

## Artigo Técnico

# Desaguamento do lodo de estações de tratamento de água por leito de drenagem/secagem

*Dewatering of sludge from water treatment plants using drainage/drying bed*

Cristiane Silveira<sup>1</sup>, Emília Kiyomi Kuroda<sup>2</sup>, Camila Hiromi Abe<sup>3</sup>, Leonardo Yoshiaki<sup>3</sup>, Elisa Yoko Hirooka<sup>4</sup>

## RESUMO

## ABSTRACT

Vários estudos têm mostrado a eficiência das técnicas naturais de desaguamento do lodo das estações de tratamento de água no Brasil. O objetivo deste estudo foi avaliar o sistema de desaguamento por leito de drenagem/secagem, com manta geotêxtil dos lodos de decantadores de duas diferentes estações de tratamento de água, em ensaios de laboratório e escala reduzida. Foram considerados os parâmetros técnicos de projeto: densidade da manta; taxa de aplicação dos sólidos; taxa de aplicação volumétrica e secagem em diferentes condições climáticas. Na fase de drenagem, entre 78 a 91% do volume total dos líquidos percolados apresentaram qualidade compatível com o padrão de enquadramento dos corpos de água doce classes I e II, segundo a Resolução 357/05 do Conama. Na fase de secagem, foi possível obter teores de sólidos totais entre 15,9 e 20,3%, cujos valores são da mesma ordem de grandeza que aqueles obtidos por desaguamentos mecânicos, mesmo em condições críticas de secagem.

Several studies have showed the efficiency of natural techniques to dewater the sludge from water treatment plants in Brazil. The objective of this study was to evaluate the dewatering system through drainage/drying with a geotextile blanket using the sludge of decanters from two types of water treatment plants, in laboratory experiments and reduced scale. The following technical parameters of project were considered: density of blanket, application rate of solids, volumetric application rate, and drying in different climate conditions. In the drainage phase, 78 to 91% of the total volume of percolated liquid presented a compatible quality to the standardized limits for freshwater bodies from classes I and II, according to Resolution 357/05 from the National Council of Environment. In the drying phase, it was possible to obtain total solid rates between 15.9 and 20.3%, values of the same magnitude order as those obtained by mechanical drainages, even in critical drying conditions.

**Palavras-chave:** lodos dos decantadores de estações de tratamento de água; drenagem; secagem; condições climáticas.

**Keywords:** sludge from decanters of water treatment plant; drainage; drying; climate conditions.

## INTRODUÇÃO

Nas estações de tratamento de água (ETAs) que adotam o tratamento de água por ciclo completo, os resíduos são gerados, principalmente, nas unidades de sedimentação e filtração e são chamados de lodos de decantadores e águas de lavagem dos filtros. Os lodos de decantadores caracterizam-se por possuírem teor dos sólidos de até 5% (ACHON; SOARES; MEGDA, 2005). No entanto, a norma brasileira regulamentadora (NBR) 10.004 (ABNT, 2009) classifica-os como resíduos sólidos, não sendo permitido seu lançamento *in natura* no meio ambiente.

Segundo Di Bernardo, Dantas e Voltan (2012), o desaguamento dos lodos de ETAs tem como objetivo aumentar o teor de sólidos totais do lodo, com uma consequente redução do volume de lodo a ser disposto.

Essa separação sólido-líquido pode ser realizada por meio de sistemas mecanizados, tais como centrifugas, filtro-prensa, prensa desaguadora, entre outros, ou naturais, como lagoas de lodo, leitos de drenagem/secagem tradicionais ou com tecido especial (geotêxtil). Achon, Barroso e Cordeiro (2005) mencionam que o Brasil reúne condições favoráveis de espaço e recursos naturais, os quais, quando aliados, ao baixo custo de instalação e operação, indicam uma potencial vantagem na adoção de sistemas naturais para o tratamento dos resíduos de ETAs, em especial os leitos de drenagem/secagem.

Vários estudos sobre leitos de drenagem/secagem com o uso de mantas geotêxteis foram realizados por Cordeiro (2001), Achon e Cordeiro (2003), Fontana (2004), Barroso (2007), Oliveira (2010) e Kuroda *et al.* (2013),

<sup>1</sup>Mestranda em Engenharia de Edificações e Saneamento pela Universidade Estadual de Londrina (UEL). Tecnóloga em Gerenciamento Ambiental - Londrina (PR), Brasil.

<sup>2</sup>Pós-doutora pela Meijo University - Nagoya, Japão. Professora do Departamento de Construção Civil do Centro de Tecnologia e Urbanismo da UEL e Programa de Pós-graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento - Londrina (PR), Brasil.

<sup>3</sup>Alunos de Graduação em Engenharia Civil na UEL - Londrina (PR), Brasil.

<sup>4</sup>Pós-doutora pela Meijo University Japão. Professora do Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos da UEL - Londrina (PR), Brasil.

**Endereço para correspondência:** Cristiane Silveira - Rua Jerusalém, 99, apto. 601, bloco 2 - 86047-500 - Londrina (PA), Brasil - E-mail: cristiane.silveira@kroton.com.br

**Recebido:** 12/02/2012 - **Aceito:** 27/03/2015 - **Reg. ABES:** 82264

com resultados promissores no processo de desaguamento dos lodos de ETAs, o que requer estudos adicionais sobre a técnica.

Dentro desse contexto, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar o sistema de desaguamento de dois lodos dos decantadores de ETAs em leitos de drenagem/secagem, com o uso de manta geotêxtil e ensaios de laboratório em escala reduzida, considerando os aspectos técnicos do projeto:

- Concepção física: densidade da manta geotêxtil, taxa de aplicação dos sólidos (TAS) e taxa de aplicação volumétrica (TAV);
- Condições operacionais: duração da fase de drenagem dos lodos e de secagem da torta de lodo retida sob diferentes condições climáticas e expositivas;
- Desempenho: caracterizações qualitativa e quantitativa dos lodos afluentes ao sistema de desaguamento e das águas drenadas ao longo do tempo e verificação da influência das condições climáticas durante a secagem das tortas de lodo.

## METODOLOGIA

### Lodos de estudo

Foram utilizados os lodos de decantadores, tipo A, provenientes da ETA Cafezal, que trata água de manancial com características predominantemente inorgânicas e utiliza o cloreto férrico como coagulante químico, e os de tipo B, advindos da ETA Tibagi, a qual trata água de manancial com características predominantemente orgânicas e utiliza o hidróxi-cloreto de polialumínio como coagulante químico. Ambas as ETAs estão localizadas na cidade de Londrina, no Estado do Paraná.

### Unidade de desaguamento e parâmetros técnicos do projeto

As unidades de drenagem/secagem em escala reduzida foram compostas por um recipiente plástico com capacidade total de 30 L, uma manta geotêxtil, uma grelha plástica para o suporte da manta e um dispositivo de fundo cônico para coleta do drenado, como mostra a Figura 1.

