

ENSAIOS ESTÁTICOS E CINÉTICOS PARA A MINIMIZAÇÃO DOS EFEITOS DA DRENAGEM ÁCIDA DE MINA NA MINERAÇÃO DE CARVÃO COM CINZAS DE FUNDO DE TERMOELÉTRICA

Amanda Casmierchcki Biella (UNISATC) E-mail: amanda.biella@hotmail.com
Débora De Pellegrin Campos (UNISATC) E-mail: debora.campos@satc.edu.br
Morgana Nuernberg Sartor Faraco (UNISATC) E-mail: morgana.sartor@satc.edu.br
Tatiani Malgarise Brolesi (UNISATC) E-mail: tatiani.brolesi@satc.edu.br
Thiago Fernandes de Aquino (UNISATC) E-mail: thiago.aquino@satc.edu.br

Resumo: A drenagem ácida de mina é um problema recorrente, principalmente na região sul de Santa Catarina onde está concentrada uma grande área de mineração. Ela é gerada a partir da oxidação de rejeitos de carvão em contato com ar e água, pois são ricos em enxofre na forma de pirita (FeS_2) o qual acaba conferindo um baixo pH ao meio. Uma forma de prevenir esse problema é a disposição de aditivos alcalinos nesses rejeitos. Assim o presente trabalho buscou avaliar materiais e os métodos estáticos e cinéticos quanto à eficácia da neutralização de DAM. Para isso foram escolhidas as cinzas de fundo provenientes da combustão do carvão mineral e areia de fundição por serem rejeitos industriais abundantes e serem difíceis de descartar corretamente, sem que cause problemas ao meio ambiente. Os principais ensaios cinéticos determinados foram o potencial de acidez e o potencial de neutralização de cada material pelo método ABA e ABA modificado e em seguida realizados testes cinéticos em células úmidas. Os resultados foram satisfatórios, pois nas proporções de 1:10 de rejeito: cinza, o problema de geração de drenagem ácida de mina pode ser minimizado, conferindo maior pH e liberando menos metais à água lixiviada.

Palavras-chave: Drenagem ácida de mina. Rejeito de carvão. Areia de fundição. Cinzas de fundo.

STATIC AND KINETIC TESTS FOR MINIMIZING THE EFFECTS OF ACID MINE DRAINAGE ON COAL MINING WITH THERMOELECTRIC BACKGROUND ASH

Abstract: Acid mine drainage is a recurrent problem, mainly in the southern region of Santa Catarina, where a large mining area is concentrated. It is generated from the oxidation of coal tailings in contact with air and water, as they are rich in sulfur in the form of pyrite (FeS_2), which ends up imparting a low pH to the medium. One way to prevent this problem is the disposal of alkaline additives in these tailings. Thus, the present work sought to evaluate materials and static and kinetic methods regarding the effectiveness of DAM neutralization. For this purpose, bottom ashes from the combustion of coal and foundry sand were chosen because they are abundant industrial waste and are difficult to dispose of correctly, without causing problems to the environment. The main kinetic tests determined were the acidity potential and the neutralization potential of each material by the ABA and ABA modified method, and then kinetic tests were carried out in wet cells. The results were satisfactory, because in the proportions of 1:10 tailings: ash, the problem of generating acid mine drainage can be minimized, providing a higher pH and releasing less metals to the leached water.

Keywords: Acid mine drainage. Coal tailings. Background ash.

1. Introdução

O carvão mineral é um combustível fóssil não renovável de vasta utilização. A extração desse minério vem seguida de impactos positivos, como a geração de emprego e sua vasta utilização em indústrias como usinas termoelétricas (SILVA; FERREIRA, 2015).

A deposição dos rejeitos da mineração do carvão de forma correta pode impedir a

migração de efluentes ricos em metais e enxofre em águas superficiais e subterrâneas (FARIAS, 2019).

Desta forma o seguinte trabalho vem a somar alternativas de tratamento a essas áreas degradadas, por depósitos superficiais, fazendo o estudo da utilização de rejeitos de termoelétricas (cinzas de fundo) por meio de análises cinéticas e estáticas efetuadas no laboratório de águas (LAQUA) e carvão (LAEC) da instituição SATC.

O presente estudo tem por objetivo avaliar a eficácia da utilização de cinzas de fundo provenientes da termoelétrica Jorge Lacerda, situada em Capivari de Baixo - Santa Catarina, quanto à neutralização de drenagem ácida de mina (DAM), causada pela mineração de carvão.

2. Mineração do carvão mineral

O carvão mineral foi uma das primeiras fontes de energia utilizada pelo homem, é um combustível fóssil não renovável, composto por carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, enxofre e traços de outros elementos (JÚNIOR, 2019).

