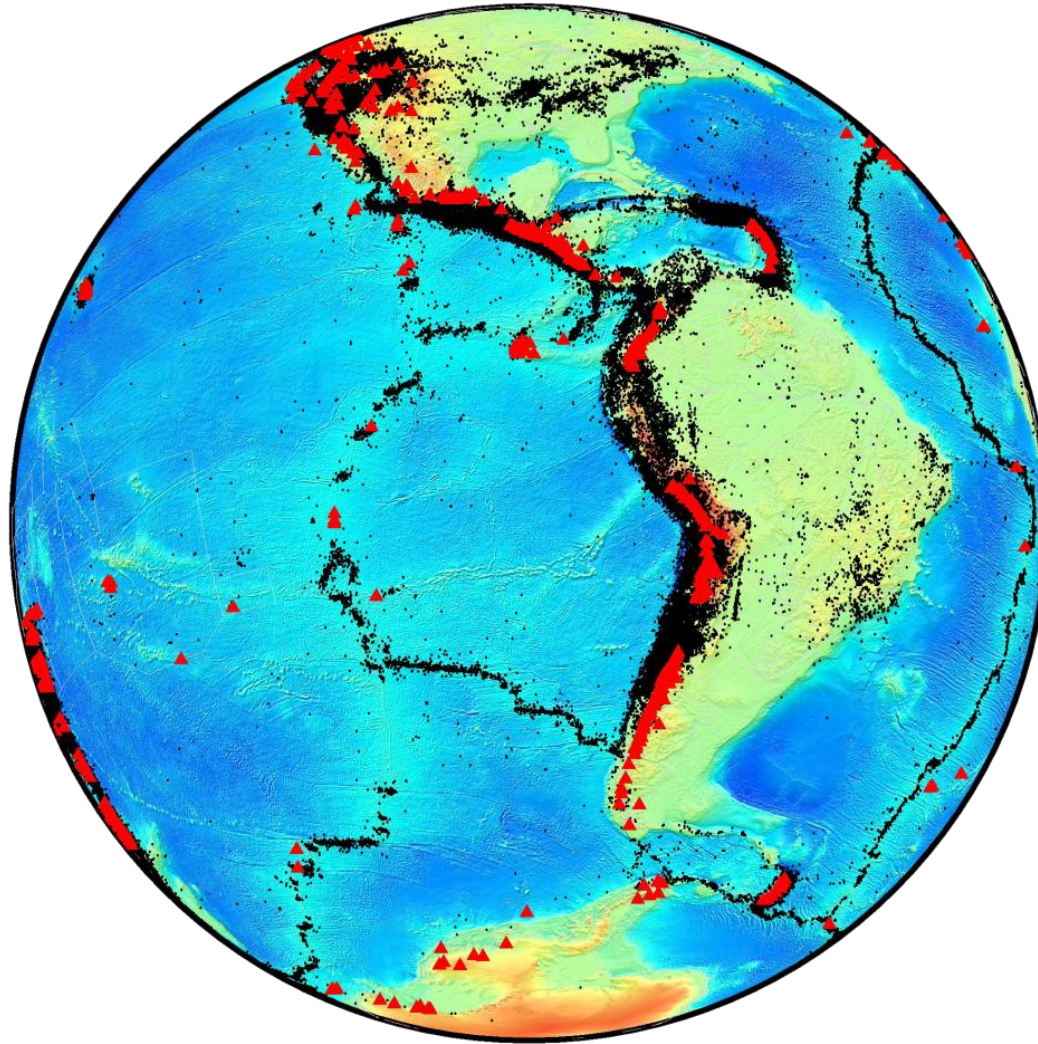


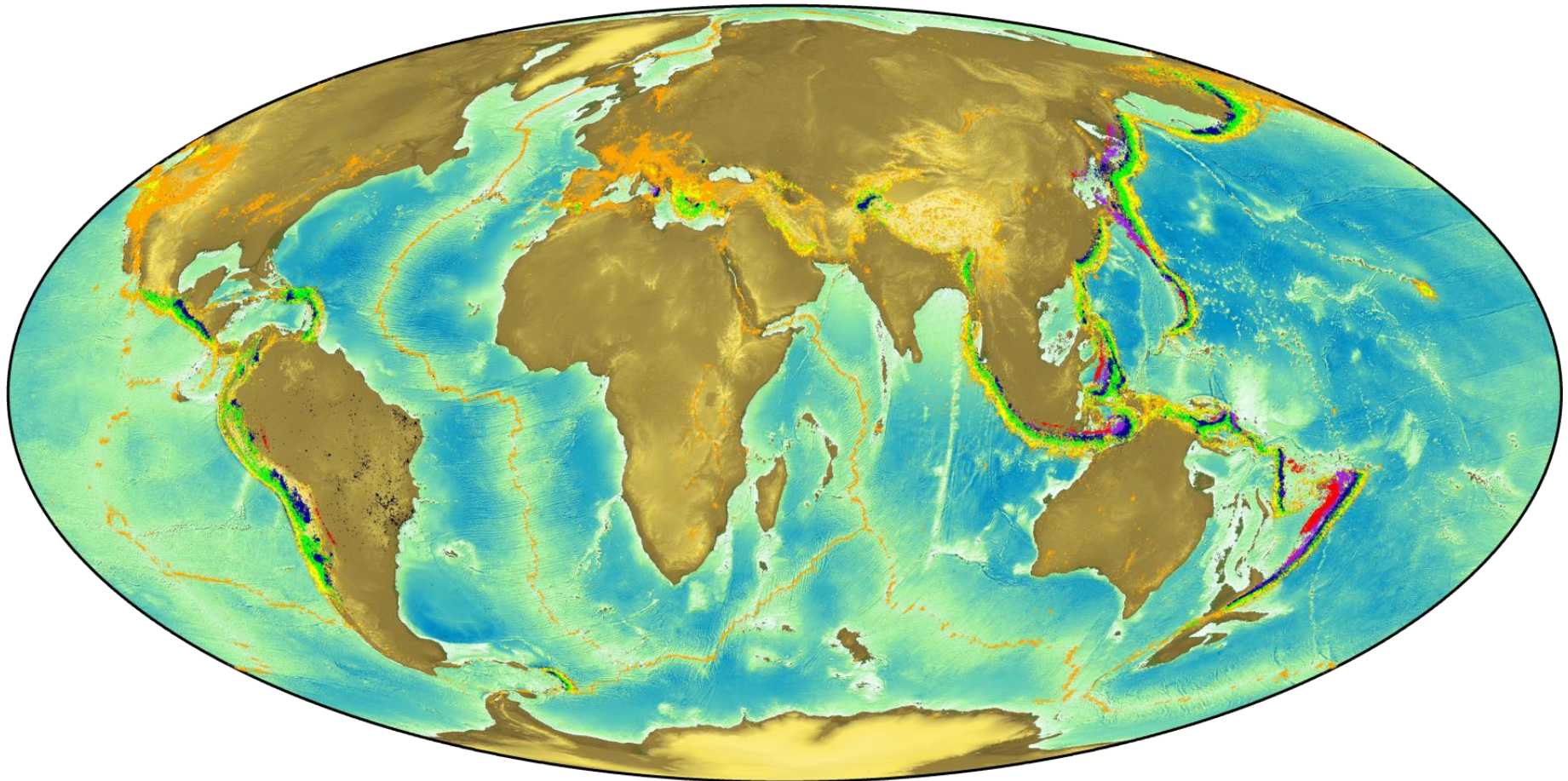
# Terremotos, Tsunamis e Vulcões



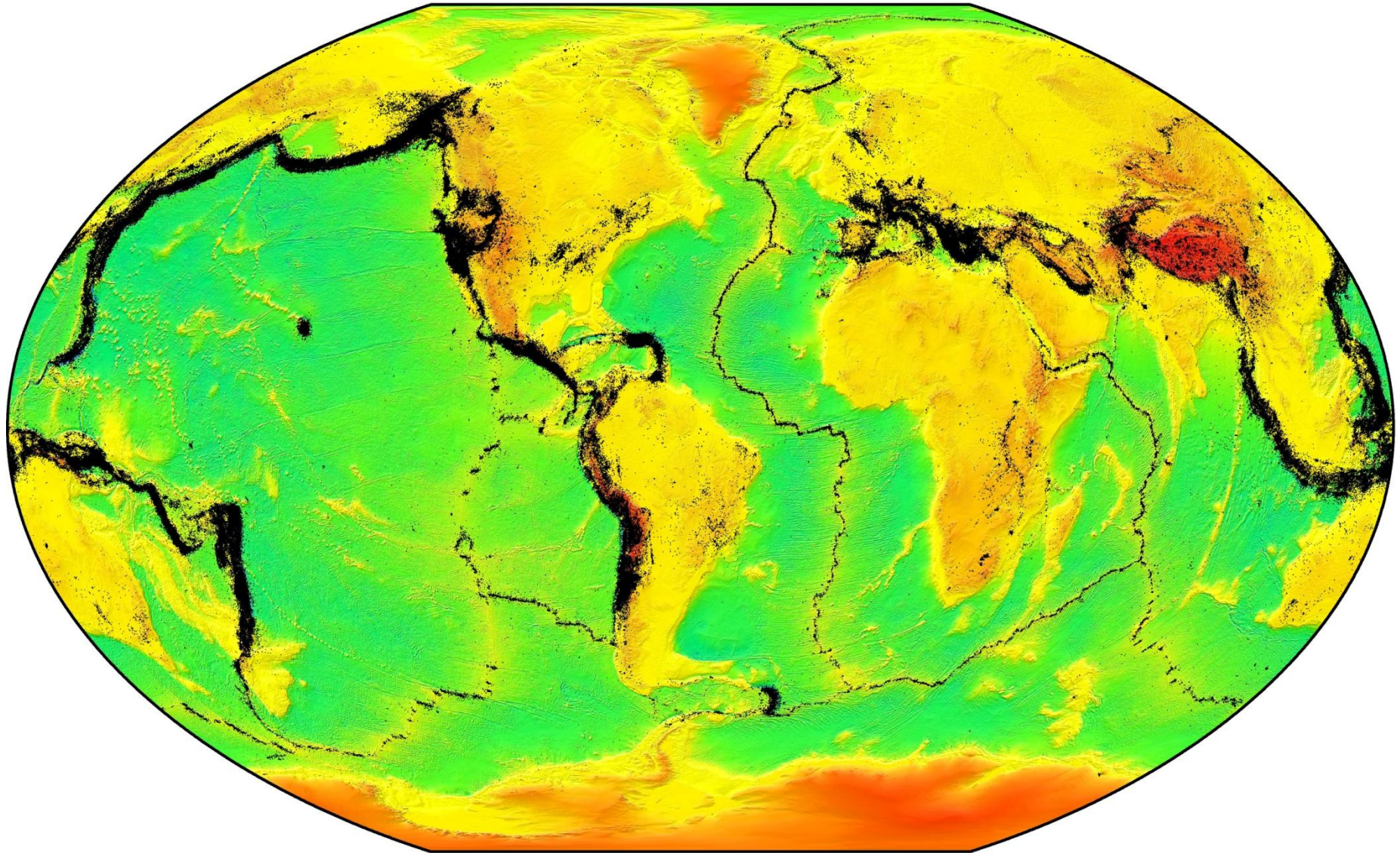
Eder Cassola Molina  
eder@iag.usp.br

# A distribuição dos terremotos

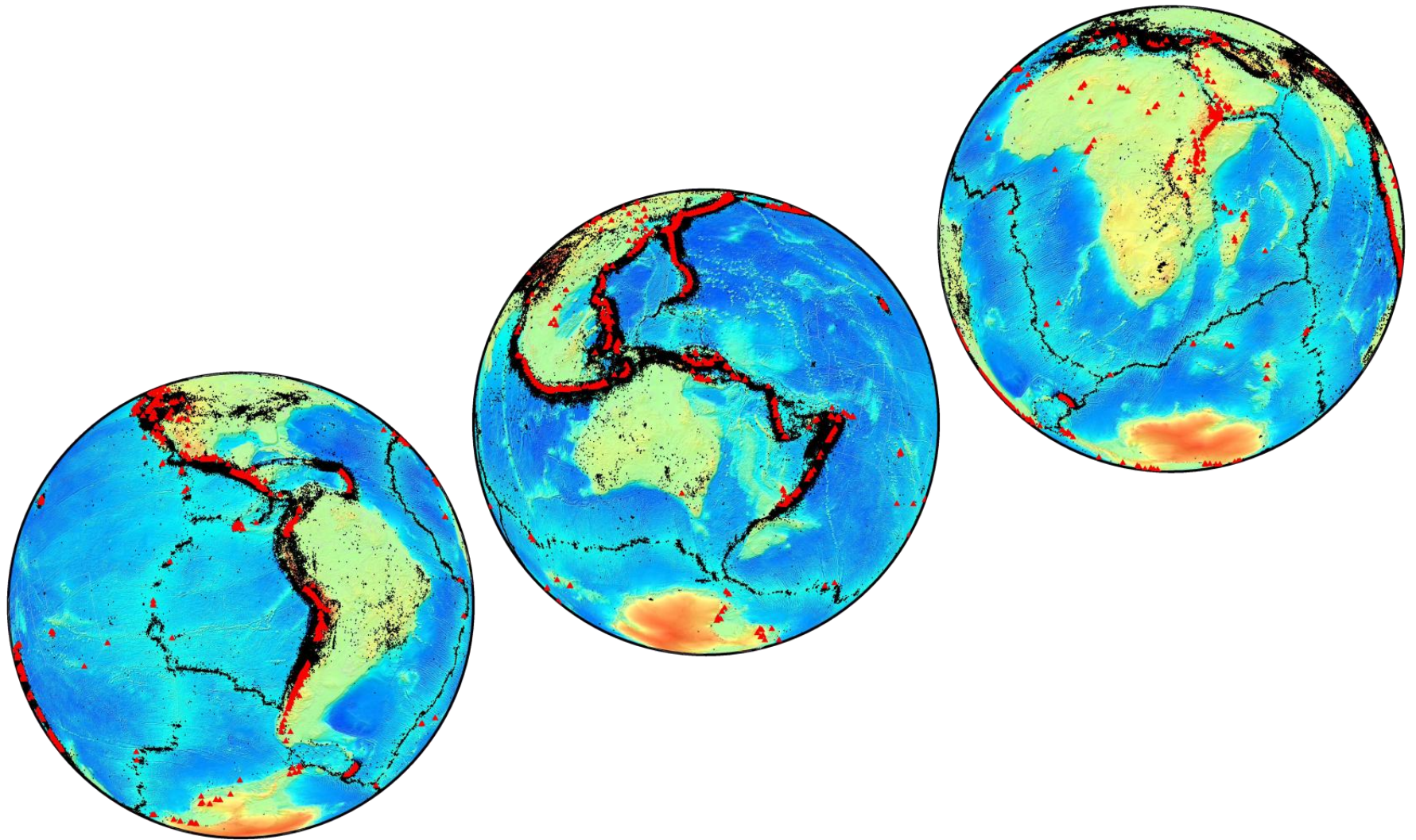
Com o desenvolvimento dos sismógrafos no início do século XX, os cientistas perceberam que os terremotos concentravam-se