Foram utilizadas manta geotêxtil de  $600 \text{ g.m}^{-2}$  (com base nos dados de Kuroda *et al.* (2014), Kuroda *et al.* (2013) e Cordeiro (2001)) e TAS de  $7,5 \text{ kg.m}^{-2}$ . Esta refere-se à quantidade de sólidos em kg, aplicados em  $1 \text{ m}^2$  de área do leito de drenagem/secagem. A TAS de  $7,5 \text{ kg.m}^{-2}$  foi definida em função do tempo de drenagem requerido até a extinção da lâmina líquida, limitado a dois dias, após a realização de ensaios preliminares com valores de TAS de 5,0; 7,5 e  $10 \text{ kg.m}^{-2}$ .

Na Tabela 1, são apresentados a TAV, os volumes e as vazões empregadas, resultantes do cálculo realizado em função dos teores de sólidos totais (ST) dos lodos e da TAS preestabelecida. A TAV refere-se à vazão de líquido (lodo) aplicado em  $1 \text{ m}^2$  da área do leito.

Cada ensaio de desaguamento foi dividido em duas fases distintas e consecutivas: drenagem (até a extinção da lâmina líquida) e secagem, com duração total entre 7 e 15 dias, visando atender uma condição de demanda operacional crítica, passível de aplicação em ETAs de pequeno porte. Durante a fase de drenagem, toda a água drenada foi coletada em frascos de 500 mL, e à medida que eles eram preenchidos, os tempos de coleta eram registrados e as amostras acondicionadas sob refrigeração para posterior análise.

### Amostragem e análises

A fim de avaliar o impacto da carga de poluição/contaminação gerada pelo lançamento dos lodos drenados em corpos hídricos receptores e considerando o lançamento direto da totalidade do volume drenado, foi constituída uma amostra composta de água drenada (ACD IV), utilizando-se os volumes fixos de todas as amostras coletadas ao longo do tempo na fase de drenagem.

Complementarmente, foram constituídas amostras compostas de lodos drenados, considerando a implantação de um sistema de separação do drenado produzido mediante o controle de qualidade. Em função da facilidade de análise, do curto tempo de resposta e da boa correlação com o teor de ST, o parâmetro para o controle de eficiência e qualidade utilizado neste trabalho foi a turbidez. Para sistematizar os resultados em relação à qualidade do lodo drenado, foram estabelecidas duas condições de enquadramento (I e II) e uma de reaproveitamento (III):

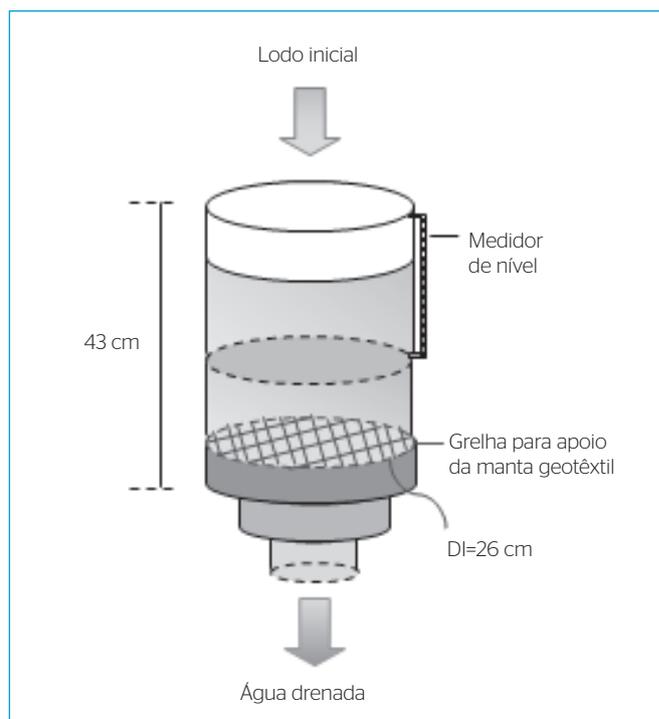


Figura 1 - Esquema da unidade de desaguamento em escala reduzida.

- Condição I: águas drenadas com valores de turbidez inferiores a 40 uT, compatíveis com corpos de água doce classe I, segundo a Resolução 357/05 do Conama;
- Condição II: águas drenadas com valores de turbidez inferiores a 100 uT, compatíveis com corpos de água doce classe II, segundo a Resolução 357/05 do Conama, que é a classificação da maioria dos corpos hídricos receptores da região;
- Condição III: águas drenadas com valores de turbidez inferiores a 10 uT, visando o reaproveitamento da água drenada no sistema de produção de água da própria ETA.

Assim, foram constituídas amostras compostas dos líquidos percolados (ACD), considerando cada condição (ACD I, II e III), isto é, utilizando-se volumes fixos (50 mL) de todas as amostras coletadas com valores de turbidez inferiores a 40; 100 e 10 uT, respectivamente. Os lodos iniciais tipos A e B e as ACD I, II, III e IV foram caracterizados quanto aos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos seguindo os procedimentos da APHA, AWWA e WEF (2005) com adaptações, apresentados na Tabela 2.

Na fase de secagem, a avaliação do teor de sólidos da torta de lodo retido foi realizada em diferentes condições climáticas de verão e inverno e exposições controlada e natural, sem proteção à ação de intempéries.

As temperaturas e umidades relativas do ar fixadas nas condições controladas de verão e inverno foram estabelecidas conforme o estudo de Barbosa (1997), que realizou um levantamento das características climáticas da cidade de Londrina, baseando-se em dados do período de 1979 a 1990. Segundo Barbosa (1997), a temperatura média anual em Londrina foi de 20,7°C, sendo fevereiro o mês mais quente com temperatura média de 24°C, e junho e julho, os mais frios, com temperatura média de 16°C. A umidade relativa média foi de 73%, chegando a 77% em fevereiro e 67% em agosto.

Desse modo, foram definidas as condições climáticas de verão e inverno e a exposição controlada discriminadas a seguir:

- Condição controlada de verão: temperatura de 30°C e umidade relativa de 80%;
- Condição controlada de inverno: temperatura de 15°C e umidade relativa de 60%.

Para as simulações das condições climáticas de exposição controladas, utilizou-se uma câmara climática (Figura 2) com controle de

temperatura e umidade, que foi gentilmente cedida por uma empresa fabricante de equipamentos de laboratório. Para avaliar as limitações dos ensaios da fase de secagem das tortas de lodo sob condições controladas, estes foram também reproduzidos para as condições naturais de verão e inverno, não sendo protegidas da ação de intempéries (Figura 3).

Com o intuito de monitorar as temperaturas e umidades diárias durante a fase de secagem, utilizou-se um sensor (Data Logger) programado para registrar a temperatura e a umidade real do ambiente a cada hora.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização dos lodos de estudo

A Tabela 3 contém os resultados das caracterizações física, química e microbiológica dos lodos de estudo coletados em abril e os valores limites máximos permitidos para cada parâmetro analisado, em corpos de água doce classes I e II. Pode-se verificar que os lodos tipos A e B apresentaram diferenças em suas características, o que pode ser justificado, principalmente, pelas propriedades do coagulante e pelas características da água bruta utilizada nas duas ETAs.

