

# PREVENÇÃO DA GERAÇÃO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINAS (DAM) COM MISTURAS DE REJEITO DE CARVÃO E ESCÓRIA DE ACIARIA ELÉTRICA<sup>1</sup>

Lucas Minotti Bienert<sup>2</sup>  
Luciana Angelita Machado,<sup>3</sup>  
Rejane Maria Candiota Tubino<sup>4</sup>  
Ivo André Homrich Schneider<sup>4</sup>

## Resumo

Uma das tecnologias de prevenção da geração da Drenagem Ácida de Minas (DAM) é o método de aditivos alcalinos. A alcalinidade impede as reações de oxidação da pirita, evitando a geração de acidez e a solubilização de metais em meio aquoso. Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar o uso de escória do forno panela de aciaria elétrica como aditivo alcalino para o controle da geração de DAM. O rejeito de carvão foi obtido na Mina do Recreio, da Copelmi Mineração S.A. e a escória foi fornecida pela Gerdau Siderúrgica Riograndense. Inicialmente caracterizaram-se os materiais pelo método de contabilização de ácidos e bases. Após, realizaram-se ensaios cinéticos em células úmidas pelo método ASTM D 5744-96. A qualidade da água de percolação nas células úmidas foi analisada em termos de pH, Eh, condutividade e concentração de metais e sulfatos. Os resultados demonstraram que a DAM pode ser evitada pela mistura do rejeito de carvão com a escória em uma proporção de 3:1. Pode-se concluir que a disposição conjunta de escória de aciaria com rejeito de carvão é uma alternativa viável para o controle da geração de DAM em minerações de carvão.

**Palavras-chaves:** Drenagem ácida de minas; Escória; Aditivos alcalinos.

## PREVENCTION OF THE ACID MINE DRAINAGE (AMD) BY BLENDING COAL TAIL AND A SLAG FROM AN ELETRIC STEEL PLANT

### Abstract

Alkaline additives is an effective method for the control of acid mine drainage (AMD). Alkalinity hinders pyrite oxidation reactions, avoiding acidity and metals solubilization in water. Thus, the aim of this work was to study the use of a ladle furnace slag as an alkaline additive for controlling AMD. The coal tailing was obtained from Beceio Mine of Copelmi Mineração S.A. and the slag from Gerdau Siderúrgica Riograndense. Initially the materials were characterized by the acid-base accounting method. After, kinetic tests in humidity cells were carried out according to ASTM D 5744-96 method. The leaching water was evaluated in terms of pH, Eh, conductivity, metals and sulfates concentration. The results showed that AMD could be avoided by mixing the coal's tailings with slag at 3:1 proportion. It was demonstrated that ladle furnace slag is a suitable alkaline material for AMD prevention in coal tailings deposits.

**Key words:** Acid mine drainage; Slag; Alkaline additives.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil

<sup>2</sup> Estudante de Engenharia Química, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, RS

<sup>3</sup> Mestranda do PPGEM, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, RS

<sup>4</sup> Professores Drs. do DEMET e PPGEM, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, RS

## 1 INTRODUÇÃO

A drenagem ácida de minas (DAM) resulta da oxidação de sulfetos metálicos na presença de ar e água. Este tipo de poluição é comum em áreas de mineração de carvão, devido aos teores de sulfeto de ferro ( $\text{FeS}_2$ ) nos rejeitos. Os poluentes da drenagem ácida de minas afetam a qualidade da água, baixando o pH, reduzindo a alcalinidade natural, aumentando a dureza total e acrescentando quantidades indesejáveis de ferro, alumínio, manganês, sulfatos e, eventualmente, outros metais pesados. Estas fontes permanecem ativas por décadas e até mesmo por séculos após a sua produção.<sup>(1)</sup>

A geração de acidez ocorre na mineração de carvão do Brasil, em menor escala no Estado do Rio Grande do Sul e com especial gravidade no Estado de Santa Catarina.<sup>(2)</sup> A principal fonte de DAM é a percolação das águas pluviais pelos depósitos de rejeitos de carvão.

