

II-1268 - AVALIAÇÃO DO DESAGUAMENTO DE LODO BRUTO EM BAG TIPO GEOTÊXTIL COM APLICAÇÃO DE POLÍMERO NATURAL

Aldenor de Jesus Queiroz Júnior⁽¹⁾

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal do Pará – UFPA. Mestre em Engenharia Civil – Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela UFPA. Pós-graduando em Auditoria e Perícia Ambiental na Universidade Estácio de Sá. Técnico em Regulação de Serviços Públicos Nível I da Agência de Regulação e Controle de Serviços Públicos do Estado do Pará (ARCON-PA).

José Almir Rodrigues Pereira⁽²⁾

Engenheiro Sanitarista pela UFPA. Mestre em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Pará-UFPA. Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP. Professor Adjunto do Departamento de Hidráulica e Saneamento e do Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará –UFPA. Coordenador do Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento – GPHS/UFPA.

Maria de Lourdes S. Santos⁽³⁾

Química Industrial pela Universidade Federal do Pará (1995). Mestrado em Oceanografia pela Universidade Federal de Pernambuco (2000). Doutorado em Oceanografia pela Universidade Federal de Pernambuco (2004). Professora do Programa de Pós-Graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais da Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA.

Marcus Vinicius Tavares de Miranda⁽⁴⁾

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal do Pará – UFPA. Mestre em Engenharia Civil – Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela UFPA.

Endereço⁽¹⁾: Rua dos Pariquis, 1905 - Batista Campos - Belém - PA - CEP: 66033-110 - Brasil - Tel: +55 (91) 3321-9484 - e-mail: aldenorjqj@hotmail.com

RESUMO

Avaliar o desempenho do desaguamento de lodo bruto em Bag tipo geotêxtil com aplicação de polímero natural. A pesquisa foi desenvolvida no sistema experimental de desaguamento de lodo da Universidade Federal do Pará, desenvolvida no período de Maio a Julho de 2012, sendo estruturada em 2 Fases distintas: Estudo da sedimentabilidade de lodo bruto para diferentes dosagens de polímero natural e o Desaguamento de lodo com aplicação de polímero natural em bag em escala real. O tempo total de desaguamento do lodo bruto foi de 14 dias, redução volumétrica de aproximadamente 152 litros, indicando diminuição de 76% do volume total de lodo lançado no sistema experimental ao final do experimento. A aplicação de produto químico para o desaguamento de lodo removido de fossa séptica, em Bag tipo geotêxtil, não indicou resultados satisfatórios quanto ao tempo de desaguamento necessário para a obtenção de concentrações de sólidos próximas de 30%.

PALAVRAS-CHAVE: Desaguamento de lodo, Bag Tipo Geotêxtil, Polímero Natural, Sedimentabilidade do lodo.

INTRODUÇÃO

O tratamento de águas residuais leva à geração de grandes quantidades de lodo de esgoto. O seu despejo é uma séria preocupação ambiental, pois, com o crescimento populacional e a atividade econômica, resultam no aumento exponencial da geração de lodo em todo o mundo (SHAH *et al.*, 2022).

No que diz respeito ao lodo produzido em sistemas individuais de tratamento de esgoto, tais como tanques sépticos e fossas sépticas, a NBR 7229 (1993) – Projeto, Construção e Operação de Sistemas de Tanques Sépticos, conceitua o lodo como sendo material residual acumulado na zona de digestão do mesmo, através da sedimentação das partículas sólidas suspensas no esgoto, possuindo características variadas, seja devido às condições socioeconômicas da população atendida pelo sistema, o modo pelo qual são utilizadas as instalações sanitárias ou, ainda, a fase de digestão em que se encontra o lodo.

Assim, surge a necessidade de técnicas que possibilitem tratamento eficiente dos resíduos gerados nos processos de tratamento de esgoto por tanques sépticos e fossas sépticas, seguindo aos critérios de viabilidade econômica e a facilidade de operação e manutenção do sistema.

Nesse contexto, os polímeros orgânicos são amplamente utilizados no condicionamento de lodo (GUYER, 2013). Eles têm muitas vantagens sobre os produtos químicos inorgânicos. Para obter o mesmo grau de redução da resistência específica, as doses de polieletrólitos são várias vezes menores em relação aos reagentes inorgânicos. Assim, os custos de condicionamento do lodo serão reduzidos (TUROVSKIY e MATHAI, 2006).

Dessa forma, é proposto no trabalho analisar a utilização de polímero natural como agente coagulante nos processos de desaguamento natural, em Bag tipo geotêxtil, de lodo removido de fossa séptica, avaliando o seu potencial como alternativa tecnológica para o desaguamento eficiente do lodo gerado em sistemas individuais de tratamento de esgoto.

OBJETIVO

Avaliar o desempenho do desaguamento de lodo bruto em Bag tipo geotêxtil com aplicação de polímero natural.

METODOLOGIA

Na pesquisa desenvolvida, foi utilizado lodo bruto coletado em uma fossa séptica residencial instalada no município de Belém. Esse material residual foi removido e transportado, por caminhões tipo limpa-fossa, ao complexo experimental.

O sistema experimental possui área total de 288 m², onde estão dispostas 12 células de secagem, sendo 6 cobertas com telhas translúcidas e seis descobertas. As células dos leitos de secagem apresentam 1,00 m de largura, 1,00 m de comprimento e 1,40 de altura, tendo área superficial de 1 m², fundo com declividade de 2% em direção a tubulação de coleta do líquido percolado (PVC 32 mm) e camadas drenantes constituídas por materiais de diferentes granulometrias.

O Bag tipo geotêxtil foi instalado dentro de uma célula de secagem coberta e sem meio filtrante, conforme representado na Figura 1, a qual destaca a unidade de secagem utilizada na pesquisa.

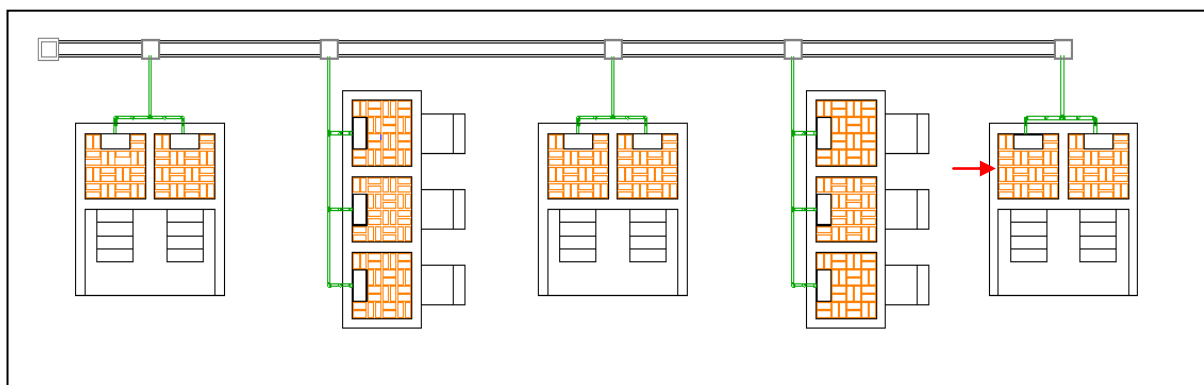
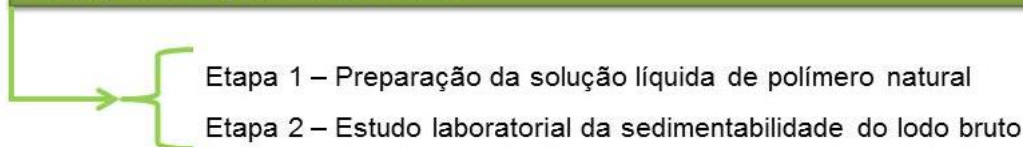


