

# **GEOTECTÔNICA TECTÔNICA GLOBAL**

**Prof. Eduardo Salamuni**

**AULA 11a: MINERALIZAÇÃO  
ASSOCIADA A BORDAS DE  
PLACAS – BORDAS  
DIVERGENTES E  
TRANSFORMANTES**

# MINERALIZAÇÕES E TECTÔNICA DE PLACAS

## INTRODUÇÃO

- A Tectônica de Placas fornece a base para se entender a distribuição e origem de fontes minerais e energéticas no espaço e no tempo.
- A ocorrência de depósitos minerais pode estar relacionada à teoria de duas maneiras:
  - (a)** os processos geológicos relativos à Tectônica de Placas, dirigidos pela energia liberada em limite de placas, controlam a formação de depósitos minerais em ambientes específicos
  - (b)** a reconstrução de supercontinentes fragmentados pode ser usada na exploração de novos depósitos minerais

- Para se relacionar depósitos minerais aos ambientes tectônicos é necessário conhecer as relações entre os depósitos e suas rochas encaixantes:

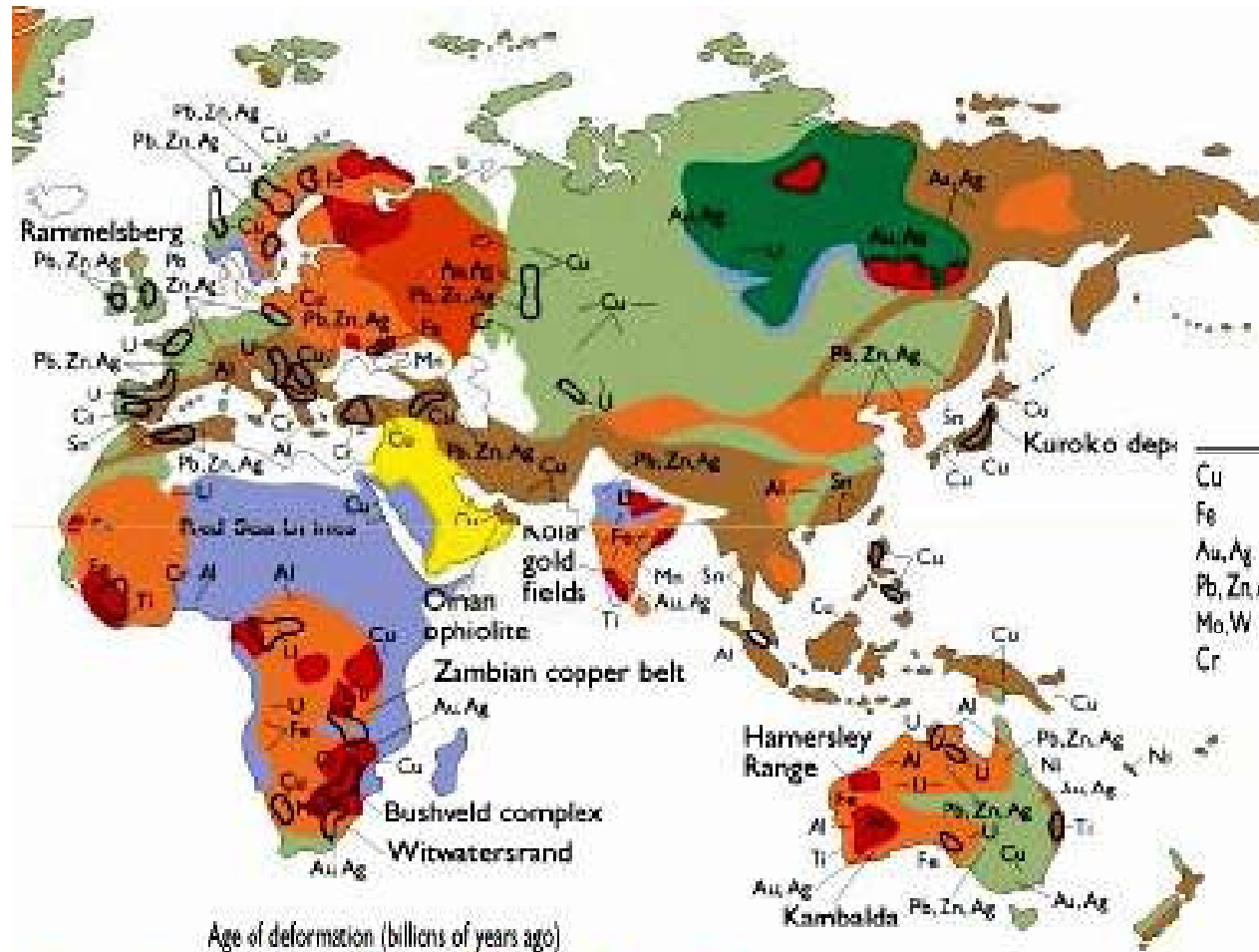
- (a) depósitos singenéticos às rochas encaixantes → formam-se no mesmo ambiente tectônico

- (b) depósitos minerais secundários → formam-se em ambiente tectônico diferente ao das rochas encaixantes