Um importante impacto ambiental decorrente de atividades mineradoras é a drenagem ácida de mina oriunda de lavras, depósitos de rejeitos e pátios de armazenamento de minério beneficiado (LEMOS, 2015).

2.1 Drenagem ácida de mina (dam)

A drenagem ácida de mina é um dos grandes impactos causados pela mineração, que além de atribuir um potencial hidrogeniônico (pH) ácido e compostos sulfetados ao meio, também apresenta grande concentração de metais pesados (BATISTA; GRAZZIOTIN; BIZARI, 2015).

Este processo tem início quando minerais sulfetados, como a pirita (FeS_2), na presença de água e oxigênio, sofrem oxidação formando sulfatos hidratados e íons hidrogênio (H^+), ao qual são responsáveis pelos baixos valores de pH (PEREIRA, 2017).

Há duas formas de tratamento para efluentes gerados por DAM: sistemas passivos, que consiste na instalação de barreiras reativas permeáveis, onde o efluente de DAM atravessa e ficam retidos seus contaminantes. A outra forma é o sistema ativo, no qual o tratamento químico é o mais utilizado (LEMOS, 2015).

2.2 Previsões de drenagem ácida de mina

A previsão de drenagem ácida de mina tem a finalidade de avaliar o quão suscetível o material é para gerar esse problema, ou seja, determinar se aquele volume de rejeito de carvão irá gerar água ácida e a qualidade dessa geração. Os métodos utilizados para prever o potencial de geração de ácido são classificados como estáticos e cinéticos (EPA, 1994).

2.2.1 Testes Estáticos

Esses testes determinam o potencial de geração de acidez (AP) e o potencial de neutralidade de acidez de uma amostra (NP). A análise dessas duas grandezas permite prever a geração de drenagem ácida. Os testes estáticos têm a facilidade de serem realizados rapidamente e são baratos comparados aos testes cinéticos. (SOBEK et al, 1978).

O potencial de acidificação (AP) é determinado pelo produto do percentual de enxofre total (método ABA) ou do enxofre na forma pirítica (método ABA modificado) das amostras por um fator de correção. O potencial de neutralização (NP) é uma medida da

quantidade de carbonato suficiente para neutralizar o ácido. A determinação desses dois fatores permite calcular o potencial de neutralização líquido (NNP) e a razão do potencial de neutralização (NPR) (EPA, 1994).

O potencial de neutralização líquido (NNP) é determinado pela diferença entre o NP e AP, ou seja, $NNP = NP - AP$. Os valores podem ser positivos ou negativos, sendo que valores de NNP menores que 20 negativo (kg $CaCO_3/t$) indicam a formação de ácido. Valores maiores que 20 positivo (kg $CaCO_3/t$) indicam que não haverá a formação de ácido. E valores entre - 20 e + 20 (kg $CaCO_3/t$) apontam que é difícil prever o seu comportamento. Sendo necessários outros ensaios para a confirmação (EPA, 1994).

A razão do potencial de neutralização (NPR) é determinada pela razão entre NP e AP, ou seja, $NPR = NP/AP$. A Tabela 1 permite determinar a geração ou não da DAM, a partir do resultado da razão do potencial de neutralização.

Tabela 1 – Critérios do método ABA para identificação do potencial de geração de acidez dos materiais (NPR)

Potencial para DAM	NPR	Comentário
Provável	1:1	Provável geração de DAM;
Possível	1:1 a 2:1	Poderá ocorrer a DAM se NP for insuficientemente reativo e/ou for consumido em uma taxa mais rápida do que os sulfetos;
Baixo	2:1 a 4:1	Não é potencialmente esperada a geração de DAM, a não ser que ocorra a exposição preferencial dos sulfetos ao longo de planos de fraturas ou que os sulfetos sejam extremamente reativos e os minerais neutralizantes muito pouco reativos;
Nenhum	4:1	Nenhum teste adicional para DAM é requerido, a não ser que seja como fonte de alcalinidade.

Fonte: Kontopoulos (1998)

2.2.2 Testes Cinéticos

Os testes cinéticos se diferenciam dos testes estáticos na tentativa de imitar as reações de oxidação natural que ocorre na área degradada. Esses testes fornecem informações sobre a taxa de oxidação mineral do sulfeto e, portanto, produção de ácido e indicação da qualidade da drenagem ácida (EPA, 1994).

2.3 Cinzas de fundo de termelétricas

O carvão é muito utilizado para produção de energia térmica (KNIESS et al, 2019) em usina termoeletrica, que por sua vez é uma planta química que produz energia a partir do calor gerado pela queima de combustíveis fósseis ou por outras fontes de calor (LIMA E SOUZA, 2015).

Essa combustão gera importantes resíduos sólidos, cinzas volantes e cinzas de fundo (VASCONCELOS et al., 2019).

