

## Estudo das Características Geotécnicas de uma Camada Argilosa Superficial do Parque do Cocó, em Fortaleza-CE

Beatriz Rodrigues Soares

Estudante, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil,  
brs.geotecnia@gmail.com

Dennis Teixeira Rodrigues

Técnico de Laboratório, Universidade de Fortaleza, Fortaleza, Brasil, dennisifce@hotmail.com

Fernando Feitosa Monteiro

Doutorando, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, engffmonteiro@gmail.com

Marcos Fábio Porto de Aguiar

Professor Associado, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, Brasil,  
marcosporto@ifce.edu.br

**RESUMO:** Este artigo apresenta as características geotécnicas de uma camada argilosa superficial presente na região denominada Parque Ecológico do Rio Cocó, em Fortaleza-CE. Em campo, foram realizadas coletas de amostras deformadas e indeformadas, com determinação da massa específica aparente *in-situ* pelo método frasco de areia. Em laboratório, um programa completo de ensaios foi executado, sendo este composto por ensaios de caracterização e ensaios especiais (cisalhamento direto e adensamento edométrico). A camada argilosa foi classificada como uma argila arenosa, de densidade relativa dos grãos igual a 2,52, com limite de liquidez de 31,6% e limite de plasticidade de 25,0%. Do ensaio de cisalhamento direto obteve-se uma faixa para a coesão, variando de 8,0 a 16,0 kPa, com ângulo de atrito em torno de 33°. Do ensaio de adensamento edométrico determinou-se um índice de compressibilidade ( $C_c$ ) variando de 0,14 a 0,20, e um índice de recompressão ( $C_r$ ) de 0,03 a 0,05.

**PALAVRAS-CHAVE:** Argilas, Caracterização Geotécnica, Cisalhamento Direto, Adensamento Edométrico.

**ABSTRACT:** In this paper its present the geotechnical characteristics of a superficial clay layer present in the location called Parque Ecológico do Rio Cocó, in Fortaleza-CE. In field, a collect of disturbed and undisturbed samples was carried out, with determination of the apparent specific mass in-situ by the method of the sand-cone. In the laboratory, a complete testing program was executed, including characterization tests and special tests (direct shear and oedometric). The clay layer was classified as a sandy clay, with a specific gravity of 2.52, a liquidity limit of 31.6% and a plasticity limit of 25.0%. The direct shear test following a cohesion range from 8.0 a 16.0 kPa, with a friction angle around 33°. The oedometric test determined at a compressibility index ( $C_c$ ) ranging from 0.14 to 0.20, and a recompression index ( $C_r$ ) from 0.03 to 0.05.

**KEYWORDS:** Clay, Geotechnical Characterization, Direct Shear Test, Oedometric Test.

### 1 Introdução

A adversidade de intervenções construtivas em regiões de depósitos argilosos está no controle da estabilidade e das deformações da estrutura a ser implantada. A escolha de um método construtivo requer um conhecimento do comportamento da camada argilosa quando solicitada por um carregamento, ou descarregamento, sob condição drenada e/ou não drenada. Tal comportamento é inerente ao processo de formação e constituição da camada, podendo ser estimado a partir de uma prospecção geotécnica. Assim, com a realização de ensaios de campo e de laboratório estimam-se os parâmetros físicos, a resistência ao cisalhamento e a compressibilidade do solo argiloso, para início dos projetos.

A estabilidade da estrutura está relacionada com a capacidade de suporte da camada a ser solicitada, ou seja, sua resistência ao cisalhamento. Uma das formas de estimar a resistência do solo é por meio da realização do ensaio de cisalhamento direto, sendo este o mais simples e a mais antiga forma de arranjo, como apresentado na Figura 1 (Das & Sobhan, 2014). Durante o ensaio, a força normal é constante e a força tangencial é progressivamente elevada, provocando o deslocamento entre as duas caixas da célula bipartida, com a área correspondente ao plano de ruptura variável. O eixo de bipartição da célula é o único plano de ruptura possível a ser imposto. Trata-se de um ensaio realizado sob condição drenada, ou seja, com dissipação do excesso de poropressão. Em corpos de prova argilosos, devido a essa dissipação ocorrer de forma lenta, a velocidade imposta deve ser baixa, resultando em um ensaio com duração de dois a cinco dias.

