

3. Predição do Potencial da Drenagem Ácida

3.1. Importância da Predição do Potencial de Geração Ácida

A predição do potencial de geração ácida e da lixiviação de metais são ferramentas que auxiliam na planificação de métodos de proteção do meio ambiente. A identificação prematura do potencial de gerar acidez de um determinado tipo de rocha, ou componente de mina, permite o planejamento e a incorporação de medidas de controle, para os manejos adequados de rejeitos e estéreis conseguindo reduzir, de maneira considerável, problemas ambientais a longo prazo, assim como a eliminação de custos não necessários de futuras medidas corretivas, ou de obrigações financeiras de manter instalações com processos de tratamento de rejeitos por longos períodos (por exemplo, manter uma instalação de tratamento químico).

A predição da DAM pretende apresentar o diagnóstico do comportamento de sistemas naturais complexos, que varia para cada tipo de jazida e para cada tipo de rocha em uma mesma jazida, não existindo portanto uma única metodologia com um único conjunto de testes ou número de amostras, que garanta a predição absoluta da DAM.

A compreensão dos fatores físico-químicos que controlam a DAM e das técnicas de predição nos permite identificar focos potenciais de geração de acidez, assim como fazer uma estimativa da qualidade da água de drenagem para períodos de curto e longo prazo.

Atualmente os modelos de predição de qualidade da drenagem são semi-empíricos, dependendo de parâmetros obtidos em laboratório a partir de simulações de reações de geração de acidez para as bacias e pilhas de rejeitos, e de estimativas da qualidade de drenagem com amostras representativas da rocha. Os resultados obtidos no laboratório são extrapolados para as condições de campo, tendo como base a interpretação adequada da relação entre os valores dos testes de laboratório e das

condições de campo bem como dos fatores físicos-químicos que controlam a DAM. (Summers e Bonelli, 1997).

O programa de predição depende principalmente dos métodos utilizados para determinar a relação entre o potencial de geração de acidez dos sulfetos contidos na rocha com o potencial de neutralização dos minerais alcalinos contidos nessa mesma rocha, para neutralizar a acidez. Um outro parâmetro que se deve levar em consideração é a determinação das taxas relativas das reações. Essas taxas relativas de reação são definidas como a taxa de liberação de acidez proveniente da oxidação dos sulfetos, taxa de liberação da alcalinidade da dissolução do carbonato, e a taxa de neutralização da acidez pelo carbonato. A compreensão dos mecanismos dessas reações, considerando as condições específicas de cada região, ajudarão no desenvolvimento dos programas de predição (Mend Program, 1991).

3.1.1. Objetivos da Predição

Os principais objetivos num programa de predição são os seguintes:

- caracterização da rocha - para identificar o potencial de geração de acidez e/ou de lixiviação. Identificação das características geoquímicas da rocha;
- predição de qualidade da água de drenagem. Determinar as características da água de drenagem.

Os objetivos específicos de um programa de testes de predição, dependem principalmente do tipo de jazida e de sua fase de operação. Os objetivos específicos de um programa de predição podem incluir:

- Identificação de todo o material potencialmente gerador de acidez.
- Identificação de todas as fontes potenciais contaminantes da água de drenagem.
- Determinação dos componentes da jazida que ocasionam a DAM
- Avaliação das medidas de controle.
- Projeto de gerenciamento do manejo da água, rejeitos e estéreis.

3.2 Principais Etapas da Predição

A predição da DAM pode ser baseada em uma, ou mais, das seguintes etapas:

- Definição dos objetivos.
- Identificação dos componentes da região e da geologia de cada um destes.
- Comparações geográficas e geológicas das minerações próximas às jazidas estudadas.
- Planejamento e implementação de um programa de amostragem, em consulta com o geólogo do projeto.
- Análises químicas, físicas e mineralógicas dos rejeitos e estéreis. Entre as principais análises químicas tem-se o método estático que é utilizado na quantificação do balanço entre a produção e o consumo de ácido na amostra;
- Análises mineralógicas para caracterização da rocha, e finalmente o desenvolvimento de métodos cinéticos empregados na determinação da taxa de dissolução de minerais, da geração de ácido e da liberação de metais obtendo-se a qualidade da água.
- Interpretação dos resultados.
- Modelos matemáticos (de especiação química, de balanço e de transporte de massa).
- Identificação das medidas de controle, caso seja necessário repetir a amostragem e realização de testes adicionais.

