

## II-101 - AVALIAÇÃO DE MANTAS GEOTÊXTEIS NO PROCESSO DE DRENAGEM DE LODO DE EFLUENTE SANEANTE DOMISSANITÁRIO

**Alessandra da Silva Oliveira<sup>(1)</sup>**

Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

**André Luiz de Oliveira**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Professor Doutor da Universidade Federal de Uberlândia - Faculdade de Engenharia Civil (FECIV/UFU).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Tupaciguara, 720 - Miranda - Araguari - MG - CEP: 38444-254 - Brasil - Tel: +55 (34) 9196-3052 - e-mail: [alessandrasilvaoliv@yahoo.com.br](mailto:alessandrasilvaoliv@yahoo.com.br)

### RESUMO

Os efluentes industriais são gerados a partir de fontes diversas, como lavagem de máquinas, tubulações e pisos. Além disso, geralmente apresentam resíduos em grande escala e com alto teor de umidade, tornando-se, então, a realização de um tratamento antes de sua correta destinação final. O presente trabalho visa à utilização de um sistema de Leito de Drenagem (LD) no desaguamento do lodo gerado após o tratamento de um efluente saneante domissanitário. Os LD são considerados técnicas naturais, e, portanto, apresentam um custo baixo em relação a outros sistemas, como os mecânicos. Nele, o tempo de remoção da água se constitui da somatória do tempo de drenagem e da evaporação da água, esta, por sua vez, dependentes diretamente das variáveis climáticas, como temperatura, umidade relativa do ar, orvalho, radiação solar e ventos. Sendo assim, o estudo teve por objetivo a avaliação do desempenho de tempo e turbidez de 16 mantas geotêxteis, a partir das quais, foram selecionadas três para a composição dos Leitos de Drenagem, avaliando-os quando submetidos a uma TAS de  $3,5 \text{ kg m}^{-2}$ , tanto na fase de drenagem, onde se analisou a turbidez, cor aparente e cor verdadeira em períodos de tempo pré-determinados, como também na fase de secagem, analisando o teor de sólidos totais durante um período de sete dias. Após a realização do trabalho, verificou-se que o geotêxtil RT-31 foi o que apresentou menor turbidez (475 UNT) no drenado coletado nos primeiros 15 minutos do teste. Na fase de secagem, foi constatada a importância das variáveis climáticas no processo de aceleração ou retardamento do desaguamento do lodo. Ao final do tempo de secagem, o lodo retido no LD apresentou um teor de sólidos de 13,7, 14,4 e 14,9% para os geotêxteis RT-26, RT-16 e RT-31, respectivamente, resultados que não foram favorecidos em razão de ações negativas do conjunto de variáveis climáticas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Leitos de Drenagem, Saneantes Domissanitários, Tratamento de Lodo, Geotêxteis.

### INTRODUÇÃO

No setor industrial, a água é utilizada para diversas finalidades, desde a incorporação ao produto, lavagem de máquinas, tubulações e pisos, uso direto nas etapas do processo industrial, até esgotos sanitários dos funcionários, entre outros (GIORDANO, 2004).

Os efluentes, ao serem despejados com seus poluentes característicos, causam alteração da qualidade dos corpos receptores, e consequentemente, a sua poluição. Com o crescimento da industrialização, grandes quantidades de poluentes são descartadas de forma irresponsável nos cursos d'água devido ao tratamento ineficiente de seus efluentes. Este fato, quando somado ao crescimento demográfico, causa uma preocupação maior com os problemas ambientais, já que o aumento da concentração destes poluentes nas águas, ar e solo provoca um desequilíbrio na natureza, afetando a população.

Segundo o Art. 2º da Resolução RDC nº 184/01, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), entende-se por produtos saneantes domissanitários, as substâncias ou preparações destinadas à higienização, desinfecção, desinfestação, desodorização, odorização, de ambientes domiciliares, coletivos e/ou públicos, para utilização por qualquer pessoa, para fins domésticos, para aplicação ou manipulação por pessoas ou entidades especializadas para fins profissionais.

Os processos de tratamento de efluentes industriais geram resíduos em grande escala, e, de modo geral, com alto teor de umidade (em torno de 92 - 93%), tornando-se necessário seu tratamento antes de sua destinação final. As técnicas empregadas no desaguamento de lodos são classificadas em unidades de espessamento, sistemas mecânicos e sistemas naturais, sendo a escolha de uma destas dependentes de fatores como área disponível, disponibilidade financeira, clima, entre outras variáveis dependentes das características e exigências do lodo, que devem ser avaliadas experimentalmente antes da implantação em escala industrial (FONTANA, 2004; ACHON et al., 2008).

O presente estudo visa à utilização de Leitos de Drenagem (LD) no desaguamento de lodo proveniente de uma indústria de produtos saneantes domissanitários. Este sistema tem como princípio básico, a utilização de mantas geotêxteis como elementos filtrantes para remoção de água livre, além de ser dependente de fatores climáticos na fase de secagem.

Tais geotêxteis são permeáveis, flexíveis e produzidos a partir de fibras sintéticas. Além disso, segundo Barroso (2007), há três tipos de materiais utilizados em sua estrutura: tecidos, onde o arranjo dos fios é ordenado, com entrelaçamento dos mesmos em duas direções; não-tecidos, cujo arranjo das fibras é aleatório; e tricotados, obtidos pela associação de técnicas de tricotagem e tecelagem na urdidura. Deste modo, torna-se necessário o conhecimento de propriedades hidráulicas, como permeabilidade, transmissividade e abertura de filtração para a utilização de geotêxteis como elementos filtrantes (SANTOS, 2012).

O presente trabalho tem por finalidade, avaliar o tempo e a turbidez no processo de drenagem de um lodo de efluente saneante domissanitário utilizando diferentes geotêxteis do tipo não-tecido agulhado, e a partir dos resultados, selecionar os mais adequados para comporem os Leitos de Drenagem a serem utilizados com Taxa de Aplicação de Sólidos (TAS) de  $3,5 \text{ kg m}^{-2}$ .

