

**DESAGUAMENTO DE LODO DE ETA COM A UTILIZAÇÃO DE LEITO DE DRENAGEM**DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.5.22.XII-003>

Isabela Gagliardi Ortiz (*), Erich Kellner, Cali Laguna Achon

* Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, isabela.gortiz@hotmail.com

RESUMO

Ao longo das etapas envolvidas no processo de tratamento da água ocorre a formação de lodo, o qual é caracterizado como resíduo sólido e, portanto sua destinação deve ser compatível com as diretrizes da PNRS – Lei 12.305/2010, priorizando a redução, reuso e reciclagem. Nesse sentido o desaguamento, compreendido como um método de diminuição do volume de lodo atende ao estabelecido pela Política Nacional de Resíduos Sólidos. O desaguamento é caracterizado pela remoção da água livre, sobrenadante encontrada nos interstícios dos sólidos, utilizando sistemas naturais ou mecânicos. Os leitos de drenagem, designados como LD e anteriormente conceituados como leitos de secagem estão entre estes sistemas naturais. Assim, o objetivo principal deste estudo foi avaliar a eficiência e qualidade de desaguamento de lodo proveniente de uma ETA que utiliza sulfato de alumínio como coagulante, com concentração de sólidos fixa de 2% aplicado ao sistema de LD. Para tanto foi utilizado um protótipo de LD em escala de bancada com a finalidade de simular o desaguamento de lodo, utilizando três alturas de camada de lodo ($h=10, 30$ e 50 cm) e dois geotêxteis não-tecidos como camada filtrante de massa por unidade de área de 400 e 600 g/m², nomeados de GTNT400 e GTNT600. Esses ensaios foram conduzidos em triplicata e o critério de parada estabelecido foi de 72 horas. As análises realizadas no filtrado (cor aparente, turbidez e pH) seguiram os métodos preconizados pela APHA/AWWA/WEF (2001). Foi realizado, também, o teor de umidade (w) do lodo e a massa retida no geotêxtil (M_R). A análise dos resultados permitiu observar que menores taxas de aplicação de sólidos (TAS), removeram a água em tempo menor e quanto maior a carga hidráulica maior foi o tempo de remoção. O GTNT600 apresentou o melhor comportamento, promovendo maior remoção de lodo, com o aumento da água livre drenada e melhor qualidade do drenado. Maiores alturas (cargas hidráulicas) promoveram aumento do tempo de drenagem.

PALAVRAS-CHAVE: desaguamento, leito de drenagem, lodo de ETA, resíduos sólidos, sistemas naturais.**ABSTRACT**

During the stages involved in the water treatment process, sludge forms, which is characterized as solid waste and, therefore, its destination must be compatible with the guidelines of the PNRS - Law 12.305/2010, prioritizing reduction, reuse and recycling. In this sense, dewatering, understood as a method of reducing the volume of sludge, meets the requirements established by the National Policy on Solid Waste. Dewatering is characterized by the removal of free water, supernatant found in the interstices of solids, using natural or mechanical systems. Drainage beds, designated as LD and previously conceptualized as drying beds, are among these natural systems. Thus, the main objective of this study was to evaluate the efficiency and quality of sludge dewatering from an ETA that uses aluminum sulfate as a coagulant, with a fixed solids concentration of 2% applied to the LD system. For that, a bench scale LD prototype was used in order to simulate sludge dewatering, using three sludge layer heights ($h=10, 30$ and 50 cm) and two non-woven geotextiles as a filtering layer of mass. per unit area of 400 and 600 g/m², named GTNT400 and GTNT600. These assays were conducted in triplicate and the stopping criterion established was 72 hours. The analyzes performed on the filtrate (apparent color, turbidity and pH) followed the methods recommended by APHA/AWWA/WEF (2001). It was also performed the moisture content (w) of the sludge and the mass retained in the geotextile (M_R). The analysis of the results showed that lower solids application rates (TAS) removed water in a shorter time and the higher the hydraulic load, the longer the removal time. The GTNT600 showed the best behavior, promoting greater sludge removal, with an increase in free water drained and better quality of the drained. Higher heights (hydraulic loads) promoted an increase in drainage time.

