

1) Definições Básicas:

• Matéria-Prima ou 1º material:

Pode ser mineral ou vegetal, de ocorrência natural nas minas.

• Material:

Substância pura ou composta que é produzida/obtida com alguma **motivação tecnológica (APLICAÇÃO)**.

- › Metálicos: metais ferrosos e não ferrosos.
- › Cerâmicos: tijolo, telhas, vidros. São bons isolantes elétricos e térmicos.
- › Polímeros: macromolécula formada pela repetição de monômeros.
- › Compósitos: combinação de dois ou mais matérias distintos que mantém suas propriedades individuais sem que haja interação química intencional entre eles. (ex: fibras metálicas + borracha = pneu ; metais + polímeros).

• Mineral:

Conjunto de elementos com **propriedades específicas** e **estrutura bem definida**.

Forma-se da repetição da célula unitária.

Algumas propriedades são: **arranjo cristalino bem definido**, densidade própria...

Substância inorgânica com **fórmula química bem definida**

Geralmente envolve ligações com o Oxigênio ou Enxofre.

• Minério:

Agregado de minerais ("famílias").

Pelo menos um deles tem valor econômico.

Ocorrência mineral natural que tem algum valor comercial (**ROM= Run Of Mine = Minério**)

• Mineral de Interesse (MI):

Mineral constituinte do minério que tem algum **interesse econômico**.

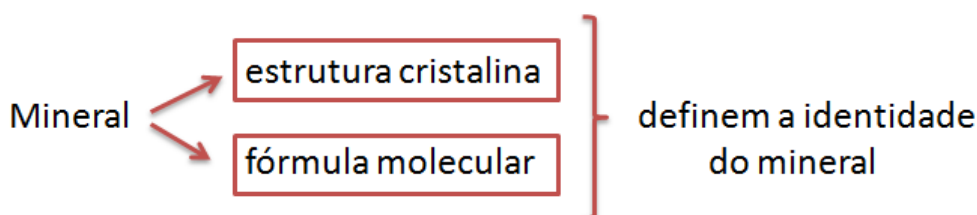
Mineral de interesse separado do resto do minério → é denominado **CONCENTRADO**

• Arranjo Cristalino:

Estruturas planas (arranjo interno dos átomos que se posicionam em lugares **bem definidos**)

Cristais têm resfriamento **lento** em seu processo de formação.

TODO MINERAL É UM CRISTAL (estrutura cristalina).



Obs: Alotropia: capacidade de um elemento químico formar duas ou mais substâncias simples diferentes (ex: carbono e diamante).

&

Isomorfismo: quando existem impurezas que alteram a composição química dos minerais sem alterar a estrutura cristalina.

2) Caracterização Tecnológica:

Caracterizar é **conhecer** o minério.

Pode ser feita quanto a granulometria, composição química (composição dos **elementos**), ou a composição mineralógica (composição dos **minerais**).

• Análise Química Elementar (AQE):

Fornece a composição dos **elementos** presentes (**% de cada elemento**).

AQE depende da AMOSTRAGEM (amostras específicas), pois minérios são heterogêneos.

-Tipos:

MEV-EDS : leitura eletrostática → **ondas que geram um espectro**

Técnica não destrutiva e rápida

Espalhamento dos elétrons → informam a morfologia (“tamanho”)

Métodos Químicos Clássicos: abertura (lixiviação ácida ou básica)

Precipitação seletiva (reações com temperatura e pHs específicos que permitem a separação de íons e a avaliação dos elementos.

Método Espectroscópico: atomização e ionização em uma plasma (**emissão de radiação** característica de cada elemento (similar ao EDS)

Dependem de diluições → gera **ERROS** → + diluições +erros

• Análise Mineralógica (AM):

Descreve quais **minerais** estão presentes no minério

1º passo) acesso a uma **base de dados mineralógica** → pesquisa das possíveis espécies que cada elemento pode formar

2º passo) acesso a uma **base de dados cristalográfica** → estruturas cristalinas possíveis de cada mineral

3º passo) difração de raios x → gera um **espectro** que pode ser lido

4º passo) Análise quantitativa do espectro obtido → identificação final das espécies minerais e seus %

Obs: AQE e AM são **complementares** → permitem conhecer o % MI e, portanto, seu valor econômico.