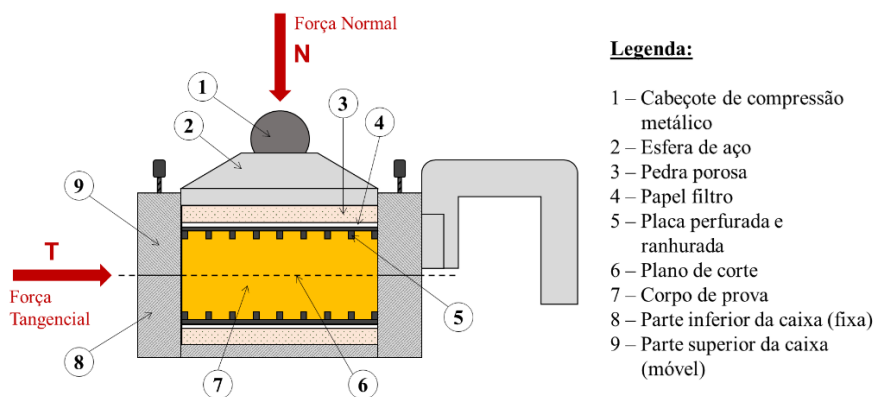


Figura 1. Arranjo Esquemático da Célula do Ensaio de Cisalhamento Direto.

O processo de dissipação dos excessos de poropressão rege o desenvolvimento de deformações, mais conhecidas como recalques. Por recalque, entende-se o deslocamento vertical para baixo, da superfície de uma camada argilosa saturada, devido a expulsão da água presente nos vazios da estrutura do solo. Assim, ao impor um carregamento na superfície de um terreno que contenha uma camada de solo argiloso saturado, um excesso de poropressão é gerado, sendo dissipado ao longo de um tempo, com gradual redução do volume da camada, desenvolvendo o recalque. Neste processo têm-se três tipos de recalque, a saber: (a) recalque elástico – ocorre de forma imediata, ou seja, sob condição não drenada, sem variação do volume da camada argilosa; (b) recalque por adensamento primário – resulta do processo de dissipação das poropressões geradas durante o carregamento ao longo de um tempo, com variação volumétrica da camada; e (c) recalque por adensamento secundário – apesar de ser considerado o resultado de um ajuste plástico da estrutura do solo, seu mecanismo ainda não é bem compreendido, sendo efeito da presença de matéria orgânica e reajuste de microporos. Almeida & Marques (2014) apresentam outra alternativa de classificação dos recalques, podendo estes serem: (a) construtivos – soma do recalque imediato com o recalque de recompressão primária ( $C_s$ ); ou (b) de longo prazo – soma do recalque por adensamento primário virgem com o recalque por adensamento secundário. A Figura 2 apresenta uma comparação entre os tipos de recalque.

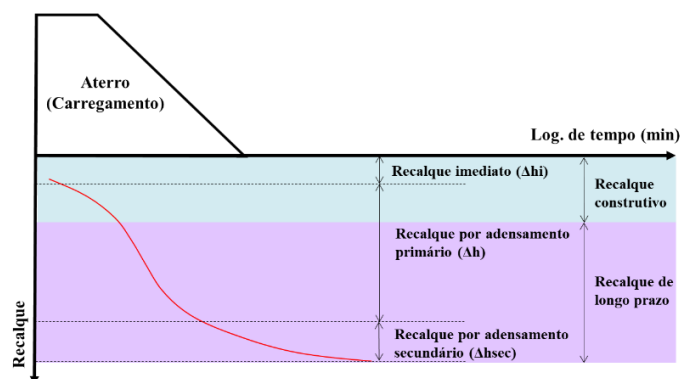


Figura 2. Tipos de Recalque.

