

REGENERAÇÃO DE COAGULANTE DE LODO DE ETA POR SOLUBILIZAÇÃO COM ÁGUA ÁCIDA GERADA POR LIXIVIAÇÃO DE REJEITO DE CARVÃO

Rodrigo de Almeida SILVA¹, Julia BINOTO¹, Aline SOARES¹, Jean C.S.S. MENEZES², Elvis CARISSIMI³

¹Imed – Faculdade Meridional; rodrigo.silva@imed.edu.br; ² UNOESC - Universidade do Oeste de Santa Catarina, jean.menezes@gmail.com; ³ Universidade Federal de Santa Maria; ecarissimi@gmail.com

RESUMO

A pirita é um sulfeto de ferro contido no rejeito de carvão, proveniente da extração de carvão mineral. Quando exposta ao meio ambiente, produz um efluente com elevada acidez e alta concentração de metais, principalmente ferro e alumínio, além de sulfatos. Este efluente é conhecido com drenagem ácida de mina (DAM). A DAM quando não controlada pode causar graves problemas ambientais, como ocorridos na região carbonífera do estado de Santa Catarina, onde há mais de 15 anos trabalha-se para a remediação dos danos causados pelas águas ácidas. Por outro lado a DAM apresenta alto potencial de solubilização de metais devido a sua acidez. Também é sabido que atualmente a disposição final dos lodos de tratamento de água potável é incerta, poucos locais atendem as determinações a Lei nº 9.605 da Política Nacional de Resíduos Sólidos no que tange a disposição final do lodo produzido pela remoção das impurezas da água potável. Este lodo resultante do processo de purificação da água utiliza como coagulante sais de alumínio, que produz a coagulação das partículas em suspensão concentrando as impurezas em uma fase sólida. Dessa forma, torna-se imprescindível a necessidade de avaliar a possibilidade de aproveitamento de resíduos industriais bem como de se obter materiais que possam ser reincorporados nos processos produtivos, propondo uma mudança no paradigma de tratamento de fim-de-tubo. Este trabalho propõe a geração de acidez e a solubilização do lodo de estações de tratamento de água para recuperar o ferro e o alumínio sem adição de reagentes químicos. Os resultados demonstraram que a relação mássica estequiométrica entre a alcalinidade do lodo e a acidez da DAM foi de 1:0,6. Contudo os ensaios de solubilização do lodo demonstraram que a proporção de lodo DAM mais adequada para a solubilização é de 1:3,0, solubilizando cerca de 50% da massa de lodo em base seca.

Palavras-chave: Lodo ETA. Drenagem Ácida de Miina, Coagulante regenerado

ABSTRACT

Pyrite is an iron sulphide contained in coal waste from coal mining. When exposed in contact of air and water, it produces an effluent with high acidity and high concentration of metals, mainly iron and aluminum, besides sulphates. This effluent is known as acid mine drainage (AMD). AMD when uncontrolled can cause serious environmental problems, such as those occurring in the coal region of the state of Santa Catarina, where it has been working for more than 15 years to remediation the damages caused by coal mining damage. On the other hand the DAM presents high potential of solubilization of metals due to its acidity. It is also known that currently the final disposal of sludge of drinking water treatment is uncertain, few sites meet the provisions of Law No. 9,605 of the National Policy on Solid Waste with regard to the final disposal of sludge produced by the removal of impurities from drinking water. This slurry resulting from the water purification process uses as coagulant aluminum salts, which produces coagulation of the suspended particles by concentrating the impurities in a solid phase. Currently the possibility of exploiting industrial waste has been researched as if obtaining materials that can be reincorporated into the productive processes, proposing a change in the paradigm of end-of-pipe treatment. This work discusses the acidity generation and the solubilization of sludge from water treatment plants to recover iron and aluminum without the addition of chemical reagents. Results showed that the stoichiometric mass ratio between the alkalinity of the sludge and the acidity of the AMD was 1: 0.6. However, sludge solubilization assays have demonstrated that the ratio of AMD sludge most suitable for solubilization is 1: 3.0 solubilizing about 50% of the slurry mass on a dry basis.

Key- Words: Sludge of Drinking Water, Acid Mine Drainage, Coagulant recovery.

