

PMT 3152 – INTRODUÇÃO À ENGENHARIA NUCLEAR

MINERAÇÃO DE URÂNIO

Arthur Pinto Chaves

junho de 2021

**A mineração é uma atividade essencial pois fornece as matérias-primas para praticamente todas as indústrias.
É impossível viver sem a mineração.**

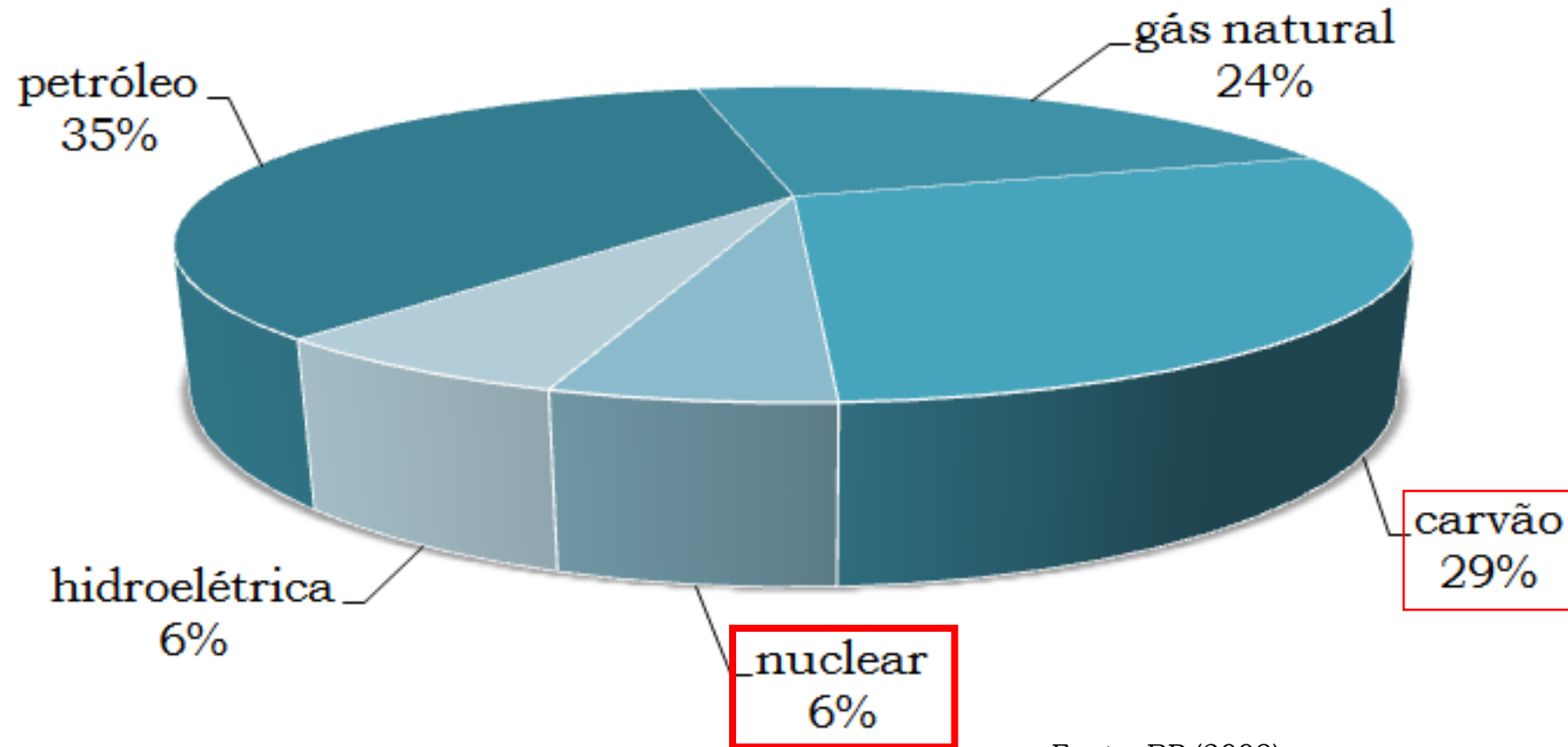
Um cidadão médio, em um país desenvolvido, **consome anualmente:**

- ✓ **393 kg** de cimento;
- ✓ **3955 kg** de agregado para construção;
- ✓ **330 kg** de carvão mineral;
- ✓ **223 kg** de minério de ferro para fabricação de aço, que implica em consumo de **202 kg** de aço bruto;
- ✓ **118 kg** de argila;
- ✓ **96 kg** de sal;
- ✓ **5,2 kg** de chumbo,
- ✓ **0,16 kg** de estanho e
- ✓ **2,7 kg** de cobre.

