Aproveitamento de lodos gerados em ETAs e a importância de auxiliares de floculação naturais

"Utilization of sludge generated in water treatment plants and the importance of natural flocculation aids"

Davi Rodrigues da Silva (*)

Químico pela Universidade de Brasília (UNB). Pós-graduado em química pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Mestre em Biologia Molecular pela Universidade de Brasília (UNB). Químico da Companhia de Saneamento Ambiental de Brasília (CAESB).

Luiz Antônio Daniel

Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (1983), mestrado em Engenharia Civil EESC-USP pela Universidade de São Paulo (1989) e doutorado em Engenharia Civil EESC-USP pela Universidade de São Paulo (1993). Professor do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

(*) Endereço: e-mail: drs1_rodrigues_76@yahoo.com.br
Caesb_SAIN Área Especial ETA CAESB Laboratório
Brasília DF CEP: 70620-000

Recebido: 12/10/2009

Aceito: 17/03/2010

RESUMO

As estações de tratamento de água (ETAs) produzem lodos residuais, resultado do processo de lavagem dos filtros e descarga dos decantadores, os quais, na maioria dos casos, são lançados sem tratamento nos corpos d'água. A crescente preocupação e a regulação sobre a preservação e recuperação da qualidade do meio ambiente têm restringido ou mesmo proibido o uso deste método de disposição, impondo a procura por alternativas que pouco interfiram com o meio ambiente. O presente trabalho tem como principal objetivo apresentar proposta de aproveitamento de lodos gerados em ETAs, enfocando também a importância de auxiliares de floculação naturais, como o amido de milho, e o controle da qualidade da água por meio de métodos microbiológicos.

PALAVRAS-CHAVE: Lodos de estações de tratamento de água, qualidade do meio ambiente, preservação e recuperação.

ABSTRACT

The water treatment stations produce residual sludge, due to filter cleaning and discharge of sedimentation pool, and in most cases this sludge is thrown in water bodies. Nevertheless, the rising concern and the regulation about preservation and recovery of environment quality has restricted and even prohibited the use of this method of discharge. Because of that it is necessary now the search for less harmful choices to the environment. This research aims to analyze a procedure to make use of sludge which is produced in water treatment stations, also focusing the importance of natural flocculation auxiliaries (such as corn amid) and controlling the water quality through microbiological methods.

Keywords: Sludge from water treatment station, environment quality, preservation and recovery.

INTRODUÇÃO

A Conferência de Estocolmo teve o grande mérito de haver alertado o mundo para os malefícios que a deterioração do ecossistema poderia causar à humanidade como um todo (Jungstedt 2002). No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabeleceu que o licenciamento de qualquer atividade modificadora do meio ambiente dependerá da elaboração do estudo do impacto ambiental (EIA) e

