

## TÍTULO

---

### ESTUDO DA ESTIMATIVA DE CAPACIDADE DE CARGA DE FUNDAÇÕES DIRETAS CONSIDERANDO SUBSOLO NA CONDIÇÃO NÃO SATURADA

## RESUMO

---

A pesquisa tem por objetivo verificar a viabilidade da utilização de métodos semi-empíricos de previsão de capacidade de carga de fundações diretas que consideram a condição não saturada do subsolo, propostos por Oloo et al. (1997), Briaud (2013), Vahedifard e Robinson (2016), Tang et al. (2017) comparando-os a resultados de provas de carga em placa. Para tal, serão realizados os ensaios de placa em subsolo arenoso, típico da região litorânea do estado do Ceará, com medição de umidade *in loco*, para que, através da curva de retenção de água, seja possível determinar a sucção no momento do ensaio. Além disso, serão realizados ensaios laboratoriais de caracterização do solo, ensaio de papel filtro, para determinação da curva característica, bem como ensaios triaxiais na condição saturada e não saturada, para a determinação dos parâmetros de resistência, tais como: coesão, ângulo de atrito efetivo ( $\phi'$ ) e parâmetro que quantifica a taxa de aumento na resistência ao cisalhamento ( $\phi^b$ ). Além disso, prevê-se a análise de fatores de segurança envolvidos na utilização desses métodos, para o caso de estudo. Com base nos dados, será avaliada a utilização dos métodos semi-empíricos para as condições não saturada e saturada com relação a capacidade de carga e quando comparados a métodos tradicionalmente empregados como Terzaghi (1943) e Vesic (1963).

## PALAVRAS-CHAVE

---

Fundações diretas. Solos não saturados. Ensaio de placa. Ensaio triaxial. Previsão de capacidade de carga.

## INTRODUÇÃO

---

A utilização de fundações diretas, principalmente as sapatas são muito comuns em construções não só no Brasil, como no mundo. Usualmente, seu dimensionamento é feito considerando que o subsolo esteja em condição saturada, por meio dos métodos de Terzaghi (1943) e Vesic (1963). Contudo, muitas regiões, em sua camada mais superficial, encontram-se em condição não saturada, podendo ter sapatas assentes em locais que em momento algum encontrar-se-á saturado. Esse fato pode gerar estruturas superdimensionadas, acarretando maior custo final à obra que está sendo executada.

Paralelamente, o estudo da mecânica dos solos não saturados vem ganhando cada vez mais espaço nas últimas décadas, fazendo com que seu comportamento seja mais conhecido e conseqüentemente os conceitos relacionados sendo mais aplicados. Nesse sentido, autores como Oloo et al. (1997), Briaud (2013), Vahedifard e Robinson (2016), Tang et al. (2017) propuseram métodos de previsão de capacidade de carga de fundações diretas para subsolo na condição não saturada. Para a aplicação desses métodos, são necessários dados como sucção mátrica ( $u_a - u_w$ ) e ângulo de atrito que quantifica a sucção na resistência ao cisalhamento ( $\phi^b$ ), obtidos por meio do ensaio de papel filtro e ensaios triaxiais, respectivamente.

## OBJETIVOS

---

### Geral

Verificar a viabilidade da utilização de métodos semi-empíricos que consideram o subsolo na condição não saturada na previsão de capacidade de carga de fundações diretas.

### Específicos

- Caracterizar um solo predominantemente arenoso, típico do subsolo da região litorânea do Ceará, em laboratório.
- Realizar ensaio de papel filtro para determinação da curva de retenção de água do solo.
- Realizar ensaios triaxiais com controle de sucção para determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo, tais como  $\phi'$ ,  $\phi^b$  e coesão.
- Realizar ensaios de prova de carga em placa para determinação da capacidade de carga em diferentes sucções em campo.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