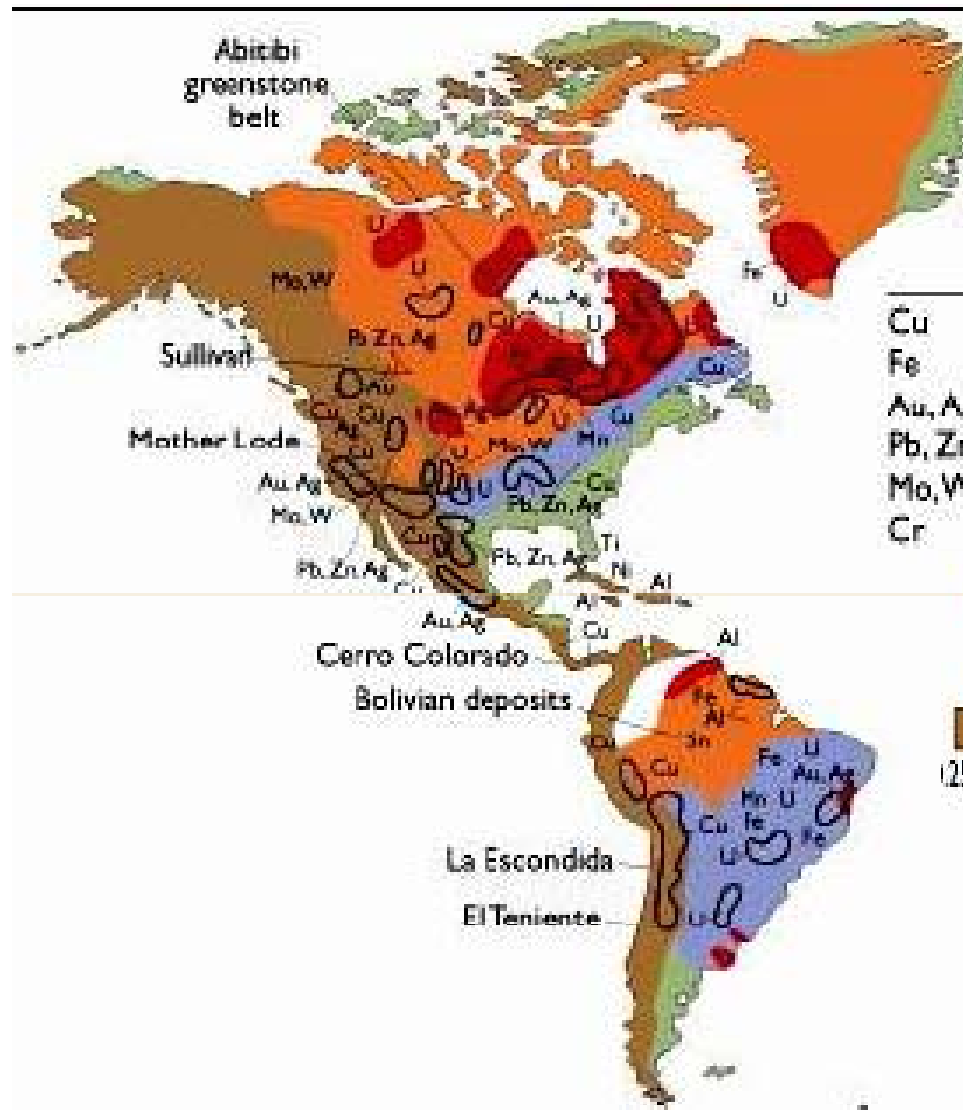
- Vários requisitos deverão ser cumpridos em qualquer ambiente tectônico para a geração e a acumulação de minerais.

- Os ambientes mais comuns são descritos a seguir.

# Depósitos metálicos de classe mundial na crosta continental



Elements			
Cu	Copper	Ni	Nickel
Fe	Iron	Mn	Manganese
Au, Ag	Gold and silver	Al	Aluminum
Pb, Zn, Ag	Lead, zinc, and silver	Ti	Titanium
Mo, W	Molybdenum and tungsten	Sn	Tin
Cr	Chromium	U	Uranium