1. INTRODUÇÃO

A Região Sul do Brasil é responsável pela produção de carvão mineral utilizado majoritariamente como combustível em termoeletricas e, de forma secundária na indústria siderúrgica nacional. De acordo com o Sindicato das Indústrias de Carvão de Santa Catarina (Belolli et al., 2002), a extração média anual de carvão bruto é de 6 milhões t/ano, sendo que deste montante, 3,5 milhões t/ano são dispostos como rejeitos, contendo quantidades variáveis de pirita (FeS_2), que variam de 6 a 8 % (Amaral Filho, 2014). Estima-se que existam, aproximadamente, 300 milhões de toneladas de rejeitos de carvão na carbonífera de Santa Catarina. Esses depósitos são a principal fonte de geração da drenagem ácida de mina (DAM), que implica enormes custos para remediação (Amaral Filho et al., 2013). A Drenagem Ácida de Minas (DAM) é resultado da oxidação natural dos sulfetos metálicos, quando este material entra em contato com água e oxigênio forma uma solução com elevada acidez, altos teores de sulfatos e ferro. Apresenta também uma série de outros elementos químicos em menores concentrações que são solubilizados da matéria mineral, como alumínio, manganês, zinco, cobre entre outros, agravando ainda mais o problema ambiental (Evangelou, 1995; Skousen e Ziemkiewicz, 1996).

A busca de soluções tecnológicas para os problemas ambientais da mineração de carvão vem ganhando espaço no cenário atual, assim trona-se necessários estudos que indiquem o aproveitamento pirita como matéria prima. No contexto da mineração, o aproveitamento da DAM e da pirita contido nos rejeitos de carvão tem sido estudados com o intuito de viabilizar tecnologias que agregarem valor aos resíduos, possibilitando a sua comercialização. Assim, podem-se citar os seguintes estudos com relação ao aproveitamento dos metais da DAM: (i)-estudo indica a possibilidade de recuperar os metais de valor econômico dissolvidos na DAM, minimizando os danos ambientais (Madeira, 2010; Ross, 1973) (Jenke e Diebold, 1983), (iii)- uso da DAM como coagulante (Rao et al., 1992), (iv)- recuperação do ferro e o alumínio com alta pureza pela precipitação seletiva da DAM (Wei et al., 2005), (v)-coagulante com o lodo ferrico preparado a partir da precipitação seletiva da DAM em pH 3,8 (Menezes et al., 2009),

ou a partir do extrato concentrado da lixivia do rejeito de carvão (Menezes et al., 2016).

Já os estudos sobre o uso da Pirita contido nos rejeitos de carvão como promotor de processos tecnológicos são mais incipientes, tradicionalmente a pirita pode ser utilizada para produzir ácido sulfúrico (Belolli et al., 2002), recentemente alguns estudos tem apontado a possibilidade técnica de produzir sulfato ferroso e hematita por aquecimento do rejeito (Peterson, 2008) e sulfato ferroso por precipitação química do extrato lixiviado de pirita (Vigânico, 2014). Outra possibilidade de uso tecnológico da pirita se refere geração de elétrons na superfície da pirita por radiação luminosa (Rimstidt e Vaughan, 2003) que foi aplicada em sistema de lixiviação para redução do ferro (Silva et al., 2012). Recentemente tem-se usado a pirita para gerar uma solução biolixivante, baseada na compreensão do mecanismo conjunto da ação química e microbiana nos sulfeto de ferro (Tao e Dongwei, 2014). No trabalho desenvolvido por Bryan foi produzido uma lixivia ácida pela dissolução da pirita para utilizar a solução extrator de metais de interesse contidos nos resíduos eletrônicos (Bryan et al., 2015)

Outro aspecto com relevância teórica para este trabalho são os sistemas de tratamento de água potável (Estação de tratamento de água - ETA), que têm por objetivo transformar água bruta captada em água potável, tornando adequada ao consumo humano, para isso é empregado um conjunto de operações unitárias e adições de reagentes químicos que promovem, em última análise, a transferência da matéria coloidal em suspensão para uma fase sólida na forma de lodo. Esta material contem tem um teor de sólidos que pode chegar até 4,0 %, representando de até 5,0% da água tratada (ANDREOLI, 2006).

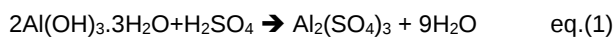
No Brasil a grande maioria das ETA utilizam os sais de alumínio como agente de coagulação, os lodos produzidos apresentam características físico-químicas típicas (Tabela 1). A necessidade de mitigação dos custos e danos ambientais na disposição final do Lodo de ETA está sendo abordada há anos (Association, 1951). A recuperação de sais de ferro e alumínio como coagulantes seguem duas rotas, uma por acidificação do lodo e outra por alcalinização do lodo, visto que o alumínio é solúvel nos dois extremos dos valores de pH.