3. Ensaios preliminares dos materiais de estudo

Inicialmente foram analisados cada um dos materiais utilizados (rejeito de carvão e cinzas pesadas da termoeletrica Jorge Lacerda de Capivari de Baixo) no LAEC – Laboratório de Análises de Carvão da SATC. Foram determinados os valores de poder calorífico superior determinado em bomba calorimétrica LECO AC 500 baseado na metodologia ASTM D

5865 e no manual do equipamento.

A análise de cinzas foi realizada conforme ASTM D3174-12. A matéria volátil determinada segundo ASTM D3175-20. A umidade higroscópica realizada conforme ASTM D3173M-17a. O teor de carbono fixo, segundo a ASTM D5142-09, é encontrado através do valor restante para atingir 100% da massa de carvão na base seca, de acordo com a Equação 1:

$$\%CF = 100 - (\%Cz + \%MV) \quad (1)$$

Onde:

CF = Carbono fixo (%)

CZ = Cinzas (%)

MV = Matéria volátil (%)

O enxofre total foi analisado pelo equipamento LECO 628S, e tanto o seu procedimento de análise quanto o das outras formas de enxofre é baseado na metodologia ASTM D 4238. Enxofre pirítico (SP), orgânico (SO) e sulfático (SS) foram determinadas por procedimento titulométrico.

A forma orgânica do enxofre ou enxofre orgânico foi determinada pela subtração das formas sulfáticas e piríticas do teor de enxofre total de acordo com a Equação 2:

$$\%S_{orgânico} = \%S_{total} - \%S_{sulfático} - \%S_{pirítico} \quad (2)$$

Onde:

S_{orgânico} = Enxofre orgânico (%);

S_{total} = Enxofre total (%);

S_{sulfático} = Enxofre sulfático (%);

S_{pirítico} = Enxofre pirítico (%).

3.1 Ensaios preliminares – pH 1:1

De acordo com o procedimento do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* o ensaio de pH em pasta foi realizado adotando uma relação rejeito: água de 1:1. Pesou-se 15,0 gramas de amostra e 15,0 gramas de água deionizada, visando formar uma pasta consistente. Em seguida o eletrodo de pH foi colocado, devidamente calibrado, em contato com a solução e agitado na pasta cuidadosamente aguardando até que este apresentasse o valor de pH da amostra.

3.2 Ensaios estáticos de contabilização de ácidos e bases

Os métodos utilizados foram os métodos ABA (*Acid Basic Accounting Method*) e o método ABA modificado (*Modified Acid Basic Accountig Method*). O objetivo foi determinar o balanço entre produção e consumo de acidez pela amostra (SOBEK et al, 1978; EPA,1994).

Para o método ABA a determinação do AP (potencial de acidez) foi encontrado a partir da análise do enxofre total, pela Equação 3:

$$AP = \left(\frac{1000}{32}\right) x \%S_{total} \quad (3)$$

Onde:

AP = Potencial de acidez (kg CaCO₃/t);

S_{total} = Enxofre total (%).

Para determinar o NP (potencial de neutralização), primeiramente foi feito o teste de FIZZ que determina o volume e a concentração de ácido clorídrico utilizado para análise. Procedeu-se da seguinte forma: em vidro relógio foram pesados 0,5 gramas de cada uma das amostras, com granulometria 0,24 mm e adicionado 2 gotas de HCl 1:3. Após a adição foi observado quanto a presença de carbonato presente na amostra, o qual pode ser reconhecido pelo borbulhamento ou pelo som efervescente (FIZZ). Dependendo da intensidade do som foi escolhido o volume e normalidade da solução de HCl a ser utilizado conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Volume e Normalidade de HCl a ser adicionado na determinação do NP

Teste fizz (intensidade do som)	HCl (mL)	HCl (N)
Nenhum	20	0,1
Ligeiro	40	0,1
Moderado	40	0,5
Forte	80	0,5

Fonte: Sobek et al. (1978)

Em seguida 2,0 gramas da amostra foram adicionados ao ácido e aquecidos a 90°C para consumir os minerais neutralizantes. Após o aquecimento a solução foi filtrada em papel filtro de filtração média, e avolumado a 125 mL em seguida titulada com NaOH com a mesma normalidade do ácido, ou seja 0,1N, até pH 7,0. O potencial de neutralização se deu em kg CaCO₃/t de amostra, calculados com as Equações 4, 5 e 6:

$$C = \frac{m_{HCl(PB)}}{m_{NaOH(PB)}} \times \frac{N_{ácido}}{N_{base}} \quad (4)$$

Onde:

C = constante utilizada para os próximos cálculos (---);

mL HCl (PB) = quantidade de HCl utilizado na prova em branco (mL);

mL NaOH(PB) = quantidade de NaOH utilizado na prova em branco (mL);

Nácido = normalidade do HCl (N);

Nbase = normalidade do NaOH (N).

$$Eq. \text{ác. consumido} = \frac{(ml \text{ác. ad.}) \times (N \text{ác.}) - (ml \text{base ad.}) \times C}{1000} \quad (5)$$

Onde:

Eq. ác. consumido = quantidade de ácido consumido (mL);

ml ác. ad. = quantidade de ácido adicionado (mL);

N ác. = normalidade do ácido (N);

mL base ad. = quantidade de base adicionada (mL);

C = constante encontrada na Equação 4.

$$NP = \frac{(Eq.\acute{a}c.consumido) \times 50,0 \times 1000}{massa\ amostra\ (g)} \quad (6)$$

Onde:

NP = potencial de neutralização (kg CaCO₃/t).

