



Cobertura de Pilha de Estéril em Climas Semi-áridos

Waste Cells Cover In Semi-arid Climate

Flávio de Moraes Vasconcelos Ph.D. e
Nathália Augusta Ferreira Sales Coutinho
/Hidrogeo Eng. & Gest. de Proj. Ltda;
Michael Milczarek/ GSA – Geosystems Analysis,
Inc.;
Rodrigo D. Santos/ Equinox Gold;
Luiz Fregadolli/Equinox Gold.

Belo Horizonte, 25 de Novembro de 2021

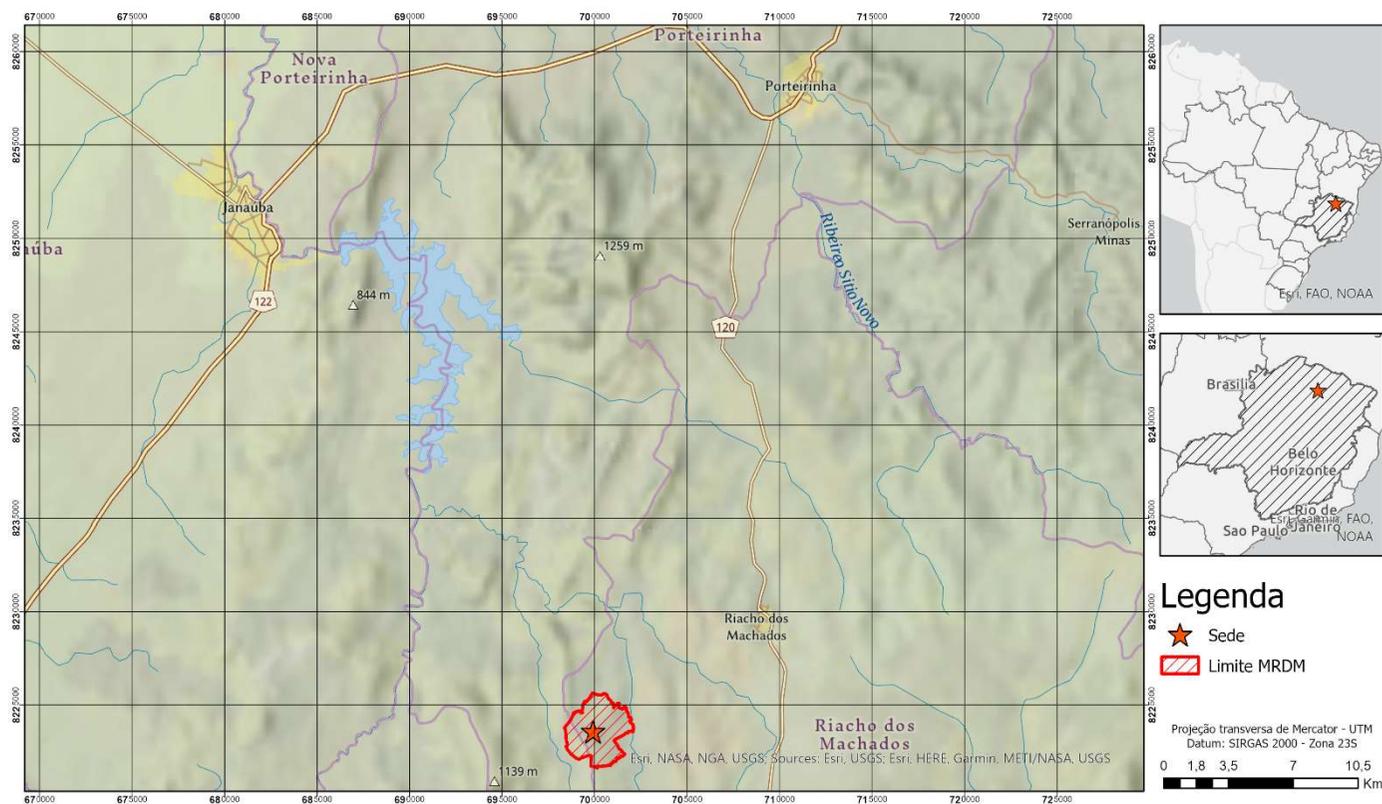


1º CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINA
1ST LATIN AMERICAN ACID MINE DRAINAGE CONGRESS
1^{ER} CONGRESSO LATINOAMERICANO DE DRENAJE ÁCIDO DE MINA