A Resolução 357/05 do Conama dispõe sobre a classificação dos corpos de água e, no capítulo III, estabelece as condições para enquadramento baseado na qualidade das águas. Observou-se que os parâmetros analisados nos lodos em estudo estavam acima do limite aceitável pela

**Tabela 2** - Parâmetros de desempenho e métodos analíticos/equipamentos utilizados nos experimentos.

Parâmetros	Métodos
Turbidez (uT)	Nefelométrico - 2.130 B
Cor aparente (uH)	Espectrofotométrico - 2.120 C
Cor verdadeira (uH)	Espectrofotométrico - 2.120 C Filtrado em membrana com porosidade média de 0,45 µm
Demanda bioquímica de oxigênio - DBO <sub>5d,20°C</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	Teste DBO 5 dias a 20°C - 5.210 B
Demanda química de oxigênio - DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Refluxo fechado - 5.220 D
Série de sólidos (mg.L <sup>-1</sup> )	Sólidos secos a 103-105°C; sólidos voláteis incinerados a 550°C - 2.540
Coliformes totais e <i>E. Coli</i> (NMP100 mL <sup>-1</sup> )	Substrato cromogênico/colilert - 9.223 B

**Tabela 1** - Parâmetros do projeto aplicados nos ensaios de desaguamento.

Lodo	Teor de ST (%)	Gramatura (g.m <sup>-2</sup> )	Abertura aparente (mm)	Permissividade (s <sup>-1</sup> )	TAS (kg.m <sup>-2</sup> )	TAV (m <sup>3</sup> .m <sup>-2</sup> .d <sup>-1</sup> )	Volume de lodo aplicado (L)	Vazão de aplicação (mL.min <sup>-1</sup> )
Tipo A	1,5	600	0,125	0,8	7,5	15	26,5	550
Tipo B	1,6	600	0,125	0,8	7,5	15	24,8	550

Teor de ST: Teor de sólidos; Tas: Taxa de aplicação de sólidos; TAV: Taxa de aplicação volumétrica

legislação. Portanto, sem dúvidas, o lançamento desses lodos *in natura* em corpos de água doce classes I e II, com as características apresentadas, acarretaria impactos negativos ao corpo receptor, especialmente em relação à turbidez, aos sólidos dissolvidos totais, à demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e à contagem de *E. Coli.*, o que comprova a necessidade de tratamento prévio ao descarte no corpo hídrico.

## Ensaio de desaguamento

### Fase de drenagem

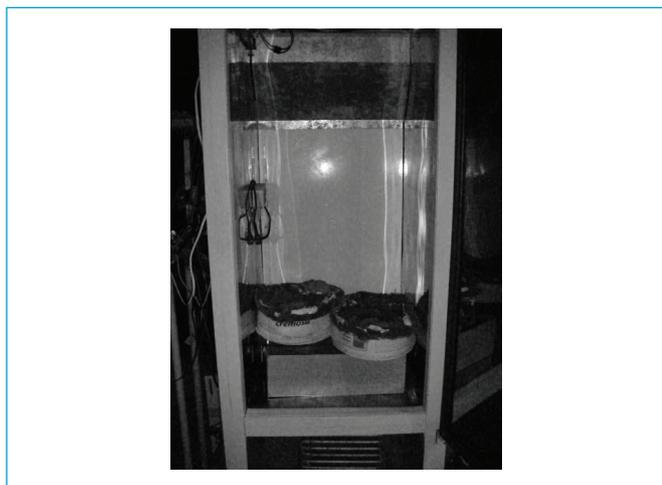
A Tabela 4 mostra as porcentagens de volume dos líquidos percolados tipos A e B que atenderam a cada condição estabelecida, em relação ao volume total de lodo drenado após o ensaio de desaguamento.

A Figura 4 apresenta o gráfico típico dos resultados da fase de drenagem dos lodos tipos A e B. Como pôde ser observado, o tempo

requerido para extinção da lâmina líquida foi de 41 e 43 horas para os lodos tipos A e B, respectivamente. A redução do volume total de lodo aplicado foi da ordem de 94% para ambos os lodos.

Barroso (2007) e Achon, Barroso e Cordeiro (2005) avaliaram o desaguamento em leitos de drenagem/secagem, com manta geotêxtil (600 g.m<sup>-2</sup>) dos lodos de sulfato de alumínio e de hidróxicloreto de polialumínio (PAC). Os tempos necessários para extinção da lâmina líquida, encontrados pelos autores, foram da ordem de seis horas para o lodo de sulfato de alumínio e uma hora para o de PAC. Entretanto, as TAS e os volumes de lodo aplicados por Barroso (2007) e Achon, Barroso e Cordeiro (2005) foram significativamente inferiores aos aplicados neste estudo, justificando, assim, as diferenças entre os tempos de drenagem.

As Figuras 5 e 6 mostram os resultados referentes às análises de turbidez, cor verdadeira, sólidos dissolvidos totais, DBO, demanda química



**Figura 2** - Foto da câmara climática utilizada nas simulações das condições climáticas de exposição controladas.



**Figura 3** - Foto da exposição natural sem proteção à ação de intempéries.

**Tabela 3** - Características dos lodos de estudo e valores limites máximos permitidos para cada parâmetro em corpos de água classes I e II, segundo a Resolução 357/05 do Conama.

Parâmetro	Lodos de estudo		Valores limites máximos	
	Lodo tipo A	Lodo tipo B	Classe I	Classe II
Turbidez (uT)	20.000	18.000	100	40
Cor aparente (uH)	63.460	55.117	--	--
Cor verdadeira (uH)	75,8	50,6	Cor natural	75
ST (mg.L <sup>-1</sup> )	15.658	16.920	--	--
SDT (mg.L <sup>-1</sup> )	4.318	3.312	500	500
DBO <sub>5d</sub> 20°C (mg.L <sup>-1</sup> )	77,3	49,8	3	5
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	1.587,9	2.781,6	300*	125*
Coliformes totais (NMP/100 mL)	4,5 E+05	3,5 E+05	--	--
<i>E. Coli</i> (NMP/100 mL)	776	6.510	200	1.000

\*Legislação Estadual CEMA 0070 (2009) do Instituto Ambiental do Paraná (IAP).

ST: Sólidos Totais; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais; DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; DQO: Demanda Química de Oxigênio; *E. Coli*: *Escherichia Coli*.

de oxigênio (DQO), coliformes totais e contagem de *E. Coli* dos lodos iniciais e das ACD I, II, III e IV dos lodos tipos A e B, respectivamente.

Comparando-se os resultados obtidos na caracterização das ACDs (Figuras 5 e 6) com os limites estabelecidos pela Resolução 357/2005 do Conama (Tabela 3), pode-se observar que, com exceção da ACD IV, as ACD I e II dos lodos tipos A e B obtiveram valores compatíveis com os limites máximos permitidos em corpos de água doce classes I e II. Por outro lado, deve-se considerar que as condições de referência estabelecidas neste trabalho estão relacionadas aos aspectos de enquadramento do corpo de água doce e não ao de lançamento de efluentes. Assim, a análise dos resultados de qualidade do lodo drenado com relação às condições estabelecidas constitui uma situação desfavorável de atendimento, uma vez que o fator de diluição não foi considerado nas análises comparativas.

