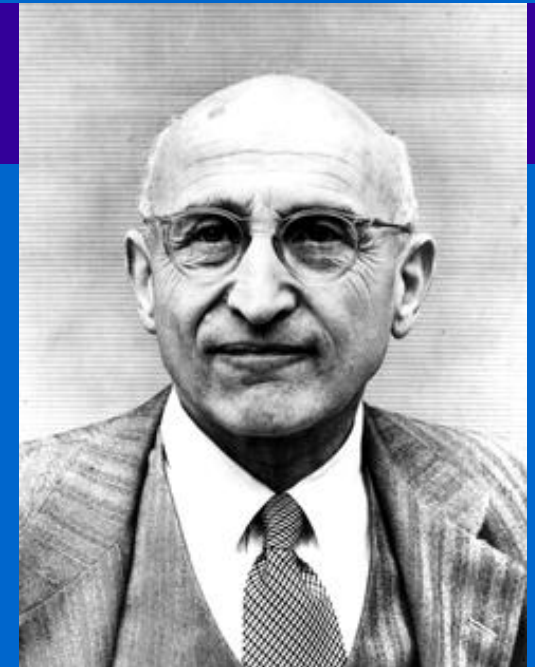
$\Delta$  - é a distância epicentral em graus no intervalo  
de  $2^\circ$  a  $160^\circ$

• • • • •

## · Magnitude de ondas de corpo ( $m_b$ )

Definida por **Beno Gutenberg** (1945) para ondas de corpo telessísmicas ( $\Delta > 20^\circ$ ) -P, PP, S - com períodos de 1 a 5 s.

$$m_b = \log (A/T)_{max} + Q(h, \Delta)$$



Onde:

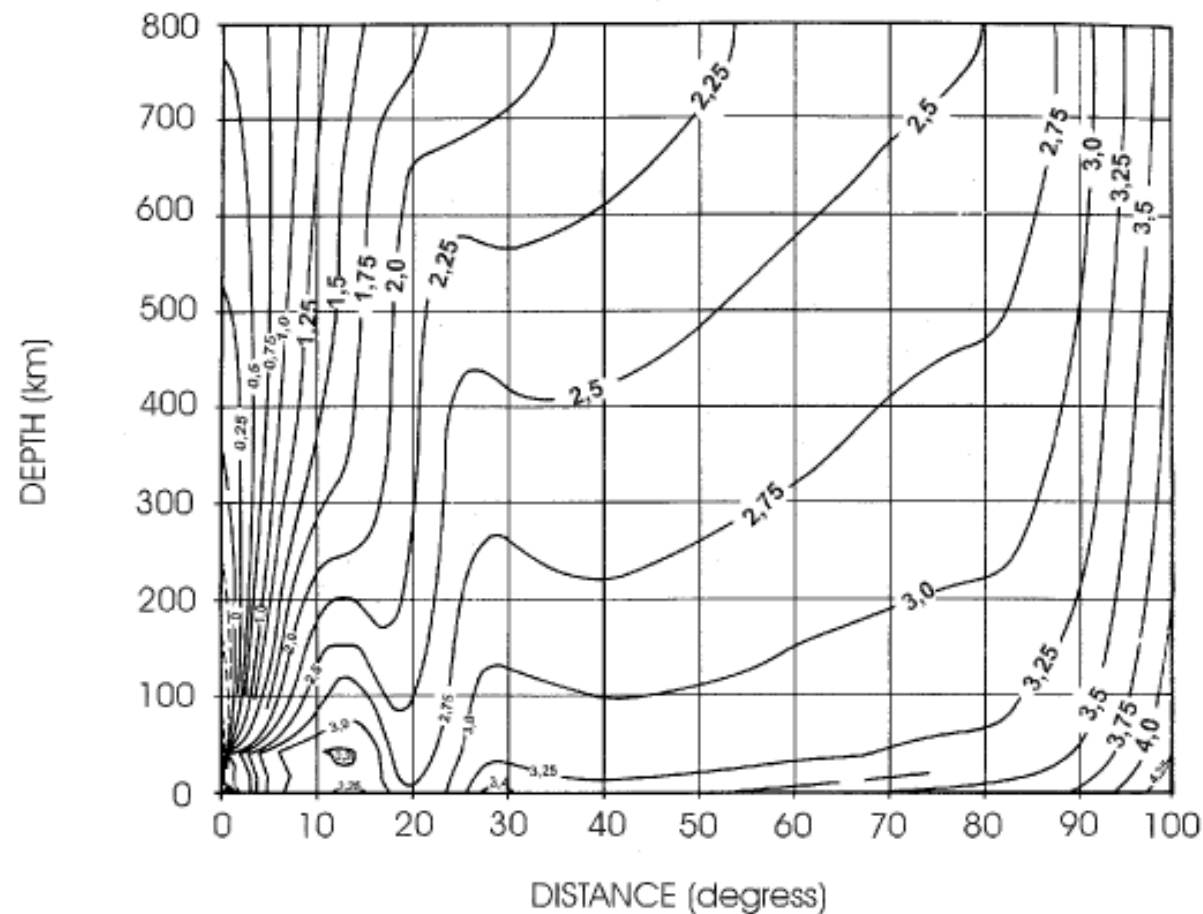
**A** é o movimento do chão em microns ( $1\mu\text{m} = 10^{-3} \text{ mm}$ );

