

① Os minerais são uma das bases dos materiais cerâmicos. Normalmente são encontrados em rochas da crosta terrestre.

As rochas que contêm esses minerais podem ser dos tipos:

- Magmáticas → provêm diretamente do resfriamento do magma;
- metamórficas → provêm de transformações de temperatura e pressão;
- sedimentares → provêm da ação da erosão;

Os minerais dependendo da sua composição química podem ser encontrados ao nível do solo e do subsolo, favorecidos pela formação geológica do local.

Os minerais são normalmente uma associação de materiais cerâmicos diversos. Quando a sua concentração em um determinado tipo de material cerâmico possui valor comercial é denominado de minério.

O mineral minério pode ser composto das seguintes materiais cerâmicos, classificados com as seguintes funções inorgânicas:

• óxidos → material cerâmico formado pela associação entre um elemento metálico e semi-metálico e o não metal oxigênio. Em outras palavras é um minério ou material cerâmico onde o átomo de oxigênio é o elemento mais eletronegativo. Destacam-se na indústria os seguintes óxidos:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

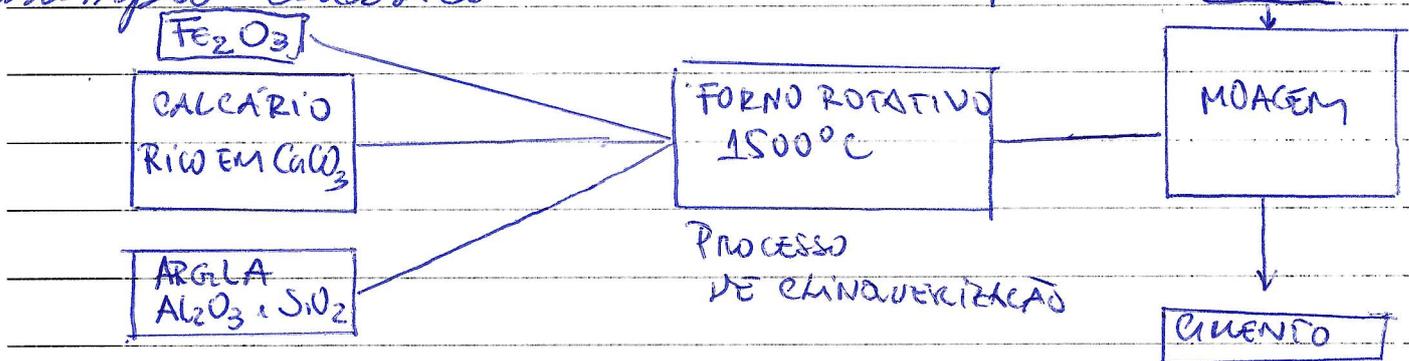
• sulfetos → material cerâmico onde se tem a presença

JF JF MV

do elemento enérgico, normalmente é o elemento mais eletronegativo desse tipo de número, entretanto, introduz um maior caráter covalente aos compostos. É uma classe fundamental de minérios para a produção de diversos metais, como por exemplo, o Cu, Pb e Zn. Nesta classe de minérios podem-se citar:  $CuFeS_2$  (cal copiuta),  $FeS_2$  (pirita),  $PbS$  (galena) e a  $ZnS$  (blenda ou esfarelita).

• cloretos → São minerais compostos de substâncias em que o elemento cloro é o mais eletronegativo. Normalmente, se liga a elementos muito eletropositivos da família 1A e 2A (ou seja, alcalinos e alcalinos terrosos). Podem-se destacar:  $NaCl$ ,  $CaCl_2$  e  $TiCl_4$ . O  $TiCl_4$  é o precursor para a redução metalotérmica utilizando o Mg para produzir Ti metálico.

• sais oxigenados (ossais) → São minerais que são compostos por um metal, um não metal mais eletropositivo que o oxigênio e o oxigênio. Esses sais são matérias-primas para produtos e matérias produzidos industrialmente em larga escala. O cimento que tem como uma das suas matérias-primas essenciais o calcário e a gipsita é um exemplo clássico.



