

## Reutilização de Sulfato de Alumínio recuperado a partir do lodo de ETE – Estação de Tratamento de Efluentes

Laura Gentelini Grotto<sup>1\*</sup>, Vinícius Lemos Menegoni<sup>2</sup>, Carla Kereski Ruschel<sup>3</sup>, Cauana Schumann<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Graduanda em Biotecnologia Molecular, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil. (\*Autor correspondente: lauragrotto@hotmail.com)

<sup>2</sup>Graduando em medicina, Universidade Federal da Fronteira Sul, Brasil.

<sup>3</sup>Mestra em Microbiologia Agrícola e do Ambiente, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

<sup>4</sup>Graduada em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Pelotas, Brasil.

*Histórico do Artigo:* Submetido em: 02/02/2021 – Revisado em: 04/04/2021 – Aceito em: 10/05/2021

### RESUMO

O lodo é classificado como um resíduo perigoso, dessa forma, é necessário um método que vise a reutilização do lodo de uma maneira alternativa e eficiente, visando um melhor destino final a esse poluente, reduzindo os danos ambientais, além de reduzir a carga presente nos aterros industriais e, conseqüentemente, minimizar o risco de passivos ambientais. Por isso, o objetivo foi recuperar o sulfato de alumínio, a partir do lodo oriundo do processo de tratamento de efluentes, para que o mesmo possa ser reutilizado nesse processo. A metodologia consistiu na caracterização do lodo, caracterização do efluente, recuperação do coagulante, ensaios de coagulação, comparação entre o coagulante obtido e o comercial. A comparação entre o coagulante recuperado e o comercial foi realizada avaliando os seguintes parâmetros no efluente tratado: redução da turbidez, remoção de íons  $Cu^{2+}$  e  $Pb^{2+}$  e alteração do pH. Os resultados apontam que o coagulante pode ser recuperado a partir do lodo residual e pode ser recuperado também a partir do lodo gerado no tratamento já com um coagulante recuperado, o que indica que é um processo que pode ser realizado mais de uma vez. Além disso, ensaios de coagulação mostraram que o coagulante obtido mantém sua eficiência para ser reutilizado no processo de tratamento de efluentes e que obteve características muito semelhantes ao mesmo efluente tratado com o sulfato de alumínio comercial. Portanto, a reutilização do lodo evita os impactos ambientais, além de conservar as fontes dos recursos naturais, sendo uma alternativa para a destinação final desse resíduo.

**Palavras-Chaves:** Lodo, Sulfato de Alumínio, Tratamento de Efluentes.

## Reuse of Aluminum Sulfate recovered from sludge from ETE - Effluent Treatment Station

### ABSTRACT

The sludge is classified as a hazardous waste, so it is necessary a method that aims to reuse the sludge in an alternative and efficient way, aiming at a better final destination to this pollutant, reducing the environmental damages, besides reducing the load present in the industrial landfills and, consequently, minimize the risk of environmental liabilities. Therefore, the objective was to recover aluminum sulfate, from the sludge from the effluent treatment process, so that it can be reused in this process. The methodology consisted in the characterization of the sludge, characterization of the effluent, recovery of the coagulant, coagulation tests, comparison between the obtained and the commercial coagulant. The comparison between the recovered and the commercial coagulant was carried out by evaluating the following parameters in the treated effluent: reduced turbidity, removal of  $Cu^{2+}$  and  $Pb^{2+}$  ions and pH change. The results indicate that the coagulant can be recovered from the residual sludge and can also be recovered from the sludge generated in the treatment with a recovered coagulant, which indicates that it is a process that can be performed more than once. In addition, coagulation tests showed that the obtained coagulant maintains its efficiency to be reused in the effluent treatment process and that it obtained characteristics very similar to the same effluent treated with commercial aluminum sulfate. Therefore, the reuse of sludge avoids environmental impacts, in addition to conserving the sources of natural resources, being an alternative for the final destination of this waste.

**Keywords:** Sludge; Aluminum sulfate; Wastewater treatment.

Grotto, L. G., Menegoni, V. L., Ruschel, C. K., Schumann, C. (2021). Reutilização de Sulfato de alumínio recuperado a partir do lodo de ETE – Estação de tratamento de efluentes. *Meio Ambiente (Brasil)*, v.3, n.3, p.02-16.



## 1. Introdução

As estações de tratamento de efluentes (ETE) têm por objetivo a remoção dos poluentes, contaminantes químicos, nutrientes e matéria orgânica presentes nas águas residuárias antes que retornem ao meio ambiente (Pereira e Garcia, 2017). Uma das primeiras etapas no tratamento de efluentes consiste na adição de agentes coagulantes e floculantes visando a remoção de materiais particulados, como partículas inorgânicas, coloides, resíduos orgânicos e, inclusive, bactérias e outros organismos. Os processos de coagulação geram resíduos sólidos denominados lodos, que por sua relativa facilidade de sedimentação e baixa compressibilidade resultam em grandes volumes de rejeitos (Richter, 2001). As características desses resíduos são muito variáveis, pois, assim como os resíduos domésticos, a natureza da atividade, o tipo de processo e os insumos utilizados determinam as propriedades do rejeito final (Pereira e Garcia, 2017).