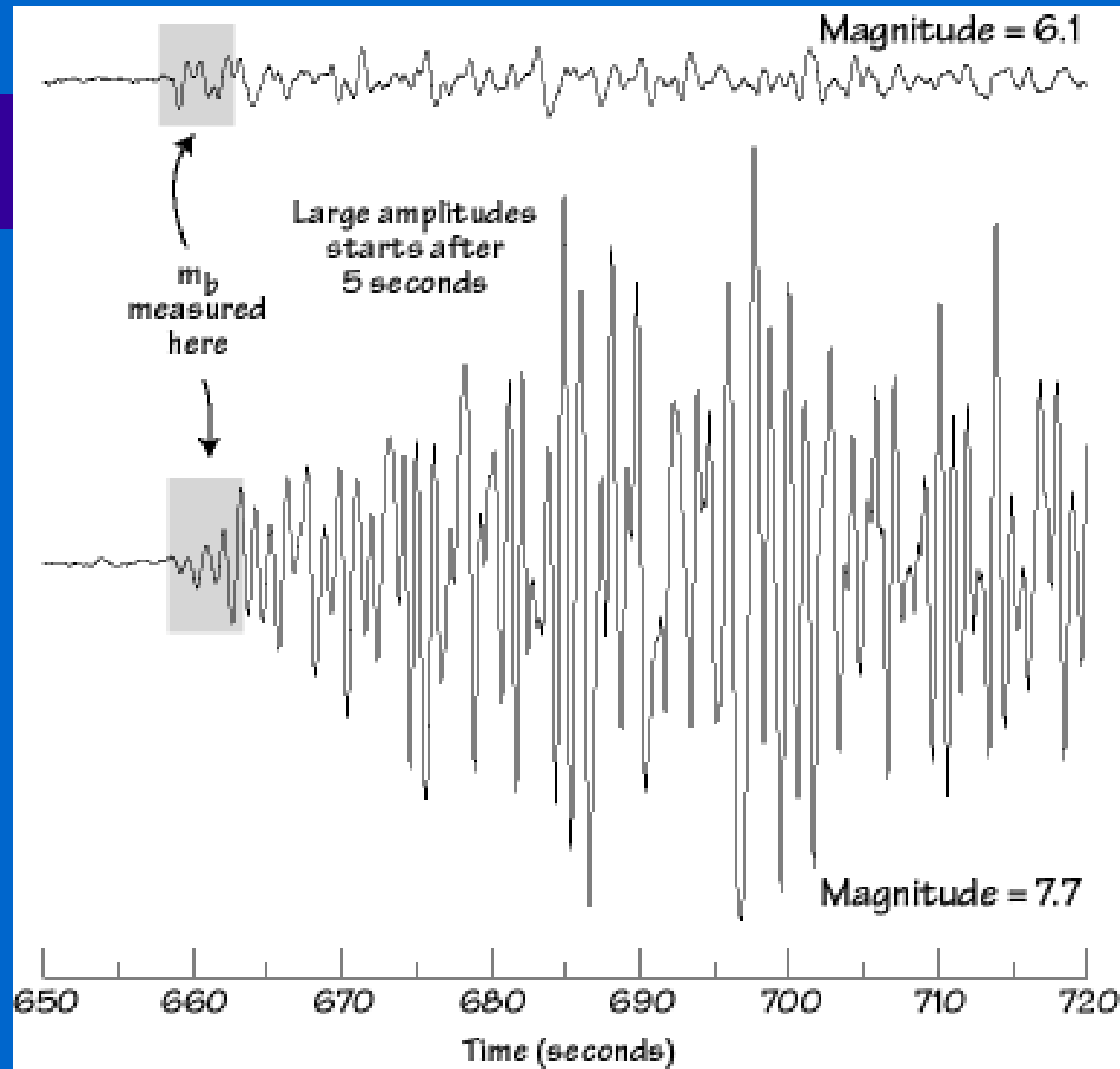
**T** é o período em segundos;

