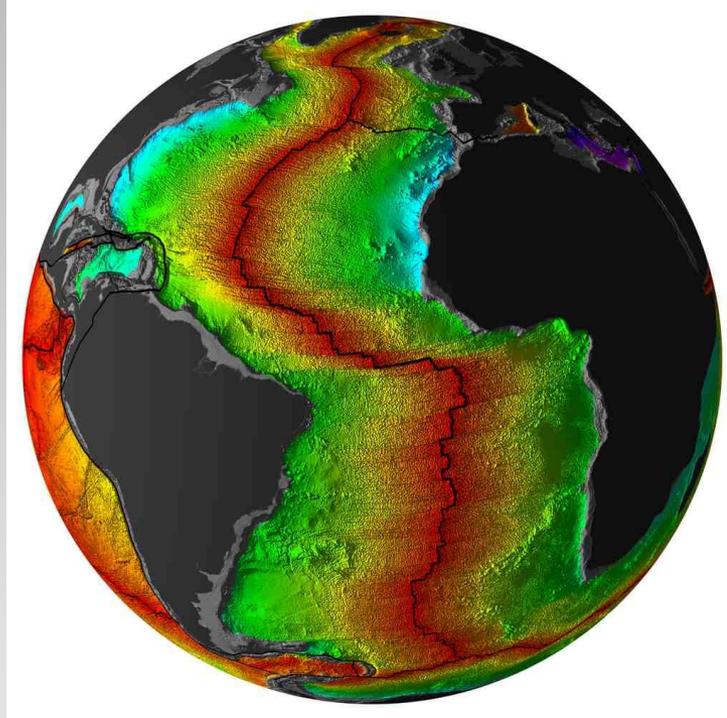


# O planeta Terra



**Astronomia para a Terceira Idade - 2019**

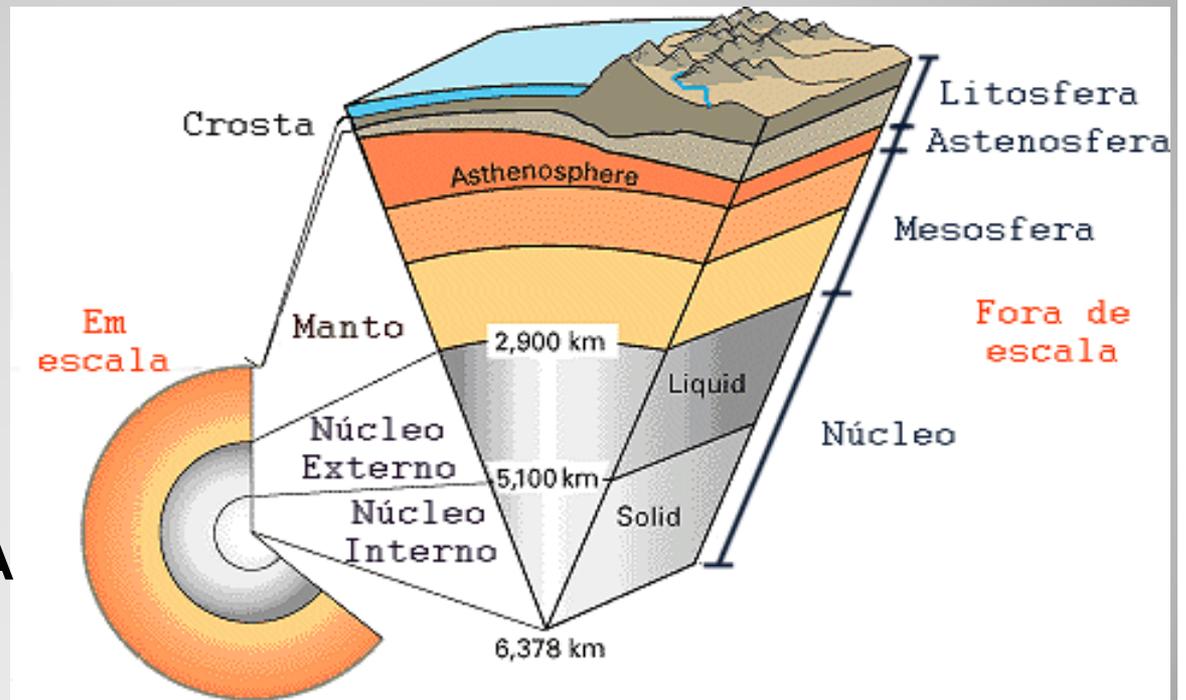
**Eder Cassola Molina**

**eder@iag.usp.br**

# A crosta

As descontinuidades nas velocidades das ondas sísmicas indicam a presença de camadas na Terra.

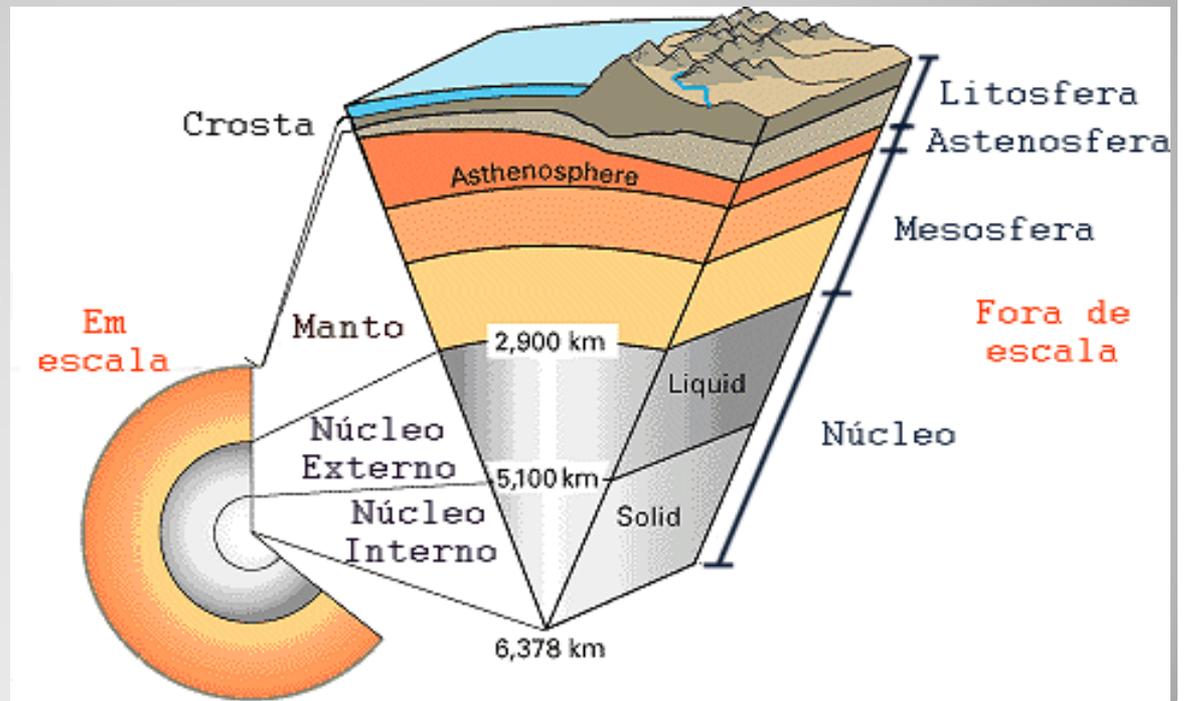
Descontinuidade de Mohorovicic (Moho): profundidade de algumas dezenas de km (38 a 40 km) sob os continentes, e alguns km (6 a 8 km) sob os oceanos. Esta descontinuidade caracteriza a **CROSTA** terrestre.



# O manto

A partir da base da crosta, e atingido a profundidade de 2.900 km, encontra-se uma camada composta por silicatos, denominada MANTO.

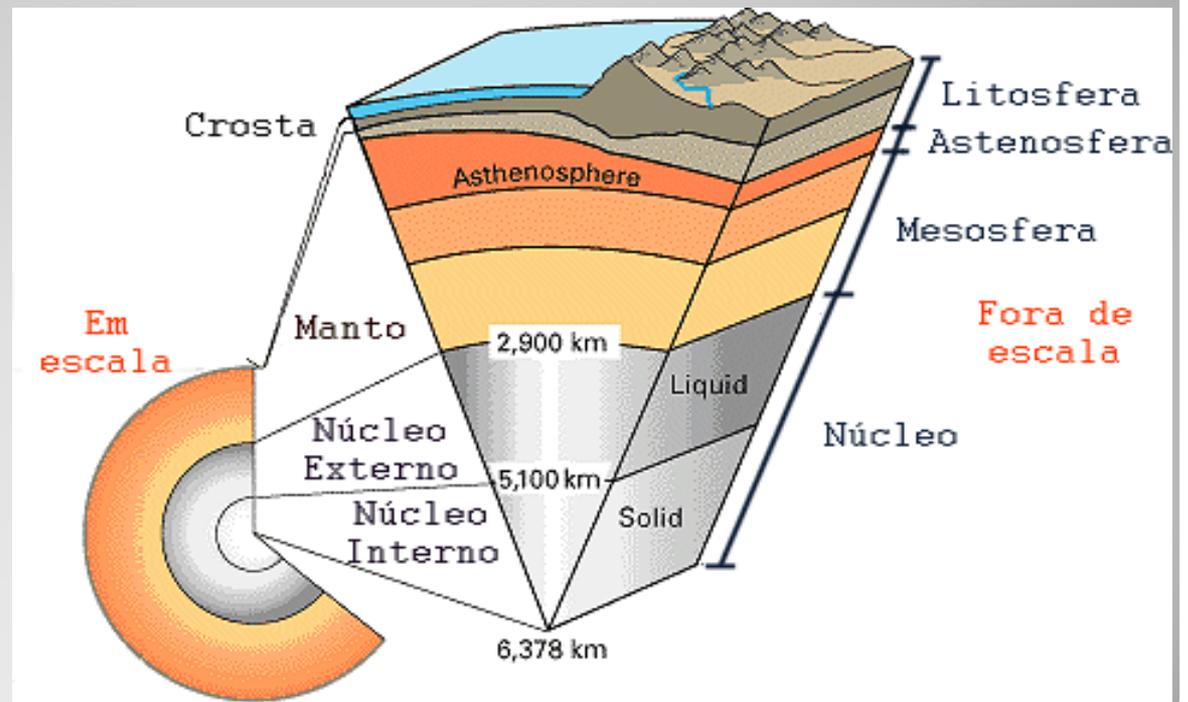
A parte superior do manto e a crosta acima constituem a **LITOSFERA**, a camada externa rígida que varia de 70 a 100 km de profundidade nos oceanos, e de 100 a 150 km de profundidade nas regiões continentais.



# O manto inferior

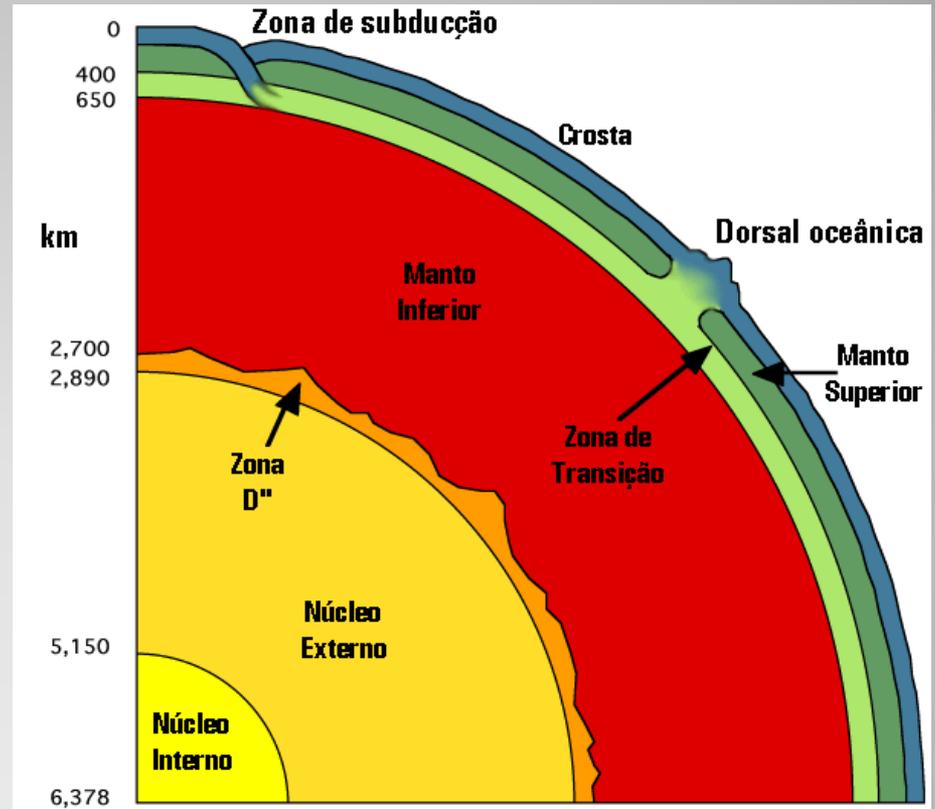
A partir da base da astenosfera, temos o manto inferior, ou MESOSFERA, que é uma camada composta basicamente por óxidos de ferro e magnésio e silicatos ferromagnesianos.

A mesosfera apresenta comportamento plástico e possui composição homogênea em sua maior parte.



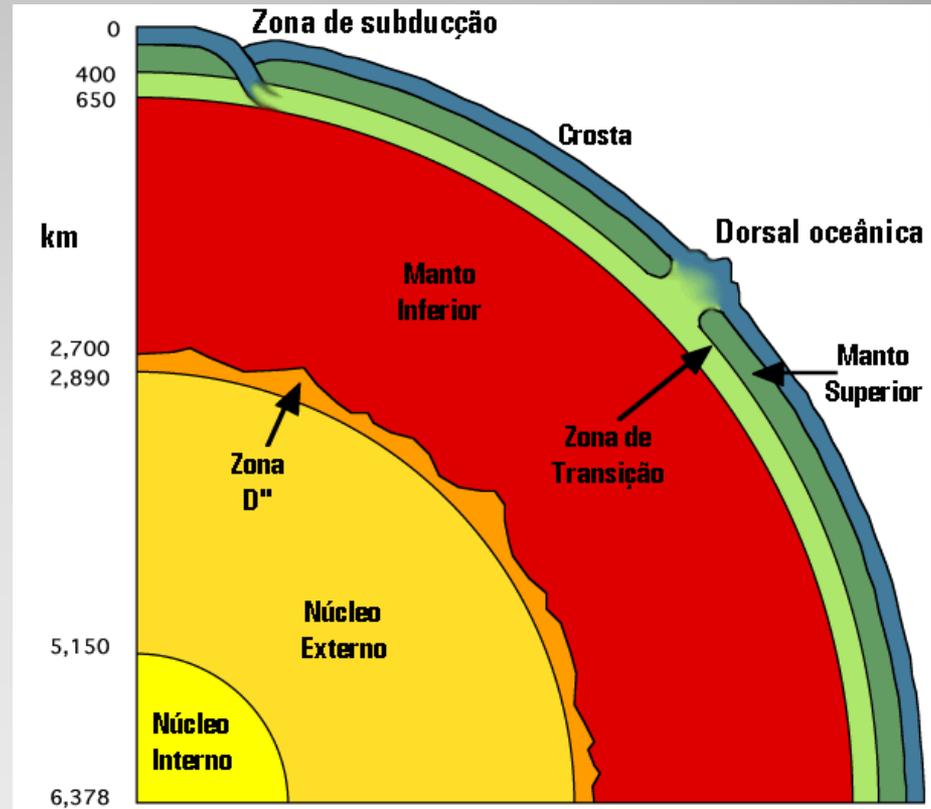
# A camada D''

Próximo da interface manto/núcleo encontra-se uma camada de aproximadamente 150 a 200 km de espessura, denominada camada D'', detectável pela sismologia, que apresenta aspectos interessantes, como variação lateral de velocidades (sugerindo estrutura lateralmente heterogênea) em extensões comparáveis aos continentes e oceanos da superfície.



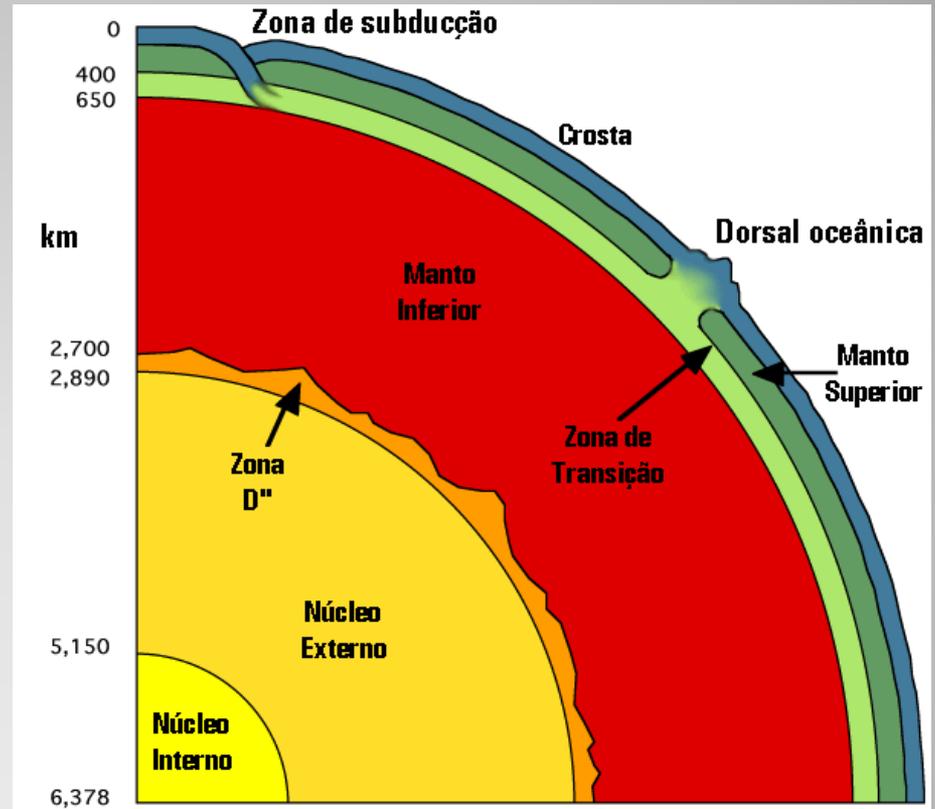
# A camada D''

A camada D'' deve ser a fonte do material que origina as plumas, intimamente ligada aos pontos quentes (hotspots) verificados na superfície terrestre.



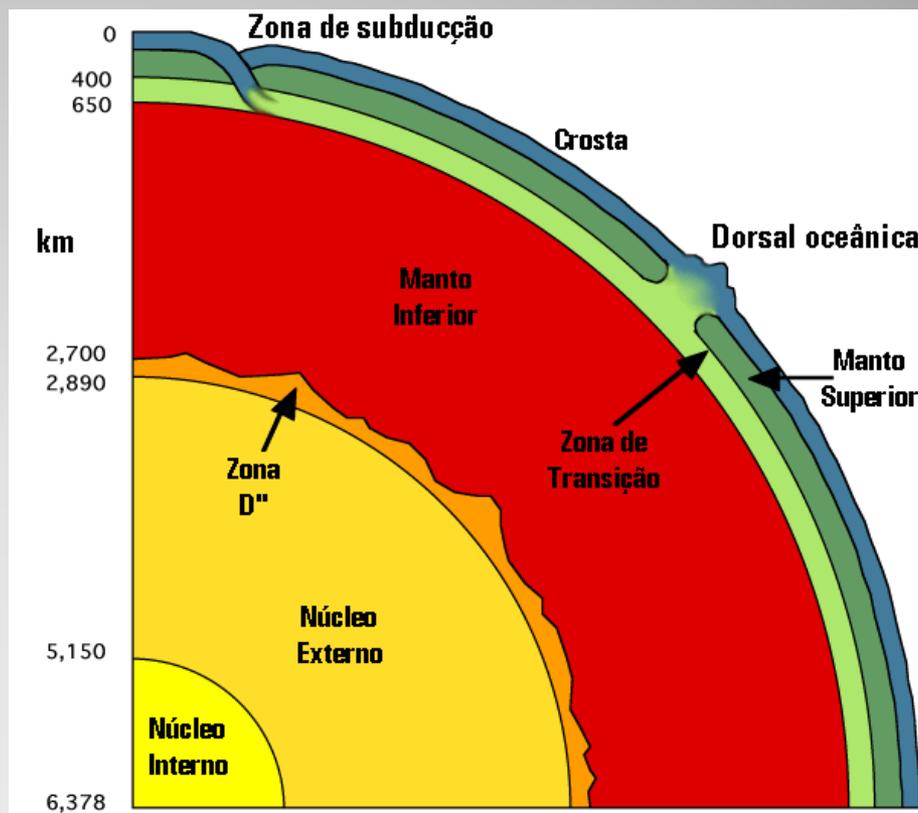
# A camada D''

Esta camada tem um papel importante nos processos geodinâmicos por ser a fonte do material das plumas, e por suas propriedades térmicas, que podem influenciar o transporte de calor a partir do núcleo, e afetar os processos que geram o campo geomagnético.