KEYWORDS: dewatering, draining beds, WTP sludge, solid waste, natural systems

INTRODUÇÃO

A composição dos lodos gerados em ETAs varia em função das características da água bruta, do seu sistema de tratamento e dos produtos e procedimentos utilizados no tratamento (SANTOS 2012). O lodo apresenta componentes orgânicos, possuindo maior parcela de material inorgânico (areia, silte, reagentes químicos utilizados no processo de tratamento) (DI BERNARDO *et al.*, 2002). De acordo com a NBR 10.004 (2004), o lodo gerado na ETA possui em sua composição 95% de água e é considerado um resíduo sólido, necessitando de destinação ambientalmente adequada. Assim, esse resíduo deve ser devidamente tratado para que o custo de transporte e dano ambiental seja minimizado. Estudos de Achon e Cordeiro (2016), sobre a destinação e disposição do lodo demonstraram que em 22 ETAs de uma mesma sub-bacia localizada no Estado de São Paulo, 77% destas lançam este resíduo em corpos d'água, 9% lançam no solo, 14% dispõem em aterros após desaguamento e nenhuma ETA recicla ou reutiliza o lodo. A redução de volume do lodo por desaguamento pode ser realizada em sistemas mecânicos, que utilizam centrífugas, prensas desaguadoras, filtração a vácuo, ou em sistemas naturais, que são normalmente abertos, como as lagoas de lodo, leitos de secagem, leitos de drenagem, com exceção do SCR (sistema de confinamento de resíduos) que é caracterizado como sistema fechado. Os sistemas abertos, como os LD, por exemplo, possuem como aspectos favoráveis: baixo custo de implantação e operação, simplicidade operacional e necessidade de mão de obra pouco especializada para operação, além de se adequarem a lugares com área disponível e clima favorável, o que é característico do Brasil. Por sua vez, os sistemas mecânicos são sistemas fechados, podendo ser de alto custo, pois além do custo dos equipamentos, utilizam energia elétrica e produtos químicos (DI BERNARDO E DANTAS, 2005). No Brasil, Cordeiro (2001) começou as pesquisas a respeito da modificação do leito de secagem buscando aumentar sua eficiência. Dois modelos foram testados por Cordeiro (1993 e 2000) em comparação ao modelo tradicional de leito de secagem, modificado 1 e modificado 2, conforme apresentado na Figura 1, e o mais eficiente foi o que utiliza apenas geotêxtil e brita (modificado 2). Esse modelo substituiu o agregado miúdo utilizado como filtro por geotêxtil e foi denominado leito de drenagem.

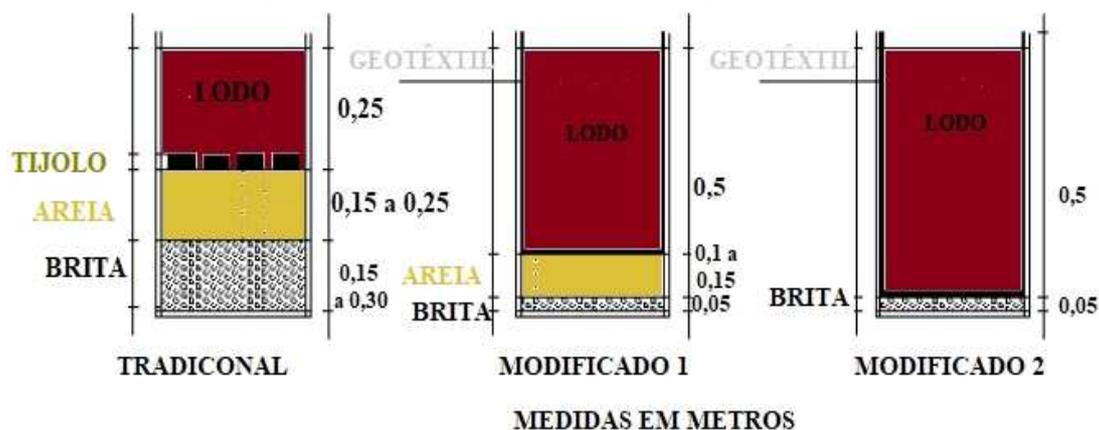


Figura 1: Evolução dos leitos de secagem. Fonte: modificado de Cordeiro (2001).

Pesquisas sobre Leitos de Drenagem (LD) em escala piloto e protótipos em escala real como realizados por Achon e Cordeiro (2003; 2004), Fontana (2004), Barroso (2007), Reis (2011), Cordeiro *et al.*, (2014), Lustosa *et al.*, (2017), Minatel (2021) sugeriram a viabilidade da aplicação do Leito de Drenagem com a utilização de geotêxteis. Conforme foi destacado por Achon *et al.*, (2008), a concepção do leito de drenagem utilizando geotêxteis recomendada por Cordeiro (2001), dificultam os processos de colmatção no geotêxtil, além de facilitar a drenagem. Isto não foi observado em outros sistemas naturais (leitos de secagem tradicionais e lagoas de lodo). Um ponto que necessita de estudos mais abrangentes é a utilização de diferentes geotêxteis, ou seja, tipos (tecidos e não-tecidos) e massa por área diferentes (maiores ou menores que 600g/m^2), pois a maioria dos estudos com LD empregam o geotêxtil não-tecido de massa por área de 600g/m^2 que é o recomendado por Cordeiro (2001).

