

Sistemas Mineralizantes



IG | Instituto de Geociências



Semana **Universitária**

27 a 31 de Outubro de 2015

Universidade de Brasília



Leandro Duarte Campos

Pesquisador em Geociências, MSc

Coordenador da Divisão de Geologia Econômica

Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Sistemas Mineralizantes

SUMÁRIO

Módulo I

- **Introdução**
- **Tipos de Depósitos Minerais e Ambientes Geotectônicos**
- **Características dos Depósitos Minerais (para Prospecção)**
- **Modelos Teor/Tonelagem de Depósitos Minerais**

Modulo II

- **Reservatórios e Características dos Fluidos**
- **Ambientes e Controles de Fluxo de Fluidos**
- **Condições de Deposição e Preservação**

Modulo III

- **Sistemas Mineralizantes e Geração de Alvos**
- **Assinatura Geofísica dos Sistemas Mineralizantes**
- **Exemplos e Estudo de Caso**

Introdução

Mineração?

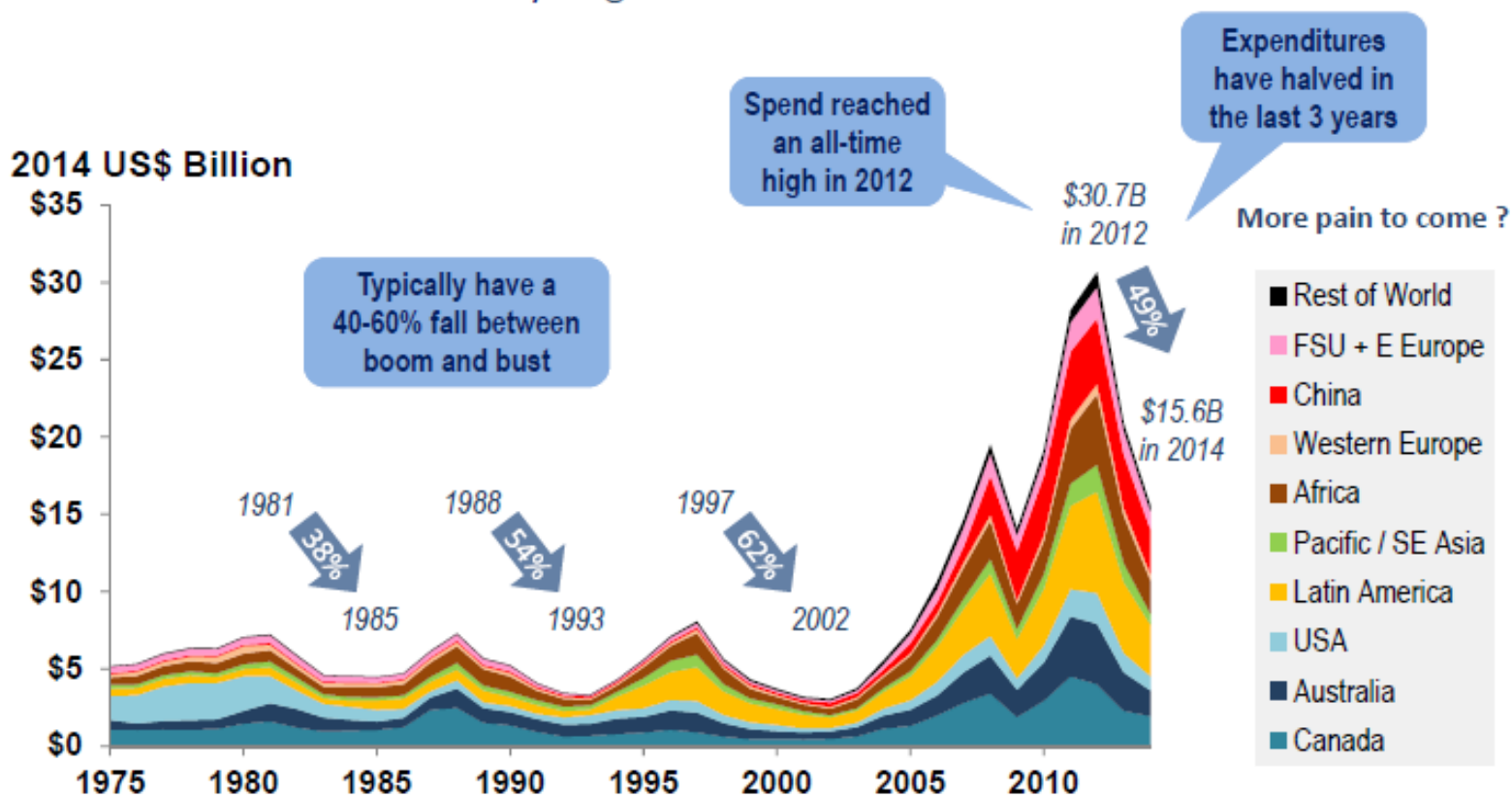


Introdução

Desafio do Geólogo de Exploração: Encontrar recursos minerais, cada vez mais escassos, mais profundos e com maior custo...

Exploration expenditures: World

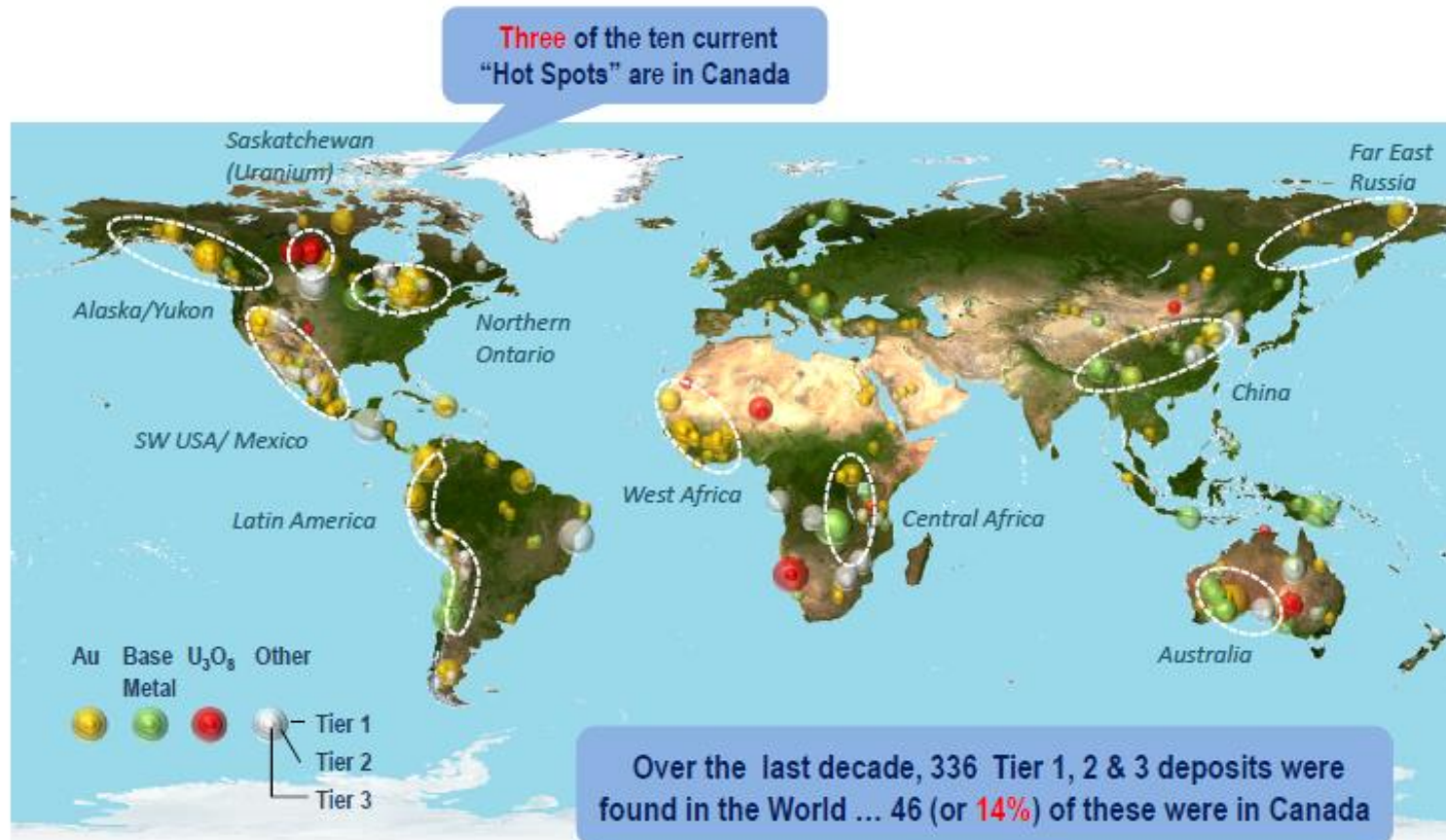
by Region : 1975-2014



Introdução

Desafio do Geólogo de Exploração: Encontrar recursos minerais, cada vez mais escassos, mais profundos e com maior custo...

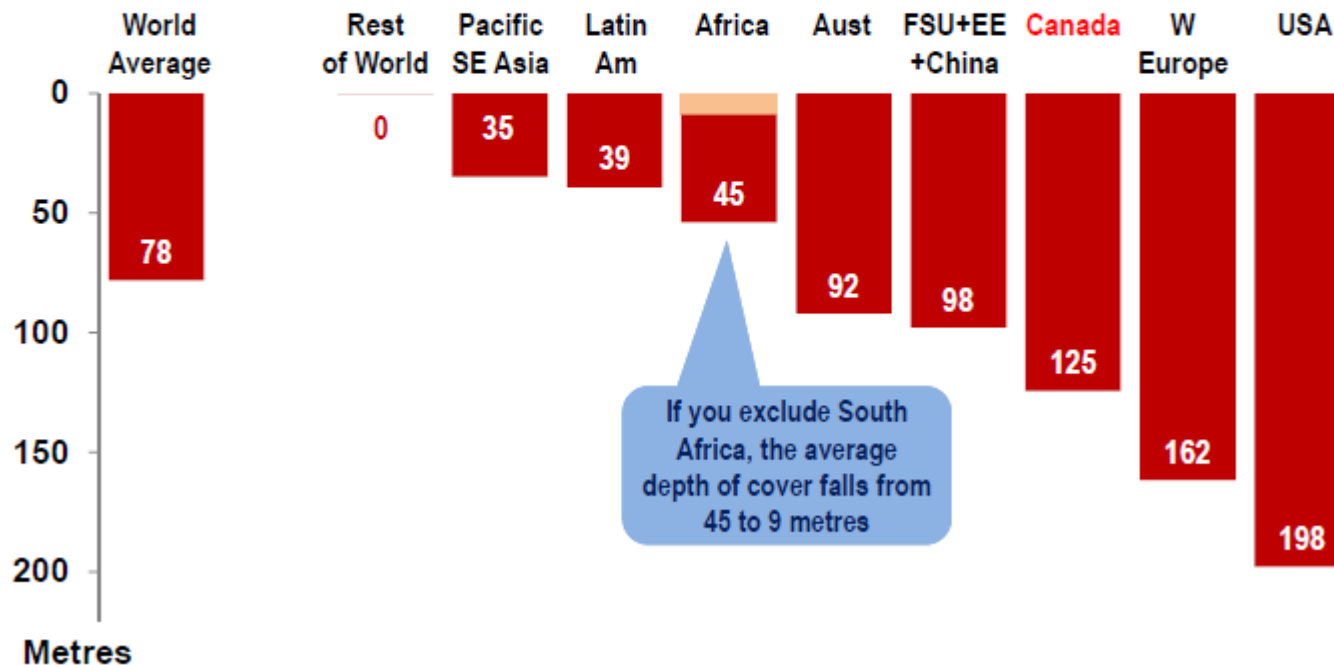
Tier 1, 2 & 3 discoveries in the **World**: 2005-2014



Introdução

Desafio do Geólogo de Exploração: Encontrar recursos minerais, cada vez mais escassos, mais profundos e com maior custo...

Average depth of cover for discoveries - all metals
World: 2005-2014



Introdução

Pesquisa Mineral:

Custo, Dados, Conhecimento

Estáfio Inicial de Pesquisa (Greenfield)

Estáfio Avançado de Pesquisa (Brownfield)

Reconhecimento e Geração de Alvos

Seleção de Alvos
Análise de Dados
Map. Geol. Regional
Geofísica Regional
Amostragem Regional
(Sedimento e Concentrado)

Desenvolvimento do Alvo

Mapeamento Geológico
Amostragem Solo/Rocha
Trincheiras
Geofísica Terrestre
Sondagem Exploratória

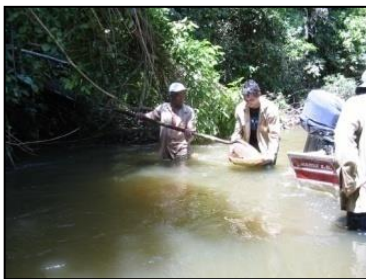
Avaliação do Alvo (Pré-viabilidade e Avaliação de Recursos)

Sondagem de Delineação
Ensaio Metalurgicos
Modelamento
Estudos preliminares Geotec.

Estudo de Viabilidade Econômica (Reservas)

Sondagem In-Fill
Estudos Metalurgicos,
Geotécnicos e Ambientais
Modelamento
Projeto de Mienração

Construção da Mina



Introdução

Sistemas Mineralizantes:

- A indústria mineral mundial está atravessando uma das maiores crises da história. No cenário atual vemos um aumento nos custos dos projetos de exploração em geral, ao mesmo tempo em que passamos por uma drástica redução de investimentos. Neste sentido cresce a necessidade de utilização de ferramentas de baixo custo operacional para a seleção de alvos exploratórios.
- O conceito de Sistemas Mineralizantes tenta compreender processos de mineralização e aumentar a capacidade previsional e/ou prospectiva de uma área. Considera todos os fatores geológicos que levam à formação e preservação de depósitos minerais, ou seja, parâmetros em todas as escalas, desde feições locais de depósito até evolução geodinâmica de um terreno ou orógeno.

Introdução

Sistemas Mineralizantes:

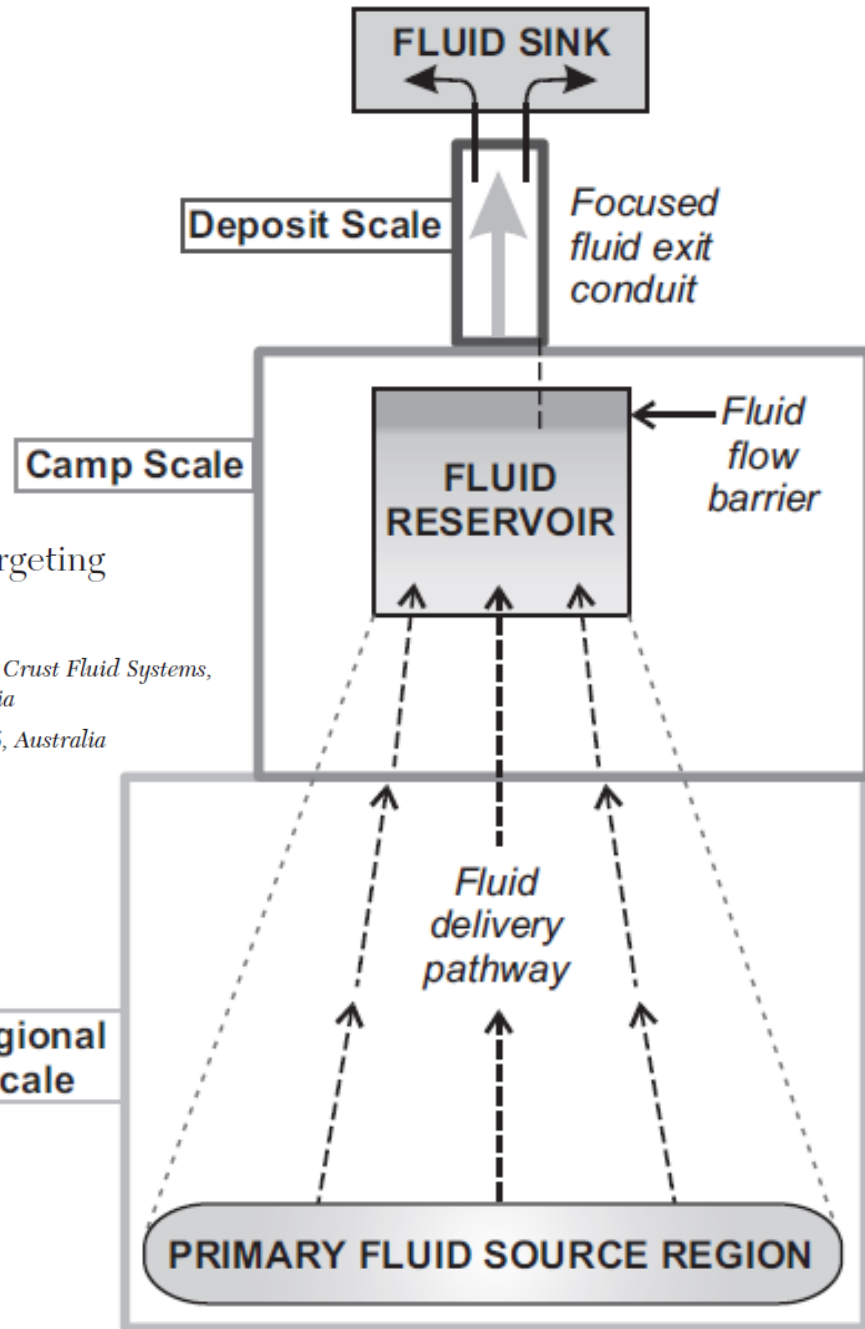
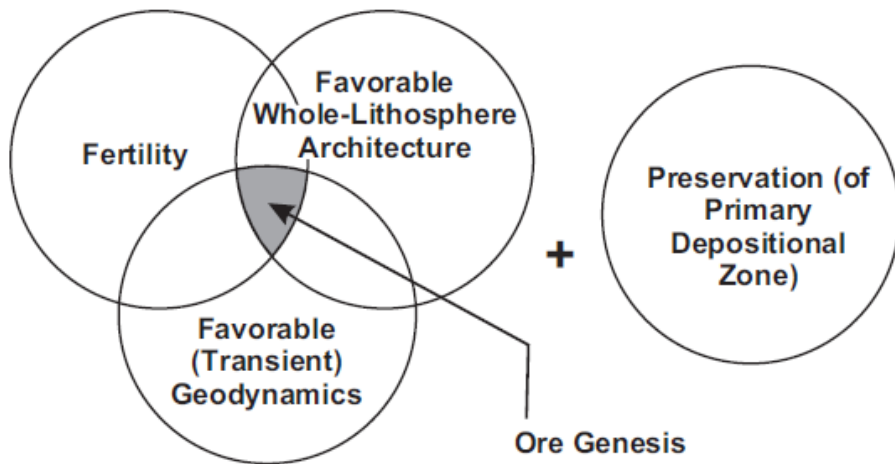


The Mineral System Concept: The Key to Exploration Targeting

T. CAMPBELL McCUAIG^{1,1} AND JON M. A. HRONSKY^{1,2}

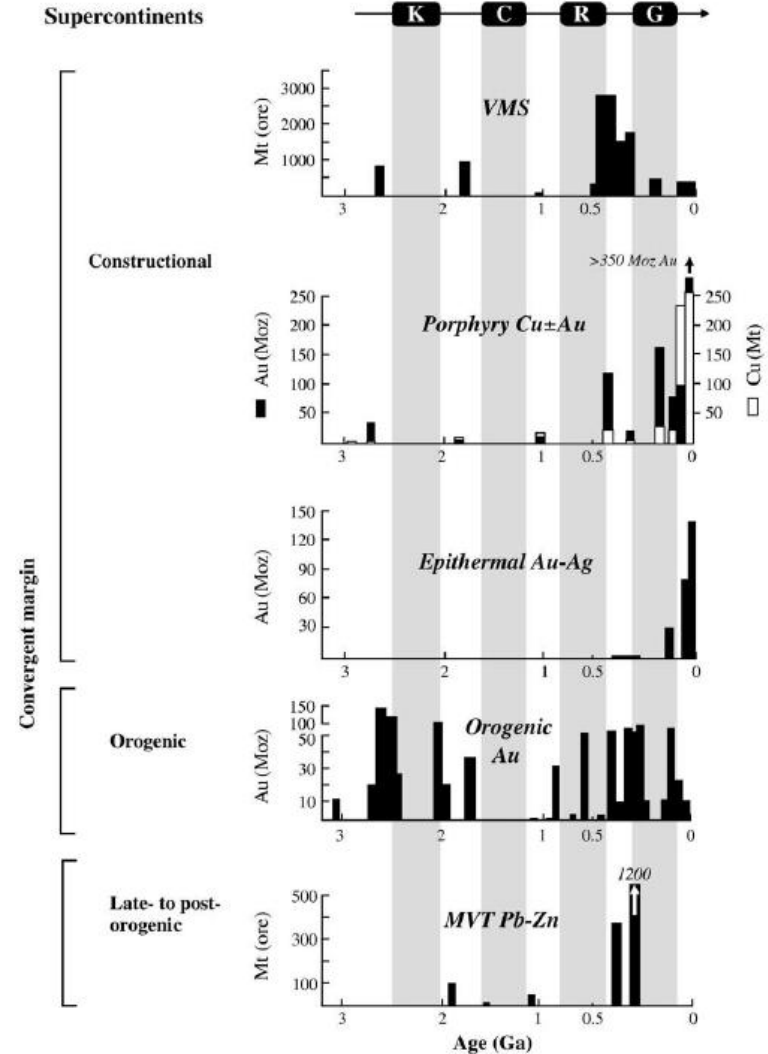
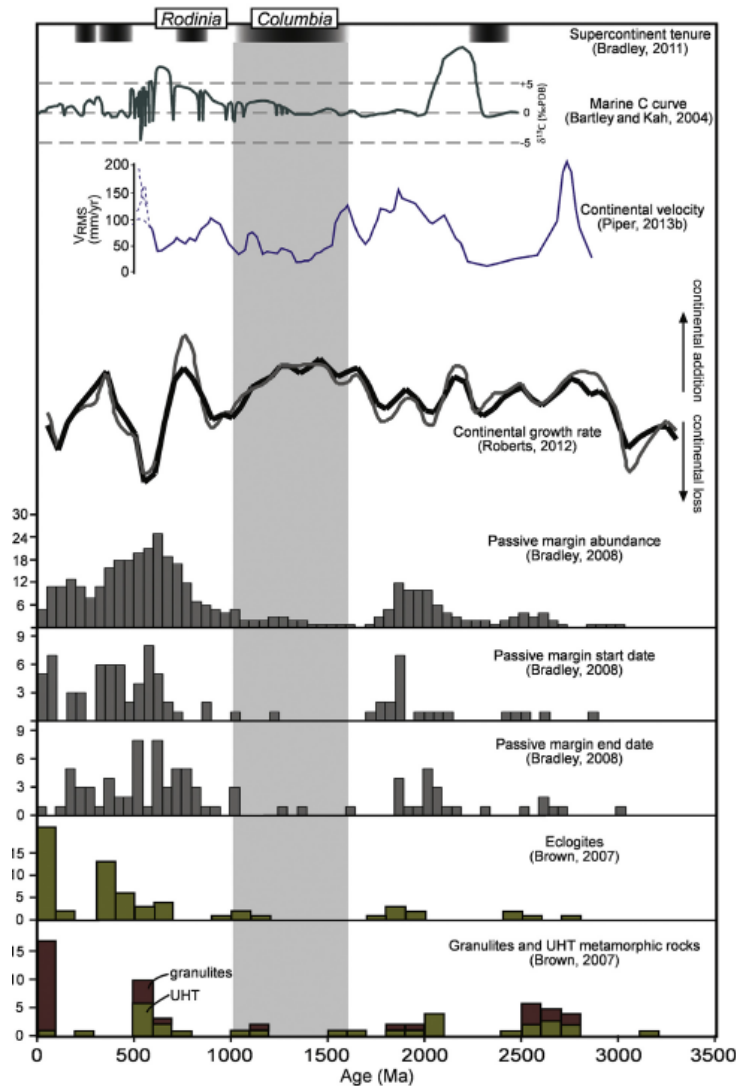
¹ Centre for Exploration Targeting and Australian Research Council Centre of Excellence for Core to Crust Fluid Systems, School of Earth and Environment, University of Western Australia 6009, Australia

² Western Mining Services, Suite 26, 17 Prowse Street, West Perth, Western Australia 6005, Australia



Tipos de depósitos e sistemas minerais

Os Depósitos Minerais não estão distribuídos randomicamente no Planeta!



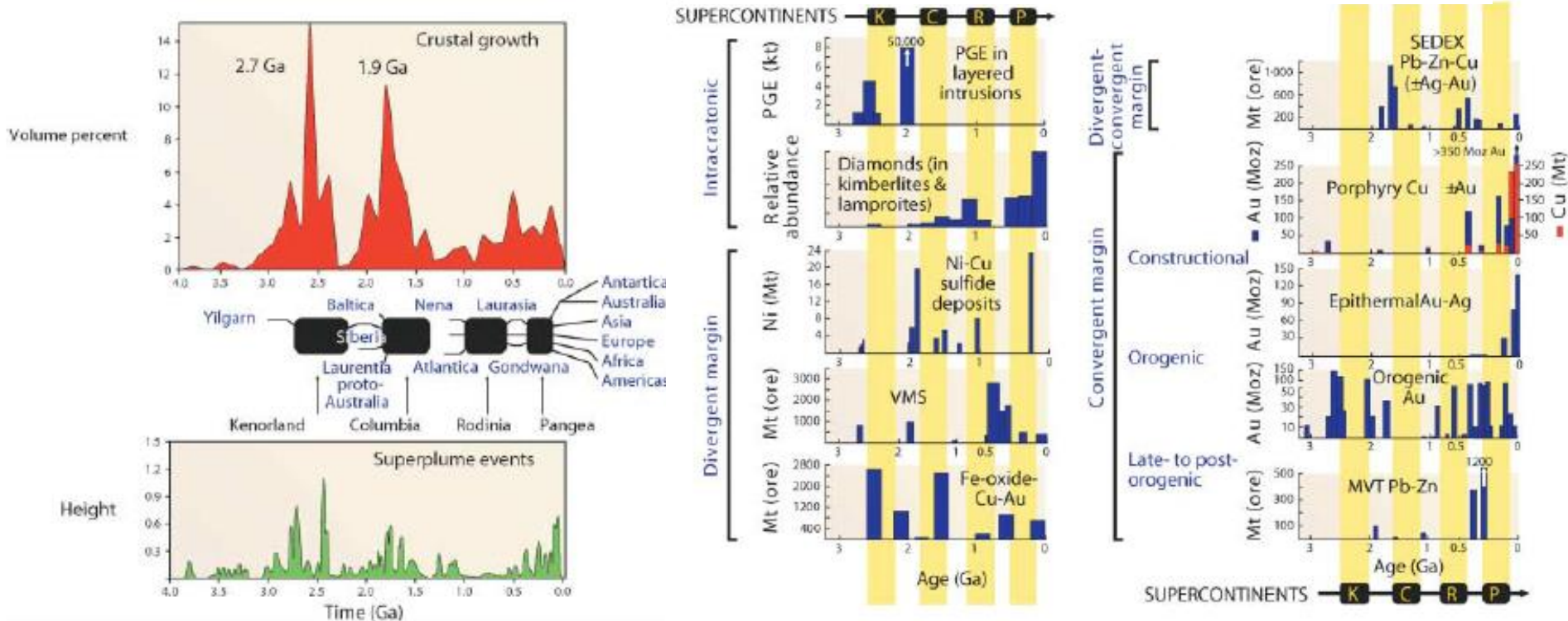
Tipos de depósitos e sistemas minerais

Geodynamic settings of mineral deposit systems

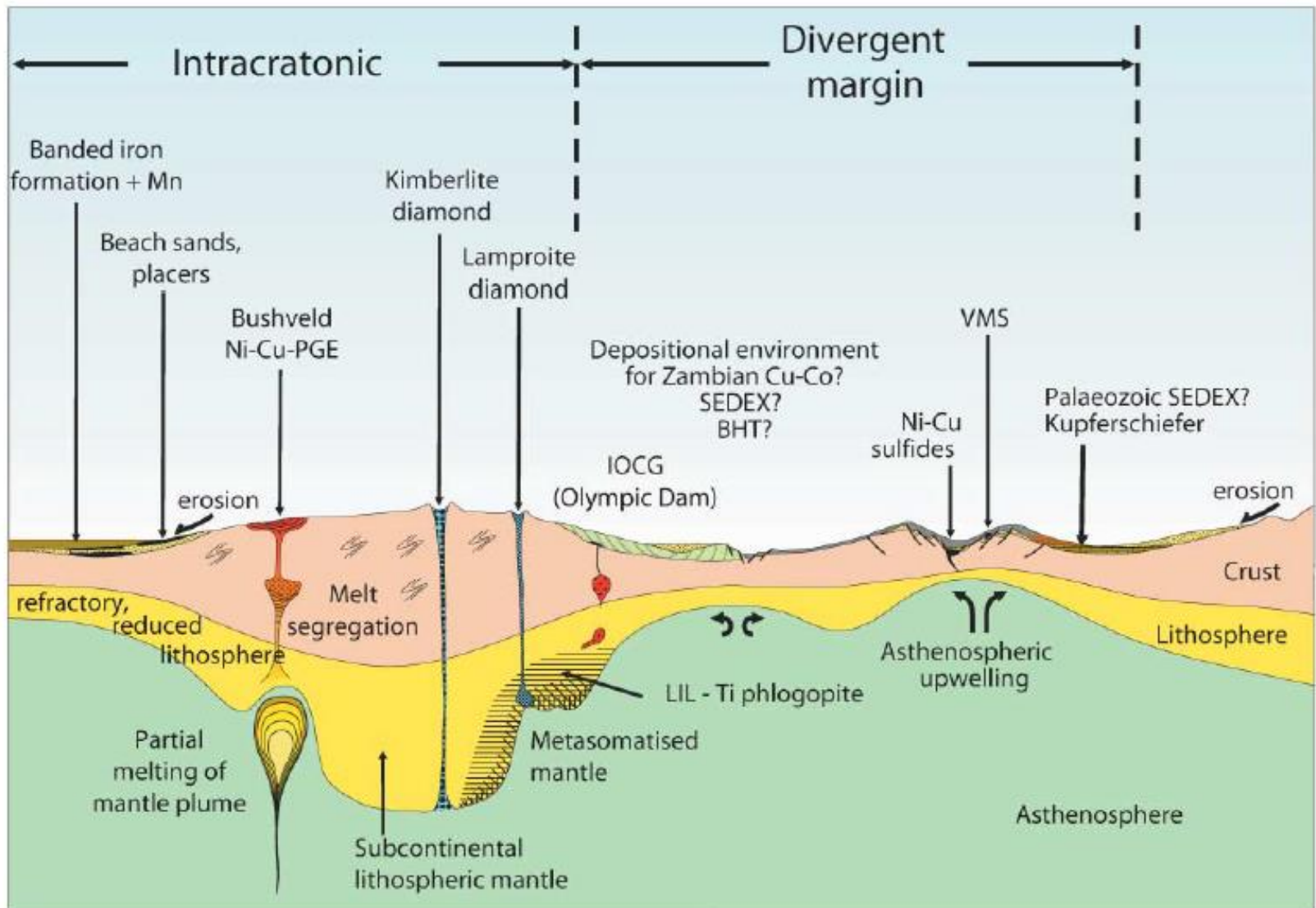
DAVID I. GROVES & FRANK P. BIERLEIN

Centre for Exploration Targeting and Tectonics Special Research Centre, School of Earth and Geographical Sciences, The University of Western Australia, Crawley, W.A. 6009, Australia (email: dgroves@cyllene.uwa.edu.au)

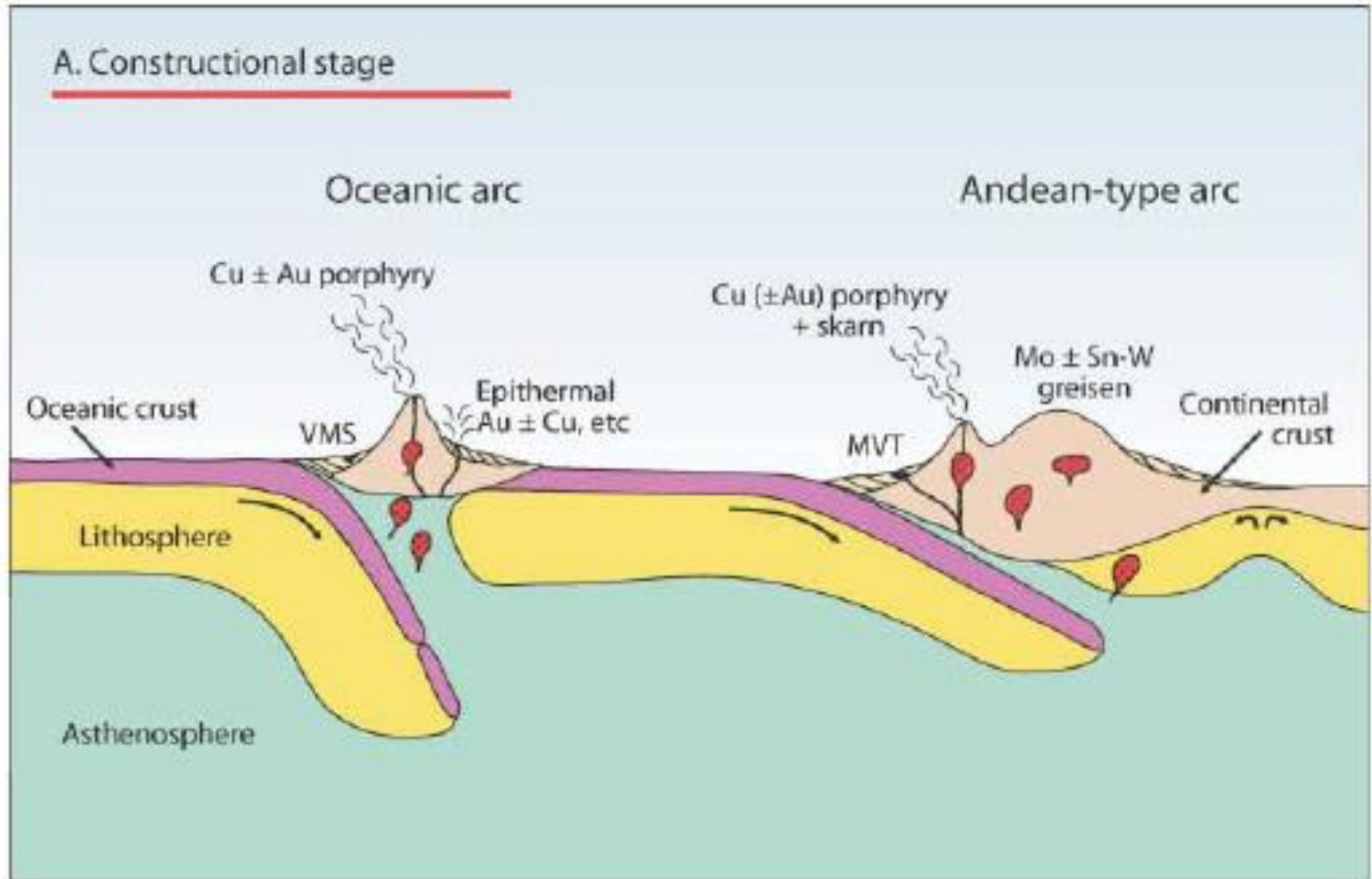
Journal of the Geological Society, London, Vol. 164, 2007, pp. 19–30. Printed in Great Britain.