Para o ABA modificado a metodologia empregada foi semelhante à do ABA, porém com as seguintes modificações:

A determinação do AP foi a partir da análise de enxofre pirítico, realizada por método titulométrico e calculada pela Equação 7:

$$AP = \frac{(1000)}{32} \times \% S_{pirítico} \quad (7)$$

Onde:

AP = Potencial de acidez (kg CaCO₃/t);

S_{pirítico} = Enxofre pirítico (%).

Para a determinação do NP no método modificado foi aplicado o volume e normalidade do ácido encontrado no teste de FIZZ, porém nesse momento a amostra ficou em contato com ácido clorídrico por 24 horas a temperatura ambiente. Decorrido esse tempo, foi filtrado em papel filtro de filtração média, avolumado para 125 mL e titulada com NaOH, mesma normalidade do ácido até pH 8,3. O potencial de neutralização, expresso em kg CaCO₃/t de amostra foi calculado conforme as Equações (3), (4) e (5). Os dados que foram obtidos permitiram encontrar os valores de NNP (potencial de neutralização líquido) e NPR (razão do potencial de neutralização) por meio das Equações 8 e 9:

$$NNP = NP - AP \quad (8)$$

$$NPR = NP/AP \quad (9)$$

Onde:

NNP = potencial de neutralização líquido (kg CaCO₃/t);

NP = Potencial de neutralização (kg CaCO₃/t);

AP = Potencial de acidez (kg CaCO₃/t);

NPR = Razão do potencial de neutralização (kg CaCO₃/t).

3.3 Ensaios cinéticos em células úmidas

Os ensaios cinéticos foram realizados pelo método de células úmidas, conforme procedimento D 5744 (ASTM 1996). O procedimento pede a colocação de aproximadamente 1000 gramas de amostra e passar 1000 mL de água em células úmidas e 20 ciclos sendo 1 dia de água, 3 dias de ar úmido e 3 dias de ar seco. Porém por falta de células úmidas foi utilizado para a execução colunas cromatográficas, ao qual o volume dela era de aproximadamente 150 mL. Então foram colocados em cada coluna os valores presentes na Tab. 4. E devido ao pouco tempo, estes foram expostos a apenas 10 ciclos, sendo 1 dia de água (150 mL), 3 dias de ar úmido e 3 dias de ar seco. Os 150 mL de água passados em cada coluna cromatográfica foram analisados pelo LAQUA – Laboratório de Análises Químicas e Ambientais da Instituição SATC.

A Tabela 3 mostra a disposição de cada material nas colunas cromatográficas.

Tabela 3 – Disposição de amostra em cada coluna cromatográfica

Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5
Areia Fenólica	Cinzas de Fundo	Rejeito de Carvão	Rejeito de carvão + Areia Fenólica	Rejeito de carvão + Cinzas de Fundo
106 gramas	200 gramas	103 gramas	1,4 gramas: 98,59 gramas	9,1 gramas: 90,91 gramas

Fonte: do Autor (2020)

Para saber a relação de rejeito por neutralizante foi levado em consideração o NNP do método ABA modificado de cada um dos materiais. Assim as proporções foram de 1:70 de rejeito: areia e 1:10 de rejeito: cinzas.

3.4 Análises químicas do lixiviado das células úmidas

Os testes das águas passadas por cada coluna cromatográfica foram realizados no LAQUA - Laboratório de Análises Químicas e Ambientais da instituição SATC. Todas as análises seguiram os procedimentos do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

O pH foi medido em pHmetro digital da Ohaus modelo strater3100. O potencial redox e a condutividade foram medidas em multiparâmetro da Hanna modelo HI98194. A acidez total e a alcalinidade foram determinadas por análise titulométrica. Os metais foram determinados em ICP-OES (Plasma por Acoplamento Indutivo com Espectrometria de Emissão Óptica) da PerkinElmer modelo Optima 8300. E o sulfato foi medido em espectrofotômetro Hach DR 3900.

4. Resultados e discussões dos Ensaio estáticos

A Tabela 4 mostra as análises preliminares realizadas nos dois materiais em questão.