*[Handwritten signatures]*

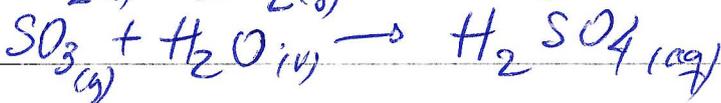
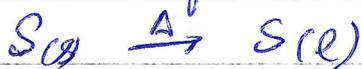
complementando os sais oxigenados para a produção de cimento:

Calcários } Rico em:  
 $\text{CaCO}_3$  (calita)  
 podendo conter:  $\text{MgCO}_3$ ,  $\frac{1}{2}\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

Gipsita } gesso mineral:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (regulador  
 retardante de pega do cimento).

Ainda poderemos destacar os minérios que são ricos em apenas um elemento químico.

Enxofre (S)  $\rightarrow$  O S<sub>8</sub> (enxofre mineral) é um material formado por ligações covalentes e é encontrado em minas ou jazidas. Esse material cerâmico é muito importante para a produção do composto químico mais relevante economicamente e estrategicamente para a humanidade que é o ácido sulfúrico. É o commodity mais fundamental da indústria química, sendo ainda obtido em maior quantidade pelas seguintes reações:



• Carbono  $\rightarrow$  O ~~carbeto~~ carbono mineral e vegetal são fundamentais para diversos processos incluindo pirometalúrgicos e tratamento de efluentes (processos de filtração e

JT MW

processos de adsorção ou carvão ativado). O carbono proveniente da ultra é fundamental para a redução carbotérmica nos processos siderúrgicos e pirometalúrgicos. Já na forma de grafita pode ser utilizado como lubrificante sólido e para produção de eletrodos para o processo (Hall) de síntese de Alumínio metálico. Os minérios a base de carbono são a base para diversos materiais avançados como grafeno e nanotubos de carbono.

### Propriedades Físicas:

Como os minérios são compostos de substâncias que apresentam ligações iônicas, ligações covalentes e ligações mistas. As suas propriedades físicas podem sofrer variações. Desta forma, serão destacadas as propriedades majoritárias e alguns casos particulares de alguns minerais.

Elevada resistência à compressão devido aos tipos de ligações geralmente polarizadas. Além disso, sofrem fratura frágil que é caracterizada pela baixa ductibilidade. Além disso, possuem elevado módulo de elasticidade.

Elevada dureza → Dureza é a resistência que um determinado material apresenta em relação ao processo de indentação. A dureza do diamante é a referência para a dureza de materiais metá-

licos, conforme estabelecido nas normas de dureza Vickers e Rockwell (normas 6507-1 e 6508-1 da ABNT, respectivamente). Para a dureza dos minérios também se utiliza a escala Mohs que avalia a resistência ao risco. Nessa escala Mohs semi-empírica o diamante é o mineral com maior dureza.

Baixa resistência à cargas de tração e cisalhamento - como os componentes dos minerais são formados por ligações iônicas, covalentes e mistas, esforços mecânicos que provocam a separação entre os átomos constituintes precisam de pouca intensidade para promover a ruptura do minério.

Baixa condutividade térmica e elétrica - usualmente os materiais e minerais cerâmicos apresentam baixa condutividade térmica e elétrica devido à natureza das ligações químicas que dificultam a mobilidade dos elétrons impedindo que se comportem como condutores.

Se o minério apresentar algum grau de ligação metálica em sua composição é possível que se admita ou se registre uma certa condutividade elétrica como é o caso da  $\text{CuFeS}_2$  (calcopirita).

Elevados pontos de fusão - Essa propriedade também está relacionada com as ligações que estão presentes entre os átomos que formam esse

JH MW

minerais. Os mesmos podem ser classificados como fusíveis, infusíveis e refratários. Essas propriedades estão relacionadas com as suas aplicações na indústria. Como por exemplo:

fusíveis → produção de vidros;  
 infusíveis → artefatos de argila;  
 refratários → revestimento de fornos e de camisas para fluxo de aço na indústria siderúrgica.

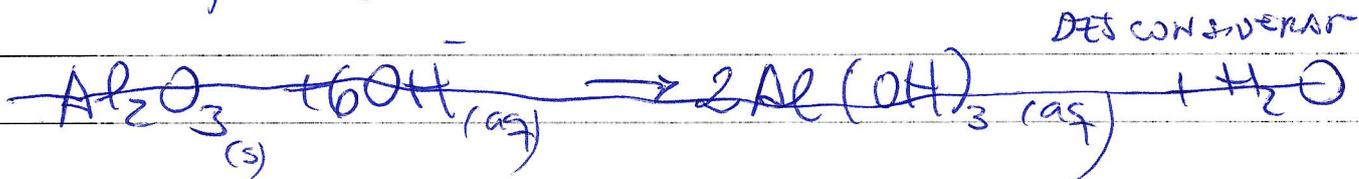
### Propriedades Químicas:

Dependendo da composição química do mineral poderá apresentar características de ácido, base ou neutro, ou ainda caracter anfótero, como minerais ricos em  $Al_2O_3$ .

