

VARIÁVEIS DE INFLUÊNCIA NO DESAGUAMENTO DE LODO DE ETA POR TECIDO GEOTÊXTIL

Lucas Damaceno Pereira e Silva ¹, Giuliano Guimarães Silva ¹, Sérgio Carlos Bernardo Queiroz ²,
Angela Di Bernardo Dantas ³

¹ Instituto Federal do Tocantins, Palmas - TO, Brasil ² Universidade Federal do Tocantins, Palmas - TO, Brasil ³ Universidade Ribeirão Preto, Ribeirão Preto - SP, Brasil

Resumo: O lodo de ETA de ciclo completo é produzido na separação do material sólido da porção líquida e apresenta um baixo teor de sólidos. Neste sentido, a concepção de um sistema de desidratação do lodo é importante para se reduzir de forma considerável a quantidade de água existente na pasta. Problemas operacionais, técnicos e econômicos podem ser causados pela ausência de procedimento adequado no processo de desidratação do lodo, e alguns fatores podem ter efeito no desempenho do sistema. O objetivo do trabalho foi analisar o efeito das variáveis de influência (concentração de lodo, dosagem de polímero catiônico, tempo de agitação na mistura rápida e gradiente de velocidade médio) no processo de desaguamento do lodo de ETA, através do planejamento experimental estatístico. Para tanto, o lodo de decantador de ETA foi coletado, preparado e submetido a ensaios de bancada, e através dos resultados foi possível avaliar quais fatores influenciavam no desempenho de desidratação do lodo de ETA. Os resultados mostraram que os fatores concentração de lodo e dosagem de condicionante químico impactavam a turbidez e a vazão do filtrado com efeito definido estatisticamente, mas por outro lado, não foi observado comportamento padrão para os fatores tempo de agitação na mistura rápida e gradiente de velocidade médio, ficando a critério do responsável operacional fixar um valor padrão destas variáveis para a operação da ETA.

Palavras-chave: Lodo de ETA, geotêxtil, condicionante químico, planejamento experimental.

1 INTRODUÇÃO

O lodo de ETA de ciclo completo é produzido na separação do material sólido da porção líquida e apresenta um baixo teor de sólidos, geralmente abaixo de 1% (Ferreira Filho, 2017). Isto implica que os lodos devem passar por um processo de adensamento e desidratação antes da sua disposição final.

É possível se obter lodo com concentração de sólidos de até 5% com a etapa de adensamento, no entanto, esta concentração não é ideal para a disposição final do resíduo. Neste sentido, a concepção de um sistema de desidratação do lodo é importante para se reduzir de forma considerável a quantidade de água existente na pasta (Ferreira Filho, 2017).

Nos últimos anos, uma técnica de desidratação bastante popularizada são os sistemas fechados de geotêxteis, que são sistemas que permitem encapsulamento, isolamento, e desidratação do lodo, permitindo o controle das variáveis de entrada e saída do sistema (Guimarães et al., 2014).

O método consiste em bombear lodo em tubos geotêxtil a velocidades controladas para reter a porção sólida e permitir a passagem do líquido constituinte, conhecida como efluente (ou filtrado). Durante a filtração, o líquido no lodo se filtra através do geotêxtil devido ao peso da porção sólida, simultaneamente com a retenção de partículas sólidas (Guimarães et al., 2014). Após a conclusão do

processo de desidratação, o tubo é aberto e o material sólido é removido e descartado (Moo-young e Tucker, 2002).

Segundo Ferreira Filho (2017), problemas operacionais, técnicos e econômicos podem ser causados pela ausência de procedimento adequado no processo de desidratação do lodo. A maior consequência da irregularidade do teor de sólidos do resíduo ao longo do tempo é a dosagem inadequada de polímeros, sendo estes importantes para as etapas de coagulação e desidratação do lodo.

Di Bernardo et al. (2017) afirmam que vários fatores influenciam o uso de condicionantes químicos no processo de coagulação, e por isso, ensaios em equipamento de jarreste são comumente feitos para se analisar o tempo de agitação na mistura rápida e o gradiente de velocidade médio.

