

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/726

Avaliação do Desaguamento de Resíduo de Pecuária em Sistemas de Confinamento de Resíduos em Geotêxteis Tecido e Não Tecido

Fernanda Harumy Gomes Ohira

Mestranda, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil, fernandaharumy@usp.br

Jefferson Lins da Silva

Professor, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil, jefferson@sc.usp.br

RESUMO: Devido ao grande destaque do Brasil no mercado leiteiro, é fundamental garantir a saúde do gado e a qualidade dos produtos pecuários. Para isso, é imperativa a limpeza dos currais, frequentemente realizada de maneira ineficiente e com excessivo consumo de água potável. Os Sistemas de Confinamento de Resíduos (SCR's) manufaturados com geossintéticos emergiram como uma potencial solução devido à capacidade filtrante dos geotêxteis. Este trabalho objetiva avaliar a eficácia de SCR's manufaturados em dois geotêxteis diferentes (tecido e não tecido) por meio de ensaios de cone e o Geotextile-tube Demonstration Test (GDT). Avaliaram-se a turbidez e a redução dos teores de sólidos do efluente. Após analisados os resultados, ambos os geotêxteis mostram-se eficazes para esta aplicação, contudo, notou-se melhor desempenho no geotêxtil não tecido. Ademais, também se percebeu uma tendência de aplicação do SCR em função dos ciclos de enchimento: para poucos ciclos, o geotêxtil não tecido sobressai sobre o tecido; enquanto para aplicações de mais ciclos de enchimento, prevaleceu o contrário. Mediante os resultados encontrados, conclui-se que o SCR com geotêxteis é uma excelente solução que permite o reaproveitamento a água da limpeza de currais e favorece a sustentabilidade na agropecuária.

PALAVRAS-CHAVE: Tubo geotêxtil, Geotêxtil tecido, Geotêxtil não tecido, Desaguamento, Esterco, Agropecuária.

ABSTRACT: Due to Brazil's significant prominence in the dairy market, ensuring the health of livestock and the quality of livestock products is essential. For this purpose, cleaning corrals is imperative, often carried out inefficiently with excessive potable water consumption. Waste Containment Systems (SCRs) manufactured with geosynthetics have emerged as a potential solution due to the filtration capacity of geotextiles. This study aims to evaluate the effectiveness of SCR's manufactured with two different geotextiles (woven and non-woven) through cone tests and the Geotextile-tube Demonstration Test (GDT). Turbidity and reduction in the solid content of the effluent were evaluated. After inquiry and analysis of the results, both geotextiles proved effective for this application; however, better performance was observed with the non-woven geotextile. Furthermore, a trend of application was also noticed: for a few cycles, the non-woven geotextile showed better performance over the woven one, while for more filling cycles, the opposite prevailed. Based on the results obtained, it is concluded that SCR with geotextiles is an excellent solution that allows the reuse of water from corral cleaning and promotes sustainability in agriculture.

KEYWORDS: Geotextile tube, Woven Geotextile, Non-Woven Geotextile, Dewatering, Manure, Agriculture, Livestock.

1 INTRODUÇÃO

A estrutura dos currais desempenha um papel fundamental relacionado ao mercado de produção de leite no Brasil. Neles há um fluxo contínuo de entrada e saída de animais, e, por consequência, geração de resíduos sólidos, ou seja, acúmulo de esterco no piso dos currais.

Tendo em vista os danos ambientais causados pela limpeza dos currais, a Lei nº 9.605/98 atenta para a disposição adequada dos resíduos dessa limpeza, atribuindo como crime ambiental a não execução da mesma. Em complemento, a IN 73 do MAPA (2019) permite a limpeza dos currais sem o uso de água potável. Assim, para evitar o desperdício de recursos hídricos na limpeza de currais é preciso valer-se de implantação de tecnologias de reciclagem de água.

Uma possível solução é a aplicação do Sistema de Confinamento de Resíduos (SCR), um “bolsão” geossintético com diversas aplicações em geotecnia e meio ambiente. Sua função, para o caso de resíduo pecuário, é de ser um filtro coletor, em que ele retém a maior quantidade de sólidos que compõem o esterco diluído e desagua um percolado que possui potencial valioso de retorno ao sistema para limpeza de currais.

Para avaliar essa aplicação, vale-se da eficiência do processo de desidratação, descrita por Lawson (2008), que depende da mudança na condutividade hidráulica dos resíduos contidos durante a desidratação, e do desempenho de filtração do geotêxtil no SCR. O tempo é o parâmetro mais importante na mudança de condutividade, e pode ser alterado com aceleradores (floculantes).