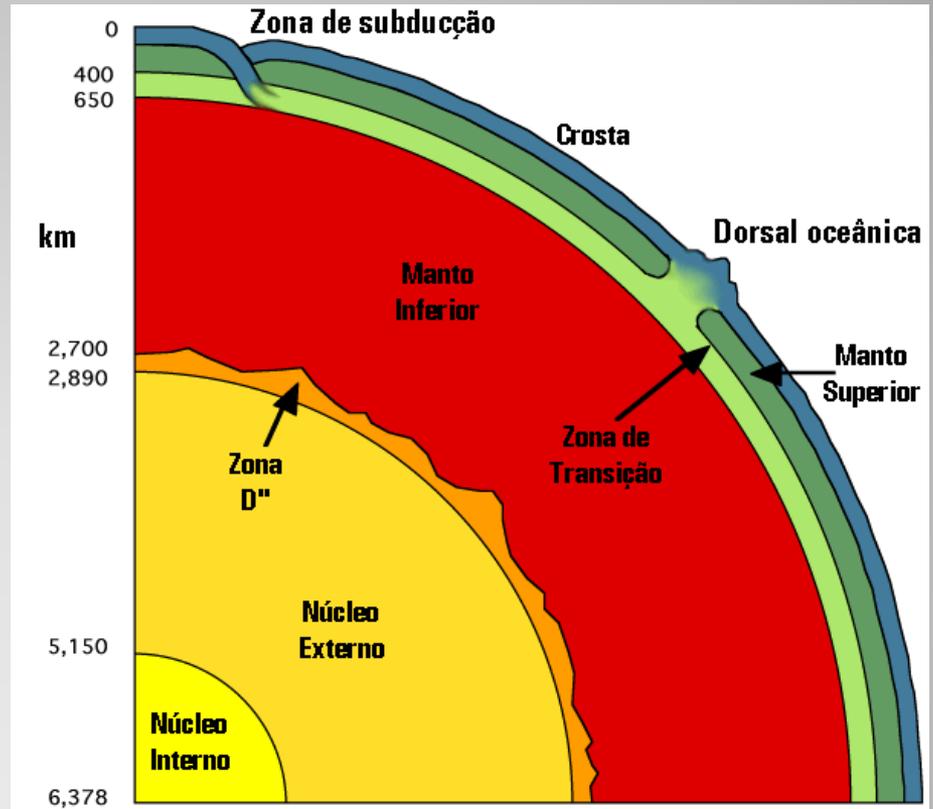
# O núcleo terrestre

O núcleo terrestre deve ter sido formado por migração dos elementos mais densos para o interior terrestre, com ascensão dos silicatos menos densos para a região superficial.



# O núcleo terrestre

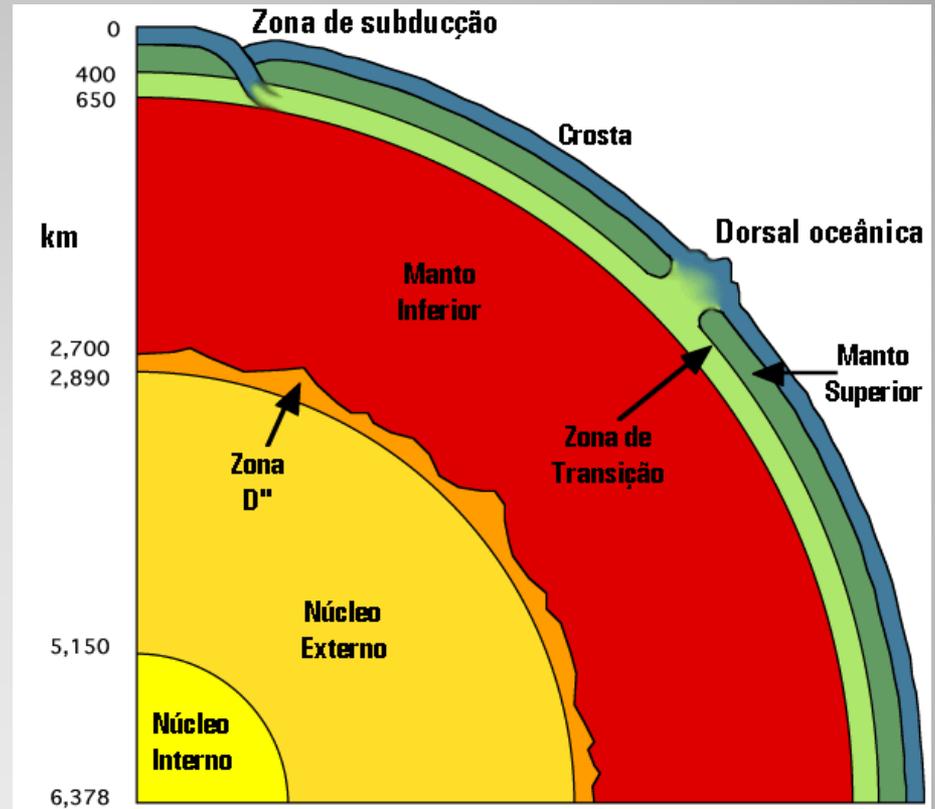
Estudos da composição dos meteoritos e do comportamento das ligas metálicas a altas pressões e temperaturas têm fornecido importantes indicações sobre a provável composição e comportamento desta região.



# O núcleo externo

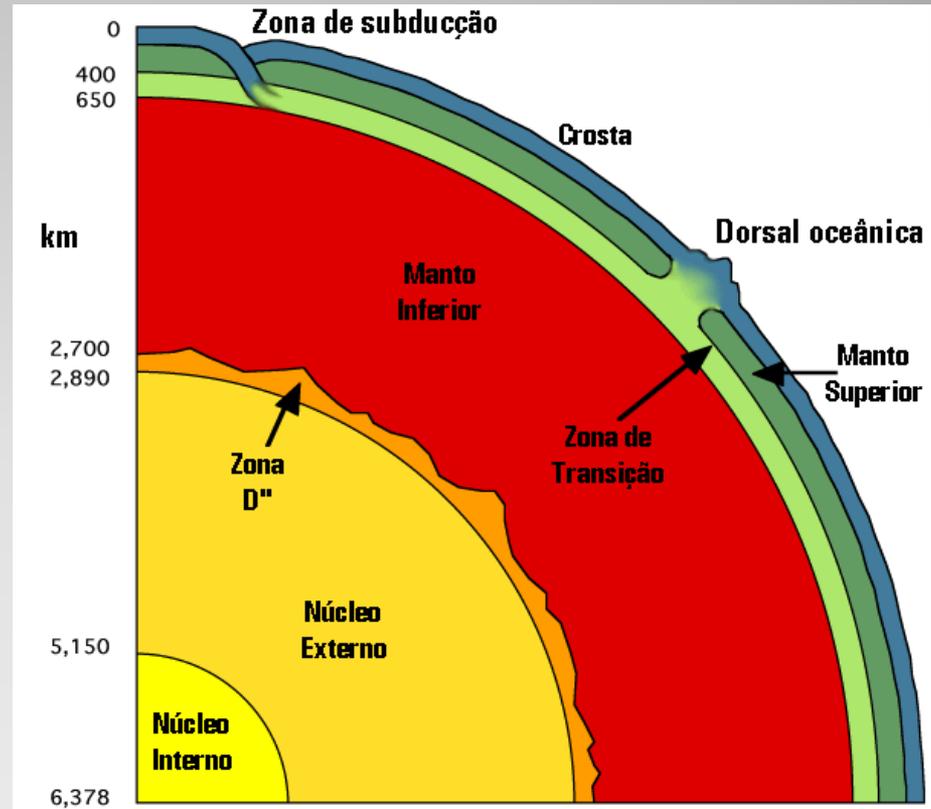
O núcleo terrestre tem uma parte externa fluida, e uma parte interna sólida.

O núcleo externo vai de aproximadamente 2.900 km até a profundidade de 5.150 km. Sua constituição é de Fe (quase 90%), Ni (pouco menos de 10%), e pequenas quantidades de Si, S e O.



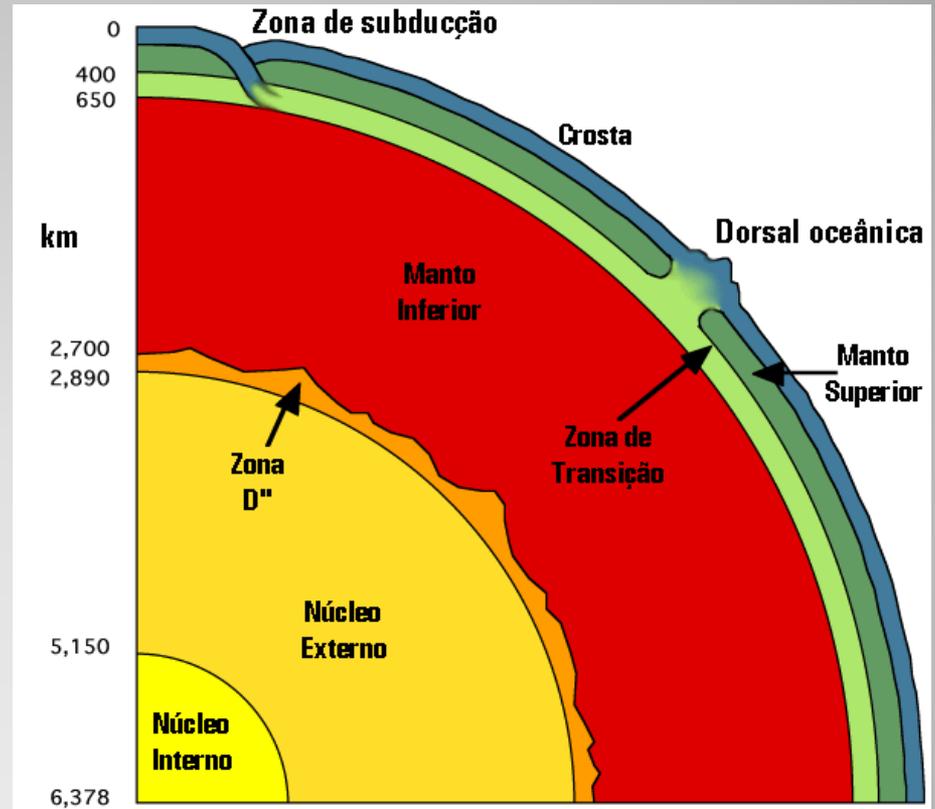
# O núcleo externo

Apresenta-se fluido, com uma viscosidade semelhante à da água. Admite-se que seja homogêneo, devido à convecção e rotação terrestre.



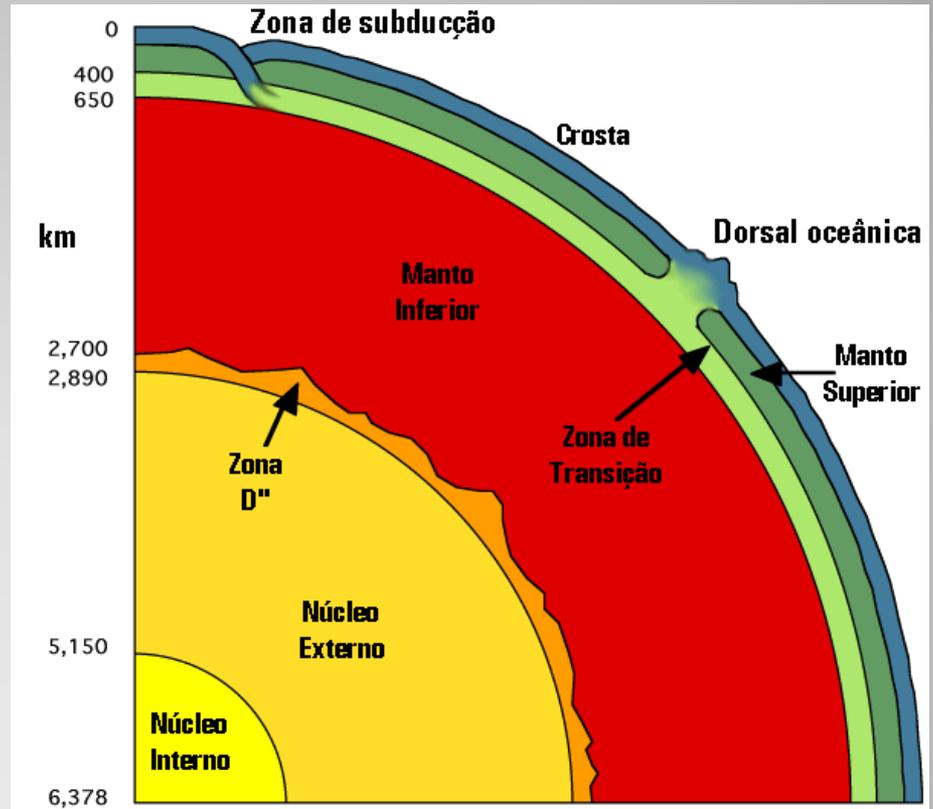
# A estrutura da Terra

O material do núcleo externo deve estar se solidificando, incorporando-se ao núcleo interno, e deixando os materiais menos densos nesta camada superior.



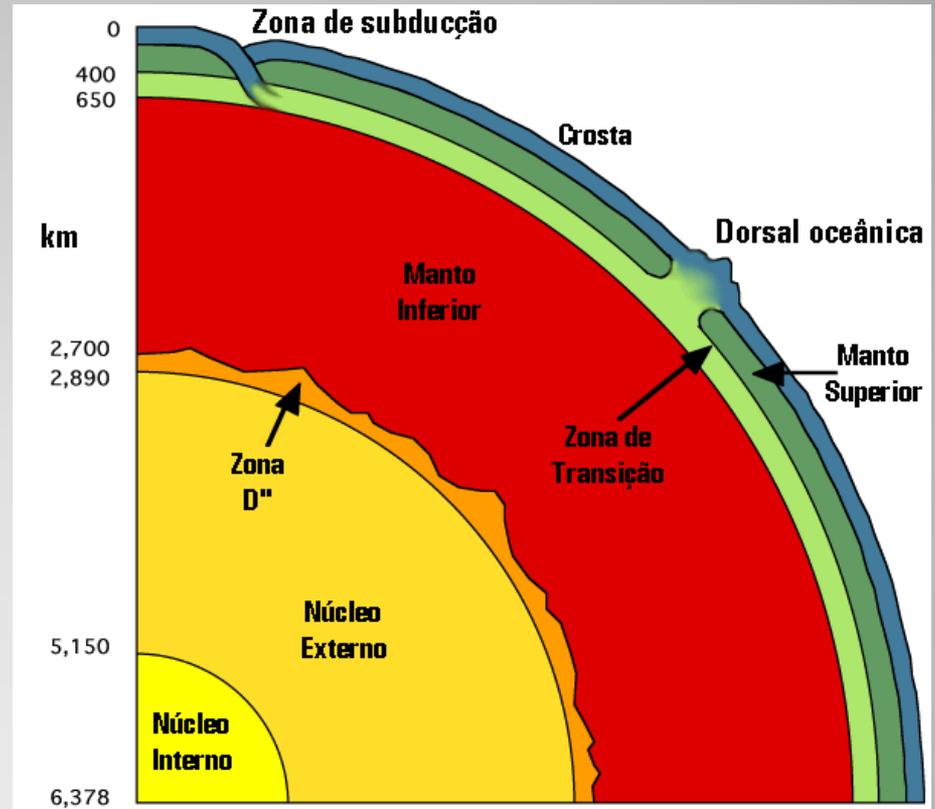
# O núcleo interno

O núcleo interno foi descoberto pela sismóloga dinamarquesa Inge Lehmann, em 1936, a partir da análise de ondas sísmicas.



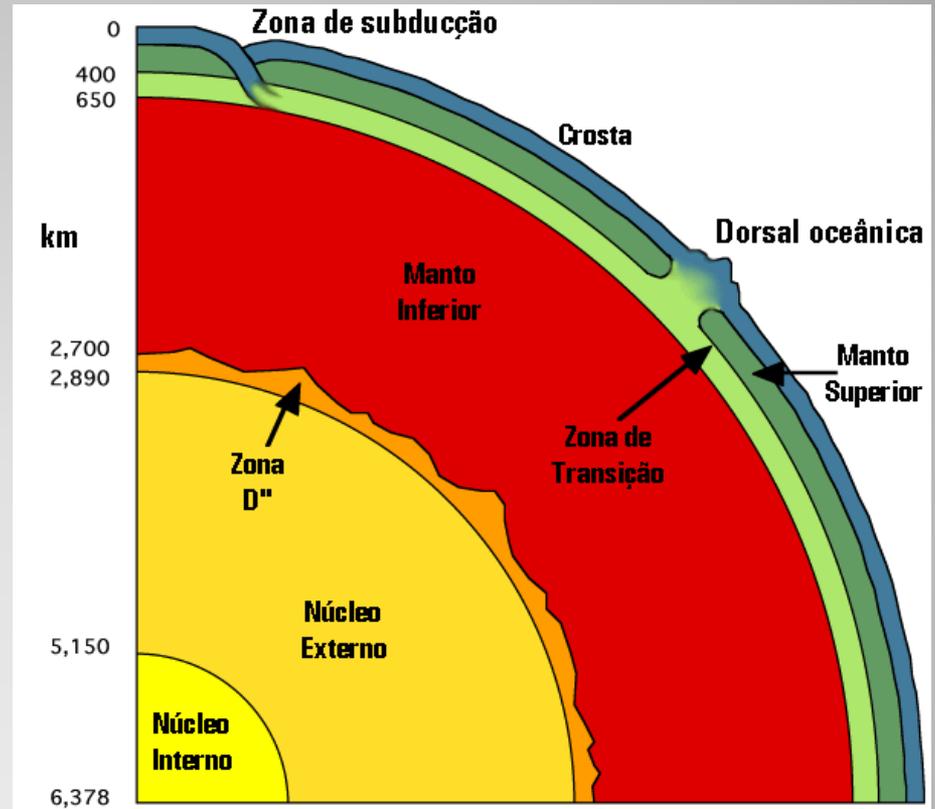
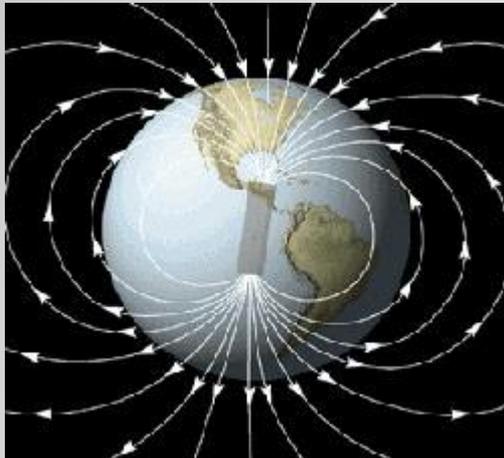
# O núcleo interno

Existe a possibilidade do núcleo interno não ser completamente sólido, mas ser uma mistura de fases sólidas e líquidas a uma condição de temperatura e pressão muito próxima da necessária para a solidificação.



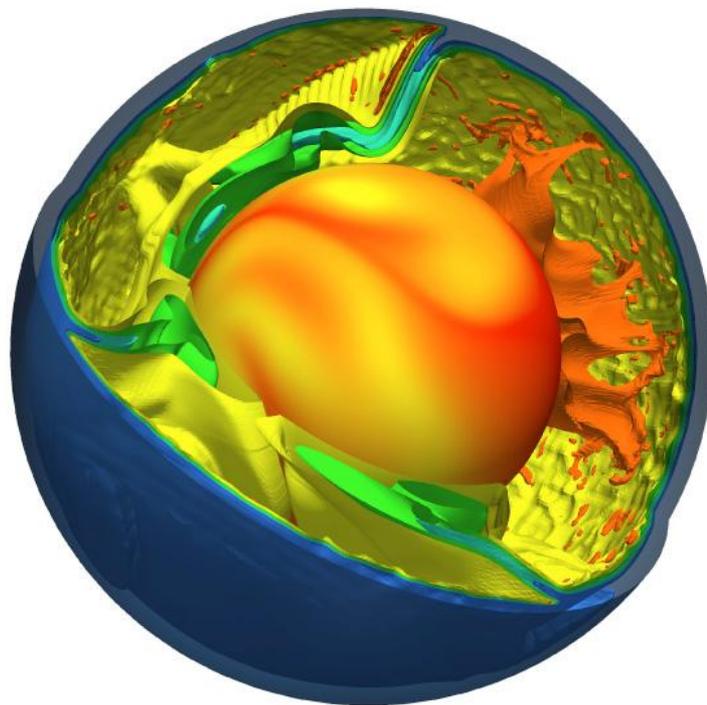
# O núcleo terrestre

Os processos de convecção e interação no núcleo terrestre são fundamentais para a geração do campo geomagnético e processos geodinâmicos.