**$Q(h, \Delta)$**  é um fator de correção (tabelado) que depende da profundidade  $h$  (km) e da distância epicentral  $\Delta$  (graus).

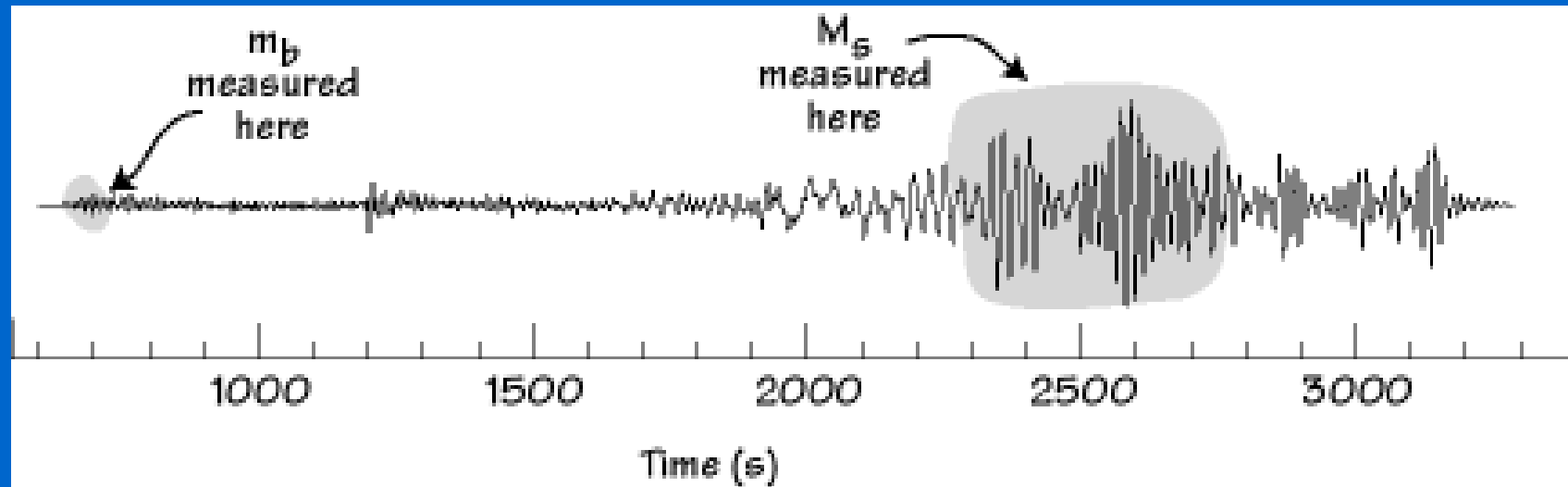


- 
- T é o período dominante da onda medida e Q é uma função empírica em função da  $\Delta$  e da profundidade.