preferencialmente ao longo das trincheiras oceânicas e dorsais meso-oceânicas.



# A distribuição dos terremotos

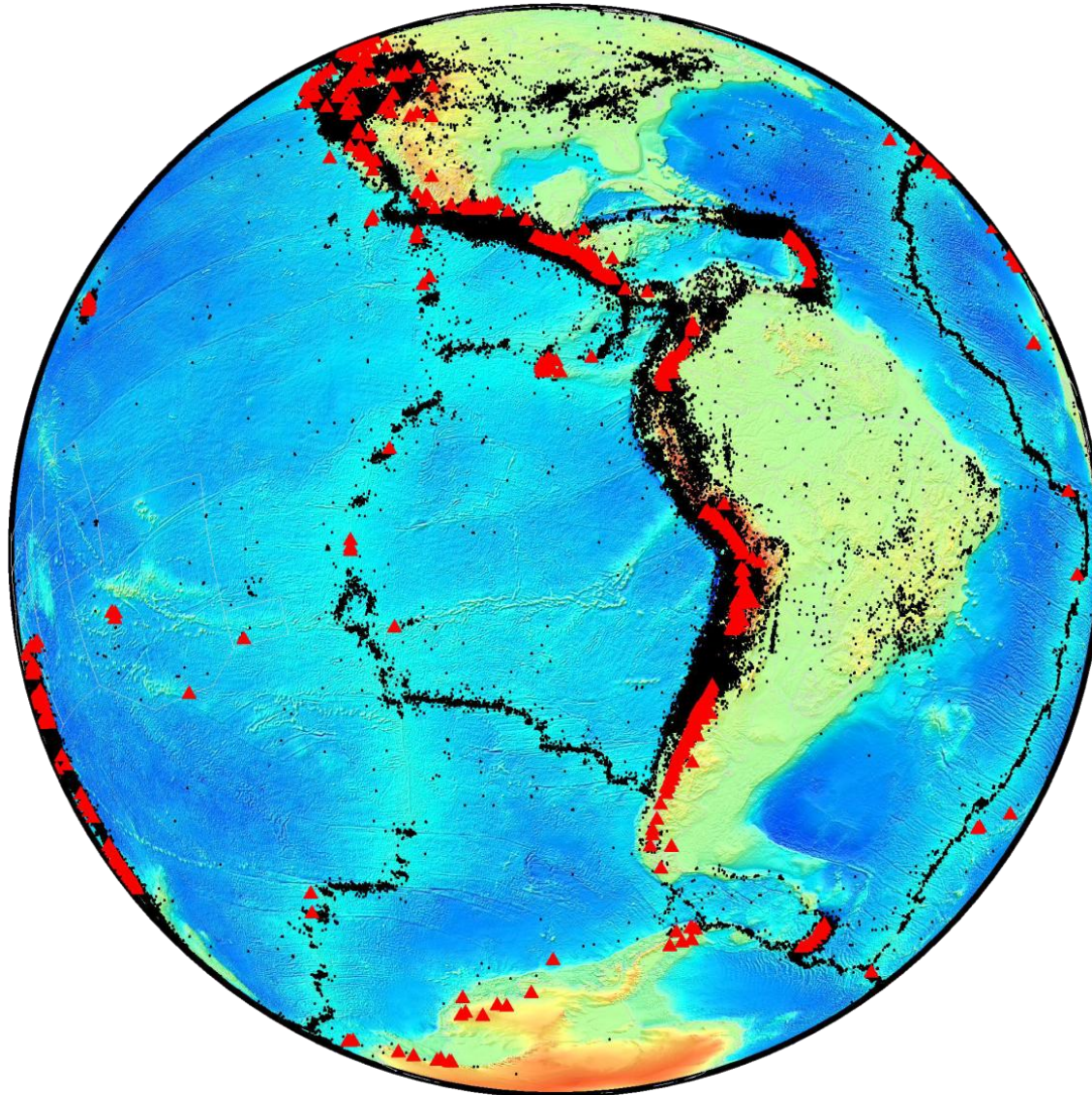


# A distribuição dos terremotos



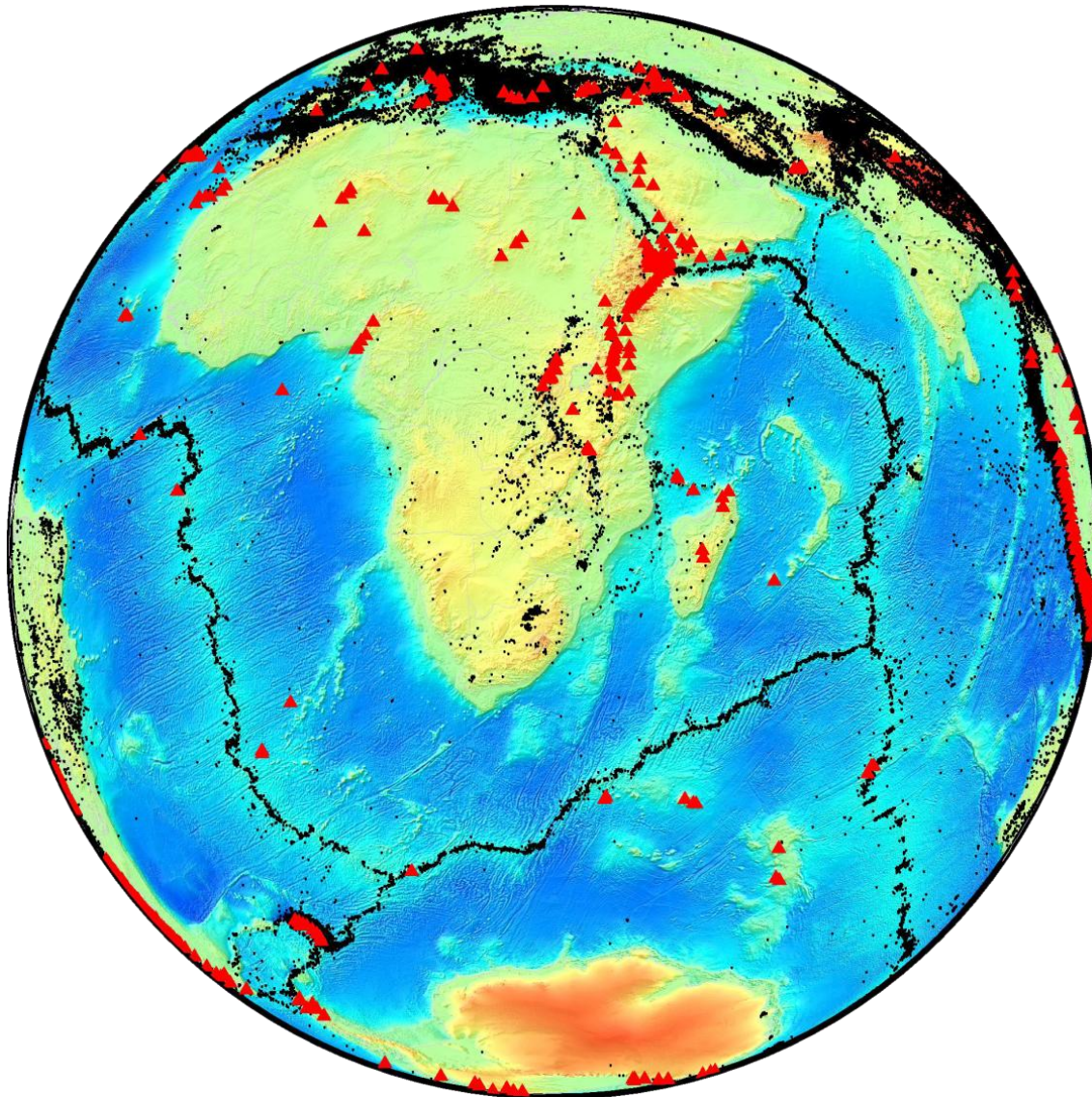
**A implantação da rede mundial de sismógrafos (para detectar explosões nucleares clandestinas) trouxe grande avanço no conhecimento da distribuição dos abalos sísmicos.**

