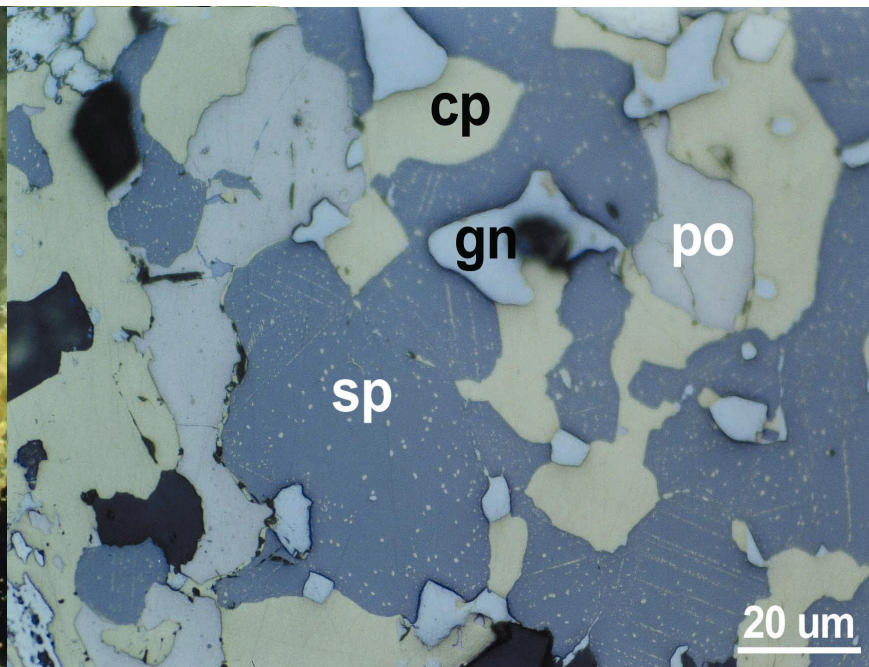


Sulfetos de Chumbo e Zinco

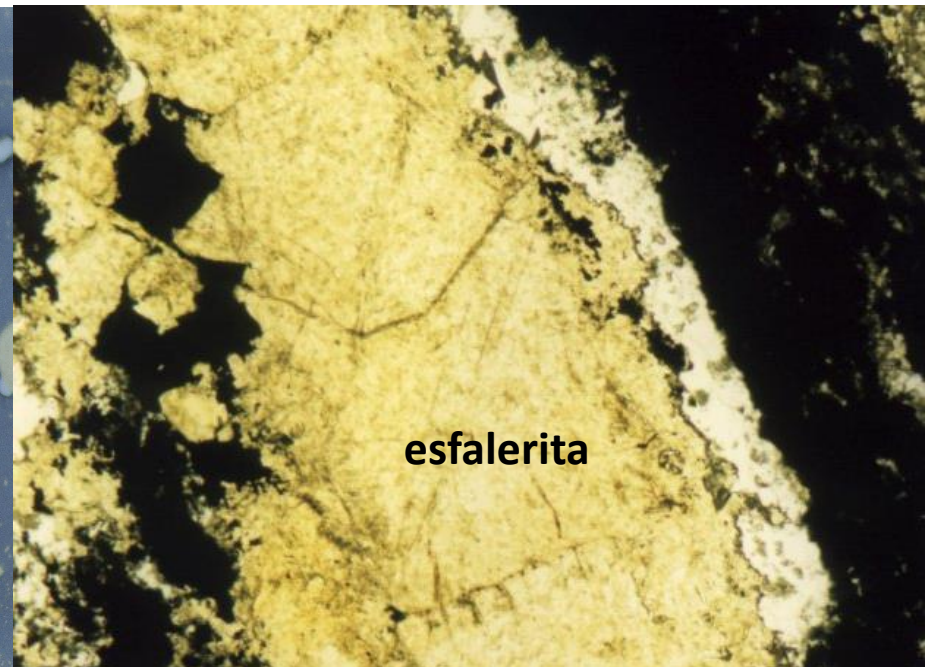
Lena Virgínia Soares Monteiro
Rafael Rodrigues de Assis



Luz refletida (polarizadores #)



Luz refletida (polarizadores //)



Luz transmitida (polarizadores //)

Depósitos de Pb-Zn

- Depósitos do tipo Mississippi Valley (**MVT**)
- Depósitos tipo **SEDEX**
- Depósitos **VMS** (ou VHMS) – Cu-**Pb-Zn**
- **Skarns**
- Depósitos epitermais polimetálicos (**IS**);
- Depósitos de zinco não sulfetados hipógenos
- Depósitos não sulfetados supérgenos

Amostra de esfalerita esferoidal com esfalerita dendrítica, galena e sulfetos de ferro (pirita mais marcassita) da mina de Pomorzany. Observe que a "direção para cima" é indicada pela textura "snow-on-roof" (neve no telhado) de galena e esfalerita ao longo de camadas coloformes de esfalerita de cor clara. O tamanho da amostra é 20x13 cm. (Fotografia de David L. Leach, U.S. Geological Survey.)



Esfalerita (mineral de minério de zinco)



Sphalerite

<https://pixels.com/featured/sphalerite-ore-macrophotograph-pasieka.html>

Esfalerita



Propriedades físicas

Cor: preta, marrom, amarela, verde, vermelha. Branca ou incolor quando pura.

Clivagem: perfeita {011}; fratura conchoidal;

Brilho: adamantina, resinoso a submetálico;

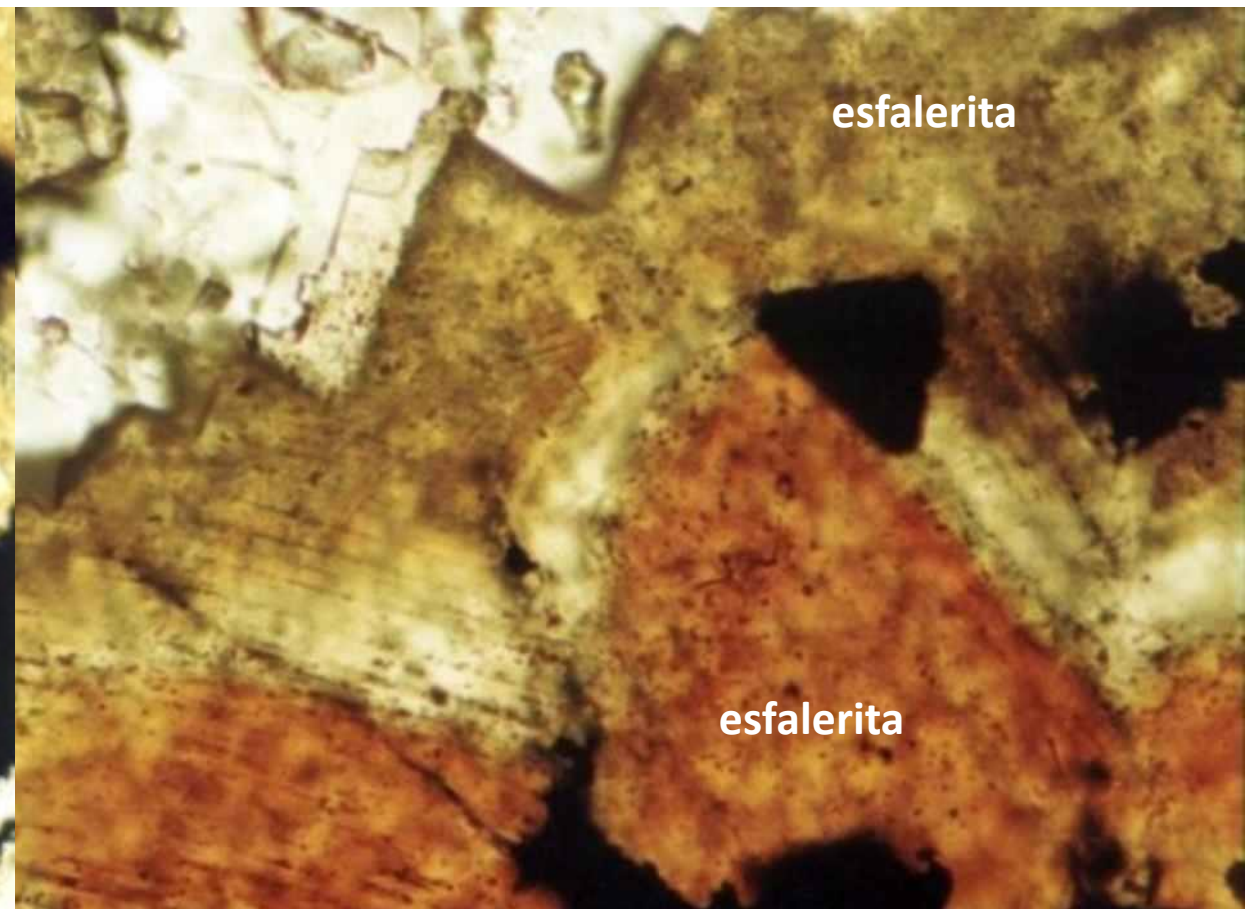
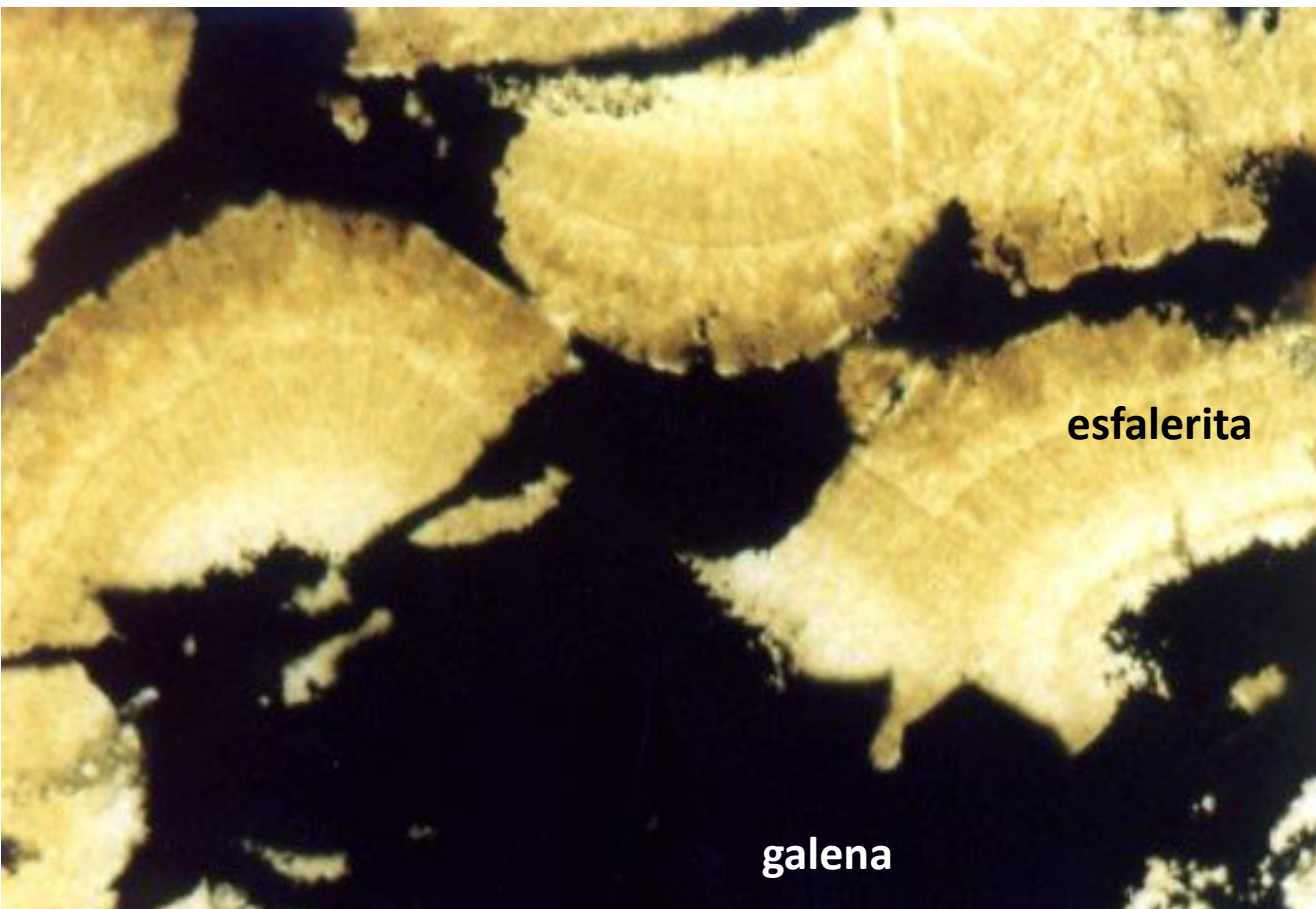
Diafaneidade: transparente a quase opaco;

Associação: sulfetos e sulfossais de Fe, Cu, Sn, Pb, e Ag.

http://nevada-outback-gems.com/mineral_information/sphalerite_mineral_info.htm

https://www.fabreminerals.com/search_show.php?SECTION=SHQ&CODE=TP47AG7

Esfalerita em Luz Transmitida



Monteiro (2002)

Cor: cinza/preta, marrom, laranja, vermelha, verde;
Mineral isótropo (sistema cúbico)

Texturas: zonadas, bandadas, coloformes
Geminação em lamelas;

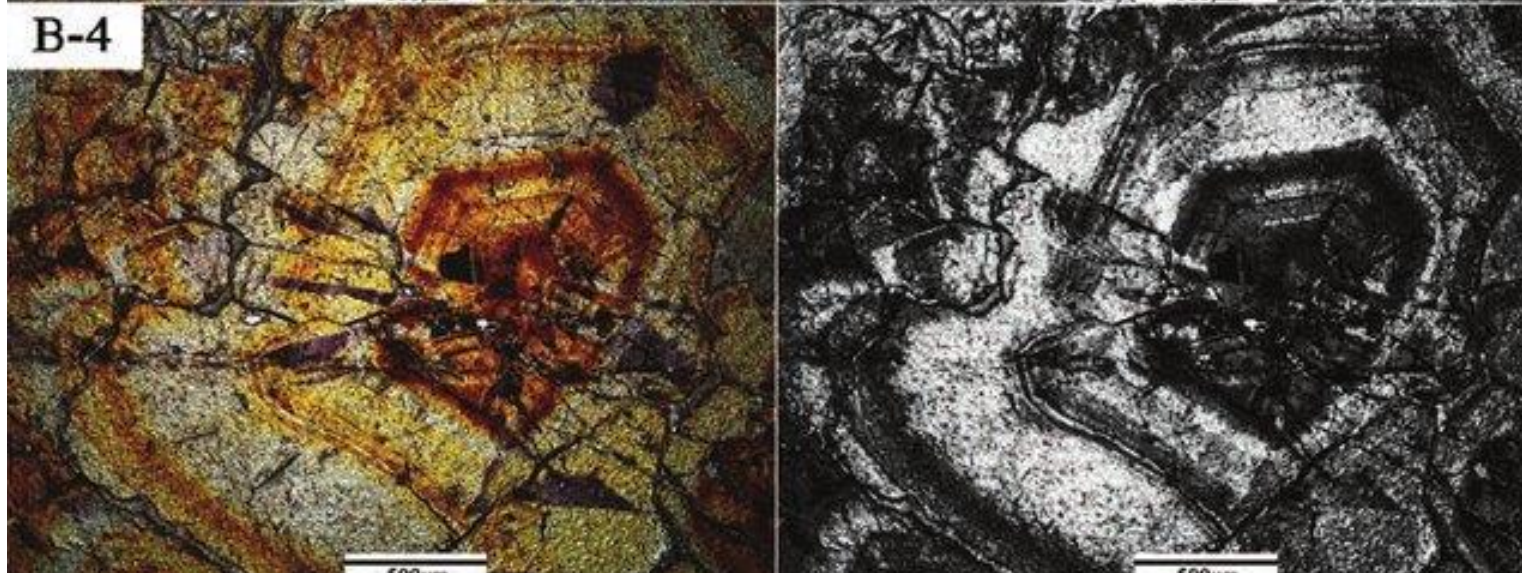
Fractal and multifractal analyses of sphalerite banding at the Zhaishang gold deposit, western Qinling, China

