



CARACTERIZAÇÃO DE DRENAGENS ÁCIDAS DE MINAS PROVENIENTES DA MINERAÇÃO DE CARVÃO EM CRICIÚMA/SC¹

Flávia Paulucci Cianga Silvas²
Daniella Cardoso Buzzi³
Andrea Moura Bernardes⁴
Gelsa Edith Navarro Hidalgo⁵
Jorge Alberto Soares Tenório⁶

Resumo

Proveniente das atividades de mineração, a drenagem ácida de minas (DAM) é uma solução aquosa caracterizada por elevada acidez e altas concentrações de metais e, representa grandes riscos ambientais, em especial, impactos hídricos, em consequência da solubilização e mobilização de metais pesados. Por este motivo estudos na área de caracterização viabilizando o tratamento de DAM é o foco deste trabalho. Utilizando-se de NaOH foi feita a neutralização da amostra até pH6 e o sobrenadante foi analisado através de absorção atômica e cromatografia iônica para avaliar o percentual de remoção dos metais. A neutralização mostrou-se eficiente para a remoção dos metais Al, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Mg, Ni e Zn da amostra CS e para Al, Fe e Mn da SS16, onde se obteve percentuais de remoção maiores que 70%. Contudo a neutralização mostrou-se mais eficiente no tratamento da amostra CS quando comparada a SS16, que apresentou baixos percentuais de remoção para os metais K, Pb e Ni.

Palavras-chave: Caracterização; Drenagem ácida de minas (DAM); Neutralização.

ACID MINE DRAINAGE CHARACTERIZATION FROM COAL MINING IN CRICIÚMA/SC

Abstract

As a result of mining activities, the acid mine drainage (AMD) is an aqueous solution characterized by the high acidity and high concentration of metals and it represents huge environment risks, in special, hydric impacts, as consequent of the solubilization and mobilization of heavy metals. The purpose of this paper is to propose a characterization study of the AMD in order to viabilize its treatment. The neutralization of the sample was made through the use of NaOH reaching pH6 and the supernatant was evaluated through atomic absorption and ionic chromatography techniques to assess the removal of metals. The neutralization showed to be efficient to the removal of the following metals Al, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Mg, Ni and Z from CS sample and for the removal of Al, Fe and Mn from SS16 sample, which revealed removal rates higher than 70%. However, the neutralization were more efficient in the treatment of CS sample when compared to SS16, which showed low removal percentages for K, Pb and Ni.

Key words: Characterization; Acid mine drainage (AMD); Neutralization.

¹ Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Mestranda em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). flavia.silvas@gmail.com

³ Doutoranda em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela EPUSP. danibuzzi@uol.com.br.

⁴ Professora Doutora do Departamento de Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: amb@ufrgs.br.

⁵ Professora Doutora do Departamento de Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais da Escola de Engenharia da UFRGS. gelsaedith@ufrgs.br.

⁶ Prof. Dr. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da EPUSP. jtenorio@usp.br.



1 INTRODUÇÃO

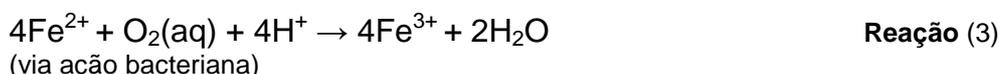
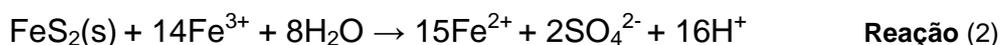
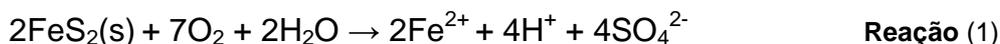
O Brasil dispõe de uma das maiores reservas de carvão da América Latina,⁽¹⁾ no segundo semestre de 2008 foram produzidas mais de 4,1 milhões de toneladas de carvão bruto, sendo que destas foram beneficiadas 2,4 milhões toneladas de carvão energético e apenas 7,8 mil toneladas de carvão metalúrgico.⁽²⁾

