

Magmas e formação de rochas ígneas



Consultar também a apresentação prática sobre rochas ígneas (relatório) e os temas da Estrutura da Terra e da Tectónica de Placas para ficar com uma boa ideia de conjunto, da escala macroscópica aos locais de ocorrência das principais rochas ígneas

O que é um magma?

Um fundido (geralmente silicatado) + cristais + gases (H_2O , CO_2 , SO_2 , Cl, F, etc...), que é gerado no interior da Terra, provido de mobilidade. Quando um magma atinge a superfície e começa a fluir perde os seus componentes gasosos e transforma-se em **lava**.

Magmatismo

Domínio profundo – **Plutonismo**

À superfície - **Vulcanismo**

Grandes tipos de magmas

Magmas **primários** ou **ortomagmas** e magmas **secundários** – os fluidos seus derivados, que estão na origem das diversas rochas ígneas, designam-se por fracções magmáticas

Ortomagmas – origem muito profunda (manto superior, cristalização 700°C a 1300 °C, pobres em voláteis)

– Magmas **basálticos** –

Magmas secundários – resultantes da fusão de materiais na base da crosta, cristalização 400°C a 1000 °C, mais ricos em voláteis)

– Grande maioria dos magmas **graníticos**–

Qual é a composição química dos magmas ?

A composição dos magmas é variável.

Este facto é evidenciado pela diversidade de rochas ígneas que ocorrem na superfície terrestre ou nas zonas mais profundas, e pelos diferentes tipos de erupções vulcânicas.

Através do estudo químico pormenorizado dos diferentes tipos de rochas ígneas, e das suas associações mútuas, os magmas são em **4 tipos químicos principais**



a seguir

Ácidos ricos em SiO_2 , Na_2O e K_2O . As rochas geradas a partir deste tipo de magmas podem ter **mais de 77%**, em peso, de SiO_2 . O *granito* é um exemplo de uma rocha ácida, e a maioria dos magmas ácidos são designados por "**graníticos**".

Intermédios: ricos em SiO_2 , Na_2O e K_2O , assim como CaO e Al_2O_3 . As rochas geradas por este tipo de magmas têm valores de SiO_2 , em peso, compreendidos entre **55 e 65%**.

Básicos: ricos em CaO , MgO e FeO . As rochas deste tipo têm valores de SiO_2 , em peso, compreendidos entre **45 e 55%**. O basalto é um exemplo de uma rocha básica, e muito magmas básicos magmas são genericamente como "**basálticos**".

Ultrabásicos: São magmas pobres em SiO_2 , mas com grande quantidade de FeO e MgO . As rochas ultrabásicas podem apresentar valores de SiO_2 muito baixos, **inferiores a 38%** em peso. Apresentam-se na tabela 1 as composições químicas medias de algumas rochas ígneas pertencentes aos quatro tipos referidos.

Composição química média de rochas ígneas

Óxido	Ácidas (Granito)	Intermédias (Andesito)	Básicas (Basalto)	Ultrabásicas (Peridotito)
SiO ₂	71.3	57.94	49.2	42.26
TiO ₂	0.31	0.87	1.84	0.63
Al ₂ O ₃	14.32	17.02	15.74	4.23
Fe ₂ O ₃	1.21	3.27	3.79	3.61
FeO	1.64	4.04	7.13	6.58
MnO	0.05	0.14	0.2	0.41
MgO	0.71	3.33	6.73	31.24
CaO	1.84	6.79	9.47	5.05
Na ₂ O	3.68	3.48	2.91	0.49
K ₂ O	4.07	1.62	1.1	0.34
H ₂ O	0.77	1.17	0.95	3.91
CO ₂	0.05	0.05	0.11	0.30
P ₂ O ₅	0.12	0.21	0.35	0.10

O que é a viscosidade e que factores a controlam? (uma propriedade muito importante!)

Viscosidade – Fricção interna de um fluido que o torna resistente ao fluxo

Viscosidades elevadas implicam uma maior quantidade de fricção para que se verifique fluxo

Fluido Newtoniano: baixa viscosidade, não oferece resistência ao fluxo (ex. água)

A viscosidade dos magmas depende de:

Composição

- Quanto **maior o conteúdo em SiO_2** maior a viscosidade
- Quanto **menos voláteis** maior a viscosidade
- Quanto **menos elementos alcalinos** maior a viscosidade

Temperatura

- Quanto menor a temperatura maior a viscosidade

Magmas basálticos

(localização)

Toleíticos – basaltos das cristas médio-oceânicas

Alcalinos – basaltos situados no interior das placas
(zonas profundas do manto)

Andesíticos – localizam-se cinturas orogénicas

Como se formam os magmas ?

A maioria dos magmas é gerada por **fusão parcial** na **astenosfera**, mas este processo também pode ocorrer nos níveis mais superiores do manto ou na **base da crosta** (zonas inferiores da litosfera). Para compreender este processo, e a profundidade a que ele se verifica, devem ter-se em consideração três aspectos:

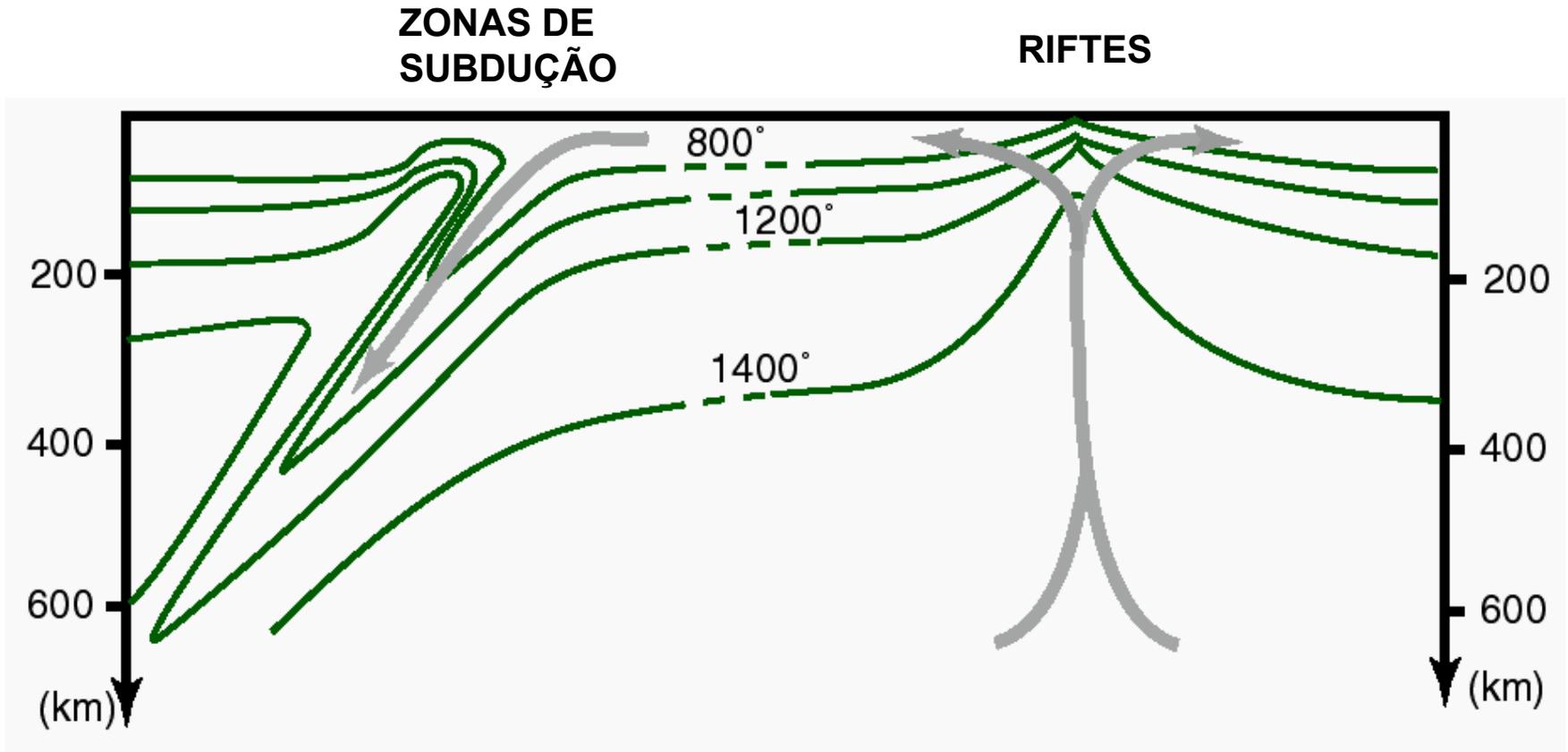
- (i) que a temperatura varia com a profundidade (necessária para fundir as rochas) - **gradiente geotérmico**
- (ii) que rochas têm pontos de fusão diferentes
- (iii) que as temperaturas de fusão das rochas dependem da pressão e do seu conteúdo em água - **curvas de fusão**

O que é o gradiente geotérmico ?