**Tabela 4** - Porcentagens do volume de drenado que atenderam cada condição nos ensaios de desaguamento.

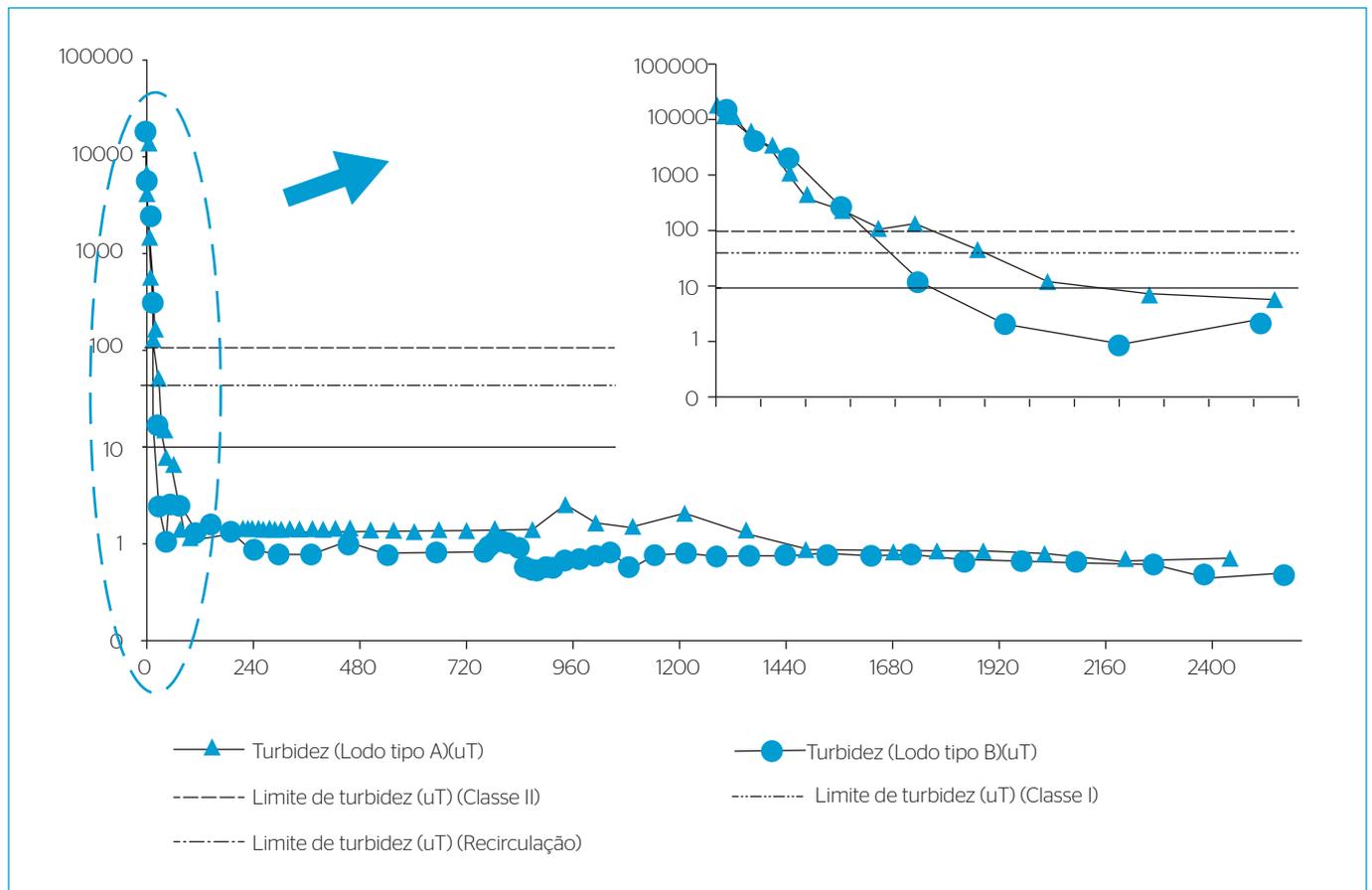
Lodo	Condição I ( $\leq 40$ uT)	Condição II ( $\leq 100$ uT)	Condição III ( $\leq 10$ uT)
Tipo A	78%	80%	76%
Tipo B	91%	91%	89%

Os resultados qualitativos da amostra ACD III também sinalizam para a possibilidade de atendimento à condição de reaproveitamento do lodo drenado no sistema de produção de água da própria ETA. Desse modo, pode-se notar que o controle sistemático da disposição adequada do lodo drenado requer a implantação de um sistema *on-line* de separação do drenado produzido, sendo que a turbidez mostrou ser um parâmetro físico, apesar de indireto, eficaz no controle de qualidade e de simples aplicação.

### Fase de secagem

O método operacional do sistema proposto pressupõe que a duração total das fases de drenagem e secagem varie entre 7 e 15 dias, visando atender a uma condição de demanda operacional crítica, passível de aplicação em ETAs de pequeno porte. Portanto, como a fase de drenagem dos lodos tipos A e B teve duração de aproximadamente dois dias (41 e 43 horas), a duração da fase de secagem foi limitada entre 5 e 13 dias.

Os teores dos ST iniciais nas tortas de lodo tipos A e B utilizadas durante a secagem na condição controlada de verão foram de 15,3 e 14,1%, respectivamente. Nas tortas de lodo utilizadas durante a secagem na condição natural de verão, os teores de sólidos foram de 15,7% no lodo tipo A e de 13,9% no B. Os teores de ST nas tortas de lodo