Os aspectos para a predição da DAM podem depender, em particular, das etapas do projeto mineiro (Mend Program, 1991 e Summers e Bonelli, 1997). Por exemplo, para o caso de Canadá, uma descrição detalhada do procedimento de avaliação da drenagem ácida nas etapas iniciais de exploração, que deve de ser incluída na avaliação de impacto ambiental de um projeto, pode ser observada na Figura 6.

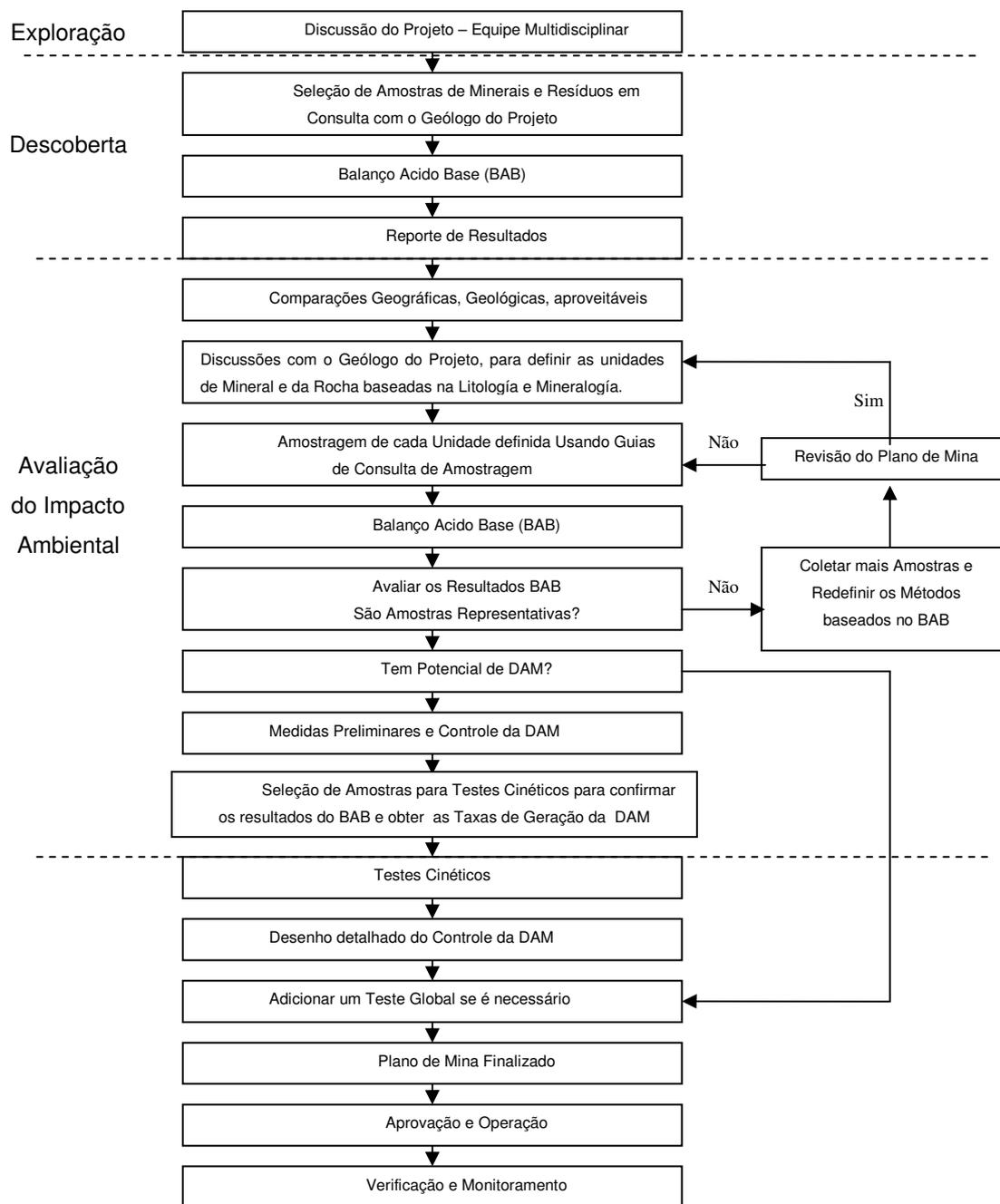


Figura 6. Procedimento para avaliar o potencial da DAM (AMD, 1989).

3.2.1 Comparações Geográficas e Geológicas

Nas primeiras etapas de avaliação do potencial da DAM podem ser proveitosas as comparações com outras áreas da jazida, ou com outras minas de localização geológica e geográfica similar. Apesar destas comparações não serem suficientes para determinar, de maneira definitiva, o potencial de DAM, elas nos permitirão ter um indício da possibilidade que um problema de DAM possa ou não se apresentar.

