



## VALORIZAÇÃO DO REJEITO DE CARVÃO: PRODUÇÃO DE COAGULANTE FÉRRICO A PARTIR DA LIXIVIAÇÃO DE CONCENTRADO DE PIRITA – VIA CRISTALIZAÇÃO DE SULFATO FERROSO

*Pedro Ivo Chitolina Villetti<sup>1</sup> (pedro@henpro.com.br), Ivo André Homrich Schneider<sup>1</sup> (ivo.andre@ufrgs.br) Fabrício Abella Lopes<sup>1</sup> (fabricioabellalopes@gmail.com)*  
1 UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - UFRGS

### RESUMO

O carvão mineral ainda ocupa um lugar de destaque na matriz energética mundial. Contudo, seu processo de beneficiamento gera grandes quantidades de rejeitos, os quais contêm diversos minerais, entre eles a pirita (sulfeto de ferro -  $\text{FeS}_2$ ). A pirita, na presença de água e oxigênio se oxida, gerando a drenagem ácida de minas (DAM), um efluente altamente poluidor capaz de impactar drasticamente o solo e os recursos hídricos. As técnicas conhecidas como “fim-de-tubo” já não são consideradas as mais adequadas. Baseado nos princípios de produção mais limpa, é possível, concomitantemente, minimizar a geração de DAM e agregar valor aos rejeitos de carvão. Assim, este trabalho teve como objetivo produzir um coagulante férrico a partir de lixiviado de concentrados de pirita da mineração de carvão. A parte experimental foi realizada a partir de um reator de leito empacotado em planta-piloto e envolveu as etapas: produção de um lixiviado férrico, conversão do lixiviado férrico em ferroso, precipitação do  $\text{Fe}^{2+}$  e do sulfato na forma de cristais de sulfato ferroso heptahidratado. Ainda, os cristais de sulfato ferroso foram empregados na elaboração de um coagulante férrico através da oxidação deste sulfato ferroso na adição de ácido sulfúrico e peróxido de hidrogênio. Desta maneira, foi possível cristalizar um mineral bastante puro, contendo menos de 1% de impurezas (padrão analítico comercial), produzindo um coagulante eficiente para o tratamento de água para fins de abastecimento público, bem como valorizando um resíduo da mineração de carvão.

**Palavras-chave:** rejeito de carvão; sulfato ferroso; coagulante.

## VALUATION OF COAL MINING RESIDUE: PRODUCTION OF A FERRIC COAGULANT FROM LEACHING OF PYRITE – BY CRYSTALLIZATION OF FERROUS SULFATE

### ABSTRACT

The coal occupies a prominent place in the global energy matrix. However, its processing generates large amounts of solid waste, which contain several minerals, including pyrite (iron sulphide -  $\text{FeS}_2$ ). Pyrite, in the presence of water and oxygen, oxidizes, producing the acid mine drainage (AMD), a highly polluting effluent, able to impact the soil and water resources. The techniques known as “end-of-pipe” are no longer considered the most appropriate. Based on the principles of cleaner production, it is possible to concomitantly minimize the generation of AMD and add value to coal wastes. This work aimed to produce a ferric coagulant from the leaching of pyrite concentrates derived from the coal mining. The experimental part was carried out from a packed bed reactor in a pilot plant and involved the steps: producing a ferric leached, converting the ferric leached to ferrous, precipitation of  $\text{Fe}^{2+}$  and sulfate in the form of heptahydrate ferrous sulphate crystals. Still, ferrous sulfate crystals were used in the preparation of a ferric coagulant through oxidation of the ferrous sulfate with a mixture of sulfuric acid and hydrogen peroxide. The produced coagulant was effective in the treatment of water for public supply. Thus, it was possible to crystalize a mineral with less than 1% of impurities, producing an effective coagulant for water treatment, valuing a residue of coal mining.