↑%MI → ↑valor econômico !!!

- **Análise Granulométrica:**

Distribuição **percentual**, em peso, dos **tamanhos dos grãos** que constituem o material. Identifica o **tamanho** e a **distribuição** dos grãos.

É feita através de **peneiras** de diferentes aberturas padronizadas. Cada peneira tem um número de aberturas chamado de “mesh”.

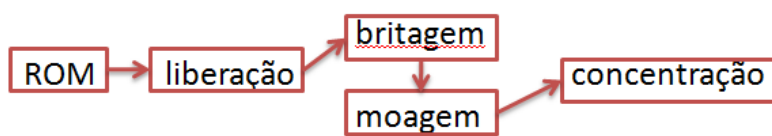
↑mesh → ↑aberturas → grãos finos

Junto com a AM permite obter o “grau de liberação”:

Grau de liberação → % de MI em partículas soltas

GL = massa do MI liberada / massa total do MI

3) Beneficiamento Mineral



Objetivo: separar o máximo possível de %MI → aumentar o valor econômico

- **Etapas:**

- **Liberação (Preparação da matéria prima):**

Liberar o MI de sua **GANGA (impurezas físicas)** → fragmentação

Adequação granulométrica adequada (preparação do mineral para os processos químicos) visa a **redução da granulometria** e **aumentar o grau de liberação!**

A **granulometria** é importante **durante** a liberação para saber o **grau de liberação**, analisando como o percentual do MI muda ao longo da liberação

→ **Quanto menor o diâmetro maior é o grau de liberação**

Limitar o Grau de Liberação é economicamente interessante:

- para **não** haver a formação de muito **material ultrafino** → **não pode ser concentrado (perda)**

-**reduzir o investimento energético**

Conclusão: **compromisso: GL entre 60% e 80%**

- Processos de Liberação:

› Britagem:

Compressão e impacto

Partículas grandes/grosseiras

Processo realizado a seco

Circuitos de britagem → Britador de Mandíbulas > Britador de Rolos > Peneira (o que é retido na **peneira** volta pro britador de mandíbulas → **seletividade**)

› Moagem:

Abrasão/atrito

Diâmetros pequenos (1cm-0,01mm)

Para maior eficiência: colocar corpos moedores no moinho (barras de ferro, bolas de aço..)

Também é sequencial e utiliza **classificadores** (ciclones) para fazer a seleção das partículas

VANTAGEM dos processos: ↓ %material ultrafino
↑ eficiência energética

• Concentração:

Separação das peças liberadas (o mineral não está mais fisicamente ligado à ganga)

- O que determina a **eficiência??**

1. grau de liberação da amostra (deve ser alto)

2. granulometria: cada processo de concentração trabalha em uma faixa granulométrica ótima

3. Cada mineral tem **propriedades físicas únicas** ! (diferença física ou físico-química entre o mineral de interesse e a ganga) → ajuda a determinar a escolha do processo

› **Concentração gravítica** - diferença de densidade entre os minerais presentes, utilizando-se de um meio fluido (água ou ar) para efetivar a concentração. Deve-se selecionar o processo que forneça a melhor seletividade.

› **Separação magnética** - suscetibilidade magnética do mineral. Os minerais são submetidos a um campo magnético. Muito utilizado na produção de minério de ferro.

› **Flotação** - É o processo dominante no beneficiamento → **grande versatilidade e seletividade.**

Para minérios com **granulometria fina**

Baseia-se na **molhabilidade** dos minerais → comportamento físico-químico das partículas minerais presentes numa suspensão aquosa.