A temperatura no interior da Terra aumenta de modo relativamente regular à medida que aumenta a pressão. Denomina-se como **gradiente geotérmico** a variação da temperatura com a pressão num determinado intervalo de tempo geológico. Se uma rocha sofrer afundamento profundo começará por sofrer **metamorfismo** e com o aumento da temperatura poderá mesmo entrar em **fusão** (pelo menos alguns dos seus constituintes).

Como diferentes minerais têm diferentes pontos de fusão, e porque as rochas são associações de minerais, a fusão ocorre num determinado domínio de temperaturas. Por esta razão este processo é designado por **fusão parcial**, uma vez que para uma dada temperatura só parte da rocha funde.

Isotérmicas na crosta e manto superior



Qual é o gradiente geotérmico médio na crosta ?

GEOHERMAL GRADIENT -- Controls Heat flow at Surface

Two Major Aspects of Geothermal Gradient:

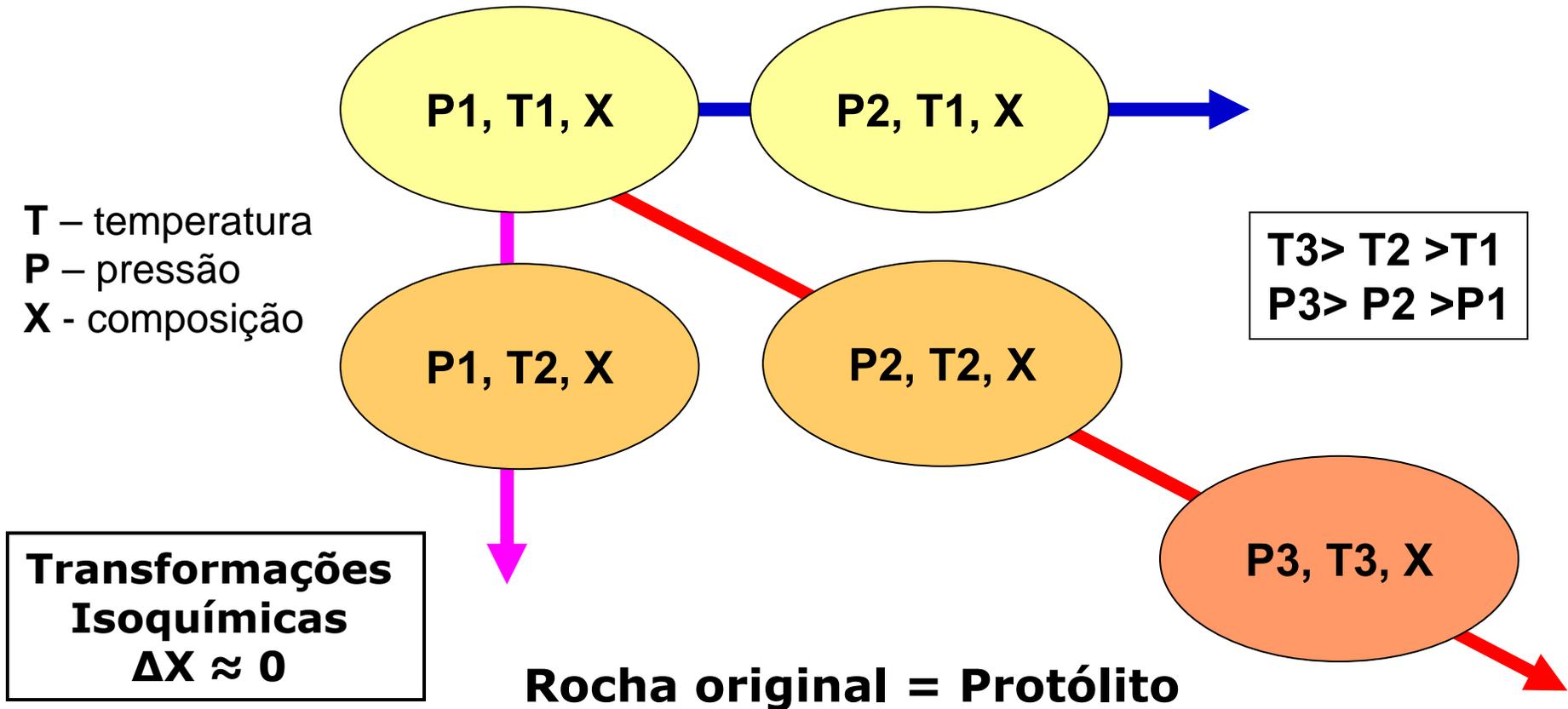
- Conduction of heat from Mantle >> Limited effect in continents, Controlled by thickness of lithosphere (but note areas with thin lithosphere, e.g., Great Basin)
- Radioactive decay of U/Th/K >> important for continental crust

Type of Crust	Geothermal Gradient	Heat Flow at Surface	Example
Precambrian Shield	15-20°C/km	60 mW/m ² -sec	Canada
Active Margin (Arc)	30 ⁰ -35 ⁰ C/km	100-120 mW/m ² -sec	Sierra Nevada, Andes
Subduction Zone (Accretionary Complex)	10 ⁰ C/km	40 mW/m ² -sec	Franciscan Complex
Collisional Orogens	25 ⁰ -30 ⁰ C/km	80-110 mW/m ² -sec	Himalayas
Extensional Orogens	40 ⁰ -50 ⁰ C/km	120-150 mW/m ² -sec	Great Basin
Mid-Ocean Ridge	up to 60 ⁰ C/km	150-200 mW/m ² -sec	Mid-Atlantic Ridge

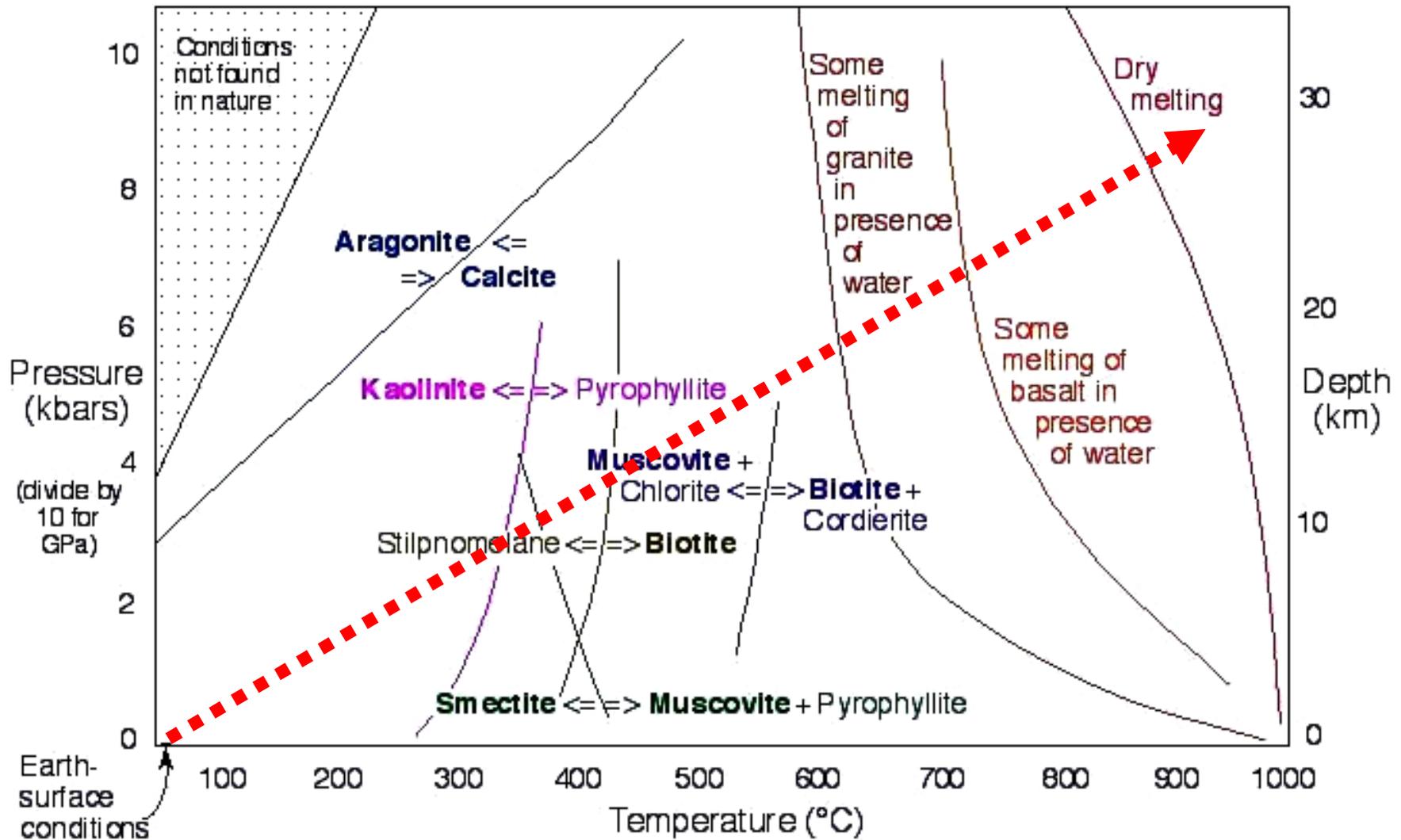
O que acontece quando rochas que estavam nas zonas mais superficiais da crosta são submetidas a condições de temperatura e pressão crescentes no interior da Terra?