## MATERIAL E MÉTODOS

O tratamento do efluente industrial é realizado através de um processo físico-químico, onde há utilização de policloreto de alumínio 4% como coagulante primário, seguindo de uma correção do pH com Cal Hidratada para posteriormente aplicar um polímero a base de poliácridamida (PCA), cuja ação se dá na faixa de pH entre 6,5 e 8,0.

Primeiramente, o lodo gerado neste processo foi caracterizado quanto ao teor de sólidos totais, seguindo o método gravimétrico descrito na NBR 10.664 (1989). Em seguida, o estudo do tratamento do mesmo foi dividido em duas etapas, conforme descritas nos tópicos seguintes.

### PRIMEIRA ETAPA: ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DAS MANTAS GEOTÊXTEIS

Esta etapa possui finalidade de selecionar as mantas geotêxteis a serem utilizadas nos Leitos de Drenagem. Para isso, foram testadas 16 mantas geotêxteis de duas marcas diferentes (MACCAFERRI e BIDIM), conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Mantas geotêxteis avaliadas.

CARACTERÍSTICA DO GEOTÊXTIL	MARCA	QUANTIDADE	DESCRIÇÃO
Não tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster	BIDIM	6	RT-08, RT-14, RT-16, RT-21, RT-26, RT-31
Não tecido agulhado de polipropileno	MACCAFERRI	4	N26.1, N40.1, N30.1
Não tecido agulhado de poliéster	MACCAFERRI	7	N20.2, N26.2, N36.2, N40.2, N60.2, N80.2, N99.2

Fonte: BIDIM (2014).

O sistema utilizado foi composto por um funil de Buchner, proveta de 100 mL para coleta do drenado, uma base adaptada dos testes de análise de sólidos sedimentáveis, utilizada como suporte para o funil, e mantas geotêxteis.

Deste modo, as mantas foram alocadas no funil com sobras dos lados, de modo a impedir a passagem de lodo pelas laterais. Posteriormente, foram colocados 400 mL de lodo sobre as mesmas, medindo-se o Tempo de Drenagem (TDD) até completar 50 mL de drenado na proveta (denominado 1º TDD) e em seguida, o tempo até preencher os 50 mL seguintes (denominado 2º TDD). Os drenados coletados foram avaliados quanto à Turbidez (denominadas 1ª Turbidez e 2ª Turbidez), por meio de um turbidímetro digital portátil. Foram determinadas também, as vazões correspondentes à passagem dos primeiros e dos próximos 50 mL de drenado (Equação 1), sendo a variável  $Q$  ( $\text{mL s}^{-1}$ ) referente à vazão,  $V$  (mL) ao volume e  $t$  (s) ao tempo.

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{equação (1)}$$

A partir destes dados, a seleção das mantas para posterior avaliação no LD foi feita estabelecendo-se o seguinte critério: mantas que apresentam todos os valores de primeiro e segundo Tempo de Drenagem e primeira e segunda Turbidez abaixo das médias aritméticas totais, ou o mais próximo possível destes valores (SANTOS, 2012).

## RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

A concentração de sólidos totais do lodo de efluente saneante domissanitário foi de  $15.685 \text{ mg L}^{-1}$ . De acordo com a Resolução CONAMA 430, de 2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes e altera a Resolução CONAMA 357, de 2005, o limite de sólidos dissolvidos totais que podem ser lançados diretamente em cursos d'água de Classe II é de  $500 \text{ mg L}^{-1}$ . Com base neste limite, é possível observar que o lodo necessita de um tratamento adequado para seu desaguamento, uma vez que não é permitido seu lançamento direto no corpo receptor, podendo alterar sua qualidade.

Assim sendo, é de suma importância a implantação de um sistema de desaguamento de lodo, como o LD, que possui efetiva redução de água presente no lodo, e consequentemente, uma redução do seu volume (ACHON et al., 2003).

É possível verificar que a partir das 16 mantas geotêxteis avaliadas, 4 delas apresentaram valores extremos de Tempo de Drenagem (TDD) ou até Turbidez (Tabela 2), e, por este motivo, não foram utilizadas para o cálculo das médias, já que é por meio destes valores que a seleção das mantas a comporem os Leitos de Drenagem são feitas.

**Tabela 2: Mantas Geotêxteis não utilizadas para o cálculo da média por apresentarem valores extremos de TDD e/ou Turbidez.**

MANTA	1º TDD (s)	1ª TURBIDEZ (UNT)	1ª VAZÃO ( $\text{mL s}^{-1}$ )	2º TDD (s)	2ª TURBIDEZ (UNT)	2ª VAZÃO ( $\text{mL s}^{-1}$ )
RT-21	16	2112,000	3,125	191	1320,000	0,262
N26.1	39	3012,000	1,282	1780	784,000	0,028
N40.1	421	1661,333	0,119	2736	668,000	0,018
N30.1	542	2212,000	0,092	3613	922,667	0,014

Os demais dados referentes à análise de Tempo de Drenagem e Turbidez das mantas são apresentados na Tabela 3, onde se pode observar que a média do tempo de drenagem aumentou em cinco vezes, já que o 1º TDD médio foi de 180 segundos e do 2º TDD, 1051 segundos. Consequentemente nota-se uma redução dos valores de 1ª e 2ª Vazão do drenado em todos os testes realizados, fato que pode ser justificado pela obstrução dos poros do geotêxtil por partículas sólidas do lodo retidas na manta, dificultando a passagem do drenado e pela redução de água livre a ser drenada.