A produção de carvão mineral brasileira concentra-se na região Sul do país, sendo que 74% das minas ativas em 2006 encontram-se no estado de Santa Catarina, 22% no Rio Grande do Sul e o restante no Paraná.⁽³⁾

Um dos principais impactos causados pela atividade mineira é a poluição hídrica pela DAM. Os problemas ambientais estão relacionados com o baixo pH e as altas concentrações de metais dissolvidos (como Fe, Al, Mn e traços de Pb, Cu e Zn) geralmente característicos da DAM.⁽⁴⁾

A DAM é formada através da oxidação de minerais de sulfeto, principalmente pirita (FeS_2) e combina baixo valor de pH e altas concentrações de metais que podem ter sérios efeitos toxicológicos nos ecossistemas aquáticos, como mortalidade, disfunções no crescimento, menores taxas de reprodução, deformidades e lesões.⁽⁵⁾

As reações envolvidas na formação da DAM se dão por processos químicos e biológicos, originando-se da exposição de minerais sulfetados presentes em rochas e expostos à ação combinada de água e oxigênio atmosférico, por dois mecanismos, o mecanismo direto que ocorre nos estágios iniciais de oxidação da pirita⁽⁶⁾ representado pela Reação (1), e o mecanismo indireto que ocorre nos estágios mais avançados do processo de acordo com as Reações (2) e (3).



Vale ressaltar que a reação (3) ocorre somente em pH inferior a 3,0 e se dá pela ação de bactérias acidofílicas (*Thiobacillus spp.*) que convertem o Fe^{2+} a Fe^{3+} , retroalimentando a Reação (2) em um processo autocatalítico.

Aproximadamente dois terços da malha hidrográfica da região de Criciúma estão comprometidas.⁽⁷⁾ Os rios da região apresentam valores de pH abaixo de 3, elevados teores de acidez e de sulfatos de ferro, além disso há locais assoreados pela deposição de finos e ultrafinos do carvão, com acentuada turbidez e concentrações de sólidos sedimentáveis.

Ainda segundo o autor supracitado, os rejeitos piritosos quando abandonados de forma inadequada comprometem áreas superiores a 5.000 ha. na região carbonífera e a lixiviação destas pilhas contribui para a acidificação do solo e das águas superficiais.

Nas Figuras 1 e 2 podemos visualizar, respectivamente, os impactos gerados pela DAM no rio Sangão e os rejeitos oriundos da mineração/beneficiamento do carvão expostos ao meio ambiente, ambos em Criciúma/SC.



Figura 1. Fotografia Rio Sangão, Criciúma – SC.



Figura 2. Fotografia Pilhas de Rejeitos, Criciúma – SC.

O início da exploração de carvão mineral em Santa Catarina se deu com a escavação manual de inúmeras bocas de minas, nas encostas, onde afloram as camadas de carvão. Estas escavações eram realizadas com o uso de ferramentas manuais, portanto nas porções mais alteradas e brandas da camada se tornava possível a exploração, mas com o avanço das galerias o minério se tornava muito duro para ser explorado manualmente. Assim eram abandonadas as frentes de lavras, dando-se início a abertura de uma nova boca de mina.⁽⁸⁾ Observa-se hoje no município que muitas dessas bocas de minas abandonadas continuam com DAM desde sua abertura.

O tratamento convencional da DAM é realizado pela neutralização e precipitação dos metais na forma de hidróxidos.⁽⁹⁾ O processo ativo por neutralização

e precipitação tem sido o preferido pelas indústrias de mineração de carvão no Brasil.⁽¹⁰⁾

Uma forma alternativa de tratamento para a DAM está sendo estudada,⁽¹¹⁾ o uso de cobertura seca. Para tanto foi construído em uma carbonífera de Criciúma/SC, em escala piloto, um sistema composto por quatro cavidades com volume aproximado de 110 m³ cada, preenchidas com rejeito oriundo da operação de beneficiamento de carvão. Três das quatro células receberam coberturas diferentes e uma delas simulou a situação real, com o rejeito exposto diretamente às intempéries.

