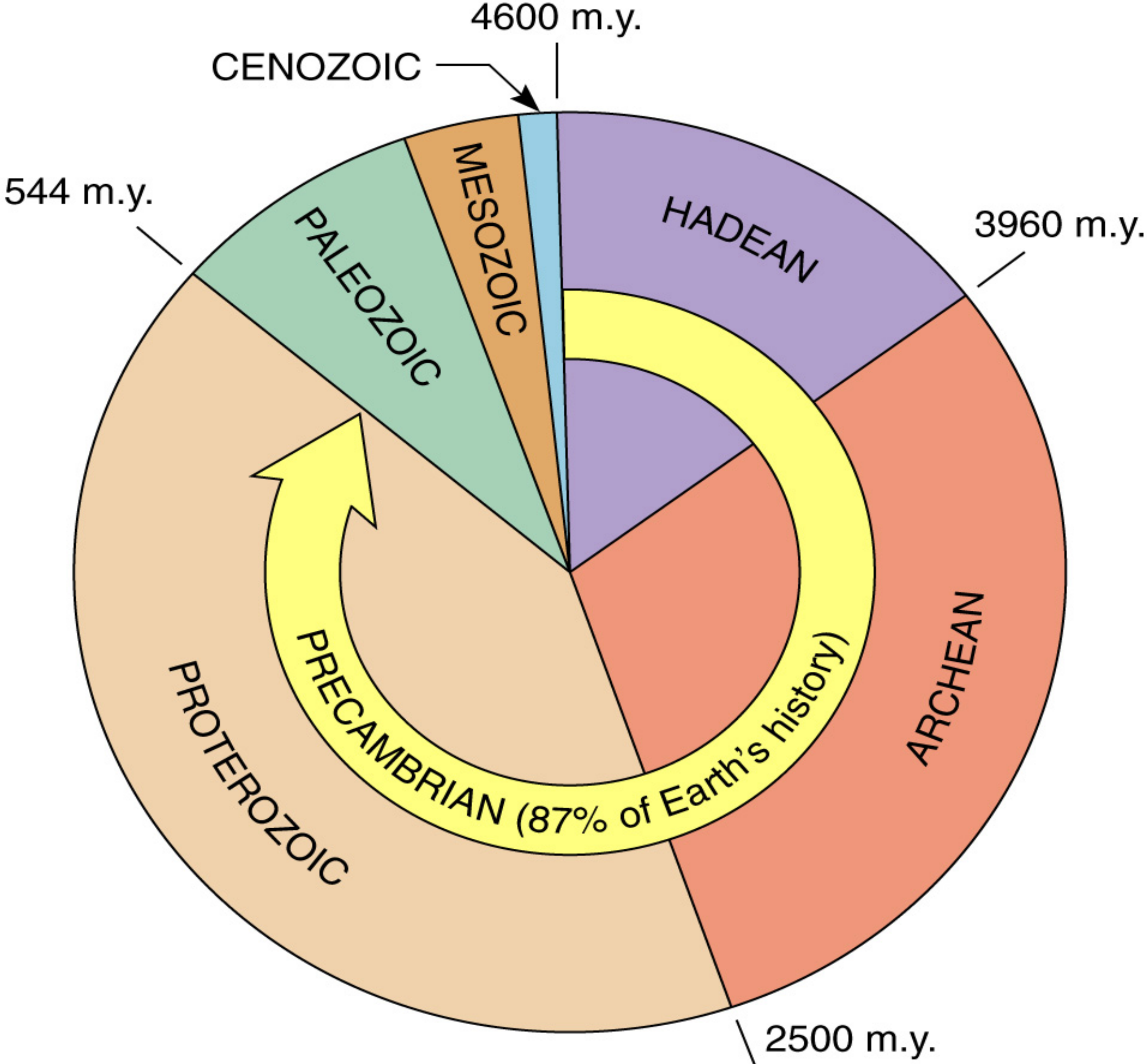

4600 m.y.
CENOZOIC
544 m.y.
MESOZOIC
PALEOZOIC
HADEAN
3960 m.y.
ARCHEAN
PRECAMBRIAN (87% of Earth's history)
PROTEROZOIC
2500 m.y.

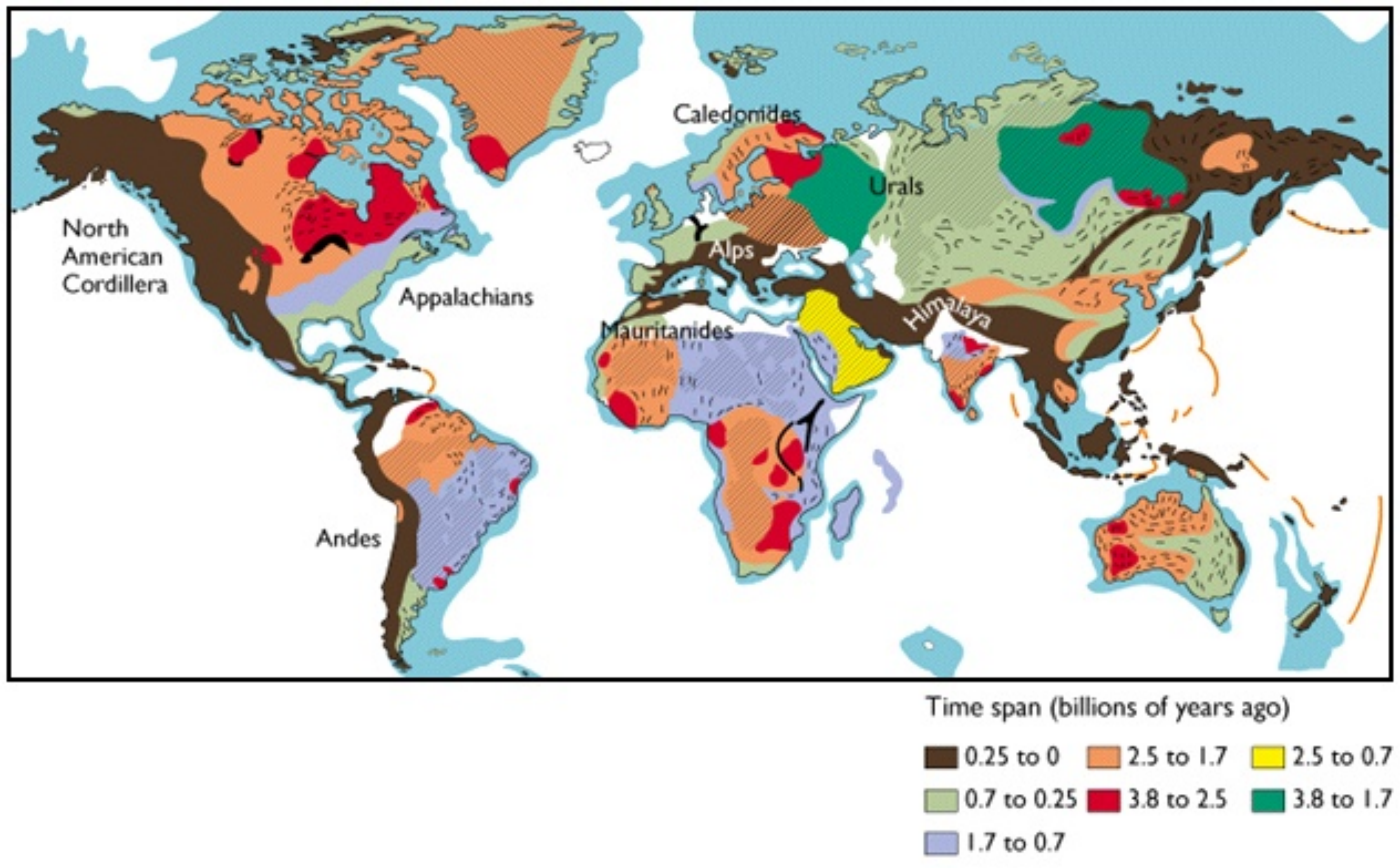
What is a craton ? A craton may be defined as the relatively stable part of a continent, or the interior of a continental plate.

What distinguishes "stable" from "unstable" tectonic zone is, essentially, their comparatively slow rate of movement over the time interval in question.

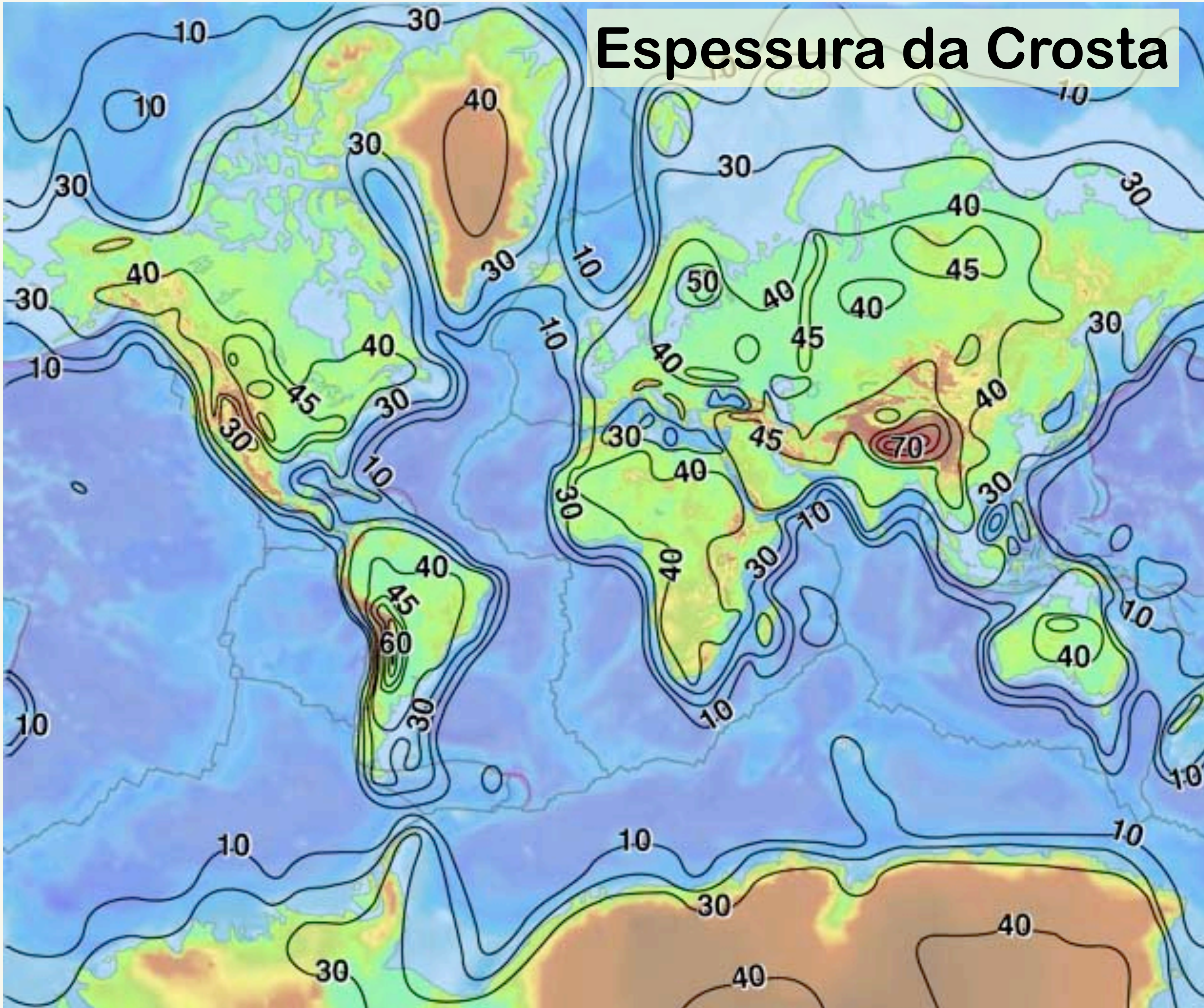
Park & Jaroszewski (1994)

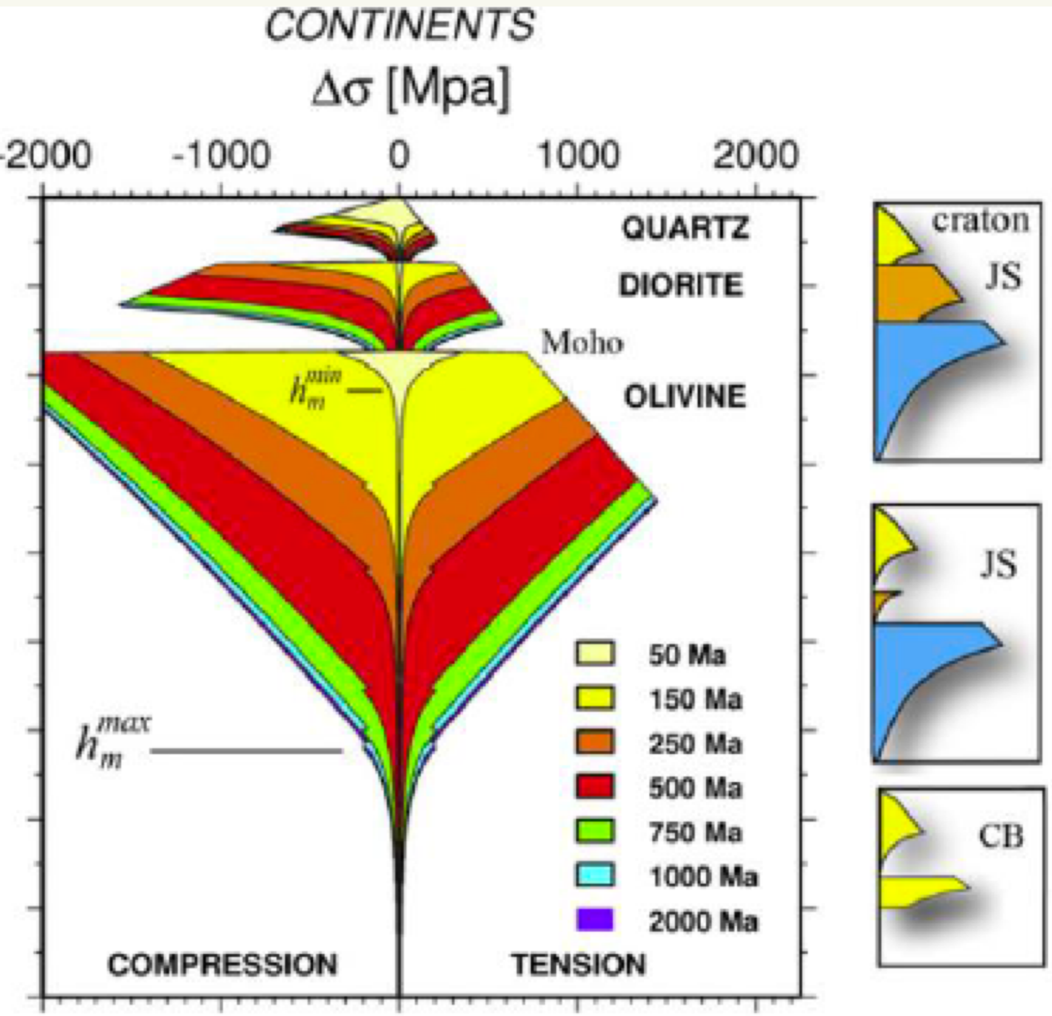
Montanhas, plataformas e escudos (shields)

Idade dos continentes



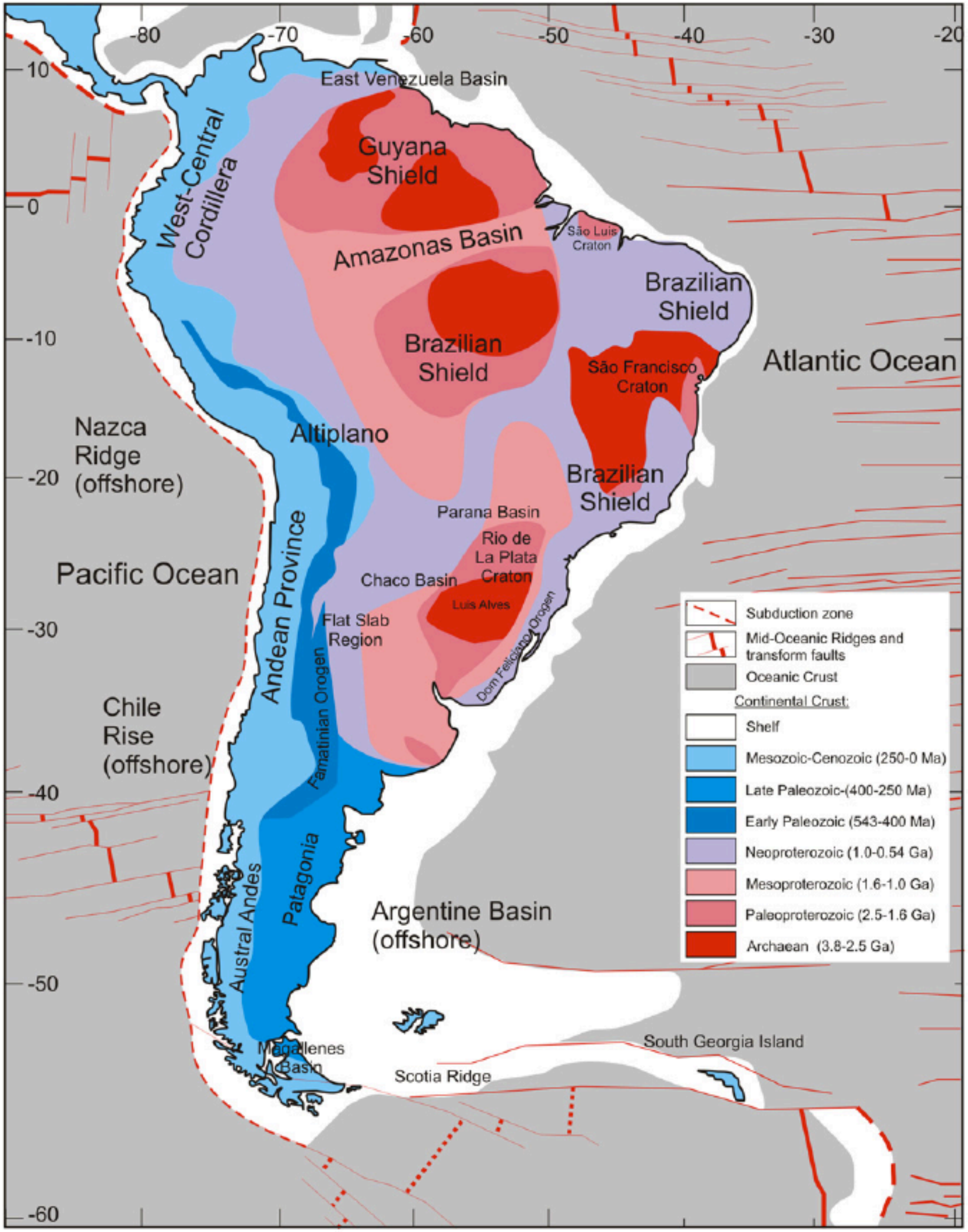
Espessura da Crosta



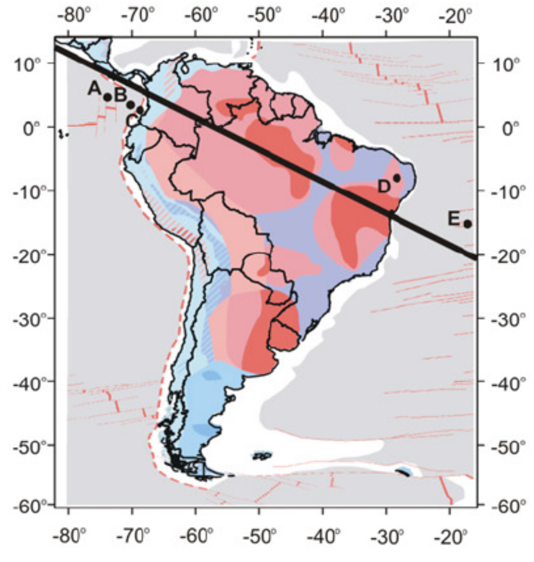


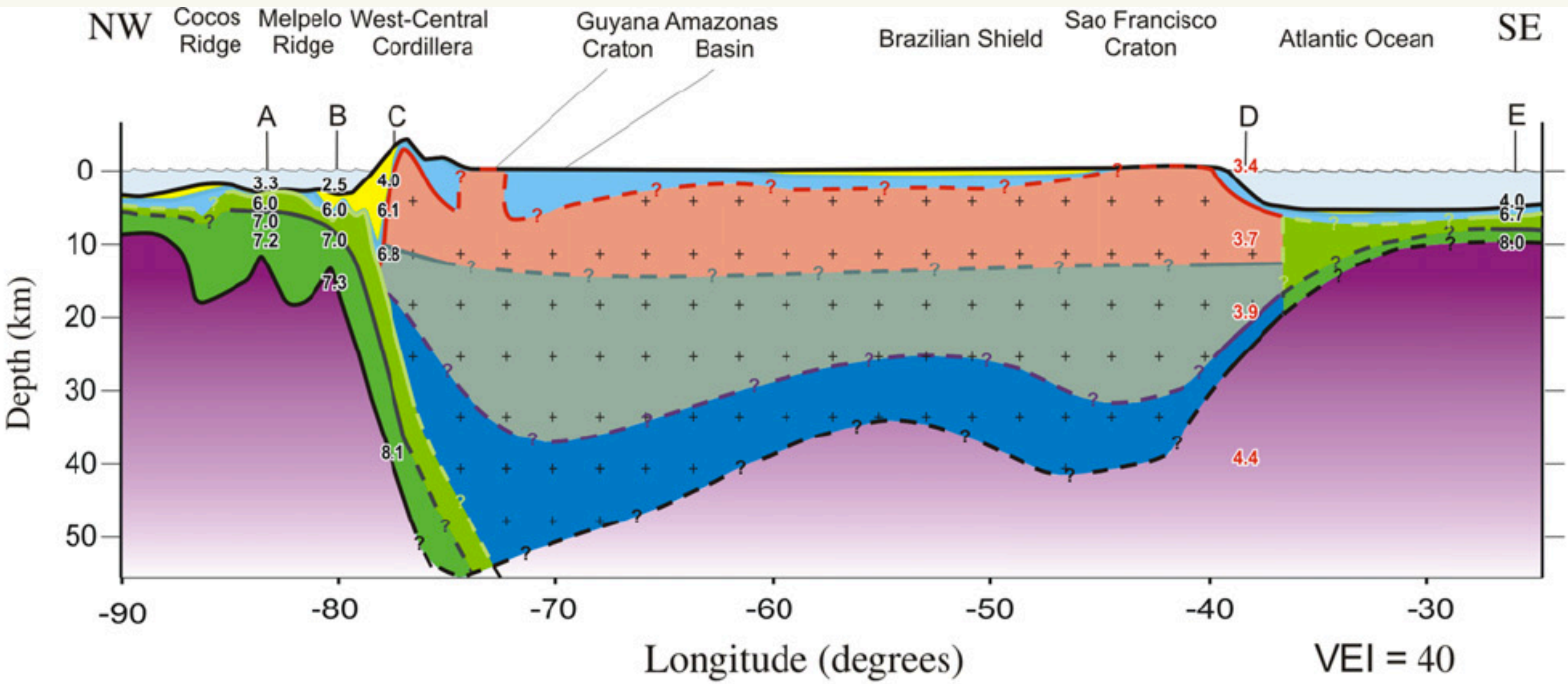
1) Os cratons são mais resistentes que os orógenos

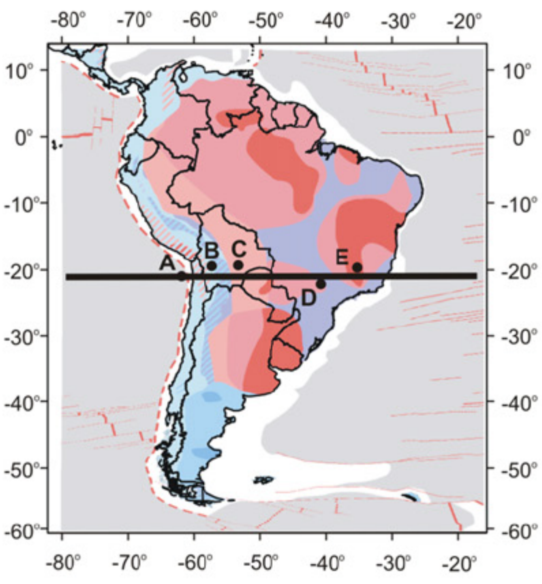
2) A litosfera é mais resistente em compressão que em extensão (tensão)



