



CRICTE 2017

XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia



ESTUDO DO EFEITO DA SALINIDADE NA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA EM SOLO ARTIFICIAL A BASE DE CAULIM

Patrícia Rodrigues Falcão

Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande - FURG
falcao.rodrigues.patricia@gmail.com

Luiza Vargas Eichelberger

Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande - FURG
luiza_ve@hotmail.com

Míriam Zanol Remde

Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande - FURG
mzremde@gmail.com

Diego de Freitas Fagundes

Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande - FURG
dffagundes@furg.br

Resumo. *A determinação da resistência não drenada ao cisalhamento é um parâmetro de extrema importância na avaliação da estabilidade de solos finos. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo principal a análise da resistência não drenada (S_u) em solos artificiais produzidos a base de caulim com diferentes concentrações de cloreto de sódio. As amostras foram previamente adensadas e submetidas ao ensaio de palheta de laboratório. Verificou-se que os resultados indicam um pequeno ganho de resistência ao cisalhamento, conforme o acréscimo de concentração de cloreto de sódio.*

Palavras-chave: *Solos artificiais.*

Resistência não drenada. Ensaio da palheta de laboratório.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da indústria *offshore* na exploração e produção de petróleo gera uma crescente demanda no aprimoramento das análises dos mecanismos de interação solo-estrutura que orientam esse tipo de

projeto. Muitas das soluções destes projetos são obtidas através de modelos físicos em escala reduzida utilizando solos artificiais para simular o comportamento de solos marinhos. Porém, muitas vezes o efeito da salinidade presente nestes solos é desconsiderado na preparação dos modelos.

A salinidade interfere principalmente nos solos argilosos onde a alteração do pH do material influencia diversas propriedades do mesmo, *e.g.*, viscosidade, resistência não drenada, limites de consistência, entre outros (Locat *et al.* [1], Hajela *et al.* [2]).

A avaliação da resistência não drenada se torna indispensável, já que ela é o valor de máximo esforço em que um solo é submetido, sem que apresente ruptura ou deformações excessivas quando solicitado rapidamente e não há tempo para a drenagem da água intersticial.

Com isso, esse trabalho tem como objetivo principal a análise da resistência não drenada (S_u) através do ensaio da palheta de laboratório em amostras de solos artificiais a base de caulim, variando a concentração de cloreto de sódio.

2. SOLO ARTIFICIAL

2.1 Descrição dos materiais

As amostras apresentadas nesse artigo foram preparadas em laboratório, a partir da utilização de um caulim silto-argiloso do tipo “Caulim rosa MS” da marca Inducal. A composição química deste material, fornecida pela empresa, é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química do caulim.

Amostra (código)	Caulim Rosa (%)
TiO ₂	<3,0
SiO ₂	74,0
Na ₂ O	0,040 ± 0,003
Al ₂ O ₃	28,47 ± 0,21
K ₂ O	0,060 ± 0,003
Fe ₂ O ₃	0,65 ± 0,01
CaO	0,035 ± 0,006
MnO	0,003 ± 0,001
MgO	0,075 ± 0,003
Perda ao fogo	14,60
Teor de umidade	0,24

As misturas de solo artificial para a realização do adensamento e do ensaio Palheta de laboratório foram preparadas variando a concentração salina com a adição de cloreto de sódio da marca Synth na mistura. A composição desse produto indica teor mínimo de 99%.

2.2 Solo Artificial

Para a confecção das amostras foi realizada inicialmente uma homogeneização manual do caulim. Todas as porções do material foram retiradas da mesma embalagem, evitando assim a variação granulométrica.

Utilizou-se um misturador mecânico (Fig. 1) para a inclusão da solução composta por água e cloreto de sódio ao caulim. A umidade inicial das amostras foi calculada

em relação ao valor do limite de liquidez previamente estudado por Remde *et. al* [3], sendo utilizado um valor médio de 1,3 vezes o LL de cada concentração.



Figura 1 – Misturador mecânico para preparação do solo artificial.

Três amostras foram preparadas com mistura de solo artificial, sendo uma delas utilizada como referência sem a adição do cloreto de sódio. Nas outras duas, foram adicionadas ao caulim concentrações salinas com 10 g/l e 30 g/l. Os solos descritos acima foram identificados como T1, T2 e T3 respectivamente.

2.3 Ensaio de caracterização e limites de consistência

Os resultados dos ensaios de caracterização e limites de consistência para as misturas utilizadas neste trabalho foram publicados na Ref. [3].

O peso específico real dos grãos foi obtido pelo ensaio do picnômetro. Este é um parâmetro que apresenta pouca variação e foi obtido um valor médio de $\gamma_s = 25,78 \text{ kN/m}^3$.

Na Ref. [3] os ensaios para obtenção dos limites de Atterberg foram executados variando a umidade com água destilada, como recomenda a norma, e também variando a umidade com solução salina. Os resultados indicaram que este procedimento não alterou significativamente os valores dos limites de Atterberg para as misturas estudadas. Os valores obtidos com variação da umidade com solução salina estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Limites de consistência do solo artificial. (Fonte: Ref. [3])

Limites de consistência	Concentração de NaCl	
	30g/l	10g/l
LP(%)	26	24
LL(%)	33	35
IP(%)	7	11
Ia	0,18	0,29

3. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

3.1 Adensamento

Para realizar o adensamento dos solos artificiais (Fig. 2) foi utilizado um cilindro de compactação pequeno com volume interno igual a 1 litro. A base desse elemento foi perfurada, permitindo assim uma melhor drenagem da água no processo. Na parte superior da amostra foi fixada uma placa perfurada que junto com o cilindro vertical de PVC, auxiliou no apoio para os discos metálicos. Em ambas as superfícies foram utilizadas discos de papel filtro, para evitar a fuga de material pelos orifícios da base.



