

Verificação da Camada de Proteção Mínima Recomendada Para Uso Sobre GCL Por Meio de Sua Deformidade

Gustavo Dias Miguel

Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil, 112893@upf.br

Aline Baruffi

Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil, 85799@upf.br

Márcio Felipe Floss

Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil, marciofloss@upf.br

RESUMO: *Geosynthetic clay liners* (GCL) podem vir a desenvolver furos ou então, mesmo que não ocorra a perfuração, mas estes fiquem expostos a tensões, a ocorrência do espalhamento lateral da bentonita (*squeezing*). Em virtude disto, faz-se necessário a utilização de um solo que apresente espessura e tamanho de partículas adequados para cobrimento deste. Através de uma versão modificada do ensaio de penetração *California Bearing Ratio* (CBR), buscou-se avaliar a espessura mínima adequada como solo de cobertura por meio de deformação ocorrida no GCL. Utilizou-se como camada protetora o resíduo oriundo do beneficiamento de ágata - equivalente a granulometria de areia fina - sendo este, empregado com densidade relativa de 50%. Os ensaios tiveram como principais variáveis a razão H/B, sendo H a altura do solo e B diâmetro do pistão, e a variação de diâmetros dos pistões sendo um deles o padrão ensaio CBR (50 mm) e o outro, um pistão criado para o atual estudo com mesmas características, no entanto, com 25 mm de diâmetro. Desta forma comparou-se as diversas situações resultante dos ensaios, a fim de verificar a melhor razão de cobrimento. Como resposta aos ensaios realizados, notam-se deformações pequenas para relações $H/B \geq 1.5$ quando utilizado o pistão de 50 mm, já para o novo pistão, razões mais elevadas ($H/B \geq 2.0$) são requeridas para que se evite o dano ao GCL. Avaliou-se também a possibilidade da utilização de um resíduo como cobrimento.

PALAVRAS-CHAVE: Geosynthetic Clay Liner, GCL, Camada de Proteção.

1 INTRODUÇÃO

Geosynthetic Clay Liners (GCL) tratam-se de produtos industrializados em que, onde aplicados, formam uma barreira capaz de conter água, lixiviados e, em alguns casos, gases devido a presença da bentonita ou material similar de baixa condutividade. Koerner (2005) em concomitância com Shukla e Yin (2006) referem-se a este produto como um composto entre dois ou mais materiais sendo assim, este classificado como um geocomposto. A união entre um ou mais geossintéticos acaba por explorar o que cada um apresenta como

vantagem além disto, um trabalha em benefício do outro. Sendo assim, “as baixas permeabilidades, as boas características de resistência química e mecânica, o controle de fabricação de um produto manufaturado e a facilidade de instalação” (VERTEMATTI, 2012, p. 377) tornam este um produto versátil. De modo geral, com o uso deste material, busca-se a proteção ambiental.

Devido sua pequena espessura, muitas vezes, tanto no momento do transporte quanto na instalação, podem ocorrer danos a este e fazer com que seu desempenho não seja satisfatório. Ou então, a possibilidade de ocorrer o

espalhamento lateral da bentonita, também conhecido como *squeezing*, em que “pode ocorrer se uma carga não perfurante estiver estacionada sobre o GCL com insuficiente solo de cobertura” (KOERNER, 2005, p. 647) ainda, o mesmo menciona que a espessura é relevante em GCLs e desempenha papel fundamental referente a taxa de permeabilidade do produto. Em vista disso, faz-se necessária a determinação da razão de cobertura que melhor se adequa para a não ocorrência dos problemas acima mencionados.

2 MATERIAIS

2.1 GCL

Para o estudo, um único modelo de GCL foi adotado sendo este reforçado apenas por costura. O produto consiste em uma camada de bentonita envolta por geotêxteis tecido e não-tecido em cada um dos lados. No momento dos ensaios, o lado contendo o geotêxtil não-tecido foi mantido para cima.



Figura 1. Modelo de GCL adotado (MENDES, 2010).

Tabela 1. Especificações do produto (adaptado de Catálogo OBER S.A., 2016).