A eficiência de filtração sofre influência das propriedades hidráulicas do geotêxtil, isto é, da natureza das estruturas de poros dentro do geotêxtil e sua interação com os resíduos contidos (Lawson, 2008). O comportamento de filtração do geotêxtil é governado pela colmatação do material com formação de uma “filter cake” no interior do geotêxtil, conforme nomeado por Moo-Young et al. (2002). Assim, “filter cake” é definida como camada de sedimentos de solo auto-depositados a montante do geotêxtil. (Huang, 2007).

À luz dessas informações, verifica-se a necessidade de realizar ensaios em laboratório, para poder avaliar o desempenho de cada material como agente filtrante do resíduo das lavagens do curral (Tabela 1).

Tabela 1. Ensaios de avaliação do desempenho do geotêxteis.

Tipo de ensaio	Metodologia	Objetivo
Ensaio de Cone	Lawson (2008)	Análise da eficiência de retenção de partículas e turbidez do efluente
“Geotextile-tube Demonstration Test” (GDT)	ASTM D7880/D880M (2013)	Análise do desaguamento de retenção de partículas e turbidez do efluente

Os índices usados para a avaliação do desempenho de um desaguamento são classificados, de acordo com Bhatia et al. (2013), em índices de retenção e de desaguamento. Para a avaliação da retenção, recomenda-se a utilizado o índice de Eficiência de Filtração (EF), que compara a concentração do teor de sólidos e identifica a capacidade do sistema em reter sólidos, conforme Moo-Young e Tucker (2002). Para a avaliação do desempenho do desaguamento, Bhatia et al. (2013) define o índice de Percentual de Desaguamento (PD), que compara as umidades dos sólidos e identifica a capacidade de desidratação.

Também é possível prever a eficiência do SCR durante o processo de desaguamento por meio dos modelos propostos por Yee e Lawson (2012), aplicados nos estudos de Ratnasamy (2017). Com a balanço de massa, calcula-se a taxa média de desaguamento durante a fase de enchimento (Q_s), com um balanço de massa simples e com a sua conservação, encontra-se o volume total desaguado (volume de efluente - $V_{out(t)}$) a partir de múltiplas fases de enchimento e rebaixamentos (Ratnasamy, 2017).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Esta pesquisa utilizou dois tipos de geotêxteis, um em tecido (GTX-W) e um em não tecido (GTX-N). As características e as respectivas normas técnicas adotadas estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Caracterização de GTX-W e GTX-N.

Ensaio	Norma	GTX-W	GTX-N
Massa por unidade de área	NBR ISO 9864 (ABNT, 2013)	521 g/m ²	600 g/m ²
Espessura	NBR ISO 9863 (ABNT, 2013)	1,39 mm	4,2 mm
Resistência à tração faixa larga (L)		99,6 kN/m	29 kN/m
Alongamento na carga máxima (L)		6,80%	>50%
Resistência à tração faixa larga (T)	NBR ISO 10319 (ABNT, 2013)	103 kN/m	31 kN/m
Alongamento na carga máxima (T)		7,5%	>50%
Permeabilidade		1,78 cm/s	0,55 cm/s
Permissividade	ASTM D 4491 (ASTM, 2015)	0,44 s ⁻¹	0,80 s ⁻¹
Abertura de filtração característica	NBR ISO 12956 (ABNT, 2013)	0,40 mm	0,04 mm

Quanto ao resíduo agropecuário, composto de água e esterco do curral, este foi coletado na ordenha voluntária da Embrapa Pecuária Sudeste, localizada em São Carlos – SP (Figura 1).

2.2 Metodologia

Para a devida caracterização do efluente (pós-ensaio), o Laboratório de Saneamento da EESC - USP (LabSan) realizou os ensaios de acordo com a 23ª Edição do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (AWWA; WEF, 2017). Para medições pontuais da turbidez tanto no GDT quanto no ensaio de cone, utilizou-se o turbidímetro nefelométrico modelo Ap2000-marca Policontrol.

Para cada geotêxtil, foi homogeneizada uma amostra de 70 litros do resíduo em uma caixa d'água. Foram retiradas amostras para ensaios no LabSan de 1 L: i) do resíduo bruto; ii) do percolado de cada enchimento feito no ensaio GDT; e iii) do percolado do ensaio de cone.