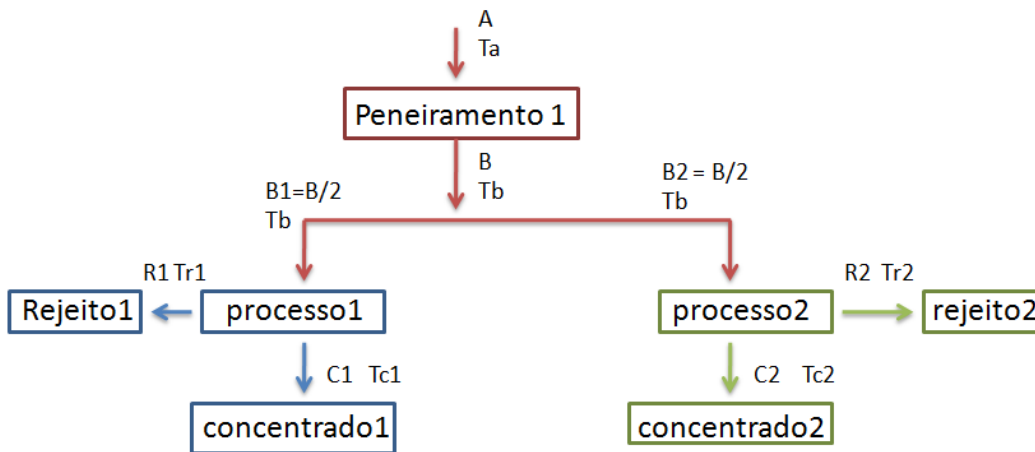
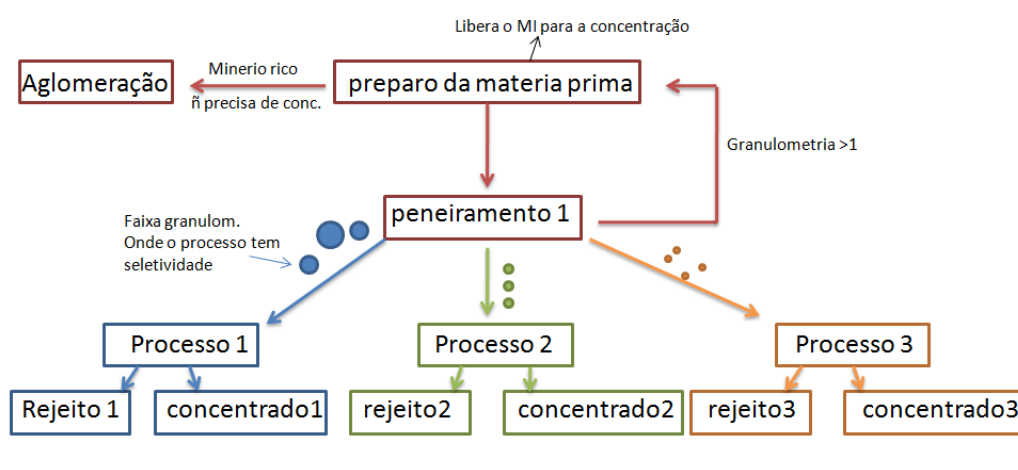
Bolhas de ar na fase líquida pelo fundo do recipiente → material com **pouca molhabilidade** é arrastado para a **superfície** do recipiente

Para que um processo seja viável, é necessário obter um concentrado com **alto teor de MI** e com uma **boa recuperação** do mesmo.