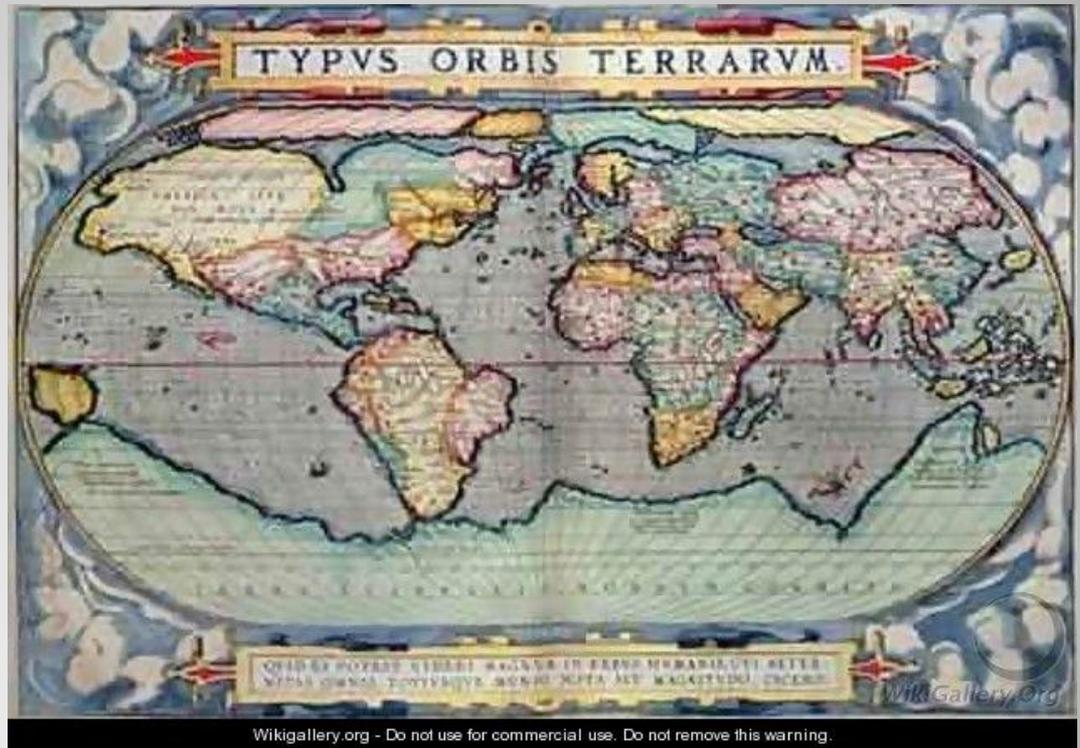
# A Tectônica de Placas

A teoria da tectônica de placas é muito recente, e tem trazido grande ajuda na compreensão dos fenômenos observados na Terra.



# Abraham Ortelius

Abraham Ortelius, um elaborador de mapas, em 1596, sugeria que as Américas tinham sido separadas da Europa e da África por terremotos e enchentes.



# O ajuste das linhas de costa

Ortelius afirmava que este fato era evidente se fosse elaborado um mapa com a junção destes continentes, verificando-se a coerência entre as linhas de costa.



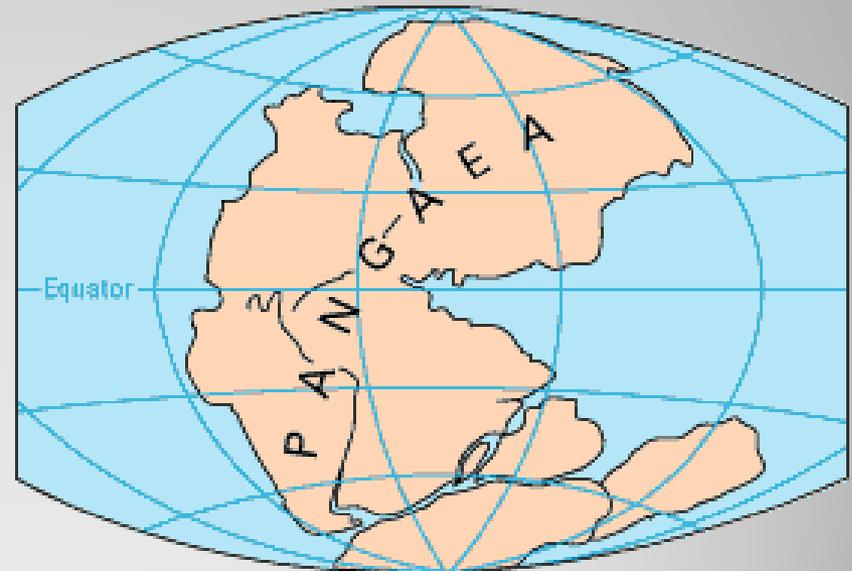
# Alfred Wegener

Em 1912, Alfred Wegener, um meteorologista alemão, aos 32 anos de idade, propunha a teoria da DERIVA CONTINENTAL.



# O supercontinente PANGEA

A teoria de DERIVA CONTINENTAL estabelecia que, há 200 milhões de anos, todas as massas continentais existentes estavam concentradas em um supercontinente, que ele denominou de PANGEA.

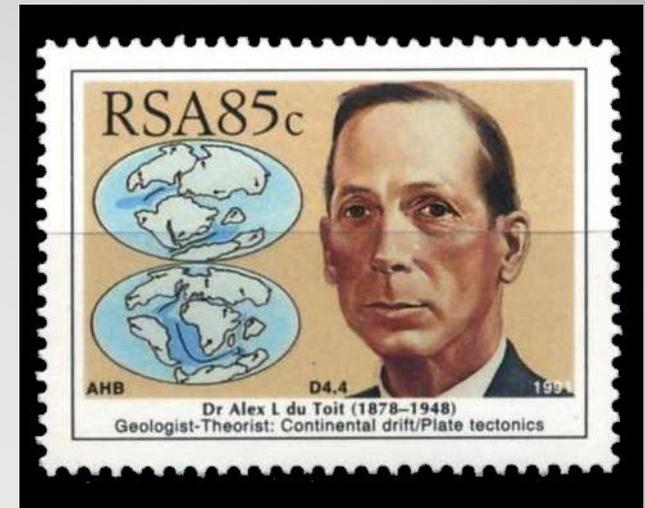
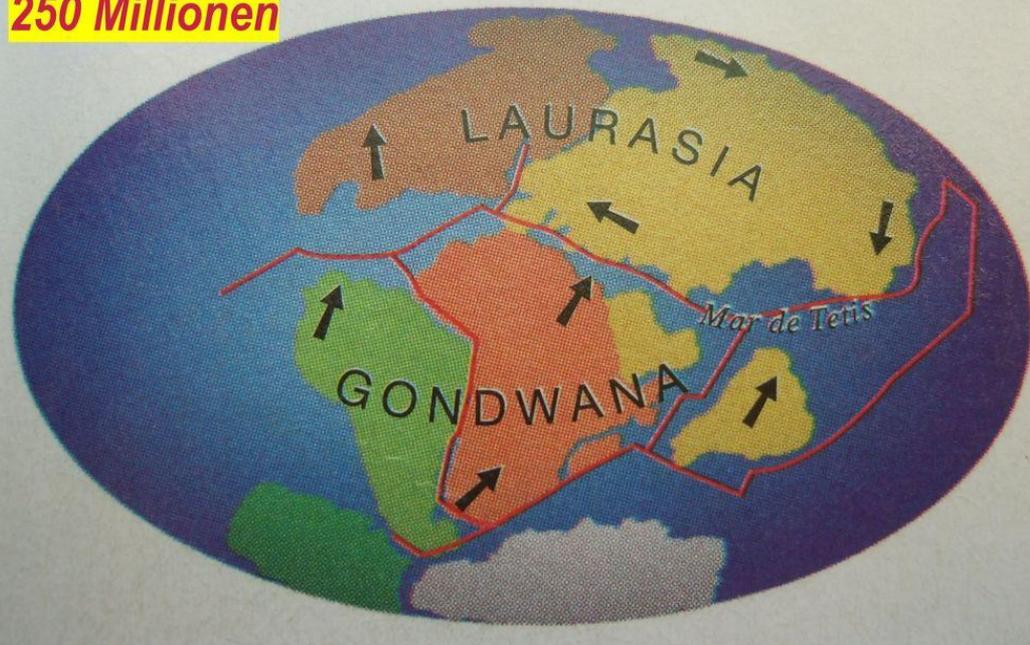


PERMIAN  
225 million years ago

# A quebra do PANGEA

A quebra do supercontinente PANGEA originaria, inicialmente, duas grandes massas continentais: a Laurásia no hemisfério Norte, e o Gondwana no Hemisfério Sul, segundo Alexander Du Toit, um dos defensores da idéia de Wegener.

250 Millionen



# A Laurásia e o Gondwana

A Laurásia e o Gondwana teriam a partir de então continuado o processo de separação, originando os continentes que conhecemos na atualidade.



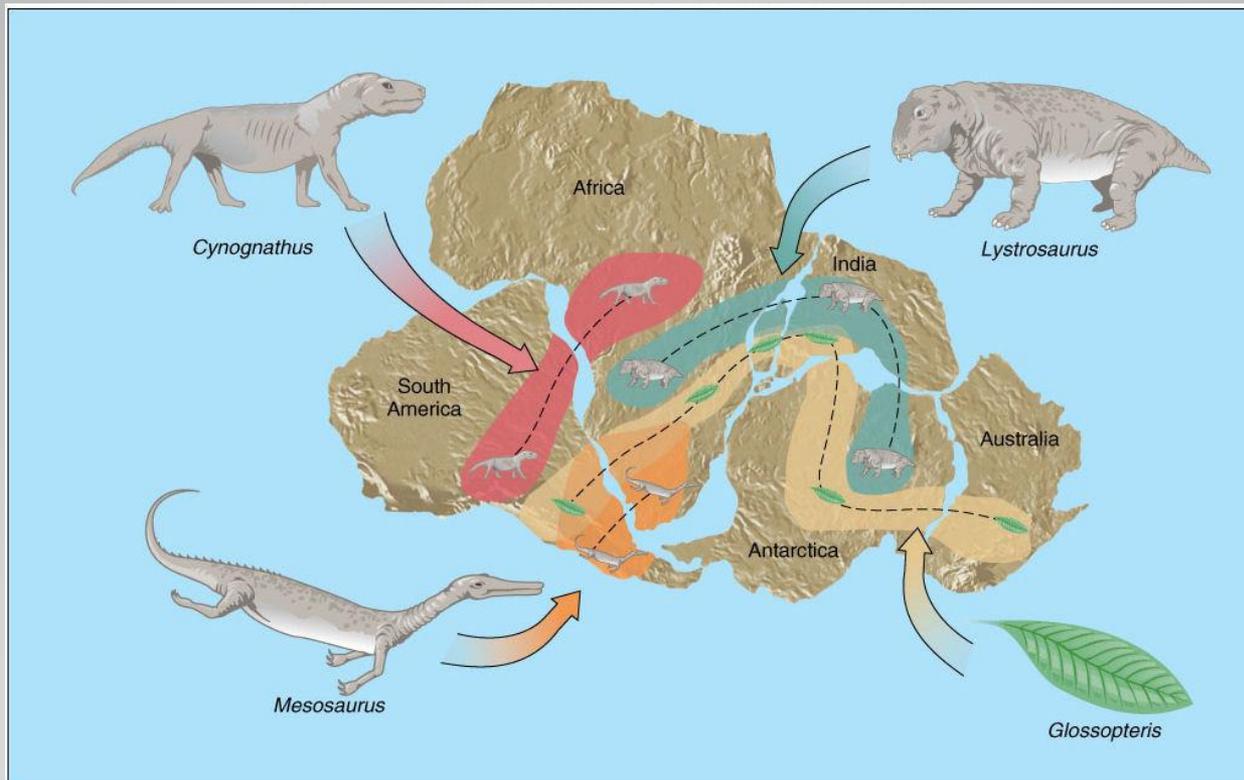
# A deriva continental

A teoria de Wegener se apoiava em diversas informações que ele havia conseguido por estudos de trabalhos publicados em diversas áreas de conhecimento, como por exemplo, similaridade entre as linhas de costa da América do Sul e África notada por Ortelius.



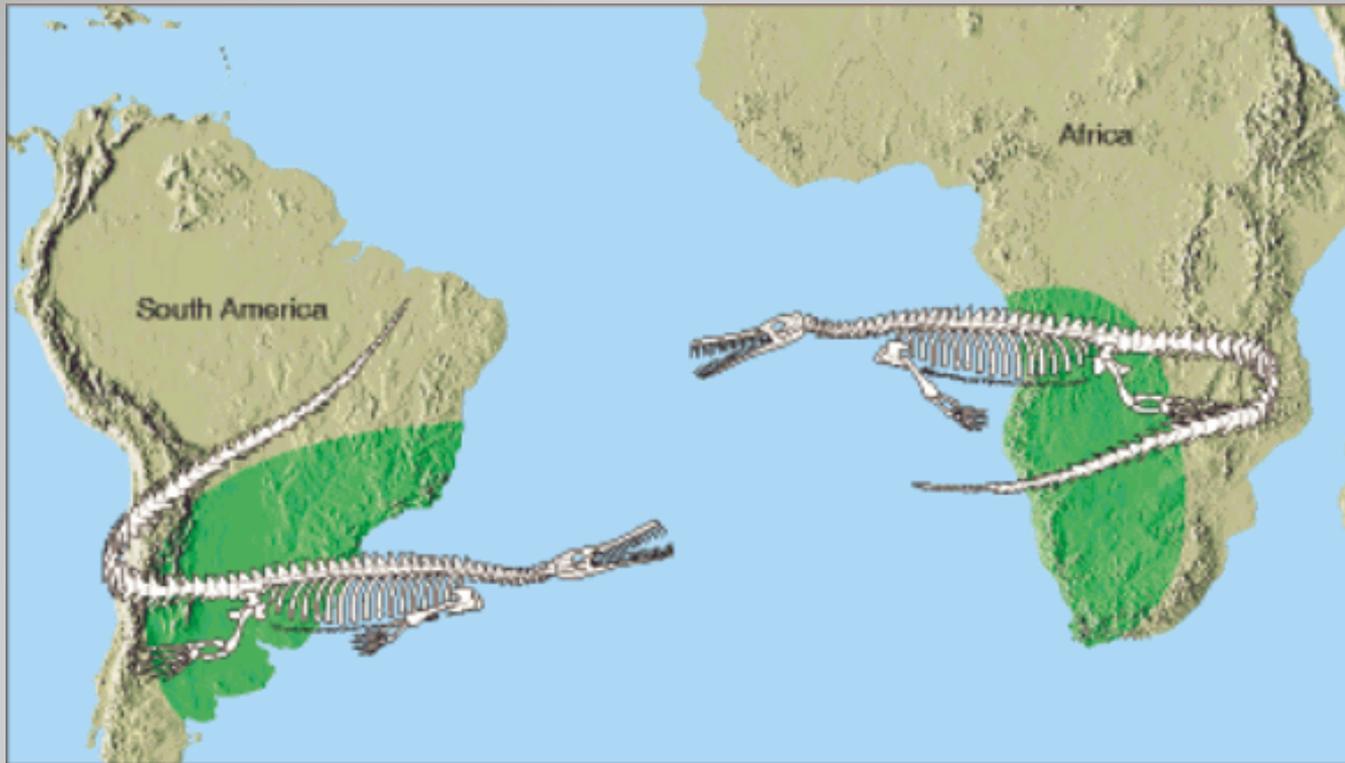
# As evidências de Wegener

Outra observação importante era relativa à distribuição de fósseis no continente Africano e Sulamericano.



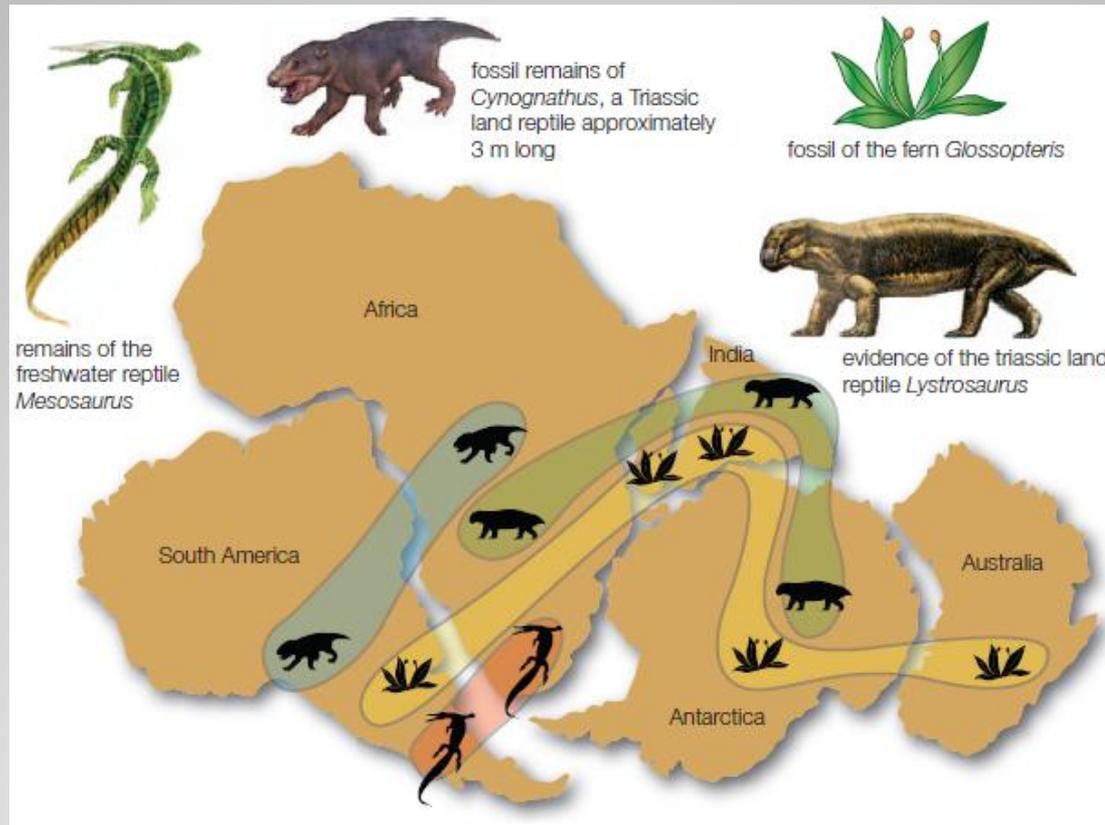
# As evidências de Wegener

A distribuição de fósseis no continente Africano e Sulamericano não fazia sentido com os continentes na posição atual.



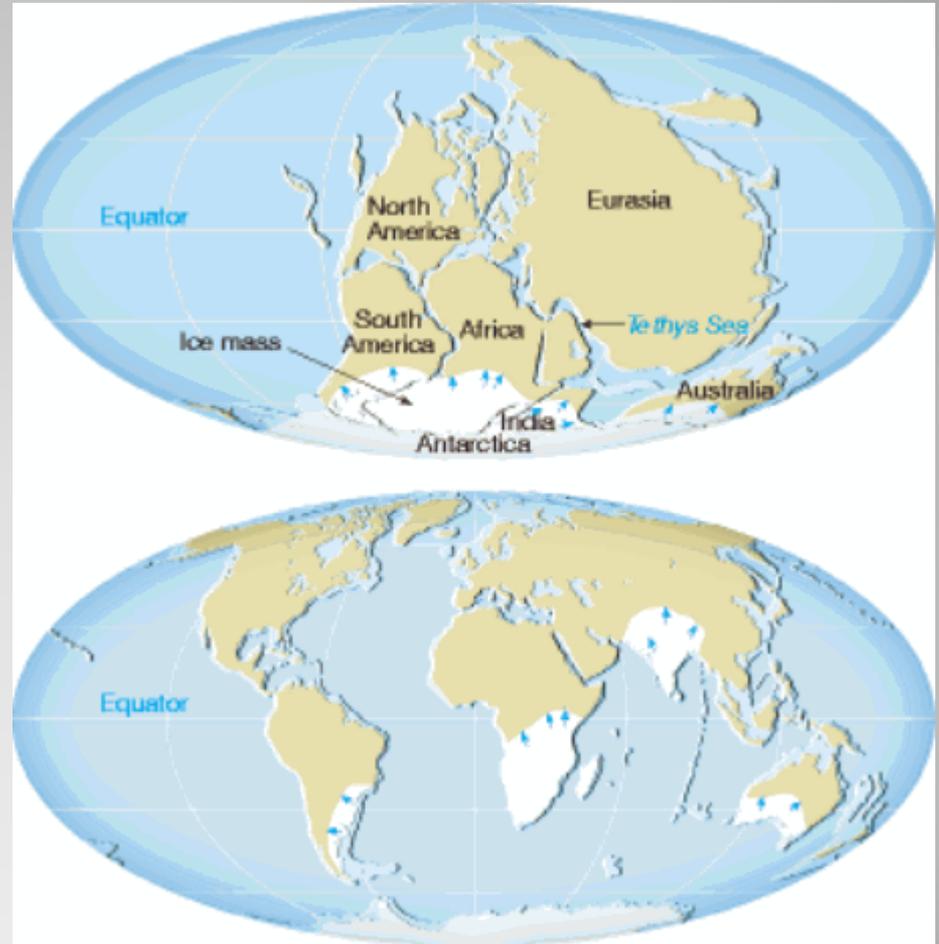
# As evidências de Wegener

A distribuição de fósseis no continente Africano e Sulamericano fazia sentido com os continentes dispostos adequadamente.