### Mecânica dos Solos Não Saturados

Em muitas partes do mundo, o subsolo encontra-se em sua condição saturada, fazendo com que a mecânica dos solos clássica se desenvolvesse baseada em duas hipóteses: solos secos e solos saturados. Porém, segundo Gitirana Jr et al. (2005), em muitos locais, principalmente em regiões de clima árido e semiárido, onde a evaporação excede as precipitações, sabe-se que a presença de solos não saturados é constante, fazendo com que muitos estudos fossem desenvolvidos, originando a mecânica dos solos não saturados. No solo localizado acima do lençol freático, região denominada vadosa, a água apresenta pressão menor que a atmosférica. Esta zona é dividida, segundo Fredlund (1996), em franja capilar, ou seja, a parte imediatamente superior ao nível d'água, que se encontra saturada, e a região acima da franja capilar, mais próximo à superfície, onde o solo se encontra não saturado. Essa divisão pode ser observada na Figura 1, onde nota-se que a variação da precipitação está diretamente relacionada a variação da sucção, presente no solo não saturado.

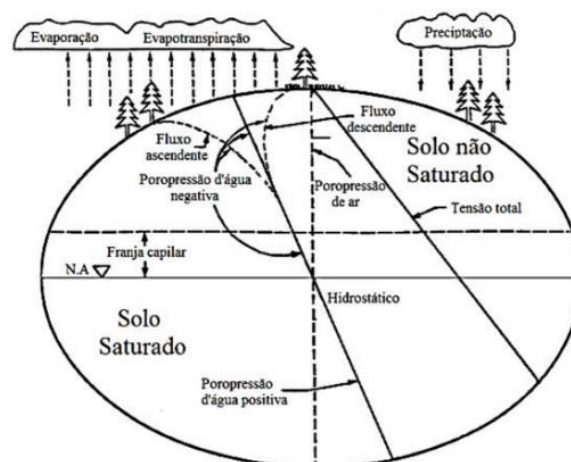


Figura 1. Influência do fluxo de água no mecanismo dos solos. Fonte: Modificado de Fredlund (1996) apud. Massocco (2017).

Segundo Almeida (2018), um dos principais conceitos que sofreu modificação na mecânica dos solos não saturados está relacionado ao princípio das tensões efetivas, proposto por Terzaghi (1943), cuja tensão efetiva ( $\sigma'$ ) é definida pela diferença entre a tensão total ( $\sigma$ ) e a poropressão ( $u_w$ ). Para solos não saturados, a parcela de sucção, também deve ser considerada. Nesse sentido, Bishop (1959) ajustou a teoria de Terzaghi (1943), sugerindo uma equação de tensão efetiva que levasse em consideração os efeitos da sucção, resultando na Equação 1.

$$\sigma' = \sigma - u_a + \chi(u_a - u_w) \quad (1)$$

Sendo  $\sigma'$  a tensão efetiva,  $\sigma$  a tensão total,  $u_a$  a pressão de ar,  $u_w$  a pressão de água e  $\chi$  um parâmetro dependente do grau de saturação do solo, sendo  $\chi = 0$  para solos secos e  $\chi = 1$  para solos saturados.

A sucção é dividida em duas parcelas, que são a matricial e a osmótica. Conforme exposto por Almeida (2018), a componente matricial está relacionada aos tipos de partículas e arranjo estrutural do solo, enquanto a componente osmótica diz respeito à concentração química da água no solo. Dessa forma, a sucção total é dada pela soma dessas duas parcelas.

Contudo, os autores Edil et al. (1981), por meio de ensaios triaxiais com sucção controlada comprovaram que o comportamento mecânico do solo não saturado não é significativamente afetado pela sucção osmótica. Dessa forma, os efeitos da sucção mátrica regem o comportamento mecânico dos solos não saturados, e pode ser definido pela diferença entre a pressão de ar e a pressão de água.

### Ensaio de Papel Filtro

Para mensurar os valores de sucção presentes em um solo, é necessário entender como funciona a capacidade de reter água de cada amostra, sendo possível por meio da curva de retenção de água, também denominada curva característica. Segundo Gitirana Jr. et al. (2005), essa curva consiste na relação entre a quantidade de água presente no material poroso e a energia necessária para remover essa água. Para Oliveira e Marinho (2015), a curva de retenção é a representação da relação entre a quantidade de água presente no solo, através do grau de saturação, umidade volumétrica ou umidade gravimétrica, e a sucção, e pode variar de acordo com o tipo de solo e sua estrutura, conforme exemplificado na Figura 2.