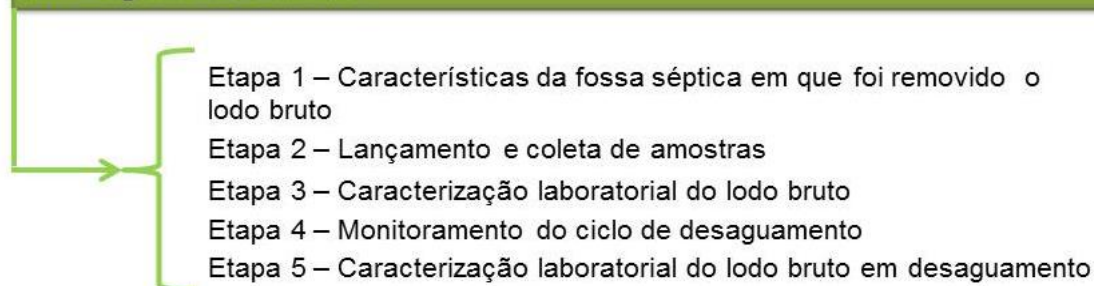
Figura 1 – Disposição das células de secagem no sistema experimental.
Fonte: Adaptado de Pereira *et al.* (2008).

A pesquisa foi realizada no período de Maio a Julho de 2012, sendo estruturada em 2 Fases distintas, conforme mostrado no Fluxograma 1.

FASE I – Estudo da sedimentabilidade de lodo bruto para diferentes dosagens de polímero natural



FASE II – Desaguamento de lodo com aplicação de polímero natural em Bag em escala real



Fluxograma 1 – Fases da pesquisa.

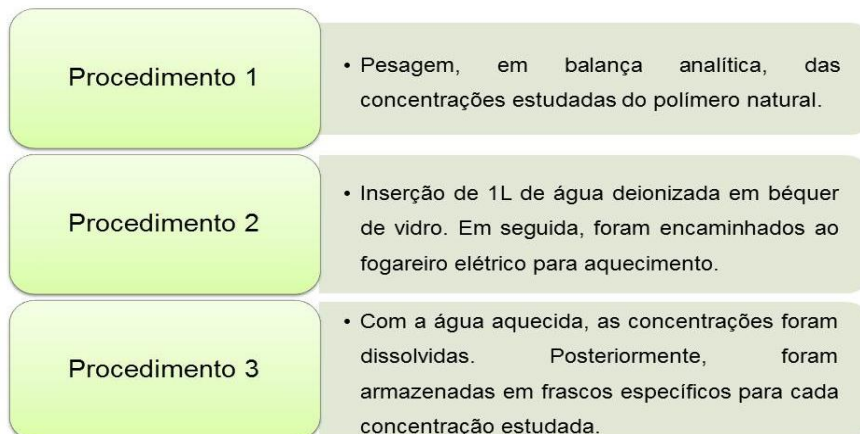
FASE I – ESTUDO DA SEDIMENTABILIDADE DE LODO BRUTO PARA DIFERENTES DOSAGENS DE POLÍMERO NATURAL

Essa Fase foi desempenhada para verificar se a utilização de polímero natural, a base de amido de milho, influenciaria nos processos de sedimentação do lodo, sendo dividida em 2 Etapas: preparação da solução líquida de polímero natural e estudo laboratorial da sedimentabilidade do lodo bruto.

Etapa 1 – Preparação da solução líquida de polímero natural

O polímero natural à base de amido de milho foi selecionado para ser o objeto de estudo na presente pesquisa, devido ao seu baixo preço de aquisição, além da sua promissora empregabilidade como agente auxiliar de floculação nos processos de condicionamento químico de lodo.

As concentrações empregadas na pesquisa foram baseadas em pesquisas desenvolvidas na literatura específica, sendo estudadas as concentrações de 1, 2 e 3 g/L. Os procedimentos laboratoriais empregados para a preparação da solução líquida do polímero natural estão descritos no Fluxograma 2.



Fluxograma 2 – Preparo laboratorial das soluções de polímero natural.

Etapa 2 – Estudo laboratorial da sedimentabilidade do lodo bruto

O estudo da sedimentabilidade do lodo foi realizado em cones Imhoff em escala laboratorial, tendo como objetivo avaliar a dosagem de polímero natural que apresentem o melhor desempenho como agente auxiliar nos processos de floculação/sedimentação das partículas sólidas presentes no lodo.

No seu desenvolvimento, foram separados quatro cones Imhoff, sendo nos três iniciais empregadas as concentrações de 1, 2 e 3 g/L, respectivamente, no lodo removido de fossa séptica. No quarto cone não foi aplicado nenhum produto químico para otimizar os processos naturais de sedimentação.

Para o estudo da sedimentabilidade do lodo nos cones Imhoff, foram estabelecidos parâmetros laboratoriais para analisar a concentração de polímero natural que apresentasse melhor desempenho como agente auxiliar nos processos de floculação/sedimentação, conforme pode ser observado no Quadro 1.

Tempo (min)	Parâmetros laboratoriais
0 (inicial)	pH, Temperatura, Turbidez, Cor aparente, Sólidos em suspensão e Sólidos Sedimentáveis
30 (Intermediário)	
60 (Final)	

Quadro 1 – Variáveis de qualidade selecionadas para analisar o desempenho dos processos de sedimentação.

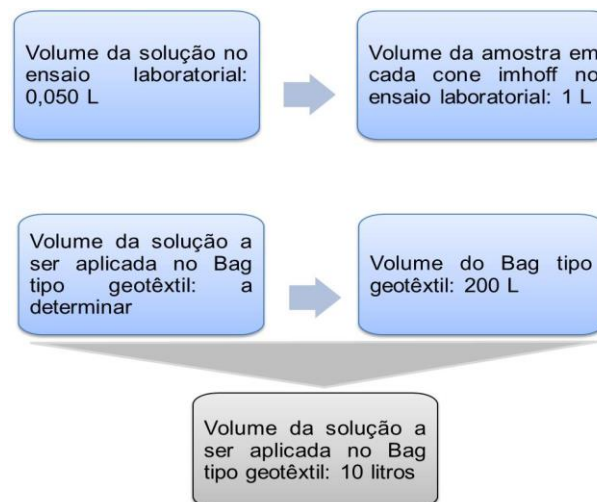
Para o emprego desses parâmetros adotados na pesquisa, foram realizados os seguintes procedimentos metodológicos apresentados a seguir:

1 – Logo após a homogeneização manual do lodo, foram realizadas coletas de amostras em diferentes alturas dos cones Imhoff (níveis 1 e 2), visando o conhecimento das características dos processos de floculação/sedimentação em diferentes zonas. Em seguida, nas amostras coletadas foram determinadas as variáveis de qualidade apresentadas no Quadro 1. O tempo desse procedimento inicial foi denominado “ t_{inicial} ”.

