

# A QUALIDADE DAS ÁGUAS E AS FONTES DE POLUIÇÃO

---

Jaqueline Dias Oliveira  
Prof. Dr. Marcos Fernando de Souza Teixeira  
Prof. Dr. Celso Xavier Cardoso

Grupo de Pesquisa em Eletroanalítica e Sensores (GPES)

Departamento de Química e Bioquímica (DQB)

Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT) - Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Presidente Prudente - SP

2024

## CICLO HIDROGEOLÓGICO

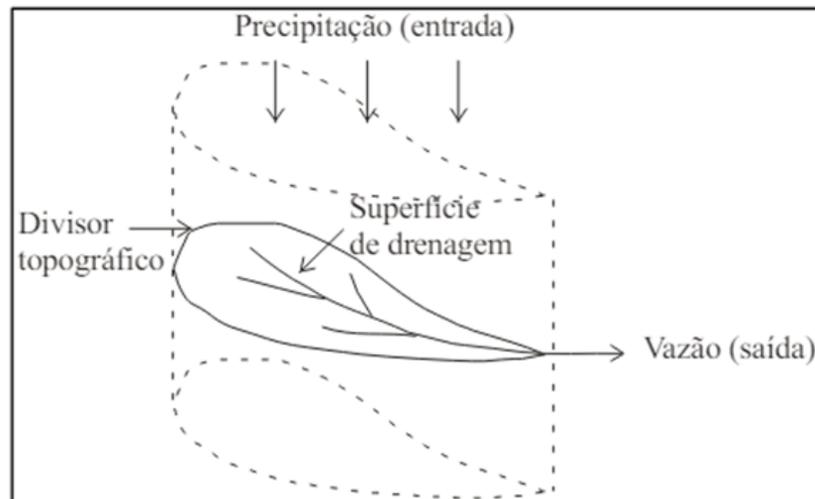
### SISTEMA FECHADO

águas atmosféricas; superficiais e subsuperficiais

### SISTEMA HIDROLÓGICO ABERTO

estrutura espacial (para fluxos superficiais e subsuperficiais)

## BACIA HIDROGRÁFICA



### ESTRUTURA

dimensões superficiais e subsuperficiais da bacia, onde a água pode ser armazenada, e sai por um canal principal que constitui a vazão fluvial

### UNIDADE ESPACIAL DA ANÁLISE

interações naturais entre fatores como substrato geológico, águas subsuperficiais, atmosfera, clima, vegetação, recobrimento e uso do solo e águas superficiais

causa-efeito entre elementos físicos, bióticos e sócio-econômicos

## ÁGUA SUBTERRÂNEA

### TIPOS DE USO

qualidade físico-química, biológica e radiológica

### ESTUDO HIDROGEOQUÍMICO

Padrões de Qualidade - fatores intrínsecos ou extrínsecos ao aquífero

### ÁGUA

dissolve e reage com outras substâncias  
orgânicas ou inorgânicas



### EVOLUÇÃO GEOQUÍMICA

substâncias na forma molecular ou  
iônica (cátion/ânion)

### LIXIVIAR SOLOS E ROCHAS

dissolução de seus minerais

- baixas velocidades de circulação das águas subterrâneas;
  - maiores pressões e temperaturas
  - facilidade de dissolver  $\text{CO}_2$ .

