

UM ESTUDO DA MÍNIMA RAZÃO DE COBRIMENTO ADEQUADA A PROTEGER GEOCOMPOSTOS ARGILOSOS

A STUDY OF MINIMUM SUITABLE COVERING RATIO FOR PROTECT GEOSYNTHETIC CLAY LINERS

Gustavo Dias Miguel^{1*}, Raquel Reschke Endler¹, Márcio Felipe Floss²

¹Universidade de Passo Fundo, Curso de Engenharia Civil.

E-mails: 112893@upf.br, raquel_end@hotmail.com

²Universidade de Passo Fundo, Prog. de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. E-mail: marciofloss@upf.br

*Autor para correspondência: Campus I, Prédio R1, Universidade de Passo Fundo – BR 28, Bairro São José – Passo Fundo/RS, CEP: 99052-900

RESUMO

Geocompostos argilosos para barreira impermeabilizante (GCL, do inglês: *Geosynthetic clay liners*) após hidratados podem vir a desenvolver o fenômeno conhecido como espalhamento lateral da bentonita (do inglês: *squeezing*) que resulta no amassamento deste e extrusão da bentonita de seu interior, isto ocorre quando o material é exposto a carregamentos e protegido com camadas de cobertura de granulometria inadequada. A ocorrência faz com que, no ponto de amassamento, tenha-se um aumento da permeabilidade contrário ao que se busca quando da aplicação do GCL. Em virtude disto, faz-se necessário a utilização de um solo que apresente espessura e tamanho de partículas adequados para seu cobrimento. Através de uma versão modificada do ensaio de penetração Índice de Suporte Califórnia (CBR, do inglês: *California Bearing Ratio*), buscou-se avaliar a espessura mínima adequada de solo de cobertura. 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 com este último, variando entre dois tamanhos e duas formas, totalizando em três modelos de pistões. Comparou-se as diversas situações, a fim de verificar a melhor razão de cobrimento. Como resposta aos ensaios realizados, notam-se deformações pequenas para relações $H/B \geq 1.5$.

Palavras-chave: Squeezing, Camada de Proteção, Geosynthetic Clay Liner, GCL, Geossintéticos.

ABSTRACT

Geosynthetic clay liners (GCL) after hydrated may develop the phenomenon known as squeezing because was exposed to cover layers with grain size inadequate. The occurrence causes in the kneading section, has an increased permeability contrary to what is sought in the application of the GCL. Because of this, it is necessary to use a soil with thick and suitable size of particles for their coatings. Through a modified version of the penetration test California Bearing Ratio (CBR), it sought to evaluate the appropriate minimum thickness of protection layer. It was used as a protective layer the residue coming from the agate processing - equivalent to fine sand grain size - this being employed with relative density of 50%. The tests had as main variables the ratio H/B, H being the thickness from the soil and B, diameter of the piston with this ranging between two sizes and two shapes, totaling three models pistons. Was compared the different situations in order to find the best covering reason. In response to the tests performed, are noted small deformations for $H/B \geq 1.5$ ratio.

Keywords: Squeezing, Protection Layer, Geosynthetic Clay Liner, GCL, Geosynthetics.

1 - INTRODUÇÃO

Geocomposto argiloso para barreira impermeabilizante (GCL, do inglês: *Geosynthetic Clay Liners*) tratam-se de produtos manufaturados 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, e da mesma forma que Vertematti (2012), as baixas permeabilidades, as boas características de resistência química e mecânica, o controle de fabricação de um produto manufaturado e a facilidade de instalação tornam este um produto versátil. Somando-se a isto, Chen *et al* (2010) ainda saliente o preço competitivo deste quando comparado a demais métodos, a fina espessura que contribui com a trabalhabilidade e, um dos pontos mais importantes, a complacência com a ocorrência de recalques diferenciais sem que estes venham a danificar a camada protetora.

De modo geral, como mencionado por Foltz *et al* (2012), este material tem como principais aplicações a problemas relacionados com área de geotecnia ambiental que, por meio da aplicação deste, busca-se mitigar questões que venham a acometer o meio.

No entanto, algumas peculiaridades do método devem ser atendidas para um desempenho satisfatório que no caso compreendem uma correta proteção dos elementos utilizados. O GCL, após hidratado, tenderá a aumentar sua espessura isto devido as características de expansão da bentonita, contudo, ao passo em que este cada vez mais se expande, mais frágil tende a se tornar já que como comentado por (Koerner 2005; Chen *et al* 2010) a expansão excessiva fará com que a bentonita fique mais suscetível ao cisalhamento interno motivo este que fez surgir os GCLs reforçados que por meio de costura ou agulhamento, tentam restringir o acontecimento deste.

Além disto, em concomitância com o acontecimento do anterior, a possibilidade da ocorrência do fenômeno conhecido como espalhamento lateral da bentonita (do inglês: *squeezing*) que, “pode ocorrer se uma carga não perfurante estiver estacionada sobre o GCL com insuficiente solo de cobertura” (Koerner, 2005, p. 647). Koerner *et al* (1998a, 1998b) e Hewitt *et al* (1997) afirmam que o espalhamento lateral ou extrusão da bentonita pode vir a ocorrer quando esta estiver úmida e instável.

O eventual acontecimento deste fenômeno acaba por criar um local de alta permeabilidade indo contra ao que se espera quando aplicado o GCL neste sentido, necessita-se garantir uma espessura uniforme do material e, também, uma máxima espessura possível que, no entanto, se contrapõe ao que foi exposto anteriormente. Koerner (2005) da mesma maneira que salienta que uma expansão demasiada pode vir a levar a bentonita ao cisalhamento interno, este também comenta que a espessura do GCL, após sua hidratação, tem papel fundamental acerca da permeabilidade do produto, ou seja, GCLs com maior ganho de espessura durante a hidratação serão mais impermeáveis.