Pelo caminho vão sofrendo transformações que estudaremos em

Metamorfismo →



ESTABILIDADE DE ALGUNS MINERAIS COMUNS (e não só) NO PLANO P-T



...a temperaturas e pressões mais elevadas inicia-se a fusão húmida, seguindo-se a fusão seca

O aumento da **profundidade** na crosta e no manto aumenta a temperatura

O aumento da **pressão** eleva o campo da temperatura de fusão

O aumento da **temperatura** aumenta a proporção de fusão parcial

O aumento do conteúdo de **água** faz diminuir a temperatura de fusão

A **composição da rocha** afecta a temperatura de fusão
minerais félsicos – menor temperatura
minerais máficos – maior temperatura

Factores que condicionam as temperaturas de fusão das rochas

Algumas conclusões dos dados anteriores

1. As rochas ácidas fundem a temperaturas mais baixas quando comparadas com as rochas básicas.
2. Um fundido ácido pode ser gerado a profundidades relativamente pequenas (35 km), enquanto um magma básico é gerado a cerca de 300km de profundidade.

Como se deslocam os magmas?

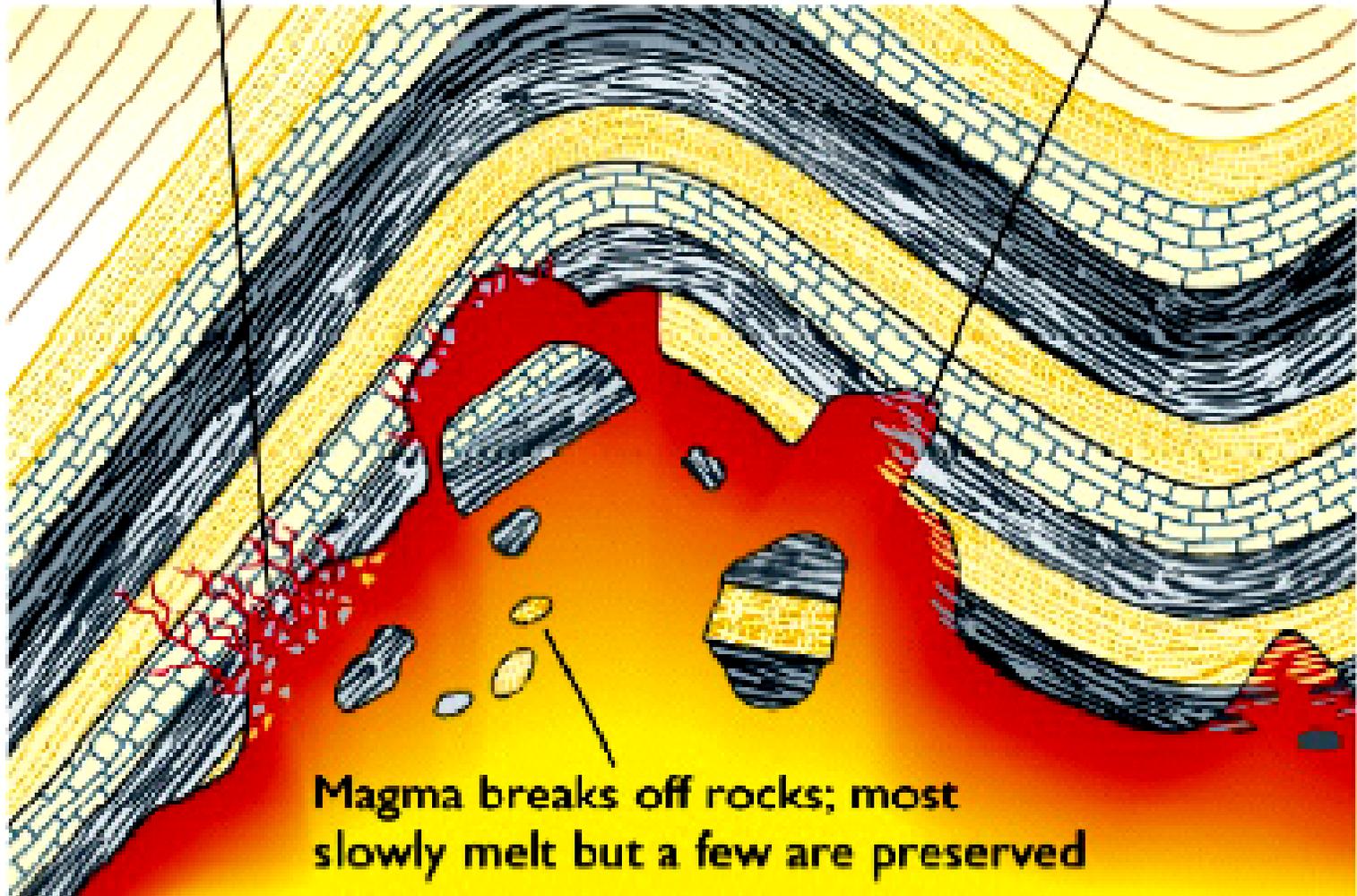
Como os magmas têm mobilidade e se encontram a elevada temperatura, o que lhes confere menor densidade que rochas subjacentes, têm tendência para subir para os níveis mais elevados da crosta ou mesmo até à superfície.

A ascensão do magma dá-se ao longo de falhas, fracturas ou outras descontinuidades, como os planos de estratificação, ou através de um processo conhecido como **“magmatic stoping”** (desmonte magmático), através do qual o magma interage com as rochas com as quais contacta, envolvendo-as e, eventualmente, fundindo-as, no que se designa como **assimilação magmática**.

A assimilação conduz à modificação da composição química do fundido e conduz à formação de condutas que facilitam o movimento ascensional do magma. A densidade e a viscosidade controlam o tipo de deslocação magmática.

Magma invades cracks

Magma melts walls
of country rock



Magma breaks off rocks; most slowly melt but a few are preserved

Diferenciação Magmática

Processo através do qual um magma gera dois ou mais “corpos” com composições distintas.

Os processos envolvidos na diferenciação magmática são:

Cristalização fraccionada: os cristais mais densos que o magma têm tendência para precipitar na base da câmara magmática (cumulados) e os menos densos concentram-se nas partes superiores. Considera-se também a possibilidade da existência de filtragem sob pressão (filter pressing) em que o fundido é “esprimido” da polpa cristalina

Assimilação: quando o magma envolve e funde as rochas com as quais contacta, modificando assim a sua composição química (é contaminado pelas rochas encaixantes)

Mistura de magmas: contaminação de magmas diferentes, que poderão ser responsáveis pelo aparecimento de rochas de composição intermédia.