**INTEMPERISMO DAS ROCHAS**  
estabilidade dos minerais e mobilidade dos elementos



**SISTEMA FLUVIAL**  
material particulado - elementos menos solúveis como Al, Fe e Si  
carga em solução - Na e Ca

- POTENCIALIDADE**
- variações climáticas
  - intensidade do fluxo fluvial

**SILICATOS**  
classe de minerais  
ferromagnesianos e feldspáticos - ferro, magnésio, cálcio, sódio e potássio

**SUBSTITUIÇÃO**  
raio iônico  
eletronegatividade

| Mobilidade relativa | Oxidante (pH 5-8)   | Oxidante (pH < 4)   | Redutor   |
|---------------------|---|---|---|
| Mobilidade alta     | Cl, Br, I, S, Rn, He, C, N, Mo, B, Se, Te                                   | Cl, Br, I, S, Rn, He, C, N, B                                       | Cl, Br, I, Rn, He   |
| Mobilidade moderada | Ca, Na, Mg, Li, F, Zn, Ag, U, V, As, Sb, Sr, Hg                             | Ca, Na, Mg, Sr, Li, F, Zn, Cd, Hg, Cu, Ag, Co, Ni, U, V, As, Mn, P  | Ca, Na, Mg, Li, Sr, Ba, Ra, F, Mn   |
| Mobilidade fraca    | K, Rb, Ba, Mn, Si, Ge, P, Pb, Cu, Ni, Co, Cd, In, Ra, Be, W                 | K, Rb, Ba, Si, Ge, Ra   | K, Rb, Si, P, Fe  |
| Imóvel              | Fe, Al, Ga, Sc, Ti, Zr, Hf, Th, Sn, ETRs, metais Pt, Au, Cr, Nb, Ta, Bi, Cs | Fe, Al, Ga, Sc, Ti, Zr, Hf, Th, Sn, ETRs, metais Pt, Au, As, Mo, Se | Fe, Al, Ga, Ti, Zr, Hf, Th, Sn, ETRs, Au, Cu, metais Pt, Ag, Pb, Zn, Cd, Hg, Ni, Co, As, Sb, Bi, U, V, Se, Te, Mo, In, Cr, Nb, Ta |

## MECANISMOS DE MOBILIDADE DOS METAIS

### SORÇÃO

mecanismo de remoção do soluto da solução é desconhecido

### COMPLEXAÇÃO

ligação entre íons metálicos solúveis em soluções presentes nos solos com ligantes orgânicos ou inorgânicos -  $H_2O$ ,  $OH^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $FeNO_3^-$

### DESORÇÃO

controla a disponibilidade de nutrientes para as plantas

### ADSORÇÃO

mecanismos de troca iônica, adsorção não específica (ou de esfera externa), adsorção específica (ou de esfera interna) e complexação com material orgânico do solo

adsorção não específica - interações eletrostáticas entre cátions metálicos

adsorção específica - afinidade química entre a superfície adsorvente e os cátions livres em solução

goetita e hematita -  $Cu > Pb > Cd > Co > Ni > Mn$

### **PRECIPITAÇÃO/DILUIÇÃO**

concentração de uma substância excede seu grau de solubilidade e ocorre a liberação do excesso na forma de sólidos - suspensão / camada de sedimentos

### **OXIRREDUÇÃO**

mudança da valência dos elementos envolvidos, ocorrendo, portanto, a perda e o ganho de elétrons

Receptores de Elétrons

condições aeróbias – oxigênio

condições anaeróbias – nitrato, sulfato e dióxido de carbono

Microrganismos – ENERGIA

oxidação de compostos orgânicos, hidrogênio

formas reduzidas inorgânicas de ferro, nitrogênio e enxofre

### **CO-PRECIPITAÇÃO**

precipitação de um elemento simultaneamente a outros componentes da solução aquosa