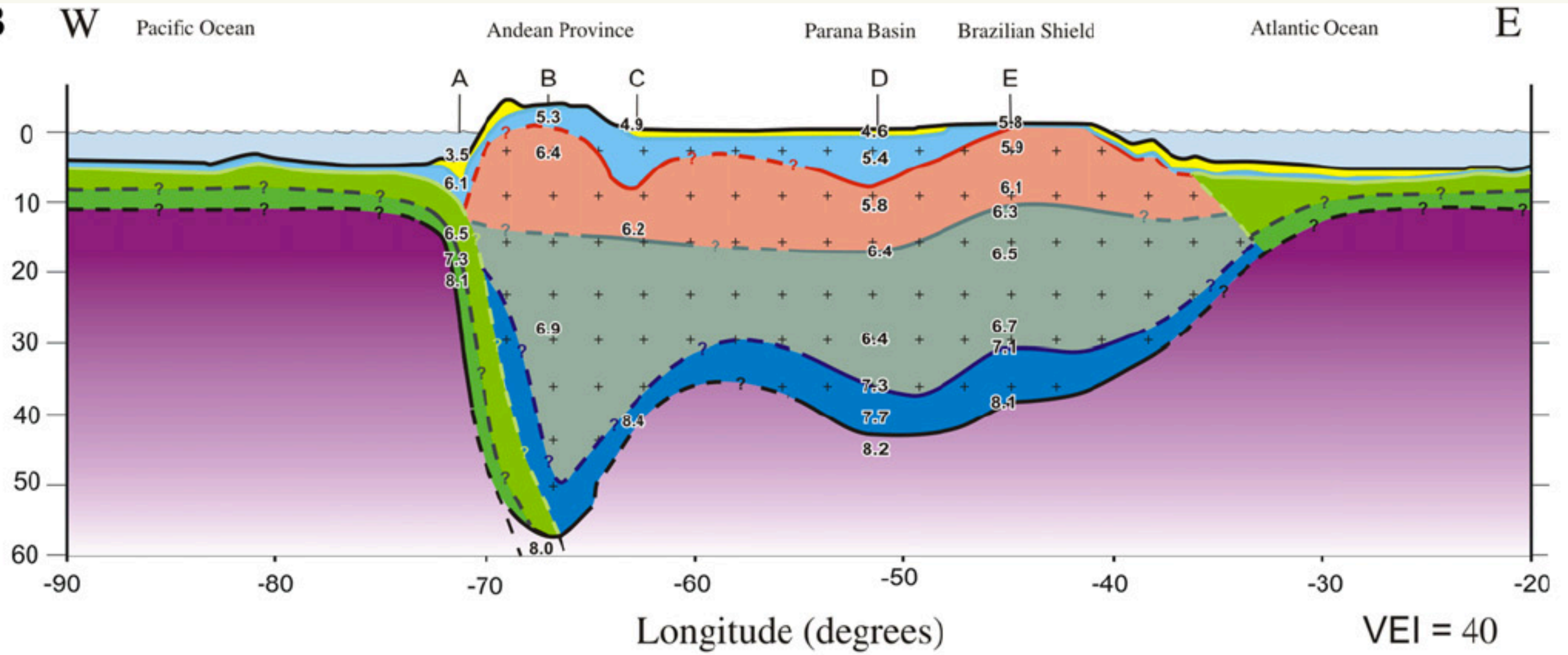
-80
-70
-60
-50
-40
-30
-20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
East Venezuela Basin
Guyana Shield
West-Central Cordillera
Amazonas Basin
São Luis Craton
Brazilian Shield
Brazilian Shield
Atlantic Ocean
São Francisco Craton
Altiplano
Nazca Ridge (offshore)
Brazilian Shield
Parana Basin
Rio de La Plata Craton
Pacific Ocean
Andean Province
Chaco Basin
Luis Alves
Flat Slab Region
Dom Feliciano Orogen
Famatinian Orogen
Chile Rise (offshore)
Patagonia
Austral Andes
Argentine Basin (offshore)
Magallenes Basin
Scotia Ridge
South Georgia Island
Subduction zone
Mid-Oceanic Ridges and transform faults
Oceanic Crust
Continental Crust:
Shelf
Mesozoic-Cenozoic (250-0 Ma)
Late Paleozoic-(400-250 Ma)
Early Paleozoic (543-400 Ma)
Neoproterozoic (1.0-0.54 Ga)
Mesoproterozoic (1.6-1.0 Ga)
Paleoproterozoic (2.5-1.6 Ga)
Archaean (3.8-2.5 Ga)


-80° -70° -60° -50° -40° -30° -20°
10° 0° -10° -20° -30° -40° -50° -60°
A
B
C
D
E

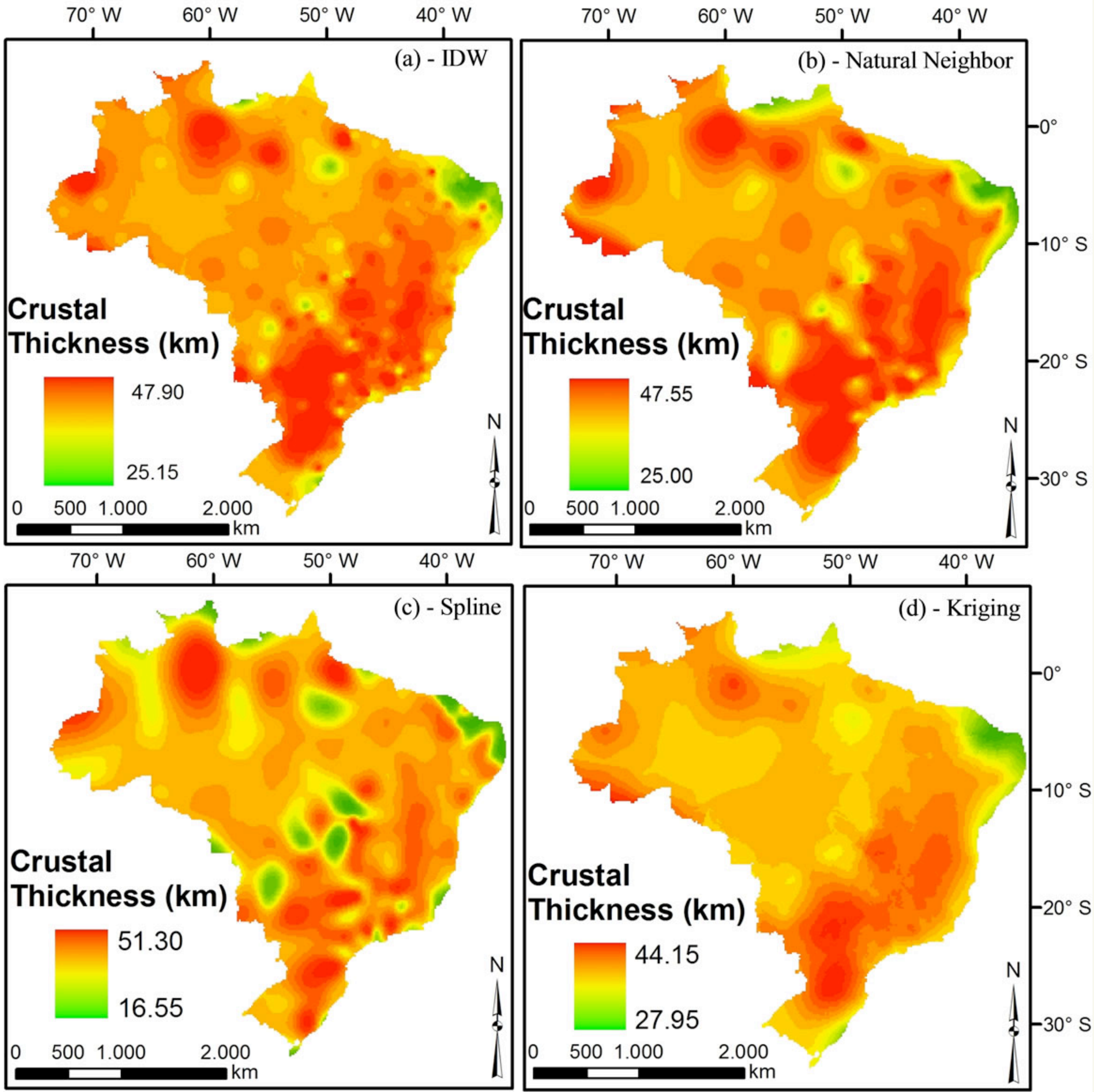

NW
Cocos Ridge
Melpelo Ridge
West-Central Cordillera
Guyana Craton
Amazonas Basin
Brazilian Shield
Sao Francisco Craton
Atlantic Ocean
SE
A
B
C
D
E
3.3
6.0
7.0
7.2
2.5
6.0
7.0
7.3
4.0
6.1
6.8
8.1
3.4
3.7
3.9
4.4
4.0
6.7
8.0
Depth (km)
0 10 20 30 40 50
-90 -80 -70 -60 -50 -40 -30
Longitude (degrees)
VEI = 40



-80° -70° -60° -50° -40° -30° -20°
10° 0° -10° -20° -30° -40° -50° -60°
A
B
C
D
E

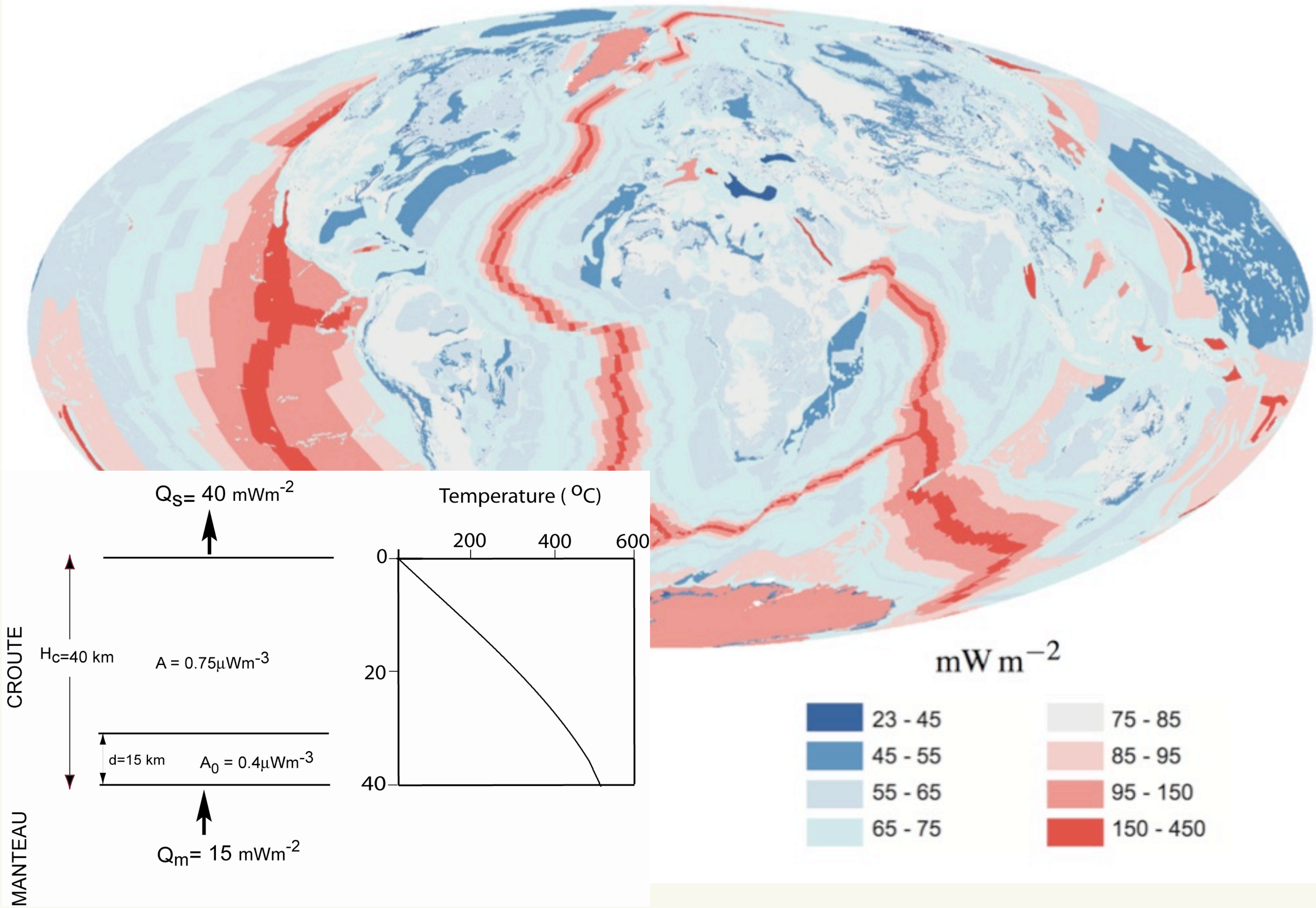


W
E
Pacific Ocean
Andean Province
Parana Basin
Brazilian Shield
Atlantic Ocean
A B C D E
3.5 6.1 6.5 7.3 8.1
5.3 6.4 6.9
4.9 6.2 8.4
4.6 5.4 5.8 6.4 6.4 7.3 7.7 8.2
5.8 5.9 6.1 6.3 6.5 6.7 7.1 8.1
8.0
0 10 20 30 40 50 60
-90 -80 -70 -60 -50 -40 -30 -20
Longitude (degrees)
VEI = 40



70° W
60° W
50° W
40° W
(a) - IDW
Crustal Thickness (km)
47.90
25.15
0 500 1.000 2.000 km
N
(b) - Natural Neighbor
Crustal Thickness (km)
47.55
25.00
0 500 1.000 2.000 km
N
0°
10° S
20° S
30° S
(c) - Spline
Crustal Thickness (km)
51.30
16.55
0 500 1.000 2.000 km
N
(d) - Kriging
Crustal Thickness (km)
44.15
27.95
0 500 1.000 2.000 km
N

Fluxo de Calor



CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS GERAIS

a) Fração/parte relativamente estável, isostaticamente positiva da litosfera continental (> 100 Ma). Áreas não submetidas à deformação nem a eventos termais importantes (não afetada pela atividade contemporânea das bordas das placas litosféricas, ou muito pouco afetada).

b) Caracterizam-se por áreas de litosfera continental muito espessa (300-400 km, 450 km), com material siálico na ordem de 40 km.

c) Apresentam dois estágios estruturais/estratigráficos separados por discordância angular importante:

Coberturas	0 a 7 km	= Bacias Sedimentares
Embasamento	25 a 35 km	= Exposto em Escudos, Maciços, "altos"

d) As características de estabilidade, antiguidade e transitoriedade relativas são requisitos.
A natureza transitória no tempo deve sempre adicionada:
De quem? Quando? Que ciclo?

e) O zoneamento tectônico do cráton deve distinguir núcleos mais estáveis ("Full cratonic areas"), das áreas marginais e/ou corredores internos de deformação em condições cratônicas (Antepaís, "Foreland")

f) Quanto à idade, têm sido distinguidos precariamente os crátons e plataformas:
Velhas ou Verdadeiras = Estruturas Pré-Cambrianas predominantes
Jovens ou Pseudoplataformas = Pós-proterozóicas (discutíveis)

g) Os crátons crescem quelogenicamente, com núcleos hospedeiros ou sementes, sendo circundados por anéis de colagens orogênicas (proterozóicas, fanerozóicas), nem sempre completas e ordenadas.

h) O desenvolvimento/justaposição de cada nova colagem pode redeformar o núcleo cratônico precedente, em geral na periferia deste. A deformação sobreposta em geral é do nível estrutural raso e pouco penetrativa (germanotipo), e excepcionalmente dúctil e penetrativa (alpinotipo), "regenerando" o cráton.

i) A definição dos limites dos crátons varia com a escola tectônica ("fixistas" x "plaquistas", antigos e modernos), com o método geológico e geofísico de abordagem e a escala do conhecimento. É um problema que carece reavaliação sempre, com o progresso do conhecimento.

j) Em termos de tipos crustais continentais, a expressão global atual dos domínios cratônicos é majoritária com de cerca de: 23% em área e 47% em volume

ALGUMAS CARACTERÍSTICAS GEOFÍSICAS

a) **Espessuras litosféricas** muito elevadas, 300-400 km (Tectosfera), com Zona de Baixa Velocidade ausente ou presente a grandes profundidades e pobremente definida. Existe uma relação estreita entre a espessura da tectosfera e a idade, estando as zonas mais espessas sob os núcleos cratônicos, acompanhando o movimento das massas continentais.

b) Os **modelos usuais mecânicos** ("litosfera elástica") **e termais** (condução de calor por condução) são inconsistentes para explicar as profundas "assinaturas" sismológicas abaixo dos crátons. Estas raízes profundas, baseadas em evidências sismológicas, petrológicas, isotópicas e geoquímica são em favor de um reservatório mantélico de baixa densidade ("depleted" por várias razões), distinto daqueles das faixas móveis e de outros tipos crustais.

c) **Secção Crustal** muito variável em composição litológica e geoquímica latero-verticalmente. Espessuras crustais 35-40 km.

d) **Perfil sísmico** com modelos usualmente variáveis,
com camada sedimentar (0 a 6 km, Vp = 2-4 km/s),
camada superior (10 a 25 km, Vp = 6-6,2 km/s),
camada inferior (16-30 km, Vp= 6,5-6,9 km/s).
Moho = Refletor variável de intensidade e caráter, muito simples a muito complexo

e) **Sismicidade** - Pequeno número de terremotos rasos, alguns concentrados ao longo de zonas de falhas, outros distribuídos esparsamente. Baixa magnitude em geral, excepcionalmente de grandes magnitudes.

f) **"Stress"** - Em geral estágio de "stress" compressivo horizontal dominante. Orientação e magnitudes coerentes e uniformes sobre amplas áreas (onde conhecido). Exceções locais - zonas de riftes e platôs - com zonas de extensão!

g) **"Strain"** - Taxas de deformação baixas, coerentes com os campos de "stress". Indicações diversas de encurtamento nos campos compressivos.

h) **Fontes do "stress"** - Apesar do pequeno número de dados há boa correlação mundial entre os campos de "stress" e a trama de velocidade absoluta das placas. A rede de forças nas zonas dos limites das placas ("ridge push", "slab pull", "trench suction") e outros oriundos das relações litosfera/astenosfera) são as principais fontes renováveis.

ALGUMAS CARACTERÍSTICAS GEOFÍSICAS

i) **Fluxo Térmico**, os valores mais baixos e menos variáveis entre os tipos crustais em geral, a saber:

Domínios Arqueano-Proterozóico Antigo: 20±8 - 49±8 mWm^{-2}

41±10 mWm^{-2}

Domínios Proterozóico Superior: 50±5 mWm^{-2}

Domínios Paleozóicos (Jovens): 62±20 mWm^{-2}

Nas zonas ativadas de riftes e platôs os valores se elevam bastante entre 60 e 107 mWm^{-2} (1,5 ou 2,68 HFU).

O Fluxo térmico, portanto, cresce com o decréscimo em idade do último maior evento termal que afetou a região.

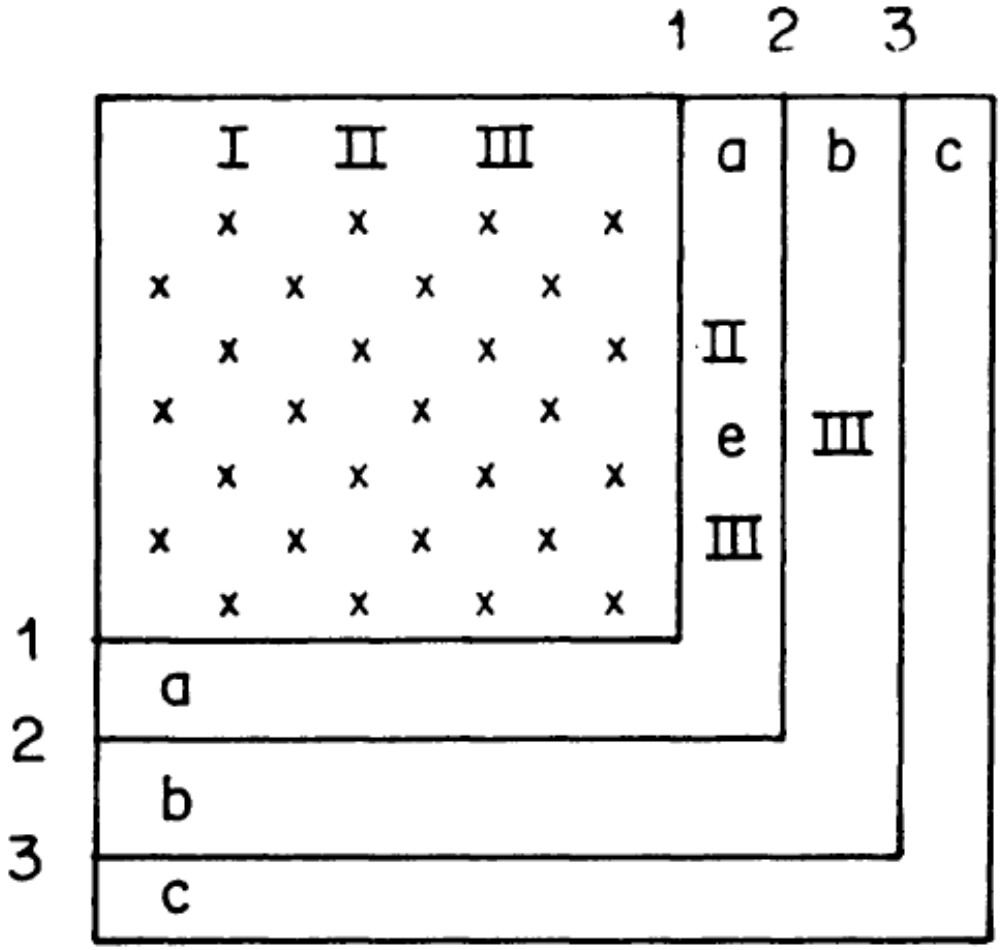
j) Os **gradientes geotérmicos** sob os crátons são os mais fracos, de modo que a curva de temperatura com a profundidade mostra sempre as menores inclinações. Com a espessura da tectosfera aumenta com a idade da crosta, paralelamente a isto vai diminuir também o fluxo de calor.

Estruturas compressionais (mais raras) requerem altas taxas de fluxo térmico e/ou esforços mais elevados do que aqueles gerados nos limites de placas, muito superiores aqueles gerados por simples “ridge push”.

l) **Resistência Mecânica** - Estruturas extensionais dentro do cráton são possíveis sob condições termais anormais e mediante “stresses” muito elevados, advindo de condições excepcionais da atividades de interação de placas.

m) **Anomalias Magnetométricas** - Padrões amplos de anomalias rotacionais, com amplitudes de algumas centenas de gammas, e larguras de 10 a 100 km, comprimento de centenas de milhares de quilômetros. Variável bastante com as associações petrotectônicas mais rasas.

n) **Anomalias Gravimétricas** - Caracterizados por amplas anomalias regionais de -10 a -50 mgal, com acentuadas anomalias locais. Valores mais elevados entre os tipos crustais continentais (exceto mares interiores).