**No Brasil não temos a cultura
do uso do carvão nem da energia nuclear !
balanço energético brasileiro**

energia	%
petróleo	42,0
gás natural	8,8
carvão vapor	1,2
carvão metalúrgico	0,1
U₃O₈	0,7
total de não renováveis	52,7
hidráulica	14,5
lenha	14,2
bagaço de cana	15,5
outras	3,2
total de renováveis	47,3

combustíveis usados na geração de energia primária no mundo



Fonte: BP (2008)

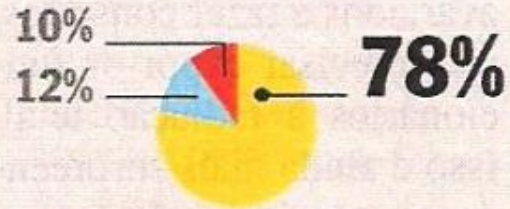
contexto mundial

Países mais dependentes de energia nuclear

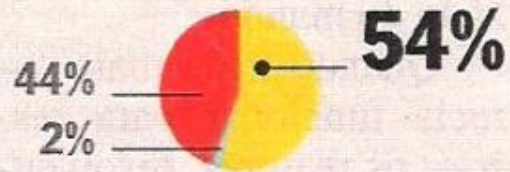
Em porcentagem da produção total de eletricidade



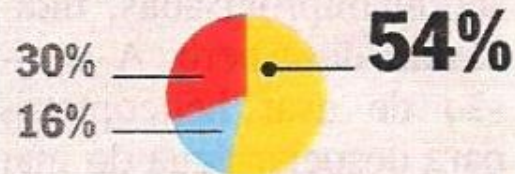
1º França



2º Bélgica



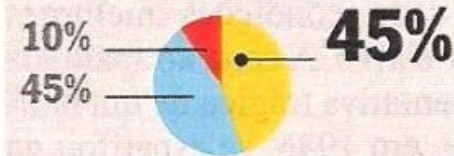
3º Eslováquia



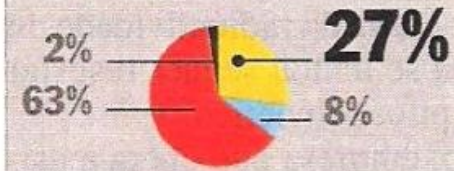
4º Ucrânia



5º Suécia



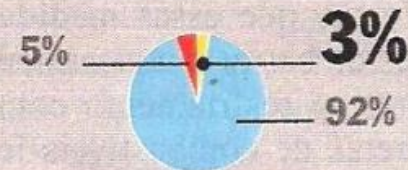
11º Japão



14º Estados Unidos



20º Brasil



Fonte: Agência Internacional de Energia Atômica (Aiea)



Descoberta uma **jazida**, ela precisa ser lavrada. Torna-se uma **mina**. O material que cobre o minério é chamado de **estéril**. Vai para um depósito chamado **bota-fora**. Retirado o minério da mina, ele é encaminhado a uma **usina de beneficiamento**. Produzirá o **concentrado**.