# A distribuição dos terremotos



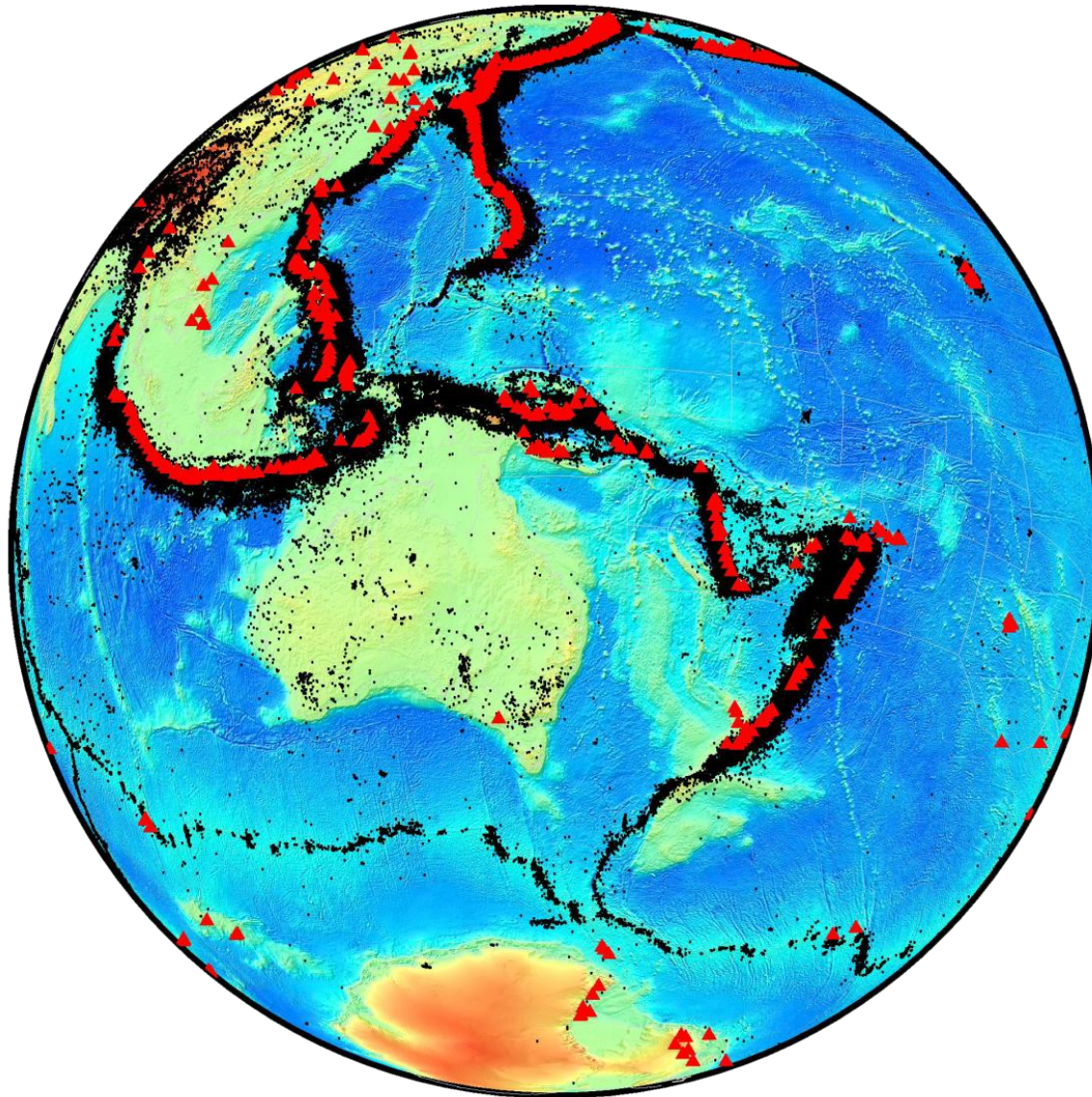
**A maior parte do vulcanismo terrestre está associada aos processos que ocorrem nas bordas das placas**

# A distribuição dos terremotos



**A maior parte do vulcanismo terrestre está associada aos processos que ocorrem nas bordas das placas**

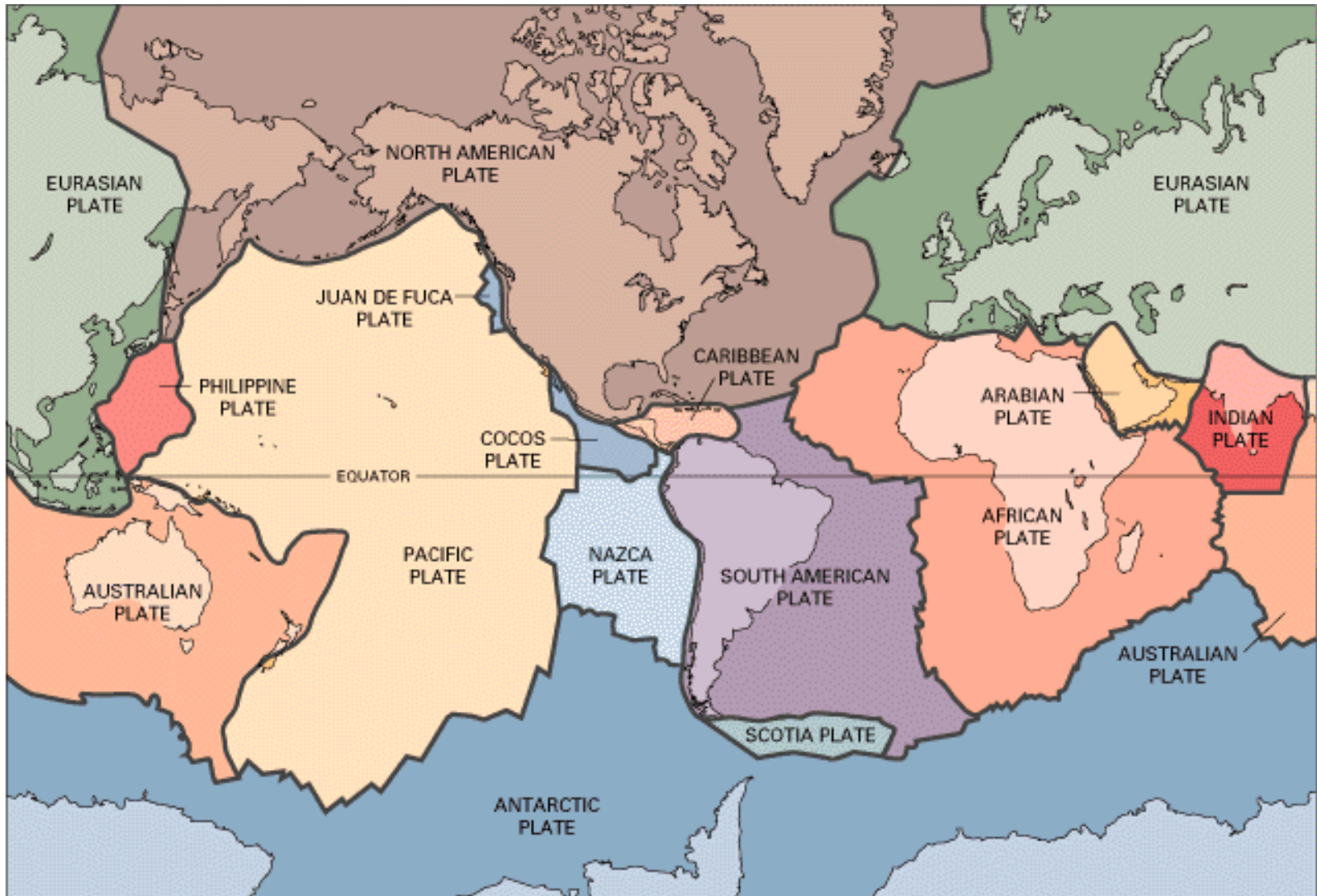
# A distribuição dos terremotos



**A maior parte do vulcanismo terrestre está associada aos processos que ocorrem nas bordas das placas**

# Tectônica de Placas

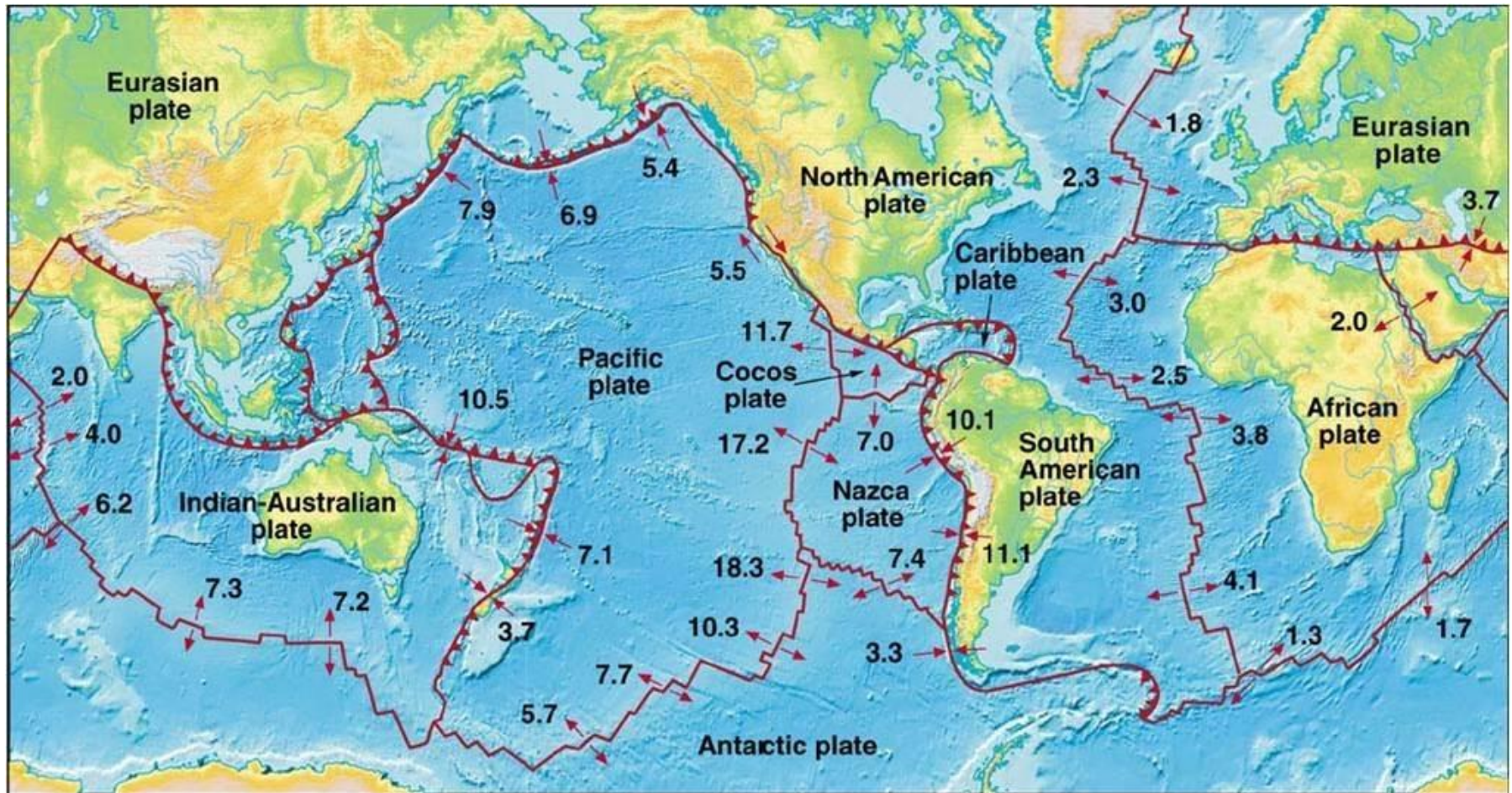
A camada superficial da Terra está dividida em grandes porções, que denominamos **PLACAS LITOSFÉRICAS**.





