

Predição do Potencial de Drenagem Ácida de Minas,

Utilizando o Método Estático

Márcia Alves Bifano

Bolsista PCI, Técnica Química, ETFQRJ.

Vicente Paulo de Souza

Orientador, Eng. Metalúrgico, D. Sc.

Resumo

A drenagem ácida de minas (DAM) é um problema ambiental capaz de comprometer a qualidade dos recursos hídricos, que decorre da oxidação de sulfetos. A adoção de medidas corretivas e/ou preventivas dependerá do programa de predição escolhido, este geralmente inclui testes do potencial de geração de acidez (método estático), e da velocidade com que ocorre o processo (método cinético). No presente trabalho avaliou-se o potencial de geração da DAM, usando o teste de Balanço Ácido Base Modificada (BABM), e monitorou-se a qualidade da drenagem dos rejeitos, usando as colunas de lixiviação segundo a Acid Drainage Technology Initiative, para amostras de rejeitos, provenientes da Carbonífera Criciúma e da Carbonífera Metropolitana. As duas amostras da Carbonífera Criciúma (SRA e SRB) apresentaram potencial de geração de acidez e as amostras da Metropolitana apresentam um pequeno risco de gerar acidez, segundo os resultados do BABM. Porém, os resultados do método cinético, para todos os casos, mostram valores de pH menores que 4 e valores crescentes para a concentração do sulfato, acidez e o potencial REDOX (Eh), que mostram que são geradores da DAM.

1. Introdução

A atividade mineira como qualquer outra atividade gera impactos positivos e negativos, entre os impactos negativos mais significativos temos a poluição hídrica pela Drenagem Ácida de Minas (DAM).

A DAM é um problema ambiental capaz de comprometer a qualidade dos recursos hídricos da região onde ocorre. O processo inicia-se quando a superfície dos sulfetos (principalmente a pirita, Sulfeto de ferro) é exposta à presença de oxigênio e água liberando ao meio ambiente um efluente com baixos valores de pH e elevadas concentrações de metais pesados e sulfatos. Geralmente estas soluções aquosas são drenadas nos corpos hídricos (lagos, rios, etc.), comprometendo seu ecossistema fluvial e a qualidade da água.

Em resposta a essas situações descritas anteriormente, tem-se desenvolvido técnicas para a predição da DAM. A predição é uma ferramenta importante para a identificação prematura de estéreis ou de rejeitos que sejam potencialmente geradores de ácido, para desenvolver planos de manejo adequado dos estéreis e dos rejeitos. Um plano preventivo ou de tratamento de efluentes, pode reduzir consideravelmente os problemas ambientais de longo prazo, assim como os custos de suas medidas corretivas.

Programas de predição incluem testes preditivos, utilizados para avaliar o potencial de geração da DAM. Entre os principais métodos de predição têm-se os estáticos e cinéticos. Estes testes são utilizados para avaliar quando os rejeitos piritosos geram ácido e quantificar a magnitude dessa geração.

O método estático é usualmente utilizado como uma primeira etapa em todo programa de testes de determinação do potencial de DAM, é um balanço entre os minerais geradores e consumidores de acidez.

O método cinético se desenvolve geralmente depois do estático com a finalidade de confirmar o potencial de geração de acidez e de prever a qualidade da água de drenagem para períodos longos de tempo.

2. Estruturação do Trabalho

O trabalho apresenta os conceitos gerais da DAM, o processo de oxidação do rejeito (Geração da DAM), as principais fontes e os fatores de geração da DAM, o desenvolvimento experimental, os dados obtidos e os comentários finais.

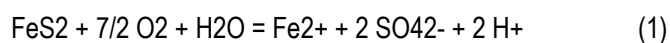
a) Conceitos da DAM

A drenagem ácida ocorre quando:

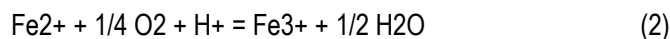
- Para ser beneficiado, o minério é extraído para a superfície (lavra subterrânea), onde é feita a separação entre o carvão e o rejeito (salientando a presença da pirita);
- A pirita presente no rejeito quando em contato com o oxigênio atmosférico e a água (chuva) geram um efluente com elevada acidez e altas concentrações de metais como Al, Pb, Fe, Mn e Zn, ânions (sulfato);
- Este efluente é conhecido como Drenagem Ácida de Mina (DAM).

b) Processos de oxidação dos rejeitos

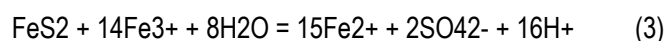
No processo de oxidação da pirita conforme as equações abaixo:



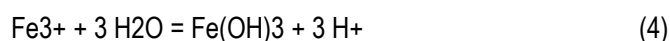
Oxidação do íon ferroso a férrico



Ataca diretamente a pirita ou



Íon férrico hidrolisa gerando hidróxido e acidez;



c) Fontes e fatores de geração da DAM

As principais fontes geradoras da DAM são a água, o oxigênio e as bactérias, quando em contato com o rejeito, que geram um efluente ácido rico em sulfatos e metais pesados, conforme pode ser visto na Figura 1. Na Figura 2 são apresentadas as amostras utilizadas neste estudo.