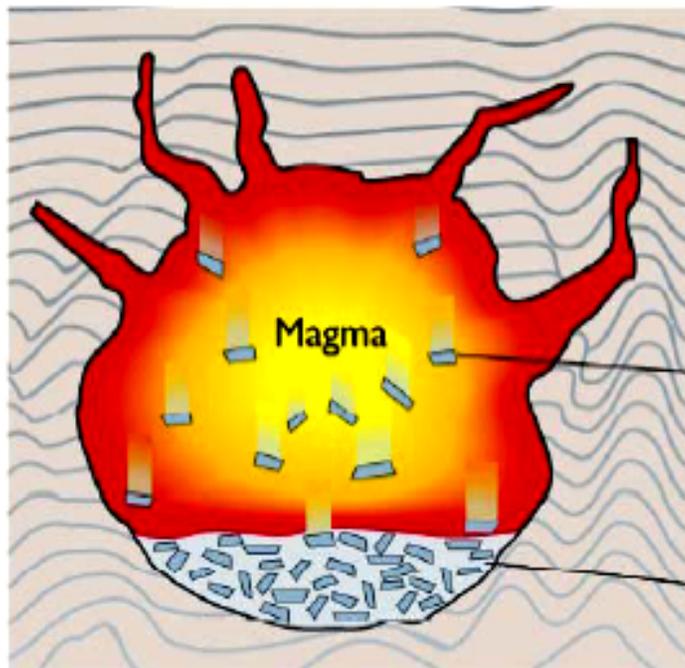
Cristalização convectiva e cristalização in situ: ex. movimentos de convecção geram estruturas de fluxo e de arrastamento de cristais.

Magma Differentiation

how do we get from here to there?

- **Fractional Crystallization**

- Separation of crystals from liquid *Sen, Fig. 10.2*
- Gravitative settling or flotation play a significant role



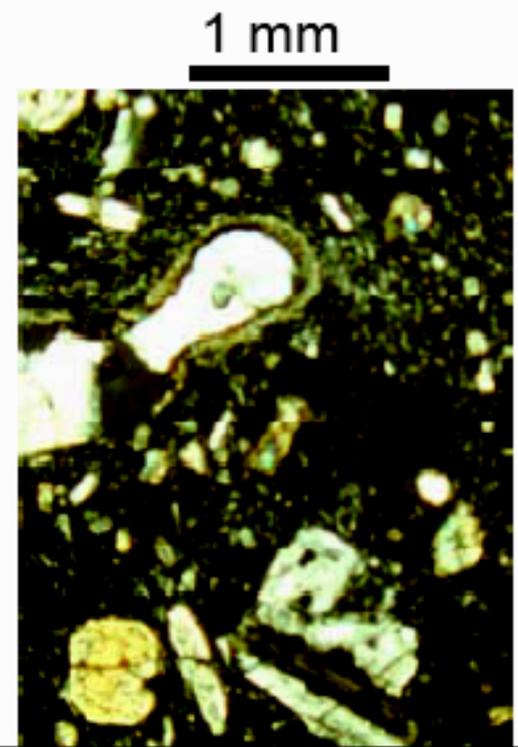
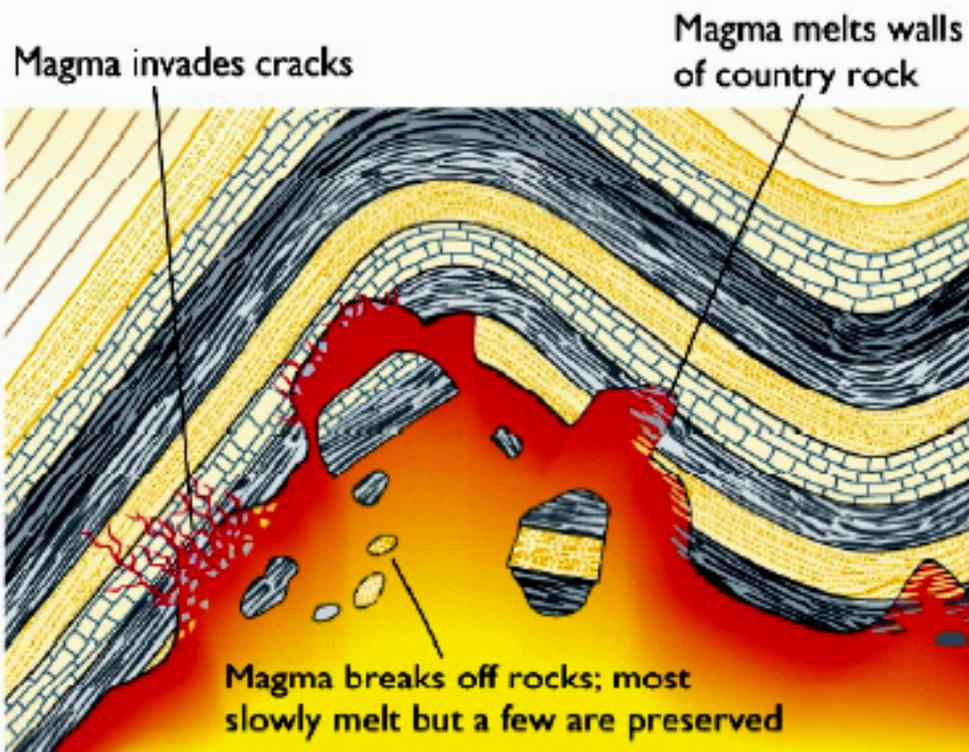
Crystals form from magma cooling and settle to floor of chamber

Crystals from early cooling accumulate

Magma Differentiation

how do we get from here to there?

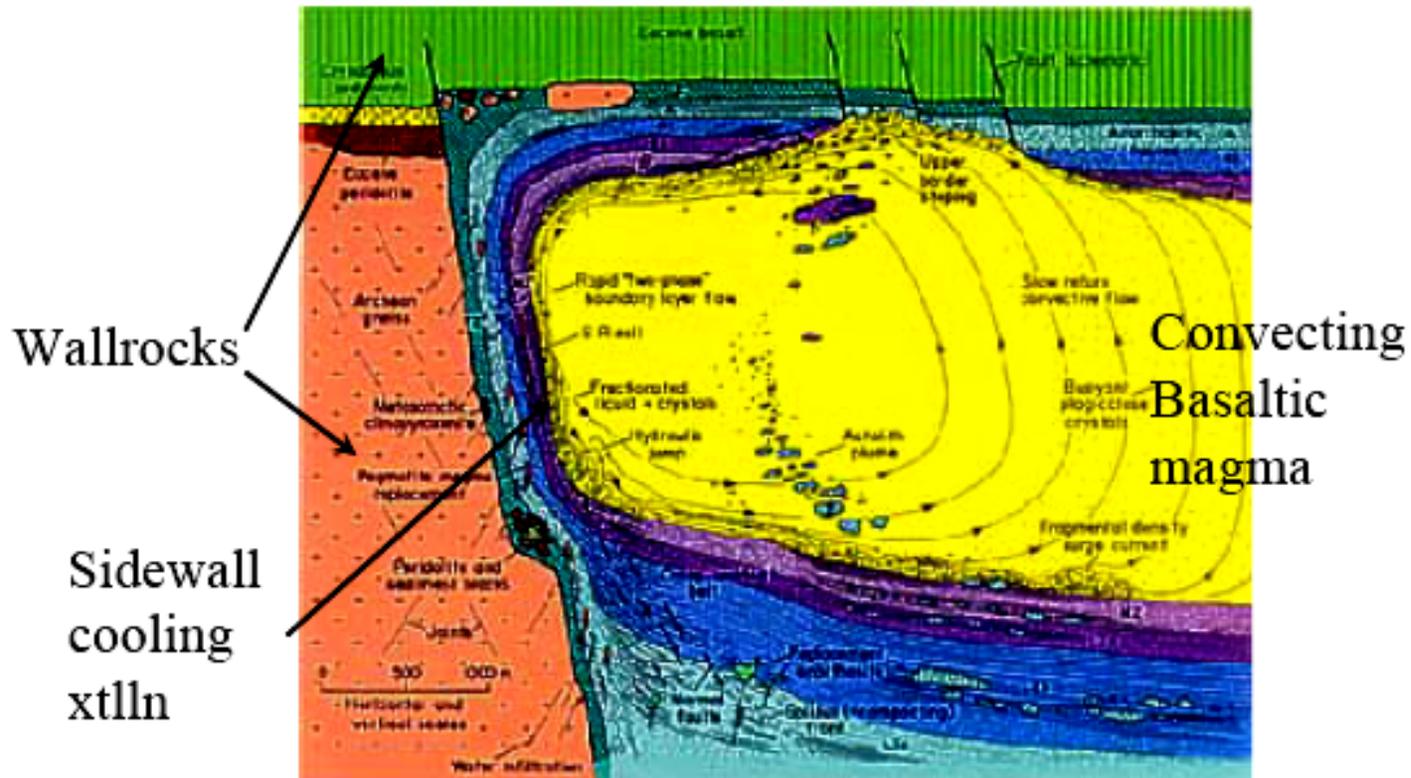
- **Assimilation +/- Fractional Crystallization**
 - Reaction/dissolution of wallrock
 - Crystallization provides heat for reaction



Magma Differentiation

how do we get from here to there?

