

REAÇÕES QUÍMICAS EM LODO DE ETA PARA FINS DE APROVEITAMENTO

Luiza Helena L. Moraes¹, Felipe Cury Mazza

(¹ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - Instituto Três Rios, Av. Prof. Alberto da Silva Lavinas, 1847, Centro, Três Rios - RJ, CEP; ¹Autor de correspondência: luizalmooraes@hotmail.com)

INTRODUÇÃO

As Estações de Tratamento de Água (ETA) são responsáveis pelo tratamento e distribuição de água potável em qualidade e quantidade adequada aos cidadãos. O tratamento envolve a remoção de organismos patogênicos e substâncias químicas (orgânicas e inorgânicas) e também reduzem cor, sabor, odor e turbidez da água bruta, que a torna esteticamente agradável (Heller & Pádua 2006).

Assim como outras indústrias, a ETA gera resíduos durante o processo de potabilização de água para consumo humano, que são os chamados lodos de ETA. Na maioria das vezes, esses resíduos são negligenciados e tratados com descaso, não passando por quaisquer tipos de tratamento, além da disposição final inadequada. Isso se dá devido a falta de planejamento, aumento dos custos operacionais, inexistência de fiscalização ambiental para exigir a adequada gestão desses lodos e falta de alternativas ambientalmente corretas e economicamente viáveis para a disposições do mesmo. Em grande parte das ETA's o lançamento indevido dos resíduos nos corpos d'água situados próximos a estação é a principal solução para o descarte do lodo (Fernandes *et al.* 2003).

O lançamento dos resíduos nos corpos d'água gera impactos ao meio ambiente e ao homem, como o aumento da concentração de metais tóxicos e sólidos em suspensão, que prejudicam o ciclo de nutrientes, principalmente o do fósforo, possibilitando o desenvolvimento de condições anaeróbias em águas estacionárias ou de velocidade lenta, alteração na turbidez, cor, composição química, assoreamento dos corpos receptores, possibilidade de contaminação do lençol freático e aspecto visual desagradável (Olinger *et al.* 2001; Di Bernardo & Dantas 2005; Molina 2010; Reis *et al.* 2007).

Contudo, a quantidade, a qualidade e a toxicidade dos resíduos produzidos em uma ETA dependem de vários fatores, destacando-se qualidade da água bruta e fatores que estão associados à técnica de tratamento da água (Di Bernardo L. & Di Bernardo D. A 2005). De acordo com Demattos *et al.* (2001), até 92% do volume do lodo de ETA é composto de produtos químicos, enquanto que os 8% restantes são impurezas removidas da água. Geralmente, o lodo produzido pelas ETA's que utilizam sulfato de alumínio apresentam além de impactos relacionados ao alumínio, baixa degradabilidade e dificuldade de desidratação durante a fase de secagem devido a presença de hidróxidos formados pelo coagulante, tornando-o gelatinoso e volumoso implicando em custos de transporte e restrições para disposição e reaproveitamento dos resíduos (Richter 2001; Paixão 2005).

Realizar o aproveitamento de metais e outros componentes presentes nesse lodo pode ser uma forma de minimizar os impactos e tornar o processo de tratamento do lodo mais viável economicamente.

Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo estudar equações químicas para reciclagem dos hidróxidos formados pelo uso de Sulfato de Alumínio como coagulante presente no lodo visando a redução do volume e dos potenciais impactos ambientais do resíduo.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste estudo a metodologia empregada foi uma análise bibliográfica nas bases de dados científicos do Periódicos da CAPES, Google acadêmico, documentos e relatórios de instituições públicas e privadas. Na revisão buscou-se por artigos publicados em revistas científicas e anais de congresso, bem como dissertações de mestrado e doutorado que tratam acerca do reaproveitamento dos hidróxidos gerados pelo uso de sulfato de alumínio como coagulante no processo de tratamento de água presentes no lodo a partir de processos ácidos, alcalinos, coagulante e com quelantes com a finalidade de melhorar as condições do lodo para a disposição final dos mesmos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo Takada *et al.* (2013), o lodo de ETA representa de 0,3 a 1,0% do volume de água tratada e sua composição é contida principalmente de materiais inertes, matéria orgânica e precipitados químicos, incluindo compostos de alumínio ou ferro em grande quantidade, dependendo do tipo de tratamento utilizado e da própria ETA. A quantidade e a qualidade de lodo produzida dependerão de fatores como partículas presentes na água bruta, concentração de produtos químicos aplicados ao tratamento, tempo de permanência do lodo nos tanques, forma de limpeza dos mesmos, eficiência da sedimentação, dentre outros aspectos relacionados ao tipo de tratamento de água adotado (Takada *et al.* 2013).