respectivo relatório de impacto ambiental (RIMA), que devem ser aprovados por órgãos estaduais e pelo IBAMA (Verdum *et al.*, 2002). Os processos de tratamento de água geram grande variedade de resíduos, incluindo compostos orgânicos e inorgânicos, nas formas sólida, líquida e gasosa. De acordo com a NBR-10.004 (ABNT, 2004), os lodos gerados em decantadores são classificados como resíduos sólidos e, portanto, não podem ser lançados nas redes coletoras de esgotos ou despejados nos cursos d'água. Ainda de acordo com a NBR 10.004, os resíduos de Estações de Tratamento de Água-ETAs podem ser classificados como classe I – Resíduos perigosos ou classe II – Resíduos inertes, dependendo, principalmente, da concentração de alumínio e ferro nesses resíduos. A água de lavagem de filtros, em ETAs, apresenta, normalmente, risco ambiental e potencial de poluição, visto que são utilizadas substâncias muitas vezes tóxicas e/ou inflamáveis que após os processos químicos normalmente geram “lixo tóxico” que precisa ser tratado (resíduo). As alternativas para disposição ou destino final desse resíduo incluem: a) encaminhar os resíduos para as estações de tratamento, onde é feito o ajuste das cargas emitidas aos parâmetros estabelecidos para o lançamento; b) reciclar ou reutilizar os resíduos e c) incinerar os resíduos tratados (Cordeiro, 1999). No capítulo 30 da Agenda 21 é proposta a promoção de produção limpa juntamente com a responsabilidade empresarial. Inserida neste cenário está a Química Ambiental, também conhecida como Química Limpa, que é um tipo de prevenção de poluição causada por atividades na área de química. Esta estratégia visa desenvolver metodologias e/ou processos que usem e gerem a menor quantidade de materiais tóxicos, podendo até mesmo reciclar os resíduos. Neste caso, os riscos seriam minimizados e, uma vez que o processo fosse implantado, os gastos com tratamento de resíduos seriam menores. No Brasil, a comunidade química reconhece que a filosofia da Química Verde é estratégia importante no que diz respeito aos impactos ambientais negativos. No Brasil, do ponto de vista de pesquisa, a maior preocupação tem sido com os resíduos gerados nas Estações de Tratamento de Esgoto-ETEs e pouco se tem discutido sobre os lodos gerados nas ETAs que, na sua maioria, lançam tais resíduos nos cursos d'água, ferindo a Lei 6938/81 que estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente (Cordeiro, 1999). Segundo o artigo 3º dessa lei, será enquadrado como poluidor aquele que provocar a degradação da qualidade do meio ambiente, afetando condições estéticas, e lançar materiais em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos. As ETAs são tradicionalmente utilizadas para remover turbidez, cor e organismos patogênicos, e também para a remoção de sabor e odor de águas para abastecimento. Para tanto, estas se utilizam de processos de remoção físico-química de impurezas. A formação de flocos inicia-se com a desestabilização das cargas elétricas das partículas. Sabe-se que as partículas coloidais, substâncias húmicas e microrganismos em geral, apresentam-se com carga negativa na água, impedindo esta aproximação (Di Bernardo *et al.*, 2005). A adição de íons de carga contrária altera esta condição de repulsão entre as partículas, permitindo a aglutinação. Os sais de ferro (Fe³⁺) e de alumínio (Al³⁺) são os coagulantes utilizados com maior frequência nos sistemas de tratamento de água. O processo de coagulação ocorre nas unidades de mistura rápida onde é promovida a dispersão rápida e homogênea do coagulante. Após a desestabilização das partículas é necessário promover o transporte e a colisão destas para a formação dos flocos. Esse processo, conhecido como floculação, ocorre nas unidades de mistura lenta ou floculadores. Nessas unidades, dispositivos

mecânicos ou hidráulicos promovem movimento errático que favorece a colisão das partículas. Esse movimento deve ser controlado para não provocar a quebra dos flocos que já se formaram. Após a formação dos flocos é necessária a separação das fases líquida e sólida, o que pode ocorrer pelos processos de sedimentação ou de flotação. Atualmente, o amido tem sido utilizado como auxiliar no processo coagulação/floculação em algumas ETAs. A abundância de grupos hidroxila nas moléculas de amido fornece características hidrofílicas, o que faz com que o polímero estabeleça ligações de hidrogênio com a água. O uso de amidos em tratamento de água resume-se a algumas poucas aplicações, restringindo-se ao amido de batata, mandioca e araruta, porém, não derivatizados, estes, também são denominados catiônicos. Em geral, para que estes amidos resultem eficientes, há necessidade da aplicação de dosagens superiores a 1 mg/L (comumente da ordem de 2 a 3 mg/L). É frequente o uso de polímeros como auxiliares de floculação. Os polímeros são compostos orgânicos de cadeia longa que favorecem a formação de flocos mais resistentes. O objetivo deste trabalho foi avaliar a possibilidade de utilização do lodo gerado em uma unidade de tratamento de água que utiliza sulfato de alumínio, tendo o amido como polímero catiônico, auxiliando na floculação.