2 – Após o período de tempo de 30 minutos, foram coletadas amostras para determinação coletadas as variáveis de qualidade apresentadas no Quadro 1. O tempo desse procedimento inicial foi denominado “ $t_{\text{intermediário}}$ ”.

3 – Após o período de tempo de 60 minutos, foram coletadas amostras para determinação coletadas as variáveis de qualidade apresentadas no Quadro 1. O tempo desse procedimento inicial foi denominado “ t_{final} ”.

Para definição do volume da solução de polímero natural a ser lançada em escala real no sistema experimental, foram considerados os procedimentos descritos no Fluxograma 3.



Fluxograma 3 – Determinação do volume da solução de polímero natural.

FASE II – DESAGUAMENTO DE LODO COM APLICAÇÃO DE POLÍMERO NATURAL EM BAG EM ESCALA REAL

Nessa Fase serão descritos os procedimentos metodológicos empregados em seu desenvolvimento, sendo dividida em 5 Etapas: características da fossa séptica em que foi removido o lodo bruto; lançamento e coleta de amostras; caracterização laboratorial do lodo bruto; monitoramento do ciclo de desaguamento e caracterização laboratorial do lodo bruto em desaguamento.

Etapa 1 – Características da fossa séptica em que foi removido o lodo bruto

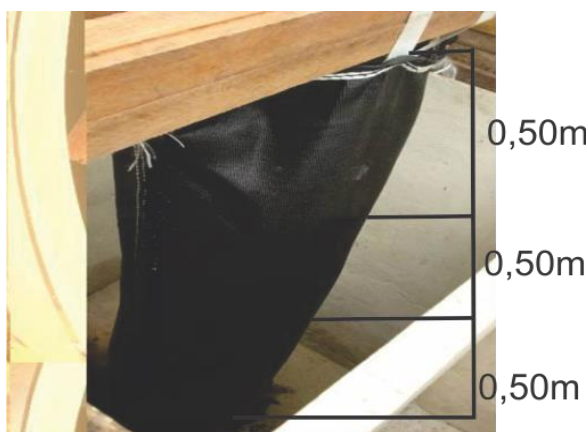
Para seleção da fossa séptica, foram realizadas perguntas ao proprietário da residência, visando obter informações sobre as condições de manutenção e operação das fossas sépticas dos imóveis residenciais, conforme descrito a seguir:

- Recebe os efluentes de quais locais do imóvel?
- Contribuição de quantas residências?
- População de contribuição?
- Última limpeza realizada na fossa séptica?
- Conhecimento sobre o destino final do lodo removido da fossa séptica?

Etapa 2 – Lançamento e coleta de amostras

Nessa etapa foi lançado o lodo séptico do caminhão limpa-fossa para o Bag tipo geotêxtil. Antes de seu lançamento na unidade de desaguamento, foi solicitado para o operador do caminhão limpa-fossa que realizasse “agitação” no material residual armazenado no caminhão, por meio de sua bomba de descarga, visando à homogeneização do material residual coletado, tendo em vista que o tempo em que o lodo permanece no tanque do caminhão é suficiente para que as partículas de maior peso específico sedimentem, ficando depositadas no tanque de armazenamento do caminhão.

Os ensaios experimentais foram realizados com lodo bruto na altura final de 1,50m no Bag tipo geotêxtil, sendo dividida em três partes iguais de 0,50m, com objetivo de avaliar se a homogeneização do lodo antes de seu lançamento foi realizada com sucesso. Para o controle operacional das diferentes alturas no sistema, foi instalada fita métrica em sua lateral interna, como pode ser observado nas Fotografias 1 e 2.



Fotografia 1 – Alturas definidas no Bag.



Fotografia 2 – Fita métrica instalada.

No momento do lançamento do lodo bruto foram coletadas 3 amostras nas alturas de 1,50m (nível 1), 1,00m (nível 2) e 0,50m (nível 3), totalizando 6 litros de amostras de lodo bruto. Desse volume total de amostras coletadas, um litro correspondente a cada nível foi armazenado num recipiente. Em seguida, foi realizada a sua homogeneização manual, para que fosse coletado um litro de amostra homogênea do lodo bruto.

O volume e o tempo de lançamento de lodo bruto foram registrados para cada altura no Bag tipo geotêxtil, possibilitando a determinação das vazões de lançamento, das taxas de sólidos totais (Kg/m^2) e volumes de sólidos sedimentáveis.

Etapa 3 – Caracterização laboratorial do lodo bruto

As amostras coletadas do lodo bruto no sistema experimental foram encaminhadas para o LQA, da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), para caracterização laboratorial, conforme os procedimentos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

Para as amostras coletadas nas alturas de 1,50m (nível 1), 1,00m (nível 2) e 0,50m (nível 3), foram determinados os seguintes parâmetros descritos no Quadro 2.

Determinação experimental	Quantidade	Unidade
1. Sólidos Totais	3	mg.l^{-1}
2. Sólidos sedimentáveis	3	ml.l^{-1}
3. Teor de Umidade	3	%
Total	09	

Quadro 2 – Variáveis de qualidade determinadas em diferentes níveis do Bag tipo geotêxtil.

Para a amostra homogênea, foi realizada a caracterização do lodo bruto, sendo apresentadas no Quadro 3 as variáveis de qualidade (Potencial Hidrogeniônico (pH), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Alcalinidade, Nitrato, Nitrito, Amônia, Fósforo Total, Sólidos Totais, Sólidos Sedimentáveis, Teor de Umidade e Temperatura) analisadas no lodo bruto. Para as medições de pH, foi empregado um pHmetro da marca pHteck.

Determinação experimental	Quantidade	Unidade
1. pH	1	-
2. DBO	1	mg.l^{-1}
3. DQO	1	mg.l^{-1}
4. Alcalinidade	1	$\text{mgCaCO}_3 .\text{L}^{-1}$
5. Nitrato	1	mg.l^{-1}
6. Nitrito	1	mg.l^{-1}
7. Amônia	1	mg.l^{-1}
8. Fósforo Total	1	mg.l^{-1}
9. Sólidos Suspensos	1	mg.l^{-1}
10. Sólidos Totais	1	mg.l^{-1}
11. Sólidos sedimentáveis	1	ml.l^{-1}
12. Teor de Umidade	1	%
13. Temperatura	1	$^{\circ}\text{C}$
Total	13	

Quadro 3 – Variáveis de qualidade analisadas no lodo bruto coletado.