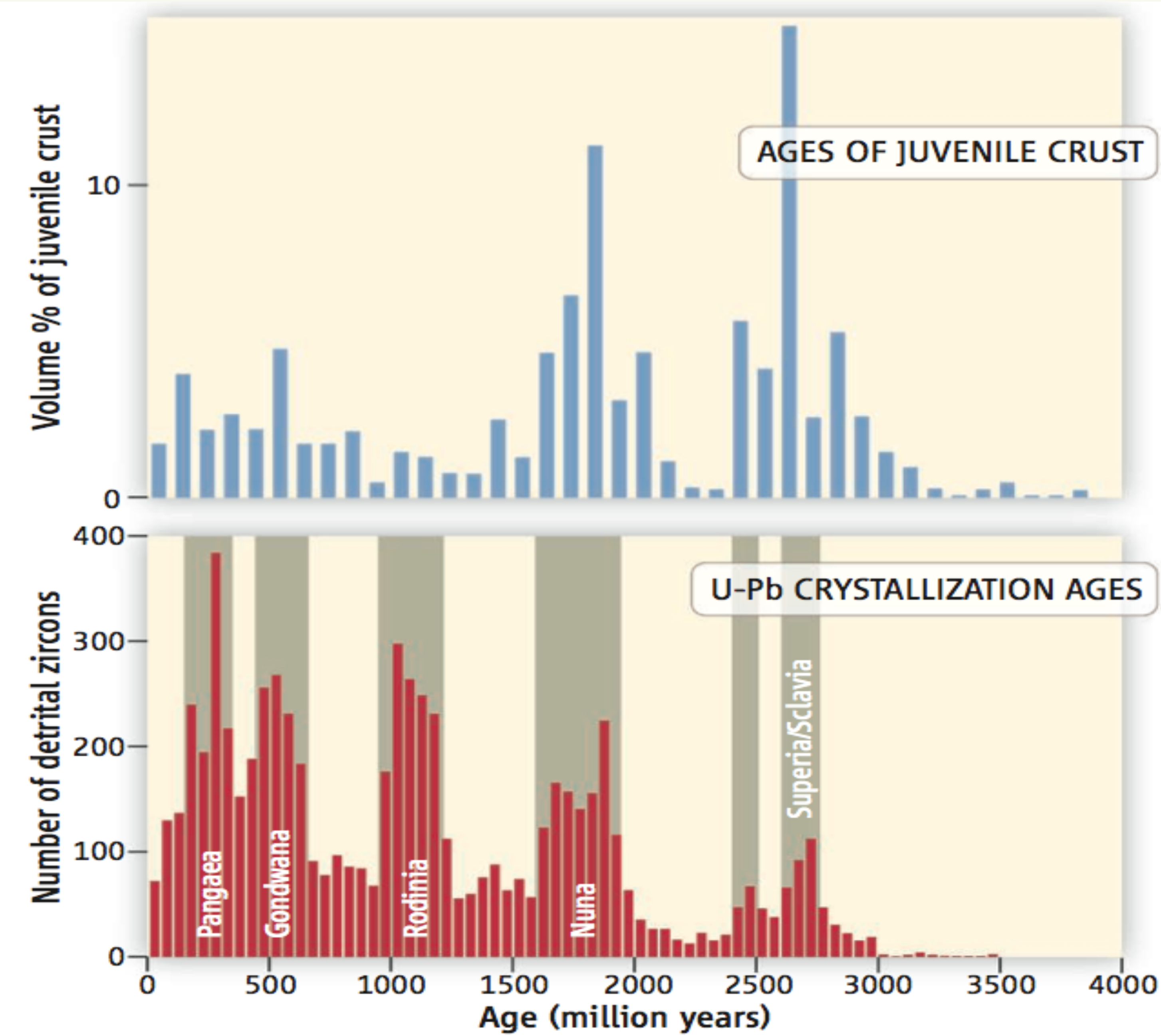
x x x x x x — Núcleo hospedeiro ou semente

a, b, c — Colagens sucessivas no tempo

I, II, III — Estruturas extra-orogênicas impostas ("germanotipo") sucessivamente

1, 2, 3 — Suturas principais intercolagens

Figura 3.1 - Esquema representativo do processo de quelogênese, a partir de um núcleo semente ou hospedeiro, mostrando as sucessivas colagens e respectivas suturas. E ainda, as possibilidades de estruturas germanotipo serem formadas em conseqüência destas colagens e centripetamente. Fonte: Sengör (1990).



AGES OF JUVENILE CRUST
Volume % of juvenile crust
10
0
U-Pb CRYSTALLIZATION AGES
Number of detrital zircons
400
300
200
100
0
Pangaea
Gondwana
Rodinia
Nuna
Superia/Sclavia
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
Age (million years)

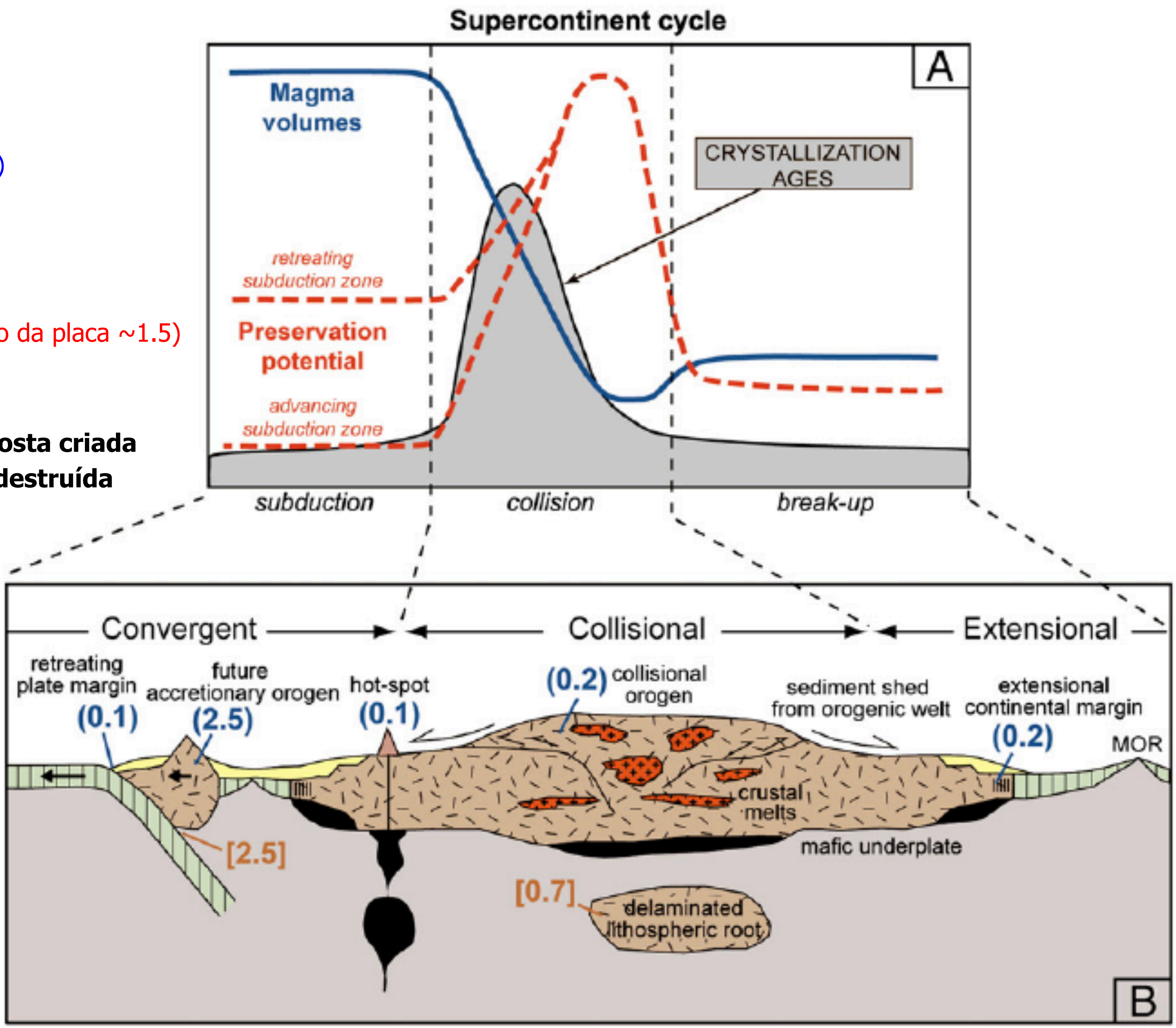
Adição de crosta

Zonas de colisão (~ 0.2)
Rifts, hot-spots (~ 0.5)
Arcos continentais (~ 1.0)
Arcos oceânicos (~1.5)

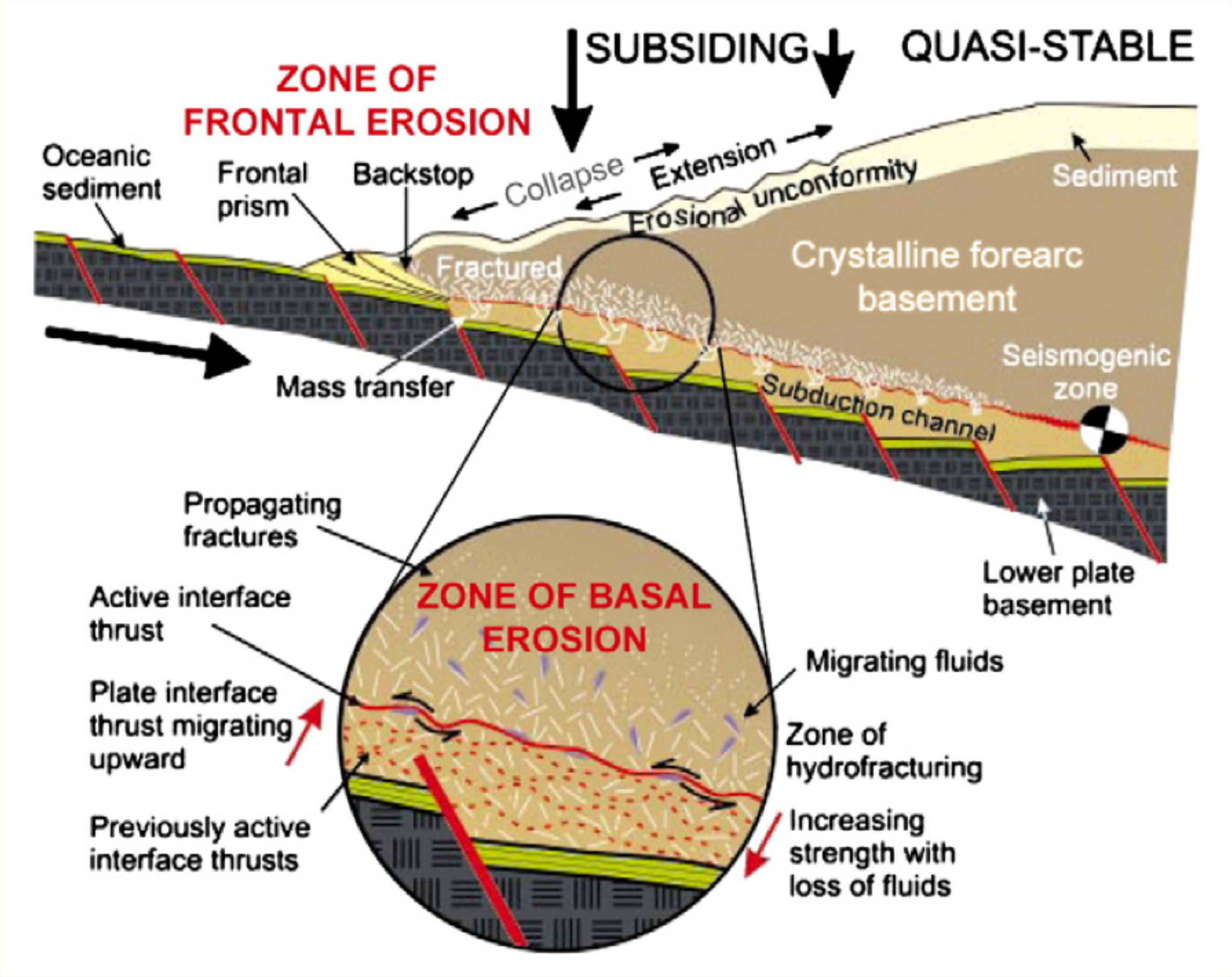
Subtração de crosta*

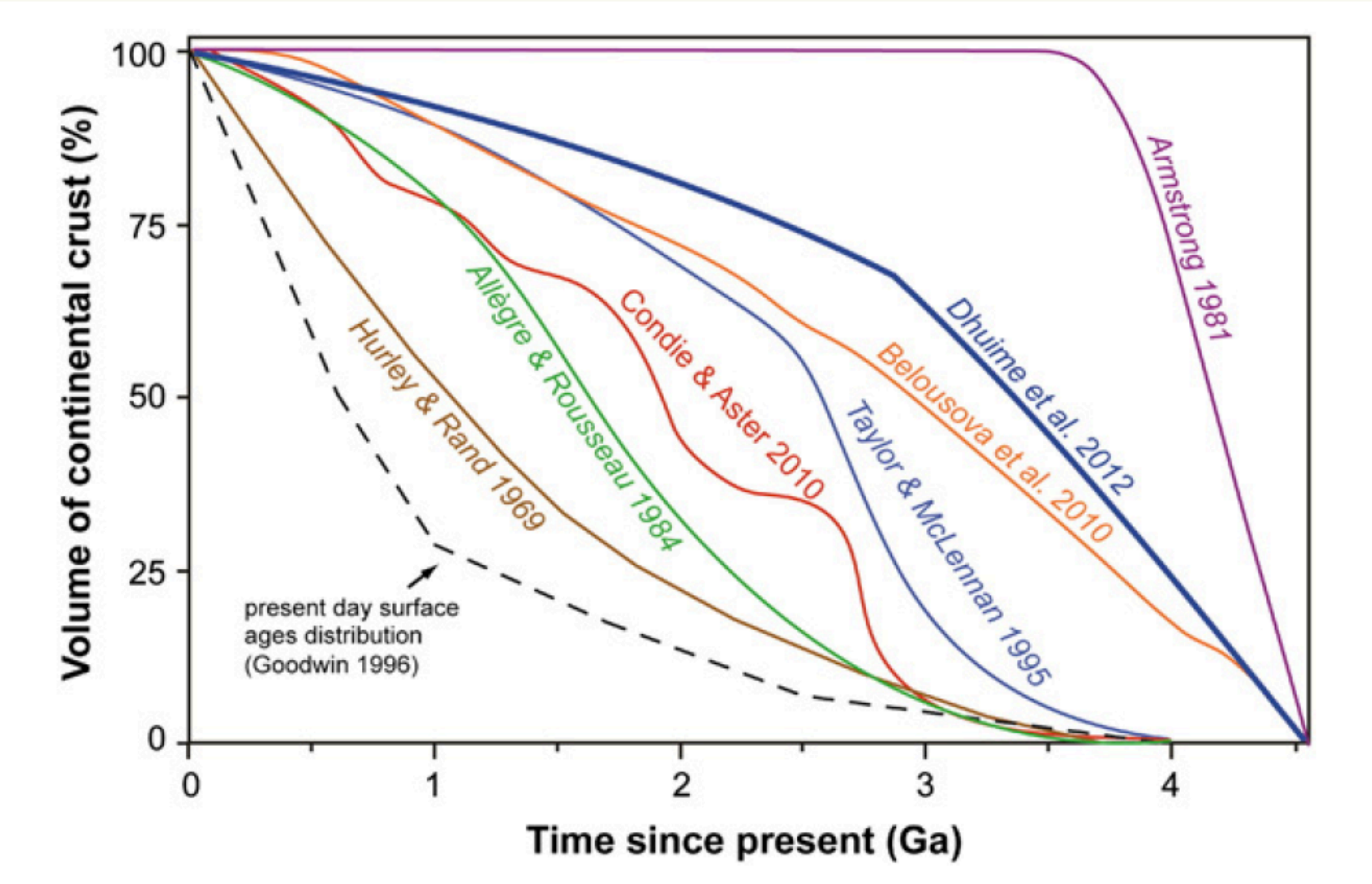
Zonas de colisão
(sedimentos ~ 1.0, erosão da placa ~1.5)
Delaminação (~0.7)

~2.8 - 3.1 km^3/a de crosta criada
~3.2 km^3/a de crosta destruída

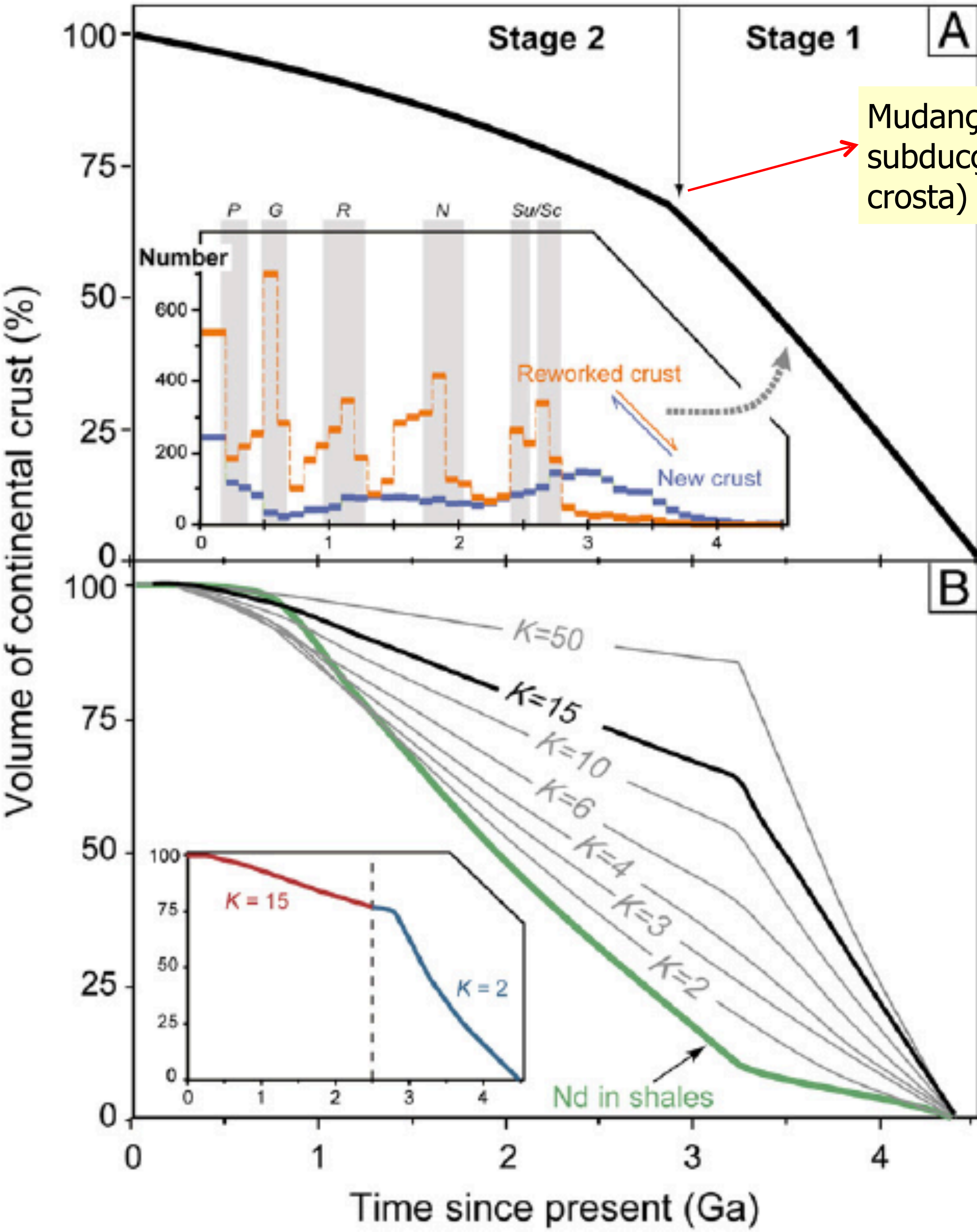


* taxas de subtração têm maiores incertezas

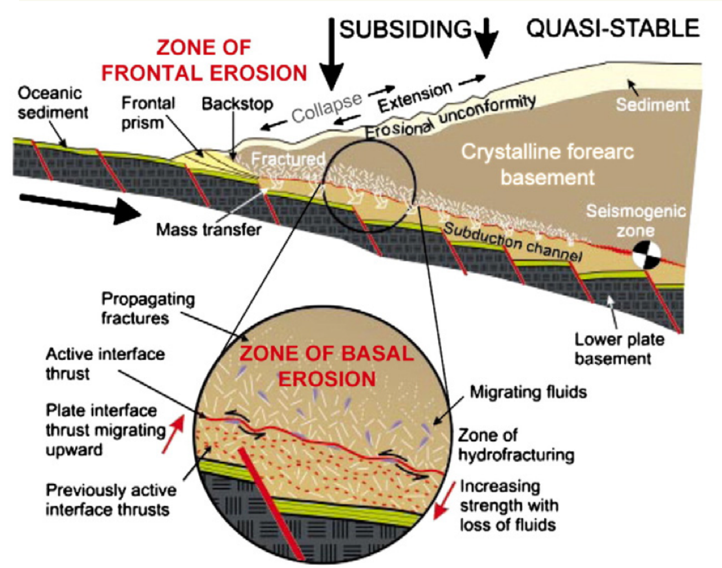

SUBSIDING
QUASI-STABLE
ZONE OF
FRONTAL EROSION
Oceanic
sediment
Frontal
prism
Backstop
Collapse
Extension
Erosional unconformity
Sediment
Fractured
Crystalline forearc
basement
Seismogenic
zone
Mass transfer
Subduction channel
Propagating
fractures
ZONE OF BASAL
EROSION
Lower plate
basement
Active interface
thrust
Migrating fluids
Plate interface
thrust migrating
upward
Zone of
hydrofracturing
Previously active
interface thrusts
Increasing
strength with
loss of fluids



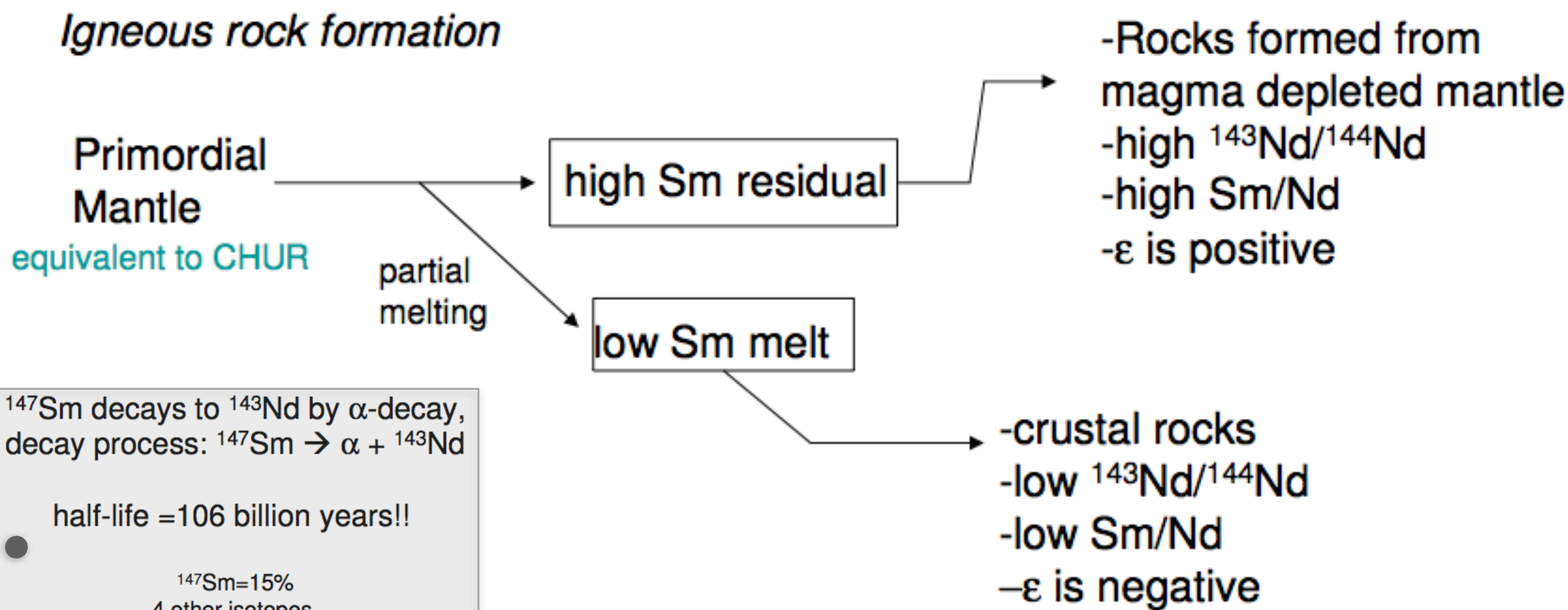
Volume of continental crust (%)
100
75
50
25
0
Time since present (Ga)
0
1
2
3
4
Armstrong 1981
Dhuime et al. 2012
Belousova et al. 2010
Taylor & McLennan 1995
Condie & Aster 2010
Allègre & Rousseau 1984
Hurley & Rand 1969
present day surface
ages distribution
(Goodwin 1996)



Mudança reflete o surgimento do processo de subducção (aumentando a erosão na base da crosta)



•*Sistema Sm-Nd*



^{147}Sm decays to ^{143}Nd by α-decay, decay process: $^{147}Sm \rightarrow \alpha + ^{143}Nd$

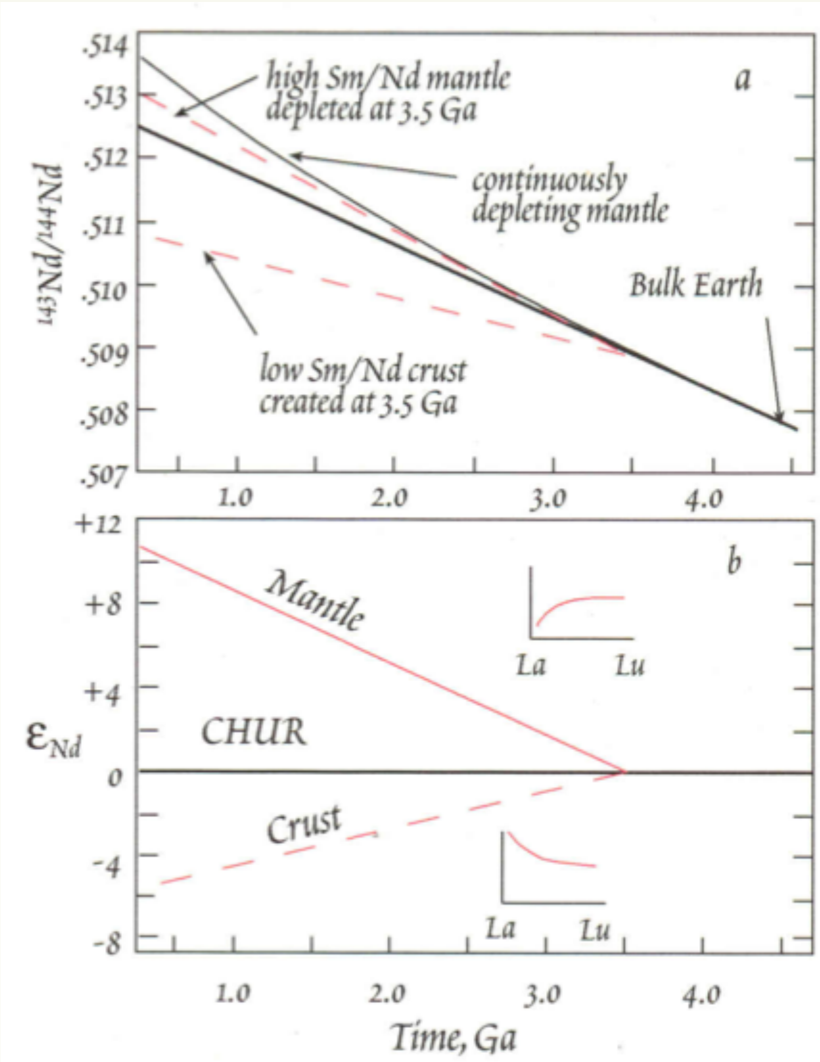
- half-life =106 billion years!!