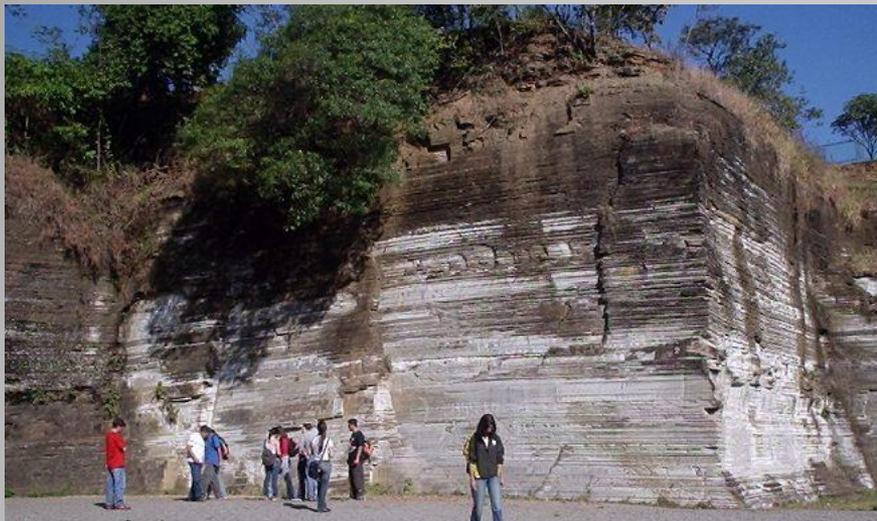
# As evidências de Wegener

Dramáticas mudanças nos climas observadas em ambos os continentes, como a presença de sedimentos de origem glacial em locais onde hoje temos desertos, no caso da África, ou em ambientes tropicais, como São Paulo, não podiam ser explicadas para os continentes na posição atual.



# As evidências de Wegener

Parque do Varvito – Itu – São Paulo



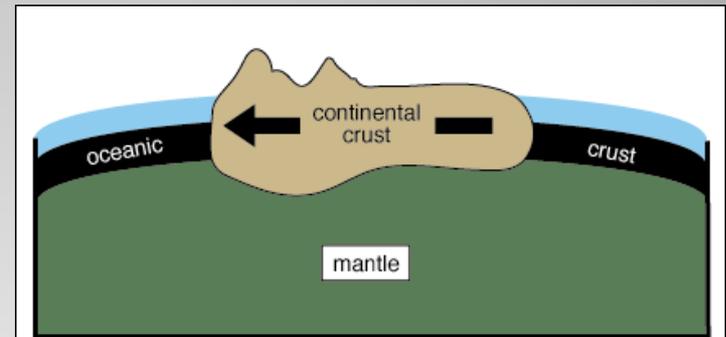
# As evidências de Wegener

Algumas estruturas geológicas e fisiográficas que apresentavam continuidade além dos oceanos também não eram bem explicadas se os continentes sempre estiveram na posição que ocupam hoje na superfície terrestre.



# As evidências de Wegener

A pergunta fundamental que Wegener não conseguiu responder foi: *“que tipo de força conseguiria mover tamanhas massas a tão grandes distâncias?”*



Wegener's proposal that continents plowed through oceanic crust was not accepted by other geologists.



# A morte de Wegener

Alfred Wegener morreu durante uma expedição meteorológica à Groenlândia, em 1930. A idéia de comprovar a teoria da deriva continental ocupou toda a sua vida.

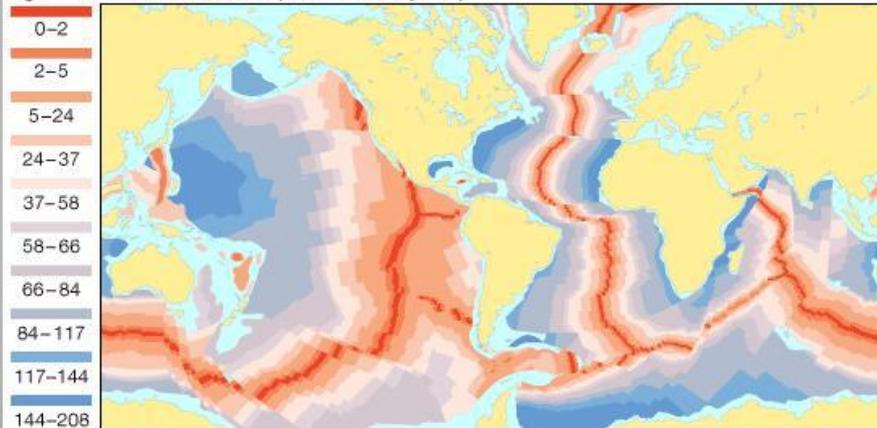


Uma das últimas fotos de Wegener, em novembro de 1930, pouco antes de partir para a sua derradeira expedição na Groenlândia.

# Ideias de Wegener

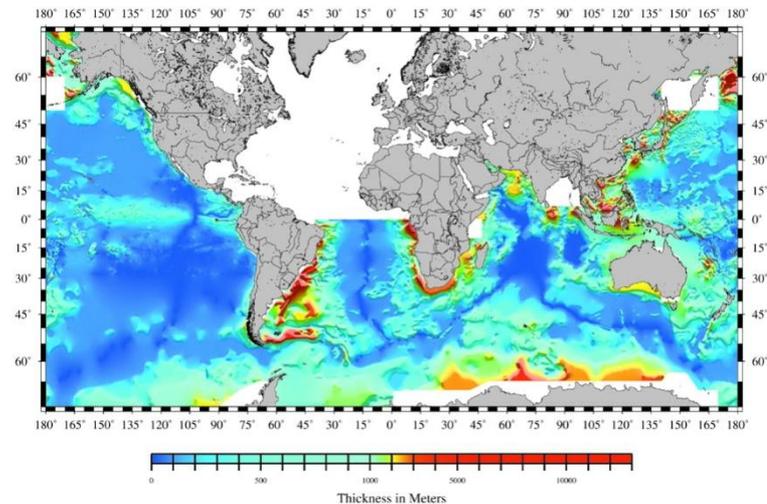
Algumas outras contribuições de Wegener na área diziam respeito à idade do assoalho oceânico. Ele percebeu que os oceanos mais rasos eram mais jovens, ou seja, que a crosta oceânica mais profunda é mais velha. Esta informação foi importante para a evolução da idéia da deriva continental para a teoria da TECTÔNICA DE PLACAS.

Age of Earth's oceanic crust (in millions of years)



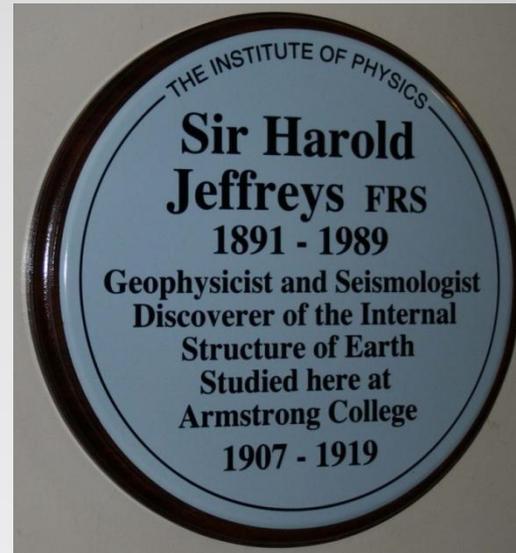
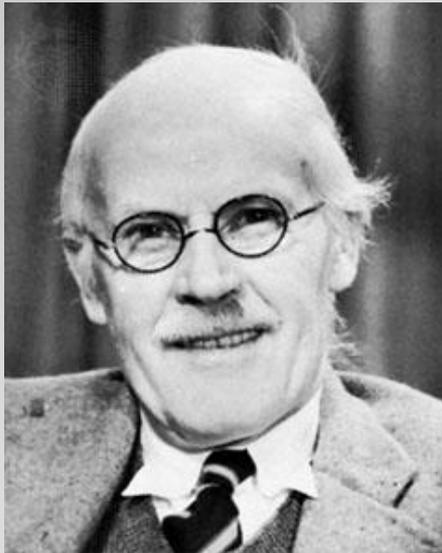
© 2007 Encyclopædia Britannica, Inc.

Total Sediment Thickness  
Database in Progress



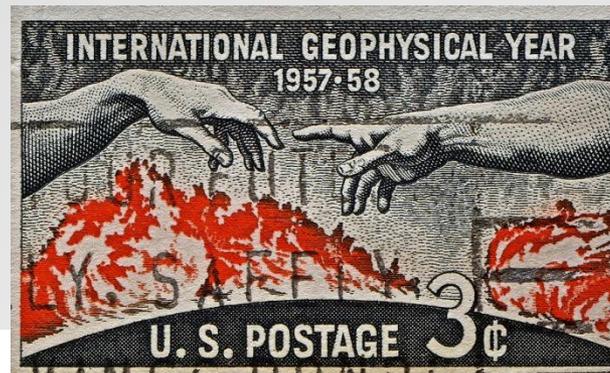
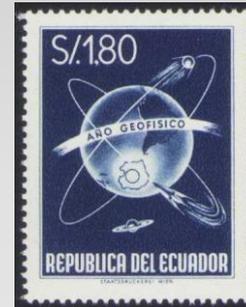
# A Terra pós-Wegener

A teoria de Wegener foi muito contestada nos anos seguintes à sua morte, com o principal ponto negativo sendo o fato de que as massas continentais não poderiam se movimentar pelos oceanos da maneira proposta sem se fragmentar inteiramente, o que foi argumentado por Harold Jeffreys, um renomado sismólogo inglês.



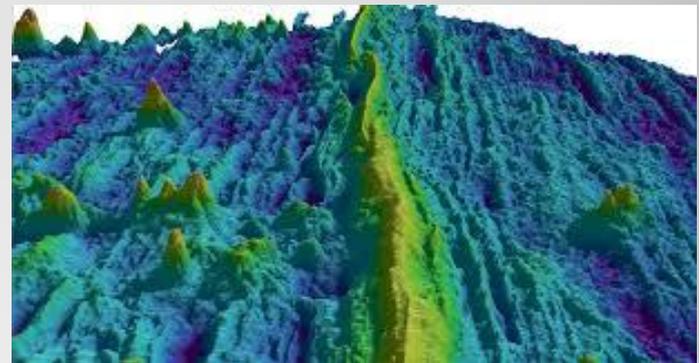
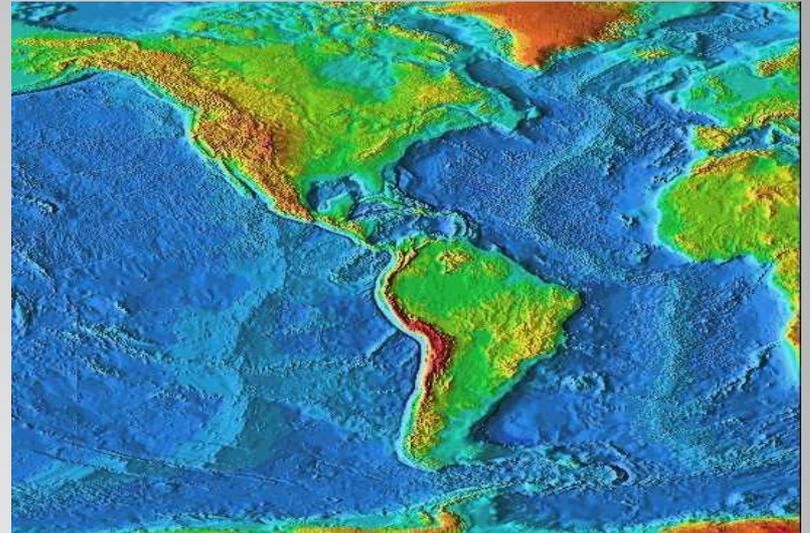
# A Terra pós-Wegener

No início da década de 1950, porém, as idéias de Wegener foram retomadas, face a novas observações e descobertas científicas, ligadas especialmente aos oceanos. Um novo debate surgiu sobre as provocativas idéias de Wegener e suas implicações.



# O assoalho oceânico irregular

Durante as guerras mundiais, muito esforço foi feito para um mapeamento preciso do fundo oceânico, resultando em uma imagem inesperada: um assoalho “*enrugado*”, com montes e depressões, o que foi constatado quando da necessidade da implantação de cabos telegráficos submarinos. Foram descobertas enormes cadeias de montanhas submarinas, situadas no meio do oceano Atlântico.



# A idade do assoalho oceânico

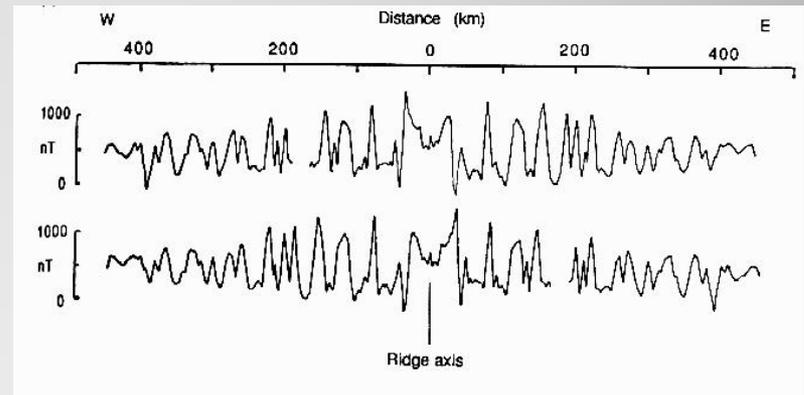
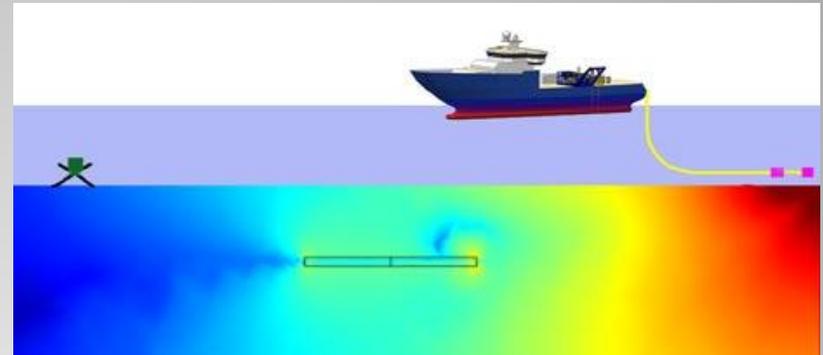
Acreditava-se que o assoalho oceânico tinha em média 4 bilhões de anos, e, portanto, deveria apresentar uma camada sedimentar bastante espessa; em 1957, sismólogos no navio USS Atlantis verificaram que em diversos locais a idade e a espessura dos sedimentos eram muito pequenas.



# Reversões do campo magnético

No início da década de 1950, os cientistas utilizaram os magnetômetros (desenvolvidos na Segunda Guerra Mundial para a detecção de submarinos) para investigar a crosta oceânica.

Era esperado que o material da crosta oceânica apresentasse alguma resposta magnética, pois o basalto contém minerais com características magnéticas.



**PAUSA PARA  
NOSSOS  
COMERCIAIS**

# Geofísica para a 3ª idade

Curso: Os oceanos vistos pela Geofísica

É notável que conheçamos melhor a topografia de Vênus do que as feições do fundo oceânico! Desvendar a origem, a evolução e as principais características desta fronteira exige um grande ferramental oceanográfico, geológico e geofísico. Venha entender onde estão e como investigar feições maiores que o Monte Everest!

Aulas:

- Como nasce uma zebra? A origem e as características físicas do fundo oceânico.
- O que a zebra foi fazer no fundo do mar? O padrão zebrado do assoalho oceânico.
- Como mapear a zebra de dentro e de fora de um navio? Métodos geofísicos e oceanográficos para o estudo do fundo oceânico.
  - Deu zebra: jornalista ao mar! - por Carlos Fioravanti, autor do livro "A molécula mágica" (dentre outros)
  - O fundo do mar e o pijama de zebra: como uma mulher ajudou a descobrir o padrão zebrado do fundo oceânico. Gincana.

# Geofísica para a 3ª idade

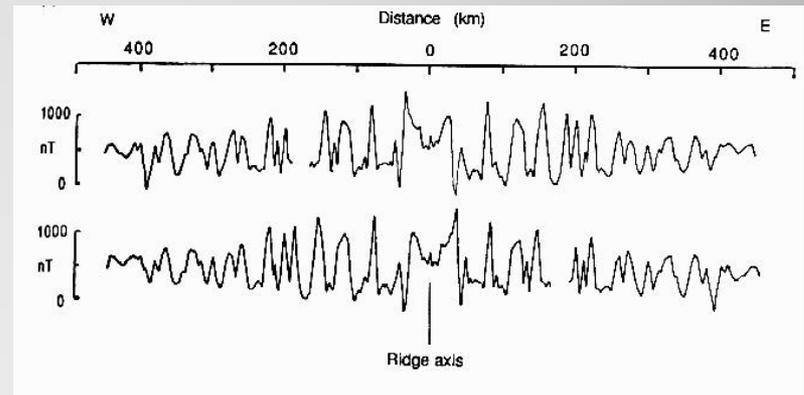
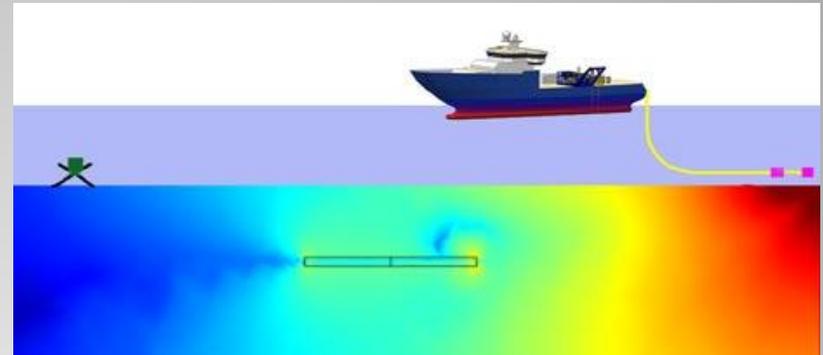
INSCRIÇÕES ATÉ 10/MAIO – AMANHÃ!!!

<http://www.iag.usp.br/geofisica/terceiridade>

# Reversões do campo magnético

No início da década de 1950, os cientistas utilizaram os magnetômetros (desenvolvidos na Segunda Guerra Mundial para a detecção de submarinos) para investigar a crosta oceânica.

Era esperado que o material da crosta oceânica apresentasse alguma resposta magnética, pois o basalto contém minerais com características magnéticas.

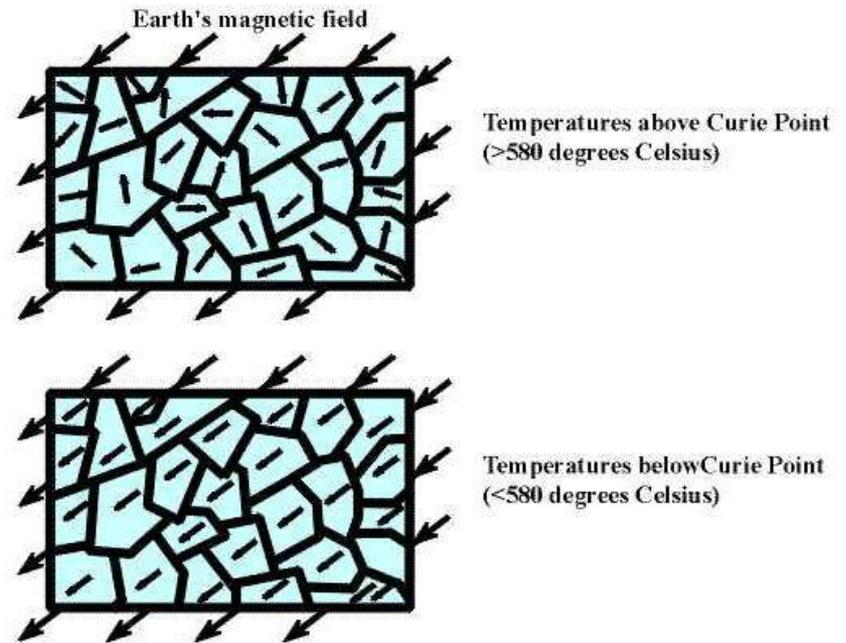


# Reversões do campo magnético

Os cientistas sabem que as rochas podiam guardar a informação magnética proveniente do campo terrestre presente no momento de sua geração.

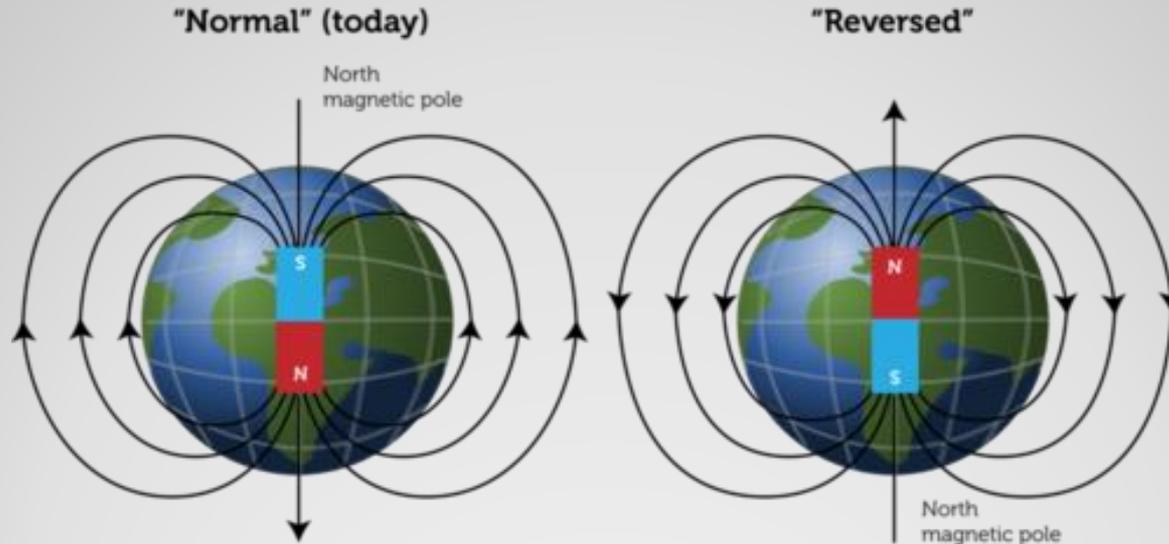
Desta forma, as rochas podem ser usadas para investigar o comportamento do campo magnético no passado.