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento de 2008, realizada pelo IBGE, dos 2098 municípios brasileiros que geravam lodo no processo de tratamento de água, 67% destinavam esse lodo aos rios, enquanto apenas 2% realizavam o reaproveitamento desse resíduo. A problemática dos resíduos sólidos só veio a ser questionada mais recentemente, mais especificamente com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, promulgada em 2010, que compõe uma série de diretrizes e metas relativas à gestão integrada e ao gerenciamento ambiental adequado dos resíduos sólidos, incluído os perigosos, e propõe um conjunto de regras que visam o cumprimento de seus objetivos em amplitude nacional, inclusive a aplicação de punições severas como penas passivas de prisão àqueles que não a cumprirem. Além disso, de acordo com a Norma Brasileira de Classificação de Resíduos Sólidos (NBR 10.004), os lodos são classificados como resíduos perigosos, isto é, que apresentam periculosidade em relação à saúde pública e ao meio ambiente, e, por conta disso, sua disposição final deve ser feita em aterros industriais. Ainda vale ressaltar que a disposição final dos resíduos de estações de tratamento é um verdadeiro desafio para os países, tanto do ponto de vista técnico quanto do econômico, já que o processo, segundo o Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (Prosab) é complexo, além de representar 20% a 60% dos custos de operação de uma estação de tratamento.

Segundo a legislação de diversos países, e mesmo a brasileira, a responsabilidade pelos problemas que podem ser causados pelo destino inadequado é sempre dos produtores do resíduo, que podem ser enquadrados na própria lei de crimes ambientais (Lei no 9.605 de 12/02/98), ou seja, mesmo após aterrado por uma empresa terceirizada, o resíduo ainda é responsabilidade de seu gerador. Por conta disso, é cada vez mais frequente a busca por métodos alternativos ao descarte em aterros industriais. Sabe-se que mais de 90% do lodo produzido no mundo tem sua disposição final por meio de três processos: incineração, disposição em aterros e uso agrícola (Andreoli et al., 2001). No caso do uso agrícola, a principal barreira é a alta concentração de metais tóxicos, que têm efeito cumulativo nas cadeias alimentares pelo fato de não serem biodegradáveis. A contaminação por estes metais é um problema público em diversos países, uma vez que eles podem provocar distúrbios relacionados à saúde, incluindo danos aos rins, fígado, sistema vascular, aumento da pressão arterial e desordens metabólicas (Sorme et.al. 2002).

Além disso, o uso abusivo do sulfato de alumínio tem sido avaliado devido à grande presença de alumínio no lodo gerado ao final do processo, o que dificulta seu devido descarte, visto que, muitas vezes está presente em concentrações bastante elevadas (Coral, Bergamasco e Bassetti, 2009). O uso excessivo do sulfato de alumínio levanta também outra problemática: a dos recursos naturais. Tendo em vista que a primeira etapa no processo produtivo do sulfato de alumínio é a mineração de bauxita, principal fonte de alumínio presente no Brasil, estima-se que com o ritmo de extração atual essa matéria-prima dure por cerca de mais 100 anos (ASA, 2013). Também é importante levar em conta que a mineração causa um impacto ambiental considerável, visto que, altera intensamente a área minerada e as áreas vizinhas, onde são feitos os depósitos tanto de estéril quanto de rejeito (Silva, 2007). Segundo Guimarães et al. (2012), a mineração de bauxita pode gerar impactos ambientais negativos, entre os quais pode-se citar: supressão de vegetação; movimentação de terra; vazamento de águas pluviais com sólidos; emissão de ruídos, particulados e poeira; e vazamento de óleo.

Levando em conta o que foi dito, é necessário um estudo que vise a reutilização do lodo de uma maneira alternativa e eficiente, visando a diminuição dos danos ambientais causados, tanto pelo descarte incorreto de resíduos sólidos como pelas atividades de mineração. Além disso, é importante ressaltar a redução dos gastos das reservas de matérias primas naturais, bem como a minimização dos riscos de passivos ambientais e a diminuição das cargas dos aterros industriais.

A pesquisa realizada teve levantamento de dados bibliográficos para a posterior realização da parte prática. Com base nos questionamentos a respeito da recuperação do sulfato de alumínio a partir do lodo proveniente do processo tratamento de efluentes para reutilização, surgiu o seguinte problema: É possível recuperar o sulfato de alumínio a partir do lodo de ETE e reutilizá-lo no processo de tratamento de efluentes?

Ao início da pesquisa teve-se como hipótese que, o sulfato de alumínio poderia ser recuperado a partir do lodo proveniente do processo de tratamento de efluentes, visto que apresenta uma elevada concentração de alumínio, e manteria sua eficiência como coagulante para posterior reutilização como coagulante no tratamento de efluentes. Deste modo, o presente estudo visa identificar uma solução para o setor de tratamento de efluentes, onde será avaliada a possibilidade de recuperação do sulfato de alumínio do lodo advindo do processo de tratamento de efluentes para a sua reutilização no mesmo.

## 2. Material e Métodos

### 2.1 Coleta das amostras

No presente trabalho, o resíduo utilizado foi coletado em uma ETE localizada no município de Campo Bom, no Rio Grande do Sul. Foram coletadas amostras de lodo do fundo dos decantadores em quatro dias diferentes, visando realizar uma amostragem significativa do objeto de estudo. As coletas foram realizadas no período de 20/04/2018 a 23/04/2018.

O efluente utilizado na pesquisa também foi disponibilizado por essa mesma ETE, e trata-se do efluente gerado pela própria empresa. De acordo com a mesma, o efluente é a carga residual da lavagem dos reatores utilizados na fabricação dos produtos utilizados para o tratamento de efluentes e também da lavagem dos tanques de caminhões, embalagens e containers. Podem estar presentes resíduos de produtos como hidróxido de cálcio, hidróxido de sódio, cloreto férrico, efluente de aviário, efluente alimentício, entre outros. Este foi coletado no dia 23/04/2018.