TABELA 01: Características típicas de lodos de sulfato de alumínio.

¹ Sólidos Totais (%)	0,1 – 4,0
¹ Inorgânicos (%)	35 - 70
¹ pH	6 - 8
¹ Equivalente% CaCO ₃	10 - 25
¹ Matéria Orgânica (%)	15 – 25
² Fe %	8,0
² Al%	18,0

Fonte: Adaptado de Andreoli (2006) ¹; Dandoline (2014) ²

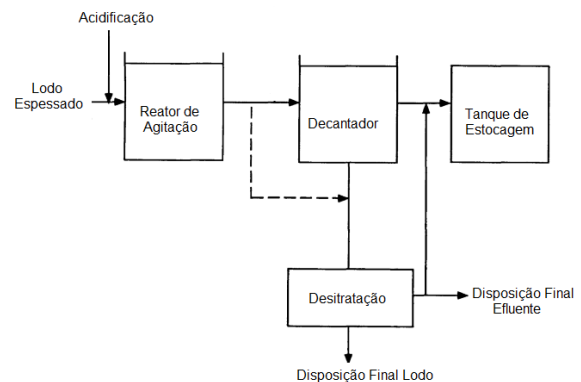
Assim, a extração dos sais de Ferro a alumínio com Ácido Sulfúrico (H₂SO₄) é mais usual, porém o processo pode ser efetuado com Ácido Clorídrico (HCl), Hidróxido de Sódio (NaOH) e Hidróxido de Cálcio (CaOH) (Dandolini, 2014; Saunders, 1991). As reações de solubilização dos hidróxidos de Ferro e Alumínio com Ácido Sulfúrico seguem a estequiometria das equações (1) e (2).



A estequiometria da reação (1) apresenta 1,5 mol de H₂SO₄ por mol de alumínio ou ferro, sem considerar a hidrólise dos outros hidróxidos que são formados no processo de coagulação, nem a alcalinidade residual do lodo (Saunders, 1991), que pode variar de 10 a 25% em equivalente a carbonato de cálcio (CaCO₃) (ANDREOLI, 2006).

Um dos grandes empecilhos da implementação da produção e do uso de coagulante regenerado a partir de lodo de ETA está no custo da dissolução ácida e na concentração do agente coagulante, que é cerca de 10 (dez) vezes menores do que os reagentes comerciais (Freitas et al., 2005). Apesar do apelo ambiental da tecnologia de uso do lodo como matéria prima pela dissolução ácida para regeneração de coagulantes, não se verifica sua produção e uso industrial no Brasil, pois apresenta como desvantagens: é um processo complexo; os operadores precisam ser treinados; há a necessidade de armazenamento e manipulação de ácidos fortes concentrados; ocorre a reciclagem de contaminantes para o tratamento de água; gera-se um resíduo sólido perigoso (devido ao pH baixo) e não há experiência em larga escala (Gonçalves, 2008). A Figura 1 apresenta um fluxograma típico de regeneração de coagulante por solubilização ácida.

Figura 1: Fluxograma de ssolubilização ácida de lodos de Estação de tratamento de Água (ETA). Métodos de recuperação de coagulante do lodo



Fonte: (Saunders, 1991)

Portanto recuperação de coagulantes por dissolução ácida é bem conhecida, seu primeiro relato ocorreu em 1903 nos EUA (Saunders, 1991), contudo sua operação é dificultada processo e concentração do produto. Assim, a presente proposta pretende utilizar uma solução ácida, gerada de forma controlada com alto teor de ferro, acidez que é gerado no processo de lixiviação da Pirita, contido nos rejeitos de carvão mineral para dissolver o lodo de uma estação de tratamento de água e regenerar um coagulante de Ferro e Alumínio com ação similar ao produto comercial com custo de produção reduzido.