**Keywords:** waste coal; ferrous sulphate; coagulant.



## 1. INTRODUÇÃO

A utilização do carvão mineral pelo ser humano data da época pré-histórica, sendo considerado um dos pilares da Primeira Revolução Industrial no século XVIII, quando foi utilizado para geração de vapor para movimentar máquinas (Aneel, 2008). No Brasil, o carvão mineral é a terceira maior fonte de energia não renovável, sendo responsável por 5,7% da energia gerada no país no ano de 2014 (EPE, 2015).

As reservas brasileiras de carvões estão concentradas, principalmente, nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, produzindo cerca de 13,5 milhões de toneladas do mineral no ano de 2014, sendo utilizado principalmente para uso energético (SIECESC 2014). Embora apresentem diferenças entre cada jazida, de maneira geral, uma das características do carvão mineral brasileiro é sua associação com minerais indesejáveis, como óxidos, silicatos, carbonatos e sulfetos, principalmente na forma de pirita, reduzindo a qualidade do carvão. Por esse motivo, é necessário que seja feito um processo de beneficiamento do carvão ROM (“Run of mine” ou carvão bruto), gerando além do carvão energético, grandes quantidades de rejeito de carvão, sem valor comercial e rico em minerais, como a pirita, comumente chamado de concentrado de pirita (Amaral Filho et al., 2013).

Os principais impactos ambientais estão relacionados à disposição inadequada destes resíduos sólidos (estéreis e rejeitos) (Fungaro & Izidoro, 2006). Em contato com ar, água e pela ação de bactérias, esse rejeito, rico em sulfeto de ferro pela presença da pirita, acaba se oxidando, desencadeando um processo de acidificação de drenagens e também dissolução de metais, variando de acordo com as características do rejeito, originando a drenagem ácida de minas (DAM) (Solomons, 1995; Fungaro & Izidoro, 2006). Assim, esses depósitos são considerados o grande problema da mineração de carvão, levando a um enorme passivo ambiental (Vigânico, 2014; Colling, 2014).

A partir da inserção da agenda ambiental na política, principalmente após a RIO-92, os governos estadual e federal junto com os respectivos órgãos fiscalizadores tornaram-se mais rígidos, levando a uma mudança na maneira de como a produção, de um modo geral, deve ser vista. Antigamente, existia a premissa de produzir a qualquer custo, independente dos danos que seriam causados. Ao passar do tempo, os resíduos gerados acabaram ganhando importância, devendo ser dispostos e tratados de maneira adequada, sem causar impactos negativos, conhecido como tratamento de “fim de tubo”, onde o resíduo só ganha importância no fim do processo. Atualmente, a visão existente é ainda mais rígida, levando em consideração a não geração, minimização e reutilização dos resíduos, conceitos básicos da produção mais limpa.

Na mineração de carvão mineral, houve um processo parecido. No início da atividade mineradora, o rejeito de carvão era disposto inadequadamente no solo, nos chamados módulos de rejeitos. É o exemplo do estado de Santa Catarina na qual estima-se que exista 300 milhões de toneladas dispostas em mais de 3 mil hectares (Vigânico, 2014). Assim, seguindo a lógica descrita anteriormente, foram desenvolvidos métodos para tratamento e controle da DAM, como a neutralização e precipitação dos metais, e a disposição correta dos rejeitos sólidos, caracterizando o tratamento de “fim de tubo” (Peterson, 2008). Embora ainda seja legalmente aceita, essa prática não é mais vista como adequada, portanto, diversas vem pesquisas vem sendo feito a fim de valorizar os rejeitos da mineração de carvão, transformando o que antes era considerado um problema ambiental como solução para a produção de novos produtos.