### 2.2 Caracterização físico-química do lodo bruto

Foi realizada a caracterização físico-química do lodo bruto, que pode ser conferido na figura 1, a fim de observar suas características, bem como delimitar o objeto de estudo, já que cada lodo apresentará variações quanto às suas propriedades, de acordo com algumas variáveis como: dosagem de coagulante, tipo de efluente tratado, eficiência do processo, entre outras. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

As análises realizadas foram:

- **umidade:** foi determinada pelo método gravimétrico, onde foram pesadas massas próximas de lodo bruto, em copos de béquer previamente tarados, e logo após as amostras foram secas em estufa a 105° C até peso constante. Logo após, os copos de béquer com o lodo seco foram colocados no dessecador e depois de um tempo procedeu-se a pesagem. As medidas foram realizadas em balança analítica Shimadzu modelo AUY220, com 4 casas decimais. Como a massa do béquer é conhecida, podemos calcular a massa obtida de lodo seco, e, a partir disso podemos calcular o teor de umidade, a partir da expressão:

$$h\% = \frac{(L - LS) \times 100}{100}$$

Onde: L é a massa de lodo pesada e LS é a massa de lodo seco.

- pH: o pH foi medido segundo procedimento descrito pela norma EPA 9045C, onde foi pesada uma massa de 20g do lodo previamente seco em estufa a 105°C e adicionados 40 mL de água deionizada. Logo após, foi realizada agitação magnética pelo tempo de 5 minutos e então a amostra foi deixada em repouso pelo tempo de 20 minutos e, após isso, procedeu-se a leitura, utilizando um pHmetro digital de bancada PHTEK modelo PHS-3E.
- determinação de matéria orgânica: o teor de matéria orgânica foi determinado baseando-se na pesquisa de caracterização físico-química de lodo feita por Freddo (2014), onde foram medidas, em cadinhos de porcelana já tarados, massas próximas do lodo já seco em estufa a 105°C e em seguida as amostras foram calcinadas em forno mufla Jung modelo 0812 a uma temperatura de 550°C até peso constante e com taxa de aquecimento do forno de 10°C.min-1. Logo após, os cadinhos contendo o lodo calcinado foram colocados no dessecador e depois de um tempo procedeu-se a pesagem. Como a massa dos cadinhos é conhecida, pode-se calcular a massa de lodo calcinado e, a partir disso, é possível calcular o teor de matéria orgânica a partir da expressão:

$$\% \text{ matéria orgânica total} = \frac{(LS - LC) \times 100}{LS}$$

Onde: LS é a massa de lodo seco e LC é a massa de lodo calcinado.

**Figura 1** – Amostra de lodo bruto.



**Fonte:** Os autores (2018).

### 2.3 Caracterização físico-química do efluente bruto

O efluente bruto foi caracterizado visando comparar os parâmetros com o efluente tratado, assim avaliando a eficácia do tratamento proposto. Além disso, a caracterização foi feita para que houvesse a delimitação do objeto de estudo, visto que cada efluente industrial requer um tratamento diferente de acordo com suas características. A caracterização avaliou os seguintes parâmetros:

- pH: a determinação do pH da amostra foi realizada, baseando-se na norma ABNT NBR 7353, em um pHmetro digital de bancada PHTEK modelo PHS-3E, sendo os resultados fornecidos em unidades de pH.
- turbidez: a determinação da turbidez da amostra foi realizada, baseando-se na norma técnica SABESP NTS 008, em um turbidímetro portátil HACH, modelo 2100P, pré-calibrado e sua aferição foi realizada com padrões exclusivos da HACH. A amostra foi diluída 25 vezes, visto que a turbidez da amostra bruta extrapolava a capacidade de medição do aparelho. O resultado é dado em valores de NTU.
- determinação de chumbo, cobre e alumínio: as determinações das concentrações de chumbo, cobre e alumínio presentes no efluente foram realizadas por meio de espectrofotometria de absorção atômica. Foi feita uma curva de calibração para cada elemento com as seguintes concentrações: 1 mg.L<sup>-1</sup>, 2 mg.L<sup>-1</sup>, 3 mg.L<sup>-1</sup>, 4 mg.L<sup>-1</sup> e 5 mg.L<sup>-1</sup>. Como a amostra de efluente era muito impura, realizou-se uma diluição e logo após procedeu-se uma filtração simples, a fim de retirar partículas em suspensão que pudessem danificar o aparelho. As medidas foram realizadas em um espectrofotômetro de absorção atômica PerkinElmer modelo AAnalyst 200, e as concentrações foram dadas em mg.L<sup>-1</sup>. Os comprimentos de onda utilizados foram de 324,75 nm para o Cu<sup>2+</sup>, de 283,31 nm para o Pb<sup>2+</sup> e de 309,27 nm para o Al<sup>3+</sup> e as vazões dos gases, nas determinações de Cu<sup>2+</sup> e Pb<sup>2+</sup>, foram de 10 L.min<sup>-1</sup> para o ar sintético e de 2,5 L.min<sup>-1</sup> para o acetileno. Na determinação do alumínio foi necessário o uso do óxido nitroso, que foi utilizado com vazão de 6 L.min<sup>-1</sup>, acetileno com vazão de 7,5 L.min<sup>-1</sup> e o ar sintético com vazão de 10 L.min<sup>-1</sup>.

### 2.3 Recuperação do coagulante

Em relação à recuperação do coagulante, foram propostas três metodologias diferentes, que serão chamadas de A, B e C. As metodologias se diferem na forma como ocorre a retirada da matéria orgânica da amostra de lodo. Enquanto a metodologia A remove a matéria orgânica por um tratamento térmico (calcinação), as metodologias B e C oxidam a matéria orgânica com digestões ácidas.

O intuito das metodologias B e C é que o método de recuperação seja mais acessível e universal, visto que, dependendo das características do tratamento térmico e da própria amostra de lodo utilizada, pode haver a ignição, o que vai de encontro à legislação de alguns locais que proíbe a incineração de resíduos sólidos.