Os métodos de controle da DAM podem ser classificados em métodos preventivos, de controle da migração e de remediação.<sup>(1)</sup> O método preventivo de aditivos alcalinos baseia-se na mistura de materiais alcalinos com rejeitos geradores de DAM. O material tradicionalmente empregado é o calcário ( $\text{CaCO}_3$ ). O procedimento é simples e de baixo custo. Outros materiais também podem ser aplicados, a um custo ainda mais baixo, como escórias de siderurgia, cinzas da queima do carvão em termoelétricas e resíduos da construção civil.<sup>(3-6)</sup>

Neste contexto, os ensaios estáticos e cinéticos têm por finalidade avaliar o potencial de geração da DAM por um determinado material. Os testes estáticos são rápidos e possibilitam a aplicação de critérios específicos que permitem a classificação das amostras segundo seu potencial de geração de acidez e potencial de neutralização. Ainda, permitem quantificar a relação entre resíduos alcalinos e rejeitos de mineração para que ocorra a neutralização. Os ensaios cinéticos auxiliam no entendimento da cinética da geração de DAM.<sup>(7)</sup>

Deve-se ressaltar que testes estáticos e cinéticos têm sido aplicados somente recentemente como ferramenta para o controle da DAM pelas mineradoras de carvão no Brasil.<sup>(6,8)</sup> Desta forma, o presente trabalho visa contribuir para o estabelecimento de metodologia e caracterização de alguns materiais existentes no Estado do Rio Grande do Sul. Ainda, avaliaram-se possibilidades de misturas entre rejeitos de carvão e resíduos alcalinos, de forma a evitar a geração da DAM.

Assim, o objetivo geral deste trabalho foi estudar o controle da geração da DAM com escória de aciaria com intuito de evitar a geração de DAM com base em ensaios estáticos e cinéticos.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Rejeito de Carvão e Escória de Aciaria

A amostra de rejeito de carvão foi proveniente do beneficiamento por jigagem, do carvão da Mina do Recreio, localizada no município de Butiá, Rio Grande do Sul. O material alcalino estudado foi uma escória do forno panela da Gerdau Siderúrgica Riograndense, uma usina semi-integrada de produção de aço localizada no município de Sapucaia, Rio Grande do Sul.

## 2.2. Análise Imediata de Carvão

Analisou-se o rejeito de carvão em relação ao poder calorífico superior, teor de cinzas, matéria volátil, enxofre total, pirítico, sulfático e orgânico e composição elementar de carbono, hidrogênio e nitrogênio.

O poder calorífico superior foi determinado em bomba calorimétrica, seguindo a metodologia ASTM D-5865.<sup>(9)</sup> A análise de cinzas foi realizada pela queima de 1,0 grama de carvão, por 1 hora a 800°C, em mufla, conforme NBR 8289.<sup>(10)</sup> A matéria volátil foi determinada pela queima de 1,0 grama de amostra, por 5 minutos a 950°C, em mufla, seguindo a norma NBR 8290.<sup>(11)</sup> O enxofre total foi analisado via instrumental, pelo equipamento Leco SC 457. As formas de enxofre sulfático e pirítico foram determinadas por procedimentos titulométricos, normatizados pela ISO 157<sup>(12)</sup>. A forma orgânica do enxofre foi determinada pela subtração do enxofre sulfático e pirítico do teor de enxofre total. Os valores obtidos foram corrigidos em relação ao teor de umidade, medida pela secagem de 1,0 g de amostra, por 1 hora a 110°C, conforme a norma NBR 8293.<sup>(13)</sup>

## 2.3 Testes Estáticos

O teste estático empregado foi o de contabilização de ácidos e bases (ABA). Foram realizados os testes ABA tradicional e ABA modificado. Ambos tem por objetivo determinar o balanço entre a produção e o consumo de acidez pelos componentes minerais de uma amostra. Por esses testes, determina-se o potencial de produção de acidez (AP) e o potencial de neutralização (NP).<sup>(14)</sup>

A partir desses parâmetros, pode-se calcular:

- potencial de neutralização líquido (NNP) = NP – AP

- razão do potencial de neutralização (NPR) = NP/AP

onde o AP, NP e NNP são geralmente expressos em kg CaCO<sub>3</sub>/t de amostra.