- 
- 
- 

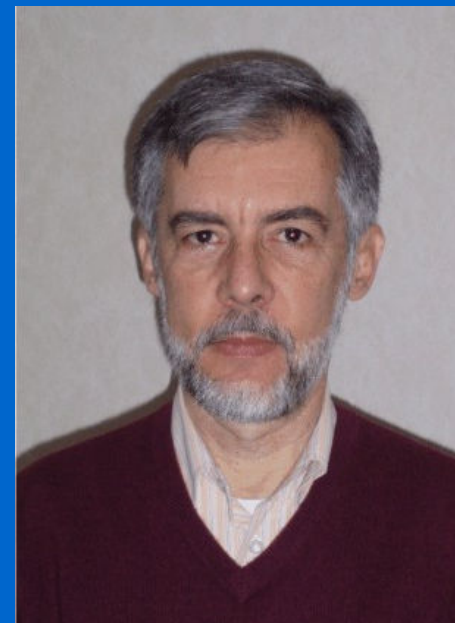


## Magnitude Regional - Brasil (equivalente a $m_b$ )

Assumpção (1983) definiu escala  $m_R$  para onda P de sismos pequenos e moderados com distância epicentral entre 200 e 1500 km

$$m_R = \log V_{max} + 2,3 \log \Delta - 2,28$$

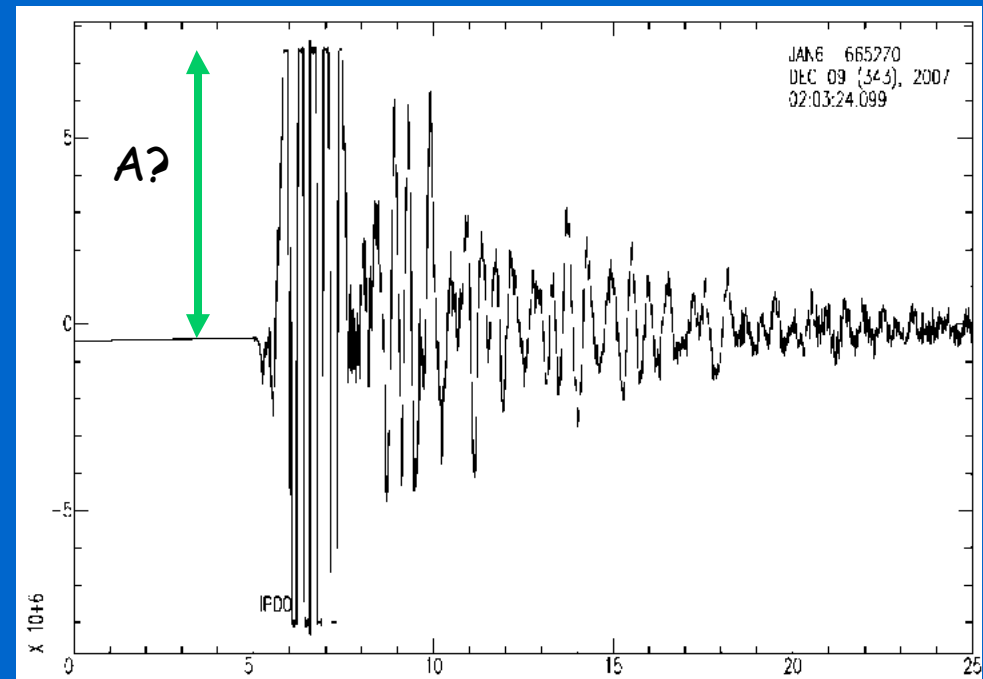
$V \rightarrow$  máxima velocidade da onda P ( $\mu\text{m/s}$ );  
 $\Delta \rightarrow$  distância epicentral em km.