**Figura 4** - Resultados da fase de drenagem típica para os lodos tipos A e B.

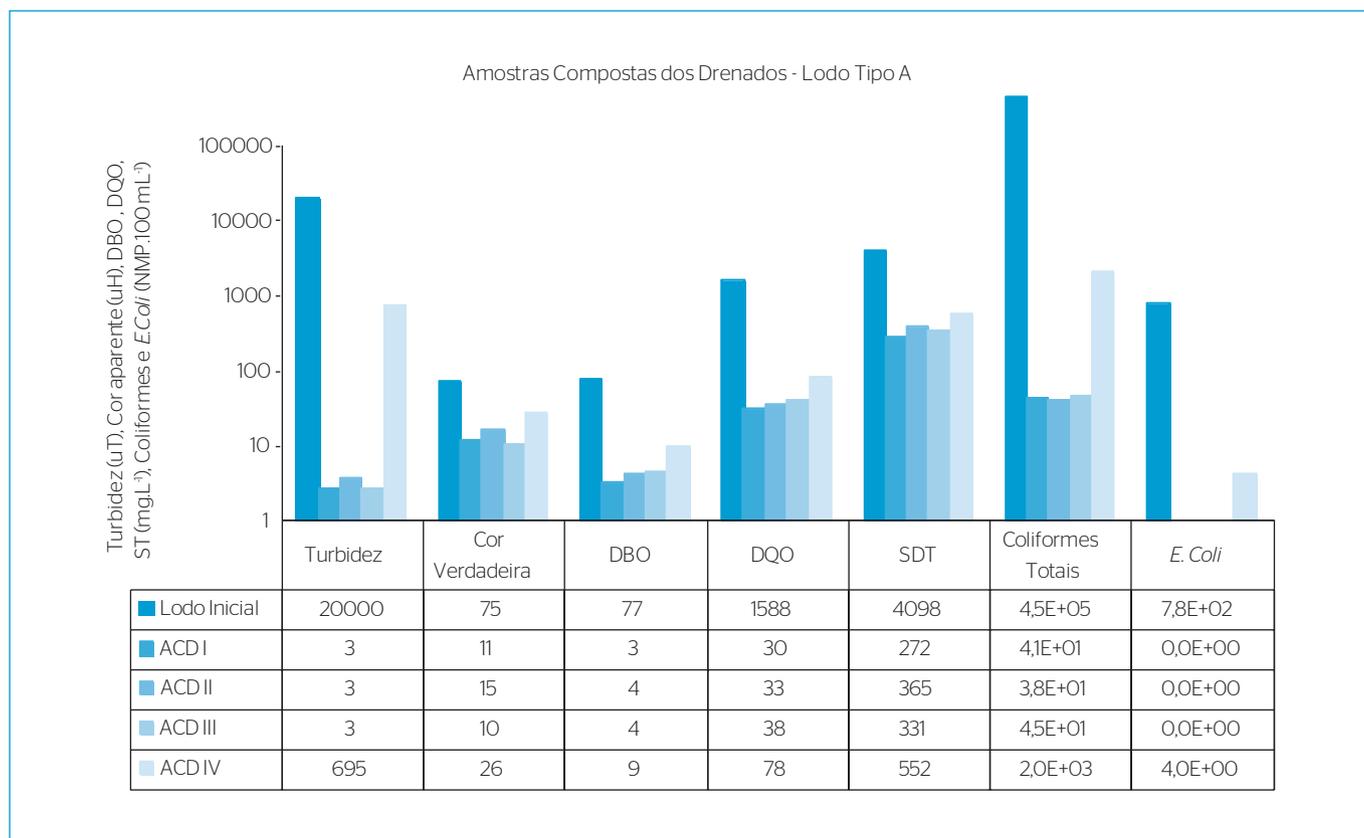


Figura 5 - Resultados da caracterização do lodo tipo A e amostras compostas dos drenados.

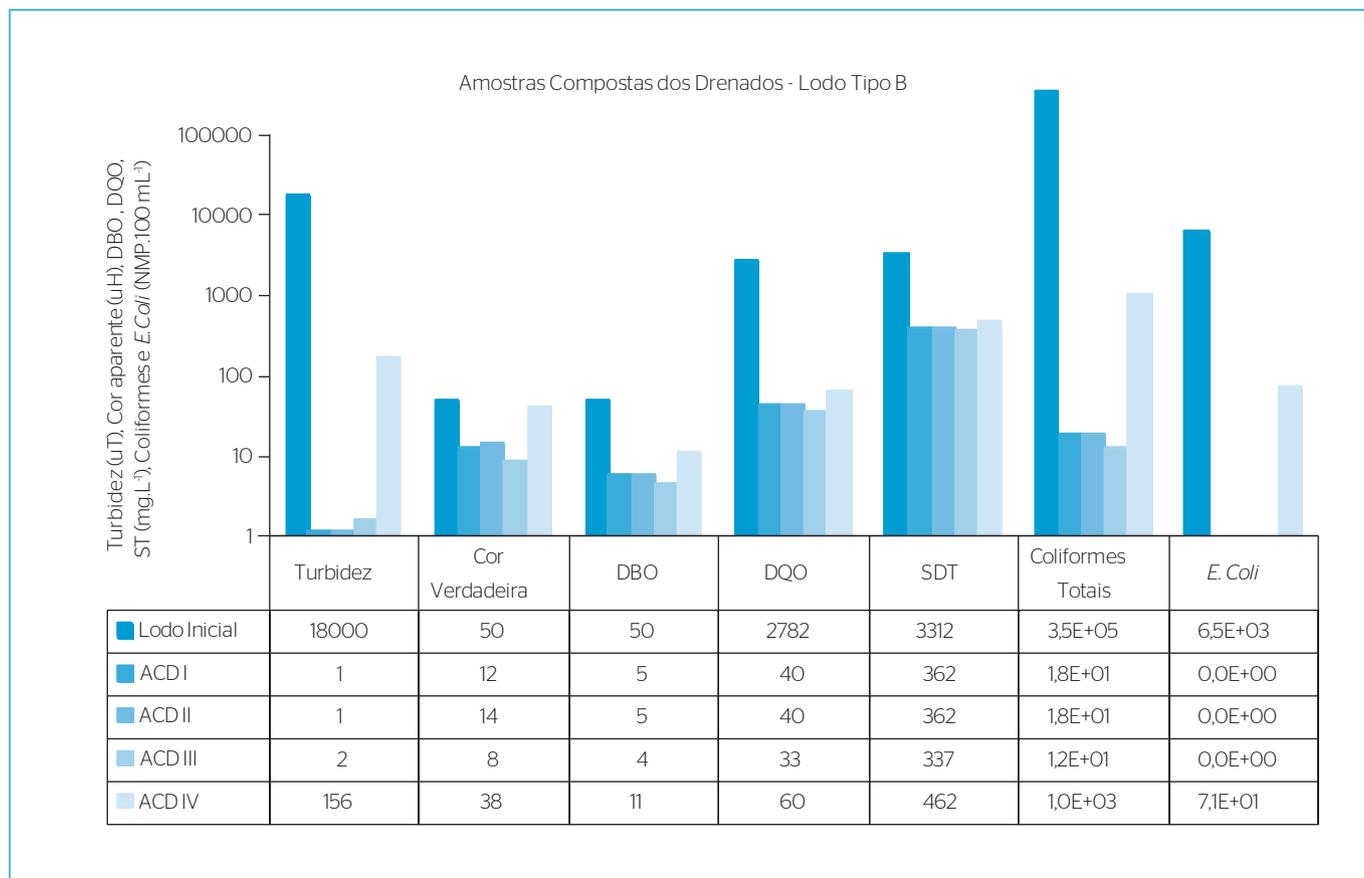


Figura 6 - Resultados da caracterização do lodo tipo B e amostras compostas dos drenados.

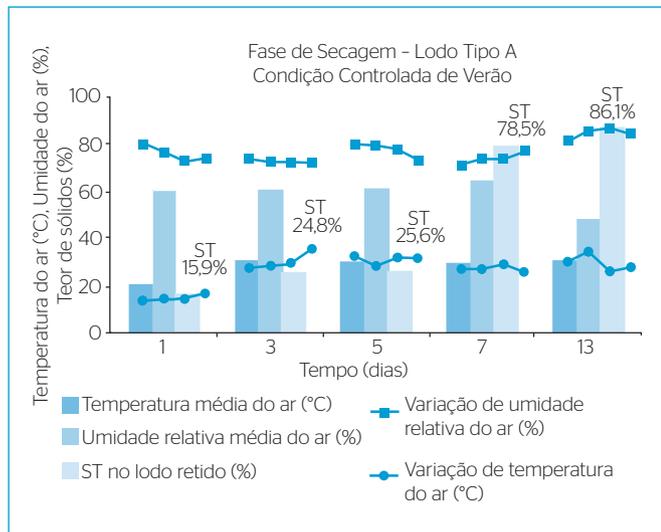
tipos A e B empregadas durante a secagem na condição controlada de inverno foram de 14,8 e 14,1%, respectivamente. Nas tortas de lodo aplicadas durante a secagem na condição natural de inverno, os teores de sólidos foram 12,9% no lodo tipo A e 11,2% no B. As Figuras 7 a 14 demonstram os resultados do monitoramento da fase de secagem obtidos nas simulações das condições controlada e natural de verão (Figuras 7 a 10) e inverno (Figuras 11 a 14) para os lodos tipos A e B.