# Tectônica de Placas

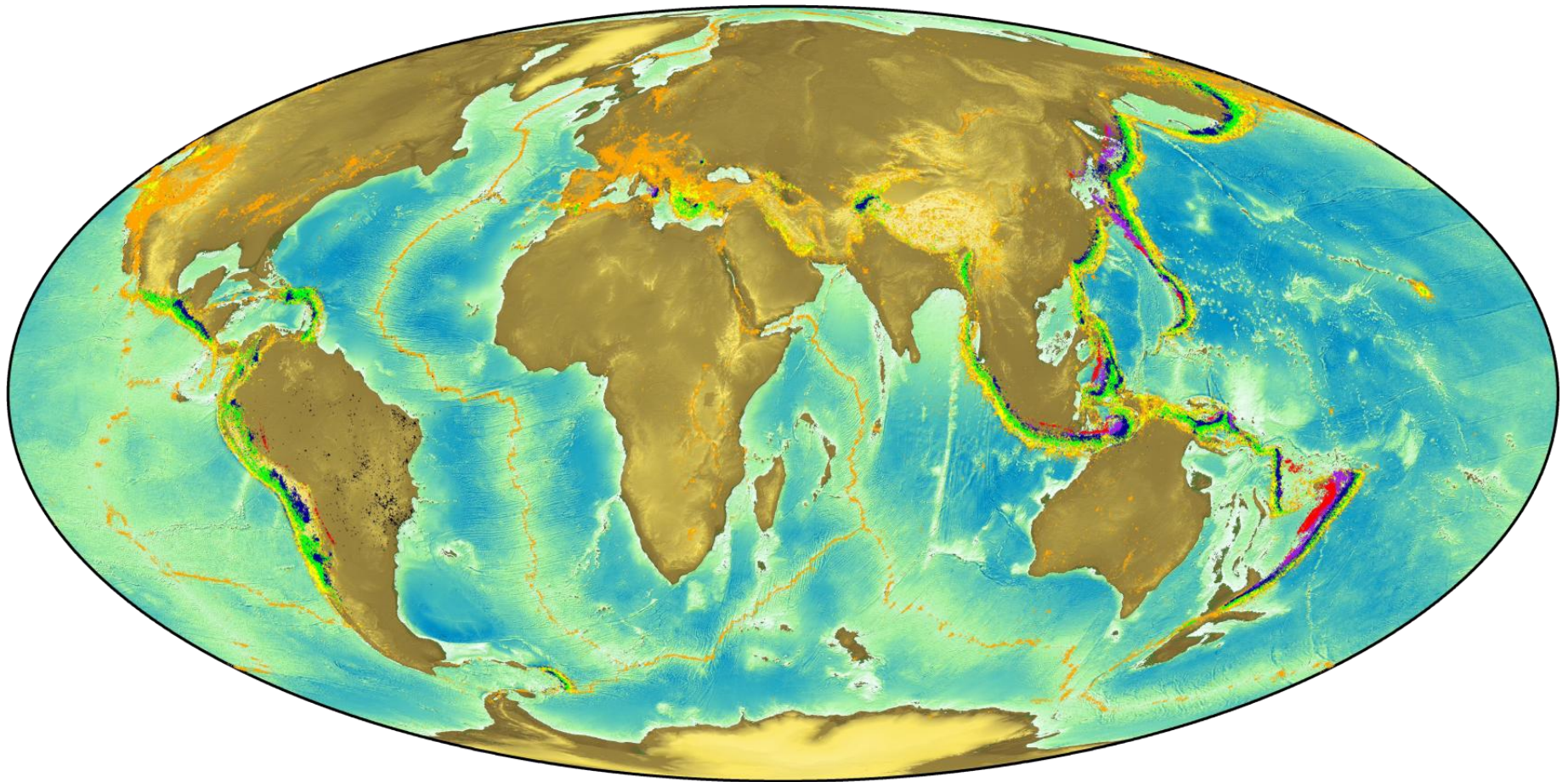
As placas litosféricas se movem e interagem, gerando cadeias de montanhas, novo assoalho oceânico e vulcanismo.



— Ridge axis      ▲▲▲ Subduction zone      → Direction of movement

# A distribuição dos terremotos

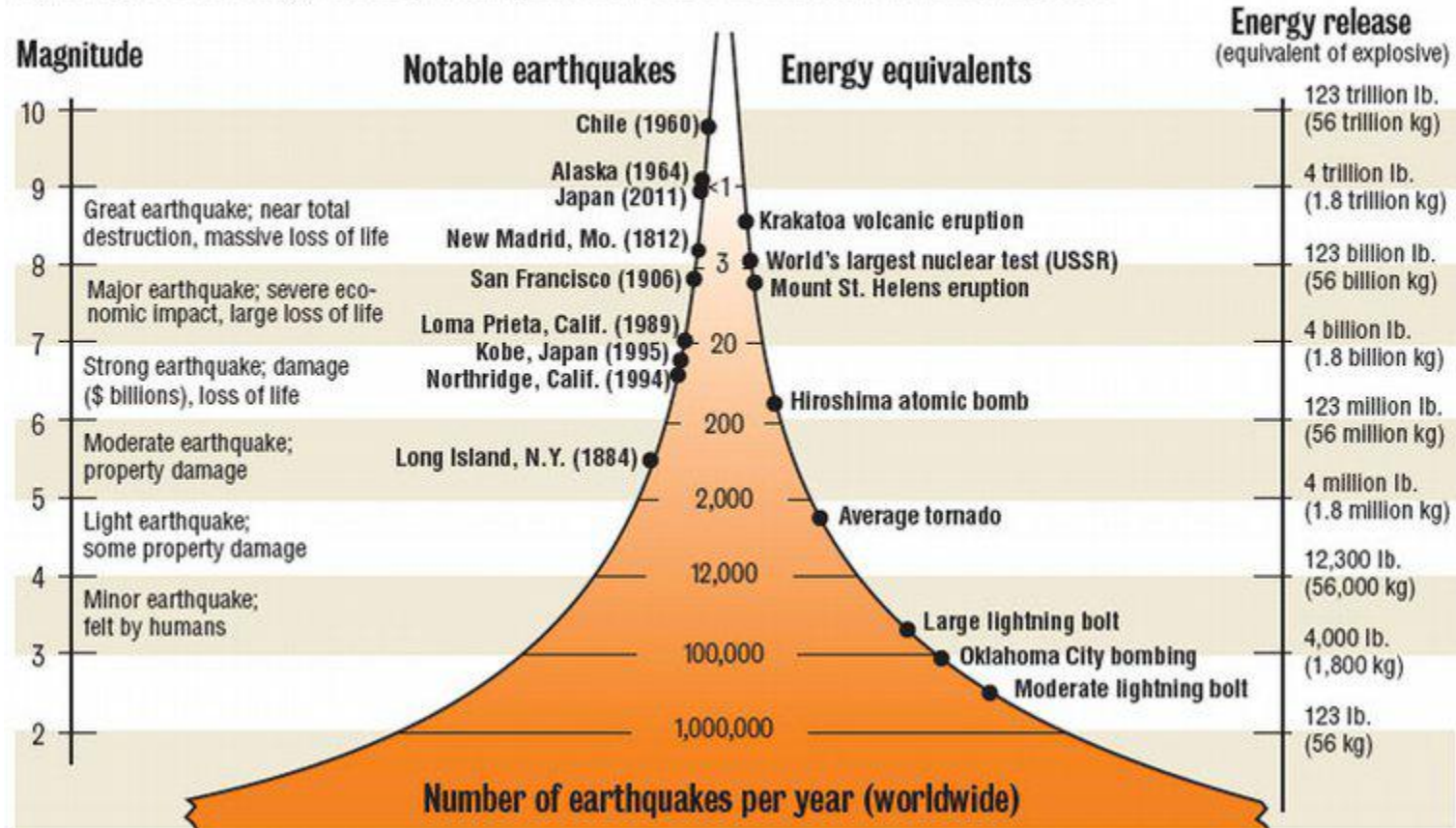
Os terremotos concentram-se preferencialmente ao longo das trincheiras oceânicas e dorsais meso-oceânicas.



# A frequência dos terremotos

## Earthquake frequency and destructive power

The left side of the chart shows the magnitude of the earthquake and the right side represents the amount of high explosive required to produce the energy released by the earthquake. The middle of the chart shows the relative frequencies.



Source: U.S. Geological Survey

MCT

**OBS: deste slide em diante, as informações foram pirateadas de uma apresentação do prof. Marcelo Bianchi – IAG-USP**

# Os maiores terremotos

## 20 Maiores terremotos do mundo

| Ano  | Local     | Magnitude | Ano  | Local          | Magnitude |
|------|-----------|-----------|------|----------------|-----------|
| 1960 | Chile     | 9,5       | 2005 | Sumatra / Nias | 8,6       |
| 1964 | Alaska    | 9,4       | 1957 | Aleutas        | 8,6       |
| 2004 | Sumatra   | 9,1       | 1946 | Alaska         | 8,6       |
| 2011 | Tohoku    | 9,1       | 1938 | Banda Sea      | 8,5       |
| 1952 | Kamchatka | 9,0       | 1922 | Chile/Atacama  | 8,5       |
| 2010 | Maule     | 8,8       | 1963 | Kuril          | 8,5       |
| 1906 | Ecuador   | 8,8       | 1923 | Kamchatka      | 8,4       |
| 1965 | Aleutas   | 8,7       | 2007 | Sumatra        | 8,4       |
| 1950 | Tibet     | 8,6       | 2001 | Arequipa       | 8,4       |
| 2012 | Sumatra   | 8,6       | 1933 | Japão          | 8,4       |

# Os maiores terremotos

## 20 Maiores terremotos do mundo



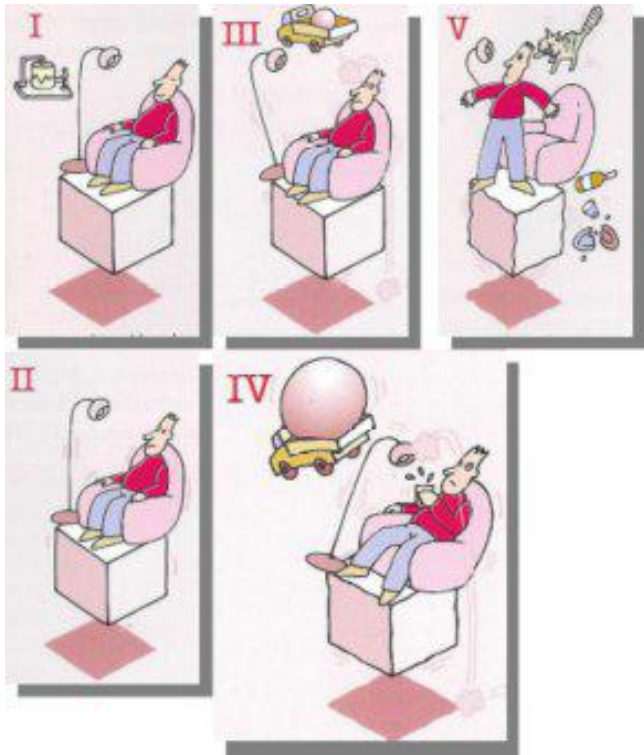
# Os piores terremotos

## Top 10: Terremotos que mais causaram mortes

| Date       | Location                            | Deaths  | Magnitude |
|------------|-------------------------------------|---------|-----------|
| 1976-07-27 | Tangshan, China                     | 255.000 | 7,5       |
| 2004-12-26 | Sumatra                             | 227.898 | 9,1       |
| 2010-01-12 | Haiti                               | 222.521 | 7,0       |
| 1920-12-16 | Haiyuan, Ningxia (Ning-hsia), China | 200.000 | 7,8       |
| 1923-09-01 | Kanto (Kwanto), Japan               | 142.800 | 7,9       |
| 1948-10-05 | Ashgabat (Ashkhabad), Turkmenistan  | 110.000 | 7,3       |
| 2008-05-12 | Eastern Sichuan, China              | 87.587  | 7,9       |
| 2005-10-08 | Pakistan                            | 86.000  | 7,6       |
| 1908-12-28 | Messina, Italy                      | 72.000  | 7,2       |
| 1970-05-31 | Chimbote, Peru                      | 70.000  | 7,9       |
| 1927-05-22 | Gulang, Gansu (Kansu), China        | 40.900  | 7,6       |

# Intensidade de um sismo

Mede os efeitos observados em uma localidade. Medida por uma escala que vai de I → XII. (Escala de Mercalli Modificada)



# A Escala Richter de magnitudes

Desenvolvida em 1935 por  
Charles Richter & Beno  
Gutenberg

Apresenta números empíricos,  
proporcionais à amplitude das  
ondas de um terremoto padrão  
medido a 100 km de distância.

