

# Caracterização físico-química e ensaios de adensamento em coluna do lodo produzido em uma Estação de Tratamento de Água de grande porte

## Physicochemical characterization and column thickening assays of a Water Treatment Plant sludge.

### RESUMO

O trabalho teve como objetivo caracterizar os resíduos gerados nas etapas de sedimentação e filtração de uma Estação de Tratamento de Água de grande porte, e realizar ensaios de adensamento em coluna com o uso de polímeros para avaliar se o adensamento por gravidade do lodo gerado é uma técnica viável para o tratamento deste resíduo visando sua disposição final. Na caracterização do lodo dos decantadores e da água de lavagem dos filtros foram obtidas concentrações de sólidos totais de 3.227 mg/L e 195 mg/L respectivamente, revelando que a quantidade mensal de resíduos gerados (massa seca) é de 100 toneladas que são dispostas mensalmente no corpo hídrico sem tratamento, impactando negativamente o local. Verificou-se ainda que o adensamento por gravidade não é uma técnica viável para o lodo estudado e que a caracterização desses resíduos é fundamental para que se possa definir o método de tratamento adequado.

**PALAVRAS-CHAVE:** ETA, Adensamento, Filtro, Lodo de ETA

### ABSTRACT

The work had as objective characterize the waste generated in the settling tanks and filters of a Water Treatment Plant and use a thickening column to identify the most appropriate polyelectrolyte and if the gravity thickening is a viable technique for treating the sludge. In the characterization of sludge from settling tanks and rinse water of the filters were obtained total solids concentrations of 3,227 mg / L and 195 mg / L respectively, revealing that the monthly amount of waste generated (dry weight) is 100 tones which is disposed in the water body without treatment, negatively impacting the place. It was found that the gravity thickening of WTP sludge is not a viable technique for the sludge studied and that the characterization of these residues is essential so that can be determined the method of treatment.

**KEYWORDS:** WTP, Thickening, filter, Sludge.

**Marcia Regina Uchoa Mattos**  
Engenheira Sanitarista e  
Mestranda em Engenharia Civil  
pela UFPA.  
Belém, Pará - Brasil  
uchoa.marcia11@gmail.com

**Luiza Girard**  
Doutora em Ciências pela UFPA e  
Professora Associada do Instituto  
de Tecnologia da UFPA.  
Belém, Pará - Brasil  
luiza.girard@gmail.com

## INTRODUÇÃO

A degradação dos corpos hídricos, em sua maioria, é ocasionada pelo lançamento de esgotos domésticos e industriais sem nenhum tratamento. No entanto, existem outros resíduos potencialmente poluidores, entre eles, aqueles gerados a partir do processo de potabilização da água em Estações de Tratamento de Água (ETAs) que foi o escopo deste estudo.

Segundo a NBR 10004 (ABNT, 1987) os lodos gerados nas ETAs são classificados como resíduos sólidos e, portanto, devem ser disposto sem ocasionar danos ao meio ambiente.

As características dos lodos de ETAs podem variar com o processo de tratamento e depende de fatores como: qualidade da água bruta, tecnologia de tratamento, características da coagulação, floculação e filtração, uso de oxidante, método de limpeza de decantadores e filtros, entre outros (DI BERNARDO *et al.*, 2011).

Di Bernardo e Dantas (2005) comentam que o lançamento indiscriminado dos resíduos gerados nas ETAs, em corpos d'água, contribui para o aumento da concentração de metais tóxicos nos bentos, limita o teor de carbono disponível para a alimentação de macroinvertebrados e as altas concentrações de sólidos suspensos diminuem significativamente a luminosidade do fitoplâncton nos locais próximos às descargas, além de ser potencialmente tóxico e deletério para alguns microcrustáceos os quais são componentes das comunidades bentônicas e planctônicas, além de relevantes na alimentação dos peixes.

Sakumoto, Marchiori e Medeiros (2005 *apud* Junk e Guizzi, 2003) afirmam que a disposição inadequada do lodo gerado nas ETAs é extremamente danosa ao meio ambiente, principalmente nos

grandes centros urbanos, pois, além do aumento da quantidade de sólidos e da turbidez, é provável que aumente sua toxicidade, e isso possa comprometer a estabilidade da vida aquática.

Para Reali (1999) e AWWA (1996) os impactos causados ao corpo receptor pelo lançamento sem tratamento do lodo proveniente das ETAs, além de dependerem da forma de remoção e tempo de retenção dos resíduos nos decantadores; dependem também das características físicas, químicas e biológicas das águas naturais e do corpo receptor.

Os sólidos suspensos provenientes dos resíduos de ETAs podem sedimentar no fundo dos corpos receptores causando sufocamento aos organismos bênticos. Podem ainda aumentar a turbidez reduzindo a penetração da luz, limitando o crescimento da vegetação que serve de habitat para peixes crustáceos e outros organismos aquáticos (EPA, 2011).

Machado (2003) afirma que a carga orgânica contida nesse tipo de resíduo pode contribuir para o consumo de oxigênio do corpo receptor, levando a condições anaeróbias, produção de odores e mortandade de peixes e algas.