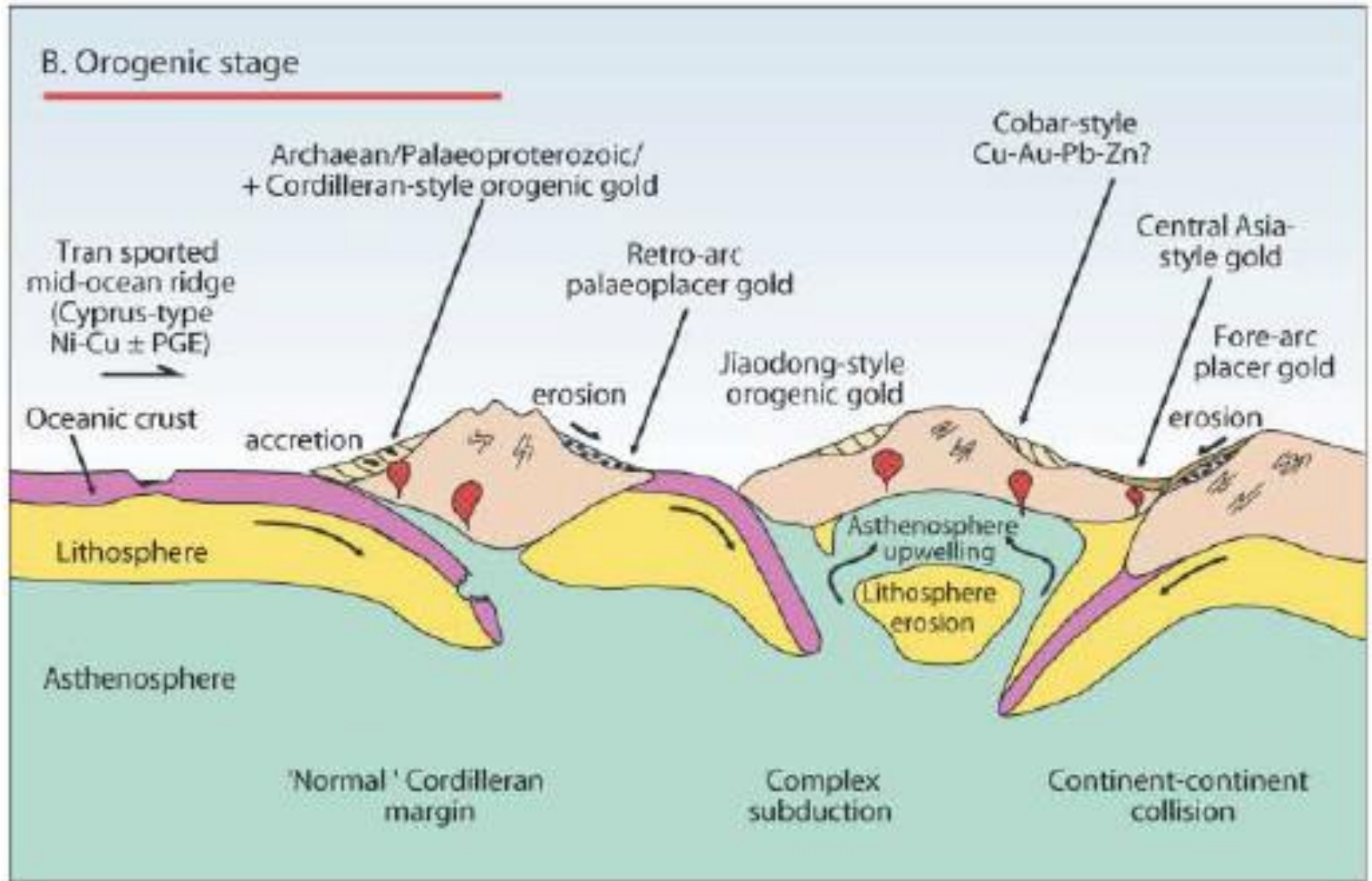
Tipos de depósitos Mineral



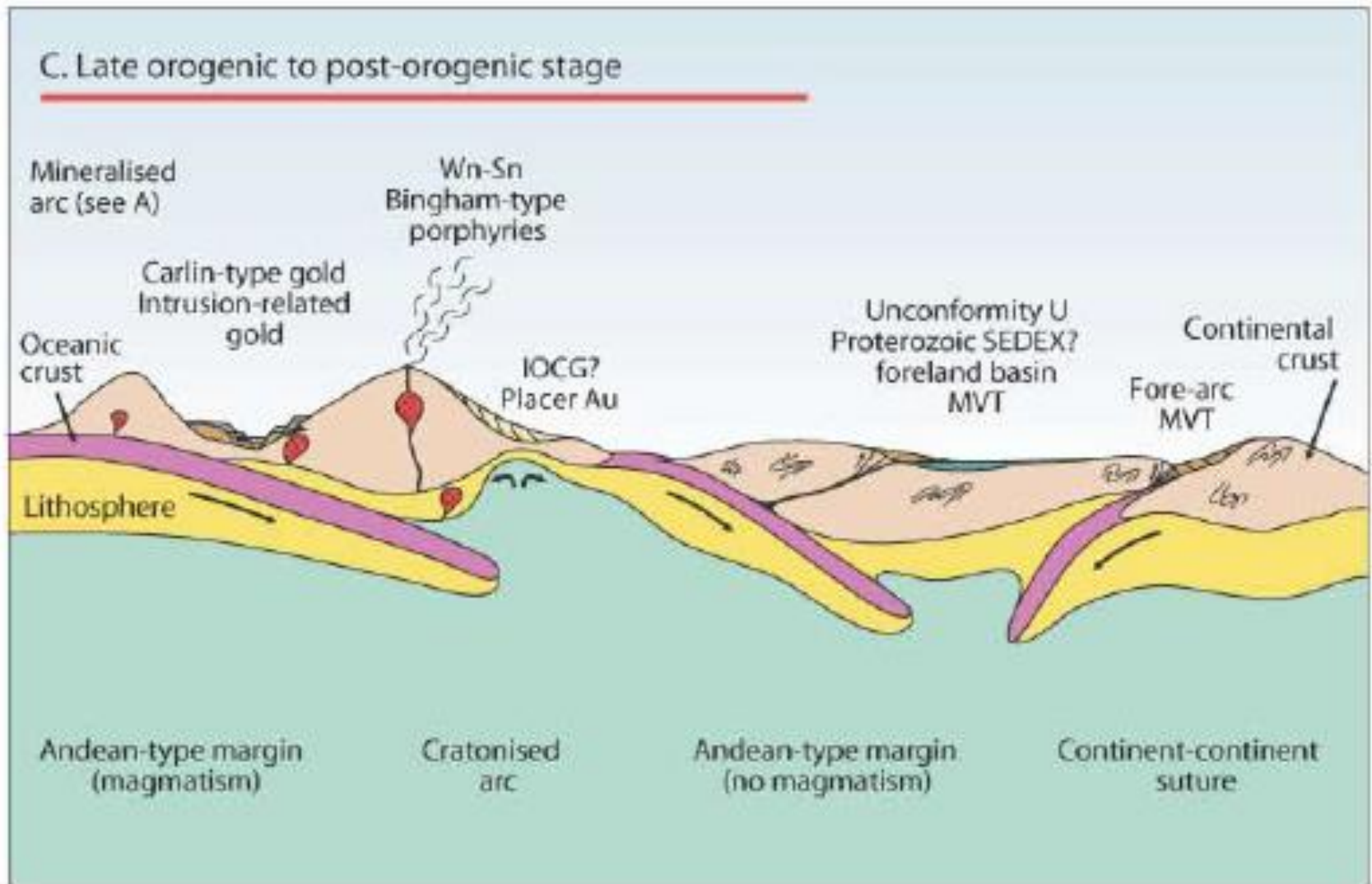
Tipos de depósitos Mineral



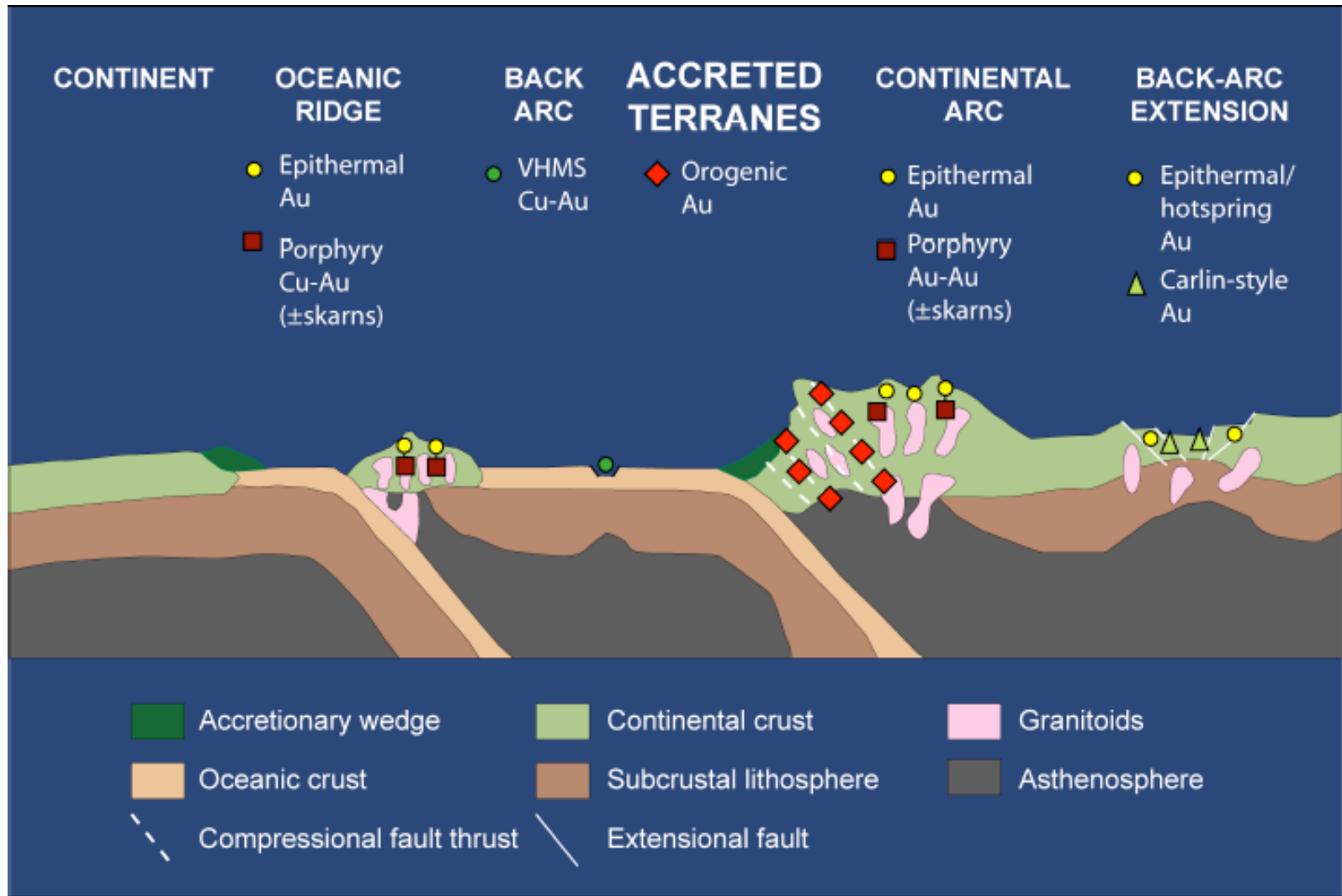
Tipos de depósitos Mineral



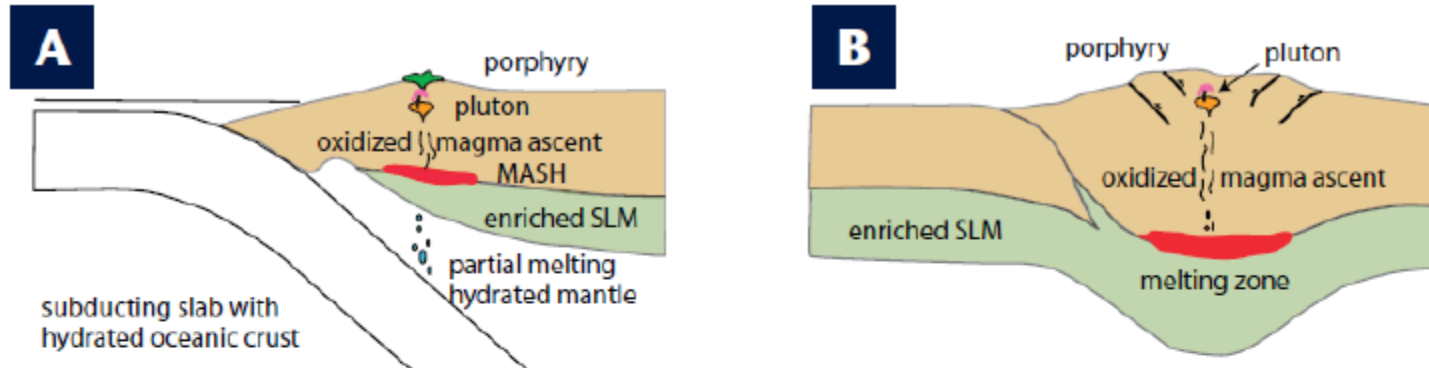
Tipos de depósitos Mineral



Tipos de depósitos Mineral

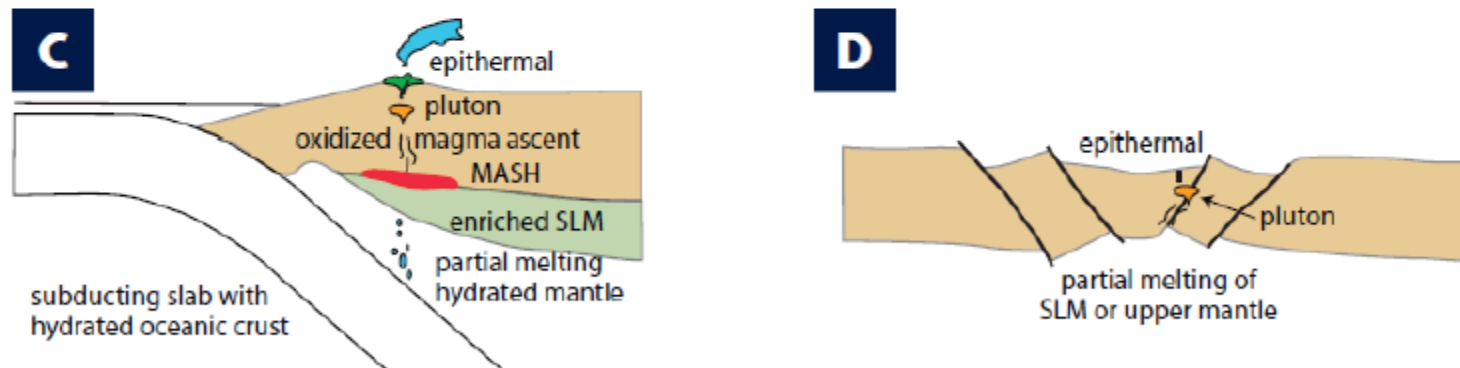


Tipos de depósitos Mineral



Porphyry Cu–Au deposits form at the end of magmatic episodes during contraction, dominantly in a convergent plate margin undergoing collision (A) or soon after collision (B).

EXTENSIONAL TECTONISM



In contrast, epithermal deposits are associated with extension at the convergent plate margin (C) or (D) in a rift zone.

Características dos depósitos minerais para Prospectores

- **Converter Commoditeis (Au, Cu, etc) em Geologia (Orogenico, Epithermal, Carlin, etc)**
- **Diferenciar possíveis ambientes mineralizados em relação a ambientes não mineralizados para maximizar chances de sucesso do programa de exploração**
- **Selecionar técnicas e definir estratégias de exploração específicas para cada situação geológica**

Características dos depósitos minerais para Prospectores

Texturas Diferentes, Modelos Diferentes



Tipos de Depósito

- Porfirítico (halo Potássico/Fílico)
- Stockwork multidirecional - Vênulas e veios de quartzo e sulfeto
- Normalmente depósitos de gde Vol

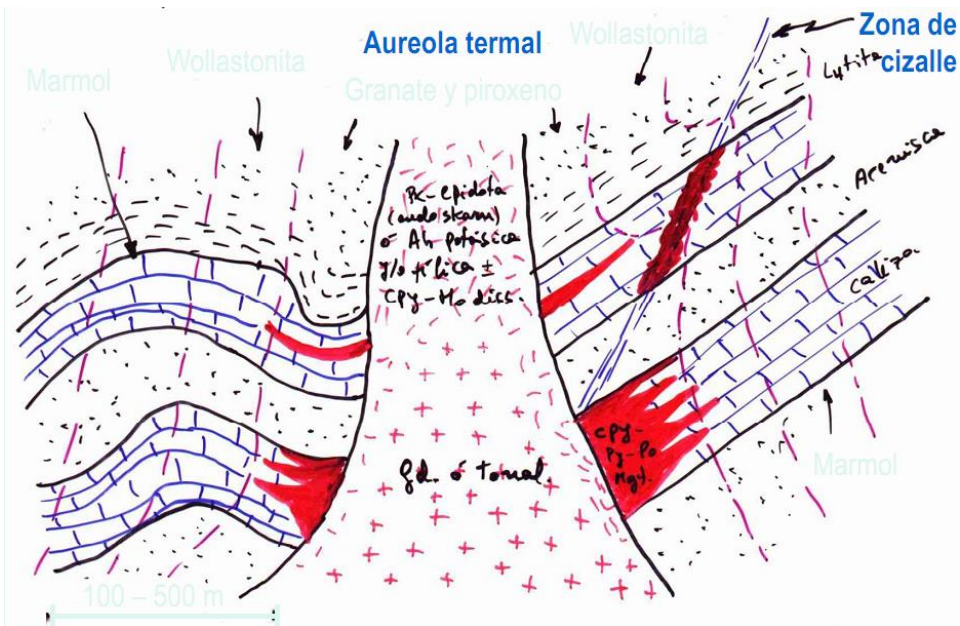


Tipos de Depósito

- Skarns

Transformação de rochas carbonáticas em assembléias silicáticas calcícas e magnésinas mineralizadas / Metamorfismo térmico

Pequeno volume e altos teores



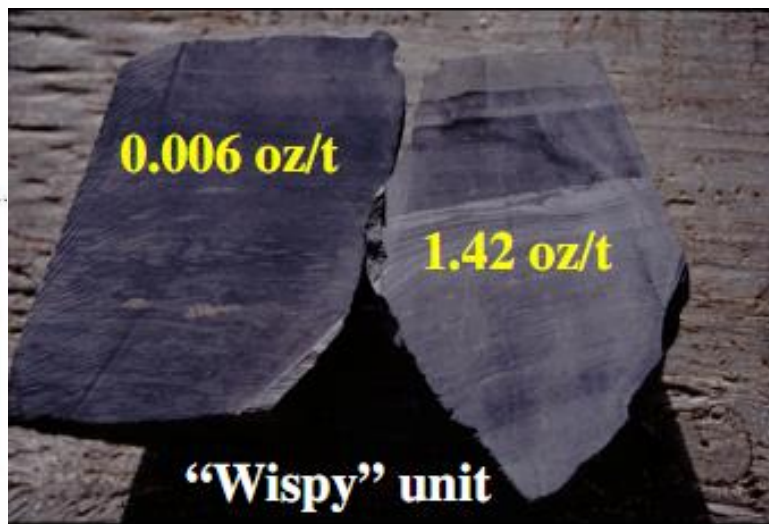
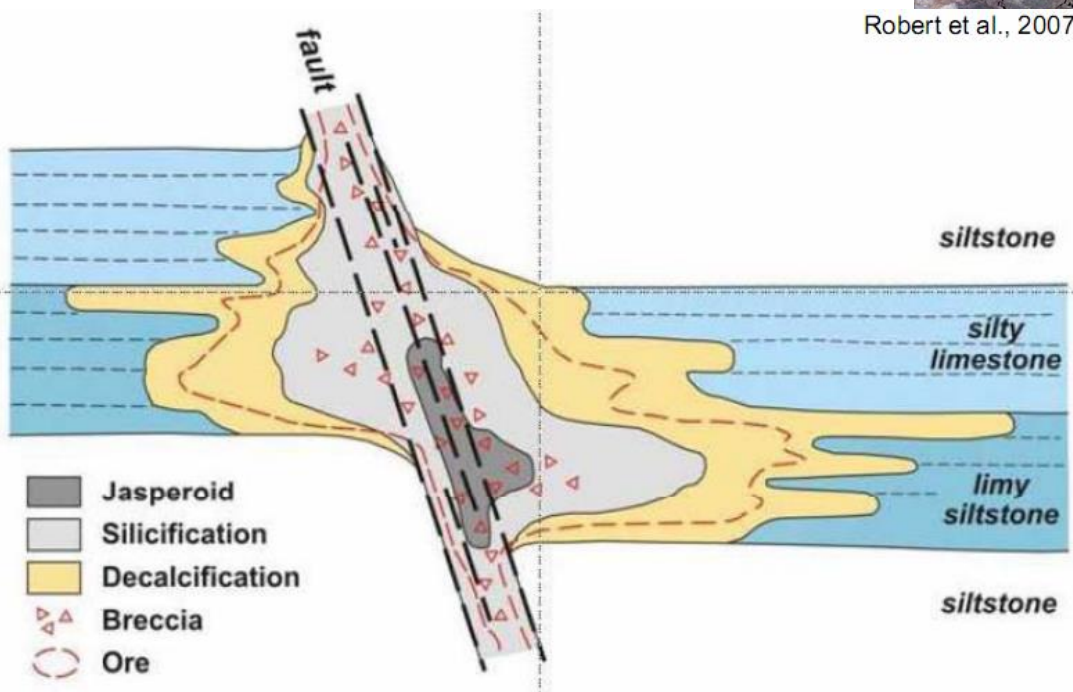
Tipos de Depósito

- (Carbonate) Replacement

Skarns Distais ao longo de estruturas e sem conexão direta com intrusões



Robert et al., 2007



Tipos de Depósito

- Brechas

Forte controle estrutural

Geometria variada e complexa, Teores e volumes variados

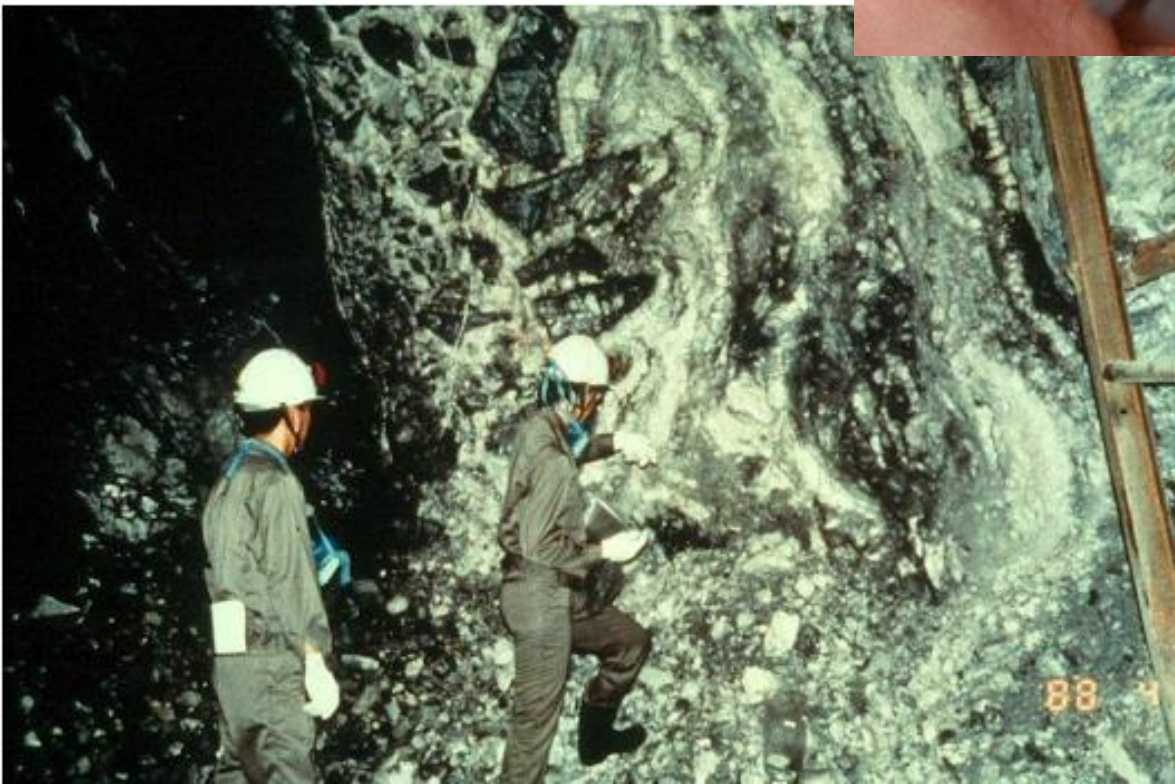


Tipos de Depósito

- Veios

Corpos tabulares

Podem apresentar continuidade Lateral e Vertical por Kms, altos teores



Características dos depósitos minerais

Modelo Descritivo X Teórico

- **Descritivo:** Relaciona vários atributos essenciais, entretanto a relação entre eles é desconhecida
- **Teórico:** Os atributos estão correlacionados através de conceitos fundamentais. Portanto, há um limitado número de modelos
- **Geólogos de Exploração** tendem a usar ambos, alinhando a descrição com a teoria

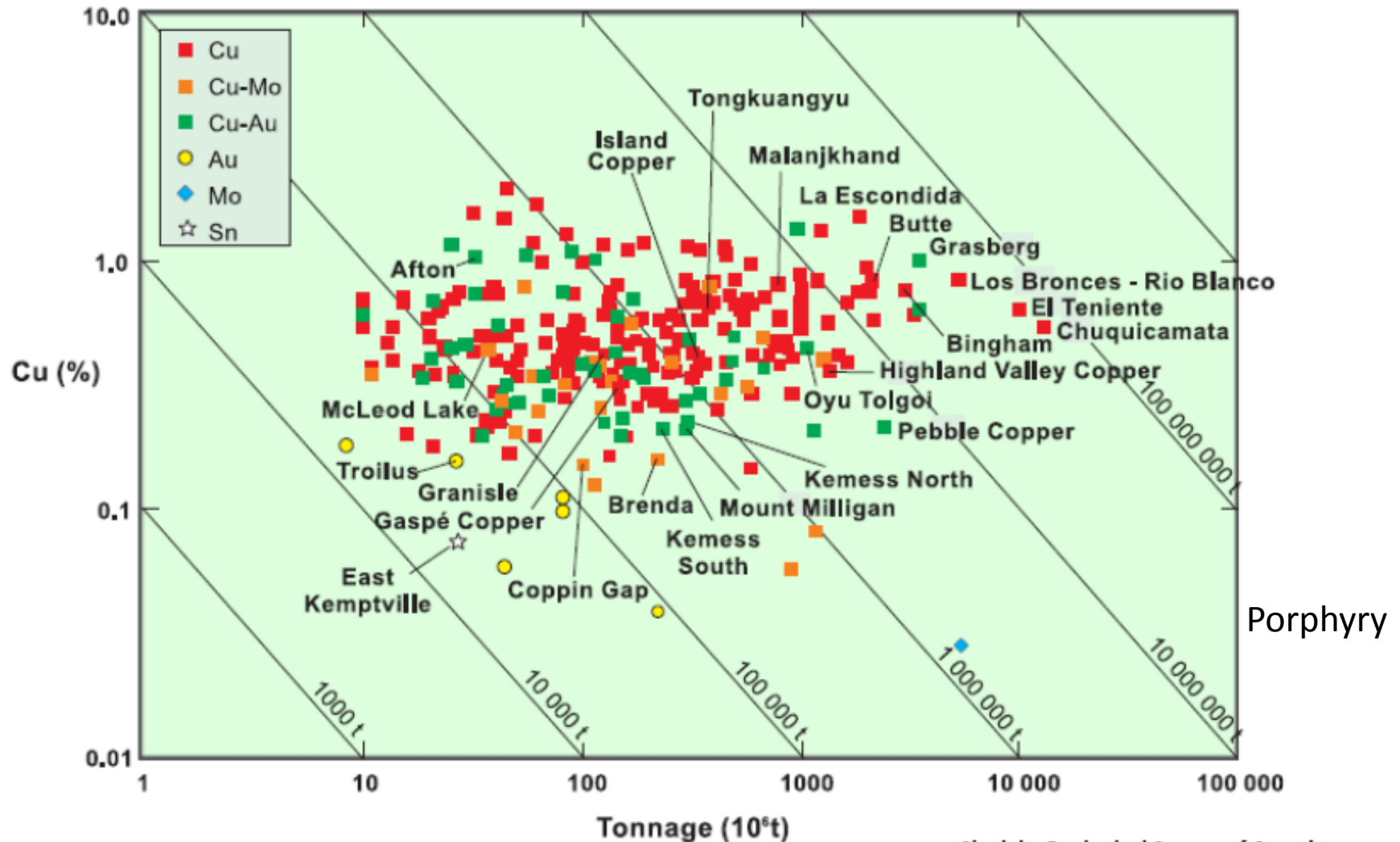
Características dos depósitos minerais

O PERIGO DOS MODELOS

- **O modelo adotado deve seguir as observações, não o contrário**
- **Modelos baseados em ideias preconcebidas tendem a ignorar as observações (fatos)**
- **Nem todos os depósitos podem ser explicados por modelos existentes, adicionalmente novas propostas de modelo não devem ser limitadas aos depósitos conhecidos.**