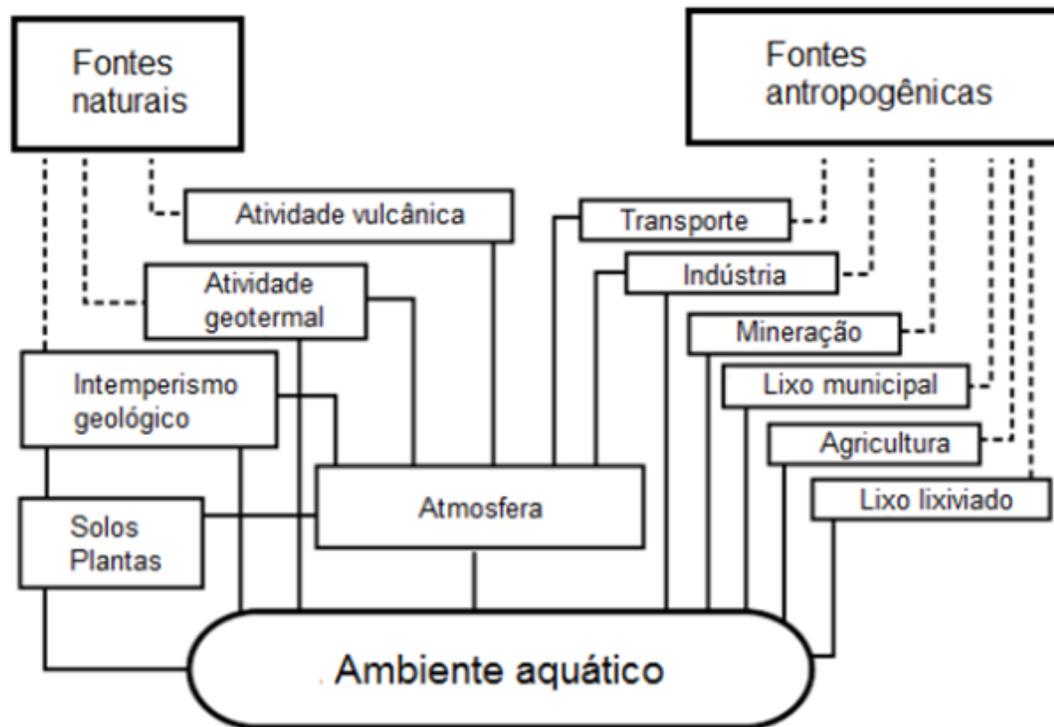
### **ABSORÇÃO**

íons em solução são difundidos dentro da estrutura de substâncias absorventes

## ELEMENTOS

Concentração < 1 mg/L

Fontes dos Elementos Traço em Sistemas Aquáticos



## ADSORÇÃO

(sólidos que interagem com substância dissolvidas)

Óxidos - Fe, Al, Mn, e silício hidratados

carbonatos

sulfetos superficiais

matéria orgânica

argilominerais superficiais

**MECANISMO DE ADSORÇÃO E COMPLEXAÇÃO**  
(concentração de elementos)

**MOBILIDADE** - intemperismo e transporte

Fontes Pontuais  
meio de transporte é identificado

Fontes Não Pontuais (difusas)  
não têm um ponto definido de entrada

**SUPERFÍCIES URBANAS**

Resíduos sólidos e efluentes líquidos - reprodução e proliferação de agentes patogênicos

- Domésticos
- Comerciais
- Industriais

**ESGOTOS URBANOS**

poluição microbiológica – coliformes

poluição orgânica - decréscimo de OD e aumento de DBO

**ATIVIDADES INDUSTRIAIS**

grupo dos nitratos e fosfatos

grupo dos elementos orgânicos dissolvidos

grupo dos metais (chumbo, cádmio, zinco, cromo, etc)

**AGRICULTURA**

causas principais de poluição hídrica - nitrogênio e fósforo

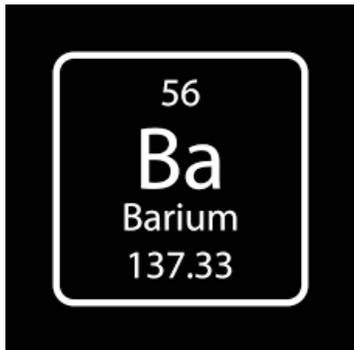
- Fertilizantes químicos
- Agrotóxicos

**MOBILIDADE**

solubilidade na água, fontes não-intempéricas (atmosféricas, antropogênicas), participação de plantas em processos de absorção/liberação de elementos, complexação por material coloidal fino, adsorção ou co-precipitação por material sólido em geral

**SOLUBILIDADE**

solubilidade dos minerais que os contém, propriedades atômicas e moleculares dos elementos envolvidos - ânions com oxigênio solúveis (boro, arsênio, tungstênio e vanádio); cátions livres (sódio, potássio, bário, lítio e estrôncio)



