



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

## ADENSAMENTO DE LODO POR SEDIMENTAÇÃO E FLOTAÇÃO A AR DISSOLVIDO (FAD): PANORAMA SOBRE A VELOCIDADE DE CLARIFICAÇÃO

Keila Fernanda Soares Hedlund<sup>1\*</sup>, Manoel Maraschin<sup>1</sup>, Andressa Paolla Hubner da Silva<sup>1</sup> e Elvis Carissimi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

\*Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Av. Roraima 1000, CT Lab, Santa Maria, RS 97105-900, Brazil.  
E-mail: keilahedlund@gmail.com

**Resumo:** As estações de tratamento de água (ETAs) sempre visaram a produção de água com qualidade, dispensando maiores preocupações com o tratamento e a disposição dos resíduos, contudo devido as exigências legais e ambientais esse cenário está mudando. O adensamento ou espessamento constitui a primeira etapa do tratamento do lodo, consideradas umas das fases mais importantes, pois visa a diminuição do volume e máxima concentração de sólidos. Com o intuito de esclarecer as lacunas sobre as características de técnicas de tratamento de lodos, o presente trabalho apresenta um panorama da velocidade de clarificação no adensamento por sedimentação/gravidade e por flotação a ar dissolvido (FAD). Na FAD a velocidade de clarificação com Tr de 50% foi superior, com valor máximo de  $19,95 \text{ cm.min}^{-1}$  utilizando  $5,5 \text{ mg}$  polímero catiônico P-2900/g SST, já no adensamento por sedimentação os melhores resultados não ultrapassaram de  $6,7 \text{ cm.min}^{-1}$ . A escolha do processo de tratamento é influenciada por uma série de fatores e o conhecimento sobre a velocidade de clarificação auxilia para a tomada de decisão e o dimensionamento da unidade.

**Palavras-chave:** Adensamento, Sedimentação, Flotação, Velocidade de clarificação.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

## SLUDGE THICKENING BY SEDIMENTATION AND FLOTATION WITH DISSOLVED AIR (DAF): OVERVIEW OF CLARIFICATION SPEED

**Abstract:** Water treatment plants (WTP) always aimed at the production of water quality, avoiding major concerns with the treatment and disposal of waste, but due to legal and environmental requirements this scenario is changing. The densification or thickening constitutes the first step in sludge treatment, considered one of the most important phases, it aims to decrease the volume and maximum solids concentration. In order to clarify the gaps about the characteristics of sludge treatment techniques, the present work presents an overview of clarification velocity in sedimentation/gravity thickening and by dissolved air flotation (DAF). In the DAF the clarification rate with Tr of 50% was higher, with a maximum value of  $19.95 \text{ cm.min}^{-1}$  using 5.5 mg polymer cationic P-2900/g SST, already in sedimentation thickening the best results did not exceed of  $6.7 \text{ cm.min}^{-1}$ . The choice of the treatment process is influenced by a number of factors and the knowledge about the speed of clarification assists in the decision making and the sizing of the unit.

**Keywords:** thickening, sedimentation, flotation, clarification speed.

### 1. INTRODUÇÃO

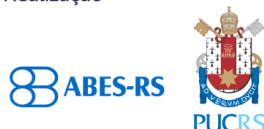
A concepção do tratamento de lodos envolve a obtenção de parâmetros de funcionamento e diagnóstico da Estação de Tratamento de Água (ETA) (DI BERNARDO *et al.*, 2012). O tratamento dos resíduos gerados na ETAs objetiva a redução de volume para sua disposição de forma adequada, diminuir entre outros os riscos de poluição ambiental, custos de transporte e disposição final.

Há diferentes métodos utilizados para o tratamento dos RETAs (resíduos de estações de tratamento de água), comumente incluem a equalização, regularização de vazão, condicionamento, adensamento/espessamento, desidratação/desaguamento, e em alguns casos a secagem e incineração (DI BERNARDO *et al.*, 2011). As ETAs apresentam resíduos com características próprias, que não devem ser generalizadas. Por isso se faz necessários estudos e ensaios em laboratório antes de empregar qualquer tipo de produto ou método de tratamento, com a realização de ensaios de tratabilidade (FERREIRA FILHO, 1997; SABOGAL-PAZ & DI BERNARDO, 2005; DI BERNARDO *et al.*, 2011; MATTOS & GIRARD, 2013).