Alguns estudos têm sido feitos na tentativa de valorizar o rejeito de carvão, diminuindo o impacto causado no ambiente. Menezes (2009) e Colling (2014) estudaram procedimento de lixiviação e a produção de coagulantes férricos a partir da lixiviação da pirita, presente no rejeito de carvão. Todavia, as impurezas associadas ao concentrado de pirita, acarretam na lixiviação de metais associados (como Al, Mn, Zn, As, Pb, entre outros), impossibilitando a produção de um reagente de maior pureza. Vigânico (2014), por sua vez, desenvolveu uma metodologia para a produção de cristais de sulfato de ferroso heptahidratado ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), a partir do lixiviado férrico de um



concentrado de pirita, processo que se mostrou extremamente seletivo. O procedimento sugerido pela autora foi a conversão do lixiviado férrico para ferroso, através da passagem do sistema de uma condição oxidante para redutora, seguido da precipitação do sulfato ferroso como melanterita ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) pela adição de álcool etílico de pureza analítica em uma proporção lixiviado:álcool de 1:1. Assim, acredita-se que, a partir da ressolubilização e oxidação do sulfato ferroso produzido, seja possível obter um coagulante férrico (sulfato férrico) de elevada pureza que possa ser aplicado para o tratamento de águas de abastecimento público e residuárias.

## 2. OBJETIVO

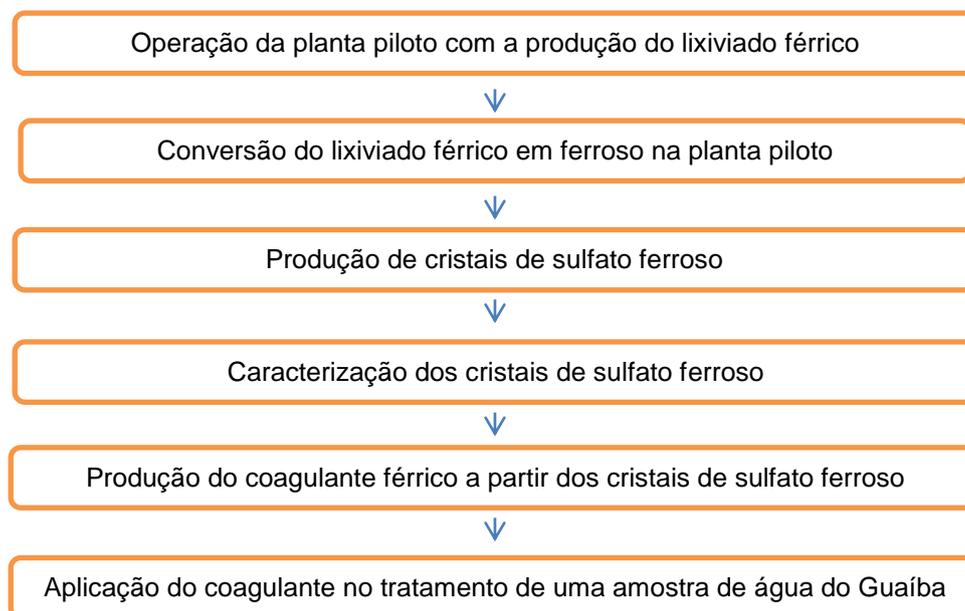
Este trabalho tem como objetivo a valorização de um resíduo com caráter altamente poluidor, proveniente da mineração de carvão, utilizando-o para a produção de um coagulante a base de sulfato férrico. Entre os objetivos específicos do trabalho, estão:

- Produção de um lixiviado férrico em uma planta piloto de biolixiviação;
- Conversão do lixiviado férrico em lixiviado ferroso;
- Precipitação do sulfato ferroso presente no lixiviado ferroso, comparando-o com padrão comercial;
- Produção do coagulante sulfato férrico a partir dos cristais de sulfato ferroso;
- Avaliar a eficácia do coagulante produzido.

## 3. METODOLOGIA

Neste capítulo será descrito as metodologias empregadas a fim de gerar o coagulante férrico a partir do concentrado de pirita de Santa Catarina e aplica-lo no tratamento de águas para consumo humano. A Figura 1 mostra as etapas envolvidas no trabalho.