Etapa 4 – Monitoramento do ciclo de desaguamento

O monitoramento do ciclo de desaguamento do lodo foi realizado diariamente, sendo determinado o decréscimo da altura da lâmina de lodo no Bag tipo geotêxtil, pela observação visual da marcação na fita métrica instalada na sua lateral interna.

Simultaneamente ao acompanhamento do decréscimo da altura da lâmina de lodo no Bag tipos geotêxtil, diariamente foram coletadas amostras do lodo em desaguamento para as determinações laboratoriais

Etapla 5 – Caracterização laboratorial do lodo bruto em desaguamento

As amostras coletadas do lodo em desaguamento, no sistema experimental, foram encaminhadas para o LQA, para caracterização laboratorial, conforme os procedimentos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

Para as amostras coletadas ao longo do monitoramento do lodo em desaguamento, foram determinados os parâmetros descritos no Quadro 4.

Determinação experimental	Quantidade	Unidade
1. Sólidos Totais	14	mg.l ⁻¹
2. Teor de Umidade	14	%
Total	28	

Quadro 4 – Variáveis de qualidade determinadas no lodo em desaguamento.

RESULTADOS OBTIDOS

Nessa seção serão apresentados os resultados obtidos nas Fases I e II da pesquisa.

FASE I – ESTUDO DA SEDIMENTABILIDADE DE LODO BRUTO PARA DIFERENTES DOSAGENS DE POLÍMERO NATURAL

Etapla 1 – Preparação da solução líquida de polímero natural

O polímero natural à base de amido de milho foi selecionado para ser o objeto de estudo. As concentrações empregadas foram: 1 g/L, 2 g/L e 3 g/L.

Etapla 2 – Estudo laboratorial da sedimentabilidade do lodo bruto

Com o desenvolvimento da pesquisa, concentração de 2 g/L apresentou melhor desempenho como agente auxiliar nos processos de floculação/sedimentação do lodo removido de fossa séptica, sendo utilizada para o desaguamento de lodo em Bag tipo geotêxtil.

FASE II – DESAGUAMENTO DE LODO COM APLICAÇÃO DE POLÍMERO NATURAL EM BAG EM ESCALA REAL

Etapla 1 – Características da fossa séptica em que foi removido o lodo bruto

Para o desenvolvimento da pesquisa, o lodo foi removido de uma única fossa séptica, a qual apresentou as seguintes informações técnicas quanto a sua manutenção e operação:

- Recebe os efluentes de 1 bacia sanitária e um lavatório;
- Contribuição de uma única unidade domiciliar;
- População de contribuição: 4 habitantes;
- Última limpeza realizada há 2 anos;
- Essa unidade de tratamento não foi dimensionada por profissional técnico;
- A população de contribuição desconhece o destino final do lodo removido em sua última coleta, realizada por caminhão tipo limpa-fossa. No entanto, analisam que pode ser lançado em canais da cidade.

Etapa 2 – Lançamento e coleta de amostras

Na Tabela 1 são apresentados os resultados do tempo (segundos) e as vazões ($L.s^{-1}$) de lançamento do lodo bruto em diferentes alturas do bag tipo geotêxtil, bem como as concentrações de sólidos totais ($mg.L^{-1}$), os percentuais de teor de umidade (%) e os volumes de sólidos sedimentáveis ($ml.L^{-1}$).

Tabela 1 – Resultados das variáveis em estudo no sistema experimental.

Sistema Experimental	Altura (m)	Volume (L)	Tempo (s)	Vazão ($L.s^{-1}$)	Sólidos Totais ($mg.L^{-1}$)	Teor de umidade ($mg.L^{-1}$)	Sólidos Sedimentáveis ($ml.L^{-1}$)
Bag tipo geotêxtil	0,5	66,6	35	1,9	3779	99,62	700
	1,0	133,2	16	8,32	4066	99,59	700
	1,5	200,0	10	20,0	5468	99,45	750

Etapa 3 – Caracterização laboratorial do lodo bruto

Na Tabela 2 são apresentadas as características do lodo bruto coletado de fossa séptica residencial no município de Belém-PA. Para efeito comparativo, também foram apresentados os resultados da caracterização de lodo bruto removido de fossa séptica no município de Belém realizado por Miranda (2009).

Tabela 2 – Resultados das variáveis de qualidade analisadas na pesquisa.

Parâmetros	Resultados da Pesquisa	Miranda (2009)	Pereira (2008)
Temperatura ($^{\circ}C$)	26	-	
DBO ($mg.L^{-1}$)	720	1592	2976
DQO ($mg.L^{-1}$)	5200	20104	16054
Fósforo Total ($mg.L^{-1}$)	44,1	127	51,6
N-Amoniacal ($mg.L^{-1}$)	110	-	132
pH	7,1	6,5	7,3
Alcalinidade ($mgCaCO_3.L^{-1}$)	1600	4800	11440
Sólidos totais ($mg.L^{-1}$)	5837	27987	29094
Teor de umidade (%)	99,41	98,66	70,9

Etapa 4 – Monitoramento do ciclo de desaguamento

O tempo total de desaguamento do lodo bruto foi de 14 dias. No Gráfico 1 pode ser observada a redução da altura da lâmina de lodo, em função do tempo, no sistema experimental.