Chen *et al* (2010) sugere que, para minimizar o acontecimento do espalhamento lateral e por consequência a extrusão da bentonita, sejam aplicados em campo GCLs que não estejam pré-hidratados e estes venham, no decorrer, a absorver a umidade do próprio local. Isto devido ao fato que, quando seguido a sequência de primeiro realizar o carregamento e somente posteriormente a hidratação, constata-se uma menor perda de bentonita do interior do produto.

Apesar de importante o sugerido acima, é garantindo-se uma hidratação adequada com um adequado inchamento, como também, a escolha do correto material como camada de cobrimento além de sua correta espessura, é o que farão com que estes problemas acima associados não interfiram no correto funcionamento do produto. O atual trabalho tem por objetivo definir a razão ótima de cobrimento utilizando o resíduo do beneficiamento de ágata.

2 - MATERIAIS

2.1 - Geocomposto argiloso impermeabilizante - 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 (Figura 1). No momento dos ensaios, o lado contendo o geotêxtil não-tecido foi mantido para

cima. O material utilizado para realização de cada um dos ensaios é proveniente de doação, uma bobina com largura padronizada de 5 metros e cerca de 6 metros de comprimento foi disponibilizada pela empresa Ober S/A Indústria e Comércio. As especificações do catálogo do fabricante podem ser observadas na Tabela 1.

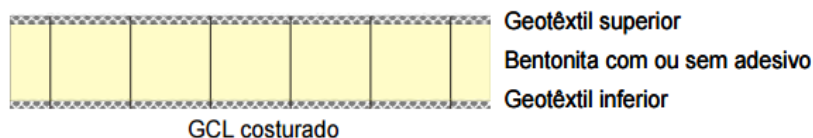


Figura 1 – Modelo de GCL utilizado (MENDES, 2010)

Tabela 1 – Características do GCL adotado (Dados do fabricante, 2016)

Propriedades	Norma	Unidade	
Geocomposto argiloso impermeabilizante - 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 aos requisitos. 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 $D_{50} = 0,42$ mm.

O material adotado é resultante do polimento e lixamento da matéria prima que posteriormente será comercializado como pedras semipreciosas. Este material é encontrado em polos produtores destes artefatos que, para o caso deste trabalho, foi colhido do município de Soledade, Rio Grande do Sul, distante cerca de 224 km da capital Porto Alegre. Muitas vezes, estes por estarem mal estocados, acabam trazendo riscos a população e a fauna e flora local por acumularem-se dezenas de toneladas e, em sua grande maioria sem tratamento algum. Riscos de contaminação e assoreamento de riachos são eventos suscetíveis somado a isto, as pilhas de resíduos acabam ocupando um espaço que poderia haver a implementação de uma nova atividade necessitando desta forma, o desenvolvimento de uma metodologia de tratamento.

Em simultâneo a problemática acima exposta, a escolha do resíduo de ágata como material de preenchimento, que pertencente a classe mineral dos silicatos e segundo Tonello (2017) por meio de

fluorescência e difração em Raios-X tem como principais elementos em sua composição o dióxido de silício (SiO_2) e uma estrutura predominantemente cristalina, tem por objetivo usufruir de características como sua alta dureza onde, conforme a escala de Mohs que varia de 1 a 10 e que se associa ao valor da unidade a substância talco e ao valor da dezena ao diamante (substância mais dura conhecida na natureza), a ágata está classificada com o valor 7. Além disto, Tonello (2016) após ensaios laboratoriais pode inferir que o resíduo não apresenta qualquer atividade química, permanecendo inerte. Devido as condições de granulometria adequada, elevada dureza e ausência de atividade química espera-se que este resíduo venha ter um ótimo desempenho físico, mas, principalmente químico quando empregado como exemplo em aterros sanitários.

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 de atuar como barreira hidráulica e desta forma, o mesmo precisa ter sua hidratação garantida para que exerça sua função.

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 tomando-se o cuidado para, quando da instalação do GCL, este só tenha contato com derivados de petróleo e chorume após sua completa hidratação com água. 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 do atual.

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.

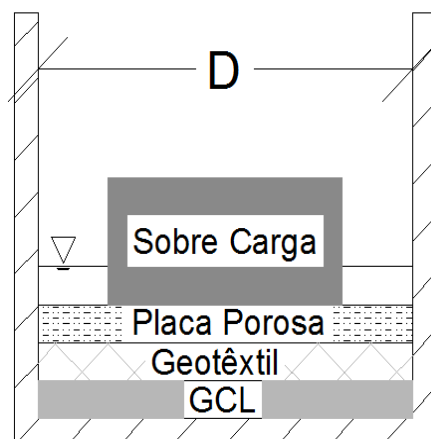


Figura 2 – Metodologia de hidratação (modificado Fox *et al.*, 1997)

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. Realizada 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 Índice de Suporte Califórnia (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”. Baseando-se no 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 quando o GCL exposto a uma carga produzida por um pistão padrão CBR.

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 desenvolvido para o atual estudo*

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 de um dos pistões utilizados 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 apresenta a metodologia utilizada para hidratação após esta, a sobrecarga, chapa metálica, geotêxtil e a água são removidos do molde para então a colocação do solo de cobertura sobre o GCL na densidade relativa de 50%. No momento da aplicação da carga (Figura 3a), com auxílio da prensa modelo padrão ensaio CBR e 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, no entanto, ensaios envolvendo os pistões de 25 mm de diâmetro e a razão de 0,5 tiveram como paralisação 10 mm de penetração em virtude de sua baixíssima espessura da camada de cobrimento quando comparado aos demais. Fox *et al.* (1997) relacionam que a espessura do perfil de GCL está diretamente ligada a escolha do critério de paralisação, sendo que estes ao testarem variados métodos, determinaram que para uma melhor comparação a fixação 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 de um dos pistões, ocorre a 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 penetração.