^{147}Sm=15%
4 other isotopes

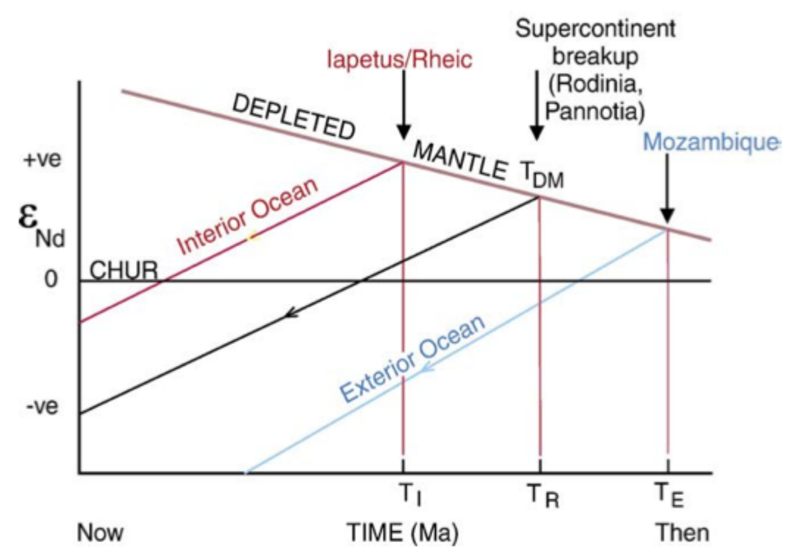
^{143}Nd=12.2%
6 other isotopes

Same timescales as Rb-Sr and K-Ar (Ar-Ar)
More resistant to changes during metamorphism and ion exchange
Better adherence to closed system assumptions

•Sistema Sm-Nd



$$\varepsilon_{Nd,CHUR} = \left[\frac{\left({}^{143}Nd / {}^{144}Nd \right)_{sample}}{\left({}^{143}Nd / {}^{144}Nd \right)_{CHUR}} - 1 \right] \times 10^4$$



- Emprobrecimento do DM em Nd ao longo do tempo (manto tem ε_{Nd} + e crosta ε_{Nd}-).
- A idade T_{DM} corresponde à idade em que o magma foi extraído do reservatório mantélico.

Mecanismos para Formação da Crosta Continental

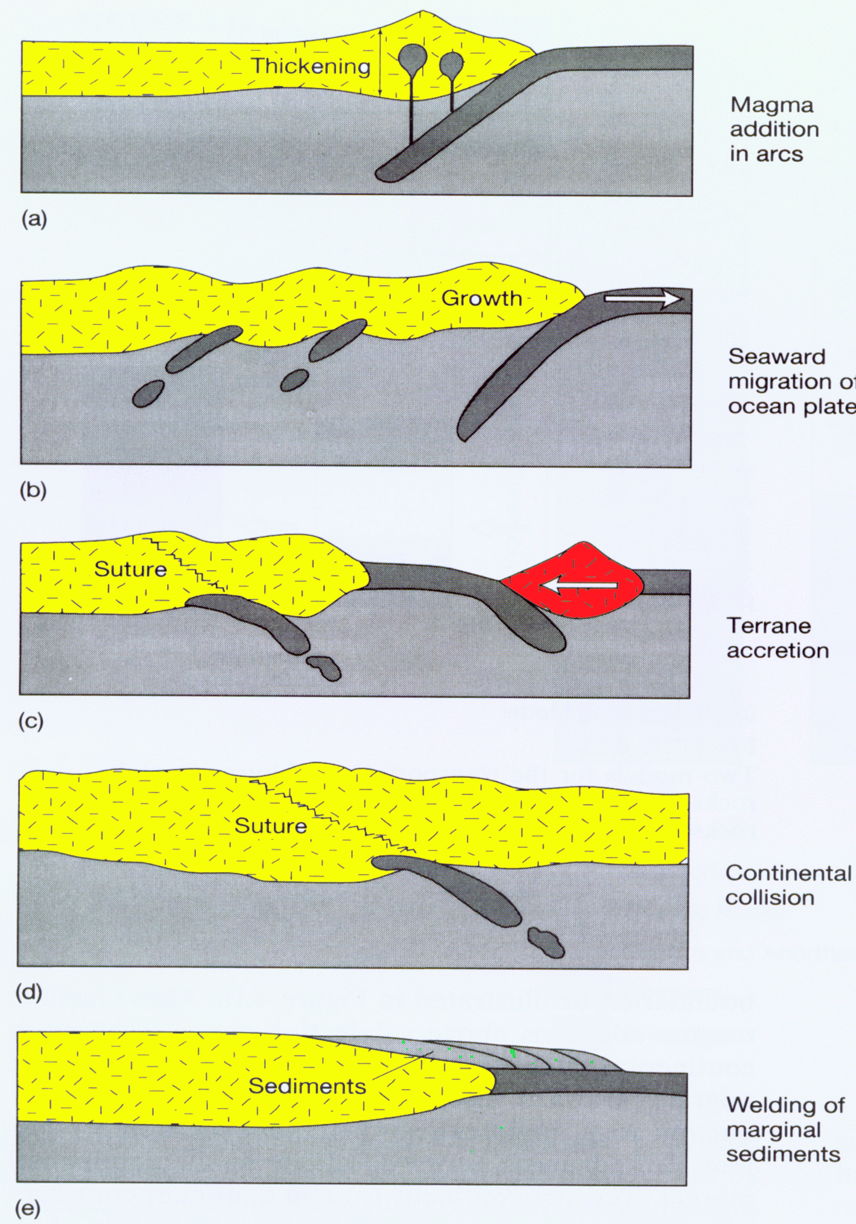
Arcos Magmáticos

Migração da placa oceânica

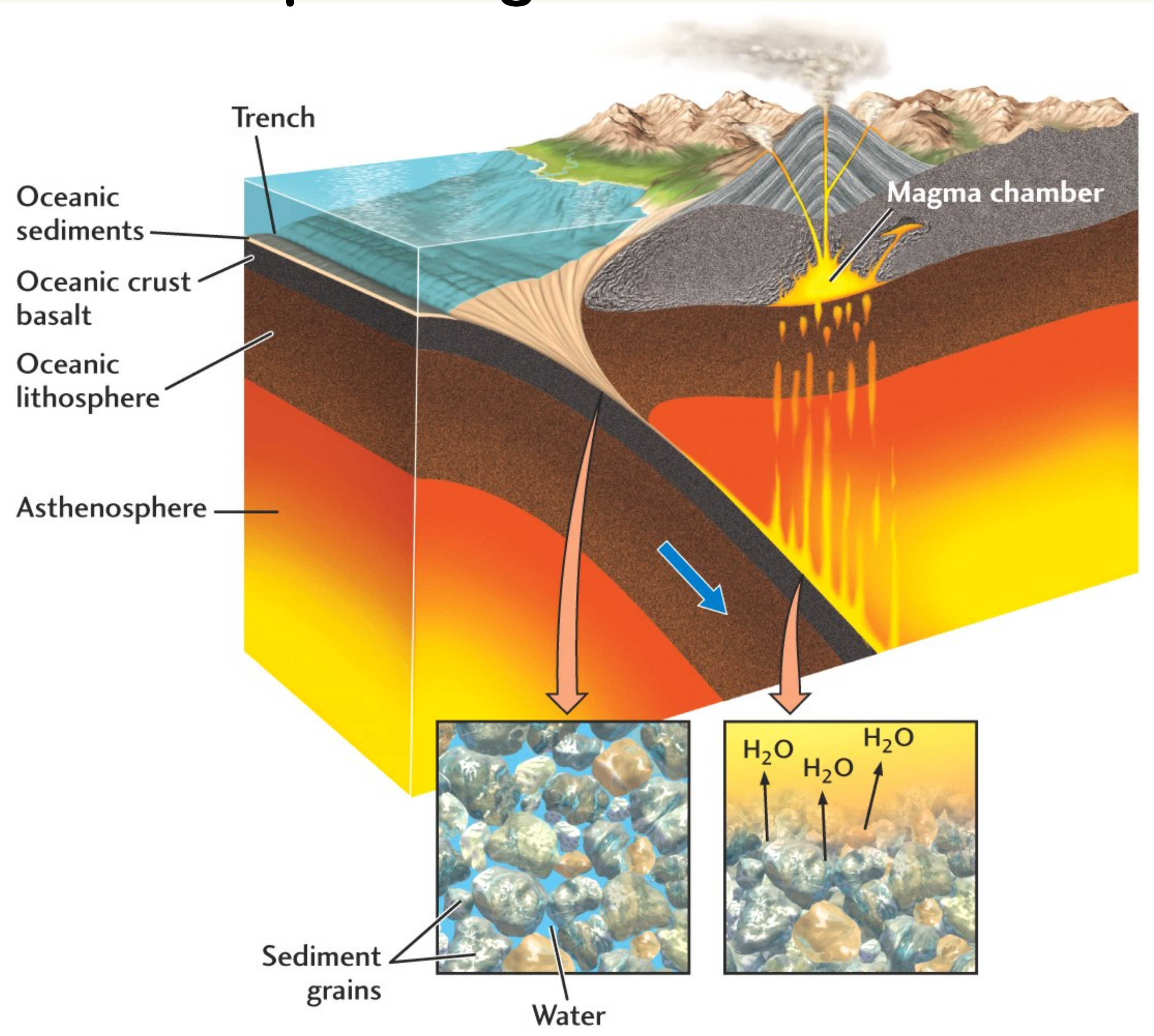
Acresção de terrenos

Colisão continental

Sedimentação em margem passiva

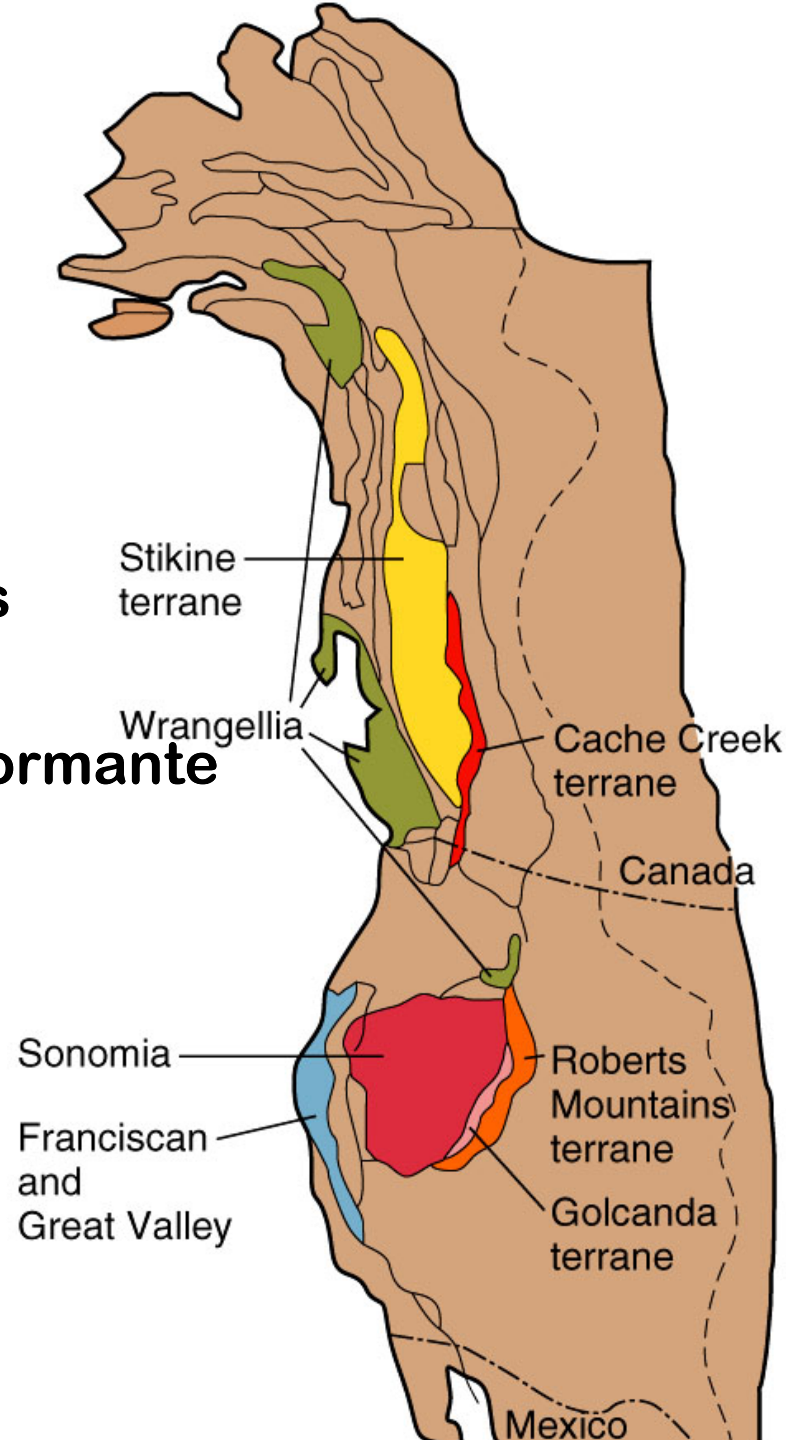


Crescimento crustal por magmatismo

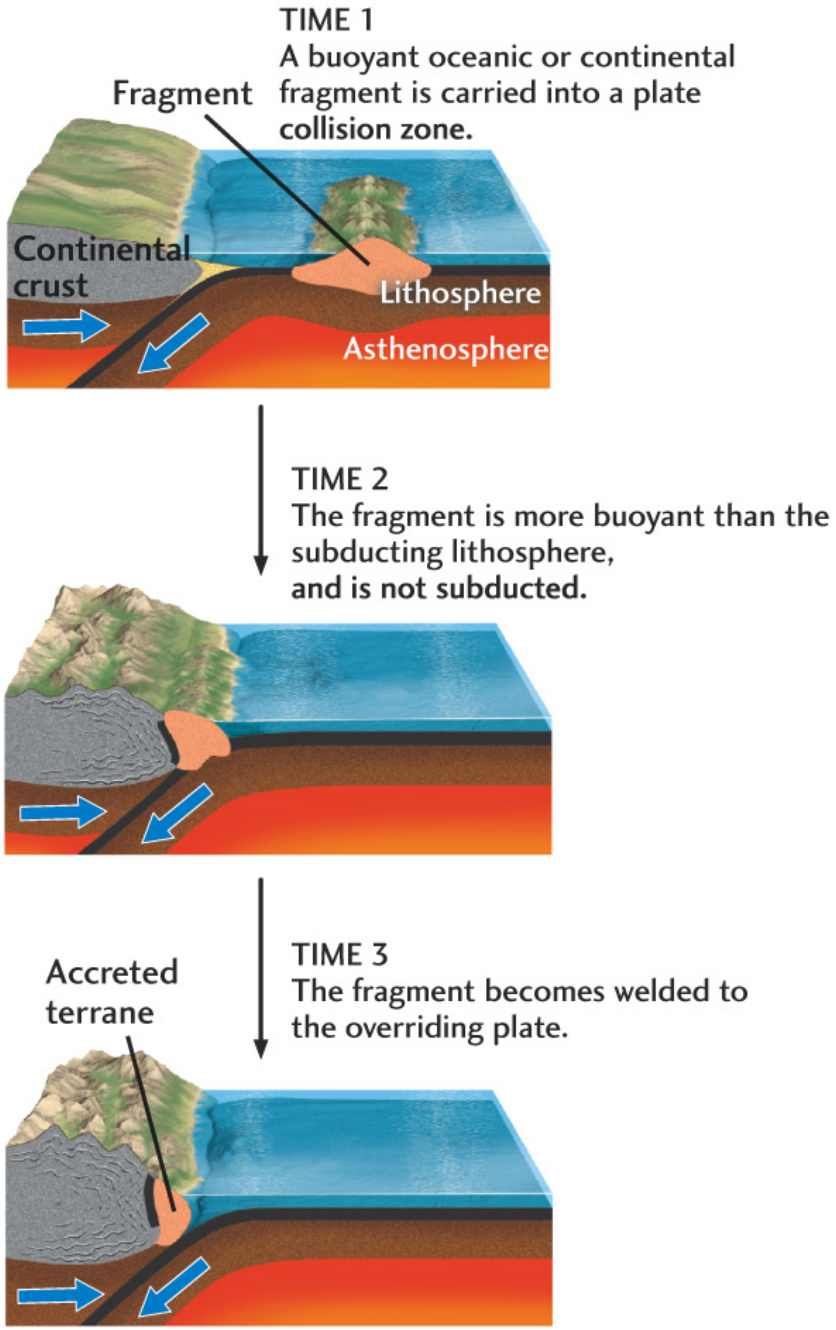


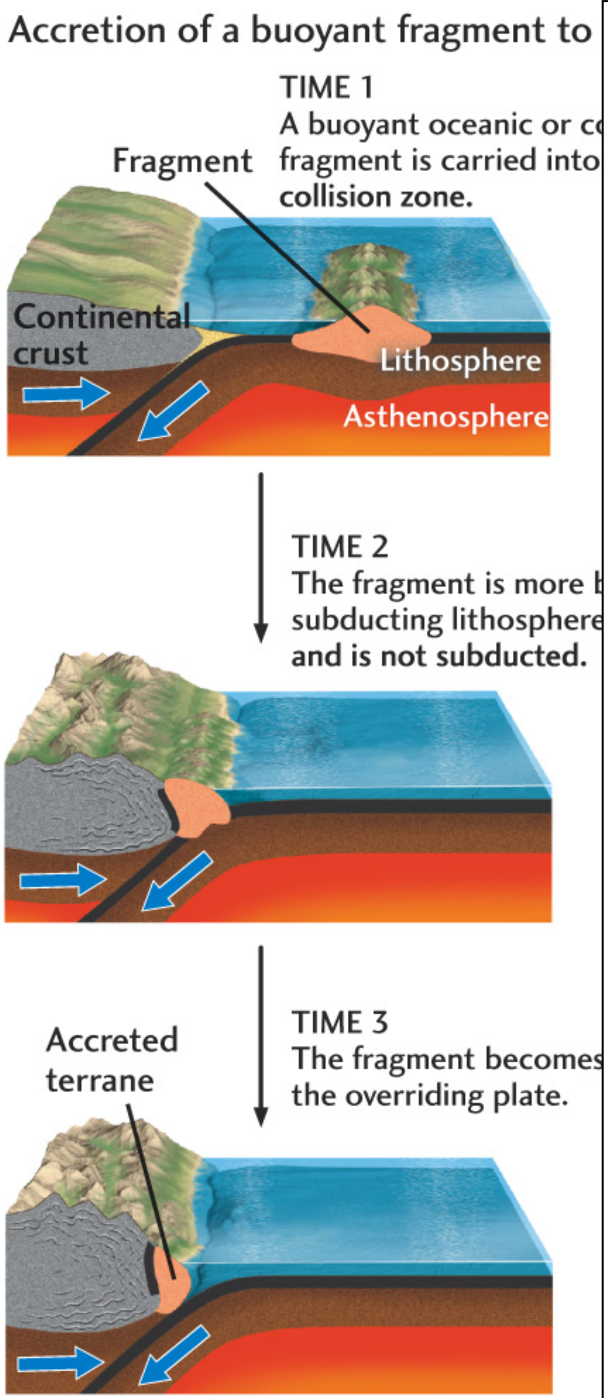
Crescimento crustal por acreção continental