Os carbonatos de metais alcalinos e alcalinotérreos possuem propriedades básicas, reagem com ácido da seguinte forma.



Já a alumina é solubilizada em solução básica para se produzir o Al eletrolítico.



Propriedades redutoras: minérios a base de carbonos quer seja de origem mineral (ultra), como de origem vegetal apresentam propriedades redutoras ao se combinar com o oxigênio. Essa propriedade é aplicada na redução carbonífera.

De acordo com a equação genérica:



ou



Propriedades oxidantes: Os minérios ricos em

$KMnO_4$  (permanganato de potássio) apresentam propriedades oxidantes.

② O ácido fosfórico é um composto fundamental para a produção de fertilizantes. Em 2070 seremos mais de 10 bilhões de pessoas para consumir alimentos e os fertilizantes ricos em Nitrogênio, fósforo e potássio são fundamentais para a garantia da segurança alimentar de toda a humanidade. A rota atual de produção do ácido fosfórico via úmida passa pelas seguintes etapas:

1- Instalação de explosivos na mina ou jazida de rocha fosfática, rica em fluorapatita e que tem como composição química principal  $Ca_3(PO_4)_2$

## fosfato de cálcio

2- Moagem ou cominuição da rocha detonada do maciço. Nesse ponto poderá ser realizado processos de britagem e moagem para reduzir a granulometria da rocha fosfática que possui impurezas.

3- Flotação → processo que faz com que as fases argilosas e outros minerais sejam depositadas no tanque enquanto que a fase flota da rica em  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  é retirada.

4- Separação magnética → A fase rica em  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  é purificada pela passagem em um filtro magnético onde a fase rica em  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  fica aderida.

5- Processo de secagem → Eliminação do resíduo de umidade para melhorar o valor comercial do  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  e além de melhorar a logística do transporte devido ao menor peso (massa) da rocha seca (O percentual de umidade da rocha fosfática ainda pode estar associada a algum regulamento em relação a comercialização desse tipo de produto).

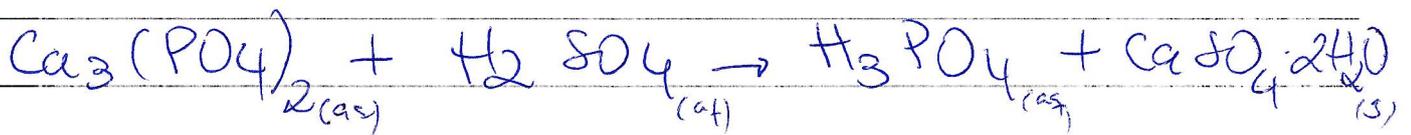
6 - Distribuição

A rocha fosfática é levada para a planta de produção de ácido fosfórico.

8 - Transferência do pó para o processo de nodulização. Formação de nódulos de rocha fosfática para facilitar o processamento (transporte) dentro da planta.

9 - Reator de mistura com ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ )

10 - Reação de produção do ácido fosfórico.