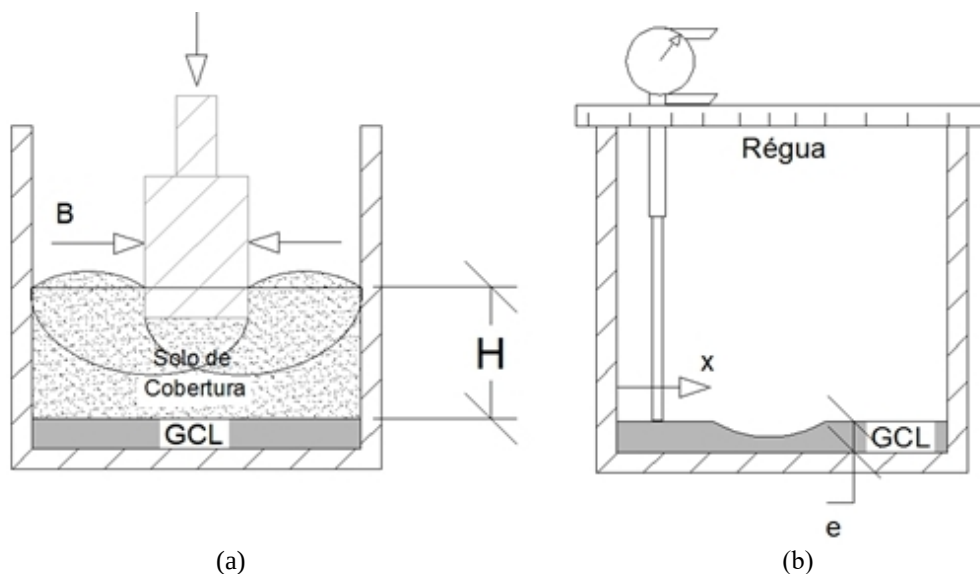


Figura 3 – Desenvolvimento do ensaio: a) penetração do conjunto e, b) determinação do perfil de GCL (modificado Fox *et al.*, 1997)

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 e formas 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 de 3 pistões: pistão com diâmetro de 50 mm face reta (padrão CBR); pistão com diâmetro de 25 mm face reta (desenvolvido para esta pesquisa); e, pistão com diâmetro de 25 mm face esférica (desenvolvido para esta pesquisa), a alternância entre tamanhos resulta em função direta na espessura da camada de cobrimento. Os pistões acima mencionados podem ser vistos na Figura 4.



Figura 4 – Pistões utilizados

Os diâmetros de 25 mm têm por objetivo a comparação com diferentes tipos de agregados que possam vir a danificar o GCL bem como, no caso do pistão com face esférica, simular o contato entre pneu-solo dos possíveis maquinários que virem a ser utilizados no momento de instalação.

O diâmetro do molde manteve o padrão ensaio CBR (152,5 mm), amparando-se nos já utilizados por Koerner e Narejo (1995) em seus ensaios.

Tabela 2 – Variáveis abordadas no atual estudo

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 (forma) do pistão, B	50 mm (face reta), 25 mm (face reta), 25 mm (face esférica)
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	
	0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 3,0
Critério de paralisação	20 mm de penetração (10 mm quando pistões de 25 mm e razão de 0,5)

Em posse destas informações, foram realizadas tréplicas dos ensaios para cada uma das razões em cada um dos pistões utilizados totalizando mais de 50 ensaios desenvolvidos e, para isto, adotou-se a nomenclatura ilustrada na Figura 5.

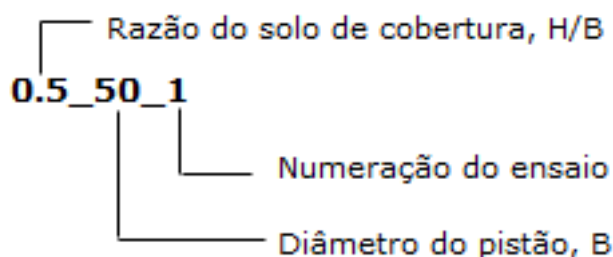


Figura 5 – Nomenclatura dos ensaios.

Para diferenciação entre os pistões de 25 mm foi adicionado a letra “E” na nomenclatura quando se tratava do pistão em formato esférico ficando conforme o exemplo: 0.5E_25_1. Para os ensaios realizados com apenas resíduo, ou seja, sem a aplicação do GCL foi adicionado a letra “R” na nomenclatura ficando conforme o exemplo: 0.5R_50_1 ou 0.5RE_25_1.

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 encontrando-se esta, hidratada e submetida a cargas concentradas.

Anterior a apresentação dos resultados é relevante apresentar aqui, como já exposto em Shukla e Yin (2006), o comportamento de um geossintético quando este exposto a cargas dá-se em sua grande maioria da maneira ilustrada na Figura 6.

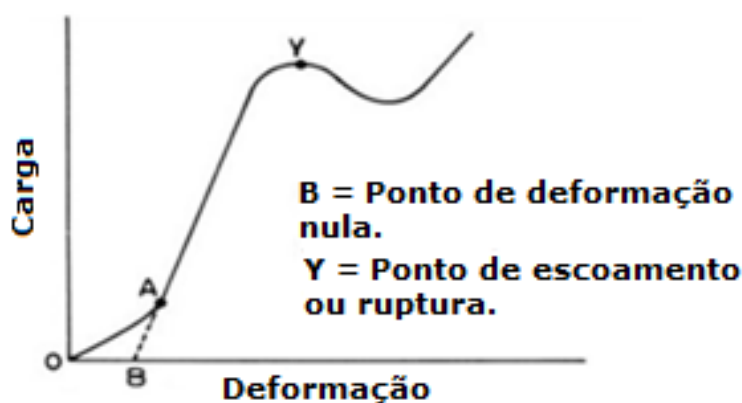


Figura 6 – Típica curva carga-deformação para geossintéticos expostos a compressão (Adaptado de Shukla e Yin, 2006)

Koerner e Narejo (1995) ao observarem em seus ensaios uma curva carga-deslocamento similar a esta da Figura 6, 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 6, 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.