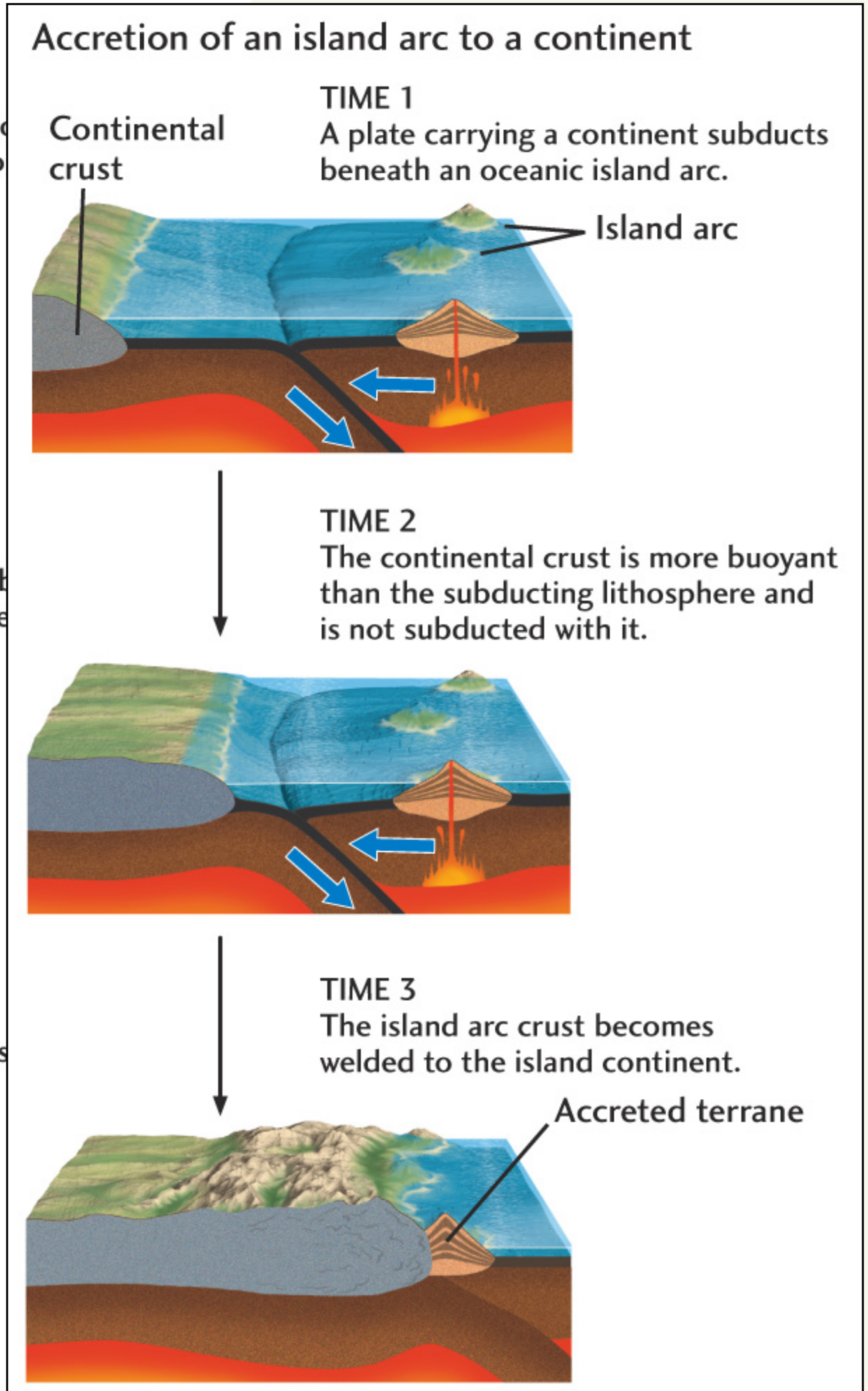
1) Acreção de terrenos continentais
2) Acreção de arcos de ilhas
3) Acreção ao longo de falha transformante
4) Acreção por rifteamento

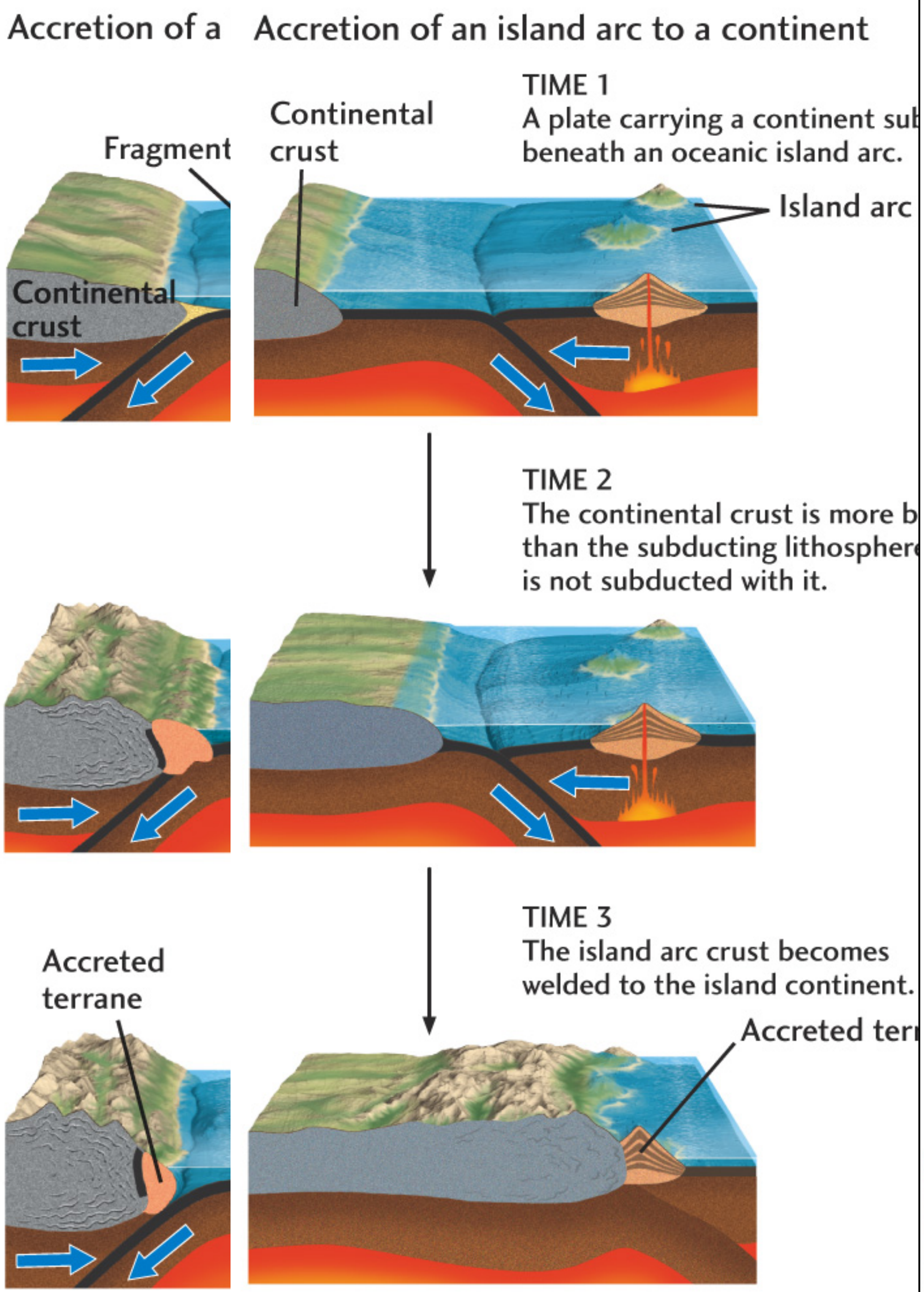


Accretion of a buoyant fragment to a continent

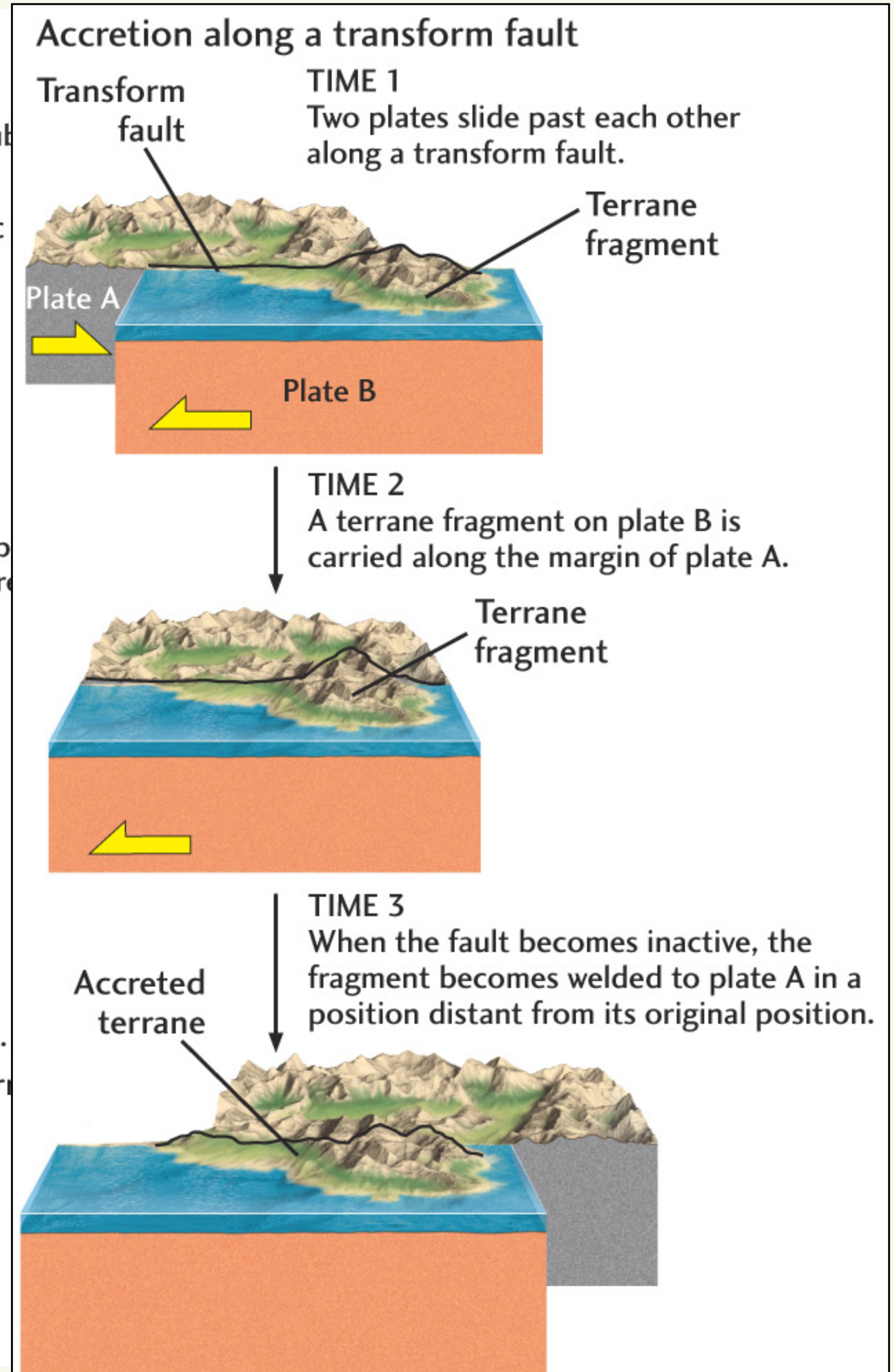



Accretion of a buoyant fragment to
TIME 1
A buoyant oceanic or c
fragment is carried into
collision zone.
Fragment
Continental
crust
Lithosphere
Asthenosphere
TIME 2
The fragment is more b
subducting lithosphere
and is not subducted.
TIME 3
The fragment becomes
the overriding plate.
Accreted
terrane

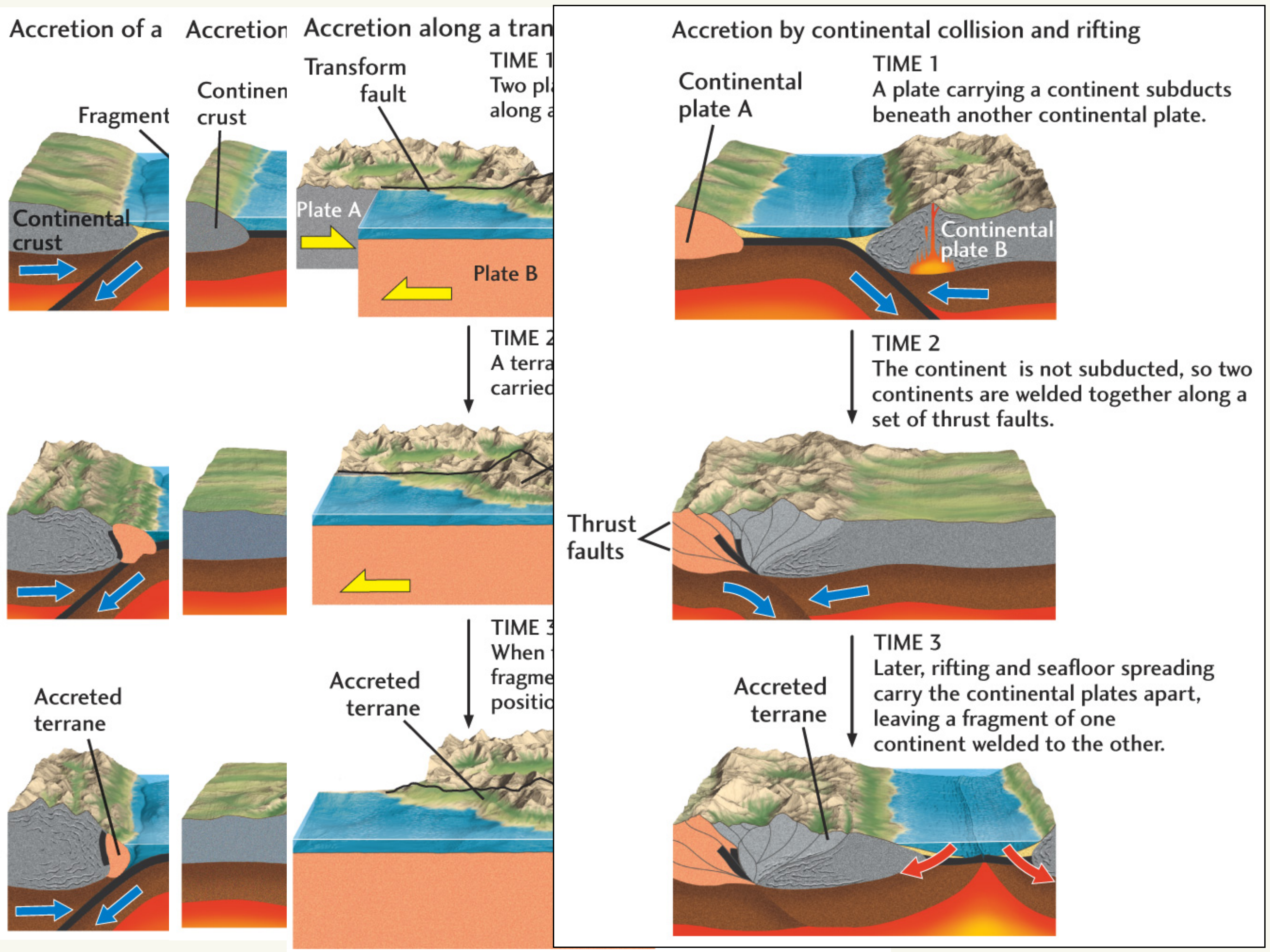

Accretion of an island arc to a continent
TIME 1
A plate carrying a continent subducts
beneath an oceanic island arc.
Continental
crust
Island arc
TIME 2
The continental crust is more buoyant
than the subducting lithosphere and
is not subducted with it.
TIME 3
The island arc crust becomes
welded to the island continent.
Accreted terrane



Accretion of a
Accretion of an island arc to a continent
Fragment
Continental crust
Continental crust
TIME 1
A plate carrying a continent sub
beneath an oceanic island arc.
Island arc
TIME 2
The continental crust is more b
than the subducting lithosphere
is not subducted with it.
TIME 3
The island arc crust becomes
welded to the island continent.
Accreted terrane
Accreted ter

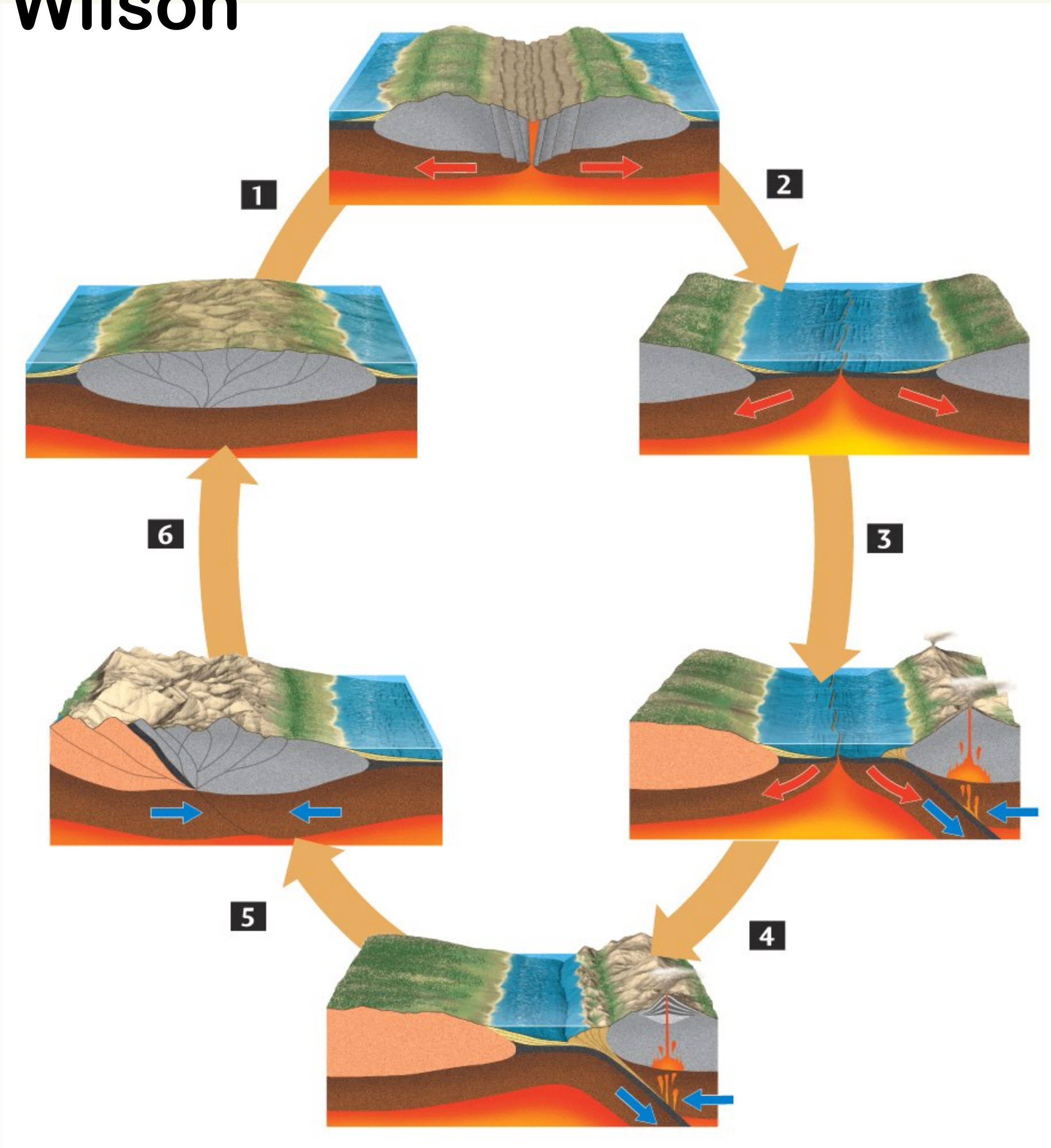


Accretion along a transform fault
Transform fault
TIME 1
Two plates slide past each other
along a transform fault.
Terrane fragment
Plate A
Plate B
TIME 2
A terrane fragment on plate B is
carried along the margin of plate A.
Terrane fragment
TIME 3
When the fault becomes inactive, the
fragment becomes welded to plate A in a
position distant from its original position.
Accreted terrane

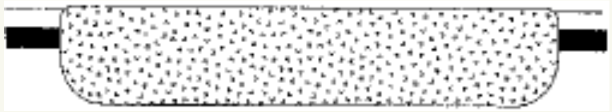


Accretion of a
Fragment
Continental crust
Accreted terrane
Accretion
Continen
crust
Accretion along a tran
Transform fault
TIME 1
Two pl
along a
Plate A
Plate B
TIME 2
A terra
carried
TIME 3
When t
fragme
positio
Accreted terrane
Accretion by continental collision and rifting
Continental plate A
TIME 1
A plate carrying a continent subducts beneath another continental plate.
Continental plate B
TIME 2
The continent is not subducted, so two continents are welded together along a set of thrust faults.
Thrust faults
TIME 3
Later, rifting and seafloor spreading carry the continental plates apart, leaving a fragment of one continent welded to the other.
Accreted terrane

Ciclo de Wilson

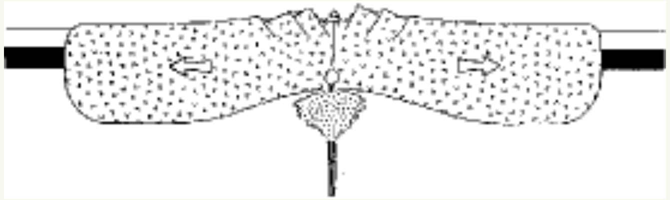


Stage A



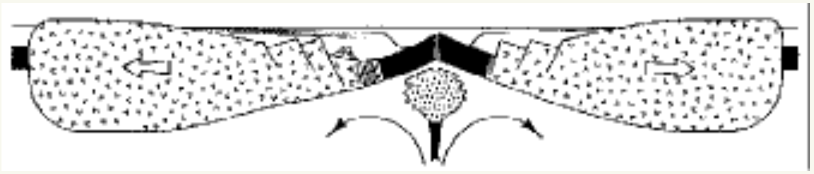
A Stable Continental Craton

Stage B



Hot Spot and Rifting

Stage C



Creation of New Oceanic Crust: Early Divergent Margin

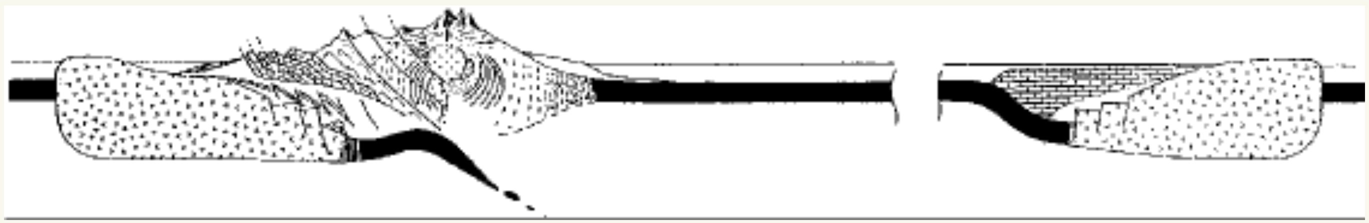
Stage D

Full Divergent Margin

Stage E

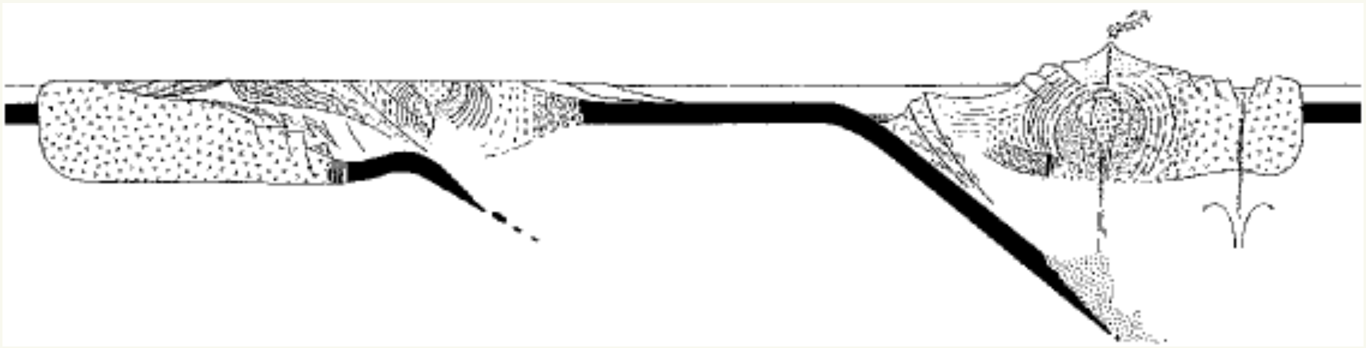
Creating a Convergent Boundary:
Volcanic Island Arc Mountain Building