OBJETIVOS

Avaliar a eficiência e qualidade de desaguamento de lodo proveniente de uma ETA que utiliza sulfato de alumínio como coagulante, com concentração de sólidos fixa de 2% utilizando leito de drenagem (LD), com diferentes geotêxteis e alturas de camada de lodo.



METODOLOGIA

Para tanto foi utilizado um protótipo de LD em escala de bancada para simular o desaguamento de lodo utilizando três alturas de camada de lodo ($h = 10, 30$ e 50 cm) e dois geotêxteis não-tecidos como camada filtrante de massa por unidade de área de 400 e 600g/m^2 . Na Tabela 1 encontram-se as especificações dos geossintéticos utilizados.

Tabela 1. Especificações dos geotêxteis não-tecidos utilizados. Fonte: autora do trabalho.

Fabricante	Geotêxtil	Massa por unidade de área (g/m^2)
OBER	GEOFORT 100% PP / L. 2,30/ GR400- CIN (100% POLIPROPILENO)	400
OBER	GEOFORT 100% PP / L. 2,30/ GR600- CIN (100% POLIPROPILENO)	600

Os geotêxteis foram caracterizados quanto as propriedades físicas e hidráulicas de massa por unidade de área, espessura, permissividade e permeabilidade. Assim, esta pesquisa pode ser dividida em duas etapas: caracterização dos geotêxteis e ensaio de desaguamento em Leito de Drenagem em escala de bancada. Estas etapas permitiram avaliar e comparar a influência dos geotêxteis na fase de desaguamento de lodo de ETA. Para a realização dos ensaios de desaguamento foram coletadas amostras de lodo na Estação de Tratamento de Água (ETA) de São Carlos (SP), que possui tecnologia de tratamento de água convencional de ciclo completo e utiliza sulfato de alumínio como coagulante.

Ensaio de desaguamento

Com o sistema de LD preparado (programa de aquisição de dados e balanças ligadas) para medição gravimétrica da vazão em L/s. A mistura na concentração de 2% era agitada e colocada nos tubos de acrílicos manualmente, de acordo com as alturas de camada de lodo estudadas ($h = 10, 30$ e 50 cm). Com a abertura do registro de globo o desaguamento era iniciado e contabilizado através da balança de forma contínua durante a realização dos ensaios. A tipologia de leito foi escolhida de modo que só houvesse fluxo normal ao plano do geotêxtil estudado. Com a divisão entre a variação da massa em um intervalo de tempo (Δt), dividida pela massa específica da amostra (ρ), obtivemos a vazão média do intervalo Δt analisado. Assim, foram medidas as vazões do drenado em função do tempo, conforme equação 1.

$$Q = \Delta m \cdot \Delta t^{-1} \cdot \rho^{-1} \cdot A^{-1} \quad \text{equação (1)}$$

Ao final do ensaio, o conteúdo desaguado nos baldes (amostra final) eram acondicionados em recipientes plásticos ($V=1\text{L}$) para realização de caracterização no filtrado. As caracterizações realizadas no filtrado foram: cor aparente, turbidez, pH, segundo os métodos preconizados pela APHA/AWWA/WEF (2001). O material que ficou retido sobre o geotêxtil foi pesado e seco em estufa para obtenção de teor de umidade do lodo e massa retida no geotêxtil (M_R). O critério de parada estabelecido para ensaios foi de 72 horas (3 dias). Esses ensaios foram realizados em triplicata para demonstrar a reprodutibilidade do método adotado. Na Figura 2a e 2b tem-se respectivamente o esquema e a fotografia do Sistema de Leito de Drenagem (LD) utilizado, com medição automatizada e aquisição de dados de vazão para desaguamento de lodo de ETA.