Figura 1. Etapas desenvolvidas nesse trabalho

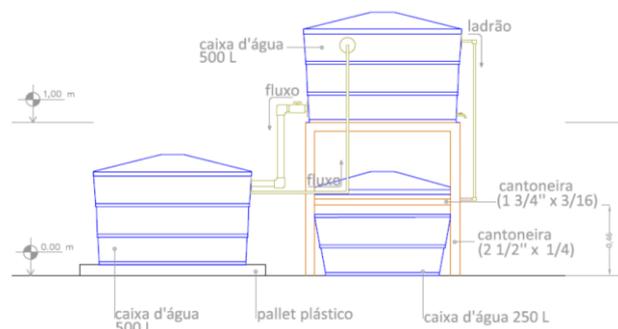


### 3.1 Operação da Planta Piloto

A planta piloto utilizada é composta por dois reservatórios, superior e inferior, cada um com capacidade de 500 L. Um reservatório para emergências de 250L foi instalado abaixo do reservatório superior. O modelo de lixiviação consiste em um reator de leito empacotado com recirculação do lixiviado.



Figura 2. Representação da estrutura básica da planta piloto



No reservatório superior, houve um preenchimento com 200 kg de concentrado de pirita fornecida por uma mineradora situada no município de Forquilha, no Estado de Santa Catarina. O rejeito apresentou granulometria entre 0 a 50mm, com concentração de 37% de S, formado principalmente pela pirita. Entre os metais, o ferro apresenta maior concentração (300 mg/kg), seguido por alumínio (17 mg/kg), potássio (3,7 mg/kg) e cálcio (3,6 mg/kg). A concentração dos metais é inferior a 1 mg/kg.

O reservatório inferior teve como função armazenar o lixiviado e bombeá-lo para o reservatório superior. Inicialmente, o reservatório inferior foi preenchido com 200 litros de água da rede de abastecimento público.

### 3.2 Produção de Lixiviado Férrico

O funcionamento da planta, para obtenção do lixiviado férrico, se deu por meio da recirculação direta da solução do reservatório inferior para o superior, proporcionando a oxidação da pirita, em meio aeróbico. Ao final de um período de 10 semanas, esse lixiviado foi analisado em relação ao pH, concentração de metais e sulfatos.

### 3.3 Conversão do Lixiviado férrico em ferroso

A etapa de redução foi realizada com 35L do lixiviado produzido na etapa anterior. O processo consistiu em deixar o lixiviado em contato com o concentrado de pirita, em ambiente fechado (anaeróbico – caráter redutor), sem recirculação, por um período de 10 semanas. Para tal, o tanque foi vedado e lacrado e a superfície do leito do concentrado de pirita coberta por sacos de areia, visando evitar a entrada de ar no sistema. O lixiviado, durante o processo de redução, foi analisado semanalmente em relação ao pH, Eh, temperatura e concentração de Fe total, Fe<sup>2+</sup> e Fe<sup>3+</sup>. A final da etapa de redução, o lixiviado foi analisado em relação ao pH, concentração de metais e sulfatos.

### 3.4 Produção de Sulfato Ferroso

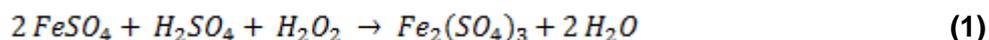
Após o processo de redução, é possível precipitar o sulfato ferroso que se formou nesse processo através da adição de álcool etílico absoluto, conforme método desenvolvido por Vigânico (2014). Como o sulfato ferroso é insolúvel em álcool, ao adicionar determinada quantidade deste, os cristais de sulfato ferroso acabam precipitando. A proporção utilizada de lixiviado:álcool foi de 1:1, conforme os resultados de estudos de Vigânico (2014) e Villetti (2015).

Os cristais de sulfato ferroso precipitados foram analisados em termos de composição química comparativamente com um FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O de qualidade P.A a partir de um equipamento de ICP-OES para os metais e por um analisador de Enxofre.