## • • • Magnitude de Duração ( $m_D$ )

Quando o terremoto é muito grande ou o sensor está muito próximo da fonte, a amplitude pode saturar e inviabilizar a determinação da magnitude com base na amplitude ( $M_L$ ,  $M_S$ ,  $m_b$ ,  $m_R$ ).

A duração do registro não é afetada por este problema e é utilizada nesses casos para determinar a magnitude.



# Magnitude de Duração ( $m_D$ )

*Fórmula geral:*

$$m_D = a_0 + a_1 \log D + a_2 \Delta$$

*D é a duração (segundos) do registro;*

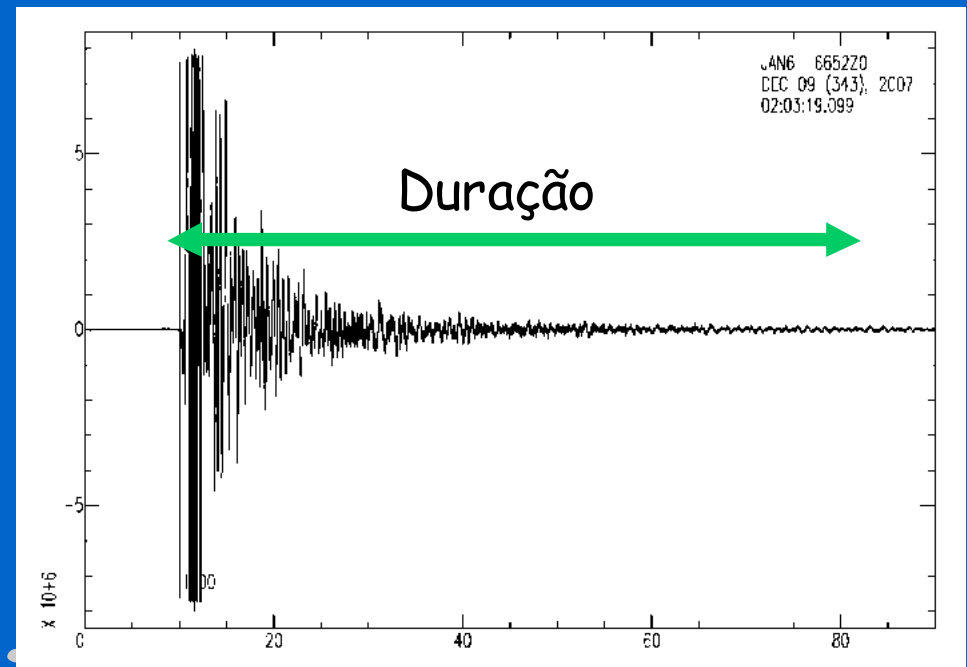
*$\Delta$  é a distância epicentral (km)*

*Fórmula geral p/ Brasil*

*(Assumpção et al., 1989):*

$$m_D = 2,05 \log D - 1,61 \quad (D > 30 \text{ s})$$

$$m_D = 1,00 \log D - 0,02 \quad (D < 30 \text{ s})$$



Relação entre  $M_s$  - Amplitude máxima do chão (A) - Comprimento da falha (L) - Deslocamento na falha (D) - Energia

**Tabela 3.2** Energia relacionada à magnitude dos terremotos

$M_s$	A amplitude a 50 km	L (km) comprimento da ruptura	D Deslocamento na falha	Energia (J)	tempo p/ Itaipu gerar a energia (12.000 MW)
9	1 m	400	10 m	$1,6 \times 10^{18}$	4,5 anos
7	1 cm	30	1 m	$2,1 \times 10^{15}$	2 dias
5	0,1 mm	5	1 cm	$2,8 \times 10^{12}$	4 min
3	0,1 mm	1	1 mm	$3,6 \times 10^9$	0,3 s

# Magnitude de Momento Sísmico - $M_w$

Proposta por Kanamori (1977), reflete melhor os tamanhos absolutos baseados nos processos físicos que ocorrem durante a ruptura.