- **In-situ Crystallization, Convective Crystallization** *Fig. 10.3*
 - Crystal growth along walls of chamber, *esp. roof, sidewalls*
 - Probably chief mechanism of differentiation of basalt



Magma Differentiation

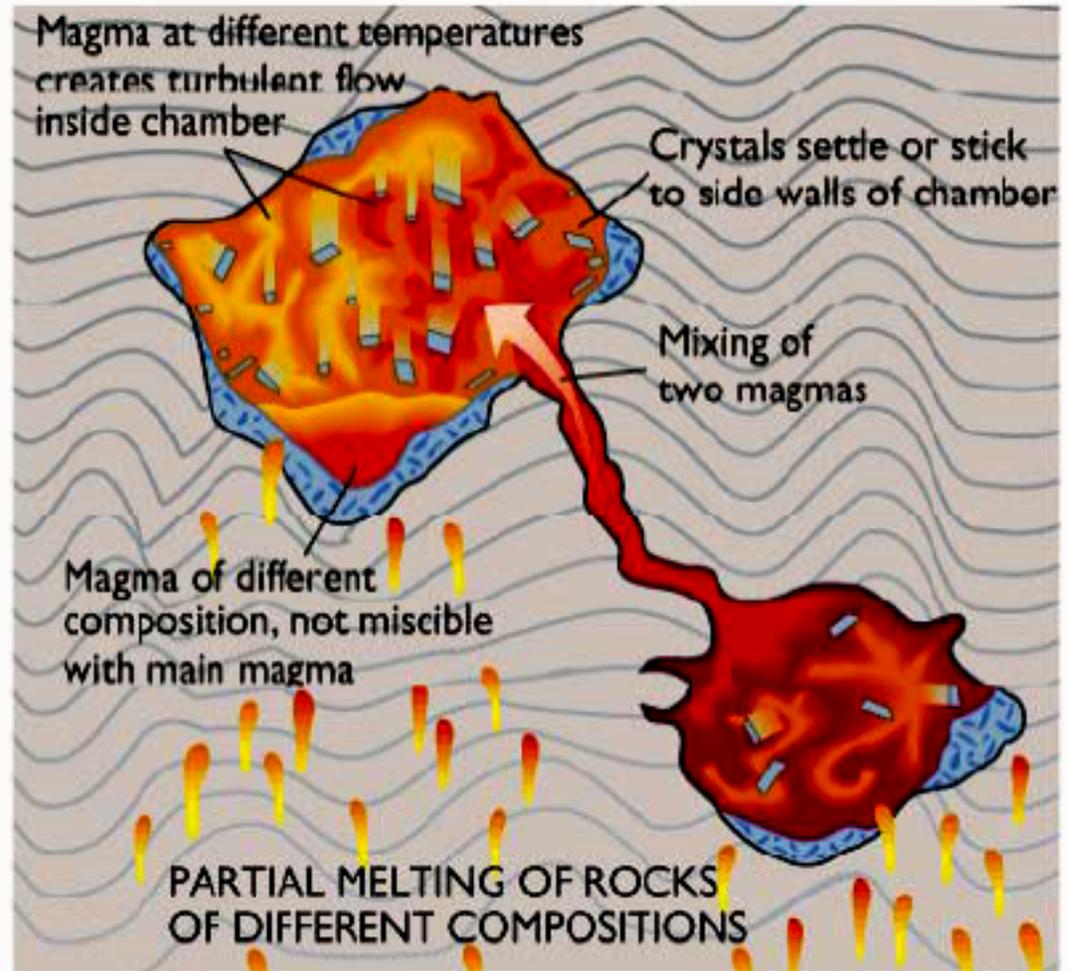
how do we get from here to there?

- **Magma Mixing**

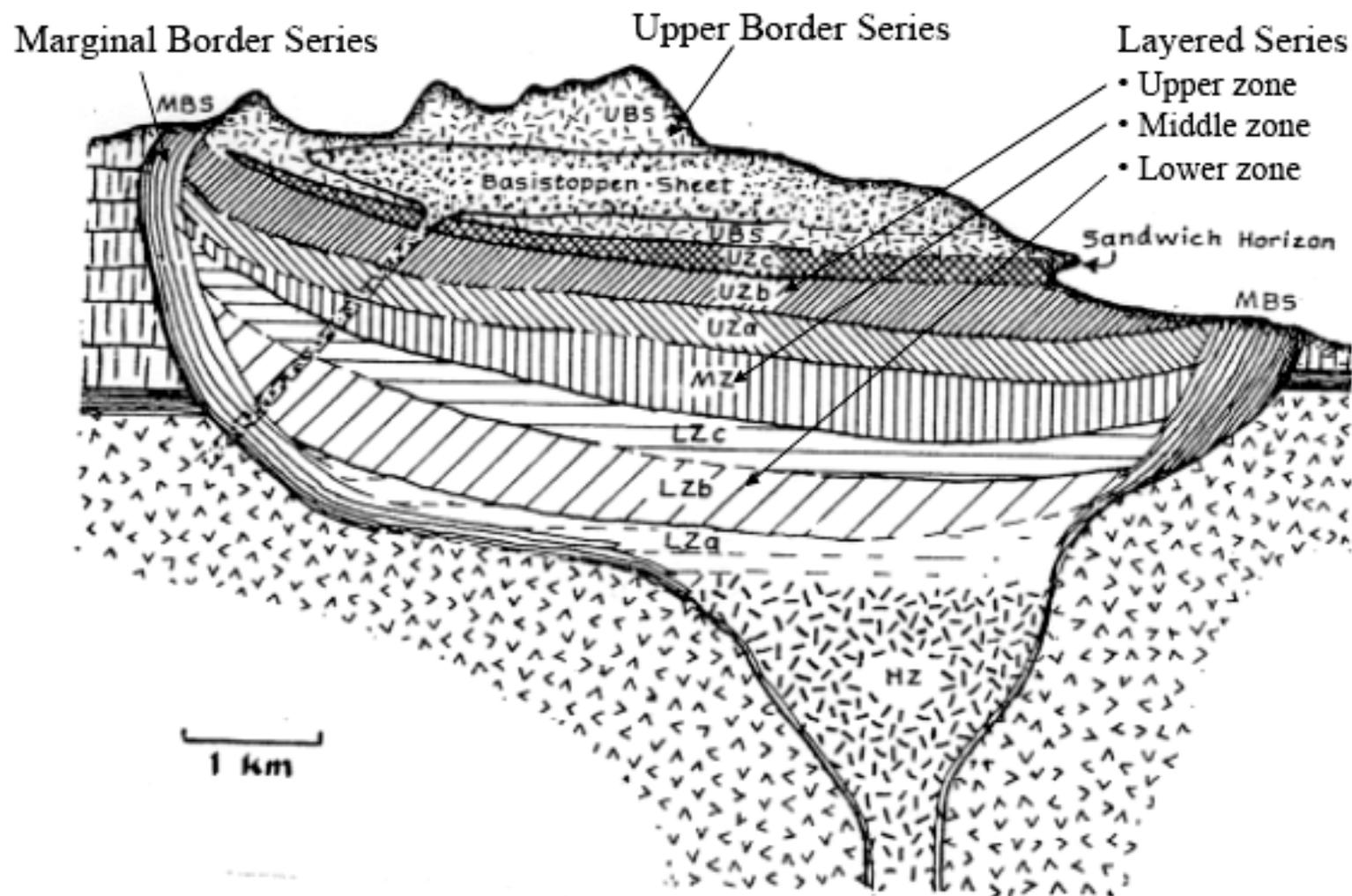
- What to look for?

- Reversely zoned minerals

- Reaction rims on minerals



Schematic E-W section of Skaergaard Intrusion



Como se formam as rochas ígneas a partir dos magmas?

