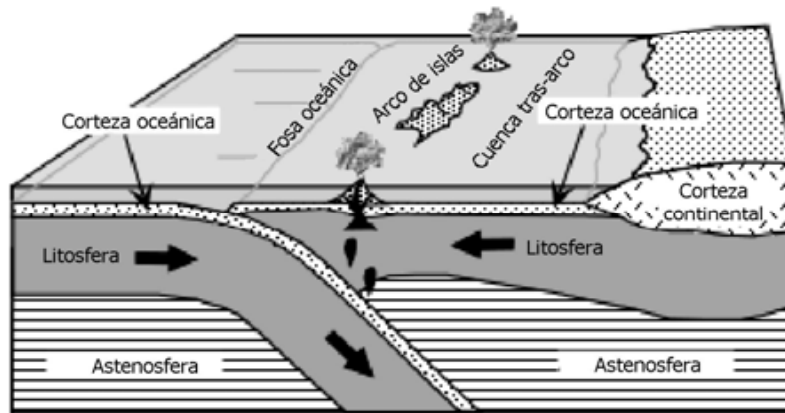


GEOTECTÔNICA TECTÔNICA GLOBAL

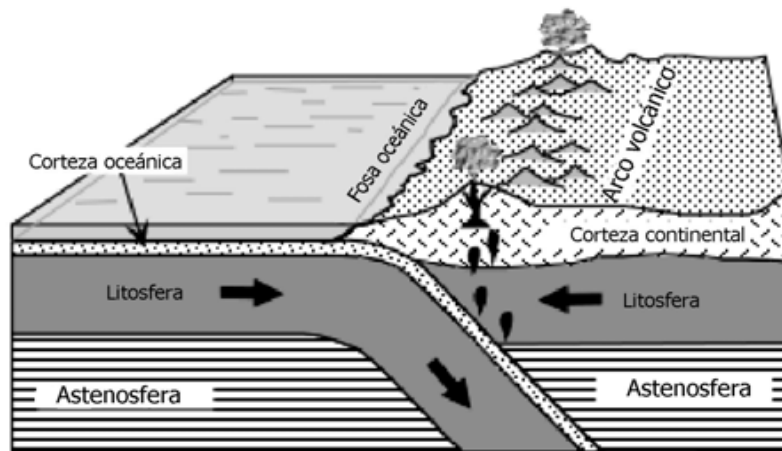
Prof. Eduardo Salamuni

**AULA 10c: BORDAS DE
PLACAS CONVERGENTES –
PROCESSOS ÍGNEOS**

MAGMATISMO EM BORDAS CONVERGENTES



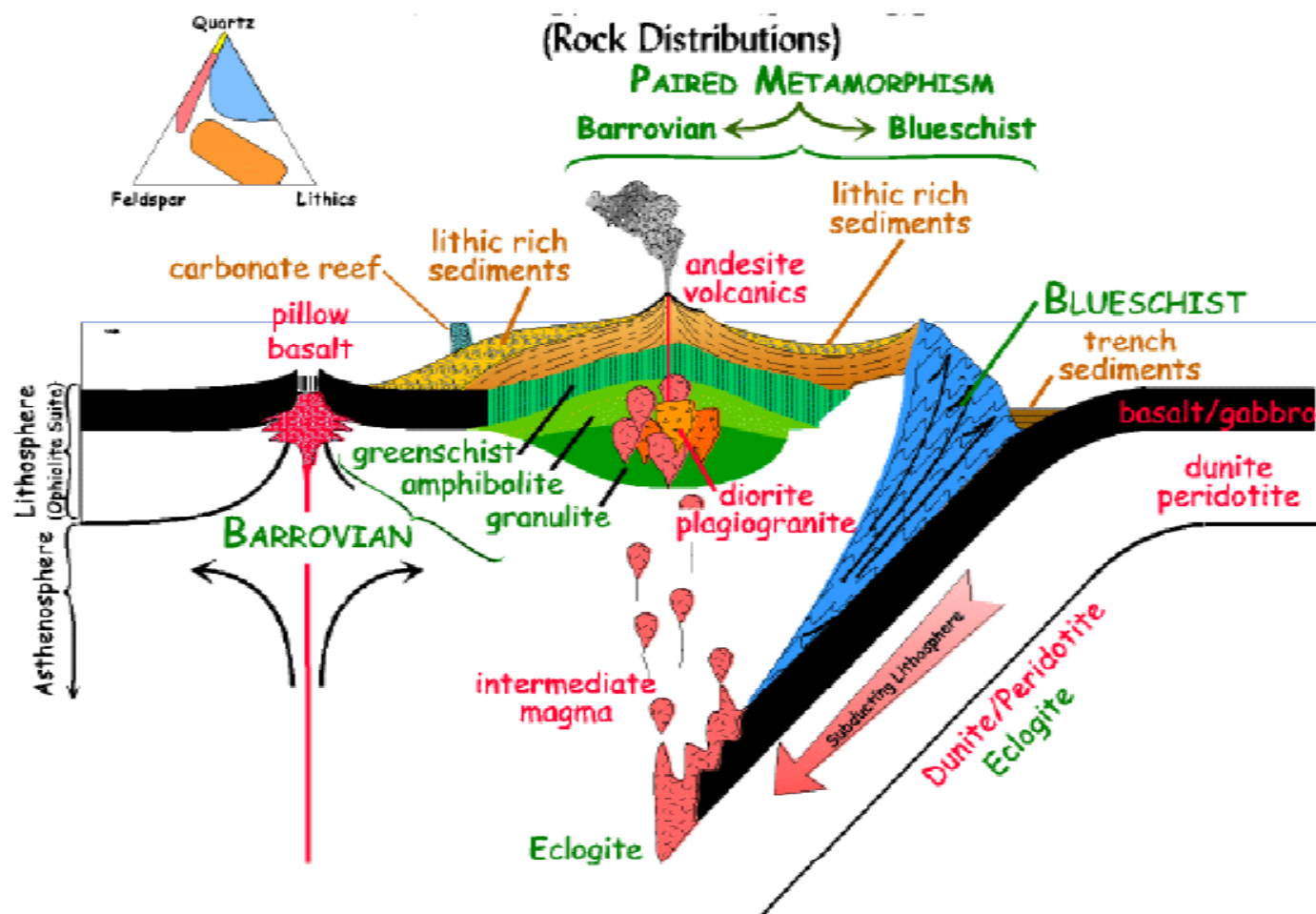
Convergencia océano-océano: Arco de ilhas



Convergencia océano-contidente: margen activo

- Em zonas de convergência a construção de arcos de ilhas e arcos continentais se deve a um intenso magmatismo de natureza diversificada, mas que mostra enriquecimento de elementos e empobrecimento de outros à medida que o mesmo se afasta da zona de subducção.

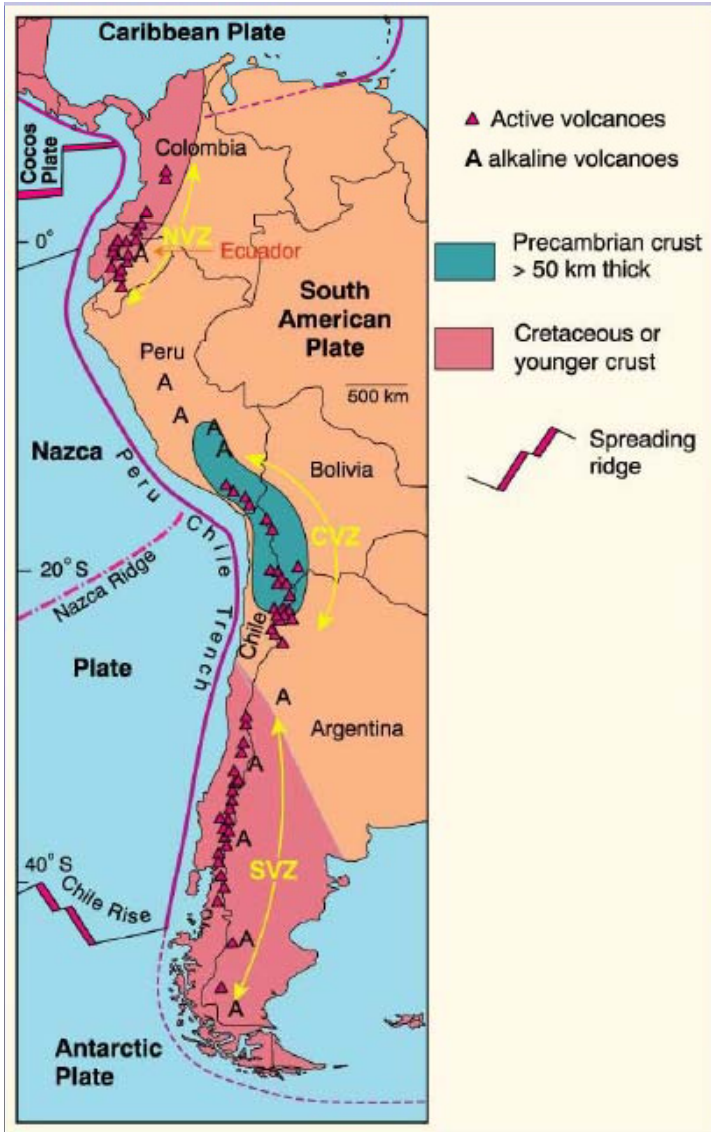
Sistema de Arco Magmático ou Vulcânico



Arco de ilha típico com os vários ambientes metamórficos e magmáticos típicos de zona de convergência