B-3

CHAO YU and JIAJUN LIU*



B-4



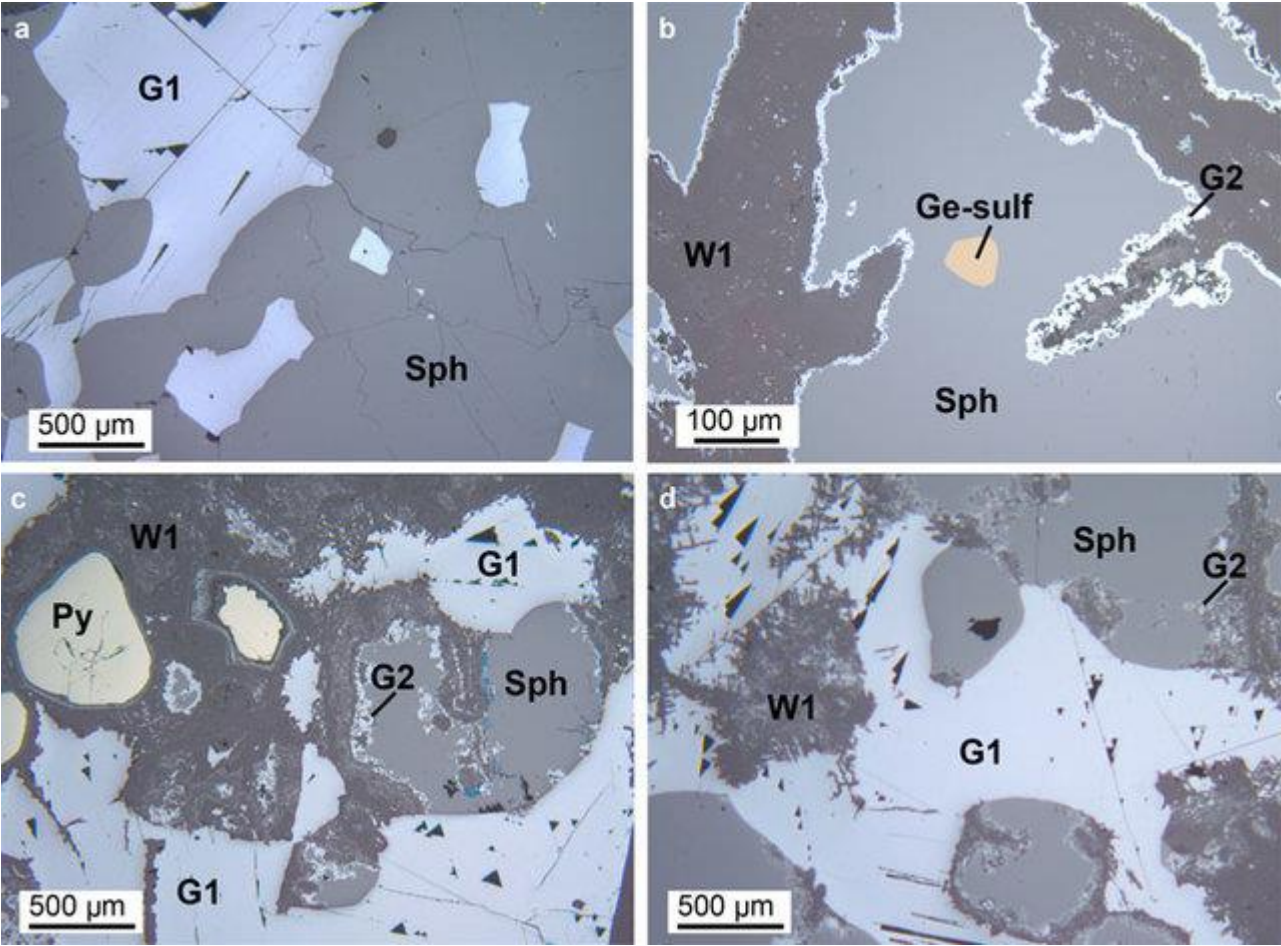
Fórmula química: ZnS

O zinco é substituído isomorficamente por vários elementos:

- **Fe** sempre presente (com alto conteúdo em Fe, a esfalerita é chamada "**marmatita**").
- **Mn e Cd**, frequentemente presentes.
- **Ba, In, Ge, Ga, Cu, Ti e Hg**, às vezes presentes.

Bandamento em esfalerita com característica fractal sob luz transmitida (coluna da esquerda). A maioria dos cristais de esfalerita apresenta três bandas principais e muitas sub-bandas em cada uma dessas.

Esfalerita em Luz Refletida



Critical elements in non-sulfide Zn deposits: a reanalysis of the Kabwe Zn-Pb ores (central Zambia)

N. MONDILLO^{1,*}, R. HERRINGTON², A. J. BOYCE³, C. WILKINSON², L. SANTORO² AND M. RUMSEY²

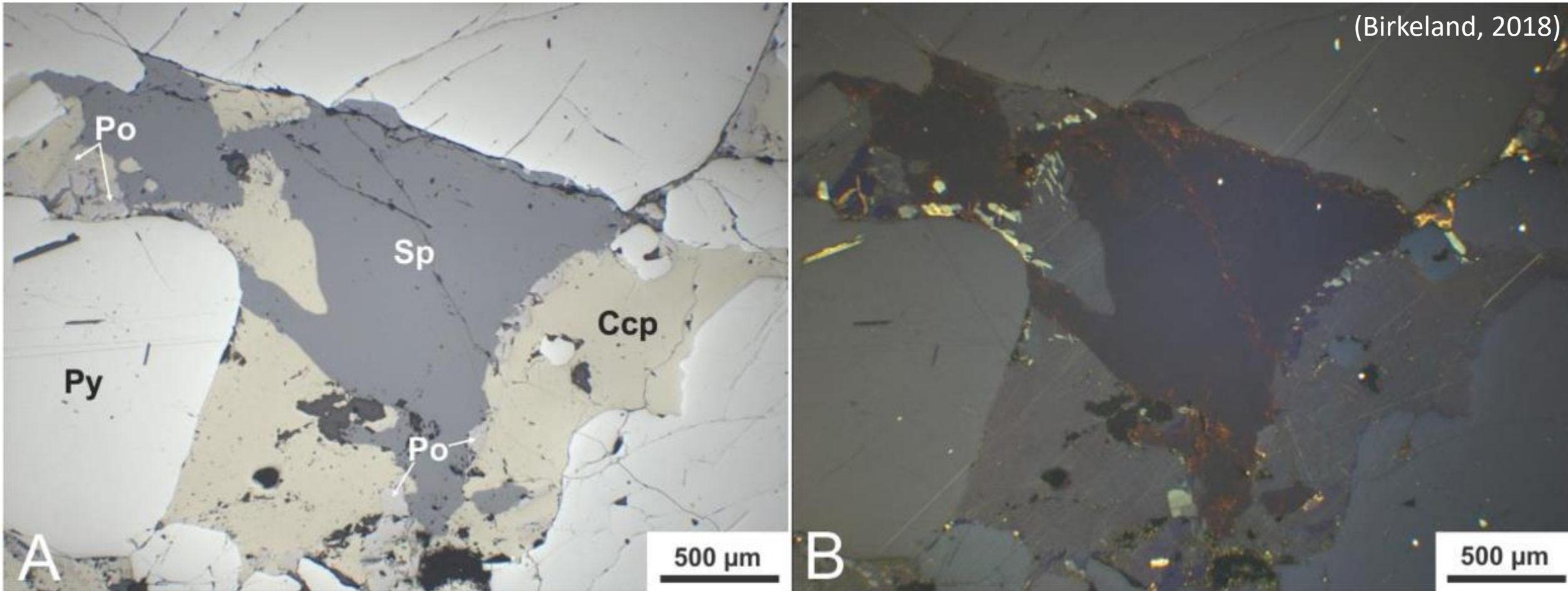
Mineralogical Magazine, May 2018, Vol. 82(S1), pp. S89–S114

(a) esfalerita (Sph) com galena intersticial 1 (G1); (b) esfalerita, contendo uma inclusão de sulfeto de Ge, substituída por willemita 1 (W1); a fronteira da reação entre esfalerita e willemita é marcada por uma fina camada de galena 2 (G2); (c) remanescentes de pirita (Py), esfalerita e galena 1 após substituição por willemita 1; e (d) willemita 1 substituindo diretamente galena 1.

Cor	Dureza	Polimento	Pleocroísmo	Anisotropia
Cinza médio, mais escuro que a da magnetita	Média (3,5 a 4,0)	variável; pequenos cristais adquirem melhor polimento	ausente	isótropa; variedades com alto conteúdo em ferro podem apresentar uma ligeira anisotropia

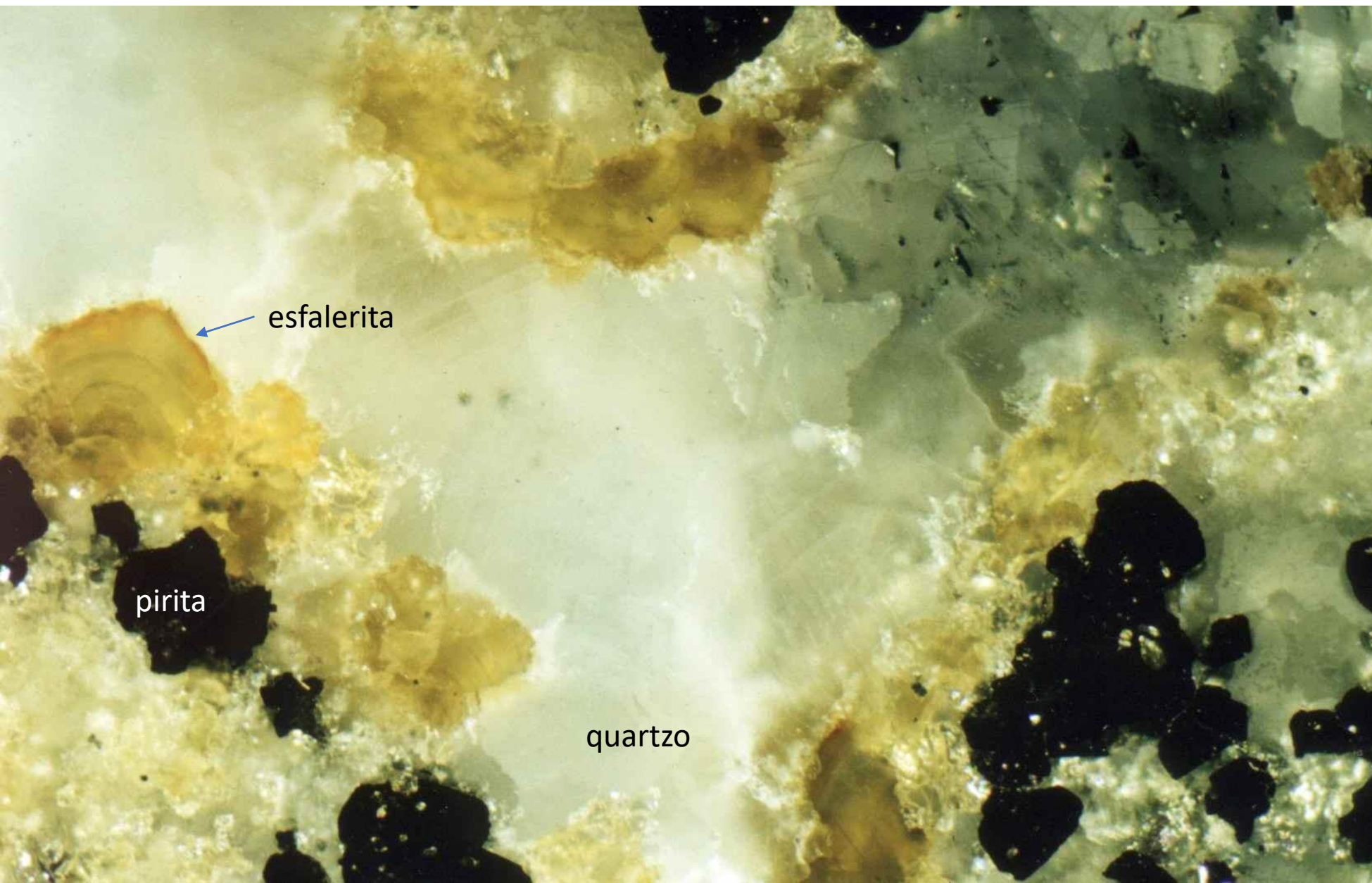
Esfalerita em Luz Refletida

Ore petrography and fluid evolution in the Cu-(Zn) VMS deposits at Sulitjelma, Northern Norway



A: Luz refletida (//); B: em luz polarizada cruzada, Mostrando grandes grãos de pirita (Py) com calcopirita (Ccp), esfalerita (Sp) e pequenos grãos de pirrotita (Po) entre eles.

Reflexões Internas na Esfalerita



Reflexões internas:

sempre presentes (principalmente em seções mal polidas), porém com cores e intensidade variáveis.

- **esfalerita pura:** RI brancas e abundantes;
- **pobre em ferro:** RI marrom amarelado a branco amarelado, frequentes;
- **esfalerita rica em ferro** ("marmatita"): RI castanho escuro ou avermelhado, pouco frequentes;

Sistema Zn-S

Minerais	Fórmula	Sistema cristalino	T °C Estabilidade
Esfalerita	ZnS	Cúbico	< 1020
Wurtizita	ZnS	Hexagonal	1020-1700

Sistema Fe-Zn-S

Solução sólida: (Zn, Fe)S

900 °C – Solubilidade do Fe na esfalerita é extensa e solubilidade do zinco na pirrotita é reduzida;
Tie-lines: solução sólida (Zn,Fe)S com pirrotita hexagonal;

400 °C – Pirita torna-se estável e a solução sólida (Zn, Fe)S é menos extensa. *Tie-lines*: (Zn,Fe)S rica em ferro com pirrotita hexagonal, pirita e enxofre líquido;

200 °C – Pirrotita monoclinica é estável e coexiste com esfalerita pobre em ferro;

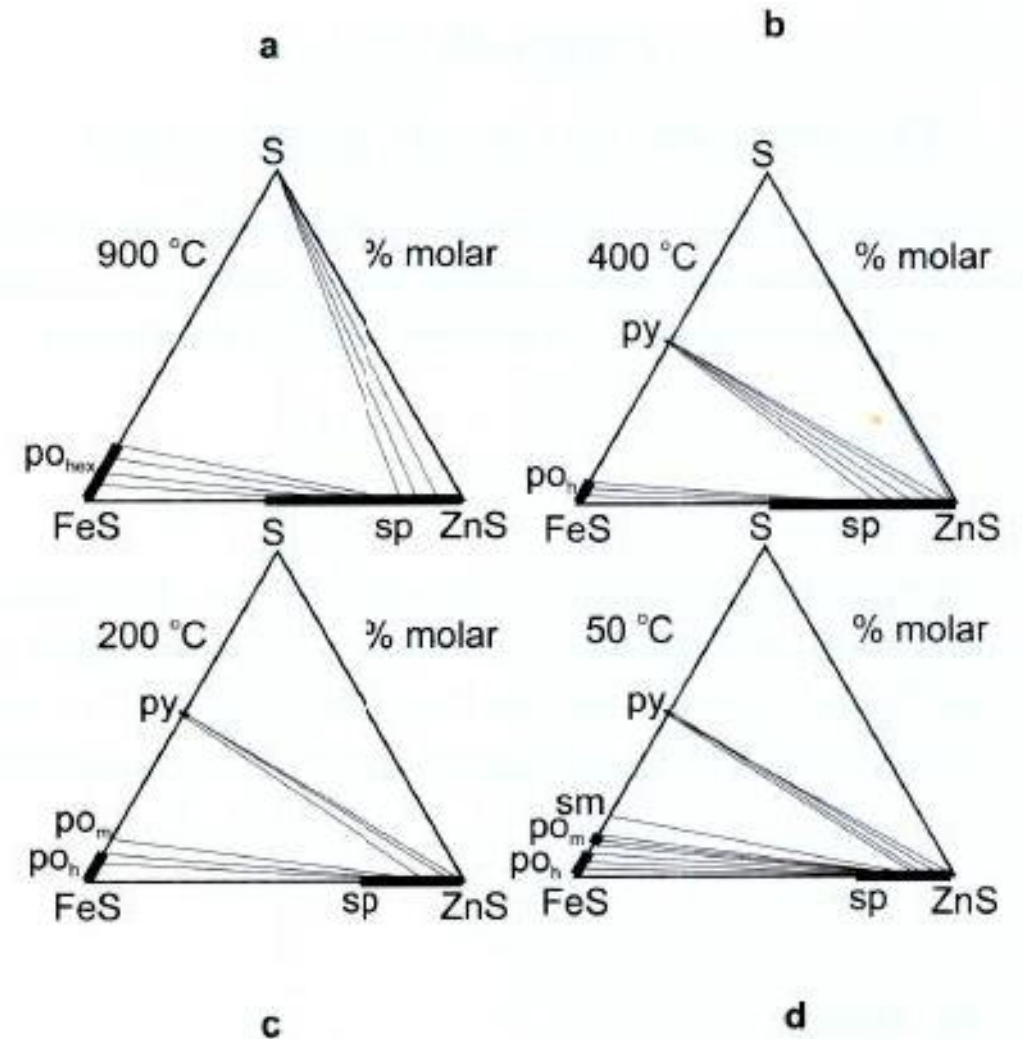


Figura 7.1 (a-d) — Seções isotérmicas do sistema Fe-Zn-S a temperaturas de 900 °C, 400 °C, 200 °C e 50 °C. As fases presentes são esfalerita (sp), pirita (py), pirrotita hexagonal (po_h), pirrotita monoclinica (po_m) e smythita (sm) (fonte: Barton & Toulmin, 1966).