O potencial de impactar os corpos d'água com o lançamento de lodos de ETAs depende do tipo de produto químico utilizado no tratamento. Na maioria das ETAs do tipo convencional ou de ciclo completo, os produtos químicos utilizados na etapa da coagulação são os sais de alumínio ou de ferro. O alumínio, por apresentar maior potencial de efeitos adversos ao meio ambiente, é o mais pesquisado na literatura (MACHADO, 2003 *apud* BARNES, 1993; AWWA, 1996, 1997; KANE e RABENI, 1987). Em EPA (2011) é ressaltado que a concentração de espécies de alumínio que causam toxicidade vai depender da química da água e organismo aquático afetado.

Os sais de alumínio são muito solúveis em água, formando

hidróxidos que consomem alcalinidade, podendo levar a diminuição do pH da água. Barroso e Cordeiro (2001) comentam que, em várias pesquisas, níveis elevados de alumínio têm sido associados com doenças neurológicas. Machado, 2003 (*apud Aluminium;1997*), relata um caso ocorrido na Inglaterra, quando uma cidade de 20.000 habitantes foi submetida acidentalmente por 5 dias a uma carga elevada de sulfato de alumínio, provenientes de uma ETA, causando náuseas, vômitos, diarreias, úlceras e rachaduras de pele, e afirma a existência da hipótese de que a água distribuída à população, tratada com sais de alumínio, seja um fator de risco ao desenvolvimento e ou aceleração do mal de Alzheimer, e outras doenças neurológicas.

Cordeiro (1999) afirma que estudos mostraram que pacientes submetidos à diálise, que utilizava água com concentração de alumínio acima de 0,08 mg/L, sofriam de demência.

Machado (2003) afirma ainda que, a velocidade de escoamento do corpo d'água é um fator que influencia na dispersão dos elementos químicos que causam toxicidade no meio aquático. Por exemplo, quando a velocidade de escoamento é baixa, as descargas contendo alumínio são depositadas no fundo do curso d'água e isso pode afetar significativamente os organismos bênticos. Com a velocidade mais elevada e um maior controle no lançamento dos resíduos contendo alumínio, os resíduos remanescentes poderão permanecer em suspensão e assim sofrer um processo de dispersão mais rápido, o que diminuiria o potencial de toxicidade dos resíduos.

Para minimizar a problemática do lançamento de resíduos torna-se necessário o seu tratamento antes do lançamento ao ambiente. Para Bettiol e Camargo (2000) o tratamento e a disposição final do lodo é um problema de grande complexidade, face ao

grande volume de lodo gerado nas ETAs (primordialmente nos decantadores e filtros), à dificuldade em se encontrar locais adequados e seguros, à distância do transporte, aos custos e as características de operação e processo. Richter (2001) complementa afirmando que, além dessas dificuldades, o destino final dos resíduos gerados na ETAs enfrenta problemas pelo transporte dos resíduos e as restrições ambientais.

Muitos métodos e tecnologias podem ser empregados no tratamento e disposição final dos lodos gerados na lavagem dos filtros e decantadores das ETAs. Porém, é de fundamental importância conhecer a qualidade da água bruta que se quer tornar potável; os produtos químicos utilizados no processo de potabilização, e assim, conhecer as características do lodo para posteriormente tratar e dispor adequadamente.

As ALFs geralmente apresentam quantidades menores de sólidos do que os presentes no lodo do decantador, variando na faixa de 0,01% a 0,1%. Atualmente, o tratamento dos resíduos gerados a partir do processo de lavagem dos filtros visando o seu reaproveitamento, tem sido utilizado com mais frequência em muitas ETAs no Brasil.

Para Reali (1999) o teor de sólidos no lodo descartados pelos decantadores varia bastante, podendo apresentar valores na faixa de 0,1% a 2,0%. Entretanto, na maioria dos casos, os valores situam-se abaixo de 1%. Aí está a grande dificuldade encontrada para se trabalhar com esse resíduo, seu grande volume com baixa concentração de sólidos. O tratamento desse lodo visa justamente obter um estado sólido ou semi-sólido, removendo a água para concentrar os sólidos, diminuindo seu volume e assim gerar condições adequadas para a sua disposição final (RICHTER, 2001). A primeira etapa para o tratamento deste resíduo é denominada de

adensamento, que consiste na concentração de sólidos presentes no lodo, ou seja, visa remover o máximo de água possível do lodo, preparando-o para a etapa posterior de desidratação.

Sendo o adensamento uma etapa primordial para o tratamento desses resíduos é fundamental que se consiga uma concentração de sólidos totais (ST) no lodo de entrada da ordem de 2% para que se possa posteriormente submeter esse lodo à etapa de desidratação. Essa é a concentração mínima que os equipamentos de desidratação mecânica existentes no mercado recomendam para que o funcionamento dos mesmos ocorra de maneira adequada (GUIMARÃES, 2007).

Esse adensamento de lodos de ETAs pode ser executado por gravidade, por flotação com ar dissolvido ou por meio de adensadores mecânicos do tipo centrifugas ou esteira. Cada um apresenta vantagens e desvantagens e devem ser levados em consideração seus aspectos econômicos e técnicos para a determinação de parâmetros de projeto de cada processo unitário. Assim, a concepção e o dimensionamento corretos do sistema de adensamento são de suma importância no sucesso operacional do sistema de tratamento do lodo.

Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi caracterizar quantitativamente e qualitativamente os resíduos

produzidos na ALFs e nos decantadores e avaliar o método de adensamento por gravidade do lodo dos decantadores por meio de ensaios de adensamento em coluna de sedimentação com e sem o pré-condicionamento com polieletrólitos.

## METODOLOGIA

### Descrição do local

A pesquisa foi realizada no período de outubro de 2007 a janeiro de 2008, nas dependências da ETA-Bolonha, Belém-Pará. A água bruta é captada no lago Bolonha (que recebe águas do Rio Guamá). A ETA-Bolonha é uma estação de ciclo completo, sendo constituída na sua 1ª fase de mistura rápida em vertedor parshall de 6', seis floculadores mecanizados com três câmaras em serie, seis decantadores do tipo convencional dotados de bandeja intermediária e de limpeza manual (lavagem com escoamento total a cada 60 dias) e de oito filtros de fluxo descendente, cada uma com duas câmaras filtrantes. A ETA tratava na época da pesquisa 4,0 m<sup>3</sup>/s de água.

Na Tabela 1 estão listados os produtos químicos e respectivas dosagens empregadas no tratamento de água da ETA quando da realização da pesquisa.

De acordo com as características da ETA, os resíduos são produzidos em duas etapas do processo: na lavagem dos decantadores e dos filtros. Os lodos

Tabela 1 - Produtos químicos utilizados na ETA.

Produto químico	Produto de aplicação	Dosagem
Sulfato de alumínio líquido	Água bruta	14 mg/L
Cal hidratada	Água filtrada	6%
Cloro gasoso	Água filtrada	3 mg/L
Fluorsilicato de sódio	Água filtrada	0,7 mg/L
Polímero aniônico	Água coagulada	0,08 a 0,15 mg/L

descartados nos decantadores e nos filtros são encaminhados para canal de descarga de seção retangular que é conectado em uma tubulação de aço de 1.000 mm de diâmetro e 240 m de extensão que finaliza em um corpo d'água que desagua no Rio Guamá.

## ETAPAS EXPERIMENTAIS

Esse trabalho foi desenvolvido em duas fases experimentais, sendo a primeira a caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos (lodo dos decantadores e água de lavagem dos filtros) produzidos na ETA e a segunda o ensaio de adensamento em coluna com o lodo do decantador.

### Caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos produzidos (lodo dos decantadores e ALFs)

#### Caracterização Quantitativa

A caracterização quantitativa se refere ao volume de resíduos produzidos mensalmente na ETA Bolonha. Com esta finalidade, foram realizadas medições de vazão em todos os decantadores e filtros da ETA, de acordo com a rotina operacional da ETA. Nos decantadores as medições ocorreram durante a descarga do lodo e nos filtros, durante a lavagem dos mesmos. Na realização das medições de vazão foi necessária a instalação de uma régua graduada na borda de um vertedor triangular (Fórmula:  $Q = 1,4.H^{5/2}$ ) existente no canal de descarga aonde, a cada 30 segundos, para os filtros, e, a cada 10 minutos no caso dos decantadores, eram anotados os valores correspondentes a lâmina d'água que passava no vertedor, durante todo o tempo das operações de lavagem. Com o tempo e a vazão medida foi calculado o volume de resíduos gerados em cada procedimento. Foi ainda levantado o número mensal de operações de lavagem de decantadores e de filtros na ETA-

Bolonha, o que possibilitou a determinação do volume de resíduos gerados mensalmente.

Foi ainda determinada a quantidade mensal de sólidos (massa seca) gerada nos decantadores e filtros pela multiplicação da concentração de SST com a vazão mensal de lodo.

#### Caracterização Qualitativa

A caracterização dos resíduos produzidos na ETA foi realizada de modo a obter um material representativo do resíduo. Foi coletado a cada 10 minutos, cerca de 1L de lodo, totalizando ao final do descarte de cada decantador o volume de amostra de 20L. Esse procedimento foi realizado para todos os 6 decantadores da ETA. O tempo médio de descarte do lodo foi de 3,33 horas. Para a ALFs, foi coletado a cada 1 minuto, cerca de 2L da água de lavagem, tendo ao final da coleta o volume de amostra de 20L. Essa etapa ocorreu duas vezes para cada um dos 7 filtros da ETA, tendo em média o tempo de lavagem de 10 minutos. Nas amostras coletadas foram realizadas determinações de sólidos totais (fixos e voláteis), sólidos suspensos totais (fixos e voláteis), sólidos sedimentáveis, pH e alcalinidade total, de acordo com metodologia descrita em APHA, AWWA, WEF (1998).