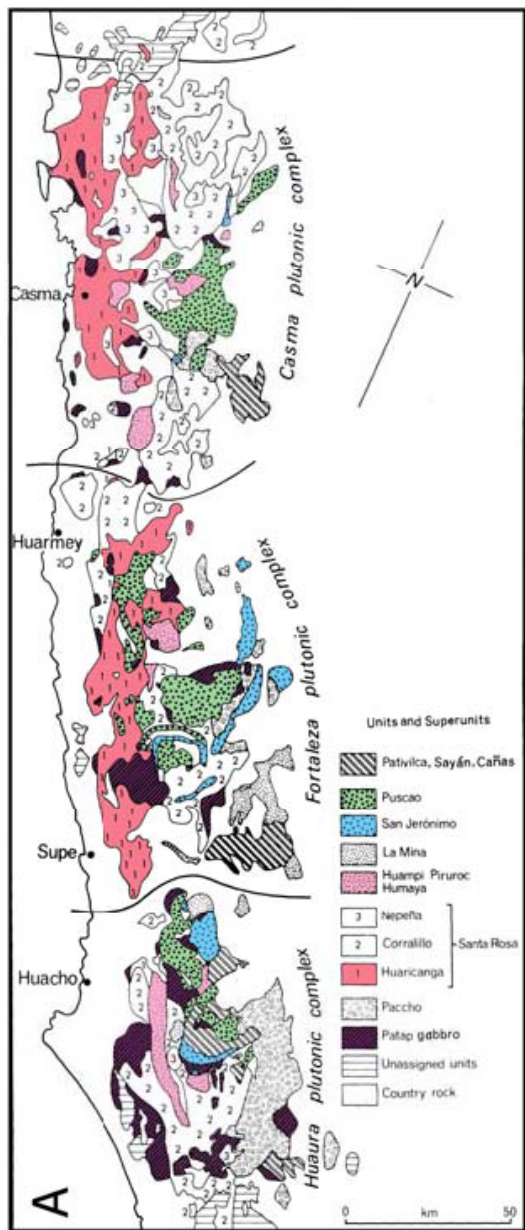


Exemplo de arco magmático insular: Japão



Arco vulcânico continental é típico de zona de convergência que afeta diretamente a crosta continental da placa superior (margem continental ativa)





Distribuição das diferentes unidades e segmentos intrusivos subvulcânicos que compõem o batólito do litoral em Lima (Peru).

Myers (1975) Geol. Amer Soc. Bull., 86, 1209-220.

Exemplos de edifícios ígneos em orógenos de arcos continentais



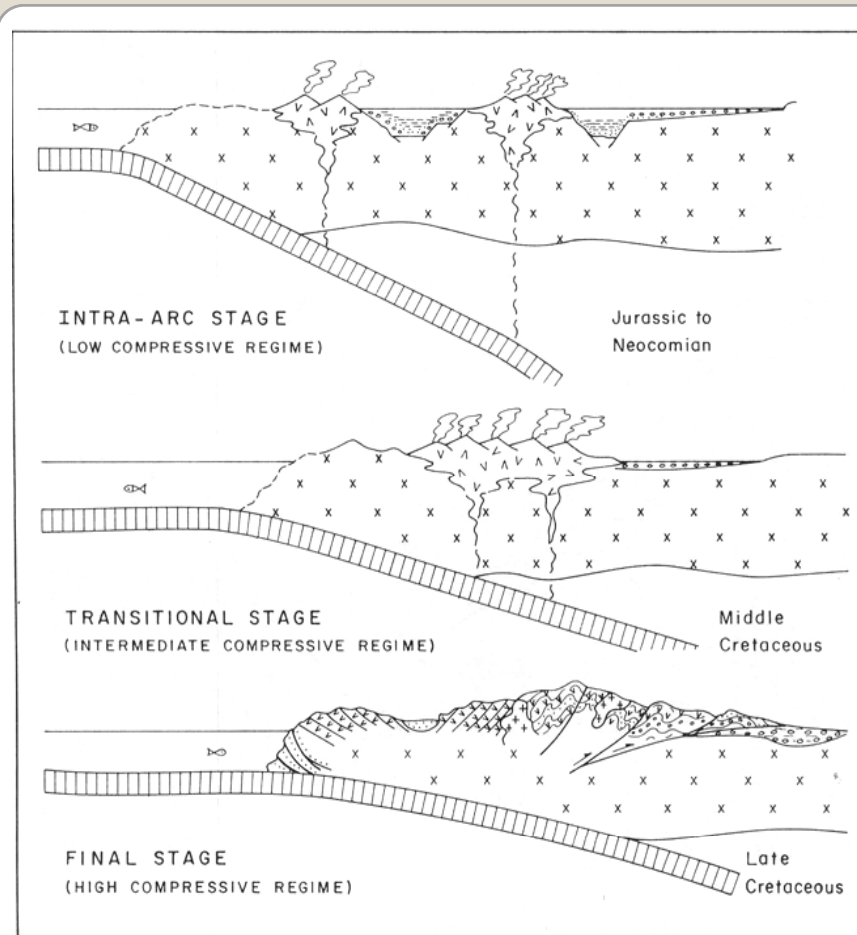
Osorno – Chile.
Foto: E. Salamuni



Batólito riolítico –
Argentina
Foto: E. Salamuni



O vulcão Lonquimai (Chile) é outro exemplo de edifício vulcânico construído sobre litosfera continental.



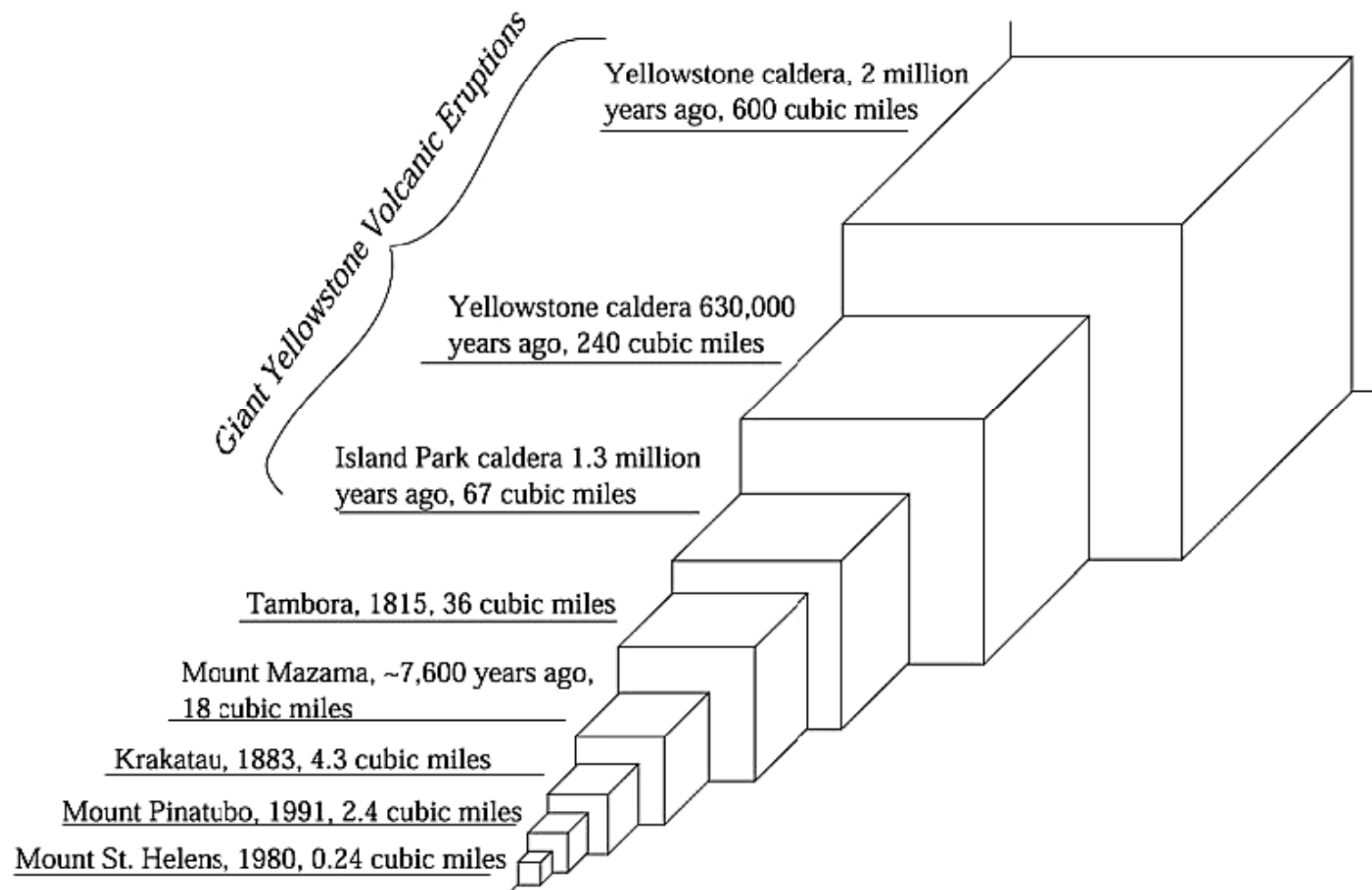
Evolução dos diferentes estágios do Ciclo Patagonides do Jurássico ao Cretáceo (fonte: vários autores)