## BÁRIO

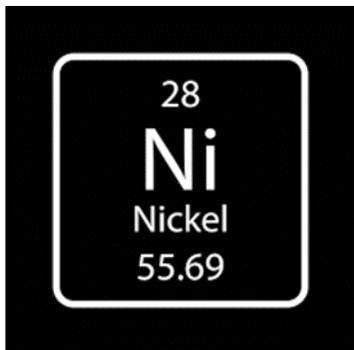
Associação: feldspatos e biotitas nos solos

Substituição:  $K^+$  - raios iônicos

Intemperismo: precipitado de sulfato e carbonato

Fontes minerais: Witherita ( $BaCO_3$ ) e Barita ( $BaSO_4$ )

Sintomas: arritmia cardíaca, paralisia muscular, insuficiência respiratória, hemorragia interna, coma, morte



## NÍQUEL

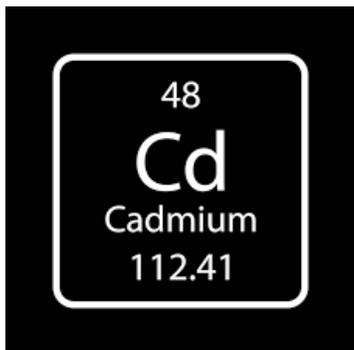
Associação: rochas ultramáficas e solos residuais

Fontes minerais: compostos minerálicos de níquel, antimônio, enxofre e arsênio –  $NiSb$ ,  $NiAs_2$ ,  $NiAsS$  e  $NiSbS$

Co-precipitação: óxidos de Mn e Fe

Sorção:  $pH > 6$

Sintomas: doenças carcinógenas e perda da imunidade



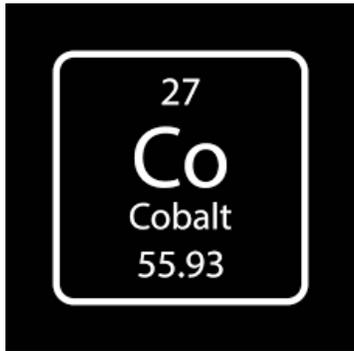
## CÁDMIO

Fontes minerais: blenda ( $ZnS$ ), calamina ou hemimorfita ( $Zn_4Si_3O(OH)_2$ ), smithsonita ( $ZnCO_3$ ) e hidrozincita ( $Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$ )

Intemperismo: forma solúvel e móvel  $Cd^{2+}$

Mobilidade: média a alta - oxidantes ácidas; fraca - oxidantes neutras

Sintomas: doença de “Itai-Itai” (descalcificação, reumatismos e problemas cardiovasculares)



## COBALTO

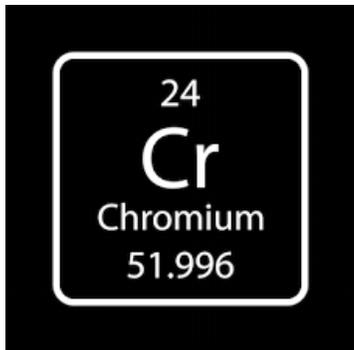
Associação: rochas ultrabásicas e solos residuais

Fontes minerais: smaltita ( $\text{CoAs}_2$ ) e a cobaltita ( $\text{CoAsS}$ )

Solubilidade: menor em pH elevado – sorção (óxidos e argilas de silicatos); complexação (matéria orgânica); precipitação ( $\text{Co(OH)}_2$ )

Mobilidade: fraca – oxidantes (pH 5 a 8); moderada – oxidantes (pH < 4) e imóvel – redutores

Sintomas: doenças pulmonares (fibrose pulmonar e asma brônquica)