Propriedades	Norma	Unidade	FL 4100R
Geocomposto Bentonítico - GCL			
Massa de Bentonita por Unidade de Área	ASTM D 5993	g/m ²	4100
Espessura	EN 964-1	mm	7,0
Resistência à Tração Faixa Larga - SL	ASTM D 4632	kN/m	12,2
Alongamento da Ruptura	ASTM D 4632	%	35
Resistência de Adesão	ASTM D 6496	N/m	340
Coeficiente de Permeabilidade	ASTM D 5887	m/s	3 x 10 ⁻¹¹
Camada de Bentonita			
Índice de Inchamento	ASTM D 5890	ml/2g	24
Perda de Fluido	ASTM D 5891	ml	≤ 18
Teor de Umidade	ASTM D 4643	%	12
Geotêxtil Tecido			
Gramatura	ASTM D 5261	g/m ²	120
Matéria-Prima			100% Polipropileno
Geotêxtil Não Tecido			
Gramatura	ASTM D 5261	g/m ²	350
Matéria-Prima			100% Polipropileno

2.2 Solo de Cobertura

Alguns autores sugerem que para a devida proteção do GCL um solo de cobertura em granulometria adequada deve ser adotado, sendo que este deve ser livre de pedregulhos e material estritamente fino. Para atender a estas necessidades, a granulometria de areia fina acaba se adequando da melhor forma. Em posse disto, procurou-se a utilização de algum resíduo nestas características ou então, em que num curto período de tempo, o resíduo escolhido pudesse ser tratado a fim de obter a

granulometria desejada e em resposta, conseguir ajudar ao meio ambiente que vinha sendo perturbado pelo mesmo e ainda, fazer com que se reduzisse o uso de matéria prima que cada vez mais beira a escassez.

Como camada de proteção utilizou-se o resíduo oriundo do beneficiamento de ágata – equivalente a granulometria de areia fina – sendo este aplicado a uma densidade relativa de 50% e com tamanho médio de grãos $D_{50} = 0,42\text{mm}$.

O material adotado é resultante do polimento e lixamento da matéria prima que posterior, irá ser comercializado como pedras semipreciosas. Este material é encontrado em polos produtores destes artefatos e muitas vezes, mal estocado de forma a trazer riscos a população local visto que acumulam-se dezenas de toneladas em sua grande maioria sem tratamento algum além de que, acaba ocupando um espaço que poderia haver o desenvolvimento de uma nova atividade e o pior, agride a fauna e flora.

3 MÉTODOS

3.1 Hidratação

O líquido de hidratação tem influência no posterior desempenho do GCL visto que, conforme já mencionado anteriormente, a espessura do composto bentonítico é relacionado a sua capacidade hidráulica e desta forma, o mesmo precisa ter sua hidratação garantida para que exerça sua função de barreira hidráulica.

Koerner (2005) indica que para obtenção do máximo inchamento da bentonita, recomenda-se o uso de água destilada ou então, em substituição desta, água de abastecimento público. Os moldes utilizados neste estudo foram hidratados com água de abastecimento público. Um dos fatores de influência na escolha, trata-se da similaridade com os estudos de Fox *et al.* (1997) os quais são tidos como base para o desenvolvimento dos atuais.

Além disto, foi aplicado no momento de hidratação uma pressão de confinamento no valor de 0,69 kPa o que faz com que o GCL tenha seu inchamento uniforme somando-se a

isto, Koerner (2005) comenta que GCLs sem qualquer pressão de confinamento no decorrer de sua hidratação, terão após esta, uma menor resistência ao cisalhamento interno.

Como período de hidratação adotou-se um tempo mínimo de 24 horas, mesmo tempo utilizado nos estudos de referência. Em paralelo, realizou-se ensaios de hidratação do geossintético para assim, determinar a influência do tempo deste exposto ao líquido de hidratação, desta forma, foi possível perceber que períodos acima de 24 horas – até 72 horas – pouco influem no inchamento da bentonita sendo então, desnecessário adotar tempos de hidratação superiores ao estabelecido.

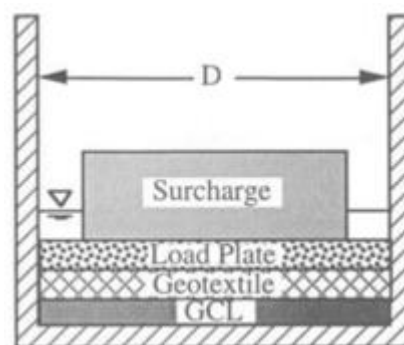


Figura 2. Modelo de hidratação (FOX *et al.*, 1997).