No tratamento dos RETAs um dos problemas mais sérios do lodo gerado é a redução de seu volume (ACHON *et al.*, 2008), sendo necessário a investigação de técnicas de tratamento adequadas para cada RETA. A remoção da maior parcela de água do lodo ocorre na etapa de adensamento, posteriormente a desidratação objetiva concentrar os sólidos do lodo e por fim, a destinação final propõe alternativas de disposição do lodo desidratado.

As tecnologias utilizadas em cada etapa do tratamento dos resíduos gerados nas ETAs dependem de uma série de fatores: características qualitativas da água bruta e do resíduo da ETA; as propriedades dos lodos; condições climáticas da região; a área necessária para implantação do tratamento; custo dos equipamentos, da operação e manutenção; custo da área; recursos humanos para operação e manutenção; necessidade de condicionamento; distância da ETA até o destino final; teor de água desejado após seu tratamento; e condições

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

sociais, econômicas, culturais, legislativas e institucionais da região (CIZINSKÁ *et al.*, 1992; SABOGAL-PAZ & DI BERNARDO, 2005; ACHON *et al.*, 2008).

Contudo é fundamental salientar que para o descarte destes resíduos quanto maior for sua secagem e menor o seu teor de umidade, melhor será seu processamento e manejo, pois a alto teor de umidade aumenta o risco de impacto ambiental (PAIVA & PARREIRA, 2012). O adensamento ou espessamento é a primeira etapa do tratamento do lodo, sendo uma das operações unitárias mais importantes do tratamento da fase sólida, devido ao aumento da concentração de sólidos e diminuição do volume de lodo. Deste modo influenciando o desempenho de todo o tratamento dos lodos (WATANABE & TANAKA, 1999).

A redução do volume realizado no adensamento do lodo propicia resultados mais satisfatórios para as unidades de desidratação (RIJK *et al.*, 1994; REALI, 1999). O adensamento de lodos das ETAs pode ser efetuado através de sedimentação (gravidade) ou por flotação a ar dissolvido (principais métodos), ou ainda através de adensadores mecânicos (DI BERNARDO *et al.*, 2011; METCALF & EDDY, 2003; RICHTER, 2001, FERREIRA FILHO, 1997). Deve-se ressaltar que cada técnica de adensamento apresenta vantagens e desvantagens e seus estudos envolve não apenas aspectos econômicos, mas aspectos técnicos envolvidos na determinação de parâmetros de projeto (FERREIRA FILHO, 1997), como por exemplo, a velocidade de clarificação.

O adensamento por sedimentação é o mais antigo e empregado, podendo operar em fluxo contínuo ou por batelada, o que depende particularmente da operação dos decantadores, como por exemplo, se estes operam por limpeza manual ou mecanizada. Na sedimentação por batelada após o adensamento de algumas horas o sobrenadante clarificado e o lodo depositado no fundo são removidos, já na sedimentação por fluxo contínuo a operação é semelhante à de decantadores de manto de lodo, sendo normalmente a mais utilizada. Contudo, em instalações de pequeno porte o adensamento por batelada apresentar-se mais vantajoso economicamente (RICHTER, 2001).

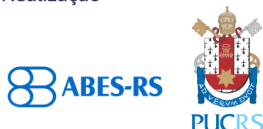
Já no sistema de flotação a ar dissolvido (FAD), microbolhas são introduzidas na massa líquida, propiciando a retirada de flocos, devido à redução de sua densidade (RICHTER, 2009; MORUZZI & REALI, 2007). Os flocos acumulam-se na superfície do tanque, formando uma camada de lodo, a qual é removida periodicamente por raspadores.

A velocidade de clarificação é utilizada para determinar o dimensionamento da área do tanque adensador, seja por sedimentação ou por flotação a ar dissolvido. Com o intuito de esclarecer as lacunas sobre as características de técnicas de tratamento de lodos, o presente trabalho tem como objetivo exibir um panorama sobre a velocidade de clarificação no adensamento por sedimentação e por flotação a ar dissolvido.

## 2. METODOLOGIA

Os ensaios de adensamento foram realizados com o lodo de uma ETA do município de São Gabriel, localizado na Fronteira Oeste do Estado do Rio Grande do Sul – Brasil. A ETA de São Gabriel possui capacidade de operação nominal média de  $137 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ . A coleta do lodo ocorreu durante a higienização dos decantadores. A partir dos ensaios de adensamento em batelada, por sedimentação e FAD, foram feitas as curvas de adensamento, a partir das quais foi determinada a velocidade de sedimentação e de ascensão, fornecendo parâmetros necessários para unidades de clarificação/adensamento.