Solução sólida: (Zn, Fe)S

- **Solubilidade do ferro na esfalerita** depende da **temperatura** e da **f_{S_2}** ;
- Quanto mais alta a fugacidade de S_2 , menor é a atividade de FeS na esfalerita;
- **Acima de 550 °C**, a solubilidade de Fe na esfalerita em equilíbrio com a pirita e pirrotita **varia com a temperatura**;
- A composição da esfalerita em equilíbrio com pirita e pirrotita se mantém constante abaixo de 550 °C (até 250 °C);

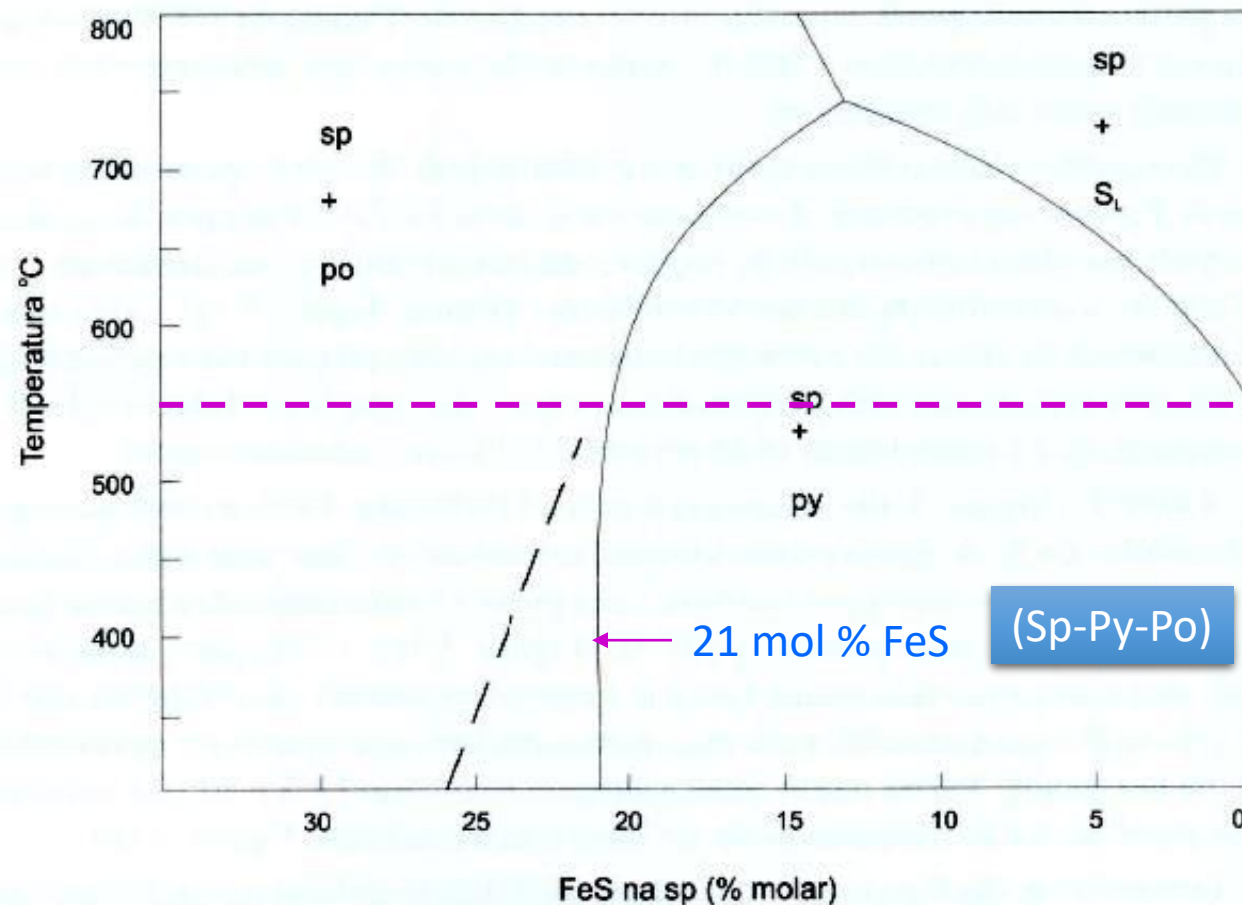


Figura 7.2 — Diagrama TX de porção do pseudobinário FeS-ZnS acima de 300 °C (fonte: Barton e Toulmin, 1966).

Solução sólida: (Zn, Fe)S

A temperatura menor ($< 250\text{ }^{\circ}\text{C}$), a esfalerita em equilíbrio com pirrotita monoclinica, pirita ou smithita tem menor conteúdo de ferro

Concentrações de FeS (mol%) em esfalerita em equilíbrio com pirita e pirrotita em função da temperatura e pressão (Scott, 1974; Scott & Barnes, 1971)

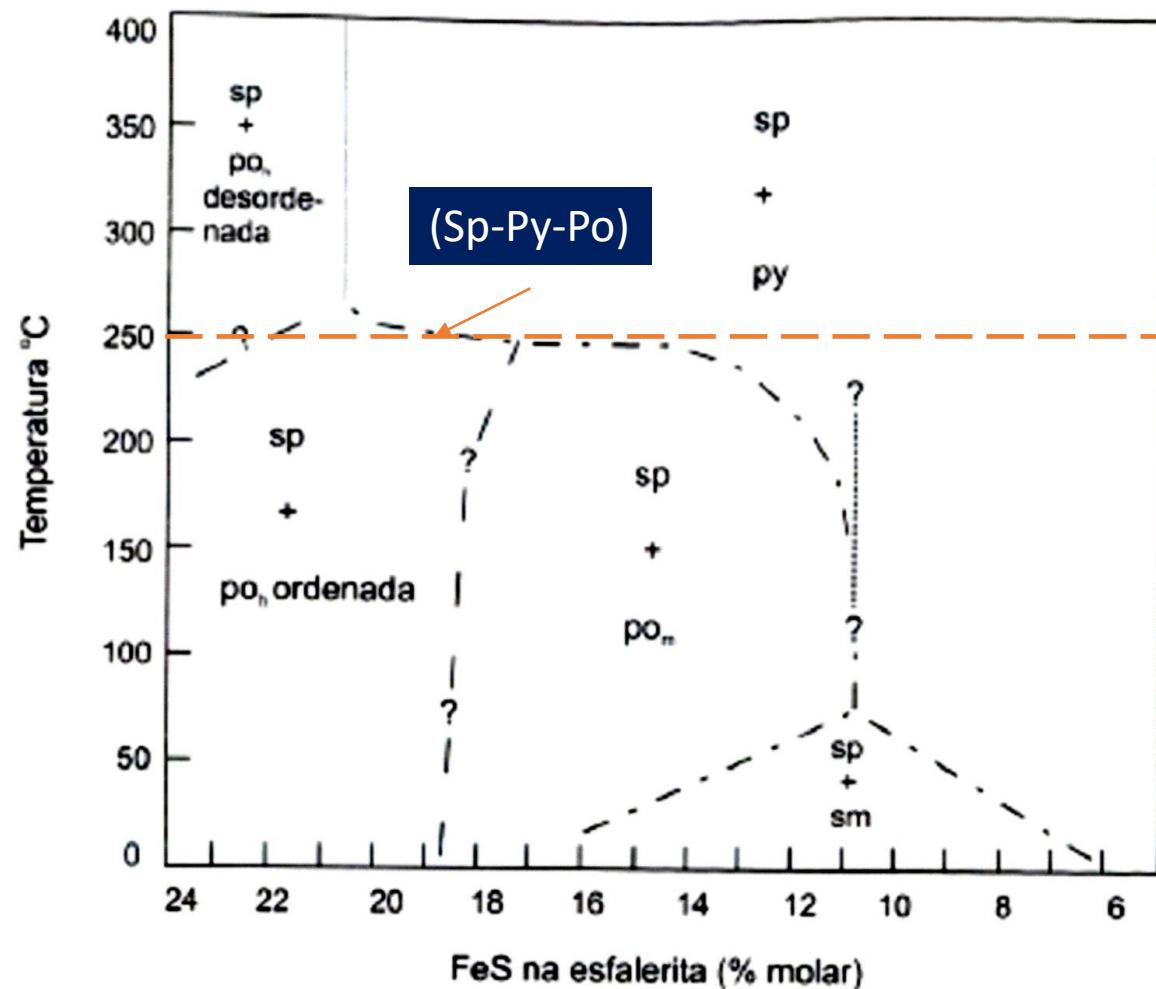


Figura 7.3 — Diagrama TX de porção do pseudobinário FeS-ZnS abaixo de $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ (fonte: Scott e Kissin, 1973).

Geobarômetro

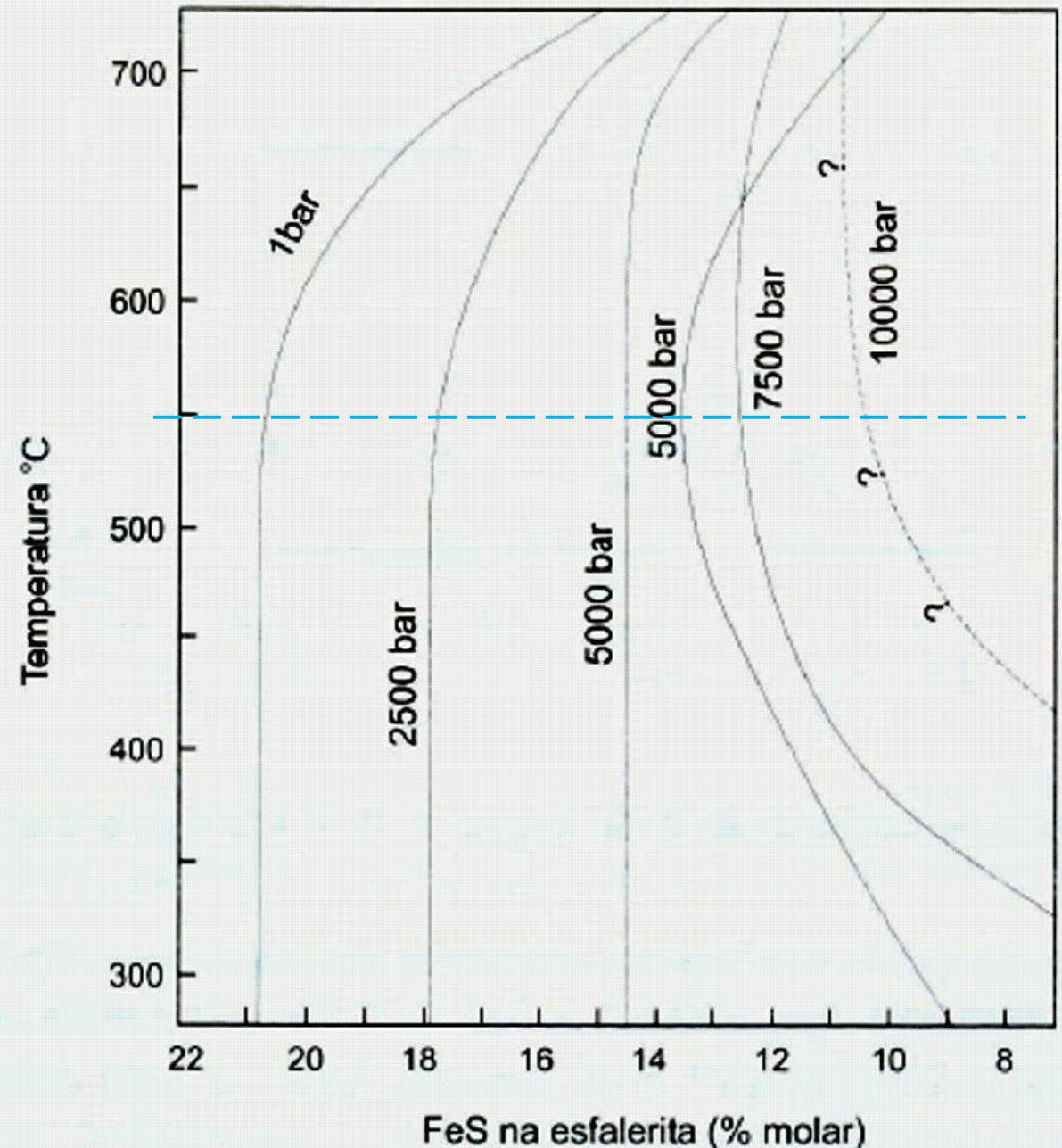
Pode ser usado se esfalerita estiver em equilíbrio com pirita e pirrotita = fS_2 tamponada entre 250 e 550 °C;

Solubilidade de Fe na esfalerita diminui com o aumento da temperatura (acima de 550 °C) e da pressão;

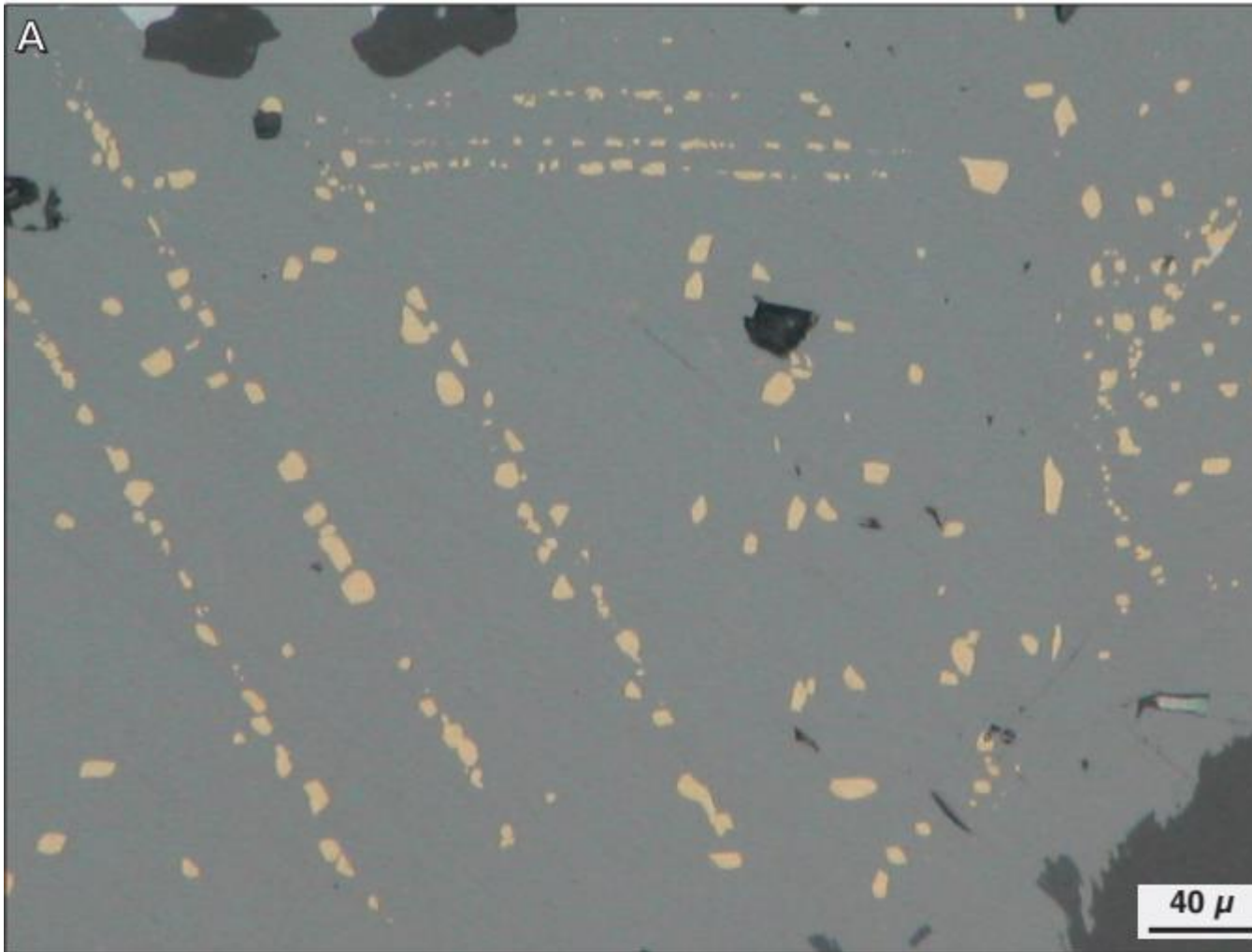
Limitações

Resulta em pressões excessivas devido à variações de fS_2 , efeitos da deformação heterogênea, metamorfismo retrógrado e coexistência com sulfetos de cobre;

Concentrações de FeS (mol%) em esfalerita em equilíbrio com pirita e pirrotita em função da temperatura e pressão (Scott, 1974; Scott & Barnes, 1971)



“Chalcopyrite disease” (Doença da calcopirita na esfalerita)



Esfalerita maciça (cinza médio) com doença da calcopirita (DIS; amarelo); Black Mountain Mine, Aggeneys, África do Sul [c]; Nic. // (Pracejus, 2008 – The ore minerals under microscope – An optical guide

Textura resultante de exsolução ou substituição?