É baseada no momento sísmico:

$$M_0 = \mu DS$$

$\mu \rightarrow$  módulo de rigidez

$D \rightarrow$  deslocamento médio da falha

$S \rightarrow$  área total da superfície de ruptura



$M_0$  no Sistema Internacional: N-m

$$M_w = \frac{2}{3} (\log M_0 - 9,1)$$

$M_0$  no Sistema cgs: dyn-cm

$$M_w = \frac{\log M_0}{1,5} - 10,73$$



# Cálculo da Magnitude de Momento Sísmico - $M_W$

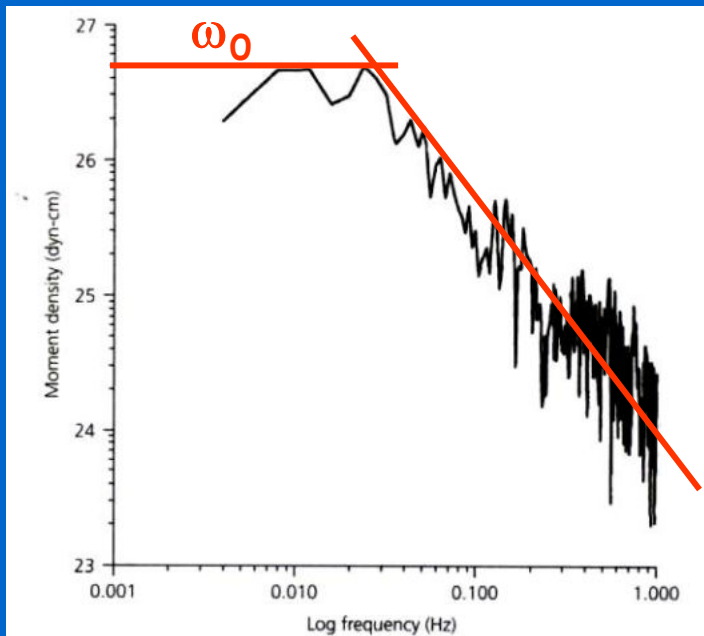


Fig. 4.6-8 Amplitude spectrum averaged from *P* waves recorded at globally distributed broadband seismometers for the October 21, 1995, earthquake near Chiapas, Mexico. (Rebollar *et al.*, 1999. © Seismological Society of America. All rights reserved.)

$$M_W = \frac{4\pi \times R \times \rho \times v_{P,S}^3 \times \omega_0}{R_{\theta,\varphi}^{P,S}}$$