Stage F



Island Arc-Continent Collision Mountain Building

Stage G



Cordilleran Mountain Building

Stage G

Continent-Continent Collision Mountain Building

Stage H

Stable Continental Craton

PALEOPROTEROZIC

Woopmay Orogen

ARCHEAN

Slave Craton

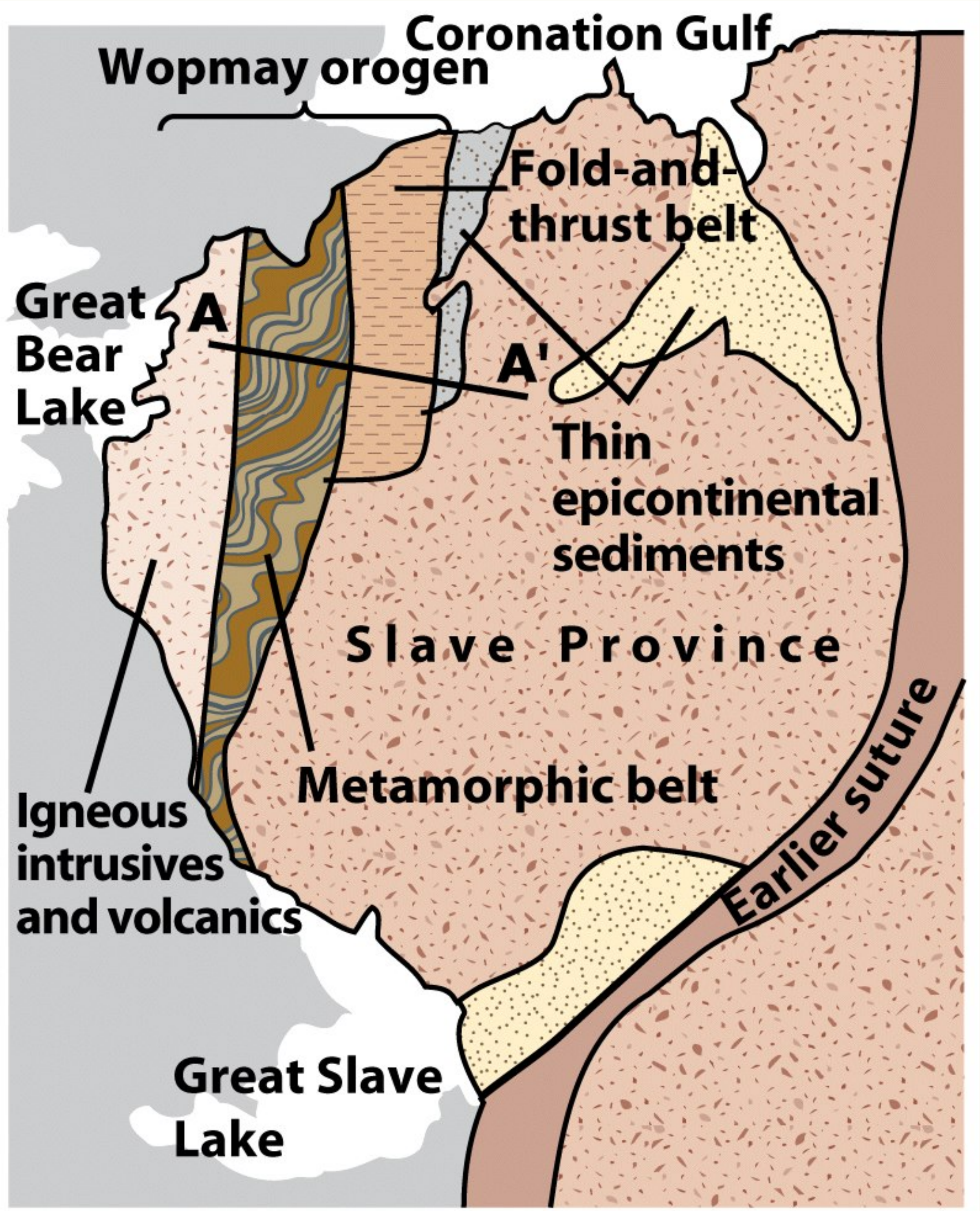


Figure 12-1b
Earth System History, Second Edition

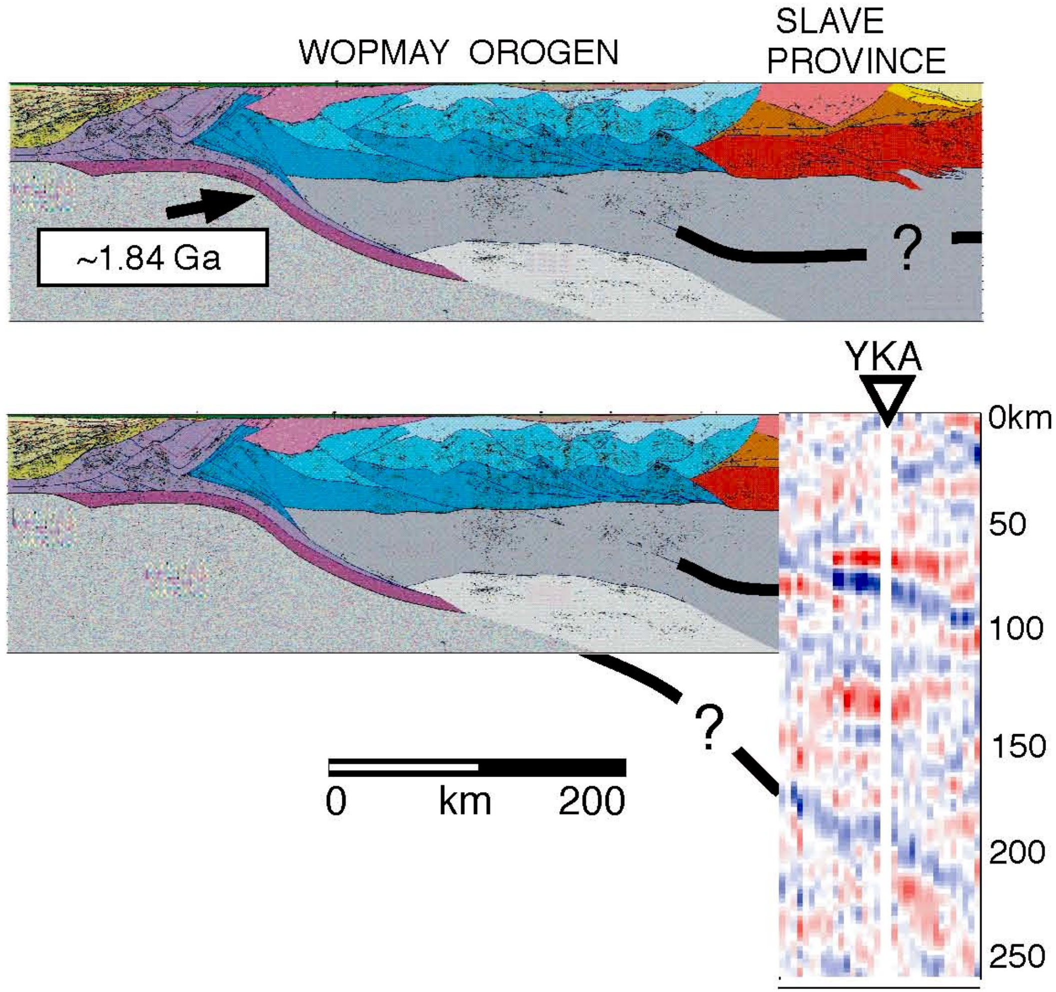


Figure 6: Levander, Lenardic, and Karlstrom

- Proposta de Províncias da CPRM
- 2003
- GEOLOGIA, TECTÔNICA E
- RECURSOS MINERAIS DO BRASIL

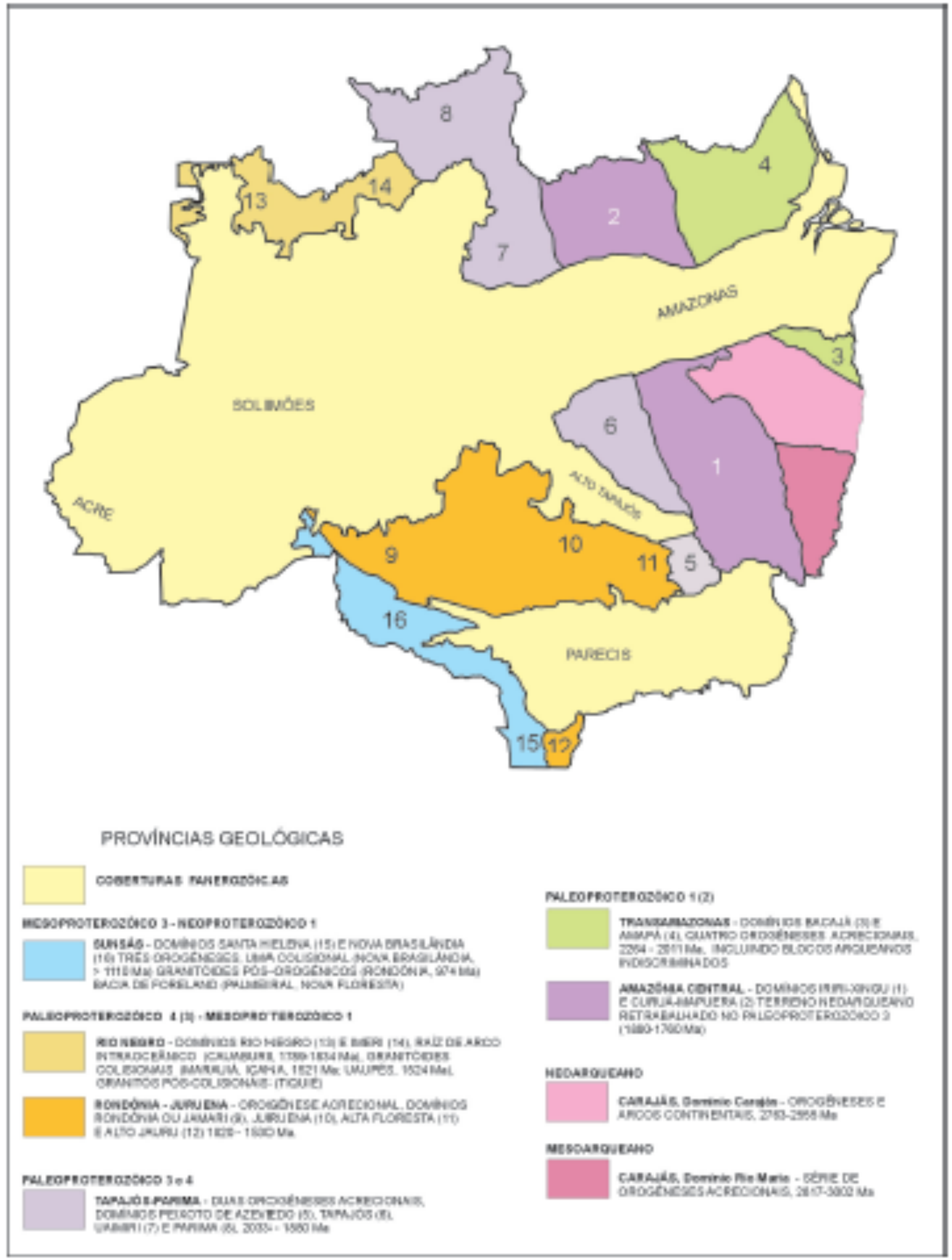


Figura IV.3 – As províncias do Cráton Amazonas

Figure IV.3 – Amazon Craton Provinces

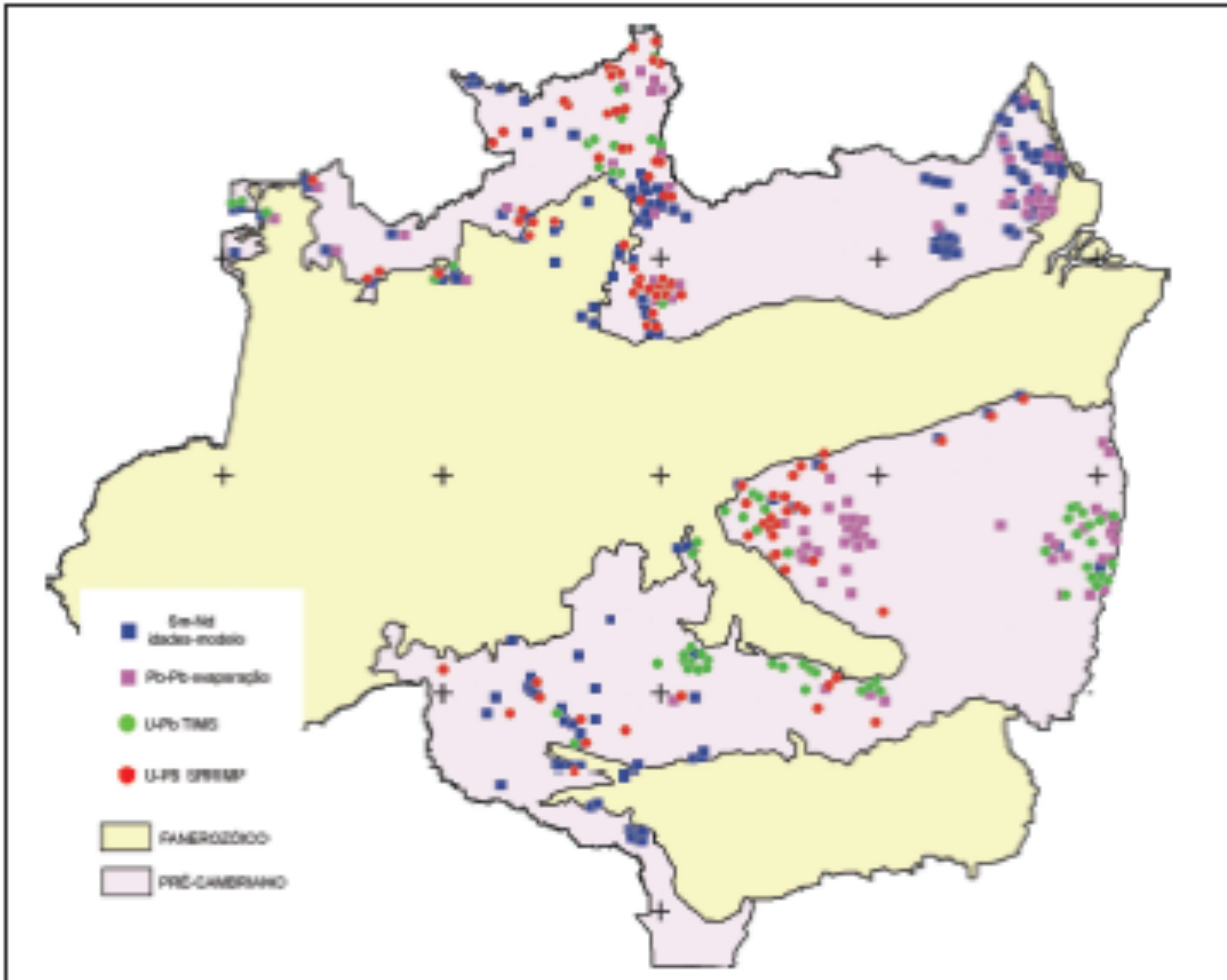
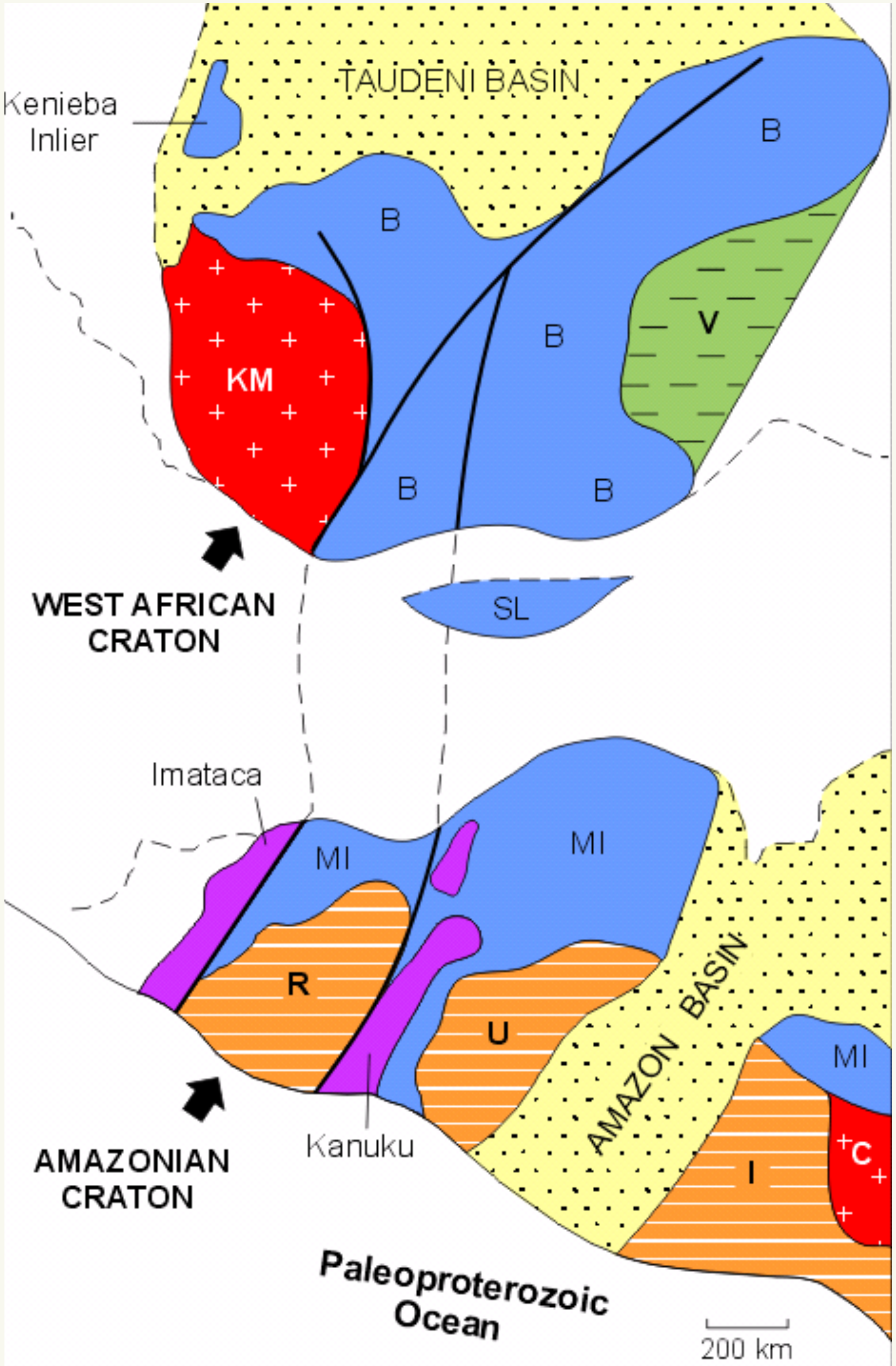


Figura IV.2 – Distribuição de pontos com análises geocronológicas (U-Pb, Pb-Pb por evaporação e Sm-Nd) na Região Amazônica

Figure IV.2 – Location of dated samples of the Amazon Craton grouped by geochronologic method (U-Pb, Pb-Pb evaporation and Sm-Nd)



ARCHEAN BASEMENT

- C-Carajás granite-greenstone terrain
  KM-Kenema-Man Archean block

with volcanic/sedimentary covers

- R-Roraimã; I-Iriri; U-Uatumã

PALEOPROTEROZOIC

- B Birimian system
- MI Maroni-Itacaiúnas belt
- SL São Luiz cratonic fragment
- High-grade basement complexes