O objetivo do trabalho foi analisar o efeito das variáveis de influência no processo de desaguamento do lodo de ETA através do planejamento experimental estatístico. Além disso, buscou-se descobrir através dos resultados experimentais se as faixas de valores adotados para a concentração de lodo, dosagem de polímero catiônico, tempo de agitação na mistura rápida e gradiente de velocidade médio eram adequados para uma boa retenção de sólidos e taxa de infiltração do filtrado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O lodo de ETA de ciclo completo é produzido na separação do material sólido da porção líquida, e apresenta um baixo teor de sólidos, geralmente abaixo de 1% (Ferreira Filho, 2017). Isto implica que os lodos devem passar por um processo de desidratação e adensamento antes da sua disposição final.

Di Bernardo et al. (2017) citam algumas formas de desidratar os lodos, entre elas os sistemas mecanizados (prensas desaguadoras, centrífugas, filtro prensa de esteira, etc) e os métodos naturais (lagoa de lodo, etc) e por filtração (leito de secagem e de drenagem, tecido geotêxtil, etc). Em qualquer destes sistemas é desejável uma concentração de Sólidos Suspensos Totais acima de 200 g/L na torta de lodo.

A importância de realizar ensaios para previsão de comportamento de filtração e desaguamento de resíduos/rejeitos em sistemas fechados de geotêxtil é indiscutível. Um aspecto de grande influência no comportamento final é o condicionamento químico, realizado por meio da introdução de aditivos, que podem, por exemplo, diminuir a resistência a filtração. Conforme salientam Satyamurthy e Bhatia (2009), os condicionantes químicos aumentam o potencial de

filtração, resultando em um alto índice de vazão e qualidade do efluente dos materiais com sólidos finos que possuam resistência à filtração.

A eficiência do condicionamento químico, entre outros fatores, está relacionada ao tipo de polímero, sua concentração e dosagem. Geralmente, a adição de polímeros sintéticos catiônicos, aniônicos ou não-iônicos diminui a resistência específica à filtração através da aglomeração de partículas sólidas, permitindo a remoção de um volume maior de líquido em um período mais curto (Guimarães et al., 2014).

O critério de seleção do polímero coagulante baseado no tipo de água bruta e as características do tratamento. São critérios de escolha do polímero o custo, transporte, disponibilidade do produto e estabilidade química (AWWA, 1990). Em geral, são feitos testes de bancada para a escolha e ajuste do polímero no processo de desidratação do lodo de ETA.

Nos últimos anos, uma técnica de desidratação bastante popularizada são os sistemas fechados de geotêxtil, que permitem encapsulamento, isolamento, e desidratação do lodo, permitindo o controle das variáveis de entrada e saída do sistema (Guimarães et al., 2014).

Moo-Young e Tucker (2002) citam que tanto os engenheiros como os pesquisadores reconhecem que os materiais de alto teor de água podem ter excelente desidratação através do uso de tubos geotêxteis. Estes são fabricados com costura de tecido geotêxtil que são capazes de reter uma quantidade relativamente grande de material saturado. Durante a filtração, o líquido no lodo se filtra através do geotêxtil devido ao gradiente a ao peso da porção sólida, simultaneamente com a retenção de partículas sólidas (Guimarães et al., 2014).

3 METODOLOGIA

O lodo utilizado nos ensaios de bancada foi cedido pela BRK Ambiental, sendo coletado na descarga de saída do tanque de decantação da ETA 6 (Palmas-TO, Brasil) e armazenado em um reservatório de 500 L. Após a coleta, o lodo foi levado ao laboratório de saneamento do IFTO (Palmas-TO, Brasil). A Figura 1 apresenta o registro de descarga de onde o lodo foi coletado.



Figura 1 - Registro de descarga do tanque de decantação da ETA 6 e coleta do lodo

O objetivo do Delineamento Fatorial Fracionado (DFF) foi avaliar quatro possíveis fatores de influência na desidratação do lodo por bag de geotêxtil. Assim, foram analisadas as respostas das variáveis concentração de lodo, dosagem de polímero catiônico, tempo de agitação na mistura rápida e gradiente de velocidade médio. As variáveis estudadas com as faixas estão apresentadas no Tabela 1.