Observa-se na Figura 2 que o recalque por adensamento é mais significativo que o recalque imediato (ou elástico), ressaltando a importância de determinar os parâmetros de compressibilidade do solo necessários para cálculo da estimativa do recalque. Para tanto, o ensaio mais realizado é o adensamento edométrico, no qual o carregamento é incrementado em estágios de no mínimo 24 horas, cada, sendo registrada a variação da altura do corpo de prova ao longo do tempo. Como a deformação lateral é impedida devido a presença de um anel confinante e o fluxo é vertical no sentido das pedras porosas localizadas no topo e na base do corpo de prova, a condição de ensaio é unidimensional. Ao fim, obtém-se a curva de compressibilidade, na qual determina-se os parâmetros índice de compressibilidade ( $C_c$ ) e índice de recompressão ( $C_r$ ). Para cada estágio de carregamento define-se um coeficiente de adensamento ( $c_v$ ) que permite estimar a velocidade de adensamento. A Figura 3 é um esquema da célula de adensamento.

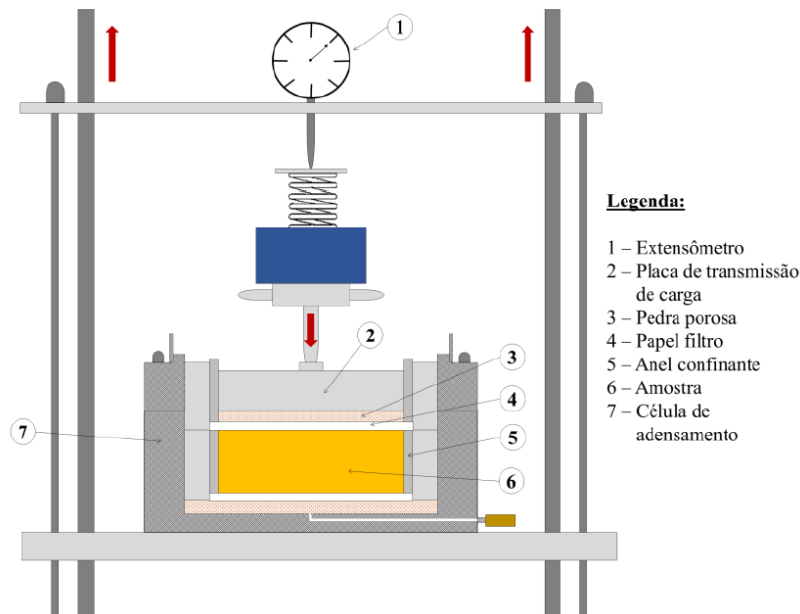


Figura 3. Célula do Ensaio de Adensamento Edométrico.

## 2 Local de Estudo

Apesar da geologia da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) ser dominada pela presença de rochas cristalinas, sedimentos terciários do Grupo Barreiras e dunas, todas essas feições são cortadas por cursos d'água, que permitem a formação de depósitos de sedimentos aluvionares recentes, sendo esses areias finas, siltes e argilas, quase sempre com a presença de matéria orgânica (Miranda, 2005). O Rio Cocó é o principal rio da RMF, como pode ser observado na Figura 4. O manguezal formado às suas margens é uma área de proteção ambiental, que recebe o nome Parque Estadual do Rio Cocó.