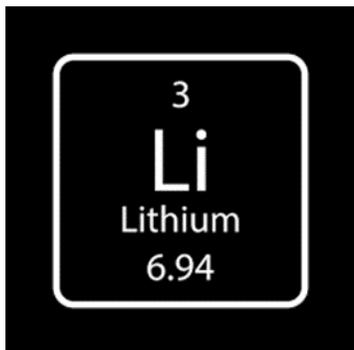
## CROMO

Estados de oxidação: +2, +3 e +6

Fontes minerais: cromita ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ) – rochas ígneas ultrabásicas; crocoíta ( $\text{PbCrO}_4$ ) - oxidação de depósitos de chumbo

Mobilidade: imóvel –  $\text{Cr}^{3+}$  complexação (matéria orgânica), sorção (óxidos e argilas de silicatos); moderada –  $\text{Cr}^{3+}$  oxidado para cromato  $\text{CrO}_4^{2-}$

Sintomas: ulcerações na pele, perfurações no trato respiratório e irritações no trato gastrointestinal

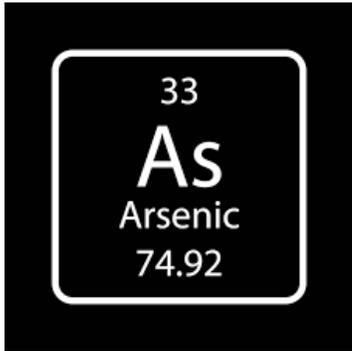


## LÍTIO

Fontes minerais: rochas ígneas - aluminossilicatos de Li (espodumênio, lepidolita, ambligonita ou petalita)

Fontes antropogênicas: baterias, ligas, catalisadores, materiais fotográficos e indústria espacial

Sintomas: distúrbios no sistema nervoso central, distúrbios cardiovasculares e sintomas gastrintestinais e danos renais



## ARSÊNIO

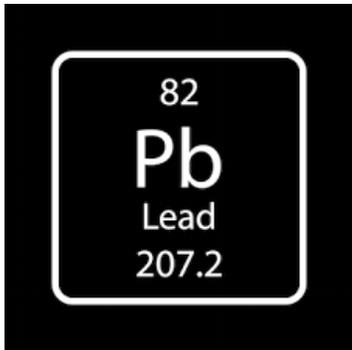
Associação: jazidas de metais

Fontes minerais: arsenita  $\text{AsO}_4^{-3}$

Estados de oxidação: +3 e +5

Mobilidade: baixa - solos ácidos (argilas e óxidos); moderada - solos neutros a alcalinos (arsenato de sódio solúvel)

Sintomas: cânceres (pele, pâncreas e pulmão), abalos no sistema nervoso, malformação neurológica e abortos



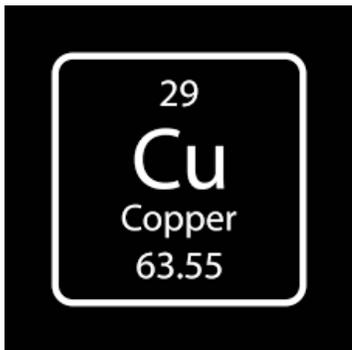
## CHUMBO

Fontes minerais: galena (PbS)

Complexo: pH elevado - matéria orgânica; sorvido - óxidos e argilas de silicatos; precipitado - carbonato, hidróxido ou fosfato

Mobilidade: fraca – condições oxidantes (pH 5 a 8)

Sintomas: prejudicial ao cérebro e ao sistema nervoso, afeta o sangue, os rins, o sistema digestivo e reprodutor



## COBRE

Associação: lavas basálticas

Fontes minerais: calcopirita, calcosita ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), covelita (CuS), malaquita ( $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ ) e azurita ( $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ )

Mobilidade: baixa

Solubilidade: alta – complexos com hidróxidos, carbonatos e matéria orgânica

Sintomas: vômitos, hipotensão, icterícia, coma e morte

## NECESSÁRIO

Colaboração entre governo, comunidade, academia e setor privado é essencial para a proteção dos recursos hídricos

Participação comunitária e a educação ambiental sobre o uso sustentável dos recursos hídricos

Desenvolver planos de ação para enfrentar os problemas identificados

**Obrigada!**