MATERIAL E MÉTODOS

Procedimento Experimental

Para o desenvolvimento do trabalho experimental foi utilizado lodo gerado em ETA que utiliza sulfato de alumínio como coagulante, com eventual adição prévia de cal para a correção do pH de coagulação. A dosagem de coagulante varia de 2 a 7 mg de Al (SO₄) /L. Eventualmente, com o objetivo de tornar os flocos mais resistentes, hessa etapa, aplica-se, também, o polímero aniônico de baixa carga como auxiliar de floculação, com dosagem variando entre 0,017 a 0,33mg/L. Em geral, A ETA é operada pelo sistema de filtração direta. Os filtros são compostos de uma camada suporte de pedregulho de 0,525m e uma camada filtrante de areia com 1,2m de altura. A lavagem dos filtros é feita com ar e água, em intervalos que variam de 18 a 24 h. Após a filtração, a água, submetida às etapas de desinfecção, fluoretação e correção de pH, segue para os reservatórios de armazenamento, estando pronta para consumo. A água de lavagem dos filtros é encaminhada para um tanque de acumulação, dotado de agitadores e em seguida é distribuída para os dois adensadores por gravidade que funcionam em regime de batelada. O sobrenadante desses adensadores, cerca de 170L/s, é encaminhado para tanques de equalização e em seguida retornam para a caixa de entrada da ETA. O lodo acumulado no fundo desses adensadores segue para o tratamento da fase sólida, que compreende as etapas de condicionamento e desidratação em centrífuga. O condicionamento é feito por meio da adição de polímero aniônico de baixa carga na linha de alimentação da centrífuga. O lodo acumulado no fundo desses adensadores foi acidificado com ácido sulfúrico até pH inferior a 2 de acordo com metodologia adotada por Brandão (1998). Em seguida coletou-se a suspensão e manteve-se esta em agitação por uma hora. Esta suspensão final foi utilizada como coagulante. As características dos coagulantes testados estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características dos coagulantes avaliados nos ensaios

Coagulante	Al ₂ O ₃ (%)	Massa específica (kg/m ³)
Sulfato de Alumínio	7,5	1,36
Suspensão de lodo	6,0	1,20

Conforme Di Bernardo et al (1998), as soluções de amido de milho original e purificado foram preparadas à quente, com concentração de 1,0 g/L, aquecendo-as até a temperatura de gelatinização (80 ± 5°C). Foram desenvolvidos ensaios em equipamentos de “Jartest” no qual foram simuladas as etapas de coagulação, floculação e sedimentação, utilizando-se como coagulante a suspensão do lodo e o sulfato de alumínio

para comparação e o amido como polímero catiônico. O equipamento de “Jartest” utilizado nos experimentos é composto de 6 jarros de acrílico, com volume útil de 2L cada, no qual é possível desenvolver em paralelo ensaios por batelada. Os ensaios experimentais, realizados em laboratório, tiveram por objetivo investigar diferentes dosagens de coagulante, para diferentes pH. Para variar o pH de coagulação entre 6 e 8 foram utilizadas soluções de hidróxido de sódio 1,0 mol/L e ácido clorídrico 0,1 mol/L. Os parâmetros hidráulicos utilizados nos ensaios em “Jartest” estão especificados na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros hidráulicos utilizados nos ensaios em Jartest

Parâmetro	Mistura rápida	Floculação	Sedimentação
GMR (s ⁻¹)	200	80	55
GF (s ⁻¹)		30	
rpm	250	100	70
Tempo(s)	30	5	5
Vs(cm/min)			1,2

GMR: gradiente de mistura rápida; GF: gradiente de floculação; Vs: velocidade de sedimentação

As principais características da água bruta estão apresentadas na Tabelas 3.

Tabela 3- Características da água bruta. Período de amostragem de janeiro a abril de 2009.

