

**Programa de Estudante Voluntário em Pesquisa e Inovação  
Vigência da Bolsa 2018  
PEVPI-FC**

**TÍTULO**

---

**ESTUDO DO MELHORAMENTO DE SOLO PARA FUNDAÇÃO COM  
GEOSSINTÉTICOS CONSIDERANDO A CONDIÇÃO DE SATURAÇÃO**

**RESUMO**

---

A presente pesquisa trata de estudo do comportamento mecânico de camadas de solo reforçado com a adição de fibras de polipropileno e geogrelhas, considerando a condição de saturação, visando o assentamento de fundações superficiais, avaliando a eficiência técnica e econômica do melhoramento proposto. O estudo se dividirá 5 etapas: a primeira de revisão bibliográfica; duas etapas experimentais: coletas de amostras com ensaios de campo e ensaios de laboratório; a quarta final de interpretação de resultados, aplicação de modelos para previsão de capacidade de carga de fundações superficiais e análises econômicas das soluções e a última etapa de discussões finais e recomendações de estudos complementares. O programa experimental em laboratório da pesquisa consistirá em ensaios de caracterização do solo, compactação e ensaios triaxiais na condição saturada e não saturada, assim como ensaios de papel filtro. Na etapa de campo serão realizados ensaios de prova de carga estática em placa (com e sem inundação do subsolo) e sondagens a percussão tipo SPT. A análise global dos resultados permitirá identificar alterações provocadas pela inclusão das fibras de polipropileno e a geogrelha no solo considerando a condição de saturação.

**PALAVRAS-CHAVE**

---

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

## INTRODUÇÃO

---

Todas as obras de construção civil transferem a carga de sua estrutura para solo através das suas fundações, podem ser elas fundações superficiais ou profundas. A utilização de fundações superficiais é bastante comum, quando se tem camadas de suporte superficiais do solo com boa capacidade de carga. No entanto, o solo natural é um material bastante complexo e variável, sendo normal que não atenda total ou parcialmente os requisitos de projeto.

Dessa forma, surge a necessidade de introduzir na massa de solo elementos que possam melhorar o comportamento mecânico do solo quando submetido ao carregamento. Para viabilização técnica e economicamente a realização de obras de engenharia sobre solos pobres é remover o material existente no local e substituí-lo por outro com características adequadas ou modificar e melhorar as propriedades do solo existente, de modo a criar um novo material que seja capaz de possibilitar o uso de fundações superficiais (INGLES E METCALF, 1972).

A proposta do trabalho de pesquisa é o estudo do melhoramento do solo para fundações superficiais com a utilização de geossintéticos, especificamente fibras de polipropileno e geogrelhas, considerando a condição de saturação, fazendo uma avaliação dos comportamentos quando há utilização de geossintéticos e na ausência destes.

Para tal estudo, serão realizados ensaios de laboratório e ensaios de campo. A análise dos resultados será baseada na comparação entre os comportamentos mecânicos apresentado pelo solo natural, considerando a condição de saturação e com a presença dos geossintéticos utilizados na pesquisa.

## OBJETIVOS

---

### *Geral*

Estudar o comportamento mecânico de camadas de um solo reforçado com a adição de fibras de polipropileno e geogrelhas distribuídas na massa de solo, considerando a condição de saturação, visando o assentamento de fundações superficiais, avaliando a eficiência do melhoramento proposto.

### ***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, visando análise da condição não saturada;
- 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 sondagens a percussão para simples reconhecimento dos solos e correlacionar com parâmetros de resistência dos solos;
- Prever o comportamento carga x recalque de fundações superficiais através da realização de provas de carga em placa circular, assentes sobre o solo compactado e sobre o solo reforçado com fibras de polipropileno e geogrelhas.

## **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. No entanto, 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.

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.