(a)



(b)

Figura 1 - (a) Pilha de rejeito com efluente ácido - Carbonífera Belluno - Brasil e (b) Drenagem ácida, Phelps Dodge – Perú



Figura 2 - Localização do estudo – Origem das amostras

Carbonífera Criciúma (Total: 4 amostras)

- I) U.M. São Roque A (SRA)
- II) U.M. São Roque B (SRB)
- III) U.M. Volta Redonda (VR)
- IV) U.M. Verdinho (VER)

Carbonífera Metropolitana (Total de amostras: 3)

- I) U.M. Esperança (R1,R2 e R3)

d) Desenvolvimento experimental

O procedimento experimental foi realizado de acordo com os métodos utilizados entre as principais etapas:

- I) Preparação de amostras e análise granulométrica (Figura 3), caracterização mineralógica dos rejeitos;



Figura 3 - Preparação e análise granulométrica dos rejeitos.

- II) Balanço Ácido-Base Modificado

Os valores de pH da pasta das amostras da SRA, SRB e VR foram de 2,2, 2,3 e 2,3 respectivamente, e das amostras R1, R2 e R3, foram de 6,8, 7,5 e 7,5 respectivamente. Estes valores de pH indicam que as amostras da Carbonífera Criciúma (SRA, SRB e VR) apresentam tendência para a geração de ácido.

As amostras da Carbonífera Metropolitana (R1, R2 e R3) apresentam pH da pasta praticamente neutro, a qual indica a ausência de tendência para a geração de ácido.

O teste Fizz, por meio da classificação do som efervescente produzido, apresentou resultados de “Nenhum” para as amostras SRA, SRB e VR. Esta ausência de som indica a baixa presença de minerais consumidores de ácido (tipo calcário). Para o caso das amostras R1, R2, R3, a constatação de um som “Moderado” indica a existência de alguma quantidade presente de minerais consumidores de ácido. Os resultados do pH da pasta e do Teste Fizz, são apresentados a seguir na Tabela 1.

Amostra	pH	Teste Fizz
SRA	2,21	Nenhum
SRB	2,38	Nenhum
VR	2,39	Nenhum
R1	6,82	Moderado
R2	7,55	Moderado
R3	7,50	Moderado

Tabela 1 – Resultado do pH da pasta e do Teste Fizz.

O Método Estático consiste em um procedimento padrão para determinar o potencial gerador de ácido das amostras. Este método consiste na determinação do balanço ou contabilização ácido-base dos minerais potencialmente geradores de acidez e dos minerais potencialmente consumidores de acidez de uma amostra. A diferença entre a capacidade de produção ácido (PA) e o potencial de neutralização (PN), fornece o valor do potencial de neutralização apurado (PNA), sendo o valor expresso em Kg CaCO₃/ 1000 t de rocha. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos do PN, PA e PNA mediante os valores de enxofre total e enxofre pirítico.

e) Dados obtidos

Neste item apresentam-se os dados obtidos nos testes estáticos realizados com as amostras retro mencionadas durante o desenvolvimento experimental deste trabalho. A tabela 2 mostra dados obtidos pelo método estático de enxofre pirítico (S_{pirítico}), enxofre total (S_{total}), enxofre sulfato (S_{sulfato}), potencial de acidez (PA), potencial de neutralização (PN) e potencial de neutralização apurado (PNA). Estes dados permitem avaliar o potencial de geração de acidez do rejeito.

Tabela 2 – Resultados do Método Estático (Balanço Ácido Base Modificado)

%	SRA	SRB	VR	R1	R2	R3
S _{Total}	4,10	2,60	1,70	7,70	3,40	2,50
S _{Sulfato}	0,78	0,71	0,65	0,22	0,12	0,13
S _{Pirítico}	3,32	1,89	1,05	7,48	3,28	2,37
(tCaCO ₃ /1000t)						
PA	103,75	59,06	32,81	233,75	102,50	74,06
PN	16,77	17,00	16,20	451,20	452,50	451,20
PNA	-86,98	-42,06	-16,61	217,45	350,00	377,14
PN/PA	0,16	0,29	0,49	1,93	4,41	6,09

De acordo com Sobek et al (1978), os valores de PNA podem ser interpretados da seguinte maneira:

- PNA ≥ + 20 kg CaCO₃/t, indica que o mineral apresenta um pequeno risco de gerar ácido.
- PNA ≤ - 20 Kg CaCO₃/t, classifica o material como gerador de ácido.
- Os valores compreendidos entre - 20 < PNA < Kg CaCO₃/t apresentam maior sensibilidade nos aspectos classificatórios. Desta forma devem ser designados dentro do campo das incertezas.