Com o apresentado acima e da mesma forma que Fox *et al.* (1997), dá-se o corte do GCL em formato circular para que este venha a ser utilizado no fundo do molde conforme ilustra a Figura 2, sobre este são colocados uma camada de geotêxtil – para a distribuição uniforme da pressão – e ainda uma chapa metálica onde sobre esta se apoiarão as sobrecargas, a chapa esta, deve ser porosa. Dado a montagem o molde é colocado submerso. O GCL utilizado apresentou um inchamento médio de 1,6 vezes o seu tamanho original.

3.2 Versão Modificada do Ensaio de Penetração *California Bearing Ratio* (CBR)

Shukla e Yin (2006) destacam que “o comportamento a compressão de geossintéticos, especialmente geocompostos, podem ser estudados aplicando-se cargas de compressão a uma taxa constante de deslocamento”.

O atual trabalho, tem como base o estudo desenvolvido por Fox *et al.* (1997) em que estes, através de uma versão modificada do ensaio CBR, avaliaram a influência de variáveis como o tipo de GCL utilizado, pressão de hidratação, taxa de deslocamento do pistão, diâmetro do molde e o critério de paralisação do ensaio.

Além dos já mencionados, Koerner e Narejo (1995) desenvolveram também estudos utilizando este formato onde, por meio da aplicação de uma carga concentrada, analisaram o comportamento do geossintético. De Battista e Fox (1996) basearam-se nos estudos de Koerner e Narejo (1995) para então novamente realizarem ensaios nos mesmos padrões, porém, variando os modelos de GCL utilizados. Com os novos ensaios, estes afirmam que a capacidade de suporte de um GCL depende do tipo de solo de cobertura e ainda recomendam que, para uma adequada proteção do geossintético, uma razão H/B de 1.5 deve ser adotada.

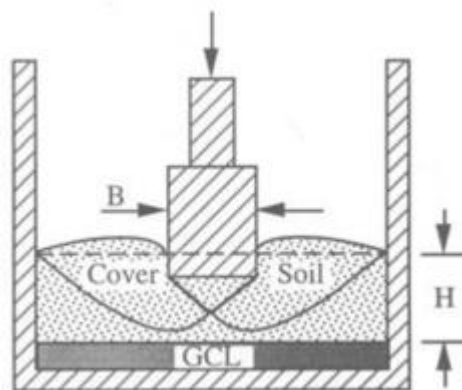
3.2.1 Programa Experimental Elaborado Para Esta Pesquisa

A metodologia de ensaio desenvolve-se em quatro fases principais: a hidratação do GCL sob uma pressão de 0,69 kPa utilizando água de abastecimento público; preenchimento do molde com material de cobertura; penetração sobre este conjunto por meio do pistão e, por fim, a medição do perfil de espessura do GCL com análise de suas deformações, sendo que, com as medições anteriores à hidratação, é possível determinar o perfil do GCL anterior e posterior à aplicação da carga.

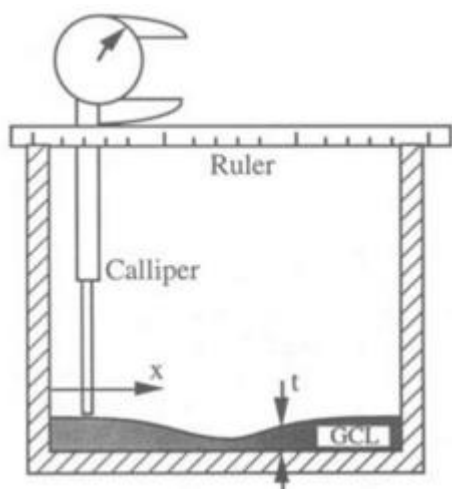
A Figura 2 demonstrou o método utilizado para hidratação após esta, a sobrecarga, chapa metálica, geotêxtil e a água são removidos do molde para a então colocação do solo de cobertura sobre o GCL. No momento da aplicação de carga (Figura 3a), através da prensa de ensaio CBR, com uma taxa de deslocamento de 1,27 mm/min, dá-se a penetração no material de preenchimento e no decorrer disto, registra-se através de ciclos de 30 segundos a respectiva carga e deslocamentos ocorridos no material.

Como método de paralisação do ensaio, 20 mm de penetração sobre o material no interior do molde. Fox *et al.* (1997) relacionam que a espessura do perfil de GCL está diretamente ligada a escolha do critério de paralisação, então após estes testarem variados métodos, determinaram que para uma melhor comparação a fixação de um dado deslocamento acaba sendo o mais sensato e ainda, orientam que deslocamentos elevados como critério de paralisação acabam ocultando informações importantes.