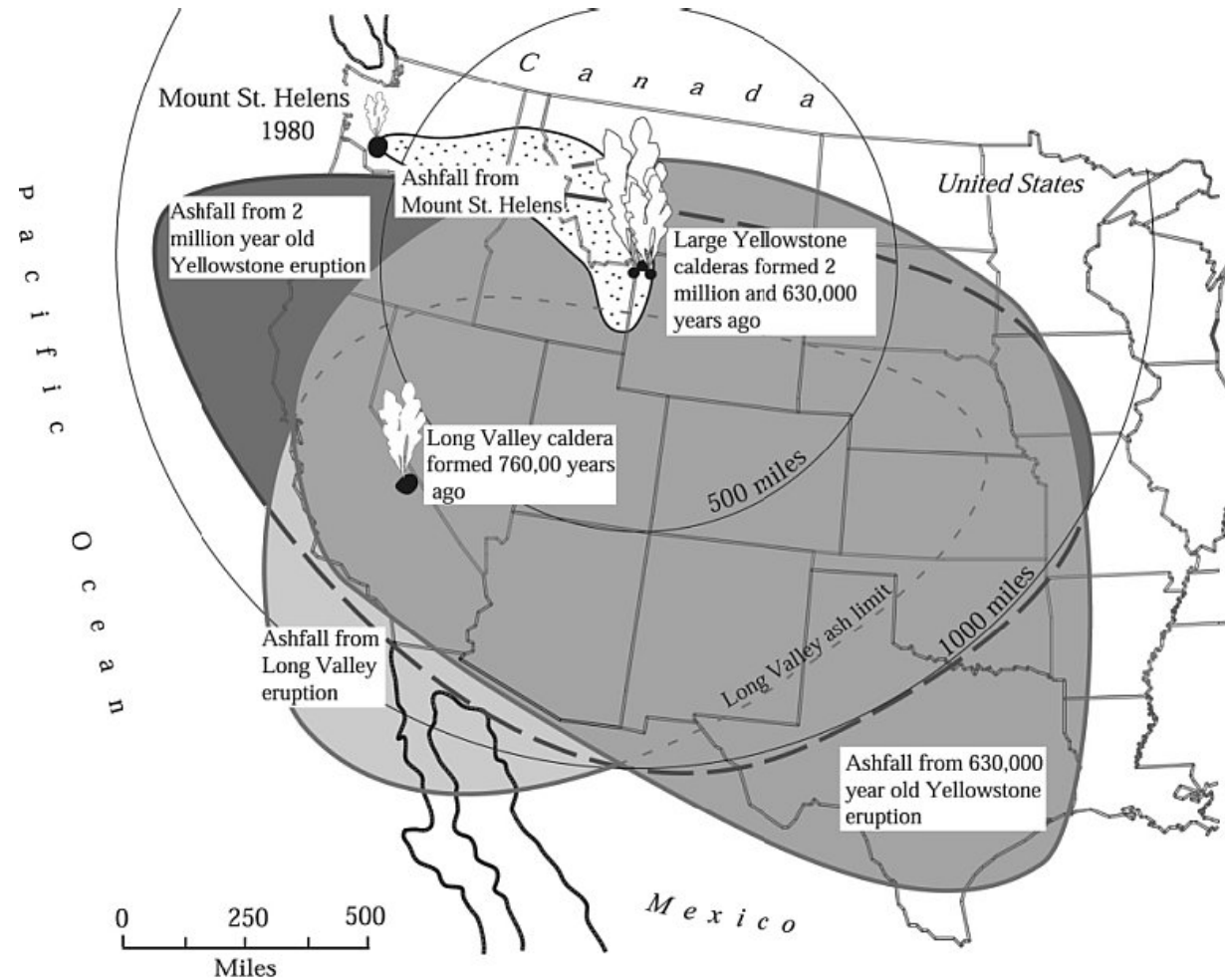
Los Cuernos (Chile) Foto: E. Salamuni



Torres del Paine (Chile) Foto: E. Salamuni

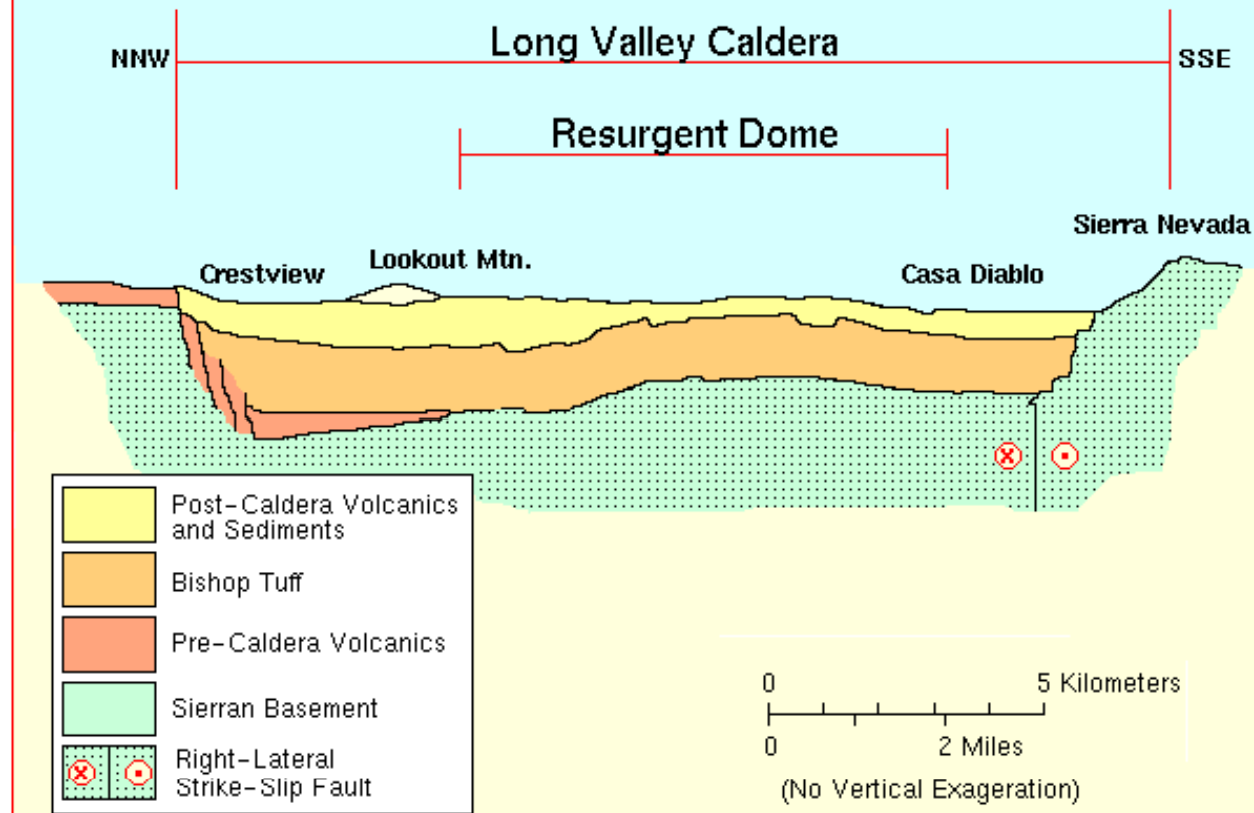


Volumes emitidos em sucessivos estágios de formação do sistema caldeira de Yellowstone, em relação ao volume emitido outros vulcões desenvolvimento recente piroclásticos (Fonte: USGS).



Distribuição areal dos depósitos de cinzas emitidas por diferentes sistemas de caldeiras estrato vulcões no oeste dos Estados Unidos. (Fonte: USGS).

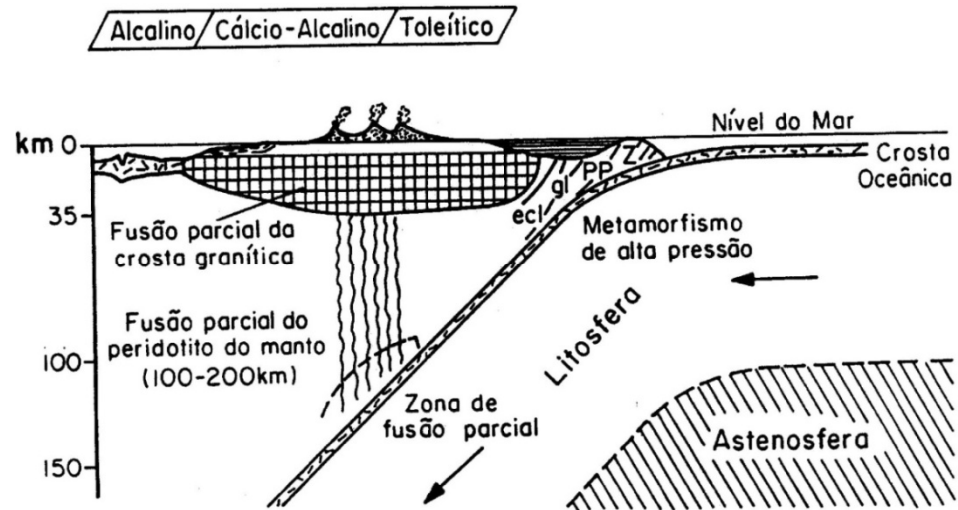
Vertical Section through Long Valley Caldera



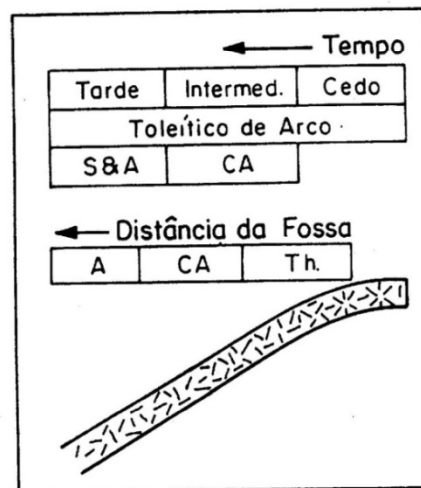
Topinka, USGSICVD, 1998, Modified from: Newhall and Dzurisin, 1988, USGS Bulletin 1855, from Fundle and Hill, 1988

Corte esquemático da cratera de *Long Valley*.

