O QUE É A ESCALA RICHTER?
(OU COMO SE MEDE UM TERREMOTO)

Ilydio Pereira de Sá

Atualmente, com o crescimento da tecnologia e da informação, tem sido muito comum o noticiário sobre catástrofes, principalmente sobre terremotos após o que ocorreu, infelizmente, no Haiti e no Chile.

Muitas pessoas não conseguem entender quando o noticiário fala sobre a escala Richter, e informa, por exemplo, que um terremoto atingiu 8,0 graus nessa escala.

Ficam até surpresas quando, para uma "pequena" diferença de dois pontos nessa escala, a notícia informa que o abalo liberou quase 1000 vezes mais energia do que o outro. Como se explica tudo isso? Qual a justificativa matemática para essa interpretação? Qual a fórmula ou fórmulas usadas para chegarem aos resultados que aparecem nas notícias? Com esse nosso breve estudo, esperamos esclarecer essas dúvidas.

Os efeitos dos tremores de terra, da maneira como se apresentam aos nossos sentidos, têm sido classificados por ordem de importância. As primeiras tentativas para a avaliação da **intensidade** dos sismos foram feitas no século XVII, decorrentes da necessidade de avaliar os abalos sísmicos no Sul de Itália. Era uma escala muito rudimentar e os sismos eram classificados em *ligeiros, moderados, fortes e muito fortes*.

Mais tarde desenvolveram-se escalas mais pormenorizadas, como a **Escala Modificada de Intensidades de Mercalli**, constituída por 12 graus de intensidades que eram estabelecidos de acordo com um questionário-padrão, de acordo com a intensidade crescente do sismo.

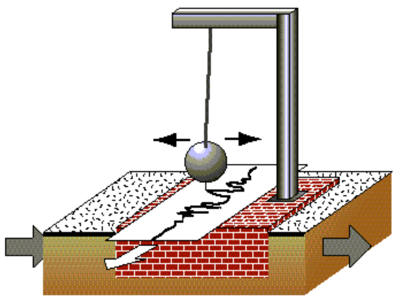
Esse tipo de aferição dos abalos apresentava a vantagem de não necessitar de medições feitas pelo homem, mas, ao mesmo tempo, apresentava a desvantagem da subjetividade nas respostas desses questionários.

Dessa forma, percebemos que os geólogos e sismólogos há muito se preocupam com o estudo dos terremotos, visando medidas preventivas para minimizar os impactos da catástrofe e salvar vidas.

O principal instrumento associado à medida do comportamento dos terremotos e outros tipos de abalos sísmicos é o **sismógrafo**, que se destina a detectar e medir as ondas mecânicas e as vibrações geradas por esses eventos.

Os sismógrafos têm como principio básico um pêndulo cuja oscilação é diretamente proporcional à do abalo que ocorreu. O registro dessas oscilações fornece dados que caracterizam a intensidade do fenômeno ocorrido.

Fig. 1: Sismógrafo



Fonte: http://www.if.ufrgs.br

Atualmente os terremotos são classificados pelos danos que causam à região onde ocorreram e tal classificação é feita através de um número indicador de sua magnitude, e está relacionado com a energia liberada pelas ondas do abalo sísmico ou com a amplitude das ondas sísmicas.

A conhecida como Escala Richter foi desenvolvida por dois sismólogos, o norte americano *Charles Francis Richter* (Hamilton, Ohio, EUA) e o alemão *Beno*

Gutenberg (Darmstadt, Alemanha), que depois passaram a trabalhar, juntos, no Instituto de Tecnologia da Califórnia.

Usada pela primeira vez em 1935, a referida escala que leva apenas o nome de um deles (Charles *Richter*) é uma escala logarítmica que quantifica a magnitude dos terremotos com base na amplitude das ondas sísmicas que se propagam a partir do epicentro (ponto de origem do sismo).

Fig. 2: Charles Richter

Fonte: pt.wikipedia.org/wiki/Charles_Francis_Richter

Trata-se de uma escala construída a partir de logaritmos decimais e as variações se dão através de potências de base dez. Terremotos que atingem até a magnitude 2 são considerados microterremotos e praticamente não são sentidos. A partir das magnitudes entre 4 e 5 na escala Richter, um tremor já é suficientemente forte e libera tanta energia mecânica que pode ser detectado por instrumentos instalados em vários locais do planeta.

Uma das formas de medição dos abalos é calculada através da fórmula: $\mathbf{M_L = \log A - \log A_0}$. Nessa fórmula, temos que:

A = *amplitude máxima das ondas sísmicas P (pressão máxima) e S (superficial), medidas a 100 km do epicentro do sismo.*
$\boldsymbol{A_0}$ = *uma amplitude de onda usada como referência.*

A equação proposta por Richter pode ser escrita de várias formas distintas, dependendo das variáveis escolhidas para a sua composição. Nosso estudo vai ter como referência outra fórmula, que usa a variável **E,** que representa a **energia mecânica liberada** pelo abalo (medida em Joules).