Após realizada a penetração por meio do pistão, é dada retirada do solo de cobertura cuidadosamente para então desenvolver-se a medição (Figura 3b) – ao longo do diâmetro do molde – do perfil de GCL após a aplicação da carga e assim, em sequência poder haver comparação do perfil de GCL anterior e, consequentemente, posterior a carga.



(a)



(b)

Figura 3. Metodologia de ensaio: a) desenvolvimento da penetração, b) aferição do perfil de GCL (FOX *et al.*, 1997).

Os ensaios tiveram como principais variáveis a razão H/B , sendo H a altura do solo e B diâmetro do pistão, e a variação de diâmetros dos pistões utilizados. Na primeira variável, testaram-se os coeficientes 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 e 3.0 – este último com e sem a utilização do GCL – a fim de, através da análise da deformação ocorrida no GCL, determinar a razão de cobertura adequada. Enquanto que, na segunda variável, alternou-se o uso dos pistões de diâmetro 50mm (padrão CBR) e 25mm (desenvolvido para esta pesquisa), o que resulta na função direta da camada de cobrimento. O pistão de 25mm tem por objetivo a comparação com diferentes tipos de agregados que possam vir a danificar o GCL. O diâmetro do molde manteve o padrão ensaio CBR (152,5mm), amparando-se nos já utilizados por Koerner e Narejo (1995) em seus ensaios.

Tabela 2. Variáveis utilizadas para o atual estudo (O autor, 2016).

Variáveis	Valores adotados
Modelo de GCL	Reforçado por costura
Pressão na hidratação	0,69 kPa
Tempo de hidratação	24 horas
Diâmetro do molde	152,5 mm
Taxa de deslocamento	1,27 mm/min
Diâmetro do pistão, B	50 mm, 25 mm
Solo de cobertura	Resíduo do beneficiamento de Ágata
Espessura do solo de cobertura, H	Relação entre o pistão utilizado e a razão do solo de cobertura
Razão do solo de cobertura, H/B	
Critério de paralisação	20 mm de penetração

4 RESULTADOS OBTIDOS

Desenvolveu-se uma sequência aleatória de testes para então investigar a camada de cobertura adequada. Assim, analisar a influência no espalhamento lateral da bentonita (*squeezing*) encontrando-se esta, hidratada e submetida a cargas concentradas.

Anterior a apresentação dos resultados é relevante demonstrar aqui, como já exposto em Shukla e Yin (2006), o comportamento de um geossintético quando este exposto a cargas dá-se da seguinte maneira:

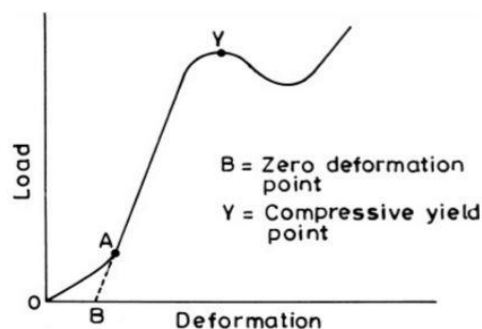


Figura 4. Típica curva carga-deformação para geossintéticos expostos a compressão (SHUKLA e YIN, 2006).

Koerner e Narejo (1995) ao observarem em seus ensaios uma curva carga-deslocamento similar a esta da Figura 4, onde é possível claramente notar um pico seguido de uma queda, concluíram que para quando ocorresse este comportamento a falha de ruptura dava-se inteiramente no interior do solo de cobertura sem ocasionar qualquer dano ao GCL. Da mesma maneira, De Battista e Fox (1996) ao não obterem curvas como a da Figura 4, concluíram que curvas carga-deslocamento estão ligadas ao tipo de solo de cobertura, e que portanto, nem todos solos de cobertura irão exibir curvas equivalente a acima.

Em posse destas informações, foram realizadas réplicas dos ensaios para cada uma das razões em cada um dos pistões utilizados para isto, adotou-se a seguinte nomenclatura:

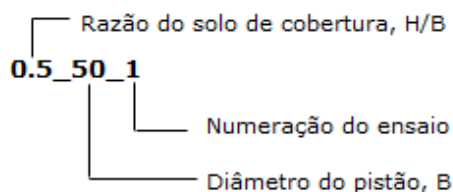


Figura 5. Nomenclatura utilizada para os ensaios (O autor, 2016).