Como não foi possível manter o mesmo resíduo de entrada para cada geotêxtil, a forma de análise do resultado é a comparação da mudança e/ou redução das variáveis em forma de porcentagem por meio das Equações 1 e 2 para avaliar a eficiência de filtração e o desempenho de desaguamento, respectivamente.

$$EF = \frac{ST_{inicial} - ST_{final}}{ST_{final}} \quad (1)$$

$$PD = \frac{w_{inicial} - w_{final}}{w_{final}} \quad (2)$$

Em que EF é a eficiência de filtração, em %; $ST_{inicial}$ é a concentração de teor de sólidos iniciais da mistura sedimentar, em %, e ST_{final} , a concentração de teor de sólidos finais da mistura sedimentar, em %.

Em que PD é o percentual de desaguamento, em %; $w_{inicial}$, a umidade inicial do sedimento, em %; e w_{final} , a umidade final do sedimento, em %.

2.2.1 Cone

O teste de cone é um ensaio de bancada não padronizado, indicado por Lawson (2008) para avaliação do desaguamento (Figura 1).

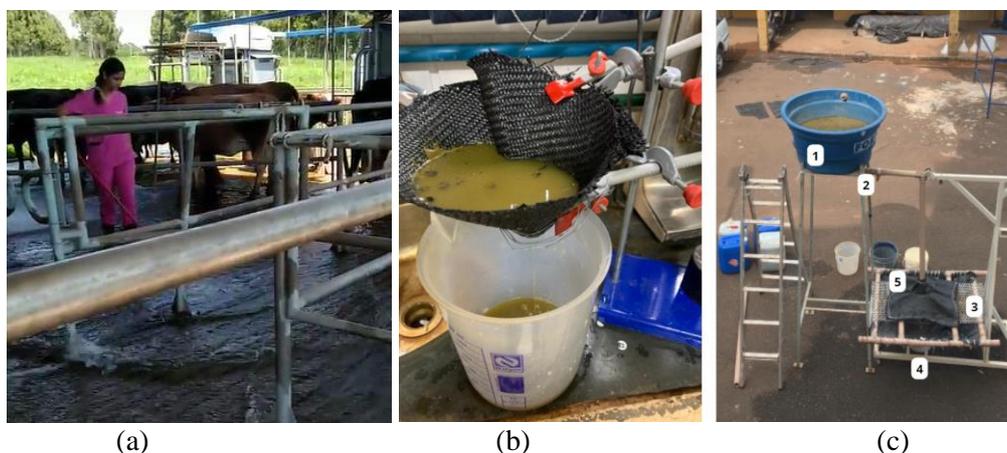


Figura 1. (a) Lavagem de curral na Embrapa Pecuária Sudeste. Sistema para os ensaios de Cone (b) GDT (c), em que 1 - Caixa de água; 2 - Registro de válvula de borboleta; 3 - Cavalete; 4 - Recipiente coletor do percolado; 5 - Bolsa de geotêxtil.

Os procedimentos adotados para a realização do ensaio foram: cortar a amostra circular de 30 cm de diâmetro e mantê-la saturada com água por, no mínimo 24 horas; depois disso dobrar o geotêxtil em formato de cone e fixa-lo no equipamento. Homogeneiza-se o resíduo pecuário e insere 1L dele no sistema do cone. A cada 5 min, registra-se o volume percolado e coleta-se uma amostra para medição de turbidez. Após 30 minutos, encerra-se o desaguamento.

O procedimento para a análise do Ensaio de Cone é semelhante ao do GDT segue os seguintes passos: i) Conforme os dados de volume percolado coletados durante o enchimento, utilizar a Equação (3) e plotar o gráfico do volume contido no interior do cone; ii) Comparar a variação do teor de turbidez a cada 5 minutos de percolação com a plotagem do o gráfico de turbidez em relação ao tempo; e iii) Comparar a variação dos valores de turbidez, teor de sólidos (adaptação para medição de *EF*), e demanda química de oxigênio (DQO), em relação ao resíduo pecuário bruto.

$$V_{Te(t)} = \sum_{i=1}^m (Q_{in(i)} \cdot t_{f(i)}) - V_{out(t)} \quad (3)$$

Em que $V_{Te(t)}$ é o volume de resíduo contido no interior do cone ou minibag no instante t , em L; $Q_{in(i)}$ é a taxa de enchimento, em L/min; $t_{f(i)}$ é o tempo de enchimento, em min; $V_{out(t)}$ é o volume de efluente no instante t , em L; m é o número de enchimentos.