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 7. O pistão de 50 mm, por envolver maior quantidade de solo, desenvolve uma maior tensão seguido pelo pistão de 25 mm face reta – em razão as suas arestas vivas – e por último o pistão de 25 mm com face esférica. A apresentação deste unicamente com a razão de cobertura de 1.5 justifica-se pelo fato de, como será comprovado posteriormente, que razões inferiores a esta não são capazes de proteger o GCL. 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. As diferentes grandezas de tensões entre os pistões podem ser explicadas levando-se em conta o tipo de ruptura a que cada um deles irá levar o solo a sofrer, rupturas generalizadas demandam uma maior quantidade de tensões quando comparadas a rupturas por puncionamento.

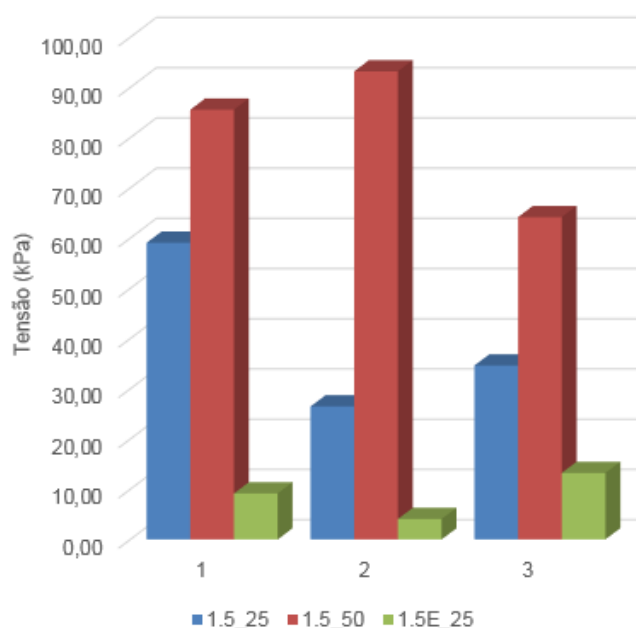


Figura 7 – Comparação da tensão desenvolvida por pistões com mesma razão de cobertura no momento em que ocorre a falha no solo

O mesmo foi realizado para o momento de paralisação do ensaio, ou seja, quando os pistões alcançassem 20 mm de penetração desta forma, as tensões apresentadas na Figura 8 decorrem após o rompimento do solo e já estão sendo transmitidas ao GCL.

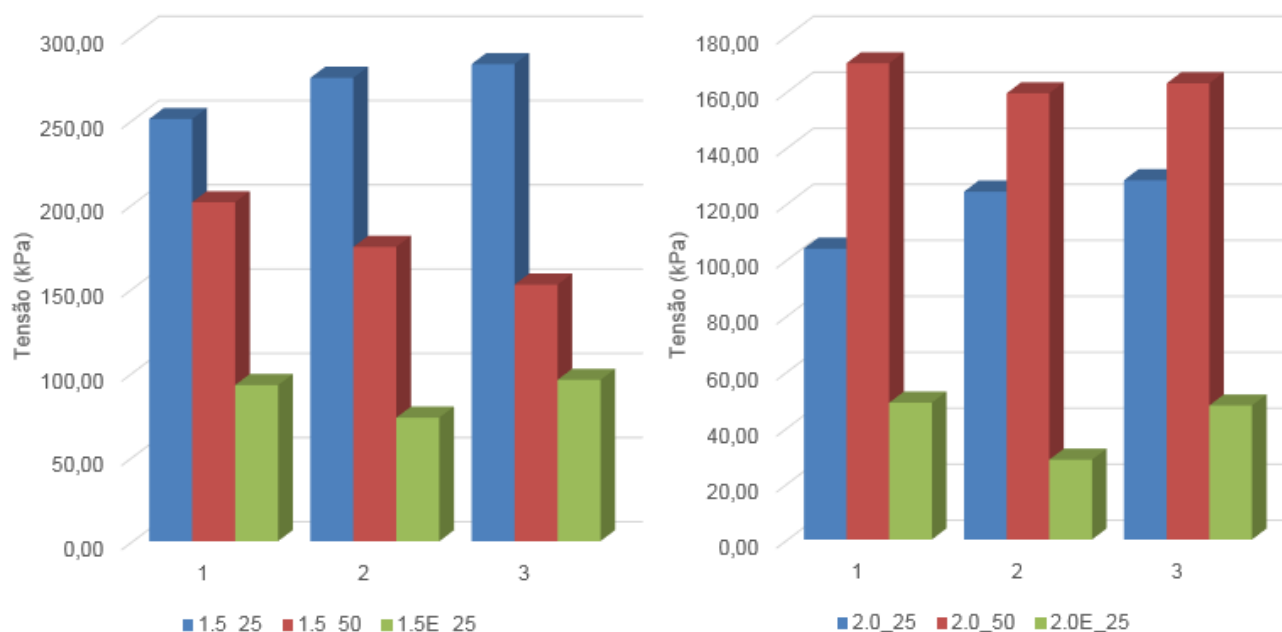


Figura 8 - Comparação da tensão desenvolvida por pistões com mesma razão de cobertura no momento da paralisação do ensaio.