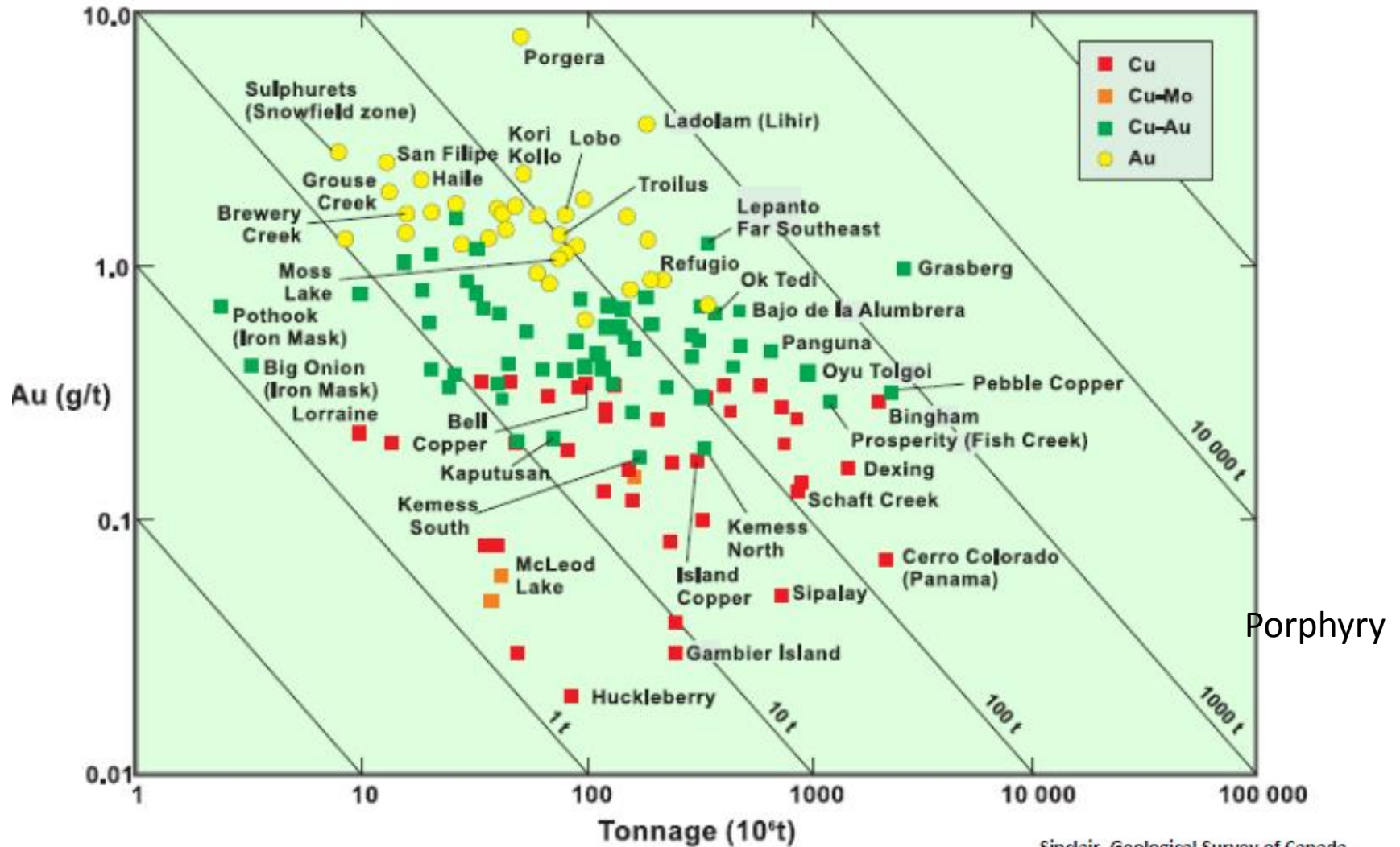
Características dos depósitos minerais

Modelos Teor/Tonelagem



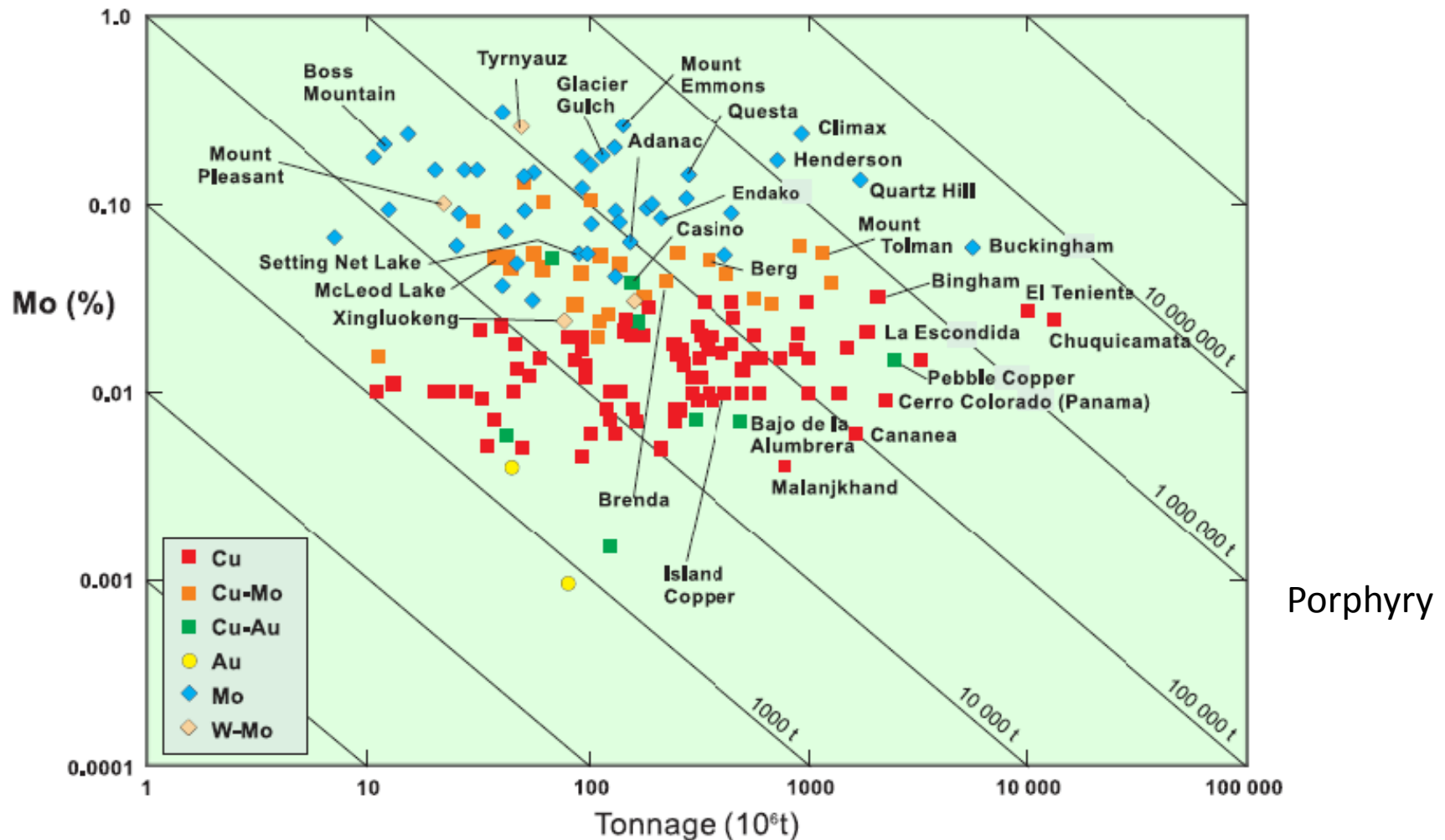
Características dos depósitos minerais

Modelos Teor/Tonelagem



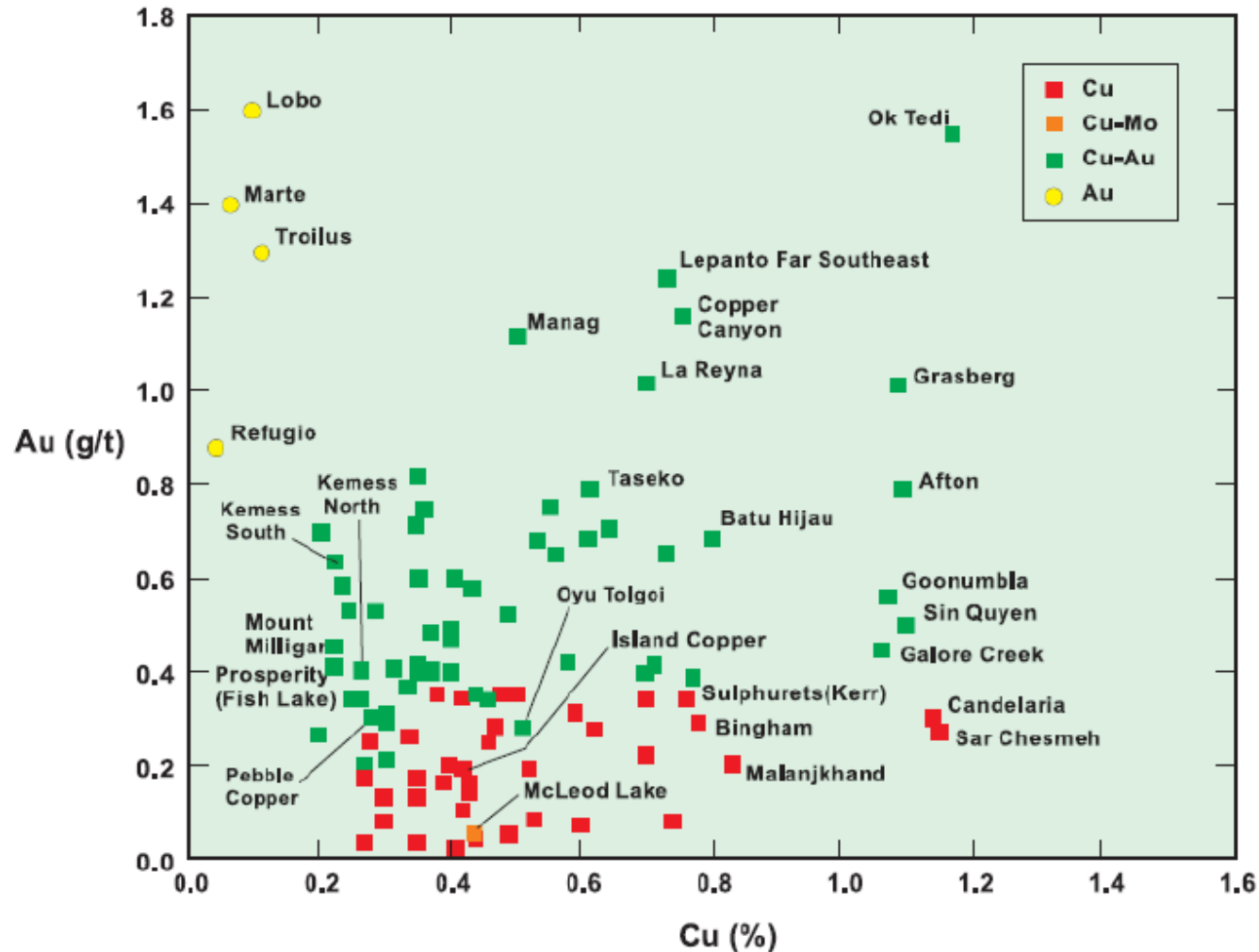
Características dos depósitos minerais

Modelos Teor/Tonelagem



Características dos depósitos minerais

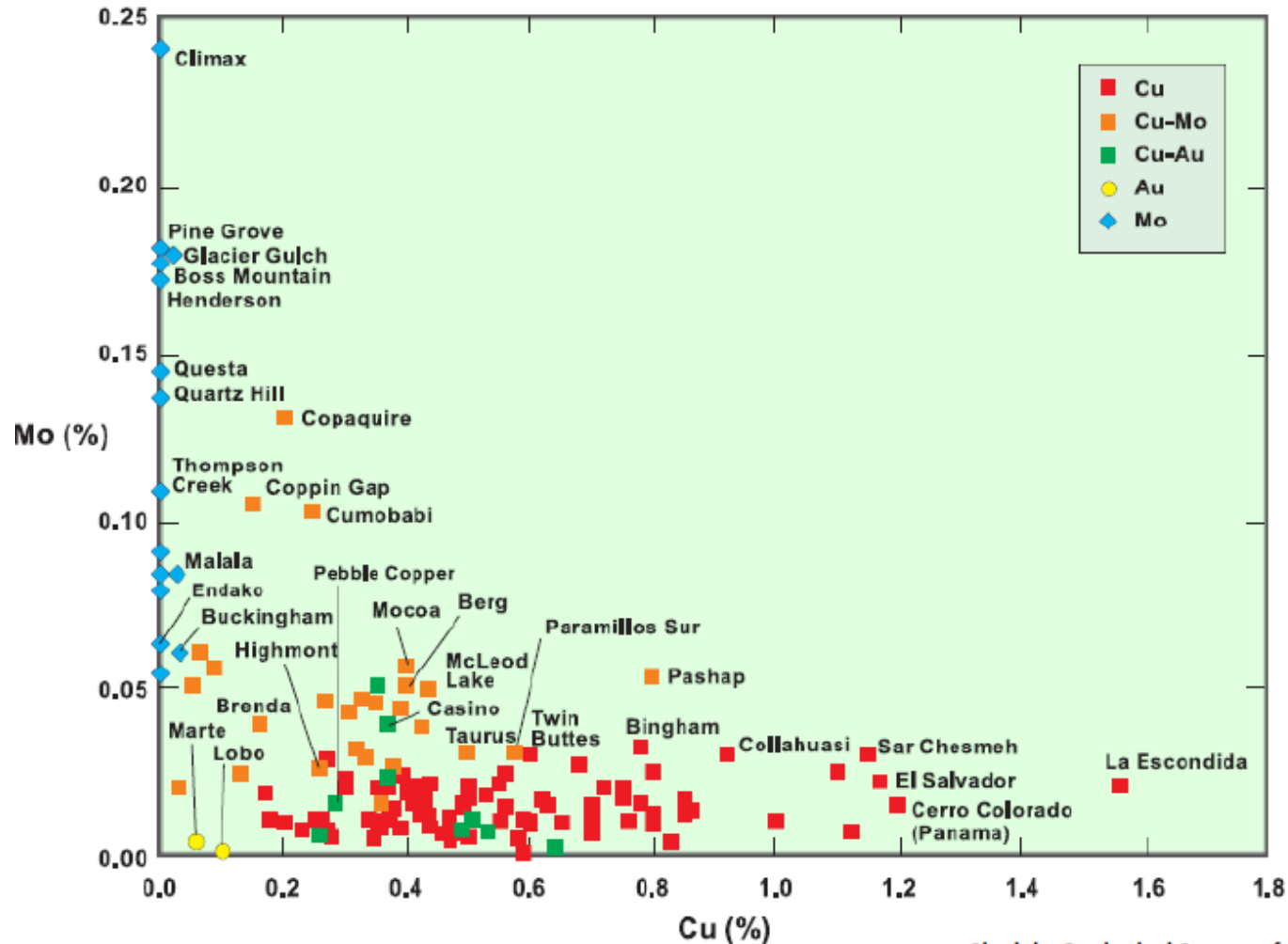
Modelos Teor/Tonelagem



Porphyry

Características dos depósitos minerais

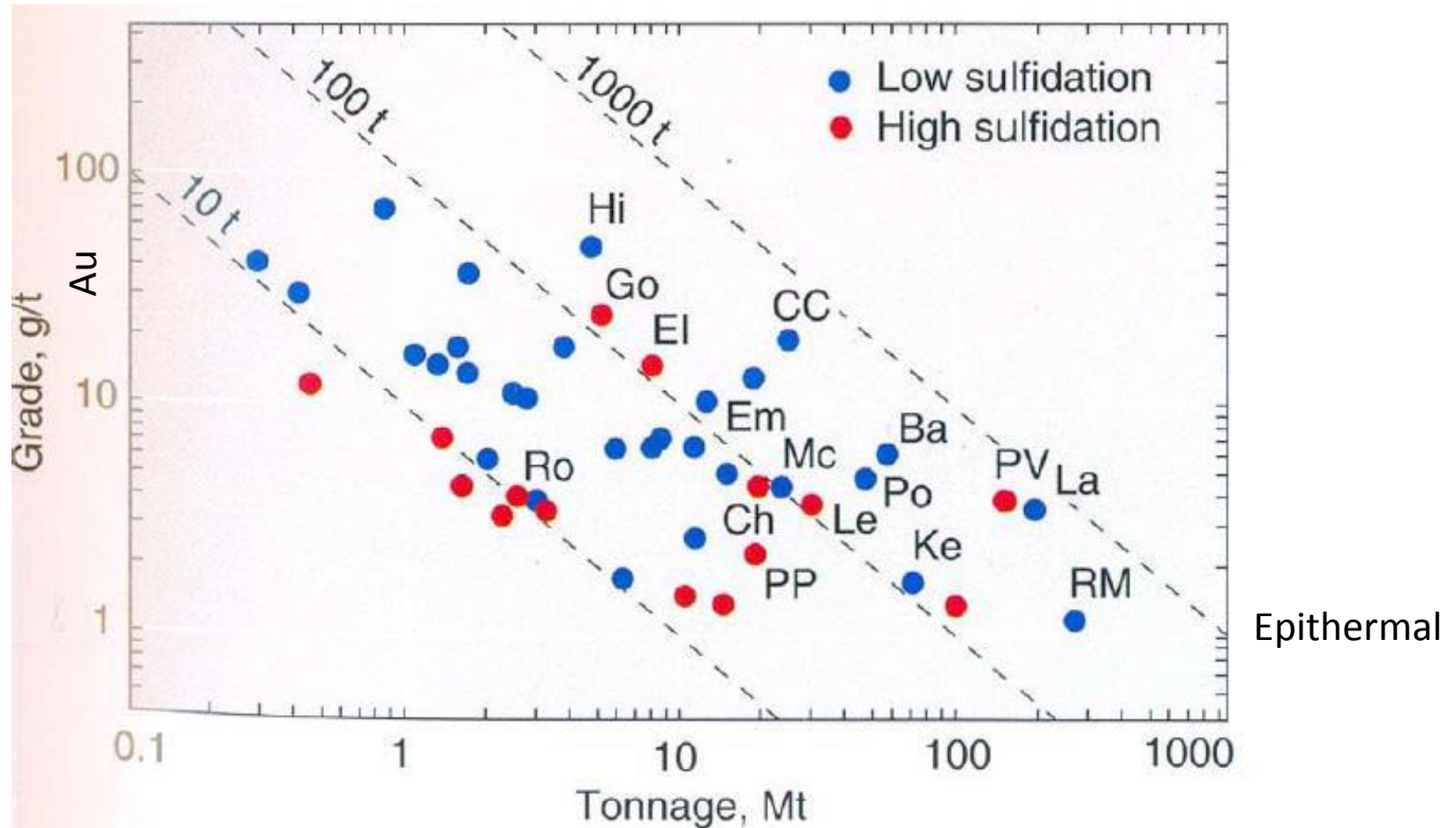
Modelos Teor/Tonelagem



Porphyry

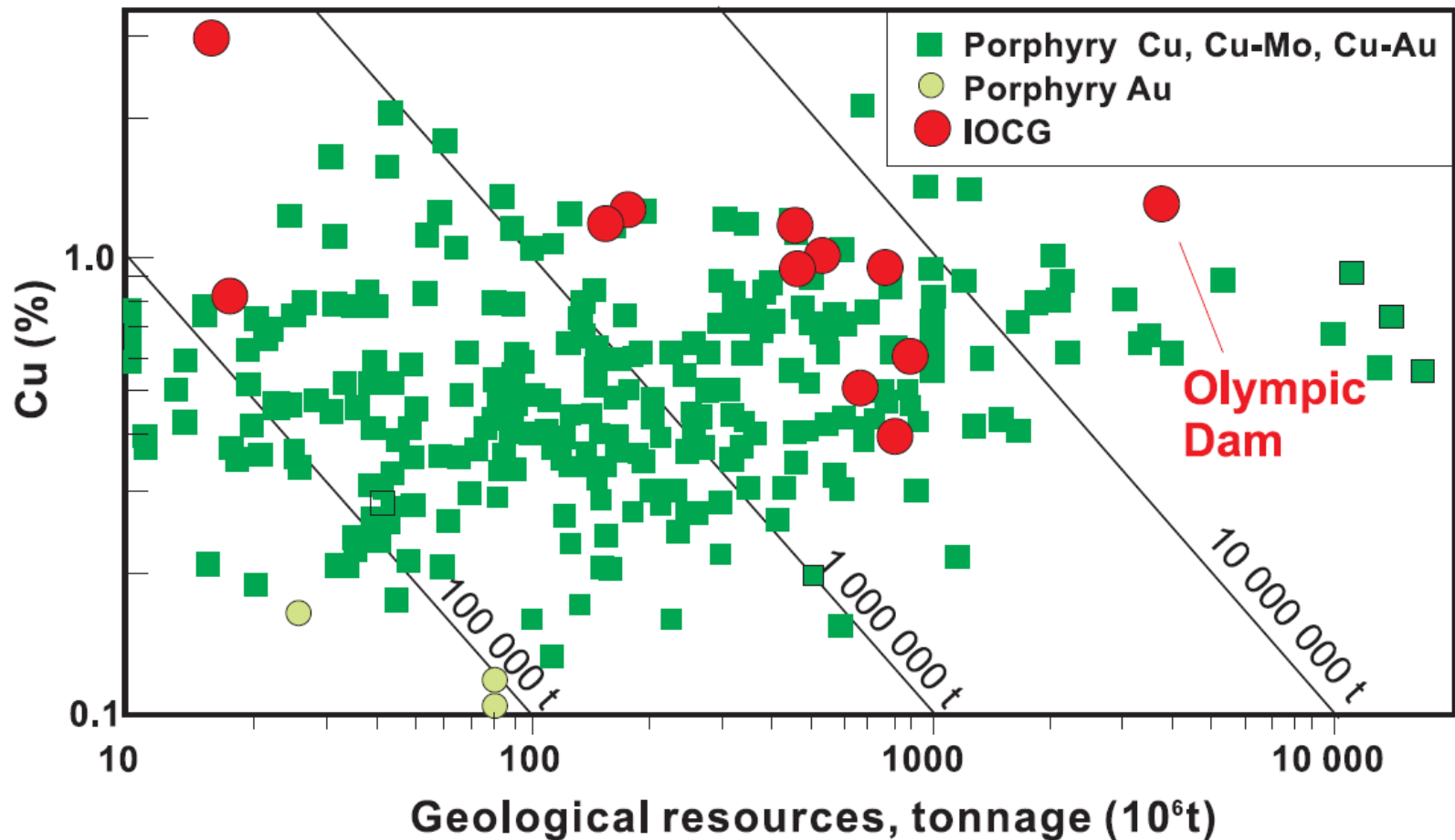
Características dos depósitos minerais

Modelos Teor/Tonelagem



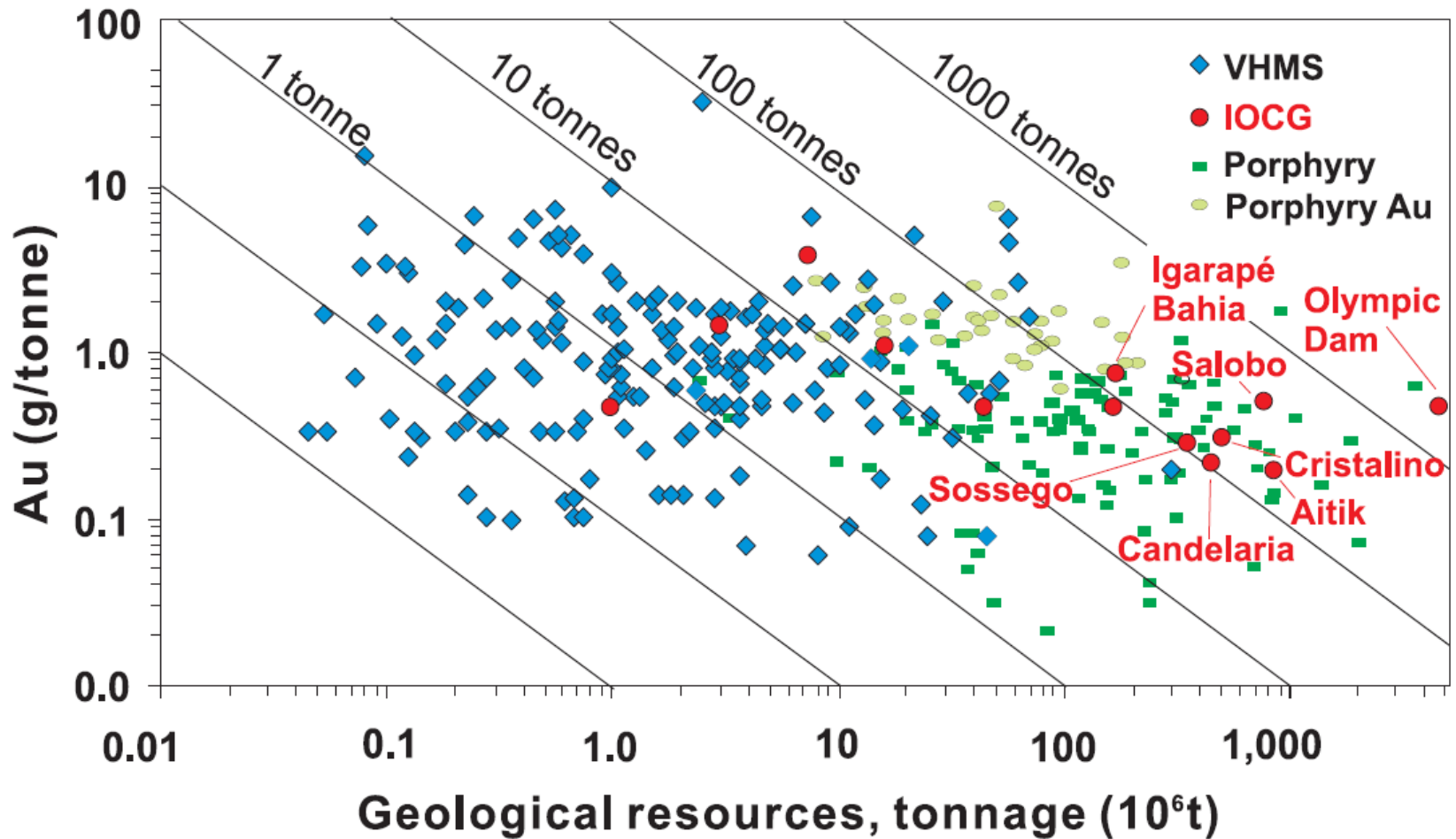
Características dos depósitos minerais

Modelos Teor/Tonelagem



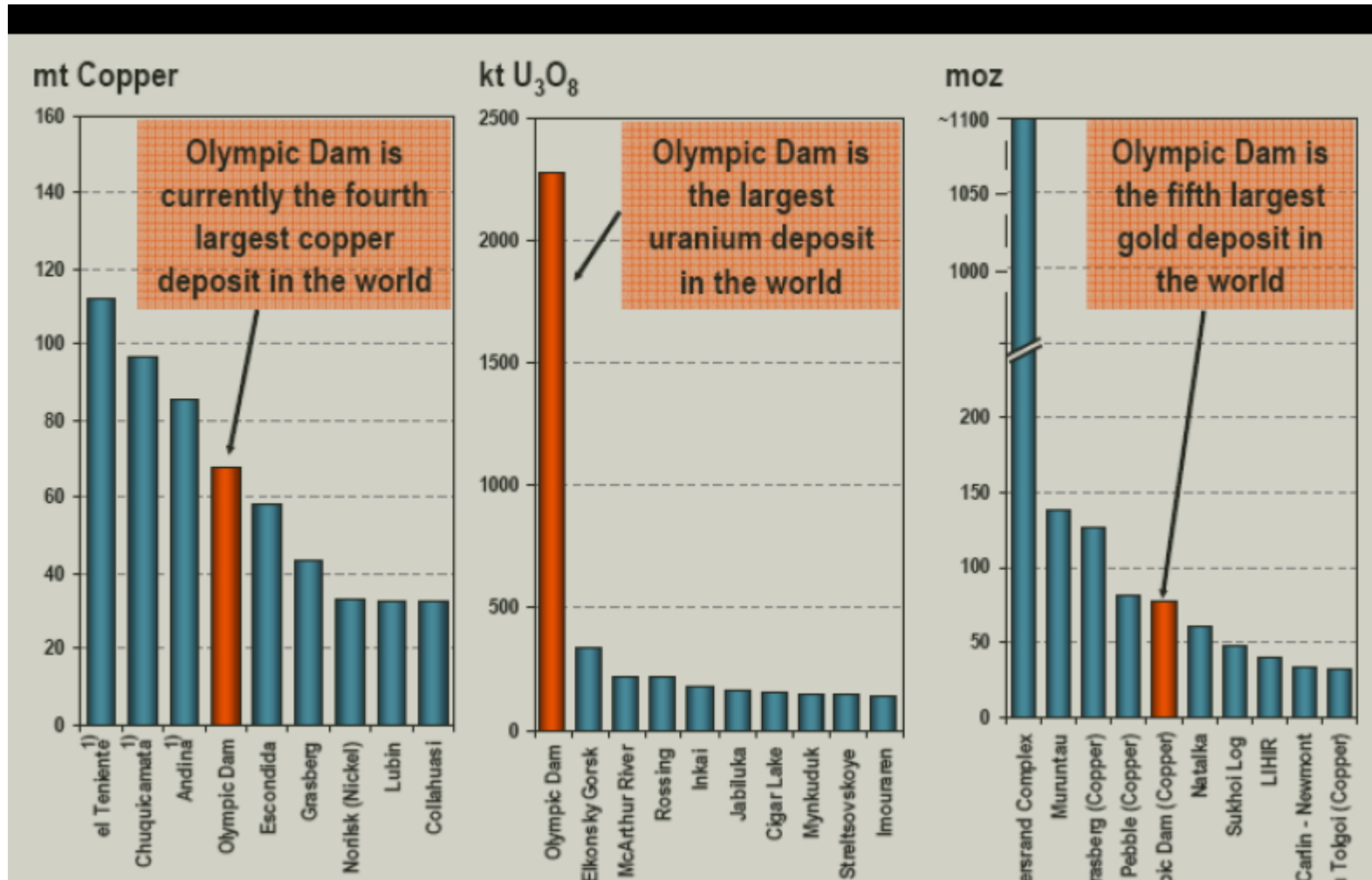
Características dos depósitos minerais

Modelos Teor/Tonelagem



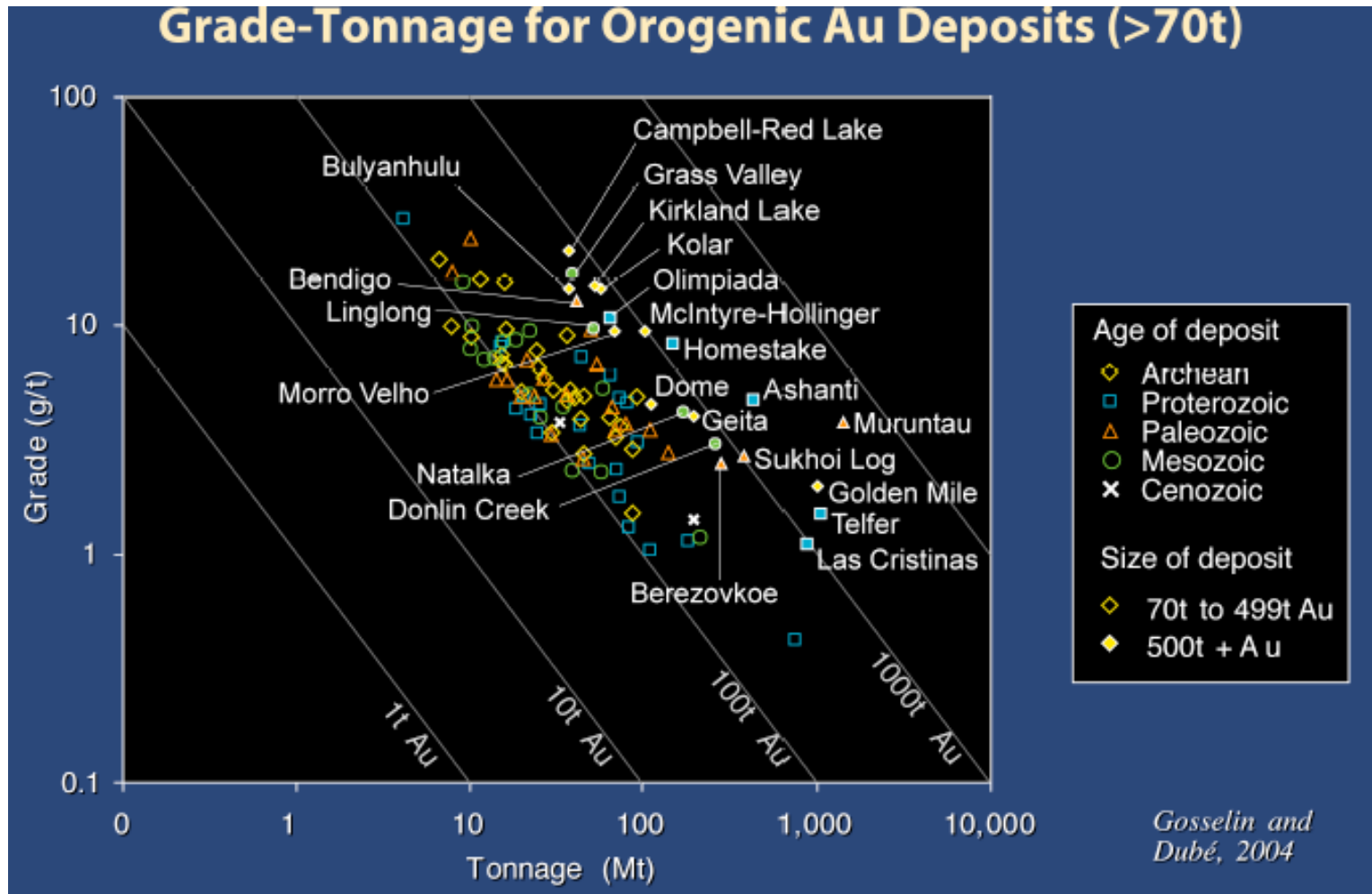
Características dos depósitos minerais

Modelos Teor/Tonelagem



Características dos depósitos minerais

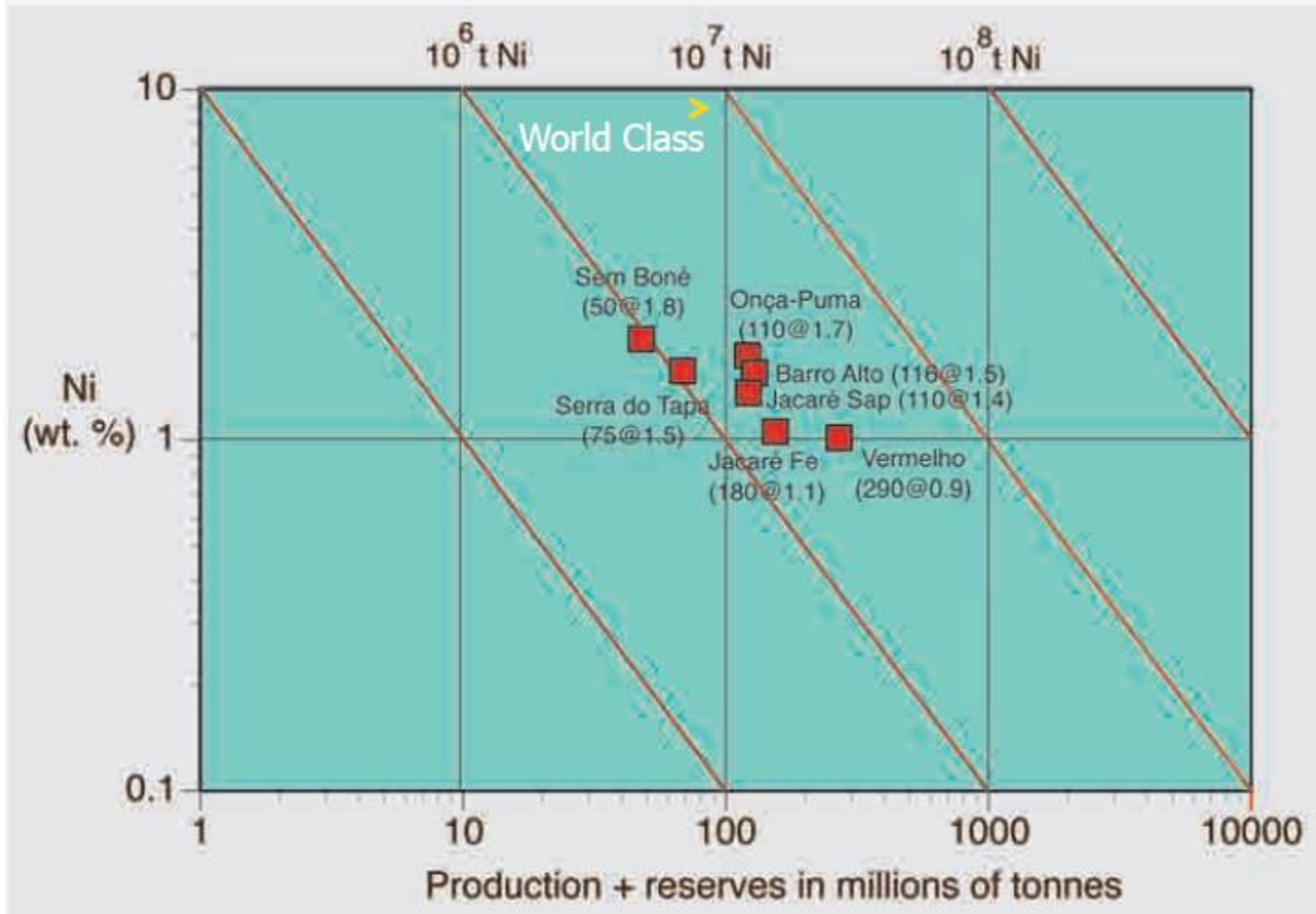
Modelos Teor/Tonelagem



Características dos depósitos minerais

Modelos Teor/Tonelagem

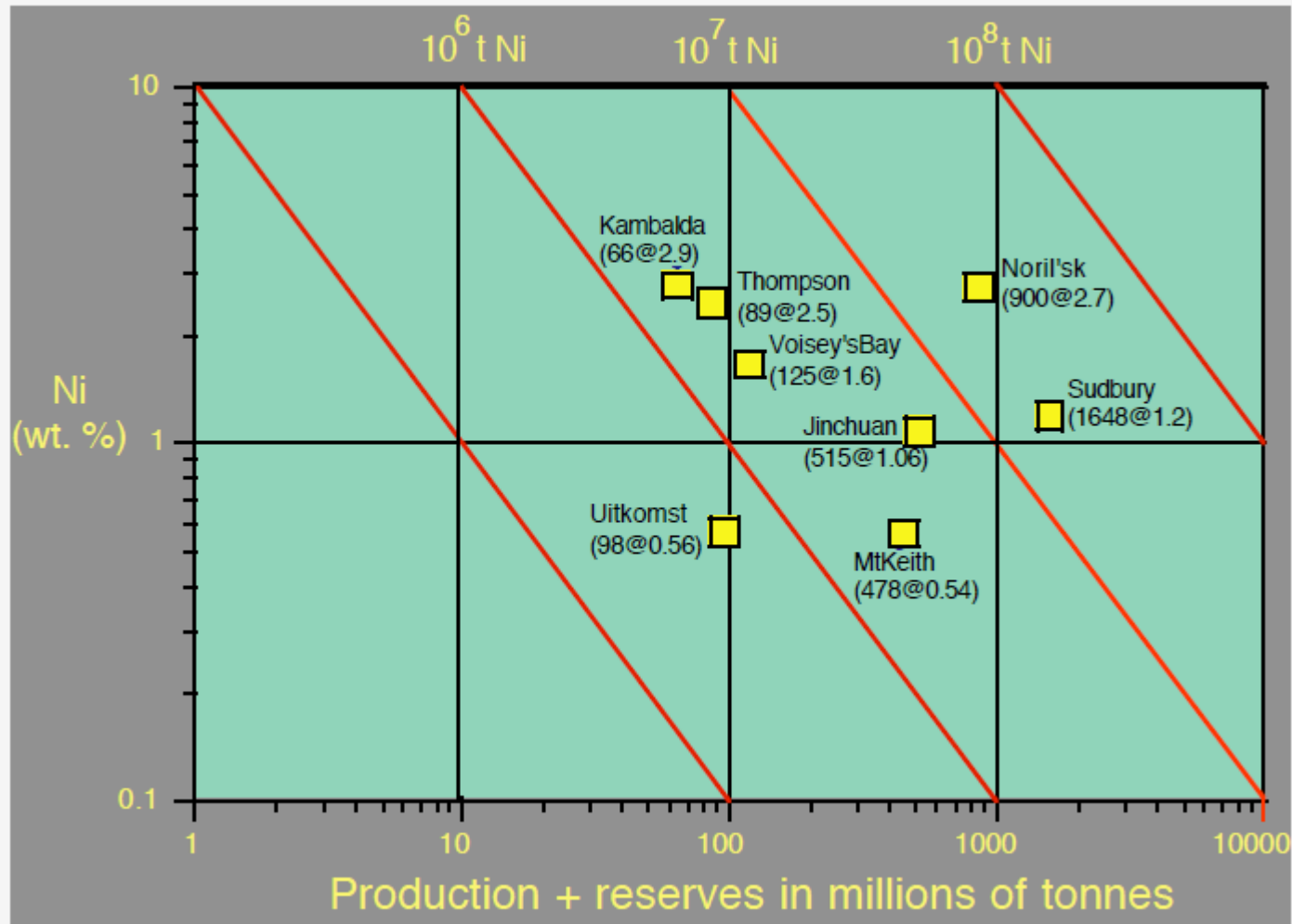
Examples of Ni laterite deposits / resources



Características dos depósitos minerais

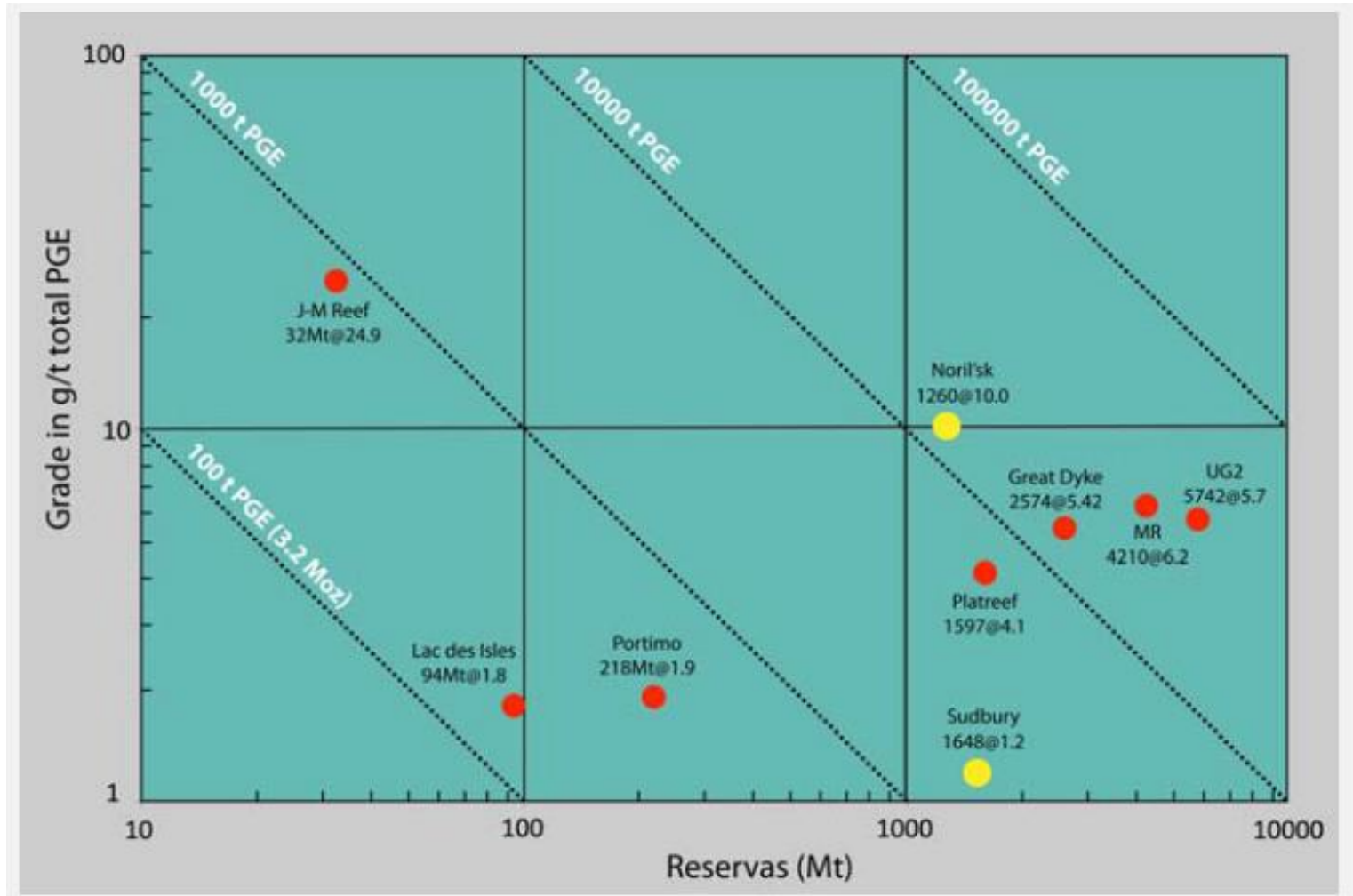
Modelos Teor/Tonelagem

Foco: depósitos de sulfetos de Ni-Cu-(±PGE)



Características dos depósitos minerais

Modelos Teor/Tonelagem