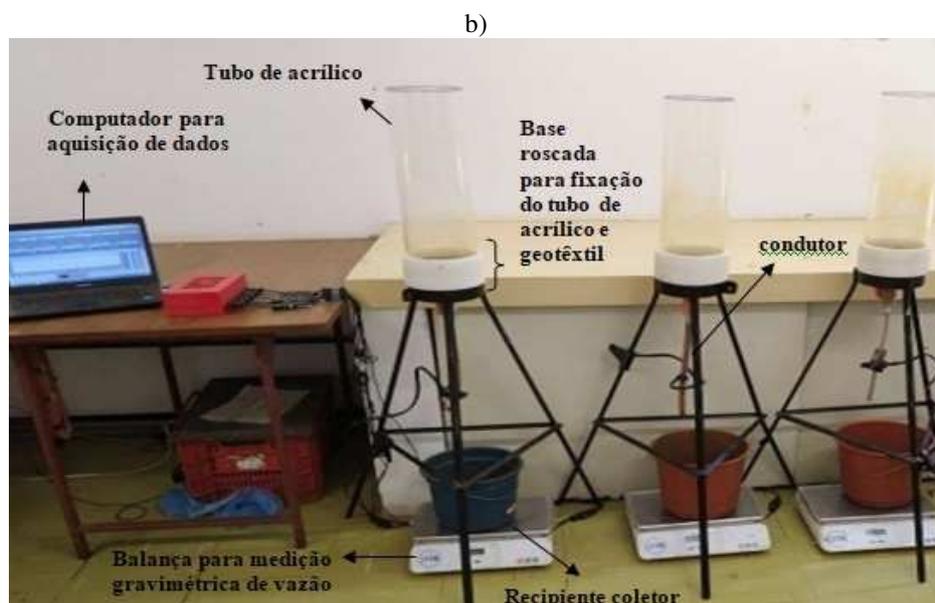
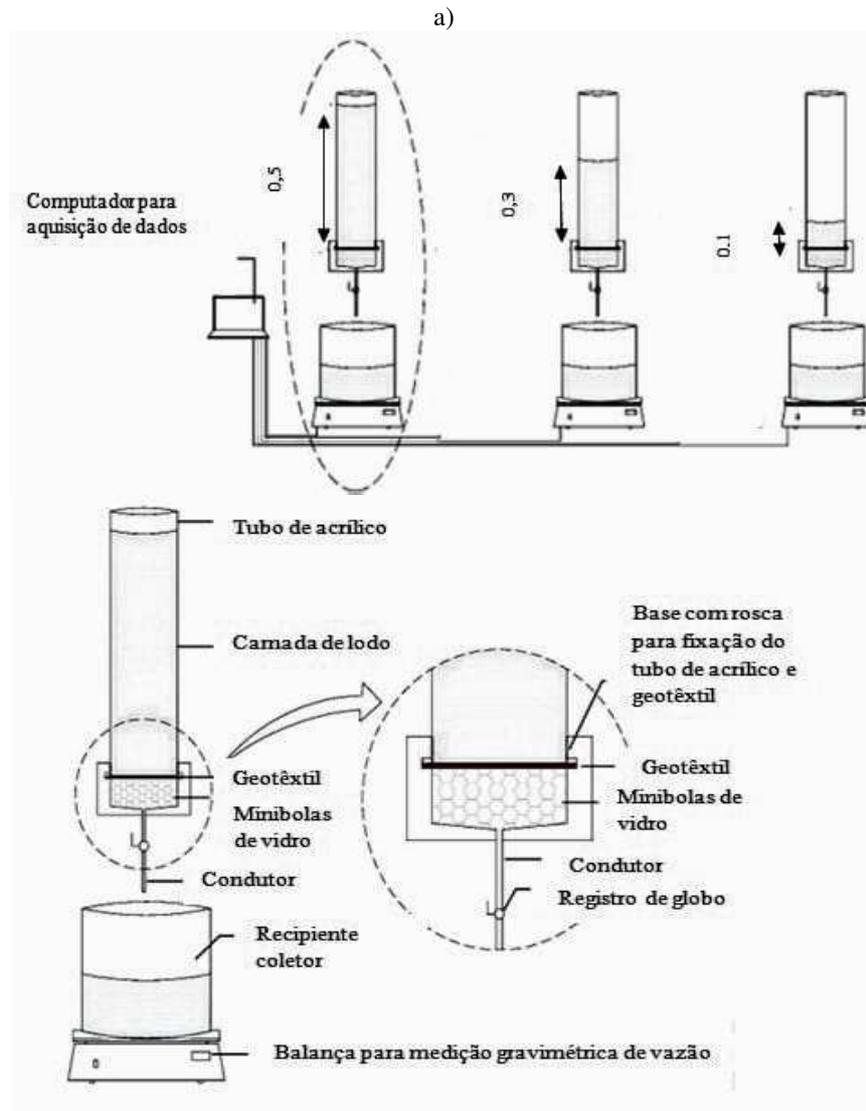


Figura 2: Sistema de LD utilizado a) Esquema de instalação e detalhe do Sistema de desaguoamento de lodo em Leito de Drenagem (LD) e b) Fotografia do sistema. Fonte: autora do trabalho.