Development of Magnetic alignment in minerals during cooling from a magma



# Reversões do campo magnético

Em meados do século XX, os paleomagnetistas verificaram que as rochas terrestres continentais podiam ser classificadas em dois grupos: as que apresentavam polaridade magnética compatível com a do campo presente, e as que apresentavam polarização reversa. Isso foi atribuído às reversões do campo magnético terrestre.



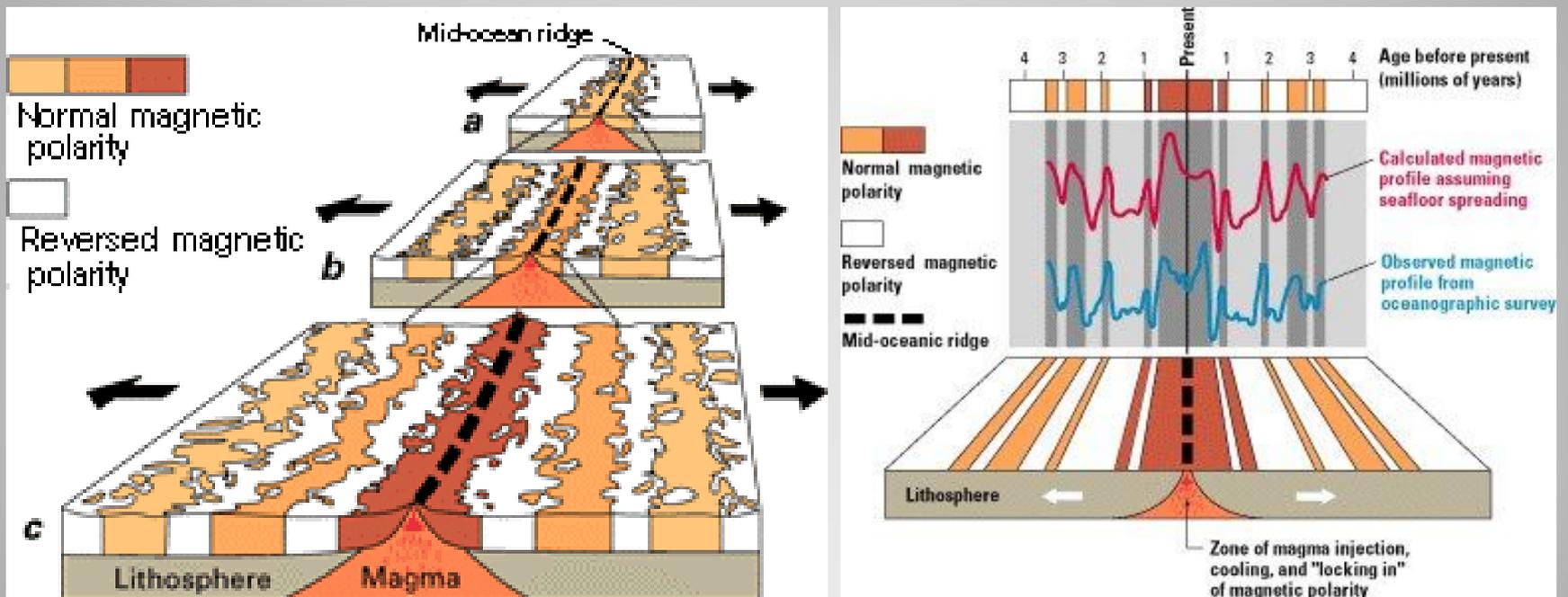
# Reversões do campo magnético

As rochas do fundo oceânico apresentavam o mesmo tipo de assinatura magnética normal e reversa das rochas continentais.



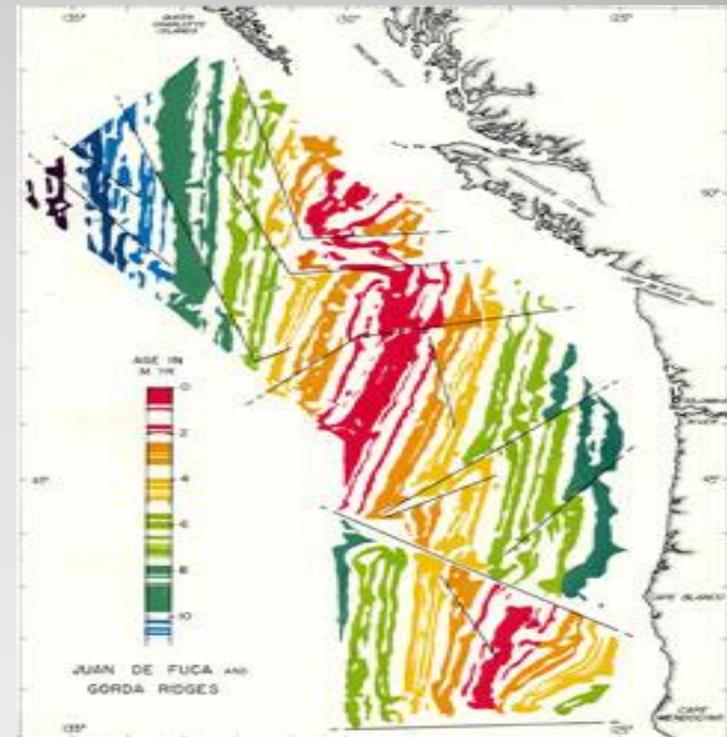
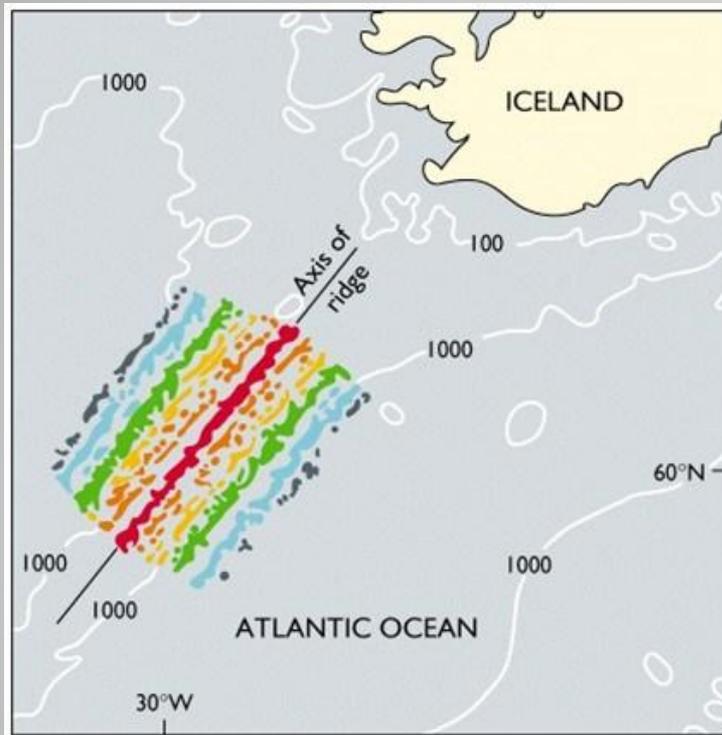
# Reversões do campo magnético

Esta resposta magnética das rochas oceânicas mostrava uma variação na intensidade magnética com uma curiosa simetria em torno de um eixo.



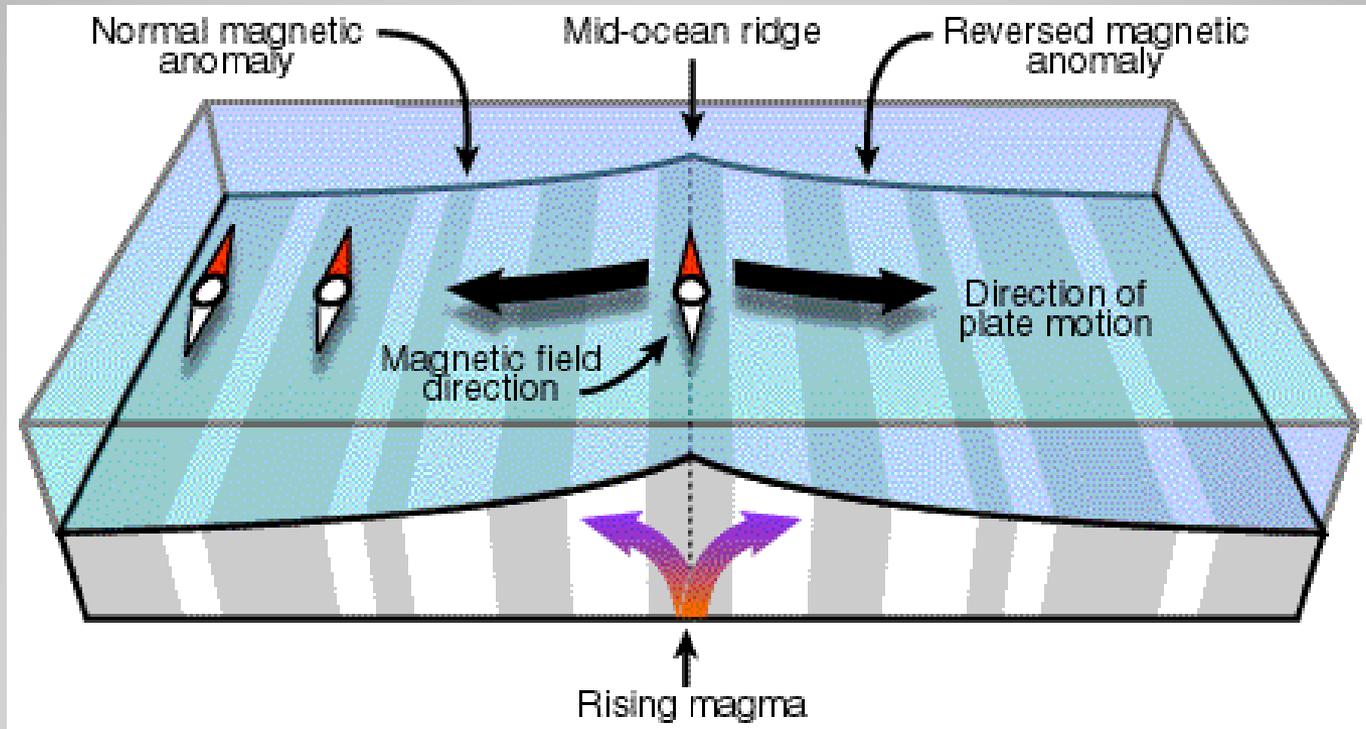
# Reversões do campo magnético

Esta resposta magnética das rochas oceânicas mostrava uma variação na intensidade magnética com uma curiosa simetria em torno de um eixo.



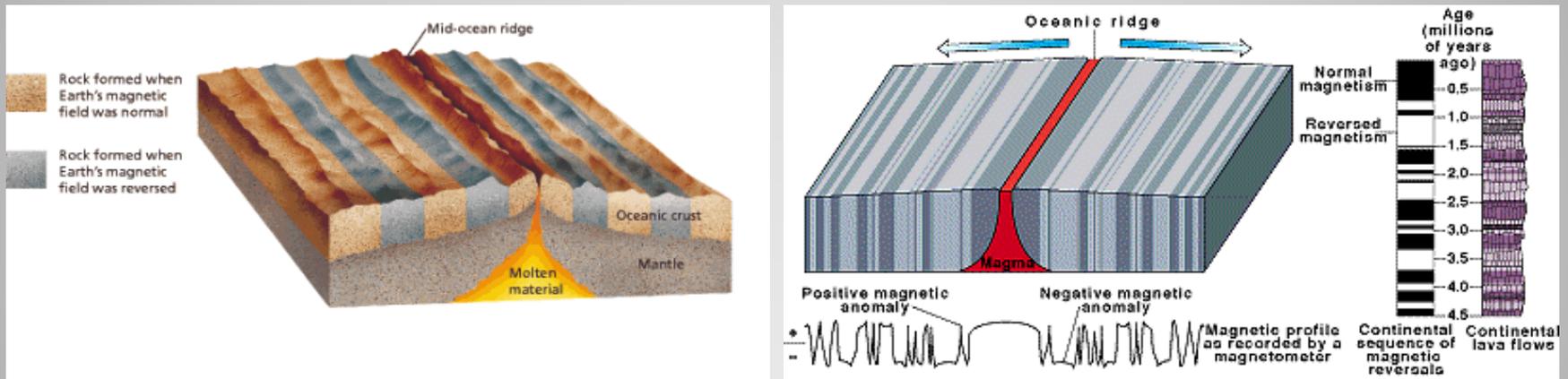
# Reversões do campo magnético

A magnetização destas rochas implicava em um processo que gerasse um padrão simétrico em relação a um centro de espalhamento.



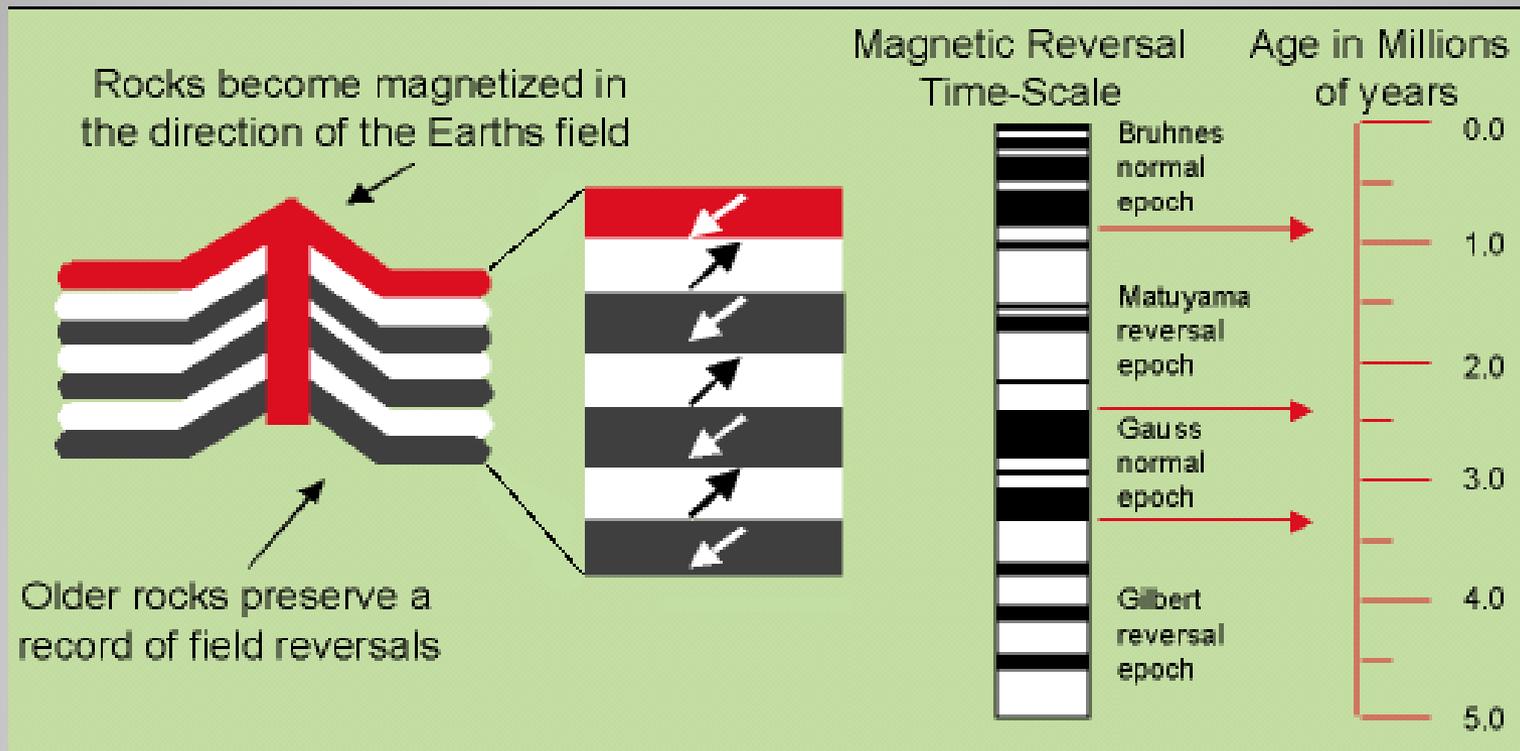
# Reversões do campo magnético

Este padrão poderia ser explicado se as rochas tivessem sido formadas em um centro de espalhamento, onde o material magnético registraria a direção e intensidade do campo magnético da época da formação.



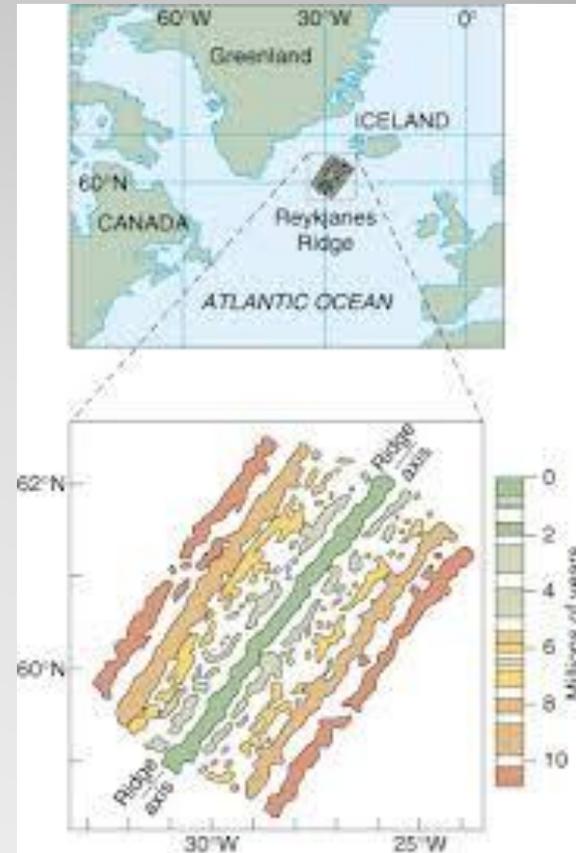
# Reversões do campo magnético

As rochas conteriam, então, um registro do “magnetismo fóssil” da Terra.



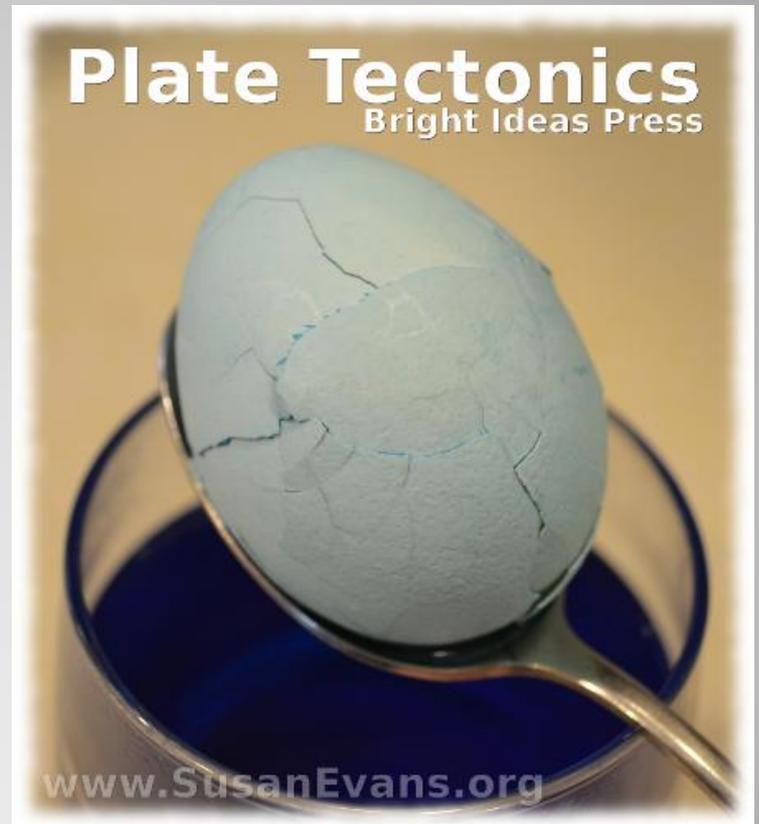
# O “padrão zebrado” do assoalho oceânico

A evidência do padrão simétrico de anomalias magnéticas trazia uma questão importante: “qual o processo de formação da crosta oceânica que explica este padrão?”



