

# Recuperação Ambiental

Sofia Capelo

(Prof<sup>a</sup>. Auxiliar, e-mail: [scapelo@uevora.pt](mailto:scapelo@uevora.pt))

Departamento de Paisagem, Ambiente e Ordenamento

## Características das águas geradas pela atividade mineira

CLASE	pH
1. Altamente ácidas	1,5 a 4,5
2. Blandas, ligeiramente ácidas	5,0 a 7,0
3. Duras, neutras a alcalinas	7,0 a 8,5
4. Blandas, alcalinas	7,5 a 11,0
5. Muy salinas	6 a 9
6. Blandas, ácidas	3,5 a 5,5

# Características das águas geradas pela atividade mineira

- ▶ **Águas alcalinas ou com baixo poder de solubilidade**
  - ▶ em que a água passa por materiais que contenham carbonato de cálcio
  - ▶ a dissolução do carbonato de cálcio deve-se à presença da água e do dióxido de carbono
  - ▶ podem ser tão prejudiciais quanto as águas ácidas
  - ▶ algumas contêm elevadas concentrações de ferro (II), que após oxidação pode conduzir a uma diminuição de pH e a uma água ácida
- ▶ **Águas ácidas ou com elevado poder de solubilidade**

## Formação de águas ácidas

- ▶ A pirite ( $\text{FeS}_2$ ) é insolúvel e estável desde que não esteja em contacto com o ar.
- ▶ No entanto, devido às atividades mineiras é exposta ao ar, isto é, ao oxigénio e torna-se parcialmente solúvel.
- ▶ O ião dissulfureto, em que o enxofre se encontra no estado de oxidação -1, é oxidado a ião sulfato em que o enxofre está no estado de oxidação +6.



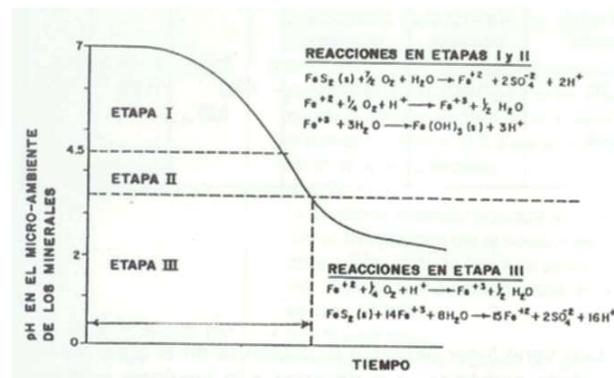
- ▶ O sulfato de ferro (II) é solúvel em água e o ferro da pirite é solubilizado com esta reação, que produz uma grande quantidade de ácido sulfúrico concentrado.



- ▶ Uma parte do ácido sulfúrico é consumida na oxidação de ferro (II) em ferro (III), e catalisada por bactérias (*Thiobacillus thiooxidans*).
- ▶ Quando esta água é diluída e o pH aumenta, forma-se um precipitado de hidróxido de ferro (III).
- ▶ O ácido concentrado também pode tornar disponíveis metais tóxicos que estejam presentes.

# Formação de águas ácidas

Etapa I e II (oxigênio e bactérias )