Tabela 4 - Análise preliminar dos materiais de estudo

ANÁLISE	Rejeito de Carvão	Cinzas de Termoelétrica
Umidade (%)	1,1	1,52
Cinza (%)	79,42	94,52
Carbono Fixo (%)	8,85	4,66
Matéria Volátil (%)	11,73	0,82
Poder Calorífico (kcal/kg)	834	297
Enxofre Total (%)	5,65	0,19
Enxofre Pirítico (%)	5,01	0,06
Enxofre Sulfático (%)	0,59	0,04
Enxofre Orgânico (%)	0,05	0,09

Fonte: do Autor (2020)

Observa-se que o rejeito apresenta a maior concentração de enxofre que nos outros materiais, em torno de 5,65%, destes 5,01% é enxofre pirítico. Esta alta concentração indicando um alto potencial de acidez.

Nos outros materiais o teor de enxofre total é bem baixo ou nulo, indicando um baixo potencial de acidez.

As principais análises para verificar a geração ou não de DAM são citadas na Tabela 5. Os valores de AP, NP e NNP são um dos principais índices que se deve analisar, pois eles estão associados aos valores de enxofre presente no material, ocasionando ou não a geração de DAM.

Tabela 5 – Ensaio estáticos nos materiais de estudo

Ensaio Estáticos		Rejeito de Carvão	Cinzas de Termoelétrica
Teste 1:1	pH	8,31	9,39
ABA	AP	176,56	5,93
	NP	4,38	16,23
	NNP	-172,18	10,29
	NPR	0,02	2,73
ABA Modificado	AP	156,56	1,87
	NP	5,09	16,5
	NNP	-151,47	14,26
	NPR	0,03	8,8

Fonte: do Autor (2020)

É possível analisar o alto valor de AP do rejeito de carvão e o potencial de acidez nulo na areia de fundição, devido aos teores de enxofre total. Os valores de NNP do rejeito mostram-se negativos, afirmando mais uma vez a formação de DAM.

Já os valores de NNP das cinzas de termoelétrica e da areia de fundição não nos dão certeza sobre a geração desse problema ambiental, sendo necessário as análises cinéticas para melhor avaliação.

Os valores de NP da areia podem ser compreendidos pela presença da hidroxila contida nos fenóis. Para verificação quanto ao uso e ao risco desse composto para o solo seria necessária uma análise de caracterização da areia.

4.1 Resultados e discussões dos Ensaio cinéticos com cinzas de termoelétrica e rejeito de carvão

As Figuras 1 a 10 a seguir apresentam os resultados dos ensaios cinéticos em célula úmida contendo um rejeito de carvão, outra com cinzas de termoelétrica e uma terceira contendo a mistura dos dois a uma proporção 1:10 (rejeito:cinza).

Para o rejeito pode-se observar que o pH variou entre 4,3 e 6,73 no decorrer das 10 semanas de teste. O potencial redox aumentou ficando em torno de 250 mV. Nas primeiras semanas os valores de ferro se mostraram bem altos, o que indica uma parcial oxidação do rejeito. No decorrer das semanas esse valor teve uma baixa significativa.

Os valores de sulfato foram tendo queda também no decorrer das semanas, inicialmente o valor era próximo dos 2400 mg/L. Outros metais também foram baixando os valores no decorrer das semanas, sendo o manganês a maior concentração, próximo de 60 mg/L inicialmente. Ao qual também pode ser explicado pela parcial oxidação do rejeito. Os valores de acidez e condutividade foram inicialmente altos, diminuindo no decorrer das semanas. E apresentou uma baixa alcalinidade.

Para as cinzas de fundo de termoelétrica o pH se apresentou mais alto entre 8,5 e 7,7. O potencial redox baixou ficando na faixa de 150 mV. Os valores de ferro, manganês, alumínio e zinco, ficaram abaixo de 0,3 mg/L. Sulfatos iniciou na faixa de 450 mg/L e se apresentou estável na faixa de 40 mg/L, por ainda conter pequenas quantidades de enxofre nas cinzas. Devido ao pH mais elevado apresentou baixa acidez, e uma maior alcalinidade. A condutividade baixou no decorrer das semanas também estabilizando na faixa de 170 μ S/cm.

Para maior entendimento das figuras as cinzas estão dispostas como CZ, o rejeito de carvão como RC e a mistura de cinza com rejeito (CZ+RC).

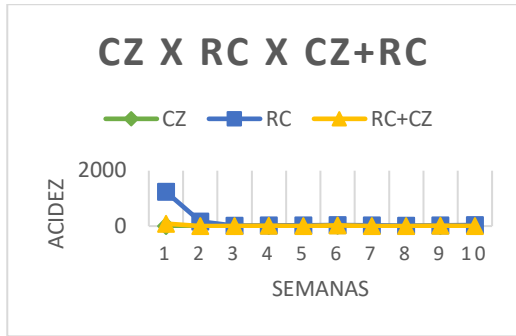


Figura 1 – Níveis de acidez (em mg/L) das cinzas (CZ) e rejeito de carvão (RC) no decorrer das 10 semanas.