A fórmula que mede a magnitude do terremoto pode ser escrita como:

$$\mathbf{M = 0{,}67.\log E - 3{,}25}$$

Veja na tabela a energia liberada em alguns terremotos.

Magnitude (M)	Energia liberada em joules (E)	Ocorrência
2,0	$6{,}3 \times 10^{7}$	Praticamente imperceptível
5,0	$2{,}0 \times 10^{12}$	Bomba atômica em Hiroshima, Japão 1945
6,7	$7{,}1 \times 10^{14}$	Estados Unidos (Los Angeles) 1994
6,9	$1{,}4 \times 10^{15}$	Armênia, 1998 e Índia, 2001
7,0	$2{,}0 \times 10^{15}$	Haiti, Janeiro de 2010
7,2	$4{,}0 \times 10^{15}$	Japão (Kobe), 1995
7,4	$7{,}9 \times 10^{15}$	Turquia, 1999 e Irã, 1990
7,8	$1{,}6 \times 10^{16}$	China (Tangshan), 1976
7,9	$4{,}4 \times 10^{16}$	Japão (Tóquio e Yokohama), 1923, Peru 2007 e China 2008
8,1	$8{,}7 \times 10^{16}$	México (Cidade do México), 1985
8,3	$1{,}8 \times 10^{17}$	Estados Unidos (São Francisco) 1906
8,8	?	Chile, 2010
9,5	$1{,}1 \text{x} 10^{19}$	Chile, 1960

Sobre os logaritmos

Como tais escalas usam logaritmos, vamos aqui relembrar a definição e algumas propriedades dos logaritmos.

Definição: Sendo **a** e **b** números reais positivos, com b ≠ 1, chamamos de logaritmos de **a** na base **b** o expoente real **x** ao qual se eleva **b** para obter **a**, ou seja:

$$\log_b a = x \Rightarrow b^x = a, \text{ com } a > 0,\ b > 0 \text{ e } b \neq 1$$

Exemplos:

a) $\log_2 16 = 4$, pois $2^4 = 16$
b) $\log_{10} 1000 = 3$, pois $10^3 = 1000$. Nesses casos, quando a base é igual a dez, denominamos o logaritmo de decimal e, por convenção, a base não precisa ser escrita. Nesse exemplo, teríamos $\log 1000 = 3$.

Vamos agora lembrar algumas das propriedades dos logaritmos:

P1. O logaritmo da multiplicação de diversos fatores é igual à soma dos logaritmos desses fatores, ou seja: $\log_b (X.Y.Z....) = \log_b X + \log_b Y + \log_b Z + ...$

Vamos demonstrar essa propriedade para dois fatores e para mais fatores a demonstração seria semelhante.
$\log_b (X.Y) = \log_b X + \log_b Y$

Considerando X, Y, X e b números reais, com $b \neq 1$, podemos fazer a seguinte representação:

$\log_b X = p$; $\log_b Y = q$ e $\log_b (X.Y) = r$. Aplicando a definição de logaritmo, temos imediatamente que:

$b^p = X$ (1); $b^q = Y$ (2) e $b^r = X . Y$ (3)

Substituindo as relações (1) e (2) em (3), teremos:

$b^r = b^p . b^q$ ou $b^r = b^{p+q}$. Logo $b^r = b^{p+q}$

Como se trata de potências de mesma base, concluímos que:

$r = p + q$

Como $r = \log_b (X.Y)$; $p = \log_b X$ e $q = \log_b Y$, concluímos que:

$\log_b (X.Y) = \log_b X + \log_b Y$

Ficando assim provada a nossa propriedade.

É claro que tal propriedade surge diretamente relacionada ao fato de que para multiplicarmos duas potências de mesma base, conservamos a base e somamos os expoentes.

Como na divisão de potências de mesma base ocorre um fato similar, sendo que nesse caso subtraímos os expoentes, podemos concluir uma outra propriedade análoga à anterior e que teria uma demonstração similar.

P2. O logaritmo da divisão de dois números é igual à subtração dos logaritmos desses números, ou seja: $\log_b (X:Y) = \log_b X - \log_b Y$.

Trabalhando com a notícia

1) A título de aplicação, vamos conferir se está correta a magnitude o terremoto ocorrido em Kobe, no Japão, em 1995.

$M = 0{,}67.\log E - 3{,}25$

Como $E = 4{,}0\times10^{15}$ vamos substituir esse dado na equação Richter:

$M = 0{,}67 \,.\, \log (4{,}0\times10^{15}) - 3{,}25$

Aplicando agora as propriedades dos logaritmos, teremos:

$M = 0{,}67 \,.\, (\log 4{,}0 + \log 10^{15}) - 3{,}25$

Lembrando que $\log 10^x = x$, teremos então que $\log 10^{15} = 15$ e, procurando numa tabela ou máquina científica o valor de log 4, iremos obter 0,60206 (aproximadamente). Retornando com esses valores para a fórmula, teremos:

$M = 0{,}67 \,.\, (0{,}60206 + 15) - 3{,}25 = 0{,}67 \,.\, 15{,}60206 - 3{,}25 \cong \mathbf{7{,}2}$.