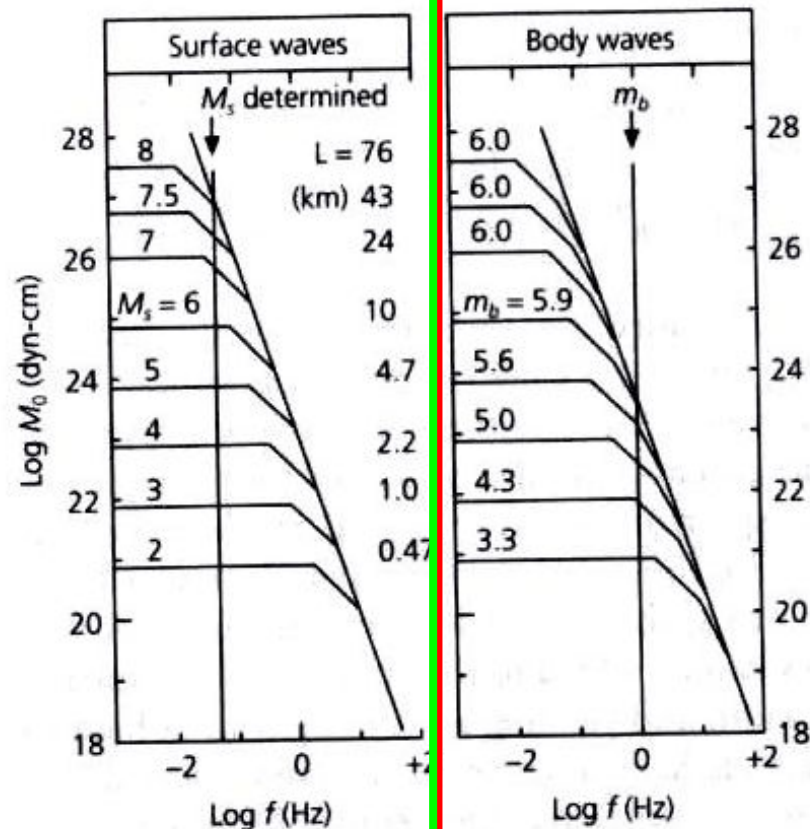
$R$  → distância epicentral

$\rho$  → densidade da rocha na fonte

$v_{P,S}^3$  → velocidade da onda P ou S na fonte

$R_{\theta,\varphi}^{P,S}$  → fator de correção para amplitude da onda em relação ao padrão de radiação da fonte, diferente para ondas P ou S

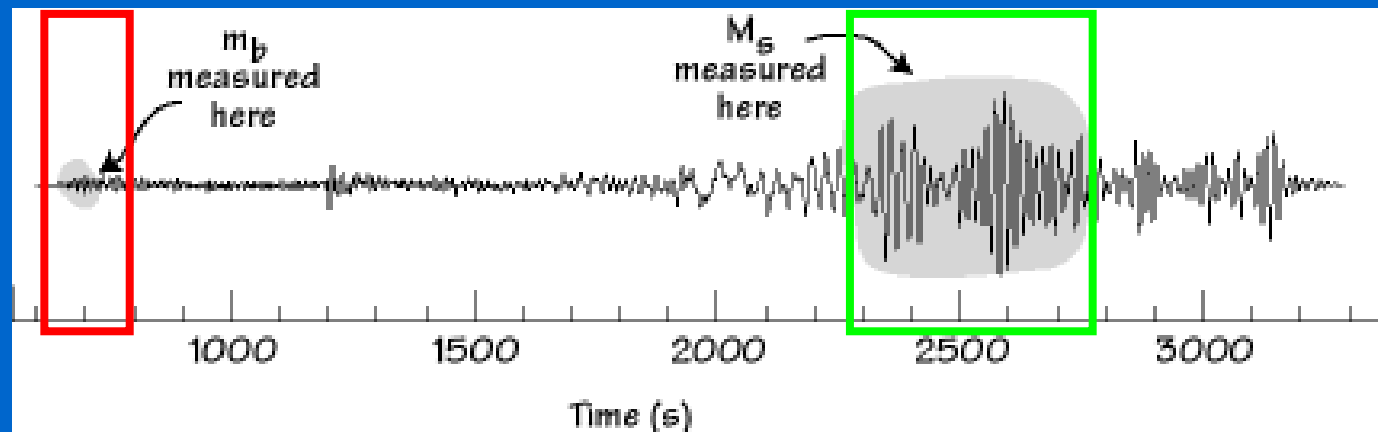
$\omega_0$  → nível da amplitude de baixa frequência no espectro de deslocamento para ondas P ou S, corrigido para resposta instrumental, atenuação da onda e amplificação de superfície.



"Saturação" das escalas de magnitude  $m_b$  e  $M_s$

$m_b$  - satura a partir de 6,0

$M_s$  - satura a partir de 8,0



# Sumário

Magnitude	Símbolo	Onda/informação	Período (s)
Local (Richter)	$M_L$	P, S ou Superficial	0,1-1,0
Onda de Corpo	$m_b$	P	1,0-5,0
Onda de superfície	$M_s$	Rayleigh	18 a 22
Momento	$M_w$	Área de Ruptura	> 200

# Magnitude versus Energia