As três metodologias, bem como as suas diferenças serão explicadas abaixo:

#### 2.3.1 Método A

Para realizar a recuperação do coagulante a partir do lodo pelo método A, foi adaptada a metodologia descrita por Barros & Oliveira (2012). Os passos seguidos foram:

Inicialmente secou-se o lodo bruto em estufa à 105° C pelo tempo de 3 horas, com o objetivo de eliminar água presente. Logo após a amostra foi colocada em forno mufla, a 550° C, pelo tempo de 1 hora e meia, a fim

de eliminar a matéria orgânica presente. O lodo calcinado foi macerado, utilizando gral e pistilo, e em seguida adicionou-se cerca de 20 mL de água deionizada. Logo após, adicionou-se ácido nítrico concentrado até uma faixa de pH entre 2-3, assim formando os nitratos solúveis.

Então foi realizada uma filtração a vácuo e tratou-se a fração líquida com hidróxido de sódio 6 mol.L<sup>-1</sup>, com agitação magnética, até a faixa de pH entre 12-13, assim precipitando alguns dos hidróxidos metálicos e mantendo o alumínio em solução. Por fim, realizou-se uma nova filtração a vácuo, e gotejou-se na fração líquida ácido sulfúrico concentrado até um pH de aproximadamente 7, assim precipitando o sulfato de alumínio;

### 2.3.2 Método B

Para realizar a recuperação do coagulante pelo método B, foi dispensada a etapa da calcinação e adicionou-se o ácido nítrico já no lodo bruto. O ácido nítrico foi adicionado com o papel de oxidar a matéria orgânica. As etapas seguintes foram as mesmas do método A. O tempo de digestão foi de aproximadamente quatro horas.

### 2.3.3 Método C

Para realizar a recuperação do coagulante pelo método C, também foi dispensada a etapa da calcinação, porém no lugar no ácido nítrico fez-se o uso de água régia, uma mistura de ácido clorídrico e ácido nítrico na proporção de uma parte do primeiro para três partes do último. Nesse método a água régia realizou a função de oxidar a matéria orgânica, e o tempo de digestão foi de cerca de quatro horas. As etapas seguintes foram as mesmas do método A.

## 2.4 Quantificação da recuperação do coagulante

Logo após, foi realizado um ensaio, em triplicata, visando quantificar a massa de coagulante recuperada a partir de uma determinada massa de lodo, seguindo a metodologia A. Foram pesadas massas próximas de 10 g de lodo calcinado e procedeu-se todo o processo de recuperação do coagulante. Obteve-se a massa recuperada do coagulante em cada caso, e, a partir disso, foi possível relacionar com a massa de lodo calcinado. Como os teores de umidade e de matéria orgânica do lodo são conhecidos, pôde-se calcular a massa de coagulante obtida a partir da massa de lodo bruto.

## 2.5 Ensaio de coagulação/floculação

O sulfato de alumínio recuperado foi testado no efluente da própria empresa que cedeu o lodo, com o objetivo de avaliar a sua eficiência como coagulante no tratamento de efluentes. O método utilizado para realizar os testes foi o Jar Test, que é um teste feito diariamente nas empresas de tratamento de efluentes, onde se obtém a melhor dosagem do coagulante a ser utilizada. Os ensaios foram realizados no equipamento Jar Test Alfakit modelo 403. As etapas de coagulação/floculação foram realizadas em escala de bancada.

O primeiro ensaio de coagulação/floculação foi realizado com o intuito de avaliar a eficiência do coagulante recuperado, além de obter a melhor dosagem do mesmo em relação a clarificação do efluente. A análise seguiu princípios estabelecidos na literatura descrita por Vaz et al. (2010), onde foram preparados 4 copos de béquer, cada um com cerca de 300 mL do efluente bruto. O primeiro passo foi o ajuste de pH do efluente, que foi realizado empregando hidróxido de sódio 6 mol.L<sup>-1</sup>, até uma faixa de pH entre 8-9. Após o ajuste de pH, adicionou-se, em cada béquer, o coagulante recuperado, em concentrações variáveis entre 30 e 60 mg.L<sup>-1</sup>, com intervalos de 10 mg, e sob agitação rápida de 150 rpm. Após o tempo de 1 minuto e meio,

adicionou-se o auxiliar de floculação (CMC), sob agitação lenta de 20 rpm. A dosagem empregada, seguindo a literatura, variou de 1 mL da solução 0,5% de carboximetilcelulose sódica, onde o tempo de agitação foi de 20 minutos.

Após o tempo de sedimentação, as amostras foram comparadas visualmente levando em consideração o tamanho e a quantidade dos flocos, bem como o grau de clarificação do efluente tratado, a fim de eleger a melhor dosagem do coagulante.

No segundo ensaio, repetiu-se a melhor dosagem, avaliada visualmente, do coagulante recuperado, além de realizar, em paralelo, o uso do coagulante comercial na mesma concentração. No tratamento do efluente com o sulfato de alumínio comercial a dosagem utilizada foi de 1 mL do auxiliar de floculação, a fim de comparar com a análise anterior. No efluente tratado foram medidos os seguintes parâmetros: pH, turbidez, concentração de  $Pb^{2+}$  e concentração de  $Cu^{2+}$ .

## 2.6 Caracterização do sulfato de alumínio recuperado

O coagulante obtido foi caracterizado através de espectrofotometria de absorção atômica a fim de comparar a concentração de alumínio, ferro, chumbo e cobre do coagulante recuperado com o sulfato de alumínio disponível no mercado. O sulfato de alumínio utilizado para fins de comparação foi o reagente sulfato de alumínio (14 a 18 H<sub>2</sub>O) p.a., da marca Synth.