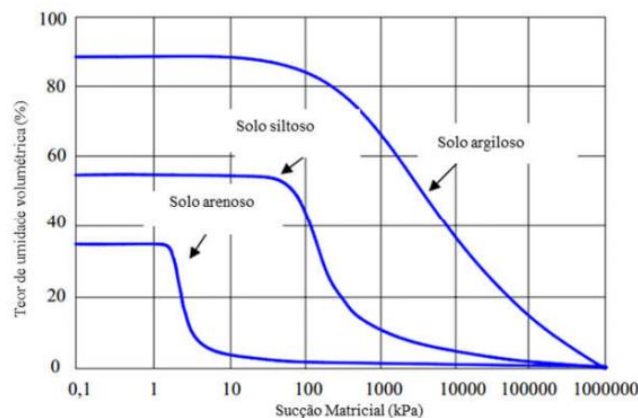


Figura 2. Curva de retenção e a estrutura do solo. Adaptado de Vanapalli, Fredlund e Pufail (1999) apud. Massocco (2017).

A obtenção de parâmetros para a definição da curva característica é viabilizada pelo ensaio de papel filtro, padronizado pela norma ASTM (2016). Conforme citado por Almeida (2018), o método do papel filtro se baseia na hipótese de que o solo com uma determinada umidade, ao entrar em contato com uma superfície porosa, no caso, o papel filtro, irá transferir uma parcela de sua água para esse material, equilibrando os potenciais matriciais do papel e do solo. E, portanto, por meio de calibração

prévia, obtêm-se as referidas sucções para as umidades determinadas. Sabendo-se que a sucção do papel filtro e a sucção do solo são iguais, após período de equilíbrio, normalmente sete dias, obtêm-se pontos de relação sucção x umidade, das quais obtêm-se a curva de retenção do solo. Há dois tipos de papel filtro calibrados comumente utilizados para essa técnica, que são o Whatman nº 42 e Schleicher e Schuell nº 589.

### Ensaio Triaxial com Controle de Sucção

Para a determinação dos parâmetros de resistência dos solos, que são ângulo de atrito e coesão, os ensaios utilizados são cisalhamento direto e triaxial. Para ambos, é necessária a etapa de saturação do corpo de prova, visando prever a pior situação em que esse solo estará submetido.

O ensaio triaxial convencional é realizado, segundo Pereira (2006) em uma amostra de solo cilíndrica envolta em uma membrana de látex, no qual é submetido a uma pressão de confinamento simulando a situação de campo. O cisalhamento ocorre aplicando uma tensão axial no topo da amostra, gerando gráfico de tensão x deformação, e conseqüentemente, com a ruptura de pelo menos três amostras do mesmo solo, obtêm-se a envoltória de Mohr-Coulomb.

Todavia, para que possa ser imposta uma sucção nesse processo de ruptura da amostra, são necessárias realizar algumas adaptações no equipamento, que, segundo Ho e Fredlund (1982) apud. Pereira (2006) são controle de pressão de água, controle de pressão de ar e sistema de fluxo de bolhas de ar, ou seja, uma pedra porosa de alto valor de entrada de ar. Os detalhes relativos à célula triaxial para solos não saturados podem ser visualizados na Figura 3.

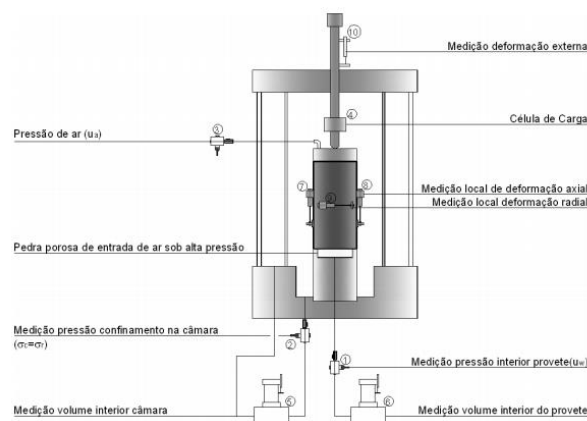


Figura 3. Esquema detalhado da célula triaxial para solos não saturado (GOMES et al., 2008).