Sistemas Mineralizantes

SUMÁRIO

Módulo I

- **Introdução**
- **Tipos de Depósitos Minerais e Ambientes Geotectônicos**
- **Características dos Depósitos Minerais (para Prospecção)**
- **Modelos Teor/Tonelagem de Depósitos Minerais**

Modulo II

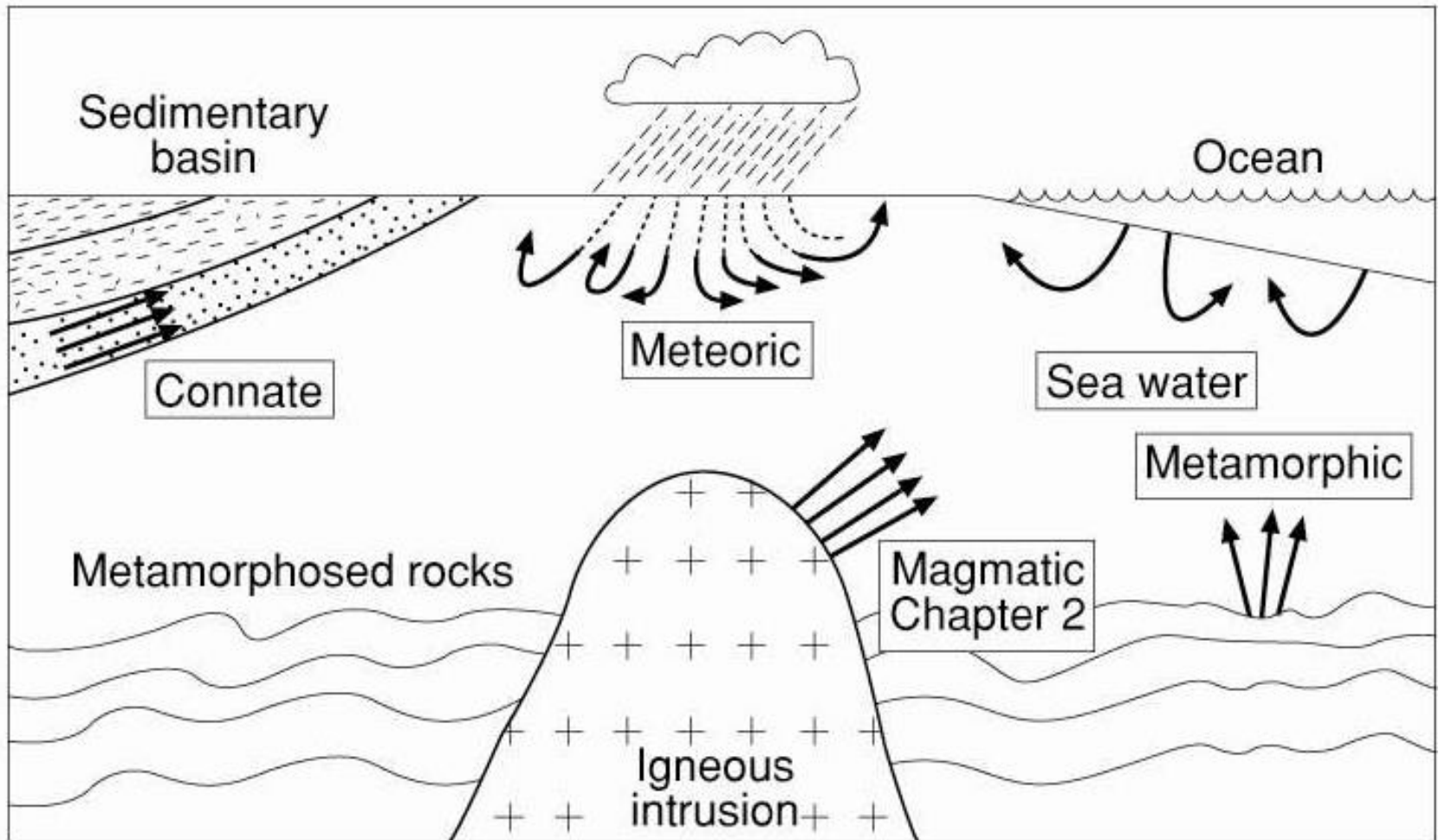
- **Reservatórios e Características dos Fluidos**
- **Ambientes e Controles de Fluxo de Fluidos**
- **Condições de Deposição e Preservação**

Modulo III

- **Assinatura Geofísica dos Sistemas Mineralizantes**
- **Sistemas Mineralizantes e Geração de Alvos**
- **Exemplos e Estudo de Caso**
- **Discussões**

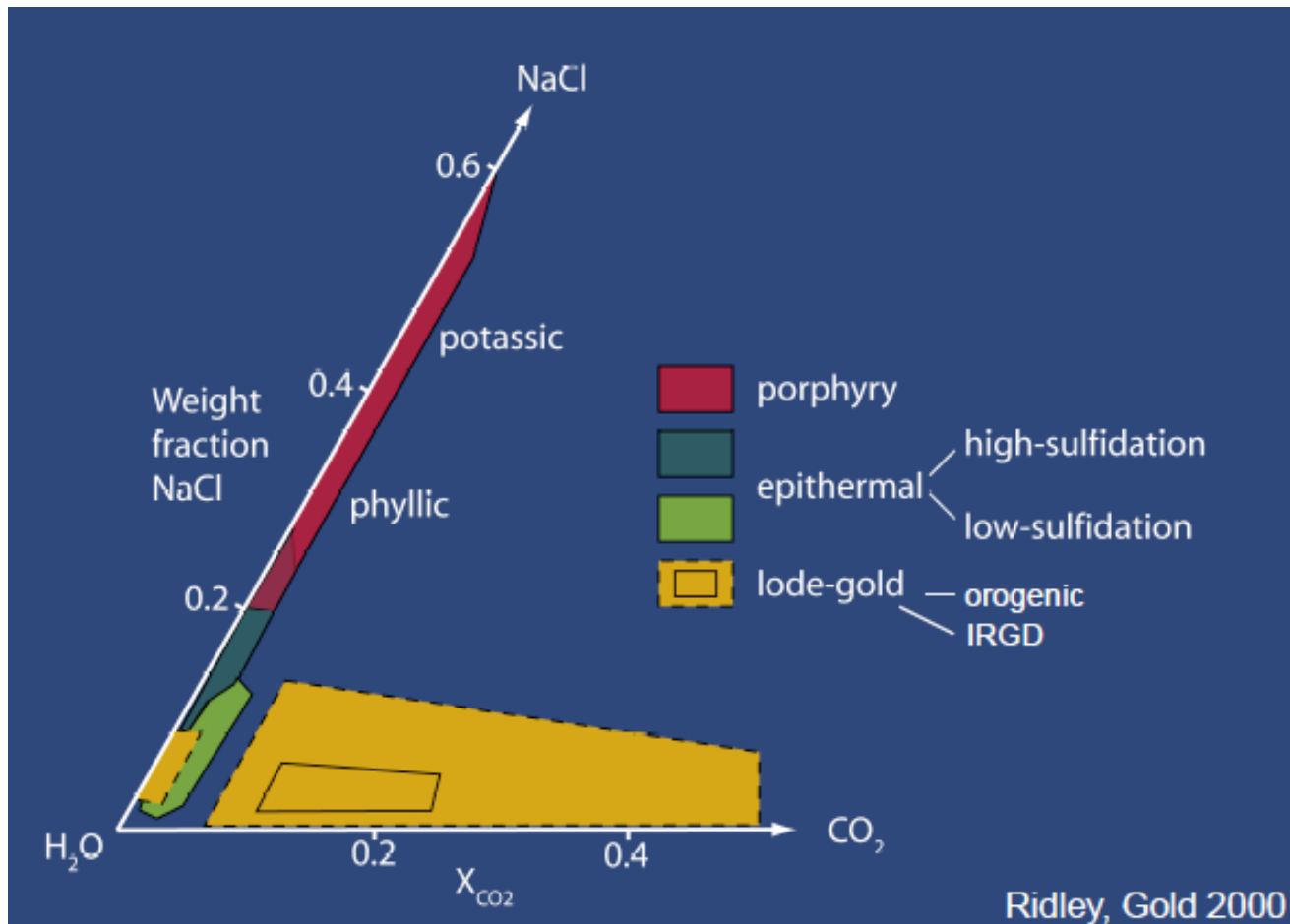
Características dos depósitos minerais

Características dos Fluidos



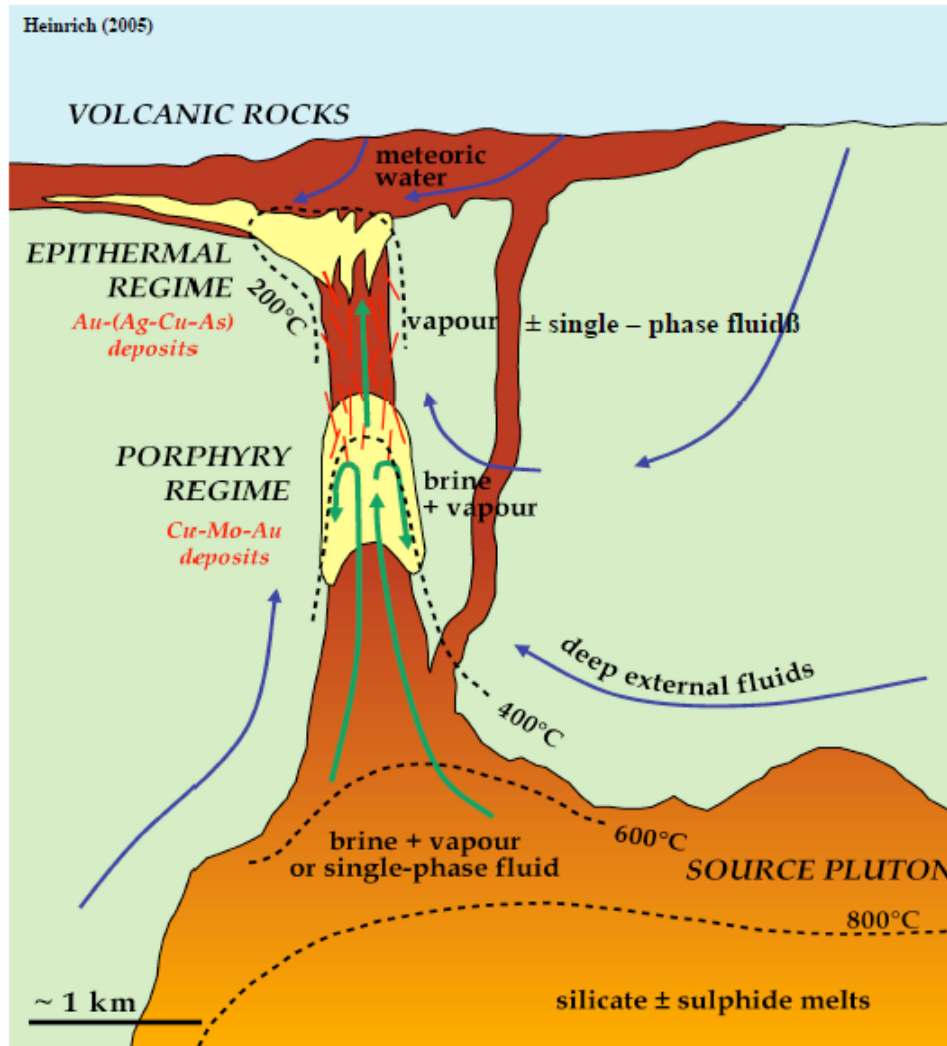
Características dos depósitos minerais

Características dos Fluidos

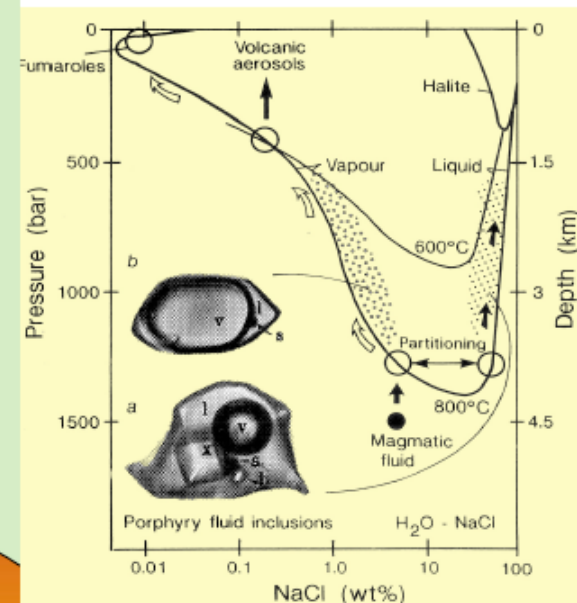


Características dos depósitos minerais

Características dos Fluidos



Fluid processes in the porphyry environment

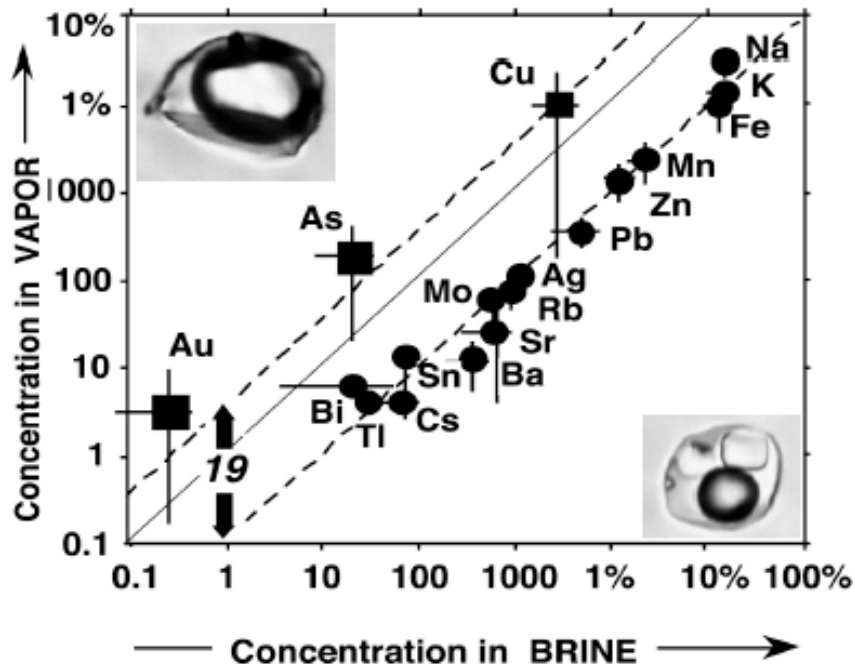


Hedenquist & Lowenstern (1994)

Características dos depósitos minerais

Características dos Fluidos

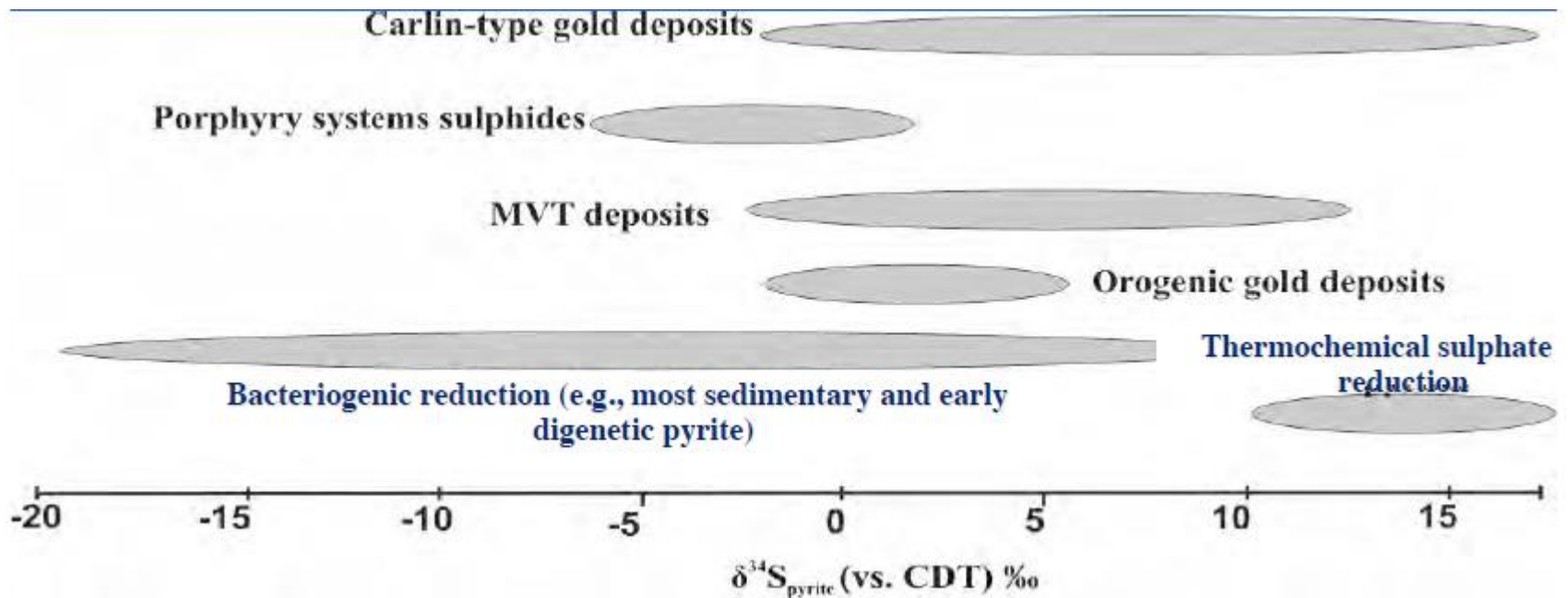
Grasberg porphyry Cu-Au deposit (Ulrich et al., 1999)



- Salts like KCl, FeCl₂, ZnCl, PbCl₂ mainly follow NaCl into brine
- Gas species like CO₂, H₂S, SO₂ go into vapor
- Cu, As and Au fractionate into vapor to variable degree, probably as S-complexes (Heinrich et al., 1999; Nagaseki, 2004)