Tabela 1. Faixas estudadas no DFC para o polímero catiônico

Variável	Unidade	-1	0	+1
Conc. Lodo	g/L	0,25	10,13	20
Dosagem Polímero	Mg.P/g.SST	0,5	1,5	2,5
Gradiente de Velocidade	s-1	50	200	350
Tempo de Mistura Rápida	s	15	60	105

Todos os ensaios de bancada foram feitos de forma aleatória. As faixas estudadas se baseiam em valores experimentais citados por Di Bernardo et al. (2017). O planejamento experimental gerou 11 ensaios com 3 repetições no ponto central, necessários para se avaliar a repetibilidade dos ensaios.

Ensaio de cone foram realizados conforme metodologia de Miratech (2005) e Lawson (2006). Uma amostra de tecido geotêxtil foi utilizada nos ensaios (GT1), e suas características e propriedades físicas estão apresentadas no Tabela 2.

Tabela 2. Propriedades físicas do geossintético ensaiado

Propriedades	GT1: PP 105/105 DW
Matéria-prima	Polipropileno
Massa por unidade de área (EN ISO 9864)	445 g/m ²
Resistência a tração nominal (EN ISO 10.319)	≥ 105 kN/m
Deformação na Resistência Nominal (EN ISO 10.319)	≤ 9%
Permeabilidade (EN ISO 11.058)	25.10-3 m/s
Tamanho da abertura (EN ISO 12.956)	200 μm

Primeiramente, as amostras de lodo foram coletadas do lodo reservado e misturadas à água de processo (água filtrada) para se obter concentrações de sólidos de 0,25 g/L, 10,13 g/L e 20 g/L. A turbidez foi quantificada em um turbidímetro HACH 2100 N, de método nefelométrico.

Foram realizados 11 ensaios em equipamento de jarteste baseados no planejamento experimental, utilizando as dosagens de polímero catiônico indicadas no delineamento.

Após a mistura em jarteste, o lodo foi rapidamente lançado no tubo geotêxtil para se avaliar a turbidez e vazão do líquido passante (efluente). A Figura 1 apresenta o esquema de suporte do geotêxtil, que garantiu a estanqueidade do processo. Durante a filtração foi avaliada a vazão média do efluente através do tempo cronometrado e do volume passante medido, e após a filtração de todas as amostras pelos dois tecidos geotêxteis, a turbidez foi quantificada.



Figura 2. Esquema de filtração do lodo por tecido geotêxtil

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos 11 ensaios para o tecido geotêxtil estudado (GT1) estão apresentados no Tabela 3.

Tabela 3. Respostas experimentais dos experimentos do Planejamento Experimental Fatorial Fracionado para 4 variáveis independentes (24-1).

Concentração do Lodo (g/L)	Dosagem do polímero (mgP/gSST)	Gradiente de velocidade (s ⁻¹)	Tempo de mistura rápida (s)	Vazão (mL/s)	Turbidez (uT)
-1	-1	-1	-1	1,6	32,7
+1	-1	-1	+1	0,8	168
-1	+1	-1	+1	1,3	13,8
+1	+1	-1	-1	1,1	48
-1	-1	+1	+1	1,6	20,2
+1	-1	+1	-1	0,8	112
-1	+1	+1	-1	1,3	17,5
+1	+1	1	+1	1,2	26
0	0	0	0	1,5	1,54
0	0	0	0	1,5	3,53

0	0	0	0	1,5	1,6
---	---	---	---	-----	-----

Os resultados similares no ponto central (valores intermediários) revelam uma boa repetibilidade do processo.

Os menores valores de turbidez foram encontrados nos ensaios do ponto central, e as maiores vazões foram registradas nos ensaios em que a concentração de lodo e a dosagem de polímero catiônico eram mínimas dentro da faixa estudada. Em seus ensaios, Satyamurthy e Bathia (2009), constataram que uma maior quantidade de aditivo tende a melhorar a qualidade do efluente.

