

## CLASSE DOS SULFETOS

Com o estudo da classe dos sulfetos damos início a um trabalho mais sistemático de identificação macroscópica. Em decorrência disso você vai precisar ter sempre à mão (e usar) os seguintes equipamentos:

- Lupa
- Imã
- Placa de porcelana
- Canivete

A coleção macroscópica de mineralogia II contém em torno de 100 amostras da classe dos sulfetos. Observe essas amostras atentamente, baseado nas propriedades físicas listadas abaixo para cada mineral e tente identificá-los. Fique bem atento(a) para associações mineralógicas, a ocorrência de uma série de minerais associados deve facilitar a identificação dos mesmos.

A classe dos sulfetos é muito importante porque inclui grande número de minerais minério. A fórmula geral dos sulfetos pode ser expressa como  $X_mZ_n$ , na qual o X representa o elemento metálico e o Z o elemento não metálico. Seguindo a orientação de Klein & Hurlbut (1985) os minerais listados abaixo estão organizados em ordem decrescente da razão X:Z.

### 1. Calcocita – $Cu_2S$

Dados cristalográficos: Monoclínico, pseudo-ortorrômbico, 2/m ou m (abaixo de 105 °C); hexagonal (acima de 105 °C).

Hábito: cristais são incomuns, geralmente pequenos e tabulares com formas hexagonais. Mais comumente maciço e de granulação fina.

Propriedades físicas:

*Clivagem*: {110} pobre

*Dureza*: 2,5-3,0

*Peso específico*: 5.5 – 5.8

*Brilho*: metálico

*Cor*: cinza chumbo brilhante, oxida facilmente desenvolvendo coloração preta sem brilho.

*Traço*: preto acinzentado

Composição: Cu 79,8% e S 20,2%. Pode conter pequenas quantidades de Ag e Fe

### 2. Bornita – $Cu_5FeS_4$

Dados cristalográficos: tetragonal,  $\bar{4}2m$  (abaixo de 228 °C), isométrico  $4/m\bar{3}2/m$  (acima de 228 °C).

Hábito: A mais comum forma do mineral é tetragonal. Cristais octaédricos, dodecaédricos e pseudo-cúbicos são raros. Geralmente maciço

Propriedades físicas:

*Dureza*: 3

*Peso específico*: 5,06 – 5,08

*Brilho*: metálico

*Cor*: bronze amarronzado em superfície fresca, mas oxida rapidamente para tons azuis e roxos e finalmente para preto.

*Traço*: preto acinzentado.

Composição e estrutura: Cu 63,3%, Fe 11,2% e S 25,5% para  $Cu_5FeS_4$  estequiométrico, mas extensa solução sólida no sistema Cu-Fe-S ocorre. A estrutura de alta temperatura é relativamente complexa, com átomos de enxofre ocupando os vértices e centros de faces de um arranjo cúbico do tipo F, os átomos de Cu e Fe estão então tetraédricamente coordenados ou S. A estrutura de baixa T é derivada da estrutura de alta T apenas apresentando uma série de defeitos.

Alteração: altera facilmente para covelita e calcocita.

### 3. Galena – $PbS$

Dados cristalográficos: isométrico,  $4/m\bar{3}2/m$

Hábito: geralmente em cubos, algumas vezes truncados por octaedros. Dodecaedros e trioctaedros são raros.

Propriedades físicas:

*Clivagem:* {001} perfeita

*Dureza:* 2,5

*Peso específico:* 7,4 – 7,6

*Brilho:* metálico

*Cor:* cinza chumbo

*Traço:* cinza chumbo

Composição e estrutura: Pb 86,6% e S 13,4%. Ag está normalmente presente em solução sólida ou como inclusões de minerais de prata, tais como acantita e tetraedrita. Inclusões devem também ser responsáveis pelas pequenas quantidades de Zn, Cd, Sb, As e Bi presentes. Selênio pode substituir S. Galena tem a mesma estrutura do NaCl, com Pb no lugar de Na e S no lugar de Cl

Alteração: Galena oxida para anglesita (PbSO<sub>4</sub>) e cerussita (PbCO<sub>3</sub>)

#### 4. Esfalerita - ZnS

Dados cristalográficos: isométrico,  $\bar{4}$  3 m

Hábito: Tetraedros, dodecaedros e cubos são formas comuns, mas os cristais são freqüentemente altamente complexos, mal formados ou em agregados arredondados, mostram geminação polissintética em {111}. Geralmente encontrados em massas quebráveis, de granulação fina a grosseira. Compactos, botrioidais, criptocristalino.

Propriedades físicas:

*Clivagem:* {011} perfeita, mas a maioria dos cristais é muito fina para que a clivagem possa ser observada.

*Dureza:* 3,5 – 4,0

*Peso específico:* 3,9 – 4,1

*Brilho:* não metálico e resinoso a sub-metálico, também adamantino.