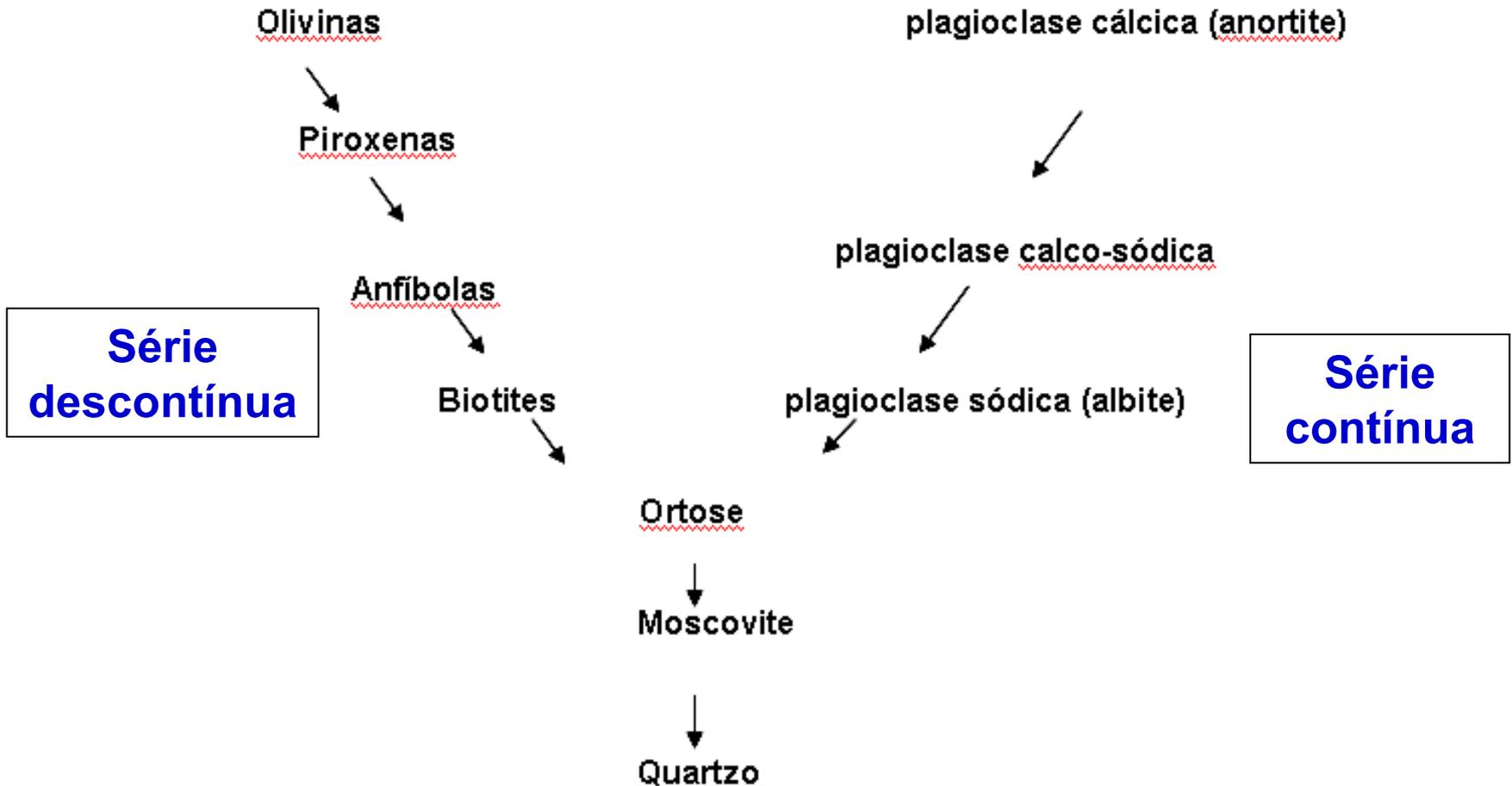
Quando o magma ascende para níveis menos profundos e começa a **PERDER CALOR**, os minerais começam a **CRISTALIZAR**. Como a cristalização é o processo inverso da fusão, conhecer os mecanismos através dos quais as rochas fundem é muito importante para compreender o seu modo de formação a partir de um magma.

No geral, para a mesma composição de magma/rocha, os minerais que são mais **REFRACTÁRIOS** (fundem a maiores temperaturas) são os primeiros a cristalizar a partir dos magmas. Alguns minerais, precocemente formados, permanecem em contacto com o magma em arrefecimento, reagindo com ele e modificando a sua composição (**Séries contínuas**) . Pelo contrário, outros minerais ao serem formados tem tendência para se separarem do magma, não reagindo com este, provocando assim uma modificação gradual da composição magmática – **Séries descontínuas** (o magma fica mais pobre nos componentes consumidos pelos minerais em cristalização – ex. torna-se mais rico em sílica).

Ver séries de Reacção de Bowen !

SÉRIES DE BOWEN

Alta Temperatura



Baixa Temperatura

Séries de Reacção de Bowen

Cristalização Fraccionada



Olivinas



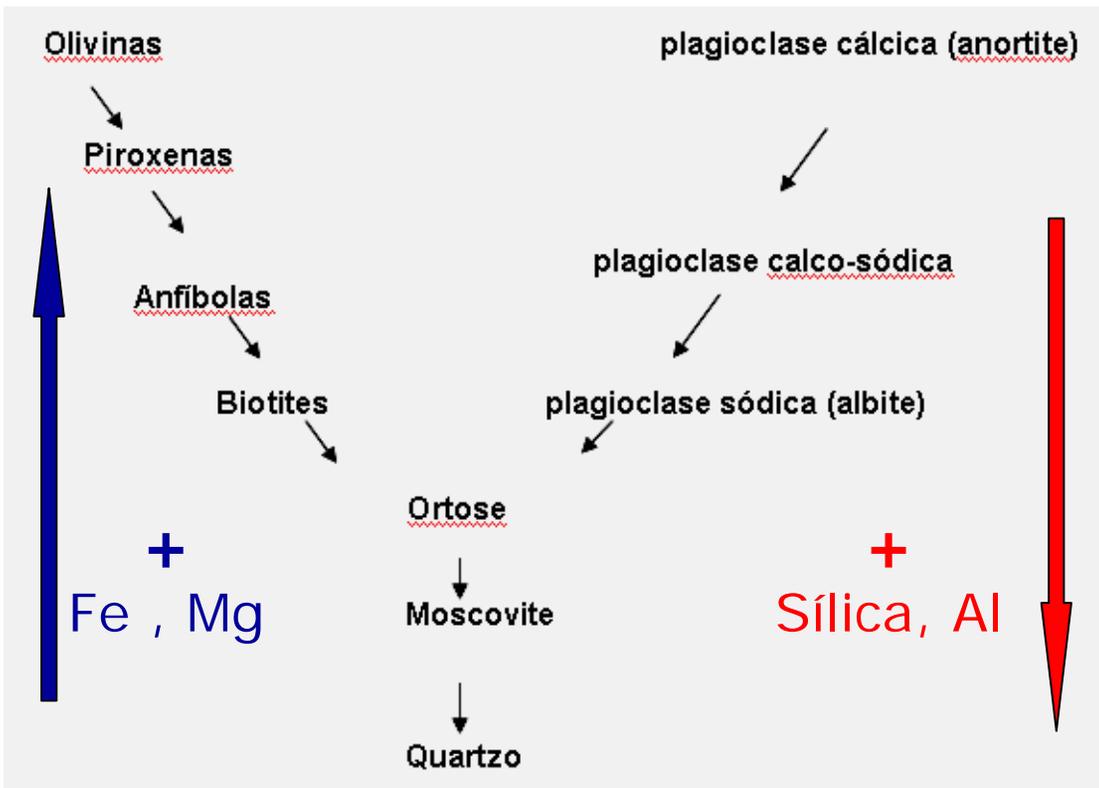
Piroxenas



Anfíbolas



Biotite



Plagioclases + Ca

Plagioclases + Na



Moscovite



Quartzo 100% sílica



Feldspato alcalino (K)

A seguir um pequeno desafio!

- A que temperatura funde a anortite (plagioclase cálcica)?
- A que temperatura funde a albite (plagioclase sódica)?
- Consegues descrever o que acontece quando um fundido com composição X arrefece ?
- Se conseguires és um verdadeiro(a) craque !