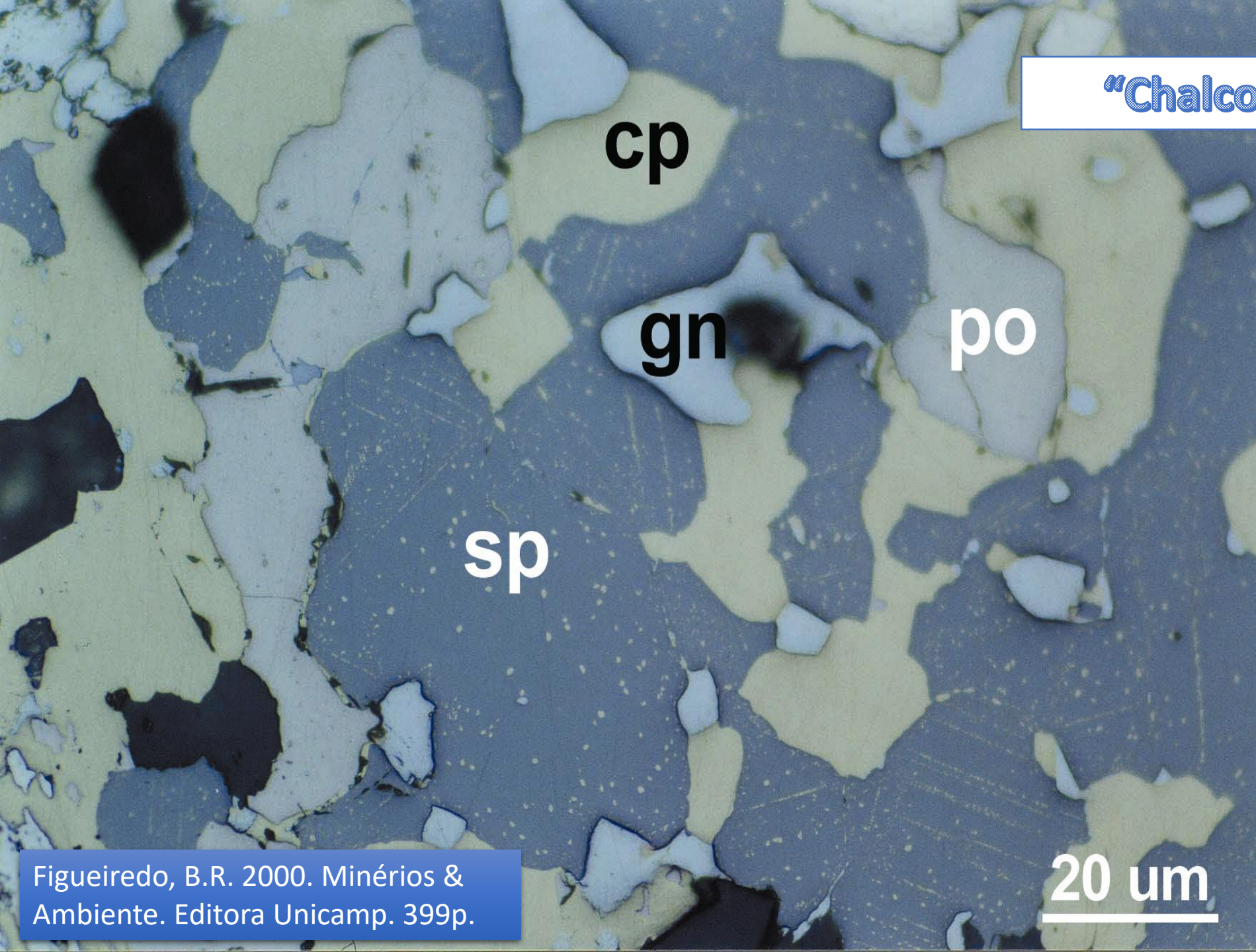
Solubilidade da calcopirita na esfalerita é maior a temperaturas acima de 510 °C;

Solubilidade da calcopirita na esfalerita diminui com o aumento da pressão;

Textura comum em depósitos formados ou metamorfisados a $T > 510$ °C;

Comumente esfalerita contém **texturas de exsolução**, às vezes, orientadas, de **calcopirita, pirrotita, cubanita, estanita e tetraedrita**

“Chalcopyrite disease”



Figueiredo, B.R. 2000. Minérios & Ambiente. Editora Unicamp. 399p.

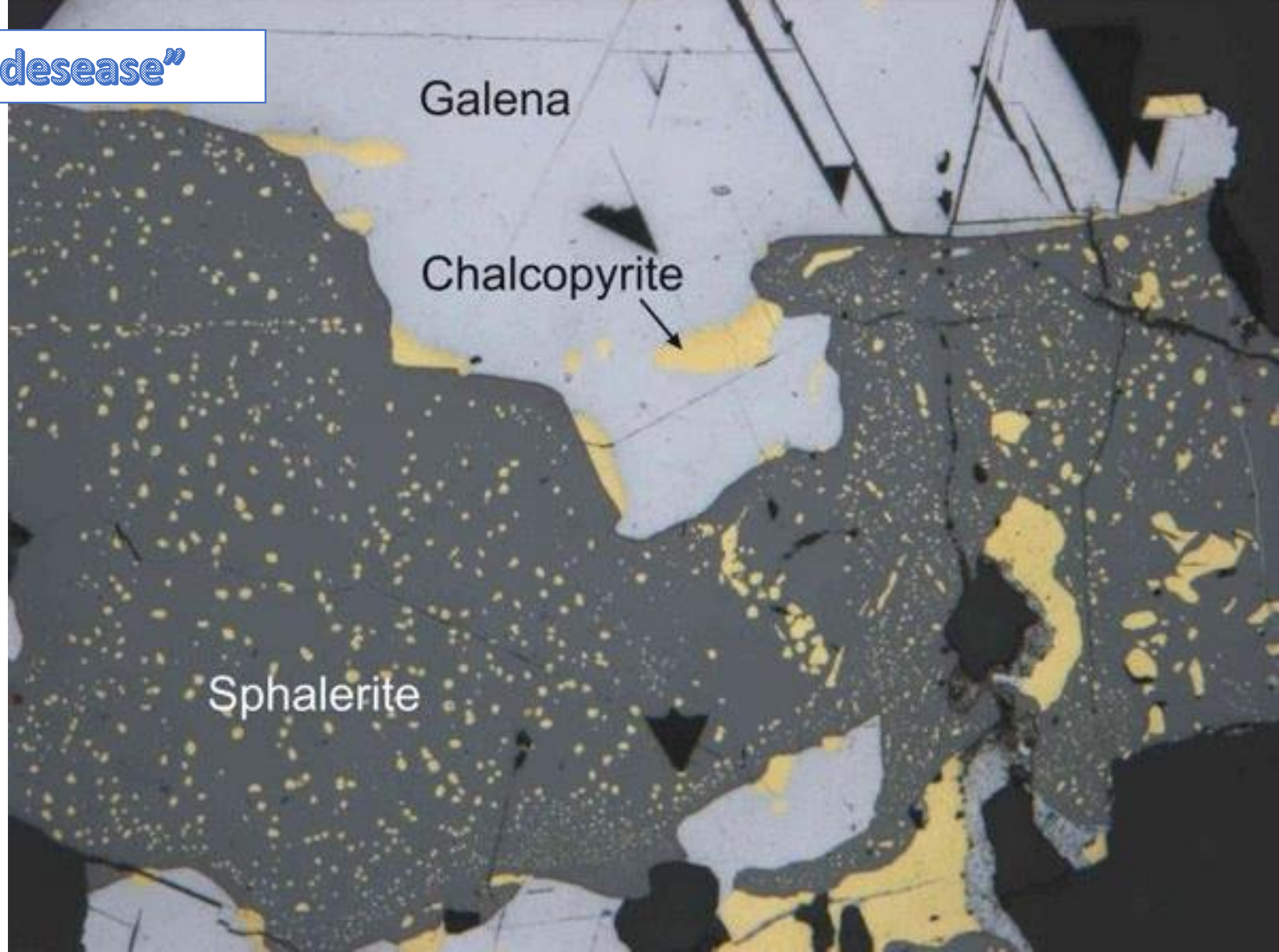
20 um

Mina de Au-Cu de
Cabaçal, MT

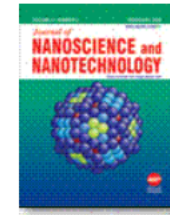
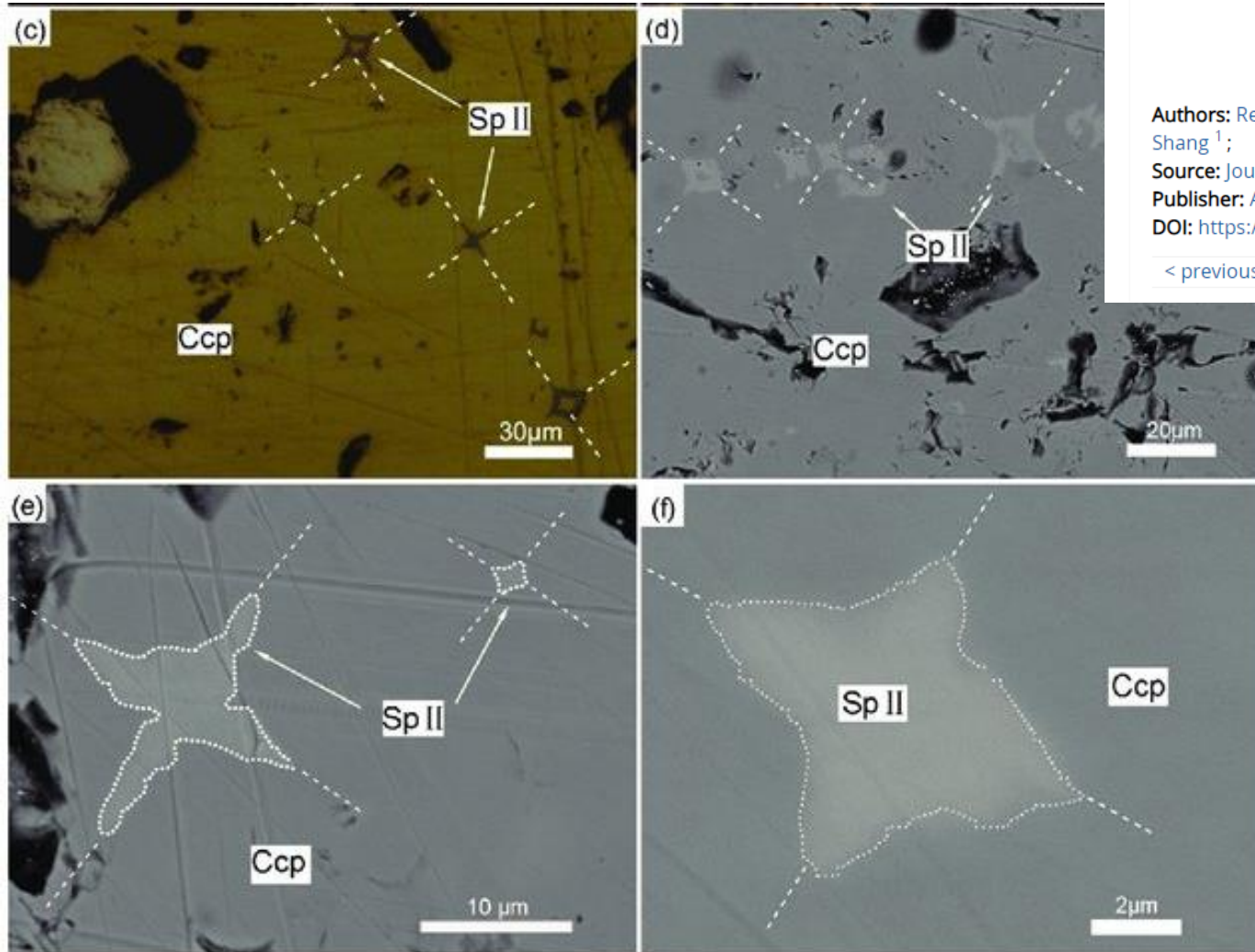
“Chalcopyrite disease”

Fotomicrografia em luz refletida ilustrando relações entre galena (cinza claro) e esfalerita (cinza escuro). Inclusões extremamente finas de calcopirita (amarela) estão presentes na esfalerita. Essa textura é conhecida como 'doença da calcopirita'. Largura de visão de ~ 500 μm .

<https://sites.google.com/site/mrchrisklake/basemetals>



“Sphalerite Stars”



Genesis Study of the Nano-Micron Sphalerite Exsolution in Chalcopyrite from the Gengzhuang Gold Deposit in China

Buy Article:
\$106.65 + tax
(Refund Policy)

[ADD TO CART](#)

[BUY NOW](#)

Authors: Ren, Yaqun ¹; Huang, Fei ¹; Li, Yongli ¹; Zhu, Jianxi ²; Wan, Quan ³; Yu, Lizhang ¹; Zhang, Zhibin ¹; Gao, Shang ¹;

Source: Journal of Nanoscience and Nanotechnology, Volume 17, Number 9, September 2017, pp. 6677-6685(9)

Publisher: American Scientific Publishers

DOI: <https://doi.org/10.1166/jnn.2017.14471>

[< previous article](#)

[view table of contents](#)

[next article >](#)

[ADD TO FAVOURITES](#)

Estrelas de esfalerita em calcopirita resultantes da exsolução de Zn da calcopirita primária e da solução sólida intermediária (iss).

A exsolução e o crescimento da esfalerita ocorreu nas superfícies (-112) e (332) da calcopirita

(c-f) Diferentes morfologias da esfalerita de segunda geração (cristal dendrítico, estrelas ocas e sólidas). Ccp-calcopirita; SpI - a esfalerita de primeira geração; SpII - a esfalerita de segunda geração.