#### Ensaio de adensamento em coluna de sedimentação

Os ensaios foram conduzidos em coluna de adensamento com 1,00 m de altura e 20 cm de lado. O volume útil da coluna foi fixado em 20 litros, fazendo com que a altura do nível d'água fosse de 51 cm. A coluna foi graduada com a utilização de uma fita métrica que foi fixada à sua superfície externa da mesma. Foram realizados ensaios sem e com o pré-condicionamento do lodo, com o teor de sólidos na coluna de 0,3%, que foi a média dos valores obtidos para o lodo removido dos

decantadores. Para os três polímeros selecionados (catiônico, aniônico e não iônico do tipo Optiflow) foram realizados ensaios para as dosagens de 1, 2, 4 e 6 g/kg, que são, segundo a literatura (TEIXEIRA, 1999), as dosagens comumente utilizadas no pré-condicionamento de lodos de ETAs. O lodo foi condicionado na própria coluna de sedimentação com o auxílio de um agitador de alta velocidade e o polímero utilizado foi preparado imediatamente antes da execução do ensaio. Todos os ensaios ocorreram no tempo de 10 minutos. Para avaliar o efeito no lodo com e sem o pré-condicionamento, foi calculada a velocidade de sedimentação em zona pela tangente do trecho inicial retilíneo e o teor de sólidos totais presentes no fundo da coluna de sedimentação. No sobrenadante, determinou-se as variáveis pH, cor e turbidez. Para este trabalho, adotou-se um valor médio de G.T de 3000, onde G é o gradiente médio de velocidade e T é o tempo de mistura; conforme método descrito por Teixeira (1999), de modo a se evitar a quebra dos flocos previamente formados durante o pré-condicionamento. Na Tabela 2 é mostrado o resumo dos ensaios realizados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO QUANTITATIVA E QUALITATIVA DOS RESÍDUOS (LODO DOS DECANTADORES E ALF'S) PRODUZIDOS

#### Caracterização Quantitativa

Na Tabela 3 são mostrados os resultados encontrados para as vazões médias e a produção de resíduos nos 06 decantadores e nos 07 filtros em funcionamento na ETA.

A produção de resíduos mensal calculada na ETA foi de 148.765 m<sup>3</sup> de água de lavagem dos

Tabela 2 - Resumo dos ensaios de sedimentação em coluna.

	Teor de sólidos na coluna (%)	Dosagem do polímero (g/kg)			
Sem polímero	0,3%	-	-	-	-
Com polímero não iônico	0,3%	1	2	4	6
Com polímero aniônico	0,3%	1	2	4	6
Com polímero catiônico	0,3%	1	2	4	6

filtros e de 46.291 m<sup>3</sup> de lodo da unidade de decantação, gerando um total de 195.056 m<sup>3</sup>/mês ou o volume de 1,87% da água bruta que entra na ETA para a vazão operacional de 4 m<sup>3</sup>/segundos. (10.368.000 m<sup>3</sup>/mês).

A vazão média de resíduos gerados em uma ETA se encontra na faixa de 1 a 3% da água processada, sendo 10% desse valor referente a descarga de decantadores e 90% a água de lavagem de filtros, ou seja, em torno de 0,3% dos resíduos são gerados nos decantadores e 2,7% nos filtros (AWWA, 1996). Na ETA o percentual de resíduos gerados é de 1,87% da água processada. Desse total, 23,5% são gerados nos decantadores e 76,5% na operação de lavagem dos filtros. Sendo assim, o percentual de resíduos dos decantadores está acima dos 10% e da ALFs está abaixo dos 90% citados

anteriormente.

Considerando a vazão mensal obtida e concentração de sólidos suspensos determinou-se a produção de 84 toneladas de resíduos (massa seca) por mês para a unidade de decantação e de 16 toneladas de resíduos (massa seca) por mês para a unidade de filtração. Pode-se verificar que, embora em termos de vazão a maior contribuição seja referente aos filtros (76,5%), a maior parcela em termos de massa seca é referente a unidade de decantação (84%), uma vez que a concentração de sólidos suspensos no lodo da unidade de decantação é muito superior aos obtidos na unidade de filtração, de 1813 mg SST/L e 108 mg SST/L respectivamente. Assim, tem-se 100 toneladas de resíduos secos mensalmente produzidos na ETA Bolonha e que não tem destinação

final adequada, impactando o ambiente em que são lançados.

### Caracterização Qualitativa

Na Tabela 4 estão apresentados os valores médios dos resultados das análises de sólidos realizadas nas amostras das descargas dos decantadores e nas amostras de ALFs.

As concentrações médias de ST nos lodos dos decantadores e filtros da ETA foram de 3.278 mgST/L e 195 mgST/L, respectivamente, o que os torna condizentes com os encontrados na literatura técnica, conforme a Tabela 5, que apresenta valores de ST no lodo dos decantadores desde 1.000 à 81.575 mg/L e para ALFs da ordem de 490 à 504 mg/L.

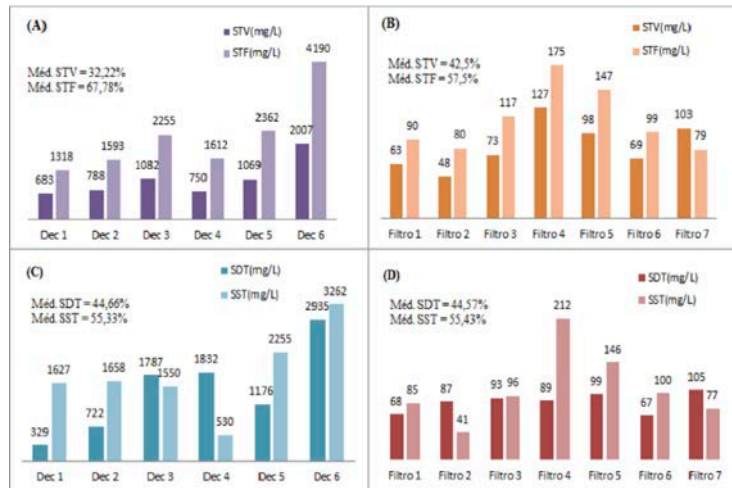
Quanto aos STF e STV no lodo dos decantadores os valores obtidos foram de 2.221 mg/L e 1.055 mg/L, respectivamente. Na ALFs, os valores obtidos foram de 112 mg/L para STF e 83 mg/L para STV. Na Figura 1 são mostrados os gráficos com os valores e suas médias para as variáveis de sólidos determinadas no lodo dos decantadores e na ALFs.