2. MATERIAIS E MÉTODO

2.1 MATERIAIS

O Lodo da ETA foi coletado no leito de secagem da estação gua de uma cidade com aproximadamente 200.000 habitantes, foram coletados cerca de 10kg de lodo, acondicionados e bombona de de PEAD e conduzidos ao Laboratório de Saneamento e Hidráulica da IMED-Faculdade Meridional. A ETA trabalha em regime de 24 horas com vazão de 310 m³/h, de forma geral água bruta é classificada como Classe I (Conama, 2005), com produção de lodo estimada entre 12 a 18 g/m³ de água tratada (ANDREOLI, 2006). O alumínio contido no lodo é gerado pela a adição de Sulfato de Alumínio, na concentração de 15 mg/L (0,043 mM), este lodo foi caracterizado por ICP-OES e apresenta o 24,3 % (Nunes; and Linck, 2015). O Lodo foi analisado quanto a umidade, potencial de neutralização e tor de sólidos totais (Federation and Association, 2005; Sobek et al., 1978).

O rejeito piritoso utilizado na produção da lixívia ácida foi coletado no norte do Estado do Paraná, na Mina do Cambuí, o material amostrado e caracterizado para geração da solução ácida foi composta da mesma amostra realizada no trabalho de Menezes et al. (2016). A caracterização está apresentada na Tabela 2.

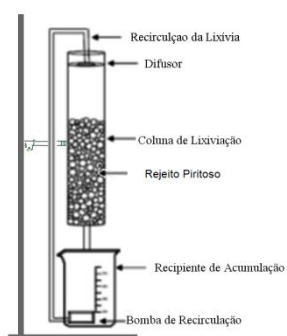
Tabela 2: Caracterização do Rejeito Piritoso

Parâmetro	Resultado
S Total %	40,5
S Pírfico %	34,9
S Sulfúrico %	2,5
S Orgânico %	3,1
Pirita %	65,0
Carbono %	6,0
Hidrogênio %	0,8
Nitrogênio %	0,1

2.2 MÉTODO

Para a preparação da da solução ácida utilizada como solubilizador do lodo utilizou-se o processo está apreentado na Figura 1.

Figura 1: Ilustração da célula de lixiviação



Fonte: Adaptado de Menezes et al 2016

A célula de lixiviação foi montada para simular recirculação de água sobre o rejeito piritoso, promovendo a oxidação da pirita e a geração de DAM controlada, produzindo uma solução rica em sulfato de ferroso (Colling et al., 2011). Este reator consistem em um sistema construído com coluna de pirex (cilíndrica), com altura igual a 30cm e diâmetro de 7cm. Na coluna foram colocados 1 kg de rejeito de piritoso. A recirculação na coluna lixiviante foi realizada por uma bomba peristáltica submersa, marca Sarlo Better 300 e mangueiras flexíveis de látex resistentes à acidez durante 4 semanas. A solução resultante foi analisada quanto a acidez (Federation e Association, 2005), Ferro II, Ferro Total (Ohlweiler, 1982).

Os testes de dissolução do lodo com a solução resultante foram efetuados em duas etapas. Primeiro para determinar qual a relação ideal Lodo/DAM, e na segunda qual o tempo de contato mais adequado. Na primeira etapa estabelece-se que a relação mássica inicial de Lodo/Lixívia ácida seria de 1:0,6, tendo em vista a relação de alcalinidade e acidez de cada material, o tempo de contato foi definido foi em 30 min de acordo com Freitas et all (2005). Uma vez estabelecida a relação mais apropriada, efetuou-se um ensaio para estimar qual o tempo ideal de contato entre o Lodo e Lixívia Ácida. A matriz experimental está descrita na Tabela 3 (Relação mássica entre Lodo/DAM e Tabela 4 (Tempo de contato entre Lodo/DAM).

Tabela 3: Matriz experimental de dissolução do lodo
Proporção de Mistura.

Ensaio	Relação Lodo:Lixívia ácida	Tempo
1	1:0,6	30 min
2	1:1,2	30 min
3	1:1,8	30 min
4	1:2,4	30 min
5	1:3,0	30 min
6	1:3,6	30 min

Tabela 4: Matriz experimental de dissolução do lodo.
Tempo de Mistura

Ensaio	Relação Lodo:Lixívia ácida	Tempo
1	1:30	15 min
2	1:30	30 min
3	1:30	45 min
4	1:30	60 min
5	1:30	75 min
6	1:30	90 min

Para avaliar a capacidade de coagulação da solução produzida pela solubilização do Lodo com a DAM, foi realizado um ensaio em Teste de Jarros, nas mesmas condições operacionais da ETA, no Laboratório da própria Estação de Tratamento. A dosagem de Coagulante Regenerado (CR) foi estimada em função do teor de ferro analisado e o teor de alumínio recuperado do lodo, mantendo a concentração intermediária de 4,0 mM entre os agentes coagulantes (Fe e Al). Os volumes de solução estabelecidos estão demonstrados na Tabela 5. O processo de coagulação foi efetuado em um Equipamento de Teste de Jarros com 6 provas, a velocidade agitação rápida (120 rpm) por 5 minutos para mistura dos reagentes e formação dos flocos, seguida de 10 minutos de agitação lenta (20 rpm) para propiciar a agregação dos flocos.