A determinação do potencial de acidez (AP) pelo método ABA tradicional foi realizada pela análise de enxofre total, via instrumental no equipamento Leco CS 457. A medida do AP pelo método ABA modificado foi realizada pela análise de enxofre pirítico, via úmida. Estequiometricamente, um mol de CaCO<sub>3</sub> é requerido por mol de S:

$$AP \text{ (kg CaCO}_3\text{/t amostra)} = (1000/32) \times \text{peso \% S}$$

A determinação do potencial de neutralização (NP) pelo método ABA tradicional foi realizada pelo ataque da amostra com ácido clorídrico aquecido a 90°C, por 1 hora, para consumir os minerais neutralizantes, seguido de titulação com NaOH até pH 7,0. A medida do NP pelo método ABA modificado foi realizada pelo ataque da amostra com ácido clorídrico, a temperatura ambiente, por 24 horas, seguido de titulação com NaOH até pH 8,3. O cálculo do NP foi realizado pela seguinte equação:

$$NP \text{ (kg CaCO}_3\text{/t amostra)} = (\text{HCl cons., g/g de amostra}) \times (50/36,5) \times 1000$$

Os critérios ABA para identificação do potencial de geração de acidez dos materiais são (NNP e NPR):

- valores de NNP menores que – 20 indicam que haverá a formação de ácido;
- valores de NNP maiores que + 20 indicam que não haverá a formação de ácido;

- valores de NNP entre -20 e + 20 indicam que é difícil prever a formação ou não de ácido.
- valores do NPR menores 1:1 indicam a provável geração de DAM;
- valores de NPR entre 1:1 e 2:1 indicam a possível geração de DAM;
- valores de NPR entre 2:1 e 4:1 indicam que a DAM não é esperada;
- valores de NPR maiores que 4:1 indicam que não será gerada a DAM.

## 2.4 Ensaios Cinéticos

Os estudos cinéticos foram realizados pelo método de células úmidas - Humidity Cell Test, conforme procedimento ASTM D 5744-96.<sup>(15)</sup> O teste consistiu em colocar uma amostra de 1000 gramas com granulometria inferior a 6,3 mm em um frasco fechado por onde pode ser injetado e retirado ar. Inicialmente submeteu-se o material a uma lixiviação com 1000 mL de água (semana 0). Após, iniciou-se o procedimento de exposição das amostras por três dias ao ar seco, três dias ao ar úmido e um dia para percolação de 1000 mL de água. Esse ciclo se repetiu por todo o período de teste aplicado, que foi de 20 semanas.

Nos experimentos, uma célula foi preenchida com rejeito de carvão, outra com escória, outra com uma mistura dos materiais em uma proporção de 4,8:1 (para que o NNP da mistura ficasse próximo a zero, considerando o método ABA modificado) e outra em uma proporção 3:1 (para que o NNP da mistura ficasse próximo a zero, considerando o método ABA tradicional). Assim, os materiais inseridos em cada célula, e sua respectiva quantia, foram:

- 1000 g de rejeito de carvão;
- 1000 g de escória;
- mistura de 830 g do rejeito de carvão com 170 g de escória;
- mistura de 750 g do rejeito de carvão com 250 g de escória.