RESULTADOS

Caracterização dos geotêxteis

Os resultados dos ensaios de caracterização dos geotêxteis não- tecidos estão dispostos na Tabelas 2. Destaca-se que as amostras de geotêxteis utilizados nos ensaios de desaguamento apresentaram diâmetro de 0,15 m, possuindo dimensões muito maiores que os corpos de prova utilizados para os ensaios de caracterização dos geotêxteis, o que ocasionou pequenas diferenças entre eles, expressas pelo coeficiente de variação (CV). Em relação as propriedades físicas, o GTNT600 apresentou maior uniformidade, já, em relação aos parâmetros hidráulicos o GTNT400 obteve coeficiente de variação menores, mostrando maior uniformidade nos dados. Os geotêxteis não - tecidos avaliados apresentaram coeficientes de variação menor conforme o aumento da massa por unidade de área.

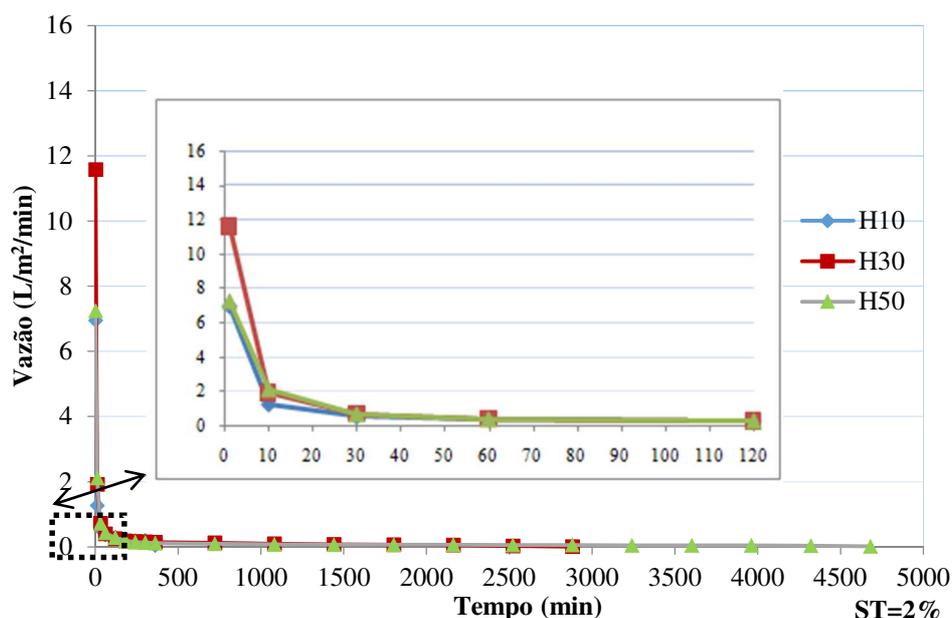
Tabela 2. Características dos geotêxteis não-tecidos utilizados. Fonte: autora do trabalho.

Geotêxtil	Massa por unidade de área média medida (g/m ²)	CV*	Espessura média medida (mm)	CV	Permissividade (ψ) média medida (s ⁻¹)	CV	Permeabilidade (K) média medida (cm/s)	CV
GTNT400	337	8,1%	2,76	6,5%	1,04	5,85%	0,29	8,18%
GTNT600	562	5,7%	3,43	5,9%	0,57	7,38%	0,20	10,66%

*CV= coeficiente de variação (%).

Ensaio de desaguamento

Em relação as vazões, temos vazões iniciais altas para os dois geotêxteis não-tecidos ensaiados (Figura 3 e 4), a qual está relacionada com o início do desaguamento, onde a água foi drenada, ou seja, “passou” pelo geotêxtil mais rapidamente, essa vazão caiu drasticamente logo no início do ensaio (t=10 min) e se estabilizou, independente da carga hidráulica aplicada e geotêxtil, esse fato ocorreu por conta da formação do pré- filtro. O pré- filtro formado acima do geotêxtil, pelo rearranjo das partículas do próprio lodo tornou-se o responsável pela filtração e a partir de sua formação a vazão tornou-se constante até o fim do desaguamento do lodo, conforme consta nas Figuras 3 e 4. Conforme foi observado, os ensaios com h= 50 cm utilizando o GTNT400 não foram finalizados no período estabelecido para este estudo, ou seja, 72 horas. Para este geotêxtil ainda havia material a ser drenado, o que não ocorreu com o GTNT600, que independentemente da altura todo o conteúdo foi drenado.

**Figura 3: Vazão x tempo decorrido GTNT400 - SP triplicata*. Fonte: autora do trabalho.**

*Os ensaios GTNT400 h=50 cm não foram finalizados no período estabelecido na pesquisa (72 horas).