O valor que obtivemos confere com o valor divulgado na tabela.

2) Vamos aproveitar também esse nosso estudo para determinar a energia E, em Joules, liberada pelo recente terremoto no Chile (já que ela não aparece na tabela).

A tabela informa que esse terremoto atingiu 8,8 pontos na Escala Richter, usando novamente a fórmula dada, teremos:

M = 0,67.log E – 3,25 ou

8,8 = 0,67 . log E – 3,25, o que acarreta 0,67 . log E = 12,05, ou ainda,

log E = 12,05 : 0,67 $\cong$ 17,98

Finalmente, temos que E $\cong 10^{17,98} = 10^{17} . 10^{0,98}$

Esse resultado, consultando-se uma calculadora, é aproximadamente igual a **$9,55 . 10^{17}$** o que é, em ordem de grandeza, praticamente igual a 10^{18}.

3) O recente terremoto ocorrido em janeiro de 2010 no Haiti acusou magnitude 7,0 na escala Richter e o do Chile (2010) acusou 8,8. Várias notícias foram divulgadas comparando-se esses dois terremotos. Qual a real relação que existe entre **as magnitudes das energias liberadas** por esses dois terremotos?

Como acabamos de calcular na questão anterior, a energia liberada pelo terremoto ocorrido agora em fevereiro de 2010 no Chile foi teve magnitude de 9,55 x 10^{17} Joules, enquanto que, pela tabela, temos que o do Haiti teve energia liberada na magnitude de $2,0\times10^{15}$ Joules, logo, a relação entre as magnitudes desses dois sismos é de: $\frac{9,55 .10^{17}}{2,0 .10^{15}} = 4,775 . 10^2 = 477,5$

Interpretando o resultado que obtivemos, concluímos que o terremoto ocorrido no Chile foi, **em termos de liberação de energia**, cerca de 477,5 vezes maior do que o ocorrido no Haiti.

Se você fizer uma pesquisa pelas revistas e jornais que divulgaram o terremoto do Chile, verá que essa comparação nem sempre foi feita de forma correta ou as conclusões tiradas mesclaram a fórmula cuja variável é a amplitude da onda com a que tem como variável a energia liberada pelo terremoto.

Provavelmente faltou algum matemático ou professor de matemática na hora da revisão desses textos jornalísticos.

4) No início de nosso texto afirmamos que, em termos da quantidade de energia liberada, medida em Joules, se há uma diferença de 2 pontos nas medidas das magnitudes de dois terremotos na escala Richter, significa que a quantidade de energia liberada pelo terremoto de maior intensidade é quase 1000 vezes maior do que a do de menor intensidade. Vamos comprovar matematicamente essa afirmação.

Vamos designar as magnitudes desses terremotos, medidas na escala Richter, por M e M + 2. Vamos também designar por E_1 e E_2, respectivamente, as quantidades de energia (em Joules) liberadas por esses dois terremotos.

Em nosso estudo, vimos que: $M = 0{,}67.\log E - 3{,}25$, logo:

$M = 0{,}67.\log E_1 - 3{,}25$ e $M + 2 = 0{,}67.\log E_2 - 3{,}25$. Subtraindo a primeira equação da segunda, teremos:

$0{,}67.\log E_2 - 0{,}67.\log E_1 = 2$. Isso é o mesmo que $0{,}67.(\log E_2 - \log E_1) = 2$.

Aplicando as propriedades dos logaritmos, teremos:

$0{,}67 . \log \frac{E_2}{E_1} = 2$

$\log \frac{E_2}{E_1} = 2 : 0{,}67 \cong 2{,}985$

Finalmente, teremos, $\frac{E_2}{E_1} = 10^{2{,}985} \cong 966$

Ou seja, em termos corretos, o terremoto de maior intensidade, nesse caso, teria liberado uma quantidade de energia cerca de 966 vezes maior do que a quantidade liberada pelo terremoto de menor intensidade.

CONCLUSÃO

Nosso estudo teve como principal objetivo mostrar a aplicação dos logaritmos num tema tão atual e de interesse das pessoas e dos noticiários que é o tema dos terremotos em todo o mundo.

O educador matemático, em todos os níveis e segmentos, deve tentar mostrar que a matemática se relaciona com as diversas áreas do conhecimento e deve tentar despertar no aluno a sua capacidade crítica e também a sua vontade de aprender.

Abordar um tema como o que apresentamos em nosso estudo, pelo seu forte caráter de contextualização e atualidade, ajuda bastante a despertar a curiosidade do educando e também a mostrar uma matemática viva, útil, atrativa e, acima de tudo, para o entendimento de todas as pessoas.

FONTES:

http://www.cientic.com/tema_geologicos.html (visitado em 12/03/2010)

http://pt.wikipedia.org/wiki/Escala_de_Richter (visitado em 12/03/2010)

http://www.seismo.unr.edu/ftp/pub/louie/class/100/magnitude.html (visitado em 12/03/2010)

http://www.tiosam.net/enciclopedia/?q=Escala_Richter (visitado em 12/03/2010)