1. INTRODUÇÃO

- **MRDM - Mineração Riacho dos Machados, localizada a cerca de 580 km de Belo Horizonte, ao norte do Estado de Minas Gerais.**





1. INTRODUÇÃO

Desde 2010 – Investigação do potencial de reatividade das pilhas de estéril e minério de baixo teor

Reatividade dos materiais movimentados – Qual será a geração de drenagem ácida?
Haverá lixiviação de metais nas pilhas?

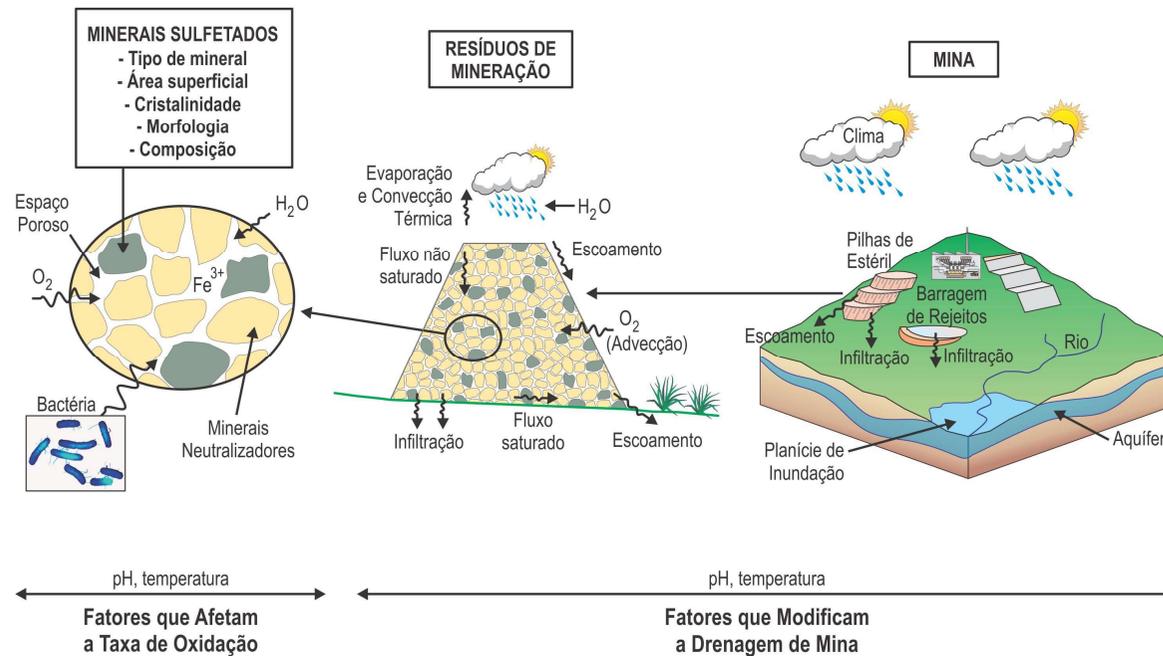


Figura 1: Representação esquemática do processo de geração de DAM (INAP, 2009).



1. INTRODUÇÃO

- **Controle de geração de drenagem ácida e dos seus efeitos** - prevenção e/ou remediação;
- Sistema de cobertura sobre o material sulfetado:
 - Emprego de camadas de solo, materiais sintéticos ou através de uma disposição controlada a fim de garantir a estabilidade química do meio;
 - Visa controlar principalmente o contato do material com a água, agente lixiviante dos minerais presentes, responsável por produzir um percolado rico em metais dissolvidos e acidez;
- Como determinar a melhor alternativa?: avaliar as características de cada ambiente, como potencial de geração de acidez do material, topografia, clima, e a disponibilidade de recursos técnicos e financeiros;



2. OBJETIVOS

- Apresentar os aspectos fundamentais de uma modelagem conceitual e numérica para o desenvolvimento de um trabalho de cobertura de pilhas em climas semi-áridos (PAC, 2017).
- Avaliar *designs* de cobertura de diferentes aspectos físicos.