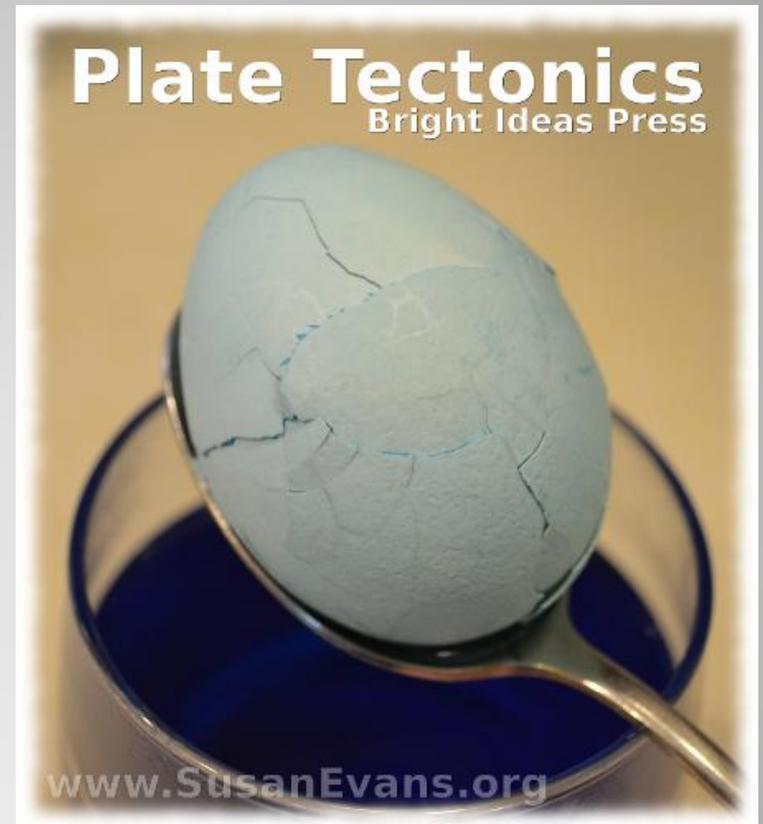
# O afastamento do assoalho oceânico

As teorias da época (1961) diziam que as dorsais meso-oceânicas eram zonas de fraqueza da crosta, onde o material do manto subjacente se incorporava às placas, afastando-as.

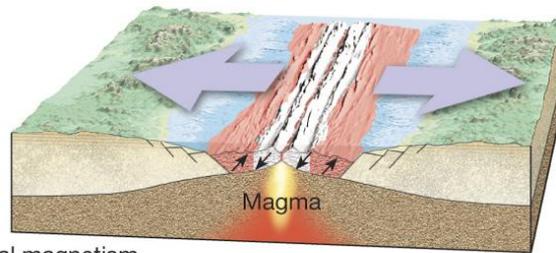


# O afastamento do assoalho oceânico

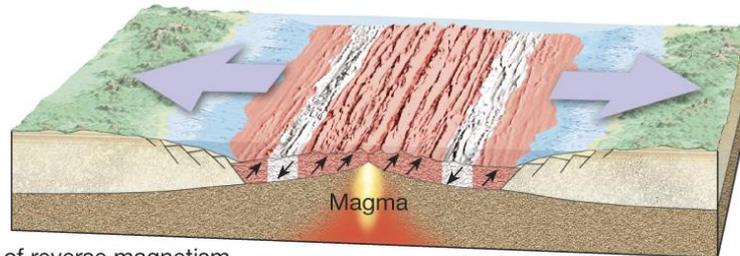
Este processo, denominado espalhamento do assoalho oceânico, duraria milhões de anos, formando as cadeias oceânicas observadas. Se esta teoria estivesse correta, as rochas, ao se formarem, guardariam a magnetização da época da Terra, gerando o padrão observado.



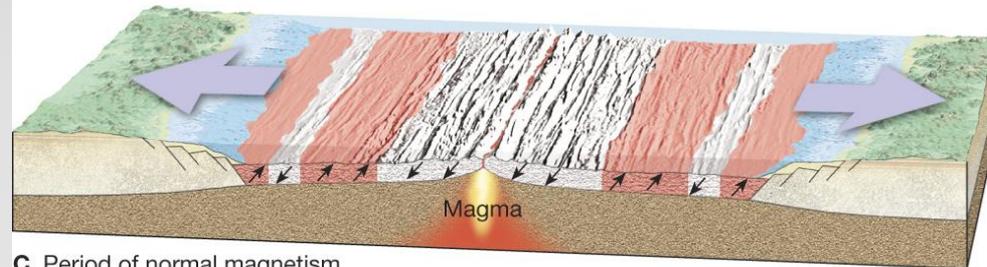
# O afastamento do assoalho oceânico e o padrão zebraado



A. Period of normal magnetism



B. Period of reverse magnetism

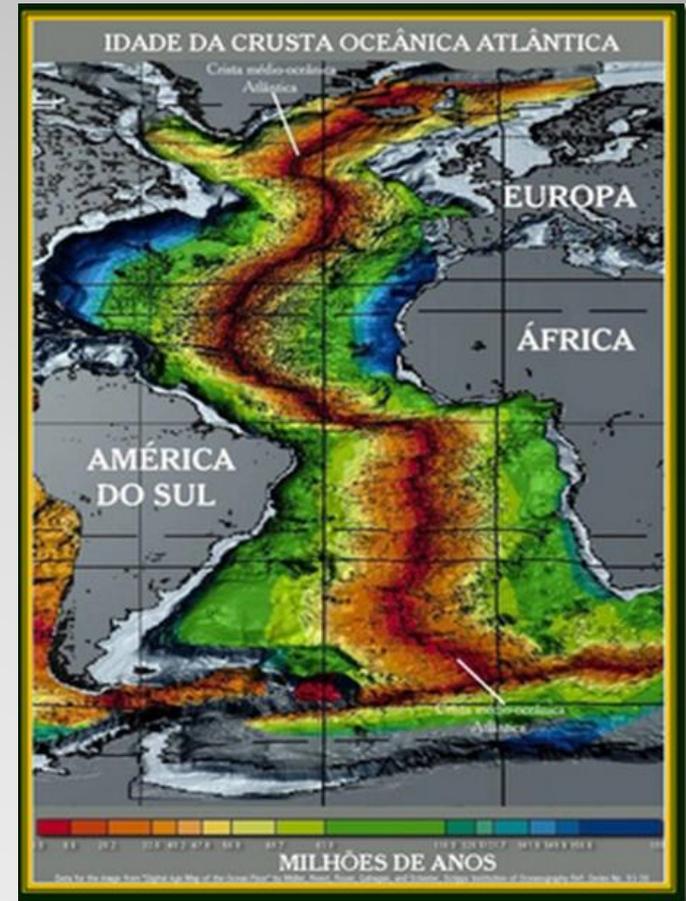


C. Period of normal magnetism

# O “padrão zebrado” do assoalho oceânico

Fatos que comprovam a teoria do espalhamento do assoalho oceânico:

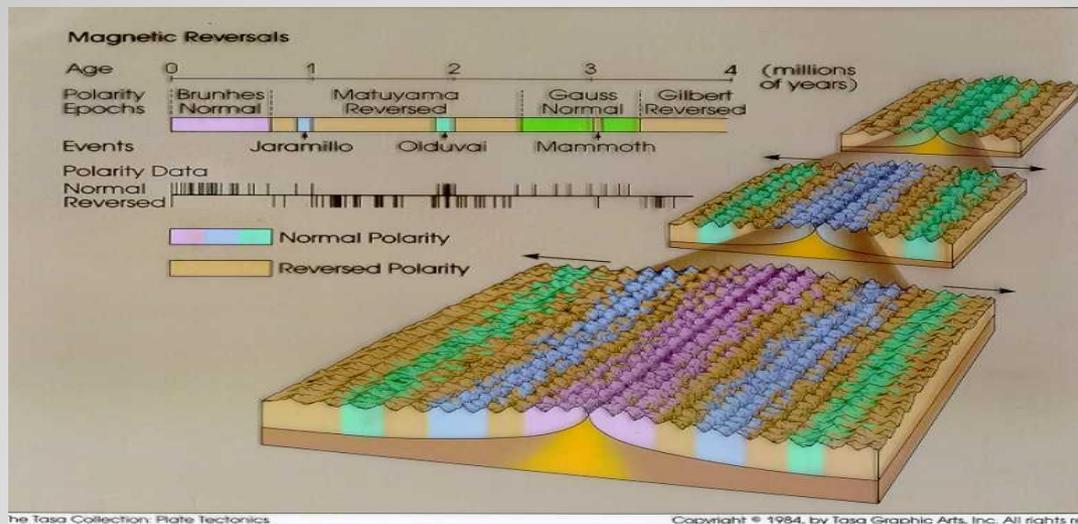
1) As rochas nas proximidades da dorsal são muito jovens, aumentando sua idade com o afastamento da dorsal;



# O “padrão zebra” do assoalho oceânico

Fatos que comprovam a teoria do espalhamento do assoalho oceânico:

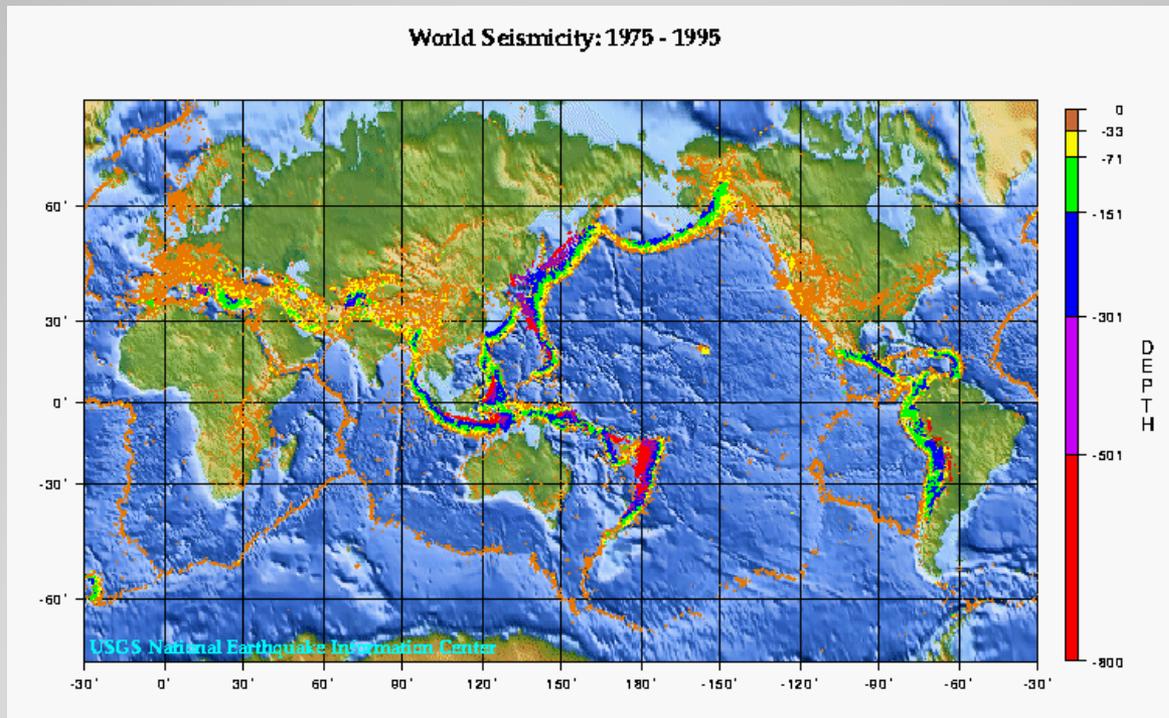
2) As rochas mais jovens, próximas da dorsal, sempre apresentavam polaridade positiva (idêntica ao do campo geomagnético atual);





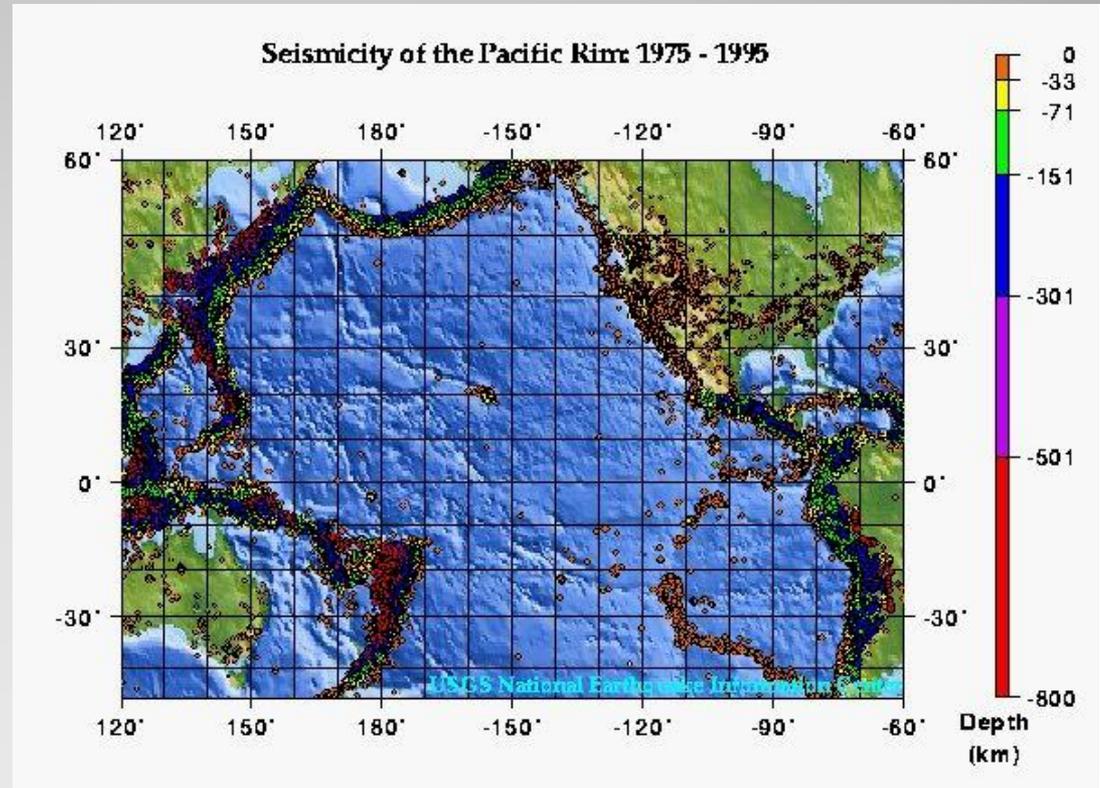
# A distribuição dos terremotos

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.