Galena (mineral de minério de chumbo)



<https://geologyscience.com/minerals/galena/>



<https://geology.com/minerals/galena.shtml>

Características

Cor: prata brilhante;

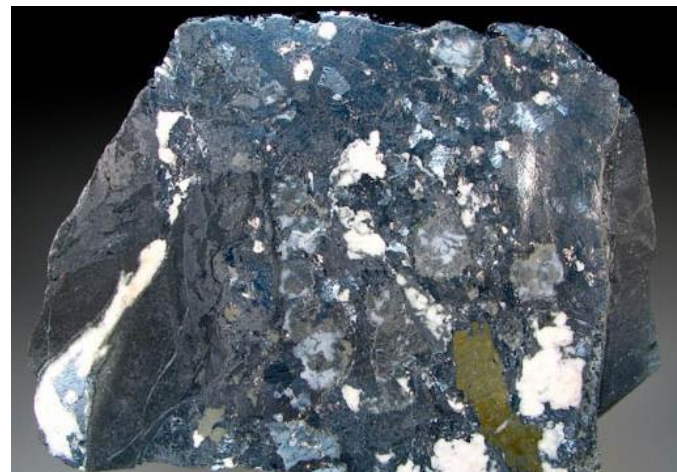
Brilho: metálico;

Diafaneidade: opaco;

Clivagem: perfeita em três direções;



https://www.123rf.com/photo_44151948_galena-galenite-pbs-important-ore-of-lead-and-silver.html



<https://www.dakotamatrix.com/mineral-galleries/archived?name=GALENA>



<https://slideplayer.com/slide/4196560/>

Galena (mineral de minério de chumbo)

Fórmula química: PbS . O enxofre pode ser substituído isomorficamente por **Se** ou **Te**. Contém normalmente prata no retículo ou minúsculas inclusões de argentita (Ag_2S) ou de sulfossais complexos de Ag, Pb e Bi.

Polimento: Bom, mostrando as cavidades triangulares (*triangular pits*) características.

Dureza: baixa (2,5).

Cor: Branca brilhante, às vezes, com ligeiro tom rosa.

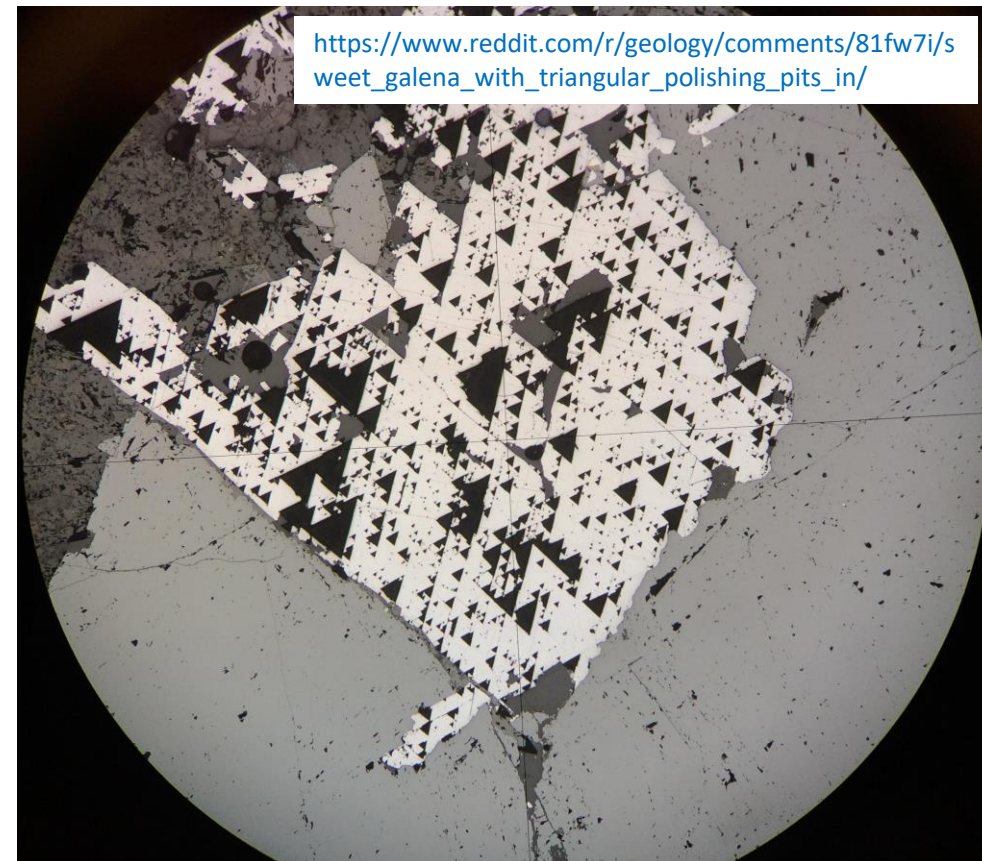
- é branca ao lado da esfalerita.

- é mais clara que a estibinita.

Pleocroísmo: ausente.

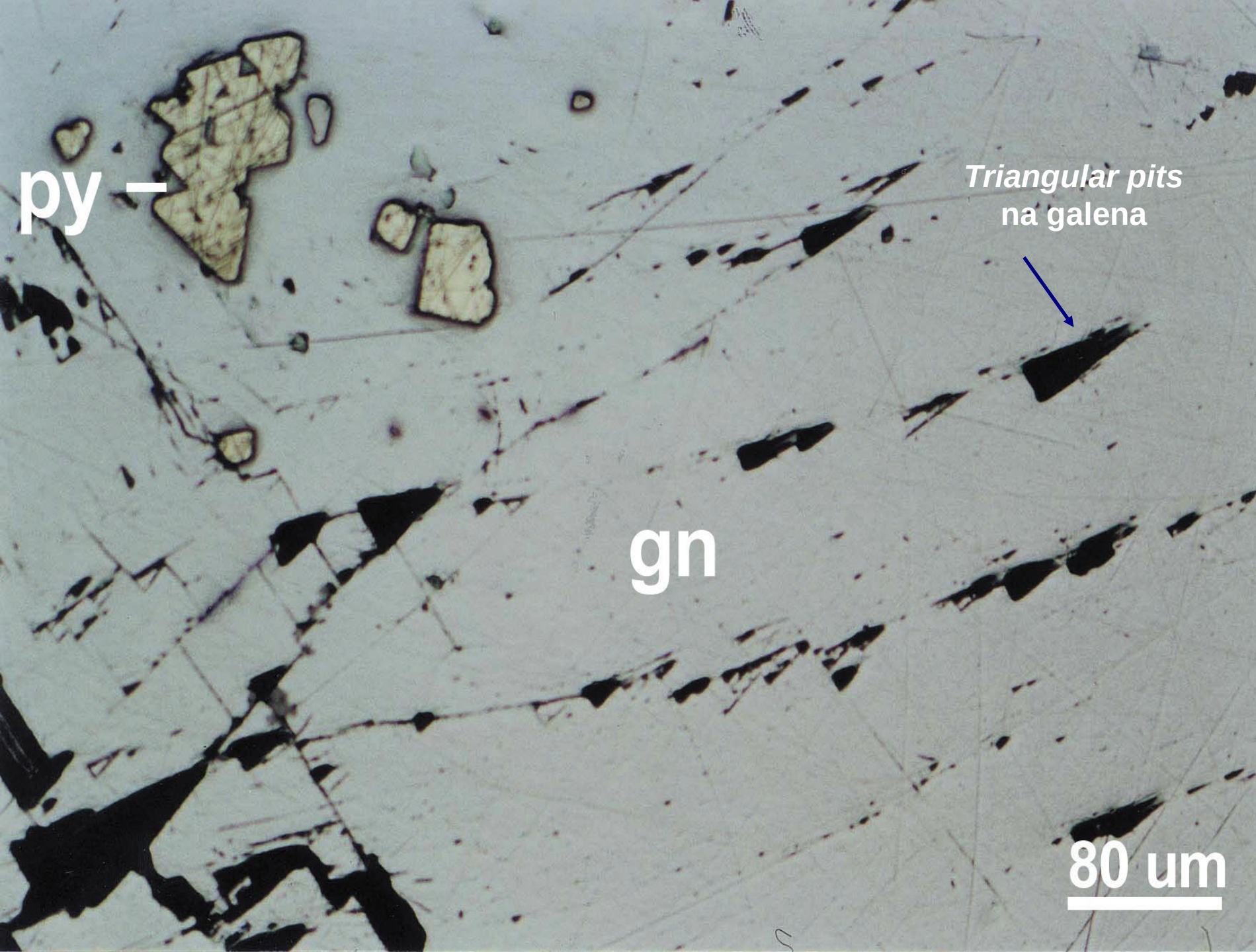
Anisotropia: isotropa; uma fraca anisotropia anômala é, às vezes, observada.

Reflexões internas: ausentes.



Clivagem cúbica perfeita é quase sempre visível, assim como, as cavidades triangulares ao longo das linhas de clivagem. Às vezes, a galena mostra uma orientação geral devida a deformações ("galena gnáissica").

Galena

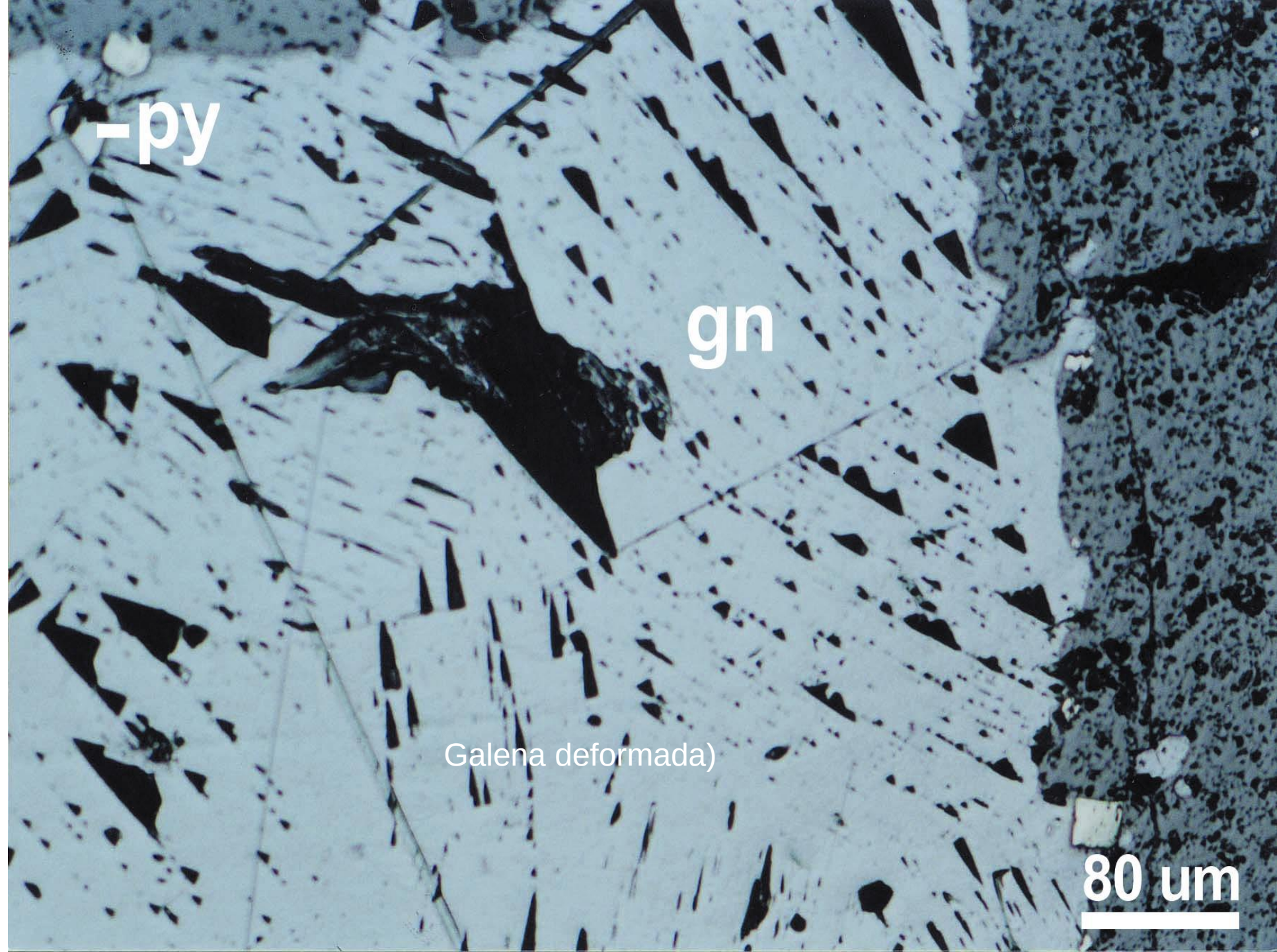


Associações frequentes:

pode apresentar texturas rítmicas com pirita, esfalerita, calcopirita; texturas mirmequíticas, com tetraedrita-tennantita e proustita-pirargirita (sulfo-arsenietos e antimonietos de prata).

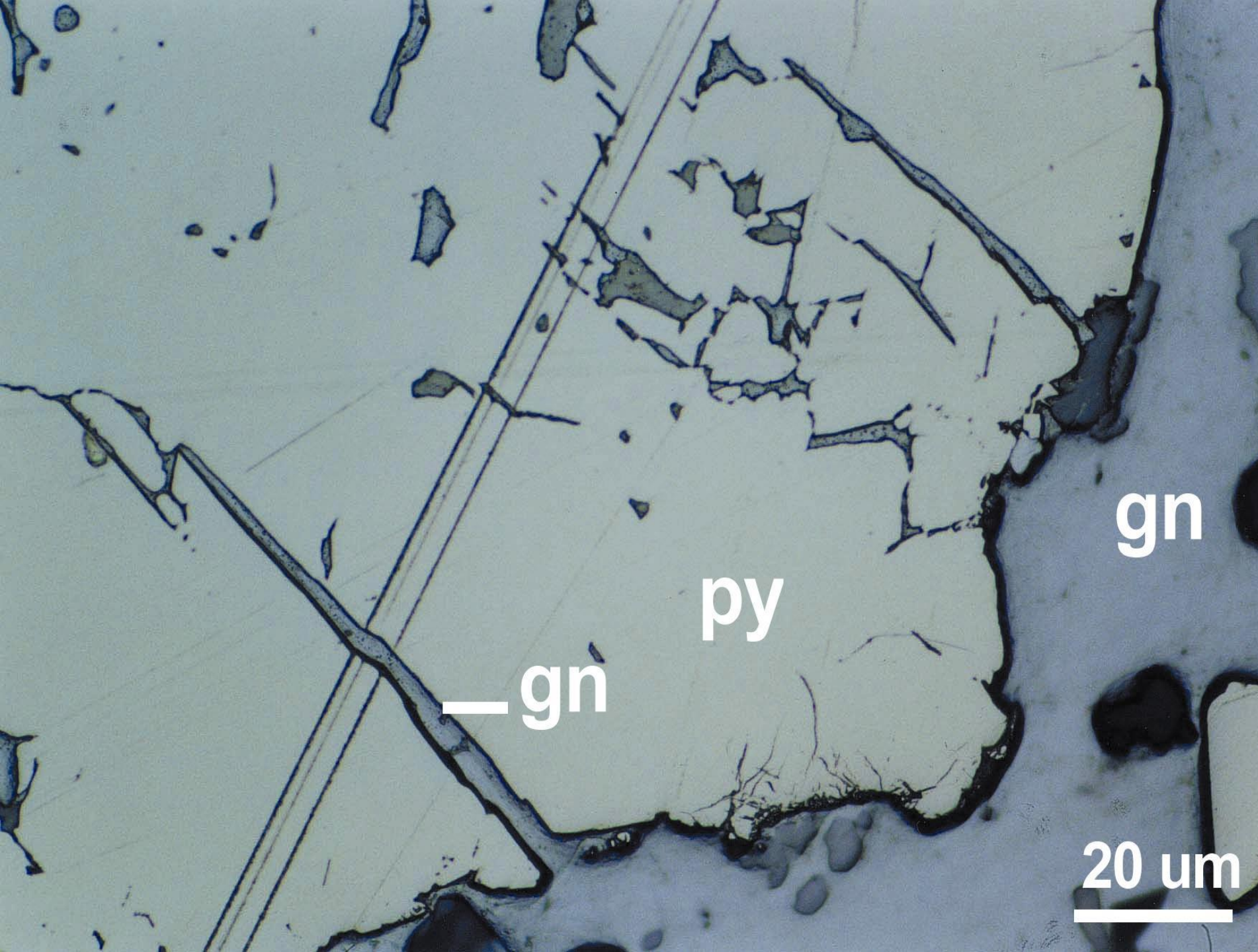
Figueiredo, B.R. 2000.
Minérios & Ambiente.
Editora Unicamp. 399p.

Galena



Figueiredo, B.R. 2000.
Minérios & Ambiente.
Editora Unicamp. 399p.

Galena



A galena preenche fraturas na pirita. Os dois minerais podem ter se formado ao mesmo tempo, porém na mesma temperatura, enquanto a galena apresenta comportamento mais dúctil, a pirita apresenta comportamento rúptil e tende a se fraturar.