Realização



Correalização



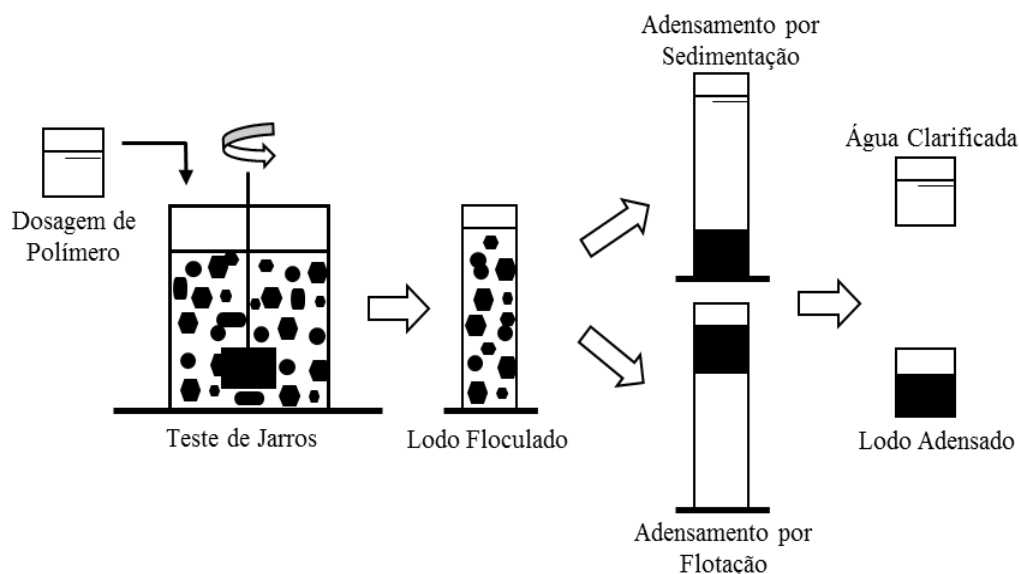
Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375

Anterior ao adensamento o lodo foi floculado, o qual foi realizado em equipamento de teste de jarros (PoliControl, modelo FlocControl III). O gradiente de velocidade rápida utilizado foi de 436 rpm ( $1000 \text{ s}^{-1}$ ) com duração de 10 segundos após a adição do polímero e o gradiente de velocidade lenta foi de 51 rpm ( $40 \text{ s}^{-1}$ ) durante 1 minuto.

Após a floculação o lodo foi cuidadosamente transferido para uma coluna de sedimentação ou de flotação, dependendo do processo de adensamento. A Figura 1 apresenta esquematicamente como foi realizado este procedimento, seguindo metodologia indicada por Zhao (2004).

Figura 1 - Procedimento esquemático dos estudos de floculação e adensamento do lodo.



Durante os estudos de adensamento foram monitoradas as velocidades de clarificação, para a sedimentação e FAD. O adensamento por sedimentação foi realizado em proveta graduada de 1 L com duração do ensaio de 360 minutos. No decorrer do processo de adensamento foram realizadas leituras da interface lodo/água clarificada, para a determinação das velocidades de sedimentação. Os polímeros adotados foram o catiônico P-2900 e o aniônico P-22, com concentrações entre 0 a 5,5 mg polímero/g SST.

O adensamento por FAD foi realizado em coluna de flotação por ar dissolvido (flotateste). A graduação da célula de flotação teve como referência a base da coluna, sendo acompanhada a altura da interface lodo/água clarificada, para determinação da velocidade de ascensão. A duração do ensaio de adensamento por FAD foi de no máximo 30 minutos. O polímero utilizado foi o catiônico P-2900, único que apresentou flotação completa para o lodo, com concentração entre 0 a 5,5 mg polímero/g SST, a pressão de saturação ( $P_{sat}$ ) utilizada foi de 6 atm. Além da dosagem do agente floculante, nos ensaios de adensamento por FAD, foi avaliada a taxa de reciclo ( $Tr$ ) de 40 e 50%.