No presente estudo utilizou-se a DAM proveniente da célula que não recebeu a cobertura seca, proveniente do estudo supracitado, e uma DAM coletada em boca de mina abandonada a fim de caracterizar as duas amostras antes e após neutralização com hidróxido de sódio e comparar os resultados obtidos com os parâmetros da legislação vigente. Após o tratamento a DAM deve atender aos padrões requeridos pela Resolução CONAMA n°357,⁽¹²⁾ que estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes industriais.

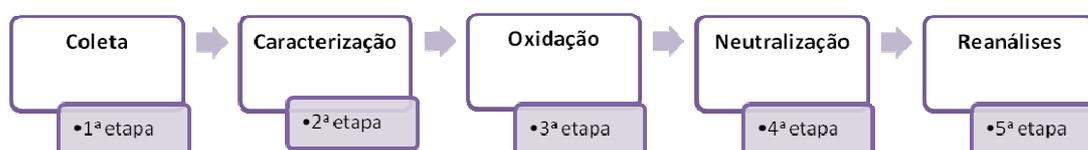


Figura 3. Fluxograma de trabalho: Etapas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia adotada pode ser descrita em 5 etapas e está exemplificada no seguinte fluxograma de trabalho que será posteriormente detalhado:

2.1 1ª etapa: Coleta

Foram coletadas amostras de DAM de dois diferentes locais em Criciúma -SC: de um módulo de rejeitos em teste em uma carbonífera local (Figura 3) e de uma boca de mina abandonada (Figura 4), identificadas neste trabalho como CS e SS16 respectivamente. A primeira amostra foi coletada na última semana de outubro de 2009 e a segunda na primeira semana de dezembro do mesmo ano.



Figura 4. Módulo de rejeitos: teste de cobertura, Criciúma/SC.



Figura 5. Boca de mina abandonada, Criciúma/SC.

Fez-se a escolha dos locais de coleta de modo a conseguir amostras com diferentes características, capazes de representar duas situações distintas por serem provenientes de fontes diferentes:

1^a – A DAM coletada no módulo de rejeitos em teste, pode “ser comparada” com drenagens encontradas em lagoas ácidas ao redor de pilhas de rejeitos abandonadas. Estudos realizados encontraram mais de 77 lagoas ácidas e 115 áreas com depósitos de rejeitos no sul de Santa Catarina.⁽¹³⁾

2^a – A amostra SS16 proveniente de uma boca de mina abandonada, “representa” DAMs geradas na mesma situação e, assim como esta, estima-se a ocorrência de aproximadamente 1.000 bocas de minas abandonadas e até novembro de 2008 foram cadastradas aproximadamente 768 bocas de minas nesta situação, na região.⁽⁸⁾

Vale ressaltar que a composição de cada DAM varia e depende de muitos fatores (que serão explicados mais adiante) e, portanto, não se pode afirmar que as amostras estudadas são representativas para todas as situações mesmo quando provenientes de fontes similares.

2.2 2^a etapa: Caracterização

Após coleta as amostras foram acidificadas com ácido nítrico, de modo a preservar as amostras, para posterior análise de espectrometria de absorção atômica a fim de

se identificar a concentração dos seguintes metais: Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Mg, Ni, Pb e Zn.

O teor de Fe^{+3} foi determinado por titulometria e o de Fe^{+2} por diferença em relação ao Fe total previamente determinado.

A determinação dos teores de Ca, K, sulfato e cloreto se deram através de cromatografia iônica. Para a análise no cromatógrafo as amostras foram previamente filtradas em membrana de 0,45 μm .