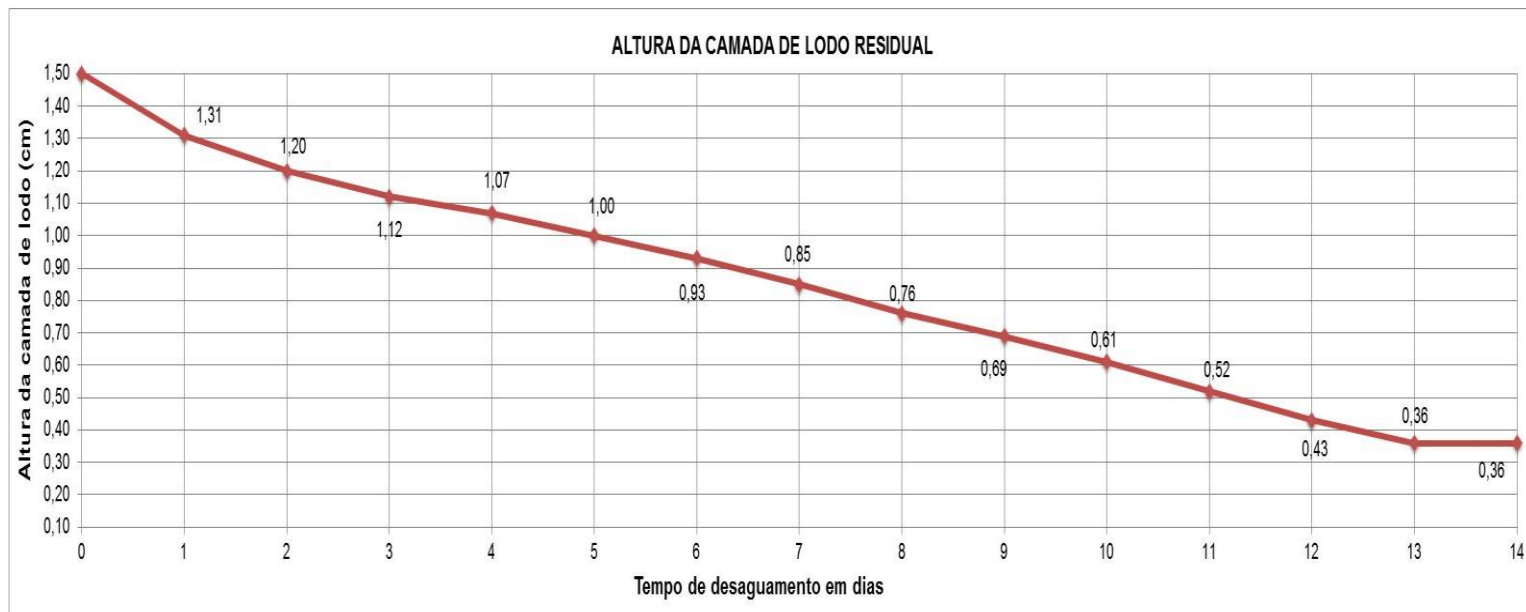


Gráfico 1 – Altura da lâmina de lodo em função do tempo no Bag tipo geotêxtil

No Gráfico 2 pode ser observada a estimativa do volume de líquido drenado ao longo do monitoramento do desaguamento do lodo no Bag tipo geotêxtil.

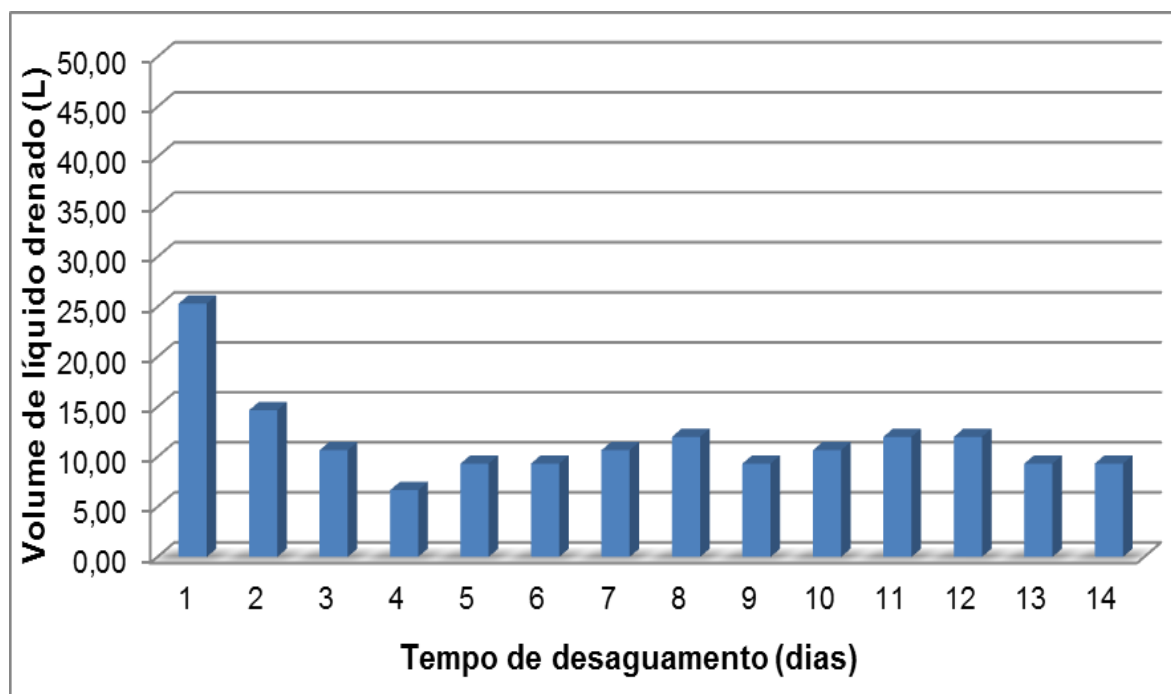


Gráfico 2 – Volume de líquido drenado no Bag tipo geotêxtil.

No Gráfico 3 pode ser analisada a distribuição dos dados relacionados aos volumes de líquido drenado ao longo do monitoramento do desaguamento de lodo no Bag tipo geotêxtil.

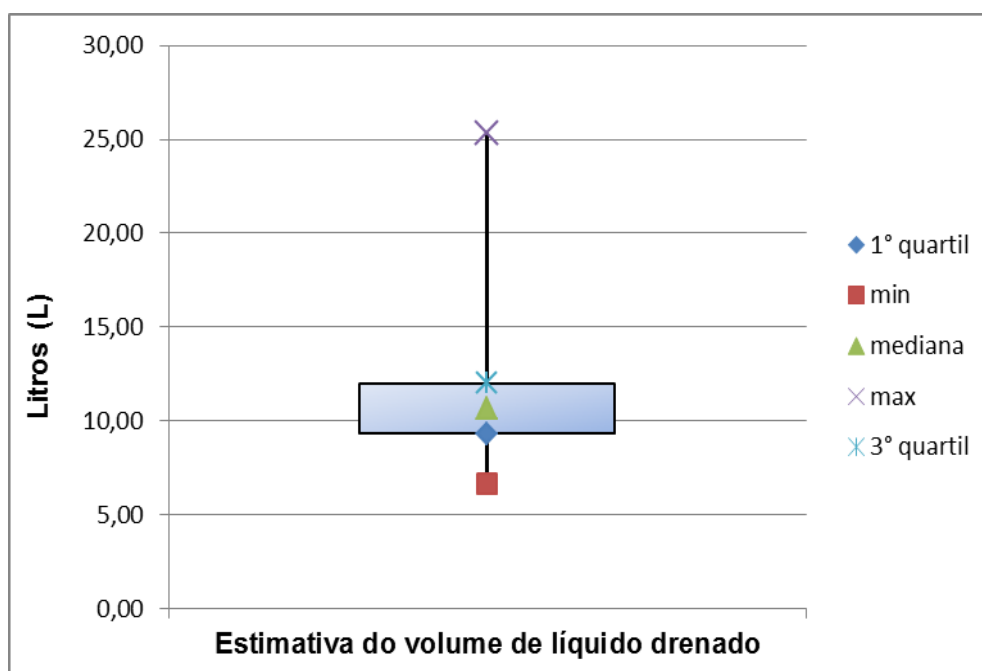


Gráfico 3 – Distribuição dos volumes do líquido drenado no sistema experimental.

Etapa 5 – Caracterização laboratorial do lodo bruto em desaguamento

No Gráfico 4 podem ser analisados os percentuais encontrados de teor de umidade no sistema experimental.