A velocidade de clarificação máxima é determinada quando à interface água clarificado/lodo adensado permanecem constante, em um tempo  $t_1$  inicial a um instante  $t_2$ , neste intervalo, o segmento de reta e a velocidade de clarificação é dada pelo coeficiente angular. Para exemplificar, a partir da curva obtida nos ensaios de adensamento, os procedimentos adotados para o cálculo da velocidade de clarificação consistem em (DI BERNARDO *et al.*, 2011):



- Ligar os pontos relativos aos dados experimentais, a partir da altura da interface de clarificação (A), até encontrar o eixo horizontal, correspondente ao tempo do ensaio (B);
- O coeficiente angular da reta AB será igual à velocidade de clarificação ( $V_{cla}$ ) ou deslocamento da interface, dado pela equação 1.

$$V_{cla} = \frac{OA}{OB} \quad (1)$$

A velocidade clarificação/adensamento por flotação foi obtida de forma similar à do adensamento por sedimentação, onde adotou-se por referência a base inferior da coluna de flotação, de forma inversa aos ensaios em coluna de sedimentação. Anotando-se as alturas da interface de clarificação em função do tempo percorrido após o início do ensaio.

A velocidade de clarificação foi obtida a partir dos dados dos ensaios de adensamento do lodo coletado na segunda amostragem, sendo determinada para as três repetições de cada tratamento.

### 3. RESULTADOS

As curvas provenientes dos ensaios de adensamento por sedimentação para o polímero catiônico P-2900 e aniônico P-22 são apresentadas nas Figuras 2 e 3. Pode-se observar que com o aumento das dosagens dos polímeros, tanto catiônico quanto aniônico, houve uma diminuição da compactação do lodo floculado (sólidos), o que explica a diminuição do teor de sólidos no lodo adensado com o aumento da dosagem de polímero.

Figura 2 - Curva da interface de clarificação/adensamento do lodo com o uso de polímero catiônico P-2900, para as dosagens de 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; e 5,5 mg pol/g SST.