2.3 3ª etapa: Oxidação

Considerando que o intuito deste trabalho é a avaliar a eficiência de remoção dos metais no tratamento da DAM através de neutralização até pH 6, optou-se por realizar a oxidação da amostra CS antes da neutralização através da adição de peróxido de hidrogênio, agitação e bombeamento de ar,⁽¹⁴⁾ para oxidação do Fe^{2+} inicialmente presente na solução em Fe^{3+} , isso porque o ferro pode estar presente na DAM em dois estados de oxidação (II e III) e as duas formas se comportam de modo bastante desigual: enquanto a concentração do Fe^{3+} é igual a 10^{-4} M para um pH da solução igual a 3, um pH de aproximadamente 8 é necessário para se conseguir a mesma concentração do íon Fe^{2+} .⁽¹⁵⁾

2.4 4ª e 5ª etapas: Neutralização e Reanálises

O pH das amostras foi corrigido a 6, sob constante agitação e utilizando hidróxido de sódio 4N (Figura 6). O hidróxido de sódio é cerca de 1,5 vezes mais efetivo para a neutralização que a cal, embora apresente maior custo.⁽¹⁵⁾ A lama formada pela precipitação dos metais foi separada da solução através de filtração em papel de filtração (Figura 7), posteriormente o sobrenadante foi caracterizado usando os mesmos parâmetros das amostras brutas. A partir de então estas amostras receberam as seguintes identificações: SS16 passou a chamar SS16N6 e CS passou a CSN6.

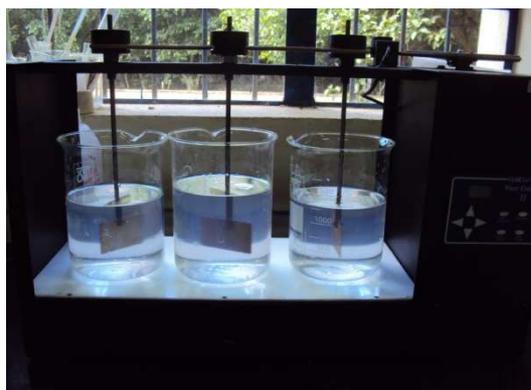


Figura 6. Neutralização: amostra SS16.



Figura 7. Filtração da amostra CS: lama.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentadas as caracterizações químicas das amostras de DAMs CS e SS16 brutas e também as caracterizações após a neutralização, ou seja, as amostras CSN6 e SS16N6. Os limites máximos permitidos para lançamento de efluentes, de acordo com a Resolução CONAMA 357,⁽¹²⁾ também são apresentados nesta tabela.

Tabela 1. Caracterização química das amostras CS, CSN6, SS16 e SS16N6 e limites máximos permitidos pelo CONAMA 357⁽¹²⁾