## 2.6 Caracterização do sulfato de alumínio recuperado

A comparação entre o coagulante recuperado e o sulfato de alumínio comercial foi feita a partir dos dados obtidos na caracterização de ambos, e também baseando-se nos dados obtidos do tratamento do efluente com cada um deles.

## 3. Resultados e Discussões

### 3.1 Caracterização físico-química do lodo bruto

- umidade: a partir do teste, realizado em triplicata, para determinar o teor de umidade percebeu-se que a amostra de lodo bruto apresenta um teor de umidade médio de  $38,47 \pm 1,51$  %. Conforme descrito por PROSAB e SANEPAR (1999), valores altos no teor de umidade no lodo pode implicar em elevados custos para transporte do mesmo até seu destino final, dessa forma se fosse transportado esse lodo, não haveria tantos custos. Os valores de teor de umidade podem ser observados na tabela abaixo:

**Tabela 1** – Determinação do teor de umidade do lodo bruto

Massa de lodo bruto (g)	Massa de lodo seco (g)	Massa de água (g)	h %	Média
18,7828	11,2572	7,5256	40,07 %	
24,4482	15,5380	8,9102	36,45 %	$38,47 \pm 1,51$ %
31,4352	19,2077	12,2275	38,90 %	

Fonte: Os autores (2018)

- pH: a partir da medida de pH percebeu-se que a amostra de lodo bruto apresenta um pH de  $3,61 \pm 0,01$ . As medidas foram realizadas em triplicata e o valor obtido de pH foi obtido a

partir da média aritmética das três medidas menos o desvio padrão. Os resultados mostram um lodo ácido, o que segundo Freddo (2014) não favorece a decomposição da matéria orgânica presente, e que se fosse encaminhado para a disposição final, deveria passar por um processo de estabilização de correção do pH.

- determinação de matéria orgânica: a partir do teste, realizado em triplicata, para a determinação do teor de matéria orgânica percebeu-se que a amostra de lodo bruto apresenta uma porcentagem média de matéria orgânica total de  $72,16 \pm 0,48 \%$ , o que pode ser observado na tabela abaixo:

**Tabela 2** – Determinação do teor de matéria orgânica total do lodo bruto

Massa de lodo seco (g)	Massa de lodo calcinado (g)	Massa de matéria orgânica (g)	% de matéria orgânica total	Média
6,1856	1,7502	4,4354	71,71 %	
9,8153	2,7529	7,0624	71,95 %	72,16 $\pm$ 0,48 %
6,9366	1,8846	5,0520	72,83 %	

Fonte: Os autores (2018)

A partir dos dados obtidos na caracterização da amostra de lodo foi possível perceber que o resíduo em estudo é constituído, por sua maior parte, de matéria orgânica, visto que a massa que restou após a calcinação foi muito baixa, se comparada a massa de lodo bruto. Além disso, é possível dizer que a amostra de lodo apresenta um pH ácido. Esse valor alto de matéria orgânica é coerente com o que diz Freddo (2014), visto que um lodo com pH ácido não favorece a decomposição da matéria orgânica.

### 3.2 Caracterização físico-química do efluente bruto

- pH: a partir da medida de pH percebeu-se que a amostra de efluente bruto apresenta um pH de  $3,37 \pm 0,01$ . As medidas foram realizadas em triplicata e o valor obtido de pH foi obtido a partir da média aritmética das três medidas menos o desvio padrão. De acordo com o Decreto nº 8468, de 08.09.79, o pH de um efluente deve estar entre os valores de 5 a 9 para serem lançados no corpo receptor, dessa forma, há necessidade de uma estabilização de pH, já que apresenta um teor ácido.
- turbidez: a amostra de efluente foi diluída 25 vezes, por isso, os valores lidos no aparelho foram multiplicados por 25 para obter os valores de turbidez. As medidas foram realizadas em triplicata e a média dos valores obtidos foi de 24750 NTU.
- determinação de chumbo, cobre e alumínio: as determinações das concentrações de chumbo, cobre e alumínio foram realizados por espectrofotometria de absorção atômica e os valores encontrados foram de  $96,82 \pm 1,02 \text{ mg.L}^{-1}$  para o  $\text{Pb}^{2+}$ , de  $6,47 \pm 0,24 \text{ mg.L}^{-1}$  para o  $\text{Cu}^{2+}$  e de  $3381 \pm 0,04 \text{ mg.L}^{-1}$  para o  $\text{Al}^{3+}$ .

A partir dos dados obtidos na caracterização da amostra de efluente foi possível perceber que o resíduo apresenta um pH ácido e uma turbidez muito elevada, o que indica uma grande presença de partículas sólidas em suspensão, como por exemplo matéria orgânica. Essa grande presença de matéria orgânica evidenciada é resultante da presença de efluentes alimentícios.



Além disso, é possível observar uma elevada concentração de chumbo e também de alumínio. O alumínio evidenciado no efluente é oriundo das cargas de lavagens dos reatores utilizados na fabricação dos produtos para o tratamento de efluentes.

### 3.3 Recuperação do coagulante

Ao final dos tratamentos de recuperação do coagulante, pelas três metodologias diferentes, obteve-se um precipitado branco, com o mesmo aspecto e cor do sulfato de alumínio comercial. Posteriormente, foram realizados testes confirmatórios, como a comparação entre o produto obtido e o comercial e os ensaios de coagulação e floculação. Esse precipitado pode ser observado na Figura 2.