Comparações geológicas podem proporcionar um indício preliminar do potencial de geração de acidez. Este tipo de comparação baseia-se na suposição de que paleo-ambientes similares originam características geológicas e mineralógicas semelhantes, com similares potenciais de oxidação e de lixiviação de metais, devido às condições climatológicas semelhantes. Estas comparações também podem ser utilizadas para determinar a efetividade de diferentes medidas de controle.

Estas comparações geológicas podem apresentar uma grande utilidade, especialmente quando se aplicam a uma jazida específica, porém deve-se ter cuidado ao comparar unidades geológicas similares de jazidas diferentes. Existe um número de fatores, como a natureza geológica e mineralógica da rocha entre outros, que controlam a velocidade de lixiviação dos metais e da geração de acidez (temperatura, precipitação, períodos de secas ou de chuvas), que podem variar segundo a localização da jazida. Estas influências climáticas e topográficas podem fazer com que a comparação de qualidade da água de drenagem de diferentes locais não seja útil.

Para realizar comparações baseadas na geologia e na mineralogia da jazida ou de um tipo específico de rocha deve se ter uma base comum, com características similares, de comparação. A classificação deverá considerar em conta a abundância relativa de mineralização, o estado de oxidação dos minerais, o tipo de sulfetos (mineralogia, estrutura e tamanho de cristais). (Mend Program, 1991 ; Summers e Bonelli, 1997).

3.2.2. Amostragem

O planejamento de um programa de amostragem eficiente e completo provavelmente, deve ser a etapa mais importante na predição.

Métodos de amostragem utilizados para minas novas (em desenvolvimento) e para minas antigas diferem totalmente, pois geralmente estas apresentam problemas e requerimentos diferentes.

Para minas novas, a principal preocupação é o potencial das condições de geração de ácido que possam se desenvolver e, se a DAM é possível, assim como a efetividade das medidas de controle alternativas, a predição de qualidade da água de drenagem, e as cargas contaminantes para longos períodos no futuro. As amostras devem ser representativas de todas as unidades geológicas (litológicas) relacionadas com o plano de desenvolvimento da mina. É necessário caracterizar todas as unidades de rocha com características geoquímicas diferentes e, portanto, gerar diferentes qualidades da água. A ênfase da predição está em encontrar as fontes possíveis, ou prováveis da DAM.

Em minas antigas, a DAM com frequência encontra-se estabelecida e proporciona uma clara demonstração do comportamento do material, assim como das cargas e concentrações dos contaminantes no ambiente. As dúvidas estão relacionadas à quantidade de produtos ácidos armazenados nos rejeitos e estéreis produzidos (disponíveis para a lixiviação), e a maneira com que a produção futura destes rejeitos e estéreis será comparada com os rejeitos e estéreis já produzidos, para avaliar a escolha do método de predição. (Mend Program, 1991; EPA, 1994). Sendo também importante a identificação de material que possa contribuir com a alcalinidade ou que sejam quimicamente inertes (Summers e Bonelli, 1997).

A Tabela 2 apresenta, de maneira comparativa, uma lista das informações necessárias (segundo as amostras) para uma predição de potencial de drenagem ácida.

Tabela 2. Fonte de informação para a predição do potencial de drenagem ácida.

Fonte de informação para predizer o potencial de drenagem ácida		
Informação	Mina nova	Mina em operação
Classificação de rocha de mina.	<ul style="list-style-type: none"> • Exposição de afloramento. • Registros de amostras de perfuração . • Amostragem de exploração por lotes. • Seções geológicas. • Ensaio com testemunhos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Exposições por escavação e afloramento. • Testemunho de perfuração. • Amostragem de produção. • Ensaio com testemunhos. • Amostragem específica da área de trabalho, pilhas de estéreis.
Distribuição de rochas na mina	Planificação de mina.	<ul style="list-style-type: none"> • Planificação de mina. • Registros de armazenamento ou empilhamento de rocha de mina. • Planos e exposições em cava de mina e subterrâneos. • Estudo de pilhas de rejeitos • Perfuração de pilha e amostragem
Geração de ácido, potencial de lixiviação.	<ul style="list-style-type: none"> • Provas estáticas. • Extrações de lixiviação de curto prazo. • Mineralogia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Observação de testemunhos antigos. • Coleta de amostra no campo. • Provas estáticas das distintas subunidades das áreas de trabalho
Qualidade da água de drenagem.	<ul style="list-style-type: none"> • Provas cinéticas, qualidade da água de referência. 	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoramento regular. • Provas cinéticas. • Extração do lixiviado.

Fonte: (EPA, 1994).