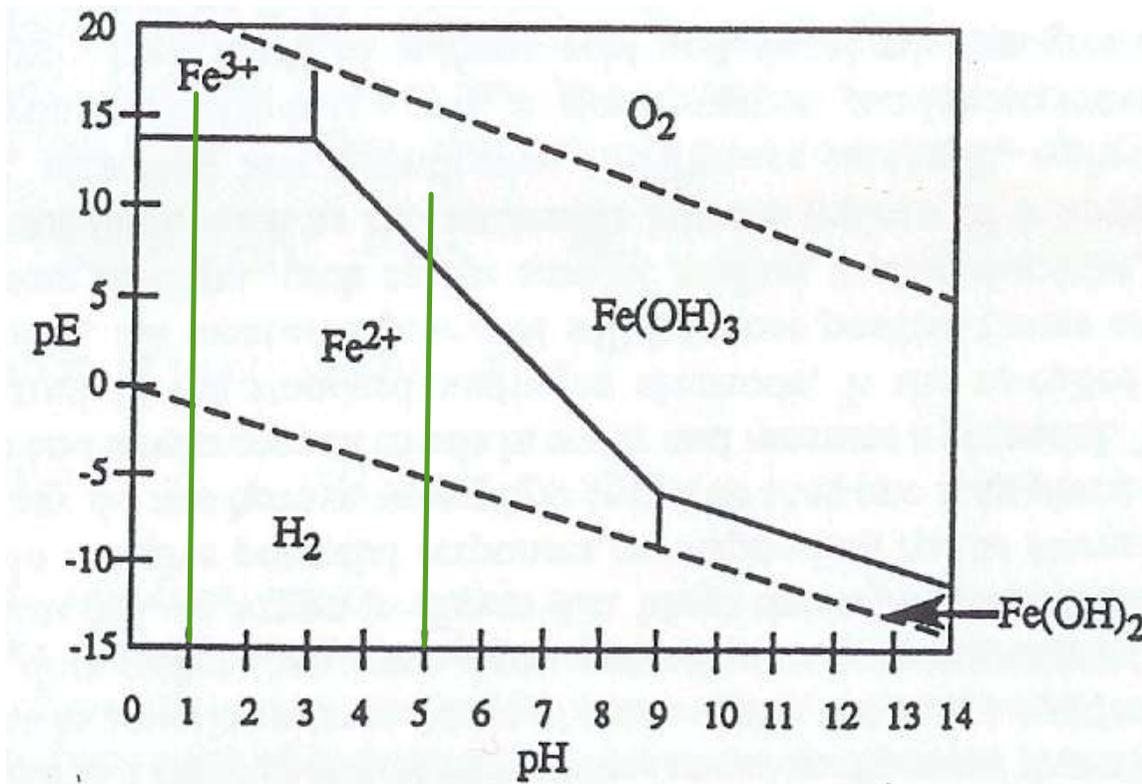


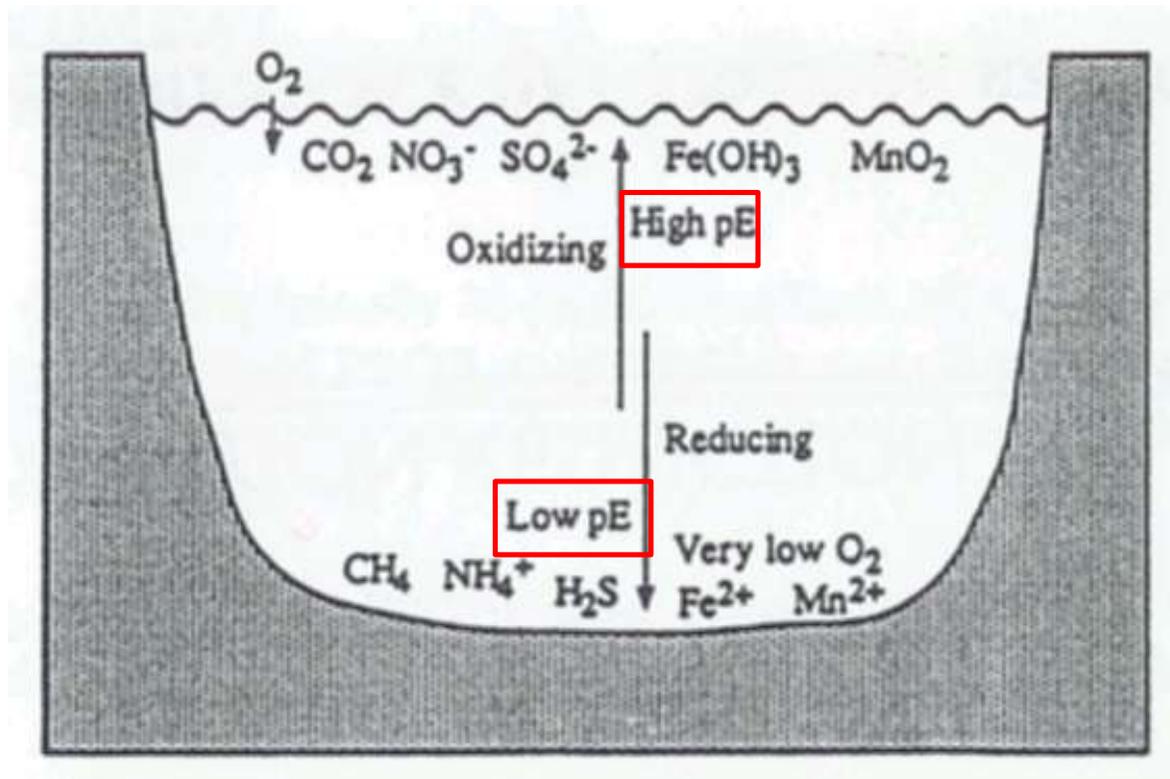
Etapa III (bactérias, pH inferior a 3)