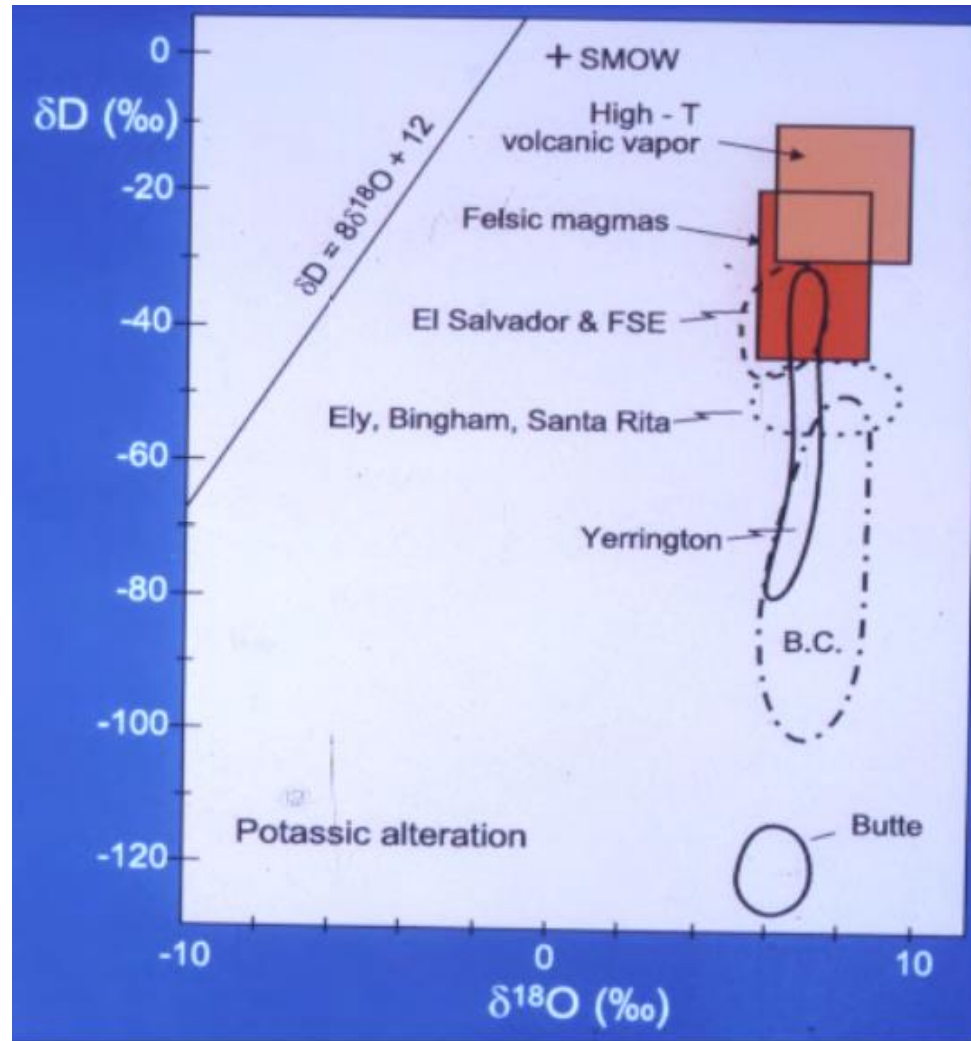
Características dos depósitos minerais

Características dos Fluidos



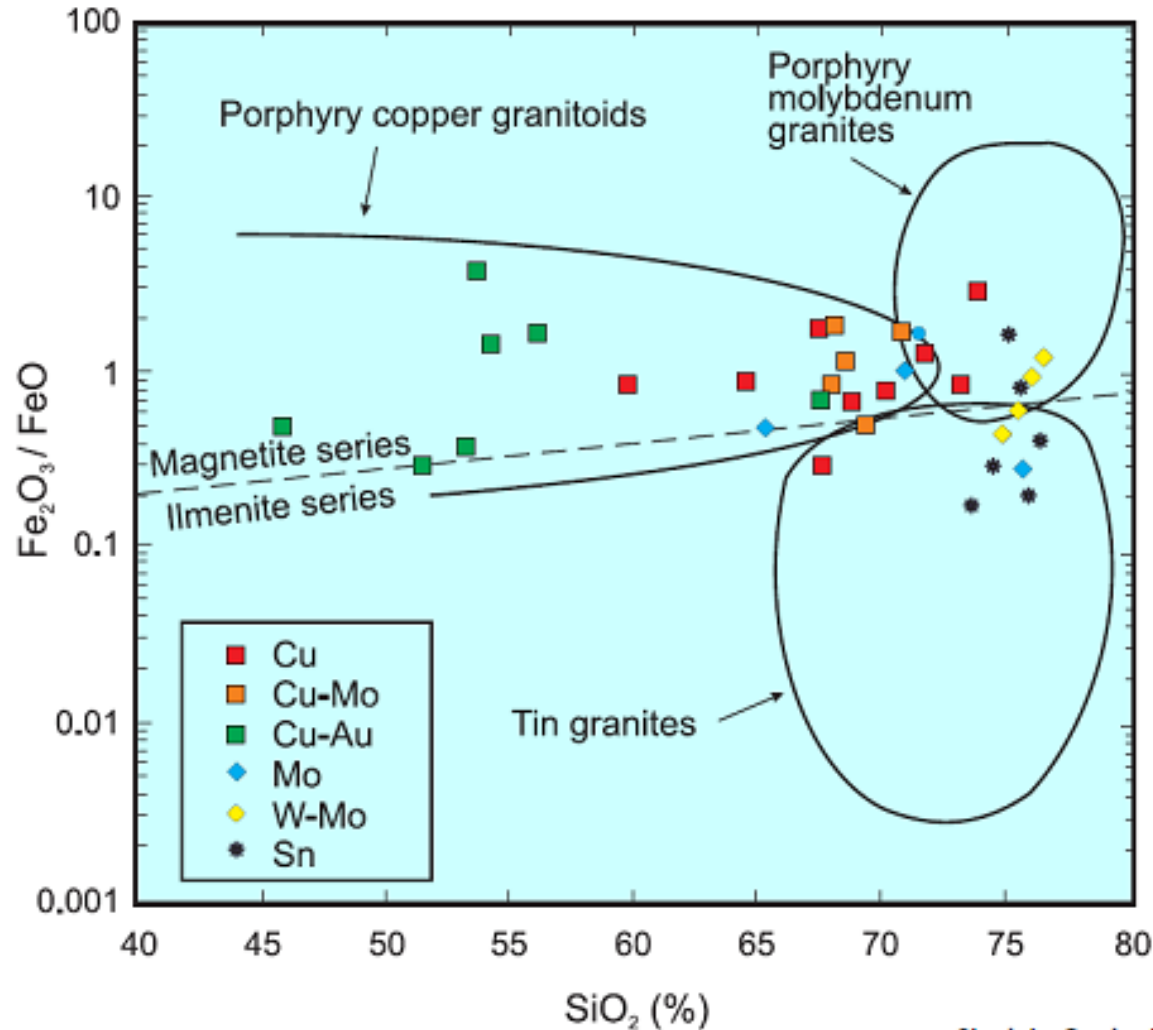
Características dos depósitos minerais

Características dos Fluidos



Características dos depósitos minerais

Características dos Fluidos



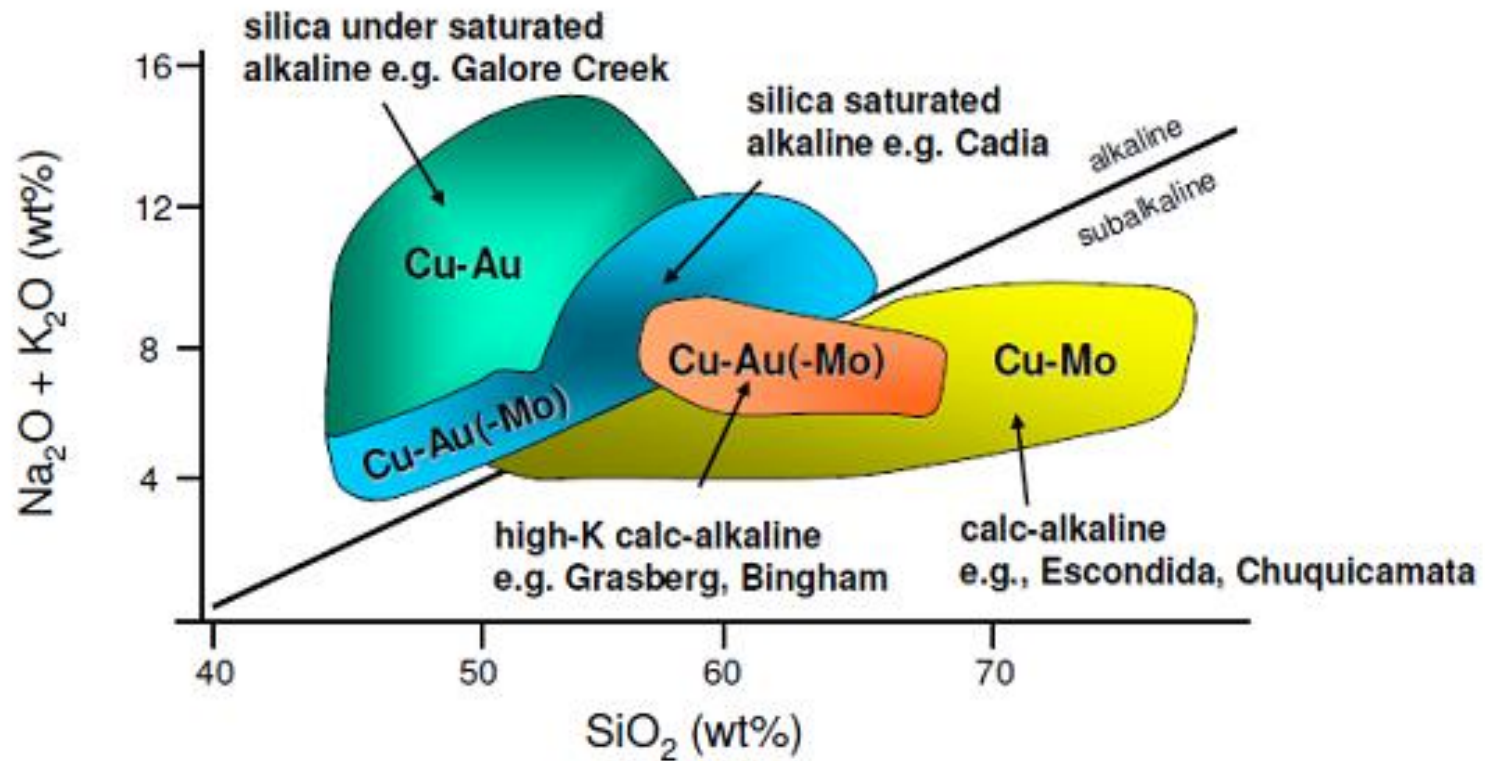
Características dos depósitos minerais

Características dos Fluidos

	<i>Intrusions</i>	<i>Metals</i>	<i>Alteration</i>	<i>Ore Styles</i>	<i>Examples</i>
Calc-alkaline	<u>Calc-alkaline</u> Granodiorite, dacite, qz monzonite	Cu-Mo	Potassic, phyllic, propylitic, (AA)	Qtz vein stkwks, major breccias	Chuquicamata El Teniente Sar Chesmeh
	<u>Calc-alkaline to high-K calc-alkaline</u> Diorite to qz monzonite	Cu-Au	Potassic, propylitic (phyllic, AA)	Qtz vein stkwks, disseminations	Batu Hijau Grasberg Bingham
Alkaline	<u>Silica-saturated alkaline</u> Monzonite	Cu-Au	Potassic, sodic, propylitic, calc-potassic	Qtz vein stkwks, minor breccias	Cadia Red Chris Goonumbla
	<u>Silica-undersaturated alkaline</u> Syenite	Cu-Au	Sodic, calc-sodic, calc-pot, pot, prop	Sulphide-only stkwks minor breccias	Galore Creek Mt Polley

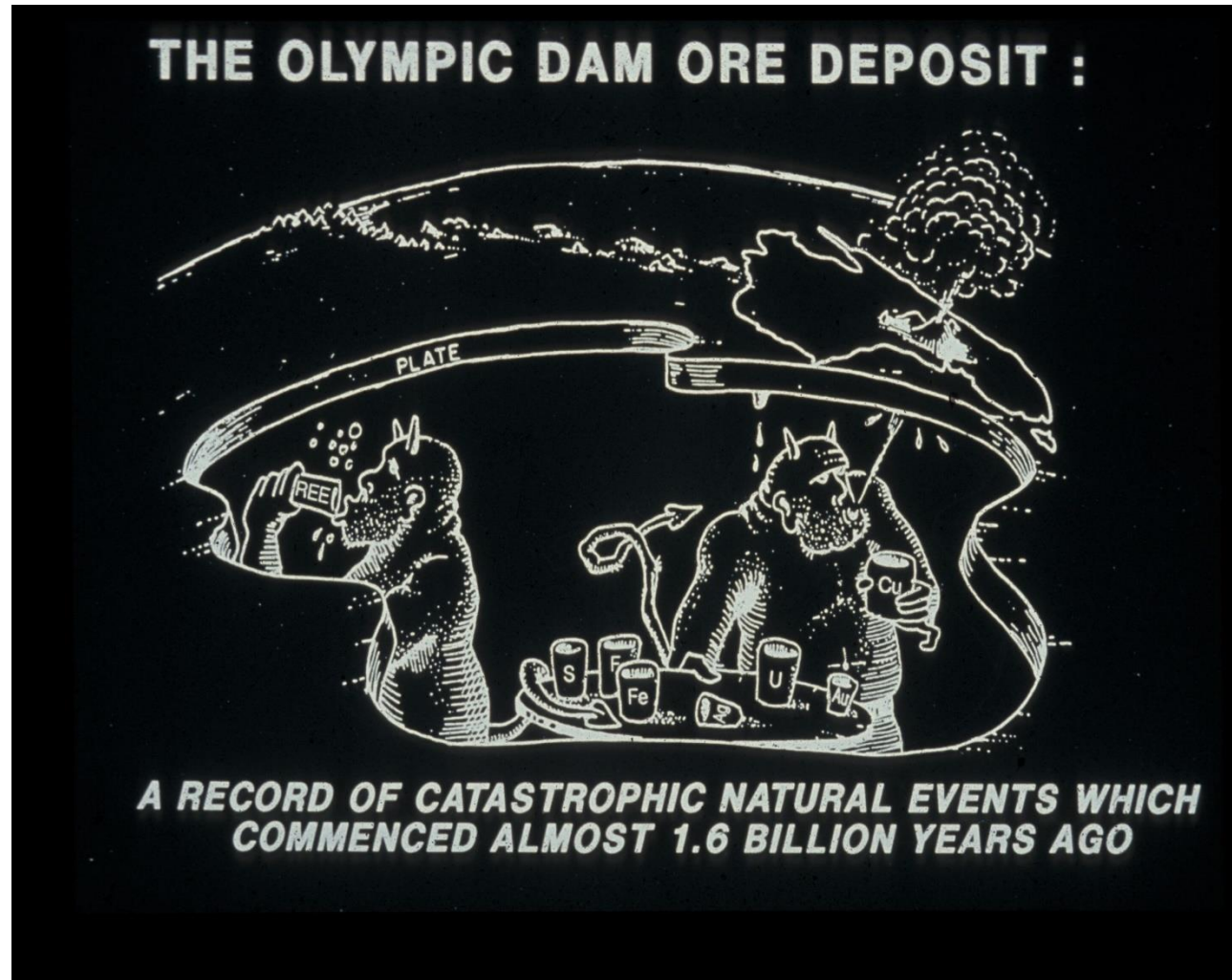
Características dos depósitos minerais

Características dos Fluidos



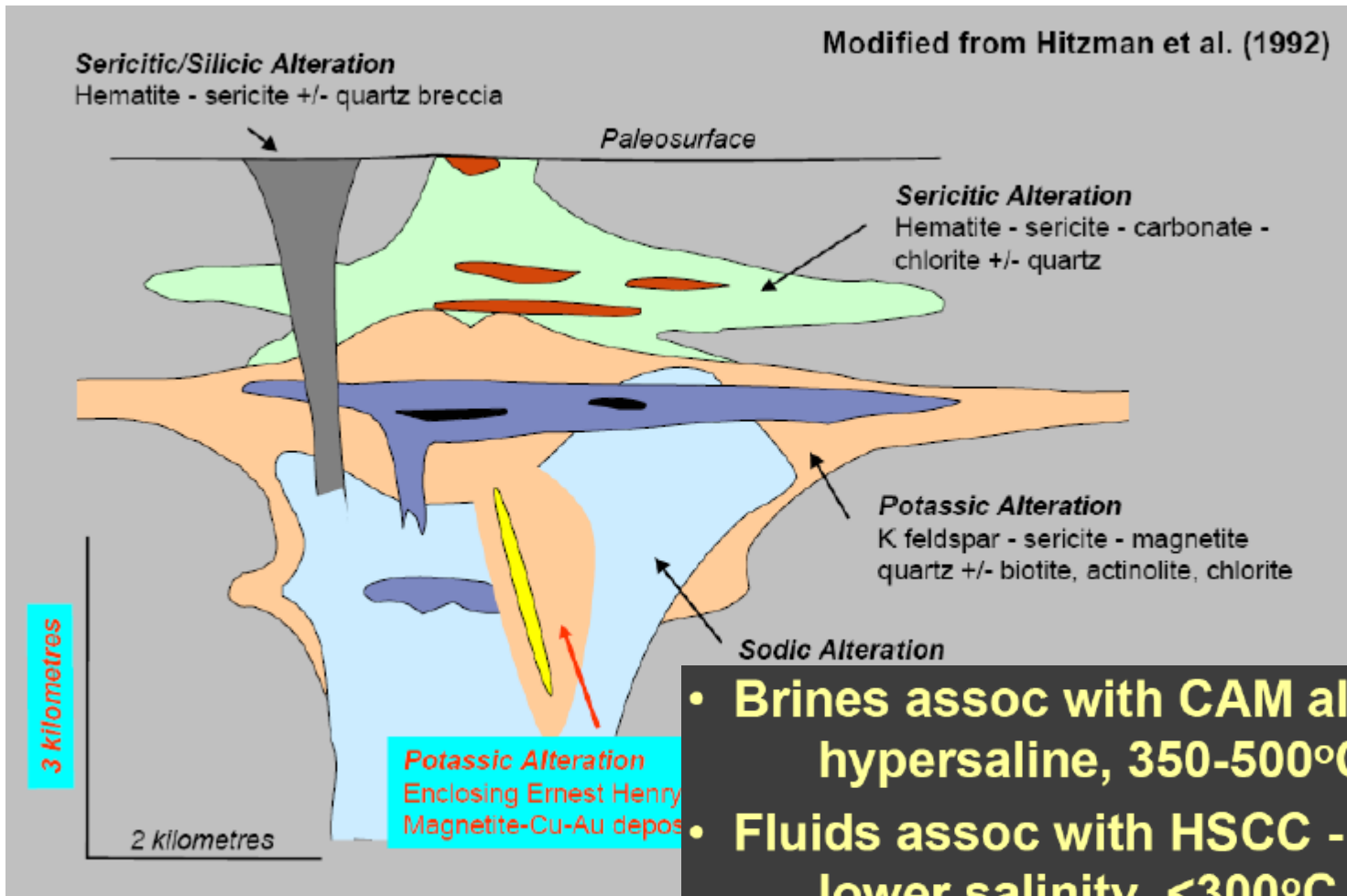
Características dos depósitos minerais

Características dos Fluidos



Características dos depósitos minerais

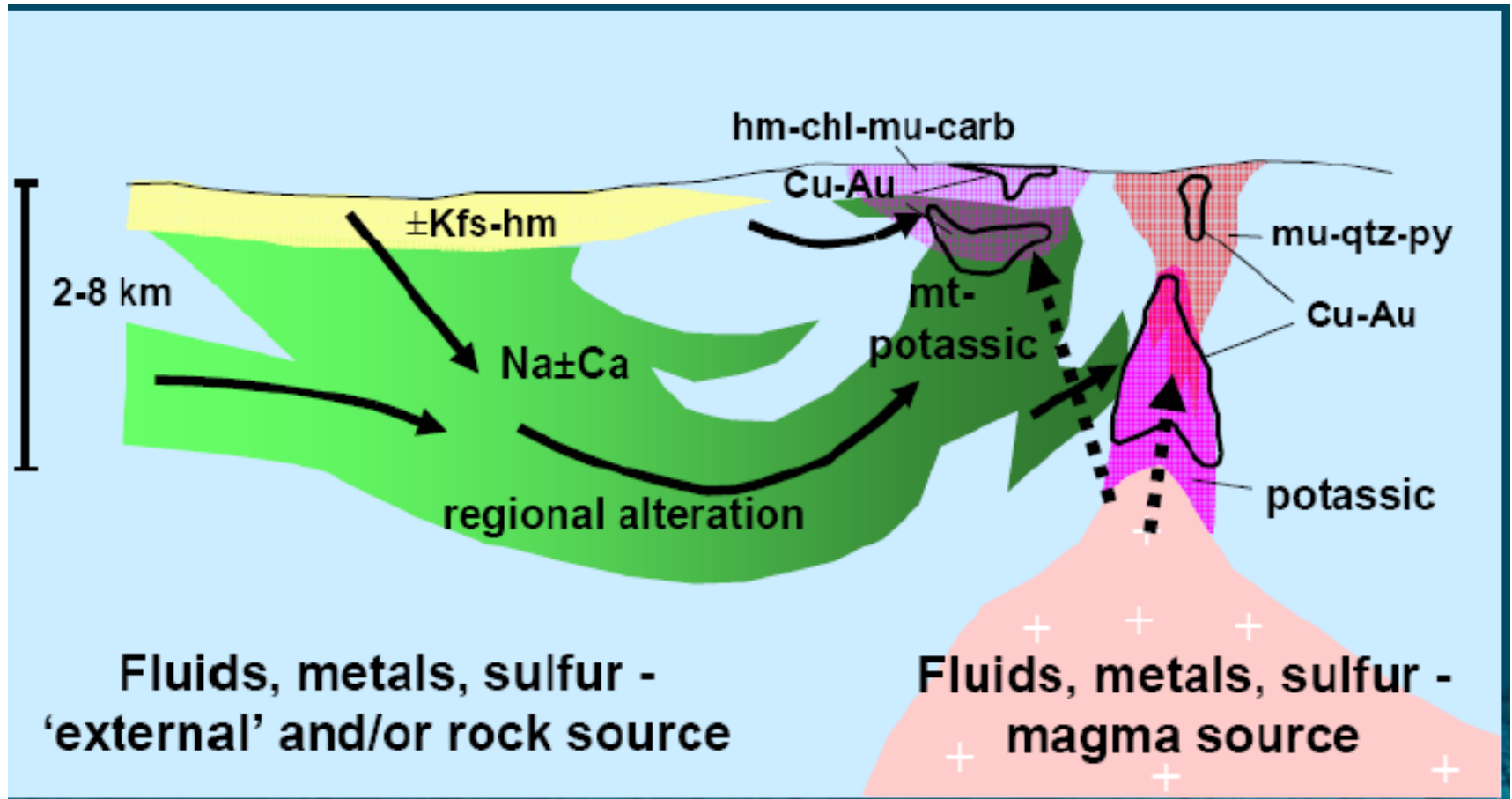
Características dos Fluidos



- Brines assoc with CAM alt - hypersaline, 350-500°C
- Fluids assoc with HSCC - lower salinity, <300°C, surficial origin
- But which of 2 fluids carried Cu, Au, U?

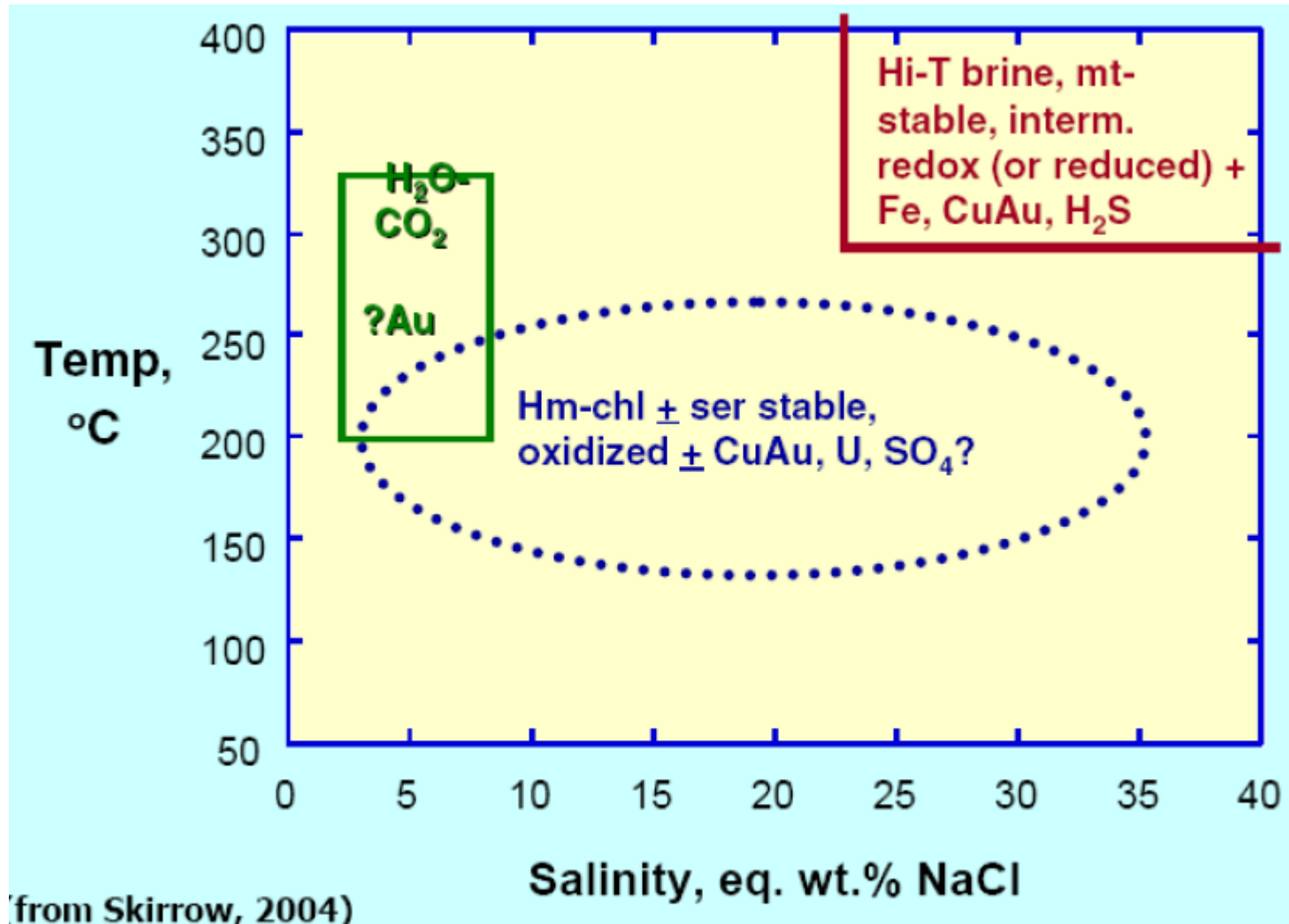
Características dos depósitos minerais

Características dos Fluidos



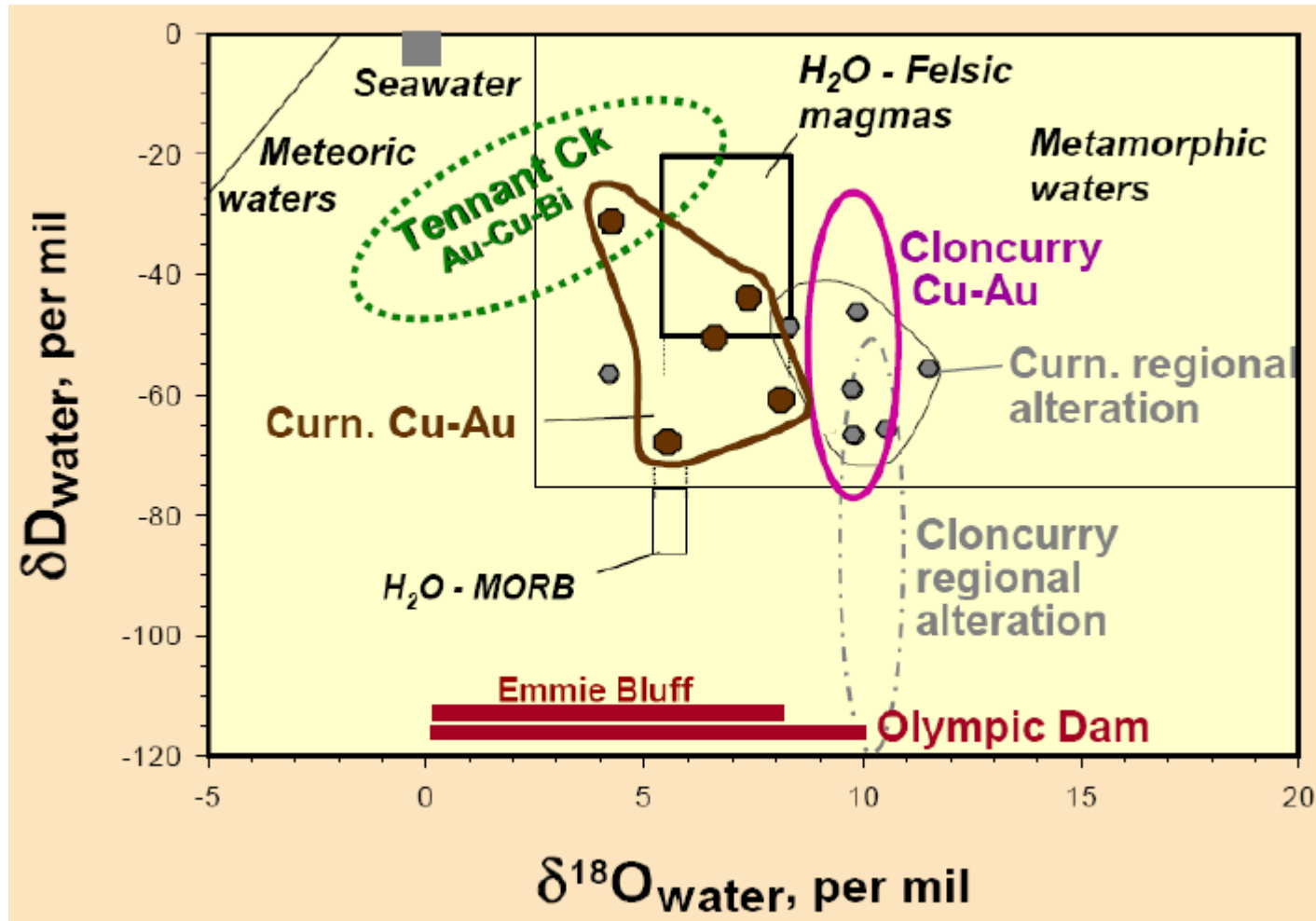
Características dos depósitos minerais

Características dos Fluidos



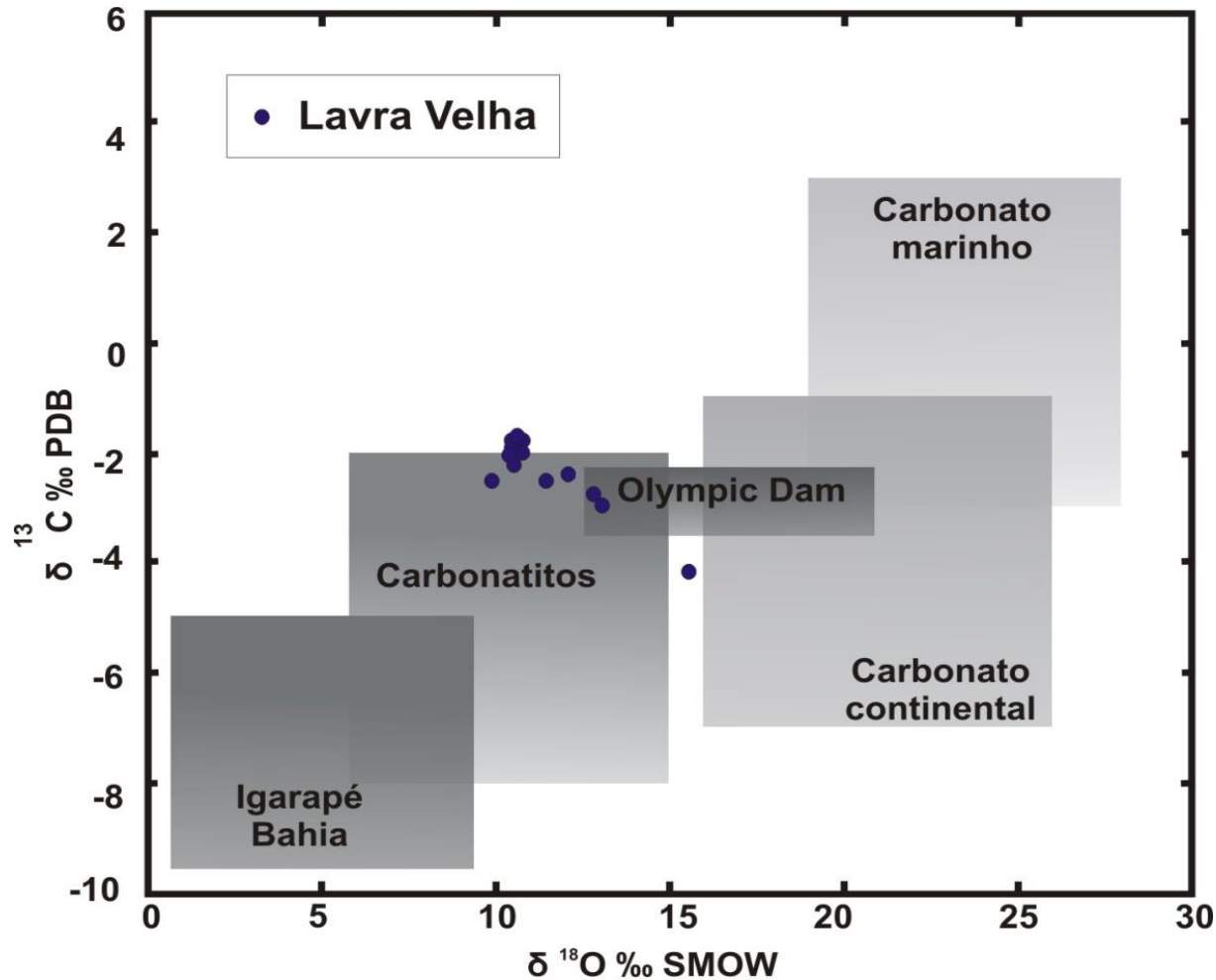
Características dos depósitos minerais

Características dos Fluidos



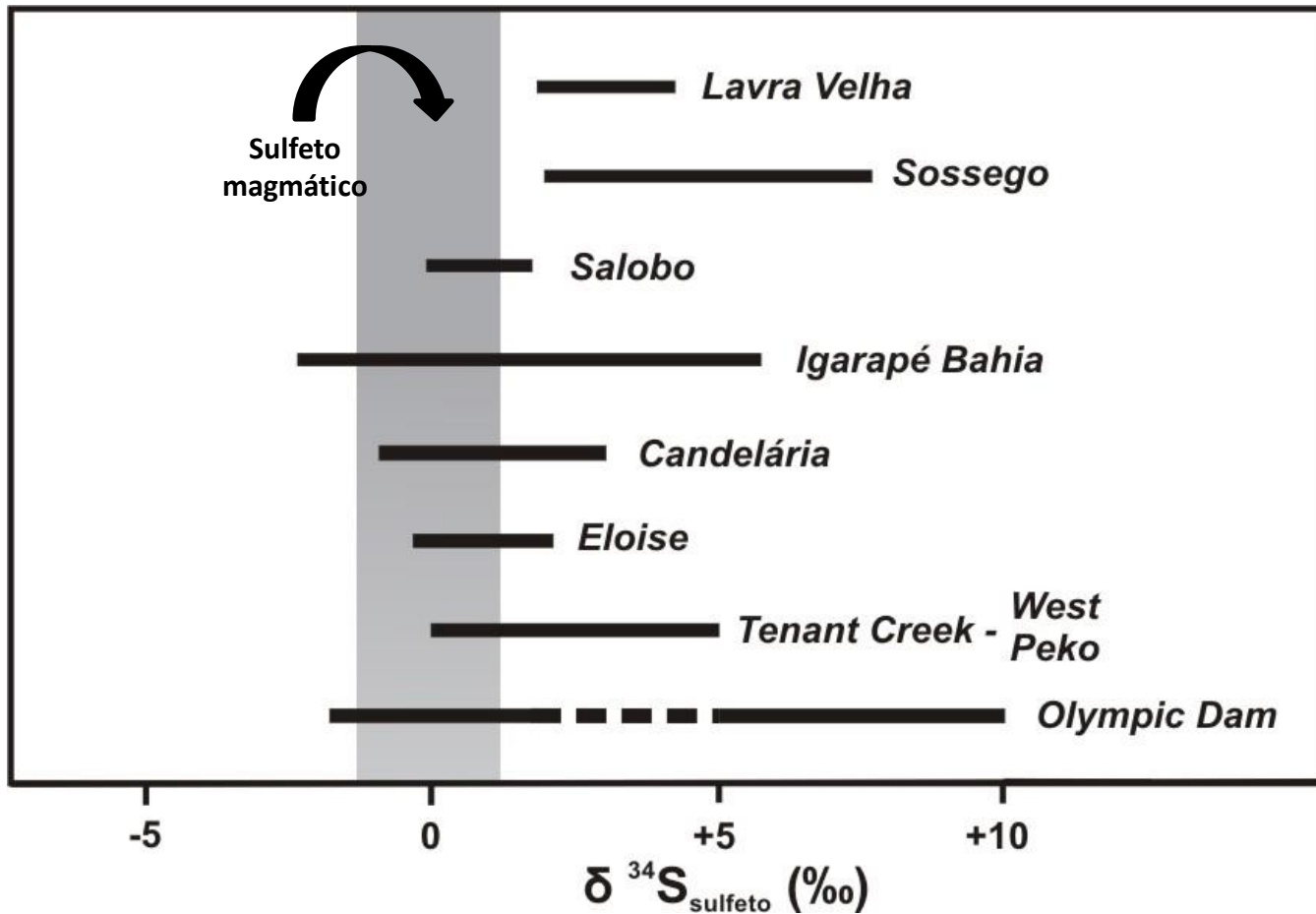
Características dos depósitos minerais

Características dos Fluidos



Características dos depósitos minerais

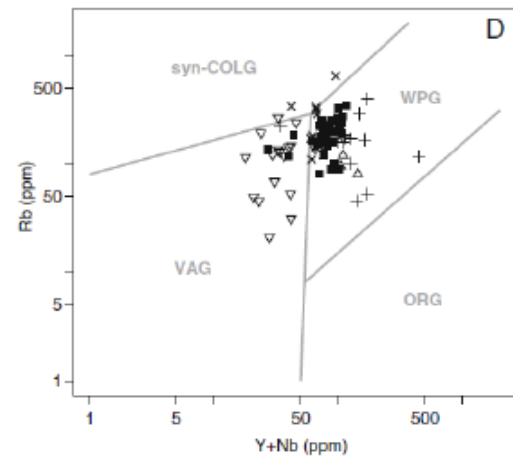
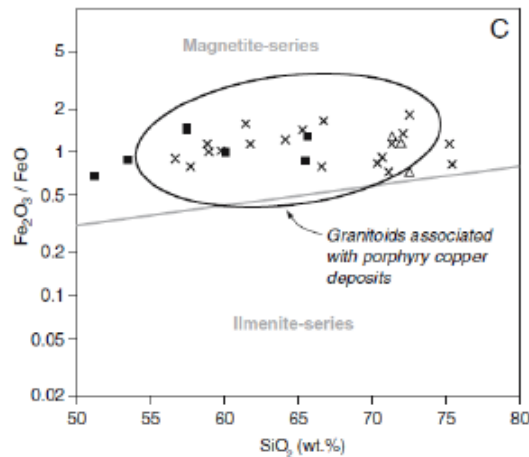
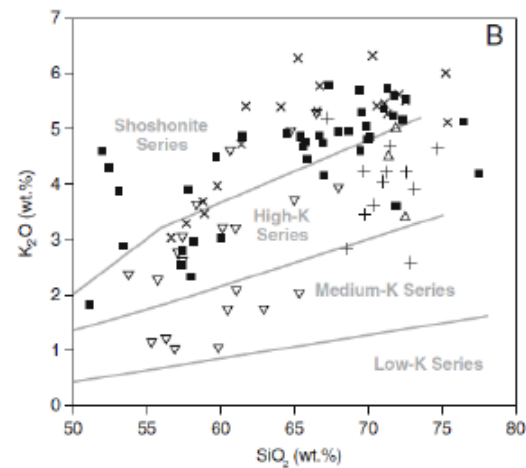
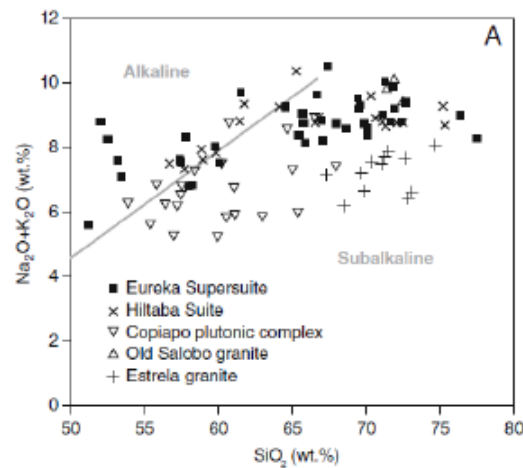
Características dos Fluidos