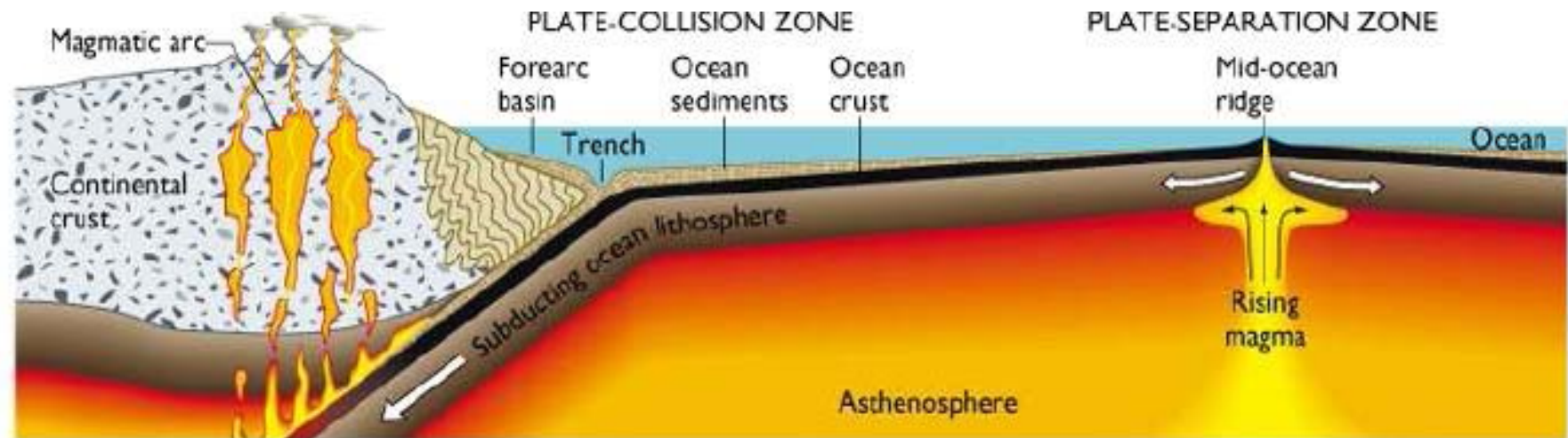


Elements			
Cu	Copper	Ni	Nickel
Fe	Iron	Mn	Manganese
Au, Ag	Gold and silver	Al	Aluminum
Pb, Zn, Ag	Lead, zinc, and silver	Ti	Titanium
Mo, W	Molybdenum and tungsten	Sn	Tin
Cr	Chromium	U	Uranium

Age of deformation (billions of years ago)



## Sítios geotectônicos de ocorrência de depósitos relacionados à Tectônica de Placas



**Magmatic arc**  
 Disseminated (porphyry) copper in intrusives  
 Vein deposits of lead, gold, silver, molybdenum, zinc, tin, tungsten  
 Ophiolites with chromium, copper, zinc, lead