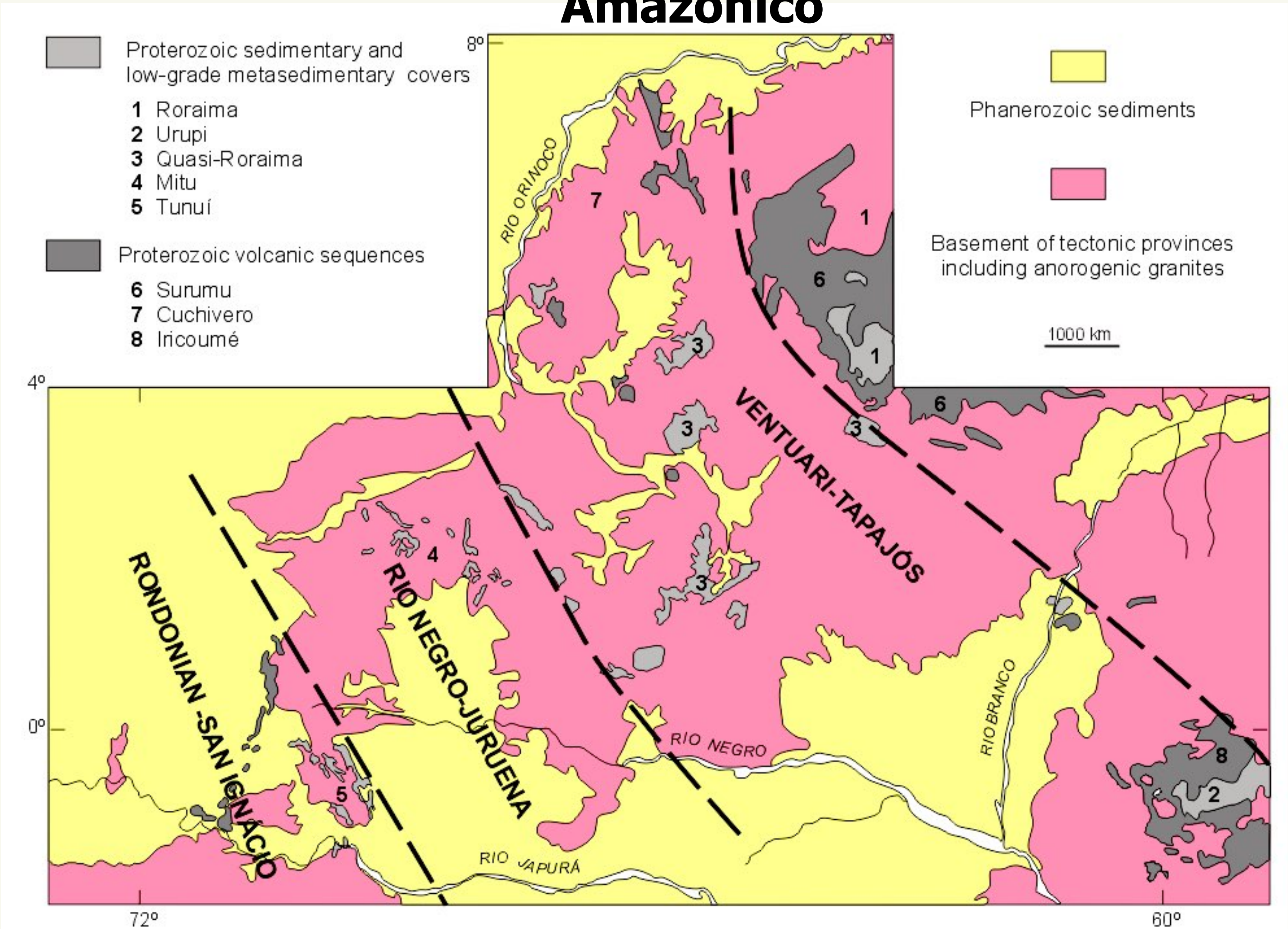
NEOPROTEROZOIC

- V Volta basin

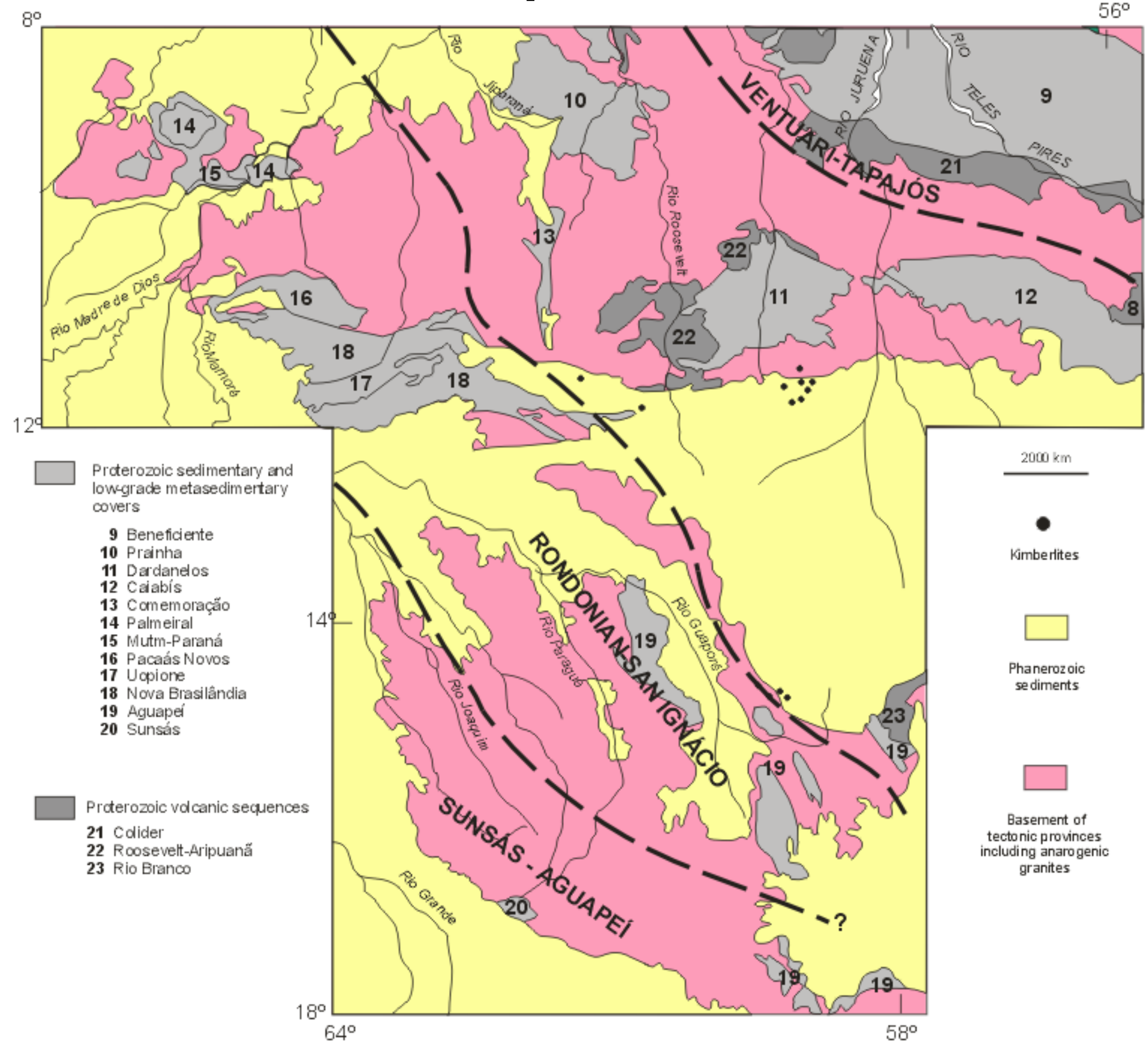
PHANEROZOIC

- Sedimentary covers

Províncias tectônicas da parte NW do Craton Amazônico



Províncias tectônicas da parte SW do Craton Amazônico

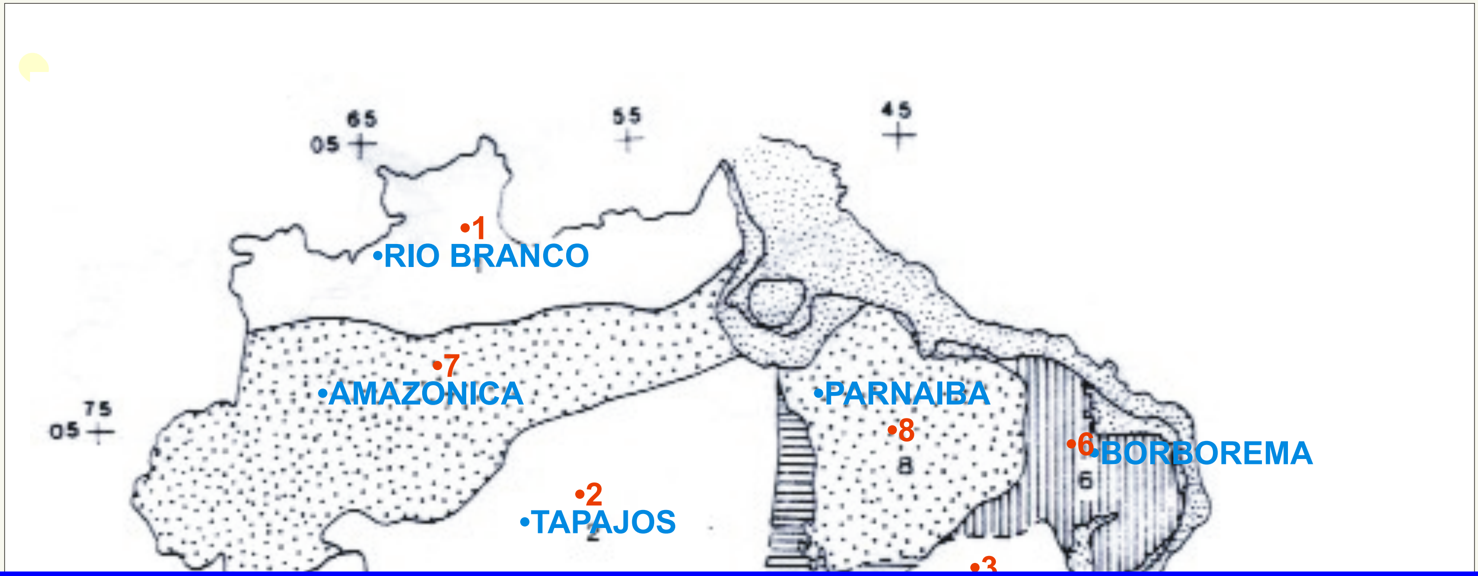


Províncias Estruturais (Tectônicas) do Brasil

Almeida et al. (1977)

Províncias Estruturais (Tectônicas) do Brasil

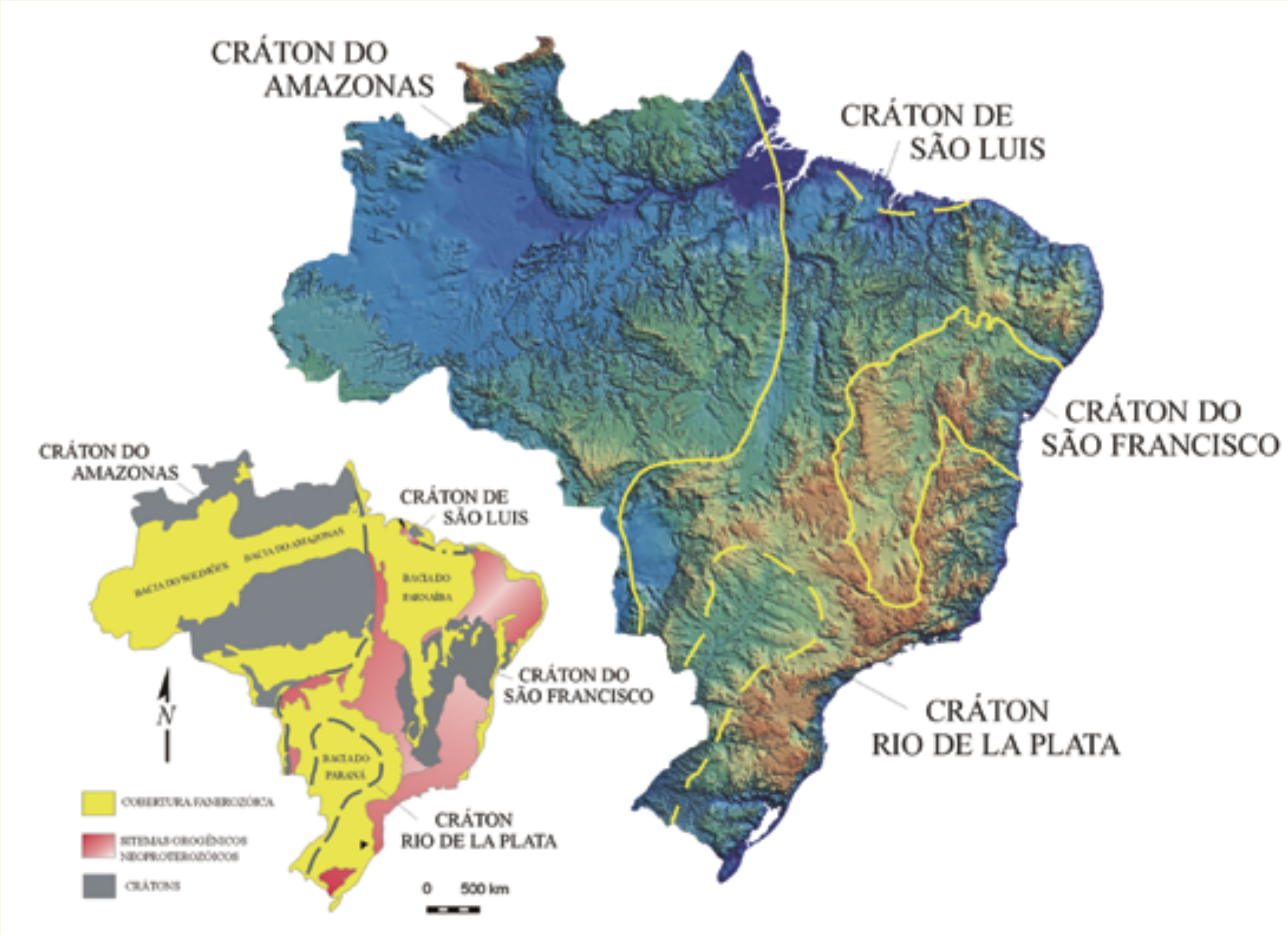
Almeida et al. (1977)

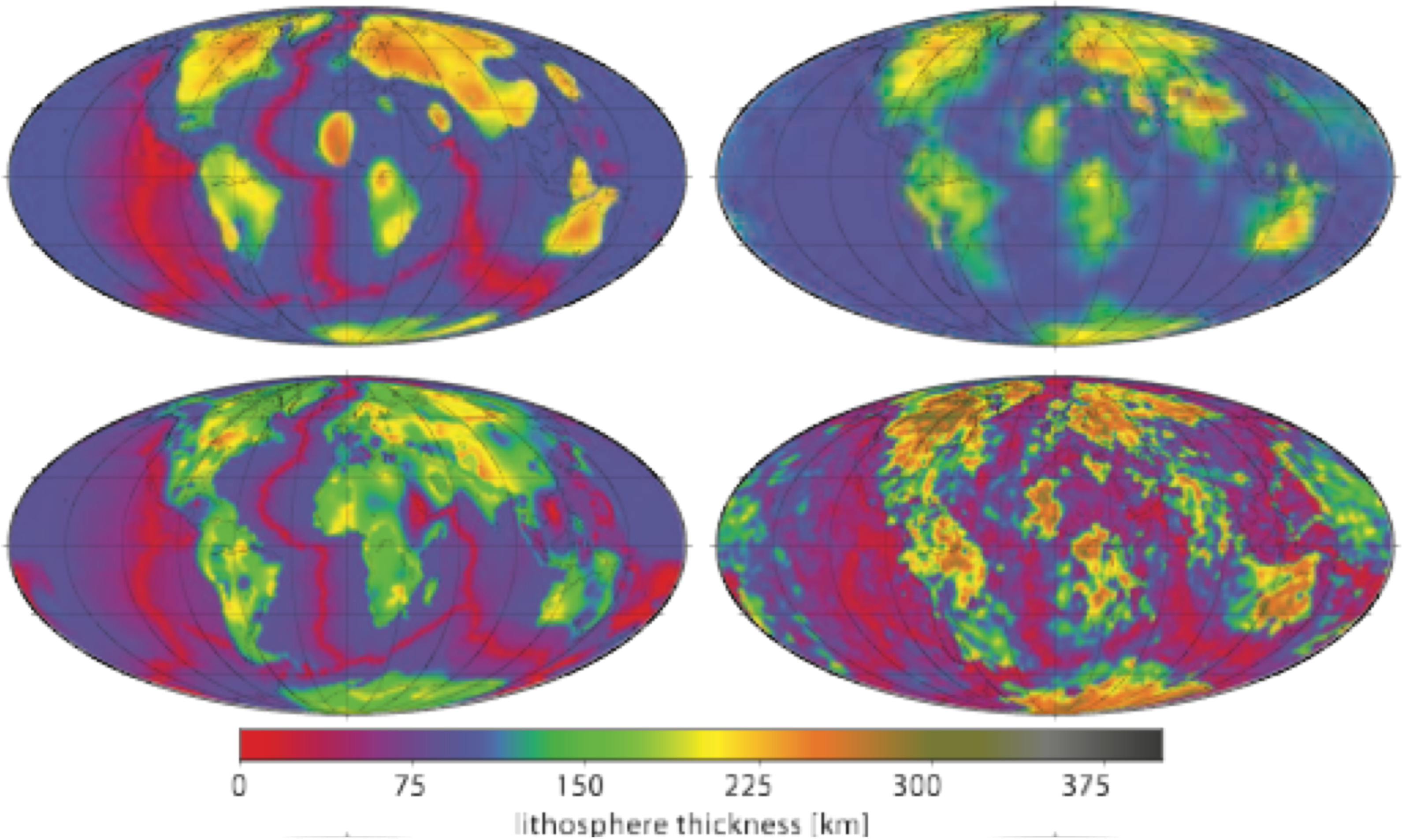


- Definição das províncias:

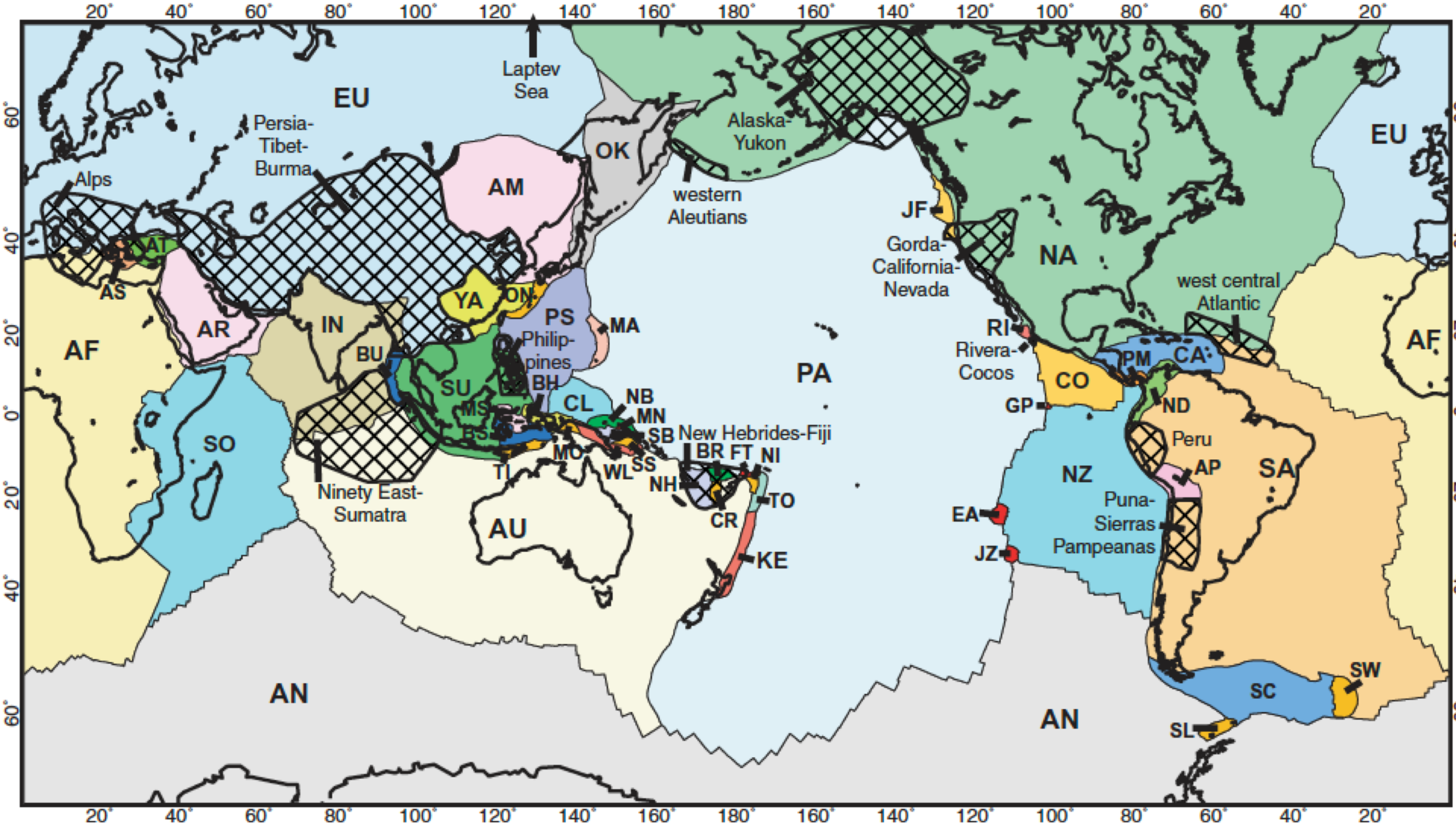
"Grandes Regiões que manifestam feições de evolução estratigráfica, tectônica, metamórfica e magmática, diversa das apresentadas pelas províncias confinantes"

As principais áreas Cratônicas





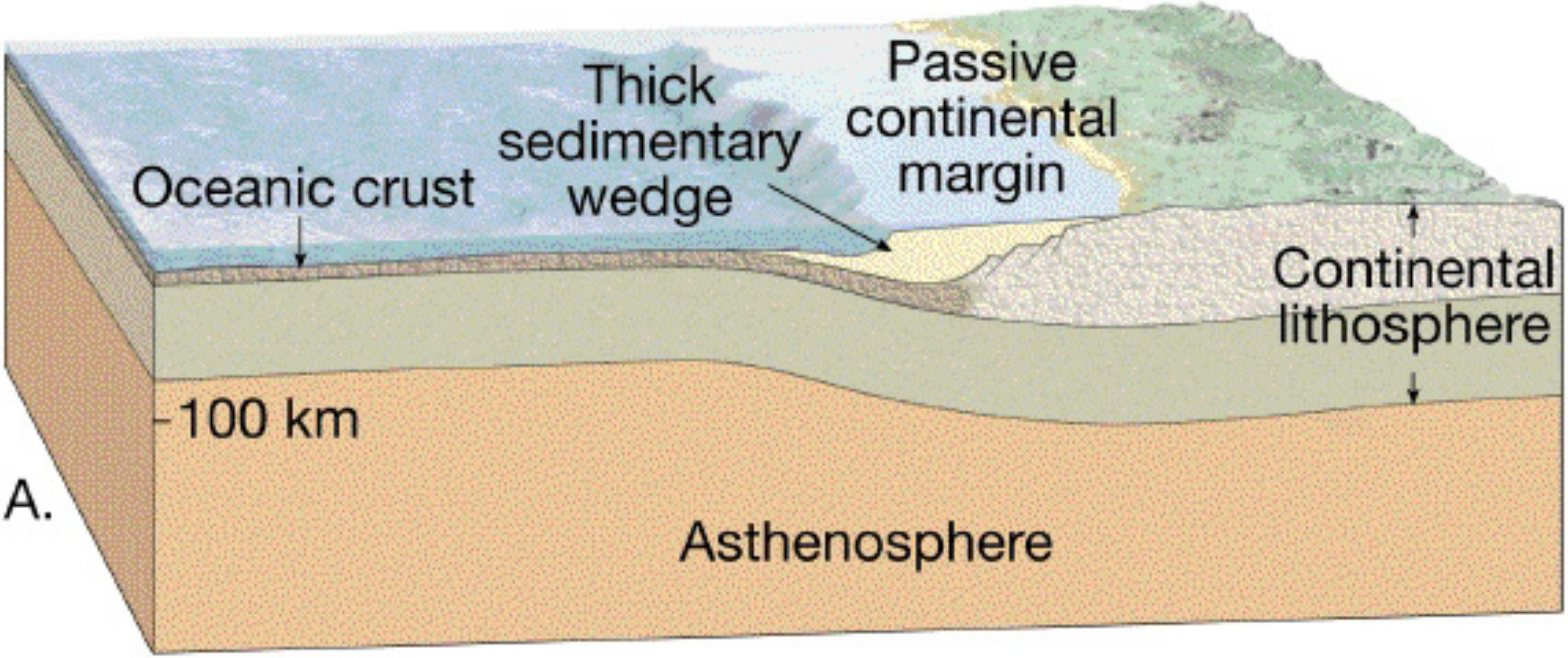
Steinberg 2016



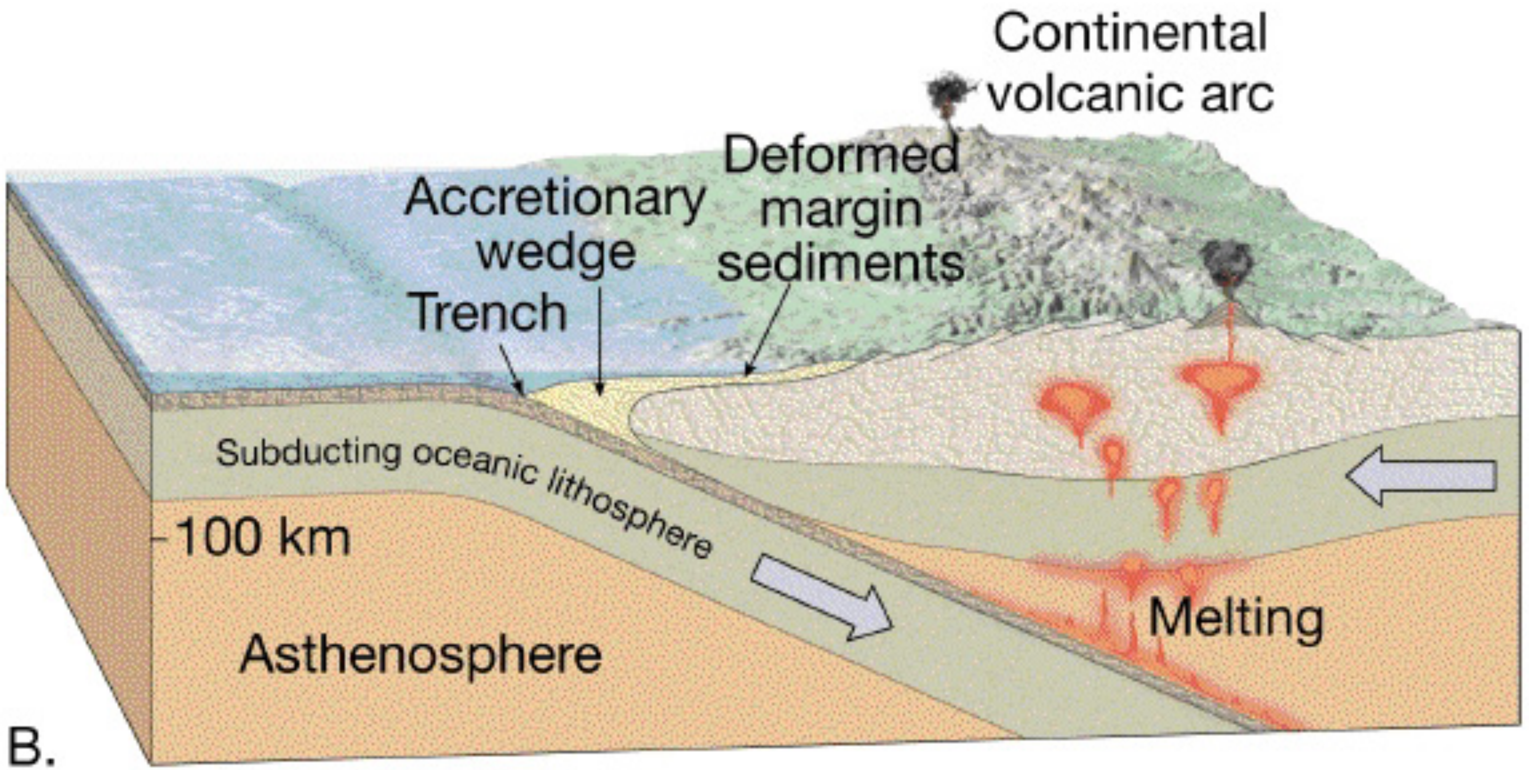
EU
Laptev Sea
Persia-Tibet-Burma
Alps
AT
AS
AF
AR
IN
AM
OK
YA
ON
PS
MA
Philip-pines
BU
SU
BH
MS
BS
CL
NB
MN
SB
New Hebrides-Fiji
BR
FT
NI
NH
TO
CR
KE
MO
WL
SS
TI
SO
Ninety East-Sumatra
AU
AN
western Aleutians
Alaska-Yukon
PA
JF
Gorda-California-Nevada
NA
RI
Rivera-Cocos
GP
CO
PM
CA
west central Atlantic
ND
Peru
AP
SA
NZ
Puna-Sierras Pampeanas
EA
JZ
SC
SW
SL