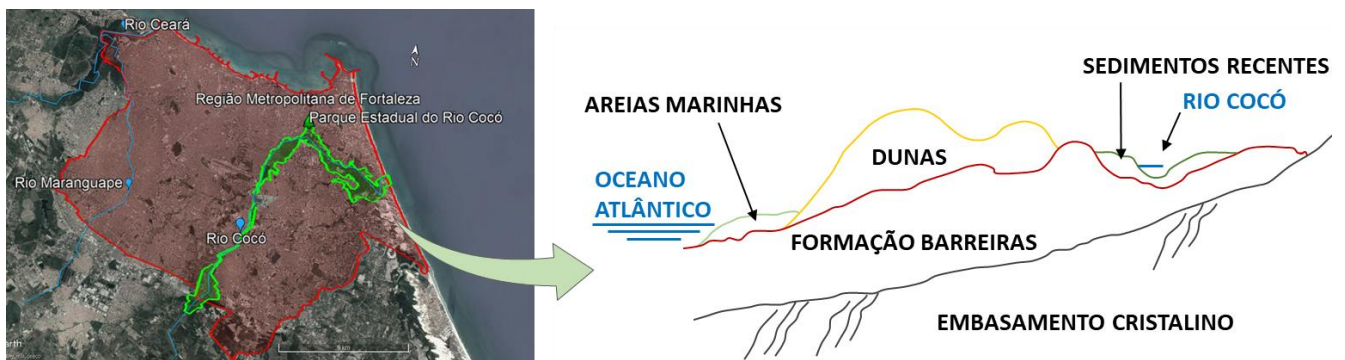


Figura 4. Corte da Região Metropolitana de Fortaleza, direção Norte-Sul (adaptada de Miranda, 2005).

Um importante projeto no entorno do Parque do Cocó foi a construção da Avenida Sebastião de Abreu (CE-040) no início da década de 90, sendo esta uma das principais vias de acesso para a Zona Sul da cidade, de importantes pontos comerciais. A Figura 5 apresenta uma seção de corte no eixo da via, com uma indicação dos pontos de sondagem executados na fase de projeto da mesma (Tecnord, 1991). A camada sinalizada em amarelo foi apresentada como uma argila orgânica, micácea, muito mole a dura, de coloração cinza escura. Próximo a esta região, com autorização da administração do Parque, realizou-se a coleta de amostra de solo para desenvolvimento do estudo apresentado nesse artigo.

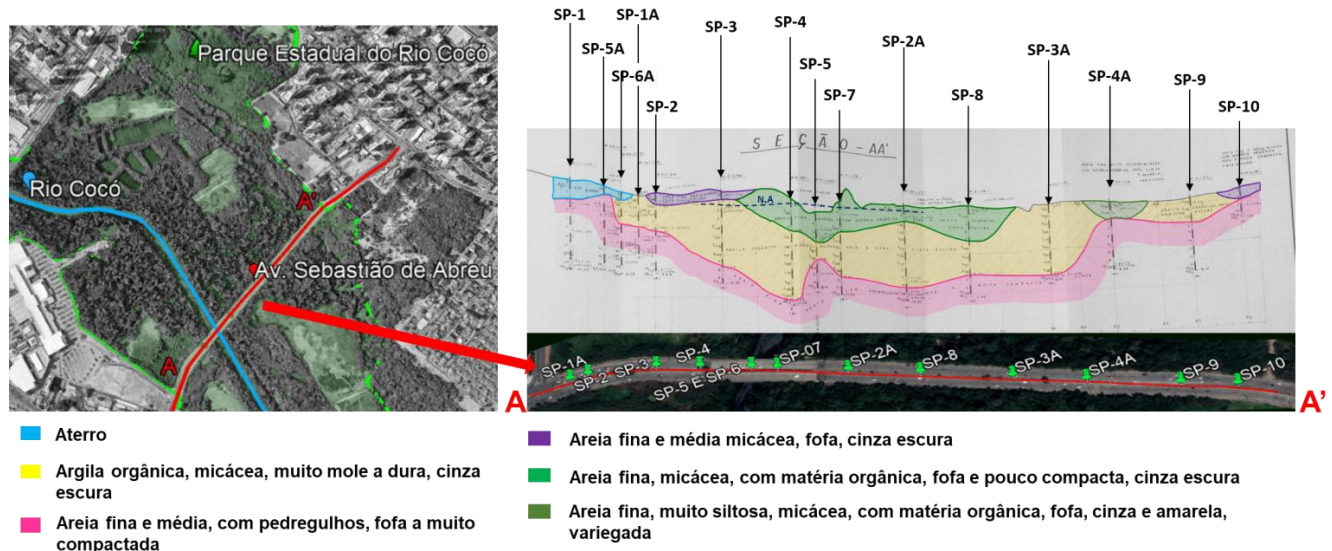


Figura 5. Seção AA' da Av. Sebastião de Abreu (CE-040).