## Diagrama pE-pH para o ferro na água (Diagrama de Pourbaix)

A concentração máxima de ferro solúvel é  $1 \times 10^{-5}$  M.





# Águas ácidas

Os factores importantes na formação de águas ácidas a partir de materiais rochosos que contêm pirite, são:

- o pH;
- a quantidade de oxigénio à superfície da pirite;
- a morfologia dos minerais sulfurosos presentes;
- a temperatura;

## Águas ácidas

- a remoção (evacuação) dos produtos de reação;
- a capacidade de neutralizar das rochas na área da reação;
- a humidade;
- a disponibilidade de dióxido de carbono;
- nutrientes;
- elementos vestigiais para existência de microorganismos;

## Problemas causados pela águas ácidas

- ▶ Os ecossistemas degradam-se podendo chegar a extinguir a vida aquática
- ▶ Impossibilidade de utilizar essas águas no abastecimento às populações:
  - ▶ água fortemente corrosiva
  - ▶ aumenta a solubilidade de outros metais tóxicos presentes
- ▶ Adsorção de catiões metálicos por parte dos sedimentos
- ▶ Contaminação de aquíferos

## Técnicas preventivas de formação de águas ácidas

- ▶ **Métodos de barreira** (tentam isolar a pirite do transporte hidrológico)
- ▶ **Métodos químicos** (modificam a composição química da água em contacto com os materiais rochosos e limitam as possibilidades de reação)
- ▶ **Métodos de inibição bacteriana** (rompem com o processo de oxidação cíclico catalisado biologicamente)

## Métodos de barreira

- ▶ **Revegetação dos terrenos** (ajuda a melhorar a qualidade da água pela compactação dos materiais que reduz a exposição da superfície da pirite à água e ao oxigénio; aumenta também a evapotranspiração e restringe a migração da água, e possivelmente também do oxigénio à zona da pirite; reduz até cerca de 50% a formação de águas ácidas mas deve ser complementada com outras técnicas)
- ▶ **Impedir o contacto com a água** (construção de barreiras físicas com materiais estéreis das minas, materiais sintéticos, argila)
- ▶ **Impedir o contacto com o oxigénio** (o oxigénio é necessário para a conversão de ferro (II) a ferro (III) e para a respiração das bactérias; para evitar o contacto com o ar recorre-se à inundação ou materiais que consomem oxigénio como lamas fecais tratadas)

## Métodos químicos

- ▶ **Adição alcalina** (neutralizam as águas ácidas e criam um ambiente desfavorável à oxidação da pirite)
  - ▶ as bactérias que oxidam o ferro requerem meio ácido para que a sua atividade seja ótima
  - ▶ a valores de pH próximos do neutro o ferro (III) precipita e pode cobrir a superfície da pirite e evitar que se oxide
  - ▶ na prática é colocar material alcalino
- ▶ **Fosfatos** (formação de fosfatos de ferro (II) e ferro (III) que diminui a superfície exposta e também o concentração de ferro que contribui para a formação das águas ácidas)

## Métodos de inibição bacteriana

- ▶ Surfactantes aniônicos e ácidos orgânicos (para diminuir a atividade da bactéria *Thiobacillus ferrooxidans*)

Exemplo: Sulfato Lauril de Sódio

Na prática, em vez de aplicar uma solução diluída de Sulfato Lauril de Sódio (25 ppm) que dura apenas uns meses, aplicar pastilhas. Mas é mais caro!