<u>**Cordilleran-Type Orogenesis**</u>

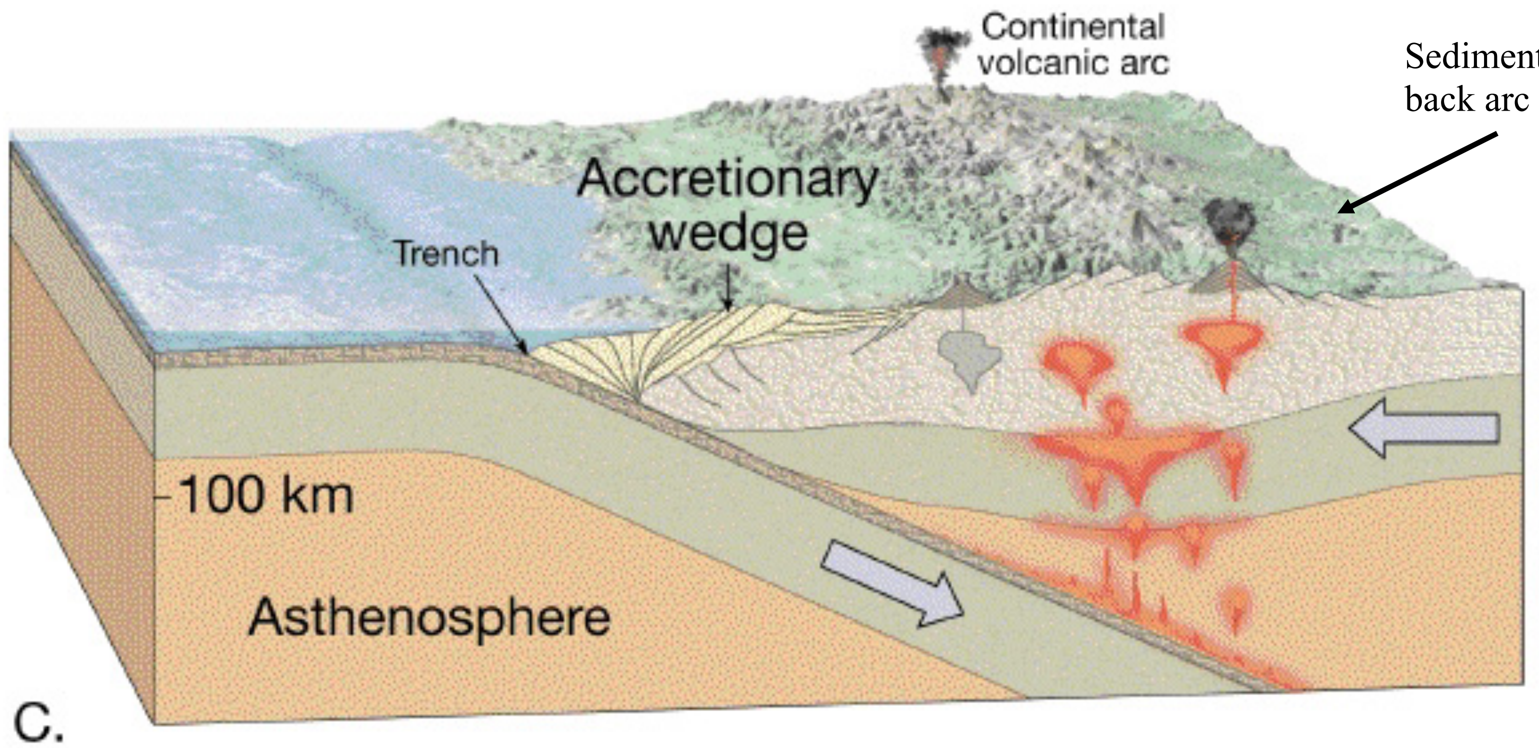
1. Passive stage (pre-convergence) -> marginal deposits form.



2. early subduction -> marginal deposits are deformed by compression. Folds and thrust faults are formed.
3. Volcanic arc forms.
4. Lateral growth by accretion; emplacement of igneous masses; metamorphism; further deformation of marginal deposits. Mountain chain begins to form.

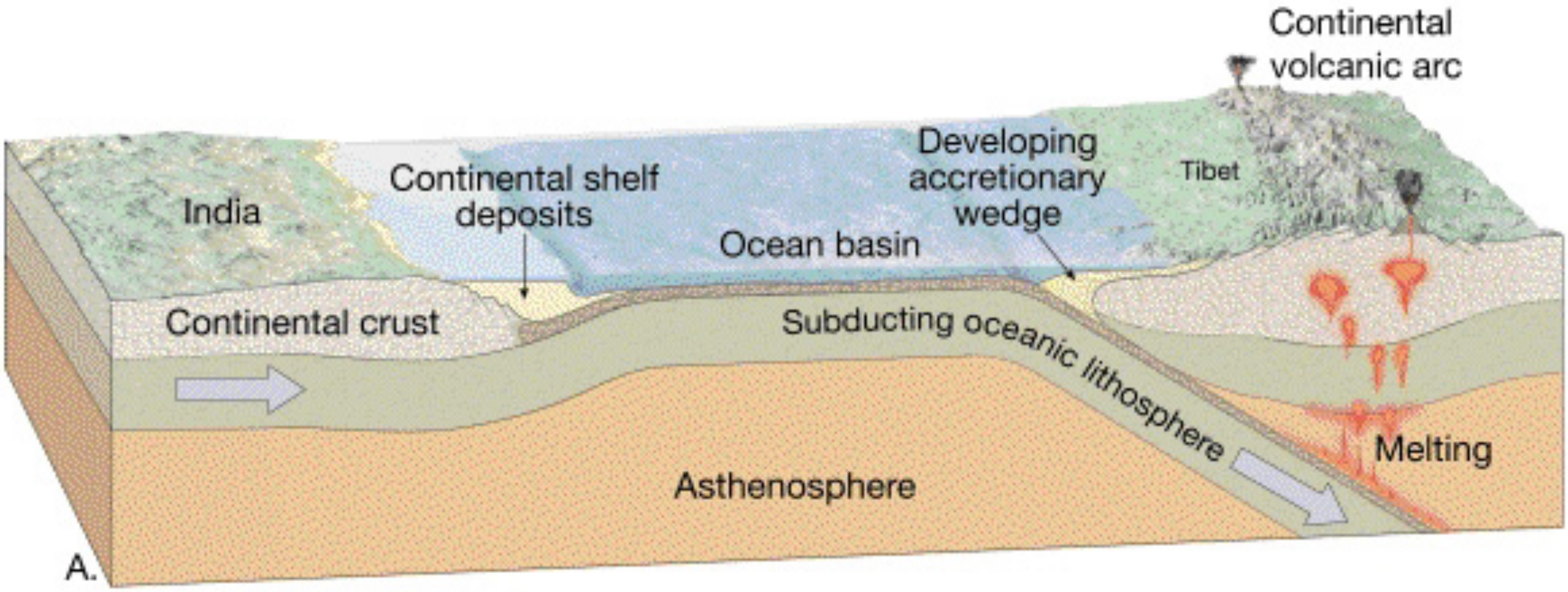


5. Continued uplift and deformation results from continuing plate convergence.
6. Erosion forms a sediment wedge in the backarc basin.
Examples = Andes of western south America.



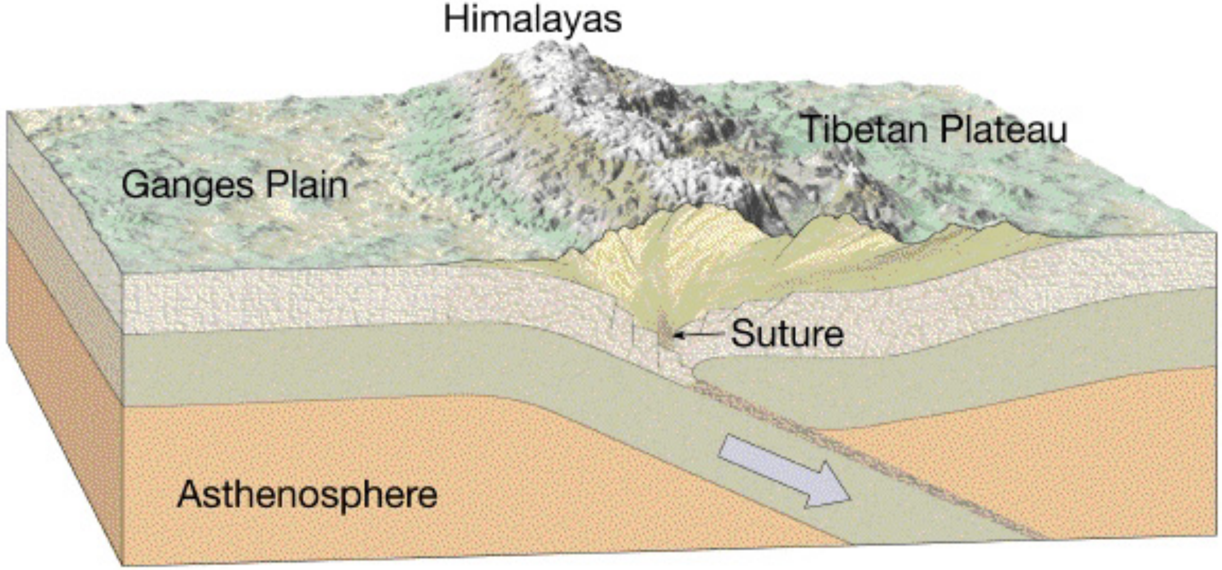
Continental Collision-Type Orogenesis

Initial growth is similar to Cordilleran-type orogenesis; however, when the continents collide one of them can not be subducted (too thick and buoyant), therefore the plates are welded together forming a SUTURE ZONE and producing a large mountain chain, containing sedimentary, igneous and metamorphic rock.

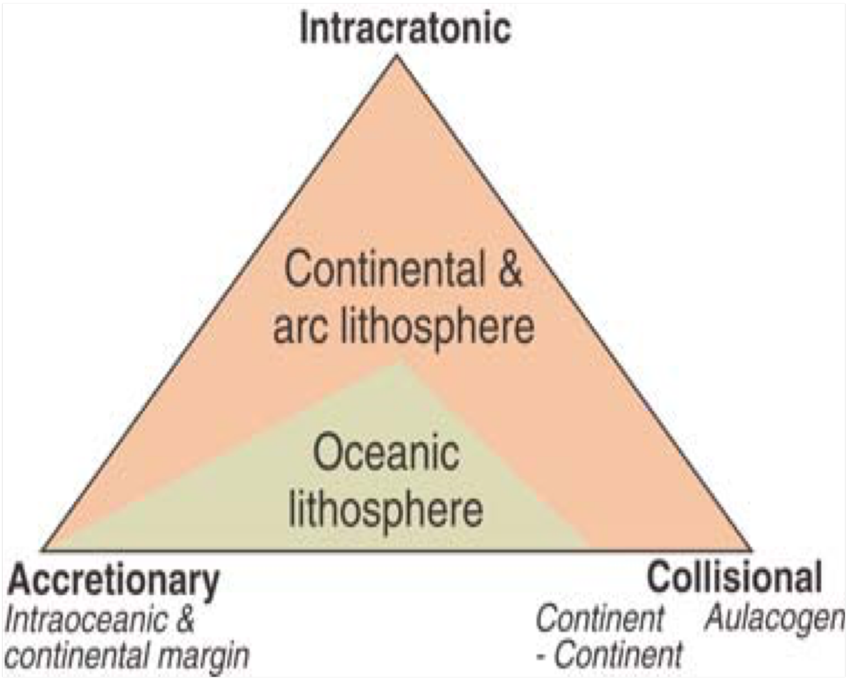


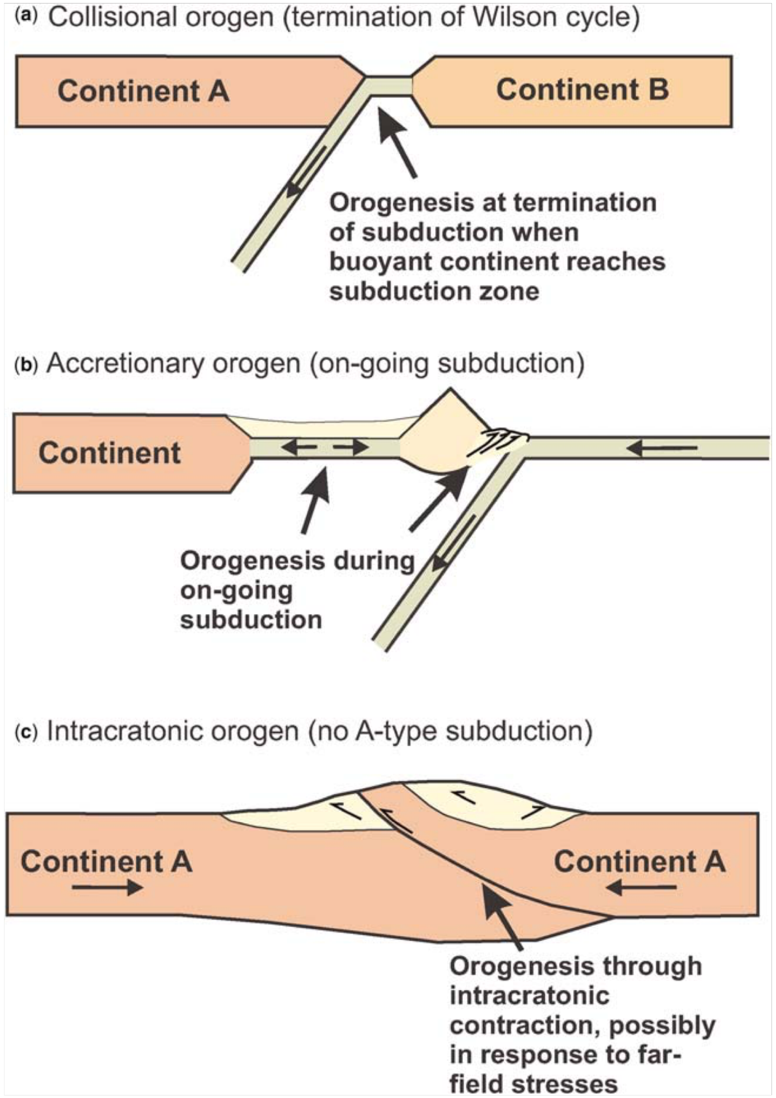
B.

The collision that created the Himalayas is the classic example of continent-continent orogenesis. The Himalayas are very high because they are very young (geologically). Uplift continues and erosion hasn't had long to wear the mountains down.



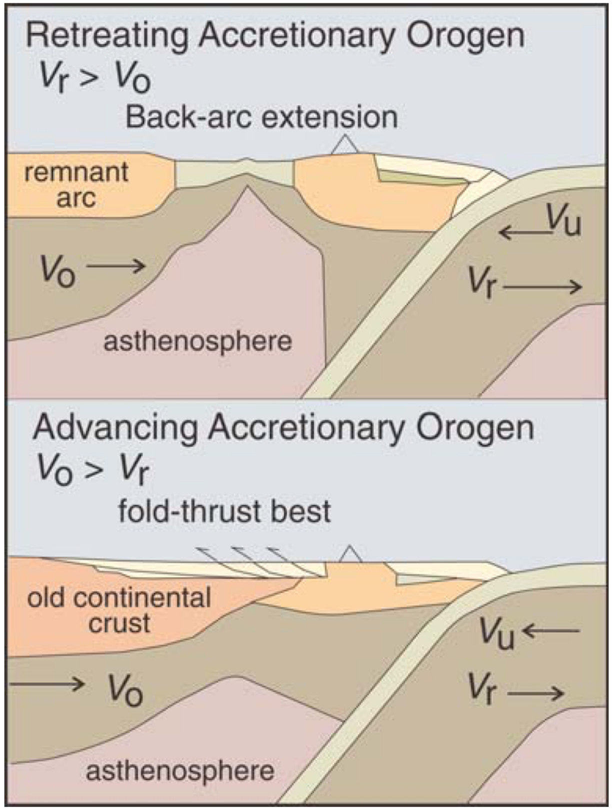
C.

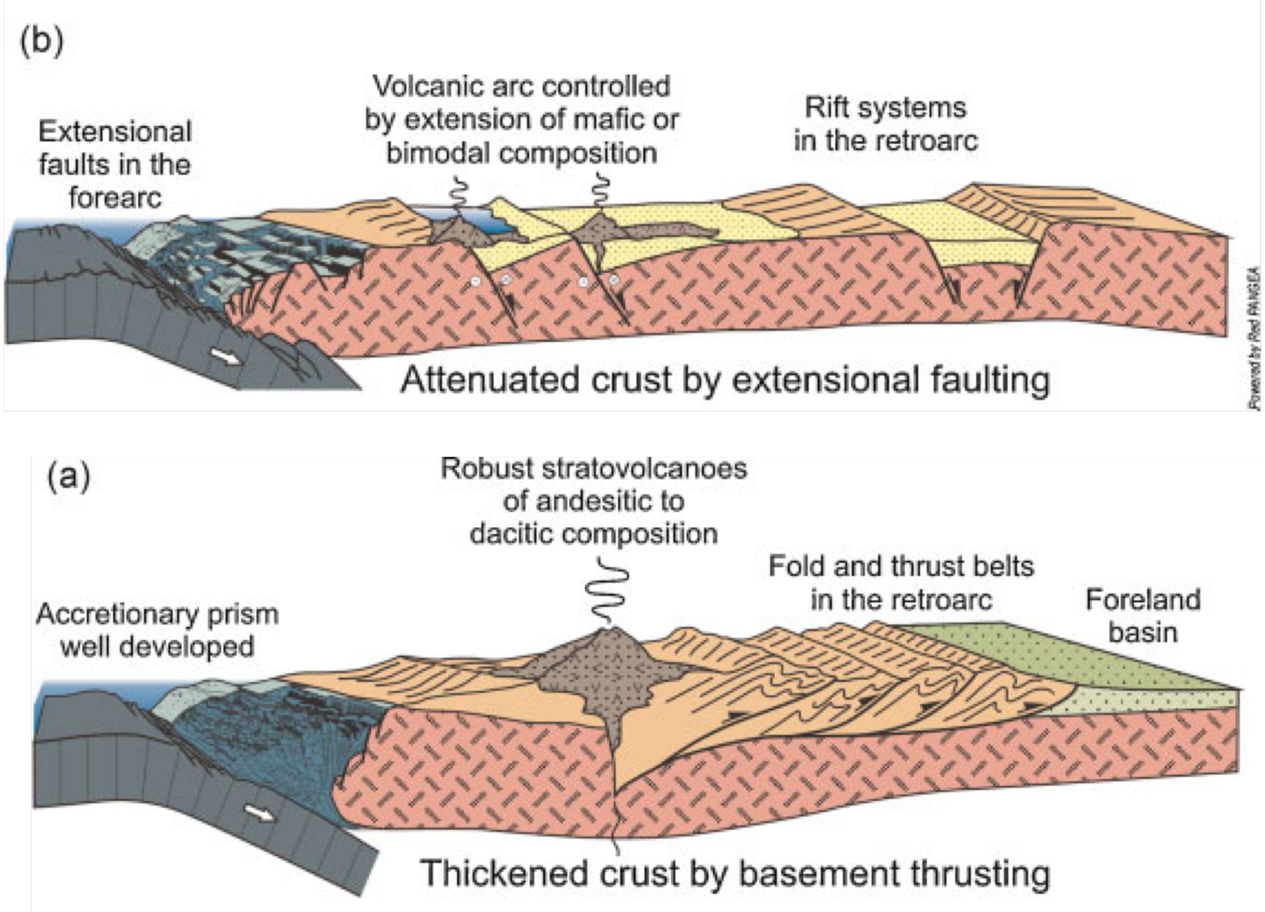


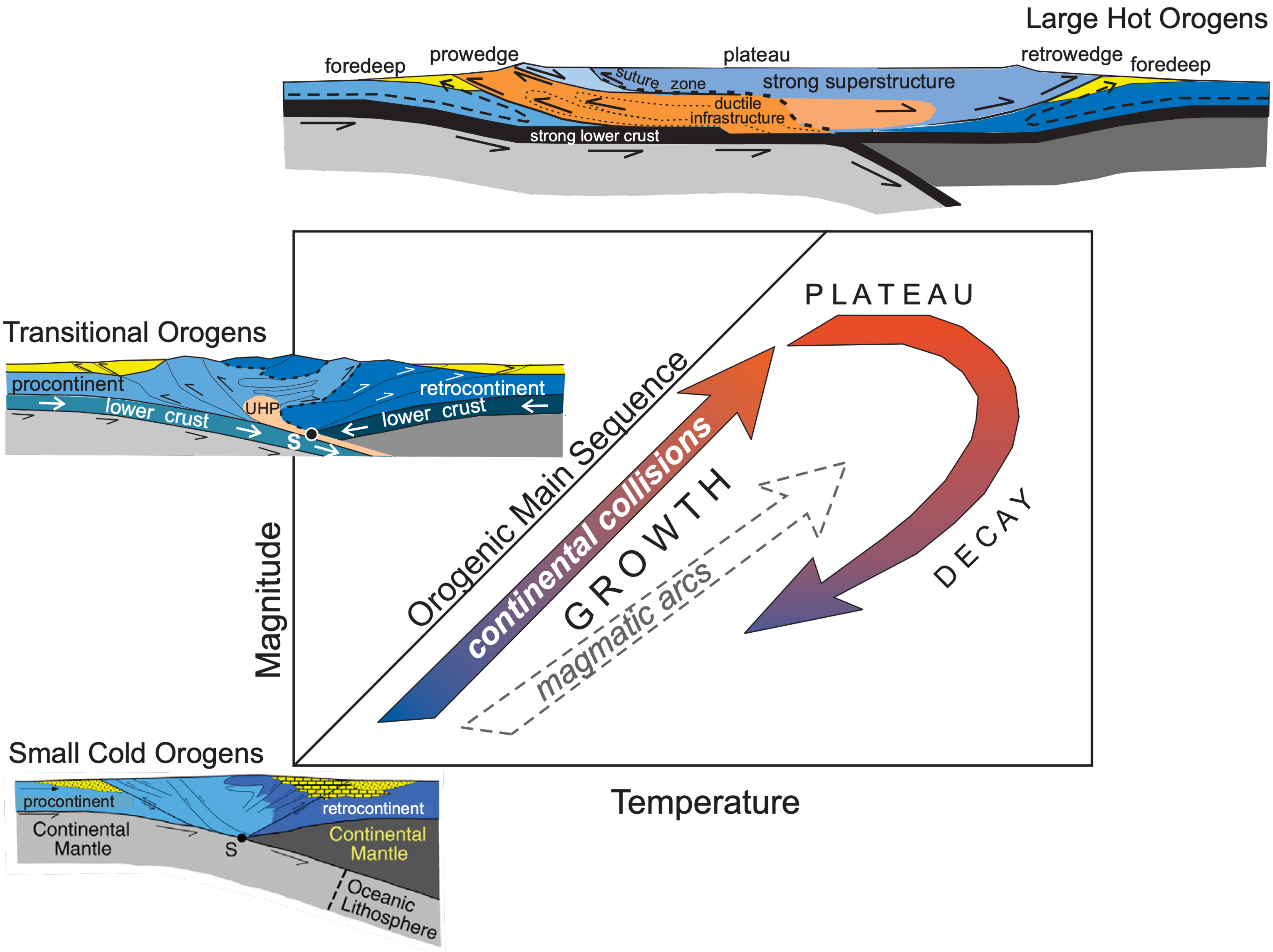


Cawood et al 2009

O exemplo dos Andes (Ramos, 2010)







Large Hot Orogens
foredeep
prowedge
plateau
retrowedge
foredeep
suture zone
strong superstructure
ductile
infrastructure
strong lower crust
Transitional Orogens
procontinent
retrocontinent
lower crust
lower crust
UHP
S
Small Cold Orogens
procontinent
retrocontinent
Continental Mantle
Continental Mantle
S
Oceanic Lithosphere
PLATEAU
Orogenic Main Sequence
continental collisions
GROWTH
magmatic arcs
DECAY
Magnitude
Temperature