3. METODOLOGIA

- **Definição dos aspectos gerais da modelagem de cobertura de pilha.**
 - Desempenho de um sistema de cobertura depende de suas propriedades de percolação e de estabilidade/integridade do(s) solo(s) empregado(s) - propriedades físicas e hidráulicas, da integridade da cobertura no longo prazo, do clima e da natureza e tipo da cobertura vegetal.
 - Sistemas de cobertura com solo
 - **Convencionais (ou prescritivos):** camadas de solo com baixa condutividade hidráulica, a fim de minimizar a infiltração e maximizar o escoamento superficial e a evapotranspiração
 - **Alternativos (ou evapotranspirativos):** camada de solo apropriado para o plantio, sobreposta a uma camada de solo pouco compactado



3. METODOLOGIA

- *Cenários avaliados (PAC, 2019)*
 - **Cenário 1:** pilha sem cobertura, sendo o estéril depositado de forma controlada (realização da segregação dos materiais);
 - **Cenário 2:** implantação de cobertura prescritiva, a partir da utilização de uma camada de barreira hidráulica convencional. Além da barreira hidráulica, considerou-se ainda a existência de uma camada de material granular (estéril limpo) no topo do sistema de cobertura;
 - **Cenário 3:** foi definido um modelo conceitual de cobertura evapotranspirativa com uma camada de solo apropriado para o plantio, sobreposta a uma camada de solo pouco compactado, cuja função é armazenar a água que infiltra durante os períodos chuvosos, liberando-a durante os períodos de seca.



2. METODOLOGIA

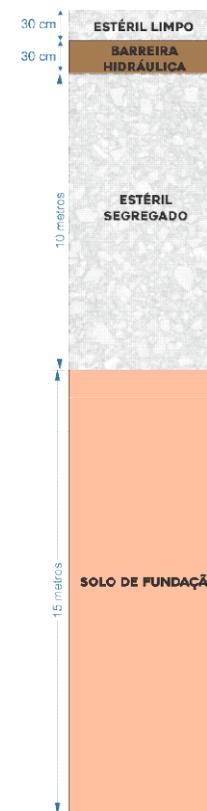
- Cenários considerados:
 - A. Sem cobertura: exposição direta do material estéril Franco à atmosfera;
 - B. 30 cm de um solo de baixa permeabilidade (barreira hidráulica) sobre o material Franco e 30 cm de uma cobertura limpa de estéril superficial sobre a barreira hidráulica;
 - C. Utilização de solo local com alta permeabilidade e apropriado para o plantio – modelo conceitual, descartado.

CENÁRIO 1 - PILHA DE ESTÉRIL FRANCO SEM COBERTURA



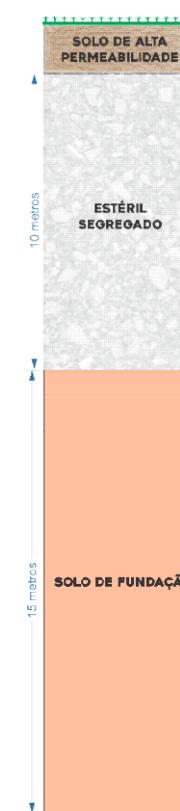
A.

CENÁRIO 2 - BARREIRA HIDRÁULICA CONVENCIONAL



B.

CENÁRIO 3 - UTILIZAÇÃO DE SOLO LOCAL E APROPRIADO PARA O PLANTIO



sem escala

C.



3. METODOLOGIA

- *Modelagem numérica*
 - Parâmetros considerados na modelagem
 - VADOSE/W - software do pacote GeoStudio 2012
 - Modelagem numérica dos cenários 1 e 2
 - Análise numérica de sistemas de fluxo líquido em meios porosos
 - Utiliza parâmetros climáticos, de vegetação e geotécnicos
 - **Parâmetros climáticos:** precipitação, radiação, umidade relativa, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento, foram obtidos no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) - Estação convencional JANAÚBA (Código 83395) observados no ano em que a precipitação atingiu o maior valor, 1992.
 - **Parâmetros geotécnicos dos materiais:** estéril, fundação e materiais de cobertura
 - Não foram considerados os dados de vegetação.