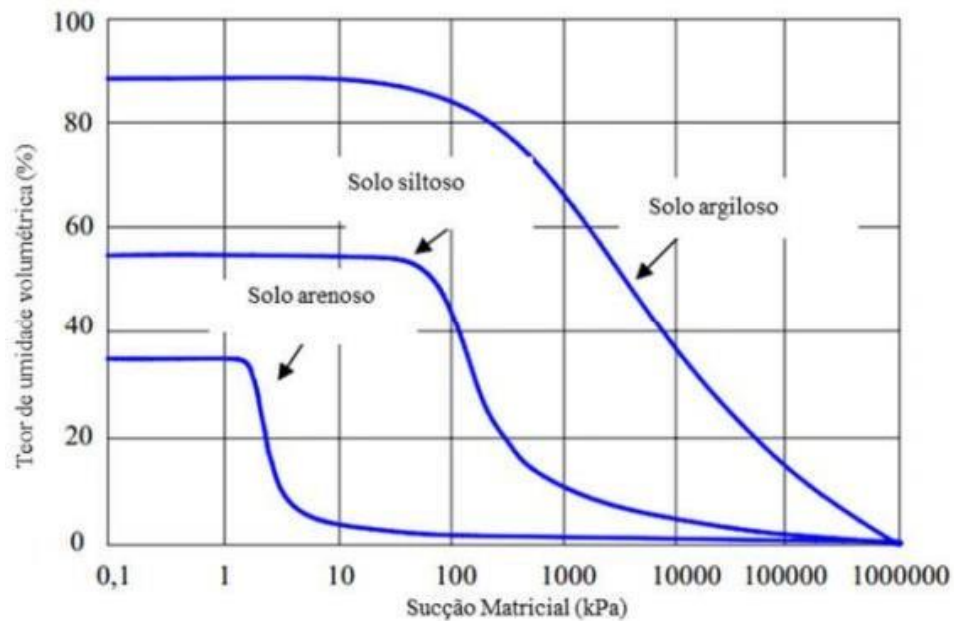


Figura 2. Curva de retenção e a estrutura do solo. Adaptado de Vanapalli, Fredlund e Pufail (1999) *apud*. Massocco (2017).

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 consequentemente, 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.

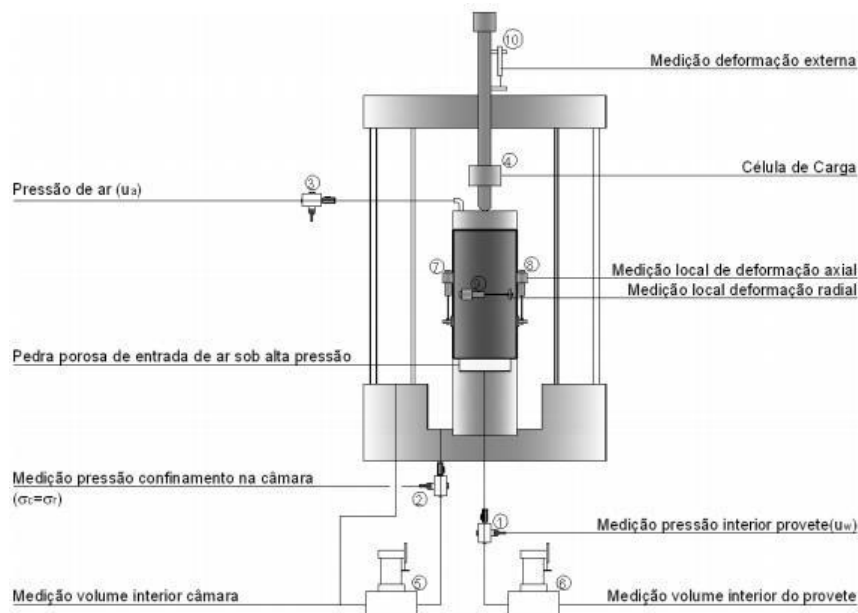


Figura 3. Esquema detalhado da célula triaxial para solos não saturado (GOMES *et al.*, 2008).

## MÉTODOS DE PREVISÃO DE CAPACIDADE DE CARGA PARA FUNDAÇÕES DIRETAS EM SOLOS NÃO SATURADO

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.

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

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,  $(u_a - u_w) \text{med}$  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.

$$q_{ult} = \{c' + a(1 - S_{c,MED})\tan\phi' + [(u_a - u_w)S_c]MED \tan\phi'\}N_c \xi_c + q_0 N_q \xi_q + 0,5\gamma B N_\gamma \xi_\gamma \quad (6)$$

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.

$$q_{ult} = (c' + \chi_{s,med} \tan \phi') N_c d_c + q N_q d_q + 0,5 \gamma B N_\gamma d_\gamma \quad (7)$$

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.