Figueiredo, B.R. 2000. Minérios & Ambiente. Editora Unicamp. 399p.

Sulfetos de Chumbo

Galena (PbS): é a única fase estável no sistema **Pb-S** em amplo intervalo de temperatura abaixo de 1127 °C;

No sistema Fe-Pb-S

Acima de 716 °C: galena coexiste com pirrotita
A existência de um líquido sulfetado impede a coexistência de galena e pirita;

716 °C: temperatura máxima para a associação pirita-pirrotita-galena;

Abaixo de 716 °C: galena estabelece *tie-lines* com pirita e pirrotita; pirrotita e Pb

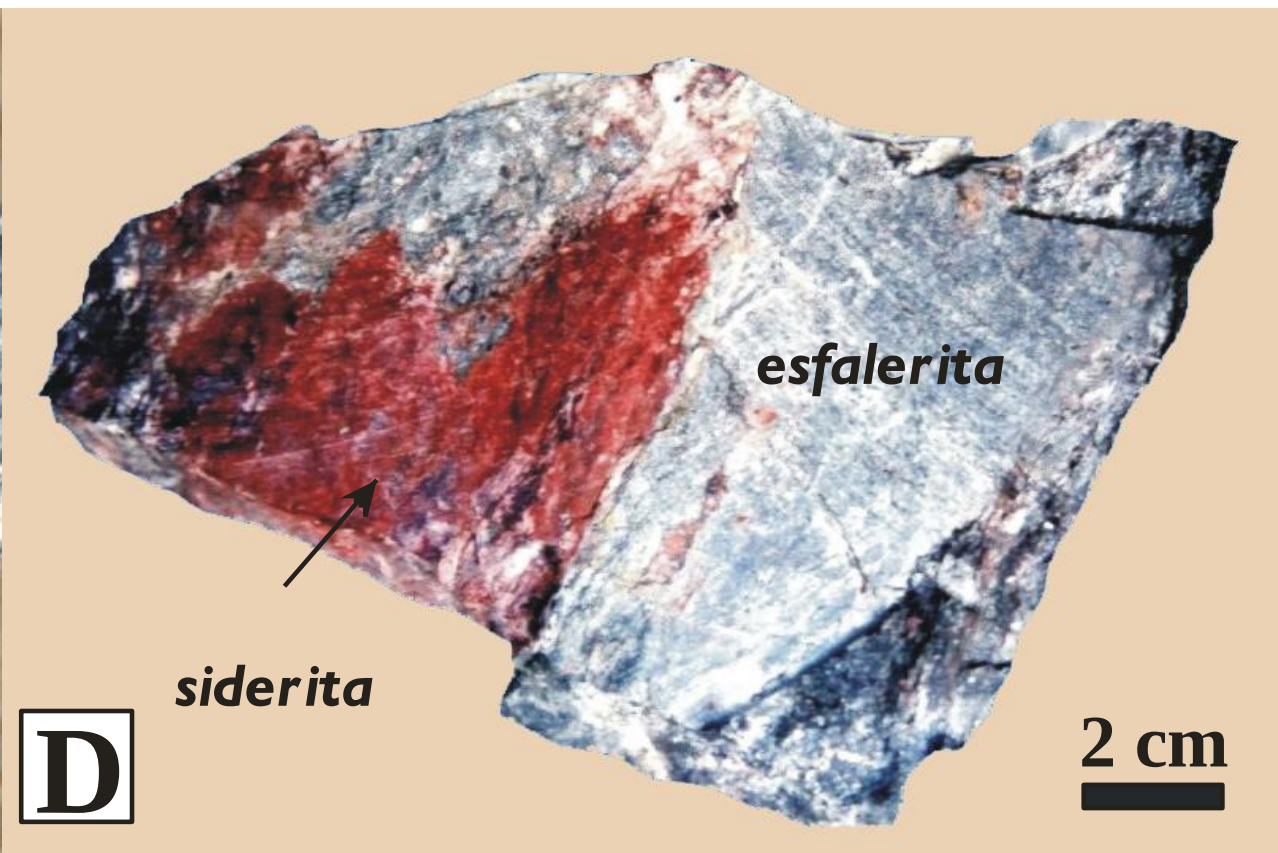
Galena – esfalerita – pirrotita:
associação estável até 820 °C;
Acima de 820 °C: líquido sulfetado

No sistema Cu-Pb-S

Galena não coexiste com a **solução sólida cc-dg** a $T > 523-486$ °C;

Galena e sulfetos de cobre coexistem a $T < 450$ °C (compatíveis com a maioria dos sistemas hidrotermais)

O minério de zinco não sulfetado hipógeno da Mina de Vazante, MG



Sistema Zn-Si-O-S

Minerais de zinco não-sulfetados

Willemita: Zn_2SiO_4

(*) Hemimorfita: $\text{Zn}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

(*) Smithsonita: ZnCO_3

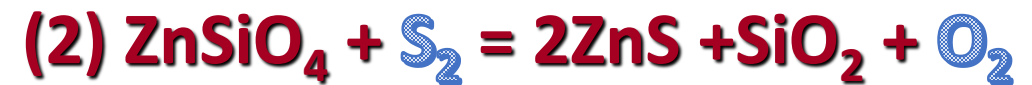
Zincita: ZnO

Franklinita: ZnFe_2O_4

(*) Fases comuns em minérios de zinco não sulfetados supérgenos



Formação da esfalerita a partir da zincita

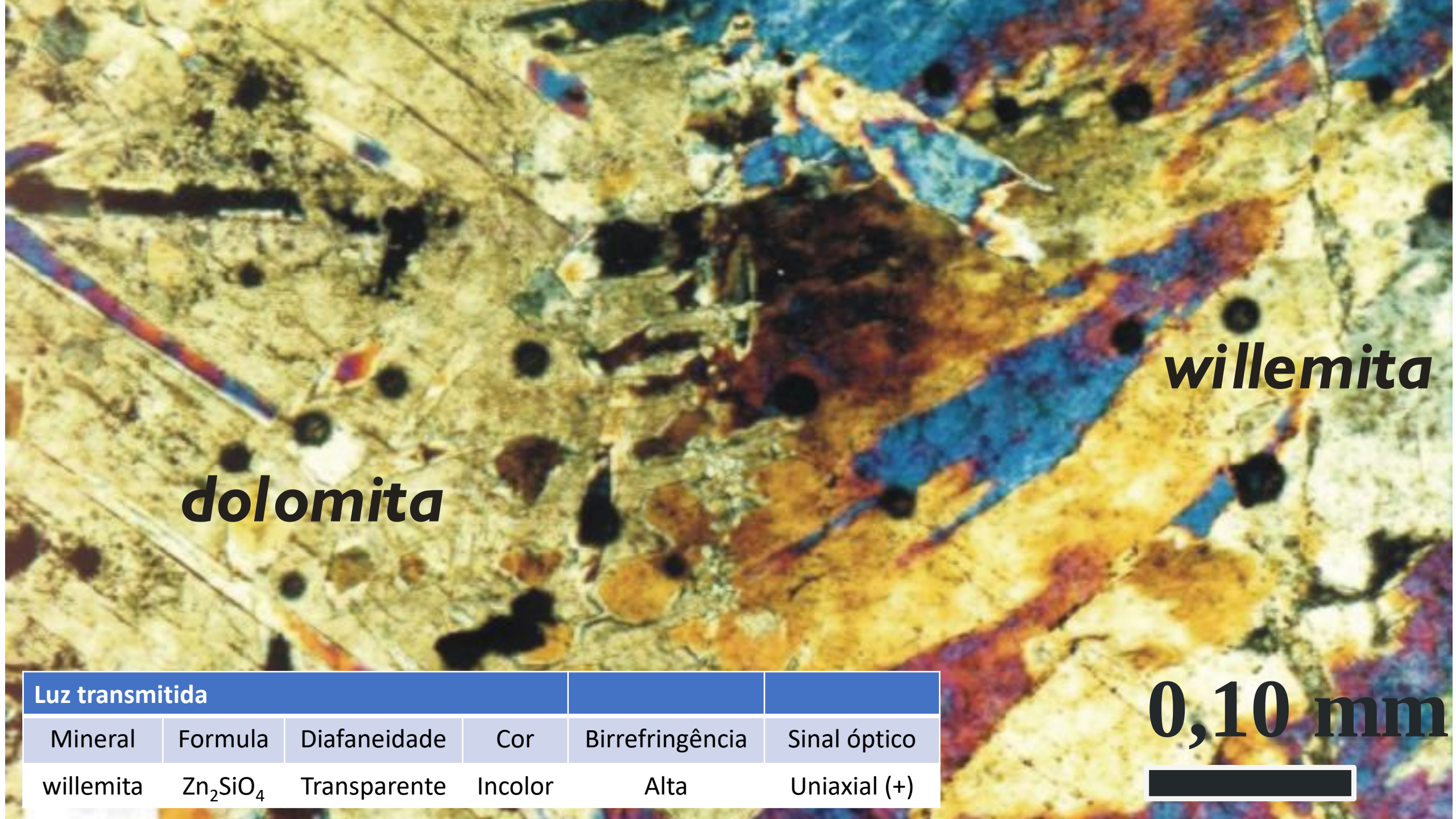


Formação da esfalerita a partir da willemita



Formação da zincita e magnetita a partir da franklinita

Reações dependentes da $f\text{O}_2$ e $f\text{S}_2$



dolomita

willemita

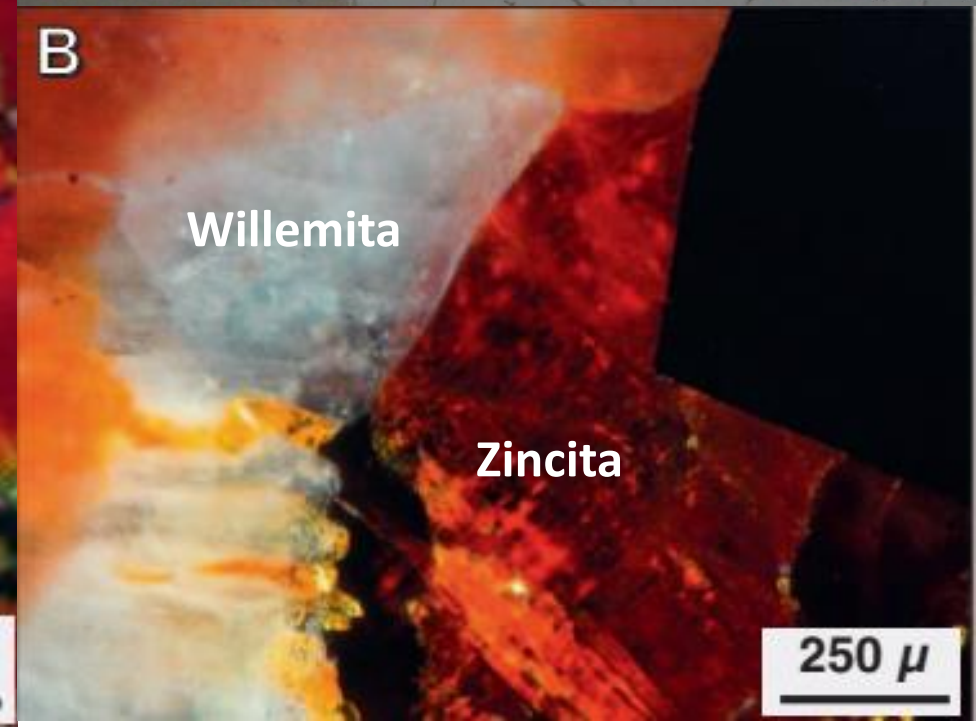
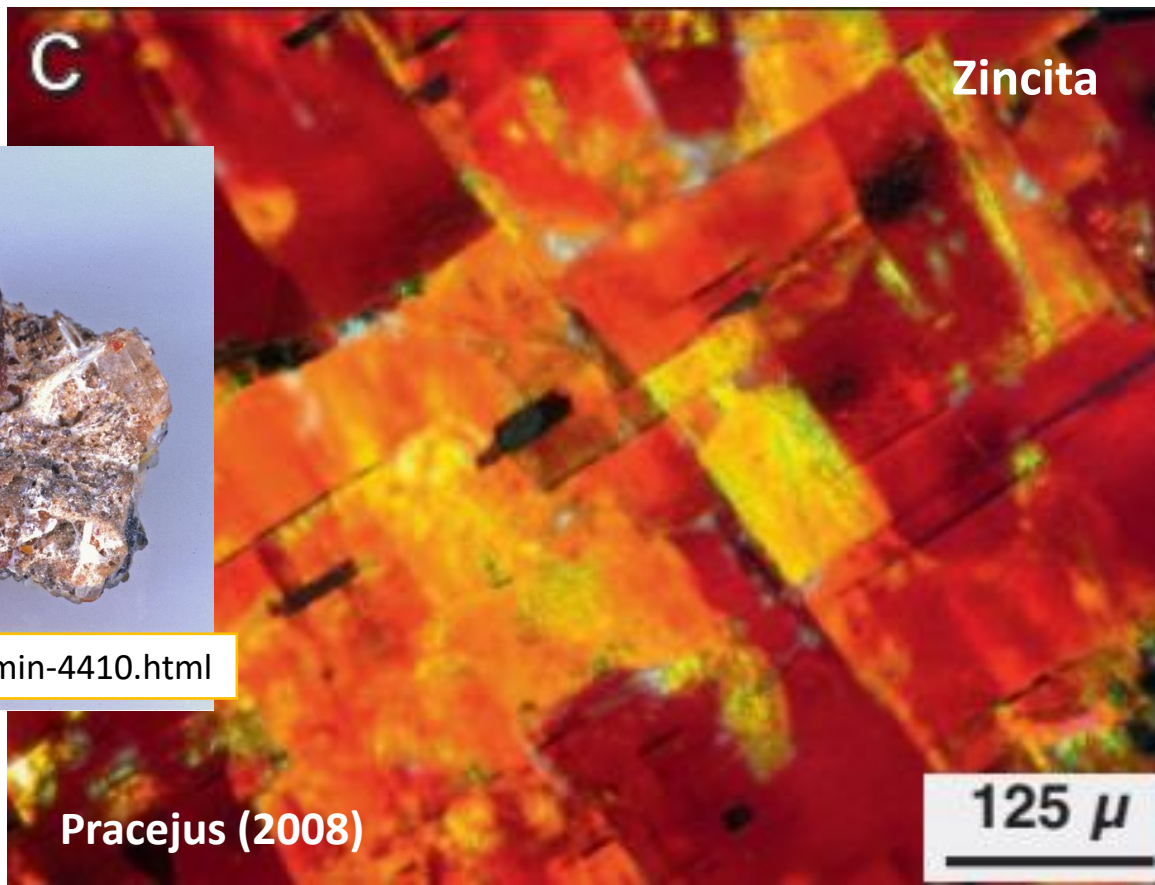
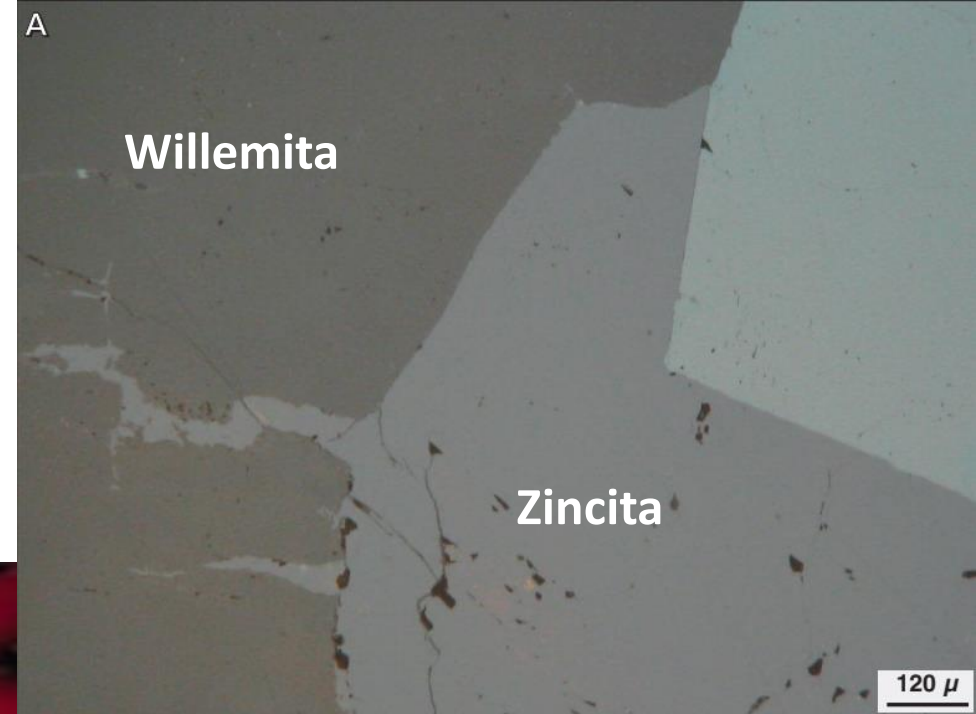
0,10 mm