Variável	Unidade	Valores médios ± Desvio padrão
pH	-	5,5±0,36
Temperatura	°C	25±0,51
Turbidez	uT	248±0,24
Cor	uC	300±17,34
Condutividade	mmho/cm	512±12,38
COT	mg/L	17,35±0,12
DQO	mg/L	19,45±12,19
Fe(total)	mg/L	0,781±0,11
N(total)	mg/L	1,907±0,18
P(total)	mg/L	0,147±0,31

Foi monitorada a presença ou ausência de coliformes totais e *Escherichia coli* durante quatro semanas na água coletada nos jarros após a filtração que foi feita em papel de filtro com porosidade de 0,25µm. A quantificação de coliformes totais e *Escherichia coli* foi feita utilizando substrato cromogênico (Colillert). Além da vidraria e materiais utilizados nos experimentos, foram empregados: (i) pHmetro marca Digimed; (ii) espectrofotômetro modelo DR/2000, marca HACH; (iii) turbidímetro modelo 2100N, marca HACH; (iv) equipamento de “Jartest” Nova Ética modelo LDB.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os mecanismos envolvidos na coagulação de sistemas coloidais são complexos e envolvem propriedades de superfície, potenciais elétricos, interações solvente-soluto, solvente-partículas, produtos de solubilidade, condições de mistura e de pH, entre outros. Para contemplar essas necessidades ou particularidades foram elaborados diagramas de coagulação para sulfato de alumínio e suspensão de lodo com e sem o amido. A turbidez, cor e pH da água de lavagem monitorada era de 500uT, 600uC e 5,4, respectivamente. O diagrama de comparação entre suspensão de lodo e sulfato de alumínio, ambos sem o amido, está representado na Figura 1, e ambos com amido na Figura 2. Nestas figuras o eixo das ordenadas refere-se à dosagem do coagulante (expressa em alumínio) e o eixo das abscissas ao pH de coagulação e os resultados da turbidez remanescente da água filtrada foram apresentados na forma curvas representativas de mesma turbidez. Observa-se que com dosagens de 9 a 22 mg/L (em termos de alumínio

quantificado por espectrofotometria) e pH entre 5,8 a 6,5 foram obtidos valores de turbidez baixas na ordem de 0,5 uT, atendendo a Portaria 518/2004 (Brasil, 2004). Outro fato importante observado é que com o coagulante (sulfato de alumínio), em quase todas as dosagens, a turbidez ficou em torno de 1 uT no pH de coagulação próximo a 5, o que não ocorreu com a suspensão de lodo. Este fato talvez se relacione a não concentração ideal de alumínio na suspensão de lodo, tendo em vista, de acordo com Pigotto et al (1996), que a maior parte do alumínio não está na forma de Al^{3+} (provavelmente complexado com os colóides inorgânicos), pois esta suspensão de lodo é proveniente da coagulação pelo mecanismo de adsorção/neutralização de cargas.

(a)

(b)

Figura 1: Diagrama de coagulação para a suspensão de lodo (a) e sulfato de alumínio (b), ambos sem amido. Curvas representativas da turbidez remanescente na água filtrada - menor turbidez: 0,25 a 0,35 uT; maior turbidez: 15 a 28 uT).

O amido catiônico adicionado interage com eventuais flocos já formados pela ação do coagulante primário e com espécies que ainda não aglomeraram. Tem-se ainda grande quantidade do grupo hidroxila nas cadeias poliméricas, os quais poderão estabelecer ligações de hidrogênio com as espécies presentes no meio.

(a)

(b)

Figura 2: Diagrama de coagulação para a suspensão de lodo (a) e sulfato de alumínio (b), ambos com amido. (Curvas representativas da turbidez remanescente na água filtrada - menor turbidez: 0,2 a 0,3 uT; maior turbidez: 12 a 18,5 uT). Na Figura 3 estão representados os melhores resultados extraídos dos respectivos diagramas de coagulação para a suspensão de lodo e sulfato de alumínio sem e com amido. Nesta avaliação os resultados apontaram eficiência de mesma magnitude, ressaltando que em dosagens próximas a 20 mg/L a média de remoção

de turbidez foi da ordem de 100%.

Figura 3: Melhores resultados extraídos dos respectivos diagramas de coagulação para a suspensão de lodo e sulfato de alumínio sem e com amido.