É possível perceber que maiores concentrações de lodo levam a maiores valores de turbidez e menores valores de vazão. Isto pode ser atribuído ao fato de que existem mais partículas suspensas no filtrado, ocasionando turbidez maior na primeira coleta das amostras. Com uma grande quantidade de sólidos, o material durante o processo de filtração forma rapidamente o filter cake, que é uma camada de sólidos agregada próxima ao tecido que diminui a permeabilidade do geossintético e impede a passagem livre de finos.

De acordo com os ensaios, dosagens mais altas de polímero catiônico levam a vazões mais altas e retenção de sólidos relativamente alta. Isto porque através da turbidez, é possível se ter uma ideia da quantidade de material que é passante ou retido.

Nenhum efeito foi possível de ser constatado através dos resultados dos ensaios para os parâmetros de tempo de agitação na mistura rápida e gradiente de velocidade médio, pois os resultados foram os mais diversos para a variação de níveis destas variáveis. Isto poderá ser afirmado por meio da análise estatística dos dados.

Segundo Rodrigues e Iemma (2014), sempre que for utilizado um fatorial fracionado com o objetivo de varredura, o nível de significância deve estar fixado a priori em 10% (p-valor < 0,1). Os efeitos avaliados para as respostas turbidez e vazão a nível de significância de 10% são apresentados no Tabela 4, e os Gráficos de Pareto correspondentes estão mostrados nas Figuras 3 e 4.

Tabela 4. Estimativa dos efeitos para vazão e turbidez para o planejamento 24-1

Fatores	Vazão (mL/s)				Turbidez (uT)			
	Efeito	Erro Padrão	t	p-valor	Efeito	Erro Padrão	t	p-valor
Média	1,21	0,07	16,59	<0,0001	54,78	11,37	4,82	0,0048
Concentração de lodo (g/L)	-0,48	0,15	-3,25	0,0227	67,45	22,73	2,97	0,0312
Dosagem de polímero (mgP/gSST)	0,02	0,15	0,17	0,8709	-56,90	22,73	-2,50	0,0543

Gradiente de velocidade (s ⁻¹)	0,02	0,15	0,17	0,8709	-21,70	22,73	-0,95	0,3836
Tempo de mistura rápida (s)	0,02	0,15	0,17	0,8709	4,45	22,73	0,20	0,8525

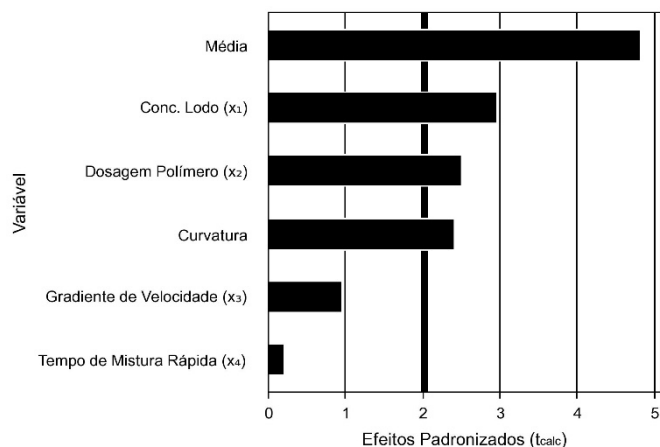


Figura 3. Gráfico de pareto para a resposta turbidez

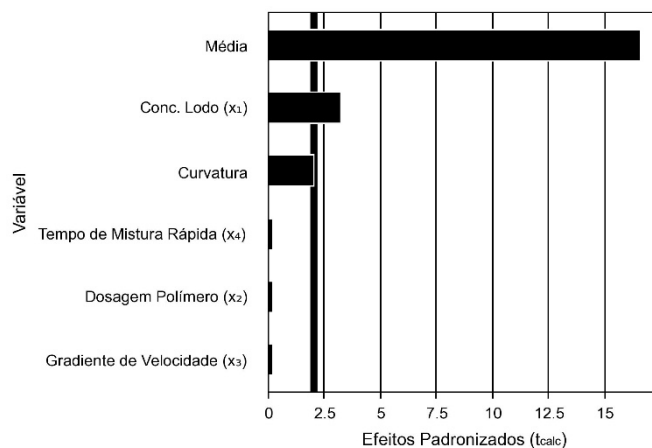


Figura 4. Gráfico de pareto para a resposta vazão

Dentre os 4 fatores estudados somente a concentração do lodo foi estatisticamente significativa (p - valor < 0.10) para a resposta vazão, de igual forma a concentração do lodo e a dosagem do polímero para a resposta turbidez.