As águas llixiviadas das células úmidas foram analisadas em relação aos seguintes parâmetros de qualidade: pH, potencial redox, acidez, alcalinidade total, concentração de ferro, alumínio, manganês, zinco, sulfato e condutividade. As análises foram realizadas, semanalmente, seguindo os procedimentos do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.<sup>(16)</sup>

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta a análise imediata do rejeito de carvão. Pode-se observar que o rejeito apresenta 68,7 % de cinzas. O teor de enxofre total é de 4,8% e de enxofre pirítico é de 3,2%. Esses dados são representativos dos rejeitos de carvão gerados no beneficiamento por jigagem na região do baixo Jacuí do Rio Grande do Sul.<sup>(17)</sup>

**Tabela 1** - Análise imediata do rejeito de carvão.

Propriedade	Valores
Poder Calorífico Superior (kcal/kg)	1380
Matéria Volátil (%)	17,9
Cinzas (%)	68,7
C (%)	14,9
H (%)	1,6
N (%)	0,3
Enxofre Total (%)	4,8
Enxofre Pirítico (%)	3,2
Enxofre Sulfático (%)	1,4
Enxofre Orgânico (%)	0,2

Os resultados dos ensaios estáticos estão discriminados na Tabela 2. Para o rejeito de carvão, os valores de NNP e NPR obtidos pelo método ABA tradicional foram – 148,8 kg CaCO<sub>3</sub>/t e 0,008 respectivamente. Os valores obtidos pelo método ABA modificado foram – 100,0 kg CaCO<sub>3</sub>/t e 0,0. Assim, os valores de NNP e NPR indicam que o material é gerador de DAM na presença de ar e água. Comparando esses dados com estudos realizados com rejeito de carvão produzidos no Estado de Santa Catarina, os valores do NNP do rejeito de carvão do Rio Grande do Sul são inferiores. Isso se deve ao fato que os rejeitos de carvão de Santa Catarina apresentam um teor de enxofre mais elevado. Valores do NNP do rejeito primário de jigagem de Santa Catarina podem chegar na faixa de –300 a –500 kg CaCO<sub>3</sub>/t.<sup>(6,8)</sup>

**Tabela 2** - Resultados de ensaios estáticos pelo método ABA para o rejeito de carvão e escória.

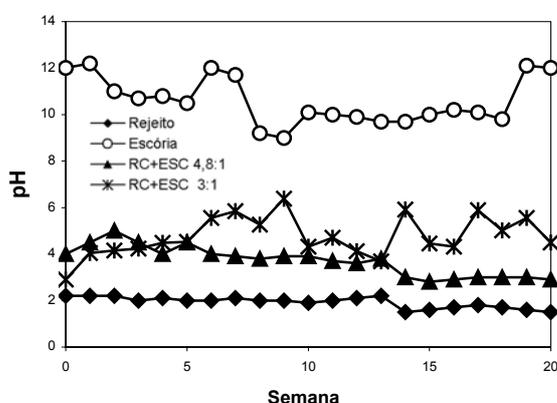
ABA tradicional	S Total (%)	AP (kg CaCO <sub>3</sub> /t)	NP (kg CaCO <sub>3</sub> /t)	NNP (kg CaCO <sub>3</sub> /t)	NPR
Rejeito de carvão	4,8	150,0	1,2	-148,8	0,008
Escória	0,1	3,1	447,2	444,1	144,2
ABA modificado	S Pirítico (%)	AP (kg CaCO <sub>3</sub> /t)	NP (kg CaCO <sub>3</sub> /t)	NNP (kg CaCO <sub>3</sub> /t)	NPR
Rejeito de carvão	3,2	100,0	0,0	- 100,0	0,000
Escória	0,0	0,0	484,4	484,4	-

A escória de aciaria apresentou-se como um material promissor a ser empregado como aditivo alcalino. Obteve-se um NNP de 444,1 kg CaCO<sub>3</sub>/t pelo método ABA tradicional e um NNP de 484,4 kg CaCO<sub>3</sub>/t pelo método ABA modificado. Os valores estão coerentes com dados apresentados por Skousen et al.,<sup>(3)</sup> que descrevem que o potencial de neutralização de escórias pode variar de 400 kg a 950 kg CaCO<sub>3</sub>/t. A alcalinidade é conferida pelos teores elevados de óxido de cálcio (CaO) e de óxido de magnésio (MgO). Baseado nestes dados, pode-se calcular a proporção entre os materiais para que a geração de acidez e alcalinidade fique equilibrada. Pelos dados de NNP obtidos no método ABA tradicional, a proporção de materiais para o equilíbrio é de aproximadamente 3:1, enquanto que pelo método ABA modificado, esta proporção passa para 4,8:1.