Levando em consideração as médias da 1ª e 2ª Turbidez, é possível verificar uma redução de 51,8%, porém, a mesma ainda se encontra em valor elevado. É provável que na execução dos testes nos Leitos de Drenagem, este parâmetro seja reduzido, uma vez que, com o maior tempo de retenção e colmatação dos poros das mantas geotêxteis, uma maior quantidade de materiais em suspensão sejam retidos nas mesmas.

**Tabela 3: Valores do 1º TDD e 1ª Turbidez dos primeiros 50 mL de drenado, e 2º TDD e 2ª Turbidez para os próximos 50 mL de drenado.**

MANTA	1º TDD (S)	1ª TURBIDEZ (UNT)	1ª VAZÃO (mL s <sup>-1</sup> )	2º TDD (s)	2ª TURBIDEZ (UNT)	2ª VAZÃO (mL s <sup>-1</sup> )
RT-26	104	1852,000	0,481	383	1084,000	0,131
RT-31	210	1700,000	0,238	541	1112,000	0,092
RT-08	84	2734,667	0,595	741	1102,667	0,067
RT-14	205	2341,333	0,244	954	1181,333	0,052
RT-16	114	2429,333	0,439	835	1165,333	0,060
N99.2	313	1974,667	0,160	1017	1117,333	0,049
N36.2	173	2280,000	0,289	1335	1001,333	0,037
N20.2	92	2084,000	0,543	1503	797,333	0,033
N80.2	240	2173,333	0,208	1071	1141,333	0,047
N60.2	209	2073,333	0,239	1212	1076,000	0,041
N40.2	360	2032,000	0,139	2085	876,000	0,024
N26.2	59	2634,667	0,847	941	1030,667	0,053
Média	180,5	2192,444	0,369	1051,5	1057,111	0,057

As mantas cujos resultados obtiveram o menor e maior tempo de drenagem, foram, respectivamente, a RT-21, da marca BIDIM, e a N30.1, da marca MACCAFERRI. Ademais, é possível notar que os 2º TDD foram maiores, em geral, para as mantas geotêxteis da marca MACCAFERRI, composta por não-tecido em polipropileno, concluindo-se então, que este material não é eficiente para o desaguamento do lodo em estudo.

Com base nos resultados, as mantas selecionadas para comporem os LD são as mantas RT-26, RT-16 e RT-31, da marca BIDIM, cujas especificações técnicas são descritas na Tabela 4. A permissividade hidráulica ( $T_G$ ) permite avaliar a facilidade com que o fluido atravessa o geotêxtil; o fluxo de água é uma propriedade que representa o volume de drenado que passa pelo geotêxtil; a condutividade hidráulica ( $K$ ) é um coeficiente de proporcionalidade da Lei de Darcy, que rege os movimentos dos fluidos em meios porosos e a abertura aparente refere-se ao valor do diâmetro da maior partícula que passa pelos poros do geotêxtil (SANTOS, 2012).

**Tabela 4: Especificações técnicas das mantas geotêxteis selecionadas para composição dos Leitos de Drenagem, onde  $T_G$  corresponde à permissividade hidráulica e  $K$  à condutividade hidráulica.  $O_{95}$  representa poros com diâmetro maior que 95% das partículas que atravessam o geotêxtil.**

MANTA	PROPRIEDADES HIDRÁULICAS				PROPRIEDADES FÍSICAS	
	$T_G$ (s <sup>-1</sup> )	FLUXO DE ÁGUA (L min <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )	$K$ (cm s <sup>-1</sup> )	ABERTURA APARENTE ( $O_{95}$ ) (mm) (PENEIRA)	MATÉRIA-PRIMA E TECNOLOGIA	PONTO DE FUSÃO (°C)
RT-26	0,8	2760	0,37	0,150 (100)	100% poliéster-filamentos contínuos	260
RT-16	1,3	4820	0,38	0,180 (80)		260
RT-31	0,8	2340	0,37	0,125 (120)		260

Fonte: BIDIM, 2014.

## SEGUNDA ETAPA: ENSAIOS EXPERIMENTAIS DOS LEITOS DE DRENAGEM

Os LD utilizados foram compostos por tubo de PVC com 150 mm de diâmetro, 0,5 m de altura, base com cap de PVC com diâmetro de 150 mm, onde a manta geotêxtil era posicionada, apoiada sobre o leito de brita, bem como registro de esfera para coleta das amostras, conforme a Figura 1.

No presente trabalho, a avaliação do desempenho do sistema para cada uma das mantas foi dividida em duas partes: fase de drenagem e fase de secagem. Primeiramente, para que a concentração de sólidos fosse a mesma em todos os ensaios, as amostras foram homogeneizadas. Após a aplicação do lodo nos protótipos, aferiram-se os volumes do drenado nos tempos de 15, 30, 45, 60, 90, 120 minutos e depois a cada 90 minutos até o fim da fase de drenagem, considerada após a extinção da lâmina líquida de lodo (SILVEIRA et al., 2011). A água

livre drenada durante tais intervalos de tempo foram caracterizadas quanto ao volume, vazão do drenado, percentual de volume de drenado em função do tempo, cor verdadeira, cor aparente e turbidez.



**Figura 1: Aplicação do sistema de LD.**

O volume necessário para atingir uma Taxa de Aplicação de Sólidos (TAS) igual a 3,5 kg ST m<sup>-2</sup> foi determinado a partir da Equação 2, onde o volume de lodo aplicado ao sistema é representado por  $V$  (L); a concentração de sólidos totais do lodo, por  $ST$  (kg L<sup>-1</sup>) e a área da base do protótipo do LD, por  $A_f$  (m<sup>2</sup>).

$$V = \frac{TAS \cdot A_f}{ST} \quad \text{equação (2)}$$

Já para a fase de secagem, a qual era iniciada coincidentemente com o final da fase de drenagem, o resíduo retido na manta geotêxtil foi caracterizado diariamente, em duplicata, quanto ao teor de sólidos até o sétimo dia de experimento (BARROSO, 2007; SILVEIRA et al., 2011). Como nesta fase do ensaio, o lodo foi submetido totalmente às condições climáticas do local, avaliaram-se também as possíveis influências destas variáveis, incluindo temperatura (°C), umidade (%), radiação solar (100 kJ m<sup>-2</sup>), vento (m s<sup>-1</sup>) e pluviosidade (mm) em seu desempenho. Para este estudo, a média dos valores foi calculada a partir de valores instantâneos no intervalo de 24 horas anteriores ao horário de coleta durante o intervalo de dias.

## RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

O volume de lodo necessário para atingir a TAS igual a 3,5 kg ST m<sup>-2</sup>, através da Equação 2, foi de 3,943 L. As informações referentes à vazão, volume parcial e acumulado de água livre drenada para as mantas RT-26, RT-16 e RT-31 estão contidas nas Tabelas 5, 6 e 7, respectivamente.

**Tabela 5: Dados referentes ao perfil de drenagem do lodo de efluente saneante domissanitário, quando submetido ao desaguamento por LD constituído pela manta geotêxtil RT-26.**

Tempo (min)	Vazão (mL min <sup>-1</sup> )	Volume do drenado (mL)	Volume de drenado acumulado (%)
15	83,67	1255	31,8
30	18,67	280	38,9
45	12,67	190	43,7
60	10,00	150	47,6
90	7,50	225	53,3
120	6,33	190	58,1
210	4,72	425	68,9
300	3,00	270	75,7
390	1,94	175	80,1

**Tabela 6: Dados referentes ao perfil de drenagem do lodo de efluente saneante domissanitário, quando submetido ao desaguamento por LD constituído pela manta geotêxtil RT-16.**

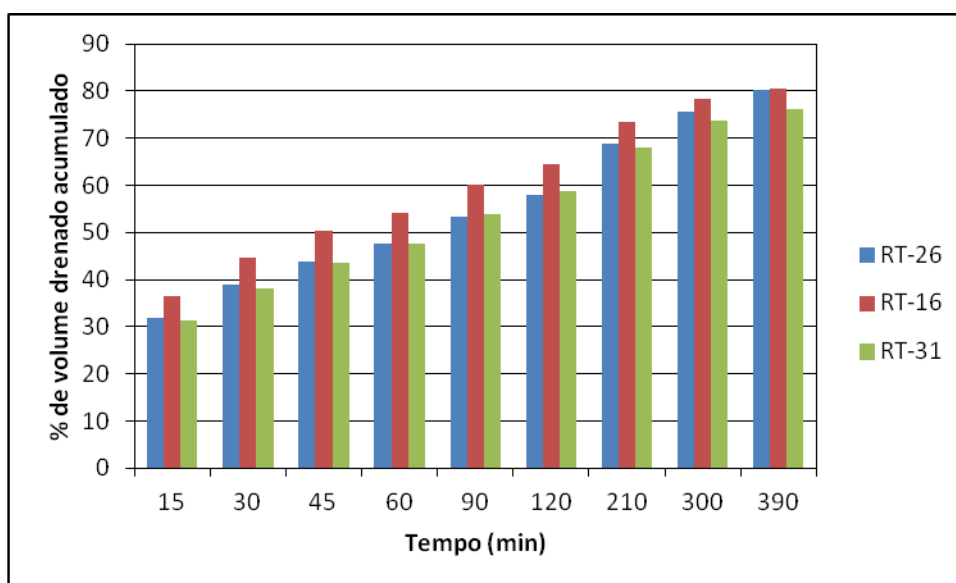
Tempo (min)	Vazão (mL min <sup>-1</sup> )	Volume do drenado (mL)	Volume de drenado acumulado (%)
15	96,00	1440	36,5
30	21,33	320	44,6
45	14,67	220	50,2
60	10,33	155	54,1
90	7,83	235	60,1
120	5,83	175	64,5
210	3,94	355	73,5
300	2,11	190	78,4
390	1,00	90	80,6

**Tabela 7: Dados referentes ao perfil de drenagem do lodo de efluente saneante domissanitário, quando submetido ao desaguamento por LD constituído pela manta geotêxtil RT-31.**

Tempo (min)	Vazão (mL min <sup>-1</sup> )	Volume do drenado (mL)	Volume de drenado acumulado (%)
15	82,00	1230	31,2
30	18,33	275	38,2
45	14,00	210	43,5
60	10,67	160	47,6
90	8,33	250	53,9
120	6,33	190	58,7
210	4,03	363	67,9
300	2,50	225	73,6
390	1,17	105	76,3

O tempo gasto para a lâmina de água no lodo se cessar foi de aproximadamente 6,5 horas. À medida que ocorre o acúmulo de partículas de lodo sobre a manta, a passagem do drenado é dificultada por causar obstrução dos poros do geotêxtil pela retenção das mesmas e, como consequência, a vazão do drenado é reduzida ao longo do tempo. Ademais, durante o período de drenagem, as mantas avaliadas apresentaram valores percentuais de volume de água livre drenada aproximados (Figura 2), correspondendo a 80, 81 e 76% para RT-26, RT-16 e RT-31, respectivamente. Este resultado pode ser justificado pelas semelhanças nas propriedades hidráulicas das mesmas (Tabela 1).