Em todas as razões abordadas o pistão de 25 mm face esférica demonstrou menor tensão aos 20 mm de penetração. Enquanto que, entre os demais pistões estes se alternam quando se está relacionado a grandeza das tensões atuantes. O pistão de 25 mm face reta desenvolve maiores tensões para razões menores e iguais a 1.5 (Figura 8) já, quando se tratando de razões de 2.0 e 3.0, passa a ser o pistão de

50 mm face reta quem acaba a desenvolver maiores tensões (Figura 8). O pistão de 25 mm face reta acaba por ter maiores tensões à baixas razões em virtude deste, após decorrido o período de ensaio, ter o seu completo contato já com a base do molde CBR devido a fina camada de proteção enquanto que, quando utilizado razões de cobertura maiores que 1.5 os pistões menores atuarão de forma a apenas puncionar a camada protetora sem desenvolver maiores tensões.

O momento da transferência de carga ao GCL, como já mencionado no item 4, ocorre logo após um pico de tensão seguido de uma queda brusca, momento este apresentado pela Figura 9 apenas quando se trata do pistão de 50 mm entre os instantes de 5 a 7 mm de penetração e este moldado a uma razão de 1.0. Os demais pistões, quando utilizado esta mesma razão de cobertura, não demonstram a ocorrência da falha no solo sugerindo assim, que as cargas aplicadas vão diretamente ao GCL sem antes serem atenuadas pela camada de proteção.

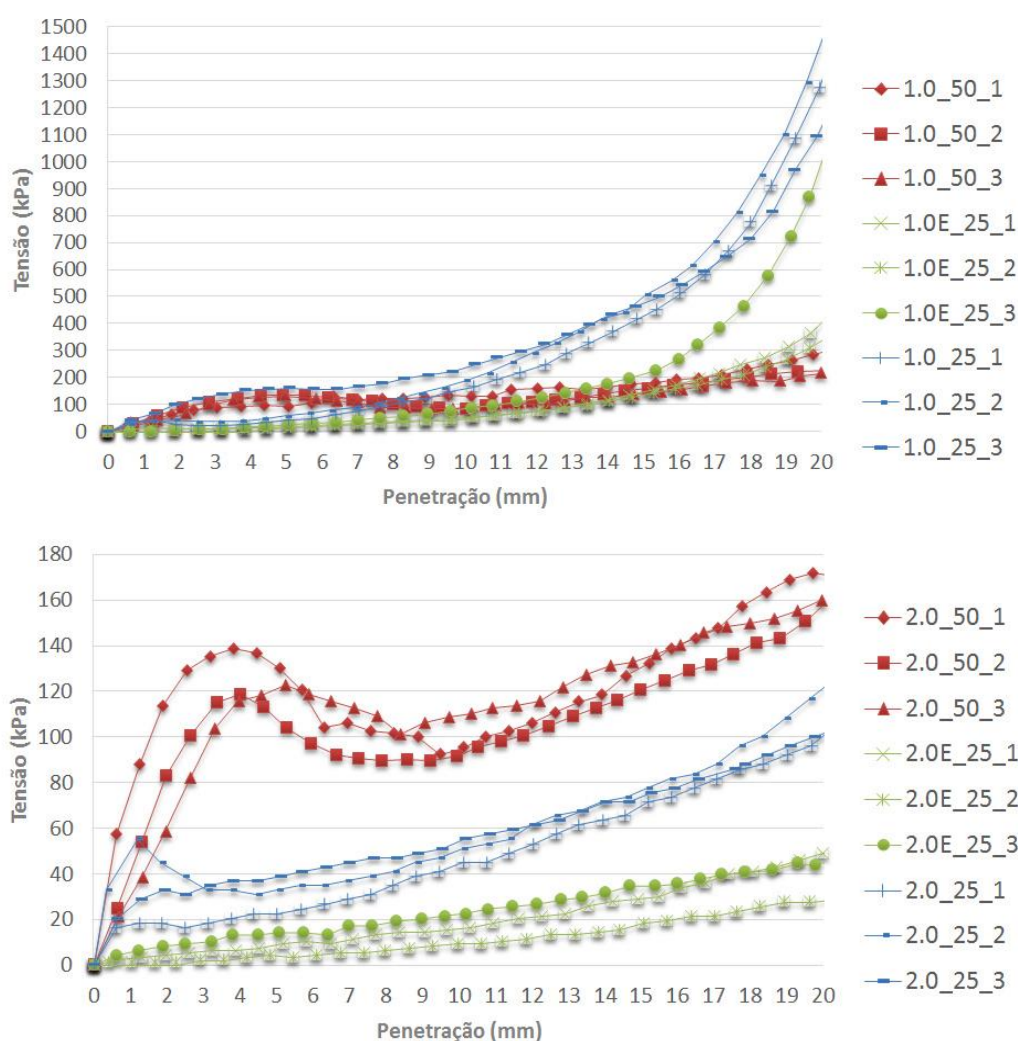


Figura 9 – Comparação entre pistões com mesma razão de cobertura através da curva tensão-penetração.

Na curva tensão-deformação mostrada na Figura 9, utilizando razão de cobertura de 2.0, fica claro a ocorrência de ruptura no interior do solo para o pistão de 50 mm. Para a mesma razão, se começa a observar que o mesmo comportamento tem início para o pistão de 25 mm face reta entre os instantes de 1 a 3 mm de penetração, ou seja, a ruptura ocorre precocemente seguida de um exponencial aumento da tensão que irá ser transmitida ao GCL. Para o pistão de 25 mm face esférica não fica claro a distinção de um pico de ruptura, no entanto e ao mesmo tempo, o pistão não desenvolve grandes tensões ao

decorrer do ensaio isto devido ao seu formato que, ao entrar em contato com o solo, não encontrará grandes dificuldades em penetra-lo. No caso do pistão de 25 mm face esférica, a não ocorrência do pico de ruptura não necessariamente signifique que as tensões desenvolvidas por este estejam sendo transferidas diretamente ao GCL sem qualquer atenuação.