Conforme os dados da Tabela 5, para o lodo dos decantadores, o teor de STF varia de 16.522 mg/L a 22.324 mg/L e o teor de STV na faixa de 23,91 mg/L a 2.054,4 mg/L e nas ALFs o teor de STF vão de 65 mg/L a 157 mg/L e de

Tabela 3 - Vazões médias e produção de resíduos nos decantadores e Filtros.

Água bruta	Lodo (decantadores)	Vazão	ALFs	Vazão
	1	216,48(m <sup>3</sup> /d)	1	687,67(m <sup>3</sup> /d)
	2	542,75(m <sup>3</sup> /d)	2	771,58(m <sup>3</sup> /d)
	3	146,45(m <sup>3</sup> /d)	3	687,67(m <sup>3</sup> /d)
	4	300,35(m <sup>3</sup> /d)	4	687,67(m <sup>3</sup> /d)
	5	153,42(m <sup>3</sup> /d)	5	769,18(m <sup>3</sup> /d)
	6	182,82(m <sup>3</sup> /d)	6	583,49(m <sup>3</sup> /d)
			7	771,58(m <sup>3</sup> /d)
345.600(m <sup>3</sup> /d)				
10368000(m <sup>3</sup> /mês)		46.291(m <sup>3</sup> /mês)		148.765(m <sup>3</sup> /mês)

Figura 1 – Variáveis de sólidos determinadas para o lodo dos decantadores e na ALFs. (A) Sólidos totais voláteis e fixos (STV e STF) no lodo dos decantadores; (B) Sólidos totais voláteis e fixos (STV e STF) na ALFs; (C) Sólidos dissolvidos totais (SDT) e sólidos suspensos totais (SST) no lodo dos decantadores; (D) Sólidos dissolvidos totais (SDT) e sólidos suspensos totais (SST) na ALFs



STV de 23 mg/L a 210 mg/L. Em porcentagens os valores obtidos foram de 32% de STF e 68% de STV no lodo dos decantadores e na ALFs de 42,5% de STF e 57,5% de STV, que segundo os valores da literatura (Ver Tabela 5), o percentual no lodo dos decantadores de STV está na faixa de 7,9% a 60% e de STF de 1% a 73%. Na ALFs os percentuais reportados são de 43% a 74% de STF e 26% a 57% de STV.

Quanto aos sólidos dissolvidos e suspensos, as concentrações médias de SDT e SST

obtidas no lodo dos decantadores e na ALFs da ETA foram da ordem de 1.463 mg/L de SDT para o lodo dos decantadores e 87 mg/L de SDT para ALFs. Em relação aos SST, os lodo dos decantadores apresentaram valor da ordem de 1.813 mg/L e a ALFs o valor de 108 mg/L. Esses valores obtidos são condizentes com os valores encontrados na Tabela 5, que apresenta valores de SDT variando em uma faixa de 62 mg/L à 456 mg/L para a ALFs e de 1.429 mg/L à 2.348 mg/L para o lodo do decantador e, valores de SST para o

lodo do decantador da ordem de 1.695 mg/L à 27.891 mg/L e para a ALFs de 48 mg/L à 428 mg/L. Na caracterização qualitativa dos resíduos da ALFs e no lodo dos decantadores da ETA, os valores médios obtidos para sólidos totais e dissolvidos foram de 195 STmg/L e 87 SDTmg/L na ALFs, respectivamente. No lodo dos decantadores, essas variáveis apresentaram-se com valores de 3.277 STmg/L e 1.463 SDTmg/L.

Tabela 5 – Características gerais de resíduos de ETAs de acordo com vários autores.

FONTE	PESQUISADOR	pH	COR (u.C)	ALC. (mg/L)	TURB (u.T)	DQO (mg/l)	ST (mg/L)	SST	STF	STV	SDT (mg/L)
Cordeiro (1999)	Albrechet (1972)	5,0 a 7,0	-	-	-	500 a 10.000	3.000 a 15.000			20,0%	-
Cordeiro (1999)	Culp (1974)	7,0	-	-	-	340 a 5.000	-	-	-	-	
Cordeiro (1999)	Cordeiro (1981)	6,5	-	-	-	5.150	81.575			20,7%	
	Cordeiro (1999)	6,4	-	-	-	5.600	30.275	27.891	22.324	7,9%	2.384
	Cordeiro (2000)	7,2 a 8,9	10.650 a 4.300.000	-	924 a 800.000	140 a 5.450	1.620 a 58.630	-	-	-	-
Machado (2003)	Leme e Merli (2001)	7,6	-	-	-	1.905	19.088	17.100	16.522	-	1.988
	Richter (2001)	6,0 a 8,0	-	15 a 40	-	30 a 5.000	1.000 a 40.000	-	-	-	-
	Machado (2003)**	5,2 a 7,3	-	-	-	750	3.424	1.695	40	60,0%	1.459
	Machado (2003)*	5,8 a 7,0	-	10	-	85	504	48			456
	Di Bernardo e Dantas (2005)*	7,8	3.720	-	340	67	490	428	-	-	62

\*resíduos somente de filtros

\*\*resíduos somente de decantadores

Na Tabela 6 são apresentados os resultados das determinações de pH e alcalinidade total (AT) no lodo dos decantadores e na ALFs.