A concentração de lodo apresentou efeito negativo para a resposta vazão, mostrando que ao variar de 0,25 g/L para 20 g/L ocorreu uma diminuição da vazão de infiltração pelo tecido geotêxtil, e neste caso, optou-se por manter estes níveis no planejamento seguinte.

A concentração de lodo e a dosagem de polímero apresentaram efeito positivo e negativo, respectivamente, para a resposta turbidez. Isto indica que ao aumentar a concentração do lodo na faixa estudada, pode-se observar um acréscimo na turbidez, e por outro lado, ao variar a dosagem do polímero de 0.5 a 2.5 mgP/gSST, os resultados mostram uma diminuição deste parâmetro.

Diante dos resultados apresentados os fatores gradiente de velocidade e tempo de mistura rápida não foram estatisticamente significativos ($p - \text{valor} > 0.1$). Isto indica que a variação destes parâmetros não interferem na turbidez e na vazão do filtrado, e portanto, valores usuais destas variáveis podem ser fixados na operação de ETAs.

5 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que os fatores concentração de lodo e dosagem de condicionante químico, neste caso o polímero catiônico, exercem influência na quantidade de material retido pelo tecido geotêxtil e na vazão do efluente. Portanto, estas variáveis devem ser analisadas na operação do sistema de desaguamento do lodo. Observou-se ainda que as faixas estudadas de concentração de lodo e dosagem de condicionante químico foram eficazes uma vez que os resultados foram estatisticamente significativos.

Pela análise estatística, não se pode prever um comportamento padrão do efeito dos fatores tempo de agitação na mistura rápida e gradiente de velocidade nas respostas estudadas, muito embora seja especulado no meio científico os seus impactos no desempenho do desaguamento de lodo por tecido geotêxtil. Com isto, pode-se afirmar que os valores destas variáveis podem ser fixados em valores operacionais usuais.

Embora este trabalho apresente resultados estatisticamente significativos e aplicáveis nas operações de ETAs, estudos em escala real devem ser feitos para validação do comportamento das variáveis aqui apresentadas. A definição dos níveis de dosagem de condicionante químico e utilização de geossintéticos dependem também de outros fatores específicos de cada ETA, e o responsável operacional de ETA deve analisar os seus impactos na operação do sistema.

REFERÊNCIAS

Di Bernardo L., Dantas A. D. B., Voltan, P.E.N. (2017). Métodos e técnicas de tratamento de água. 3ª ed. São Carlos: Rima.

[Ferreira Filho](#) S. S. (2017). Tratamento de água: concepção, projeto e operação de estações de tratamento. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda. v. 1. 472p.

Guimarães M. G. A., Urashima D. C., Vidal D. M. (2014). Dewatering of sludge from a water treatment plant in geotextile closed systems. *Geosynthetics International* 5 (21), 310-320. doi:10.1680/gein.14.00018

Lawson C. R. (2008). Geotextile containment for hydraulic and environmental engineering. *Geosynthetics International* 6 (15) 384-427. doi:10.1680/gein.2008.15.6.384

Miratech T. C. N (2005). Geotube. *Dewatering Technology: versão 5.2. Seção: Aplicações: [S.l.]: Mining & Mineral Processing.*

Moo-Young H., Tucker W. (2002). Evaluation of vacuum filtration testing for geotextile tubes. *Geotextiles and Geomembranes* 3 (20) 191-212. Doi:10.1016/S0266-1144(02)00008-0

Rodrigues M. I., Iemma A. F. (2005) Planejamento de experimentos e otimização de processos: Uma estratégia sequencial de planejamentos. 1 ed. Campinas: Editora Casa do Pão. 326p.

Satyamurthy R., Bhatia S.K. (2009). Effect of polymer conditioning on dewatering characteristics of fine sediment slurry using geotextiles. *Geosynthetics International* 2 (16) 83-96. doi: doi.org/10.1680/gein.2009.16.2.83