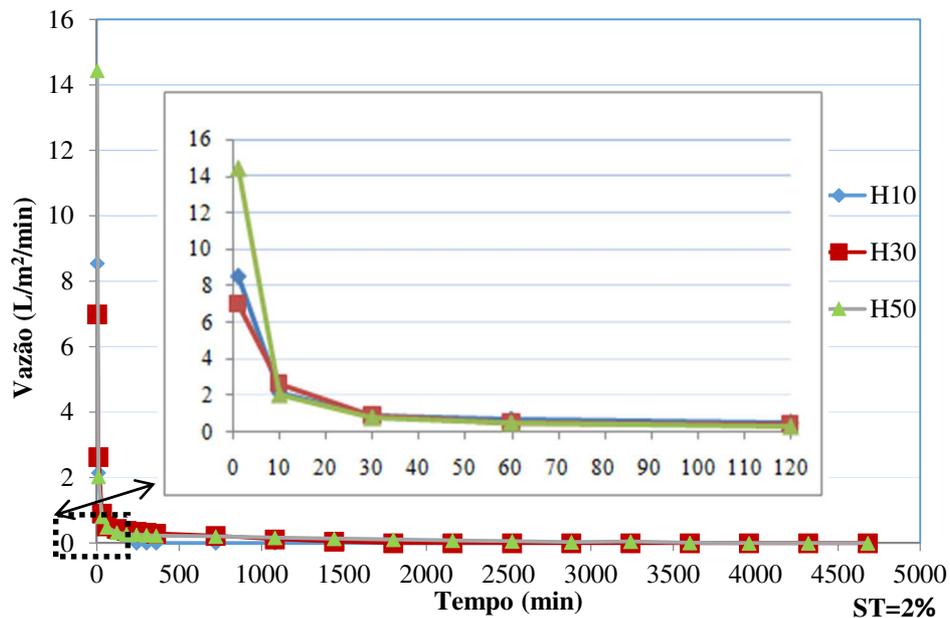


Figura 4: Vazão x tempo decorrido GTNT600 - SP triplicata. Fonte: autora do trabalho.

Em relação à porcentagem de água removida, para o ensaio GTNT400 (Figura 5) houve maior remoção de água com $h=10$ cm, em menor tempo se comparado com as outras alturas. Além disso, com menores cargas hidráulicas ($h=10$ e 30 cm) obteve-se maiores remoções em menor tempo. Para $h=10$ cm, referente ao ensaio GTNT400, este terminou antes com maior remoção de água, apesar de apresentar TAS (taxa de aplicação de sólidos) menor. Comparando os ensaios utilizando o GTNT400 e GTNT600 (Figura 4 e 5), o GTNT400 apresentou maior remoção em menor tempo, já, para o GTNT600 a maior remoção ficou entre $h=10$ cm e $h=50$ cm, com remoção semelhante em menor tempo; observando apenas o volume drenado, sem a interferência do parâmetro de qualidade, os melhores resultados foram com o GTNT600. Em relação ao GTNT600, temos porcentagem removida de 91% em 1440 minutos para $h=50$ cm e para o ensaio GTNT400, $h=10$ cm obteve-se remoção de 88,49%, em 300 minutos.

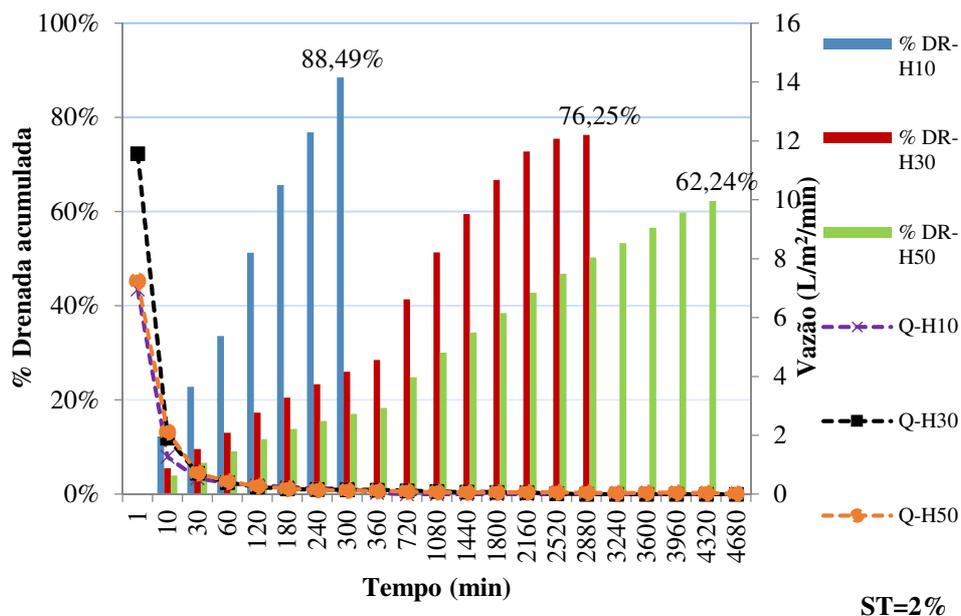


Figura 5: Porcentagem de água livre drenada x taxa de vazão GTNT 400-SP triplicata*. Fonte: autora do trabalho.