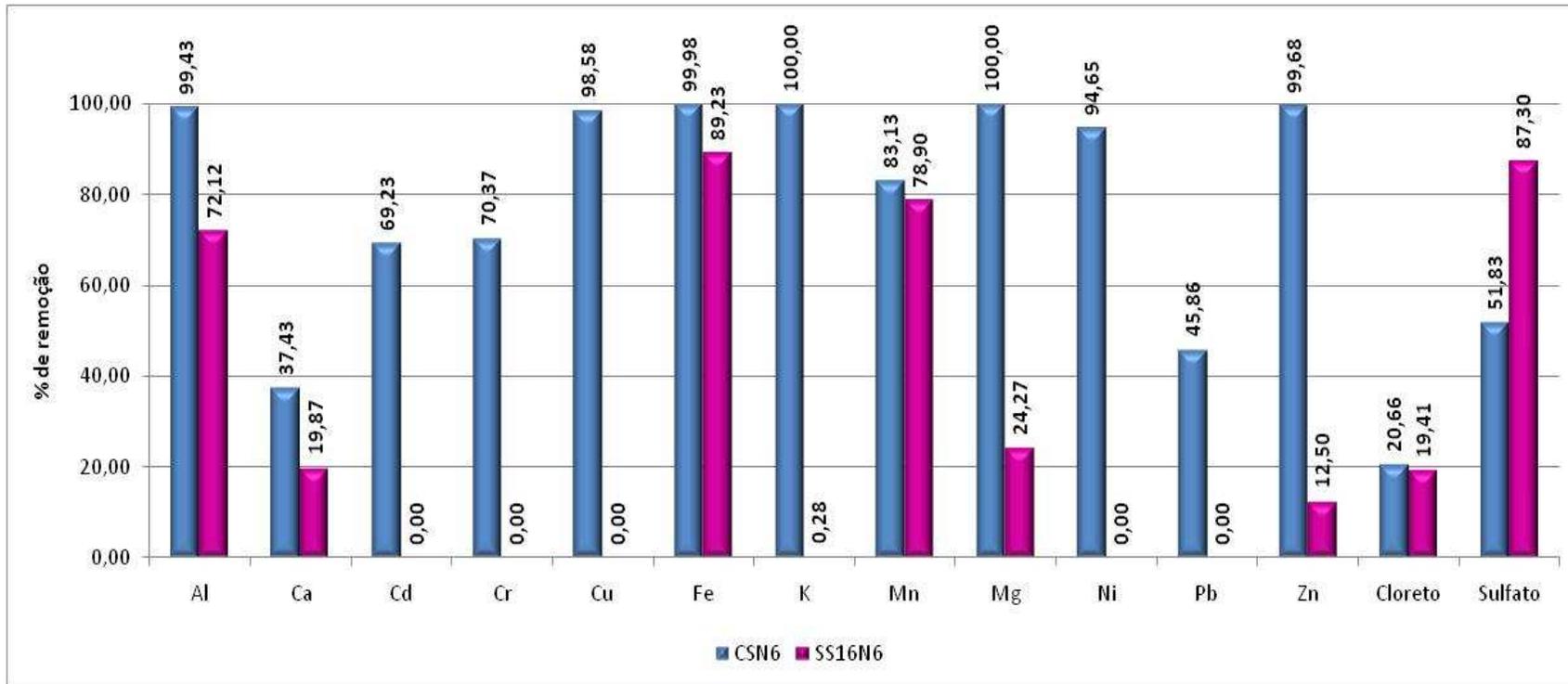
Parâmetro	Concentração (mgL ⁻¹)				CONAMA 357/2005
	CS	CSN6	SS16	SS16N6	
pH	1,92	6,0	3,05	6,0	5,0 a 9,0
Al	11.820,00	67,50	269,00	75,00	--
Ca	1.156,44	723,56	143,07	114,64	--
Cd	0,39	0,12	N.D.	N.D.	0,20
Cr	0,27	0,08	N.D.	N.D.	0,50
Cu	7,77	0,11	N.D.	N.D.	1,00
Fe total	7.806,00	1,62	0,65	0,07	15,00
Fe ⁺²	4.257,24	--	0,65	--	
Fe ⁺³	3.548,76	--	N.D.	--	
K	1.236,07	N.D.	64,07	63,89	--
Mn	139,30	23,50	5,45	1,15	1,00
Mg	93,66	N.D.	19,24	14,57	--
Ni	10,09	0,54	0,16	0,16	2,00
Pb	1,57	0,85	N.D.	N.D.	0,50
Zn	159,70	0,51	0,56	0,49	5,00
Cl ⁻	484,72	384,57	69,76	56,22	--
SO ₄ ⁻²	43.772,28	21.085,89	3.671,45	466,43	--

N.D. – Não detectado

Os percentuais de remoção após a neutralização das amostras de DAM são apresentados na Figura 8 para cada um dos parâmetros analisados em cada uma das 2 amostras avaliadas.