Os valores obtidos de pH e AT nas amostras do lodo dos decantadores e da ALFs da ETA não apresentaram diferenças dos valores já reportados em pesquisas anteriores (MACHADO, 2003; RICHTER, 2001). O pH geralmente se encontra na faixa de 5,0 a 8,0 tanto para ALFs como para o lodo descartado dos decantadores. Para a AT a faixa de variação está compreendida entre 10 mgCaCO<sub>3</sub>/L e 40 mgCaCO<sub>3</sub>/L. No entanto, para a ALFs a AT varia na faixa de 10 mgCaCO<sub>3</sub>/L a 15 mgCaCO<sub>3</sub>/L e para o lodo descartado dos decantadores a faixa de variação fica próxima de 40 mgCaCO<sub>3</sub>/L.

#### RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ADENSAMENTO EM COLUNA

Na Figura 2 são mostrados os gráficos dos ensaios de adensamento em coluna e o comportamento da interface sólido-líquido ao longo do tempo de sedimentação, sem a adição de polímero e com a utilização de polímero catiônico, não iônico e aniônico, respectivamente.

Nota-se que as curvas

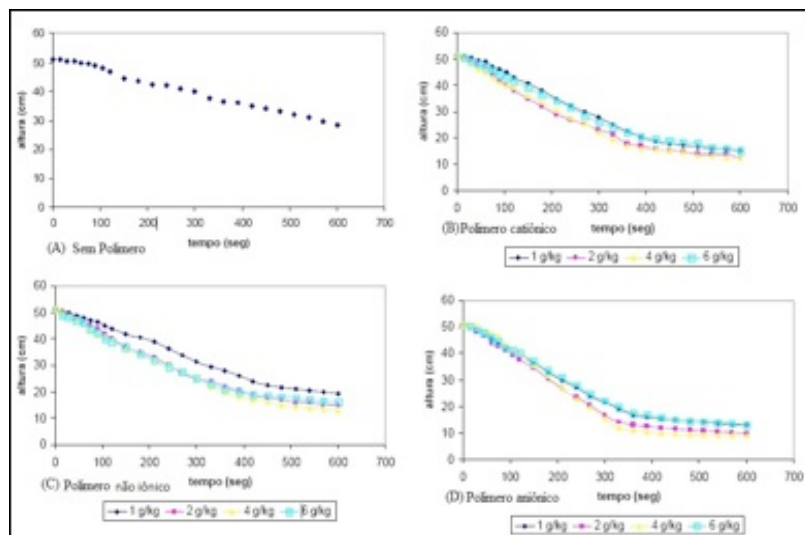


Figura 2 - Altura da interface em função do tempo para o teor de sólidos de 0,3%, sem e com a utilização de polímero. (A) Ensaio sem adição de polímero; (B) Ensaio com polímero catiônico; (C) Ensaio com polímero não-iônico; (D) Ensaio com polímero aniônico.

apresentaram comportamentos semelhantes para o polímero catiônico(B) e não-iônico (C). No entanto, observa-se que houve uma maior inclinação das curvas no ensaio com a utilização do polímero aniônico, tendo o resultado mais satisfatório o ensaio com a dosagem do polímero de 4kg/g. É possível observar ainda que a altura da interface ao longo do tempo foi muito maior nos ensaios de adensamento utilizando polímeros do que sem a sua utilização. Isto pode ser visto na Figura 3, que ilustra o final do ensaio em a utilização de polímero e de um

ensaio com a utilização de polímero aniônico. Percebe-se a altura da interface e a qualidade do sobrenadante, mais clarificado com a utilização do produto (Figura 3 B).

Na Tabela 7 são apresentados os resultados das velocidades de sedimentação em zona (Vsz) com o teor de sólidos totais obtidas nos ensaios realizados sem e com polímeros. Os resultados de cor, turbidez e pH do sobrenadante são apresentados na Tabela 8.

Observando os resultados encontrados, verifica-se que a Vsz sem a utilização de polímeros é

Tabela 6 – Valores de pH e AT no lodo dos decantadores e na ALFs.