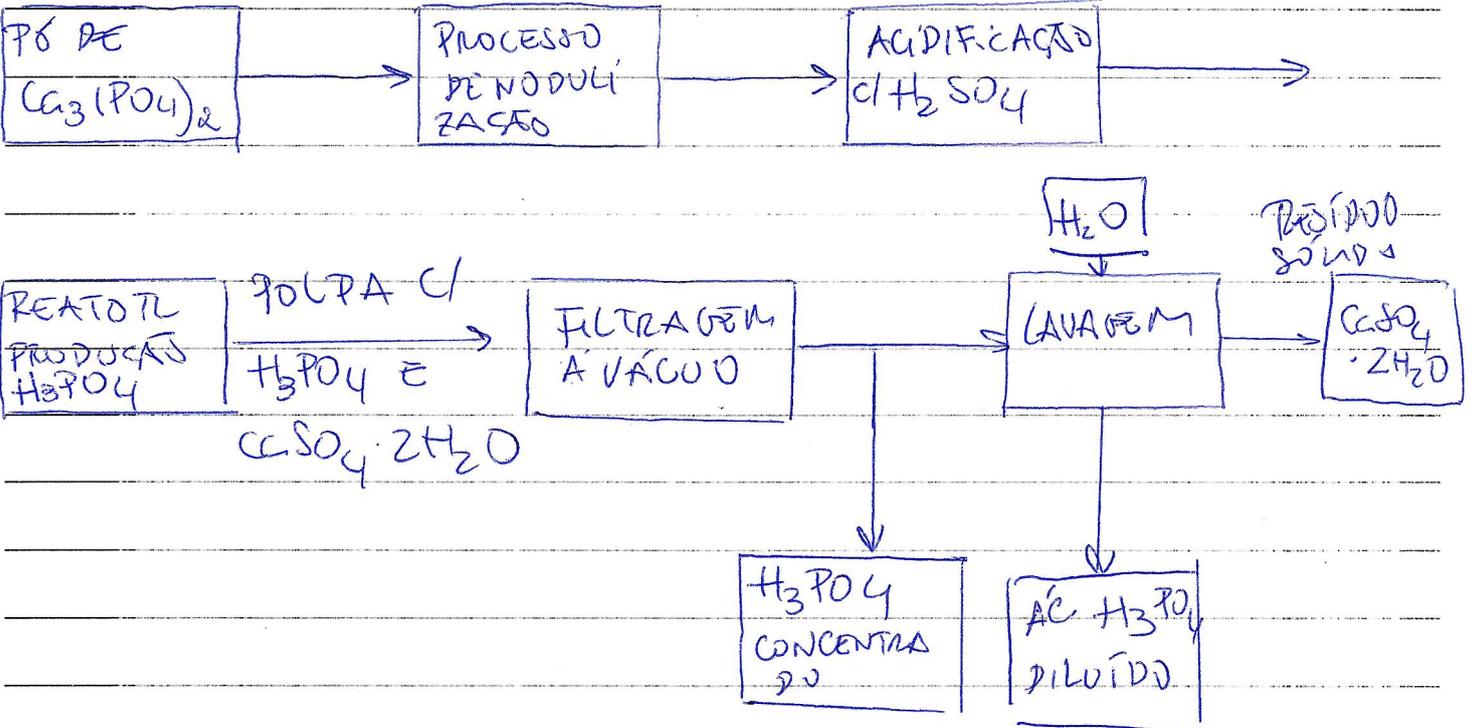
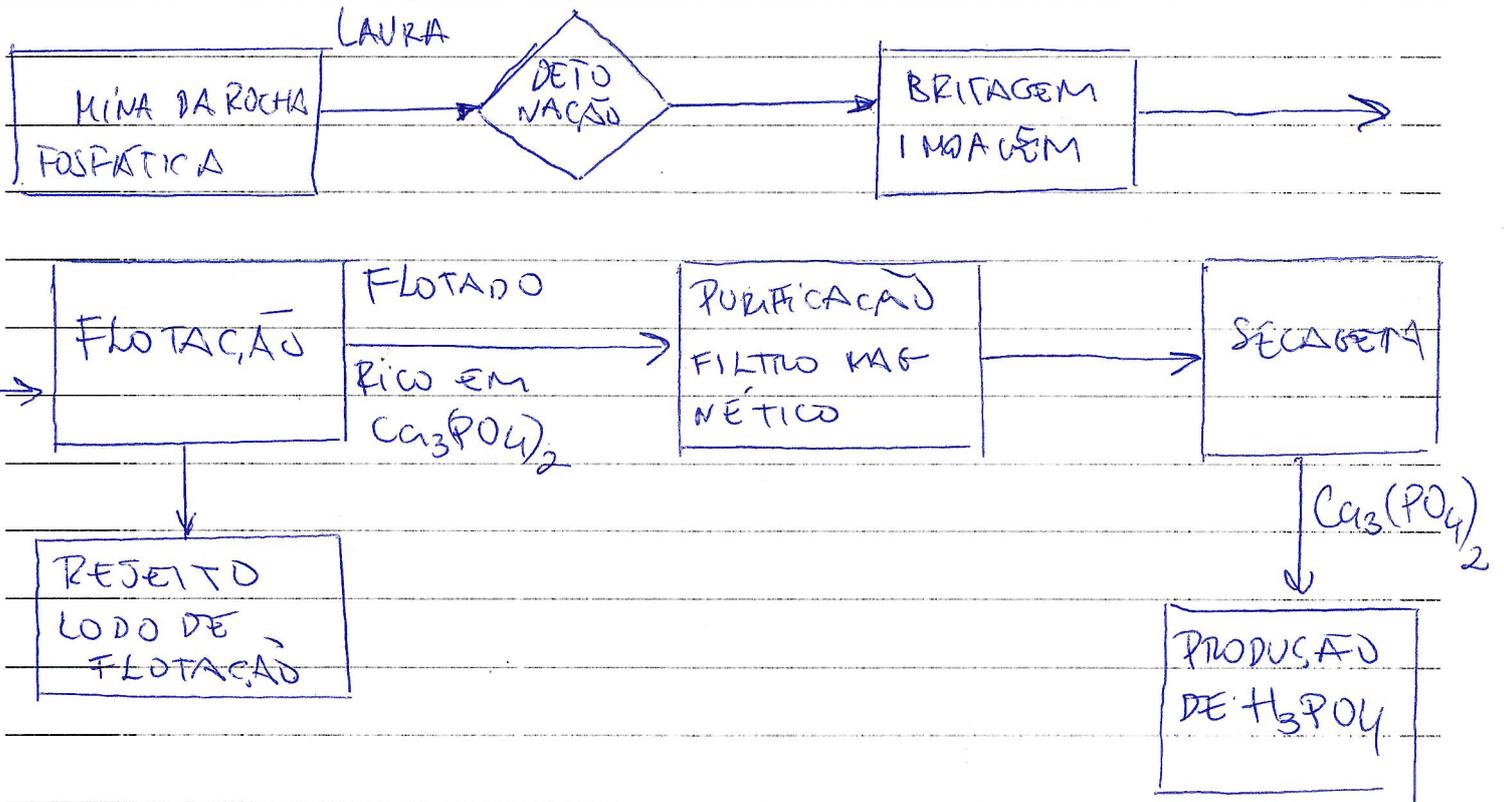
11 - Formação de polpa de gipsita (gesso hidratado) com ácido fosfórico em elevada concentração.