Cristalização em equilíbrio das plagioclases

Ab < - > An

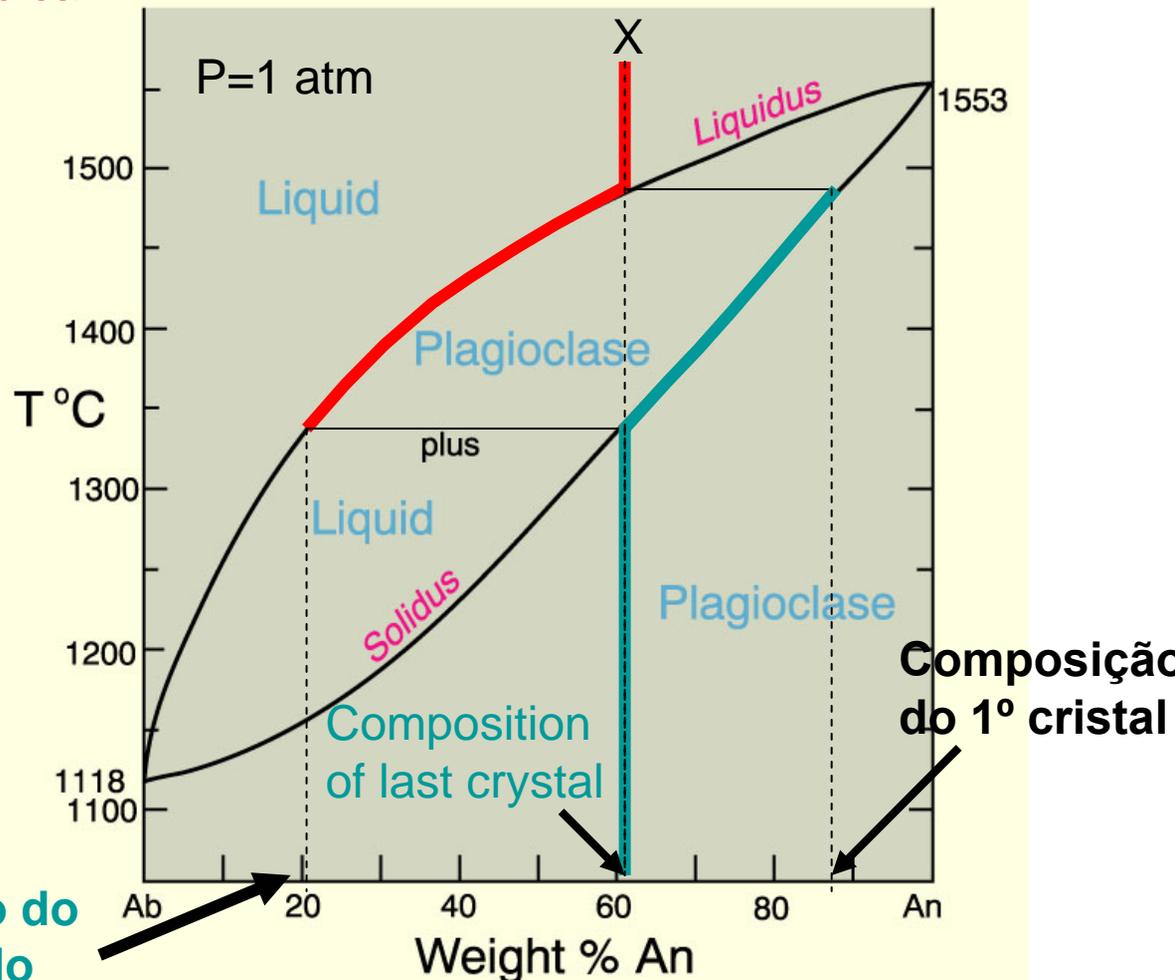
1. Líquido de composição X (An61) arrefece até ao liquidus
2. Inicia-se a formação de cristais com composição An87
3. Os cristais têm Ca/Na superior ao líquido; a precipitação dos cristais torna a composição do líquido mais sódica

4. Razão Ca/Na nos cristais e no líquido diminui com a diminuição da temperatura; a proporção de cristais aumenta à medida que o líquido arrefece

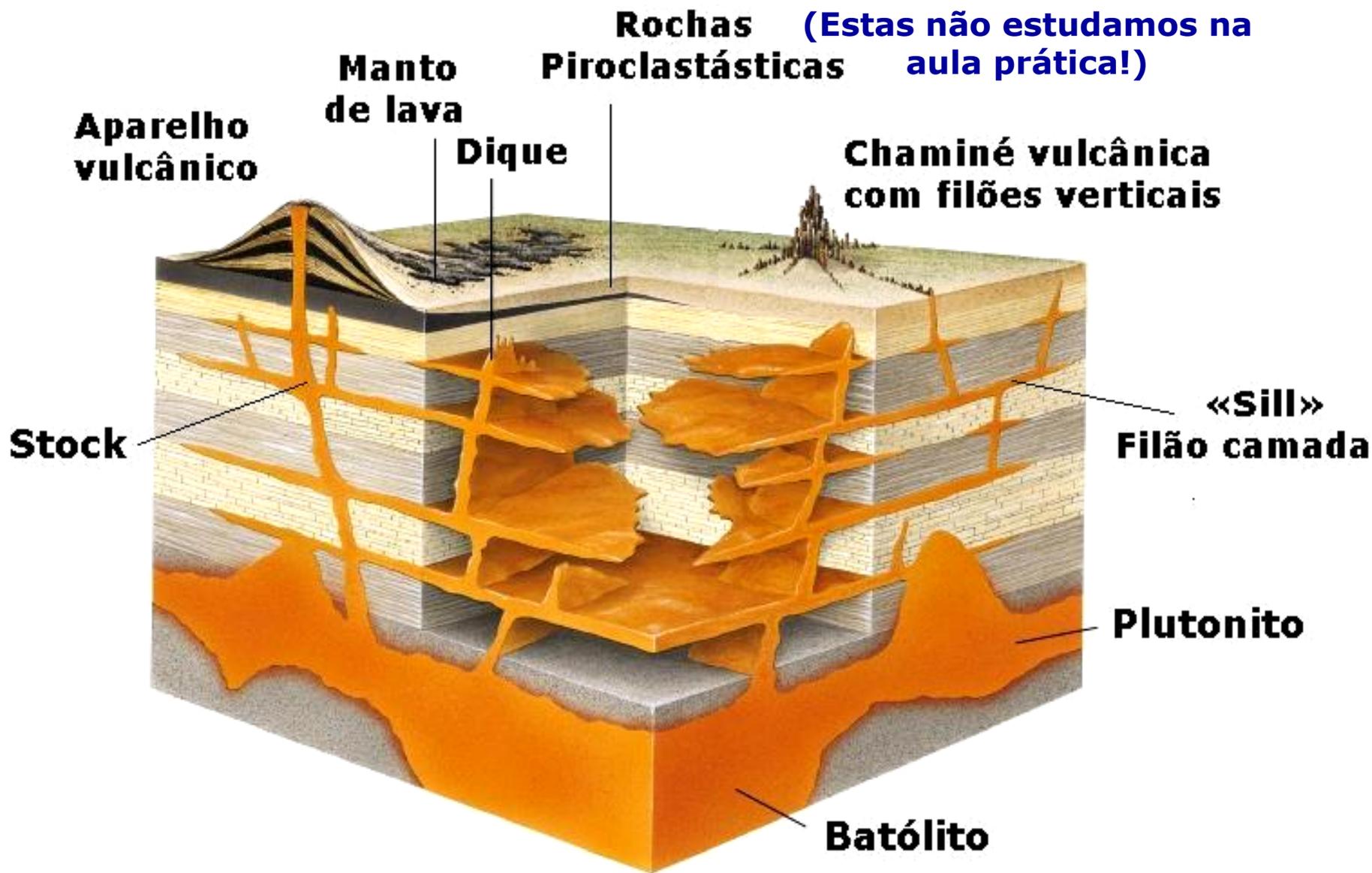
5. Os cristais An61 arrefecem sem sofrer variação posterior de composição