SUÍTES MAGMÁTICAS EM ZONAS DE SUBDUÇÃO

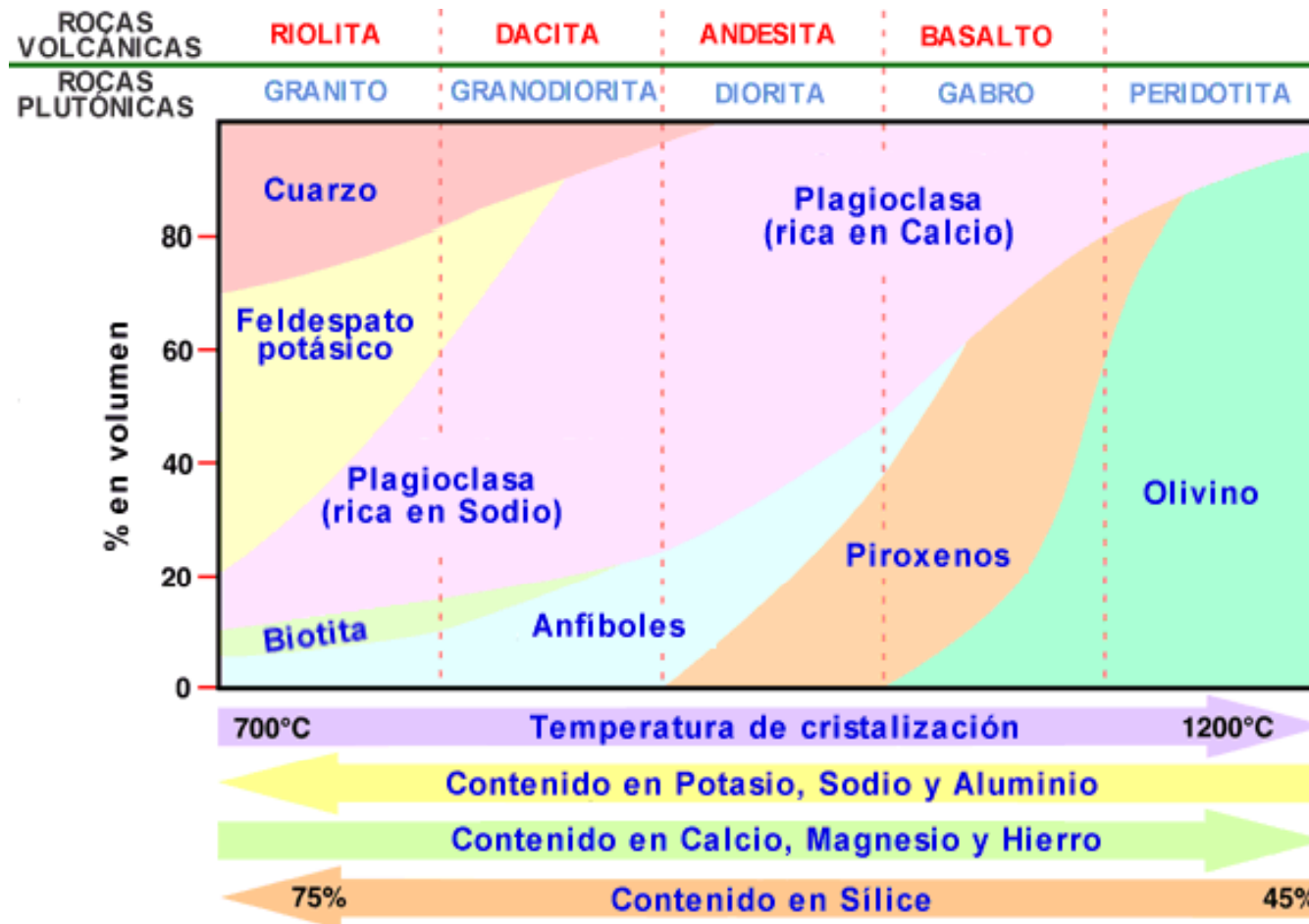


- Z Facies zeolitas
- PP Pumpellyita-prehnita
- gl Glaucofano-lawsonita
- ecl Eclogito

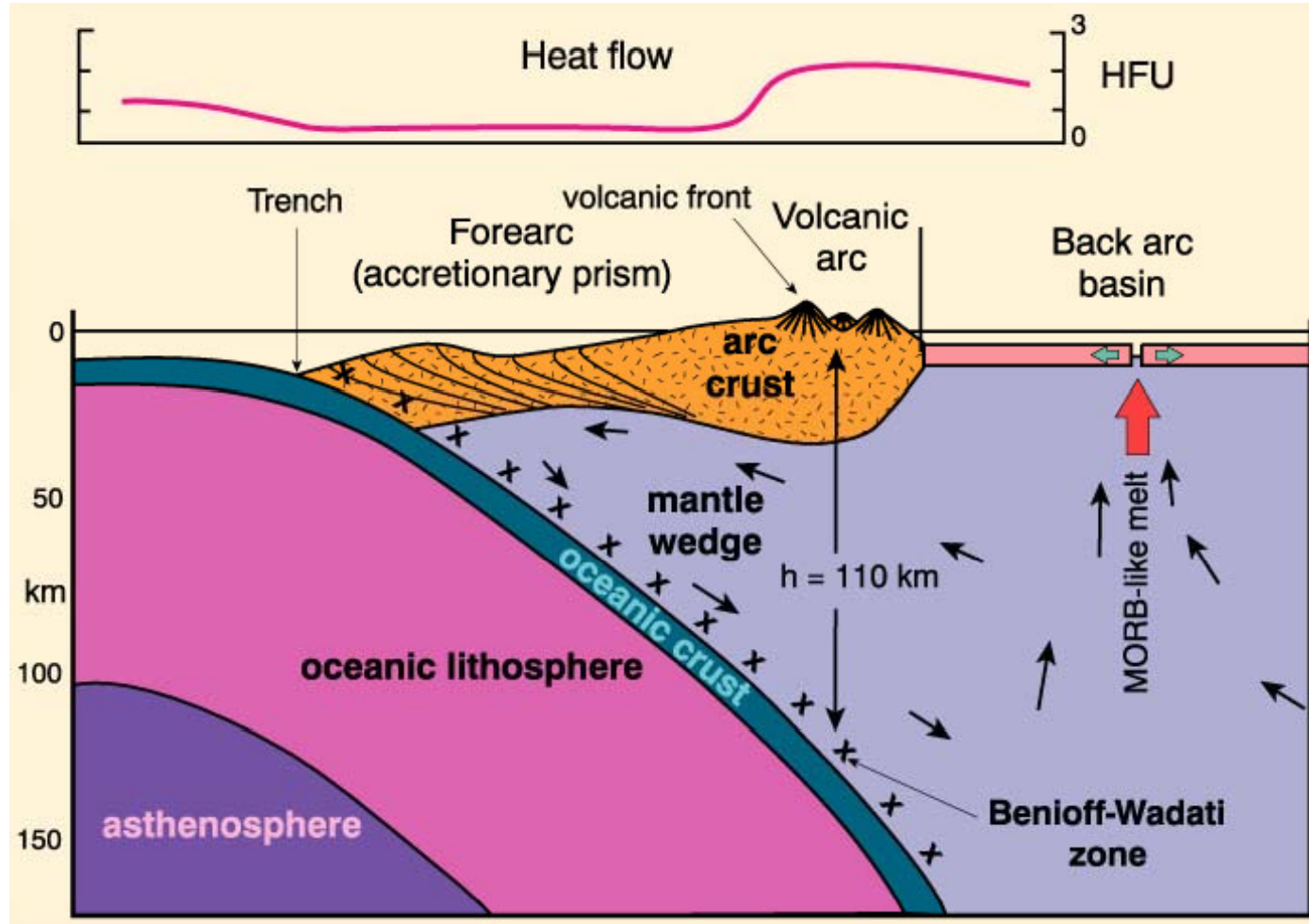


Zoneamento de suítes magmáticas de acordo com o sub-ambiente na zona de convergência: toleítico, cálcio-alcalino e alcalino

Fonte: B.B. de Brito Neves (1995)



O quadro mostra as características petrográficas de magmas mais ácidos à esquerda para os mais básicos à direita.