Essas diferenças nas medições do ensaio permitem determinar a coesão ( $c$ ), ângulo de atrito ( $\phi$ ) e também o ângulo de atrito que quantifica a sucção na resistência ao cisalhamento ( $\phi^b$ ). Utilizando-se da técnica de translação de eixos, a realização do ensaio triaxial visa a geração das envoltórias de Fredlund e Radahdjo (1993) adaptadas de Mohr-Coulomb, cujo espaço é tridimensional, conforme Figura 4.

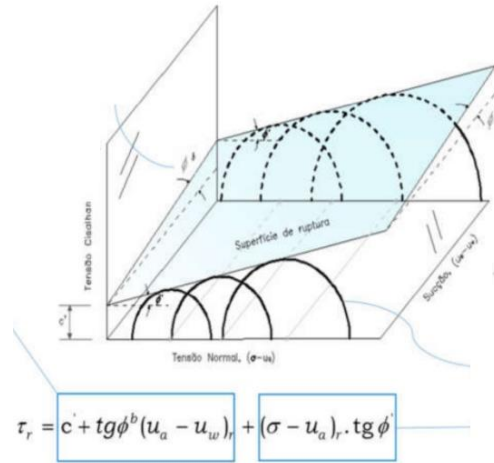


Figura 4. Envoltória de resistência de solos não saturados. Adaptado de Fredlund et al. (1978) apud. Massocco (2017).

## Métodos de Previsão de Capacidade de Carga para Fundações Diretas em Solos Não Saturados

Devido ao surgimento de estudos que compreendam melhor o comportamento do solo em sua condição não saturada, surgiu-se também algumas propostas para previsão de capacidade de carga de fundações diretas. Alguns desses métodos são propostos por Oloo et al. (1997), Vanapalli e Mohamed (2013), Briaud (2013), Vahedifard e Robinson (2016) e Tang et al. (2017), conforme apresentados a seguir.

### a) Oloo et al. (1997)

Partindo da formulação teórica para dimensionamento de fundações diretas, proposta por Terzaghi, Oloo et al. (1997), propôs uma formulação onde a parcela de sucção é considerada, conforme Equação 2.

$$q_{ult} = [c' + (u_a - u_w) \tan \phi^b] N_c \xi_c + q N_q \xi_q + 0,5 B_\gamma N_\gamma \xi_\gamma \quad (2)$$

Onde  $q_{ult}$  é a capacidade de carga,  $c'$  é a coesão,  $u_a - u_w$  é a sucção mátrica,  $\phi^b$  é o ângulo de atrito interno que quantifica a sucção na resistência ao cisalhamento,  $N_c$ ,  $N_q$  e  $N_\gamma$  são fatores de capacidade de carga,  $\xi_c$ ,  $\xi_q$  e  $\xi_\gamma$  são fatores de forma,  $B_\gamma$  é a largura da fundação e  $q$  é a sobrecarga.

### b) Vanapalli e Mohamed (2013)

Partindo da formulação proposta por Oloo et al. (1997), onde a capacidade de carga aumenta linearmente com a sucção em uma taxa constante  $\phi^b$ , Vanapalli e Mohamed (2013) propuseram ajustes, conforme Equação 3, através do entendimento experimental de que essa relação não é linear.

$$q_{ult} = [c' + (u_a - u_w)_b (1 - S \psi^{BC}) \tan \phi' + (u_a - u_w)_{med} S \psi^{BC} \tan \phi'] N_c \xi_c + \gamma D N_q \xi_q + 0,5 \gamma B N_\gamma \xi_\gamma \quad (3)$$

Onde  $q_{ult}$  é a capacidade de carga,  $c'$  é a coesão,  $(u_a - u_w)_b$  é o valor da entrada de ar da curva de retenção,  $(u_a - u_w)_{med}$  é a sucção mátrica média,  $\phi'$  é o ângulo de atrito efetivo,  $S$  é o grau de saturação,  $\xi_c$ ,  $\xi_q$  e  $\xi_\gamma$  são fatores de forma.