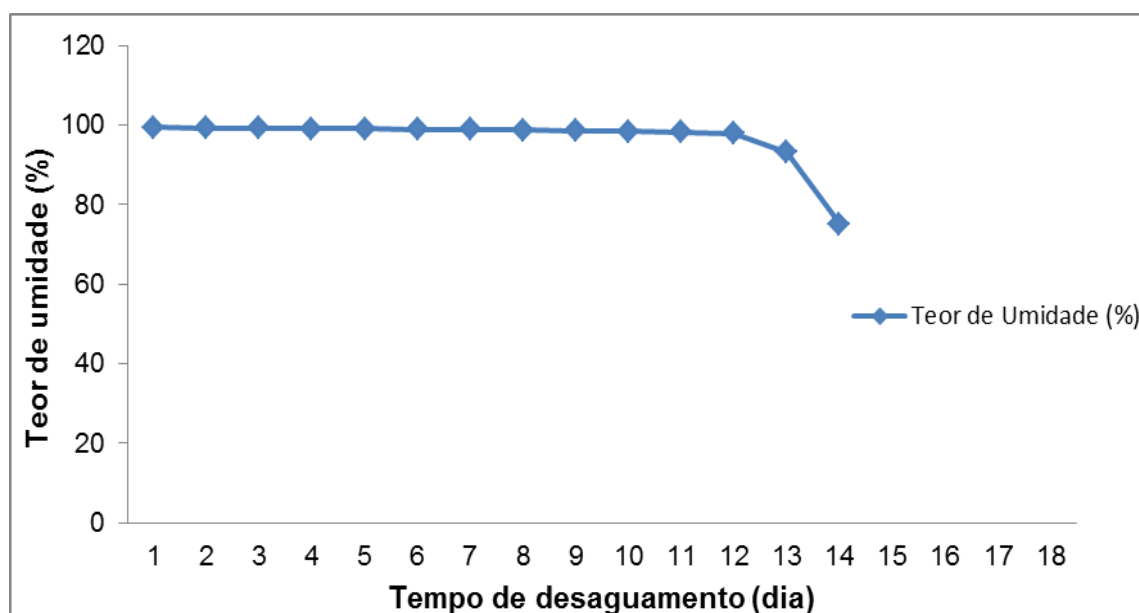


Gráfico 4 – Variação do teor de umidade ao longo do experimento.

No Gráfico 5 é apresentada a reta de regressão linear simples, bem como o valor obtido referente ao coeficiente de determinação R^2 , para o Bag tipo geotêxtil. No modelo estatístico utilizado na elaboração da reta de regressão linear simples, foi analisada a relação entre duas variáveis (tempo e concentração de sólidos na torta do lodo em secagem), sendo a primeira considerada variável independente e a segunda variável dependente.

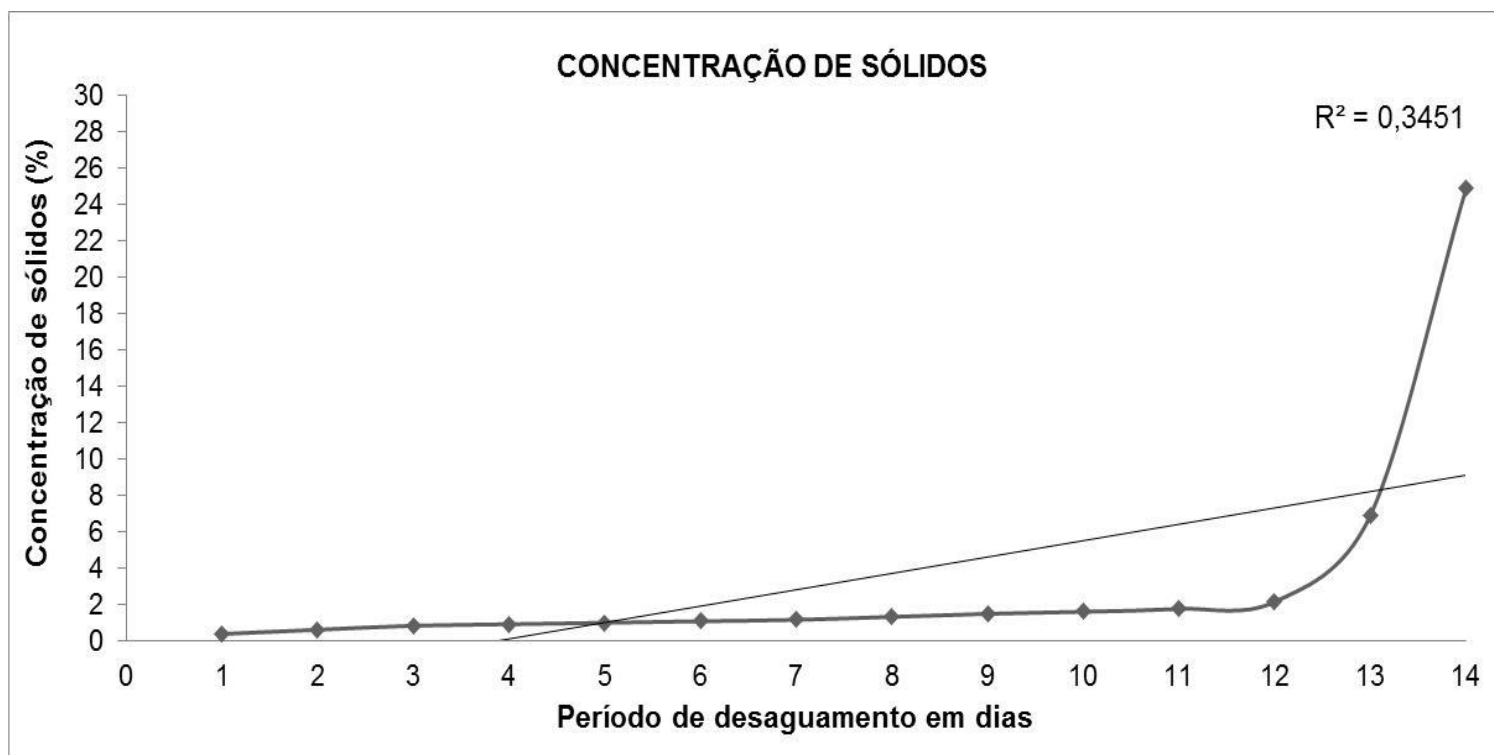


Gráfico 5 – Regressão linear para a concentração de sólidos no Bag tipo geotêxtil.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

FASE I – ESTUDO DA SEDIMENTABILIDADE DE LODO BRUTO PARA DIFERENTES DOSAGENS DE POLÍMERO NATURAL

Analizando os resultados obtidos ao final estudo da sedimentabilidade nos cones Imhoff, a concentração C_2 apresentou os menores valores de Turbidez, Cor Aparente e Sólidos em Suspensão nos níveis 1 e 2 em comparação aos cones Imhoff C_1 , C_3 e s/c, conforme mostrado nas Tabelas 3, 4, e 5.