Figura 8. Porcentagem de remoção dos parâmetros após neutralização das DAMs





Observando-se a Tabela 1 verificamos que na DAM CS os metais com maiores concentrações são: Al, Ca, Fe e K que somados correspondem a aproximadamente 98,16% do total de metais presentes nesta amostra. Mn, Mg e Zn possuem concentrações intermediárias, 139,30, 93,66 e 159,70 mgL⁻¹, respectivamente. Já os teores de Cd, Cr, Cu, Ni e Pb são menores que 10 mg L⁻¹ e a soma dos mesmos totaliza 0,09% dos metais presentes nesta amostra.

O teor de sulfatos representa mais de 65% da composição da amostra, e o baixo pH, 1,92, estão relacionados à alta concentração de ácido sulfúrico e íons livre de hidrogênio (H⁺).⁽¹⁶⁾ Já os cloretos representam menos de 1% da composição total da amostra.

Também da Tabela 1, verifica-se que na amostra SS16 as concentrações de Fe, Zn e Ni são menores que 1 mgL⁻¹ e o teor de Ca e Al correspondem a 82,05% do total dos metais presentes. A concentração de Mn é menor que 10 mgL⁻¹ e a de K encontra-se em torno de 60 mgL⁻¹. A concentração de cloreto totaliza 1,6% do total e a alta concentração de sulfato, 3.671,25mgL⁻¹, justifica o baixo pH da amostra: 3,05. Ainda da análise da Tabela 1 tem-se que alguns metais presentes na DAM CS não estão presentes na DAM SS16, tais como: Cd, Cr, Cu e Pb. Outra observação relevante é que mesmo os elementos que são comuns as duas amostras apresentam diferentes concentrações. Essas diferenças entre as duas amostras podem ser relacionadas com a qualidade e composição da matéria-prima extraída (camada de onde o carvão foi extraído – geologia local), com os tipos de rochas e mineral no local de formação e passagem da DAM, uma vez que a mesma tem elevada capacidade de lixiviação de elementos presentes no minério e nas rochas circundantes à área minerada.⁽⁹⁾

Outro fator que influencia a composição das DAMs é a presença ou não de bactérias acidofílicas nas mesmas. Uma vez que, conforme apresentado anteriormente, as reações envolvidas na formação da DAM se dão de acordo com a reação (3) que converte o Fe⁺² a Fe⁺³ retroalimentando a reação (2) que ocorre pela ação das bactérias acidofílicas. Tais bactérias vivem e crescem somente em meio ácido com pH variando entre 1,5 e 3.^(17,18)

A influência dos fatores supracitados nas amostras analisadas pode ser identificada visualmente na coloração em que estas se apresentam: CS com coloração avermelhada, justificada pela presença de Fe(OH)₃ e SS16 incolor. Esta análise visual foi corroborada pela determinação titulométrica do teor de Fe⁺³ encontrado na amostra CS (3.548,76mgL⁻¹) enquanto que na amostra SS16 todo o ferro presente encontrava-se na forma Fe⁺².

Além disso, tem-se a diferença na origem das amostras, pois a amostra SS16 é proveniente de uma boca de mina abandonada enquanto que a DAM CS é gerada a partir de um módulo de rejeitos sem cobertura, ou seja, os rejeitos do carvão estão expostos diretamente a intempéries e sabe-se que a pirita quando em contato com ar (oxigênio) e água oxida-se e inicia reações de hidrólise que produzem ácido sulfúrico (H₂SO₄) e íons livre de hidrogênio (H⁺), acidificando ainda mais o meio.^(6,16)

Apesar dos metais Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Mn e Zn estarem em menores proporções nas amostras, suas presenças não podem ser ignoradas, uma vez que estes metais representam riscos a saúde e ao meio ambiente e, portanto devem ser removidos da DAM até os limites máximos permitidos pela Resolução CONAMA 357⁽¹²⁾ para a disposição final desta como um efluente industrial.

Observa-se que mesmo após a neutralização com NaOH 4N até pH 6, a concentração de Pb, para a amostra CS e Mn para ambas extrapolaram o limite máximo permitido pela legislação.