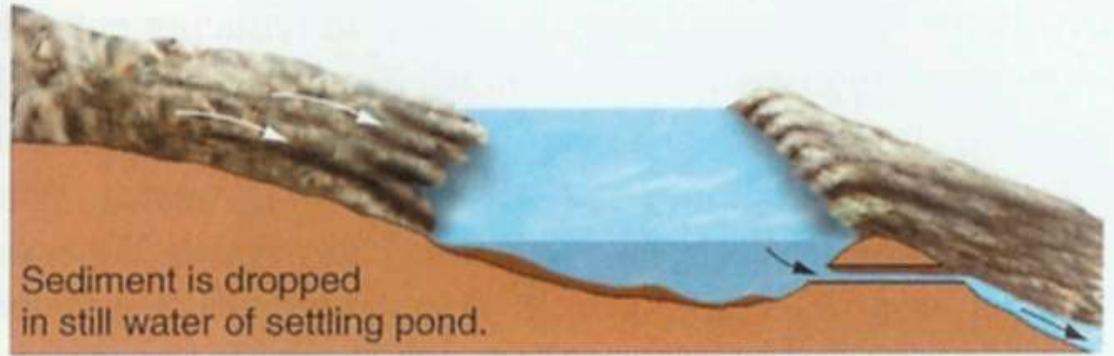
# Arejamento

(usado para aumentar a qualidade da água)

- ▶ Remover gases como  $H_2S$  e compostos orgânicos voláteis, com mau cheiro;
- ▶ Reações que produzem  $CO_2$ , proveniente dos compostos orgânicos mais facilmente oxidáveis;
- ▶ O aumento de oxigênio oxida o ferro (II) a ferro (III) presente na água, que depois precipita na forma de hidróxido de ferro (III) e pode ser removido;
- ▶ As partículas coloidais estão suspensas e não precipitam sendo necessário adicionar sulfato de ferro (III) ou sulfato de alumínio (associado ao consumo de hidróxidos, diminuindo o pH e ajudando a neutralizar águas alcalinas)



Surface runoff carries a suspended sediment load.