**Figura 2** – Coagulante recuperado pelo método A



**Fonte:** Os autores (2018).

Foi feita também a quantificação da recuperação do coagulante, os resultados mostram que a partir de 1 kg de lodo bruto é possível obter cerca de  $8,75 \pm 0,28$  g de sulfato de alumínio. A recuperação foi satisfatória, tendo em vista a baixa concentração que o coagulante é utilizado industrialmente (em torno de 1%) e também o grande volume gerado de lodo com os processos de tratamento de efluentes (GERHARDT, 2018). Além disso, é importante ressaltar que os resultados estão expressos em base úmida, e como foi observado, a maior parte do lodo é matéria orgânica e outra grande parte é umidade, e essas foram removidas no processo.

### 3.4 Ensaios de coagulação/floculação

Foram feitos dois ensaios, o primeiro para determinar a melhor concentração de coagulante a ser utilizada nos tratamentos e no segundo uma réplica da melhor dosagem e um teste com o coagulante comercial para comparar o coagulante recuperado e o comercial.

Foi possível observar, no primeiro ensaio, que o coagulante recuperado possui eficiência para ser utilizado no processo de tratamento de efluentes, visto que houve coagulação em todas as concentrações testadas. A concentração que obteve maior grau de clarificação e maior número e tamanho de flocos foi a de  $50 \text{ mg.L}^{-1}$  do coagulante recuperado.

Na tabela abaixo estão presentes as medidas de turbidez e pH realizadas no efluente tratado, a fim de avaliar a melhor dosagem do coagulante:

**Tabela 3 – Dosagens de coagulante recuperado e remoção de turbidez**

Concentração utilizada de coagulante (mg.L <sup>-1</sup> )	pH inicial	pH final	Turbidez inicial (NTU)	Turbidez final (NTU)	Remoção de turbidez
30	3,37	8,68	24750	3,55	98,57%
40	3,37	7,99	24750	1,26	99,50%
50	3,37	8,64	24750	1,03	99,58%

Fonte: Os autores (2018)

Em relação aos parâmetros analisados pode-se perceber que o efluente, por ser a carga residual da lavagem dos reatores utilizados na fabricação dos produtos utilizados para o tratamento de efluentes e também da lavagem dos tanques de caminhões, embalagens e containers, possui a concentração de metais pesados e turbidez elevado. Mesmo com essa concentração elevada é possível analisar que a remoção de turbidez foi superior a 99% tanto para o sulfato de alumínio comercial quanto para o sulfato de alumínio recuperado e que ambos os coagulantes podem se enquadrar o parâmetro no limite máximo imposto pela legislação.

Comparando os efluentes bruto e tratado, é possível observar uma redução bastante significativa no valor da turbidez, não apresentando mudanças significativas em relação a variação de concentração utilizada de coagulante. Segundo Guedes et al. (2004), concentrações elevadas de coagulantes não oferecem aumento de benefícios em termos de redução efetiva de turbidez.

Enquanto os valores de pH final obtidos, todos encontram-se dentro da faixa permitida para lançamento em corpo receptor, que deve ser de pH superior a 5 e inferior a 9 (BRASIL, 2011). De acordo com (STATES et al., 2002), no processo de coagulação/floculação quando se utiliza o sulfato de alumínio o pH ótimo geralmente é entre 5 e 7, desta forma, durante de análise foi necessário o ajuste de pH para formação de precipitado.

Com os dados da melhor concentração obtidos no primeiro ensaio (a concentração de 50 mg.L<sup>-1</sup>), foi realizado um novo tratamento, dessa vez com o coagulante comercial, aplicando a mesma metodologia adotada na análise do coagulante recuperado. O intuito do novo tratamento foi comparar o coagulante obtido com o sulfato de alumínio comercial. A Tabela 4 apresenta os resultados encontrados.

**Tabela 4 – Coagulante comercial e remoção de turbidez**

Concentração utilizada de coagulante (mg.L <sup>-1</sup> )	pH inicial	pH final	Turbidez inicial (NTU)	Turbidez final (NTU)	Remoção de turbidez
50	3,37 ± 0,01	9,12	24750	3,43	98,62%

Fonte: Os autores (2018)

É possível observar que o coagulante comercial apresentou resultados similares quando comparado com o coagulante recuperado. Nas figuras 3 e 4 pode-se observar o tratamento com o sulfato de alumínio comercial e o recuperado.

**Figura 3** – Efluente tratado com sulfato de alumínio comercial

Fonte: Os autores (2018)

**Figura 4** – Efluente tratado com sulfato de alumínio recuperado

Fonte: Os autores (2018)

### 3.5 Caracterização e comparação do sulfato de alumínio recuperado e comercial

Foram realizadas análises por espectrofotometria de absorção atômica para determinar as concentrações de  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Pb}^{2+}$  no coagulante recuperado, a fim de obter uma estimativa sobre a sua composição. A mesma análise também foi realizada com o sulfato de alumínio comercial, procurando comparar a caracterização dos diferentes coagulantes utilizados na análise. A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos.

**Tabela 5** – Comparação entre os coagulantes: composições

Sulfato de alumínio	Comercial	Recuperado
Concentração de $\text{Al}^{3+}$ (mg.L <sup>-1</sup> )	1346,5 ± 0,08	180,45 ± 0,08
Concentração de $\text{Cu}^{2+}$ (mg.L <sup>-1</sup> )	Menor que 0,5	Menor que 0,5
Concentração de $\text{Fe}^{3+}$ (mg.L <sup>-1</sup> )	24,06 ± 2,57	14,2 ± 1,5
Concentração de $\text{Pb}^{2+}$ (mg.L <sup>-1</sup> )	22,47 ± 2,04	24,87 ± 0,96

Fonte: Os autores (2018)