## GEOSSINTÉTICOS

Os geossintéticos são constituídos por polímeros, que são macromoléculas compostas por unidades menores, denominadas monômeros, que são produzidos por polimerização. O processo de polimerização dá-se pela junção dos monômeros que formam macromoléculas constituintes. As propriedades químicas dos polímeros sintéticos são, geralmente, compostas de carbono e hidrogênio. Os polímeros mais utilizados na fabricação de geossintéticos são: poliéster, poliamida, polietileno, poliestireno, polipropileno e copolímero de etileno com betume (MELLO *et al.*, 2008). Segundo Bathurst (2016), os geossintéticos englobam uma diversidade de materiais poliméricos primordialmente produzidos para utilização em aplicações geotécnicas, hidráulicas, ambientais e transportes. Dentre as funções dos geossintéticos, pode-se destacar as seguintes: separação entre camadas de solo, reforços, contenção de fluidos e gases, drenagem, filtração e controle de processos erosivos. Com o objetivo de reforço do subsolo, pode-se citar a utilização de fibras de polipropileno e geogrelhas.

## FIBRA DE POLIPROPILENO

As fibras de polipropileno, conforme apresentada na Figura 5, são consideradas termoplásticas, ou seja, adquire consistência plástica com o aumento da temperatura. Segundo Feuerharmel (2000), essas fibras possuem resistência à tração em torno de 400 MPa e módulo de elasticidade em torno de 8 GPa. Nesse sentido, Trindade *et al.* (2006) destaca o aumento da resistência à tração de solos reforçados com esse material, com

aplicações em estabilização de solos e pavimentação, bem como reforço de concretos e argamassas. Além disso, Taylor (1994) salienta sua elevada resistência ao ataque químico e álcalis, tornando-a um material de grande durabilidade.



Figura 5. Fibra de polipropileno (MACCAFERRI, 2008).

Dentre os estudos realizados com esse material para melhoramento das propriedades mecânicas do solo, destaca-se de Bueno *et al.* (1997), que verificou um ganho significativo de coesão em solos predominantemente arenosos, todavia nem sempre apresentou aumento no ângulo de atrito interno do solo. Além disso, verificou que, em solos permeáveis, houve redução no coeficiente de permeabilidade e o inverso foi percebido em solos menos permeáveis. Já o estudo de Casagrande (2001), no qual realizou ensaios triaxiais em amostras de solo residual de arenito compactado, percebeu-se três etapas no comportamento do solo reforçado com fibra, na qual inicialmente, o comportamento foi controlado basicamente pela matriz do solo. Já na fase intermediária, foi comandado conjuntamente pela matriz e pelas fibras. E por fim, o comportamento foi comandado essencialmente pelas fibras.

## **GEOGRELHAS**

Segundo Teixeira (2003), as geogrelhas são estruturas planas em forma de grelha, cujas aberturas promovem o imbricamento com o solo envolvente, conforme Figura 6. Conforme explicitado por Kakuda (2005), esse material pode ser fabricado por meio da perfuração de manta polimérica, com posterior aplicação de tração em uma ou mais

direções, ou a partir de cordões de multifilamentos trançados nas direções longitudinais e transversais.

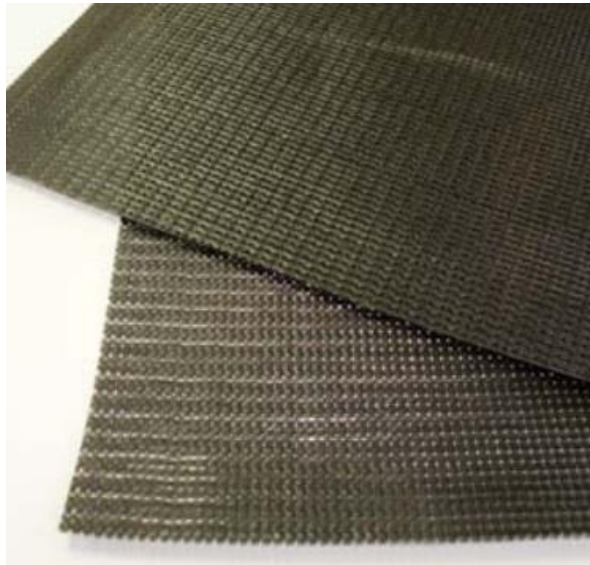


Figura 6. Geogrelha (MACCAFERRI, 2010).