Tabela 3 – Estudo da sedimentabilidade do lodo no tempo inicial.

Parâmetros	Nível 1 (H1)	Nível 2 (H2)	Tempo (min)
pH	7,1	7,1	
Temperatura (°C)	25	25	
Turbidez (UNT)	733	1310	0 (inicial)
Cor Aparente (uH)	800	860	
Sólidos em Suspensão (mg.l ⁻¹)	890	1170	

Tabela 4 – Estudo da sedimentabilidade do lodo no tempo intermediário.

Parâmetros	Nível 1 (H1)	Nível 2 (H2)	Tempo (min)
pH	7,1	7,1	
Temperatura (°C)	25	25	
Turbidez (UNT)	577	661	30 (intermediário)
Cor Aparente (uH)	750	780	
Sólidos em Suspensão (mg.l ⁻¹)	780	810	

Tabela 5 – Estudo da sedimentabilidade do lodo no tempo final.

Parâmetros	Nível 1 (H1)	Nível 2 (H2)	Tempo (min)
pH	7,1	7,1	
Temperatura (°C)	25	25	
Turbidez (UNT)	546	584	60 (final)
Cor Aparente (uH)	660	780	
Sólidos em Suspensão (mg.L ⁻¹)	720	810	
Sólidos Sedimentáveis (ml.L ⁻¹)	300	450	

FASE II – DESAGUAMENTO DE LODO COM APLICAÇÃO DE POLÍMERO NATURAL EM BAG EM ESCALA REAL

Etapa 1 – Características da fossa séptica em que foi removido o lodo bruto

Na fossa séptica em que foi removido o lodo bruto utilizado na pesquisa, a última limpeza foi realizada há 2 anos, o que pode ter permitido a fermentação completa, com a estabilização da metanização do material residual, sendo caracterizada como a fase final da digestão anaeróbia.

Dessa forma, a fossa séptica utilizada para coleta do lodo bruto apresentou problemas de operação e manutenção, não seguindo as recomendações das normas técnicas da ABNT, inclusive, sem informações técnicas de sua configuração adequada para a população de projeto; tempo de detenção hidráulico e remoção do lodo.

Etapa 2 – Lançamento e coleta de amostras

O tempo de lançamento do lodo bruto no sistema experimental variou de 10s a 35s, indicando que não existe dispositivo para controle da vazão no sistema de bombeamento de lodo dos caminhões limpa-fossa.

As diferenças nos volumes de sólidos sedimentáveis, da concentração de sólidos totais e do teor de umidade no lodo bruto podem ser explicadas pela variação das características observadas na descarga do caminhão limpa-fossa, que, primeiramente, bombeou lodo bruto para a altura 0,50m, em seguida, para as alturas 1,00m e 1,50m, respectivamente. Com isso, a maior concentração de sólidos foi bombeada para a altura 1,50m, já que grande fração dos sólidos suspensos e sedimentáveis no lodo transportado ficou depositada no tanque de armazenamento do caminhão limpa-fossa, mesmo após a homogeneização do lodo bruto antes de seu lançamento para o Bag tipo geotêxtil.

Etapa 3 – Caracterização laboratorial do lodo bruto

Nos resultados apresentados na Tabela 2, pode ser observado que os valores da DQO e DBO encontrados foram na ordem de 5200 e 720 mg.L⁻¹, respectivamente. Quanto aos nutrientes Fósforo total e N-Amoniacal, os resultados encontrados foram de 44,1 e 110 mg.L⁻¹, respectivamente. As variáveis de qualidade Alcalinidade e pH apresentaram valores de 1600 mg.L⁻¹CaCO₃ e 7,2, respectivamente. No que diz respeito aos sólidos totais, o valor determinado foi de 5837 mg.L⁻¹, para um percentual de teor de umidade de 99,41%.

Miranda (2009) realizou a caracterização do lodo bruto removido de fossas e tanques sépticos residenciais no município de Belém. Nos resultados obtidos pelo autor em sua pesquisa, pode ser observado que os valores médios da DQO e DBO encontrados foram na ordem de 20104 e 1592 mg.L⁻¹, respectivamente. Quanto ao nutriente Fósforo Total, o resultado encontrado foi de 127 mg.L⁻¹. As variáveis de qualidade Alcalinidade e pH apresentaram valores de 4800 mg.L⁻¹ CaCO₃ e 6,5, respectivamente. No que diz respeito aos sólidos totais, o valor determinado foi de 27987 mg.L⁻¹, para um percentual de teor de umidade de 98,66%.

Pereira *et al.* (2008) caracterizaram lodo bruto removido de fossas sépticas residenciais no município de Belém-PA. Em seus experimentos, os autores encontraram valores de DQO e DBO na ordem de 16054 e 2976 mg.L⁻¹, respectivamente. Quanto ao nutriente N-Amoniacal, o resultado encontrado foi de 132 mg.L⁻¹. As variáveis de qualidade Alcalinidade e pH apresentaram valores de 11440 mg.L⁻¹ CaCO₃ e 7,3, respectivamente. No que diz respeito aos sólidos totais, o valor determinado foi de 29094 mg.L⁻¹, para um percentual de teor de umidade de 70,90%.

A taxa de sólidos totais aplicada no Bag tipo geotêxtil foi de 1,16 KgST/m². Em comparação a taxa de sólidos máxima recomendada para leitos de secagem, na presente pesquisa, a taxa de sólidos aplicada no Bag tipo geotêxtil foi está muito abaixo do valor máximo 15 kgSS/m² recomendado pela NBR 12.209 (1992).

Etapas 4 – Monitoramento do ciclo de desaguamento

Nas primeiras 24 horas de desaguamento, houve redução da altura da lâmina de lodo de 19 cm. Essa altura corresponde à redução volumétrica de 25,3 litros, representando diminuição de 12,6% do volume total de lodo lançado no Bag tipo geotêxtil.

Após dez dias de desaguamento, foi medida altura de 69 cm, o que representou diminuição volumétrica de 108,0 litros, indicando redução de 54,0% do volume total de lodo lançado no sistema experimental, o que pode ser atribuído à aplicação de produto químico no lodo, ocasionando o aumento da sedimentabilidade dos sólidos presentes no mesmo. Dessa forma, o volume de sólidos acumulados rapidamente no fundo do Bag tipo geotêxtil dificultou a drenagem da fração líquida do lodo, prolongando o tempo de desaguamento no sistema experimental.

No dia 14, último dia do monitoramento do desaguamento de lodo no Bag tipo geotêxtil, foi medida altura de 36 cm na torta de sólidos, representando redução volumétrica de aproximadamente 152 litros, indicando diminuição de 76% do volume total de lodo lançado no sistema experimental ao final do experimento.