Características dos depósitos minerais

Características dos Fluidos

COMPOSITION OF INTRUSIVE ROCKS IN IOCG PROVINCES



Características dos depósitos minerais

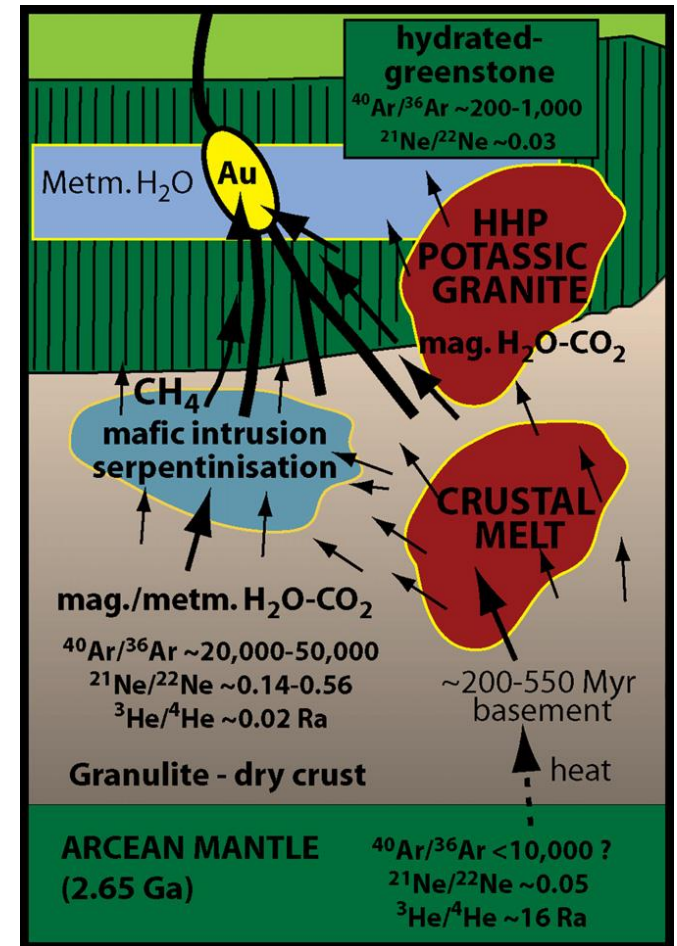
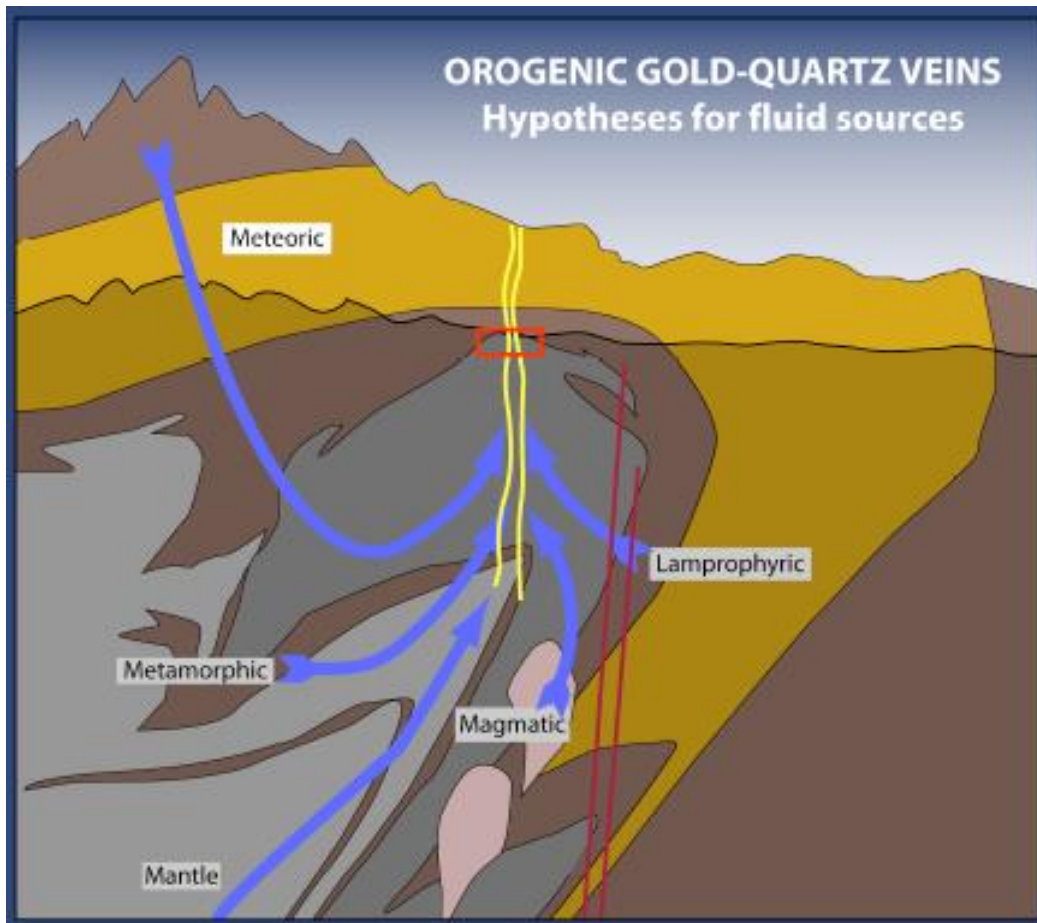
Características dos Fluidos

Orogenic Gold Fluids

- **Temperatures** ~ 250-400 °C
- **Pressure** >1-4 kb
- **Fluid comp** H₂O-CO₂ + CH₄, N₂, H₂S
- **Salinity** <5-8 NaCl eq