Outra forma de interpretar os resultados obtidos é mediante a razão PN/PA (razão do potencial de neutralização). Esta razão fornece uma indicação das quantidades relativas dos constituintes produtores versus consumidores de acidez (Lawrence e Wang 1996). O material é considerado com pequeno risco de gerar ácido

quando apresenta $PN/PA > 2,5$. Se o material apresentar valores $2,5 > PN/PA > 1$ é denominado incerto, e finalmente, os valores que apresentam $PN/PA < 1$ revelam que o material é gerador de ácido (Adam, et al. 1977).

De acordo com a classificação mencionada anteriormente e com os valores mostrados na Tabela 2, as amostras da Carbonífera Criciúma denominadas SRA e SRB apresentam valores de PNA de $- 86,9$ t $CaCO_3/1000t$ e $- 42,0$ t $CaCO_3/1000t$, respectivamente. Estes valores de PNA indicam que as amostras são potencialmente geradoras de acidez. A amostra VR apresenta valor de PNA de $- 16,61$ t $CaCO_3/1000t$, a qual a classifica na zona de incerteza.

Os valores de PNA para as amostras da Carbonífera Metropolitana R1, R2, R3 apresentam valores de PNA de $217,4$ t $CaCO_3/1000t$, 350 t $CaCO_3/1000t$ e 377 t $CaCO_3/1000t$, respectivamente. Estes valores indicam que as amostras apresentam um pequeno risco de gerar ácido. Isto pode estar relacionado à elevada quantidade do material alcalino presente nas amostras.

Em enquanto à classificação, segundo o critério do PN/PA, das amostras R2 e R3 tem-se que estas apresentam um pequeno risco de gerar ácido, no caso da amostra R1 não se pode definir uma classificação devido a que seus resultados se encontram numa faixa incerta segundo o critério de classificação. Todas as amostras da Carbonífera Criciúma (SRA, SRB e VR) revelam que apresentam potencial de geração de ácido.

f) Comentários finais

A segunda parte do trabalho constou de estudos cinéticos em colunas de lixiviação (Figura 4).

Monitoramento: o controle da vazão no afluente e efluente do equipamento. Os testes cinéticos foram realizados tendo em consideração o seguinte: durante todo processo foram coletadas amostras do efluente (semanalmente), medindo-se semanalmente: pH, condutividade, Eh (potencial redox), oxigênio dissolvido, e quinzenalmente metais dissolvidos, (Mn, Al, Pb e Zn), acidez, alcalinidade, sulfato, Fe^{2+} , Fe^{3+} e Fe_{total}



Figura 4 – Ensaio Cinéticos.

3. Agradecimentos

Agradeço ao CETEM pelo espaço, o CNPQ pela Bolsa, ao COAM pelas análises químicas. Em especial aos meus Orientadores Vicente Paulo e Lilian Guevara. Ressalto a colaboração do Auxiliar Técnico Jorge Luís no Trabalho. Enfim, a todos da Coordenação do CPMA que participaram de uma forma direta e indireta para a realização do projeto.

4. Referências Bibliográficas

Mine Environment Neutral Drainage, Acid Rock Drainage Prediction Manual (MEND) Program, Mend Project 1.16.1b

Technical Document – Acid Mine Drainage Prediction U.S. Environmental Protection Agency EPA 530-R-94-036

ASTM **D57744-96**). Standard Test Method for Accelerated Weathering of Solid Materials Using a Modified Humidity Cell.

CETEM. **Projeto Conceitual para Recuperação Ambiental da Bacia Carbonífera Sul Catarinense, Vol I,II e III**. RT33- 2000 Relatório Técnico elaborado para o SIECESC, Centro de Tecnologia Mineral, Janeiro, 2001.

Pyrite Oxidation in moist air – Jeantte K. Jerzand and Donald Rimstidt Dpto of Geological Sciencies, Virginia Polytecnic Institute, May 2003

Kinetic Tests Comparison and interpretation for prediction of the Joutel acid generation potential - M. Benzaazoua, B. Bussiere, Quebec University , December 2003

Guevara, L. R. Z. **Predição do Potencial de Drenagem Ácida de Minas utilizando o Método Cinético das Colunas de Lixiviação**. PUC-RIO, 2007, 131p. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Análise Granulométrico – Rochas e Solos. NBR 6502, 1995.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Análise Granulométrico – Solos. NBR 7184, 1984.

ADAM, K.,KOUTIS, A ., GAZEA, B. and KONTOPOULOS, A . , Evaluation of static tests used to predict the potential for acid drainage generation at sulfide mine sites. Min Industry, pp. 106,1997.

ADTI Acid Drainage Technology Initiative, Kinetic Test Procedure for the Prediction of Coal Mine Drainage Quality, October 2002.

SOUZA,V.P., Drenagens Ácidas do Estéril Piritoso da Mina de Urânio de Poços da Caldas: Interpretação e Implicações Ambientais, Tese de Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP, 1995.