Não possui limite inferior ou  
superior (e pode ser negativa!!!)

$$M_L = \log_{10} A - \log_{10} A_0(\delta) = \log_{10} [A/A_0(\delta)]$$

| Escala de Richter |   |
|-------------------|---|
| Magnitud          | Efectos del terremoto   |
| menos de 3.5      | Generalmente no se siente, pero se registra.  |
| 3.5 a 5.4         | Se siente, pero sólo causa daños menores cerca de donde se produce.   |
| 5.5 a 6.0         | Ocasiona daños ligeros a edificios mal construidos y otras estructuras en un radio de 10 km.                          |
| 6.1 a 6.9         | Puede ocasionar daños severos en áreas donde vive mucha gente.  |
| 7.0 a 7.9         | Terremoto mayor. Causa graves daños a las comunidades en un radio de 100 km.  |
| 8.0 o más         | Gran terremoto. Destrucción total de comunidades cercanas y daños severos en un radio de más de 1000 km de distancia. |



## Bulletin of the Seismological Society of America

VOL. 25

JANUARY, 1935

No. 1

AN INSTRUMENTAL EARTHQUAKE MAGNITUDE SCALE\*

BY CHARLES F. RICHTER



# Como são gerados os terremotos?

Pinturas sobre a lenda do Namazu (cat fish) que seria responsável pelos terremotos no Japão - 1855



# O terremoto de Lisboa (1755)

**Magnitude 9,0 - 01/Nov/1755, 9:20h**

**Destruiu quase que completamente a cidade portuguesa com aproximadamente 200.000 habitantes na época**

**Foi seguido por um grande incêndio e tsunami**

**Início da sismologia ...**

**... e da engenharia sísmica**

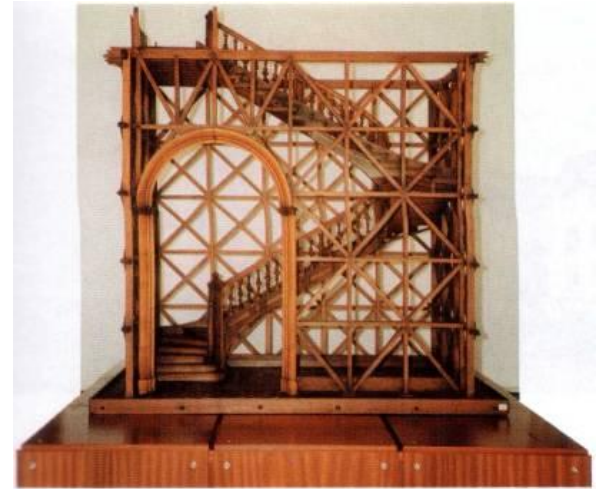


# A gaiola pombalina

*"A ideia da construção anti-sísmica baseada numa estrutura de madeira revestida exteriormente por alvenaria de pedra está intimamente relacionada com a experiência existente na construção naval, na época exclusivamente de madeira. Com efeito e tendo por base o excelente desempenho dos navios face às acções dinâmicas transmitidas pelo mar, os engenheiros militares intervenientes no processo de reconstrução da baixa estabeleceram uma analogia entre o comportamento das embarcações e o comportamento de um edifícios durante a ocorrência de um sismo. Esta analogia traduzia-se no facto de ambas as estruturas estarem sujeitas a acções actuantes em meios agitados, absorvendo parte das acções e dos deslocamentos a que estão sujeitas.*

*Em relação ao excelente comportamento dos barcos, não havia dúvida que tal resultava da existência de uma estrutura tridimensional de madeira formada por peças deformáveis e resistentes à tracção e à compressão, e à forma como eram executadas as ligações entre os vários elementos, permitindo que funcionassem como um todo articulado entre si.*

*Por outro lado e devido à sua fragilidade, as alvenarias simples tinham apresentado grande dificuldade em dissipar a energia transmitida pelo terremoto de 1755, apresentando em simultâneo reduzidas capacidades de resistência à tracção e á compressão, para além do facto de as ligações entre as várias paredes interiores e exteriores ser deficiente e prejudicada pelas diferentes espessuras envolvidas. No entanto as alvenarias simples tinham tido um bom desempenho face à acção do fogo.*



# O grande terremoto de San Francisco

**Epicentro em 37,75°N e 122,55°W**

**Profundidade de 8 km**

**Quarta-feira, 18 de abril de 1906 5:12**

**Mortes estimadas: 3.425**

**Magnitude 7,8 Mw**

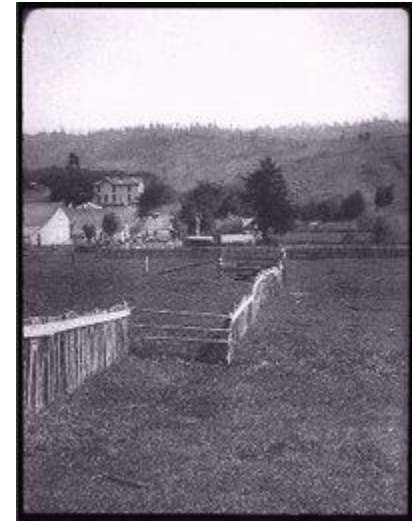


# Causas dos terremotos

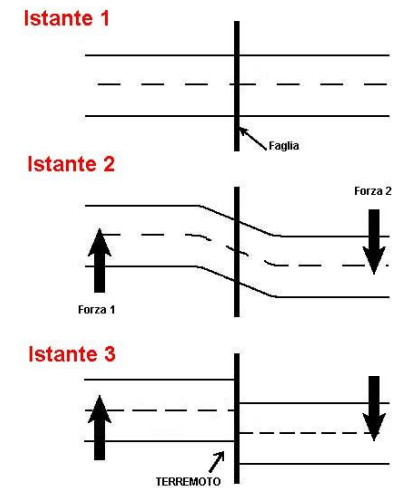
A teoria do rebote elástico\* ajudou a compreender como e porque os terremotos acontecem.

Ela foi proposta por Reid enquanto ele estudava o terremoto de magnitude 7,8 de 1906, em San Francisco.

Nesta teoria, as falhas vistas na superfície são parte da causa de ocorrerem tremores, e não sua consequência, como se imaginava na época.



Harry Reid

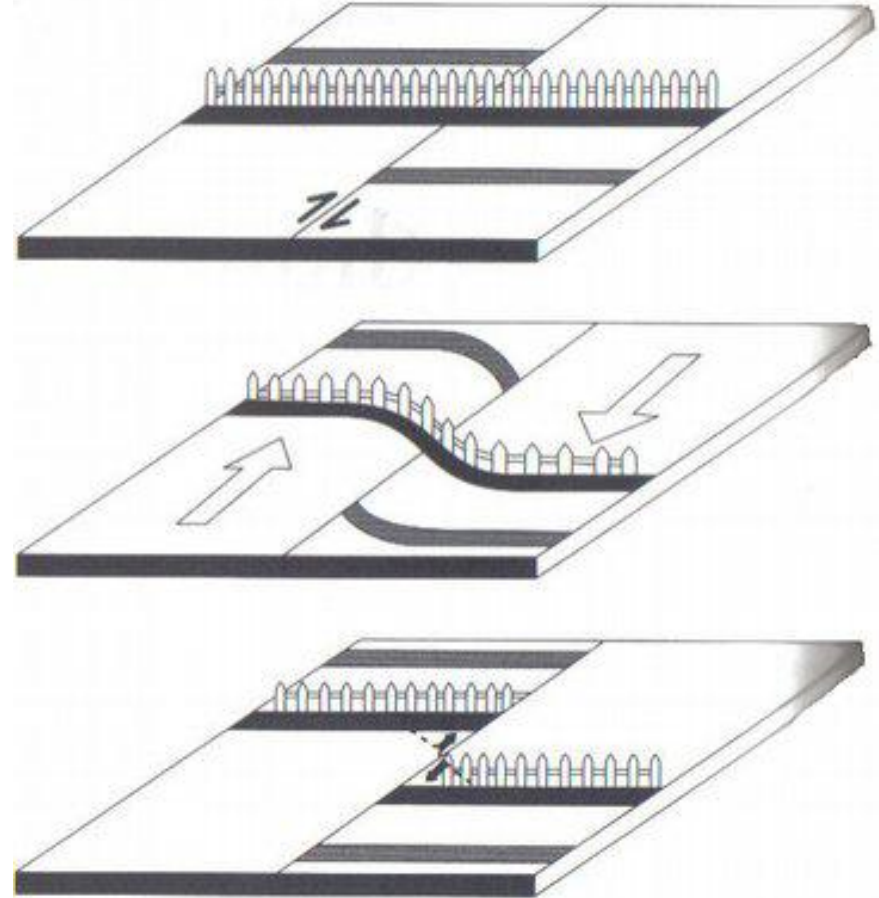


\* (também traduzido como “teoria do ricocheteio elástico”)

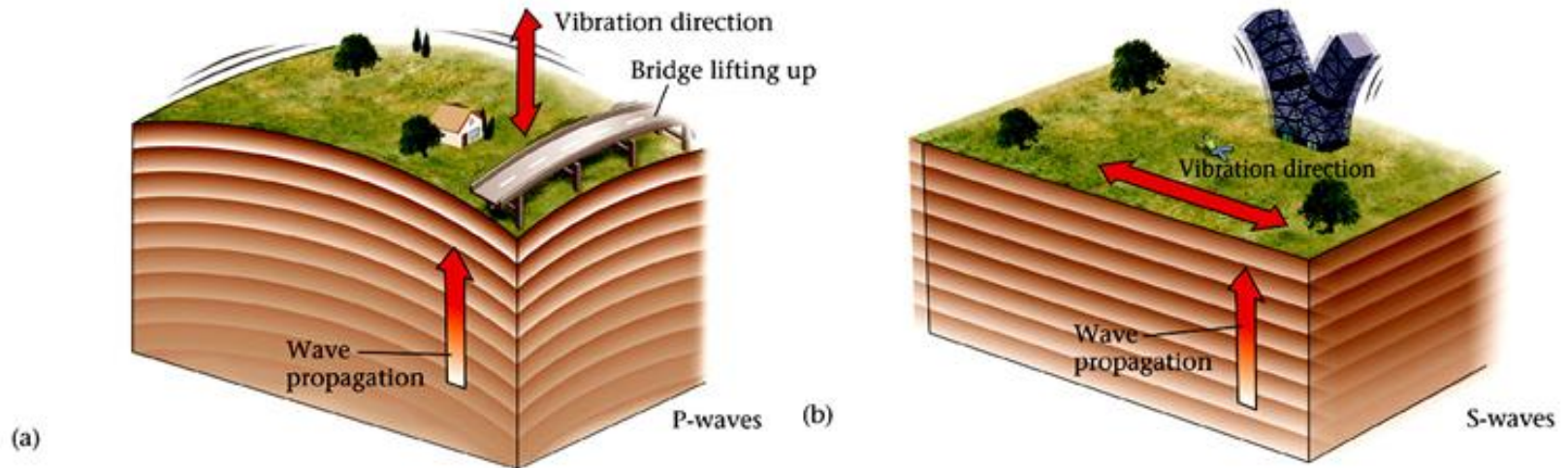
# Causas dos terremotos

As falhas, por bloquearem a movimentação relativa das placas, acumulam energia em forma de deformação, devido ao movimento das placas que ocorre a quilômetros de distância.