2.2.2 GDT

O ensaio de GDT (Figura 1), realizado no LabGsy, foi desenvolvido por Ardila (2020) e utilizado pro Kamakura (2021), e a sua configuração foi montada com base na norma ASTM standard D7880/D880M (2013). Ela se constitui pelos seguintes elementos utilizados por Ardila (2020).

Os minibags utilizados tiveram tamanhos diferentes, o de GTX-W possui um tamanho de 60 cm x 60 cm, enquanto o de GTX-N do tem 45 cm x 45 cm. Devido a essa diferença, os resultados de vazão de desaguamento também são analisados em relação à área de cada um deles.

Os procedimentos adotados para a realização do ensaio foram: manter o minibag submerso em água por, no mínimo, 24 horas, e fixá-lo, com uma abraçadeira de inox, na base da tubulação. Insere-se o resíduo pecuário na caixa d'água e o mistura (homogeneização). Realiza-se então o primeiro enchimento do minibag de 30L da mistura. Iniciando a contagem de tempo no instante em que se abre a válvula. Após 5 e 30 minutos coletam-se amostras para medir a turbidez e o volume percolado, realizando a troca do recipiente que armazena o percolado. Ao final, o efluente é homogeneizado e se coleta 1L para ensaio no LabSan. Após as coletas, decorridos 30 minutos, realiza-se o segundo enchimento com 20 L, e, após 30 minutos deste último, faz-se o terceiro enchimento de 10L. Sendo o procedimento do primeiro enchimento mantido. Após 180 minutos, encerra-se o ensaio.

O procedimento para a análise do GDT segue os seguintes passos: i) Conforme os dados de volume percolado coletados em campo para cada enchimento, utilizar a Equação (3) e plotar o gráfico do volume contido no interior do minibag; ii) Plotar o gráfico de turbidez em relação ao tempo relacionado às medidas tomadas nos enchimentos; iii) Calcular Q_s utilizando a Equação (4) que recebe como parâmetros o volume máximo contido (volume contido ao fim da fase de enchimento, dado retirado da curva de volume interno calculada no item anterior). A taxa de enchimento Q_i foi considerada constante de 60L/min, e t é o tempo médio de duração dos bombeamentos (cerca de 30 segundos para os primeiros enchimentos); e iv) Comparar a variação dos valores de turbidez, teor de sólidos (adaptação para medição de *EF*), e demanda química de oxigênio (DQO), em relação ao resíduo pecuário bruto.

$$Q_s = \frac{Q_i \cdot t - V_T}{t} \quad (4)$$

Em que Q_s é a taxa de desaguamento durante a fase de enchimento, em L/min; Q_i é a taxa de enchimento, em L/min; t é a duração da fase de enchimento, em min; e V_T é o volume máximo contido, em L.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Teste de Cone

Teste de cone, realizado em bancada, apresenta uma curva de volume interno conforme a Figura 2. O desaguamento para o GTX-N é mais acentuado no início do ensaio, mas, em longo prazo, ambos estabilizam em um valor próximo. Apesar do GTX-N ter o menor índice de permeabilidade, ele possui maior

permissividade, que é um indicador da quantidade de água que pode passar através de um geotêxtil em uma condição isolada (ASTM D 4491). Para Ardila (2020), a avaliação por meio da permissividade é mais significativa, de modo que a maior permissividade de GTX-N justifica seu desaguamento mais acentuado.

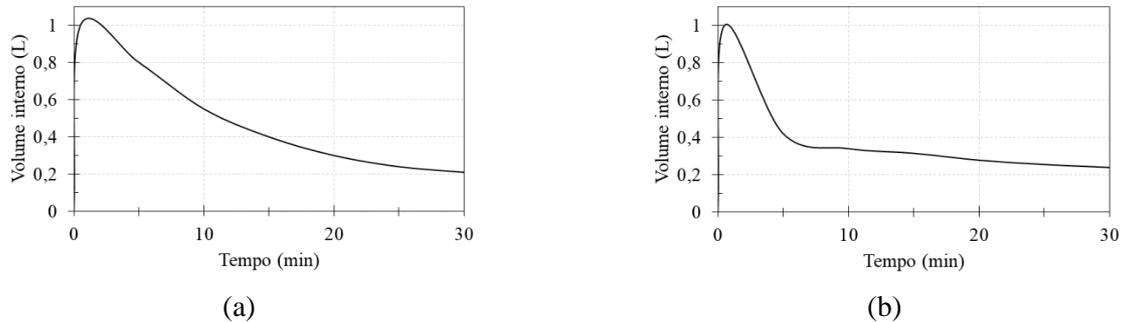


Figura 2. Volume contido no interior do cone em função do tempo do ensaio: (a) GTX-W e (b) GTX-N.