Figura 2 – Amostras em processo de adensamento.

Para moldagem dos corpos de prova, as misturas descritas no item 2.2 foram cuidadosamente vertidas nos cilindros, evitando a formação de vazios no interior da amostra. Os corpos de prova foram submetidos a 6 estágios de carga, chegando ao carregamento máximo de 50kPa.

Após o adensamento, cada corpo de prova foi separado em quatro setores, como

indicado na Fig. 3. Os pontos 2, 4 e 5 indicam onde será realizado o ensaio da palheta, os demais setores foram reservados para posteriores ensaios triaxiais, penetração de cone de queda livre e adensamento.



Figura 3 - Detalhamento da separação de setores.

3.2 Ensaio de palheta

O ensaio da palheta miniatura tem como finalidade determinar a resistência não drenada de solos argilosos. O experimento consiste em medir o torque necessário para romper um pequeno cilindro no interior da amostra.

Ao começar o ensaio, é necessária a verificação das escalas angulares do equipamento, garantindo que estejam zeradas. Logo após, a palheta é centralizada sobre o ponto de ensaio como indicado na Fig. 4. Através da rotação da manivela superior do equipamento, o conjunto move-se para baixo, fazendo com que a palheta penetre lentamente no solo até atingir a profundidade de 6 cm.

Atingida a profundidade do ensaio, a palheta é submetida à rotação por meio do giro de uma manivela inferior, mantendo a velocidade constante em 1 giro por segundo. Isso ocorre até que haja a ruptura do solo, verificada através da constância do torque na mola.



Figura 4 - Detalhamento da palheta preparada e centralizada no ponto para a cravação na amostra.

4. RESULTADOS

Admitindo que o solo seja isotrópico e que a distribuição de tensões seja uniforme ao redor da palheta, é possível obter o resultado da resistência não drenada (S_u), através da Eq. (1).

$$S_u = \frac{M_{total}}{\pi \cdot D^2 \cdot \left(\frac{H}{2} + \frac{D}{6} \right)} \quad (1)$$

Onde: M_{total} = torque necessário para a ruptura do solo por cisalhamento; D = diâmetro da palheta; H = altura da palheta.

A Tabela 3 traz os resultados da resistência não drenada e do teor de umidade em cada ponto que foi realizado o ensaio.

Tabela 3. Resultados da resistência não drenada (S_u) e dos teores de umidade.

Pontos	SEM SAL		10g/L		30g/L	
	Su (kPa)	W (%)	Su (kPa)	W (%)	Su (kPa)	W (%)
2	17	33,6	16,8	36,6	33,5	30,7
4	16,8	33,3	16,4	33,7	23,8	29,9
5	17,2	31,8	14,9	35,1	26,7	32,5
MÉDIA	17,0	32,9	16,0	35,1	25,3	31,0

Observa-se que o valor do S_u referente ao ponto 2 com concentração de 30g/l, apresenta resultado discrepante em relação aos demais, portanto, ele foi desconsiderado para a análise. Verifica-se também que não há uma variação significativa nos resultados

entre as amostras sem sal e com concentração de 10g/l.

No entanto, ao analisar a amostra com maior concentração salina, percebe-se que há um ganho de resistência não drenada em torno de 48,82% em relação à amostra sem sal e 58,12% em relação a de 10g/l. Quanto a umidade, as amostras T1 e T2 apresentaram valores em torno de 6% e 13% maiores em relação à amostra de 30g/l.

Apesar de os resultados mostrarem um ganho de resistência não drenada na amostra de solo artificial com 30g/l de solução salina, não é possível afirmar que este ganho foi somente devido à presença de sal na amostra, já que esta apresentou um menor valor de umidade. A diminuição do teor de umidade pode ter contribuído para o aumento da resistência não drenada.

Este trabalho faz parte da fase inicial de um projeto de estudo dos efeitos da salinidade em solos artificiais. Nas próximas etapas, outros ensaios serão executados permitindo uma análise mais ampla dos resultados e definição da real influência da concentração de sal nas amostras.

5. REFERÊNCIAS

- [1] J. Locat and D. Demers, "Viscosity, yield stress, remolded strength, and liquidity index relationship for sensitive clays," Canadian Geotechnical Journal, vol 25, 1988, p. 799-806.
- [2] R.B. Hajela and J.M. Bhatnagar "Applications of rheological measurements to determine liquid limit of soils," Soil Science, vol. 114(2), Ago. 1972, pp.122- 130.
- [3] M.Z. Remde and D.F. Fagundes "Efeito da salinidade nos limites de consistência e distribuição granulométrica de solos artificiais a base de caulim". In: Seminário de Engenharia Geotecnia do Rio Grande do Sul, 2017, Caxias do Sul/RS. Anais GEORS.