3.2.3 Métodos para avaliar o potencial de Drenagem Ácida

Diversos métodos que podem ser utilizados para a avaliação e predição do potencial de drenagem ácida e nos últimos anos foram publicados em alguns manuais (Mend Program 1991; EPA, 1994; ADTI 2002) tais métodos foram desenvolvidos a partir de experiências e pesquisas voltadas a predição da DAM nas últimas décadas. Os diversos métodos de predição de DAM podem ser classificados em:

- Métodos Estáticos, para determinar as propriedades geoquímicas (potencial para gerar acidez e potencial de neutralização) do material;
- Métodos Cinéticos, para determinar o comportamento geoquímico do material no tempo e a determinação dos componentes solúveis.

3.2.3.1 Métodos Estáticos

Propósito

O principal objetivo do método estático é a caracterização do potencial de geração de ácido de uma amostra. Geralmente este método é utilizado em uma primeira etapa em todo programa de testes de determinação de potencial de DAM. São métodos simples e de custos relativamente baixos. Muitos destes métodos podem ser utilizados na caracterização do material para realizar a seleção de amostras para métodos posteriores (cinéticos). Um método estático define o balanço entre minerais potencialmente geradores de acidez e aqueles potencialmente consumidores de acidez de uma amostra. Minerais que produzem ácido em geral são sulfetos reativos. Os carbonatos são os principais minerais que consomem ácido.

Principais Métodos Estáticos

Entre os principais métodos estáticos tem-se:

- Balanço ácido Base (método Sobek);
- Balanço ácido Base modificado;
- Teste de pesquisa inicial British Columbia (B.C.);
- Produção de ácido apurado.

3.2.3.2 Métodos Cinéticos

Objetivo

Estes métodos têm como finalidade confirmar o potencial de geração de acidez e prever a qualidade da água de drenagem a longo prazo. A metodologia consiste em submeter as amostras ao intemperismo sob condições controladas de laboratório, ou em condições similares às da local de disposição do mineiro, com o objetivo de determinar as velocidades de geração de acidez, de oxidação de sulfetos e de neutralização.

Geralmente, o método cinético se inicia após a realização do método estático em um programa de predição ou de avaliação da jazida. O método estático proporciona informações sobre as características da rocha e do potencial de geração de acidez de maneira independente do tempo; porém os métodos cinéticos conseguem oferecer uma alternativa para examinar as velocidades de reação, tanto para a dissolução de metais como para a geração de acidez, para certas condições específicas.

Predições a longo prazo da qualidade de drenagem ácida tornaram-se possíveis com o auxílio de modelos matemáticos quantitativos que podem extrapolar resultados após o tempo de desenvolvimento dos testes. A quantidade das amostras assim como o número de testes necessários dependerá dos objetivos do programa de predição. Procedimentos de métodos cinéticos em uma mina nova são realizados com os seguintes objetivos:

- validar resultados obtidos nos métodos estáticos;
- comparar o comportamento da lixiviação dos diferentes tipos ou classes de rocha na mina;
- prever a qualidade da água de drenagem dos tipos de rocha e pilha de estéril;
- selecionar e/ou confirmar as opções de disposição e controle;
- representar as condições do lugar para determinar os fatores que controlam a DAM e proporcionar assim os dados primários para a confecção do modelo matemático (Summers e Bonelli, 1997).

Numa mina em operação, um programa de predição pode ser utilizado para:

- a extensão e os produtos de oxidação armazenados na pilha de estéril, com a finalidade de estimar o potencial de lixiviação e liberação de contaminantes a longo prazo.
- a efetividade das medidas de controle;
- a qualidade da água de drenagem.

Um programa de predição bem estruturado pode medir não somente a magnitude de um problema de geração de contaminantes já existente, mas também o potencial e a velocidade futura da contaminação. Estas informações são necessárias para determinar os procedimentos para o fechamento de uma mina, seus custos ou planejar melhorias nos programas de controle.

Na seleção das amostras devem se considerar os seguintes fatores:

- amostras que apresentem componentes facilmente solúveis;
- amostras que não se consegue definir, de maneira clara, como geradoras ou consumidoras de acidez;
- amostras consumidoras de ácido para comprovar o potencial de consumo de ácido;
- amostras geradoras de ácido selecionadas para avaliar a liberação de contaminantes e suas medidas de controle.

Principais Métodos Cinéticos

Existem diversos métodos cinéticos disponíveis para a predição da DAM, variando consideravelmente entre eles a complexidade, tempo de duração, custos e tipo dos resultados. Dentre os principais métodos cinéticos podemos citar:

- confirmação de pesquisa B.C;
- células úmidas;
- colunas de lixiviação

Os métodos cinéticos de predição reproduzem em curto prazo a partir de fenômenos que acontecem na realidade, em períodos longos de tempo.