A Figura 4 ilustra a concentração de alumínio em função da dosagem de suspensão de lodo sem amido. Em água com alta turbidez, o aumento da dosagem de suspensão de lodo diminui levemente a concentração residual de alumínio, pelo fato que altas dosagens facilitam a formação de grandes flocos podendo adsorver espécies de alumínio com partículas de ácido húmico, formando assim o precipitado. Contudo, como evidenciado na Figura 4, curva vermelha, o residual de alumínio flutua bastante, reforçando que o aspecto da remoção de alumínio não é um fenômeno simples e provavelmente procede-se via combinação de diferentes mecanismos, incluindo mecanismos de adsorção e precipitação, principalmente para altas dosagens. A curva azul, com turbidez baixa, reforça que para altas dosagens de suspensão de lodo, não haverá partículas suficientes para serem adsorvidas causando excedente de residual de alumínio na solução.

Figura 4. Residual de alumínio em função da dosagem de suspensão de lodo. Curva em vermelho representa água com turbidez igual a 100 e curva azul turbidez igual a 20. Na Tabela 4 estão apresentados os resultados do monitoramento referente à presença ou ausência de coliformes totais e *Escherichia coli* durante quatro semanas

Microrganismo indicador	Período de monitoramento			
	1º Semana	2º Semana	3º Semana	4º Semana
<i>Escherichia coli</i>	ausência	ausência	ausência	ausência
Coliformes totais	ausência	ausência	ausência	ausência

Tabela 4. Monitoramento referente a coliformes fecais e *Escherichia coli* na água filtrada

Observa-se que no período de monitoramento não foram detectados coliformes totais e *Escherichia coli*, provavelmente devido à inativação ou à lise das células dessas bactérias durante a acidificação do coagulante com ácido sulfúrico. Entretanto, por envolver a recirculação de água de lavagem de filtros será conveniente complementar os exames com a inclusão de vírus, (oo) cistos de protozoários e outras bactérias.

CONCLUSÕES

Considerando as condições em que os ensaios foram realizados conclui-se:

- O coagulante recuperado do lodo apresentou eficiência de remoção de turbidez semelhante à do sulfato de alumínio comercial, para as mesmas dosagens e pH de coagulação.
- O amido contribuiu para a melhoria da eficiência de remoção de turbidez, porém com aumento não significativo para as maiores dosagens de coagulante.
- A acidificação do lodo com o propósito de recuperar o sulfato de alumínio contribuiu para a inativação de *E. coli*, indicando que o processo reduz o risco sanitário, necessitando, entretanto, incluir outros organismos mais resistentes que a *E. coli* para avaliação segura.

BIBLIOGRAFIA

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004 (1989). "Disposição de Resíduos Sólidos". Rio de Janeiro, Brasil.

Brandão, J.B. (1998). "Recuperação de coagulantes através de solubilização pela via ácida de lodos de diversas ETAs no ES com posterior Reutilização no tratamento de águas para abastecimento e águas residuárias."139p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518, de 25 março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, mar. 2004. 15p.

CORDEIRO, J.S. (1999). "Importância do tratamento e disposição adequada dos lodos de ETAs."In: Prosab, Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estação de tratamento de água. ABES, Rio de Janeiro, Brasil,1-19.

DI BERNARDO L; DANTAS, A. D (2.005). Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. ed. RIMA. 2ª Edição. 1565p.

DI BERNARDO, A., DI BERNARDO, L., FROLINI, (1998) E. Influência do método de preparação da solução de polímeros naturais, amido natural e amido catiônico, na eficiência da floculação quando utilizados como auxiliares Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, p: 77-91, João Pessoa, PB, Brasil.

JUNGSTEDT, L. O. C.; (2002) Direito Ambiental – Legislação, 2a ed., Thex Editora Ltda: Rio de Janeiro.

PIOTTO, Z.C. E GONÇALVES, R.F. (1996) Regeneração de Coagulantes A Partir de Lodos de ETAs Para Aplicação no Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias, Anais do VII Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental SILUBESA, Lisboa, Portugal.

VERDUM, R.; MEDEIROS, R. M. V. (2002) RIMA – Relatório de Impacto Ambiental – Legislação, elaboração e resultados, 4a ed., Ed. Universidade/UFRGS: Porto Alegre.