**Figura 2: Volume de água livre drenada nos protótipos de LD compostos pelas mantas RT-26, RT-16 e RT-31.**

A partir dos parâmetros dos drenados coletados em intervalos de tempo pré-fixados, apresentados nas Figuras 3, 4 e 5, é possível verificar resultados elevados para o drenado de água livre para os ensaios com as três mantas nos primeiros 15 minutos, onde a cor aparente foi de 1501, 1557 e 1271 uH ;cor verdadeira de 708, 809 e 813 uH; e turbidez de 601, 592 e 475 UNT, respectivamente para os geotêxteis RT-36, RT-16 e RT-31. Ademais, é possível verificar uma redução significativa, sobretudo da cor aparente, do drenado coletado no intervalo de tempo de 0 a 15 minutos e o de 15 a 30 minutos, com uma média de 50,7% dos valores deste parâmetro para as 3 mantas. Provavelmente, estes resultados estão relacionados à ação de partículas de lodo na obstrução dos poros das mantas, ou seja, à medida que estas partículas são retidas, há também uma redução do diâmetro das mesmas para atravessar o sistema, resultando em um drenado mais clarificado, como também foi verificado em outros trabalhos com utilização de Leitos de Drenagem, como o de Barroso (2007), Mortara (2011) e Santos (2012). Nos intervalos de tempo posteriores, tais parâmetros foram se estabilizando, entretanto, havendo algumas oscilações, principalmente na cor aparente e verdadeira.

Nos primeiros 15 minutos houveram valores elevados para o drenado em todos os ensaios e, além disso, pôde-se verificar que no intervalo de 60 a 90 minutos, o volume de drenado de água livre foi inferior ao volume no intervalo de 90 a 120 minutos. Este fenômeno pode ter sido ocasionado devido à redução do volume de água livre disponível a passar pelo Leito de Drenagem, pois, como se pode notar na Figura 2, em 90 minutos, houve um acúmulo de drenado de aproximadamente 55,8 (média aritmética dos valores para as mantas avaliadas).

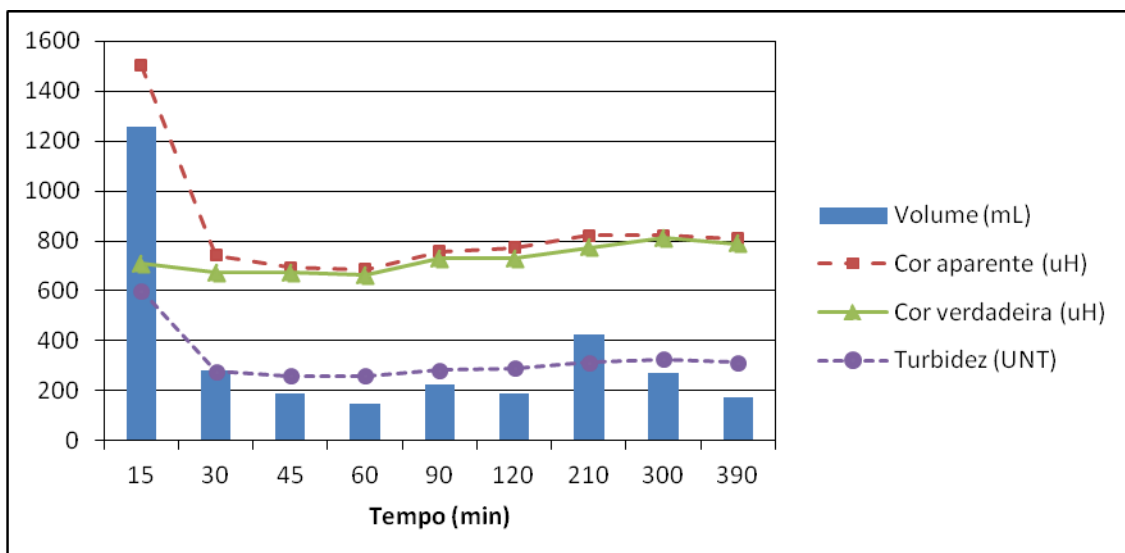


Figura 3: Dados de volume, cor aparente, cor verdadeira e turbidez ao longo do tempo da fase de drenagem para o geotêxtil RT-26.

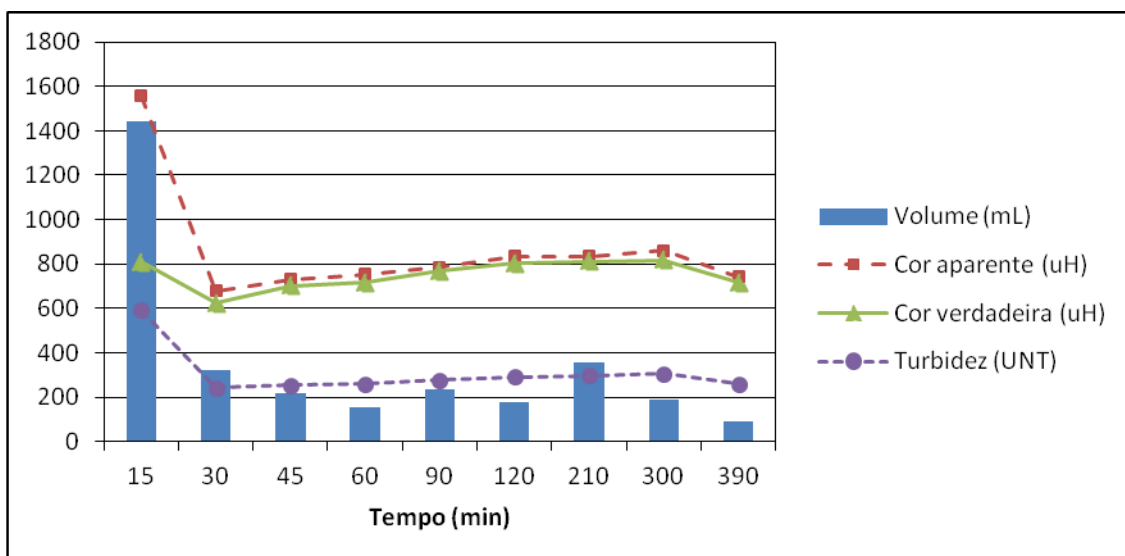
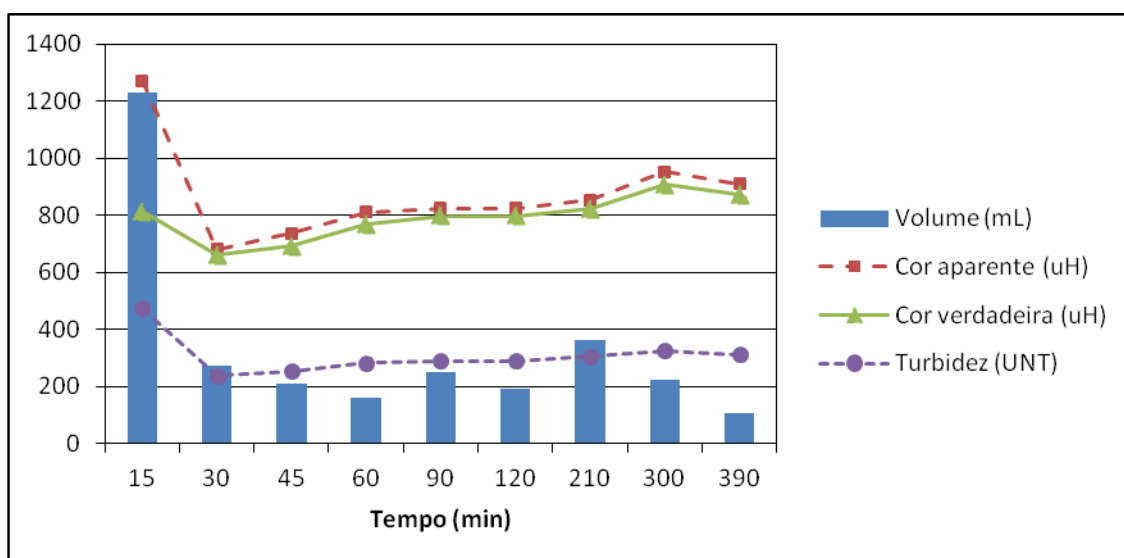