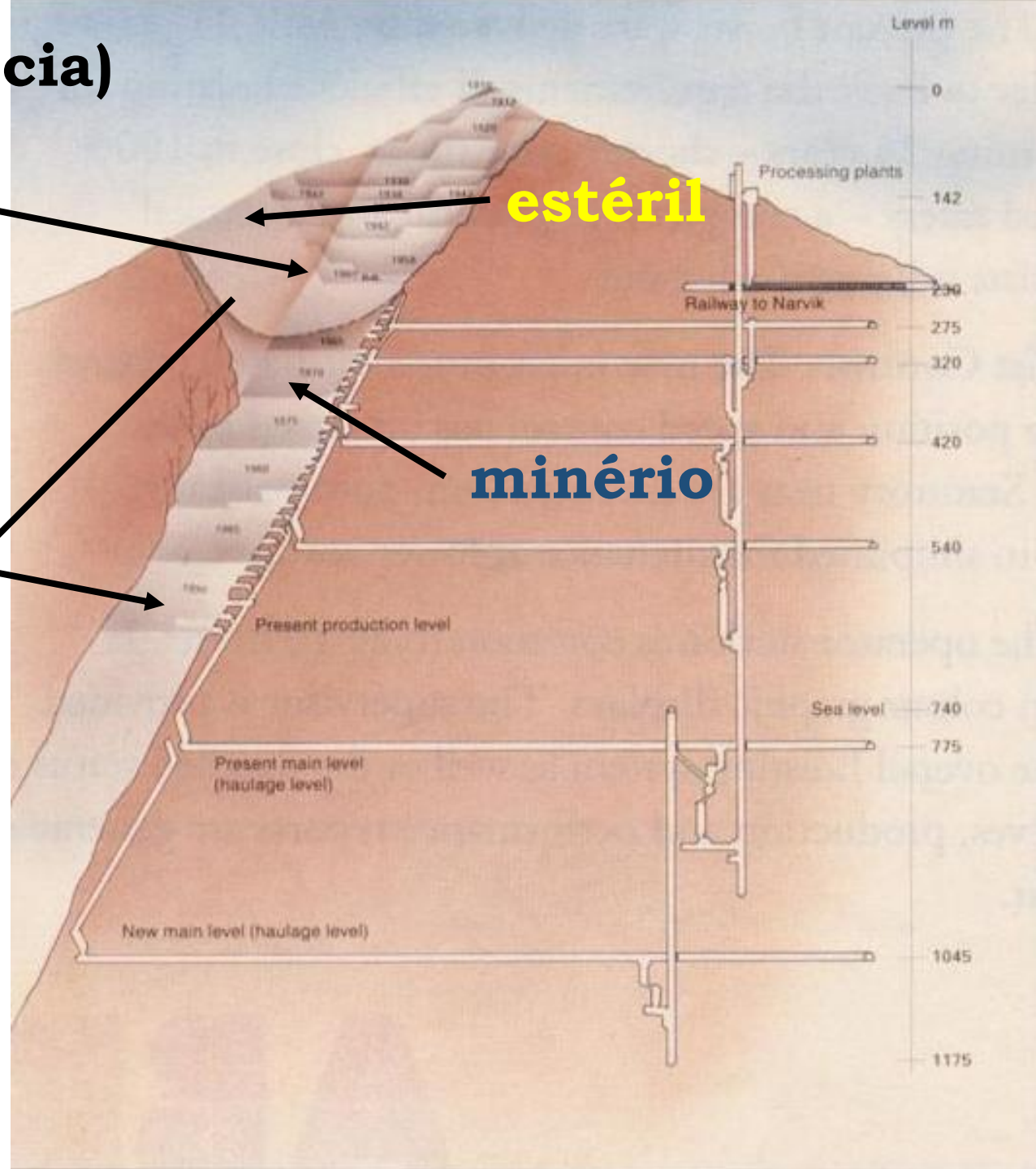
O concentrado alimentará a usina metalúrgica, que extrairá o metal contido nele. O que não é aproveitado é o **rejeito**. Até agora era depositado em barragens.

MINA DE KIRUNA (Suécia)

mina a céu aberto

mina de sub solo

bota fora





A mineração agride a paisagem, o solo, a atmosfera e as águas, tanto de superfície como subterrâneas.

Quando se trabalha com minérios radioativos, além de toda a dificuldade técnica envolvida há a considerar os aspectos de saúde e higiene ocupacional.

Se a mina for subterrânea, o controle da qualidade do ar em subsolo precisa ser muito cuidadoso. Além da poeira, gases de combustão de motores a explosão, ar viciado etc., neste caso existem poeiras radiativas que podem ser respiradas.

Da mesma maneira, o ar usado na ventilação da mina, antes de ser devolvido à atmosfera, precisa ser cuidadosamente tratado,

O uso de barbas, bigodes, cabelos compridos é fortemente desestimulado.

São locais onde podem se acumular poeiras durante o trabalho, poeiras estas que podem conter radionuclídeos.

Em Poços de Caldas, MG, houve a lavra de minério de urânio, usado para alimentar as usinas nucleares de Angra dos Reis, RJ.