**Forearc basin**  
 Lead, zinc, copper

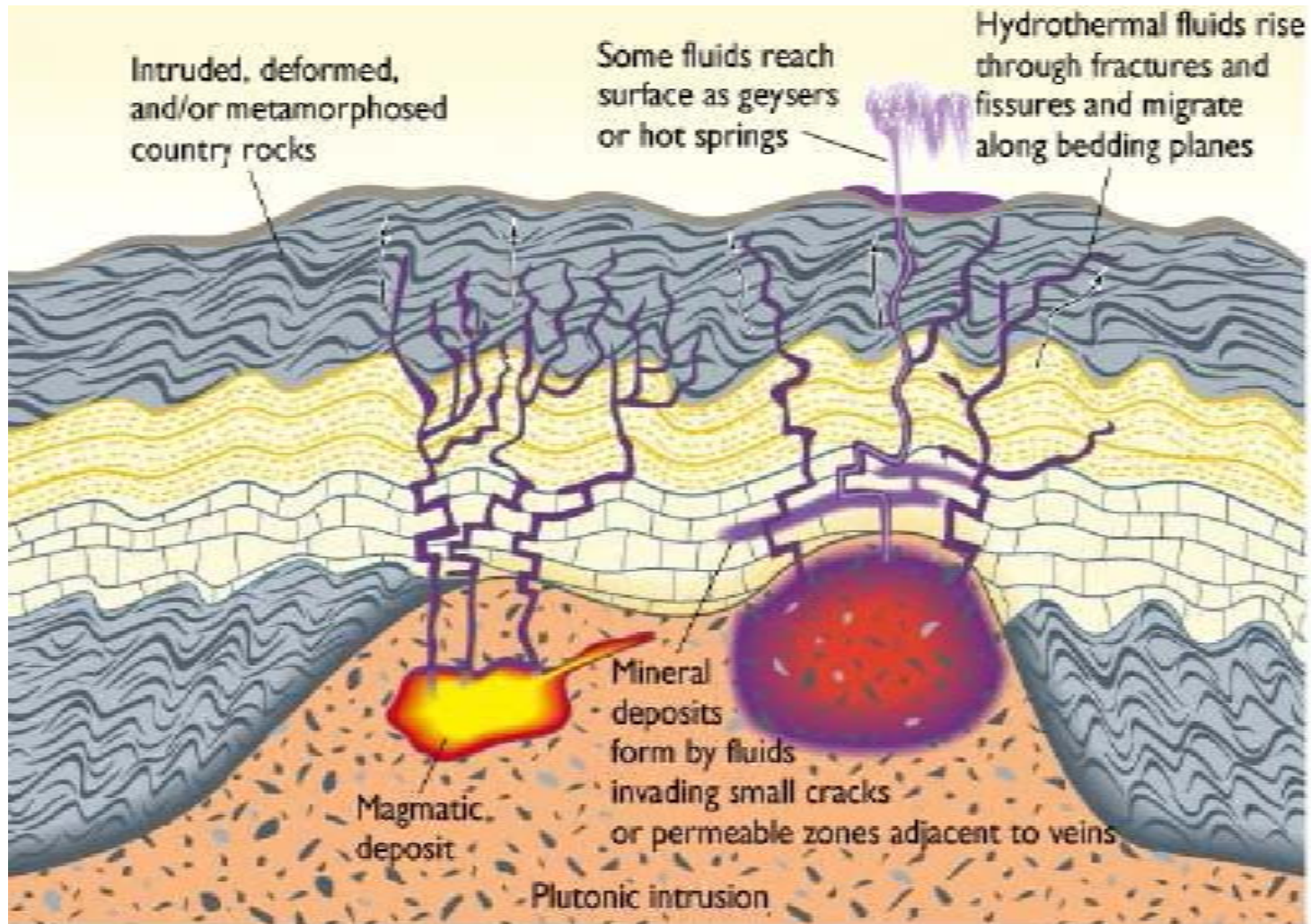
**Seafloor**  
 Manganese nodules

**Mid-ocean ridge**  
 Hydrothermal deposits of iron, copper, and zinc sulfides  
 Intrusives with chromium

# MINERALIZAÇÕES EM ZONAS PRÉ-RIFTES E RIFTS

- Nestas regiões formam-se domos graníticos, vulcanismo básico anorogênico e intrusões alcalinas antes do rifteamento.
- A mineralização normalmente ocorre nas fases mais jovens de processos intrusivos, em geral posicionadas nas zonas apicais e em seus contatos, por exemplo **Sn** e **F**.
- No domos há mineralizações de **U, Th, Nb, Be, Zr, Li, Terras Raras, Pb, Ag, nefelina** e **barita** (elementos químicos provenientes da crosta continental presentes em feldspatos alcalinos e micas e liberados em fluidos hidrotermais).
- A **cassiterita** e outros minérios estão disseminados, em veios pegmatíticos - skarns e greisens - e em veios de quartzo.

## Início do processo de mineralização em plutonitos (em geral anorogênicos)





# MINERALIZAÇÃO EM ZONA RIFTE

(domínio continental)

- Em ambientes aulacogênicos é possível encontrar depósitos de **F, Ba, Pb, Zn, Ag, Terras Raras**. Na região de Rio Tinto (Espanha) há depósitos de **Cu, Zn, Pb** e **Hg**
- É comum a mineralização ocorrer em veios ao longo de falhas extensionais e fraturas do tipo *stockworks*. Em intrusões ígneas acamadadas do Proterozóico, há ocorrência de **Cr, Ni, Cu** e **Pt**.



- Anortositos (variedade leucocrática do gabro), contém depósitos de **ilmenita-titanífera**, **magnetita**, **hematita** e **ferro-titânio**.
- Formações basálticas, favorecem a transferência de metais, do manto, até porções superiores da crosta continental (ocorrem principalmente **cobre nativo** ou **calcocita** em amígdalas, **zinco**, **urânio**).



# MINERALIZAÇÃO EM ZONA RIFTE

## (domínio oceânico)

- Abertura de oceanos: **evaporitos** (cloreto de potássio e sulfatos) formados pelas primeiras incursões marinhas durante a abertura dos riftes e **hidrocarbonetos**

Classe Mineral	Nome do Mineral	Composição Química
Cloretos	Halita-Silvita Taquidrite Carnalita Langbeinita Polihalita Kainita	NaClKCl CaMg <sub>2</sub> Cl <sub>6</sub> · 12H <sub>2</sub> O KMgCl <sub>3</sub> * 6H <sub>2</sub> O K <sub>2</sub> Mg <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> K <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Mg(SO <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> * H <sub>2</sub> O KMg(SO <sub>4</sub> )Cl * 3H <sub>2</sub> O
Sulfatos	Anidrita-Gipso Kieserita	CaSO <sub>4</sub> CaSO <sub>4</sub> * 2H <sub>2</sub> O MgSO <sub>4</sub> * H <sub>2</sub> O
Carbonatos	Dolomita-Calcita Magnesita	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CaCO <sub>3</sub> MgCO <sub>3</sub>

- Há muitas mineralizações do tipo *stratabound* em sedimentos de rifte (depósitos estratiformes de **Pb**, **Zn** e **Cu**).
- Muitos depósitos são sobrepostos por evaporitos.
- A mineralização continua após a sedimentação: concentrações de minério de **Cu** ocorrem nos estágios iniciais do desenvolvimento dos riftes intracontinentais.
- No chão oceânico há depósitos hidrogênicos, formados pela precipitação de metais, principalmente a partir da água do mar. Depósitos hidrotermais formam-se a partir da precipitação de metais devido a soluções hidrotermais.

## MINERALIZAÇÕES EM CADEIAS MESO-OCEÂNICAS E BACIAS

- Nas zonas de convecção junto às cordilheiras meso-oceânicas, o resfriamento rápido da água quente (até 350°C) e ácida (pH=3) ejetada (BLACK SMOKERS) favorece a precipitação e a deposição de sulfetos e sulfatos.
- Ali as águas hidrotermais ácidas são ricas em H<sub>2</sub>S e fontes principais de **Mn, Pt, Zn, Pb, Ag, Au, Co, Li, Ca, Ba, Si, Fe e Cu.**
- A descarga de água carrega metais da crosta oceânica por adição de H<sub>2</sub>O e elementos como o Mg.