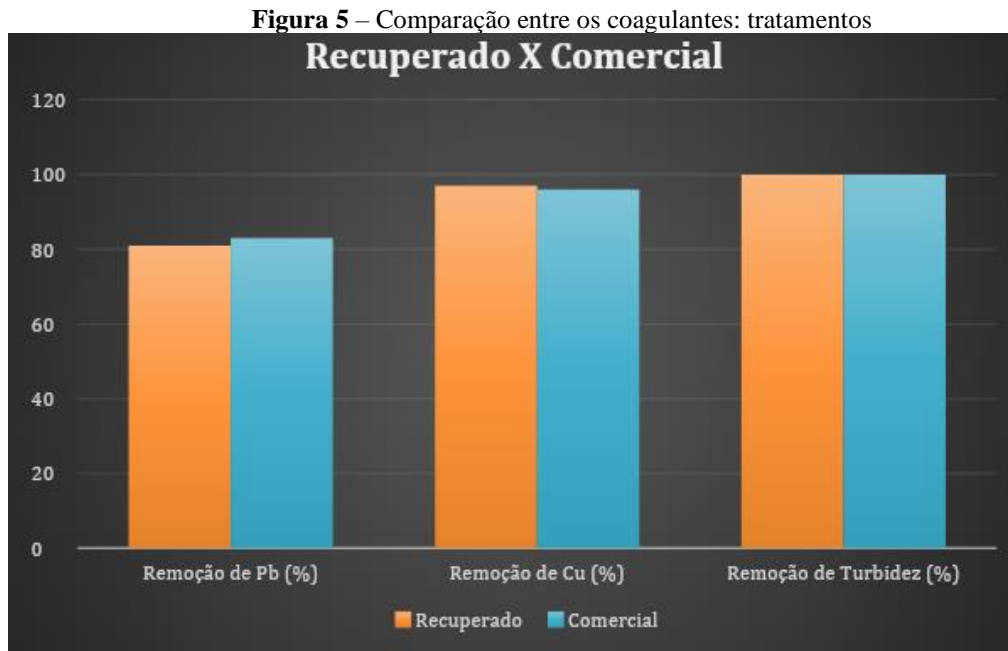
Em relação a composição dos coagulantes, o sulfato de alumínio comercial apresentou valores maiores em relação a concentração de  $\text{Al}^{3+}$  e de  $\text{Fe}^{3+}$ , quando comparado com o sulfato de alumínio recuperado. Segundo Asa (2013), isso pode ser explicado pelo fato de ser um reagente puro, ou seja, extraído diretamente da matéria prima. Já ao relacionar a concentração de  $\text{Pb}^{2+}$  e  $\text{Cu}^{2+}$  os resultados de ambas as análises ficaram muito próximas, o que indica um processo de purificação eficiente na metodologia de recuperação do coagulante.

A seguir, a Figura 5 apresenta os resultados obtidos, com ambos os coagulantes, no processo de remoção de metais pesados analisados, que foram  $\text{Pb}^{2+}$  e  $\text{Cu}^{2+}$ . Os resultados mostram que a remoção mais efetiva dos metais pesados ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ) foi utilizando o coagulante sulfato de alumínio comercial, porém a oscilação dos

valores finais obtidos entre os coagulantes foi baixa, mostrando um comportamento uniforme em relação ao parâmetro avaliado, ao mesmo tempo que todas as amostras do efluente tratado se enquadram na legislação vigente.

Comparando os resultados obtidos nos testes de clarificação, foi possível observar que o coagulante obtido obteve uma eficácia muito próxima à do sulfato de alumínio comercial. O sulfato de alumínio comercial apresentou uma remoção de  $Pb^{2+}$  de 83% e uma remoção de  $Cu^{2+}$  de 96%. Já o coagulante recuperado obteve uma remoção de  $Pb^{2+}$  de 81% e uma remoção de  $Cu^{2+}$  de 97%. Já em relação à remoção de turbidez, o sulfato de alumínio comercial apresentou valores na ordem de 98,62%, e o coagulante obtido apresentou valores na ordem de 99,58%. Também é possível notar ver essa comparação de resultados na Figura 5.

Além disso, ao comparar os valores obtidos nos tratamentos com ambos os coagulantes, é possível observar que os resultados foram muito próximos, o que indica que o coagulante recuperado apresentou uma eficácia muito semelhante ao sulfato de alumínio comercial.



Fonte: Os autores (2018)

Vale ressaltar que mesmo possuindo uma menor concentração de alumínio em sua composição, o sulfato de alumínio recuperado obteve resultados muito semelhantes ao sulfato de alumínio comercial nos parâmetros analisados. Isso indica que a maior concentração de alumínio presente no sulfato de alumínio comercial não foi mais benéfica para o tratamento. A maior concentração de alumínio apenas gerou um lodo com uma maior presença desse metal, sendo esse excesso desnecessário para atingir os parâmetros desejado, que consequentemente acaba por dificultar ainda mais a disposição desse rejeito. Segundo Ndabigengesere e Narasiah (1998), a dosagem de sulfato de alumínio empregada no tratamento de efluente, pode ser tóxica e resultar em impactos sanitários e ambientais. Desta forma, o uso de coagulante recuperado pode, além de obter resultados satisfatórios quando comparado com o sulfato de alumínio comercial, também apresentar a vantagem de gerar um resíduo menos agressivo ao meio ambiente.

## 4. Conclusão

Através dos testes realizados e da análise de dados, é possível confirmar a hipótese, ou seja, o sulfato de alumínio pode ser recuperado a partir do lodo físico-químico residual do processo de tratamento de efluentes industriais, e este pode ser reutilizado como coagulante no processo de tratamento de efluentes. Visto que, os resultados de tratamento de efluente demonstram que esta matéria prima recuperada apresenta eficácia semelhante aos tratamentos feitos com o sulfato de alumínio comercial, uma convergência com estudos já realizados.