A mina está exaurida mas as INB continuam fazendo o controle do passivo ambiental, principalmente pela preocupação de possibilidade de contaminação das águas de superfície ou de subsolo.

Todos os colaboradores que iam trabalhar nas áreas industriais entravam em serviço através dum vestiário onde trocavam de roupa e envergavam uniformes recentemente lavados.

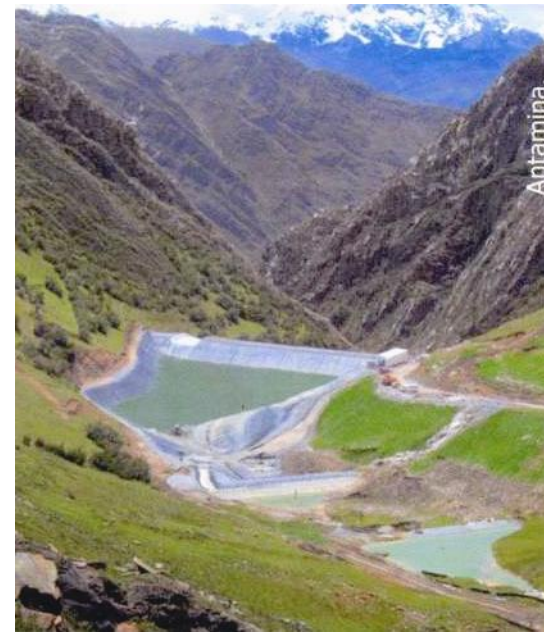
Ao fim do dia, obrigatoriamente, saiam através doutro vestiário onde despiam os uniformes e os entregavam para a lavanderia.

Daí passavam, nus, para o banheiro, onde tomavam banho cuidadosamente, procurando remover toda a poeira de seu corpo. Lavar as orelhas !

Só depois de banhados podiam passar para o vestiário e vestir a roupa com a qual haviam chegado ao trabalho.

BARRAGENS DE REJEITOS

**quando há perigo de
infiltração de metais pesados
o fundo é revestido.**



Os efluentes da barragem de rejeitos são encaminhados para uma barragem de contenção e são periodicamente analisados. Detectada a presença de contaminantes eles são precipitados.



Na primeira versão do projeto de Santa Quitéria, no Ceará, verificamos que a usina de beneficiamento e as oficinas e escritórios haviam sido colocadas num vale, em continuação à mina.

Por este vale, corriam ventos encanados.

Foi necessário reposicionar as instalações para que não ficassem a jusante da mina e as pessoas ali trabalhando não recebessem a poeira que podia conter radionuclídeos.

Santa Quitéria, CE, é uma mina de fosfatos associados a urânio. Será lavradas pelo grupo Galvani, grande fornecedor de fertilizantes fosfatados no Brasil.

O fosfato é concentrado por um processo chamado FLOTAÇÃO.

Na entrada do edifício da Engenharia de Minas há o busto do Prof. Paulo Abib Andery.

Ele desenvolveu, nos anos 60 do século passado o processo de concentração de fosfatos por flotação.

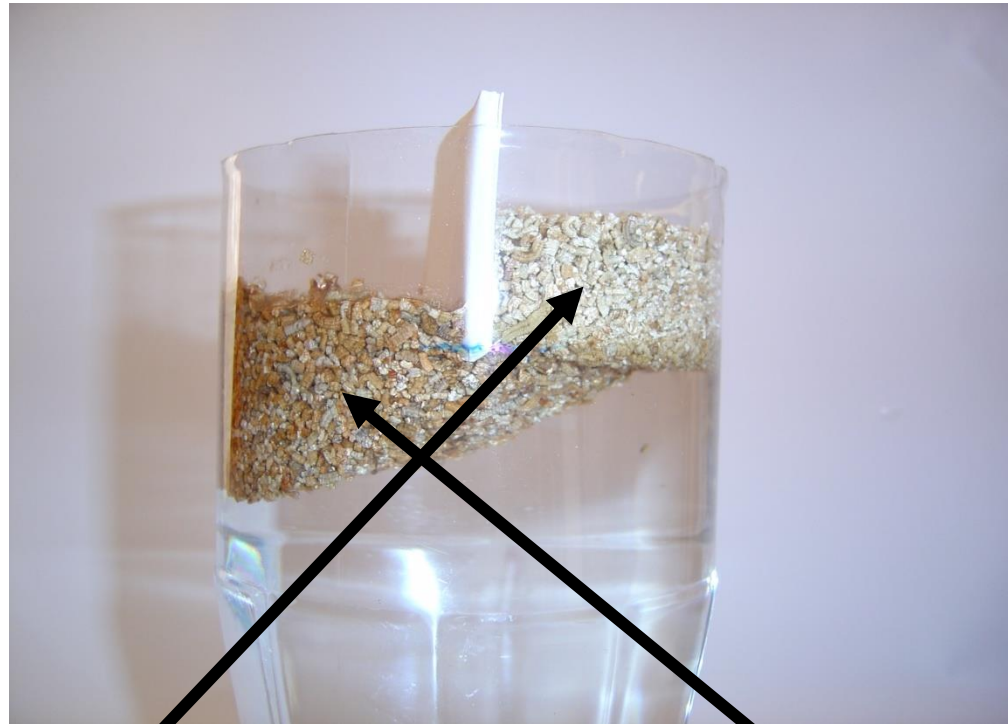
Foi uma inovação histórica !