12 - Polpa colocada no processo de filtração a vácuo para a retirada do ácido fosfórico concentrado.

13 - Lavagem para obter o ácido fosfórico diluído.

14 - Recuperação do  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  (sulfato de cálcio hidratado).



*[Handwritten signatures]*

### 3) METALURGIA EXTRATIVA

A) HIDROMETALURGIA → É O PROCESSO METALÚRGICO QUE UTILIZA SOLUÇÕES AQUOSAS ÁCIDAS, BÁSICAS E SALINAS PARA SE OBTER O MINÉRIO DE INTERÊSE SE (METAL) COM UM MENOR NÍVEL DE IMPUREZAS.

PIROMETALURGIA → É O PROCESSO EM QUE ALTAS TEMPERATURAS SÃO UTILIZADAS PARA A OBTENÇÃO DO METAL DE INTERÊSE.

#### HIDROMETALURGIA:

- PROCESSO DE LIXIVIAÇÃO DO MINÉRIO PARA SOLUBILIZAR O MINÉRIO QUE CONTÉM O METAL DE INTERÊSE.

- PROCESSO QUE REQUER ENERGÉTICAMENTE MENOS DO QUE OS PROCESSOS PIROMETALÚRGICOS.

- PROCESSOS HIDROMETALÚRGICOS SÃO VOLTADOS PARA OBTEN METALIS EM MINÉRIOS ONDE O MESMO SE ENCONTRA EM BAIXA CONCENTRAÇÃO.

→ PROBLEMAS EM RELAÇÃO AO TRATAMENTO DOS RESÍDUOS DO PROCESSO DE LIXIVIAÇÃO.

→ CONTAMINAÇÃO DO SOLO NO PROCESSO DE LIXIVIAÇÃO IN SITU E EM PILHAS

→ MUITO UTILIZADO NA OBTENÇÃO DE METAIS COMO CU, AU, AG.