Na amostra CSN6 a concentração de Pb foi igual a $0,85 \text{ mgL}^{-1}$, sendo que o limite é de $0,50 \text{ mgL}^{-1}$ e o Mn se apresentou 23,5 vezes maior que a máximo permitido enquanto que na SS16N6 ultrapassou apenas $0,15 \text{ mgL}^{-1}$, conforme apresentado na Tabela 1.

Na Figura 8 é possível observar que os percentuais de remoção acima de 98% ocorreram nas amostras CSN6 para os elementos: Al, Cu, Fe, K, Mg e Zn.

Já para os metais Cd e Cr da amostra CSN6, o percentual de remoção foi aproximadamente de 70% e para o sulfato em torno de 50%.

Para Mn e Ni da amostra CSN6 o percentual de remoção foi maior que 80%, na mesma amostra o teor de remoção de Ca e Pb ficou em torno de 40% e cloreto em torno de 20%.

Na amostra SS16 os metais Fe e Al tiveram percentual de remoção maior que 70%, enquanto que o Ca e Mg apresentaram em torno de 20% de remoção. Ainda na mesma amostra, os percentuais de remoção de Zn e cloreto foram de aproximadamente 15% e a de K menor que 1%.

Não houve remoção de Ni na amostra SS16N6 e os elementos Cd, Cr, Cu e Pb da SS16N6 aparecem na Figura 8 como percentual de remoção zero porque eles não faziam parte da amostra bruta.

As diferenças no comportamento das amostras podem ter sido influenciadas devido à diferença de pH inicial das amostras, do teor de sulfatos e de cloretos. Além da co-precipitação que pode ocorrer de outros metais presentes na DAM juntamente com o hidróxido férrico devido à diferença de potencial entre os metais em solução.⁽¹⁹⁾

Comparando os resultados obtidos para amostra SS16N6 com os apresentados por WEI *et al.*,⁽¹⁴⁾ verificamos que ambas apresentam características e comportamento próximos. Enquanto que a amostra CS apresenta quase 29 vezes mais sulfatos do que na DAM caracterizada pelo autor supracitado. Essa diferença na concentração de sulfatos pode influenciar no produto de solubilidade dos sais metálicos presentes na amostra aumentando a precipitação dos metais e sua consequente remoção.

4 CONCLUSÃO

Dos resultados apresentados para o percentual de remoção dos metais após a neutralização podemos concluir que este tratamento mostrou-se eficiente (percentuais de remoção acima de 70%) para os metais Al e Fe de ambas as amostras e Cu, K, Mg e Zn da amostra CSN6. Pb e Mn mesmo após tratamento ainda permaneceram em concentrações superiores aos limites máximos permitidos pela Resolução CONAMA 357.⁽¹²⁾

Conclui-se também que o percentual global de remoção após o tratamento da DAM foi maior para a amostra CS (percentual de remoção maior que 97%), enquanto que para a amostra SS16 o percentual de remoção foi menor do que 50%.

Agradecimentos

À Capes – Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior;
À Carbonífera Criciúma S/A;
À SACT – Associação beneficente da indústria carbonífera de Santa Catarina;
Ao Laprom – Laboratório de Processamento Mineral (UFRGS);
Ao LeaMet – Laboratório de Estudos Ambientais para Metalurgia (UFRGS);
À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP).