Analisando o até então exposto, insinua-se que razões maiores e iguais a 1.0 seriam adequadas quando utilizado o pistão de 50 mm enquanto que, para os pistões de 25 mm, razões maiores e iguais a 2.0. Uma melhor análise se dará posteriormente através da deformação ocorrida no perfil do GCL.

4.2 - Variação das razões de cobertura

Nota-se uma variação inversamente proporcional com a mudança das razões utilizadas 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. A Figura 10 apresenta a deformação no ponto médio – principal alvo do pistão – sendo estas expressas com algarismos negativos de forma a representar a compressão gerada.

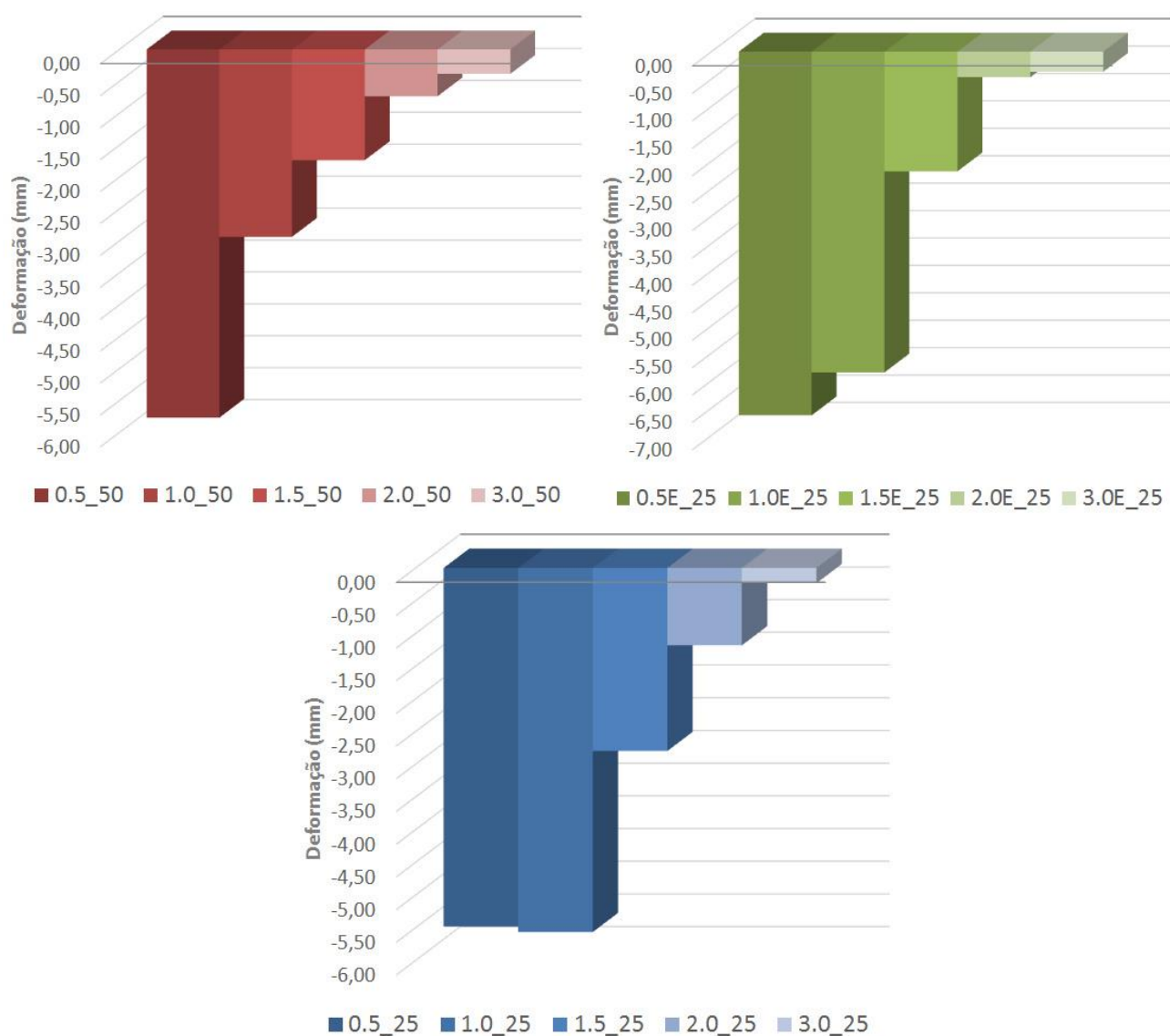


Figura 10 – Deformação de acordo com a variação da razão de cobertura.

Como deformação crítica adotou-se 20% da diminuição da espessura do GCL, ou seja, o composto bentonítico apresentou espessuras próximas aos 10 mm após hidratado desta forma, perdas de até 2 mm foram consideradas como limite de aceitabilidade.

Levando em consideração o limiar estabelecido, quando se tratando do pistão de 50 mm apenas a uma razão de 1.5 este se manteve dentro do aceitável conforme pode ser visto na Figura 10. Já para os demais pistões, 25 mm face reta e face esférica, somente quando utilizado uma razão de 2.0 estes tiveram deformações menores que 2 mm (Figura 10).

Na Figura 10 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 por consequência, no momento reverso para a retirada do pistão, este trouxesse consigo o geossintético.