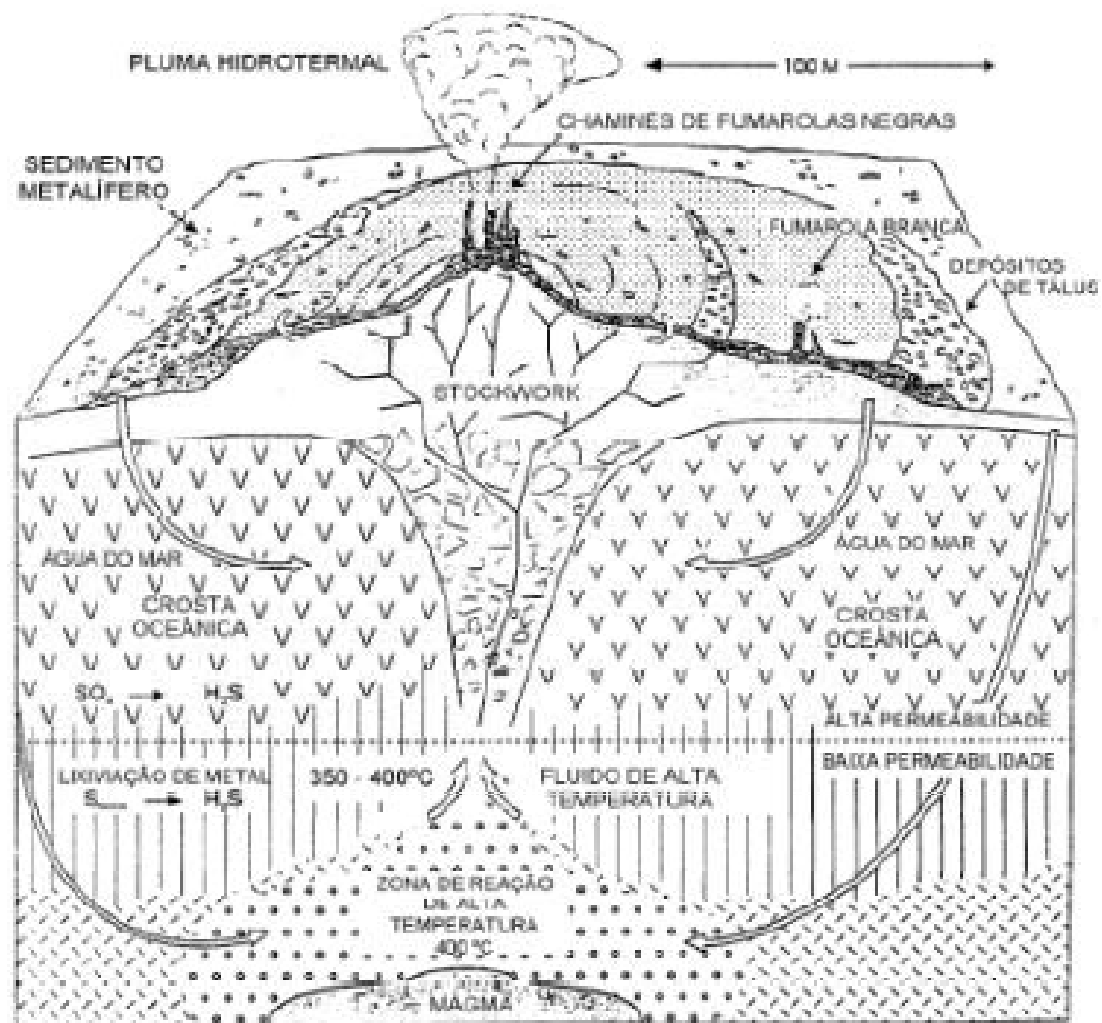


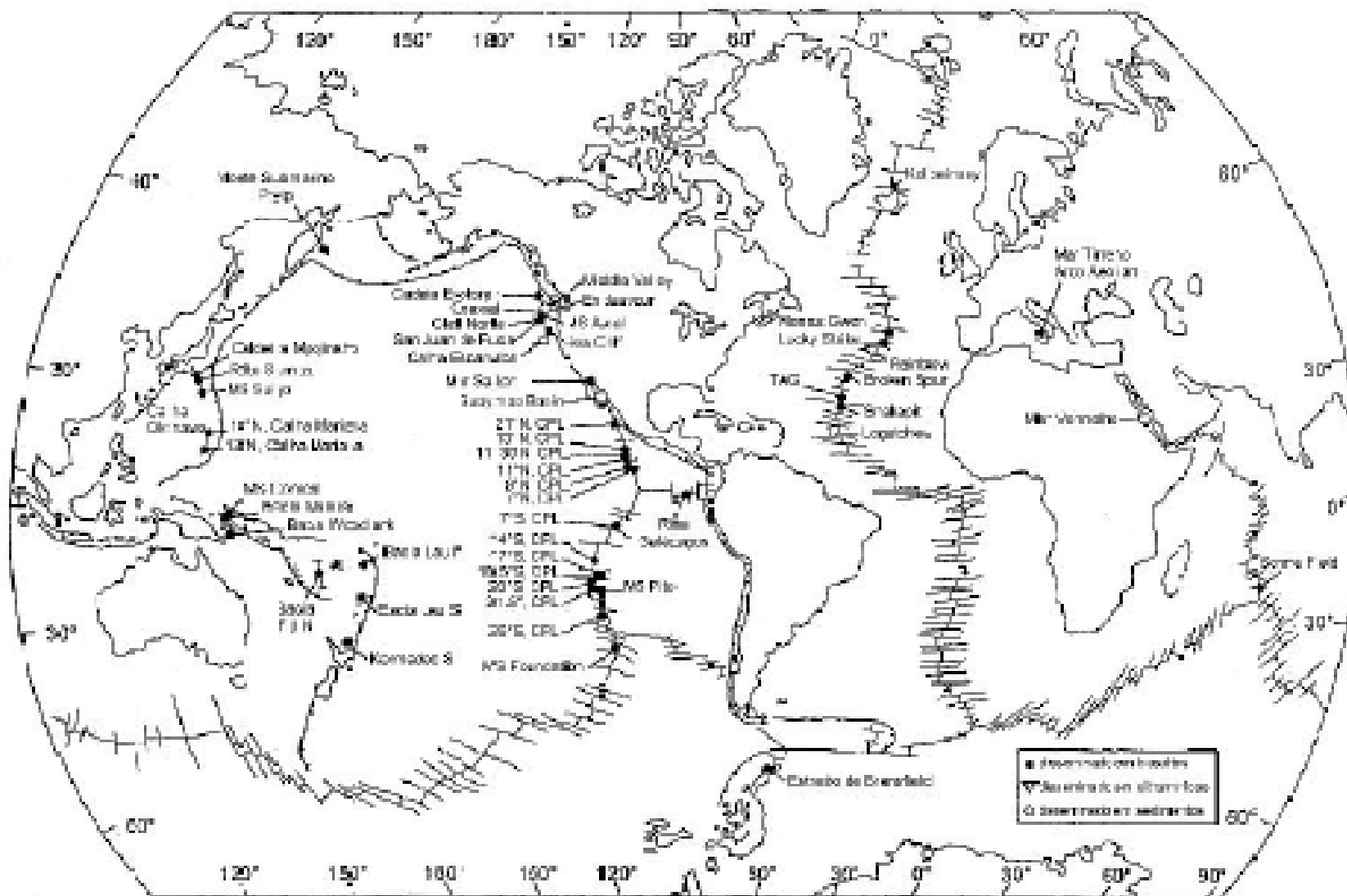
Figura 1 – Diagrama esquemático da circulação hidrotermal e depósitos associados. Modificado de Herzig et al. (2000).