A turbidez, medida a cada 5 minutos do ensaio de cone, está apresentada na Figura 3. A turbidez tende a diminuir ao longo o tempo para ambos os geotêxteis, devido à retenção dos sólidos que causam a turbidez, reiterando a formação da “filter cake”.

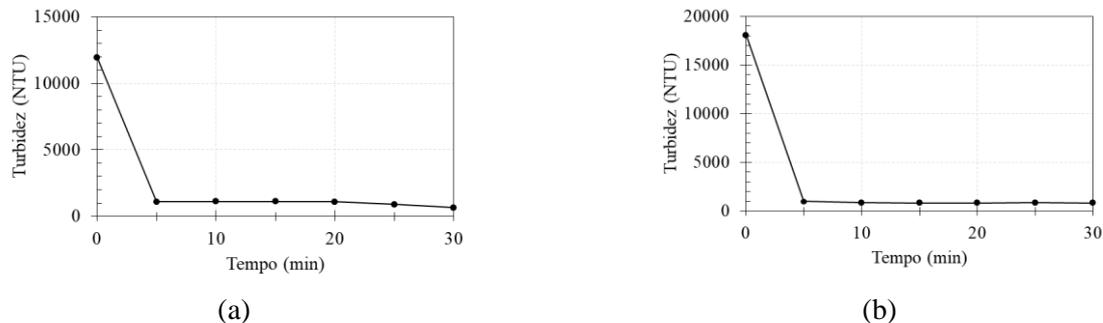


Figura 3. Gráfico de Turbidez durante os enchimentos (a) GTX-W e (b) GTX-N.

3.2 Teste GDT

Os resultados de $V_{Te(t)}$ são mostrados na Figura 4. Os gráficos possuem uma grande semelhança com os dados da literatura de Lawson (2008) e com o resultado de Kamakura (2021), evidenciando o comportamento filtrante e drenante dos materiais. Durante as fases de enchimento, notou-se maior volume percolado no GTX-N, cuja permissividade é maior. Todavia, durante a fase de consolidação, a curva de variação do volume de GTX-W é mais acentuada, indicando o maior desaguamento. Ao final de 1 hora e 30 minutos do início do ensaio, os volumes percolados estabilizaram com valores bem próximos.

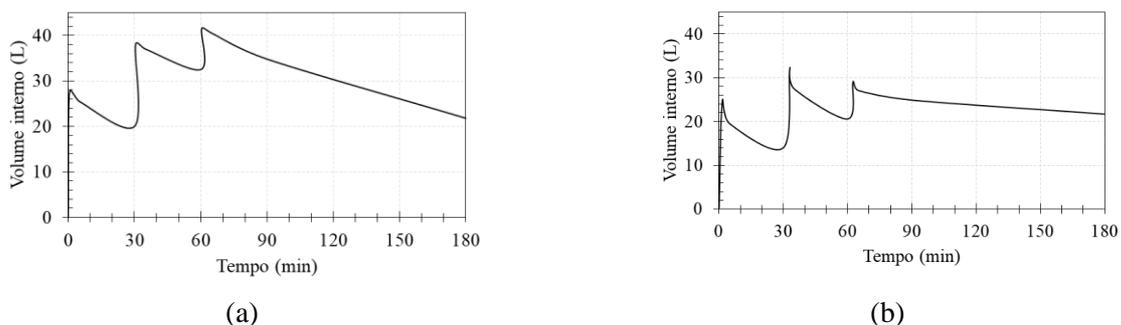


Figura 4. Gráfico de volume contido no interior do minibag durante ensaio (a) GTX-W e (b) GTX-N.

A taxa de desaguamento durante cada enchimento foi calculada e segue conforme a Tabela 2, também foi feita uma relação dessa taxa com a área de cada minibag. Nessa análise, há uma diferença maior no desaguamento durante o enchimento. O Q_s do GTX-W apresenta uma ascensão, isso devido ao volume no seu interior acumulado também fazer uma pressão de saída. A diminuição do desempenho do geotêxtil não

tecido ao longo dos ciclos é explicada pela menor abertura de filtração e consequente prematura formação do “filter cake” em comparação ao GTX-W. Outrossim, a diminuição de permissividade em comparação ao geotêxtil virgem também foi relacionada à formação do “filter cake”, conforme analisou Ardila (2020).