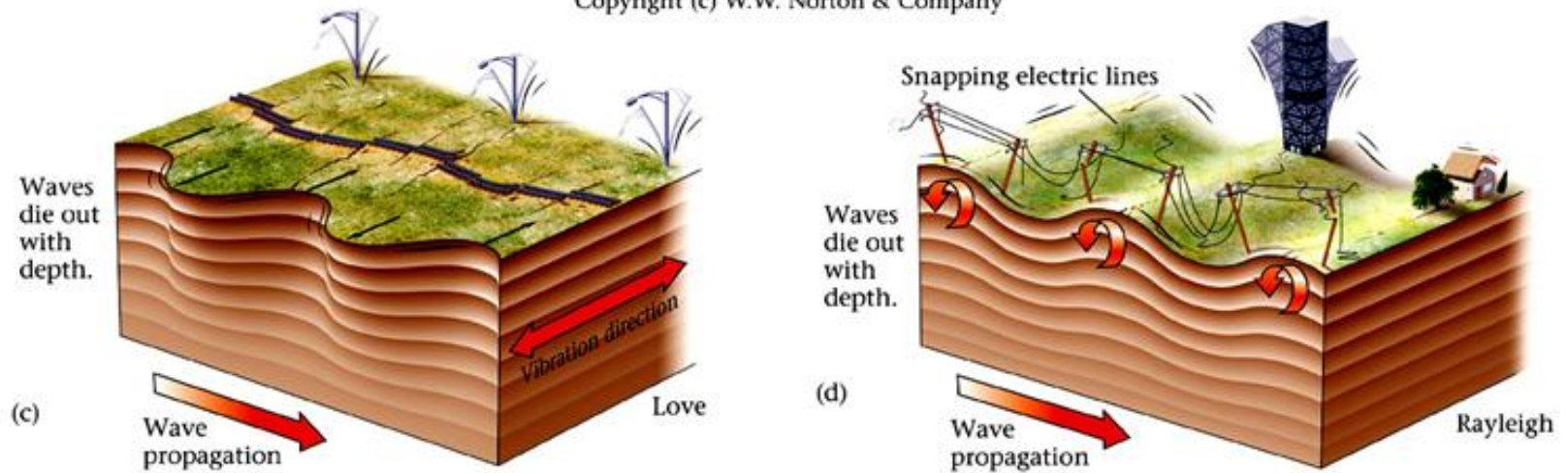
Quando a deformação atinge um nível maior do que a falha pode suportar, ocorre um terremoto, liberando instantaneamente toda a energia acumulada e causando uma deformação permanente ao longo da falha, emitindo ondas sísmicas em todas as direções (tridimensionalmente).



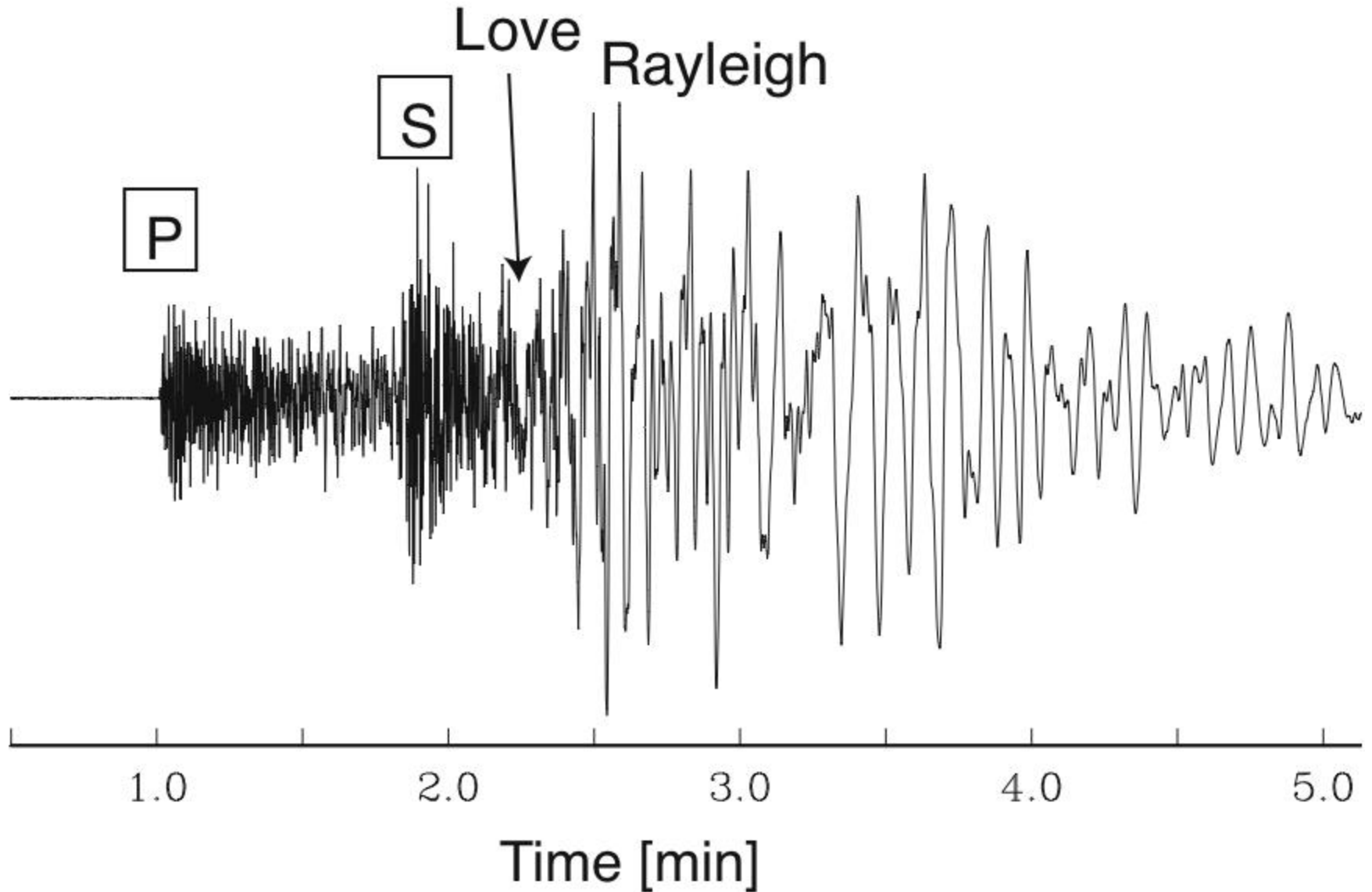
# Tipos de ondas geradas por um sismo



*Earth: Portrait of a Planet, 2nd Edition*  
Copyright (c) W.W. Norton & Company

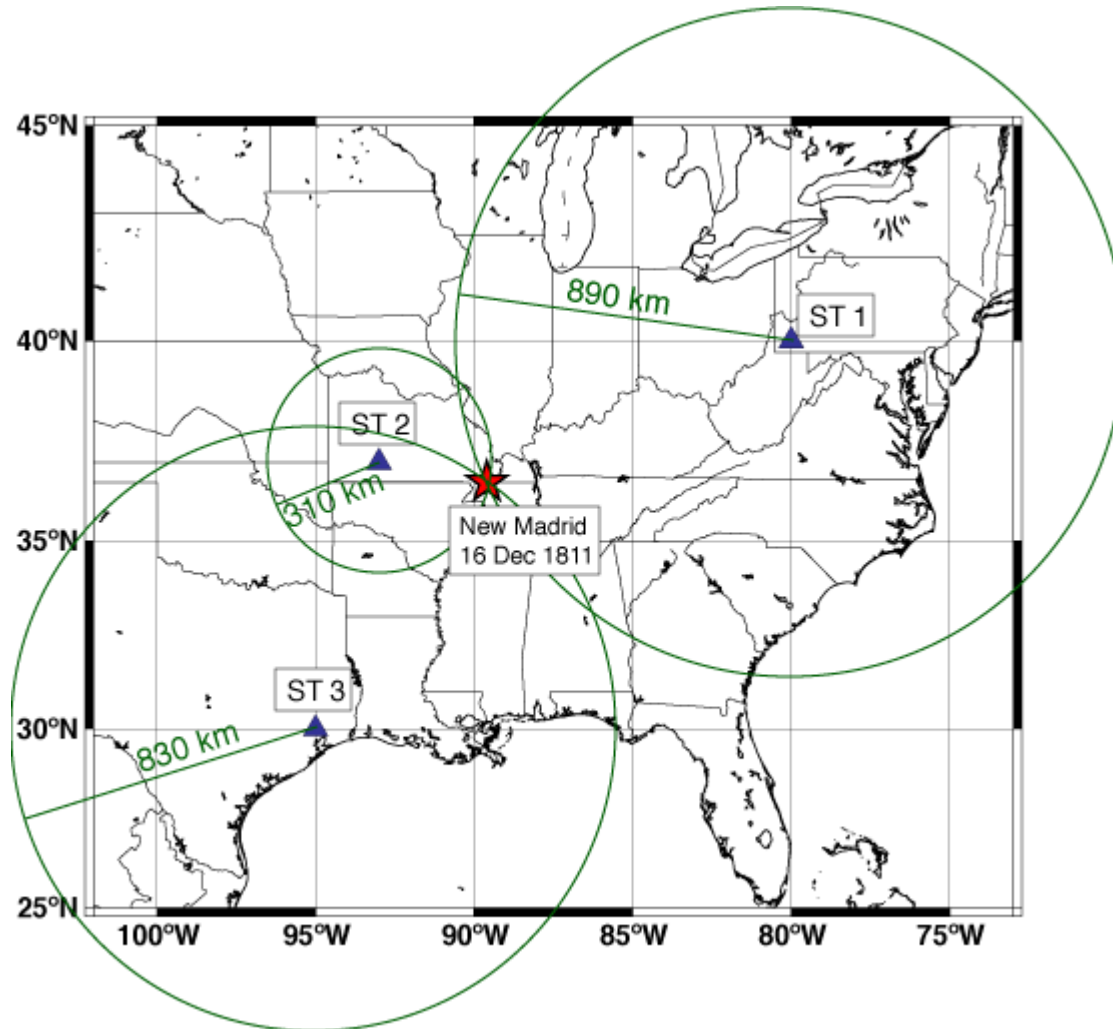


# Tipos de ondas geradas por um sismo

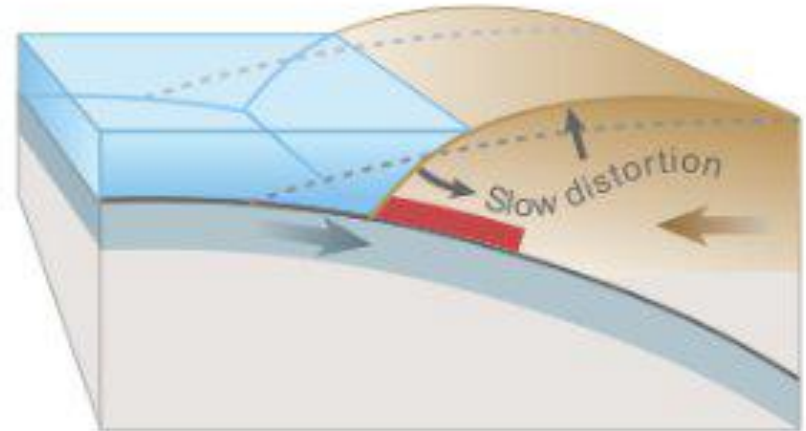
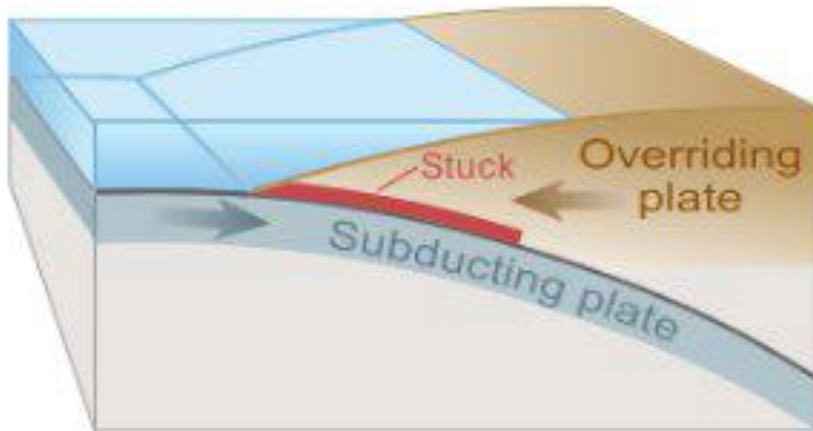