Normalmente, **↑ teor do concentrado** → **↓ menor recuperação do MI**

A apreciação quantitativa do processo de concentração é o balanço de massa:

4) Cálculos:



A – alimentação da peneira

Ta – teor de mineral de interesse em A

B – massa total que vai para concentração (após peneiramento)

B1 e B2 – alimentação dos processos 1 e 2

Tb – teor do mineral de interesse em B, B1 e B2

C1 e C2 – massa dos concentrados 1 e 2

Tc1 e Tc2 – teor dos concentrados 1 e 2

R1 e R2 – massa dos rejeitos 1 e 2

Tr1 e Tr2 – teor dos rejeitos 1 e 2

• Balanço de Massa Total:

A massa se conserva ! → “massa que entra” = “massa que sai”

Massa total = massa concentrados + rejeitos

$$B = C1 + R1 + C2 + R2$$

- Balanço de Massa do Mineral de Interesse:

$$B \times T_b = (C_1 \times T_{c1}) + (R_1 \times T_{r1}) + (C_2 \times T_{c2}) + (R_2 \times T_{r2})$$

- Recuperação Geral:

Massa concentrados x teores / massa total x teor

$$(C_1 \times T_{c1}) + (C_2 \times T_{c2}) / B \times T_b$$

- Recuperação em Massa:

Massa dos concentrados / massa total

$$C_1 + C_2 / B$$

- Balanço de massa Local:

$$B_1 = C_1 + R_1$$

- Balanço de massa do MI local:

$$B_1 \times T_{b1} = (C_1 \times T_{c1}) + (R_1 + T_{r1})$$

- Recuperação local :

$$C_1 \times T_{c1} / B_1 \times T_{b1}$$

- Distribuição (quanto cada processo recuperou de MI):

$$\text{Dist}(\text{proc.1}) = C_1 \times T_{c1} / (C_1 \times T_{c1}) + (C_2 + T_{c2})$$

5) Aglomeração de Finos:

Se as **partículas** estiverem **muito finas** → não podem ir para processos químicos

Solução: aglomerar as partículas

Só se aglomera concentrado, ou seja, só se aglomera MI ou minérios muito ricos

6) Metalurgia Extrativa

Etapas de **síntese** (obtenção) e **refino** (purificação)

A extração/síntese engloba os processos físicos e químicos pelo qual o minério passa até obter o produto desejado.

• Importância das Reações Químicas:

Os metais raramente são encontrados na sua forma pura na natureza. Geralmente eles vem na forma de minerais ou compostos que contém o elemento metálico, como óxidos por exemplo. Assim, é necessário separar o elemento de interesse dos outros ao qual está quimicamente ligado.

Utiliza-se rotas piro, hidro e eletrometalúrgicas

Pirometalurgia: reações heterogêneas (ex: G-L ou G-S-L) em **altas temperaturas** (700 a 1700 °C) → visa diminuir a estabilidade química dos compostos metálicos

Hidrometalurgia: reações heterogêneas (L-S) dissolução do minério em algum tipo de solvente, em **baixas temperaturas** (25 a 120 °C) → processos úteis quando o metal a ser extraído é de baixo teor no metal contido.

- Lixiviação: a mais importante. Solução do minério com o solvente adequado
- Precipitação seletiva do metal desejado. Pode ser feita pela eletrólise, obtendo o metal mais puro.

Eletrometalurgia: reações heterogêneas (L-S) em baixas (aquosa) e altas temperaturas (sais fundidos) . Geralmente quando o processo piro se mostra pouco eficiente.

• Obtenção do Ferro:

Ferro é encontrado nas formas Fe_3O_4 , Fe_2O_3 e FeO . Pela sua **redução com o carbono** ele vira Fe^0 , que vai gerar o **AÇO**.

Obtenção do aço ocorre de duas maneiras:

- Siderúrgicas **Integradas**: faz todas as operações de produção de aço, operam as três fases básicas: redução no altoforno, refino e laminação.

ALTO-FORNO: é alimentado com uma **camada de Ferro** e outra de **Carvão (COQUE** – espécie de carvão de alta pureza). O **ar quente** (21% O₂ e 70% N) entra por baixo e **reage com o carbono** do Coque, produzindo CO que **reagirá com o ferro, reduzindo-o**.