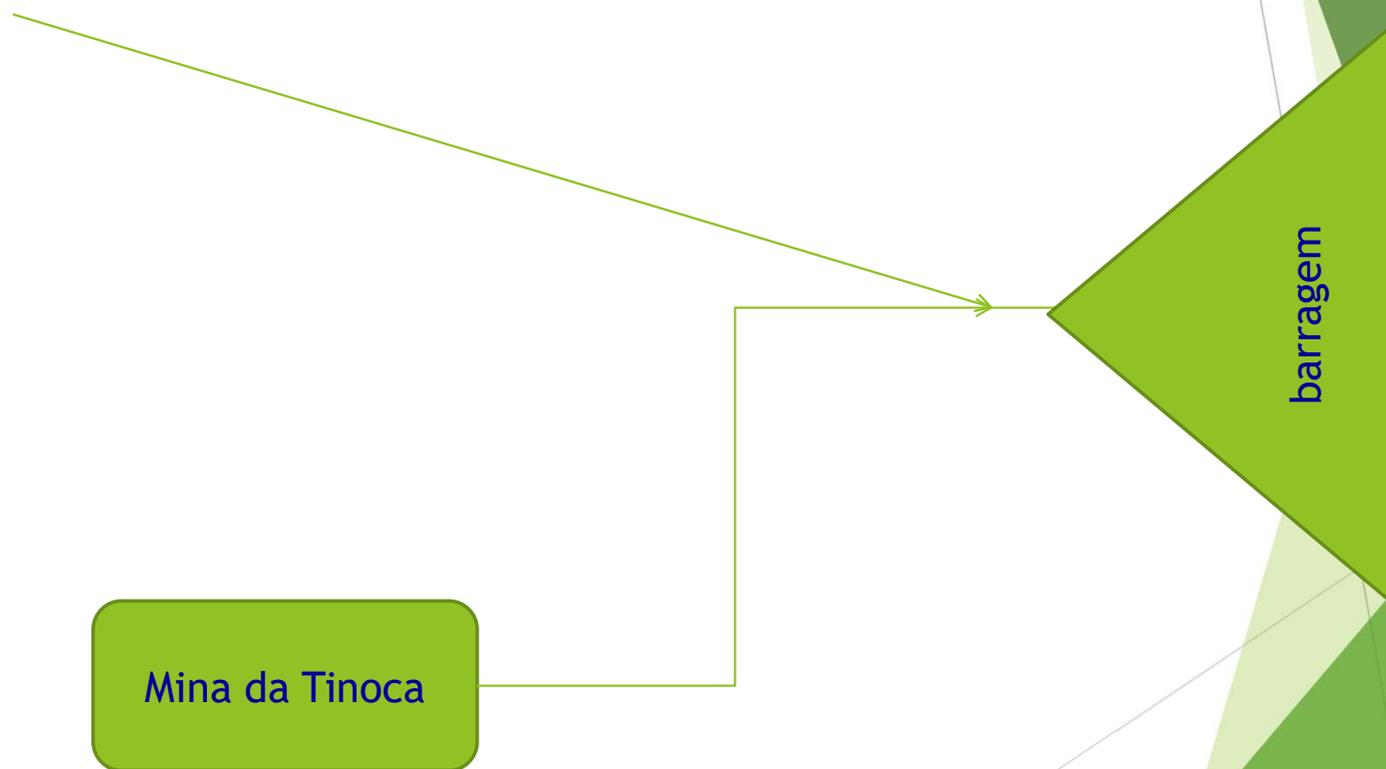


Sediment is dropped in still water of settling pond.

Outflow water is clear of suspended sediment.

# Mina da Tinoca

- ▶ Ribeira caga no ninho



**\*TABLE 8.1 Common Water Quality Problems**

Problem	Probable Cause	Correction
Mineral scale buildup	water hardness	water softener or hardness inhibitor (such as Calgon)
Rusty or black stains	iron and/or manganese	aeration/filtration; chlorination; remove source of Fe/Mn
Red-brown slime	iron bacteria	chlorination filtration unit; remove source of slime
Rotten-egg smell or taste	hydrogen sulfide and/or sulfate-reducing bacteria; low oxygen content	aeration; chlorination filtration unit; greensand filters
Salty taste	chloride—seawater or other saline water	reduce pumping to raise water table
Gastrointestinal diseases, typhoid fever, dysentery, and diarrhea	coliform bacteria and other pathogens from septic tanks or livestock yards	remove source of pollution; disinfect well; boil water; chlorinate; abandon well and relocate new well away from pollution source
Petroleum smell or film	fuel oil, diesel fuel, or lubricating oil	remove source of pollution

Source: D. Daly, "Groundwater Quality and Pollution" (Geological Survey of Ireland Circular 85-1, 1985), in J. E. Moore and others, *Ground Water: A Primer*, American Geological Institute, 1994.