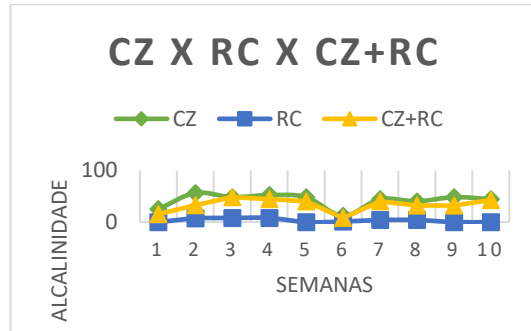


Figura 2 – Níveis de alcalinidade (em mg/L) das cinzas (CZ) e rejeito de carvão (RC) nas 10 semanas.

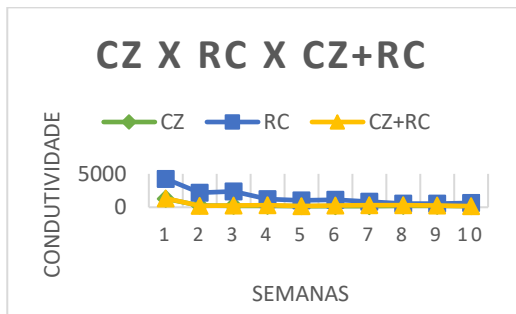


Figura 3 – Condutividade (em µS/cm) das cinzas (CZ) e rejeito de carvão (RC) no decorrer das 10 semanas.

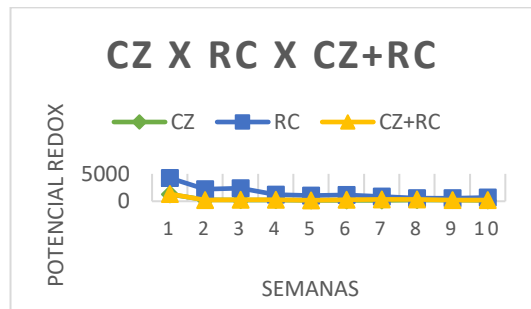


Figura 4 – Potencial redox (em mV) das cinzas (CZ) e rejeito de carvão (RC) no decorrer das 10 semanas.

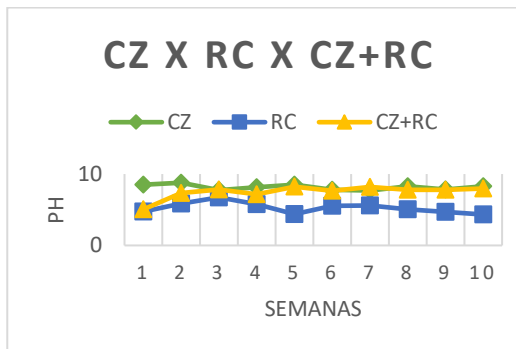


Figura 5 – Valores de pH das cinzas (CZ) e rejeito de carvão (RC) no decorrer das 10 semanas.

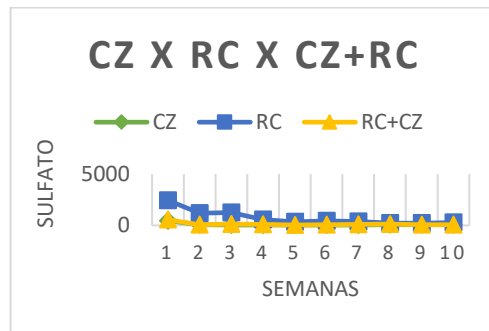


Figura 6 – Níveis de sulfato (em mg/L) das cinzas (CZ) e rejeito de carvão (RC) no decorrer das 10 semanas.

Na mistura dos materiais notou-se uma neutralização eficiente, visto que o pH estabilizou entre 7,1 e 8,2, esse comportamento pode ser atribuído aos óxidos de metais alcalinos presente nas cinzas. O potencial redox teve um pequeno aumento. Os valores de ferro, manganês, alumínio e zinco, se apresentaram maiores apenas na primeira semana, e estabilizando abaixo de 0,3 mg/l nas semanas seguintes, devido ao pH ter ficado mais elevado, o que acaba impedindo a lixiviação desses metais. Os sulfatos e a condutividade também seguiram essa regra apresentando valores menores após a primeira semana. Apresentou baixa acidez e uma boa alcalinidade.