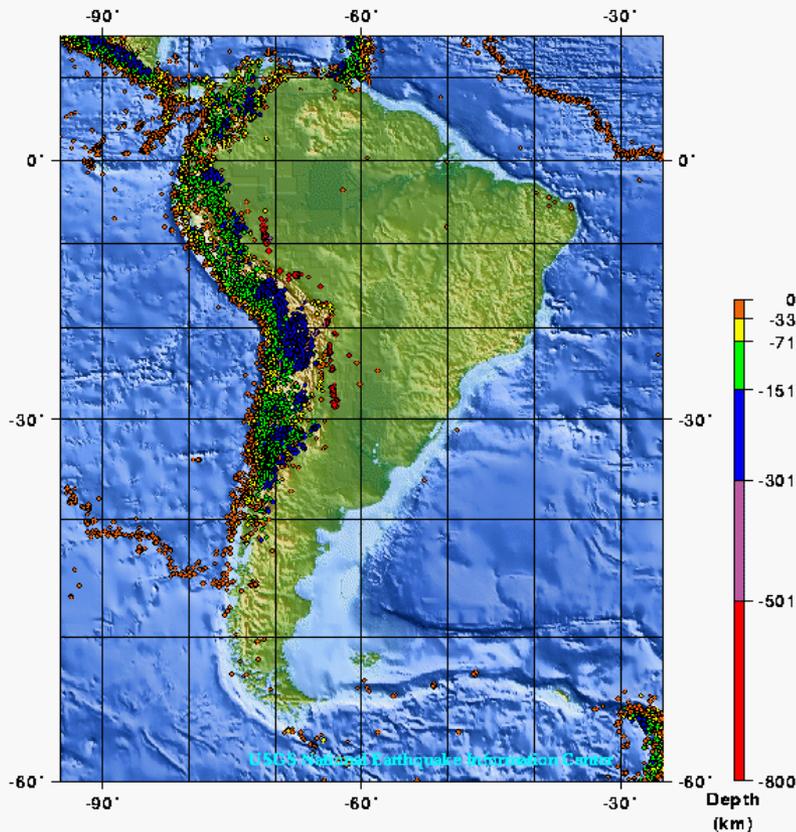
# A distribuição dos terremotos

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

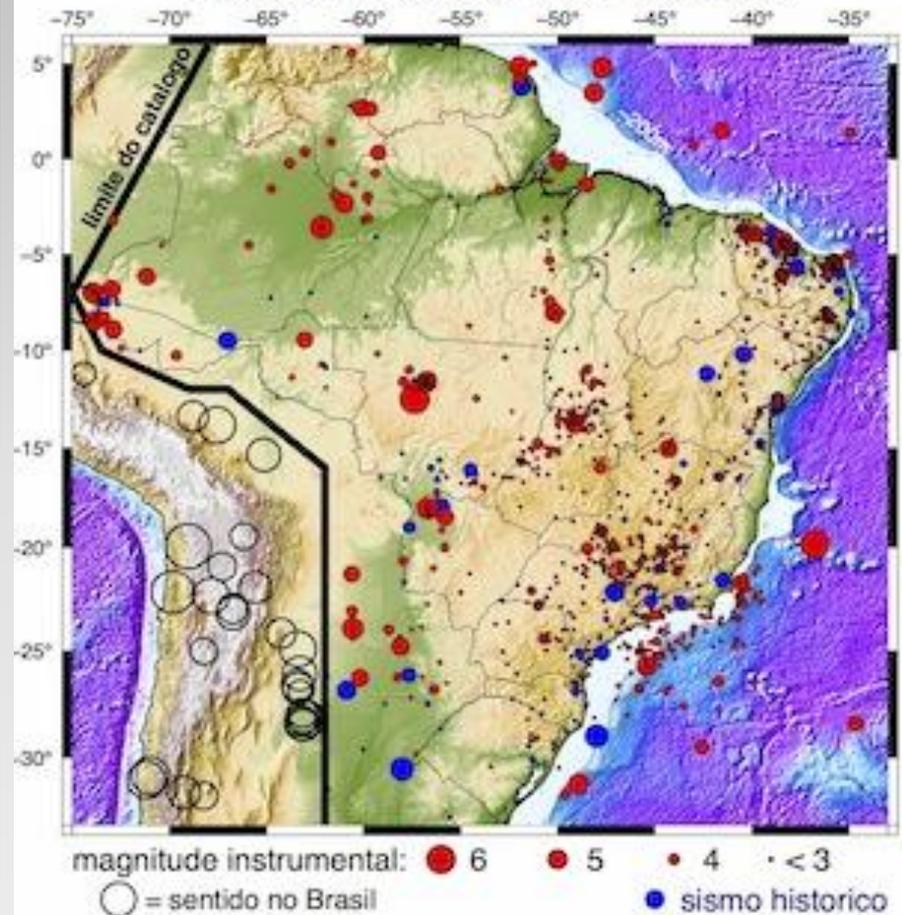


# A distribuição dos terremotos

Seismicity of South America: 1975 - 1995

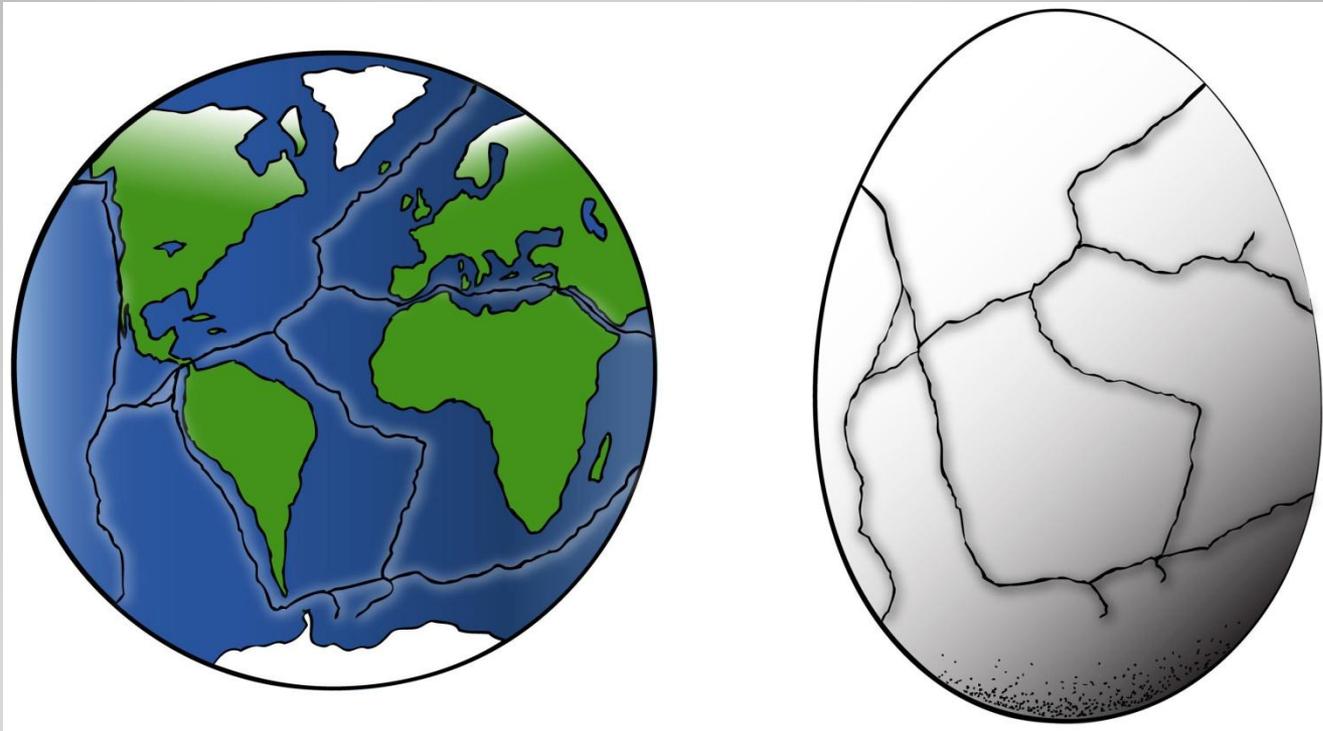


Sismos do Brasil, 1720-2013/08



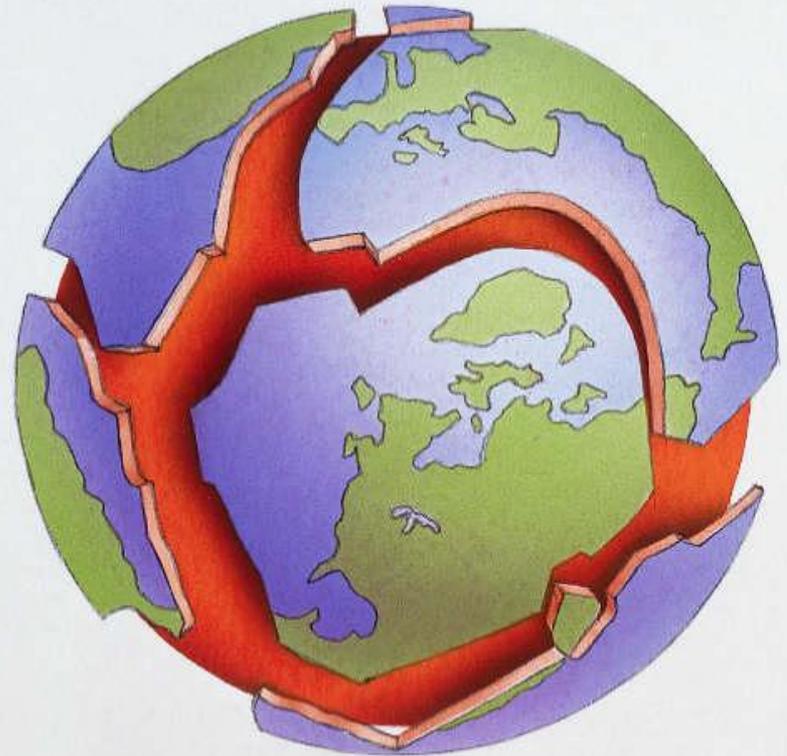
# A distribuição dos terremotos

A camada superficial do planeta parecia então, apresentar grandes zonas de fraqueza, onde havia a concentração de sismos e a criação de nova crosta pela saída do material subjacente.



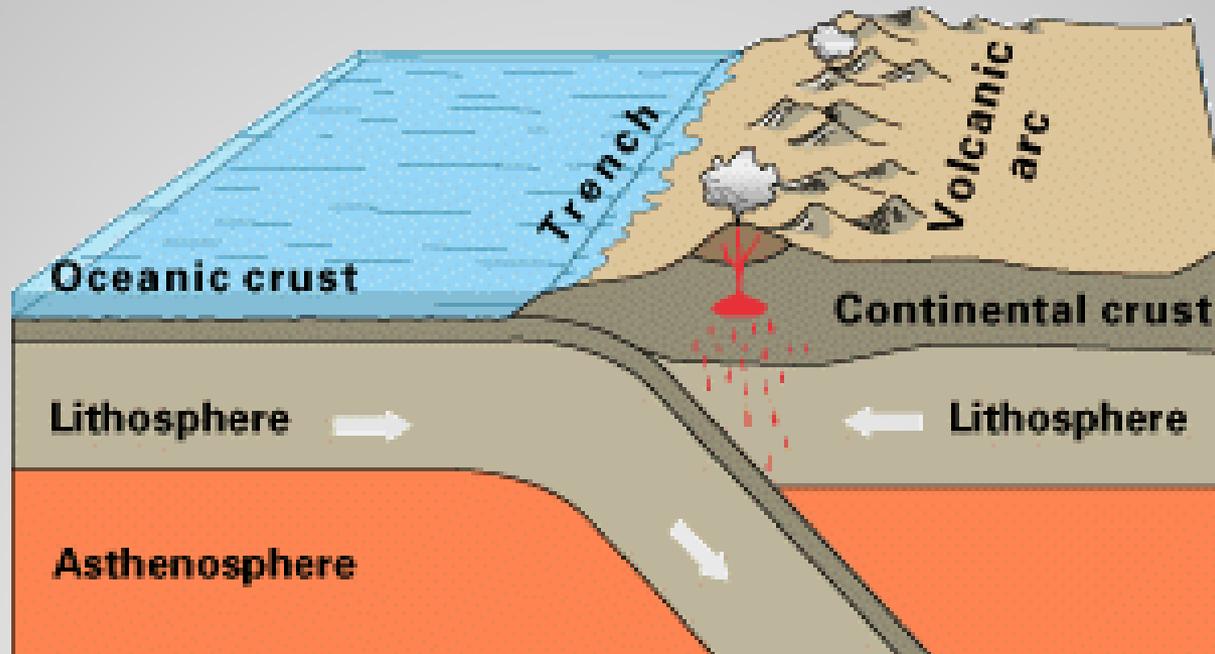
# O problema do modelo

**Se nas dorsais oceânicas havia contínua criação de placas, e não havia evidência de que a Terra estivesse aumentando de tamanho, em algum lugar deveria estar havendo o consumo das placas.**



# A solução do problema

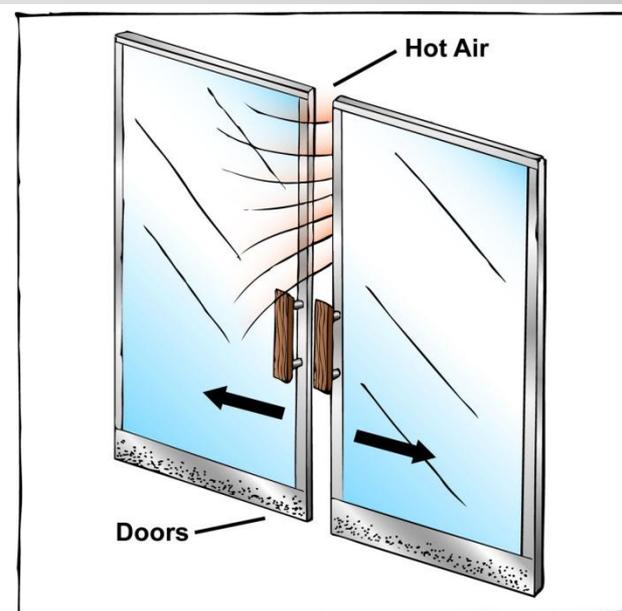
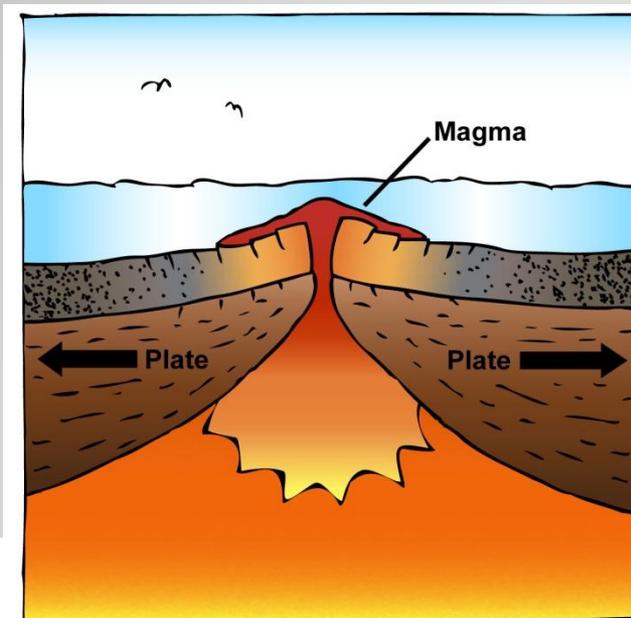
Dois cientistas, Dietz e Hess, postularam que, nas trincheiras oceânicas (faixas estreitas muito profundas ao longo do cinturão do Pacífico), a crosta\* oceânica estaria sendo consumida, em contraposição com a criação da crosta\* nas dorsais oceânicas.



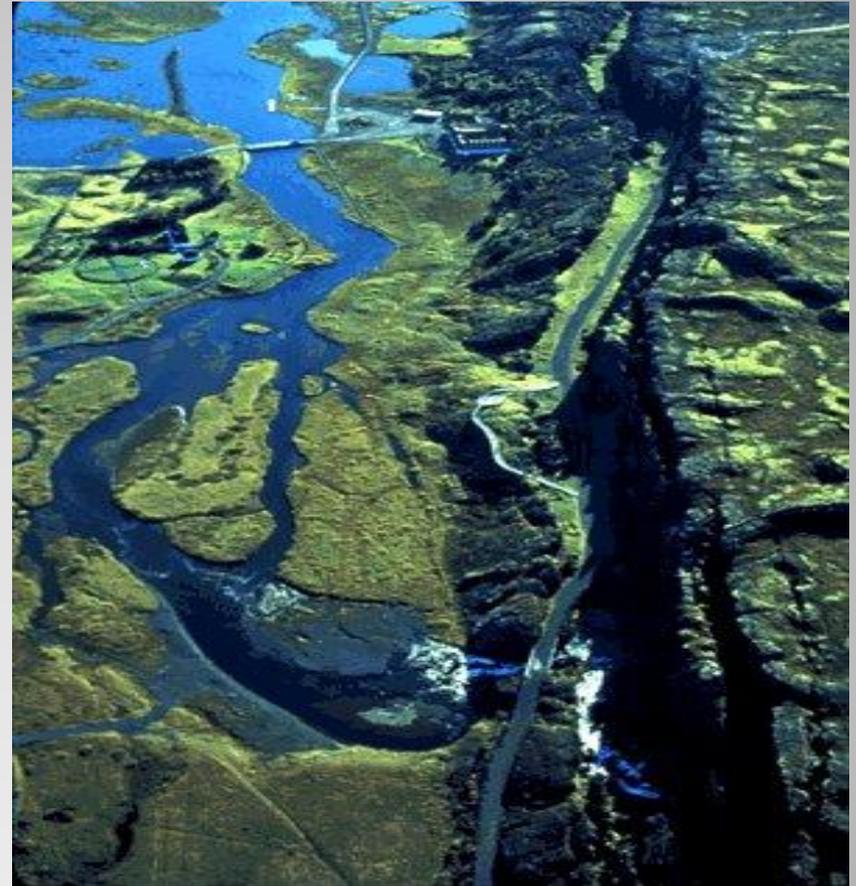
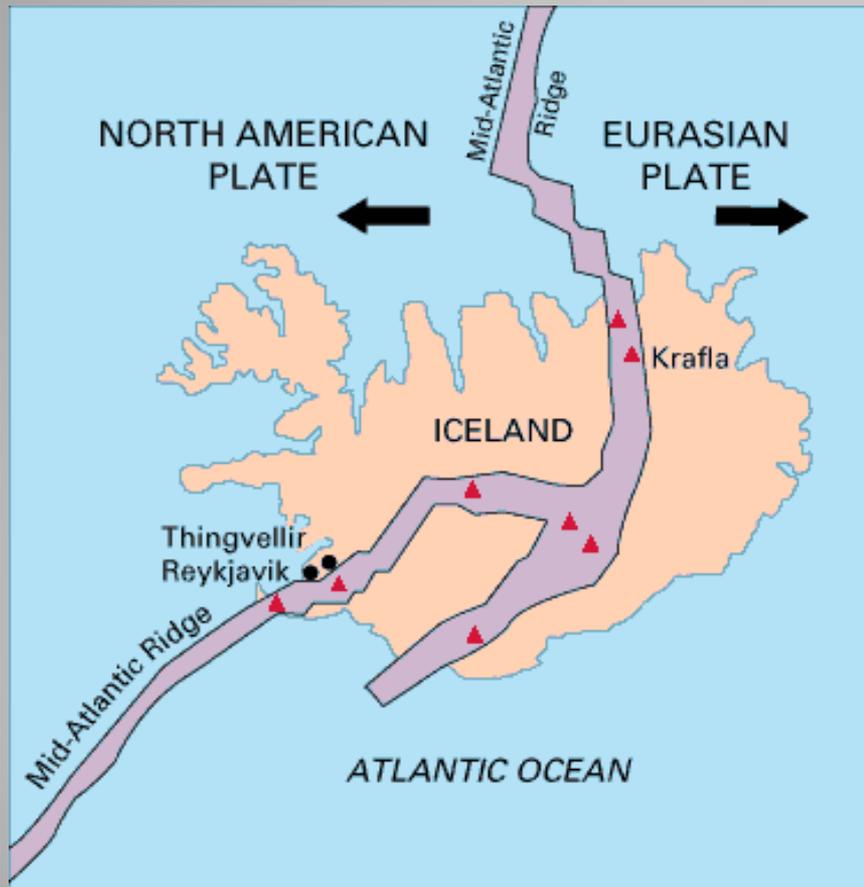
# A solução do problema

Com estes dados, o quadro mostrava-se completo:

Nas dorsais oceânicas, havia a criação de crosta\* por acreção de material do manto\* às bordas das placas; esta construção de placas era evidenciada pela idade progressiva da placa ao se afastar da dorsal, ao padrão magnético e à concentração de terremotos nestas regiões.

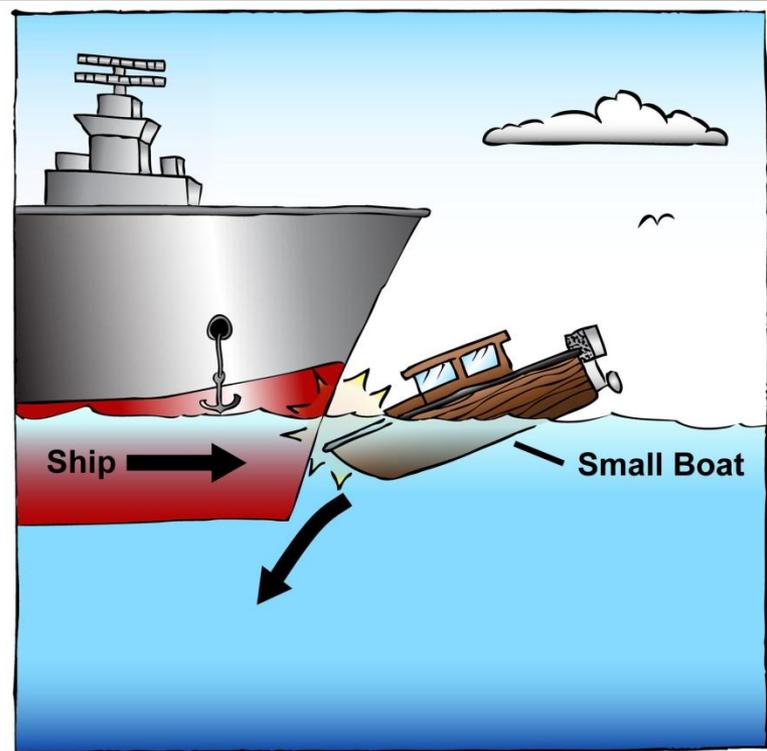
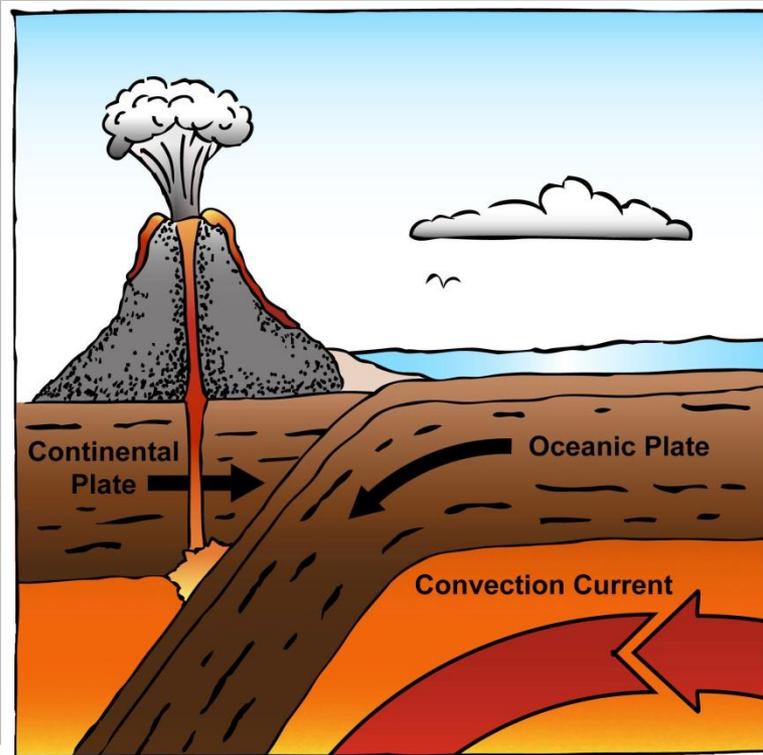


# Zonas de divergência



# A solução do problema

Nas regiões de trincheira, uma porção da camada superior da Terra estaria afundando sob a vizinha, com terremotos e vulcanismo na borda.

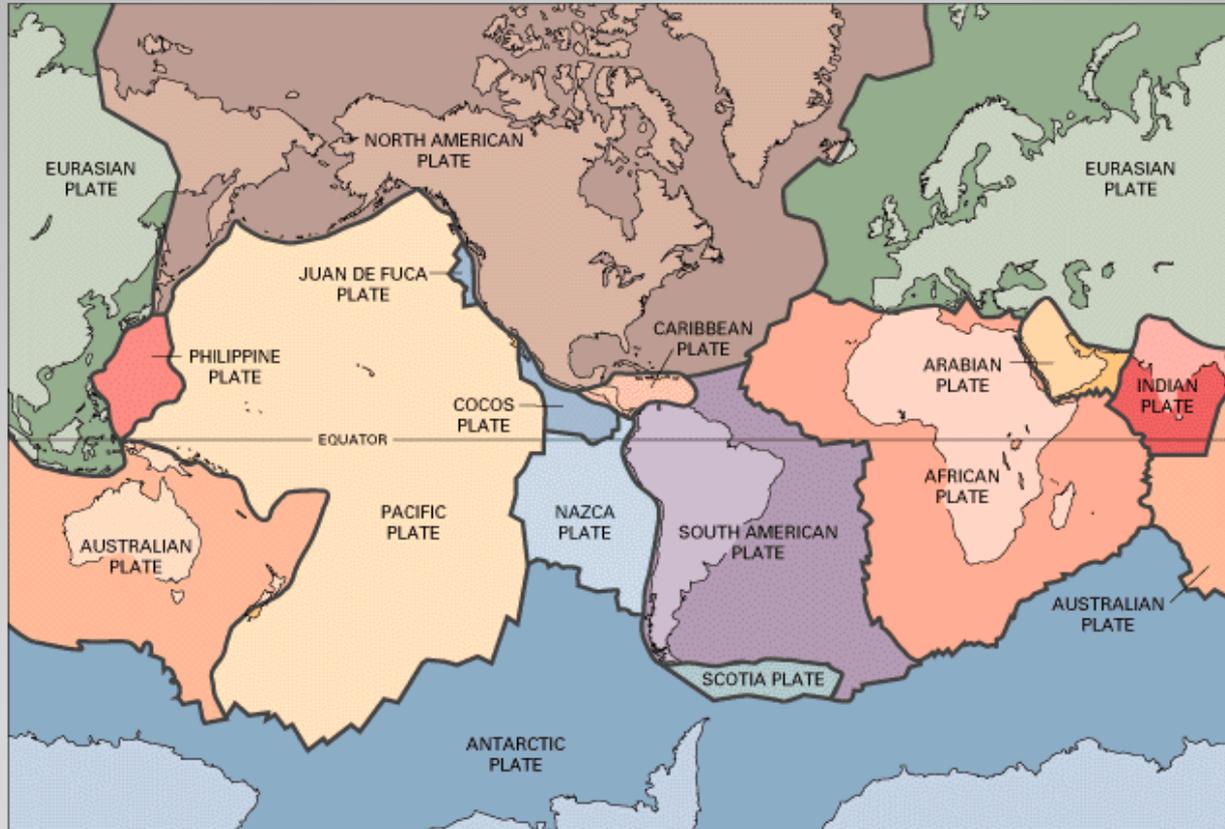


# Zonas de convergência



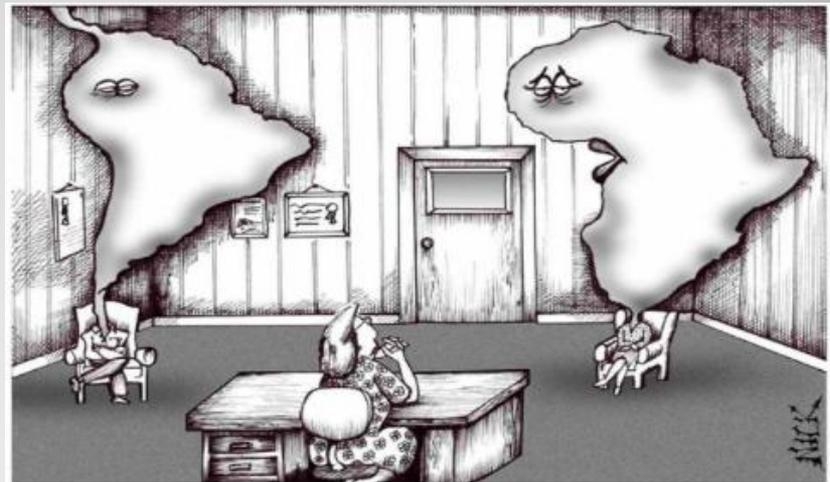
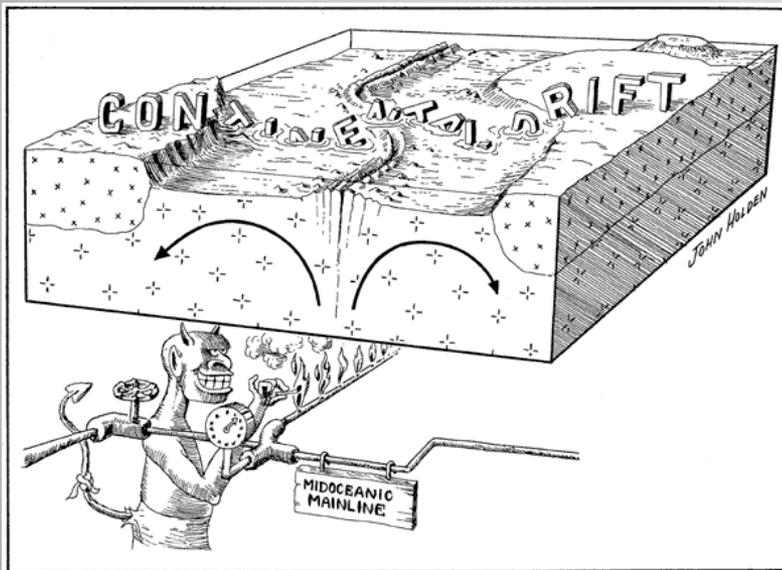
# Tectônica de Placas

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



# Tectônica de Placas

A interação entre as placas litosféricas é responsável por fenômenos como terremotos, grande parte do vulcanismo, formação de cadeias de montanhas e oceanos, e consumo de porções continentais e oceânicas da camada mais externa do planeta, e explica adequadamente a mobilidade das massas continentais e oceânicas.