Figura 4: Dados de volume, cor aparente, cor verdadeira e turbidez ao longo do tempo da fase de drenagem para o geotêxtil RT-16.

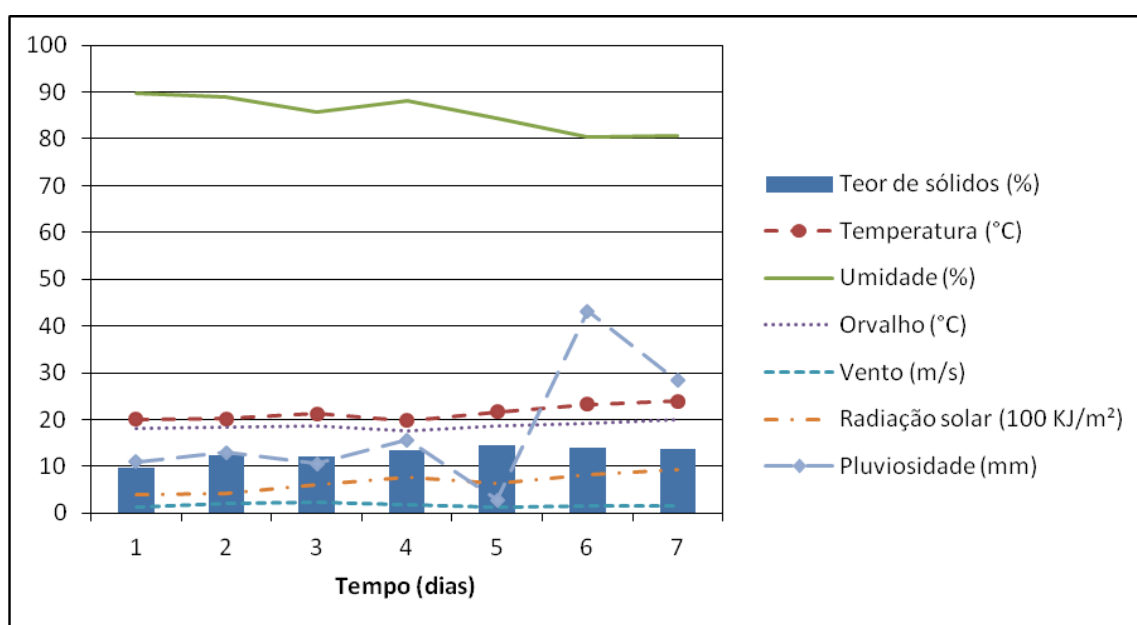




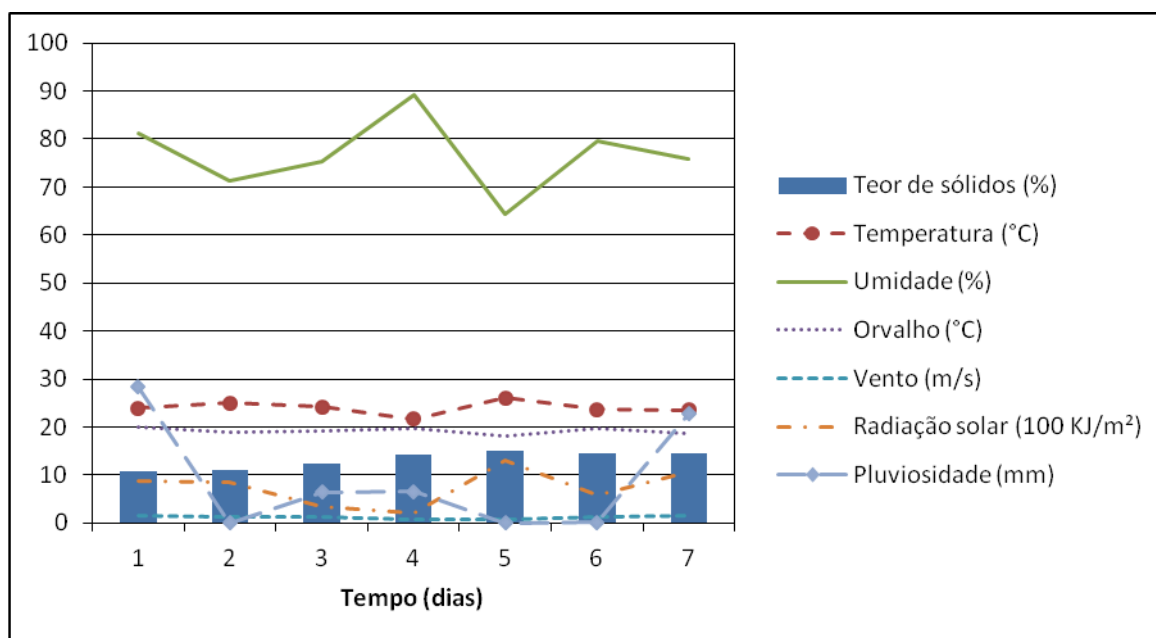
**Figura 5: Dados de volume, cor aparente, cor verdadeira e turbidez ao longo do tempo da fase de drenagem para o geotêxtil RT-31.**