Pereira (2011) estudou as características físicas, químicas e microbiológicas do lodo da ETA Gramame, que é do tipo convencional e trata uma vazão média de 1.917 L/s e utiliza como coagulante sulfato de alumínio. Os resultados encontrados pela autora foram de: pH entre 5,40 e 6,38, DQO entre 213,00 e 387,60 mg/L, DBO variando de 49,10 a 88,10 mg/L, Alumínio de 69.500,00 a 97.856,23 mg/Kg e Ferro de 245,41 a 35.700,00 mg/Kg.

Oliveira *et al.* (2004), detectaram em lodo da ETA de Campos de Goytacazes/RJ, fases cristalinas referentes a caulinita, quartzo e gibsita, com indícios de mica e muscovita e do ponto de vista químico, verificou que o lodo é constituído basicamente por SiO₂ (35,92 %), Al₂O₃ (31,71 %) e Fe₂O₃ (12,79%), o que corresponde a cerca de 80,4% de todos os elementos químicos detectados. Monteiro *et al.* (2007), na mesma ETA (Campos dos Goytacazes) detectaram resultados similares via análise química, onde: o SiO₂ (24,68%), Al₂O₃ (30,39%) e Fe₂O₃ (11,59%).

No trabalho de aproveitamento de lodo em cerâmica vermelha desenvolvido por Paixão (2005), cujo objetivo foi testar a incorporação de lodo em massa cerâmica para verificar a interação e possibilidade de utilização do resíduo como forma de destinação final, também apresenta SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃ como principais constituintes do lodo, apresentando uma porcentagem de 12,55, 8,57 e 72, 90 respectivamente. O óxido de ferro nesse estudo se destacou em comparação aos demais constituintes devido ao fato desta ETA utilizar cloreto de ferro como elemento coagulante no tratamento de água.

Visando as diferentes características que o lodo de ETA pode assumir, bem como os impactos que cada um destes pode causar ao meio ambiente, a disposição adequada de lodos de ETAs e seu aproveitamento estão sendo cada vez mais estudados e considerados como oportunidades de lucro, redução de custos e minimização de impactos ambientais. Contudo, para estes métodos alternativos de disposição do lodo a maior dificuldade é o grande volume do resíduo, que dificultam o manejo, o transporte e a disposição final até mesmo em Aterros Sanitários, pois diminui a vida útil do mesmo, levando ao encarecimento da disposição final, fazendo com que muitas das ETA's disponham os lodos *in natura* em corpos hídricos (Cordeiro 1993).

Desse modo, para a melhoria do processo de disposição dos lodos, torna-se necessária a redução do volume do lodo. Dentre os métodos mais utilizados para melhorar as condições dos lodos para disposição final, podem ser citados a desidratação natural em lagoas e leitos de secagem, o adensamento mecânico em centrífugas, concentradores por gravidade de dupla célula, filtros a vácuo, filtros-prensa de placas ou de esteiras e leitos de secagem a vácuo (Bidone *et al.* 2001).

Estudos mostraram que a umidade do lodo ao sair do sistema de desidratação, é de cerca de 70%, (Cordeiro 1993; Andreoli *et al.* 2003; Paixão 2005; Richter 2001) e que os hidróxidos formados devido aos sais adicionados durante o processo de coagulação dificultam a desidratação do lodo durante a fase de secagem tornando-o gelatinoso e volumoso (Paixão 2005). Essa dificuldade é referente aos tipos de água que estão contidos ou ligados às moléculas de lodo, que segundo Tartari (2008), têm sido classificadas como água livre, que pode ser compreendida como a água adsorvida que é mais facilmente retirada quando atingida a temperatura de ebulição; água intersticial, que se encontra presa aos interstícios dos flocos; água vicinal, que se encontram firmemente presas a superfície da partícula do lodo por meio de pontes de hidrogênio; e água de hidratação, que é aquela ligada quimicamente à superfície das partículas sólidas.

Sendo assim, diversos autores como Guimarães (2005), Dandolini (2014) e Demattos *et al.* (2001), estudaram metodologias de recuperação de coagulante usado no tratamento de água do lodo visando a redução de hidróxidos no lodo bem como a redução do volume de resíduo gerado, o que acaba por facilitar os processos de destinação do mesmo.

Segundo Dandolini (2014), os processos de recuperação dos coagulantes podem ser realizados por via ácida, via alcalina e via extração com solventes orgânicos por complexação/quelação, contudo no presente estudo estão sendo levados em consideração apenas as reações por via ácida devido as dificuldades operacionais e de pesquisa que envolvem os outros processos, sendo estes tratados em um estudo futuro.