Seção esquemática através de um arco ilha típico. Fonte: Gill (1981), *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*. Springer-Verlag.
 HFU = *heat flow unit* (4.2×10^{-6} joules/cm²/seg)

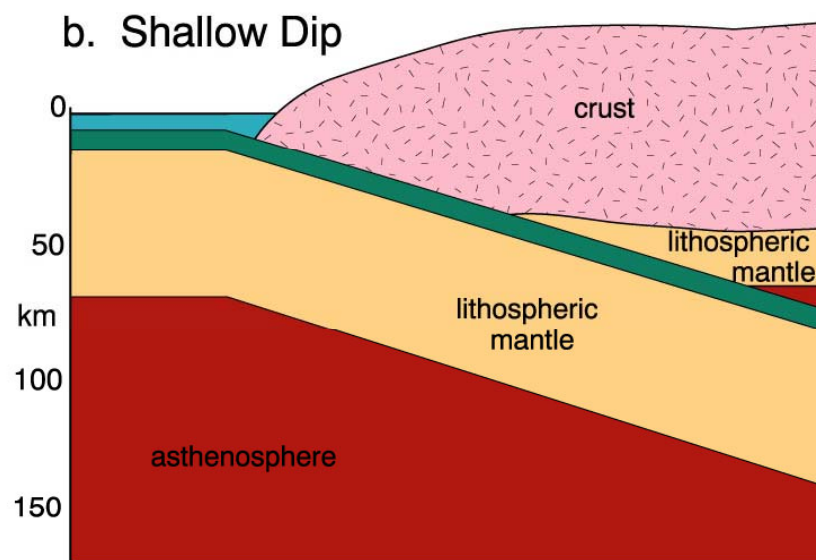
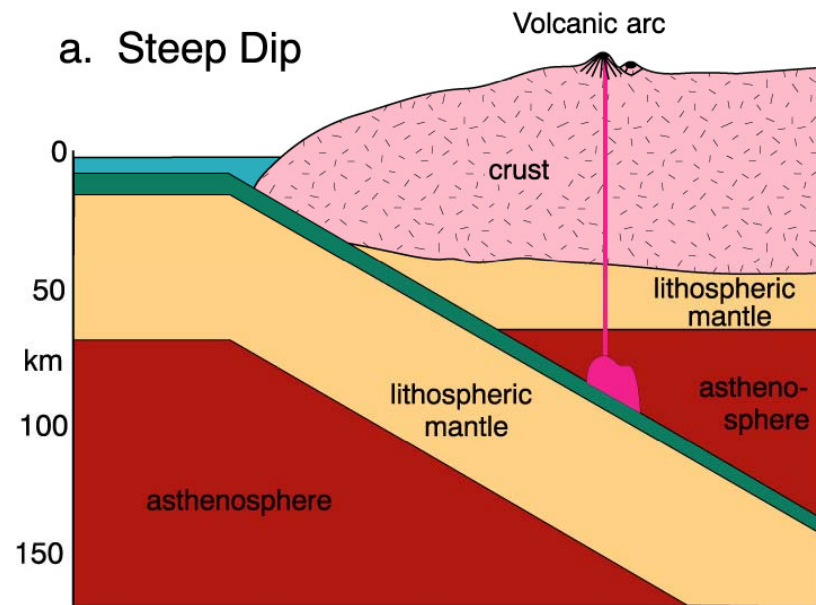
Dentre as principais variáveis que podem afetar as **isogeotermas** em sistemas de subducção, salientam-se as seguintes:

- 1) a taxa de subducção
- 2) a idade da zona de subducção
- 3) a idade da prancha (*slab litosférico*) subductada
- 4) A extensão do escoamento na cunha mantélica induzida pela prancha subductada

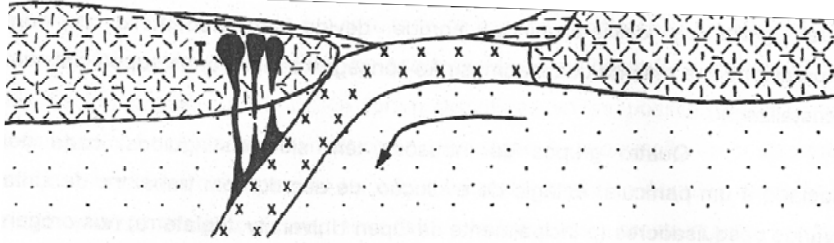
Além disso há outros fatores, como por exemplo:

- 5) Inclinação da *slab*
- 6) Aquecimento por fricção
- 7) Reações metamórficas endotérmicas, e
- 8) Escoamento de fluidos metamórficos (fator secundário)

Magmatismo Continental (margem ativa)



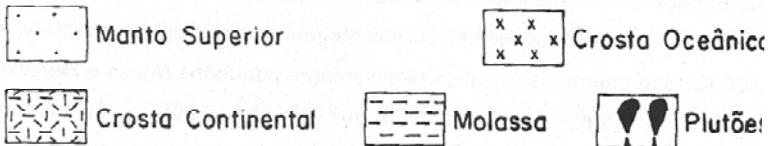
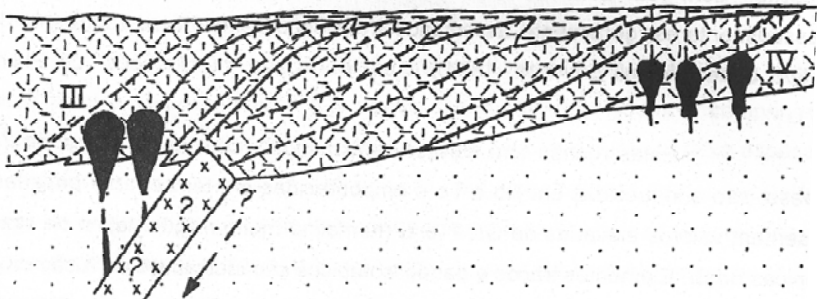
Winter (2001) An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. Prentice Hall.



B) Sin-colisão
Grupo II



C) Pós-colisão a Tardi-colisão
Grupos III e IV



Grupos magmáticos em orógenos colisionais (Bley, 1995, *after* Harris et al., 1986),

- Nas zonas de convergência as rochas vulcânicas e intrusivas subdividem-se em três suítes magmáticas (***suítes orogênicas***), cujos limites são gradativos.
- A variação de composição química e petrográfica das suítes nos diferentes arcos, pode ser causada por:
 - (a) diferenças no grau de contaminação
 - (b) variações na mistura de magmas
 - (c) diferenciação do magma original
 - (d) diferença no grau de fusão parcial do manto
 - (e) diferentes graus de contribuição de rochas sedimentares carregadas pela placa subductada.

- A incidência das suítes **toleíticas**, **shoshoníticas** e **cálcio-alcalinas** estão relacionadas à profundidade da Zona de Benioff e variam lateralmente nesta ordem da fossa para o arco, delineando zoneamento espacial.
- Igualmente existe um zoneamento geográfico-temporal, pois o arco, durante a evolução, desloca-se no sentido de afastamento da fossa, alargando o domínio antearco e ao mesmo tempo, o magmatismo passa de **toleítico** para **cálcio-alcalino**, inclusive com intensidade decrescente.

(a) Suíte Toleítica

(ou série toleítica de arco insular), cujas características são:

- * variam de toleítos (principalmente basaltos) até rochas andesíticas, dacíticas e riolíticas de baixo teor em **K**
- * as vulcânicas possuem alto **Fe**; o padrão de ETR (elementos de terras raras) é do tipo condrítico
- * as vulcânicas aparecem nos arcos mais intra-oceânicos jovens e mais antigos, e nos arcos de zonas de polaridade inversa
- * o magma deriva de 90-130 Km de profundidade

(b) Suíte Cálcio-Alcalina

(aproximadamente igual às hiperstênicas e de basaltos com alumina alta):

* as rochas variam de basaltos, com alumina alta, para andesitos, dacitos e riolitos, todas com médio **K**; andesitos são mais frequentes

* vulcânicas apresentam quantidades moderadas de **Fe**

* vulcânicas desta suíte aparecem em arcos intra-oceânicos jovens (derivam de 120-130 Km de profundidade); em arcos intra-oceânicos mais antigos (derivados de 100-140 Km de profundidade); em arcos de zonas de polaridade inversa (derivados entre 150 a 200-300 Km de profundidade) e em arcos montanhosos (derivados de 90-240 Km de profundidade)

(c) suíte Cálcio-Alcalina com alto K ou Shoshonítica:

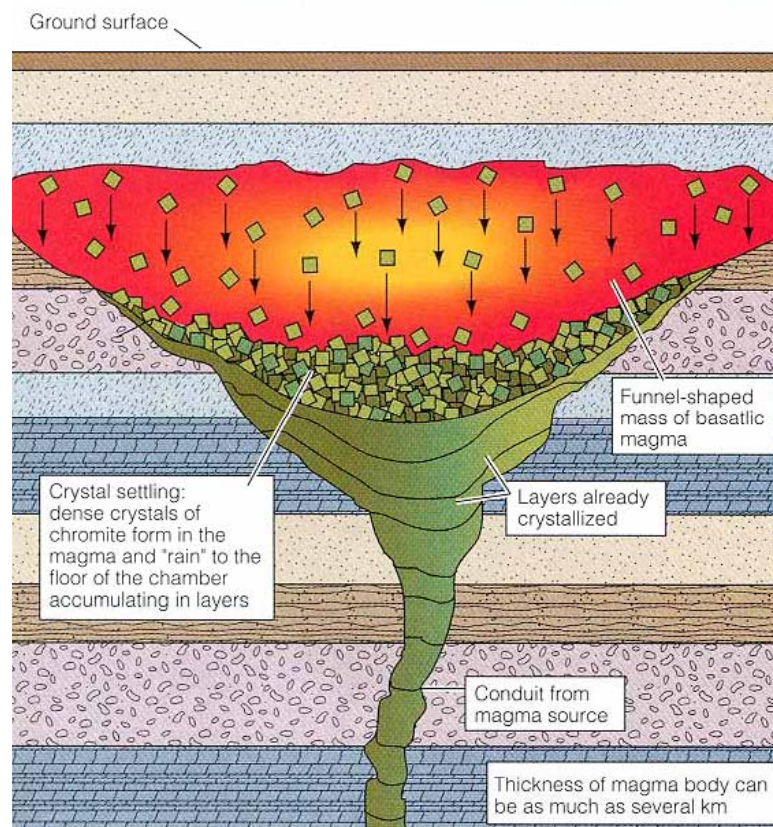
* rochas variam de basaltos alcalinos a andesitos, dacitos e riolitos, todos com **K** alto; ou de gabro a dioritos, tonalitos ou trondhjemitos e granitos. Riolitos e granitos são, em geral, termos mais frequentes;

* vulcânicas têm quantidades moderadas a nulas de **Fe**; padrão de ETR enriquecidos em elementos incompatíveis como **Rb**, **Ba**, **Zr**, **Th** e **U**;

* as vulcânicas desta suíte não são conhecidas em arcos intra-oceânicos jovens mas aparecem em arcos intra-oceânicos antigos (provindo de cerca de 270 Km de profundidade) e em arcos montanhosos e de margens continentais (provindo de mais de 240 Km de profundidade).