Tabela 5: Formatação do Teste de Jarro

Teste de Jarro	1	2	3	4	5	6
Vol. Ad. mL de CR	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6

Após a etapa de coagulação as amostras forma filtradas e caracterizadas quanto a pH, Cor, Turbidez

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 LODO COLETADO

O Lodo da ETA coletado foi analisado quanto a potencial de neutralização, umidade teor de sólidos totais, os resultados são apresentados na Tabela 6. Para estes resultados, chama-se atenção para o potencial de neutralização, que representa o equivalente de alcalinidade em Carbonato de Cálcio (CaCO_3), representando 16,41 ton de CaCO_3 /100 ton lodo.

Tabela 6: Caracterização do Lodo de ETA

Parâmetro	Resultado
pH em Pasta	5,8
Potencial de Neutralização (ton CaCO_3 /100 ton de material)	16,4
Umidade, %	86,3
Teor de Sólidos, %	13,7

3.2 GERAÇÃO DA SOLUÇÃO ÁCIDA

A solução ácida gerada para dissolução do lodo foi gerada durante 4 semanas de lixiviação, onde o oxidação do rejeito piritoso produziu uma lixívia ácida com pH de 0,40, concentração de ferro de 2,17 g/L e acidez total de 10600 mg de CaCO_3 /L. A solução apresentava coloração verde clara, característica do íon Fe^{2+} .

3.3 DISSOLUÇÃO DO LODO

A dissolução do lodo foi efetuada em duas etapas. No primeiro teste foi avaliada a regeneração do coagulante levando em conta a quantidade de DAM utilizada para a solubilização. A definição do valor inicial da relação lodo/DAM foi baseada no equivalente entre o potencial de neutralização do lodo e o potencial de acidez da DAM. Os valores de pH, percentual de lodo solubilizado e volume de coagulante regenerado podem ser vistos na Tabela 7.

Tabela 7: Solubilização do Lodo (Variação da DAM)

Relação DAM/Lodo	pH	% Solub (b.s)	Ferro (g/L)
1:0,6	3,6	-7,4	0,7
1:1,2	2,7	16,6	0,8
1:1,8	2,4	19,4	1,3
1:2,4	2,1	21,3	1,6
1:3,0	1,9	30,3	1,7
1:3,6	1,8	46,3	1,8

Com a adição crescente de solução ácida, percebe-se que o pH torna-se extremamente ácido (1,8). Também o valor de ferro em solução é aumentado, chegando ao valor de 1,8 g/L, ambos para a relação uma parte de lodo e 3,6 partes de solução ácida, em massa. O comportamento do pH e da concentração de Ferro Total é evidenciado na Figura 2 e Figura 3.

Figura 2: Comportamento do pH do Extrato Lixiviado

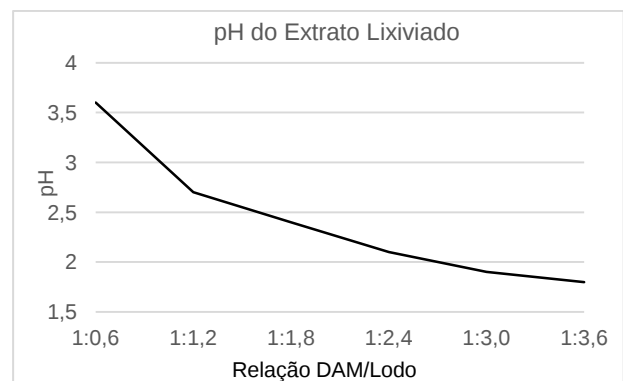
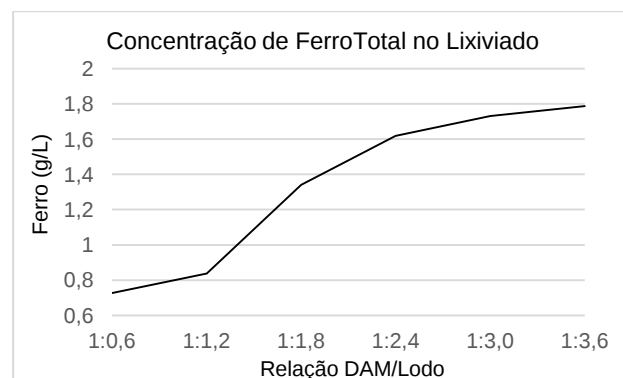