A dificuldade para selecionar um método cinético consiste basicamente na reprodução das reais condições de campo dos testes. Em qualquer caso, o método apresenta uma avaliação de curta duração de tempo ou proporciona condições aceleradas de oxidação.

Condições aceleradas podem ser obtidas mediante a adição de bactérias (método de confirmação de pesquisa B.C.), ou submetendo a amostra a ciclos contínuos de fluxo de ar seco e de ar úmido, com adição posterior de água destilada para lixiviar os produtos da oxidação (célula úmida e colunas de lixiviação). A Tabela 3, apresenta um resumo dos principais métodos cinéticos.

Um dos métodos cinéticos mais conhecidos é o método das colunas de lixiviação, o qual permite simular o intemperismo dos estéreis (deposito de rejeitos e pilhas de estéreis) ou a inundação dos rejeitos (bacia de rejeitos).

Os principais parâmetros que indicam a variação de geração de acidez em função do tempo são:

- pH: No caso que o pH se encontre numa faixa acima de 5,0 a 5,5 indica que não será geradora de acidez, mais se o pH apresenta valores abaixo de 5,0 a 5,5 se terá que as bactérias ferro oxidantes terão uma ação importante. Para a faixa de 3 a 5 se terá uma amostra geradora de ácido.
- Eh: Se os valores de Eh encontrados são < 400 mV indica que a geração da DAM encontra-se no seus estágios iniciais. Valores de Eh > 450 mV indicam um ambiente com forte oxidação e influencia das bactérias ferro oxidantes no processo de oxidação. Para Eh acima de 500 mV se teria que aoxidação dos sulfetos pelo íon férrico é significativa.
- Condutividade: Quantifica a facilidade com a que um elemento conduz uma corrente elétrica, ela reflete a presença de iones na solução (metais dissolvidos e outras espécies presentes). Valores altos de condutividade indicam que a DAM esta acontecendo.

- Sulfato: É um produto da oxidação completa do sulfeto e pode ser um indicativo da velocidade da oxidação dos sulfetos e da geração de ácido. Elevados valores de SO_4^{-2} presentes na solução indicariam uma forte geração de ácido mesmo tendo um pH neutro devido a alcalinidade dos carbonatos.
- Acidez: É uma medida acumulativa de diversas espécies aquosas como o $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$, Al^{3+} . Assim a acidez poderia ser utilizada como um parâmetro indicador para quantificar, de maneira grossa, o estado do processo de geração de ácido (Mend Programa, 1991).

De acordo como o método das colunas de lixiviação, deve - se utilizar amostras com diferentes tamanhos de partículas. Este método é muito utilizado para testar projetos de coberturas apropriadas e de misturas de rocha (medidas de controle) para prevenir a geração da DAM (Summers e Bonelli, 1997).

Tabela 3. Sumário de alguns Métodos cinéticos, vantagens e desvantagens.

Confirmação de pesquisa da BC	Células Úmidas	Testes de Colunas
<u>Sumario de Métodos de Teste</u>		
Tamanho de partícula < 400 mesh 15 a 30 g. da amostra é submetida a uma solução com atividade de bactérias, a pH 2,2 a 2,5 a T= 35 ⁰ C Se o pH incrementa não gerara DAM; porém se o diminui a metade da amostra original é agregada	Tamanho de partícula < 2,38 mm 200 g de rocha exposta por três dias ao ar úmido, três dias ao ar seco, e posteriormente é lixiviado com 200 mL de água deionizada por um dia.	Tamanho de partícula variável. Colunas que contém a amostra de mina são lixiviadas (com volumes pequenos ou recirculação de soluções).
<u>Vantagens e desvantagens</u>		
De uso simples, Baixo custo, Avaliação do potencial da lixiviação biológica De uso moderado, São necessários longos períodos de tempo, e Algum equipamento especial é necessário, Dificuldade na interpretação se a variação do pH é pequena, Requer muito tempo para a estabilização do pH.	Condições de campo aproximadas e a velocidade de geração de acidez também. De uso moderado, Resultados avaliados em longos períodos de tempo, Necessita de alguns equipamentos especiais Fáceis de interpretar, Grande quantidade de dados é gerada.	Modelo para diferentes tamanhos de grão e diferentes rochas. Dificuldade de interpretação, Não é prático para um grande número, ou para grandes volumes de amostras. Longos períodos de tempo, e problemas potenciais de canalização.

Fonte: (EPA, 1994).