Comparando-se os dados de turbidez entre as três mantas geotêxteis selecionadas, é possível observar que o drenado do LD constituído pela manta RT-31 apresenta a menor turbidez (475 UNT, enquanto RT-26 e RT-16 apresentaram um drenado com 601 e 592 UNT, respectivamente). Este resultado ocorreu devido a menor abertura aparente ( $O_{95}$ ) e permissividade ( $T_G$ ), conforme a Tabela 4. Para os demais tempos estabelecidos, o comportamento da curva foi semelhante ao dos demais geotêxteis (RT-26 e RT-16).

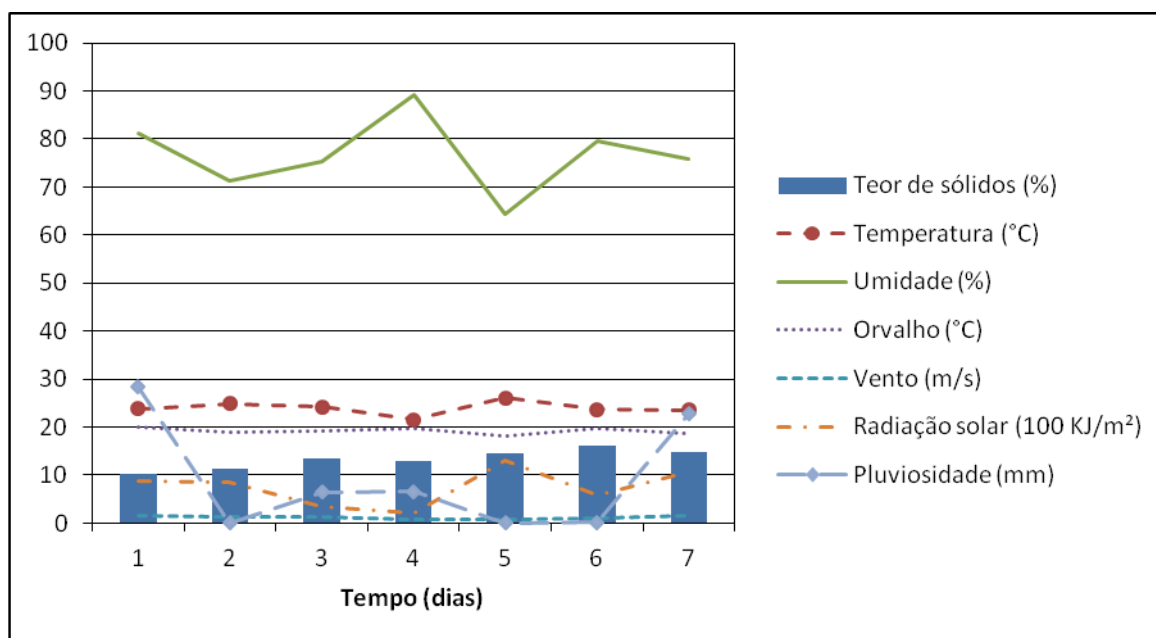
Assim que cessada a fase de drenagem, o tubo de PVC (envoltório) utilizado para a aplicação do volume de lodo necessário foi retirado, e desta forma, submetido totalmente à ação das variáveis climáticas. De acordo com Achon et al., a eficiência do processo de desidratação do lodo está fundamentalmente relacionada à estas variáveis. Os LD constituídos pelas mantas RT-16 e RT-31 foram submetidos ao desagudamento no mesmo período de tempo, portanto, submetidos ao desagudamento sob as mesmas condições climáticas. Já o ensaio realizado com a manta RT-26 foi realizado em outro período de tempo, submetido, dessa forma, sob condições climáticas diferentes. As Figuras 6, 7 e 8 apresentam os resultados diários obtidos para o teor de sólidos e variáveis climáticas avaliados para os geotêxteis RT-26, RT-16 e RT-31, respectivamente.



**Figura 6: Dados do teor de sólidos (%) retidos no LD constituído pela manta RT-26 e as médias diárias das variáveis climáticas: temperatura, umidade, orvalho, vento, radiação solar e pluviosidade.**



**Figura 7: Dados do teor de sólidos (%) retidos no LD constituído pela manta RT-16 e as médias diárias das variáveis climáticas: temperatura, umidade, orvalho, vento, radiação solar e pluviosidade.**



**Figura 8: Dados do teor de sólidos (%) retidos no LD constituído pela manta RT-31 e as médias diárias das variáveis climáticas: temperatura, umidade, orvalho, vento, radiação solar e pluviosidade.**

Pela variação diária do teor de sólidos totais, foi possível verificar a importância da ação das variáveis climáticas no processo de desidratação do lodo. Na Figura 6, nota-se que no sexto dia houve uma redução do percentual de sólidos totais, uma vez que o lodo foi submetido à chuva distribuída entre às 18:00 h do quinto dia e às 03:00 h do dia da coleta. O mesmo resultado foi notado para o sétimo dia de desaguoamento do lodo submetido aos geotêxteis RT-16 e RT-31 (Figuras 7 e 8), onde o mesmo foi submetido a um volume de chuva distribuída entre às 01:00 h e às 07:00 h.