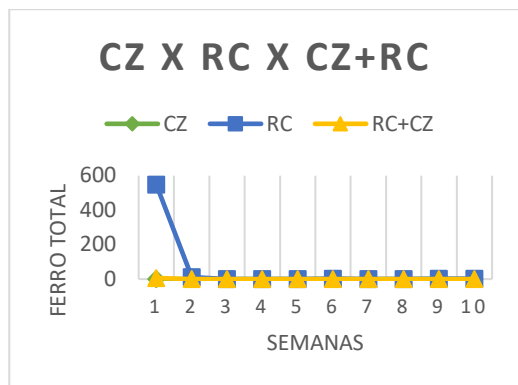


Figura 7 – Níveis de ferro (em mg/L) das cinzas (CZ) e rejeito de carvão (RC) no decorrer das 10 semanas.

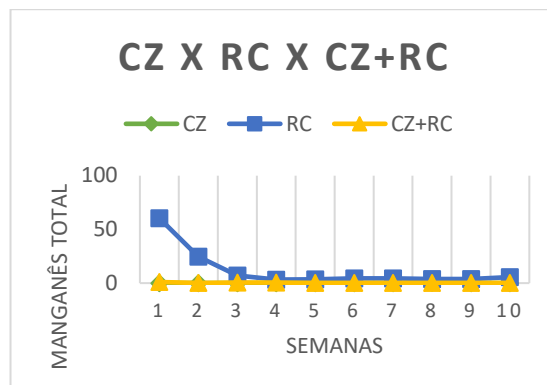


Figura 8 – Níveis de manganês (em mg/L) das cinzas (CZ) e rejeito de carvão (RC) nas 10 semanas.

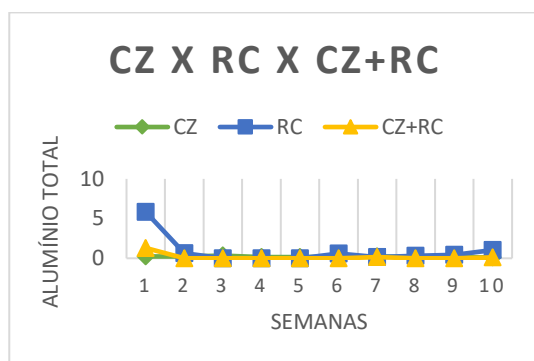


Figura 9 – Níveis de alumínio (em mg/L) das cinzas (CZ) e rejeito de carvão (RC) no decorrer das 10 semanas.

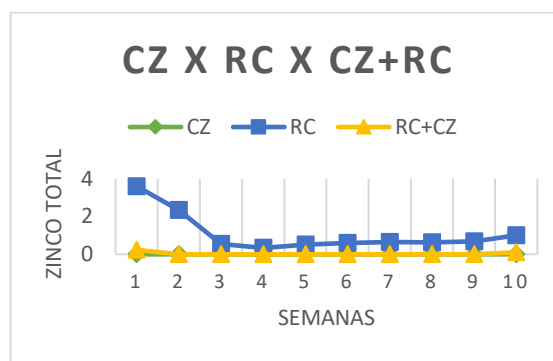


Figura 10 – Níveis de zinco (em mg/L) das cinzas (CZ) e rejeito de carvão (RC) no decorrer das 10 semanas.

5. Conclusões

Após a realização dos experimentos conclui-se que apesar de terem decorridos apenas 10 semanas de testes, o método ABA modificado é considerado uma forma segura para dosagem da quantidade de material neutralizante. A relação de rejeito: cinza no método ABA tradicional previa uma mistura 1:17 enquanto no método modificado a relação 1:10 já se mostra eficiente. Para rejeito: areia o método tradicional previa uma relação de 1:110 e o método modificado nos indica uma relação 1:70 como suficiente, ao qual pôde ser visto na prática que o modificado já é o suficiente.

Os ensaios realizados tanto com as cinzas quanto com a areia mostram que é possível fazer a utilização desse método para reduzir a drenagem ácida de mina em depósitos superficiais de rejeito de carvão. E que provavelmente reduziria o custo com os atuais métodos de tratamento de DAM.

Formas alternativas com outros rejeitos contendo um maior potencial de neutralização são umas das sugestões para trabalhos futuros.

Referências

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21. ed. Washington D.C.: APHA-AWWA-WEF,2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TEST AND MATERIAL - ASTM. **ASTM D 5744**: *standard test method for accelerated weathering of solid materials using a modified humidity cell*. USA, 1996.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL – ASTM. **ASTM D 5865**: *standard test*

method for gross calorific value of coal and coke. USA, 2004.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL – ASTM. ASTM D 4239-18e1: *standard teste method for sulfur in the analysis sample of coal and coke using high-temperature tube furnace combustion.* USA, 2018.

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 8289: *determinação do teor de cinza.* Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 8290: *determinação do teor de matérias voláteis.* Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 8293: *determinação do teor de umidade.* Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 8297: *determinação dos teores das diferentes formas de enxofre.* Rio de Janeiro, 1983.