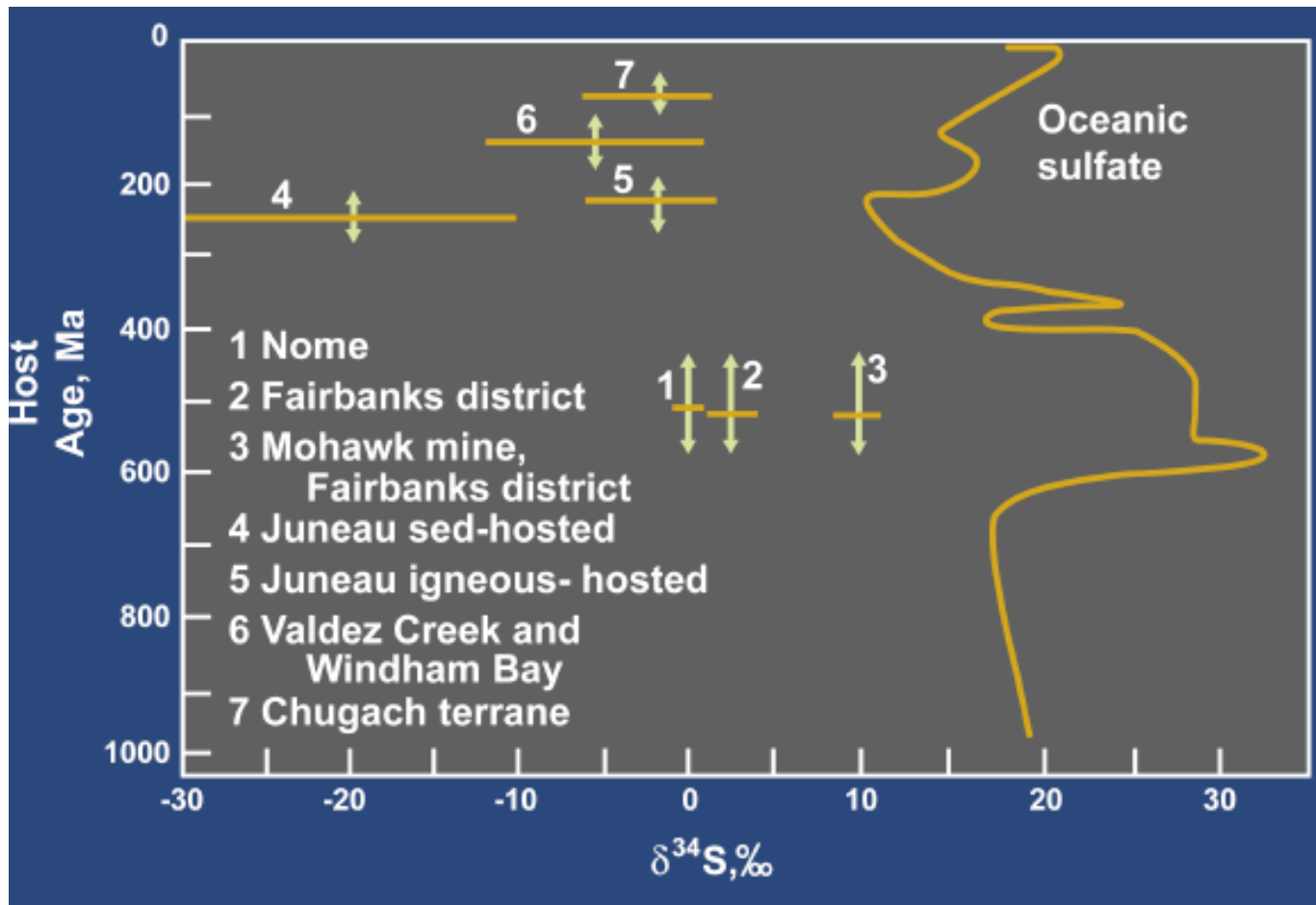
Características dos depósitos minerais

Características dos Fluidos



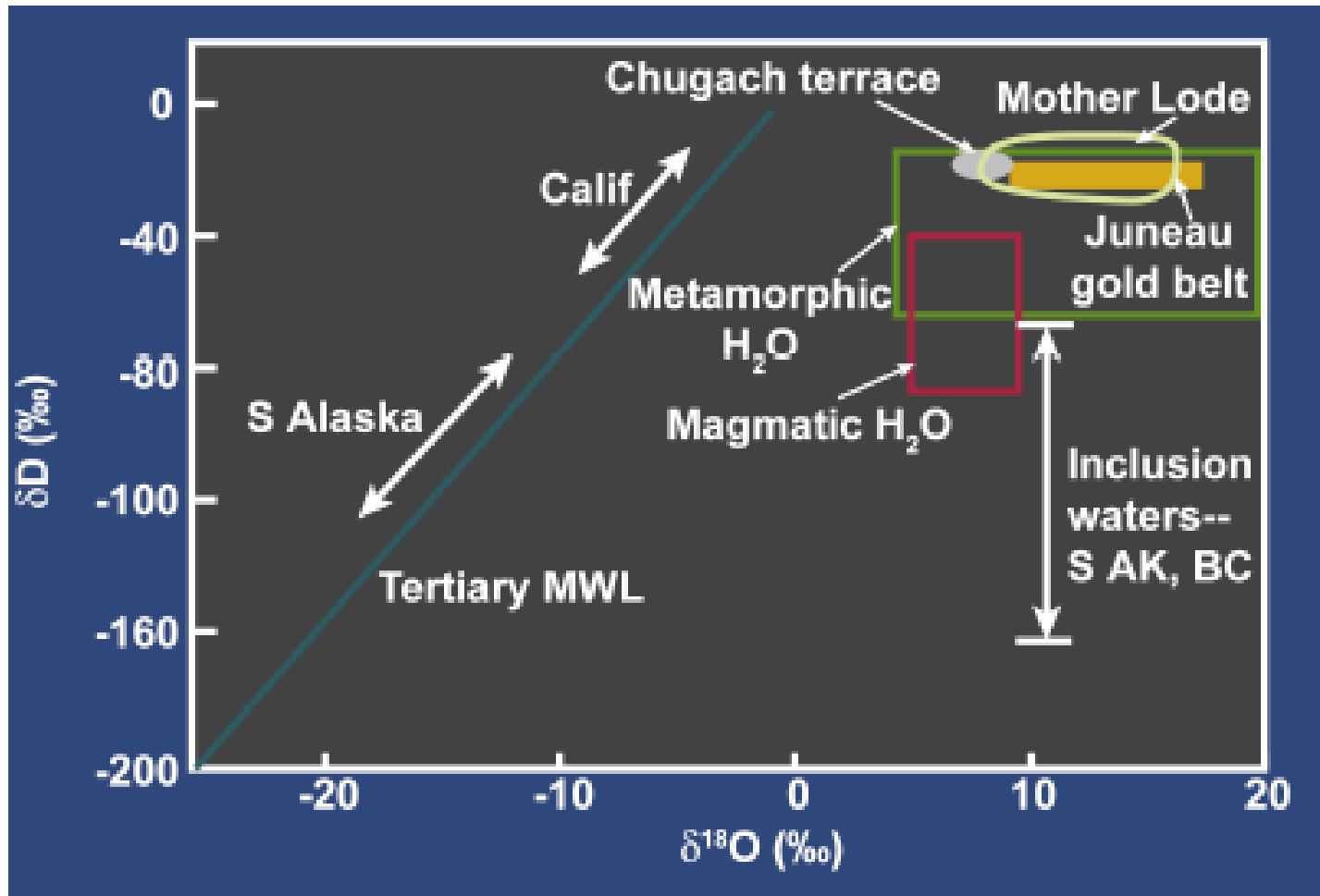
Características dos depósitos minerais

Características dos Fluidos



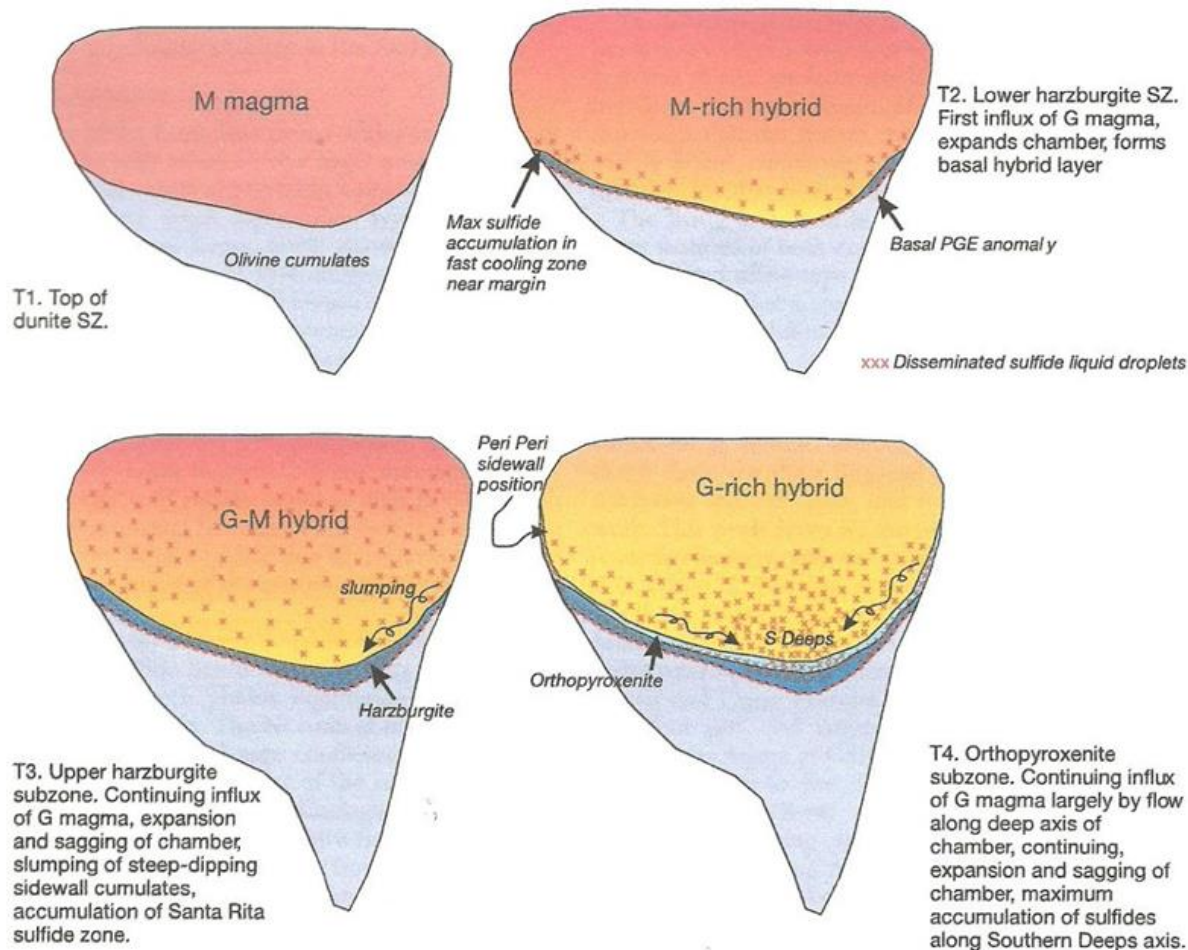
Características dos depósitos minerais

Características dos Fluidos



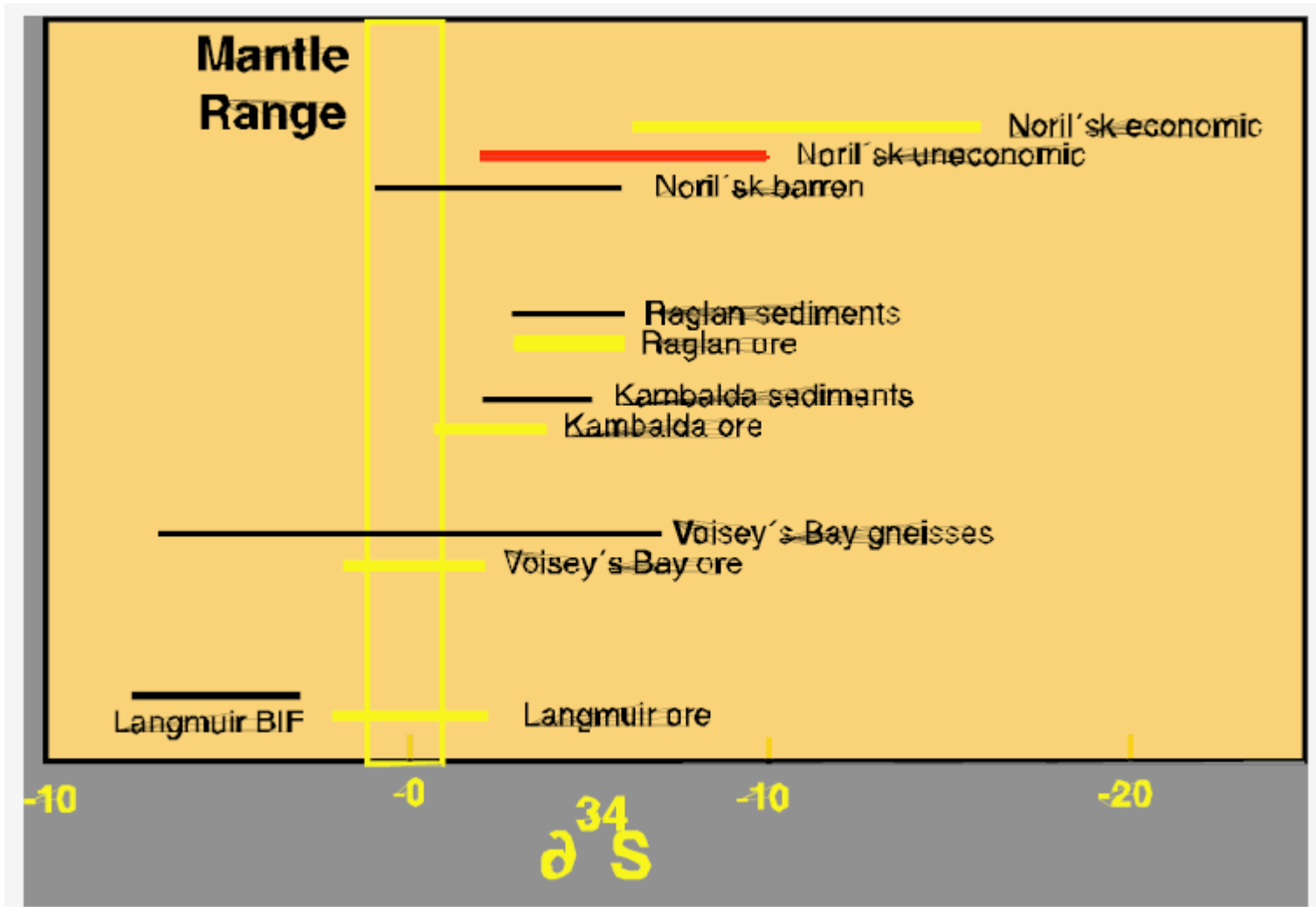
Características dos depósitos minerais

Características dos Fluidos

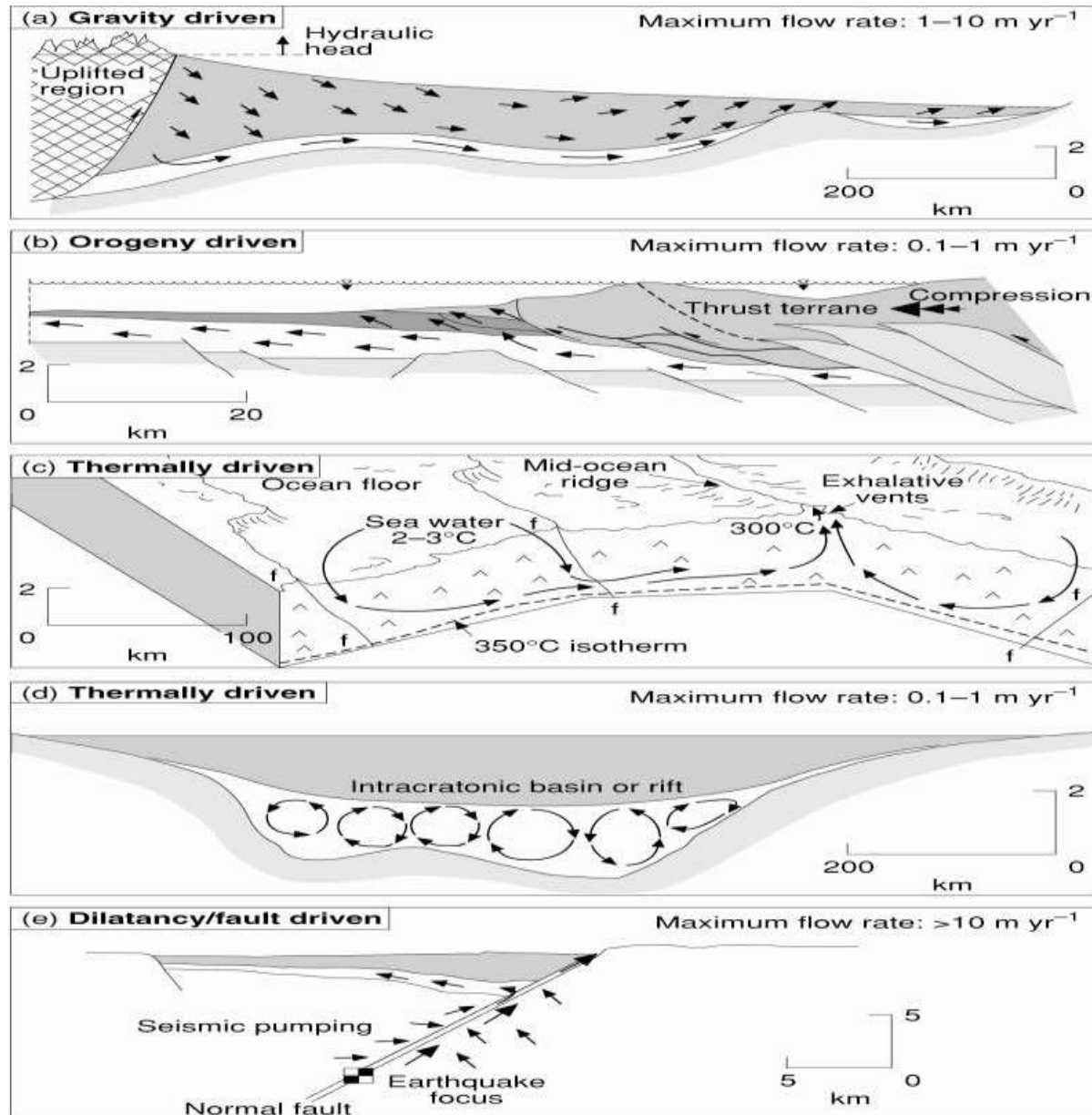


Características dos depósitos minerais

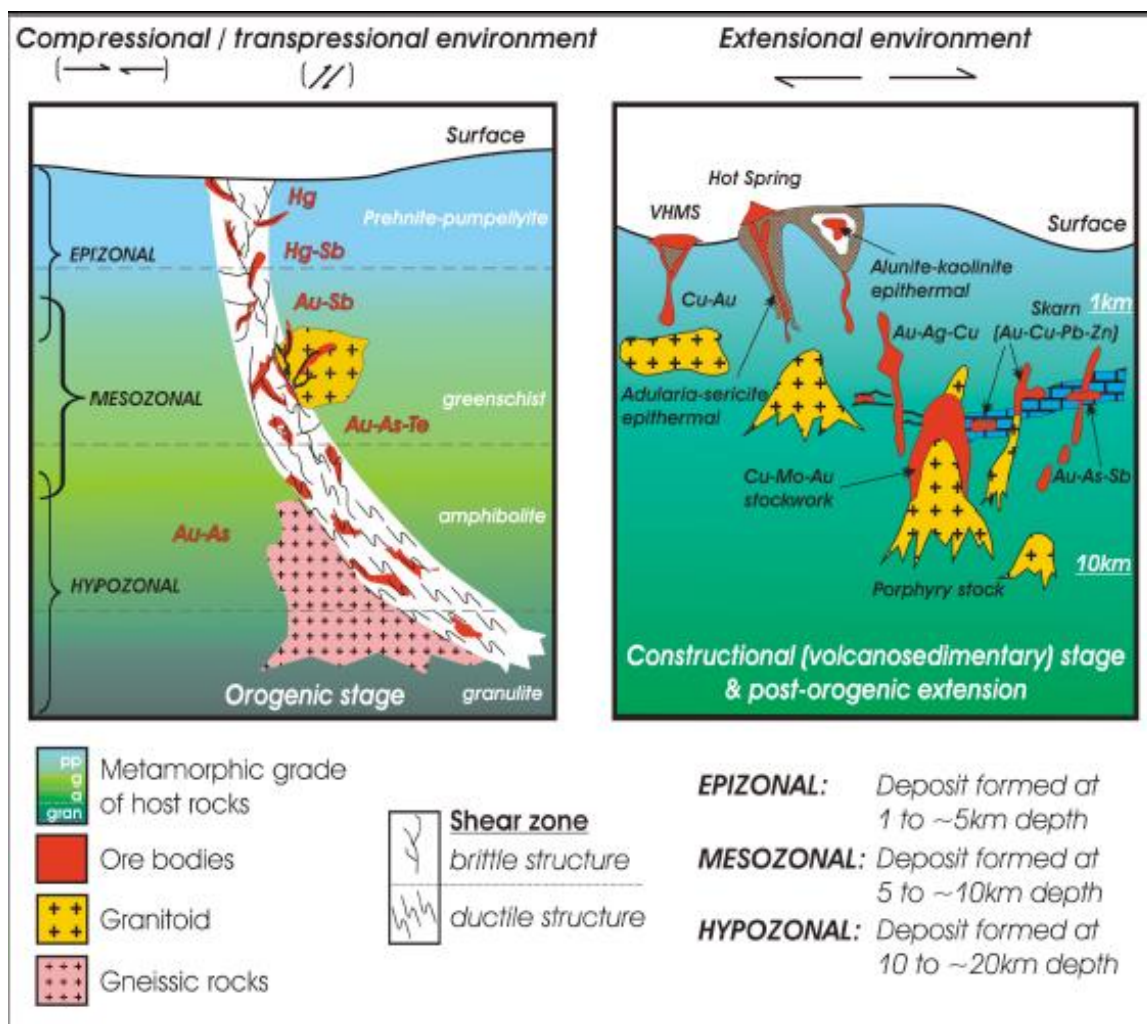
Características dos Fluidos



Ambiente de Flujo de Fluido

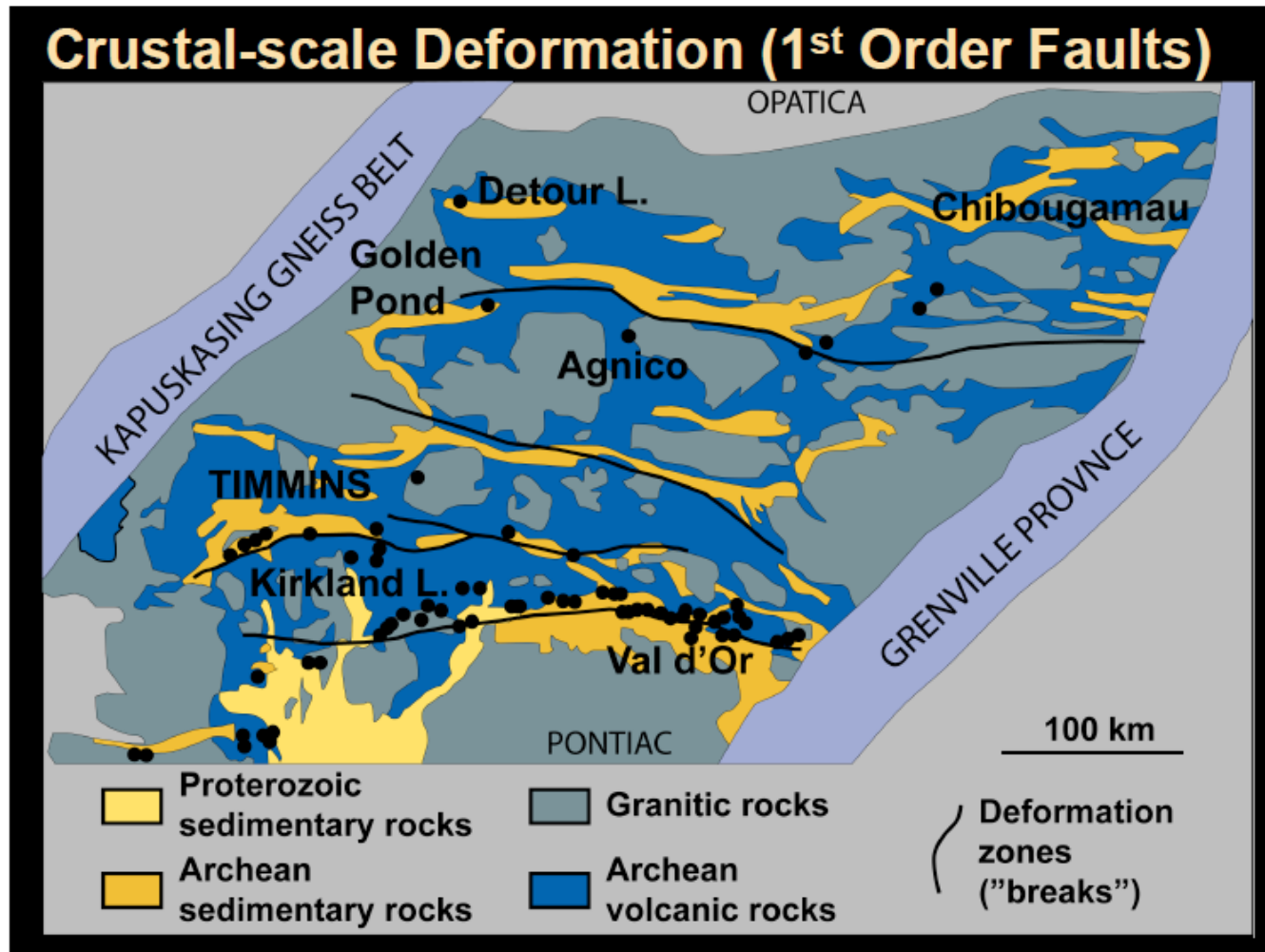


Características dos depósitos minerais Ambiente de Fluxo de Fluido



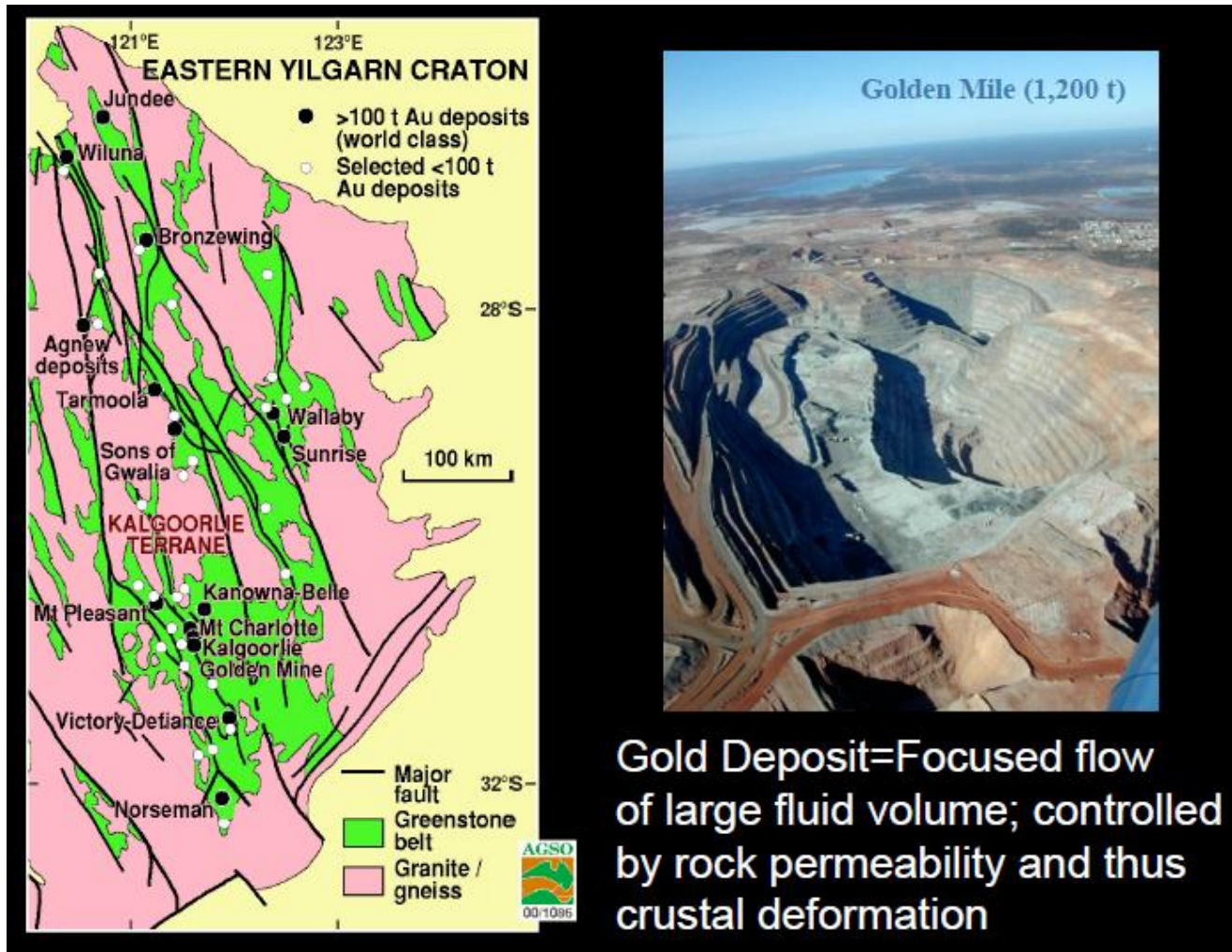
Características dos depósitos minerais

Ambiente de Fluxo de Fluido

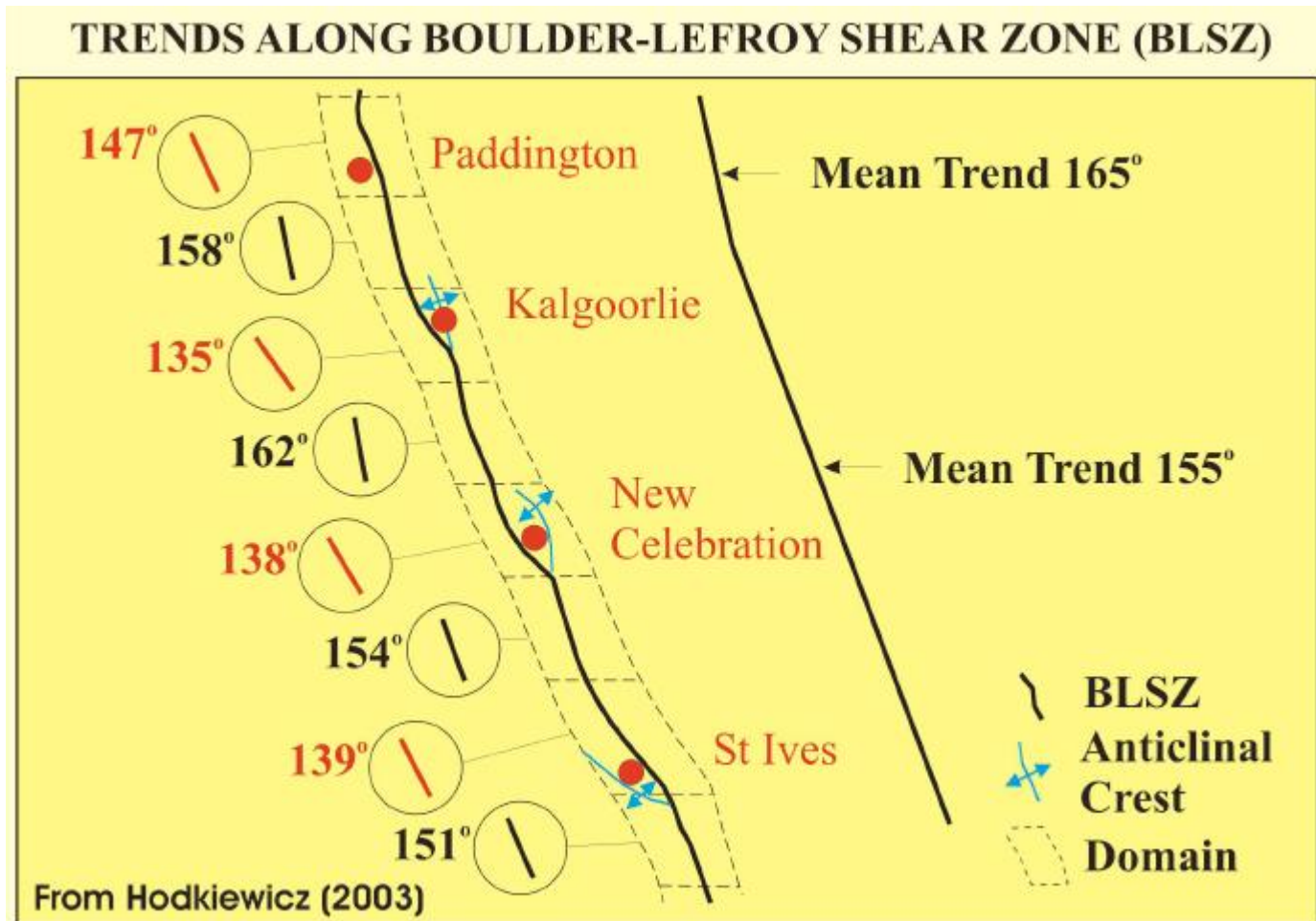


Características dos depósitos minerais

Ambiente de Fluxo de Fluido

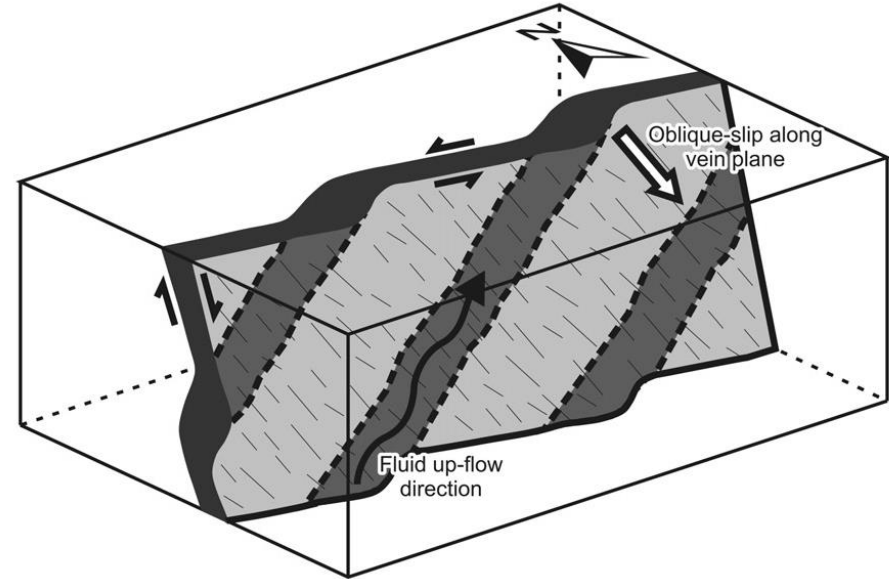
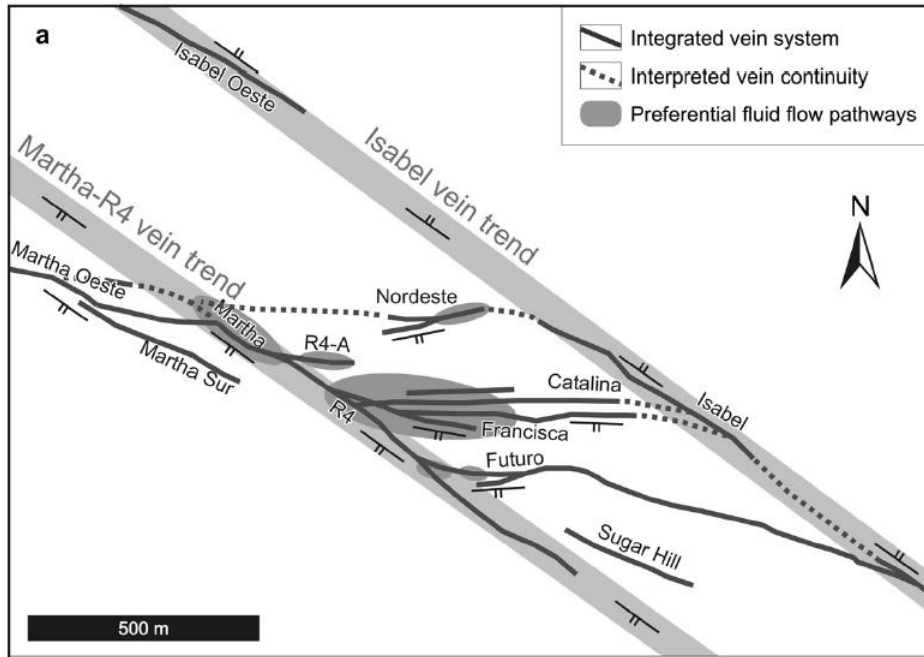


Características dos depósitos minerais Ambiente de Fluxo de Fluido



Características dos depósitos minerais

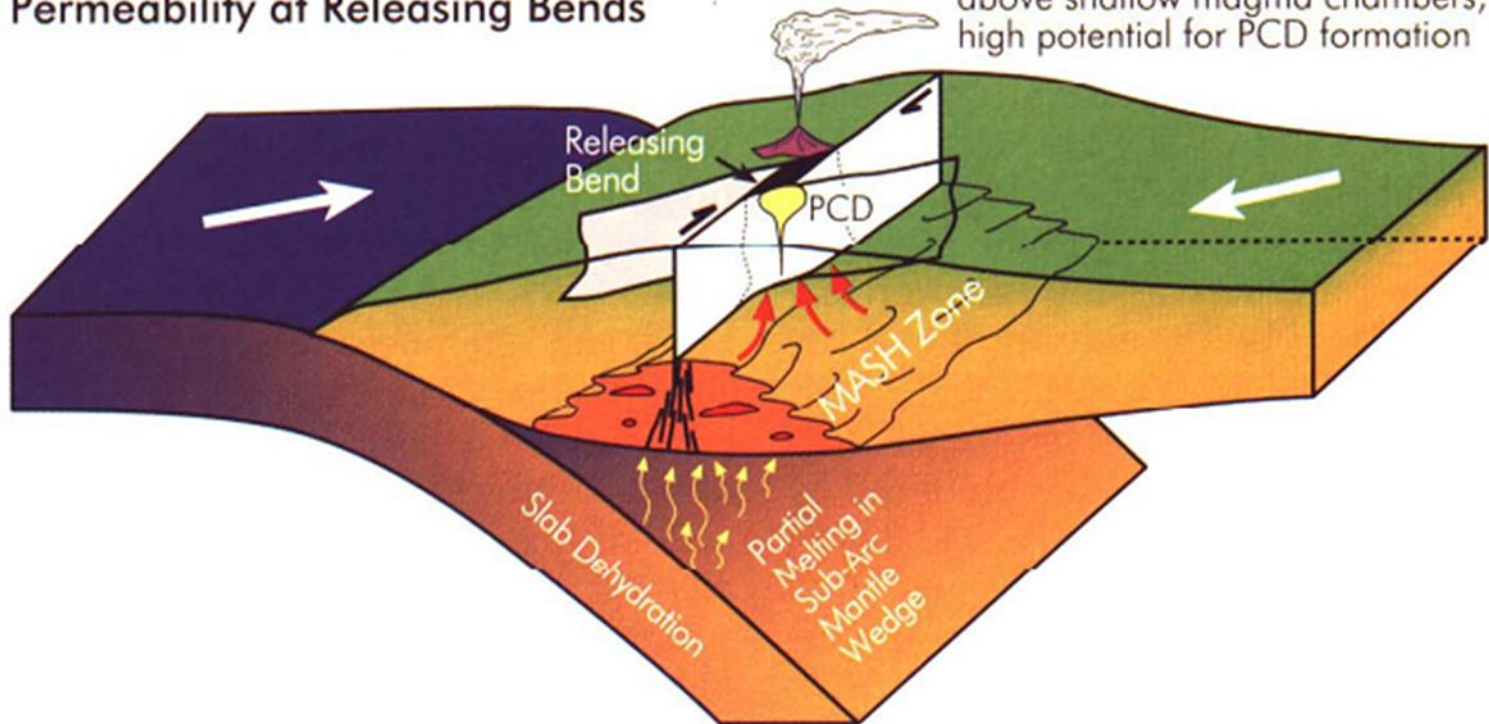
Ambiente de Fluxo de Fluido



Características dos depósitos minerais Ambiente de Fluxo de Fluido

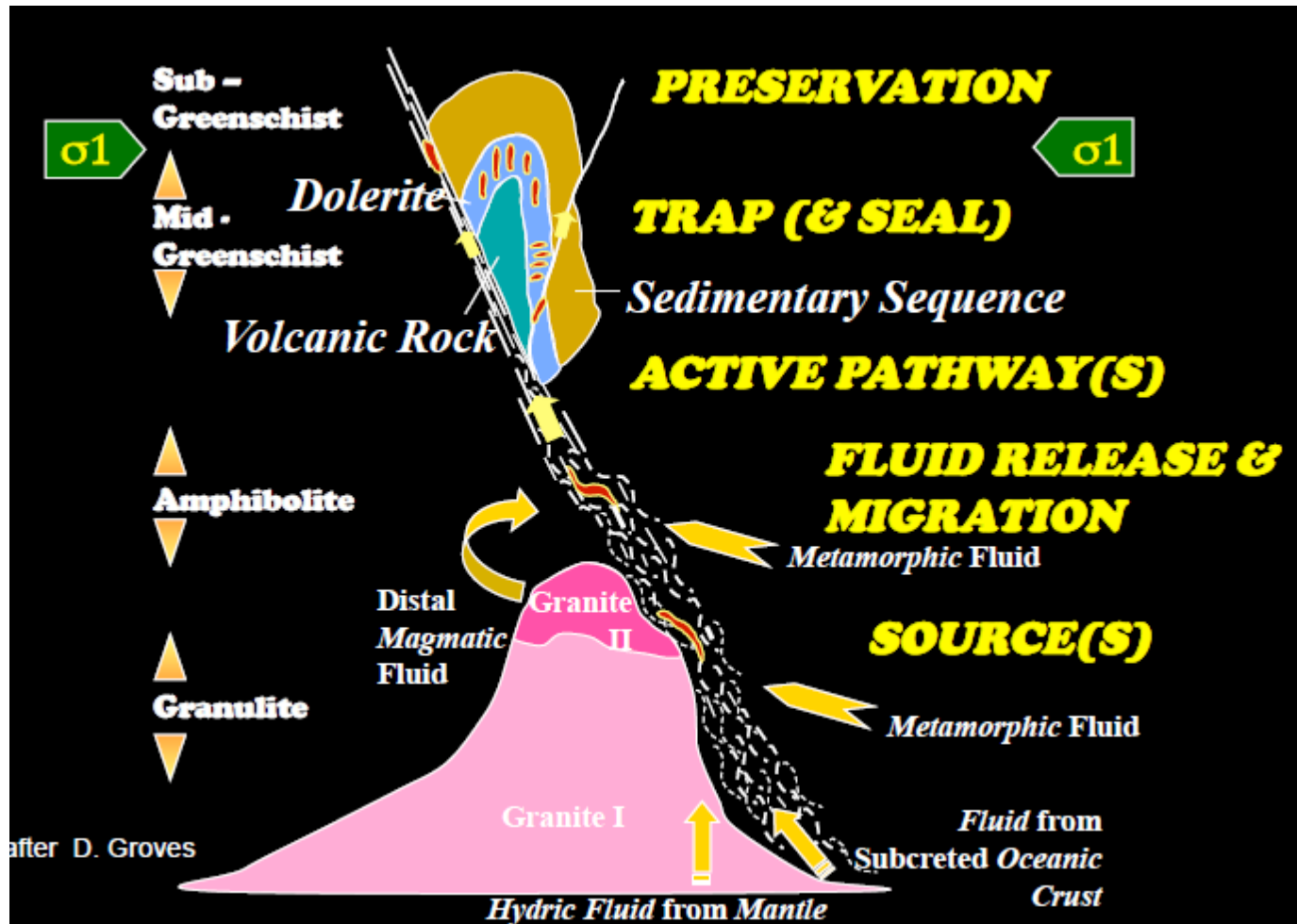
Transpression: High Crustal Permeability at Releasing Bends

Composite volcanoes develop above shallow magma chambers; high potential for PCD formation



Características dos depósitos minerais

Condições de Deposição

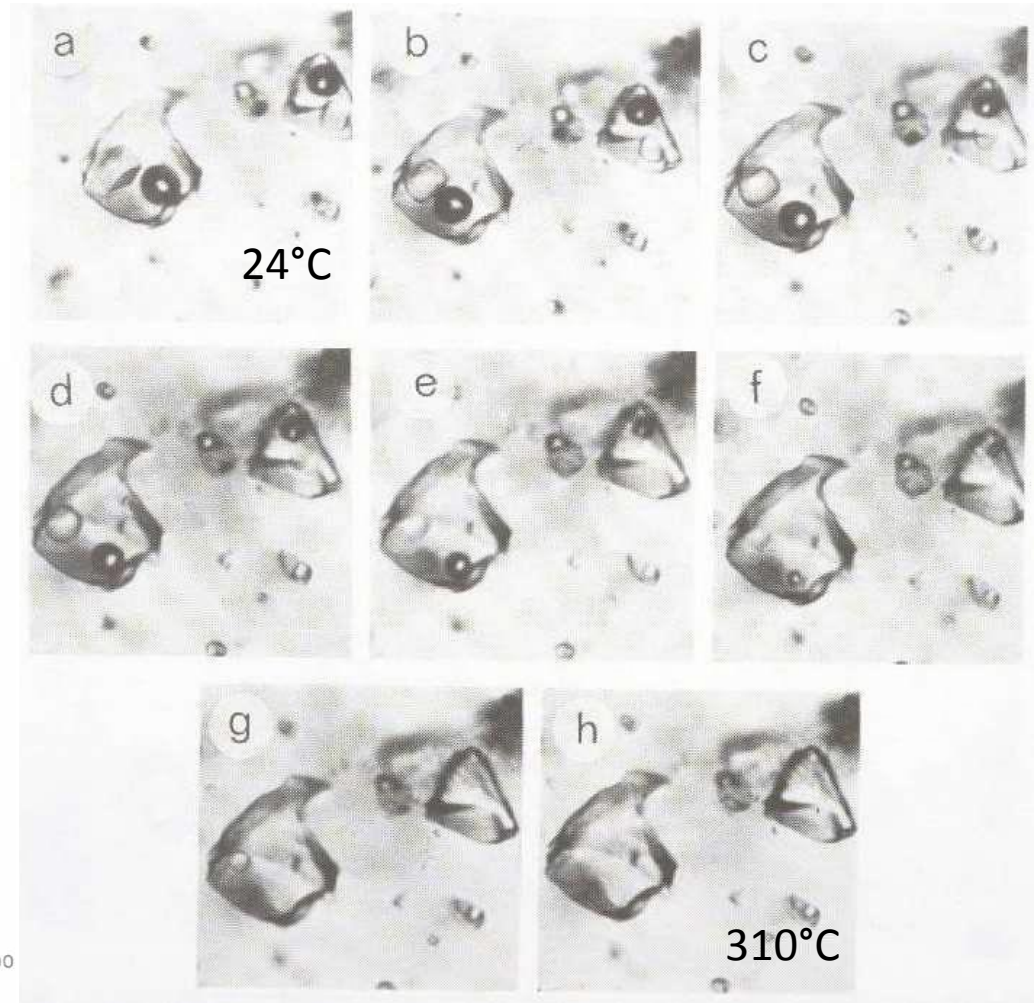
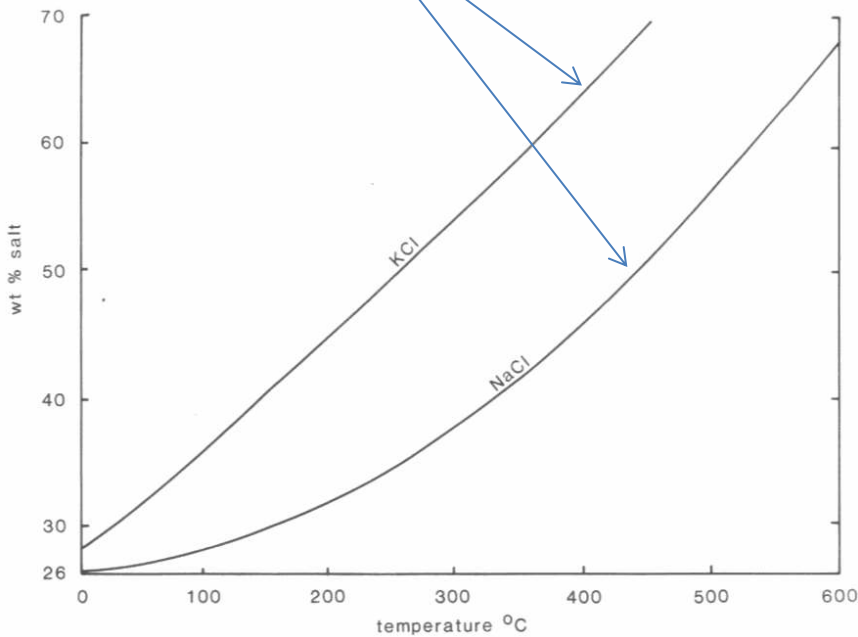