É produzido o **FERRO GUSA** (liga de ferro e carbono, ferro impuro) e uma **ESCÓRIA** (parte do concentrado que não se transformou em ferro, **impurezas líquidas**)

É adicionado um **fundente CaO** ao forno para que a **escória saia líquida!**

CONVERSOR LD: **limpeza do ferro-gusa.**

recebe o ferro-gusa sólido e líquido, fundente e O₂ puro, com eles produz um aço primário (ainda impuro) gases poluentes e escória.

Após o conversor LD, são inseridos eletrodos dentro da solução aquosa, na qual está o aço primário, para que se consiga deixar o aço mais puro.

- Siderúrgicas Semi-integradas: operam apenas duas fases: refino e laminação. Partem direto de ferro gusa ou sucata metálica para transformá-los em aço.

• Obtenção do Estanho (Sn):

Estanho tem Baixa temperatura de fusão (270°C) e elevada resistência à corrosão

Entra no forno SnO₂ (cassiterita), coque e fundente.

Forma: escória e estanho puro. Libera: CO e CO₂

Obs: O estanho formado é 98% puro e para ficar ainda mais puro é feito o eletro-refino que deixa o estanho 99% puro.

• Obtenção do Zinco (Zn):

Zinco tem elevada resistência à corrosão: aplicado em recobrimento de superfícies e fabricação de ligas especiais (Zn – Sn)

Não é possível pela rota de carbono, pois **Zn vira gás em altas temperaturas.**

1. Piro – **entra: ZnS, O₂**

forma: escória (ZnO)

Libera: SO₂ (+ H₂O = H₂SO₄)

2. Hidro – **Lixiviação ácida** da escória formada na fase 1 numa solução de **H₂SO₄**.

Com isso, ocorre uma precipitação seletiva de impurezas, que mesmo eliminando a maior parte delas, o Zn permanece impuro na solução.

3. Eletrólise – nela é possível eliminar todas as impurezas do Zn → obtém zinco puro.

• Obtenção do Titânio (Ti):

Ti apresenta elevada resistência mecânica e baixa densidade.

Matéria-prima: TiO_2 (minério oxidado)

Etapas:

1. Ustulação Cloretante (TiCl_4):

Entra: Coque e Cl_2

Sai: TiCl_4

Forma: Gases com diferentes cloretos (TiCl_4 , FeCl_3 , MCl_4)

2. **Condensação seletiva:** ocorre no **meio gasoso**; tem como função separar os gases de diferentes cloretos, um dos outros.

3. **Eletrólise:** utiliza o **magnésio** como **reductor**. Este é colocado na solução de TiCl_4 líquida, que após a mistura forma o **$\text{MgCl}_2 + \text{Ti}$ (puro)**.

• Obtenção do Alumínio (Al):

Elevada resistência à corrosão, expressiva ductilidade, baixa densidade e moderada temperatura de fusão (660°C)

Processo Bayer - obtenção do alumínio é feita a partir da **bauxita**. A bauxita deve apresentar **no mínimo 30 % de alumina** aproveitável para que a produção de alumínio seja economicamente viável. A alumina passa por uma moagem, digestão, filtração, precipitação e calcinação (processo químico em meio aquoso a 120°C).

-Hidro:

Entra: Al_2O_3 em uma solução básica (NaOH aq.), com isso ocorre uma **lixiviação básica**

Após a mistura, ocorre uma **precipitação seletiva** (só as impurezas precipitam), e forma-se um **$\text{Al}(\text{OH})_3$** .

$\text{Al}(\text{OH})_3$ é aquecido para obter a alumina. (Al_2O_3) - calcinação

Depois..

processo Hall (redução) - transformação da alumina em alumínio metálico. Alumina passa por uma eletrólise em sais fundidos.

- Eletro: O Al_2O_3 (formado na **calcinação**) entra na solução como sal fundido criolita e forma o **Al** puro.