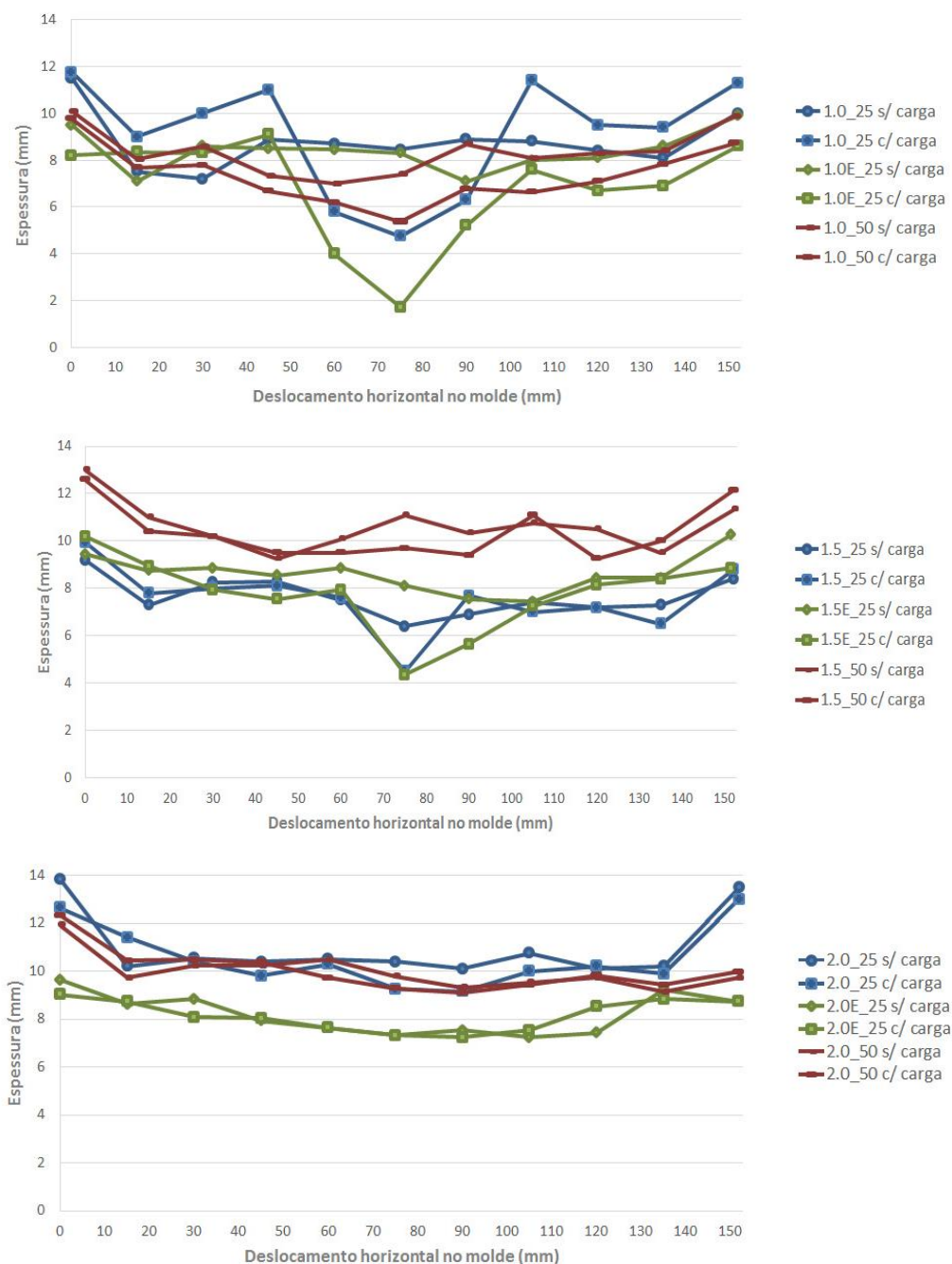


Figura 11 – Comparação das deformações desenvolvidas pelos pistões.

O mesmo pode ser reafirmado quando exposto os perfis de GCL. Ao comparar as deformações ocorridas a uma mesma razão, com apenas alternância dos pistões, é perceptível o dano gerado por todos os pistões quando se tratando da razão de cobertura de 1.0 (Figura 11). Esta deformação diminui gradualmente com o aumento da razão sendo que, para os pistões de 25 mm a uma razão de 1.5 as deformações ainda permanecem inaceitáveis enquanto que, com o pistão de 50 mm, o GCL pouco se altera sugerindo desta forma que a razão de 1.5 se adequa apenas ao último (Figura 11). Para razões de 2.0 todos os perfis se mostraram sem qualquer deformação ou deformações mínimas (Figura 11).

As deformações mantiveram-se maiores quando utilizado os pistões de 25 mm sob baixas razões de cobertura (Figura 12). O fato se inverte (Figura 12) na utilização da razão de 3.0 – máxima razão de cobertura adotada para este estudo – onde quem passa a proporcionar maiores deformações é o pistão de 50 mm. Devido a espessa camada de solo e a pequena área de contato dos pistões de 25 mm ou então, no caso do pistão esférico, não possuir arestas vivas estes acabam por não desenvolver altas tensões à máxima razão de cobertura e por este motivo, danificam muito pouco o GCL abaixo até mesmo do pistão de 50 mm sob mesma razão.