Figura 3: Concentração de Ferro Total do Extrato Lixiviado



Baseados nos resultado da solubilização da relação de Lodo/Solução Ácida, optou-se pela relação de 1:3,0, que apresentou o valor de pH de 1,9 e concentração de Ferro Total de 1,7 g/L, a Figura 3 propicia a observação de uma leve estabilização no valor crescente de Ferro com valor

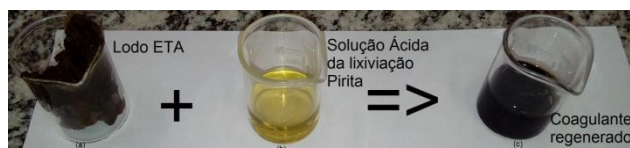
de pH acima do último ponto (1,8). A Tabela 8 apresenta a os volumes de coagulante regenerado e o valor percentual da massa de lodo solubilizada. Cabe salientar que para o tempo de 60 minutos obteve-se o maior volume de coagulante regenerado, ficando na ordem de 22 mL, o qual foi utilizado para os ensaios de clarificação em Teste de Jarro.

Tabela 8: Solubilização do Lodo (Variação de Tempo)

Tempo (min)	V. Coagulante (ml)	% Solubilizada do Lodo
15	20	42,51
30	18	52,45
45	18	44,67
60	22	40,22
75	15	49,24
90	19	46,64

A Figura 4 apresenta a imagem do lodo *in natura* em (a), da solução ácida produzida pela lixiviação da Pirita em (b) e o coagulante regenerado em (c).

Figura 4: Esquema da preparação do lodo regenerado



Nesta etapa da discussão cabe ressaltar que este trabalho é inicial e apresenta muitas lacunas, por exemplo, na relação de solubilização de 1:06 o valor da recuperação do lodo foi negativo, (-7,4 %) indicando que a massa final foi maior que a inicial. Uma das possíveis explicações pode residir no fato de ter ocorrido a precipitação do ferro em pH 3,7, contudo isso só pode ter validade se metal ferro estiver como trivalente.

Uma segunda lacuna muito importante a ser tratada sobre a dissolução do lodo de ETA com solução ácida originária da lixiviação controlada da pirita ocorre pela redução de volume. De forma geral, o lodo apresenta 80 % de umidade, ou seja, em 10 gramas de lodo tem-se 8 gramas de água. Assim na relação de 1:3,0 Lodo/Solução Ácida o volume final deveria ficar entre 30 à 38 mL de solução recuperada, que na prática não se verifica atingindo um volume máximo de recuperação de 22 mL (Tabela 8).

Outra questão relevante está na geração de grande quantidade de espuma e a oxidação do Fe^{2+} em Fe^{3+} durante o processo de solubilização. Os

sais de ferro não são facilmente oxidados em pH's inferiores a 2,0, pois a atividade do oxigênio molecular é fortemente reduzida nesta condição, contudo não se verificou a presença de Fe^{2+} no estrato solubilizado.

3.4 TRATAMENTO DE ÁGUA

Os testes de clarificação da água como coagulante regenerado lodo da ETA foram realizados no Laboratório da Estação de Tratamento de Água da ETA, respeitando as mesmas condições operacionais da coagulante comercial. A dosagem foi estabelecida em 0,04mM (miliMolar) que corresponde a concentração 15mg/L do coagulante comercial, concentração no processo de clarificação da água. A estimativa da concentração da concentração Molar de Fe + Al foi de 0,1 mol/L. Esta estimativa para o coagulante regenerado foi baseada na concentração de Ferro Total da solução ácida, no teor de Sólidos Totais do Lodo, no percentual de Lodo dissolvido no tempo de 60 minutos e no teor de Alumínio do lodo estabelecido por Nunes e Linck, (2015), para a mesma estação de tratamento. Para o Teste de Jarro as concentrações variaram de 0,01 mMolar a 0,035 mMolar. Os resultados do teste preliminar de coagulação como coagulante regenerado estão apresentados na Tabela 9. Salienta-se no intervalo de 0,02 a 0,035 mM os parâmetros de cor e turbidez foram atendidos, sendo o limite estabelecido pela Portaria 2914/2011 é de 15 uH (Unidade Hazen) e 5 uT (Unidade de Turbidez). Os demais parâmetros não foram realizados (Brasil, 2011).