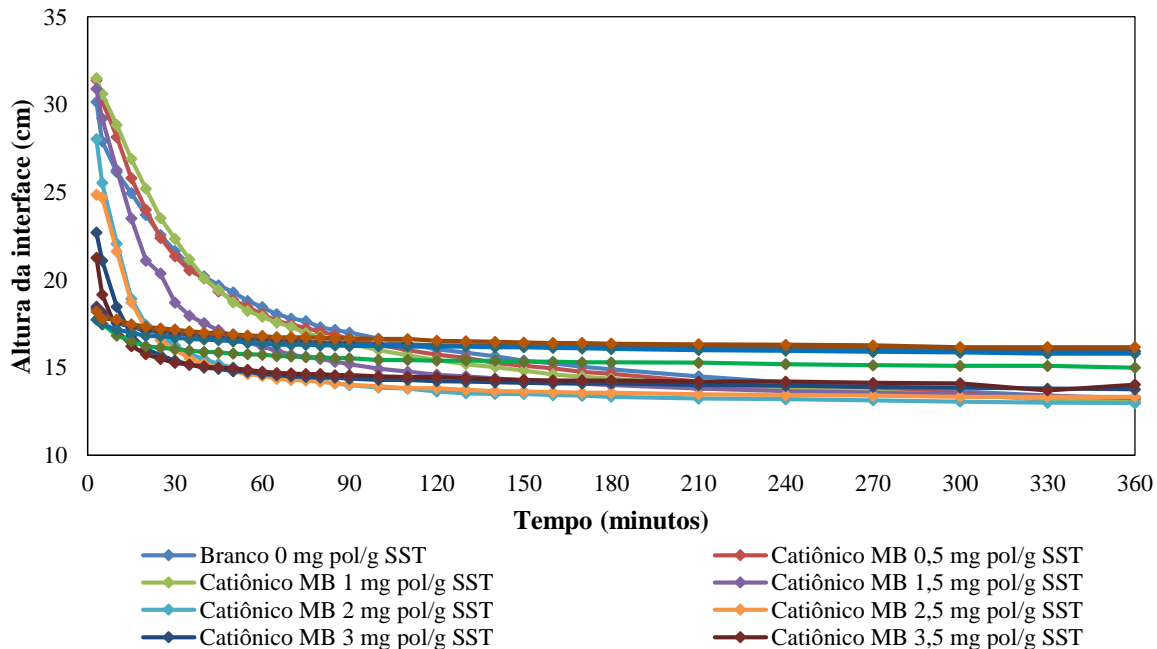
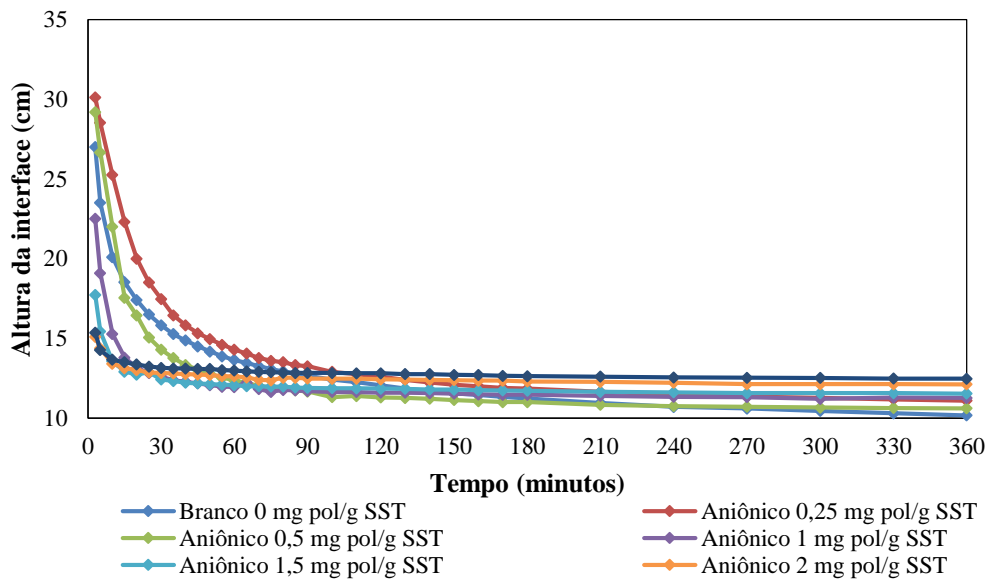
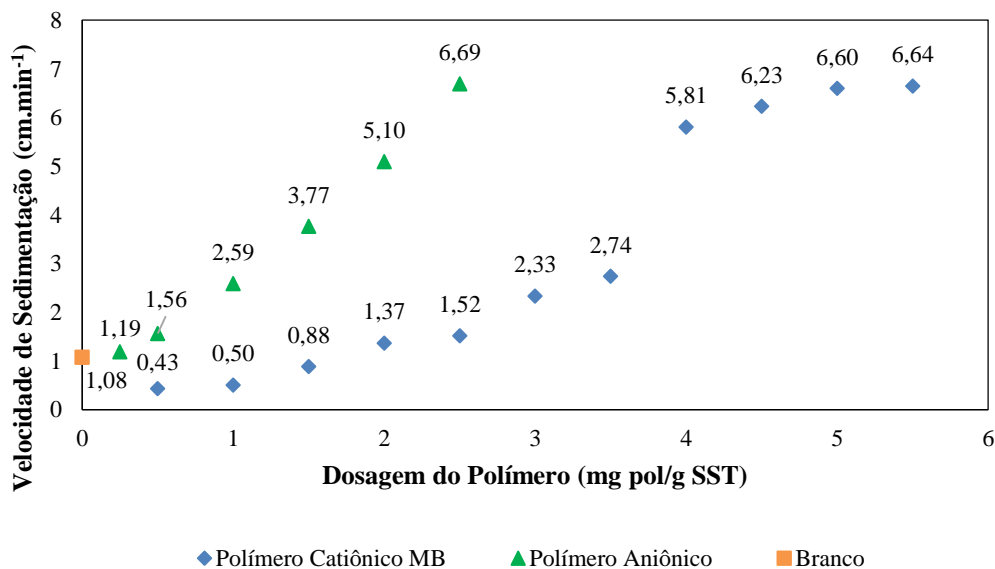


Figura 3 - Curva da interface de clarificação/adensamento do lodo com o uso de polímero aniônico, para as dosagens de 0; 0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; e 2,5 mg pol/g SST.



Na Figura 4 são apresentadas as velocidades de clarificação (Vcl) dos lodos adensados por sedimentação para os tratamentos com e sem a adição de polímero. Para ambos os tratamentos, quanto mais elevada a dosagem de polímeros maior é a velocidade de clarificação, pois mais rápido o lodo sedimenta.

Figura 4 - Velocidade de clarificação do adensamento por sedimentação para os tratamentos com polímero catiônico P-2900 e aniônico P-22.