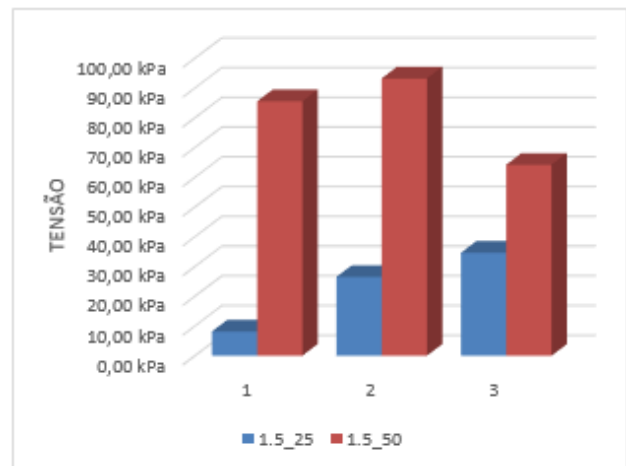
Além do modelo de nomenclatura exposto acima, para os ensaios realizados com apenas resíduo, ou seja, sem a aplicação do GCL foi adicionado a letra “R” ficando conforme o exemplo: 0.5R_50_1.

4.1 Efeito do Diâmetro dos Pistões

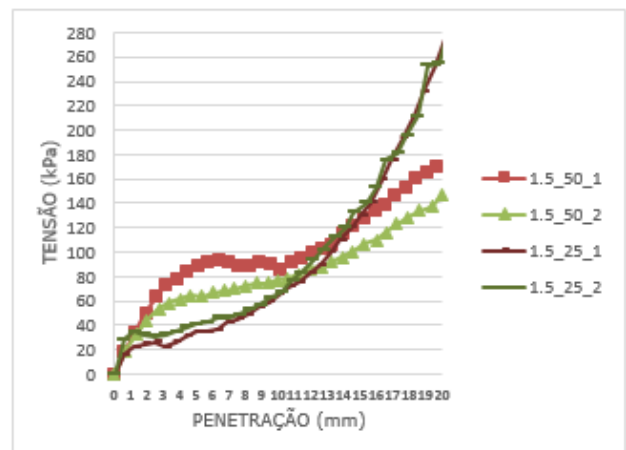
A tensão desenvolvida por cada pistão, quando utilizado a razão de cobertura de 1.5, é mostrada na Figura 6a. O gráfico expõe a máxima tensão ocorrida dentro do solo antes que este venha a falhar e posteriormente, vir a transmitir a tensão diretamente ao GCL. Momento este, demonstrado pela Figura 6b em que, para os ensaios com o pistão de 50 mm (1.5_50_1 e 2) decorre entre a penetração de 6 a 7 mm já para o pistão de 25 mm (1.5_25_1 e 2), este momento se desenvolve entre 0,5 a 2 mm. Portanto, a falha no solo, quando utilizado um

pistão reduzido comparado ao padrão, ocorre precocemente.

Na curva tensão-deformação do pistão de 25 mm (Figura 6b), não fica claro a distinção de um pico de ruptura como mostrado na Figura 4 e neste, decorrido um pequeno período, logo obtém-se grande acréscimo de tensão chegando a 1,5 vezes mais quando comparado ao pistão de 50 mm a uma penetração de 20 mm. O pistão de 50 mm utilizado com uma razão de 1.5, demonstra melhor o pico de ruptura e tem um moderado acréscimo de tensão.



(a)



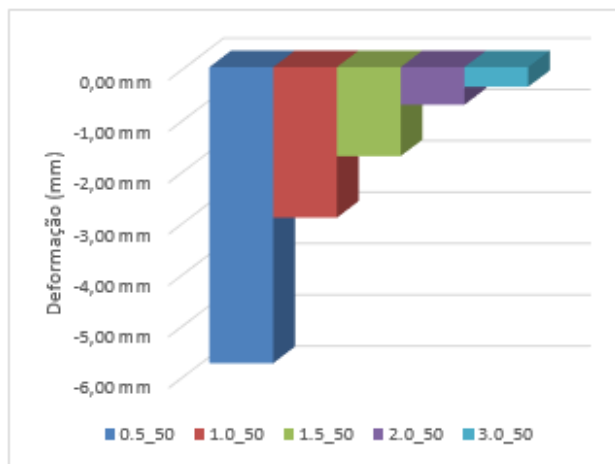
(b)

Figura 6. Comparação entre pistões com características equivalentes: a) tensão desenvolvida, b) curva tensão-penetração (O autor, 2016).

