

PMI-3328
Introdução ao Meio Ambiente e
Sustentabilidade na Mineração

Tema 3
Impactos da mineração sobre a
hidrosfera –
Parte C Drenagem ácida

Luis E. Sánchez

2023



Conteúdo

1. Mecanismos formadores de drenagem ácida
2. Prevenção e controle

L. E. Sánchez

O que é drenagem ácida ?



Bridgewater Canal, Worsley, Manchester, UK
Canal construído em 1803 para transporte de carvão, afetado por drenagem ácida de minas de carvão

Fonte: Review 63, Dec 2003

L. E. Sánchez

Pilha de estéril geradora de ácido



L. E. Sánchez

Pilha de estéril geradora de ácido



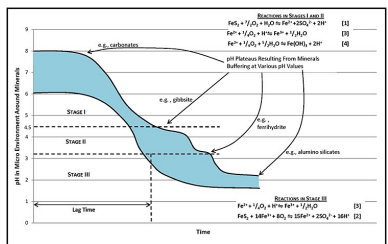
L. E. Sánchez

O que é drenagem ácida ?

- ❑ Oxidação de minerais sulfetados é um processo natural resultante da sua exposição em condições atmosféricas. Em minerações, este processo é acelerado quando grandes volumes de materiais ricos em sulfetos (normalmente estéreis ou rejeitos) são expostos
- ❑ **Drenagem ácida** resulta da oxidação de materiais sulfetados e podem gerar impactos ambientais adversos imediatos e a longo prazo

L. E. Sánchez

Estágios da formação de drenagem ácida

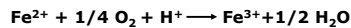


Estágio I: pH baixa lentamente porque acidez neutralizada por carbonatos
 Estágio II: a partir de pH 4,5 há aceleração por ação de bactérias
 Estágio III: dissolução de silicatos reduz a velocidade da reação

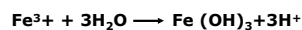
L. E. Sánchez

Mecanismos geradores da drenagem ácida (2)

2. Oxidação de Fe²⁺, produzindo Fe³⁺



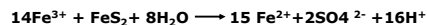
3. O Fe³⁺ se combina com o OH⁻ e se precipita na forma de hidróxido, aumentando ainda mais a acidez do meio.



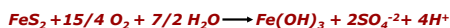
L. E. Sánchez

Mecanismos geradores da drenagem ácida (3)

4. Íons Fe³⁺ residuais reagem com a pirita, produzindo mais ácido:

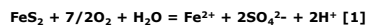


Representação combinada das reações:

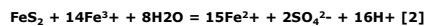


L. E. Sánchez

Reações principais

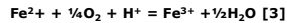


Ar e água são os principais oxidantes, mas na presença de Fe³⁺ dissolvido, a reação:



e desenvolvida, e como ela é de duas a três ordens de magnitude mais rápida que a reação [1], ela acelera a acidificação

Outras reações ocorrem, conforme ferro ferroso é oxidado a ferro férrico:



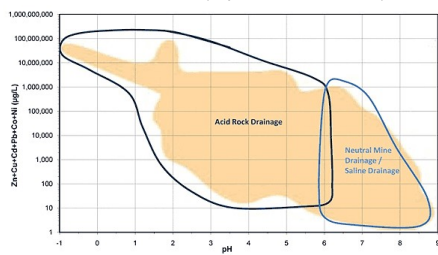
que, por sua vez, alimenta Fe³⁺ à reação [2], produzindo mais acidez (H⁺) e sulfato

(INAP, 2014)

L. E. Sánchez

Polição da águas: sulfato, ferro, outros metais

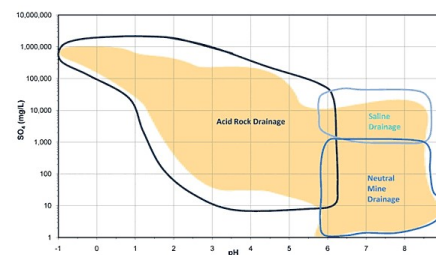
Ficklin Diagram Showing ARD, NMD, and SD as a Function of Dissolved Base Metal Concentrations (adapted from Plumlee et al., 1999)



L. E. Sánchez

Polição da águas: sulfato, ferro, outros metais

Diagram Showing ARD, NMD, and SD as a Function of Sulphate Concentrations



L. E. Sánchez

Drenagem ácida



Drenagem ácida em meio a pilhas de rejeitos de beneficiamento de carvão em Criciúma (SC)

PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

L. E. Sánchez

Drenagem ácida



Área de disposição de rejeitos de mineração de carvão em Rio Maina, SC

Notar a ausência de vegetação e a coloração da água do rio, devido à presença de ferro

PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

L. E. Sánchez

Fatores que influenciam a drenagem ácida

Fatores primários:

- Disponibilidade de água para oxidação e transporte;
- Disponibilidade de oxigênio;
- Características físicas do material;
- Temperatura.
- pH
- Atividades microbiológicas
- Equilíbrio de Fe^{2+}/Fe^{3+}

PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

L. E. Sánchez

Fatores que influenciam a drenagem ácida

Fatores secundários:

Presença de minerais que neutralizam a acidez. Ex: carbonato.