Tabela 3. Taxa de desaguamento durante a fase de enchimento de GTX-W e GTX-N.

Ensaio	Q_s (L/min/m ²)	
	GTX-W	GTX-N
Enchimento 1 por área	13,9	54,3
Enchimento 2 por área	44,4	19,8
Enchimento 3 por área	63,9	15,8

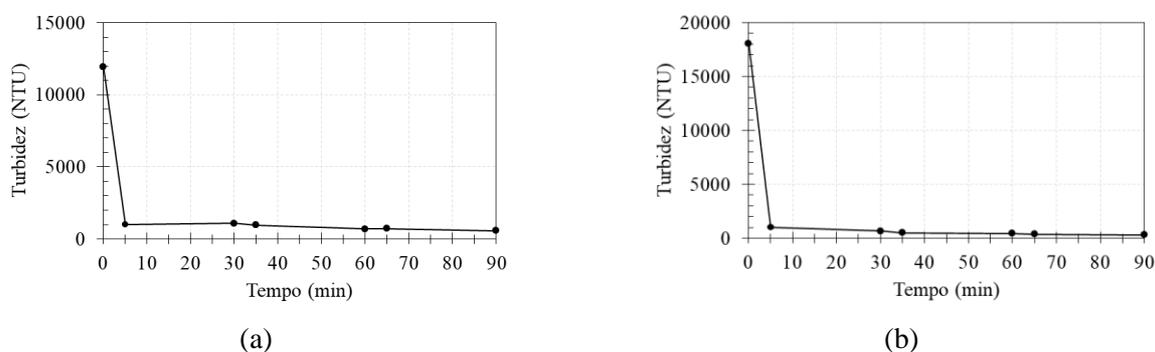


Figura 5. Gráfico de turbidez, considerando toda a duração do ensaio, para a) GTX-W e b) GTX-N.

Apesar de o GTX-N apresentar uma turbidez inicial maior (Figura 5), este, ainda sim, obteve uma diminuição de turbidez mais proeminente do que o GTX-W, enfatizando sua eficácia filtrante, conforme esperado por sua menor abertura de filtração na caracterização. Para Ardila (2020), o geotêxtil não tecido também apresentou os menores valores de turbidez nos cenários avaliados. Nota-se que a progressão de enchimentos ocasiona maior retenção dos sólidos pelos minibags e, conseqüentemente, corrobora com a formação do “filter cake”. Conforme incremento de retenção de sólidos, diminui-se a concentração de partículas no efluente, reduzindo sua turbidez. Assim, nota-se pela Figura 6 que o GTX-N possui maior poder filtrante tendo em vista que o mesmo apresentou maior redução na turbidez, se comparado com o GTX-W.

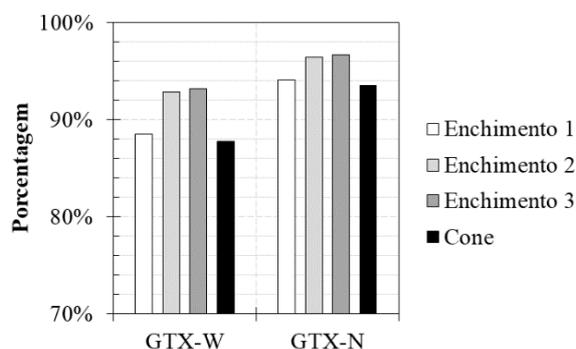


Figura 6. Redução da Turbidez.

A redução de todos os teores de sólidos é uma marca comum entre os geotêxteis (Figura 7). Nesse quesito, o GTX-N resultou nas maiores reduções de teores de sólidos, reiterando sua capacidade filtrante. Todavia, o GTX-W apresenta uma boa performance para essa função destacando a tendência dos enchimentos, ou seja, reduções aumentam ao longo dos enchimentos, acarretando em um efeito cumulativo da “filter cake”.

Apesar de não ser função do sistema de confinamento de resíduos (SCR), observa-se que os minibags apresentaram redução da demanda química de oxigênio (DQO) (Figura 8). Isso pode ser um fator agregador para os materiais pois indicam a diminuição da quantidade de carga orgânica no efluente que afeta negativamente a qualidade da água.