Luz transmitida

Mineral	Formula	Diafaneidade	Cor	Birrefringência	Sinal óptico
willemita	Zn_2SiO_4	Transparente	Incolor	Alta	Uniaxial (+)

Zincita (ZnO) e Willemita (Zn_2SiO_4)

Luz refletida					
Mineral	Formula	Anisotropia	Cor	Reflectância	RI
zincita	ZnO	Ausente	Cinza médio	Baixa	Forte (amarelo, vermelha)



<https://www.mindat.org/min-4410.html>

Translúcido, ▲
Brilho sub-metálico

Pracejus (2008)

Franklinita (ZnFe_2O_4)

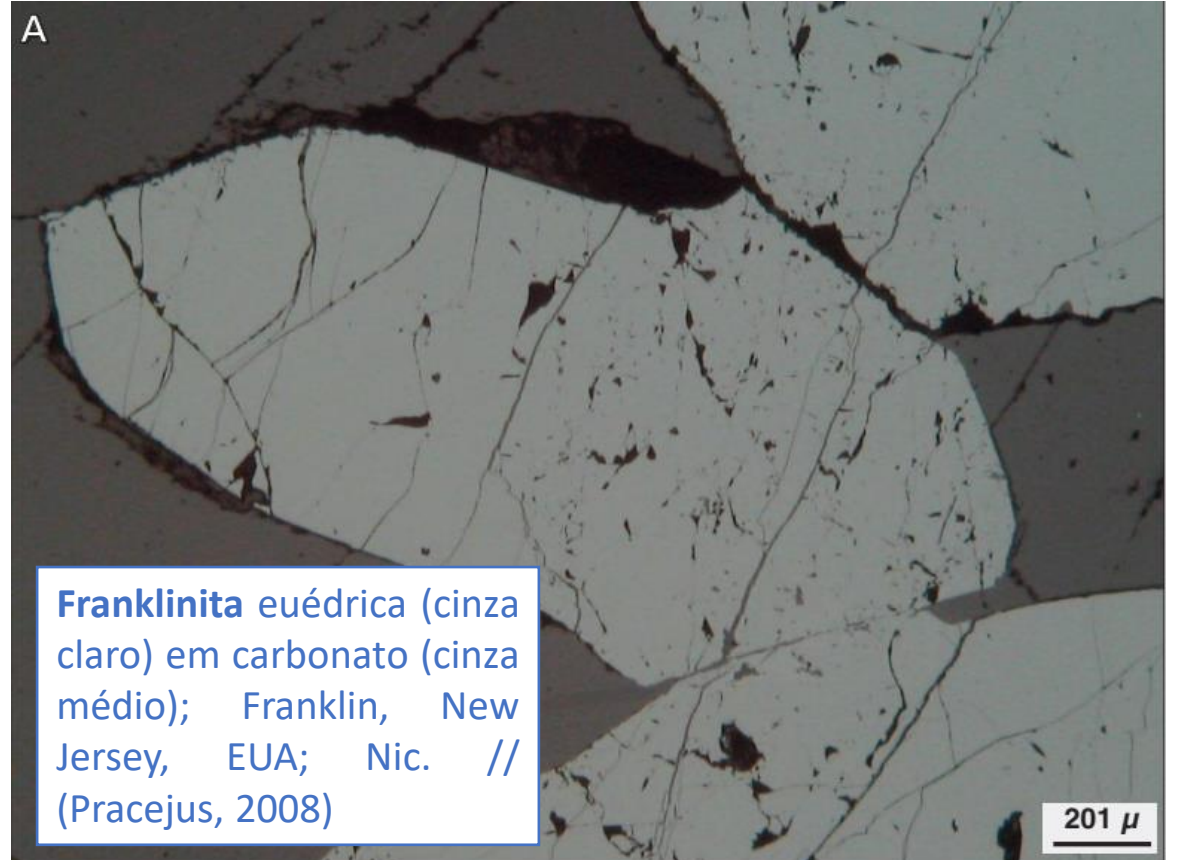
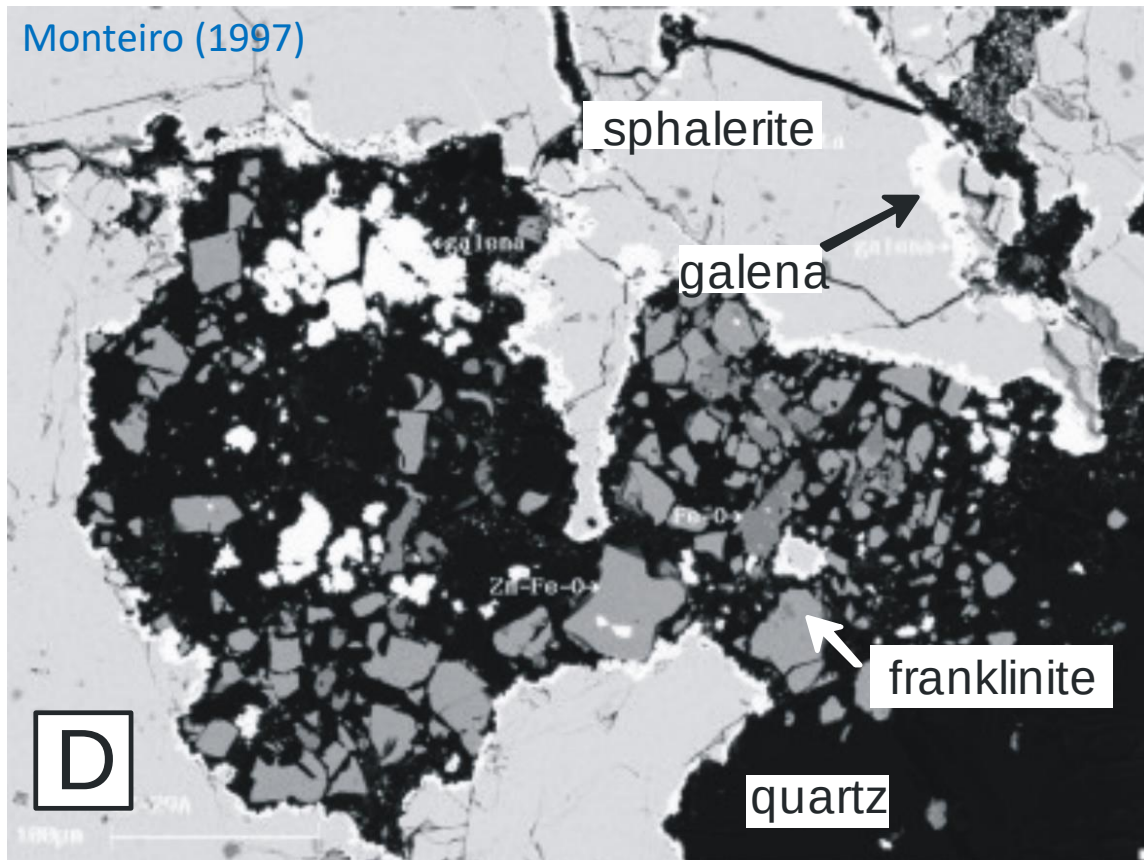


Luz refletida

Mineral	Formula	Anisotropia	Cor	Reflectância	RI
zincita	ZnFe_2O_4	Ausente	Cinza	Baixa	Ausente

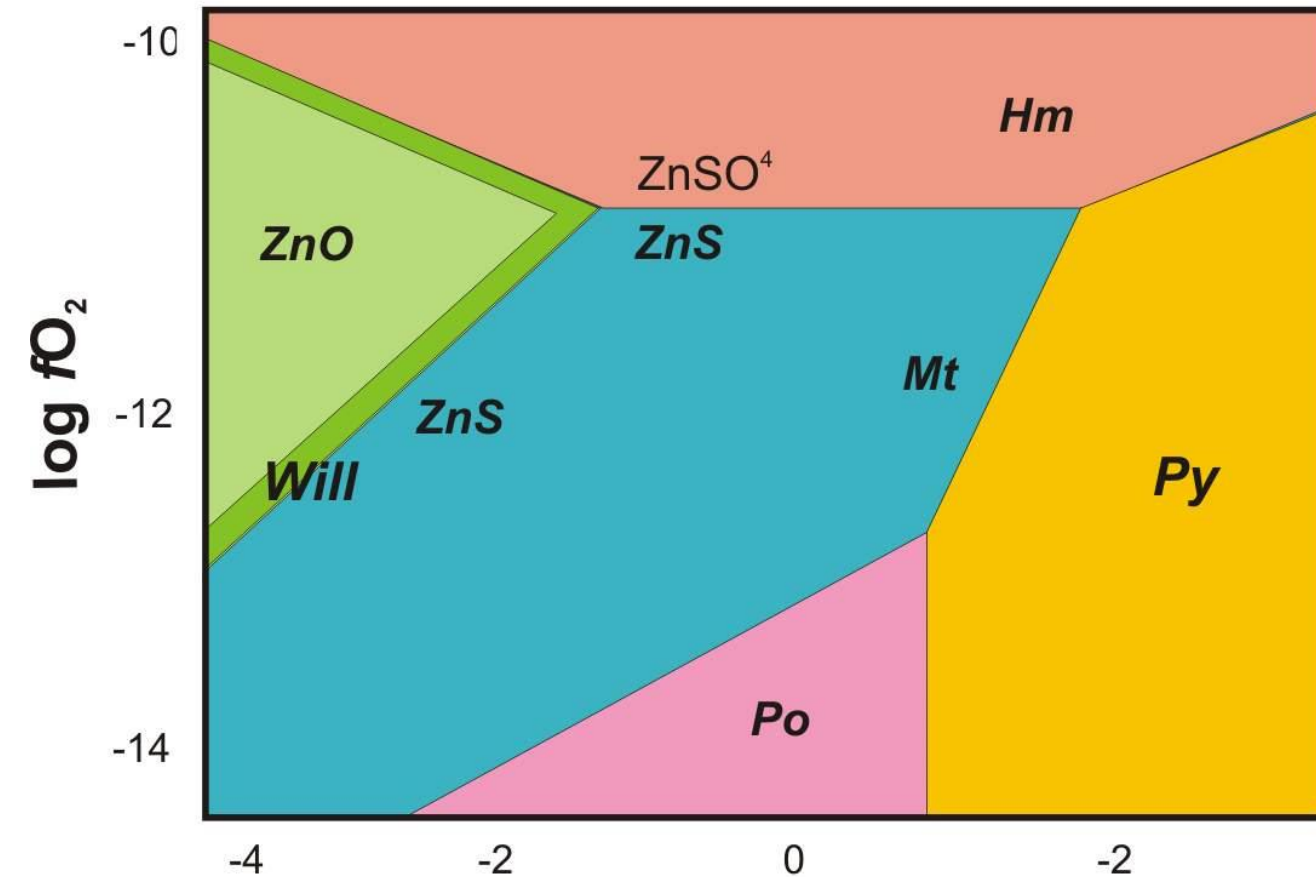
<https://zh.mindat.org/min-1598.html>

Monteiro (1997)



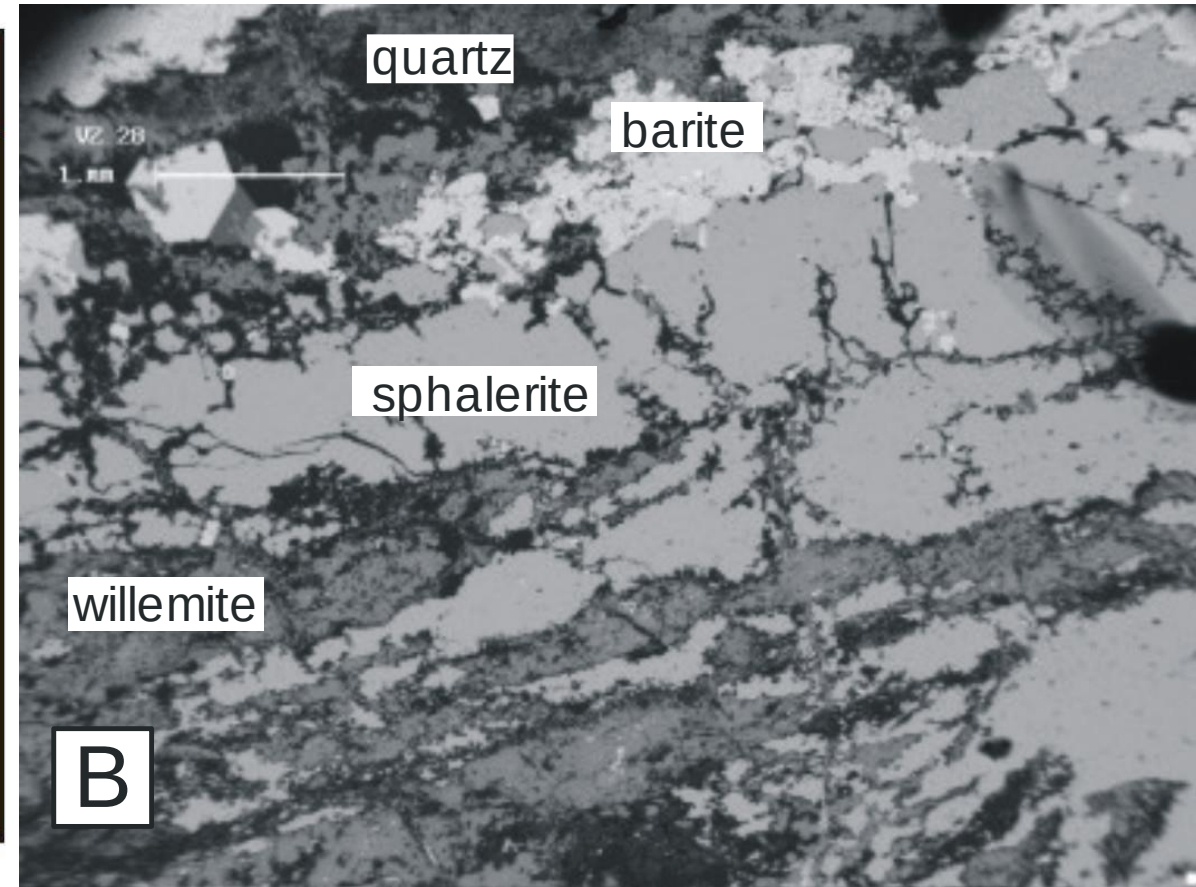
Franklinita euédrica (cinza claro) em carbonato (cinza médio); Franklin, New Jersey, EUA; Nic. // (Pracejus, 2008)

Sistema Zn-Si-O-S



Essene & Peacor (1987)