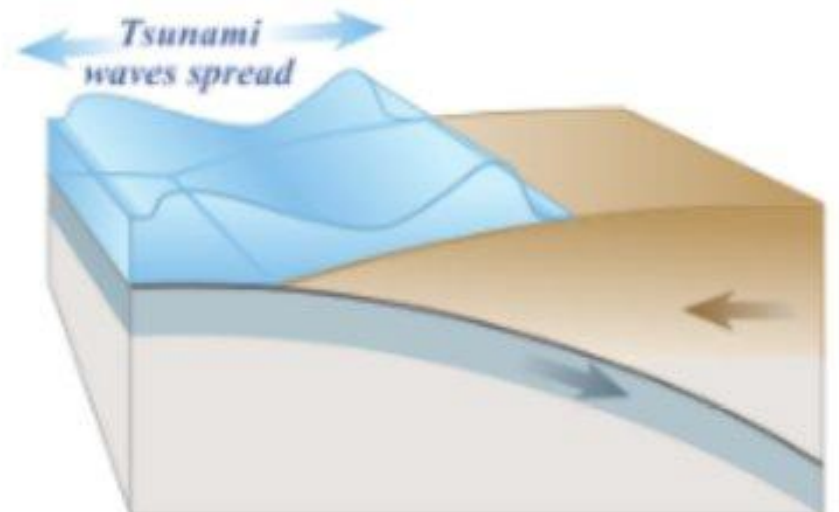
# Localização do epicentro



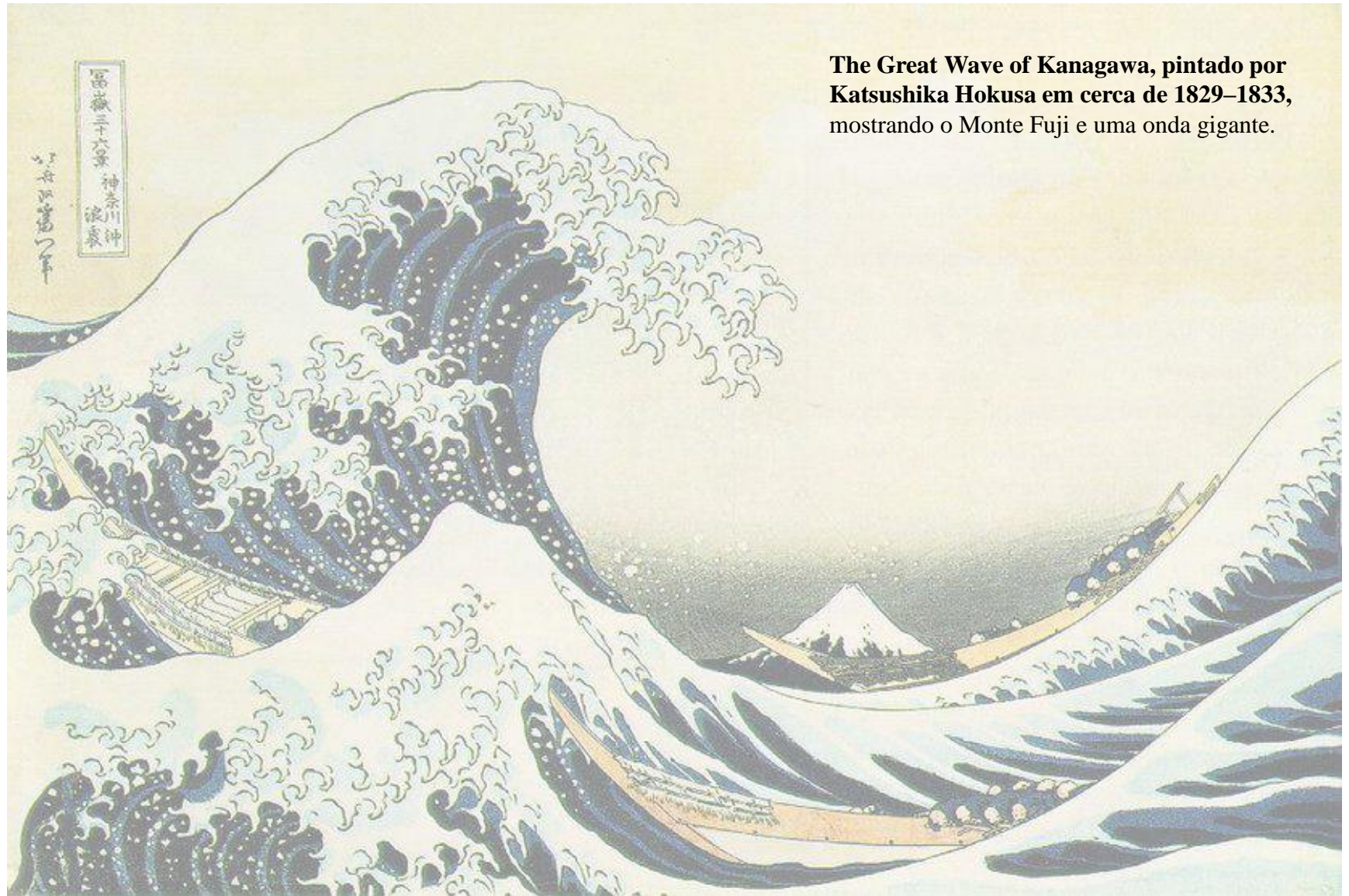
# Terremotos e Tsunamis



*Tsunami starts during earthquake*



# Tsunamis

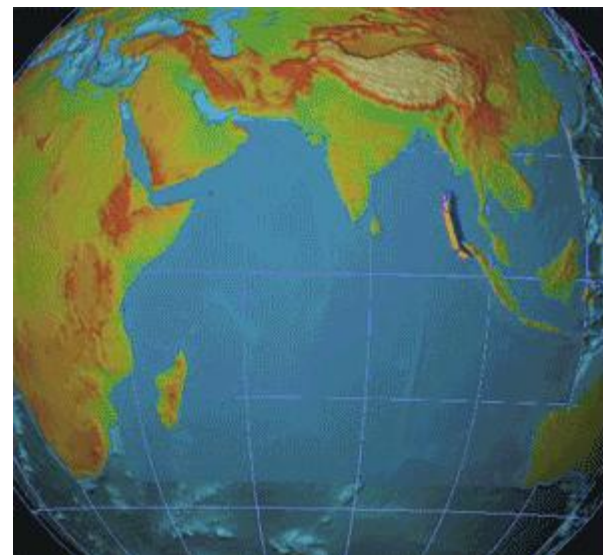


**The Great Wave of Kanagawa, pintado por Katsushika Hokusai em cerca de 1829–1833, mostrando o Monte Fuji e uma onda gigante.**

# Tsunamis



**Como os tsunamis são diferentes de ondas no mar ?**



# Tsunamis

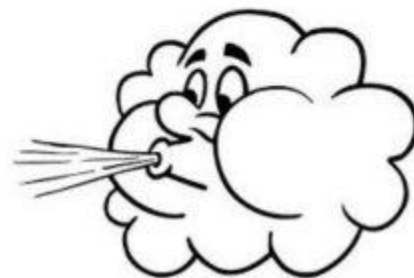
Maré



Tsunami

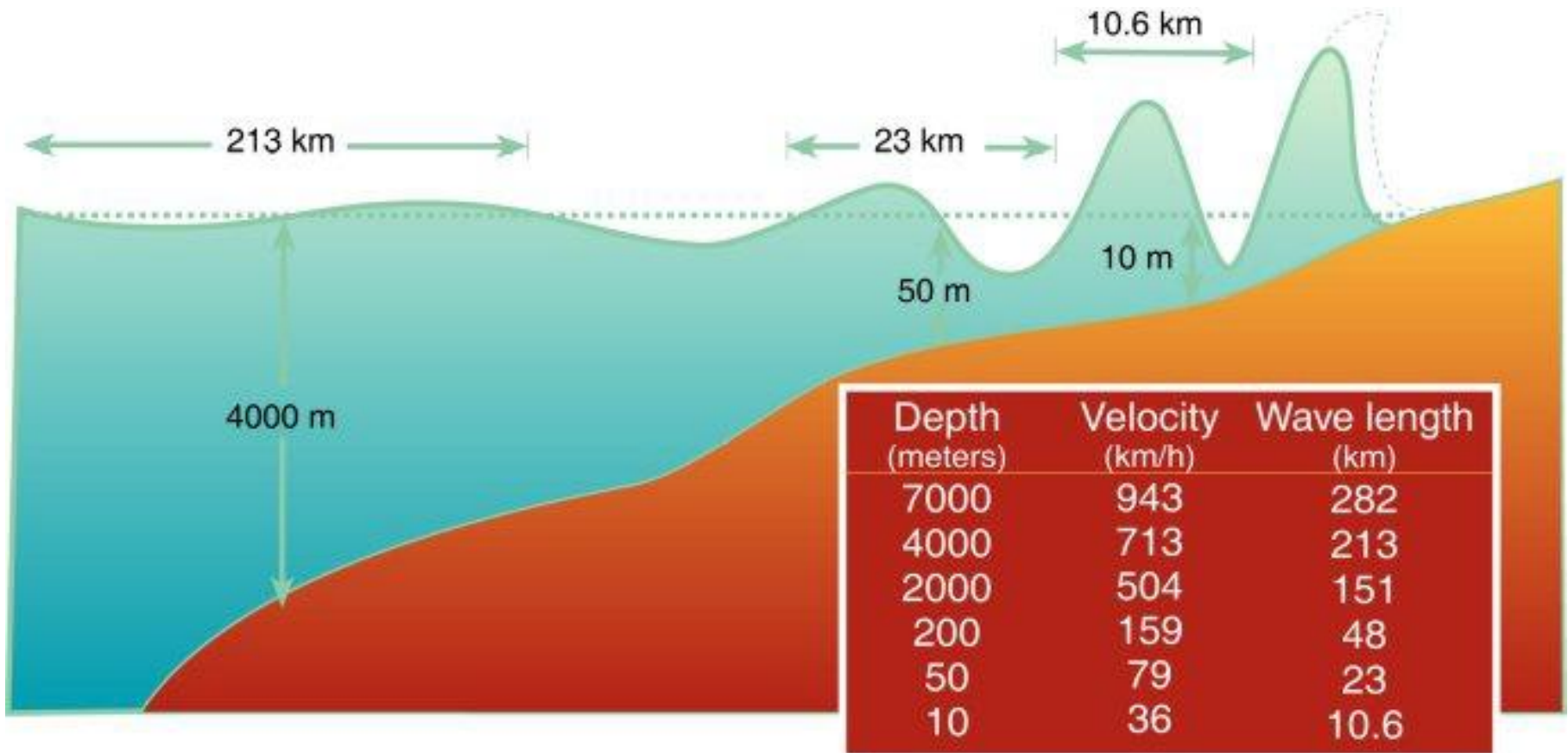


Ondas  
do  
Mar

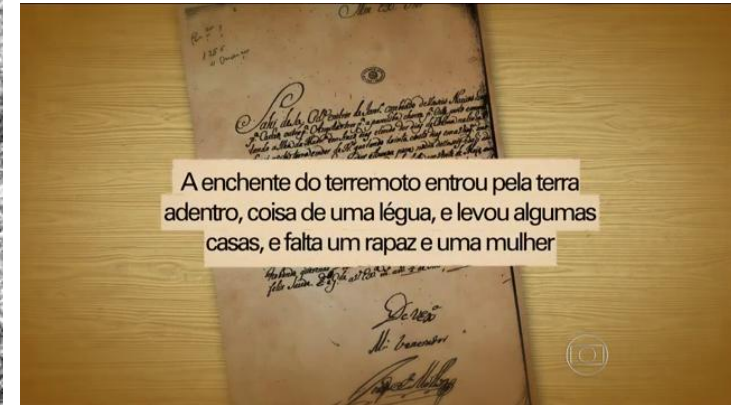


# Tsunamis

Velocidade de propagação *versus* comprimento de onda



# Tsunamis no Brasil

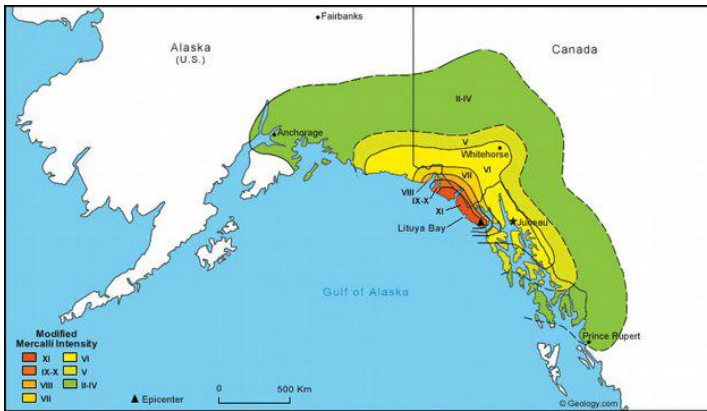


<http://www.abc.org.br/2018/04/12/brasil-tem-sim-terremotos-e-ha-na-historia-registro-ate-de-tremores-com-pequenos-tsunamis/>

<https://www.youtube.com/watch?v=747wkbYejWU>

[https://www.iag.usp.br/~eder/3\\_idade\\_2\\_2019/tsunami+veloso+globo.mp4](https://www.iag.usp.br/~eder/3_idade_2_2019/tsunami+veloso+globo.mp4)

# Terremoto de 9/jul/1958 (Mw=7,7) Alasca



Árvores arrancadas a 524 m de altura!