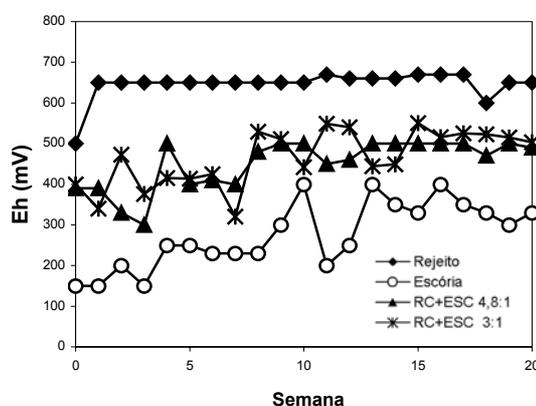
As Figuras de 1 a 7 apresentam os resultados dos ensaios cinéticos. Os ensaios foram conduzidos em uma célula contendo rejeito de carvão, outra contendo escória e outras duas com mistura dos dois materiais, uma na proporção rejeito de carvão: escória de 3:1 e outra na proporção 4,8:1.

Para o rejeito de carvão, pode-se observar que o pH da água lixiviada foi baixo no decorrer das 20 semanas, variando entre 2,6 a 1,3. O potencial redox, na

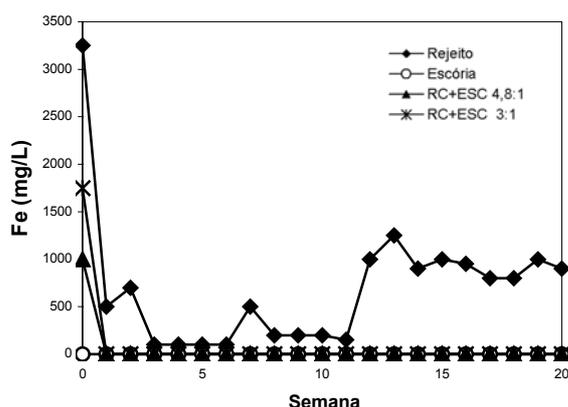
semana 0 (zero), foi de 490 mV. Após se estabilizou na entre 649 e 711 mV, demonstrando uma condição altamente oxidante que favorece a degradação de sulfetos. As concentrações de ferro e sulfato, dois produtos diretos da oxidação da pirita, apresentaram um comportamento similar. Na semana 0 (zero), a concentração de ferro no lixiviado foi bem alta, mostrando que a pirita já estava parcialmente oxidada (decorrente de operações de beneficiamento, armazenamento e transporte). Entre as semanas 1 e 10, os valores se mantiveram baixos, voltando a subir a partir da semana 11. Os demais elementos metálicos, solubilizados a partir da matéria mineral, como o alumínio, manganês e zinco, tiveram um comportamento distinto. Apresentaram valores mais altos nas primeiras lixiviações, decrescendo no decorrer das semanas. As maiores concentrações foram observadas para o alumínio, seguido do manganês e do zinco. Como consequência do baixo pH e da presença de metais e íons sulfato dissolvidos, a água lixiviada apresentou uma alta acidez e condutividade.



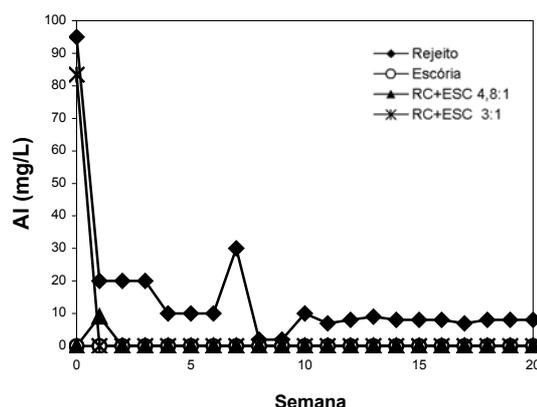
**Figura 1.** pH da água de lixiviação nos ensaios cinéticos em “células úmidas” no rejeito de carvão, escória e misturas de rejeito de carvão e escória.