A recuperação de coagulantes pela via ácida começou a ser estudada no final do século passado e desde então diferentes configurações foram testadas, como o processo *Fulton* de recuperação de coagulantes de lodos contendo alumínio, criado em 1974, que consiste basicamente na adição de ácido sulfúrico ao lodo previamente desidratado, de maneira a transformar os hidróxidos de alumínio presentes em espécies químicas solúveis de alumínio (AWWA, 1987). A solubilização pode ser representada pela reação:



Essa reação gera ao final sulfato de alumínio, que pode ser facilmente comercializado devido a sua utilidade como agente coagulante de ETA, na manufatura de papéis e mordente em tingimento de têxteis, e água com pH final baixo (em torno de 2), com uma recuperação de coagulantes entre 50% e 75% (Dandolini 2014).

Aparentemente, devido às impurezas metálicas contidas no ácido e ao baixo pH, o reciclo de coagulantes aumentou a concentração de metais pesados na água tratada, particularmente estanho, zinco e manganês (AWWA 1987).

Existem diversas reações químicas que possibilitam realizar a separação do Alumínio do lodo, ainda que não seja com intuito de recuperar o coagulante para reutilização nas ETA's. Na tabela 1 abaixo é possível encontrar alguns exemplos de reações químicas de via ácida que podem ser utilizadas para esse intuito.

Tabela 1: Exemplos de equações que podem vir a serem utilizadas para recuperação do coagulante bem como os produtos gerados pelos mesmo e suas utilidades comerciais. Fonte: Web QC. Org: Chemical Portal.

Via	Reação Química	Produtos	Utilidade Comercial
Ácida	$\text{Al(OH)}_3 + \text{HCl} = \text{AlCl}_3 + 3 \text{H}_2\text{O}$	Cloreto de Alumínio	Catalisador no <i>cracking</i> de petróleo e também em reações orgânicas, especialmente nas reações <i>Friedel-Crafts</i> .
		Água	Sem uso comercial.
Ácida	$\text{Al(OH)}_3 + \text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow \text{AlPO}_4 + 3 \text{H}_2\text{O}$	Fosfato de Alumínio	Classificação CFT (06.02.01) como antiácidos.
		Água	Sem uso comercial
Ácida	$3 \text{HF} + \text{Al(OH)}_3 = \text{AlF}_3 + 3 \text{H}_2\text{O}$	Fluoreto de alumínio	Junto com o fluoreto de zircônio é a base dos vidros de fluoretos.
		Água	Sem uso comercial
Mista	$\text{Al}_2\text{O}_3 + 6 \text{NaOH} + 12 \text{HF} = 2 \text{Na}_3\text{AlF}_6 + 9 \text{H}_2\text{O}$	Hexafluoraluminato de Sódio	Útil na produção industrial de alumínio.
		Água	Sem uso comercial

Algumas das metodologias podem vir a não ser viáveis tanto economicamente, quanto em relação aos procedimentos que devem ser efetuados para a reação e para garantia de segurança de quem irá manusear o tratamento devido ao preço e risco quanto às substâncias químicas e metodologias empregadas para que a reação ocorra. Apesar de no presente estudo não ter sido feita nenhuma análise em relação a custo benefício de todo o processo de tratamento dos resíduos pelas reações apresentadas acima, através de observação estequiometrica das reações é possível ponderar que reações como $\text{Al}_2\text{O}_3 + 6 \text{NaOH} + 12 \text{HF} = 2 \text{Na}_3\text{AlF}_6 + 9 \text{H}_2\text{O}$, podem não ser economicamente viáveis à ETA's devido ao fato de uma molécula de Hidróxido de Alumínio precisar de cerca de 6 moléculas de Hidróxido de Sódio e 12 moléculas de Ácido Fluorídrico para produzir apenas 2 moléculas de Hexafluoraluminato de Sódio e 9 moléculas de água, que não tem benefícios economicamente, podendo vir a gerar custos que ultrapassem os benefícios do tratamento.

CONCLUSÃO

Conclui-se que a solubilização dos coagulantes e sua reciclagem podem vir a minimizar os custos e os problemas associados à disposição final dos lodos gerados em Estações de Tratamento de Água (ETA's) através da redução do volume do lodo a ser transportado e descartado e gerando potencial de reaproveitamento em outras atividades industriais aumentando o potencial para uma destinação ambientalmente correta e economicamente viável. A recuperação do Coagulante presente no lodo por meio da utilização de ácido sulfúrico pode ser compreendida como a mais viável economicamente dentre as apresentadas, visto que, ainda que não fora realizados estudos de custo benefício, contribui não só para a diminuição do volume e melhoria da qualidade do lodo, mas também gera como produto final Sulfato de Alumínio que além de ser facilmente comercializável pode vir a ser utilizado pela ETA para coagulação e tratamento de água, reduzindo a quantidade de coagulante a ser comprado pela estação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andreoli, C.V *et al.*(2001) Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: RIMA, ABES: 282.
- Bidone, F., Silva, A. P., Marques, D. M. Lodos Produzidos nas Estações de Tratamento de Água (ETAs): Desidratação em Leitões de Secagem e Co-disposição em Aterros Sanitários. In: Andreoli, C.V. (2001) Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: RIMA, ABES: 215-282.