<http://www.drgeorgepc.com/Tsunami1958LituyaB.html>



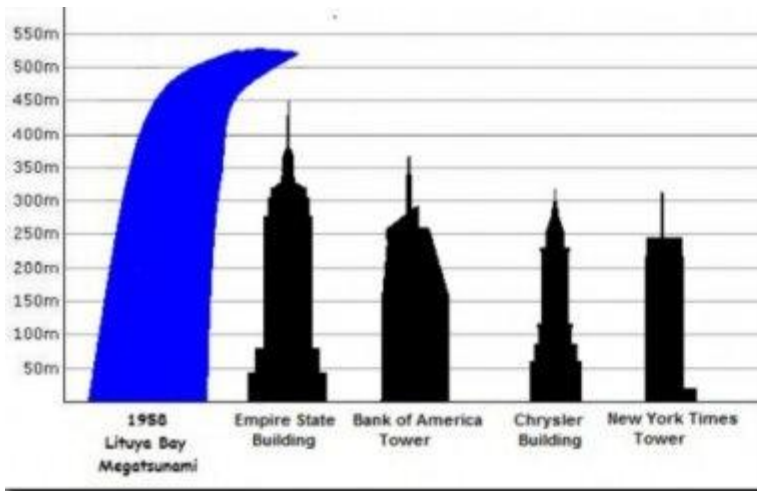
# Terremoto de 9/jul/1958 (Mw=7,7) Alasca



**Imediatamente após o terremoto e o grande deslizamento de rochas na Baía de Lituya, a onda de um enorme mega-tsunami atingiu a região, limpando completamente uma área de mais de 10 km<sup>2</sup>.**

**Três barcos de pesca estavam ancorados perto da entrada da baía; um deles naufragou, matando duas pessoas a bordo. As outras duas embarcações “surfaram na onda” (!!!) .**

# Terremoto de 9/jul/1958 (Mw=7,7)



**A combinação de fatores após o terremoto originou uma onda gigante que atingiu 516 metros de altura, arrasando completamente uma grande área na região.**

# Tsunamis

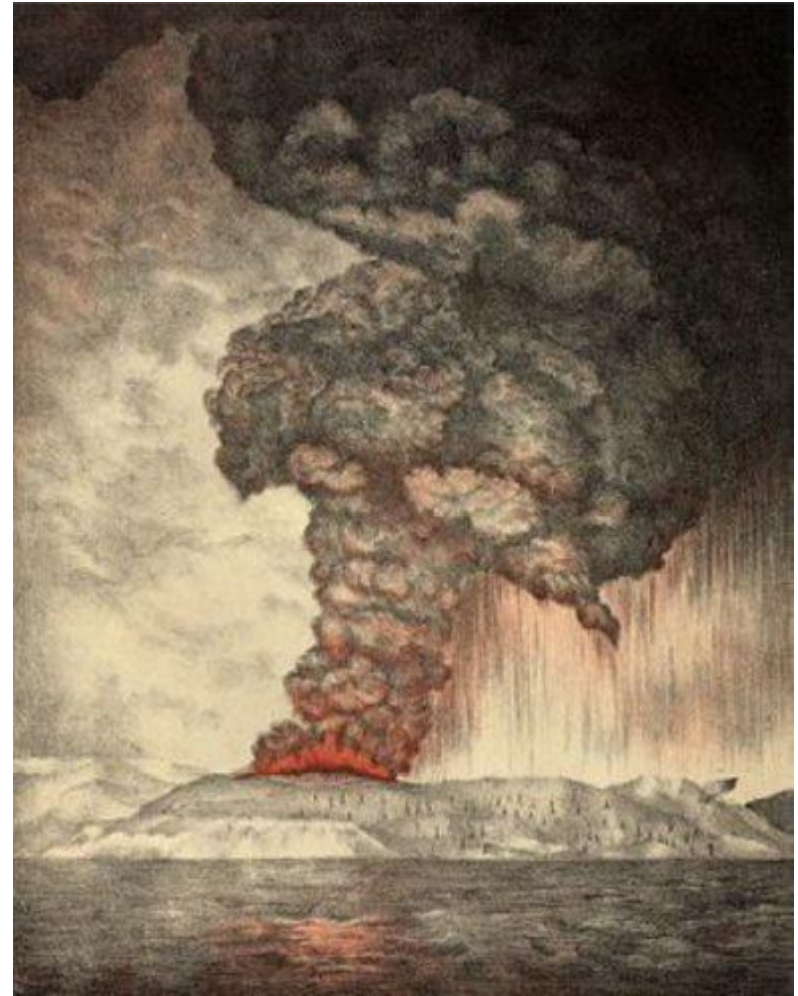
## Top 10: Mortes por Tsunamis

| YEAR | COUNTRY   | WATER H. | DEATHS  |
|------|-----------|----------|---------|
| 1737 | INDIA     | -        | 300.000 |
| 2004 | INDONESIA | 50,9     | 167.540 |
| 1883 | INDONESIA | 30,0     | 36.000  |
| 2004 | SRI LANKA | 12,5     | 35.322  |
| 1755 | PORTUGAL  | -        | 33.000  |
| 1755 | PORTUGAL  | 15,2     | 30.000  |
| 1498 | JAPAN     | -        | 26.000  |
| 1896 | JAPAN     | -        | 18.158  |
| 2004 | INDIA     | 12,0     | 16.269  |
| 1771 | JAPAN     | 85,4     | 13.486  |

# Vulcões, terremotos e tsunamis

Em 1883, a ilha de Java foi devastada por um tsunami com ondas de até 43 m de altura.

O tsunami foi resultado de uma das maiores explosões de um vulcão: o Krakatoa.



# Vulcões, terremotos e tsunamis



**O Krakatoa, em 1883 mandou 70% da sua ilha para o ar.**

**Ocorreram mais de 30.000 mortes!**

# O Vesúvio, 79 AD

Foi documentada por Plínio “o Novo” e Plínio “o Velho” (tio e sobrinho).

Foi a primeira erupção documentada da história, e o número de mortos é estimado em torno de 3.000.



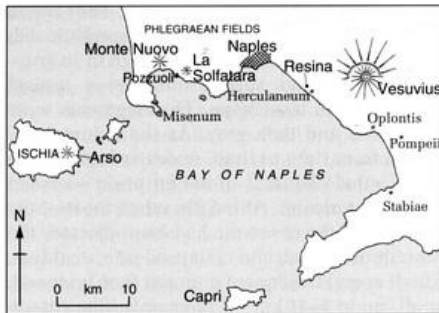
Erupção do Vesúvio em 1729



# A erupção do Vesúvio de 79 AD

## The A.D. 79 Eruption at Mt. Vesuvius

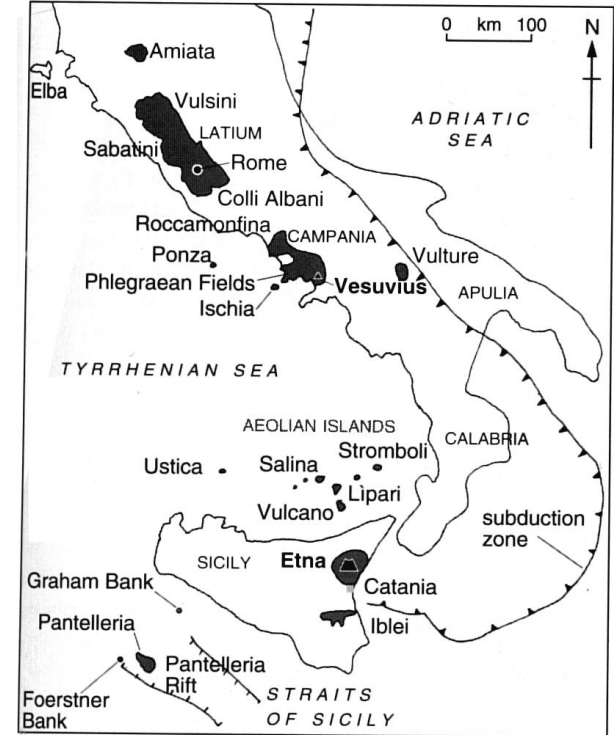
This is an English translation of the two letters written by Pliny the Younger to the Roman historian Tacitus. The first letter describes the journey of his uncle Pliny the Elder during which he perished. The second one describes his own observations in a town across the bay. The translation is perhaps not quite verbatim but in a modern contemporary (hence readable) form. These letters are probably the very first detailed description of a volcanic eruption. The eruption column with its umbrella-shaped cloud that is also found at other volcanoes was named after him (Plinian eruption column).



In this translation, the eruption date is cited as being in August. There are other sources that put the eruption date into October (derived from the fact that fresh olives were found in some houses in Pompeii).

It is interesting to note that Pliny never mentioned the towns of Herculaneum (Ercolano) and Pompeii so that their existence remained unknown until the late 16th century. Excavation began in 1748. The excavated city (together with Herculaneum and a few others) are historically very significant. People fled in great haste, leaving behind valuables and items for daily use. In some buildings, paintings, mosaics and sculptures have survived, and graffiti (announcements, advertising sales, expressing personal opinion) is still visible on street walls. Sir William Hamilton, the English Ambassador to the court of Naples, witnessed eruptions between 1766 and 1794. His descriptions of the eruptions as well as the regional geology are often regarded as the first truly volcanological reports. He was also present at the excavations of Pompeii.

Source: A. Scarth and J.-C. Tanguy, "Volcanoes of Europe", 2001, Oxford University Press; ISBN: 0-19-521754-3)



# Erupções vulcânicas

## Mortes por erupção vulcânica

| Erupção                   | Ano  | Casualidades | Causa                     |
|---------------------------|------|--------------|---------------------------|
| Tambora, Indonesia        | 1815 | 92.000       | Starvation                |
| Krakatau, Indonesia       | 1883 | 36.000       | Tsunami                   |
| Mont Pelée, Martinique    | 1902 | 30.000       | Pyroclastic flows         |
| Nevado del Ruiz, Colombia | 1985 | 25.000       | Mudflows                  |
| Unzendake, Japan          | 1792 | 15.000       | Volcano collapse, Tsunami |
| Kelut, Indonesia          | 1586 | 10.000       | -                         |
| Lakagigar (Laki), Iceland | 1783 | 9.000        | Starvation                |
| Vesuvius, Italy           | 79   | 3.360        | Pyroclastic flows         |