Chaminé hidrotermal em fumarola negra na cadeia da placa Juan de Fuca - potencial formação de depósito polimetálico de sulfeto.



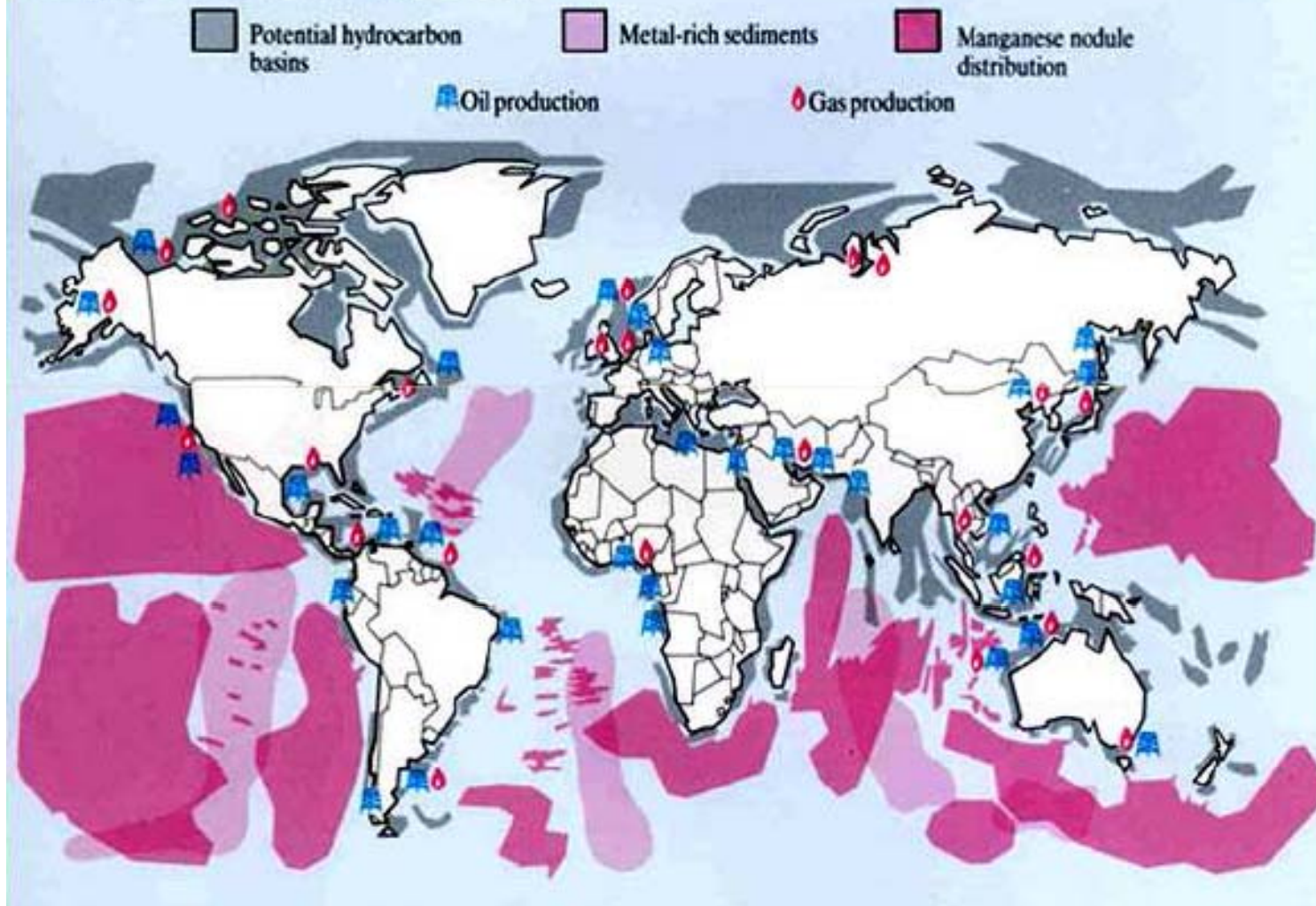
Foto: Verena Tunnicliffe em [web.uvic.ca/sciweb/pics/hydrothermalvents.html](http://web.uvic.ca/sciweb/pics/hydrothermalvents.html)