#### PIROMETALURGIA

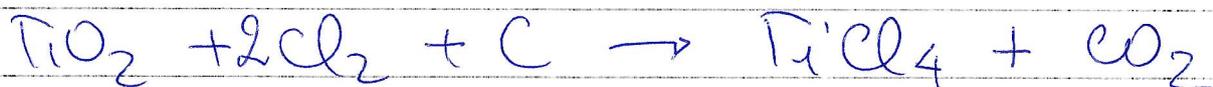
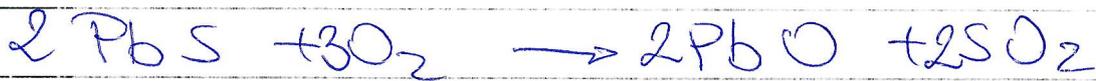
→ OS RESÍDUOS SÃO MAIS FACILMENTE DISPOSTOS E ARMAZENADOS. A ESCÓRIA DE AUTO-FORNO PODE SER UTILIZADA COMO ADITIVO NO CONCRETO OU PARA A PRODUÇÃO DE CIMENTO (CP-III).

→ Os resíduos gerados são apenas gasosos e sólidos.

→ Os processos pirometalúrgicos são utilizados para a obtenção de metais em elevadas concentrações no minério. Podendo citar: Ti (Titânio), Mn (Manganês), Fe (Ferro).

→ NAS ROTAS PIROMETALÚRGICAS PROCESSOS DE USTULAÇÃO E CLORAÇÃO SÃO NECESSÁRIOS.



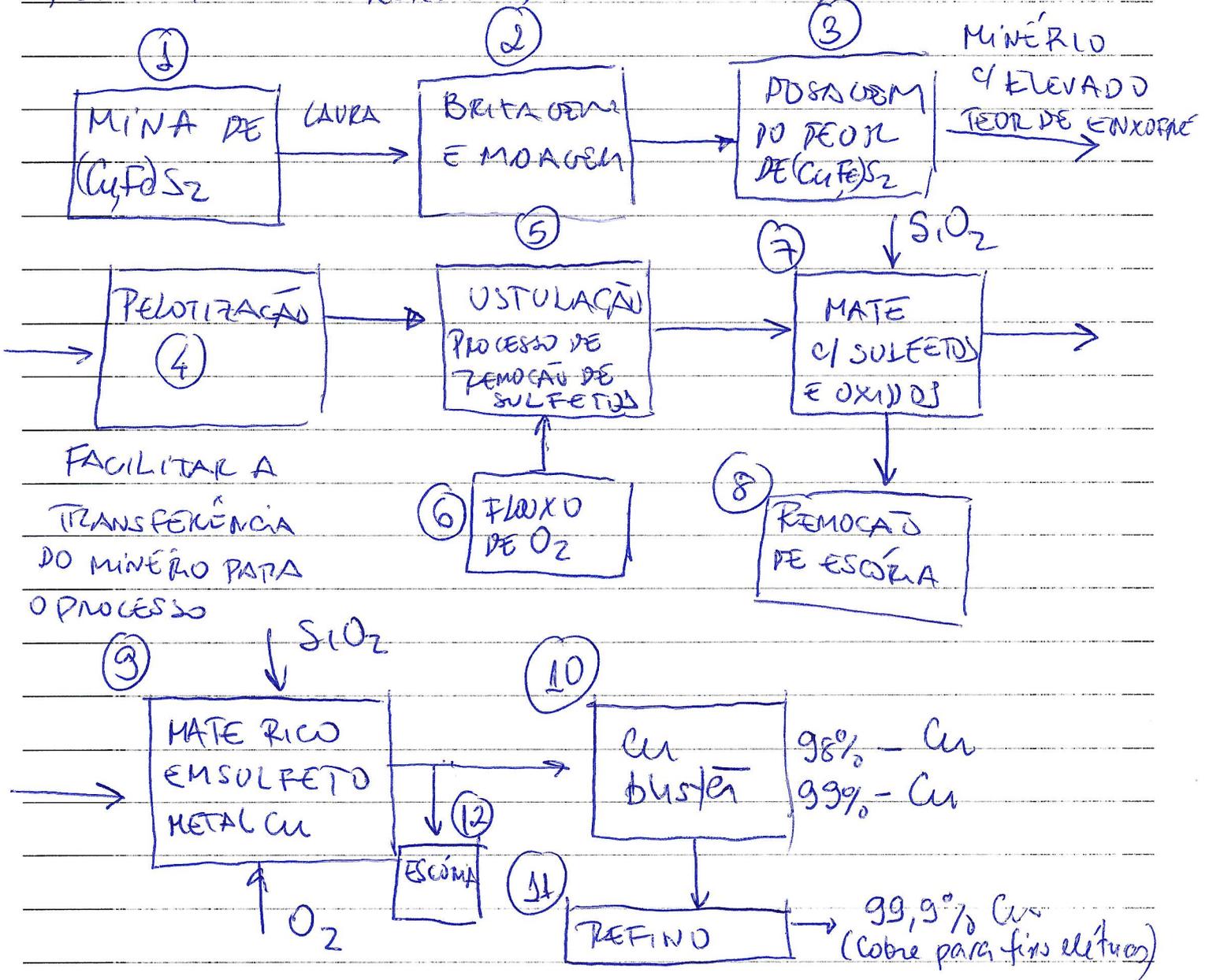
B) O QUE DEFINIRÁ A ROTA DE PRODUÇÃO DE UM DETERMINADO MINÉRIO É A CONCENTRAÇÃO DO METAL DE ~~INTERESSE~~ INTERESSE NESSE MINÉRIO. PARA OS PROCESSOS HIDROMETALÚRGICOS RECOMENDA-SE QUE A CONCENTRAÇÃO DO MINÉRIO SEJA DE NO MÁXIMO 2%. A ROTA PIROMETALÚRGICA COMO APRESENTA GASTO ENERGÉTICO SUPERIOR DEVE SER UTILIZADA APENAS PARA METAIS EM CONCENTRAÇÕES ELEVADAS NO MINÉRIO.