No Gráfico 3 pode ser analisado que 25% das amostras são inferiores ao volume do líquido drenado de 9,33 litros. A mediana indica que 50% dos valores encontrados, ao longo do monitoramento do desaguamento de lodo no sistema experimental, estão abaixo do volume 10,67 litros, bem como os outros 50% estão acima desse valor. Podem ser observados que 75% dos valores encontrados dos volumes de líquido drenado são inferiores a 12,0 litros. Os valores máximo e mínimo encontrados foram 25,33 litros e 6,67 litros, respectivamente, indicando que, no decorrer do desaguamento do lodo no Bag tipo geotêxtil, a maior fração líquida do lodo é drenada nos primeiros dias do experimento.

Etapas 5 – Caracterização laboratorial do lodo bruto em desaguamento

No primeiro dia de desaguamento, apresentou teor de umidade de 99,41%. Do dia 1 do monitoramento ao dia 11, o teor de umidade apresentou redução sensível e uniforme, fato que não ocorreu do dia 12 ao final do experimento, representando reduções significativas no teor de umidade do lodo em desaguamento. Tal fato pode ser atribuído à aplicação de produto químico no lodo, acarretando no aumento da sedimentabilidade dos sólidos presentes no mesmo. Dessa forma, o volume de sólidos foi acumulado rapidamente no fundo do Bag tipo geotêxtil, ocasionando, nos resultados da pesquisa, o encontro de baixos teores de umidade nesses dias. Dentre outras palavras, do dia 12 ao dia 14 do monitoramento, foram alcançadas as zonas de maior concentração de sólidos, resultando em menores teores de umidade no lodo em desaguamento, conforme pode ser observado no Gráfico 4.

No Gráfico 5 é apresentada a reta de regressão linear simples, bem como o valor obtido referente ao coeficiente de determinação R², para o Bag tipo geotêxtil. No modelo estatístico utilizado na elaboração da reta de regressão linear simples, foi analisada a relação entre duas variáveis (tempo e concentração de sólidos na torta do lodo em secagem), sendo a primeira considerada variável independente e a segunda variável dependente.

A partir das análises da relação entre as variáveis em estudo, observou-se que no sistema experimental o R² foi de 34,51%. O coeficiente de determinação (R²) deve ser interpretado como a proporção de variação total da variável dependente (concentração de sólidos) em função da independente (tempo em dias).

O baixo valor do coeficiente de determinação pode ser explicado pelo fato da aplicação de produto químico no lodo ter aumentado a sedimentabilidade dos sólidos presentes no mesmo, existindo pouca variabilidade na concentração de sólidos até o dia 12 do experimento. Do dia 12 ao final do experimento, foram observados picos na concentração de sólidos, indicando o encontro das zonas de acumulação de sólidos no Bag tipo geotêxtil.

Dessa forma, o modelo matemático proposto não apresentou boa relação estatística entre as variáveis analisadas na pesquisa, por conta da aplicação do produto químico no lodo, ocasionando a diminuição da variabilidade natural da variável dependente (concentração de sólidos).

Quanto ao lançamento de lodo bruto no sistema experimental, foi observado que, mesmo sendo realizada prévia homogeneização do lodo bruto no próprio caminhão tipo limpa-fossa, a diferença nos volumes de sólidos e teor de umidade, indicaram que não foi obtido sucesso na homogeneização do lodo bruto.

O tempo total de desagüamento do lodo bruto no sistema experimental foi de 14 dias. Ao longo do monitoramento, foi observado que ocorreram significativas reduções da altura da lâmina de lodo até o décimo dia do experimento.

Ao longo do monitoramento, os maiores volumes de líquido drenado ocorreram nos primeiros dias do experimento, indicando que a maior redução de umidade do lodo em desagüamento ocorreu por percolação.

Quanto ao teor de umidade, foi observado que do dia 12 ao dia 14 de monitoramento, foram alcançadas as zonas de maior concentração de sólidos, resultando em menores teores de umidade no lodo em desagüamento.

CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento da pesquisa, as seguintes conclusões serão destacadas em relação ao desagüamento de lodo bruto em Bag tipo geotêxtil com aplicação de polímero natural:

- A fossa séptica do apresentou problemas de manutenção e operação, inclusive, sem informações de sua configuração adequada para a população de projeto; tempo de detenção hidráulica e remoção do lodo;
- O acompanhamento do lançamento do lodo bruto no sistema experimental permitiu observar que não existe dispositivo para controle da vazão bombeada de lodo bruto nos caminhões limpa-fossa. Para a presente pesquisa, o lançamento direto de lodo no bag tipo geotêxtil iria gerar problemas operacionais, pois ao longo do trajeto do caminhão limpa-fossa até ao sistema experimental, ocorrerá depósitos das partículas sólidas presentes no lodo, influenciando nas suas características físico-química e biológica;
- A mistura realizada no lodo bruto pela bomba de descarte do caminhão limpa-fossa não foi eficiente, pois, no lançamento no Bag tipo geotêxtil, foram verificadas diferenças nos volumes de sólidos sedimentáveis nas três alturas amostradas no sistema experimental;
- A concentração de 2g/L (C2), analisada no estudo da sedimentabilidade do lodo para diferentes dosagens de polímero natural, apresentou melhor desempenho como agente auxiliar nos processos de floculação/sedimentação do lodo removido de fossa séptica, sendo utilizada para o desagüamento de lodo em Bag tipo geotêxtil. Assim, a aplicação de produto químico para o desagüamento de lodo removido de fossa séptica, em Bag tipo geotêxtil, não indicou resultados satisfatórios quanto ao tempo de desagüamento necessário para a obtenção de concentrações de sólidos próximas de 30%. Dessa forma, sua eficiência, custo e benefício não se apresentaram viáveis para sua utilização no tratamento de lodo em Bag tipo geotêxtil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. American Public Health Association (APHA, 2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington, 2012.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7229: Projeto, Construção e Operação de Sistemas de Tanques Sépticos. ABNT, Rio de Janeiro, 1993.
3. GUYER, J.P. An Introduction to Oily Wastewater Collection and Treatment. Continuing Education and Development, 2013 – 97 p.
4. PEREIRA, J.A.R.; BARBOSA, A.J.S.; SANTOS, M.L.S.; ANDREOLI, C.V. Tratamento Isolado de Lodo de Fossa Séptica. In: ANDREOLI, C.V. (Org.). Lodo de Fossa Séptica: Caracterização, Tecnologias de Tratamento, Gerenciamento e Destino Final. 1ª Ed. Rio de Janeiro. ABES, 2008. P.283-326.
5. MIRANDA, M.V.T. Caracterização e quantificação da carga poluidora do lodo removido de tanques sépticos no município de Belém – PA. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária) – Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará. Belém, 2009. 97 p.
6. SHAH, M.P.; COUTO, S.R.; SHAH, N.; BANERJEE, R. Treatment and Reuse of Sewage Sludge: An Innovative Approach for Wastewater Treatment. Elsevier, 2022 – 486 p.
7. TUROVSKIY, I.S.; MATHAI, P.K. Wastewater Sludge Processing. John Wiley and Sons, 2006 – 354 p.