Sendo que:

$$\psi^{BC} = 1 + 0,34(I_p) - 0,0031(I_p^2) \quad (4)$$

Onde:  $\Psi^{bc}$  é um parâmetro experimental de ajuste e  $I_p$  é o índice de plasticidade do solo.

c) Briaud (2013)

Para Briaud (2013), o efeito da sucção causa um acréscimo de coesão, denominada coesão aparente, permanecendo todas as outras parcelas da formulação, apresentada na Equação 5, conforme propostas originalmente no método teórico.

$$q_{ult} = c'N_c + 0,5(\gamma B - \alpha u_w)N_\gamma + \gamma DN_q \quad (5)$$

Onde  $q_{ult}$  é a capacidade de carga,  $c'$  é a coesão,  $N_c$ ,  $N_q$  e  $N_\gamma$  são fatores de capacidade de carga,  $\gamma$  é o peso específico do solo,  $B$  é a largura da fundação,  $\alpha$  é um coeficiente estimado de acordo com o grau de saturação,  $u_w$  é a pressão de água e  $D$  é a profundidade de embutimento da base da fundação.

d) Vahedifard e Robinson (2016)

A proposta apresentada por Vahedifard e Robinson (2016) utiliza a abordagem de coesão total e também utiliza parâmetros obtidos em perfis de sucção propostos pelos autores Lu e Likos (2004) em sua formulação, conforme Equação 6.

$$q_{ult} = \{c' + a(1 - S_{c,MED})\tan\phi' + [(u_a - u_w)S_c]_{MED}\tan\phi'\}N_c\xi_c + q_0N_q\xi_q + 0,5\gamma BN_\gamma\xi_\gamma \quad (6)$$

Onde  $q_{ult}$  é a capacidade de carga,  $c'$  é a coesão,  $a$  é o valor da entrada de ar,  $S_{c,med}$  é o grau de saturação efetivo médio no bulbo de tensões,  $\phi'$  é o ângulo de atrito efetivo,  $(u_a - u_w)$  é a sucção mátrica,  $N_c$ ,  $N_q$  e  $N_\gamma$  são fatores de capacidade de carga,  $\xi_c$ ,  $\xi_q$  e  $\xi_\gamma$  são fatores de forma,  $q_0$  é a sobrecarga,  $\gamma$  é o peso específico do solo e  $B$  é a largura da fundação.

e) Tang et al. (2017)

Baseando-se no princípio de tensões efetivas de capacidade de carga, Tang et al. (2017) propuseram uma formulação semi-empírica válida para sucções uniformemente distribuídas abaixo da fundação ou quando essa sucção pode ser representada por um valor médio na zona do bulbo de tensões, apresentada na Equação 7.

$$q_{ult} = (c' + \chi_{s,MED}\tan\phi')N_c d_c + qN_q d_q + 0,5\gamma BN_\gamma d_\gamma \quad (7)$$

Onde  $q_{ult}$  é a capacidade de carga,  $c'$  é a coesão,  $\chi_{s,med}$  é o parâmetro de tensão efetiva médio correspondente à sucção média no bulbo de tensões,  $\phi'$  é o ângulo de atrito efetivo,  $N_c$ ,  $N_q$  e  $N_\gamma$  são fatores de capacidade de carga,  $d_c$ ,  $d_q$  e  $d_\gamma$  são os fatores de profundidade,  $q$  é a sobrecarga,  $\gamma$  é o peso específico do solo e  $B$  é a largura da fundação.

### Prova de Carga em Placa

O ensaio de prova de carga em placa é, segundo Costa (1999), um ensaio de campo que consiste na estimativa da deformabilidade de um elemento de fundação direta quando submetido a um

carregamento de compressão. Esse ensaio é normatizado pela ABNT (1984), e consiste, segundo Cintra et al. (2011), na instalação de uma placa circular de 0,80 m de diâmetro, rígida e metálica, na mesma cota de projeto da base das fundações, e são aplicadas cargas, em estágios, com medida simultânea de recalques. São obtidos gráficos de tensão x recalque, como o apresentado na Figura 5.