### 3 Procedimentos Experimentais

#### 3.1 Procedimentos em Campo

A amostra de solo ensaiada foi coletada no Parque do Cocó, em um ponto de coordenadas 3° 44' 54" Sul e 38° 29' 15" Oeste, apresentado na Figura 6. O local encontrava-se em estado natural do mangue, sem influência de atividades de aterro ou outro processo construtivo. Ressalva-se que o acesso a pontos mais próximos ao eixo da Avenida não foram permitidos por gerar perturbações no habitat da fauna preservada.



Figura 6. Localização do ponto de retirada da amostra de solo estudada.

No ponto de coleta, uma camada de material superficial com alto teor de matéria orgânica foi escavada, com dimensões: 2,00 m de comprimento x 1,00 m de largura x 0,5 m de profundidade. Para determinação da massa específica aparente *in situ*, realizou-se o ensaio do frasco de areia, segundo recomendações da norma DNER-ME 092/94, do Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR). A areia contida no frasco foi previamente lavada, secada e caracterizada em laboratório, apresentando uma granulometria de faixa entre 0,8 e 0,6 mm e um peso específico de 1,32 g/cm<sup>3</sup>. Na realização do ensaio determina-se, inicialmente, a massa da amostra de areia que ocupa o volume do funil e a massa do frasco de areia (Figura 7). Em seguida, abre-se um orifício cilíndrico de 15 cm de profundidade e 12 cm de diâmetro, com determinação da massa e da umidade do solo escavado. Preenche-se o orifício com a areia do funil e determina-se a massa pós-ensaio, massa final. A determinação da umidade do solo escavado foi realizada em laboratório pelo método da estufa. Para isso, a amostra foi colocada em cápsulas que, por sua vez, foram armazenadas em uma bolsa térmica para transporte.



Figura 7. Procedimentos do Ensaio de Determinação da Massa Específica *In-Situ*.

Finalizado o ensaio de massa específica aparente *in situ*, com auxílio de um trado, realizou-se a coleta da amostra deformada e, por meio da cravação de 3 amostradores tipo “Shelby” de parede fina, coletou-se as amostras indeformadas. Para conservar a umidade da amostra indeformada durante o transporte, as extremidades dos amostradores foram vedadas com uso de sacos plásticos. Em laboratório, os amostradores foram dispostos em um tanque com água até o momento de extração da amostra para realização dos ensaios.

## 3.2 Ensaios de Laboratório

### 3.2.1 Ensaios de Caracterização

Os ensaios de caracterização do solo foram realizados utilizando a amostra deformada. O programa foi composto pelos seguintes ensaios: umidade natural pelo método da estufa, análise granulométrica por peneiramento e sedimentação, densidade real dos grãos, limite de liquidez e limite de plasticidade. Todos os ensaios foram realizados com base em normas técnicas brasileiras. Os valores a serem apresentados como resultados de cada ensaio são uma média de, no mínimo, três determinações realizadas para cada.

### 3.2.2 Ensaios Especiais

O programa de ensaios especiais foi composto por ensaios de cisalhamento direto e ensaios de adensamento edométrico. Para cada ensaio foram feitas duas determinações, com corpos de prova moldados

a partir da amostra indeformada extraída do amostrador de parede fina. Como no ensaio de cisalhamento direto é necessário um corpo de prova para cada nível de tensão aplicada, foram moldados 5 corpos de prova para cada determinação, totalizando, assim, dez corpos. A Figura 8 apresenta uma sequência de procedimentos realizados para a moldagem dos corpos de prova, sendo: o amostrador posicionado na extrusora, o procedimento de corte dos blocos com fio metálico e a cravação do molde de cisalhamento direto. As pedras porosas utilizadas nos ensaios foram fervidas para melhor saturação das mesmas, sendo mantidas em um recipiente com água até o momento de montagem das células.