Fatores terciários:

- Clima: chuva (mecanismo de transporte) e temperatura.
- Natureza física da pilha de estéril: a média da geração de drenagem ácida é em função da área de sulfetos expostas na superfície. Além de estar relacionada a granulometria, dureza, resistência ao intemperismo e permeabilidade.
- Características químicas da água (alcalinidade)

PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

L. E. Sánchez

Cuidando da drenagem ácida

→ **Prevenção**
→ **Controle**

Primeiro passo: estudo do potencial gerador de ácido

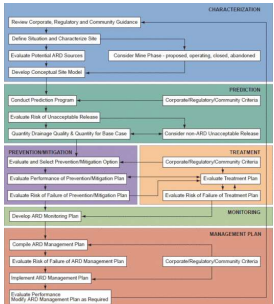
- estudo geológico
- caracterização mineralógica
- amostragem
- ensaios de laboratório
 - testes estáticos, e.g. *acid-base accounting*
 - testes dinâmicos (em colunas) – procuram reproduzir as condições de oxidação a que serão submetidos os estéréis e rejeitos

Segundo passo: projeto de disposição de estéréis e de disposição de rejeitos (ou de material excedente em obras civis)

PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

L. E. Sánchez

Cuidando da drenagem ácida



The flowchart is organized into four main stages:

- CHARACTERIZAÇÃO:** Review Corporate, Regulatory and Community Guidance; Define Structure and Characterize Site; Evaluate Chemical/AMD Sources; Develop Conceptual Site Model; Consider Mine Phase: proposed, operating, closed, abandoned.
- PREVISÃO:** Conduct Prediction Program; Evaluate Risk of Unacceptable Releases; Quantify Change: Quality & Quantity for Base Case; Consider non-AMD Unacceptable Releases; Corporate/Regulatory/Community Objectives.
- PREVENÇÃO TRATAMENTO:** Evaluate and Select Prevention/Mitigation Options; Evaluate Feasibility of Prevention/Obligation Plan; Evaluate Risk of Failure of Treatment Plan; Evaluate Risk of Failure of Treatment Plan; Corporate/Regulatory/Community Objectives.
- MONITORAMENTO GERENCIAMENTO:** Develop AMD Monitoring Plan; Complete AMD Management Plan; Evaluate Risk of Failure of AMD Management Plan; Implement AMD Management Plan; Corporate/Regulatory/Community Objectives; Evaluate Periodic Status; Update AMD Management Plan as Required.

fonte: The GARD Guide www.gardguide.com

PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração

L. E. Sánchez

Controle da drenagem ácida

Controle primário
 princípio: eliminar um ou mais componentes essenciais: sulfetos reativos, ar ou água

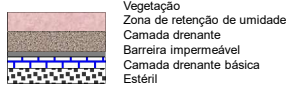
- ❑ **remoção ou isolamento de sulfetos**
 - flotação dos sulfetos e disposição separada
 - segregação de estéréis
- ❑ **exclusão de água**
 - uso de membranas sintéticas impermeáveis
- ❑ **exclusão de ar**
 - cobertura com água
 - cobertura com solo
 - cobertura com membranas sintéticas
 - cobertura com solo saturado

PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração
 POLI USP L. E. Sánchez

Controle da drenagem ácida

Controle secundário
 (controlar a migração das soluções ácidas)
 Princípio: minimizar a quantidade de água que entra no sistema (a massa de minério, estéril ou rejeito geradora de ácido), uma vez que a água é o principal agente de transporte de poluentes

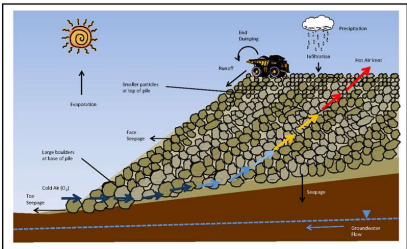
- ❑ **desvio da água de escoamento superficial**
- ❑ **interceptação e coleta de águas subterrâneas**
- ❑ **instalação de coberturas**



PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração
 POLI USP L. E. Sánchez

Controle da drenagem ácida

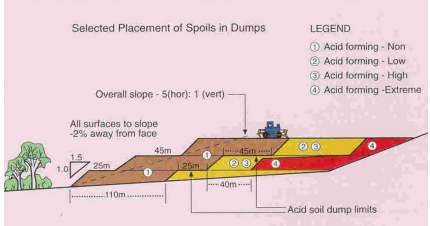
Pilha não controlada



PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração
 POLI USP L. E. Sánchez fonte: The GARD Guide www.gardguide.com

Controle secundário

Disposição controlada de estéréis



Selected Placement of Spoils in Dumps

Overall slope - 5(hor): 1 (vert)

All surfaces to slope -2% away from face

Acid soil dump limits

LEGEND

- ① Acid forming - Non
- ② Acid forming - Low
- ③ Acid forming - High
- ④ Acid forming - Extreme

PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração
 POLI USP L. E. Sánchez

Controle da drenagem ácida

Controle terciário
 (coleta e tratamento de soluções ácidas)
 Princípio: ação corretiva

- ❑ **tratamento ativo**
 - requerem operação e manutenção contínuas
 - baseiam-se na neutralização do ácido e precipitação dos metais = adição de solução de NaOH
- ❑ **tratamento passivo**
 - "funcionam sozinhos"
 - tentam reproduzir processos naturais que ocorrem em áreas alagadiças

PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração
 POLI USP L. E. Sánchez

Rejeitos geradores de ácido submersos



PMI-3328 Introdução ao Meio Ambiente e a Sustentabilidade na Mineração
 POLI USP L. E. Sánchez

Sistemas de tratamento passivo: *Wetlands*

- Figuras wetlands

Objetivos de aprendizagem

- Conhecer as condições de ocorrência de drenagem ácida em minas
- Conhecer as principais abordagens para prevenção e controle de drenagem ácida