Desta forma, conclui-se que os objetivos foram alcançados, além de a hipótese, que era que o sulfato de alumínio poderia ser recuperado a partir do lodo proveniente do processo de tratamento de efluentes, já que apresenta uma elevada concentração de alumínio, e manteria sua eficiência como coagulante para posterior reutilização como coagulante no tratamento de efluentes, ter sido confirmada. Ainda pretende-se realizar mais ensaios, visando otimizar ainda mais o tratamento do efluente em estudo. Percebe-se que a recuperação deste coagulante apresenta uma alternativa que oferece benefícios, devido a ser um produto que não perde sua eficiência quando recuperado.

Além disso, é importante salientar os benefícios da utilização do sulfato de alumínio recuperado para a sociedade visando a sustentabilidade de seus processos produtivos. Do ponto de vista da geração residual, a recuperação do coagulante influencia diretamente na diminuição da carga poluente referente a concentração de sulfato de alumínio, diminuindo conseqüentemente o risco de desastres ambientais no descarte incorreto desse rejeito. Já do ponto de vista de consumo, os benefícios encontram-se na redução da demanda pelo processo de mineração para extração de sulfato de alumínio, influenciando na preservação de reservas de matérias-primas de fontes naturais, no caso a bauxita. Assim, pode-se considerar o sulfato de alumínio recuperado como uma melhor alternativa para o tratamento de efluente, apresentando um menor impacto ao meio ambiente quando comparado ao sulfato de alumínio comercial.

Também é importante salientar que o método proposto pode ser realizado em processos contínuos, visto que a partir do resíduo gerado no tratamento já com o coagulante recuperado foi possível realizar uma nova recuperação. Ainda, pode-se dizer que, como foram propostas três metodologias diferentes, os métodos se tornam mais acessíveis. Como próximas etapas, pretende-se realizar uma análise de viabilidade para a implantação dos métodos propostos, além de avaliar a possibilidade da utilização do coagulante recuperado nas outras diversas aplicações do sulfato de alumínio, como por exemplo nas indústrias farmacêuticas e do papel.

## 5. Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer à empresa Faxon Química Ltda. por todo suporte que nos foi dado, com a doação dos reagentes necessários e das amostras a serem tratadas, além de nos ajudar a observar como funciona efetivamente uma ETE na prática. E por fim, obrigado à pesquisadora Marlone Heliara Bom pela doação das soluções padrões necessários para o desenvolvimento dos ensaios de absorção atômica.

## 6. Referências

ABNT - NBR 7353/2014. **Soluções aquosas - Determinação do pH com eletrodos de vidro.** Acesso em: 12 de março de 2018.

ABNT - NBR 9800/1987. **Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário.** Acesso em: 12 de março de 2018.

ABNT NBR 10.004. **Norma Brasileira de Classificação de Resíduos Sólidos**. 2004. Acesso em: 12 de março de 2018.

BRASIL. **Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluente**. Brasília: 2011.

Andreoli *et al.* (2001). **Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final**. ABES – RJ. Curitiba – PR, Brasil.

ASA, Norsk Hydro (2013). **Mineração de Bauxita. Ciclo de vida do Alumínio**. A Hydro no Brasil.

Coral, L. A.; Bergamasco, R. (2009, maio); Bassetti, F. J. Estudo da Viabilidade de Utilização do Polímero Natural (TANFLOC) em Substituição ao Sulfato de Alumínio no Tratamento de Águas para Consumo. **2nd International Workshop - Advances in Cleaner Production**, São Paulo, SP, Brasil, 22.

DECRETO ESTADUAL. **Resolução nº 8468, 1979, regulamento da Lei nº 997/76, artigo 18 e 19, sobre prevenção e controle da poluição do meio ambiente no Estado de São Paulo**. São Paulo: 1979.

Freddo, A. (2014). **Caracterização Físico-química de lodo proveniente de duas estações de tratamento de esgoto da região do Oeste do Paraná**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade tecnológica federal do Paraná, Medianeira, PR, Brasil.

Freire, R. S. *et al.* (2000) Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. **Química Nova**, 23 (4), 504-511.

Gerhardt, C. M. (2018). **Uma alternativa de substituição ao sulfato de alumínio no tratamento de água potável**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade federal do Rio Grande do Sul, RS, Brasil.

Guimarães, J. C. C. (2010). Sustentabilidade ambiental através da restauração ecológica de minas de bauxita em florestas tropicais nativas. **4º Congresso Internacional de alumínio**, São Paulo, SP, Brasil;

Ndabigengesere, A; Narasiah, K. S. Quality of water treated by coagulation using Moringa oleífera seeds. **Water Research**, n. 32, p. 781- 791, 1998.

Oliveira, F. C. (2000). **Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo urbano num latossolo vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil

Pereira, A. A.; Garcia, M. L (2017). **Efeitos da disposição de lodo de estações de tratamento de efluentes (ETE) de indústria alimentícia no solo: estudo de caso**. Universidade estadual Paulista, Rio Claro, SP, Brasil.

Ritcher, C. A. (2009) **Água: Métodos e tecnologia de tratamento de água**. Editora Blucher.

SANEPAR; PROSAB. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Curitiba, 1999.

Silva, A. L. B. Uso de subprodutos da fabricação de sulfato de alumínio na produção de artefatos cerâmicos.

**49º Congresso Brasileiro de Cerâmica**, São Pedro, SP, Brasil.

States, S.; Tomko, R.; Scheuring, M.; Casson, L. Enhanced coagulation and removal of *Cryptosporidium*. **Journal of the American Water Works Association**, v.94, n. 11, p. 67-77, 2002.

Vaz, L. G. L. et al. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. **Eclética Química Journal**, São Paulo, v. 35, n. 4, p. 45-54, 2010.