Vamos entender o processo.

FLOTAÇÃO

alguns minerais, como grafite, enxofre, talco, molibdenita e carvões são naturalmente repelentes à água.

Os demais, via de regra, molham-se.



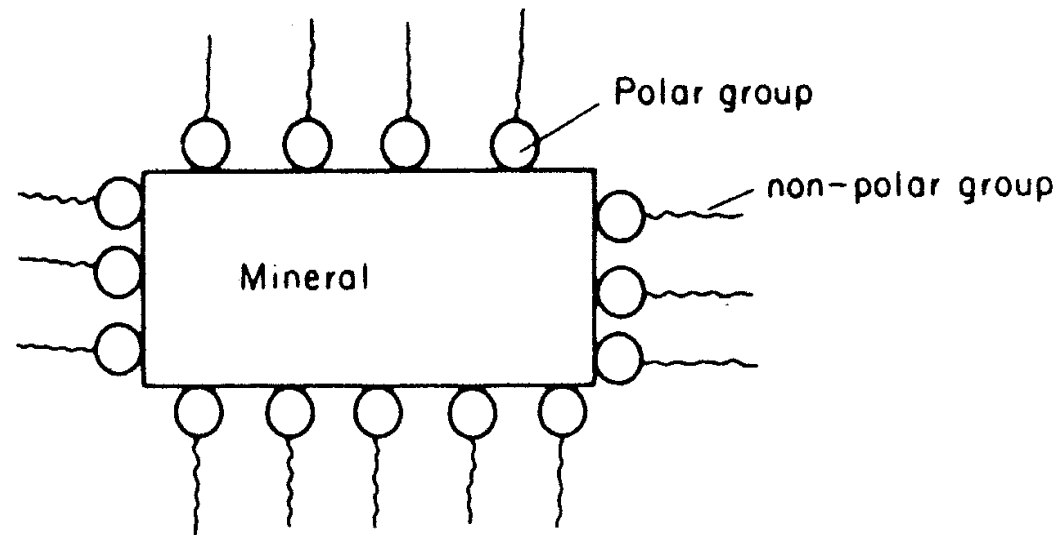
repelente à água

molhável

A repelência à água (“hidrofobicidade”) pode ser usada para separar espécies minerais **desde que se forneça ao sistema uma espuma estável onde as espécies hidrofóbicas sejam retidas.**