*Os ensaios GTNT400 $h=50$ cm não foram finalizados no período estabelecido na pesquisa (72 horas).

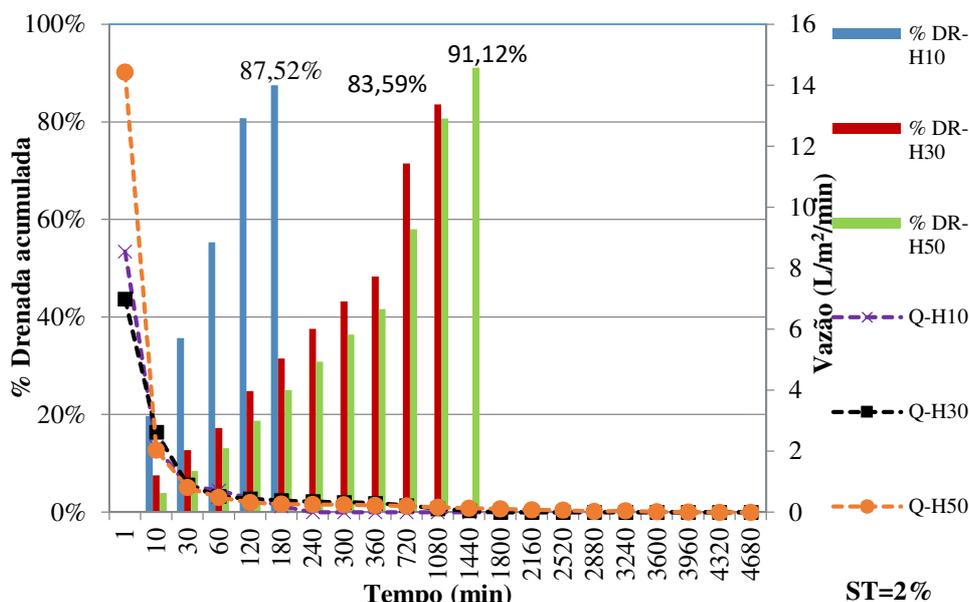


Figura 6: Porcentagem de água livre drenada x taxa de vazão GTNT 600-SP triplicata*. Fonte: autora do trabalho.

Conforme os dados constantes na Tabela 3, o aumento da carga hidráulica pode aumentar a Q_i , mas, isso não garante melhor remoção. A maior remoção observada foi com o ensaio utilizando o GTNT600 com $h = 50$ cm, apresentando % removida de 91,12%.

Tabela 3. Vazão inicial e % removida para os geotêxteis não-tecidos ensaiados. Fonte: autora do trabalho.

Geotêxtil	H (cm)			H (cm)		
	Q_i (L/m ² /min)			% removida		
	T (min)			T (min)		
GTNT400	10	30	50	10	30	50
	6,95	11,57	7,24	88,49	76,25	62,24
	360	2880	> 4680	300	2880	4320
GTNT600	10	30	50	10	30	50
	8,55	6,99	14,43	87,52	83,59	91,12
	180	1440	3960	180	1080	1440

Em relação aos parâmetros de qualidade (Tabela 4), o drenado utilizando o GTNT600 apresentou os menores valores de turbidez, cor, pH, com maior qualidade do líquido drenado comparado com o ensaio utilizando o GTNT400. Destaca-se que o ensaio com o GTNT600 não apresentou material sobrenadante, pois todo o conteúdo foi drenado no tempo estabelecido na pesquisa, já, para o GTNT400 o sobrenadante foi avaliado e apresentou valores semelhantes ao material drenado para este geotêxtil. Resultados semelhantes com o GTNT600 referentes ao melhor comportamento deste geotêxtil, com maior % removida e melhor qualidade do drenado, também, foram encontrados no trabalho de Minatel (2021).

Tabela 4. Parâmetros de qualidade avaliados para os geotêxteis não-tecidos ensaiados. Fonte: autora do trabalho.