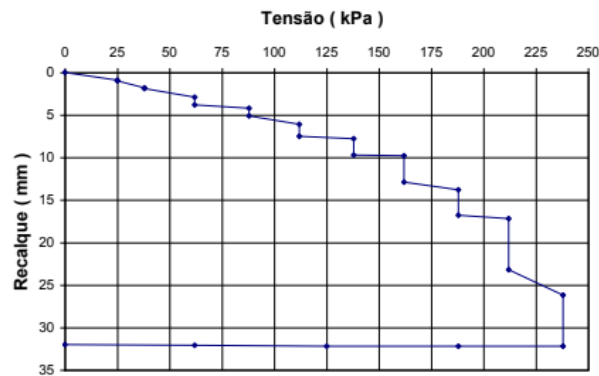


Figura 5. Exemplo de curva tensão x recalque de ensaios de prova de carga em placa (IPT, 1954 apud. Macacari, 2001).

Sabe-se que esse ensaio é realizado na condição não saturada do solo, e por isso, para um melhor entendimento do comportamento da capacidade de carga, é necessário relacionar seus resultados com a sucção no momento do ensaio. Dessa forma, o ensaio de placa também pode ser realizado na condição inundada, visando entender o comportamento em sua condição saturada. O autor De Paula (2017), realizou ensaios de placa comparando os resultados na condição natural e inundada para solos colapsíveis e constatou uma diferença drástica provocada pela diminuição da sucção, conforme Figura 6.

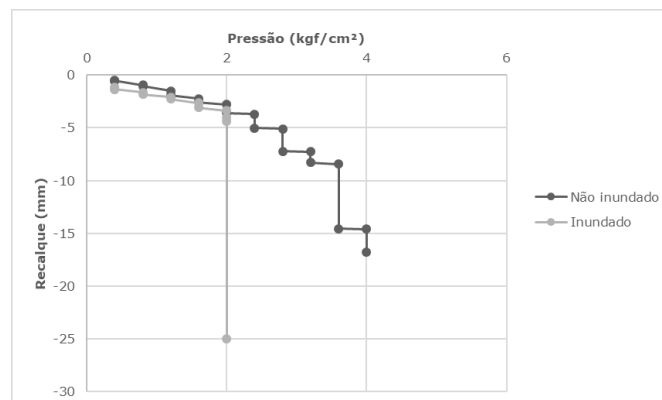


Figura 6. Comparação dos gráficos tensão x recalque nas condições natural e inundado em ensaios de prova de carga em placa (De Paula, 2017).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente será realizado um levantamento bibliográfico dos assuntos pertinentes à pesquisa, tais como conceitos básicos de mecânica dos solos não saturados, resistência o cisalhamento, métodos de determinação de capacidade de carga que consideram o solo não saturado e provas de carga em placa.

Posteriormente, serão realizados os ensaios laboratoriais em amostras deformadas e indeformadas, que são: caracterização, ensaio de papel filtro e ensaio de compressão triaxial para solos não

saturados. Além disso, serão executadas as provas de carga em placa em campo, na condição natural e inundada.

Serão analisadas as previsões de capacidade de carga de fundações diretas pelos métodos semi-empíricos para solos não saturados, comparando os resultados com os obtidos pela prova de carga em placa e pelos métodos que consideram o solo na condição saturada.

Por fim, serão realizadas análises dos fatores de segurança, a fim de entender, para esse caso de estudo, as condições de variação de acordo com o grau de saturação do solo.