Na Tabela 5 são apresentadas, resumidamente, as temperaturas e umidades relativas médias após 5 e 13 dias de secagem para as condições controladas e naturais de verão e inverno, com seus respectivos teores de ST obtidos para os lodos tipos A e B.

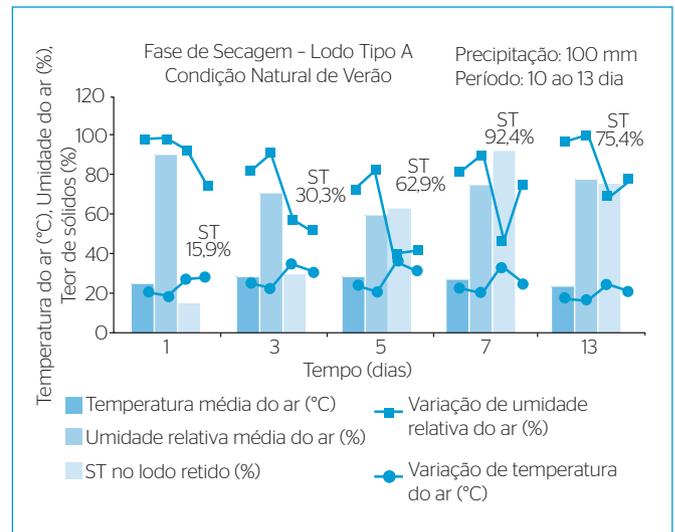
Em relação à secagem de verão, pôde-se constatar que, após cinco dias em exposição natural, os lodos retidos tipos A e B apresentaram

teores de ST de 62,9 e 43,2%, respectivamente, com características compatíveis para o seu manejo e a disposição final, uma vez que este pôde ser retirado da manta com relativa facilidade, possibilitando, assim, a finalização do desaguamento do lodo em sete dias. Em exposição controlada, os teores de ST resultaram em 35,6 e 23,5% para os lodos tipos A e B, respectivamente, valores inferiores aos obtidos na condição natural.

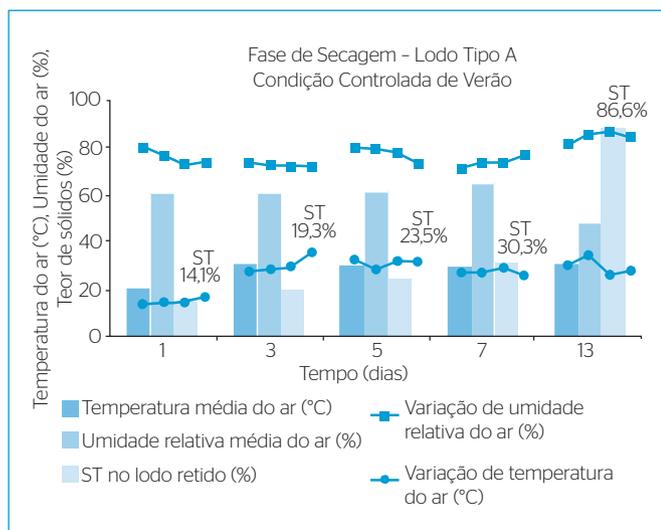
As diferenças observadas nos teores de ST das condições controladas e naturais de verão mostraram que, além da temperatura e umidade do ar, outros fatores climáticos e físicos presentes na condição natural, como ventilação e radiação solar, por exemplo, contribuíram de forma significativa para a secagem do lodo, já que na condição controlada, apesar das variações de temperatura e umidade



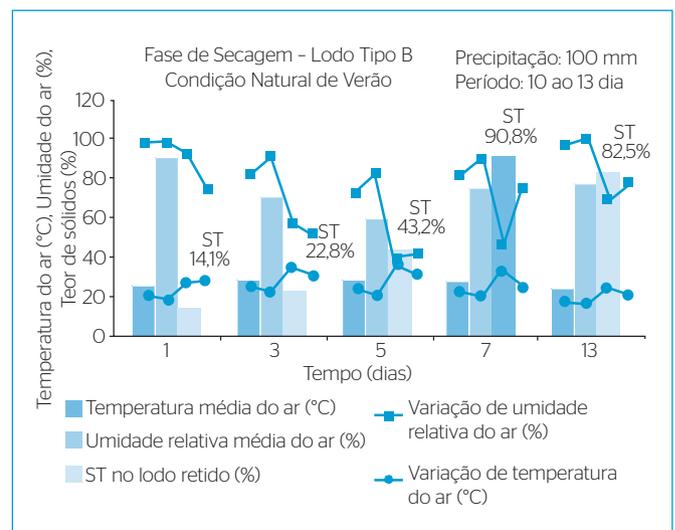
**Figura 7 - Resultados da fase de secagem para o lodo tipo A na condição controlada de verão.**



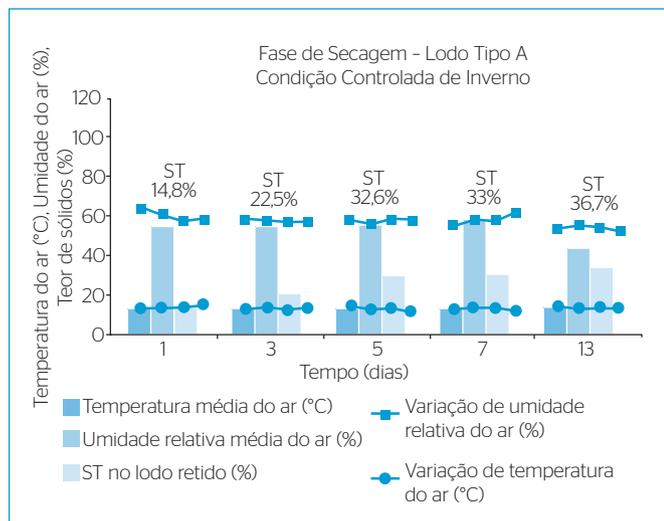
**Figura 9 - Resultados da fase de secagem para o lodo tipo A na condição natural de verão.**



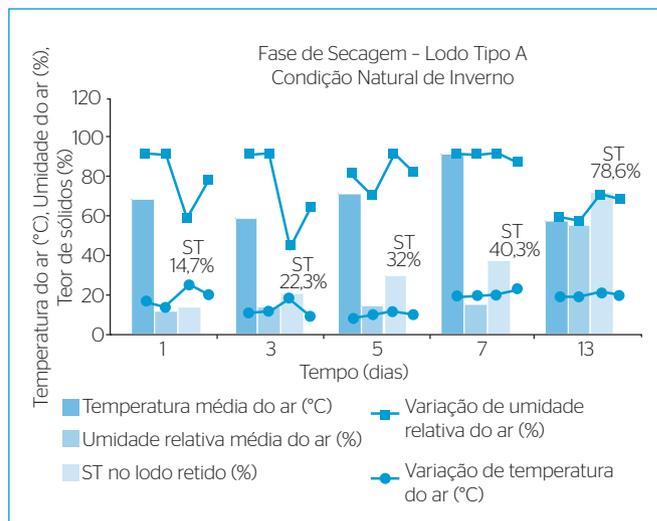
**Figura 8 - Resultados da fase de secagem para o lodo tipo B na condição controlada de verão.**