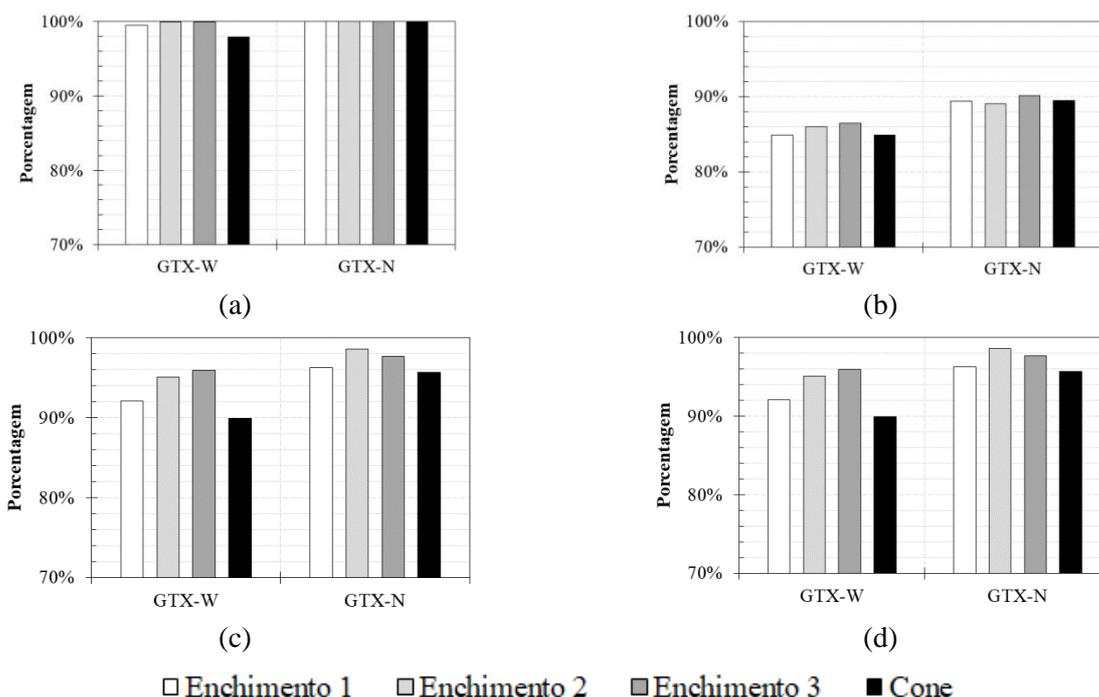


Figura 7. Diminuição percentual dos teores de sólidos em função dos ensaios realizados em ambos geotêxteis: (a) sólidos sedimentáveis; (b) sólidos totais; (c) sólidos suspensos totais; (d) sólidos suspensos fixos.

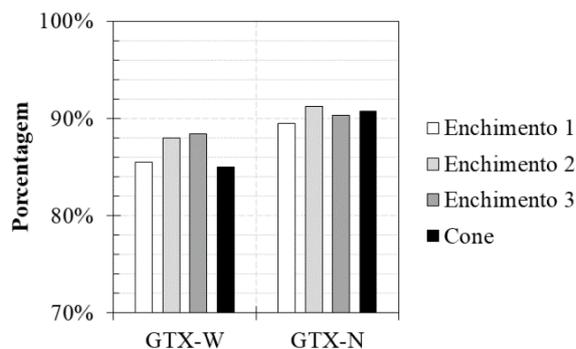


Figura 8. Redução da Turbidez.

4 CONCLUSÃO

Com a realização dos procedimentos experimentais e análise de seus resultados as seguintes conclusões são destacadas:

- Os ensaios de GDT e de cone mostraram resultados parecidos no que diz respeito ao desaguamento. Com o monitoramento do volume percolado, percebe-se que o GTX-N possui um desaguamento maior imediatamente após os enchimentos, enquanto o GTX-W possui essa característica mais acentuada com o passar do tempo;
- Nos dois ensaios há uma notória redução do teor de sólidos do resíduo bruto, essa redução corrobora, diretamente, a redução de turbidez do percolado ao longo do tempo e, no caso do GDT, dos enchimentos;
- Para o ensaio de GDT, foi observada a influência da “filter cake” (colmatação) dos geotêxteis. O acúmulo de sólidos nos poros, ao longo dos enchimentos, interferiu nos resultados de cada geotêxtil;
- Há uma tendência de o geotêxtil não tecido ter melhor desempenho em uma filtração única, ou em poucos ciclos de enchimento. A eficiência de filtração está na menor abertura de poros e ausência de “filter cake”, camada de colmatação; e
- Há uma tendência de o geotêxtil tecido ser mais adequado para filtração de muitos ciclos, uma vez que

o seu desaguamento tem melhor desempenho ao longo dos enchimentos e do tempo. Nesse caso, a “filter cake” atuar como uma camada filtrante interna, aumentando a EF.