4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

- Definição dos aspectos gerais da modelagem e cenários avaliados
 - **Primeiro cenário avaliado:** comportamento da pilha através de uma disposição controlada e confinando o material sulfetado no interior da massa de estéril. Modelamento.
 - **Segundo cenário avaliado:** respresenta o tipo de coberturas prescritiva com camadas de solo com baixa condutividade hidráulica. Modelamento.
 - **Terceiro cenário avaliado:** representa o tipo de cobertura evapotranspirativa, que é formado por uma camada de solo apropriado para o plantio, sobreposta a uma camada de solo pouco compactado. Conceitual.
- Seção de análise
 - Modelo unidimensional.
 - Simulação 1D, modelo simplificado para a avaliação das condições de fluxo d'água nas porções mais baixas da pilha.



4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

- *Software de modelagem*
 - *Parametrização do material*

Estéril Franco: o tamanho das partículas D_{60} e D_{10} foi estimado em 0,5 mm e 0,022 mm, respectivamente, indicando tratar-se de uma areia fina; a curva característica da umidade do solo (SWCC) parece representativa de um material semelhante a areia, mas a condutividade hidráulica saturada atribuída ($K_{sat} = 2 \times 10^{-5}$ cm/s) está na extremidade inferior e pode ser subestimada por uma ou mais ordens de magnitude.



4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

- *Software de modelagem*

- *Parametrização do material*

Barreira Hidráulica: à camada de baixa permeabilidade no Cenário 2 foi atribuído um valor K_{sat} de $1,15 \times 10^{-6}$ cm/s, valor razoável para um material de argila, que pode ser muito afetado pela estação seca prolongada na região e o potencial que a vegetação estabelecerá na cobertura.

Fundação: constituído por um granito-gnaiss residual. O K_{sat} e o θ_{sat} atribuídos à fundação são representativos de um solo de granulação fina; no entanto, o valor de θ_{res} sugere uma rocha fraturada.

- Resultados da modelagem



4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

- *Software de modelagem*
 - Resultados da modelagem

Cenário	Tempo (Dias)	Precipitação Acumulada (m3)	Run off Acumulado (m ³)	Evaporação Acumulada (m ³)	Infiltração Acumulada (m ³)
1*	365	1,315	0,606	0,408	0,301
2*	365	1,315	0,876	0,386	0,052

*Modelamento por software

Fonte: Pimenta de Ávila, 2017

3	Avaliação apenas conceitual. A presença de vegetação no entorno da pilha indica que deve ser considerada uma cobertura evapotranspirativa.
---	--



4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

- *Aspectos técnicos a serem considerados.*
 - Vegetação do clima semi-árido
 - Uso de estações meteorológicas mais próximas das áreas de interesse é um importante aspecto a ser considerado em modelagens numéricas;
 - Considerar série histórica de dados pluviométricos mais longas possíveis, uma avaliação típica deve ter de 50 a 100 anos de dados;





5. CONCLUSÕES

- Eficácia na redução da taxa de infiltração de água na pilha, em razão da implantação do sistema de cobertura, empregando-se solo argiloso com baixa permeabilidade;
- O volume de água infiltrado no Cenário 2 foi cerca de 83% menor do que aquele infiltrado no Cenário 1;
- A avaliação dos dados climáticos da região, em condições simuladas a partir dos parâmetros de entrada utilizados, permitiu conhecer a ocorrência de solos apropriados para plantio, usados em uma cobertura evapotranspirativa.



1º CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINA
1ST LATIN AMERICAN ACID MINE DRAINAGE CONGRESS
1^{ER} CONGRESO LATINOAMERICANO DE DRENAJE ÁCIDO DE MINA



6. Agradecimentos:

- A Equinox Gold – por permitir a apresentação deste trabalho;
- A todos os técnicos que participaram da elaboração desta consultoria;
- A comissão técnica e científica do CLADAM que aprovou o trabalho para ser apresentado.