BATISTA, Danielle Pereira; GRAZZIOTIN, Ingrid Costanzi; BIZANI, Delmar; *Avaliação da Citotoxicidade de Drenagem Ácida de Mina de Carvão Após Processo de Biorremediação.* In: SEFIC UNISALLE, 2015, Canoas. Anais... Canoas: Disponível em: <https://scholar.google.com/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=avalia%C3%A7%C3%A3o+da+citotoxicidade+de+drenagem+%C3%A1cida+d+e+mina+de+carv%C3%A3o+ap%C3%B3s+processo+de+biorredu%C3%A7%C3%A3o&btnG=>>. Acesso em: 06 abr. 2020.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. EPA 530-R-94-036: *Acid Mine Drainage Prediction.*, 1994. Technical Document.

FARIAS, Eduardo Justi. *Análise da Viabilidade da Redução dos Impactos Ambientais na Mineração do Carvão Mineral Por Meio da Aplicação do Backfill.* 2019. 73 f. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Produção) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2019. Disponível em: <https://riuni.unisul.br/bitstream/handle/12345/8110/TCC_Carv%C3%A3o_Eduardo%20Justi%20de%20Farias%2022_19hs.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 25 mar. 2020.

JÚNIOR, Marcos Rinaldo Carvalho Cunha. *Formulação e Caracterização de Peças Cerâmica Fabricadas a Partir dos Produtos da Combustão do Carvão Mineral.* 2019. 70 f. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal, Ceará, 2019. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/49248/1/2019_tcc_mrccj%C3%BAnior.pdf> Acesso em: 05 abr. 2020.

KNISS, Claudia Terezinha; COSTA, Priscila Rezende da; QUONIAM, Luc; SANTOS, André Moraes dos. *Utilização do Resíduo Resultante da Combustão de Carvão Mineral em Usinas Termelétricas na Produção de Novos Materiais: Uma Análise a Partir de Artigos Científicos e de Patentes.* Revista de Gestão Social e Ambiental - RGSA, São Paulo, v.13, n. 1, p. 76-93, jan/abr. 2019. Disponível em: <<https://rgsa.emnuvens.com.br/rgsa/article/view/1786/pdf>>. Acesso em: 06 abr. 2020.

LEMOS, Luis Otávio Silva Pereira. *Tratamento de Drenagem Ácida de Minas.* 2015. 40 f. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Química) - Universidade Federal de Alfenas, Poço de Caldas, 2015. Disponível em: https://www.unifal-mg.edu.br/engenhariaquimica/system/files/imce/TCC_2015_2/TCC%20-%20Luis%20Lemos.pdf_Acesso em: 05 abr. 2020.

LIMA, Maria Thereza da Silva Lopes; SOUZA, Marina Corrêa. *Discorrendo Sobre o Uso das Termoelétricas no Brasil. Ciência e Natureza*, v. 37, n. 2, p. 17-23. 2015. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/4675/467547642004.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2020.

PEREIRA, Leonardo Gadiel de Oliveira. *Estudo Preliminar do Uso de um Processo Eletroquímico Para o Tratamento de Água Contaminada Por Drenagem Ácida de Mina de Carvão.* 2017. 39 f. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Energia). Universidade Federal de Santa Catarina – Araranguá, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/182268/ESTUDO%20PRELIMINAR%20DO%20USO%20DE%20UM%20PROCESSO%20ELETROQU%3%8DMICO%20PARA%20O%20TRATAMENTO%20DE%20%20C3%81GUA%20CONTAMINADA%20POR%20DRENAGEM%20%20C3%81CIDA%20DE%20MINA%20DE%20CARV%3%83O.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 05 abr. 2020.

SILVA, Lilian Marcellino da.; FERREIRA, Rafael Lopes. *Impacto Ambiental Pela Mineração de*

Carvão no Sul de Santa Catarina. Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade, v. 6, n. 4, p.54-71, 2015. Disponível em: <<https://www.uninter.com/cadernosuninter/index.php/meioAmbiente/article/viewFile/461/396>>. Acesso em: 25 mar. 2020.

SOBEK, Andrew; SHULLER, Willian; Freeman, John; SMITH, Richard. *Field and Laboratory Methods Applicable to Overburden and Minesoils*, EPA 600/2-78-054,1978.

VASCONCELOS, Sarah Denise; BARROSO, Suelly Helena de Araújo; VIEIRA, Francisco de Assis Franco; ALMEIDA, Helmer Boris Fernandes. *Avaliação do Uso de Cinzas de Carvão Mineral Produzidas em Usina Termelétrica na Construção de Pavimentos. Transportes*, v. 27, n. 2, 2019. Disponível em: <<https://revistatransportes.org.br/anpet/article/view/1592>>. Acesso em: 02 abr. 2020.