Características dos depósitos minerais

Condições de Deposição

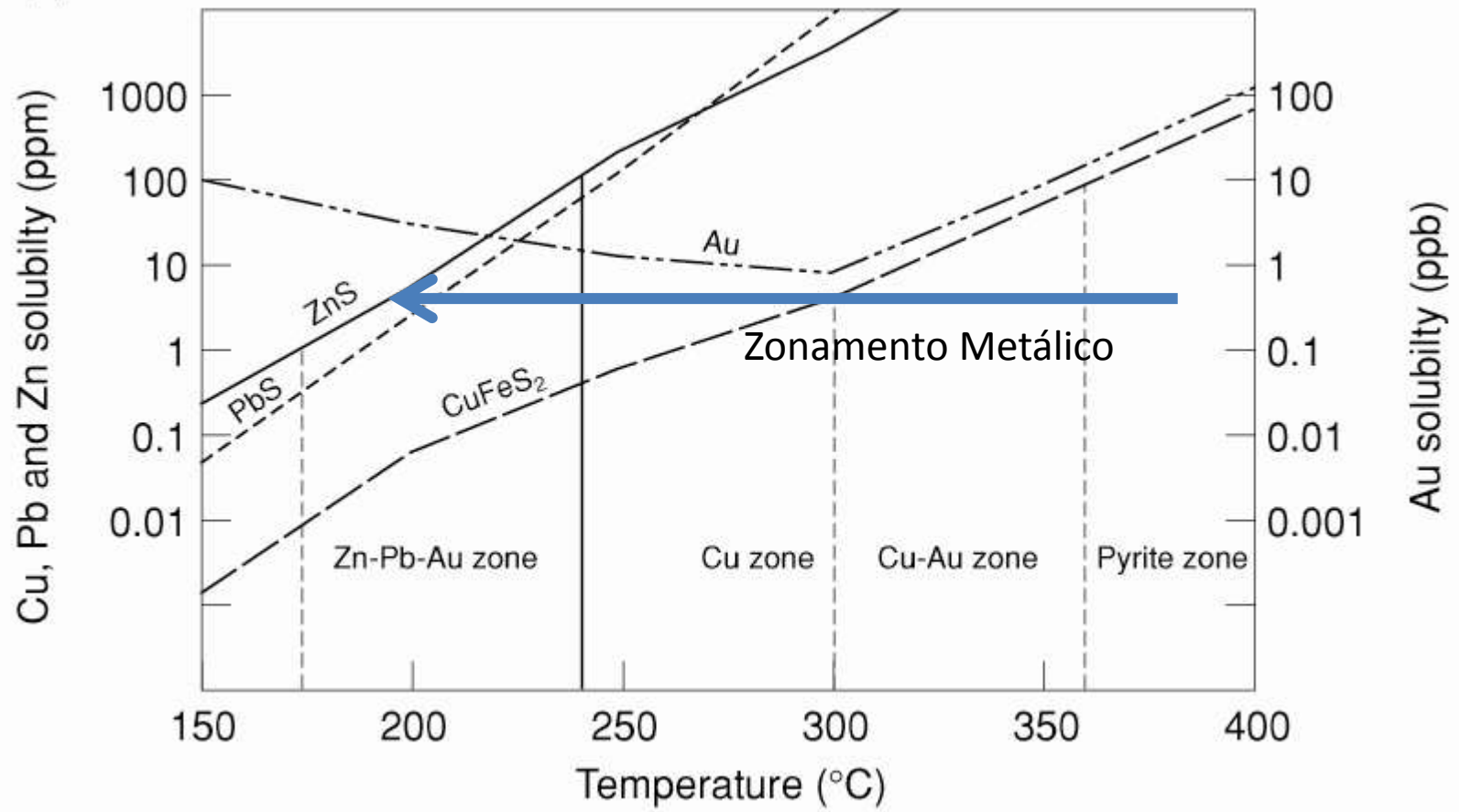
- Variação de Temperatura

Curvas de Solubilidade



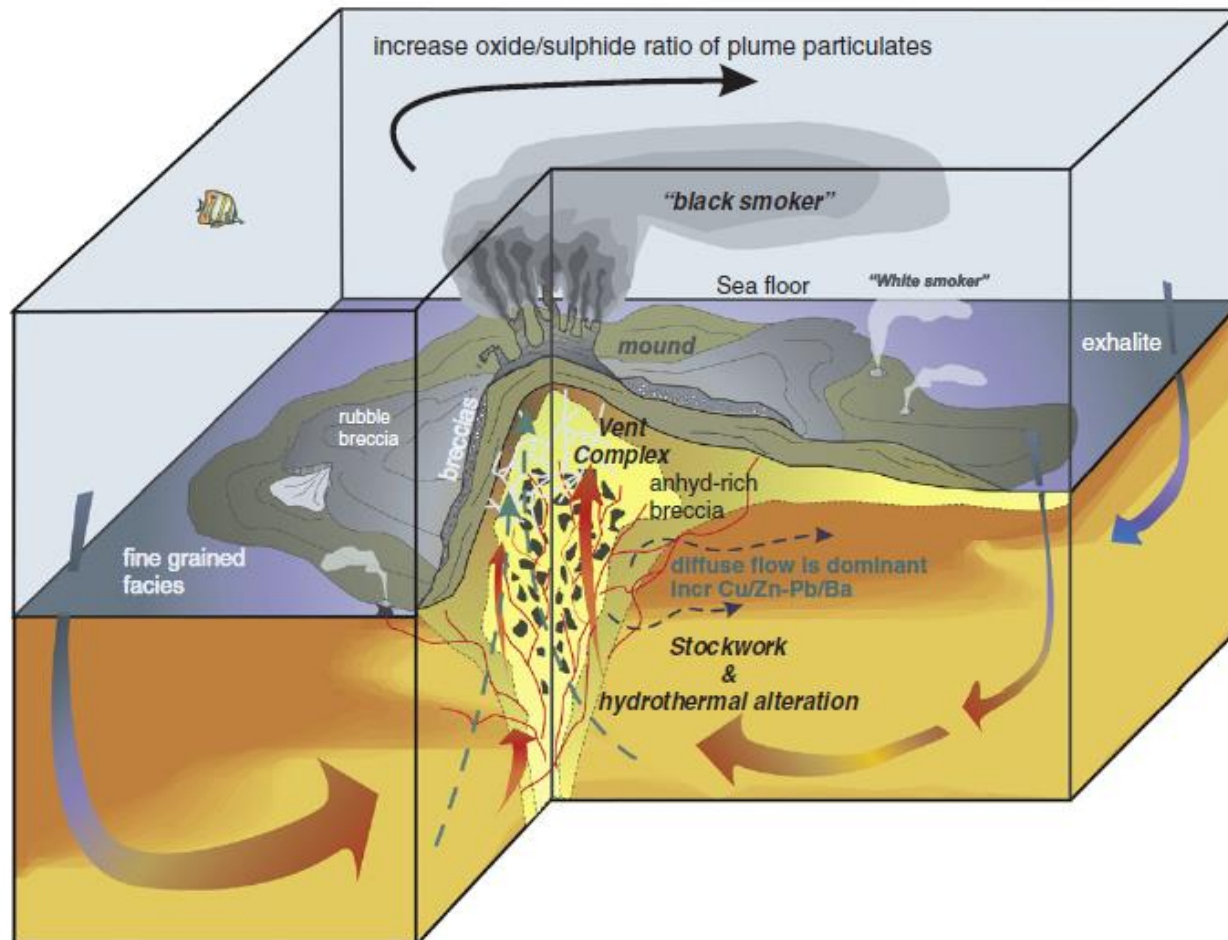
Características dos depósitos minerais

Condições de Deposição



Características dos depósitos minerais

Condições de Deposição



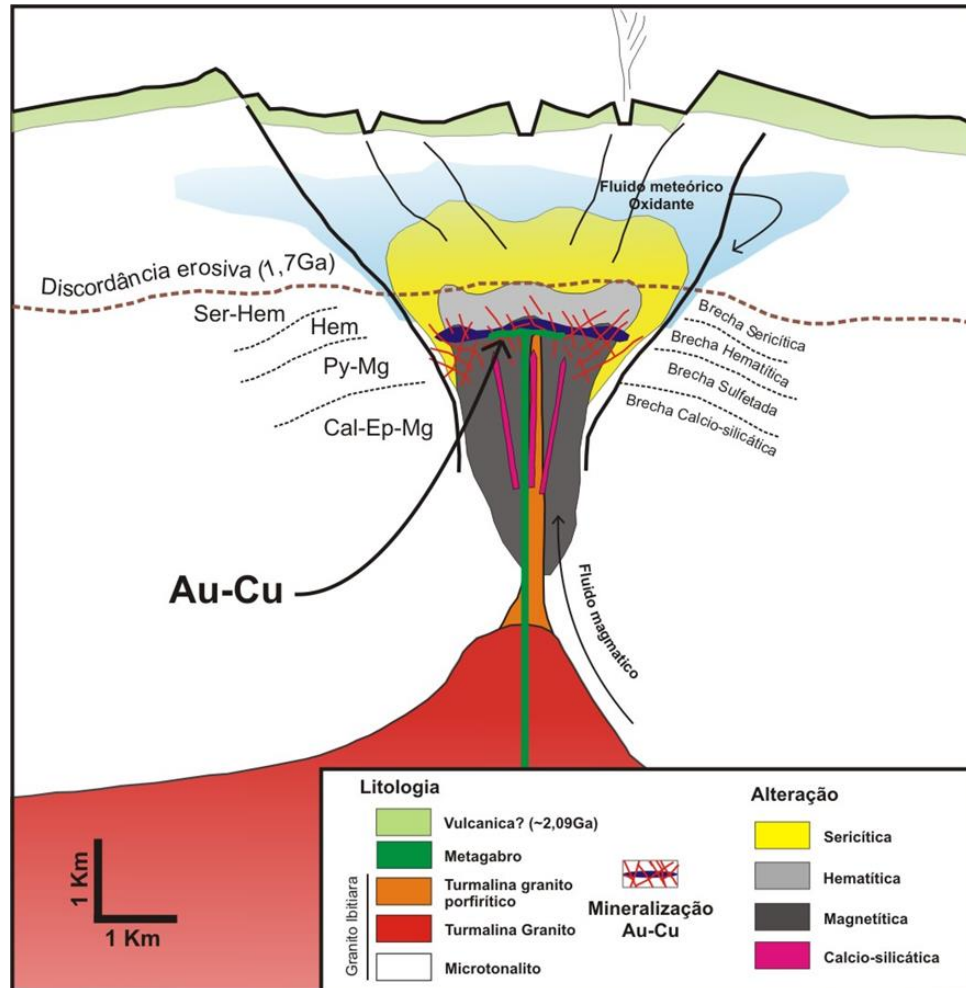
Características dos depósitos minerais

Condições de Deposição

- Mistura de Fluidos

Mistura de Fluidos
Magmáticos reduzidos com
Fluidos oxidantes

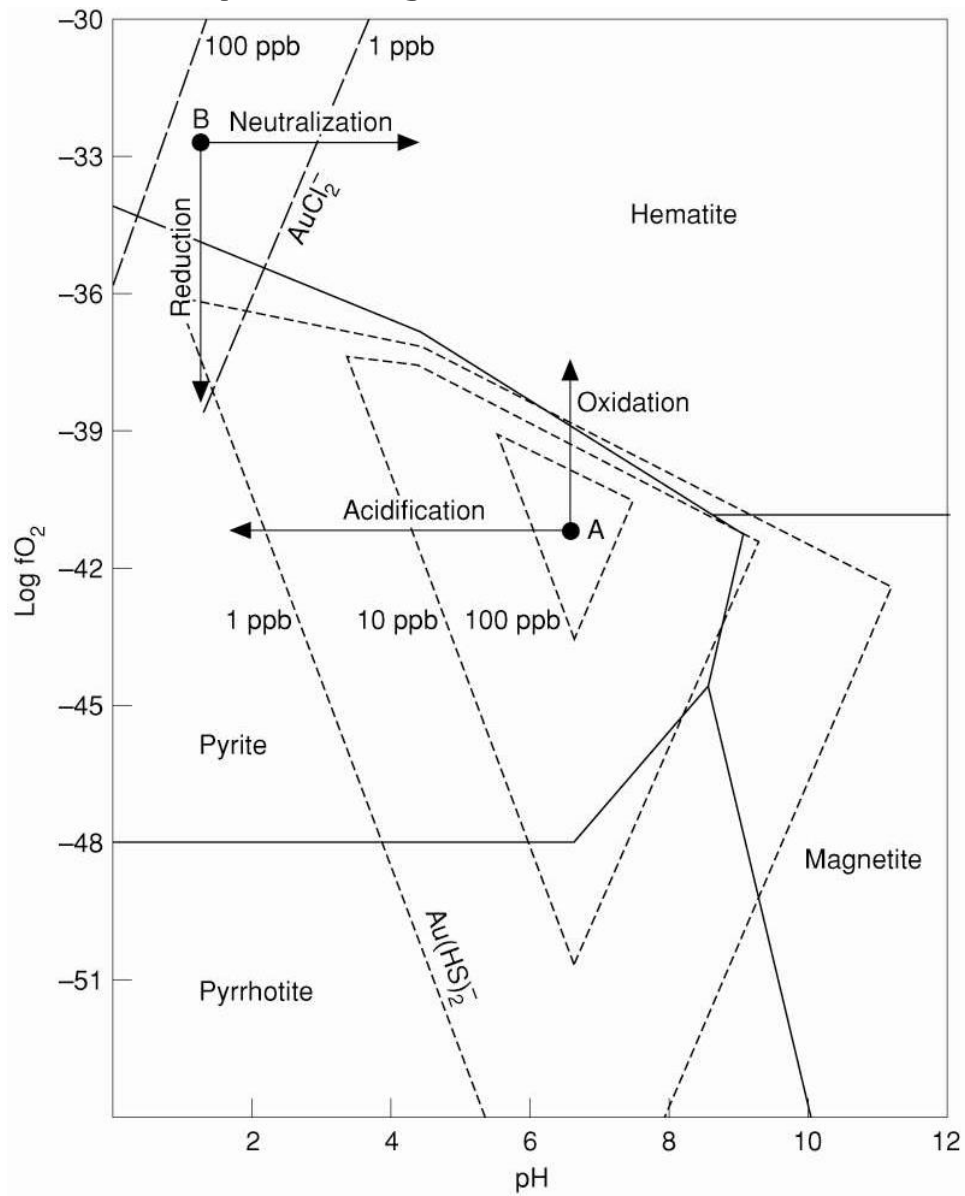
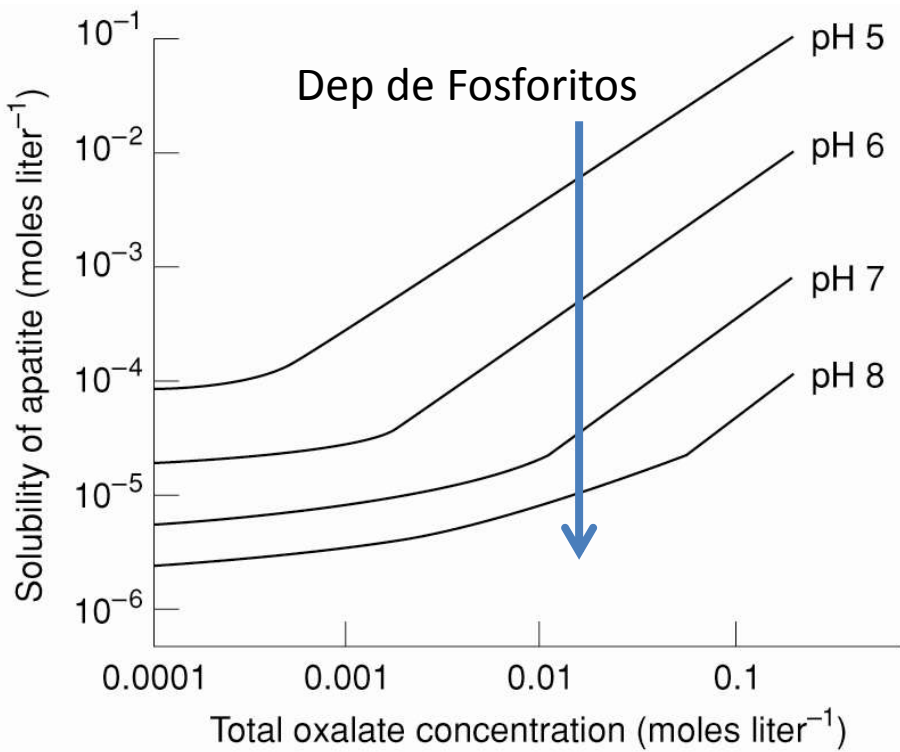
- IOCG



Características dos depósitos minerais

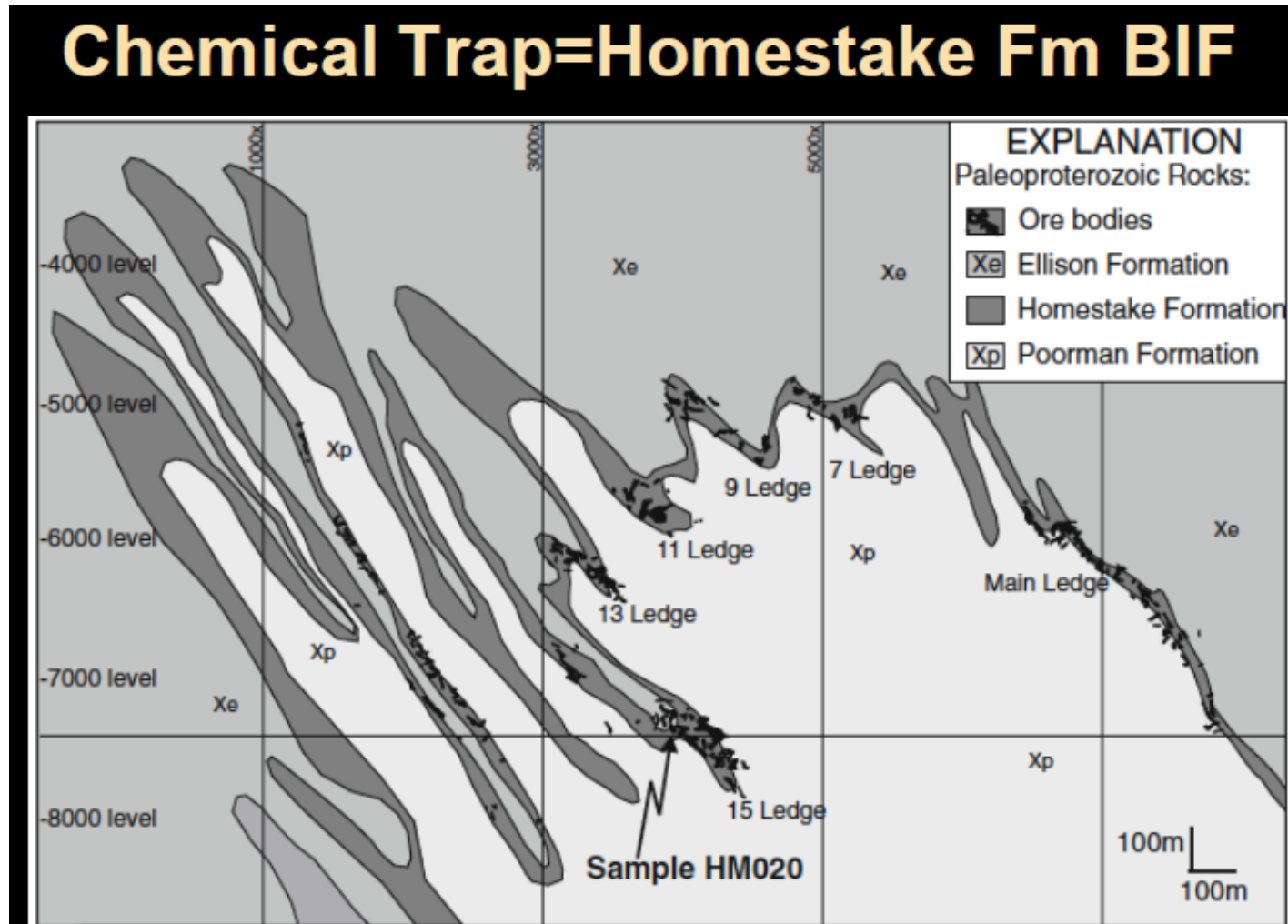
Condições de Deposição

- Alteração nas condições de PH e fO2



Características dos depósitos minerais

Condições de Deposição

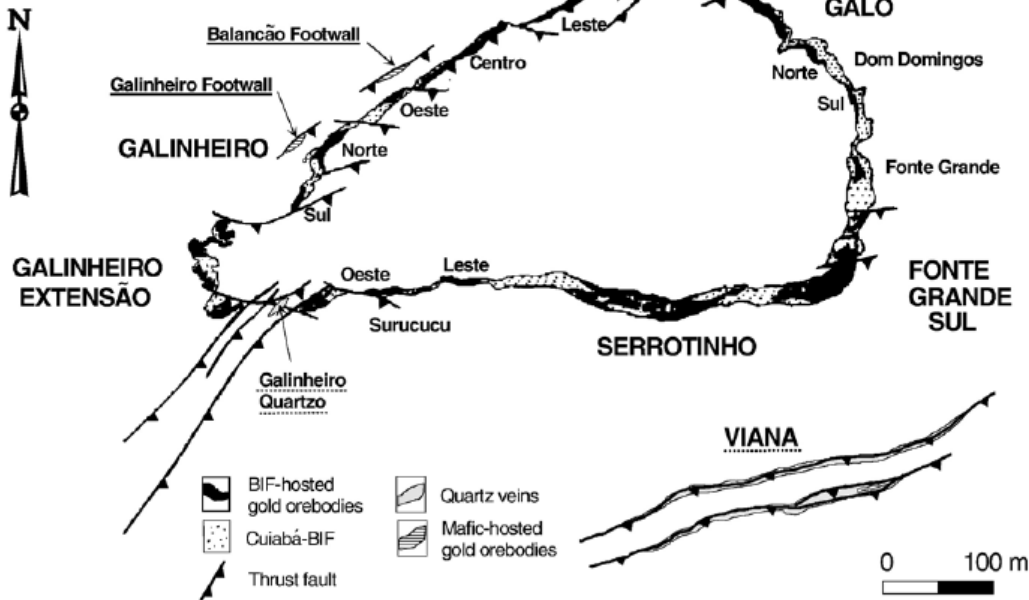


Características dos depósitos minerais

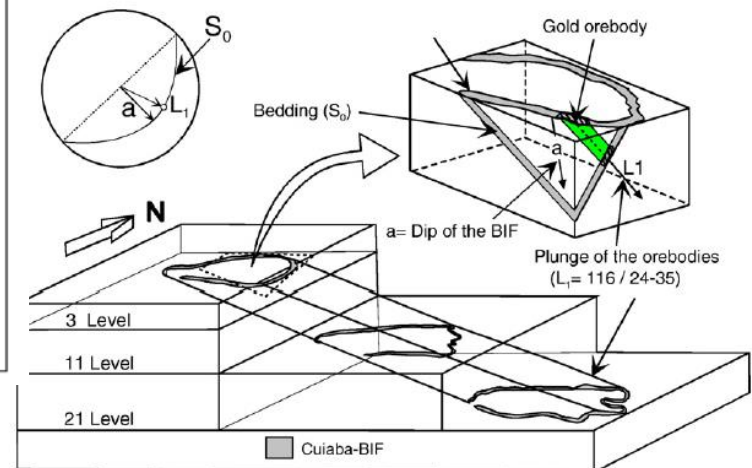
Condições de Deposição

Cuiabá Mine

No. 3 level



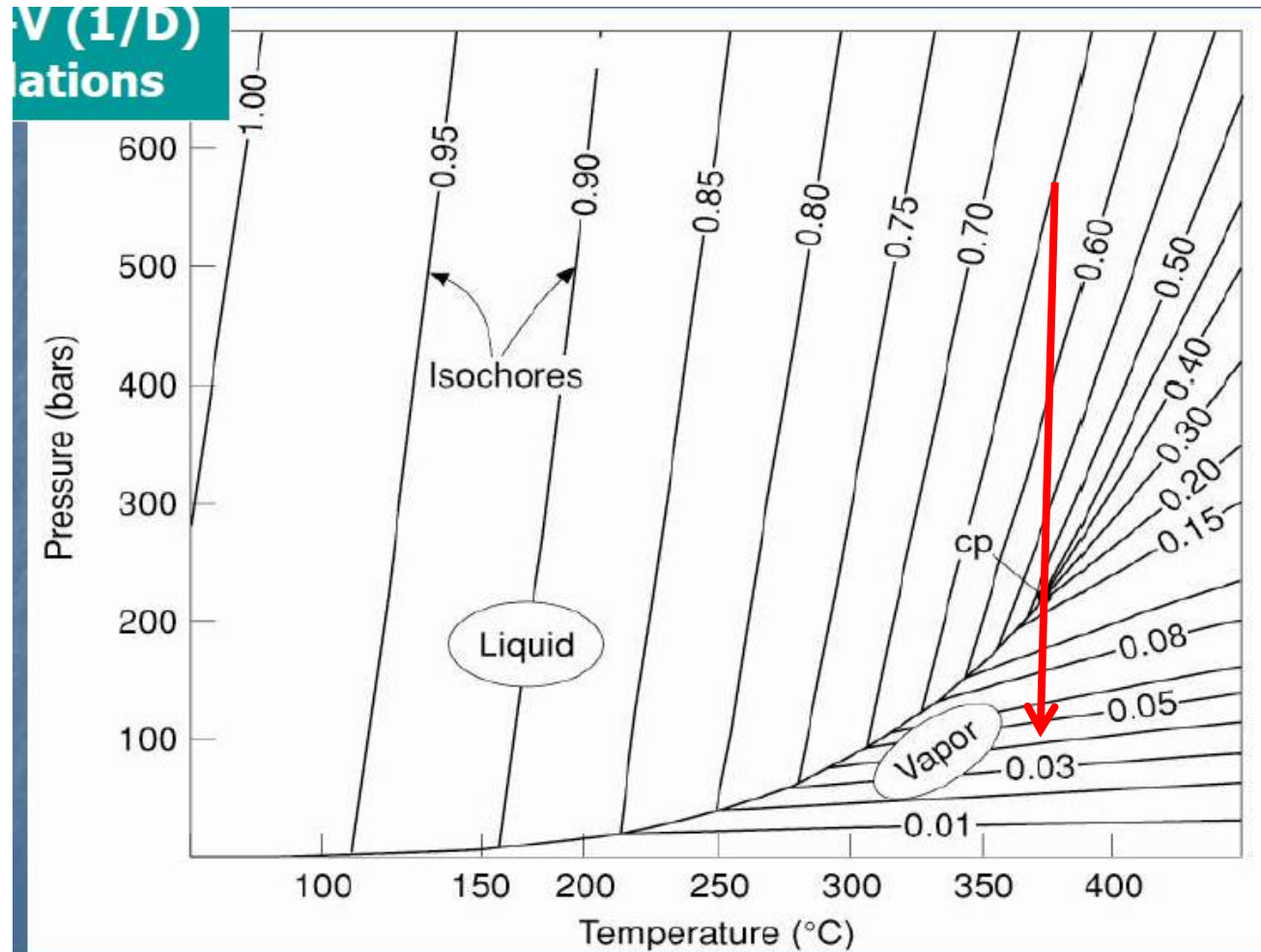
Chemical Trap Cuiabá Mine - QF



Características dos depósitos minerais

Condições de Deposição

- Mudança de Fase:
- Extração rápida da Fase Vapor e Enriquecimento da Fase Líquida
- (Boiling)



Características dos depósitos minerais

Condições de Deposição

Physical Trap=Intrusive Body in Metasedimentary Terrane



Características dos depósitos minerais

Condições de Deposição

Bladed calcite, typical product of precipitation by boiling and P_{CO_2} drop (pH increase)

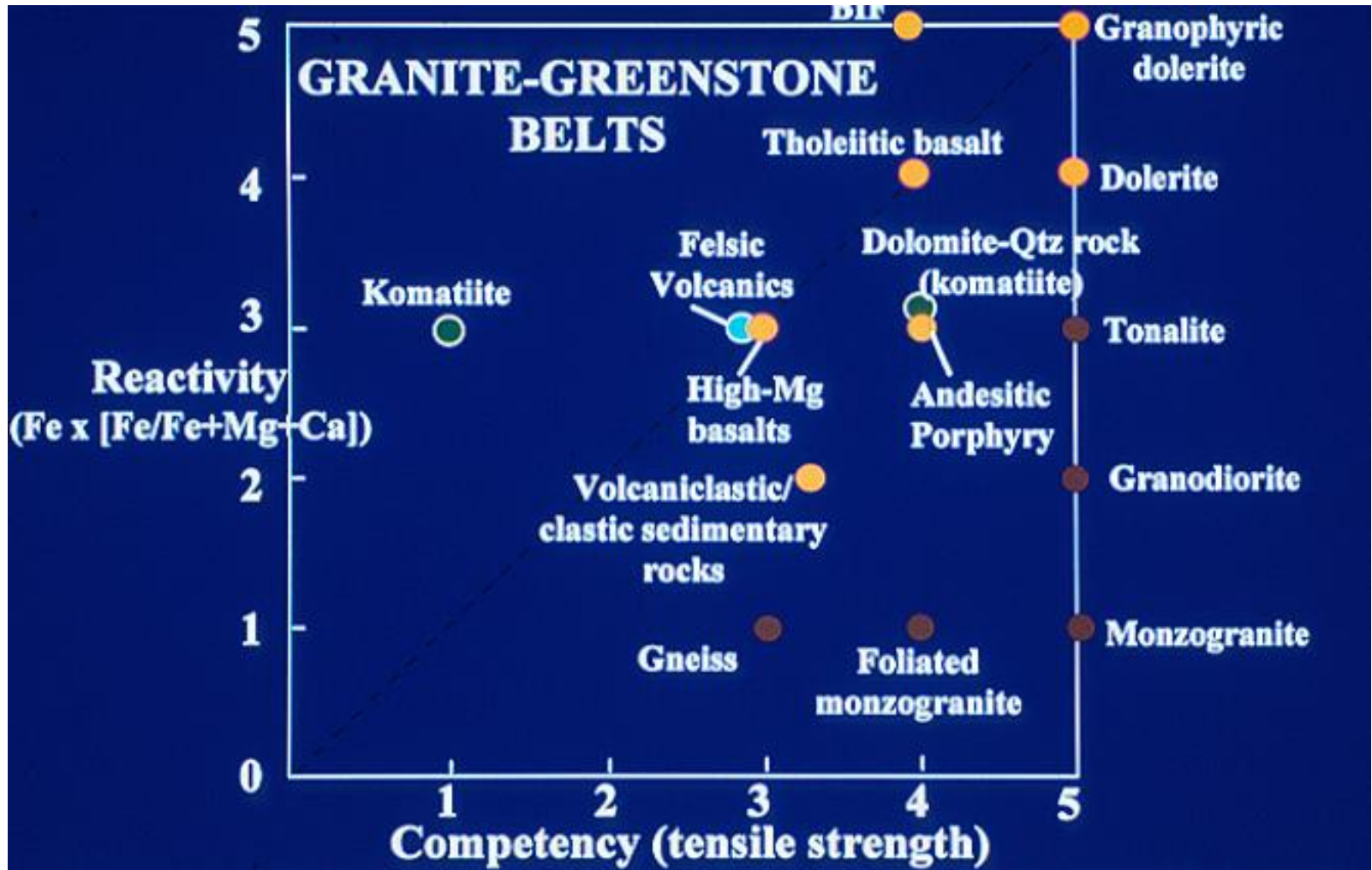


Madjarovo, vein nr. 2, Bulgaria



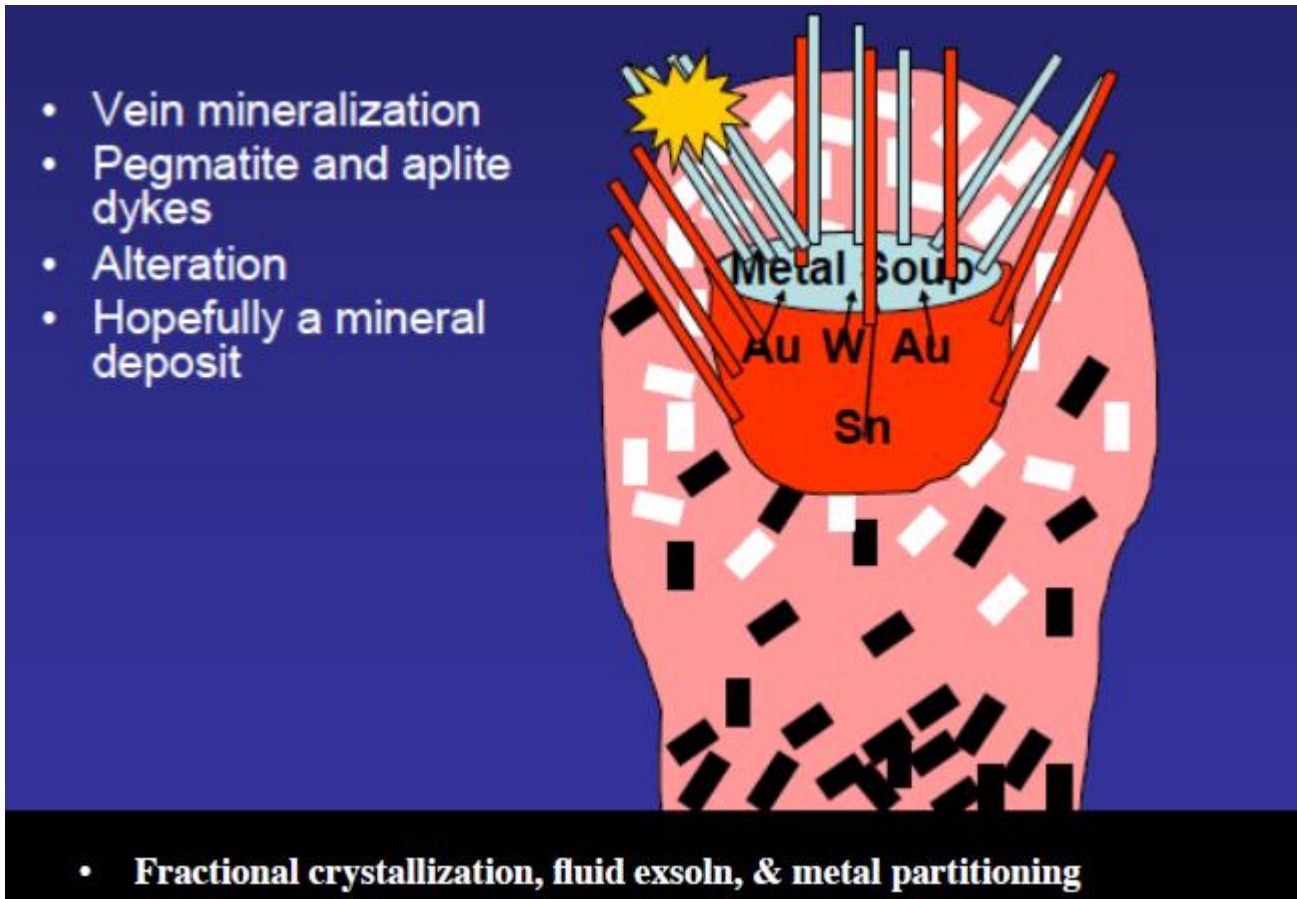
Características dos depósitos minerais

Condições de Deposição



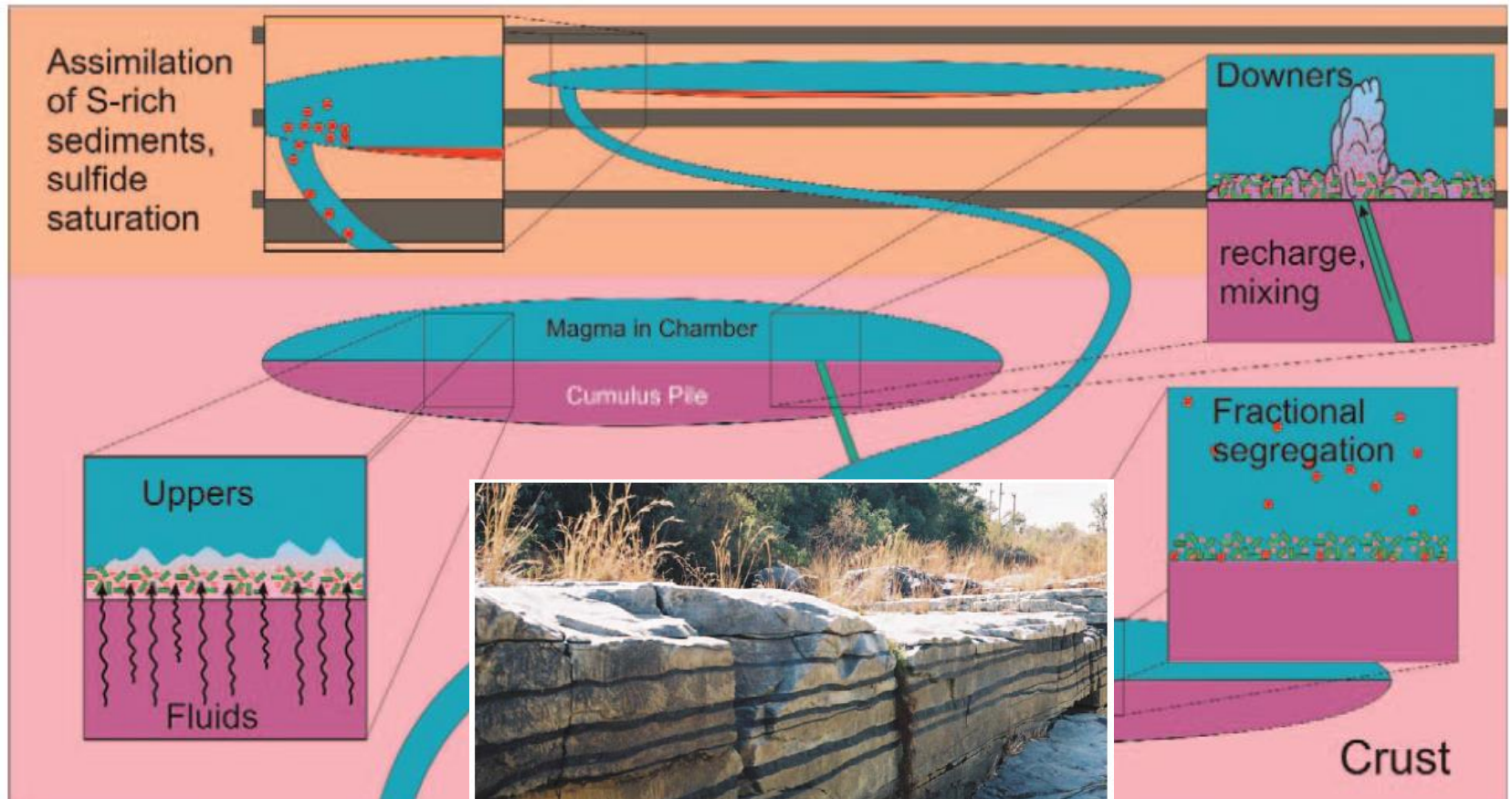
Características dos depósitos minerais

Condições de Deposição



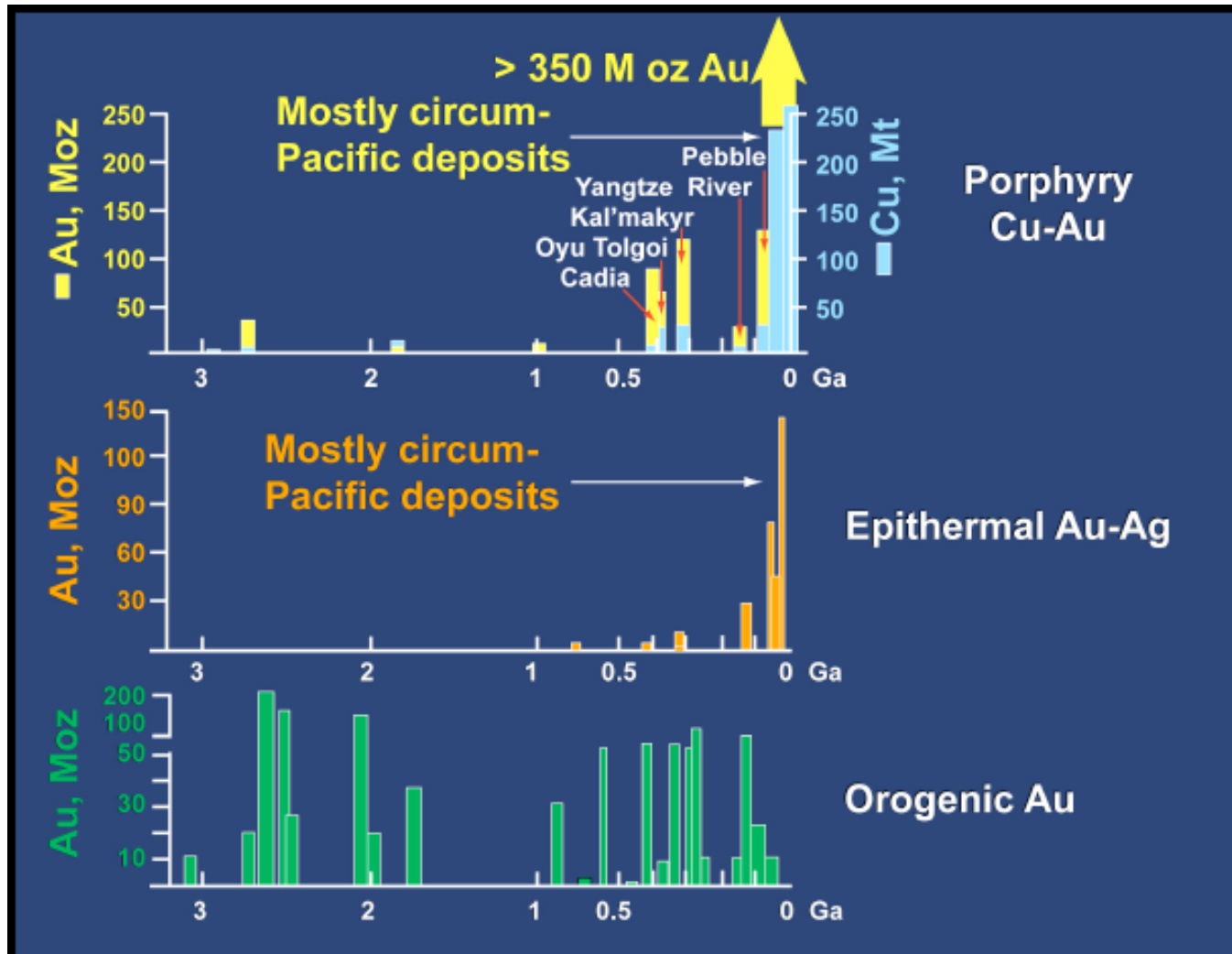
Características dos depósitos minerais

Condições de Deposição



Características dos depósitos minerais

Condições de Preservação



Discussões

Depósitos minerais (de mesmo tipo) podem ocorrer em diferentes ambientes tectônicos

Diversos depósitos minerais compartilham características de fonte e composição de fluidos semelhantes

Modelos descritivos e teóricos são insuficientes para descrever todas as ocorrências e depósitos minerais que podem ocorrer no planeta

Entretanto,

Discussões

Distritos Mineiros compartilham algumas características:

1- Presença de depósitos de classe mundial

→ Fatores Críticos:

2- Reservatórios como Fonte de Fluidos (Crosta - Manto enriquecidos) +

3- Estruturas Litosféricas para circulação de Fluidos +

4- Condições para transporte, desestabilização de Fluidos e deposição de Metais & Preservação =

Discussões

Distritos Mineiros compartilham algumas características:

1- Presença de depósitos de classe mundial

→ Fatores Críticos:

2- Reservatórios como Fonte de Fluidos (Crosta - Manto enriquecidos) +

3- Estruturas Litosféricas para circulação de Fluidos +

4- Condições para transporte, desestabilização de Fluidos e deposição de Metais & Preservação =

MINERAL SYSTEMS



2011.10.04 13:11