Entre os materiais geossintéticos mais consolidados no mercado atualmente, a geogrelha se destaca pela sua aplicação quase que exclusiva para reforços. Nesse sentido, tem aplicações em reforço de taludes e muros de contenção, separação e/ou reforço de rodovias não pavimentadas e ferrovias, execução de aterros sobre solos moles, pavimentos asfálticos, e em conjunto com geotêxteis ou geomembranas (TEIXEIRA, 2003).

## **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 7.

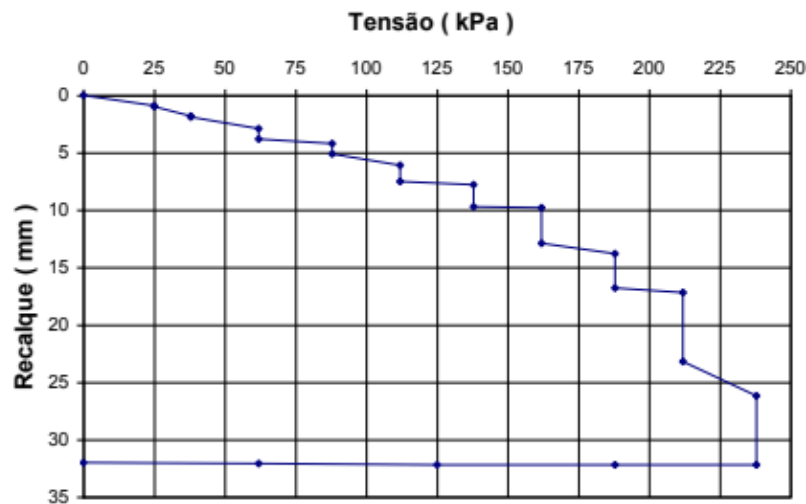


Figura 7. Exemplo de curva tensão x recalque de ensaios de prova de carga em placa (IPT, 1954 *apud*. MACACARI, 2001).

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 resultados na condição natural e inundada para solos colapsíveis.

## MATERIAL 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. Além disso, será feito estudos sobre a utilização de geossintéticos em solos, especificamente fibras de polipropileno e greogrelhas.

Posteriormente, serão realizados os ensaios de laboratório em amostras deformadas e indeformadas, que são: caracterização, compactação, ensaio de papel filtro e ensaio de compressão triaxial para solos saturados e não saturados. Os ensaios de caracterização, compactação, ensaio de papel filtro e ensaio de compressão triaxial para solos saturados serão realizados no laboratório do instituto Federal do Ceará (*campus* Fortaleza), sendo os ensaios de compressão triaxial para solos não saturados no laboratório da Faculdade

de Engenharia da Universidade do Porto. Além disso, serão executadas as provas de carga em placa no campo experimental da Universidade Federal do Ceará (*campus* Fortaleza), na condição natural e inundada. Os ensaios são previstos para o solo, solo com fibra de polipropileno e solo com geogrelha.

Será analisado o comportamento mecânico das camadas de solos com a utilização de geossintéticos, por meio da determinação da capacidade de carga de fundações superficiais, considerando a condição de saturação, verificando a viabilidade da proposta, comparando os resultados para o solo natural e com a adição dos geossintéticos nas condições de saturação estudadas.