SOBRE A DERIVAÇÃO MAGMÁTICA

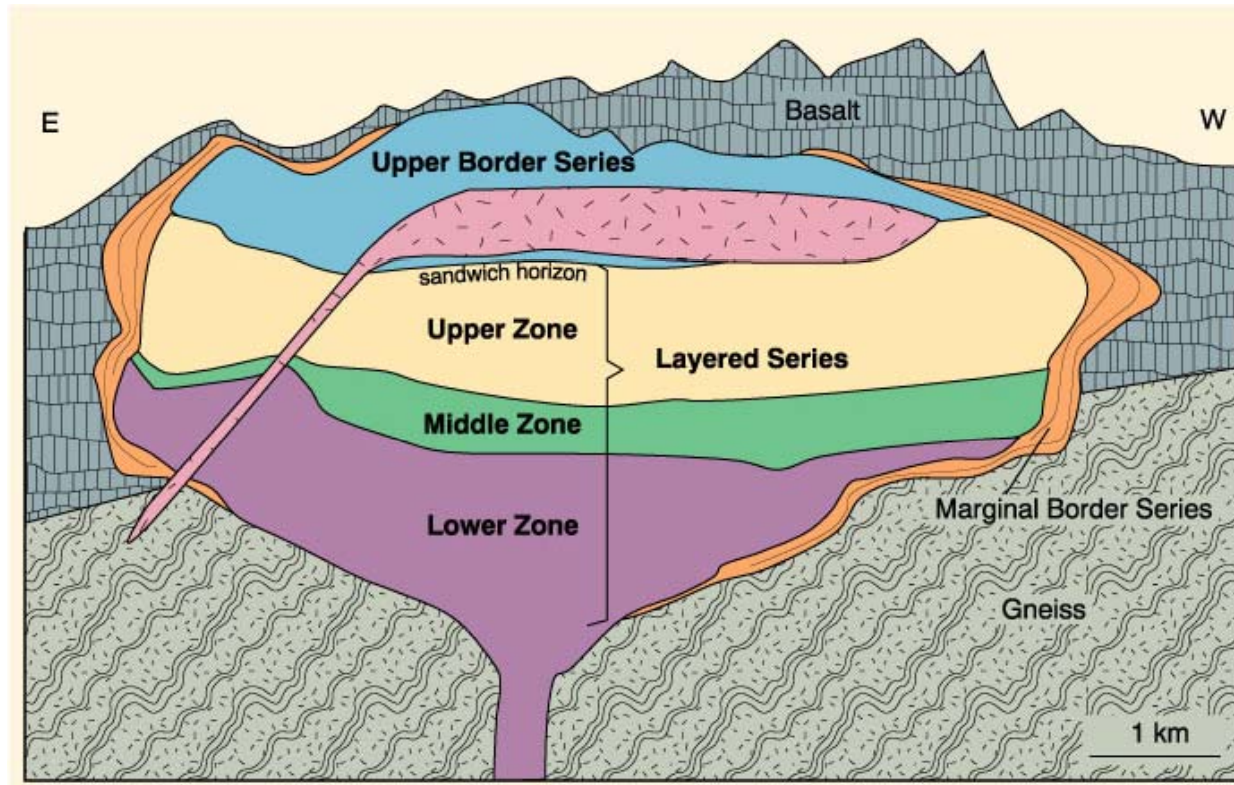
- Considera-se que a derivação se dê a partir de basaltos da placa subductada ou de peridotitos do manto da placa superior e que há contribuição de sedimentos carregados pela subducção.



**Mecanismos de
concentração
mineralógica em
processos
ígneos**

Para os grandes batólitos granitóides admite-se fusão parcial de prismas vulcano-sedimentares de acreção juntamente com forte contaminação a partir da crosta continental.

Segregação, mistura de magmas e contaminação crustal



Hoover (1978) Carnegie Inst. Wash., Yearb., 77, 732-739.

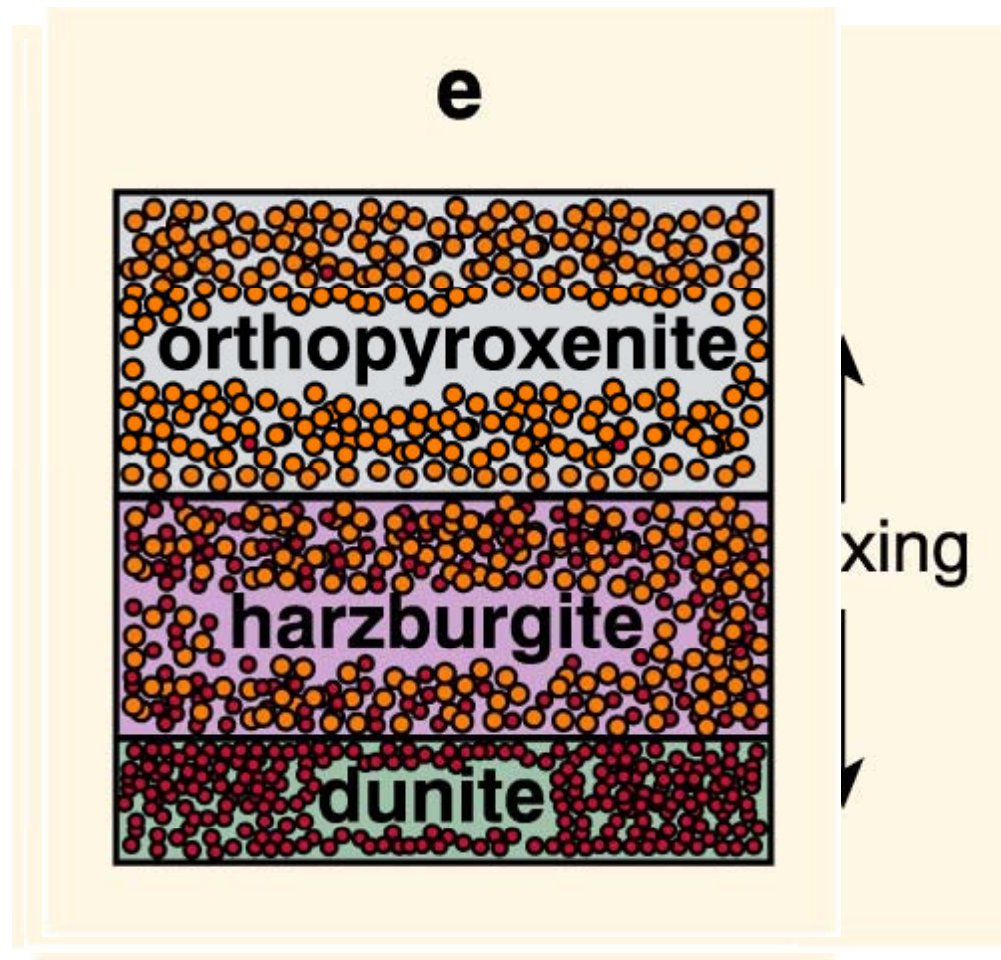


Ilustração esquemática do modelo de desenvolvimento de uma unidade cíclica na Zona Ultramáfica do Complexo de Stillwater por meio do influxo de magma primitivo (+ quente) em câmara magmática contendo líquidos mais frios e mais evoluídos.