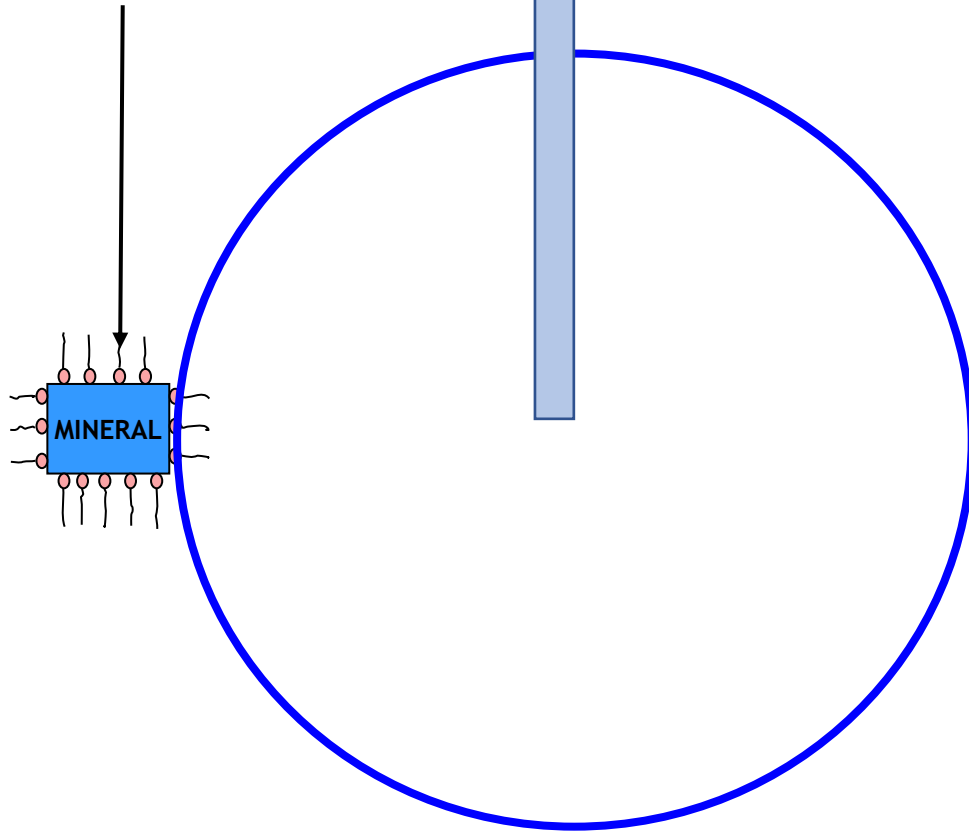


Também, a hidrofobicidade pode ser induzida nas espécies minerais não hidrofóbicas mediante a adição criteriosa de produtos químicos