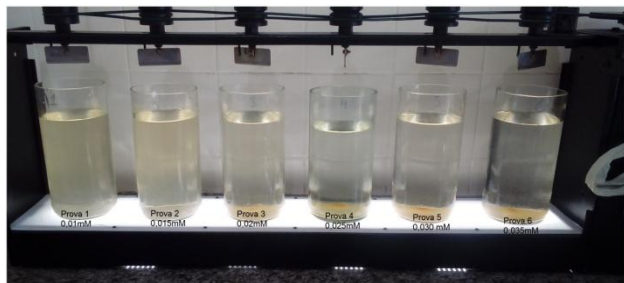
Tabela 9: Teste de Jarro para o coagulante regenerado.

Conc. (mMolar)	pH	Cor (uH)	Turb. uT	Descrição da Coagulação
0,01	6,43	38	11	Não Floculou
0,015	6,31	29	8	Coagulou / Não Sedimentou
0,02	6,28	11	2,5	Floco Regular / Sedimentação Lenta
0,025	6,26	2,8	0,4	Floco Bom / Sedimentação Boa
0,03	6,2	2,3	0,4	Floco Bom / Sedimentação Boa
0,035	6,12	2,0	0,3	Floco Ótimo / Sedimentação ótima

A Figura 5 dá uma ideia visual do aspecto dos flocos e o resultado do processo de coagulação gerado pelo coagulante regenerado e da sedimentação dos flocos obtidos pela remoção dos

sólidos suspensos que compõe a turbidez e a cor da amostra bruta.

Figura 5: Aspecto visual do Teste de Jarro.



4. CONCLUSÕES

A lixiviação da Pirita da pirita produz uma solução extremamente ácida com alta concentração de Ferro e acidez;

A solução ácida produzida durante quatro semanas de lixiviação gera uma lixívia capaz de dissolver cerca de 50% do Lodo de ETE com concentração de 0,1 M quando somadas as concentrações de Fe+Al.

A solução resultante da dissolução do Lodo da ETA tem características semelhantes aos coagulantes comerciais. Apresentando concentrações intermediárias entre os coagulantes comerciais e os coagulantes regenerados com solução ácida de ácidos comerciais.

Os testes preliminares de coagulação apresentaram resultados satisfatórios quanto a remoção de cor e turbidez da água bruta, nas mesmas condições experimentais do sistema de tratamento de água da ETA.

É necessária a execução de estudos mais completos com relação à caracterização do lodo da ETA, da lixívia ácida da pirita, do coagulante regenerado e da água tratada com o coagulante regenerado, bem com estabelecer o número de ciclos de regeneração que pode ser efetuado em lodos gerados por coagulantes regenerados.

5. REFERÊNCIAS

- Amaral Filho, J.R.d., Aproveitamento de rejeitos de carvão em Santa Catarina, Brasil. 2014.
- Amaral Filho, J.R.d., Schneider, I.A.H., de Brum, I.A., Sampaio, C.H., Miltzarek, G., Schneider, C., Caracterização de um depósito de rejeitos para o gerenciamento integrado dos resíduos de mineração na região carbonífera de Santa Catarina, Brasil. Rem: Revista Escola de Minas, 2013, **66(3)**, 347-353.
- ANDREOLI, C.V., Alternativas de uso de resíduos do saneamento. Curitiba: PROSAB, 2006, **4**.
- Association, A.W.W., 1951. Water quality and treatment, In *Water quality and treatment*. AWWA.

Belolli, M., Quadros, J., Guidi, A., *História do carvão de Santa Catarina: 1790-1950*. 2002, Imprensa Oficial do Estado de Santa Catarina.

Brasil, P.M., no. 2914 de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo e seu padrão de potabilidade, 2011.

Bryan, C.G., Watkin, E.L., McCredde, T.J., Wong, Z.R., Harrison, S.T.L., Kaksonen, A.H., The use of pyrite as a source of lixiviant in the bioleaching of electronic waste. Hydrometallurgy, 2015, **152**, 33-43.

Colling, A.V., Menezes, J.C.S.d.S., Schneider, I.A.H., Bioprocessing of pyrite concentrate from coal tailings for the production of the coagulant ferric sulphate. Minerals Engineering, 2011, **24(11)**, 1185-1187.