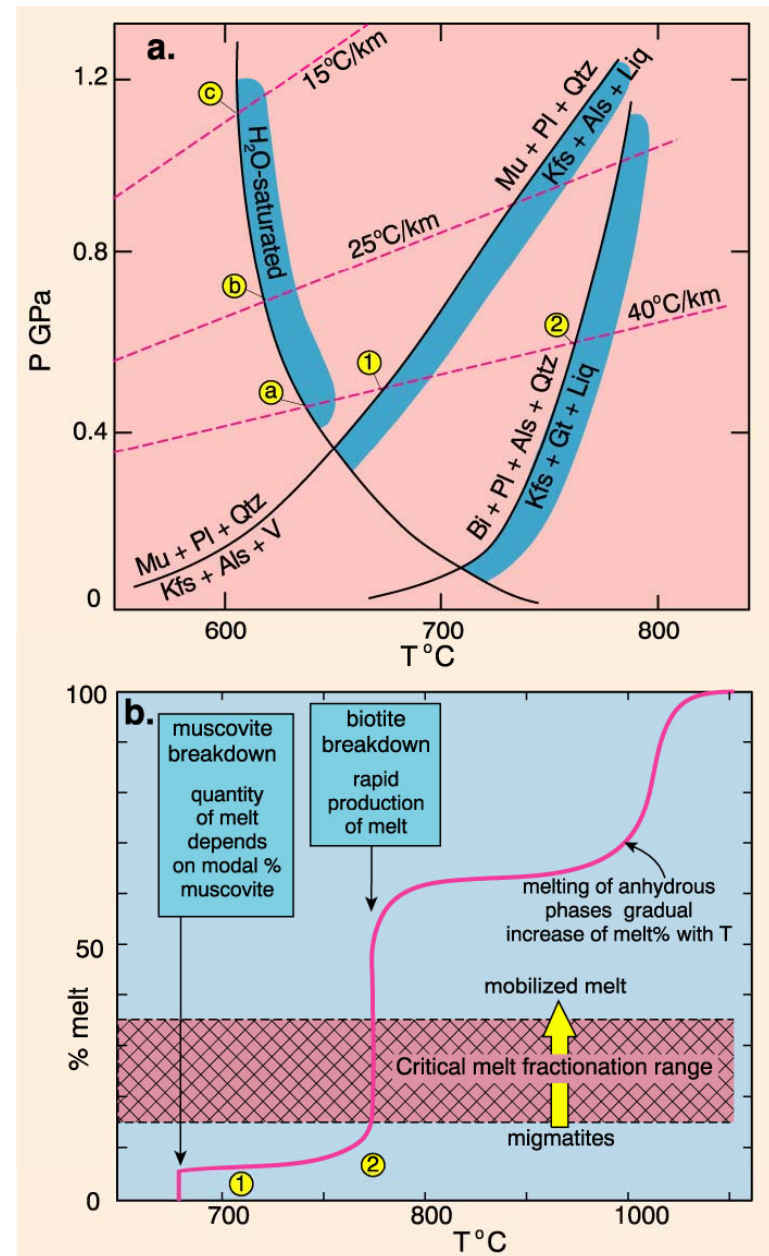
Fonte: Raedeke and McCallum (1984) *J. Petrol.*, 25, 395-420.

(a) Diagrama de fases simplificado e
(b) quantidade de líquido gerado pela fusão de rochas crustais contendo muscovita e biotita.

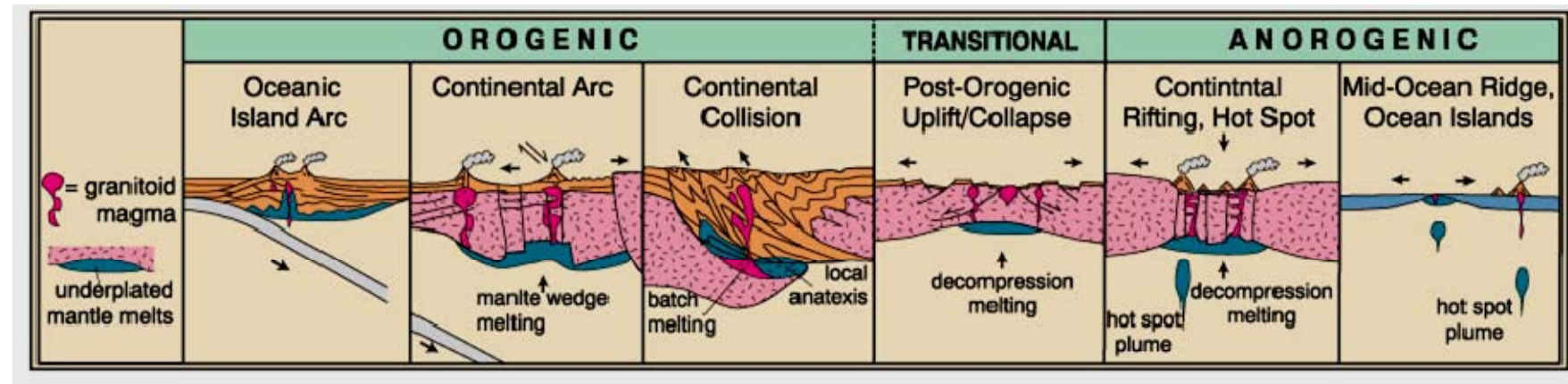
- A fusão associada à ruptura da muscovita gera pequenas quantidades de magma que, normalmente, não revela potencial significativo para ascender na crosta.
- As reações de fusão associadas à ruptura da biotita geram grande volume de magma com condições de ascender na crosta.

Fonte: Clarke (1992) *Granitoid Rocks*. Chapman Hall, London, e Vielzeuf and Holloway (1988) *Contrib. Mineral. Petrol.*, 98, 257-276.

Áreas sombreadas em (a) indicam a gênese de líquido silicatado - ver Winter (2001) *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall.