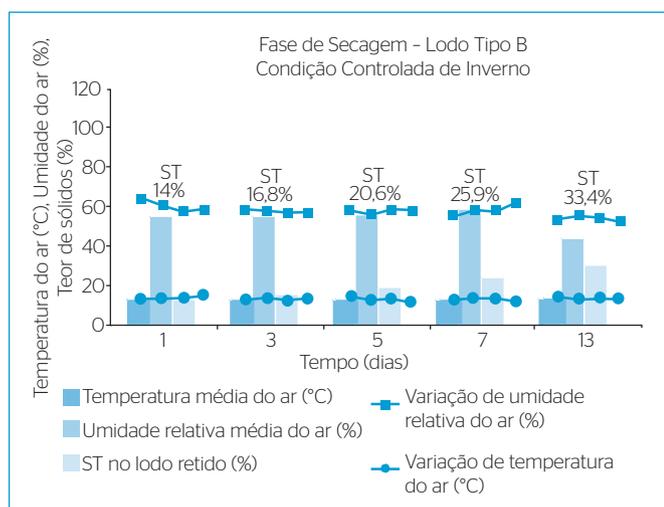
**Figura 10 - Resultados da fase de secagem para o lodo tipo B na condição natural de verão.**



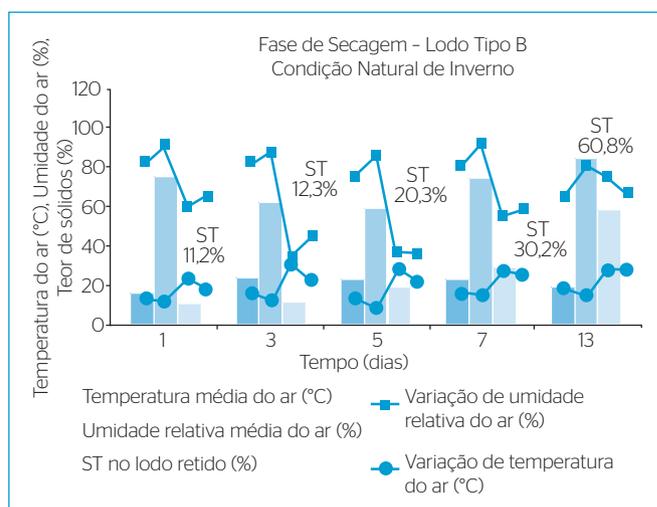
**Figura 11** - Resultados da fase de secagem para o lodo tipo A na condição controlada de inverno.



**Figura 13** - Resultados da fase de secagem para o lodo tipo A na condição natural de inverno.



**Figura 12** - Resultados da fase de secagem para o lodo tipo B na condição controlada de inverno.



**Figura 14** - Resultados da fase de secagem para o lodo tipo B na condição natural de inverno.

**Tabela 5** - Resultados da fase de secagem nas condições controladas e naturais de verão e inverno dos lodos tipos A e B.

Condições	Lodo Tipo A					
	5º dia			13º dia		
	T <sub>média</sub> (°C)	UR <sub>média</sub> (%)	ST (%)	T <sub>média</sub> (°C)	UR <sub>média</sub> (%)	ST (%)
Verão						
Controlada	26,5±5,6	79,4±2,6	35,6	28±3,6	79,8±1,6	86,1
Natural	27,3±2,1	73,7±15,4	62,9	25,9±3,6	75,9±12,8	75,4
Inverno						
Controlada	14,1±0,2	60±0,05	32,6	14,3±0,2	61,3±7,3	36,2
Natural	18,2±0,9	72±7,3	15,9	19,8±3,6	79,5±13,0	60,2
Condições	Lodo Tipo B					
	5º dia			13º dia		
	T <sub>média</sub> (°C)	UR <sub>média</sub> (%)	ST (%)	T <sub>média</sub> (°C)	UR <sub>média</sub> (%)	ST (%)
Verão						
Controlada	26,47±5,6	79,4±2,6	23,5	28±3,6	79,8±1,6	86,8
Natural	27,3±2,0	73,7±15,4	43,2	25,9±3,6	75,9±12,8	82,5
Inverno						
Controlada	14,1±0,2	60±0,05	20,6	14,3±0,2	61,3±7,3	33,4
Natural	22,3±4,4	69,1±9,1	20,3	24,8±5	69,4±13,4	60,8

serem menores ao longo de 24 horas — condição que favorece à secagem —, os teores de ST resultaram significativamente inferiores aos obtidos na condição natural.

No 10º ao 13º dia de secagem na condição natural de verão, houve a ocorrência de precipitação (100 mm), com conseqüente redução da temperatura e aumento da umidade relativa do ar. Essa mudança proporcionou a redução no teor de sólidos nos lodos, ocasionada principalmente pela incorporação da água da chuva nas tortas expostas, chegando a valores da ordem de 73% para o lodo tipo A e 76% para o B, sem, no entanto, prejudicar seu manejo e disposição final.

A exposição à condição natural de inverno após cinco dias resultou em teores de ST de 15,9 e 20,3% para os lodos tipos A e B, respectivamente. Valores inferiores aos obtidos nas condições de verão, mesmo para as tortas submetidas à exposição natural, indicam que, nessa estação, os efeitos de fatores climáticos e físicos são minimizados, podendo, em algumas situações, requerer um tempo superior a cinco dias para a secagem adequada. Por outro lado, os valores de ST obtidos podem ser considerados relativamente satisfatórios, uma vez que Mendes (2001), ao final do desaguamento mecânico em filtro prensa, obteve valores de teor de ST que variaram de 21 a 32%.

Fontana (2004) relatou que a ocorrência de precipitação antes da “abertura” da massa de lodo é potencialmente prejudicial na secagem do lodo, um fenômeno que pode ser observado na secagem da torta de lodo tipo A durante a exposição na condição natural de

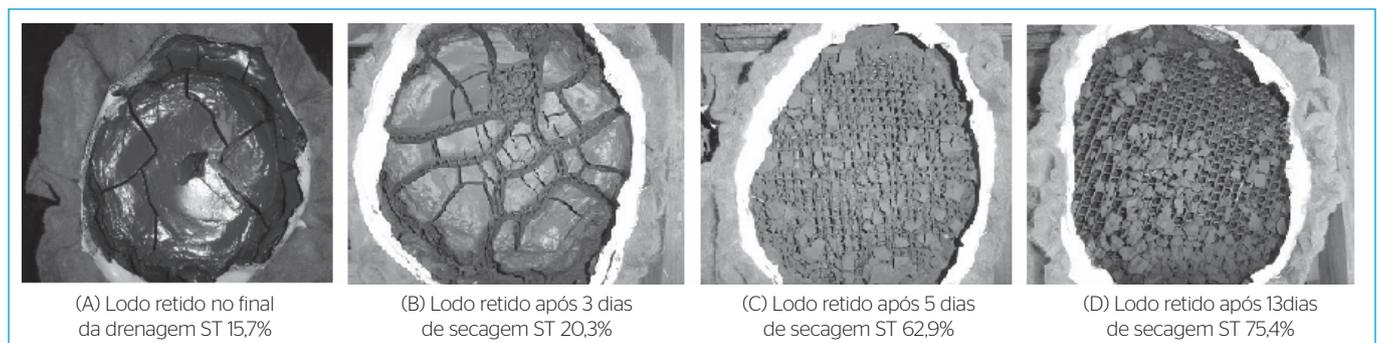
inverno, uma vez que entre o sexto e oitavo dia houve precipitação de aproximadamente 30 mm, o que desfavoreceu o processo de secagem em tal período.