Para a produção do Cu é utilizado por exemplo o minério a base de  $\text{CuFeS}_2$  e  $\text{Cu}_2\text{S}$ . Para o zinco a fonte mineral é rica em  $\text{ZnS}$  (blenda). Para o chumbo o minério deve possuir a galena ( $\text{PbS}$ ) em sua composição.

e para o níquel é explorado o minério (Cu, Ni, S)

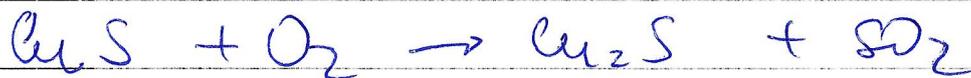
TERMODINAMICAMENTE A REDUÇÃO DIRETA DOS ~~SULFETOS~~ Sulfetos NÃO É FAVORÁVEL. PARA QUE A OBTENÇÃO DO METAL REFINADO SEJA POSSÍVEL É PRECISO CONVERTER O METAL SULFETADO EM SEU RESPECTIVO ÓXIDO E ASSIM PROCEDER COM O PROCESSO DE REDUÇÃO.

ROTA PIROMETALÚRGICA PARA A PRODUÇÃO DO CU



Handwritten signatures and initials in boxes.

- ① EXTRAÇÃO DE CALCOPIRITA DA MINA. PROCESSO DE LAVAGEM.
- ② BETAGEM E MOAGEM PARA AJUSTE DA GRANULOMETRIA.
- ③ DOSAÇÃO PARA AVALIAÇÃO DO FEOR DE CADA ELEMENTO PRESENTE NO MINÉRIO, PRINCIPALMENTE O COBRE.
- ④ PROCESSO DE PERLONIZAÇÃO → FORMAÇÃO DE REJISTAS PARA FACILITAR O TRANSPORTE DE MINÉRIO, REDUZINDO A QUANTIDADE DE MATERIAIS PARTICULADOS EMITIDOS.
- ⑤ USTULACÃO - PROCESSO DE REMOÇÃO DO ENXOFRE E PRODUÇÃO DE DIÓXIDO DE ENXOFRE CONFORMES AS AÇÕES A SEGUIR.



GERAÇÃO DE MATE COM MAIOR FEOR DE METAL CU EM PELACAS AO ENXOFRE.

REATOR EM LETO FLUITIZADO PARA MELHOR EFICIÊNCIA DO PROCESSO.

PRODUTO DE MATE FICOU EM ÓXIDOS E SULFETOS (900°C - 5200°C)

- ⑥ UTILIZAÇÃO DE O<sub>2</sub> ENRIQUECIDO EM TONO DE 24% EM CONCENTRAÇÃO. (VENTANERAS) DE O<sub>2</sub>.