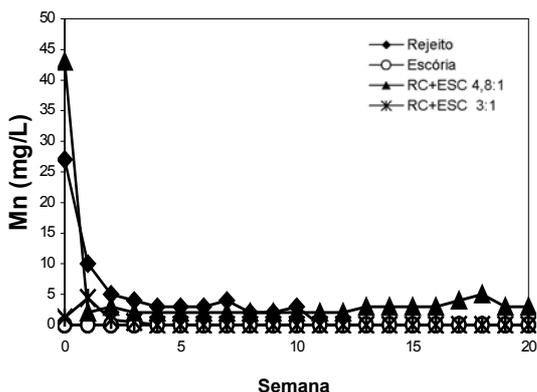
**Figura 2.** Potencial redox da água de lixiviação nos ensaios cinéticos em “células úmidas” em rejeito de carvão, escória e misturas de rejeito de carvão e escória.



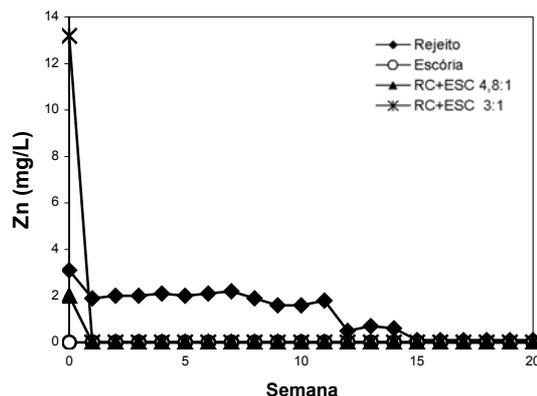
**Figura 3.** Concentração de ferro na água de lixiviação nos ensaios cinéticos em “células úmidas” em rejeito de carvão, escória e misturas de rejeito de carvão e escória.



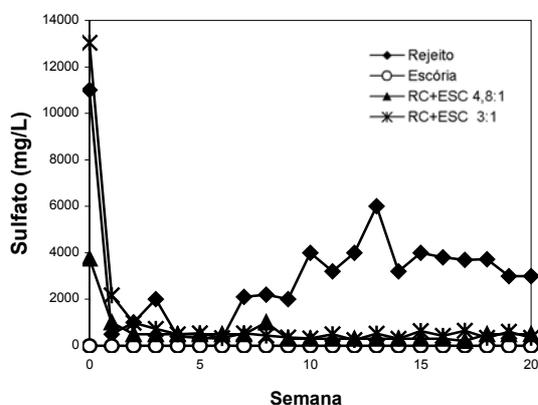
**Figura 4.** Concentração de alumínio na água de lixiviação nos ensaios cinéticos em “células úmidas” em rejeito de carvão, escória e misturas de rejeito de carvão e escória.



**Figura 5.** Concentração de manganês na água de lixiviação nos ensaios cinéticos em “células úmidas” em rejeito de carvão, escória e misturas de rejeito de carvão e escória.



**Figura 6.** Concentração de zinco na água de lixiviação nos ensaios cinéticos em “células úmidas” em rejeito de carvão, escória e misturas de rejeito de carvão e escória.



**Figura 7.** Concentração de sulfatos na água de lixiviação nos ensaios cinéticos em “células úmidas” em rejeito de carvão, escória e misturas de rejeito de carvão e escória.

A água de percolação da célula contendo somente escória apresentou valores de pH iniciais em torno de 12,0, chegando no final do ensaio com valores 9,7 (com exceção das duas últimas semanas, quando o pH voltou a aumentar para 11,9 e 11,8, respectivamente). O potencial redox, oxidante, é mais baixo, variando de 150 a 300 mV. Em relação aos metais (Fe, Al, Mn e Zn), a concentração no lixiviado em todo o experimento foi próxima a zero. A liberação de sulfatos também foi praticamente nula.