As velocidades máximas de clarificação ocorreram nos minutos iniciais do adensamento por sedimentação, sendo as maiores velocidades de clarificação de 6,69 cm.min<sup>-1</sup>, para o tratamento

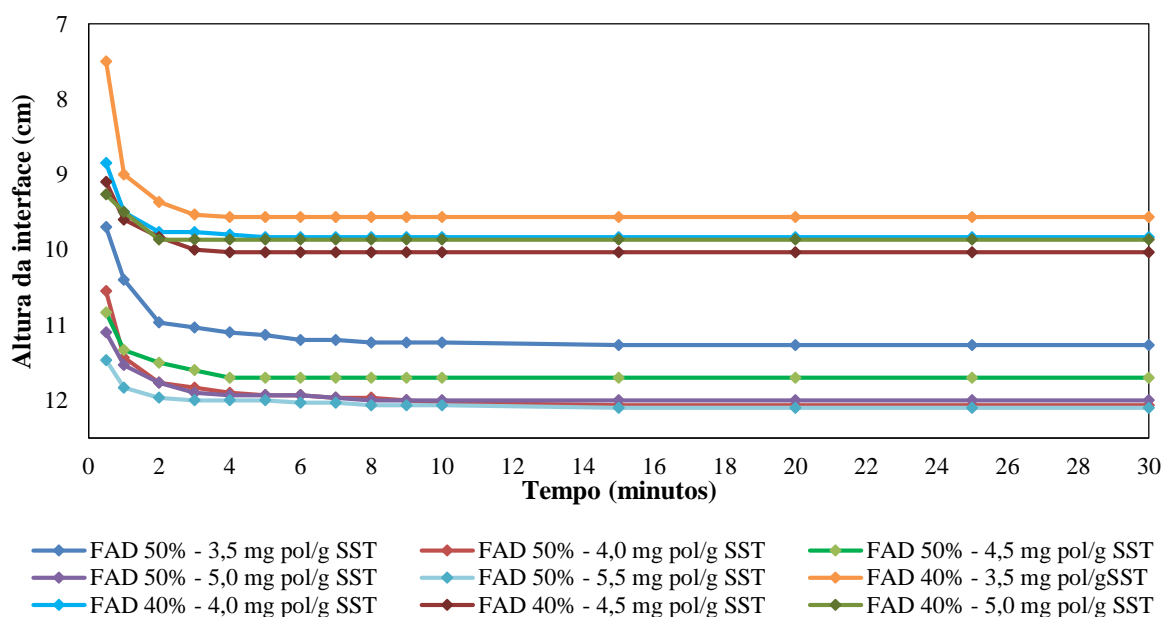


com 2,5 mg pol. aniônico/g SST, e de 6,64 cm.min<sup>-1</sup>, para o tratamento com 5,5 mg pol. catiônico/g SST.

O tratamento sem a adição de polímero (branco) obteve maior velocidade de sedimentação, 1,08 cm.min<sup>-1</sup>, em comparação os tratamentos com dosagens de 0,5; 1,0; e 1,5 mg pol. catiônico/g SST (0,43; 0,5; e 0,88 cm.min<sup>-1</sup>), o que se deve a resistência a sedimentação promovida pelo polímero.

As curvas de clarificação provenientes dos ensaios de adensamento por flotação a ar dissolvidos para as taxas de reciclo de 40 e 50% são apresentadas na Figura 5. Pode-se observar que o processo de flotação apresenta estabilidade na velocidade de clarificação antes dos 5 minutos de ensaio.

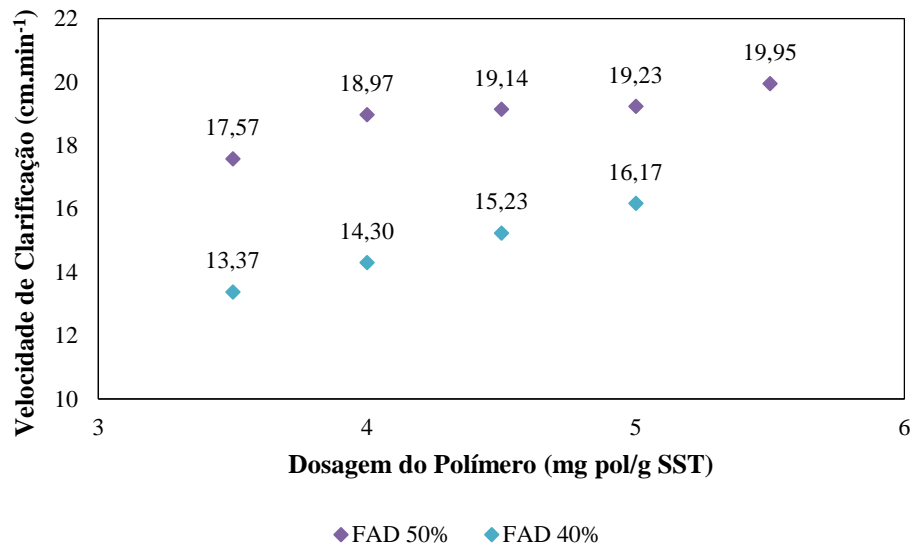
Figura 5 - Curva da interface de clarificação/adensamento do lodo com o uso de polímero catiônico e Tr de 40 e 50%, para as dosagens de 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; e 5,5 mg pol/g SST.