*Cor:* incolor quando puro, e verde quando quase puro. Geralmente amarelo, preto, marrom, ficando mais escuro com o aumento do teor de Fe. Também vermelho. Transparente a translúcido.

*Traço:* branco a amarelo e marrom

Composição e estrutura: Zn 67% e S 33% quando puro. Quase sempre contém Fe, sendo que a quantidade desse metal depende da temperatura e da composição química do ambiente de formação. Se Fe está em excesso (normalmente indicado pela presença de pirrotita), a quantidade de FeS na esfalerita pode atingir 50% molal. Mn e Cd ocorrem em pequenas quantidades em solução sólida. A estrutura da esfalerita é similar à estrutura do diamante, com metade dos átomos de carbono substituídos por Zn e a outra metade por S.

#### 5. Calcopirita – CuFeS<sub>2</sub>

Dados cristalográficos: tetragonal,  $\bar{4}$  2 m

Hábito: geralmente apresenta um aspecto tetraedral com dominância do diesfenóide. Geralmente maciça.

Propriedades físicas:

*Dureza:* 3,5 – 4,0

*Peso específico:* 4,1 – 4,3

*Brilho:* metálico

*Cor:* amarelo, freqüentemente oxida apresentando uma coloração bronze ou iridescente.

*Traço:* preto esverdeado

Composição e estrutura: Cu 34,6 %, Fe 30,4% e S 35,0%. Desvia-se muito pouco da composição ideal CuFeS<sub>2</sub>. Estrutura derivada da estrutura da esfalerita onde metade do Zn está substituído por Cu e a outra metade por Fe, esse efeito leva ao duplicamento da célula unitária.

Alteração: Calcopirita é a principal fonte de cobre para os minerais secundários malaquita, azurita, covelita, calcocita e cuprita. Concentração de cobre em zonas de enriquecimento supergênico são freqüentemente o resultado de tal alteração e remoção de cobre em solução com sua deposição subsequente.

#### 6. Pirrotita – Fe<sub>1-x</sub>S

Dados cristalográficos: monoclinica, 2/m para variedade de baixa temperatura, estável abaixo de 250 °C ; hexagonal 6/m 2/m 2/m para forma de alta temperatura

Hábito: Cristais hexagonais, geralmente tabulares ou piramidais indicam cristalização como polimorfo de alta temperatura.

Propriedades físicas:

*Dureza:* 4,0  
*Peso específico:* 4,58 – 4,65  
*Brilho:* metálico  
*Cor:* bronze amarronzado  
*Traço:* preto

Magnética, mas de variável intensidade, quanto maior o teor de ferro, menor o magnetismo.

*Composição e estrutura:* A maioria das pirrotitas têm deficiência em ferro em relação ao S, como indicado pela fórmula  $Fe_{1-x}S$ , onde x fica normalmente entre 0,0 e 0,2. Solução sólida completa entre FeS (com 50% de Fe) e pirrotita com 44,9% de Fe existe no campo de estabilidade de alta temperatura (entre 1190 °C, temperatura de fusão e 400 °C) que é caracterizado por simetria hexagonal. A mais baixa temperatura o campo de estabilidade da pirrotita é mais restrito e a variedade hexagonal única dá lugar a vários tipos hexagonais e monoclinicos. A variedade monoclinica é estável de 0°C até 254 °C, quando inverte-se para hexagonal. A estrutura da pirrotita é bastante complexa, onde os átomos de S estão arranjados em empacotamento fechado aproximadamente hexagonal.

### 7. Pentlandita – (Fe,Ni)<sub>9</sub>S<sub>8</sub>

*Dados cristalográficos:* isométrico, 4/m  $\bar{3}$  2/m

*Hábito:* Maciço, geralmente em agregados granulares com partição octaédrica.

*Propriedades físicas:*

*Partição:* {111}  
*Dureza:* 3,5 – 4,0  
*Peso específico:* 4,6 – 6,0  
*Brilho:* metálico  
*Cor:* bronze amarelado  
*Traço:* marrom claro

*Composição e estrutura:* (Fe,Ni)<sub>9</sub>S<sub>8</sub>, geralmente a razão Fe:Ni é próxima de 1:1. Geralmente contém pequenas quantidades de Co. A estrutura da pentlandita é muito complicada, trata-se de uma estrutura cúbica de face centrada, onde os átomos metálicos estão em coordenação octaédrica e tetraédrica com S. Pura (Fe,Ni)<sub>9</sub>S<sub>8</sub> sem Co é estável até 610 °C no sistema Fe-Ni-S. Pentlandita com até 40,8 % de Co é estável até 746 °C. Geralmente ocorre como lamelas de exsolução na pirrotita.

### 8. Covelita – CuS

*Dados cristalográficos:* hexagonal, 6/m 2/m 2/m.