Os lixiviados colhidos da mistura de rejeito de carvão e escória, tanto na proporção de 4,8:1 como 3:1 apresentaram um desempenho semelhante. A exceção foi no valor do pH do lixiviado. Na proporção de 4,8:1 o pH do meio ficou na faixa de 5,0 e 4,0 nas dez primeiras semanas, baixando para valores entre 4,0 e 3,0 nas semanas seguintes. Na proporção de 3:1 o pH oscilou entre 6,0 e 4,0 durante todo o experimento. O potencial redox, para ambas as misturas, variou entre 300 e 570 mV, indicando que a taxa de oxidação do rejeito foi diminuído. Esses dados indicam que a presença da escória diminui o potencial de oxidação, provavelmente reduzindo as condições de oxidação da pirita. Esses dados estão de acordo com as conclusões de Capanema e Ciminelli,<sup>(18)</sup> que observaram que maiores valores de potencial redox favorecem a oxidação de materiais sulfetados, com a decorrente diminuição do pH da água lixiviada. Em relação aos metais, somente a água de lixiviação na

semana 0 (zero) apresentou uma concentração mais elevada. A partir de então a lixiviação dos metais foi bastante baixa para ambos níveis de mistura. Esse fato está associado ao pH mais elevado do meio, que inibe a oxidação da pirita, reduz a solubilidade dos metais e favorece os processos de adsorção de compostos metálicos na matéria mineral <sup>(19)</sup>. Os teores de sulfato também são bastante baixos, demonstrando que a oxidação da pirita foi bastante reduzida.

Os resultados obtidos confirmam que a mistura de rejeitos de carvão com escória de aciaria reduzem a taxa de oxidação da pirita, diminuindo a concentração de poluentes na água de percolação. O método de contabilização de ácidos e bases (ABA) mostrou-se adequado para a definição do índice de mistura, podendo ser aplicado a outros rejeitos de carvão e outras escórias. No caso especial do presente trabalho, o método ABA tradicional permitiu que o valor do pH da água de lixiviação ficasse mais próximo da neutralidade do que o método ABA modificado.

Ainda, os resultados demonstram que a técnica de aditivos alcalinos, com o uso de escórias, pode ser uma tecnologia viável e de baixo custo para o controle da drenagem ácida na mineração de carvão. Deve-se considerar que a escória do forno panela é atualmente destinada a aterros no Estado do Rio Grande do Sul. Por fim, como aspecto favorável ao procedimento defendido neste trabalho, a distância entre as minas de carvão no Rio Grande do Sul e as usinas siderúrgicas é relativamente pequena, permitindo o deslocamento do material com custos reduzidos.

#### **4. CONCLUSÕES**

O rejeito de carvão da Mina do Recreio, com 4,8% de enxofre total e 3,2% de enxofre pirítico, tem potencial de geração de acidez. O ensaio cinético em célula úmida demonstrou que este material gera drenagem ácida, evidenciado pelo pH menor que 2,6, alta acidez e elevadas concentrações de metais (Fe, Al, Mn e Zn) e sulfato. A escória do forno panela apresenta um alto potencial de neutralização. O ensaio cinético realizado somente com a escória de aciaria propiciou um lixiviado com pH entre 9,7 e 12,0, moderada alcalinidade e concentrações baixas de metais e sulfatos. A mistura do rejeito de carvão e escória, tanto na proporção de 3:1 como 4,8:1, inibiu a geração da drenagem ácida, obtendo-se um lixiviado com baixa acidez e concentrações reduzidas de metais (Fe, Al, Mn e Zn) e sulfatos. Entretanto, o valor de mistura obtido pelo método de contabilização de ácidos e bases tradicional (3:1) permitiu a obtenção de valores de pH mais próximos da neutralidade. Assim, demonstrou-se que a disposição conjunta de escória de aciaria e rejeito de carvão é uma alternativa viável para minimizar a taxa de oxidação da pirita, reduzindo os efeitos da DAM nas áreas de influência das minerações de carvão.

#### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao CNPq e CAPES pelo apoio financeiro para o desenvolvimento do presente trabalho. Também são gratos a Copelmi Mineração e ao Grupo Gerdau pelo fornecimento de amostras dos materiais.

#### **REFERÊNCIAS**

- 1 Kontopoulos, A. Acid Mine Drainage Control. In: Effluent treatment in the mining industry. Castro, S.H.; Vergara, F.; Sánchez, M.A (Editors), University of Concepción, p. 57-118, 1998.

- 2 Monteiro, K.V. Carvão: O Combustível de Ontem. Porto Alegre. Porto Alegre: Núcleo Amigos da Terra, 82p., 2004.
- 3 Skousen, J., Rose, A., Geidel, G., Foreman, J., Evans, R. & Hellier, W. A Handbook of Technologies for Avoidance and Remediation of Acid Mine Drainage. West Virginia University and the National Mine Land Reclamation Center, 132p., 1998.
- 4 Doye, I. & Duchesne, J. Neutralization of acid mine drainage with alkaline industrial residues: Laboratory Investigations Using Batch-Leaching Tests. Journal of Applied Geochemistry, 18:8, p.1197-1213, 2003.
- 5 Feng, D.; Van Deventer, J.S.J & Aldrich, C. Removal of Pollutants from acid mine wastewater using metallurgical by-products slags. Separation and Purification Technology. 56: 3, p.359-368, 2004.
- 6 Lilge, D.S; Hahn, M.B.; Schneider, I.A.H.; Silva, G.S.R.; Gomes, K.M.S. e Gomes, C.J.B. Ensaio estáticos e cinéticos na previsão da drenagem ácida de minas na mineração de carvão no sul do Estado de Santa Catarina, RS – Brasil. Anais do XXI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, CD ROM, Natal, Brasil, 2005.
- 7 Environmental Protection Agency - EPA. Technical Document. Acid Mine Drainage Prediction. EPA530-R-94-036, 48p., 1994.
- 8 Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda. Análise do Potencial de Acidificação e de Neutralização em Rejeitos do Beneficiamento do Carvão Mineral da Região Carbonífera. Relatório Técnico, Empresas Rio Deserto, Criciúma, SC, 58p., 2004.
- 9 American Society For Testing And Material – ASTM. Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke. ASTM D 5865, 2004.
- 10 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Determinação do teor de cinza. NBR 8289. Rio de Janeiro, 4p., 1983a.
- 11 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Determinação do teor de matérias voláteis. NBR 8290. Rio de Janeiro, 3p., 1983b.
- 12 International Organization for Standardization – ISO. ISO 157: Hard Coal – determination of forms of sulfur. 1993.
- 13 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Determinação de umidade. NBR 8293. Rio de Janeiro, 6p., 1983c.
- 14 Sobek, A.A., Schuller, W.A., Freeman, J.R. & Smith, R.M. Field and laboratory methods applicable to overburden and minesoils, EPA 600/2-78-054, 203p., 1978.
- 15 American Society For Testing And Material - ASTM. Standard test method for accelerated weathering of solid materials using a modified humidity cell. ASTM D 5744, 13 p., 1996.
- 16 American Public Health Association – APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. Washington D.C: APHA-AWWA-WEF, 1134p., 2005.
- 17 Féris, L.A.; Flores, J.A.; Schneider, I.A. & Rubio, J. Sorption of metals on a coal beneficiation tailing material. I: characterization and mechanisms involved. Coal Preparation, 21, p.235-248, 2001.
- 18 Capanema, L.X.L.& Ciminelli, V.S.T. An investigation of acid rock drainage (ARD) occurrence in a gold mine located in a Southeastern Brazil region. REM. 56:3, p.201-206, 2003.
- 19 Simmons J.; Ziemkiewicz, P. & Black D.C. Use of steel slag leach beds for the treatment of acid mine drainage. Mine Water and the Environment. 21, p.91-99, 2002.