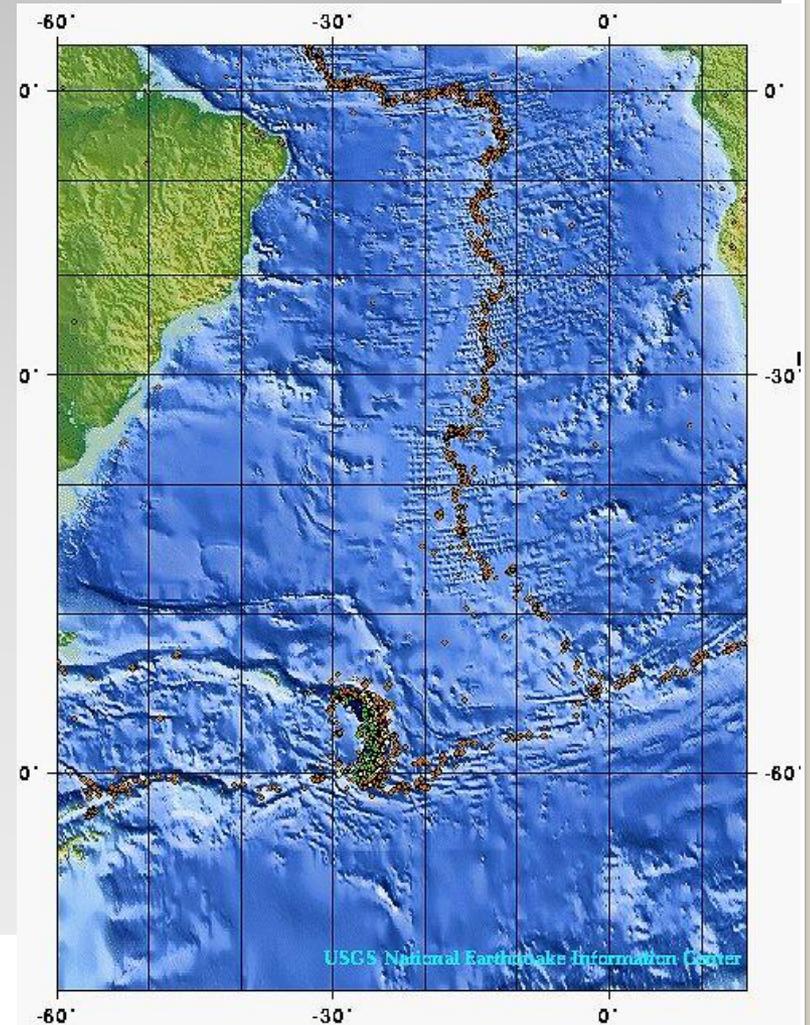
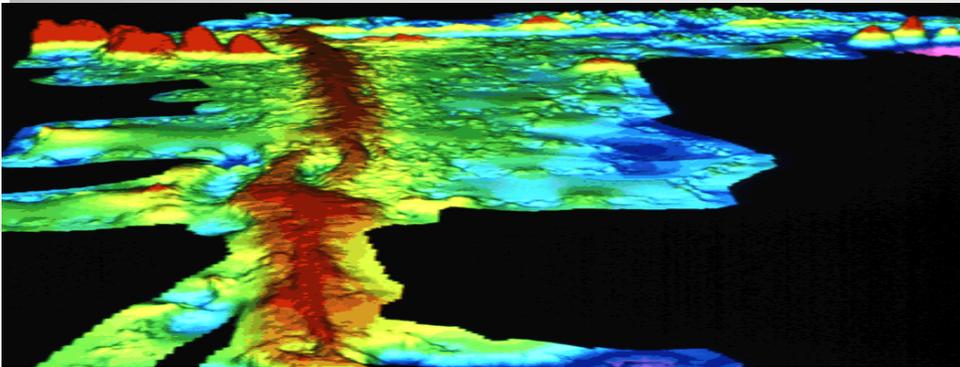


*"Well looking back I suppose it's been going on for quite some time, but I only noticed we were drifting apart during the last 50 million years..."*

# Tipos de bordas de placas

## MARGENS DE DIVERGÊNCIA

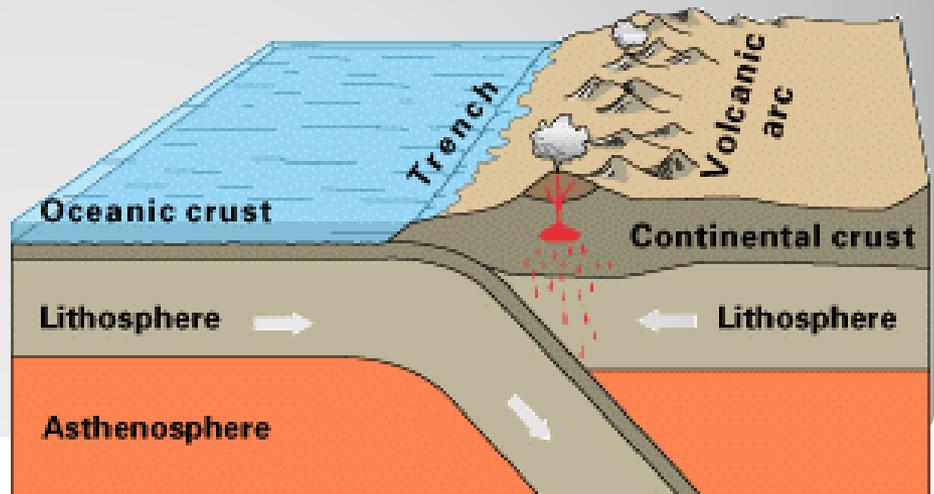
Nas dorsais oceânicas, há uma contínua separação entre duas placas, com acréscimo de material proveniente do manto às bordas das placas. É uma região de constante separação entre as placas, injeção de novo material e crescimento lateral das placas.



# Tipos de bordas de placas

## MARGENS DE CONVERGÊNCIA

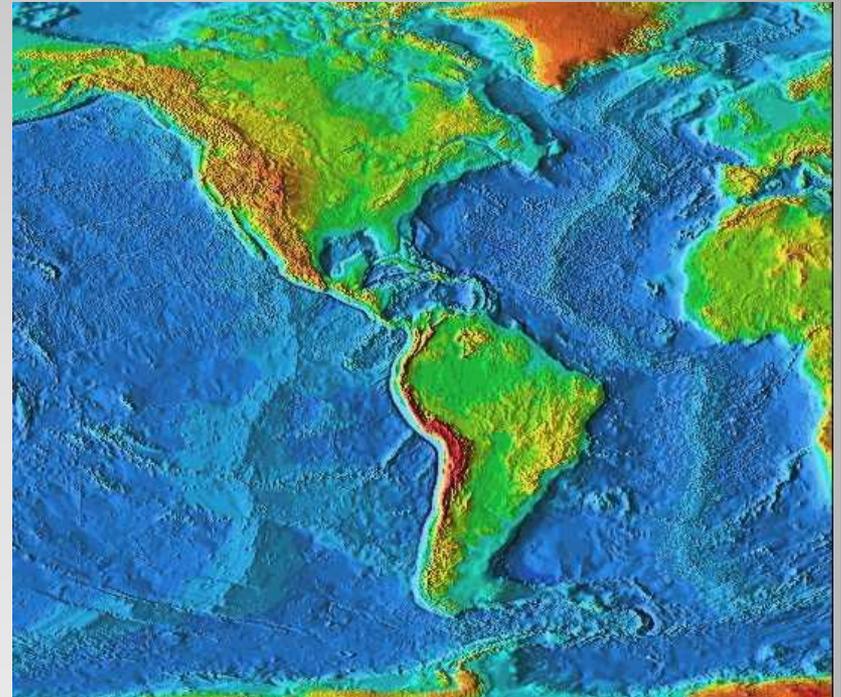
Local onde duas placas colidem, havendo a subducção de uma delas. A elas estão associados os sismos que ocorrem em trincheiras oceânicas profundas, arcos de ilhas e cinturões de montanhas.



# Tipos de bordas de placas

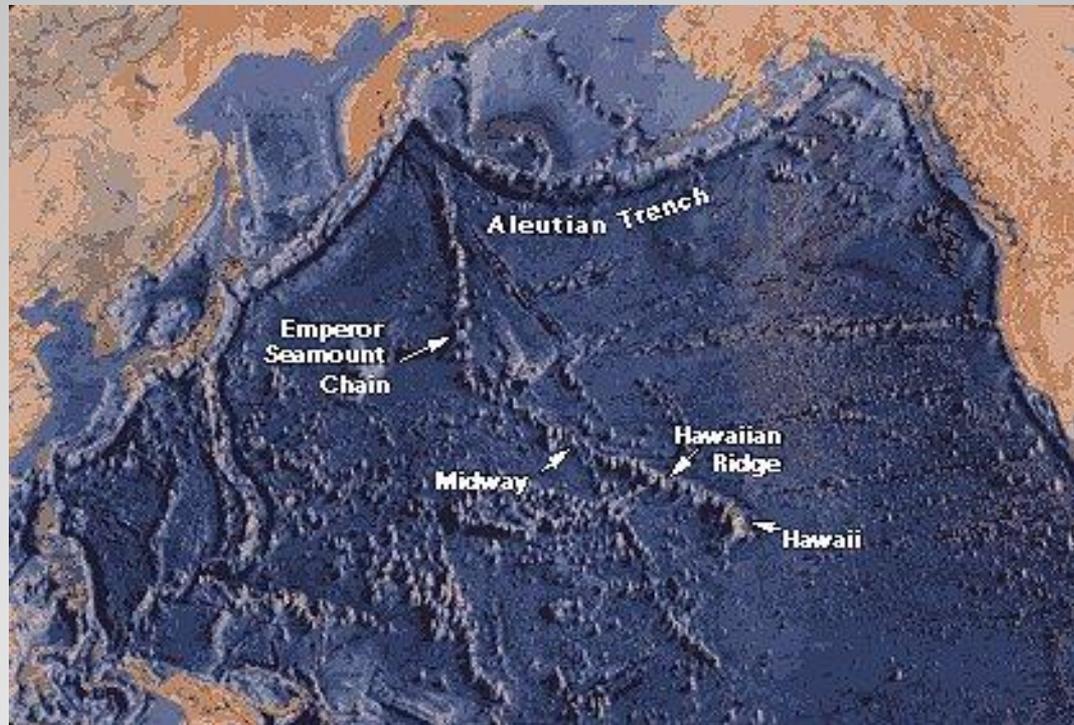
## MARGENS DE CONSERVAÇÃO

As falhas transformantes são estruturas presentes nas dorsais oceânicas, que conectam dois segmentos da dorsal. Podem também conectar segmentos de zonas de subducção, mas o caso mais frequente é nas cadeias oceânicas. Neste tipo de margem de placa, não há criação ou destruição de placa, há apenas o deslocamento relativo entre duas placas.



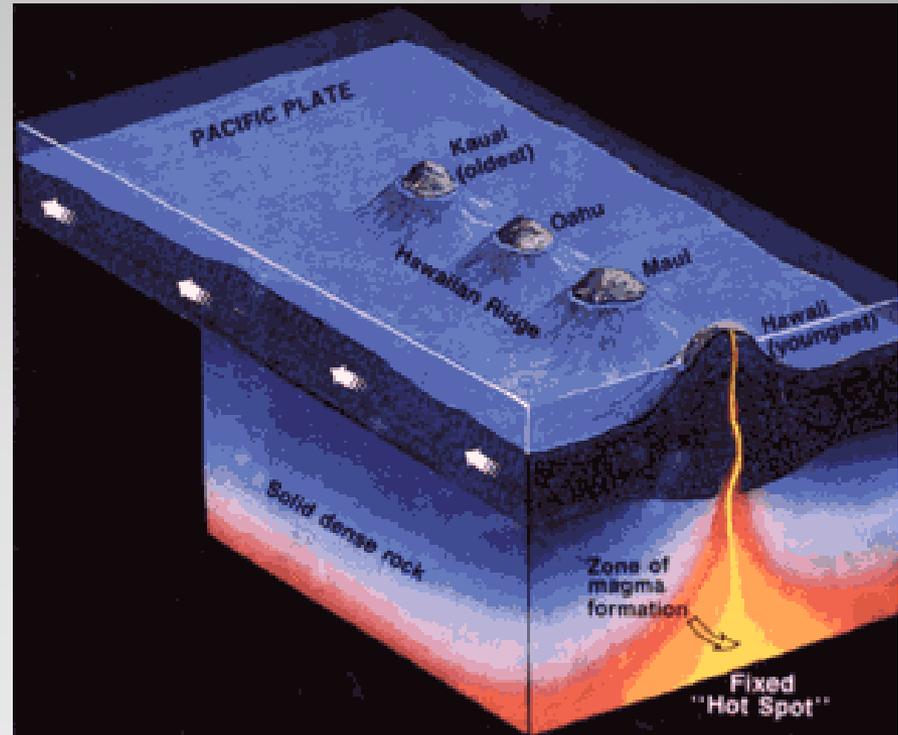
# Os hot-spots

A maior parte do vulcanismo terrestre está associado aos processos que ocorrem nas bordas das placas. Alguns pontos específicos são exceção, como por exemplo, a cadeia vulcânica do Haváí.



# Os hot-spots

Em 1963, Tuzo Wilson, que já havia descoberto as falhas transformantes, sugeriu um mecanismo para este vulcanismo que ocorria fora das regiões de bordas de placas. Ele notou que em certas regiões, o vulcanismo esteve ativo por um longo período de tempo, e sugeriu que deveria haver regiões pequenas, quentes e de longa duração - os pontos quentes (hot-spots).

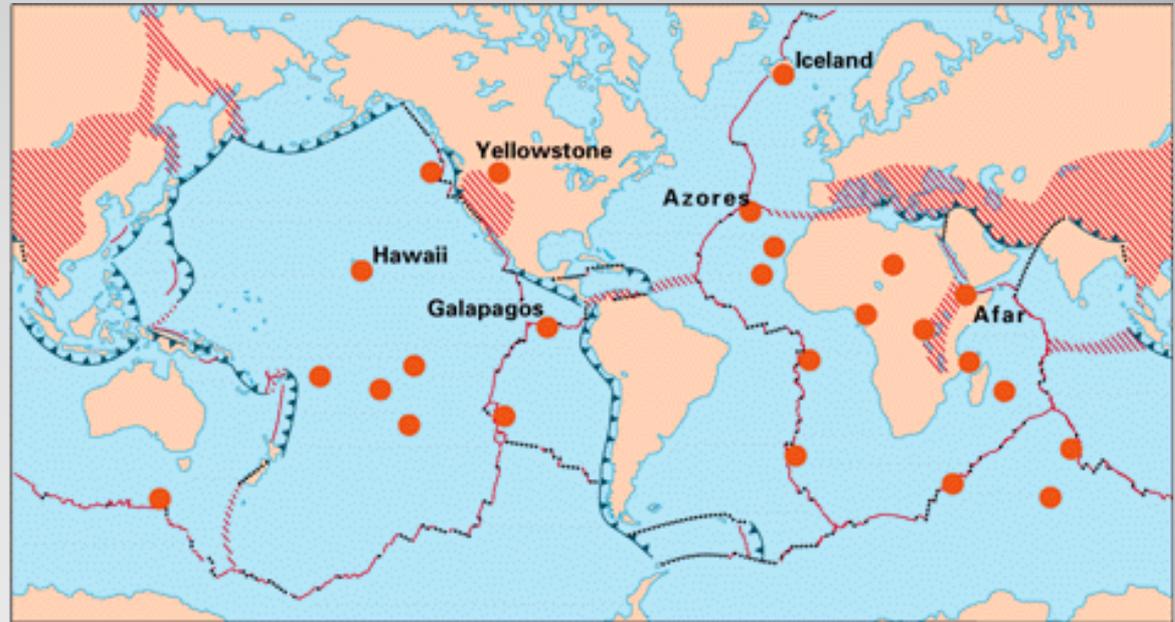


# Distribuição dos hot-spots

Vários hot-spots já foram identificados, a maioria no interior das placas. Os hot-spots devem ser a expressão de grandes “plumas” de material proveniente da interface manto/núcleo (camada D”), que atravessam todo o manto e atingem a superfície.

## EXPLANATION

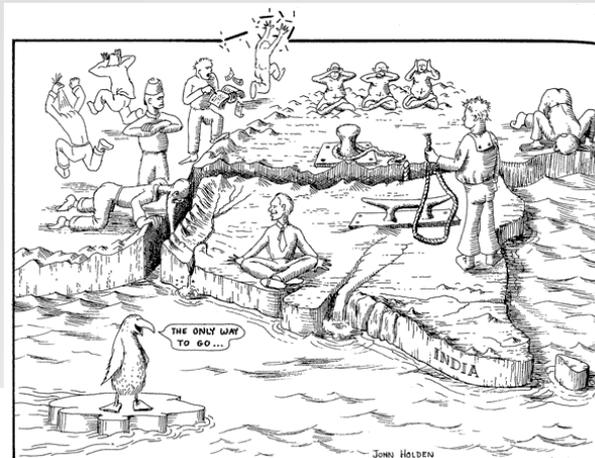
-  Divergent plate boundaries—  
Where new crust is generated  
as the plates pull away from  
each other.
-  Convergent plate boundaries—  
Where crust is consumed in the  
Earth's interior as one plate  
dives under another.
-  Transform plate boundaries—  
Where crust is neither produced  
nor destroyed as plates slide  
horizontally past each other.
-  Plate boundary zones—Broad  
belts in which deformation is  
diffuse and boundaries are not  
well defined.
-  Selected prominent hotspots



# Tectônica versus Deriva

A ideia de Wegener sobre a mobilidade das massas continentais não estava incorreta em sua essência. O mecanismo pelo qual se dá esta mobilidade é que não foi desvendado.

A diferença fundamental entre a Deriva Continental e a Tectônica de Placas é o fato de que na primeira **OS CONTINENTES** estavam se deslocando pela camada superficial do planeta, ao passo que na segunda os continentes **FAZEM PARTE DE UMA PLACA LITOSFÉRICA**, e é o movimento das placas que faz com que eles se desloquem.



# Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas - IAG-USP

IAG-USP

<http://www.iag.usp.br>

Departamento de Geofísica

<http://www.iag.usp.br/geofisica>

ENDEREÇO

Rua do Matão, 1226

Cidade Universitária

11-3091-4755

[geofisica@iag.usp.br](mailto:geofisica@iag.usp.br)

Eder Cassola Molina

[eder@iag.usp.br](mailto:eder@iag.usp.br)