Figura 8. Sequência de Procedimentos para Moldagem dos Corpos de Prova.

A sequência de montagem dos elementos nas células deu-se como apresentado nos esquemas das Figuras 1 e 2. Como no ensaio de cisalhamento direto o corpo de prova é restringido pela caixa bipartida, estando em contato direto com essa, após a moldagem o corpo de prova foi transferido do molde para a célula com o uso de um tarugo (Figura 9). A Figura 10 apresenta algumas etapas da moldagem do corpo de prova no anel confinante para o ensaio de adensamento.

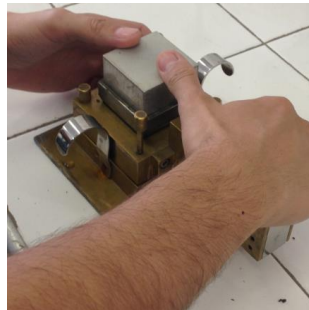


Figura 9. Montagem da Célula de Cisalhamento Direto.



Figura 10. Moldagem do Corpo de Prova para o Ensaio de Adensamento.

#### 4 Apresentação e Análise dos Resultados

Em campo, o valor da massa específica aparente do solo úmido foi de  $1,90 \text{ g/cm}^3$  e a umidade de 19,94%, logo, o valor da massa específica aparente seca foi de  $1,59 \text{ g/cm}^3$ .

Em laboratório, a amostra foi classificada como uma argila arenosa (CL), de acordo com o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS). A Figura 11 apresenta a curva granulométrica completa da amostra analisada. O valor da densidade real do grão foi de 2,52, obtido pela técnica do picnômetro. Os valores dos limites de Atterberg foram de 31,6% e 25,0%, respectivamente, para o limite de liquidez e para o limite de plasticidade. Logo, o índice de plasticidade foi equivalente a 7.

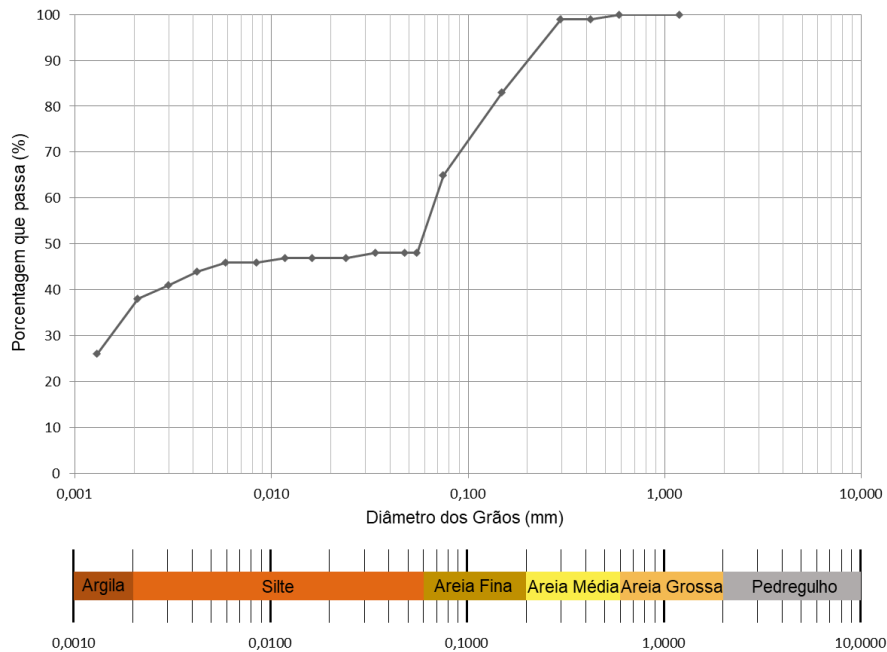


Figura 11. Curva Granulométrica.