PowerPoint® presentation
by Kenneth E. Windom

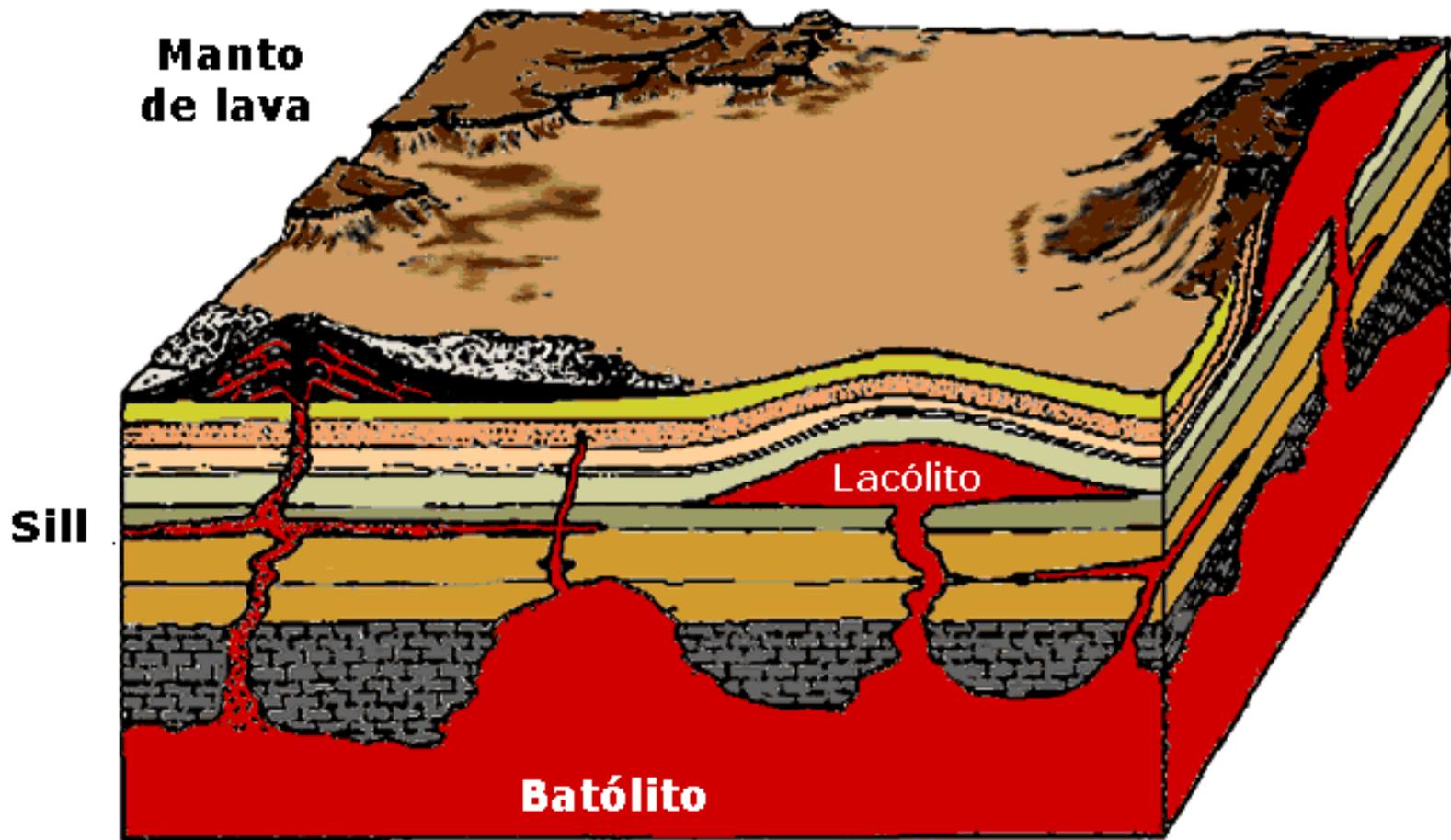
Composição do último líquido



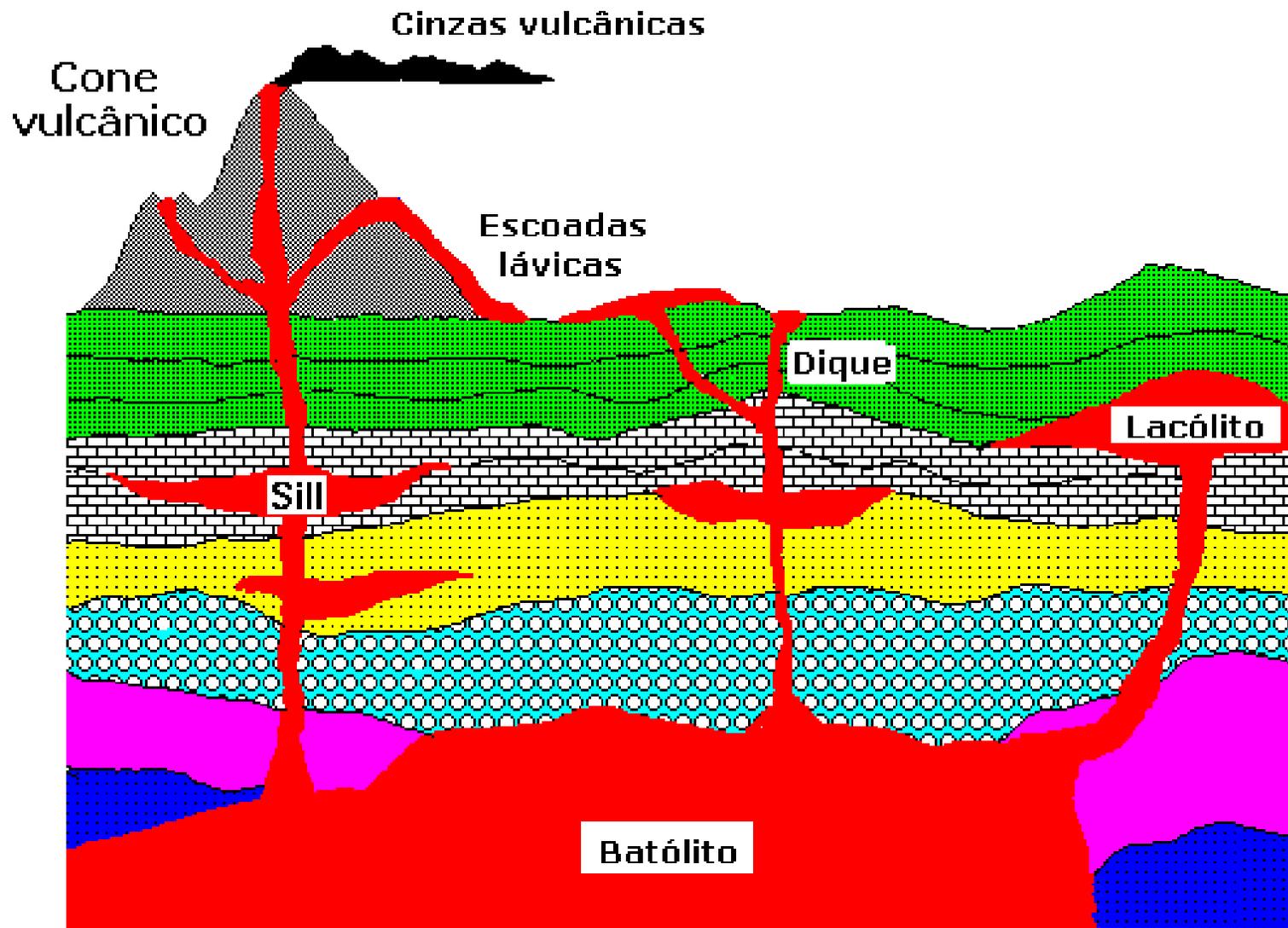
Que tipo de estruturas apresentam as rochas magmáticas?



Estruturas de formações magmáticas

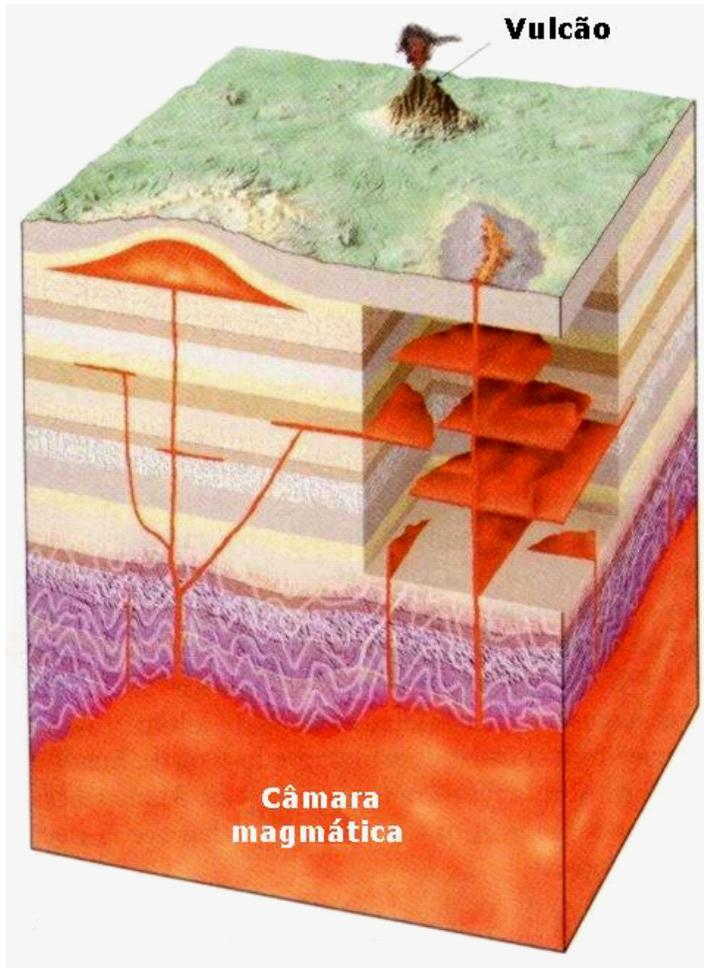


Estructuras de rochas magmáticas



Estruturas de rochas magmáticas

Consolidação/ cristalização



Instalação