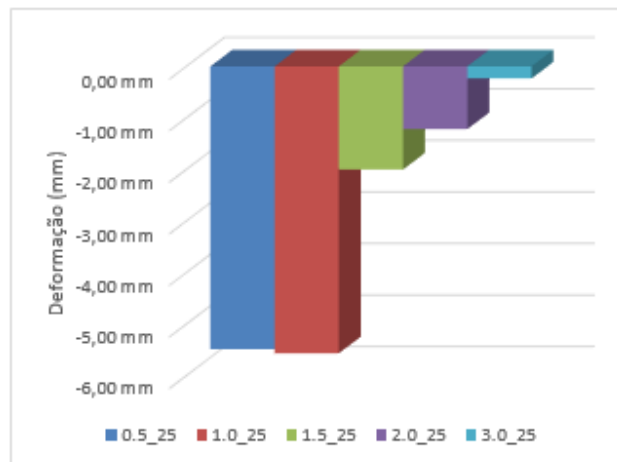
4.2 Variação das Razões de Cobrimento

Nota-se uma variação inversamente proporcional com a mudança das razões utilizadas para o estudo em que, ao aumentar estas, há um decréscimo na deformação do GCL. Como deformação máxima ocorrida, adotou-se o ponto médio do molde (75 mm da extremidade) onde foram então realizadas medições para obtenção do perfil do GCL após aplicação da carga. As Figuras 7a e 7b demonstram a deformação no ponto médio – principal alvo do pistão – sendo estas expressas com algarismos negativos de forma a representar a compressão gerada.

Na Figura 7b como pode ser verificado, ensaios do tipo 1.0_25 demonstram uma maior deformação no ponto médio quando comparados com ensaios 0.5_25 no entanto, acredita-se que devido fina camada de solo neste último e as altas tensões, fizeram com que o GCL aderisse na extremidade do pistão e desta forma, no momento reverso para a retirada do pistão, este trouxesse consigo o geossintético.



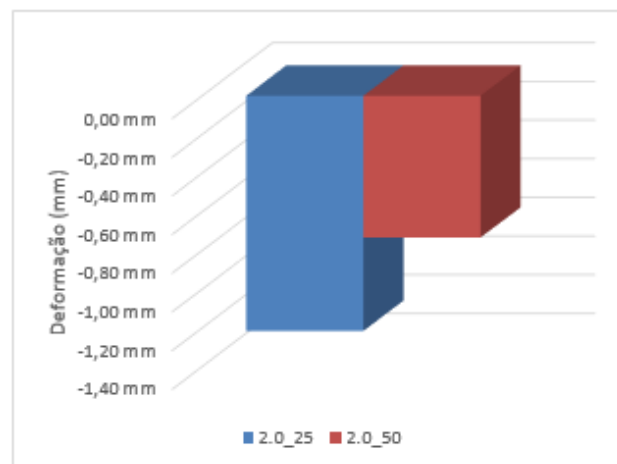
(a)



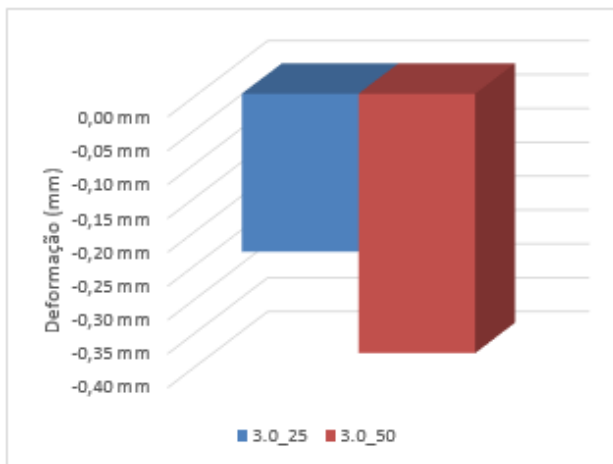
(b)

Figura 7. Variação da razão de cobertura: a) comparação entre as razões com pistão 50 mm, b) comparação entre as razões com pistão 25 mm (O autor, 2016).