A Figura 12 e 13 apresentam os resultados de cisalhamento direto dos Ensaios 01 e 02, respectivamente. Para cada corpo de prova (CP) submetido ao cisalhamento direto é possível observar o gráfico deslocamento *versus* tensão cisalhante de cada CP, assim como os valores das tensões e das umidades. Para cada tensão normal constante aplicada em um CP há uma tensão máxima cisalhante correspondente, o que permite a projeção de um ponto no plano de tensões. Do conjunto de pontos resultantes de um ensaio, traça-se uma linha de tendência que permitirá a determinação da coesão e do ângulo de atrito da amostra ensaiada (Figura 14).

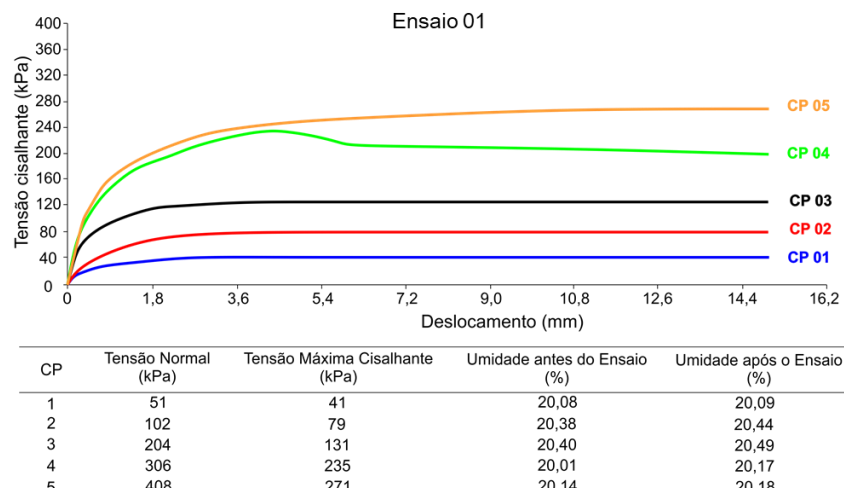


Figura 12. Resultados do Ensaio 01 de Cisalhamento Direto.

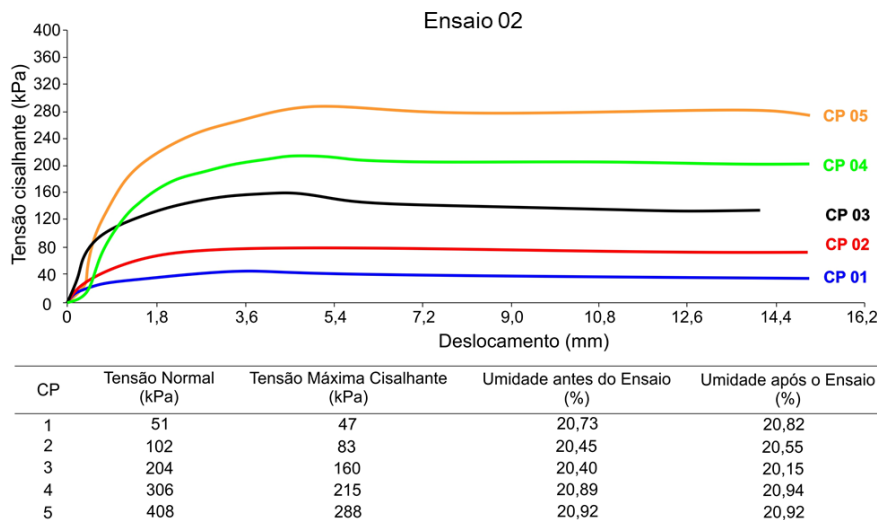


Figura 13. Resultados do Ensaio 02 de Cisalhamento Direto.

A coesão é o valor correspondente ao ponto no qual a linha de tendência cruza o eixo Y, ou seja, o eixo da tensão cisalhante. O ângulo de atrito, por sua vez, é o ângulo de inclinação da linha de tendência. Assim, para o Ensaio 01 a coesão foi de 8,0 kPa (0,08 kgf/cm<sup>2</sup>) e o ângulo de atrito de 33,85°. No Ensaio 02, para as mesmas tensões normais aplicadas no Ensaio 01, a coesão foi de 16,0 kPa (0,16 kgf/cm<sup>2</sup>) e o ângulo de atrito de 33,72°. Observa-se que os valores de ângulo de atrito para ambos os ensaios foram próximos, assim como para os valores de coesão, variando do Ensaio 01 para o Ensaio 02 apenas 0,08 kgf/cm<sup>2</sup>. Esses resultados próximos significam uma boa repetibilidade da execução dos ensaios.