No sexto dia de desaguoamento do lodo contido sobre o geotêxtil RT-16 (Figura 7), apesar de haver apenas 0,2 mm de chuva nas últimas 24 h anteriores ao horário de coleta, o teor de sólidos foi inferior ao do quinto dia. A

ação conjunta das variáveis climáticas pode ter sido responsável nesta redução, como o aumento da umidade, orvalho, baixa velocidade do vento, uma das principais variáveis no processo, pois a perda de umidade do lodo para o ar atmosférico é possível com a troca de ar, e também, a radiação solar, esta capaz de fornecer energia térmica para a água contida no lodo, facilitando sua evaporação.

De modo geral, as condições climáticas dificultaram a desidratação do lodo, já que não houve diferença significativa do teor de sólidos no período de tempo avaliado. Dentre estas variáveis, destaca-se a umidade, que variou entre 64 e 89% para o lodo submetido às mantas RT-16 e RT-31, e de 80 a 90% para o que foi submetido à manta RT-26, e, portanto, foi responsável pelo retardo do processo de transferência de água para o meio, a baixa ação dos ventos (média de velocidade de  $1,7 \text{ m s}^{-1}$ ), e também o orvalho, que não apresentou diferença acentuada, próxima de 18 e 19 °C.

## CONCLUSÕES

Com base na análise dos resultados, foi possível obter as seguintes considerações:

A partir dos testes preliminares com 16 geotêxteis, foi possível selecionar três destes (RT-26, RT-16 e RT-31), os quais obtiveram melhor desempenho e qualidade do drenado.

Os resultados da fase de drenagem dos sistemas de Leito de Drenagem, compostos pelos geotêxteis RT-26, RT-16 e RT-31, da marca BIDIM, a uma TAS de  $3,5 \text{ kg m}^{-2}$ , demonstraram que nos primeiros 15 minutos, o volume e os parâmetros avaliados (turbidez, cor aparente e cor verdadeira) são significativamente maiores que os obtidos em tempos posteriores pré-estabelecidos.

Devido à retenção de partículas de lodo no geotêxtil, ocorre a obstrução de seus poros, e, por este motivo, o comportamento da vazão ao longo dos períodos de tempo avaliados na fase de drenagem é inversamente proporcional ao comportamento do volume de drenado acumulado.

Ao se comparar o desempenho entre as mantas geotêxteis submetidas à mesma TAS no sistema, observou-se que o drenado coletado nos primeiros 15 minutos do LD constituído pelo geotêxtil RT-31 foi o que apresentou o menor valor de turbidez, já que este possui propriedades hidráulicas (abertura aparente e permissividade) que favorecem a melhor qualidade de drenado.

Para os geotêxteis RT-26, RT-16 e RT-31, os parâmetros avaliados nos drenados coletados apresentaram valores acima dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 430 (2011) e Deliberação Normativa Conjunta nº 01, do COPAM/CERH (2008), e, portanto, necessitam de um tratamento posterior, não podendo ser descartados diretamente nos corpos d'água.

Durante a fase de secagem do lodo retido na manta, observou-se a importância da ação conjunta das variáveis climatológicas (temperatura, umidade, orvalho, vento, radiação solar e pluviosidade) na aceleração ou retardamento do processo de desidratação do lodo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACHON, C. L. et al. Leito de Drenagem: Sistema Natural para Redução de Volume de Lodo de Estação de Tratamento de Água. Engenharia Sanitária e Ambiental, São Paulo, v.13, n. 1, p. 54 - 62, 2008.
2. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Conceitos Técnicos. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br/saneantes/conceito.htm>>. Acesso em: 24 de ago. 2014.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.664: Águas – Determinação de resíduos (sólidos) – Método gravimétrico. Rio de Janeiro, 1989.
4. BIDIM. Soluções em geossintéticos. Especificação Técnica Geotêxtil Bidim. Disponível em: <<http://www.bidim.com.br/>>. Acesso em: 26 set. 2014.
5. FONTANA, A. O. Sistema de Leito de Drenagem e Sedimentador como solução para a redução de volume de lodo de Decantadores e Reuso de água de Lavagem de Filtros – Estudo de Caso – ETA Cardoso. 2004. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2004.

6. BARROSO, M. M. Influência das micro e macropropriedades dos lodos de Estações de Tratamento de Águas no desaguamento por Leito de Drenagem. 2007. 249 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
7. CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (COPAM), CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS (CERH-MG). Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Lex: Diário Executivo – Minas Gerais, 2008.
8. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Lex: Diário Oficial da União, n. 053, p. 58 – 63, 2005.
9. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Lex: Diário Oficial da União, n. 92, p. 89 – 96, 2011.
10. GIORDANO, G. Tratamento e Controle de Efluentes Industriais. Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, UERJ. Apostila da ABES. 2004. 81 p.
11. MORTARA, F. C. Utilização de LD no desaguamento de lodos anaeróbios. 2011. 242f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), São Carlos, 2011.
12. SANTOS, B. Avaliação da Aplicação do Sistema de Leito de Drenagem como tratamento do Lodo da Estação de Tratamento de Água Bom Jardim em Uberlândia-MG. 2012. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2012.
13. SILVEIRA et al. Desaguamento de lodo de Estações de Tratamento de Águas – ETAs por LD com mantas geotêxteis – escala reduzida. Anais... Porto Alegre: 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011.