As deformações mantiveram-se maiores quando utilizado o pistão de 25 mm e variando entre as razões de 0.5 a 2.0. Por consequência, são almejadas razões de cobertura mais elevadas para este pistão em comparação ao pistão de 50 mm. O fato se inverte (Figura 8a e 8b) na utilização da razão de 3.0 em ambos os pistões onde, devido a espessa camada de solo e a pequena área de contato do pistão de 25 mm, este acaba por não desenvolver altas tensões e por este motivo, danifica muito pouco o GCL abaixo até do pistão de 50 mm sob mesma razão.



(a)



(b)

Figura 8. Comparação entre pistões com razões de cobertura equivalentes: a) razão 2.0, b) razão 3.0 (O autor, 2016).

5 CONCLUSÕES

As conclusões a seguir foram identificadas como resultados do atual estudo:

- 1) Quanto menor o diâmetro dos elementos perfurantes, menor será a tensão desenvolvida por estes logo, estes terão uma maior facilidade de penetração. E desta forma, uma maior facilidade em danificar o GCL.
- 2) A deformação no GCL decresce ao passo em que se acresce a razão de cobrimento.
- 3) Quando se tratando do pistão de 50 mm, razões maiores e iguais a 1.5 se mostraram favoráveis resultando em pequenas deformações ao GCL. O que já não ocorre no pistão de 25 mm, onde razões de 1.5 não foram capazes de garantir a proteção do GCL e portanto, sendo necessária a utilização de razões maiores e iguais a 2.0 para que então não ocorresse danos ao GCL.
- 4) Complementando a situação anterior, quando utilizado o pistão de 50 mm a uma razão de 1.5, a falha ocorre no solo sendo possível observar um pico na curva tensão-deformação. Já quando utilizado o pistão de 25 mm a uma razão de 1.5, não verificar-se com clareza um pico na curva tensão-deformação logo, a tensão acaba por ir direto ao GCL

exigindo uma razão de cobertura maior como 2.0.

- 5) Os danos decorrentes do pistão de 25 mm mostraram-se superiores, quando comparado ao pistão de 50 mm, entre as razões de 0.5 a 2.0. No entanto, a situação se inverte quando utilizada a razão 3.0 onde, devido a espessa camada protetora, o pistão de 25 mm já não consegue exercer tensão suficiente para danificar o GCL e desta forma, deformações maiores acabam ocorrendo com o pistão de 50 mm.

REFERÊNCIAS

- American Society for Testing and Materials. **D 6241 (1999)**. *Standard Test Method for the Static Puncture Strength of Geotextiles and Geotextile-Related Products Using a 50-mm Probe*. United States, 6 p.
- Bureau of Indian Standards. **IS 16078 (2013)**. *Geosynthetics – Static Puncture Test (CBR Test)*. New Delhi, 12 p.
- De Battista, D. J., and Fox, P. J. (1996). *Discussion to “Bearing capacity of hydrated geosynthetic clay liners,”* by Koerner, R. M., and Narejo, D. (1995), *Journal of Geotechnical Engineering*, American Society of Civil Engineers, in press.
- Fox, P. J., De Battista, D. J., and Chen, S.-H. (1997). *“A Study of the CBR Bearing Capacity Test for Hydrated Geosynthetic Clay Liners,” Testing and Acceptance Criteria for Geosynthetic Clay Liners*, ASTM STP 1308, Larry W. Well, Ed., American Society for Testing and Materials.
- Koerner, R. M. (2005). *Designing with Geosynthetics*, 5nd ed., Pearson, New Jersey, USA, 796 p.
- Koerner, R. M., and Narejo, D. (1995). *“Bearing capacity of hydrated geosynthetic clay liners,” Journal of Geotechnical Engineering*, American Society of Civil Engineers, 121:1:82-85.
- Mendes, M. J. A. (2010). *Alguns Fatores que Influenciam o Desempenho de Geocompostos Bentoníticos sob Fluxo de Gases e Líquidos em Barreiras de Aterros Sanitários*. Tese de Doutorado. Publicação GTD-064/10, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 180 p.
- Shukla, S. K., and Yin, J.-H. (2006). *Fundamentals of Geosynthetic Engineering*, Taylor & Francis/Balkema, Leiden, The Netherlands, 410 p.
- Vertematti, J. C. (2012). *Manual Brasileiro de Geossintéticos*, 1nd ed., Blucher, São Paulo, Brasil, 413 p.