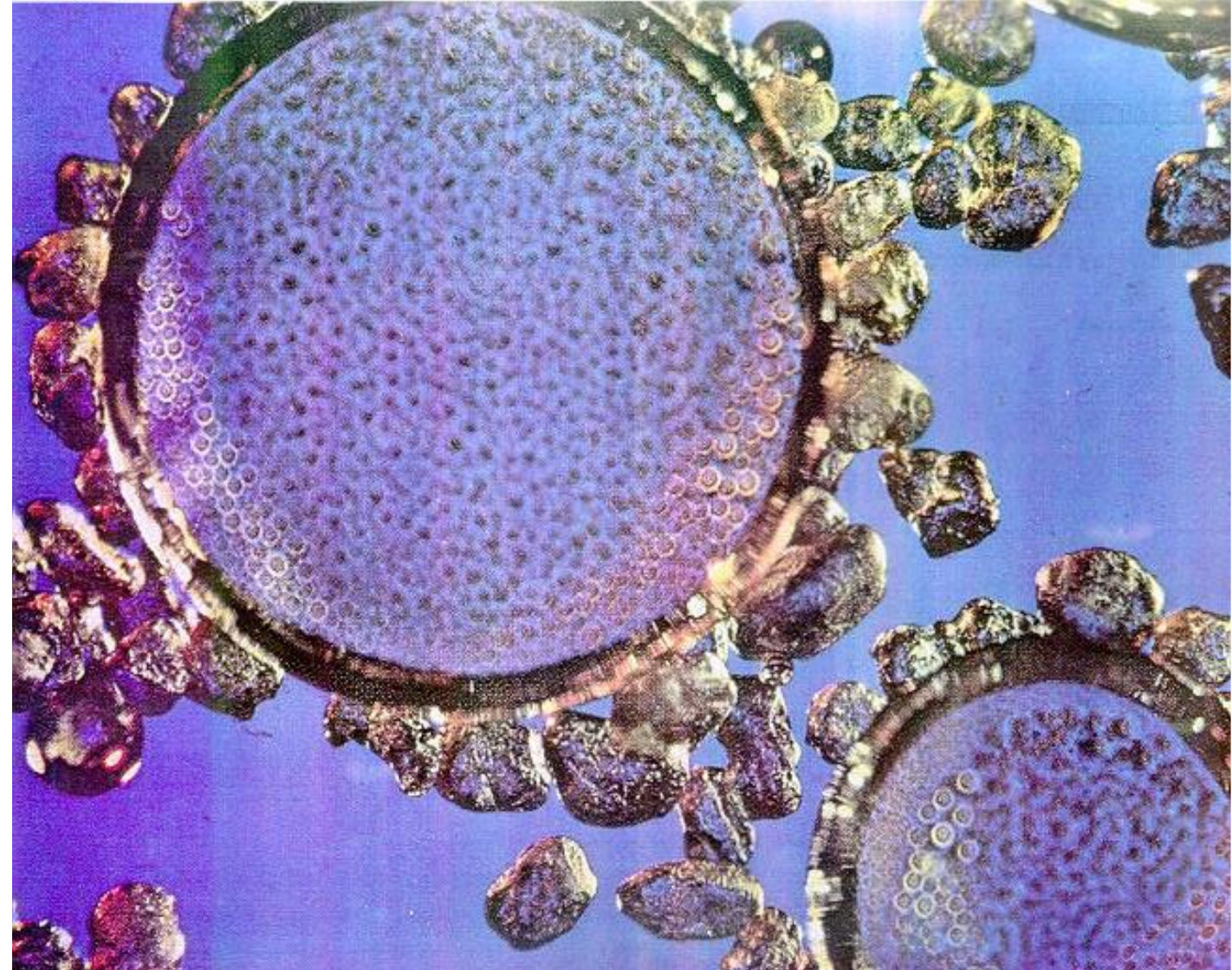


As espécies químicas adsorvem na superfície das partículas minerais e as tornam repelentes à água.