### 3.5 Produção de Coagulante

Para a utilização de sulfato ferroso como coagulante é necessário oxidá-lo a sulfato férrico. O procedimento consiste em solubilizar o sulfato ferroso em uma água ácida, formada através da mistura de água destilada com ácido sulfúrico P.A., a fim de dissociar os íons de  $Fe^{2+}$  e de sulfato. A oxidação do  $Fe^{2+}$  para  $Fe^{3+}$  é feita através da adição de peróxido de hidrogênio, conhecido por ser um forte agente oxidante. Assim, a fórmula geral do processo foi a seguinte:



Após a otimização das condições, as quantidades e as etapas de produção do coagulante férrico foram: (a) dissolução de um grama de sulfato ferroso em 1,5 mL de água destilada; (b) adição de 1 mL de ácido sulfúrico P.A.; (c) adição de 4 mL de peróxido de hidrogênio.

### 3.6 Aplicação do coagulante produzido

Para verificar a efetividade do coagulante produzido, o mesmo foi utilizado para o tratamento de uma amostra de água do corpo hídrico Guaíba, coletada na praia de Ipanema. O tratamento foi feito adicionando aproximadamente 60 mg de ferro para cada litro de água, sendo necessário o ajuste de pH para a faixa de 6,5-7,0 com hidróxido de sódio 1 M. Como agente floculante foi adicionado 1 mL/L de um polímero catiônico, concentração de 0,1%. Para verificar a eficácia do tratamento, foram analisadas a turbidez e a cor aparente da água bruta e tratada.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Produção do Lixiviado Férrico e Conversão a Lixiviado Ferroso

Após as 10 semanas, foi obtido 180 L de um lixiviado férrico com pH 0,70, apresentando um teor de sulfatos de 271.835 mg/L. O teor de ferro foi de 40,2 g/L, sendo a concentração de  $Fe^{2+}$  e  $Fe^{3+}$  iguais a 20,1 g/L.

Como o objetivo dos ensaios na planta piloto era a redução do  $Fe^{3+}$  presente no lixiviado inicial para  $Fe^{2+}$ , fator determinante para a produção de sulfato ferroso, um monitoramento foi feito durante 10 semanas para os parâmetros de pH, Eh, temperatura, ferro total,  $Fe^{2+}$  e  $Fe^{3+}$ , verificando a conversão do ferro conforme a tabela 1.

Tabela 1. Monitoramento da planta piloto na etapa de redução do lixiviado

Período	pH	Eh (mV)	T (°C)	Fe <sub>total</sub> (g/L)	Fe <sup>2+</sup> (g/L)	Fe <sup>3+</sup> (g/L)
Semana 0	0,70	623	15,5	40,20	20,1	20,10
Semana 1	0,66	612	18,7	43,28	29,04	14,24
Semana 2	0,60	602	18,9	43,95	30,15	13,18
Semana 3	0,58	591	18,1	44,12	36,81	7,31
Semana 4	0,74	585	19,4	44,34	40,16	4,18
Semana 5	0,63	583	20,4	43,28	42,16	1,12
Semana 6	0,43	587	20,9	44,95	42,22	2,73
Semana 7	0,41	589	22,9	45,23	42,16	3,07
Semana 8	0,55	577	20,3	46,35	43,00	3,35
Semana 9	0,46	582	20,2	46,63	41,88	4,75
Semana 10	0,46	584	19,8	47,75	44,68	3,07

A partir do resultado do monitoramento, pode-se observar que houve uma leve queda no valor do pH, diminuindo de 0,70 para 0,46, indicando que ainda é possível que o concentrado de pirita esteja gerando acidez. Quanto ao Eh, o mesmo apresentou uma diminuição, iniciando em 623 mV, reduzindo até 584 mV. Isso indica que o meio tornou-se mais redutor, assim propiciando reações de redução.