Com isso, é notória a efetividade do desempenho de sistemas de confinamento de resíduos em currais leiteiros. Estes se mostram bastante eficazes, pois possibilitam a reutilização da água resultante da limpeza (“flushing”) após tratamento com o SCR. Ademais, cabe ressaltar que, apesar do estudo ter sido realizado com resíduos provenientes de currais leiteiros, o mesmo pode ser aplicado em demais currais, cabendo a realização de estudos adicionais e adaptações para avaliar o desempenho desta tecnologia. Portanto, esta tecnologia mostra-se eficiente e condizente com o conceito atual de sustentabilidade aplicada na agropecuária.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM D 7880: Standard Test Method for Determining Flow Rate of Water and Suspended Solids Retention from a Closed Geosynthetic Bag. West Conshohocken, PA, USA, 2013.
- ASTM D 4491: Standard Test Methods for Water Permeability of Geotextiles by Permittivity, PA, USA, 2022.
- ABNT NBR ISO 9864 Geossintéticos — Método de ensaio para determinação da massa por unidade de área de geotêxteis e produtos correlatos. Rio de Janeiro, 2013.2 p.
- ABNT NBR ISO 9863-1: Geossintéticos: Determinação da espessura a pressões especificadas Parte 1: Camada única. Rio de Janeiro, 2013.9 p.
- ABNT NBR ISO 10319: Geossintéticos: ensaio de tração de faixa larga. Rio de Janeiro, 2013.15 p.
- ABNT NBR ISO 10319: Geossintéticos: ensaio de tração de faixa larga. Rio de Janeiro, 2013.15 p.
- ABNT NBR ISO 12956: Geotêxteis e produtos correlatos: Determinação da abertura de filtração característica. Rio de Janeiro, 2013.11 p.
- Ardila, Maria Alejandra Aparicio. Avaliação de sistemas fechados em geotêxteis não tecidos para o desaguamento de lodo de ETA por meio de ensaios de semi-desempenho. 2020. 166 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.
- Apha; AWWA; WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater Part 2017 INORGANIC NONMETALLIC CONSTITUENTS Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. [s.l: s.n.]
- Bhatia, Shobha K.; Maurer, Brett W.; Khachan, Mahmoud M.; Grzelak, Matthew D.; Pullen, Thomas S. Performance Indices for Unidirectional Flow Conditions Considering Woven Geotextiles and Sediment Slurries. American Society of Civil Engineers, [S. l.], p. 318–332, 2013.
- Huang, C. C. & Luo, S. Y. 2007. Dewatering of reservoir sediment slurry using woven geotextiles. Part I: Experimental results. Geosynthetics International, 14, No. 5, 253–263.
- Kamakura, G. K. Avaliação do desaguamento de sedimentos em sistemas fechados de geotêxtil em diferentes escalas. 2021. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.
- Lawson, C. R. 2008. Geotextile Containment for Hydraulic and Environmental Engineering. Geosynthetics International, vol. 15, no 6, pp. 384-427.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Instrução Normativa – IN - n ° 73, de 23 de dezembro de 2019 - Produtos Lácteos. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura>.
- Moo-Young, Horace K.; Gaffney, Douglas A.; Mo, Xinghua. Testing procedures to assess the viability of dewatering with geotextile tubes. Geotextiles and Geomembranes, [S. l.], v. 20, n. 5, p. 289–303, 2002. DOI: 10.1016/S0266-1144(02)00028-6.
- Moo-Young, H. K.; Tucker, W. R. Evaluation of vacuum filtration testing for geotextile tubes. Geotextiles and Geomembranes, p. 191–212, 2002.
- Ratnasamy, Ratnayesuraj Chelvarajah. Analytical Modeling, Testing, and Comparison of 1-D, 2-D, and 3-D Dewatering Process. [S. l.], n. August, p. 156, 2017.
- Yee, T. W. & Lawson, C. R. (2012). Modelling the geotextile tube dewatering process. Geosynthetics International, 19(5), 339-353. doi.1680/gein.12.00021.