Conama, R., 357, de 17 de Março de 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, 2005, **357**.

Dandolini, I., Reciclagem do lodo de estação de tratamento de água: produção de coagulante por lixiviação ácida. 2014.

Evangelou, V., *Pyrite oxidation and its control*. 1995, CRC press.

Federation, W.E., Association, A., Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association (APHA): Washington, DC, USA, 2005.

Freitas, J.G.d., Ferreira Filho, S.S., Piveli, R.P., Viabilidade técnica e econômica da regeneração de coagulantes a partir de lodos de estações de tratamento de água. Eng. sanit. ambient, 2005, 137-145.

Gonçalves, R.F., 2008. Relatório de Conclusões: Lodos de estação de tratamento de água, In *Seminário nacional sobre tratamento, disposição e usos benéficos de lodos de estações de tratamento de água*, ed. Morita, D.M. Instituto de Engenharia (IE), São Paulo.

Jenke, D.R., Diebold, F.E., Recovery of valuable metals from acid mine drainage by selective titration. Water Research, 1983, **17(11)**, 1585-1590.

Madeira, V.S., 2010. Aproveitamento de resíduos da mineração de carvão para fabricação de produtos com elevado valor agregado.

Menezes, J., Colling, A., Silva, R., Schneider, I., Effect of pyrite concentration on the quality of ferric sulfate coagulants obtained by leaching from coal tailings. Minerals & Metallurgical Processing, 2016, **33(2)**.

Menezes, J., Silva, R., Arce, I., Schneider, I., Production of a poly-ferric sulphate chemical coagulant by selective precipitation of iron from acidic coal mine drainage. Mine Water and the Environment, 2009, **28(4)**, 311-314.

Nunes, L.D., Linck, M.R., 2015. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ALUMÍNIO EM LODO DE ETA POR ICP-OES, In *Semana do Conhecimento UPF*, ed.

Fundo, U.d.P. Universidade da Passo Fundo, Passo Fundo.

Ohlweiler, O.A., *Química analítica quantitativa*. 1982, Livros Técnicos e Científicos 1982.

Peterson, M., 2008. Produção de sulfato ferroso a partir da pirita: desenvolvimento sustentável. Florianópolis, SC.

Rao, S., Gehr, R., Riendeau, M., Lu, D., Finch, J., Acid mine drainage as a coagulant. *Minerals Engineering*, 1992, **5(9)**, 1011-1020.

Rimstidt, J.D., Vaughan, D.J., Pyrite oxidation: a state-of-the-art assessment of the reaction mechanism. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2003, **67(5)**, 873-880.

Ross, L.W., Removal of heavy metals from mine drainage by precipitation. COPY AVAILABLE FROM GPO SUP DOC AS EP 1. 23: 670/2-73-080,\$ 1. 00, 1973.

Saunders, F.M., *Coagulant recovery: A critical assessment*. 1991, The Foundation.

Silva, R.d.A., Castro, C.D., Vigânico, E.M., Petter, C.O., Schneider, I.A.H., Selective precipitation/UV production of magnetite particles obtained from the iron recovered from acid mine drainage. *Minerals Engineering*, 2012, **29**, 22-27.

Skousen, J.G., Ziemkiewicz, P.F., *Acid mine drainage control and treatment*. 1996, Citeseer.

Sobek, A.A., Schuller, W.A., Freeman, J.R., 1978. Field and laboratory methods applicable to overburdens and minesoils, In *Field and laboratory methods applicable to overburdens and minesoils*. EPA.

Tao, H., Dongwei, L., Presentation on mechanisms and applications of chalcopyrite and pyrite bioleaching in biohydrometallurgy – a presentation. *Biotechnology Reports*, 2014, **4**, 107-119.

Vigânico, E.M., 2014. Protótipo em escala piloto para produção de sulfato ferroso a partir de concentrado de pirita da mineração de carvão.

Wei, X., Viadero Jr, R.C., Buzby, K.M., Recovery of iron and aluminum from acid mine drainage by selective precipitation. *Environmental Engineering Science*, 2005, **22(6)**, 745-755.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a IMED-Faculdade meridional propiciar o desenvolvimento do estudo.

A Companhia Riograndense de Saneamento CORSAN/Passo Fundo, por disponibilizar as amostras de lodo bem com o auxílio na realização dos testes.

A Carbonífera do Cambuí/PR pelo apoio com as amostras de resíduo de carvão.