$T = 1000\text{K}$
 $P = 5\text{ kbar}$



O minério de zinco não sulfetado hipógeno da Mina de Vazante, MG

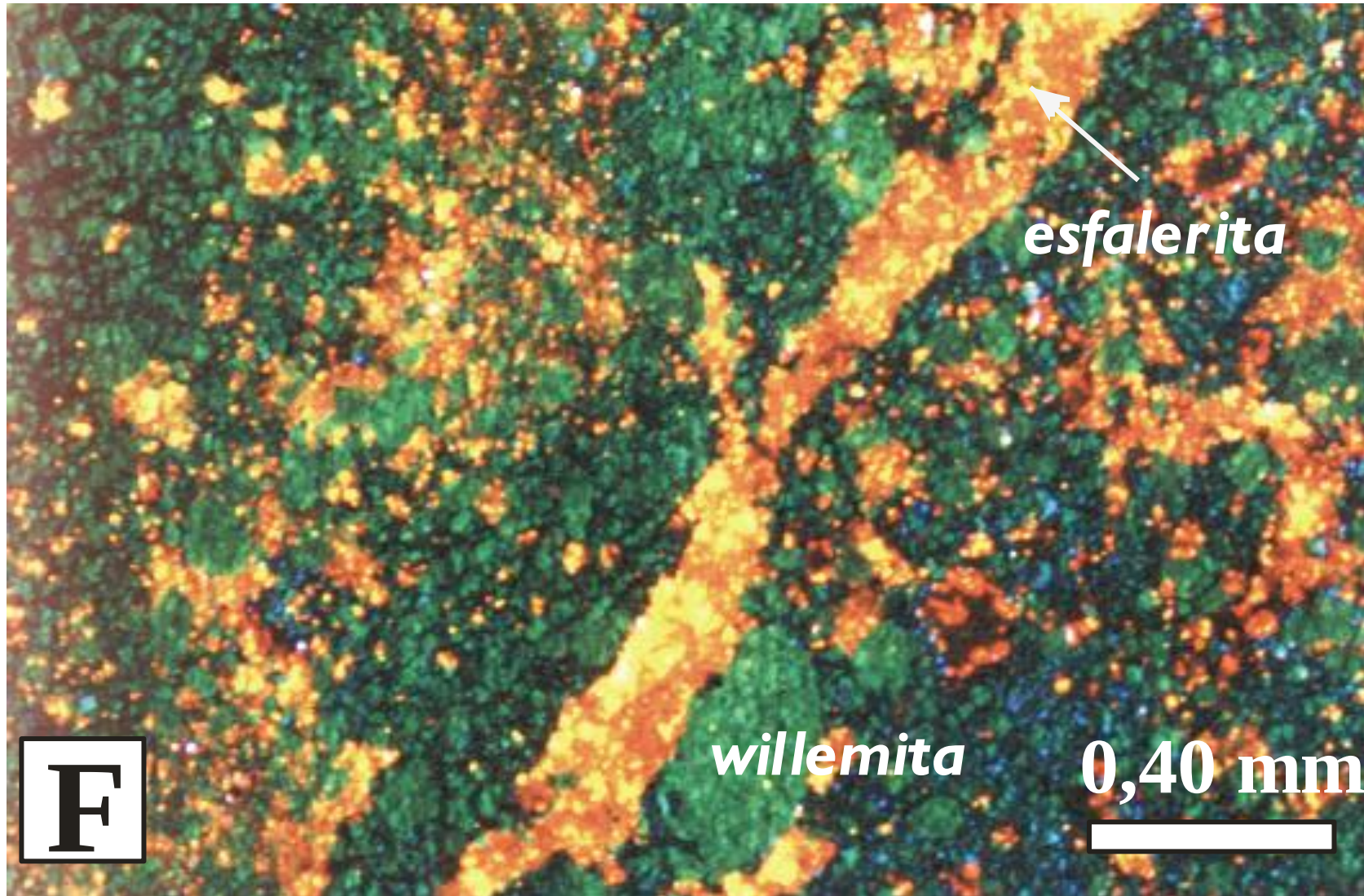
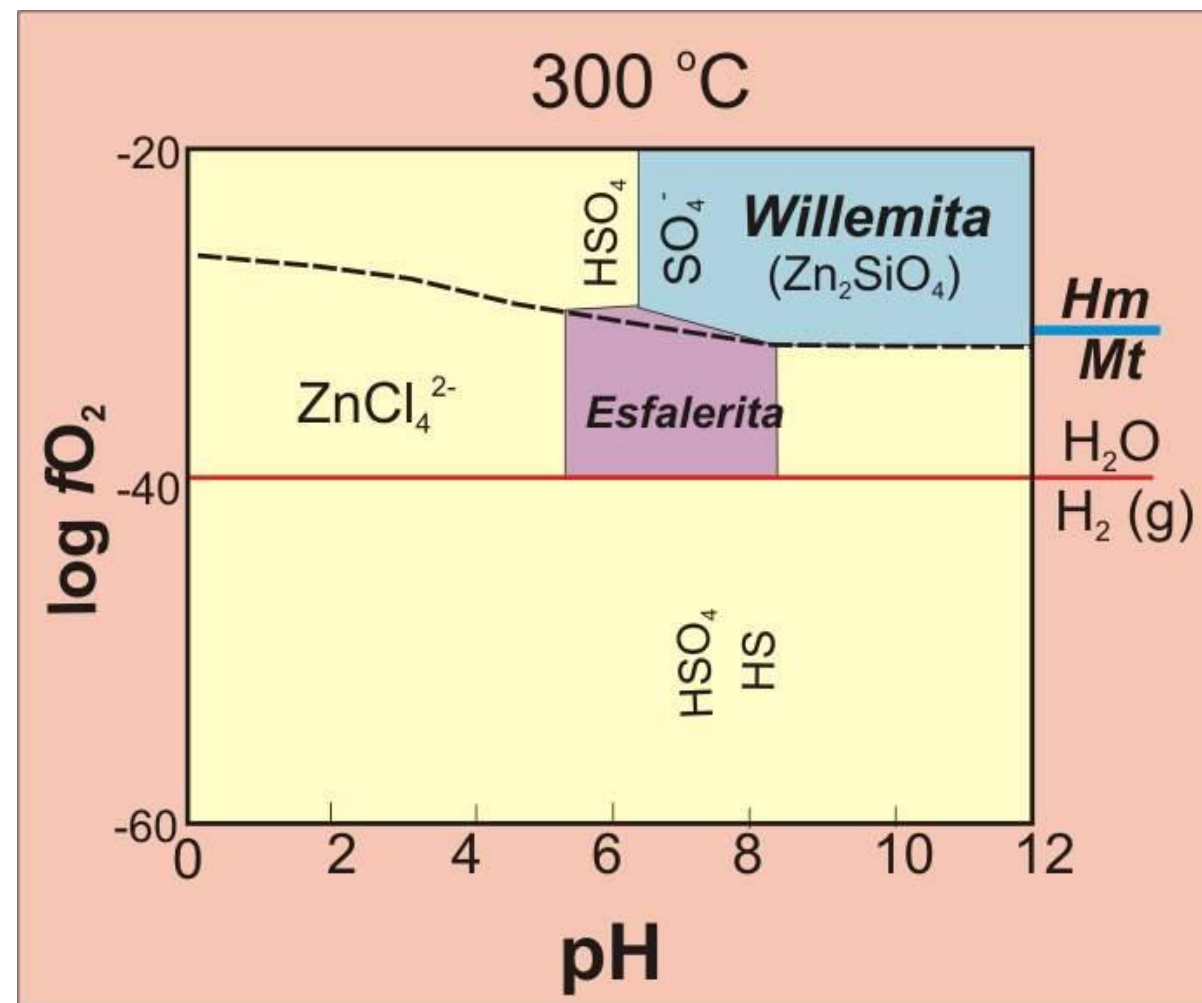
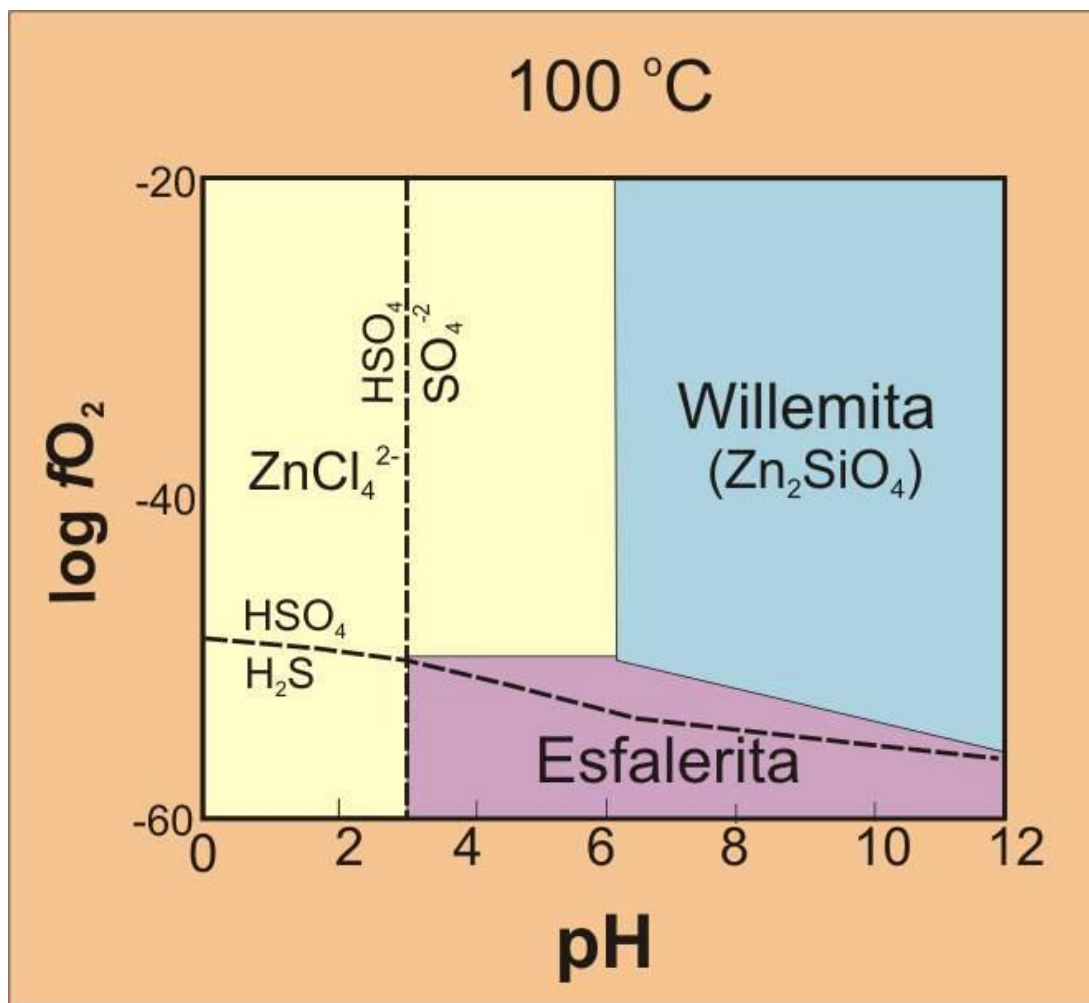


Imagem de catodoluminescência (CL) óptica, mostrando esfalerita com CL amarela e willemita com CL verde (Mina de Vazante, MG) – Monteiro (2002)

Sistema Zn-Si-O-S



Log fO_2 (gas) vs. pH diagrams illustrating the relative stability of willemite and sphalerite in hydrothermal brines at 100°C (a) and 300°C (b) for a Cl⁻ of 1 m and activity of sulfur species of 0.001 m. The hematite-magnetite boundary and a range of pH for K feldspar-muscovite-quartz (KMQ; 0.1 < a_{K+} < 2) are plotted for reference. The arrow on the pH axis indicates neutral pH for the temperature of the diagram. Brugger et al (2003)

Solubilidade da esfalerita e willemita em função do pH, temperatura e estado redox

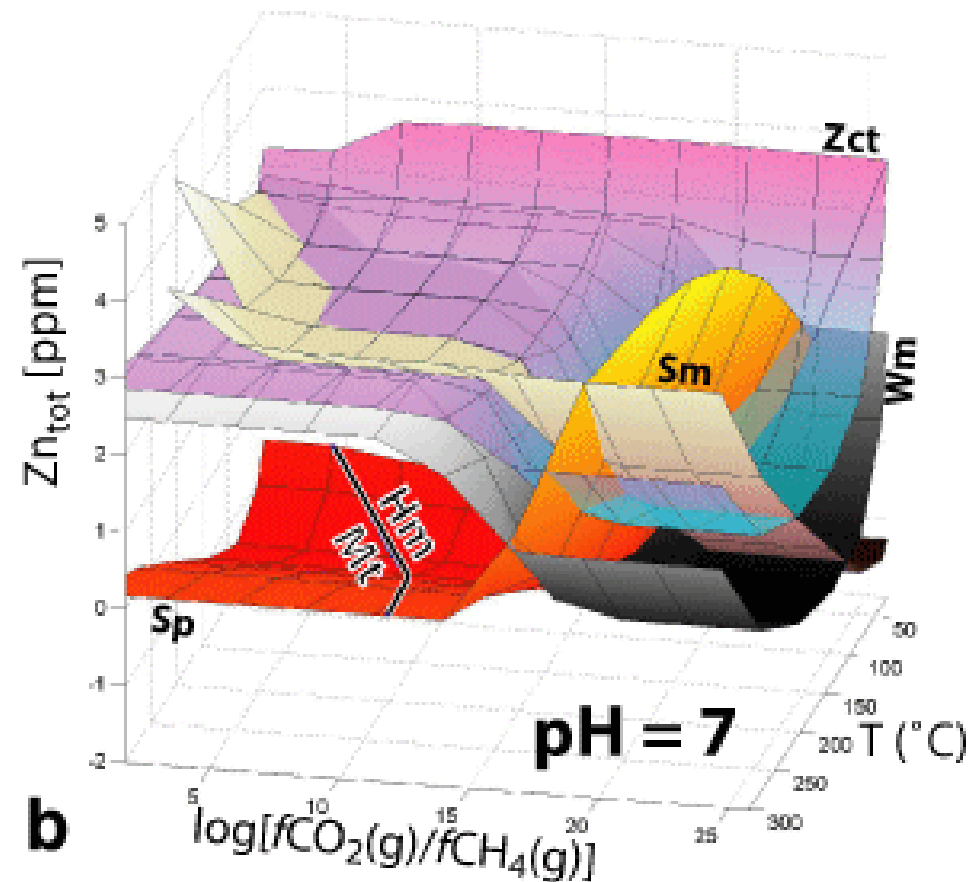
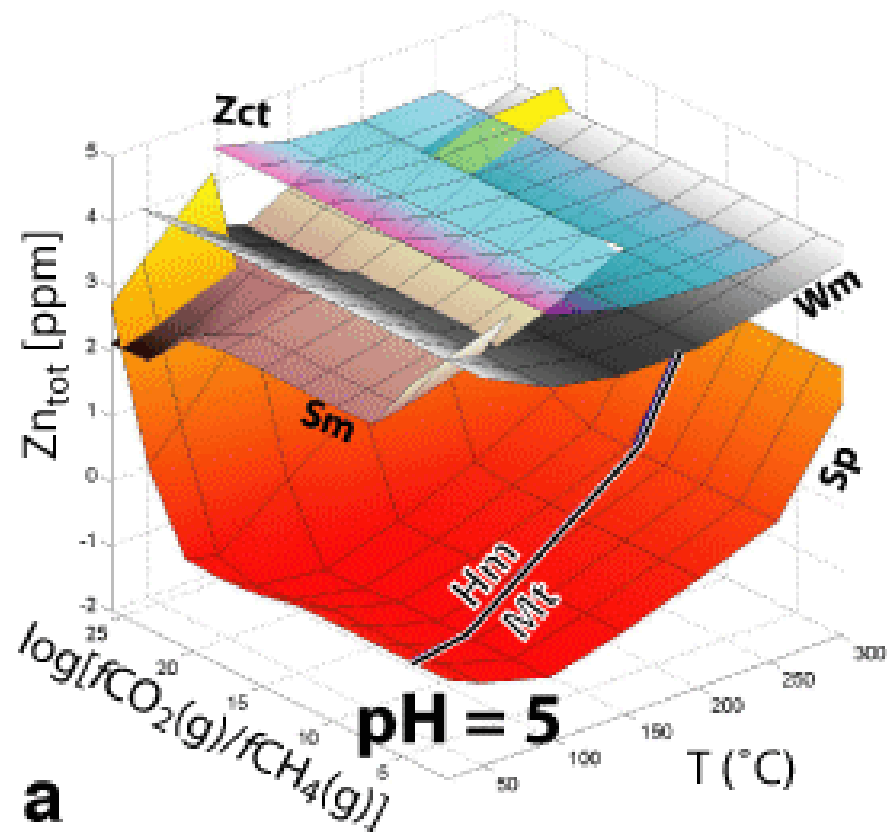


Diagrama mostrando solubilidade da esfalerita, willemita, smithsonita e zincita em função da temperatura e redox em condições ácidas (pH = 5) e neutras (pH = 7). Escala redox é expressa em unidades de $\log (f\text{CO}_2(\text{g})/ f\text{CH}_4(\text{g}))$ (Brugger et al., 2003).

“Fluorescent Mineral Capital of the World” in Franklin, EUA

willemita

<https://www.jerseysbest.com/world-famous-mine-is-a-hidden-geological-marvel-aglow-with-surreal-display-of-fluorescence/>