REFERÊNCIAS

- 1 SOARES, E. R.; MELLO, J. W. V.; SCHAEFER, E. G. R. & COSTA, L. M. Cinza e carbonato de cálcio na mitigação de drenagem ácida em estéril de mineração de carvão. **R. Bras. Ci. Solo**, n°30, p.171-181, 2006.
- 2 BORBA, R. F. & ARAÚJO, L. P. O. Carvão Mineral. **Informe Mineral**, Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, p. 13, 1ºsem. 2009.
- 3 NEVES, C. A. R. & SILVA, L. R. Universo da Mineração Brasileira. Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, Brasília, 2007.
- 4 WEI, X; VIADERO Jr., R.C. & BHOJAPPA, S. Phosphorus removal by acid mine drainage sludge from secondary effluents of municipal wastewater treatment plants. **Water Research**, v. 42, p. 3275-3284, 2008.
- 5 LEWIS, M. E. & CLARK, M. L.. How does stream flow affect metals in the upper Arkansas river? **US Geological Survey Fact Sheet**, p. 226–296, 1996.
- 6 KONTOPOULOS, A. **Acid Mine Drainage Control**. In: Effluent Treatment in the Mining Industry. Castro, S. H.; Vergara, F.; Sánchez, M. A.; (Eds.). University of Concepción, 1998.
- 7 VAZ, P. A. B. Reparação do dano ambiental – Caso concreto: mineração em Santa Catarina e o meio ambiente. **R. CEJ**, n. 22, p. 41-48, jul./set. 2003.
- 8 AMARAL, José E., KREBS, Antônio S. J. & PAZZETTO, Mariane B.. **Bocas de Minas de Carvão abandonadas em Santa Catarina**. Anais do XXIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa – Gramado, Rio Grande do Sul, 27 de setembro a 1º de outubro de 2009. v. 2, p. 397-402.
- 9 CAMPANER, V. P. & SILVA, W. L. Processos físico-químicos em drenagem ácida de minas em mineração de carvão no sul do Brasil. **Química Nova**, v. 32, p. 146-152, 2009.
- 10 RUBIO, J., DA SILVA, R. D. R., DA SILVEIRA, A. N., **Técnicas para tratamento e aproveitamento de águas ácidas residuais da mineração de carvão**. III Workshop Gestão e Reuso de Água na Indústria. – Florianópolis, Santa Catarina, novembro de 2007.
- 11 SOUZA, Vicente P., POSSA, Mario V., SOARES, Paulo S. M., SOARES, Anderson B., BERTOLINO, Ana V. A. F. & SOUZA, Marcia R. R.. **Desempenho de cobertura seca em escala piloto para abatimento de DAM gerada por rejeito de carvão**. Anais do XXIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa – Gramado, Rio Grande do Sul, 27 de setembro a 1º de outubro de 2009. v. 2, p. 515 – 523.
- 12 RESOLUÇÃO CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, **Resolução nº357**, de 17 de março de 2005. Ministério do Meio Ambiente, Brasília. 2005.
- 13 GOMES, C.J. B. Projeto para Recuperação Ambiental da Bacia Carbonífera Sul Catarinense: **Relatório de Atividades** – Fevereiro de 2004.
- 14 WEI, X.; VIADEIRO JR., R. C. & BUZBY, K. M. Recovery of iron and aluminum from acid mine drainage by selective precipitation. **Environmental Engineering Science**, v. 22, n. 6, 2005.
- 15 JONHSON, D. B. & HAKKBERG, K. B. Acid mine drainage remediation options: a review. **Science of the Total Environment**, 338, p.3 – 14, 2005.
- 16 GAIKWAD, R. W. & GUPTA, D.V. Review on removal of heavy metals from acid mine drainage. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 6, p. 81-98, 2008.
- 17 RAO, S.R. **Chapter 7: Recycling Metal**. In: RAO, S.R. (Editor). Waste Management Series. Vol. 7 – Resources Recovery and Recycling from Metallurgical Wastes. 2006.
- 18 GARCIA Jr, O. **Utilização de Microorganismos em Processos Bio-hidrometalúrgicos**. Anais de I & II Encontros de Metalurgia, Mineração e Materiais da UFMG. Belo Horizonte, 1995.
- 19 BLODAU, C. A review of acidity generation and consumption in acidic coal mine lakes and their watersheds. **Science of the Total Environment**, 369, p. 3017-332, 2006.