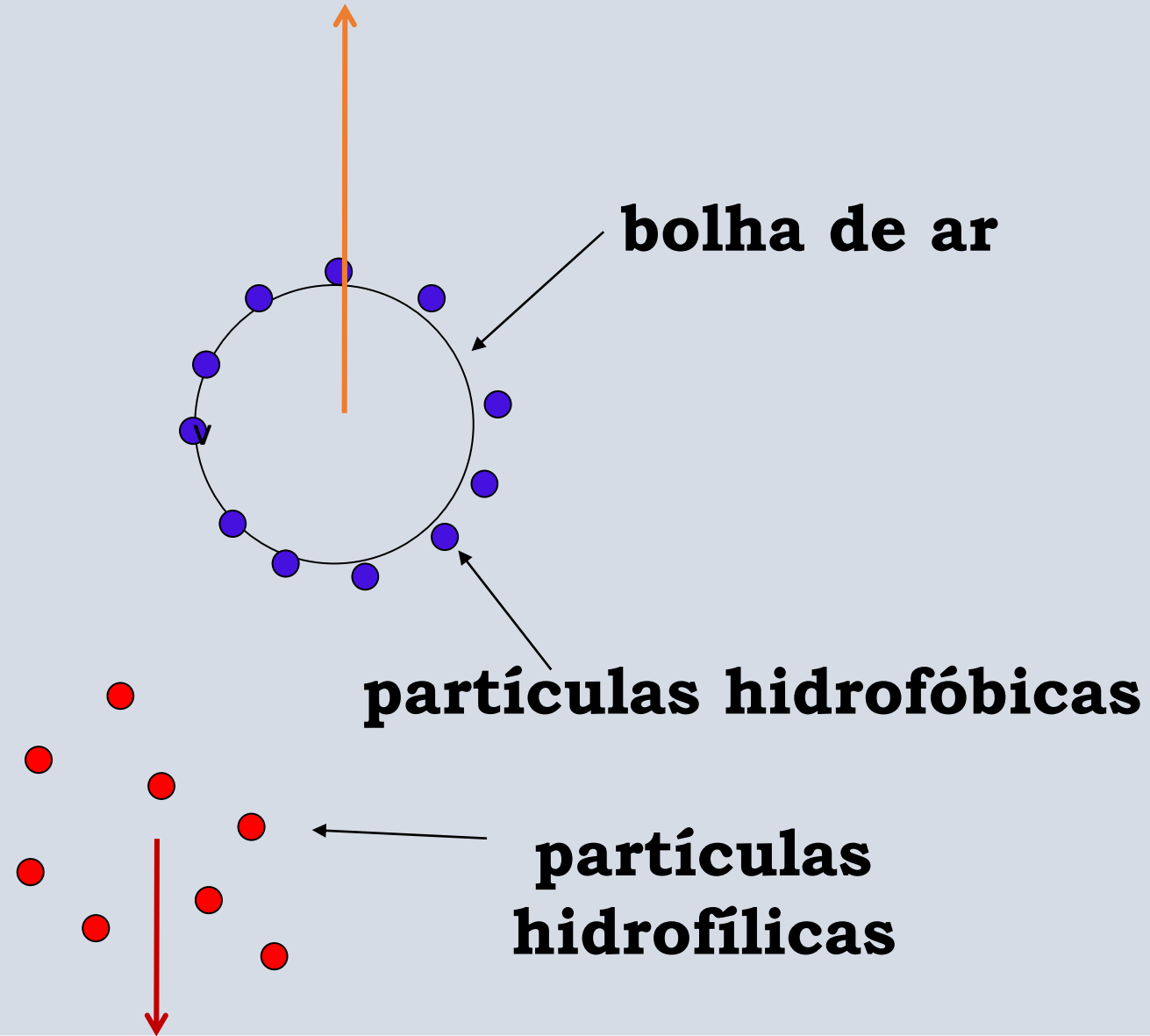
**partícula aderida à
bolha de ar**



**forneendo-se ar ao sistema, as partículas
hidrofobizadas aderem às bolhas de ar e
separam-se na espuma.**



espuma



fosfato



**células de
flotação**



coluna de flotação

Em Lagoa Real, BA, o urânio está associado a um granito. A extração do urânio é feita por DISSOLUÇÃO por ácido. Forma-se uma solução muito diluída do sal formado, que precisa ser concentrada.

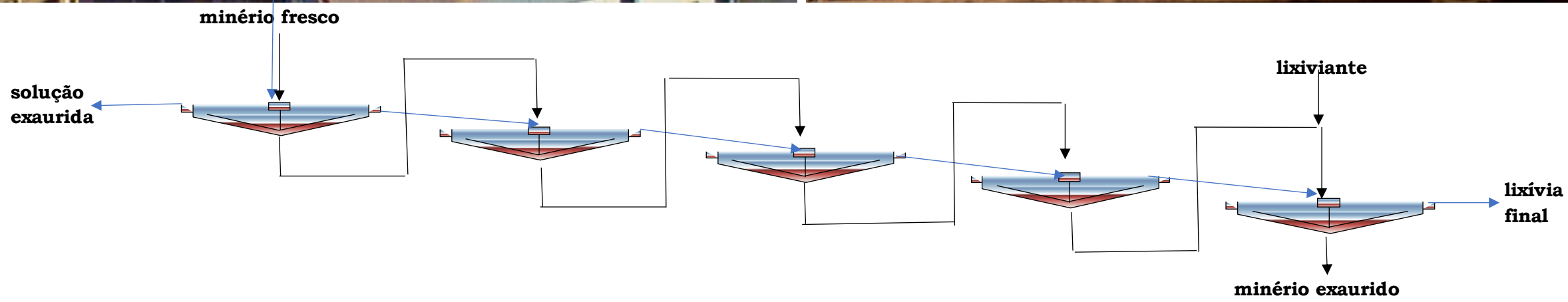
O processo de concentração do soluto é a EXTRAÇÃO POR SOLVENTE.

Seleciona-se um produto orgânico pelo qual o sal de urânio tenha maior afinidade que pela água.

O sal de urânio passa todo para este solvente, que tem um volume muito menor e desta forma pode ser facilmente tratado.

Alguns solventes são voláteis (éter)

lixiviação em contra-corrente



extração por solventes (SX)

- **Objetivo: purificar a solução proveniente da lixiviação**
- **Fundamento:**
 - **extração líquido/líquido com a utilização de reagente orgânico seletivo para os íons de urânio**
 - **diminuição do volume contendo os íons de urânio**
 - **para outros metais: produção de eletrólito (solução purificada) com teor de cobre adequado para a eletrólise**
- **Principais equipamentos: misturadores-decantadores (*mixer-settlers*) = células compostas de tanque com agitação e de separação**

extração por solventes (cobre)

semi- industrial



industrial (Mt. Isa)



industrial (Zaldivar)



OBRIGADO

apchaves@usp.br