# ECOMIN 2007

(Mine Water Decontamination)

- ▶ Reactive Phosphate Rock
- ▶ Reduction of Acid Generation Using Natural Phosphate Rock
- ▶ Reduction of Acid Generation
- ▶ Acid Reduction Using Microbiology
- ▶ Ferric Iron Removal

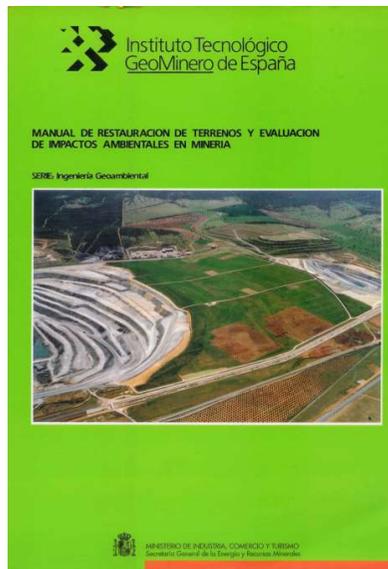


# ECOMIN 2007

## (Mine Water Decontamination)

- ▶ Tailings Cover by Hardpan Formation
- ▶ Floating Cattail Rafts
- ▶ Water Management
- ▶ Zinc Removal
- ▶ Nickel and Arsenic Removal from Waste Rock Seepage
- ▶ Radium Removal

# Bibliografia Recomendada e Comentada

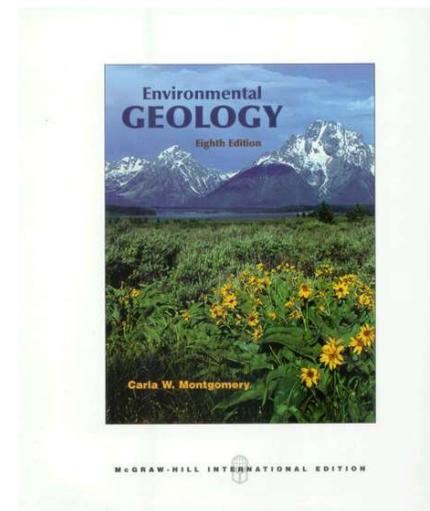


**Manual de Restauración de Terrenos y Evaluación de Impactos Ambientales en Minería, Serie: Ingeniería Geoambiental, 2ª Edición, Instituto Tecnológico GeoMinero de España, Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, 1989.**

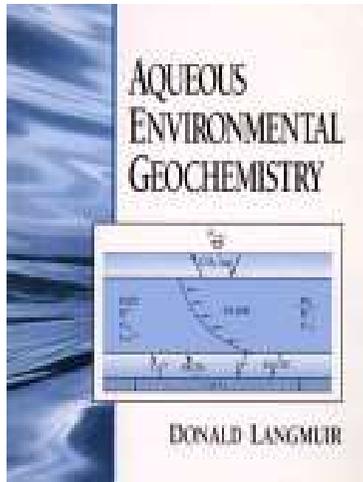
(Livro em espanhol, muito completo e bem escrito)

Carla W. Montgomery, **Environmental Geology**, McGraw-Hill, 2008.

(Livro em inglês, muito bom para adquirir conhecimentos sobre águas superficiais, poluição da água e sua descontaminação)

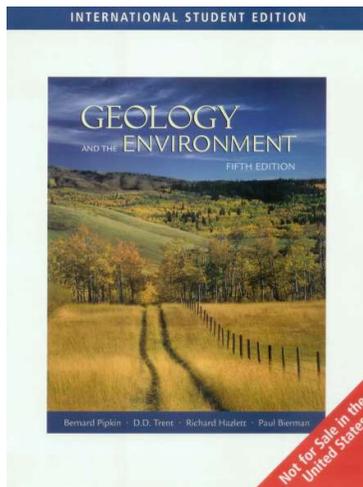


# Bibliografia Recomendada e Comentada



Donald Langmuir, **Aqueous Environmental Geochemistry**, Prentice Hall, 1997.

(Livro em inglês, bem escrito em especial para perceber conceitos como acidez e alcalinidade)



Bernard Pipkin, D.D. Trent, Richard Hazlett, Paul Bierman, **Geology and the Environment**, 5th Edition, Thomson, 2008.

(Livro em inglês, muito bom para adquirir conhecimentos básicos sobre a qualidade das águas superficiais)