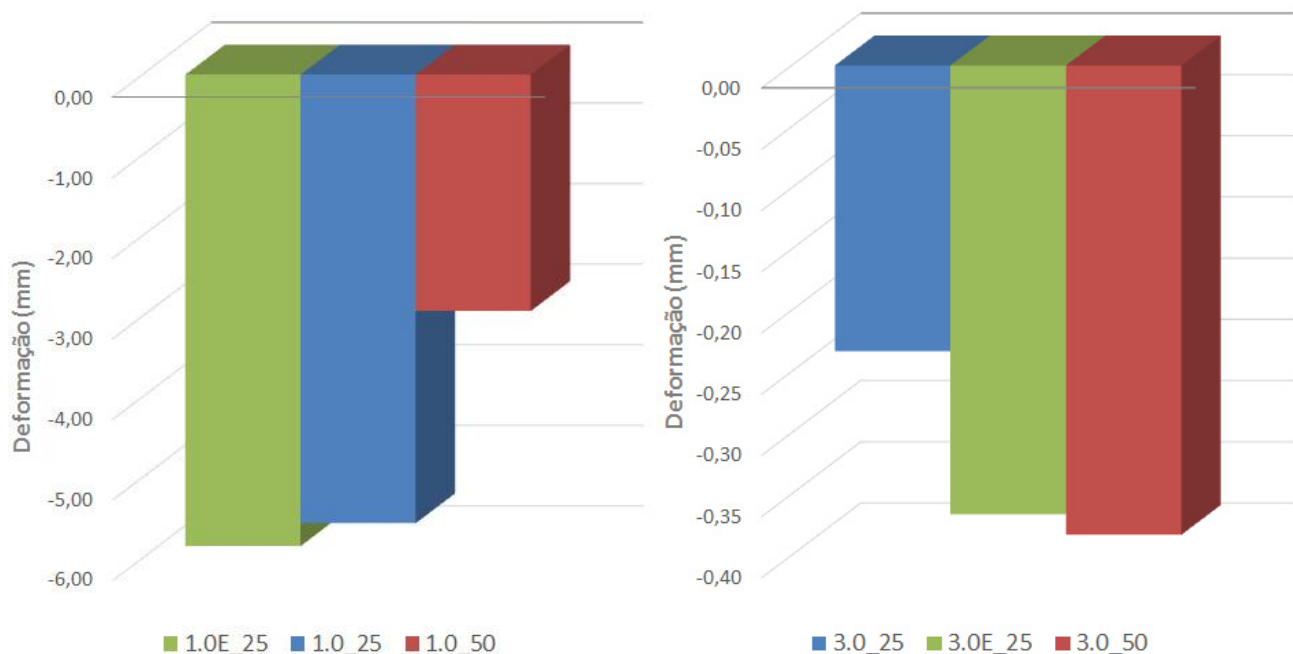


Figura 12 – Comparação da deformação gerada entre pistões contendo a mesma razão de cobertura.

5 - CONCLUSÕES

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

- 1) 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 para os pistões de 25 mm, onde a razão de 1.5 não foi capaz 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.
- 2) Complementando a situação anterior, quando utilizado o pistão de 50 mm a uma razão de 1.0, começa-se a perceber a formação de um pico seguido de uma queda brusca o que indica que a falha ocorre no solo comportamento que para os demais pistões não se observa. A curva toma

contornos semelhantes ao exemplo de Shukla e Yin (2006) quando o pistão de 50 mm está sob uma razão de 1.5 e o pistão de 25 mm face reta a uma razão de 2.0. Para o pistão de 25 mm face esférica não é possível determinar a melhor razão de cobrimento através da curva tensão-penetração visto que, este não apresenta comportamento semelhante aos demais devido ao seu formato sendo necessária uma melhor análise através da deformação gerada pelo mesmo.

- 3) A determinação da melhor razão de cobrimento é melhor detectada por meio do estudo das deformações geradas pelos pistões balizando estas com um máximo aceitável.
- 4) A deformação no GCL decresce ao passo em que se acresce a razão de cobrimento.
- 5) Os danos decorrentes dos pistões de 25 mm, mostraram-se superiores quando comparados ao pistão de 50 mm e a baixas razões de cobrimento. No entanto, a situação se inverte quando utilizada a razão 3.0 onde, devido a espessa camada protetora, os pistões de 25 mm já não conseguem exercer tensão suficiente para danificar o GCL e desta forma, deformações maiores acabam ocorrendo com o pistão de 50 mm.
- 6) Quanto menor o diâmetro dos elementos perfurantes, menor será a tensão desenvolvida por estes quando sujeitos a altas razões de cobrimento sugerindo um comportamento de ruptura por puncionamento. Elementos com maiores áreas de contato terão comportamento similar a rupturas generalizadas envolvendo maior massa de solo a maiores tensões.

6 - REFERÊNCIAS

CHEN, Y-m., Lin, W-a., ZHAN, T. L. T. (2010). Investigation of mechanisms of bentonite extrusion from GCL and related effects on the shear strength of GCL/GM interfaces. *Geotextile and Geomembranes* 28, 63-71.

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.

FOLTZ, N. T., ZANZINGER, H., KOERNER, R. M. (2012). *Editorial: Special issue on GCL*. *Geotextile and Geomembranes* 33, P1.

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.

KOERNER, R. M., CARSON, D. A., DANIEL, D. E., BONAPARTE, R. (1998a). *Update of the Cincinnati GCL test plots*. In: Proceedings of Geo-Bento 1998. Insatec Publications, France, 291-315.

KOERNER, R. M., SOONG, T-Y., GONTAR, A. (1998b). *Selected aspects of GCL shear strength testing*. In: Proceedings of Geo-Bento, Insatec Publications, France, 97-110.

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 G.TD-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.

TONELLO, R. D., GOLDONI, A. G., ROSA, F. D., DONATO, M., ARTUSI, R. (2016). *Use of Alternative Waste The Scroll of Semiprecious Stone As Aggregate In Pavers*. In: Cricte 2016, 2016, Joinville. Anais do Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia. Bauru: Editora Canal6.

TONELLO, R. D., ARTUSI R., GOLDONI, A. G., DALLA ROSA, F., DONATO, M. (2017). *Pavimento Intertravado de Concreto Produzido com Resíduo da Rolagem da Pedra Ágata Como Substituinte Parcial do Ligante*. In: 20ª Reunião de Pavimentação Urbana - 20 RPU, 2017, Florianópolis. Anais da 20 RPU. v. 1.

VERTEMATTI, J. C. (2012). *Manual Brasileiro de Geossintéticos*, 1nd ed., Blucher, São Paulo, Brasil, 413 p.