## **CRONOGRAMA DE ATIVIDADES DOS BOLSISTAS:**

---

Bolsista 01

<b>Atividades</b>	<b>Data Início</b> <b>01/11/2018</b>	<b>Data Fim</b> <b>31/10/2019</b>
Revisão Bibliográfica: conceitos de mecânica dos solos não saturados.	01/11/2018	30/11/2018
Revisão Bibliográfica: provas de carga em placa e métodos de interpretação da curva “carga x recalque”.	01/12/2018	31/12/2018
Coleta de amostras deformadas e ensaios laboratoriais de caracterização geotécnica: densidade real do grão.	01/01/2019	31/01/2019
Coleta de amostras indeformadas e ensaio laboratorial: ensaio de papel filtro.	01/02/2019	28/02/2019
Coleta de amostra indeformada e ensaio laboratorial: ensaio de compressão triaxial estático para solos não saturados em sua condição natural.	01/03/2019	31/03/2019
Coleta de amostra deformada e ensaio laboratorial: ensaio de compressão triaxial estático para solos não saturados com adição de geossintéticos: fibra de polipropileno e geogrelha, separadamente.	01/04/2019	30/04/2019
Realização de prova de carga em placa em subsolo com umidade natural e saturado em sua condição natural.	01/05/2019	31/05/2019
Realização de prova de carga em placa em subsolo com umidade natural e saturado melhorado com geossintéticos: fibra de polipropileno e geogrelha.	01/06/2019	30/06/2019
Interpretação das curvas “carga x recalque” das provas de carga em placa.	01/07/2019	31/07/2019

Análise comparativa do comportamento mecânico nas diferentes condições propostas: utilização de geossintéticos e condição de saturação do subsolo.	01/08/2019	31/08/2019
Análise de condições de segurança envolvidos na consideração da sucção na capacidade de carga; análise econômica comparativa das propostas da pesquisa.	01/09/2019	30/09/2019
Considerações finais e Conclusão do relatório.	01/10/2019	31/10/2019

Bolsista 02

<b>Atividades</b>	<b>Data Início 01/11/2018</b>	<b>Data Fim 31/10/2019</b>
Revisão Bibliográfica: modelos de determinação de capacidade de carga de fundações diretas para as condições saturada e não saturada do subsolo.	01/11/2018	30/11/2018
Revisão Bibliográfica: estudo das características e aplicações de geossintéticos em obras geotécnicas: fibra de polipropileno.	01/12/2018	31/12/2018
Coleta de amostras deformadas e ensaios laboratoriais de caracterização geotécnica: granulometria.	01/01/2019	31/01/2019
Coleta de amostras indeformadas e ensaio laboratorial: ensaio de papel filtro.	01/02/2019	28/02/2019
Coleta de amostra indeformada e ensaio laboratorial: ensaio de compressão triaxial estático para solos não saturados em sua condição natural.	01/03/2019	31/03/2019
Coleta de amostra deformada e ensaio laboratorial: ensaio de compressão triaxial estático para solos não saturados com adição de geossintéticos: fibra de polipropileno e geogrelha, separadamente.	01/04/2019	30/04/2019
Realização de prova de carga em placa em subsolo com umidade natural e saturado em sua condição natural.	01/05/2019	31/05/2019
Realização de prova de carga em placa em subsolo com umidade natural e saturado melhorado com geossintéticos: fibra de polipropileno e geogrelha.	01/06/2019	30/06/2019
Interpretação das curvas “carga x recalque” das provas de carga em placa.	01/07/2019	31/07/2019
Análise comparativa do comportamento mecânico nas diferentes condições propostas: utilização de geossintéticos e condição de saturação do subsolo.	01/08/2019	31/08/2019
Análise de condições de segurança envolvidos na consideração da sucção na capacidade de carga; análise econômica comparativa das propostas da pesquisa.	01/09/2019	30/09/2019
Considerações finais e Conclusão do relatório.	01/10/2019	31/10/2019