As velocidades de clarificação (V<sub>cl</sub>) dos lodos adensados por FAD para os tratamentos com taxa de reciclo de 40 e 50%, são apresentadas na figura 6. Pode-se perceber que para ambos os tratamentos quanto mais elevada a dosagem de polímeros maior é a velocidade de clarificação, sendo as maiores velocidades de clarificação para a Tr de 50%.

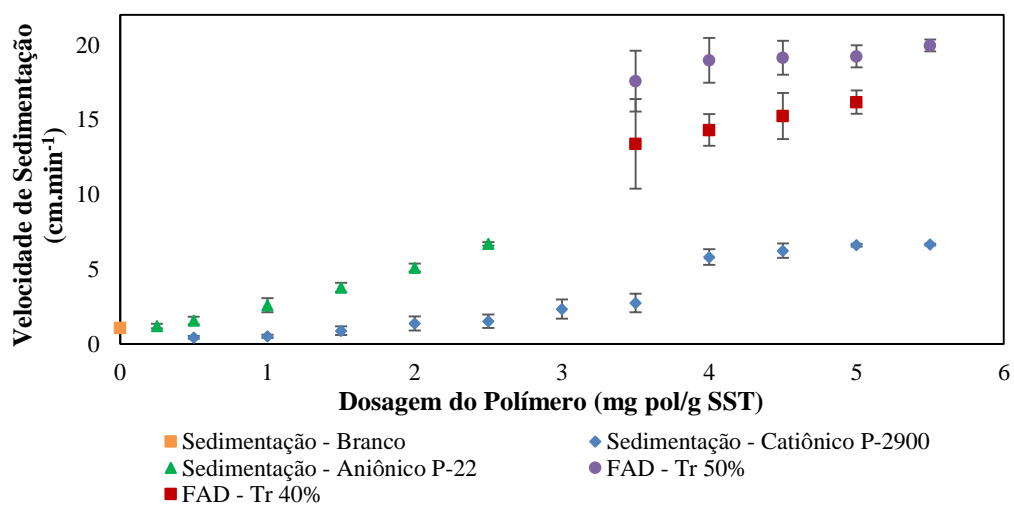
Nos tratamentos sem a adição de polímero (branco) não puderam ser determinadas as velocidades de clarificação, pois a maior parte do lodo não flutuou, sedimentando no fundo do jarro. Para os tratamentos com adição de polímero catiônico P-2900, as velocidades máximas de clarificação ocorreram nos primeiros minutos de flotação, com estabilidade antes dos 10 minutos de adensamento. Para o tratamento com Tr de 40% a maior velocidade de clarificação foi de 16,17 cm.min<sup>-1</sup>, para dosagem de 5,0 mg pol/g SST, e de 19,95 cm.min<sup>-1</sup>, para o tratamento com 5,5 mg pol/g SST e Tr de 50% (Figura 6). Em trabalho realizado por Galasso (2014) para o tratamento de águas residuais foi evidenciado que quanto maior a taxa de recirculação aplicada, maior a velocidade ascensão, com maior velocidade de clarificação para a taxa de recirculação de 20% (10,58 cm.min<sup>-1</sup>).

Figura 6 - Velocidade de clarificação do adensamento por FAD com Tr de 40 e 50%, para os tratamentos com polímero catiônico P-2900, com dosagens de 3,5; 4,0; 4,5; 5,0 e 5,5.



A comparação entre as velocidades de clarificação (Vcl) dos lodos adensados por sedimentação e por FAD é apresentada na Figura 7. Na análise estatística a Vcl do lodo adensado por FAD 50% apresentou velocidade de clarificação superior aos demais tratamentos, porém entre as concentrações (3,5; 4,0; 4,5; 5,0; e 5,5 mg polímero/g SST) foram estatisticamente iguais (17,57; 18,97; 19,13; 19,23; 19,95 cm.min<sup>-1</sup>). Os estudos com FAD 40% se diferiram entre os demais, porém também foram estatisticamente iguais entre as diferentes concentrações. A menor Vcl foi com o tratamento por sedimentação para as concentrações de 0,5; 1,0 e 1,5 mg polímero catiônico P-2900/g SST, estaticamente iguais (0,44; 0,50; e 0,88 cm.min<sup>-1</sup>).