Geotêxtil	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
	Massa retida média (%)	Turbidez média (NTU)	pH médio	Cor aparente média (mg Pt/L)
Teor de umidade do lodo médio (%)	Turbidez sobrenadante média (NTU)	pH sobrenadante médio	Cor aparente sobrenadante média (mg Pt/L)	



GTNT400	10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30	50
	95,54	93,34	-	385,00	124,40	66,83	7,50	7,89	7,56	-	354,00	263,00
	86,10	81,89	-	-	-	157,80	-	-	7,49	-	-	306,67
GTNT600	10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30	50
	90,51	87,79	88,16	152,33	36,67	32,30	7,03	7,31	7,32	-	201,33	152,67
	91,73	77,74	75,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-

CONCLUSÕES

Estudos em escala de bancada são essenciais na condução de resultados concretos, além, de servirem como subsídio para a elaboração de projetos de LD em escala real. O LD é uma alternativa promissora para ser aplicado em ETAs de médio e pequeno porte e se for seguido os critérios de projeto de forma correta, pode reduzir o volume de lodo produzido na ETA, além de melhorar a qualidade do líquido drenado, fazendo com que esta água possa ser reutilizada dentro da própria ETA;

A aplicação do LD depende dos parâmetros de projeto estabelecidos, ou seja: qual carga hidráulica utilizar para melhor remoção, qual a velocidade de remoção pretendida entre outros fatores relevantes;

Os resultados dos ensaios de desaguamento utilizando o GTNT400 e GTNT600 demonstraram que:

- Para todas as cargas hidráulicas estudadas quanto menor a taxa de aplicação de sólidos (TAS), menor o tempo de remoção;

Para maiores alturas (cargas hidráulicas) o tempo de remoção da água livre drenada foi maior;

- O GTNT600 (já recomendado para aplicação em LD) promoveu a remoção do lodo, com o aumento da água livre drenada, apresentando melhor comportamento, aliado à maior remoção e melhor qualidade do drenado;

- O aumento da carga hidráulica pode aumentar a Q_i , mas, isso não garante melhor remoção da água livre drenada;

- A aplicação de cargas hidráulicas menores apresentaram maior remoção de água livre drenada;

- À medida que ocorre o aumento da carga hidráulica, há, também, o aumento do tempo de drenagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACHON, C.L.; CORDEIRO, J.S. **Análise Crítica da Implantação de Sistemas Naturais de Remoção de volume de lodo de ETA**. In: XXIX Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental (AIDIS), Anais. San Juan- Porto Rico, cd, IAchon-Brasil-1, 2004.
2. ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. (2008) **Leito de drenagem: sistema natural para redução de volume de lodo de estação de tratamento de água**. 2008. Artigo Técnico - Engenharia Sanitária e Ambiental vol.13 no.1 Rio de Janeiro Jan./Mar.
3. ACHON, C.L.; CORDEIRO, J.S. **Gestão de resíduos dos serviços de saneamento (água e esgoto), a lei 12.305/2010 e os desafios no Brasil**. In: XXXV Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental (AIDIS), 2016, Anais. Bogota, Colombia, cd, I-Achon-Brasil-1, 2016.
4. APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater**. 20.ed. Washington DC, USA, 2001.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos sólidos – classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004a.
6. BARROSO, M. M. **Influência das micro e macropropriedades dos lodos de estação de tratamento de água no desaguamento por leito de drenagem**. 2007. 249f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, São Carlos-SP. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-13062007-073455/pt-br.php>>. Acesso em: 25 out. 2021.
7. BRASIL. Lei Nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Congresso Nacional, Brasília, DF, 2010.
8. CORDEIRO, J.S. **Processamento de lodos de Estações de Tratamento de Água (ETAs)**. In.: ANDREOLI, C.V. et al. Resíduos sólidos do saneamento: Processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: ABES, Projeto PROSAB, 2001.
9. DI BERNARDO, L., DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. Volume I e II, Rima Editora, São Carlos – SP, 2005.



10. DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B; VOLTAN, P. E. N. **Métodos e técnicas de tratamento e disposição dos resíduos gerados em estações de tratamento de água.** Editora LDiBe, São Carlos – SP, 2012. 540 p.
11. FONTANA, A.O. **Sistema de leito de drenagem e sedimentador como solução para redução de volume de lodo de decantadores e reuso de água de lavagem de filtros – estudo de caso – ETA Cardoso.** 161 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos/UFSCar. São Carlos, 2004.
12. LUSTOSA, J.B.; BRACARENSE, D.C.; CASTRO, F. M.S.; QUEIROZ, S.C.B.; SILVA, G. G., **Tratamento e aproveitamento de água de lavagem de filtro em estação de tratamento de água.** In: revista DAE, ed. n. 206. 2017.
13. MINATEL, M. M. **Influência de múltiplos fatores no desaguamento de lodo de ETA em leitos de drenagem.** 2021. 312 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana)- Universidade Federal de São Carlos, 2021.
14. REIS, R.F. **Estudo de Influência de Cobertura Plástica na Remoção de Água de Lodos de Estações de Tratamento de Água em Leitos de Drenagem.** 131p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos/UFSCar. São Carlos, 2011.
15. SANTOS, B. **Avaliação da aplicação do sistema de Leito de Drenagem como tratamento de lodo da estação de tratamento de água Bom Jardim em Uberlândia – MG.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.