Amostra	1ª Coleta		2ª Coleta		Amostra	Coleta única	
	pH	AT (mgCaCO <sub>3</sub> )	pH	AT (mgCaCO <sub>3</sub> )		pH	AT (mgCaCO <sub>3</sub> )
Filtro 1	5,34	10	6,18	10	Dec 1	6,42	50
Filtro 2	5,51	10	6,35	10	Dec 2	7,00	30
Filtro 3	6,37	10	6,00	10	Dec 3	6,63	47
Filtro 4	5,37	10	5,70	10	Dec 4	6,67	40
Filtro 5	5,85	15	6,04	10	Dec 5	6,11	40
Filtro 6	6,15	15	5,89	10	Dec 6	6,18	40
Filtro 7	5,7	10	6,10	15	-	-	-
Média	-	11	-	11	Média	-	41

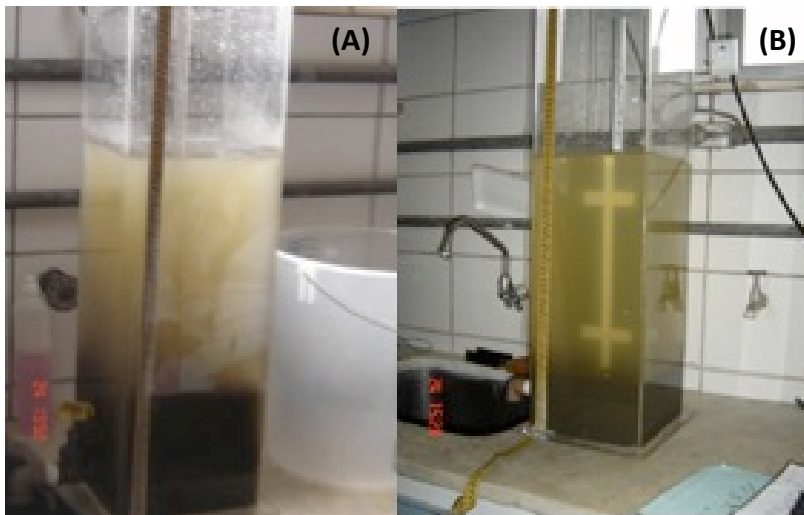


Figura 3 - Ensaio de adensamento em coluna sem e com a utilização de polímeros no tempo de 10 minutos. (A) Aparência do lodo após a conclusão do ensaio sem a utilização de polímero; (B) aparência do lodo após a conclusão do ensaio com a utilização de polímero.

aproximadamente a metade da menor  $V_{sz}$  com a utilização de polímero e o melhor resultado foi obtido para o polímero aniônico com a dosagem de 4g/kg, com  $V_{sz}$  de 0,123 cm/s. Ferreira Filho (1997) comenta que, quanto maior a dosagem do polímero, maior será a velocidade de sedimentação do lodo. Porém, nessa pesquisa, o aumento das dosagens de polímeros, em alguns ensaios fez com que a velocidade de sedimentação diminuísse. Para essa velocidade, o teor de sólidos no fundo da coluna foi de 2% (Tabela 7) e a qualidade do sobrenadante apresentou valores de 125 para cor, 37 para turbidez (Tabela 8). O teor máximo de sólidos alcançados (2%) é o teor mínimo exigido para que esse lodo possa ser, por exemplo, encaminhado para uma

desidratação mecânica, uma vez que estes equipamentos existentes no mercado exigem um teor de sólidos acima de 2% para que funcionem de forma adequada e econômica (GUIMARÃES, 2007).

## CONCLUSÃO

Apesar de ser prática comum no Brasil, a descarga de resíduos de ETAs em cursos d'água é uma situação que pode causar problemas ambientais, além de ir de encontro as leis em vigor no país. Como é um assunto que vem sendo estudado apenas nos últimos anos, poucas são as estações brasileiras que possuem algum tipo de gerenciamento adequado para esse problema, uma vez que os resultados obtidos em uma ETA nem

sempre devem ser generalizados, já que dependem das características dos resíduos, que apresentam grande variação em função da qualidade da água bruta, do processo de tratamento e do tipo de produtos químicos, entre outros.

Assim, a análise de alternativas tecnológicas de tratamento, de disposição final e/ou de aproveitamento compatíveis com a realidade local é fator imprescindível para o bom gerenciamento destes resíduos.

As águas de lavagem dos filtros apresentaram volume mensal de 148.765 m<sup>3</sup>, com concentrações médias de 195 mg/L de sólidos totais, 108 mg/L de sólidos suspensos totais, pH de 5 a 8 e alcalinidade total de 10 a 15 mg CaCO<sub>3</sub>/L. Nos decantadores da ETA Bolonha são produzidos 46.291 m<sup>3</sup> de lodos, com concentrações médias de 3.278 mg/L de sólidos totais, 1814 mg/L de sólidos suspensos totais, pH de 5 a 8 e alcalinidade total de 40 mg CaCO<sub>3</sub>/L.

A quantidade mensal de sólidos (massa seca) determinada foi de 84 toneladas proveniente dos decantadores e de 16 toneladas dos filtros, totalizando 100 toneladas por mês de resíduos produzidos na ETA Bolonha. Esse dado revela, em conjunto com as características determinadas e com o volume de resíduos de 195.056 m<sup>3</sup>/mês, a dimensão do problema ambiental decorrente do lançamento desse resíduo em corpos d'água.

Quanto ao ensaio de adensamento sem polímero e com

Tabela 7 - Velocidade de sedimentação em zona ( $V_{sz}$ ) e teor de sólidos totais obtidas nos ensaios realizados sem e com polímeros.