Figura 7 - Velocidade de clarificação do adensamento por sedimentação com polímero catiônico P-2900 e aniônico P-22 e por FAD com Tr de 40 e 50%, relacionado com as diferentes concentrações dos polímeros.







11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

## CONCLUSÃO

Este estudo realizou um comparativo do adensamento de lodo de uma ETA por sedimentação e flotação a ar dissolvido, visando realizar um panorama sobre a velocidade de clarificação de lodo. A velocidade de clarificação no adensamento por sedimentação e por FAD aumentou com o acréscimo da dosagem dos polímeros. Na FAD a velocidade de clarificação apresentou estabilidade antes dos 5 minutos de ensaio para os ensaios. Nos ensaios, a FAD resultou em maior velocidade de clarificação, de  $19,95 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$ , obtida com Tr de 50%, Psat de 6 atm e concentração de 5,5 mg polímero catiônico P-2900/g SST.

É importante salientar que para a escolha do processo de adensamento é fundamental determinar quais serão os processos subsequentes de tratamento do lodo, e quais os parâmetros são mais relevantes dentro da realidade da ETA.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a São Gabriel Saneamento pela disponibilidade e auxílio nas coletas de lodo e à CAPES pelo apoio financeiro recebido.

## REFERÊNCIAS

ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Leito de drenagem: sistema natural para redução de volume de lodo de estação de tratamento de água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 13, n.1, p. 54 – 62, 2008.

CIZINSKÁ, S.; MATEJO, V; WASE, C.; KLASSON, Y.; KREJCI, J.; DALHAMMAR, G. Thickening of waste activated sludge by biological flotation. **Water Research**. v. 26, n. 2 p. 139 – 144, 1992.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. DI B.; VOLTAN, P. E. N. **Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos: LDiBe, 2011. 454 p.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. DI B.; VOLTAN, P. E. N. **Métodos e técnicas de tratamento e disposição dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos: LDiBe, 2012. 540 p.

FERREIRA FILHO, S.S. Pré-condicionamento de lodos de estações de tratamento de água visando o seu adensamento por gravidade. **Anais... XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Foz do Iguaçu, 1997.

MATTOS, M. R. U.; GIRARD, L. Caracterização físico-química e ensaios de adensamento em coluna do lodo produzido em uma Estação de Tratamento de Água de grande porte. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**. n. 28, p. 34 – 43, 2013.

METCALF; EDDY, Inc. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4ª ed. New York: McGraw-Hill Companies, 2003. 1819 p.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

MORUZZI, R. B.; REALI, M. A. P. Método para determinação de distribuição de tamanho de microbolhas (DTMB) em sistemas flotação (FAD) para tratamento de águas utilizando a análise de imagem digital. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 12, n. 3, p. 273 - 283, 2007.

PAIVA, M. W.; PARREIRA, R. L. Resíduos das estações de tratamento de água (ETA). **Linguagem Acadêmica**. v. 2, n. 2, p. 83 - 96, 2012.

REALI, M. A. P. **Principais características qualitativas e quantitativas do lodo de ETAs**. In: REALI, M. A. P. (Coordenador). Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. Projeto PROSAB, Rio de Janeiro: ABES, 1999. 240 p.

RICHTER, C. A. **Tratamento de lodos de estação de tratamento de água**. 1 ed., São Paulo: Edgard Blücher, 2001. 102 p.

RICHTER, C. A. **Água métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo: Edgard Blücher, 2009. 340 p.

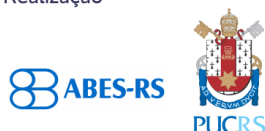
RIJK, S. E. de; GRAAF, J. H. M. V.; BLANKEN, J. G. D. Bubble size in flotation thickening. **Water Research**. v. 28, n. 2, p. 465 - 473, 1994.

SABOGAL-PAZ, L. P.; DI BERNARDO, L. Aspectos conceituais relativos à seleção das tecnologias de tratamento e de disposição dos resíduos gerados nas estações de tratamento de água. **Anais...** In: XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande, 2005.

WATANABE, Y.; TANAKA, K. Innovative sludge handling through pelletization/thickening. **Water Research**. v. 33, p. 3245 – 3252, 1999.

ZHAO, Y. Q. Settling behaviour of polymer flocculated water-treatment sludge I: analyses of settling curves. **Separation and Purification Technology**. v. 35, p. 71 – 80, 2004a.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375