As Figuras 15 e 16 mostram fotos das tortas de lodos tipos A e B retidos nas mantas lodo após a fase de drenagem e após 3, 5 e 13 dias de secagem em condição natural de verão, sendo possível observar uma considerável redução do volume de lodo após cinco dias de secagem e um desprendimento natural do lodo retido para posterior disposição adequada.

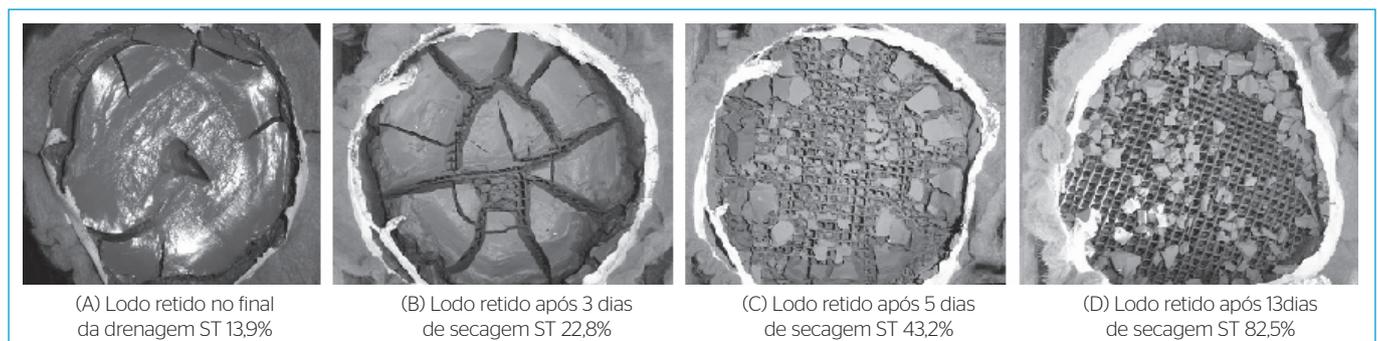
## CONCLUSÕES

Nas condições de estudo, o sistema de desaguamento dos lodos de decantadores das ETAs, composto por leitos de drenagem/secagem com o uso de manta geotêxtil, apresentou resultados promissores quanto aos aspectos qualitativos e quantitativos de eficiência:

- na fase de drenagem, por possibilitar a produção de lodos drenados com qualidade compatível aos corpos de água doce (classes I e II), estabelecidos pela Resolução 357/05 do Conama, visando à proteção dos corpos hídricos receptores ou ainda pela possibilidade de reaproveitamento das águas drenadas por meio do leito para produção de água tratada na própria ETA;
- na fase de secagem, por possibilitar a redução do volume ou o aumento do teor de sólidos da torta de lodo retido sob condições



**Figura 15** – Fotos da torta de lodo tipo A retido logo após a fase de drenagem e após 3, 5 e 13 dias de secagem em condição natural de verão.



**Figura 16** – Fotos da torta de lodo tipo B retido logo após a fase de drenagem e após 3, 5 e 13 dias de secagem em condição natural de verão.

críticas de secagem — inverno e exposição natural sem proteção à ação de intempéries e duração de 7 a 13 dias, com valores de teor de sólidos da mesma ordem de grandeza que os obtidos por desaguentamentos mecânicos.

Foi possível constatar que, além da temperatura e umidade do ar, outros fatores climáticos e físicos como ventilação e radiação solar contribuíram de forma significativa para a secagem do lodo, especialmente na condição climática de verão.

## REFERÊNCIAS

- ACHON, C.L. & CORDEIRO, J.S. (2003) Análise crítica de implantação de sistemas naturais de remoção de água livre de lodo de ETA. *In: 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Joinville, Santa Catarina.
- ACHON, C.L.; BARROSO, M.M.; CORDEIRO, J.S. (2005) Desempenho do Leito de Drenagem para Desaguentamento de Lodo de ETA que utilizam diferentes coagulantes considerando as variáveis climáticas. *In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Campo Grande, Mato Grosso do Sul.
- ACHON, C.L.; SOARES, L.V.; MEGDA, C.R. (2005) Impactos ambientais provocados pelo lançamento *in natura* de lodos provenientes de estações de tratamento de água. *In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Campo Grande, Mato Grosso do Sul.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION – APHA, AWWA, WEF. (2005) *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*. 21st Edition, USA.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (2009) *NBR 10.004: Resíduos sólidos - classificação*, Rio de Janeiro.
- BARBOSA, M.J. (1997) *Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares*. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina.
- BARROSO, M.M. (2007) *Influência das micro e macropropriedades dos lodos de estações de tratamento de águas no desaguentamento por leito de drenagem*. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, São Paulo.
- CORDEIRO, J.S. (2001) Processamento de lodos de Estações de Tratamento de Água (ETAs). ANDREOLI, C.V. (Coord.) *Resíduos sólidos do saneamento: Processamento, reciclagem e disposição final*. Rio de Janeiro: ABES; Projeto PROSAB 2.
- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.B.; VOLTAN, P.E.N. (2012) *Métodos e técnicas de tratamento e disposição dos resíduos gerados em estações de tratamento de água*. São Carlos, SP: LDiBe.
- FONTANA, A.O. (2004) *Sistema de Leito de Drenagem e Sedimentador como solução para redução de volume de decantadores e reuso de água de lavagem de filtros: estudo de caso – ETA Cardoso*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo.
- KURODA, E.K.; DA SILVA, S.M.C.P.; FERNANDES, F.; OLIVEIRA, N.S.; AISSE, M.M. (2013) Desaguentamento de lodo de ETA em leitos de secagem cobertos, convencionais e modificados. *In: CARNEIRO, C.; ANDREOLI, C.V. (Coord.) Lodo de estações de tratamento de água: Gestão e Perspectivas Tecnológicas*. Sanepar.
- KURODA, E.K.; SILVEIRA, C.; MACEDO, J.G.; LIMA, M.S.P.; KAWAHIGASHI, F.; BATISTA, A.D.; CESÁRIO, S.M.C.P.S.; FERNANDES, F. (2014) Drenagem / secagem de lodo de decantadores de ETAs em manta geotêxtil. *Revista DAE*, n.194, p. 24-34.
- MENDES, R.L. (2001) *Adensamento e Desaguentamento Mecânicos de Lodos gerados em Estações de Tratamento de Água*. Dissertação – Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. (2005) *Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005*. Dispõe sobre a Classificação das Águas Doces, Salobras e Salinas do Território Nacional. Brasília.
- OLIVEIRA, N.S. (2010) *Estudo da secagem de lodo de estação de tratamento de água*. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental na Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná.
- PARANÁ. (2009) Conselho Estadual do Meio Ambiente. *Resolução 0070/2009 – CEMA*. Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece condições e critérios e dá outras providências, para Empreendimentos Industriais. Curitiba.