Quanto à presença do ferro, de maneira geral, houve um aumento interessante de ferro total, passando de 40,20 g/L para 47,75 g/L, isso quer dizer, que o lixiviado está mais concentrado, podendo-se recuperar mais ferro na forma de sulfato ferroso. Quanto às formas de ferro (2+ e 3+), no início do experimento, ambas apresentavam concentração semelhante, porém, como esperado, devido às circunstâncias do meio anaeróbico, o  $Fe^{3+}$  reduziu-se para  $Fe^{2+}$ , atingindo uma conversão de aproximadamente 94% do ferro total para  $Fe^{2+}$ .

Ambos lixiviados também foram analisados quanto aos metais que foram dissolvidos no processo. Os resultados obtidos estão na tabela 2.

**Tabela 2.** Caracterização elementar do lixiviado férrico

Elementos	Lixiviado férrico (mg/L)	Lixiviado ferroso (mg/L)
Al	1905,1	2626,0
As	22,0	25,0
Ca	261,7	561,7
Cd	2,03	1,44
Co	4,36	5,79
Cr	5,39	7,35
Cu	39,5	1,54
Fe	40250,0	47750,0
Hg	< 0,001	< 0,001
Mg	99,1	131,6
Mn	31,1	26,2
Ni	22,9	12,0
Pb	5,71	5,71
Si	6104,0	6000,0
Zn	376,0	165,3

Comparando os resultados da análise elementar do lixiviado férrico e do lixiviado ferroso, houve comportamentos distintos entre certos elementos. Alguns, como Al, As, Ca, Co, Cr, Mg e Si, apresentaram um aumento na sua concentração no lixiviado, embora nenhum destes esteja em níveis preocupantes de contaminação. Isso ocorre devido à acidez do lixiviado que propicia a lixiviação de metais provenientes do concentrado de pirita. Já outros elementos, como Cd, Cu, Mn, Ni e Zn, diminuíram sua concentração no lixiviado. Percebe-se a presença majoritária do ferro, embora alguns metais tenham valor elevado, como Al, Ca, Zn, os mesmos não são considerados prejudiciais a produção de coagulante.

Além da análise elementar, foi analisado ao final do processo de redução anaeróbica: o teor de sulfatos, 129.846,1 mg/L. Valor este inferior ao lixiviado férrico, provavelmente pela precipitação de metais como sulfetos, a partir de bactérias redutoras acidófilas (Sen & Johnson, 1999).

## 4.2 Produção de Sulfato Ferroso

Utilizando a proporção de 1:1 na relação lixiviado:álcool, foi possível recuperar mais de 60% do ferro presente no lixiviado, cristalizando um sulfato ferroso heptahidratado de boa aparência, conforme foto abaixo.



**Figura 3.** Sulfato ferroso heptahidratado produzido a partir de rejeito de carvão



### 4.3 Comparação entre o sulfato ferroso comercial e o produzido

Para a análise comparativa dos sulfatos ferrosos, os resultados, quanto o teor de sulfato, foram os seguintes: o padrão comercial apresentou, em média, 12,002% de sulfato em sua composição; já o sulfato ferroso produzido neste trabalho apresentou 11,874%. Quanto ao teor de ferro total, o comercial apresentou 20,12% de ferro, enquanto o produzido apresentou 19,96%. Comparando-as pode-se dizer que apresentaram resultados semelhantes e conforme o que era esperado pela estequiometria da melanterita (20% de ferro e 12% de sulfato). A tabela 3 a seguir ilustra a caracterização de ambos os sulfatos ferrosos quanto à presença de metais.

**Tabela 3.** Resultados para a análise de metais dos sulfatos ferrosos

Elemento (%)	Sulfato Ferroso Produzido	Sulfato Ferroso Comercial
Fe	19,9628	20,1216
K	0,1972	N.D.
Ca	0,2648	N.D.
Mg	0,0332	N.D.
Cu	0,0015	0,0008
Zn	0,0650	0,0891
Mn	0,0071	0,1167
Na	0,0043	0,0018
Cd	0,0006	0,0006
Cr	N.D.	N.D.
Ni	0,0056	0,0019
Pb	0,0074	0,0025
Al	0,1727	N.D.
Co	0,0037	0,0007
As	N.D.	N.D.
Se	N.D.	N.D.
<b>Sulfato</b>	<b>11,8740</b>	<b>12,0020</b>