## **CRONOGRAMA DE ATIVIDADES DOS BOLSISTAS**

---

Bolsista 01:

<b>Atividades</b>	<b>Data de início</b>	<b>Data de término</b>
Levantamento bibliográfico: conceitos de mecânica dos solos não saturados e ensaio de papel filtro.	01.08.2018	31.08.2018
Levantamento bibliográfico: métodos semi-empíricos de determinação de capacidade de carga de fundações diretas para as condições saturada e não saturada do subsolo.	01.09.2018	30.09.2018
Levantamento bibliográfico: provas de carga em placa e métodos de extrapolação da curva “carga x recalque”.	01.10.2018	31.10.2018
Coleta de amostra deformada e ensaios de caracterização em laboratório: densidade real do grão, granulometria e peso específico.	01.11.2018	30.11.2018
Coleta de amostra indeformada e ensaio de laboratório: ensaio de papel filtro.	01.12.2018	31.12.2018
Coleta de amostra indeformada e ensaio de laboratório: ensaio de compressão triaxial estático para solos não saturados.	01.01.2019	31.01.2019
Coleta de amostra indeformada e ensaio de laboratório: ensaio de compressão triaxial estático para solos não saturados.	01.02.2019	28.02.2019
Ensaio de campo: Realização de prova de carga em placa na condição natural.	01.03.2019	31.03.2019
Elaboração de planilhas de cálculo para estudo da previsão de capacidade de carga de fundações diretas pelos métodos propostos.	01.04.2019	30.04.2019
Extrapolação das curvas “carga x recalque” pelos métodos propostos.	01.05.2019	31.05.2019
Análise de fatores de segurança envolvidos na consideração da sucção na capacidade de carga.	01.06.2019	30.06.2019
Discussões finais.	01.07.2019	31.07.2019



Bolsista 02:

<b>Atividades</b>	<b>Data de início</b>	<b>Data de término</b>
Levantamento bibliográfico: resistência ao cisalhamento não saturado e técnicas de medição direta e indireta de sucção.	01.08.2018	31.08.2018
Levantamento bibliográfico: capacidade de carga de fundações superficiais na condição saturada e não saturada.	01.09.2018	30.09.2018
Levantamento bibliográfico: tipos de carregamento em provas de carga em placa.	01.10.2018	31.10.2018
Coleta de amostra deformada e ensaios de caracterização em laboratório: densidade real do grão, granulometria e peso específico.	01.11.2018	30.11.2018
Coleta de amostra indeformada e ensaio de laboratório: ensaio de papel filtro.	01.12.2018	31.12.2018
Coleta de amostra indeformada e ensaio de laboratório: ensaio de compressão triaxial estático para solos saturados.	01.01.2019	31.01.2019
Coleta de amostra indeformada e ensaio de laboratório: ensaio de compressão triaxial estático para solos saturados.	01.02.2019	28.02.2019
Ensaio de campo: Realização de prova de carga em placa na condição inundada.	01.03.2019	31.03.2019
Elaboração de planilhas de cálculo para estudo da previsão de capacidade de carga de fundações diretas pelos métodos propostos.	01.04.2019	30.04.2019
Análise das curvas “carga x recalque” das provas de carga em placa.	01.05.2019	31.05.2019
Análise da influência dos níveis d’água na capacidade de carga de fundações diretas.	01.06.2019	30.06.2019
Discussões finais.	01.07.2019	31.07.2019

## Referências

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6489. Prova de carga direta sobre terreno de fundação. Rio de Janeiro, 1984.
- ALMEIDA, M. M. R. Avaliação de métodos de estimativa da capacidade de carga de fundações diretas em solos não saturados. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE, 2018.
- ASTM. American Society for Testing and Materials, D 5298. Standard test method for measurement of soil potential (suction) using filter paper. West Conshohocken, 2016.
- BISHOP, A. W. The principle of effective stress. *Teknisk Ukeblad*, v. 106, n. 3, p. 859-863, 1959.
- BRIAUD, J. L. *Geotechnical Engineering: Unsaturated and Saturated Soils*. Hoboken, New Jersey. Wiley: 2013.
- CINTRA, J. A. C., AOKI, N., ALBIERO, J. H. *Fundações diretas: projeto geotécnico*. Oficina de Textos, São Paulo – SP, 2011.
- COSTA, Y.D.J. Estudo do comportamento de solo não saturado através de provas de carga em placa. Dissertação de Mestrado, EESC/USP, São Carlos/SP, 131 p, 1999.