## Bolsista 03

<b>Atividades</b>	<b>Data Início 01/11/2018</b>	<b>Data Fim 31/10/2019</b>
Revisão Bibliográfica: ensaios laboratoriais dispostos para determinação de curvas características em amostras de solos não saturados.	01/11/2018	30/11/2018
Revisão Bibliográfica: estudo das características e aplicações de geossintéticos em obras geotécnicas: geogrelha.	01/12/2018	31/12/2018
Coleta de amostras deformadas e ensaios laboratoriais de caracterização geotécnica: peso específico.	01/01/2019	31/01/2019
Coleta de amostras indeformadas e ensaio laboratorial: ensaio de papel filtro.	01/02/2019	28/02/2019
Coleta de amostra indeformada e ensaio laboratorial: ensaio de compressão triaxial estático para solos não saturados em sua condição natural.	01/03/2019	31/03/2019
Coleta de amostra deformada e ensaio laboratorial: ensaio de compressão triaxial estático para solos não saturados com adição de geossintéticos: fibra de polipropileno e geogrelha, separadamente.	01/04/2019	30/04/2019
Realização de prova de carga em placa em subsolo com umidade natural e saturado em sua condição natural.	01/05/2019	31/05/2019
Realização de prova de carga em placa em subsolo com umidade natural e saturado melhorado com geossintéticos: fibra de polipropileno e geogrelha.	01/06/2019	30/06/2019
Interpretação das curvas “carga x recalque” das provas de carga em placa.	01/07/2019	31/07/2019
Análise comparativa do comportamento mecânico nas diferentes condições propostas: utilização de geossintéticos e condição de saturação do subsolo.	01/08/2019	31/08/2019
Análise de condições de segurança envolvidos na consideração da sucção na capacidade de carga; análise econômica comparativa das propostas da pesquisa.	01/09/2019	30/09/2019
Considerações finais e Conclusão do relatório.	01/10/2019	31/10/2019

## Bolsista 04

<b>Atividades</b>	<b>Data Início 01/11/2018</b>	<b>Data Fim 31/10/2019</b>
Revisão Bibliográfica: modelos de determinação de capacidade de carga de fundações diretas para as condições saturada e não saturada do subsolo.	01/11/2018	30/11/2018

Revisão Bibliográfica: provas de carga em placa e métodos de interpretação da curva “carga x recalque”.	01/12/2018	31/12/2018
Coleta de amostras deformadas e ensaios laboratoriais de caracterização geotécnica: densidade real do grão.	01/01/2019	31/01/2019
Coleta de amostras indeformadas e ensaio laboratorial: ensaio de papel filtro.	01/02/2019	28/02/2019
Coleta de amostra indeformada e ensaio laboratorial: ensaio de compressão triaxial estático para solos não saturados em sua condição natural.	01/03/2019	31/03/2019
Coleta de amostra deformada e ensaio laboratorial: ensaio de compressão triaxial estático para solos não saturados com adição de geossintéticos: fibra de polipropileno e geogrelha, separadamente.	01/04/2019	30/04/2019
Realização de prova de carga em placa em subsolo com umidade natural e saturado em sua condição natural.	01/05/2019	31/05/2019
Realização de prova de carga em placa em subsolo com umidade natural e saturado melhorado com geossintéticos: fibra de polipropileno e geogrelha.	01/06/2019	30/06/2019
Interpretação das curvas “carga x recalque” das provas de carga em placa.	01/07/2019	31/07/2019
Análise comparativa do comportamento mecânico nas diferentes condições propostas: utilização de geossintéticos e condição de saturação do subsolo.	01/08/2019	31/08/2019
Análise de condições de segurança envolvidos na consideração da sucção na capacidade de carga; análise econômica comparativa das propostas da pesquisa.	01/09/2019	30/09/2019
Considerações finais e Conclusão do relatório.	01/10/2019	31/10/2019

## 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.

BATHURST, R. J. Classificação dos Geossintéticos. Associação Brasileira de Geossintéticos: IGS Brasil, 2016.



CASAGRANDE, M.D.T. Estudo do comportamento de um solo reforçado com fibras de polipropileno visando o uso como base de fundações superficiais. Porto Alegre, Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS, 2001.

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.

FEUERHARMEL, M. R. Comportamento de solos reforçados com fibras de polipropileno. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS, 2000.

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 do Solos e Engenharia Geotécnica, Curitiba, v. I, 6 p, 2005.

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.

MACCAFERRI, Manual técnico FibroMac 6, São Paulo-SP, 2008.

MACCAFERRI, Manual técnico MacGrid NET. São Paulo-SP, 2010.

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.

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.

TEIXERA, S.H.C.; BUENO, B.S.; LIMA, D.C. Estudo do comportamento de solos reforçados com fibras. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA CIVIL, 1., 1994, Juiz de Fora, MG. Anais..., Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, p. 54-64, 1994.