Distribuição global de sítios hidrotermais e depósitos de sulfeto.  
 Herzig et al. (2000 – modificado por Mello e Quental, 2000)

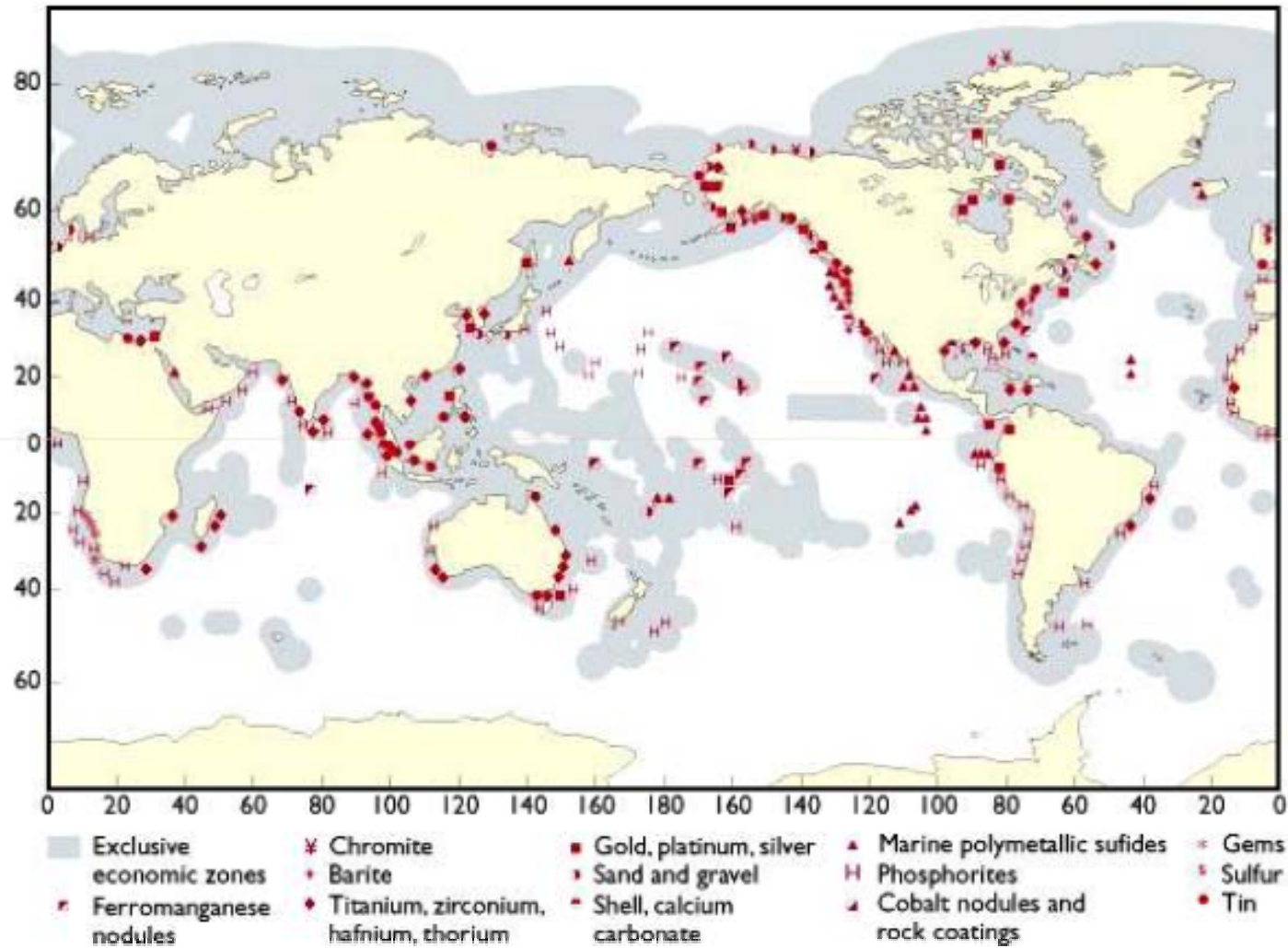


## Mineral resources of the sea

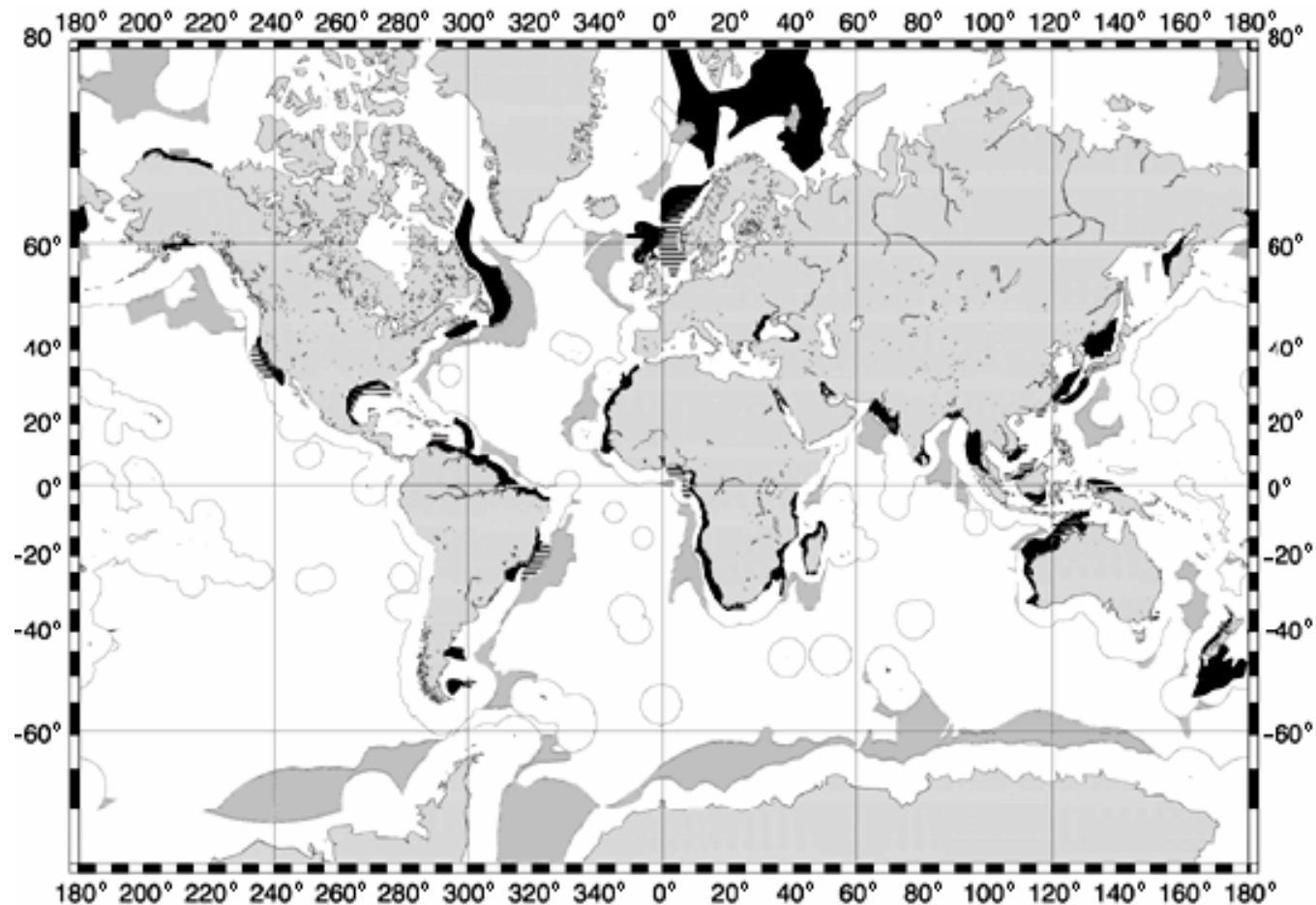


- Nódulos ferromagnesianos e encrustações ocorrem tanto pela sobreposição de lavas nas cadeias como pela sobreposição de sedimentos fora das mesmas. Os nódulos apresentam conteúdo alto de **Mn, Cu, Ni e Co**.
- Em salmouras metalíferas, nas zonas de crescimento da crosta oceânica, podem haver concentrações de **As, Hg, Fe, Zn, Mn e Cu**, além de uma variedade de metais não-ferrosos.
- Em campos hidrotermais (p. ex. Galápagos e Cadeias Juan de Fuca) os veios ocorrem ao longo de fissuras de 500 a 2500m.
- Múltiplos sítios hidrotermais apresentam chaminés sulfurosas se erguendo a 10 m acima do fundo oceânico. Ocorrem sulfetos de **Fe, Cu e Au, anidrita e sílica amorfa**.

## Principais depósitos minerais marinhos



## Fase Rife evoluída: províncias de ocorrência de óleo e gás (áreas escuras)



**Figure 8** - Oil and Gas provinces of the world (in black - after Klett *et al.