Comparando os dois sulfatos ferrosos, de maneira geral, percebe-se que o sulfato ferroso produzido apresentou uma quantidade maior de metais em sua composição, somente apresentando valores menores para zinco e manganês. Analisando a pureza de ambos, o sulfato produzido apresentou aproximadamente 0,76% de impurezas, ou seja, de metais nos cristais de sulfato ferroso, enquanto o sulfato comercial apresentou somente 0,21% de impurezas. Embora o sulfato ferroso produzido contenha mais impurezas, ainda está nos padrões estabelecidos pela marca do sulfato ferroso comercial, que prevê no mínimo de 99% de pureza, visto que o sulfato



que foi produzido apresentou, aproximadamente, 99,24% de pureza, podendo ser considerado um padrão analítico. Além disso, é importante ressaltar que os metais encontrados em maiores quantidades não são considerados prejudiciais à saúde, sendo bastante importantes na dieta alimentar.

#### 4.4. Produção de Coagulante

Utilizando o sulfato ferroso produzido, a partir da otimização das condições da equação 1, foi produzido um coagulante à base de sulfato férrico. A figura 4 ilustra o aspecto do coagulante que foi produzido.

**Figura 4.** Coagulante produzido a partir dos cristais de Sulfato Ferroso



Assim, foi possível obter um coagulante com pH 1,60 e concentração de ferro de aproximadamente 6,1%, com conversão de 98,4% de  $Fe^{2+}$  para  $Fe^{3+}$ . A tabela 4 apresenta a quantificação de alguns metais presentes no coagulante, comparando-o com um padrão comercial, um coagulante produzido através da lixiviação do concentrado de piritita por Menezes (2009) e com as especificações da SABESP para sulfato férrico.

De maneira geral, o coagulante produzido apresentou índices de metais relativamente menores em comparação aos outros coagulantes, principalmente para os metais considerados mais perigosos a saúde, como cromo, cobre, chumbo. Alguns elementos ficaram em uma faixa próxima de concentração nos três coagulantes, como zinco e arsênio. Houve também metais que ficaram abaixo da concentração do coagulante comercial, mas acima do coagulante produzido por Menezes (2009), como o alumínio e o magnésio.

**Tabela 4.** Comparação entre o coagulante produzido com um coagulante comercial (a base de sulfato férrico), com um coagulante férrico produzido por Menezes (2009) e com as especificações da SABESP

Parâmetros	Coagulante Produzido	Coagulante Comercial	Coagulante Menezes (2009)	Especificações SABESP
Fe (g/L)	61	115,0	165,4	12 %
Al (mg/L)	235,17	4419	68,35	< 340 (mg/kg)
As ( $\mu$ g/L)	< 2	< 1,50	< 1,50	< 50 (mg/kg)
Ca (mg/L)	211,81	56,70	320,28	-
Cd (mg/L)	0,44	< 0,005	< 0,005	< 5,0 (mg/kg)
Cr (mg/L)	< 0,004	305,00	6,52	< 50 (mg/kg)
Cu (mg/L)	1,88	11,50	5,26	-
Mg (mg/L)	42,78	160	8,96	-
Mn (mg/L)	6,02	1585	23,74	< 1200 (mg/kg)
Pb (mg/L)	1,54	15,20	7,26	< 50 (mg/kg)
Zn (mg/L)	36,63	22,40	46,98	-



Embora ainda não tenha a concentração de ferro desejada, o coagulante produzido neste trabalho mostrou-se de elevada pureza, principalmente se comparado a um coagulante comercial, estando dentro dos parâmetros estabelecidos pela SABESP, exceto na concentração de ferro. Quanto aos metais em maiores concentrações, como alumínio e cálcio, os mesmos não são considerados prejudiciais.