7) PROCESSO DE ESCORIFICAÇÃO DO MATE PARA A REMOÇÃO DE  $FeO$ , ATRAVÉS DA SEGUINTE REAÇÃO:



FORMAÇÃO DE SILICATO DE FERRO QUE É MAIS "LEVE" (MENOS DENSO) DO QUE O MATE. ASSIM A ESCÓRIA FLOTARÁ SOBRE O MATE.

8) → REMOÇÃO DA ESCÓRIA DE SILICATO DE FERRO.

9) MATE RICO EM SULFETO E ÓXIDOS DO METAL COBRE.

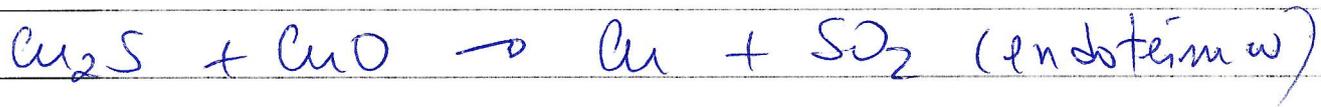
PROCESSO DE OBTENÇÃO DO CU METÁLICO. O COBRE É INSOLÚVEL NO MATE PODENDO ~~ser~~ ser removido

10) REMOVIDO COBRE BLISTER COM 98% A 99% DE COBRE.

PARA SER APLICADO COMO COBRE ELÉTRICO PRECISA CHEGAR A 99,9%. HOJE EXISTE A NECESSIDADE DE UM PROCESSO DE REFINO, OU PURIFICAÇÃO QUE NESTE CASO PODE SER POR ZONA TÉRMICA. ONDE O AQUECIMENTO DO COBRE FAZ COM QUE AS IMPUREZAS SE CONCENTREM NA REGIÃO DE AQUECIMENTO.

11) PROCESSO DE REFINO → REFINO POR ZONA TÉRMICA

REAÇÕES AUTO TERMICAMENTE FAVORABILIZADAS NO REATOR DE CONVERSÃO EM COBRE METÁLICO (PROCESSO AO)



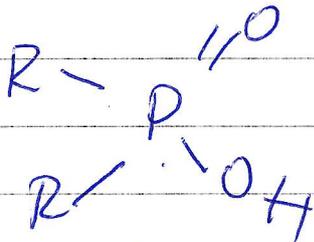
TUDO O EXOTERMO RETIRADO DO MINÉRIO NA FORMA DE  $\text{SO}_2$ , PODE SER UTILIZADO NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ÁCIDO SULFÚRICO.

PROCESSO HIDROMETALÚRGICO.

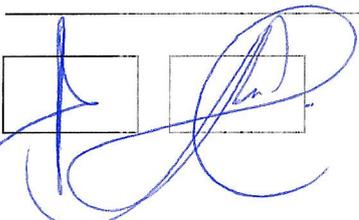
① PROCESSO DE LIXIVAÇÃO IN SITU OU EM PILHAS UTILIZANDO SE ÁCIDO SULFÚRICO COMO AGENTE LIXIVANTE  $\text{Cu}_2\text{S} + \text{CuO} \rightarrow \text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

② ARMAZENAMENTO DO LIXIVIADO PARA O PROCESSO DE EXTRAÇÃO COM SOLVENTE.

③ PROCESSO DE EXTRAÇÃO COM SOLVENTE ORGÂNICO A BASE DE ÍONS FOSFATO.



④ NO TANQUE DE EXTRAÇÃO O CU SE LIGA AO ~~GRUPO~~ GRUPO FOSFATO após a hidrólise do mesmo



(5) Após o processo de extração com solvente que depende da regulagem do pH. É realizado um processo de stripping (remoção) do metal para uma nova fase aquosa obtendo o matte branco (ou separado no metal de interesse).

(6) O matte branco com elevado teor de cobre será destinado ao processo de refino por eletrodeposição.

~~(7) Eletrodos com polos positivos (catodo) e anodo para a~~

(7) Será realizada a eletrolise do matte branco

Eletrodo positivo (anodo) - processo de oxidação  
cobre impuro (eletrodo) → processo de corrosão.

Eletrodo negativo (catodo) - processo de precipitação do Cu.

(8) A solução matte de  $CuSO_4$  é refinada eletroquimicamente. No eletrodo de polaridade negativa, a eletroprodução de cobre com 99,9% de pureza ideal para aplicações elétricas devido a sua baixa resistividade.

JT MW