*Hábito:* raramente como cristais hexagonais tabulares. Geralmente maciça recobrimdo ou disseminada com outros minerais de Cu

*Propriedades físicas:*

*Clivagem:* {0001} perfeita  
*Dureza:* 1,5 – 2,0  
*Peso específico:* 4,6 – 4,76  
*Brilho:* metálico  
*Cor:* azul indigo ou mais escura  
*Traço:* preto a cinza chumbo

*Composição e estrutura:* Cu 66,4%, S 33,6%. Uma pequena quantidade de Fe pode estar presente. A estrutura da covelita é muito complexa, um tipo de átomo de Cu está tetraedricamente coordenado com S, sendo que 3 dos vértices do tetraedro formam camadas. Um segundo tipo de Cu está em coordenação trigonal com o S, dando origem a camadas planares. A excelente clivagem {0001} é paralela a essa estrutura acamadada. Covelita é estável até 507 °C.

### 9. Cinábrio – HgS

*Dados cristalográficos:* hexagonal (trigonal), 3 2 (polimorfo de baixa temperatura, estável até aproximadamente 344 °C); isométrico,  $\bar{4}$  3 m (polimorfo de alta temperatura, conhecido como meta-cinábrio).

*Hábito:* cristais geralmente romboédricos apresentando geminação penetrativa. Faces trapezodrais são raras. Geralmente de granulação fina, maciço, também terroso, como incrustações e disseminações através da rocha.

*Propriedades físicas:*

*Clivagem:* {1010} perfeita  
*Dureza:* 2,5

*Peso específico:* 8,10

*Brilho:* adamantino quando puro, até terroso quando impuro.

*Cor:* vermelho quando puro a vermelho amarronzado quando impuro. Transparente a translúcido

*Traço:* vermelho

*Composição e estrutura:* Hg 86,2%, S 13,8%, com pequenas variações no teor de Hg. Se e Te podem substituir S. Geralmente impuro misturado com argilas, óxido de ferro e bitume. A estrutura do cinábrio difere de todo e qualquer sulfeto, é baseada em espiral infinita de Hg-S-Hg que se estende ao longo do eixo “c” cristalográfico.

#### 10. Realgar – AsS

*Dados cristalográficos:* monoclinico, 2/m

*Hábito:* cristais prismáticos curtos geralmente estriados. Frequentemente de granulação grosseira a fina, muitas vezes terroso e como incrustações.

*Propriedades físicas:*

*Clivagem:* {010} boa

*Dureza:* 1,5 – 2,0

*Peso específico:* 3,48

*Brilho:* resinoso

*Cor:* vermelho a laranja; transparente a translúcido

*Traço:* vermelho a laranja

*Composição e estrutura:* As 70,1, S 29,9. A estrutura do realgar é caracterizada por anéis de As<sub>4</sub>S<sub>4</sub>, similares aos anéis de S<sub>8</sub> no enxofre nativo. Cada As está ligado covalentemente a outro As e a 2 átomos de S.

#### 11. Ouropigmento – As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>

*Dados cristalográficos:* monoclinico, 2/m

*Hábito:* cristais pequenos tabulares ou prismáticos curtos.

*Propriedades físicas:*

*Clivagem:* {010} perfeita

*Dureza:* 1,5 – 2,0

*Peso específico:* 3,49

*Brilho:* resinoso, nacarado na face de clivagem

*Cor:* amarelo limão

*Traço:* amarelo pálido

*Composição e estrutura:* As 61,0%, S 39,0 %. Contém até 2,7 % de Sb. Pirâmides trigonais de As S<sub>3</sub> dividem vértices formando anéis de seis membros. Esses anéis estão ligados formando uma estrutura em camadas enrugadas de As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>. As ligações dentro das camadas são de natureza residual. A clivagem {010} perfeita é paralela a essas camadas.

#### 12. Estibnita – Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>

*Dados cristalográficos:* ortorrômbico, 2/m 2/m 2/m

*Hábito:* prismático, zonas prismáticas verticalmente estriadas. Cristais frequentemente com terminações marcantes e algumas vezes curvadas ou dobradas. Grupos de cristais radiais ou em forma de lâminas com clivagem proeminente são comuns. Maciço de granulação grosseira a fina.

*Propriedades físicas:*

*Clivagem:* {010} perfeita, com estrias paralelas a {100}

*Dureza:* 2,0

*Peso específico:* 4,52 – 4,62

*Brilho:* metálico, brilho intenso na superfície de clivagem

*Cor:* preto a cinza chumbo

*Traço:* preto a cinza chumbo

*Composição e estrutura:* Sb 71,4%, S28,6%. Podem ocorrer pequenas quantidades de Au, Ag, Fe, Pb e Cu. A estrutura da estibnita é definida por cadeias em zigzag de átomos de Sb e S que são paralelas ao eixo “c” cristalográfico. A distância entre Sb-S nas cadeias varia de 2,5 a 3,6 Å. Os prismas longos, estriados de estibnita são paralelos a esta estrutura em cadeia (//c). A clivagem {010} ocorre entre cadeias Sb-S.