#### 4.5. Avaliação da Eficácia do Coagulante

Utilizando o coagulante férrico produzido, foi possível tratar a água proveniente do Guaíba, utilizando aproximadamente 60 mg de Ferro por litro de água tratada, conforme ilustra a figura 5. A tabela 5 compara os resultados de turbidez e cor para a água antes e pós-tratamento, estando nos padrões exigidos pela Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde.

**Figura 5.** Amostra de Água bruta do Guaíba à esquerda e amostra tratada com o coagulante à direita



**Tabela 5.** Comparação entre água bruta e tratada

Parâmetro	Água Bruta	Água Tratada	Limites Portaria M.S. nº 2914
Cor Aparente (Hazen)	95,1	2,5	15
Turbidez (NTU)	26,82	0,49	0,5

#### 5. CONCLUSÃO

Através desse estudo, foi possível verificar a viabilidade técnica da produção de um coagulante de sulfato férrico a partir de um concentrado de pirita, rejeito da mineração de carvão, através de técnicas de biolixiviação da pirita. Ainda, provou-se ser possível:

- Produção de um lixiviado férrico em uma planta piloto de biolixiviação – com conversão do mesmo para lixiviado ferroso;
- Precipitação de sulfato ferroso presente no lixiviado ferroso, utilizando álcool etílico, com qualidade superior ao exigido em padrões analíticos comerciais;
- Produção do coagulante sulfato férrico a partir dos cristais de sulfato ferroso, comprovando a eficácia do mesmo para o tratamento de água para abastecimento público (utilizando alguns limites da Portaria do Ministério da Saúde nº 2914).



## REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Carvão Mineral. In: Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 3. ed. Brasília: Aneel, 2008. Cap. 9. p. 129-141.

AMARAL FILHO, J. R.; SCHNEIDER, I. A. H.; BRUM, I. A. S.; SAMPAIO, C. H.; MILTZAREK, G.; SCHNEIDER, C. H.. 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 (Impresso). V.66, p.347 – 353, 2013.

COLLING, A. V. Biolixiviação para o Aproveitamento da Pirita Presente em Rejeitos de Carvão Mineral. Porto Alegre, 190 p., 2014. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Balanço Energético Nacional: Relatório Síntese – ano base 2014. Rio de Janeiro: EPE, 2015.

FUNGARO, D. A.; IZIDORO, J. C.. Remediação de Drenagem Ácida de Mina Usando Zeólitas Sintetizadas a Partir de Cinzas Leves de Carvão. Quim. Nova, São Paulo – SP, v. 29, nº 4, p. 735-740, 2006.

MENEZES, J. C. S. S.. Produção de Coagulantes Férricos na Mineração de Carvão. Porto Alegre, 2009. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PETERSON, M. Produção de Sulfato Ferroso a partir da Pirita: Desenvolvimento Sustentável. Florianópolis, 128 p., 2008. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina.

Sindicato da Indústria de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina – SIECESC. Carvão Mineral - Dados Estatísticos - Ano 2014. 2014. Disponível em: <[http://www.siecesc.com.br/dados\\_estatisticos](http://www.siecesc.com.br/dados_estatisticos)>. Acesso em: 09 out. 2015.

SALOMONS, W., Environmental Impact of Metals Derived from Mining Activities: Processes, Predictions, Prevention: Journal of Geochemical Exploration, v. 52, p. 5-23, 1995.

SEN, A. M.; JOHNSON, B. Acidophilic sulphate-reducing bacteria: candidates for bioremediation of acid mine drainage. Process Metallurgy, v. 9, p. 709-718, 1999.

VIGÂNICO, E. M. Protótipo em Escala Piloto para Produção de Sulfato Ferroso a Partir de Concentrado de Pirita da Mineração de Carvão. Porto Alegre, 121 p., 2014. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

VILLETTI, P. I. C. Produção de coagulante férrico de elevada pureza obtido a partir da lixiviação de um concentrado de pirita da mineração de carvão – Via cristalização/solubilização de sulfato ferroso. Porto Alegre, 49 p., 2015. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.