*, 1997) and the main offshore areas where oil and gas are produced (striped - after IEA, 1996 and references therein) with reference to ELCS regions (in grey) and EEZ areas (outlined by thin curved grey lines).

# MINERALIZAÇÕES EM ZONAS TRANSFORMANTES

- Alguns tipos de mineralizações são conhecidos a partir de falhas transformantes.
- Há depósitos de barita na zona de falha de San Andreas, bem como salmouras metalíferas e depósitos de **Zn**, **Pb**, **Cu** e **Mn** em falhas transformantes localizadas próximas ao Mar Vermelho.
- No Oceano Atlântico, em falhas transformantes próximas às cadeias meso-oceânicas, ocorrem peridotitos com altos valores de **Ni**, **Co**, **Ti** e **Cu**.

- Complexos alcalinos e carbonatíticos alinhados ao longo de lineamentos marcantes, observados em Angola, Brasil, sudoeste da África e Uruguai podem ser resultado de falhas transformantes.
- Há *pipes* de kimberlitos centrados nestas transformantes.
- Falhas transcorrentes, quando são continuidade de falhas transformantes contem depósitos de **pórfiros sulfetados** e depósitos de **Cu, Pb e Zn**.
- Nas falhas/fraturas ocorrem, ainda, argilas ricas em Fe, precipitadas quimicamente a partir de soluções hidrotermais