Sem Polímero		Com polímero								
		Iônico			Aniônico			Catiônico		
$V_{sz}$ (cm/s)	T.S.T (%)	Dosagem de polímero (g/kg)	$V_{sz}$ (cm/s)	T.S.T (%)	Dosagem de polímero (g/kg)	$V_{sz}$ (cm/s)	T.S.T (%)	Dosagem de polímero (g/kg)	$V_{sz}$ (cm/s)	T.S.T (%)
0,037	0,77	1	0,065	1,3	1	0,098	1,3	1	0,076	1,7
-	-	2	0,086	1,8	2	0,113	1,6	2	0,093	1,7
-	-	4	0,085	1,9	4	0,123	2,0	4	0,096	1,5
-	-	6	0,086	1,6	6	0,096	1,9	6	0,083	1,5



Tabela 8 - Cor, Turbidez e pH do sobrenadante da coluna de adensamento após a conclusão do ensaio.

Ensaio	Cor (UC)	Turbidez (UT)	pH
Sem polímero	300	80	6,63
Aniônico	1 g/kg	300	75
	2 g/kg	200	62
	4 g/kg	125	37
	6 g/kg	225	50
Catiônico	1 g/kg	300	76
	2 g/kg	350	64
	4 g/kg	400	90
	6 g/kg	450	107
Não iônico	1 g/kg	550	194
	2 g/kg	250	74
	4 g/kg	250	72
	6 g/kg	370	101

os polímeros não-iônicos e catiônicos, nenhum desses conseguiu obter a concentração mínima de teor de sólidos (T.S.T 2%) para que, posterior a etapa de adensamento, estes pudessem passar pelo processo de desidratação mecânica. Apenas o polímero aniônico obteve o teor mínimo recomendado.

No ensaio de adensamento em coluna de sedimentação o melhor resultado foi com a utilização do polímero aniônico na dosagem de 4g/kg com um clarificado do sobrenadante apresentando valores das variáveis analisadas de: cor igual a 125UC, turbidez igual a 37 UT. O pH do clarificado foi de 6,3.

O adensamento por gravidade pode não ser adequado para o lodo da ETA, uma vez que o teor máximo obtido nos ensaios de coluna foi de 2%, sendo este mesmo valor o mínimo requerido pelos fabricantes de equipamentos de desaguamento. Cabe ressaltar ainda, que o teor máximo obtido de 2% se refere a condições ideais de ensaios piloto sendo que o processo em escala real tem outras variáveis que interferem na eficiência do adensamento.

Quanto à escolha do polímero adequado, ficou evidente que não se pode generalizar as características dos resíduos gerados em ETAs, sendo primordial que se faça estudos e ensaios em laboratórios antes de serem empregados qualquer tipo de produto ou método de tratamento.

Visando melhorar essa situação, estudos devem ser feitos para que se possam alcançar soluções racionais, sendo estas individuais para cada ETA em estudo. O método de tratamento dos resíduos e a disposição final dos mesmos devem apresentar alternativas viáveis, técnica e economicamente, e atuar de forma sustentável.

## REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 10004.— Resíduos Sólidos – Classificação. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro-RJ, 1987.

APHA, AWWA, WEF. Standard methods for examination of water and wastewater. 20.ed. Washington, DC: APHA, 1998.

AWWA. AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Management of

water treatment plant residuals. New York : American Society of Civil Engineers, 1996. 294 p.

BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Problemática dos metais nos resíduos gerados em estações de tratamento de água. In: Congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental, 21, 2001. João Pessoa. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 2001.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 312p.

CORDEIRO, J. S. Importância do tratamento e disposição adequada dos lodos de ETAs. In: FERREIRA FILHO, S.S.; LAJE FILHO, F.A. Redução de perdas e tratamento de lodo em ETA. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água – PNCD. Brasília: SEPURB, 23p. 1999.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D.; VOLTAN, P.E.N. Tratabilidade de água e resíduos gerados em estações de tratamento de água. São Carlos - SP. Editora LDiBe, 2011.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. São Carlos, 2ª edição. RiMa editora, 2005, 792 p.

EPA. Drinking Water Treatment Plant Residuals Management Technical Report. Summary of Residuals Generation, Treatment, and Disposal at Large Community Water Systems. Environmental Protection Agency, Washington - DC, 2011, 377 p.

FERREIRA FILHO, S.S. Pré-condicionamento de lodos de estações de tratamento de água visando o seu adensamento por gravidade. In: Congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental, 1997. Foz do Iguaçu. Anais...Paraná: ABES, 1997.

GUIMARÃES, G. C; Estudo de adensamento e desidratação dos resíduos gerados na ETA- Brasília. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Brasília, 2007.

MACHADO, L.C.G.T; Análise do ciclo de vida aplicada ao gerenciamento de resíduos: o caso da ETA Bolonha – RMB., 2003. Tese (Doutorado). Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará. Belém, 2003.

REALI, M.A.P. (Coord.). Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. Rio de Janeiro: Projeto PROSAB; ABES, Rio de Janeiro, 1999.

RICHTER, C. A. Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água. E. Blucher, São Paulo, 2001.

SAKUMOTO, E. M.; MARCHIORI, J. M. S.; MEDEIROS, M. A. C. Caracterização físico-química do lodo e da água bruta da ETA Capim Fino – Piracicaba –SO- Determinação de resíduos de herbicidas – Triazinas - por cromatografia gasosa. In: XII Congresso de Iniciação Científica DA UNICAMP 2005, Campinas, 2005.

TEIXEIRA, L.C.G.M. Adensamento por gravidade de lodos produzidos em estações de tratamento de água. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999, 195p.

Recebido em: dez/2012

Aprovado em: nov/2013