- Cordeiro, J. S. (1993) O problema dos lodos gerados em decantadores de Estações de Tratamento de Águas. Tese de Doutorado. Programa de Pós- Graduação em Engenharia Hidráulica. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Guimarães (2005). Recuperação de coagulante a partir da acidificação de resíduos gerados na estação de tratamento de água do rio manso. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.
- Dandolini, I. (2014) Reciclagem do lodo de estação de tratamento de água produção de coagulante por lixiviação ácida. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Escola De Engenharia, Universidade Federal Do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- Demattos, M. *et al.* (2001). Redução do volume de lodo gerado em estações de tratamento de água: Proposta de Recuperação Do Coagulante Pelo Processo De Acidificação No Sistema Rio Manso. In: 21º congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental.
- Di Bernardo. L.; Dantas, A. (2005) Métodos e técnicas de tratamento de água. 2º ed. São Carlos: RIMA, vol. 1 e 2.
- Di Bernardo. L.; Di Bernardo, A.; Centurione Filho, P.L. (2002) Ensaio de tratabilidade de água e de resíduos gerados em estações de tratamento de água. São Carlos: Rima.
- Heller, L.; Pádua, V. L. Abastecimento de água para consumo humano. 1º Ed. Minas Gerais: UFMG, 2006.
- Fernandes, P. F.; Oliveira, A. P. N.; Hotza, D. (2003) Reciclagem do lodo da estação de tratamento de efluentes de uma indústria de revestimentos cerâmicos. Parte 1: Ensaio laboratoriais. Cerâmica Industrial, v. 8, n. 2, p. 26-34.
- Julio, M. *et al.* (2009) Regeneração por via ácida do coagulante presente no lodo da estação de tratamento de água Pitangui operada pela SANEPAR de Ponta Grossa/PR. In: Revista de Engenharia e Tecnologia, 1st ed. Disponível: <http://revistaret.com.br/ojs-2.2.3/index.php/ret/article/viewfile/7/48>. Acessado em 23 de março de 2018.
- Molina, T. (2010) Caracterização e tratamento de água de lavagem de filtros de ETA com o uso de polímeros sintéticos e amido de batata. Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 2, nº. 3, p. 28 – 44.
- Olinger, C.; Cardoso, M.; Lapolli, F. R. (2001) Caracterização e clarificação da água de lavagem do filtro de uma ETA que utiliza como coagulante o sulfato de alumínio. In: 21º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21º, 2001, João Pessoa: Anais.
- Oliveira *et al.* (2004). Caracterização de resíduo (lodo) proveniente de estação de tratamento de águas visando sua utilização em cerâmica vermelha. In: cerâmica, 50th ed. Pp.324-330.
- Paixão, Luiz C. C. (2005) Aproveitamento de Lodo De Estação de Tratamento de Água em Cerâmica Vermelha. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós- Graduação em Engenharia dos Materiais. Rede Temática em Engenharia de Materiais. Ouro Preto.
- Pereira, S. L. M. (2011) Características físicas, químicas e microbiológicas do lodo das lagoas da ETA Gramame. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental. Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa.
- Reis E. L. *et al.* (2007) Identificação da Influência do Descarte de Lodo de Estações de Tratamento de Água. Química Nova, v. 30: 865-872.
- Richter, C. A. (2001) Tratamento de lodos de estações de tratamento de água. São Paulo: Blucher.
- Takada. C. *et al.* (2013) Aproveitamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água no município de Palmas-TO. In: engenharia ambiental, 2nd ed. Espírito santo do pinhal: 157-165.
- Rodrigues, L. (2014) Avaliação do impacto em corpos d'água devido ao lançamento de resíduos de uma estação de tratamento de água de Juiz de Fora - MG. Trabalho de Conclusão de Curso. Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora.
- Tartari, R. (2008). Incorporação de lodo gerado na Estação de Tratamento de Água Tamanduá, como aditivo em massas para cerâmica vermelha. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação “stricto sensu” em Engenharia Química. Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
- Webqc.org. (2018). Balance chemical equation - online balancer. Disponível em: <<https://www.webqc.org/balance.php>> acesso em 23 março de 2018.