SÍTIOS GEOTECTÔNICOS E O MAGMATISMO

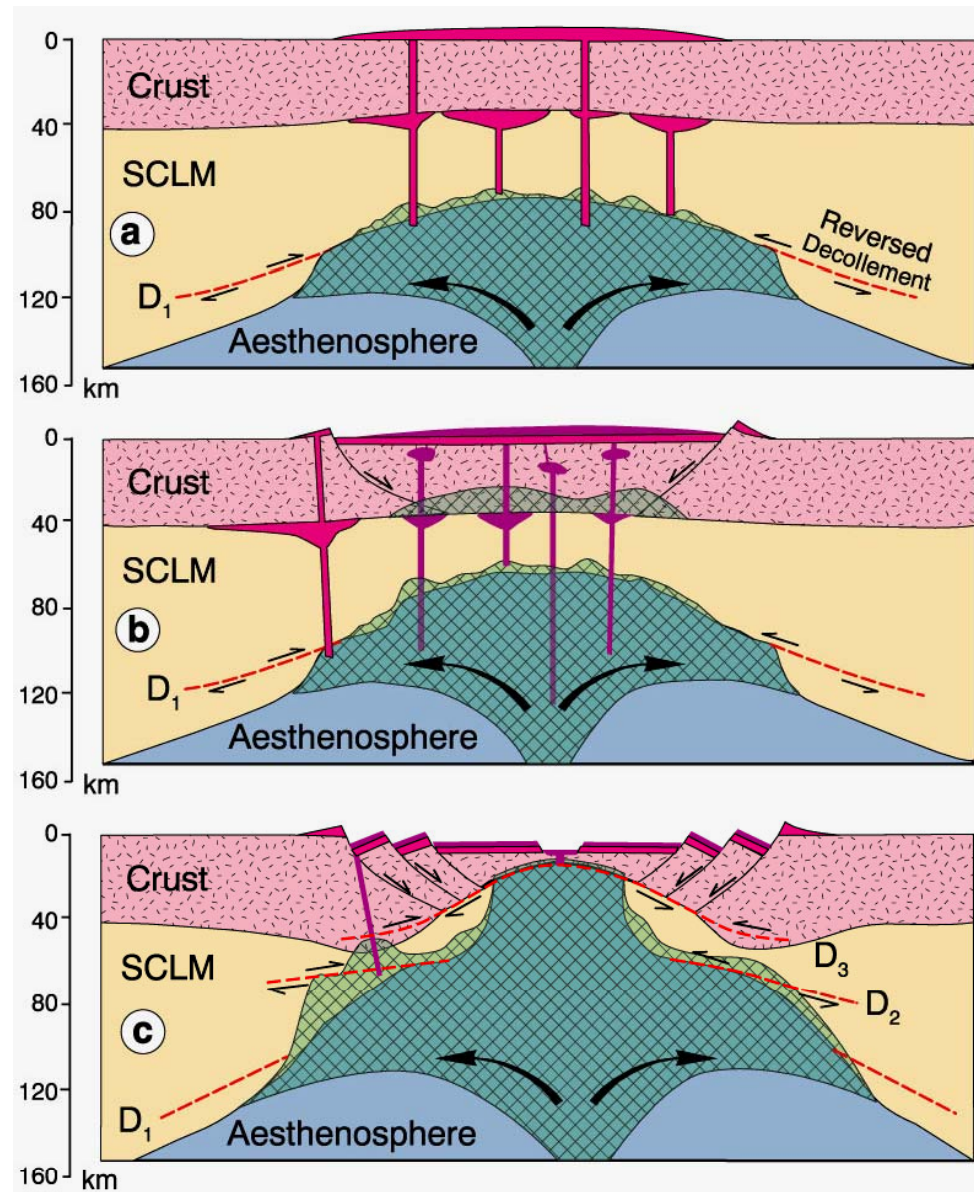


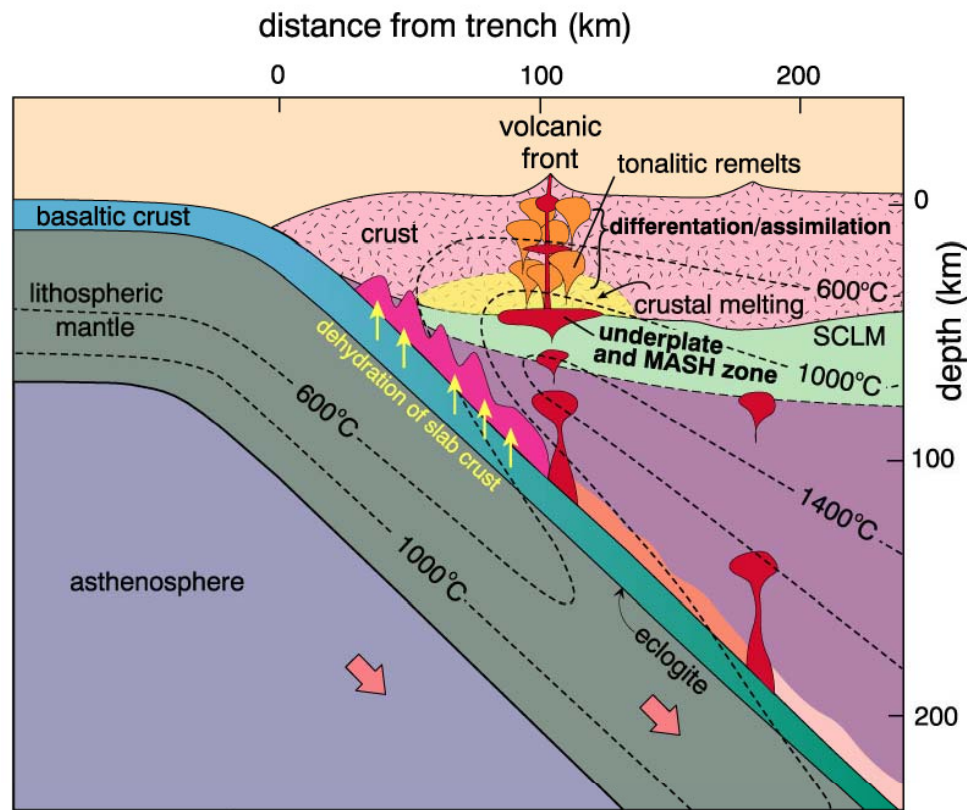
Fonte: Pitcher (1983) in K. J. Hsü (ed.), *Mountain Building Processes*, Academic Press, London; Pitcher (1993), *The Nature and Origin of Granite*, Blackie, London; and Barbarin (1990) *Geol. Journal*, 25, 227-238. Winter (2001) *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall.

Modelo de desenvolvimento de *rifting* intracontinental:

- (a) estágio pré-*rifting* – magmatismo alcalino gerado por descompressão;
- (b) estágio de *rifting* - magmatismo alcalino e anatexia;
- (c) estágio tardio (ascensão da astenosfera atinge os níveis crustais).

Fonte: Kampunzu and Mohr (1991), *Magmatic evolution and petrogenesis in the East African Rift system*. In A. B. Kampunzu and R. T. Lubala (eds.), *Magmatism in Extensional Settings, the Phanerozoic African Plate*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 85-136, e de Winter (2001) *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall.



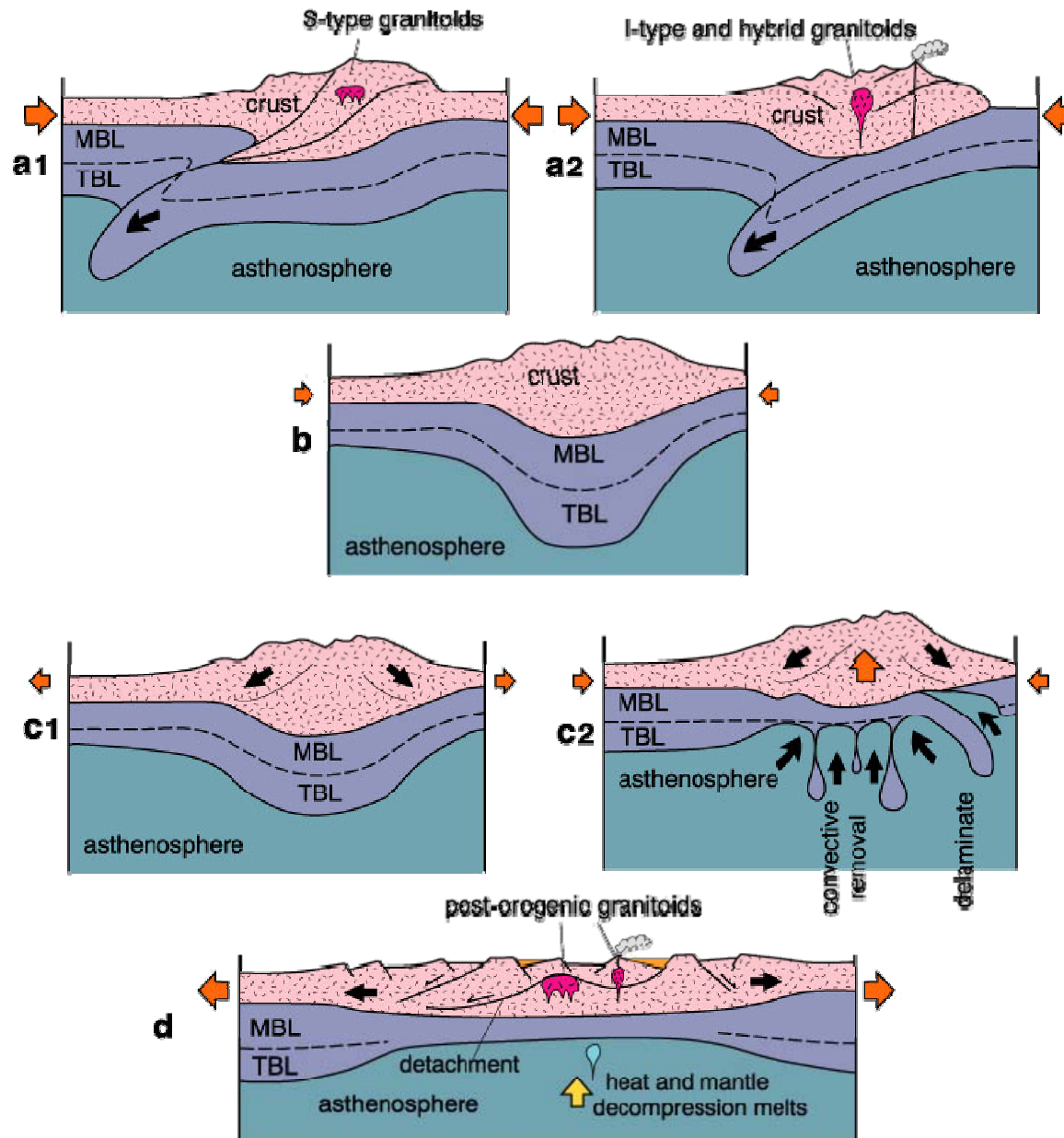


Características do processo de subducção, envolvendo

- (a) desidratação de materiais subductados;
- (b) fluxo da cunha do manto
- (c) desenvolvimento dos processos de fusão do manto pelas isothermas de temperatura de maior temperatura.

MASH =
Melting
Assimilation
Storage
Homogenisation

Winter (2001) An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. Prentice Hall.



| | OROGENIC | | | TRANSITIONAL | ANOROGENIC | |
|--|---|--|--|--|--|---|
| | Oceanic Island Arc | Continental Arc | Continental Collision | Post-Orogenic Uplift/Collapse | Continental Rifting, Hot Spot | Mid-Ocean Ridge Ocean Islands |
| | | | | | | |
| Examples | Bougainville, Solomon Islands, Papua New Guinea | Mesozoic Cordilleran batholiths of west Americas Gander Terrane | Manaslu and Lhotse of Nepal, American Massif of Brittany | Late Caledonian Plutons of Britain, Basin and Range, late Variscan, early Northern Proterozoic | Nigerian ring complexes, Oslo rift, British Tertiary Igneous Province, Yellowstone hotspot | Oman and Troodos ophiolites; Iceland, Ascension and Reunion Island intrusives |
| Geo-chemistry | Calc-alkaline > thol. M-type & I-M hybrid Metaluminous | Calc-alkaline I-type > S-type Met-Al to sl. Per-Al | Calc-alkaline S-type Peraluminous | Calc-alkaline I-type S-type (A-type) Metalum. to Peralum | Alkaline A-type Peralkaline | Tholeiitic M-type Metaluminous |
| Rock types | qtz-diorite in mature arcs | tonalite & granodior. > granite or gabbro | migmatites & leucogranite | bimodal granodiorite + diorite-gabbro | Granite, syenite + diorite-gabbro. | Plagiogranite |
| Associated Minerals | Hbl > Bt | Hbl, Bt | Bt, Ms, Hbl, Grt, Als, Crd | Hbl > Bt | Hbl, Bt, aegirine fayalite, Rbk, arfved. | Hbl |
| Associated Volcanism | Island-arc basalt to andesite | Andesite and dacite in great volume | often lacking | basalt and rhyolite | alkali lavas, tuffs, and caldera infill | MORB and ocean island basalt |
| Classification Barbarin (1990) | T _{IA} tholeiite island arc | H _{CA} hybrid calc-alkaline | C _{ST} C _{CA} C _{CI} continental types | H _{LO} hybrid late orogenic | A alkaline | T _{OR} tholeiite ocean ridge |
| Pearce <i>et al.</i> (1984) | VAG (volcanic arc granites) | | COLG (collision granites) | | WPG and ORG (within plate and ocean ridge granites) | |
| Maniar & Piccoli (1989) | IAG island arc granite | CAG contin. arc granite | CCG cont. collision gran. | POG post-orogenic gran. | RRG CEUG rift & aborted/hotspot | OP ocean plagiogranite |
| Origin | Partial melting of mantle-derived mafic underplate | PM of mantle-derived mafic underplate + crustal contribution | Partial melting of recycled crustal material | Partial melting of lower crust+ mantle and mid-crust contrib | Partial melting of mantle and/or lower crust (anhydrous) | Partial melting of mantle and fractional crystallization |
| Melting Mechanism | Subduction energy: transfer of fluids and dissolved species from slab to wedge. Melting of wedge, transfer of heat upward | | Tectonic thickening plus radiogenic crustal heat | Crustal heat plus mantle heat (rising asthen. + magmas) | Hot spot and/or adiabatic mantle rise | |