- DE PAULA, D. C. Análise comparativa de resultados de ensaios de placa em solo com condições inundadas e não inundadas – Estudo de caso. Trabalho de conclusão de curso, Universidade de Fortaleza, Fortaleza – CE, 2017.
- EDIL, T. B.; MOTAN, S. E.; TOHA, F. X. Mechanical Behavior and Testing Methods of Unsaturated Soils. Laboratory Shear Strength of Soil, ASTM, STP 740, p. 114-129, 1981.
- FREDLUND, D. G.; MORGENSTERN, N. R.; WIDNER, R. A. The shear strength of unsaturated soils. Canadian Geotechnical journal, 1978. p. 313-321.
- FREDLUND, D. G. The emergence of unsaturated soil mechanics. The Fourth Spencer J. Buchanan Lecture, College Station, p. 39, novembro 1996.
- FREDLUND, D. G.; RAHARDJO, H. Soil mechanics for unsaturated soils. USA: John Wiley and Sons, 1993.
- GITIRANA JR., G. F. N.; CAMAPUM DE CARVALHO, J.; CORDAO NETO, M. P. Previsão de curvas características de um perfil de solo colapsível de Brasília utilizando curvas granulométricas. In: XIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Curitiba, v. I, 6 p, 2005.
- GOMES, A. T., FONSECA, A. V., COSTA, C., GABRIEL, J. Desenvolvimento de um equipamento para realização de ensaios triaxiais em condições não saturadas. XI Congresso Nacional de Geotecnia, Coimbra, Portugal, 2008.
- HO, D. Y. F., FREDLUND, D. G. A multistage triaxial test for unsaturated soils. Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, v.5, n1/2, p 18-25, 1982.
- IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Estudo das fundações para as futuras instalações da Escola de Engenharia de São Carlos. Relatório n 2269, São Paulo, 1954.
- LU, N.; LIKOS, W. Unsaturated soil mechanics. John Wiley and Sons, New York, NY, USA, 2004.
- MACACARI, M. F. Variação da capacidade de carga com a sucção e profundidade em ensaios de placa em solo colapsível. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2001.
- MASSOCCO, N. S. Determinação dos parâmetros geotécnicos de solos residuais com ênfase na mecânica dos solos não saturados. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2017.
- OLIVEIRA, O. M.; MARINHO, F. A. M. Análise dos Parâmetros das equações de ajuste da curva de retenção de águas propostas por Fredlund e Xing (1994) e Van Genuchten. VIII Simpósio Brasileiro de solos não saturados. Fortaleza: ABMS. 2015.
- OLOO, S. Y.; FREDLUND, D. G.; GAN, J. K. M. Bearing capacity of unpaved roads. Canadian Geotechnical Journal, v. 34, p. 398-407, 1997.
- PEREIRA, A. Resistência ao cisalhamento de solos não saturados: análise experimental e teórica. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre - RS, 2006.
- TANG, Y.; TAIEBAT, H.A.; SENETAKIS, K. Effective Stress Based Bearing Capacity Equations for Shallow Foundations on Unsaturated Soils. Journal of GeoEngineering, v. 12, n. 2, p. 59-64, 2017.
- TERZAGHI, K. Theoretical soil mechanics. Journal of GeoEngineering, New York: John Wiley & Sons, v. 12, n. 2, p. 59-64, 1943.
- VAHEDIFARD, F.; ROBINSON, J.D. Unified method for estimating the ultimate bearing capacity of shallow foundations in variably saturated soils under steady flow. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, v. 142, n. 4, 2016.
- VANAPALLI, S. K.; FREDLUND, D. G.; PUFAIL, D. E. The influence of soil Structure and Stress History on the Soil-Water Characteristics of Compacted Till. Geotechnique, v. 49, p. 143-159, 1999.
- VANAPALLI, S.K.; MOHAMED, F.M.O. Bearing capacity and settlement of footings in unsaturated sands. International Journal of Geomate, v. 5 n. 1, p. 595-604, 2013.