### 13. Pirita – FeS<sub>2</sub>

Dados cristalográficos: isométrico, 2/m  $\bar{3}$ .

Hábito: freqüentemente em cristais, as formas mais comuns incluem o cubo, o piritoedro e o octaedro. Também maciço, granular, reniforme, globular, estalactítico.

Propriedades físicas:

*Fratura*: conchoidal

*Dureza*: 6,0 – 6,5

*Peso específico*: 5,02

*Brilho*: metálico

*Cor*: amarelo pálido, pode ser mais escura devido à oxidação

*Traço*: preto amarronzado a esverdeado.

Composição e estrutura: Fe 46,6 %, S 53,4%. Pode conter pequenas quantidades de Ne e Co. A completa solução sólida ocorre entre bravoita (Fe,Ni)S<sub>2</sub> e pirita. Pode conter pequenas quantidades de Au e Cu como impurezas microscópicas. A estrutura da pirita pode ser considerada como uma estrutura modificada da estrutura do NaCl com Fe na posição do Na e S<sub>2</sub> na posição do Cl.

Alteração: pirita altera facilmente para óxidos de ferro, geralmente limonita. Cristais pseudomorfos de pirita são comuns.

### 14. Marcasita – FeS<sub>2</sub>

Dados cristalográficos: ortorrômbico, 2/m 2/m 2/m

Hábito: cristais normalmente tabulares {010}. Algumas vezes prismáticos {001}. Frequentemente geminados. Geralmente em formas radiais. Formas estalactíticas geralmente com um centro com estrutura radial e coberto com grupos de cristais irregulares. Também globular e reniforme.

Propriedades físicas:

*Dureza*: 6,0 – 6,5

*Peso específico*: 4,89

*Brilho*: metálico

*Cor*: amarelo bronze pálido até quase branco na superfície de fratura. Oxida para amarelo a marrom.

*Traço*: preto acinzentado.

Composição: composição constante FeS<sub>2</sub>, polimorfo de pirita. O campo de estabilidade de pirita e marcasita não está bem definido, mas considerando as ocorrências geológicas marcasita parece indicar mais baixa temperatura de formação do que pirita.

### 15. Molibdenita – MoS<sub>2</sub>

Dados cristalográficos: hexagonal, 6/m 2/m 2/m

Hábito: cristais em placas hexagonais ou primas curtos. Comumente foliados, maciços ou em escamas.

Propriedades físicas:

*Clivagem*: {0001} perfeita, laminada, flexível mas não elástica.

*Dureza*: 1,0 – 1,5

*Peso específico*: 4,62 – 4,73

*Brilho*: metálico

*Cor*: cinza chumbo

*Traço*: preto a cinzento

*Sensação*: graxoso

Composição e estrutura: Mo 59,9 %, S 40,1%, de composição constante. Na estrutura da molibdenita uma folha de átomos de Mo está ensanduichada entre duas folhas de átomos de S, as três folhas juntas definem uma estrutura em camadas. As forças de ligações nas folhas são muito mais fortes do que as forças de ligações entre as folhas, dando origem à excelente clivagem {0001}.

### 16. Arsenopirita – FeAsS

Dados cristalográficos: monoclinico, 2/m, pseudo-ortorrômbico.

Hábito: cristais comumente alongados ao longo do eixo cristalográfico “c” e menos comumente ao longo do “b”. Geminção ao longo de {100} e {001} produz cristais pseudo-ortorrômbicos, geminação ao longo de {110} gera geminação de contato ou penetração.

Propriedades físicas:

*Clivagem*: {101} pobre

*Dureza:* 5,5 – 6,0  
*Peso específico:* 6,07  
*Brilho:* metálico  
*Cor:* branco prata  
*Traço:* preto

*Composição e estrutura:* composição próxima a FeAsS, com pequena variação no conteúdo de As e S, variando de FeAs<sub>0,9</sub>S<sub>1,1</sub> e FeAs<sub>1,1</sub>S<sub>0,9</sub>. Co pode substituir parte do Fe e uma série estende-se até glaucodota, (Co, Fe)AsS. A estrutura da arsenopirita é derivada da estrutura da marcasita na qual metade do S está substituída por As.

**Referências bibliográficas:**

- Klein, C. & Hurlbut, C.S., 1999. Manual of Mineralogy. John Wiley & Sons, New York. P. 350-371
- Milovsky, A.V. & Kononov, O.V., 1985. Mineralogy. Mir Publishers. Moscow. P. 109-130.