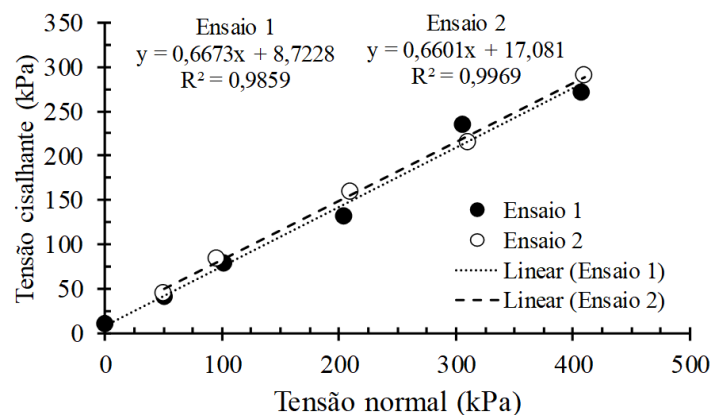


Figura 14. Resultados do Ensaio 01 de Cisalhamento Direto.

O ensaio de cisalhamento direto foi realizado de forma não inundada, ou seja, sem saturação do corpo de prova. Solos argilosos, quando em condição não saturada, podem apresentar poropressão negativa (sucção) devido às forças de capilaridade e de adsorção. A sucção confere aos solos um aumento na resistência ao cisalhamento e uma diminuição da compressibilidade. Os efeitos da sucção na resistência não foram considerados nos resultados apresentados neste trabalho.

Dois ensaios de adensamento edométrico, com o corpo de prova inundado, foram realizados para estimativa dos parâmetros de compressibilidade. No Ensaio 01 foram aplicados seis carregamentos (10, 20, 40, 80, 160 e 320 kPa), seguidos de três descarregamentos (80, 40 e 10 kPa) – para determinação do trecho de recompressão. No Ensaio 02 optou-se por aplicar sete carregamentos (10, 20, 40, 80, 160, 320 e 640 kPa) e quatro descarregamentos (320, 80, 40 e 10 kPa), com o intuito de atingir maiores pressões e mais pontos. Em cada estágio de carregamento foi determinado um coeficiente de adensamento ( $c_v$ ) pelo Método de



Casagrande. Os valores de  $c_v$  para o Ensaio 01 são apresentados na Tabela 1. Os valores de  $c_v$  obtidos nos Ensaio 01 e 02 realizados foram semelhantes aos valores utilizados nos cálculos das soluções propostas no Projeto da Av. Sebastião de Abreu, cuja variação foi de  $2,60 \times 10^{-4}$  a  $4,10 \times 10^{-4}$  (Tecnord, 1991).

Tabela 1. Valores de  $c_v$  obtidos no Ensaio 01.

Carregamento - tensão vertical (kPa)	$c_v$ (cm <sup>2</sup> /s)
10	$4,83 \times 10^{-4}$
20	$3,22 \times 10^{-4}$
40	$2,90 \times 10^{-4}$
80	$3,03 \times 10^{-4}$
160	$3,22 \times 10^{-4}$
320	$2,64 \times 10^{-4}$

Por meio das curvas de compressibilidade plotadas em termos de índice de vazios ( $e$ ) versus tensão aplicada em escala logarítmica, obteve-se os seguintes valores dos parâmetros de compressibilidade: no Ensaio 01, índice de compressão virgem ( $C_c$ ) de 0,20 e índice de recompressão ( $C_r$ ) de 0,05; no Ensaio 02, o  $C_c = 0,14$  e  $C_r = 0,03$  (ver Figura 15 e 16).

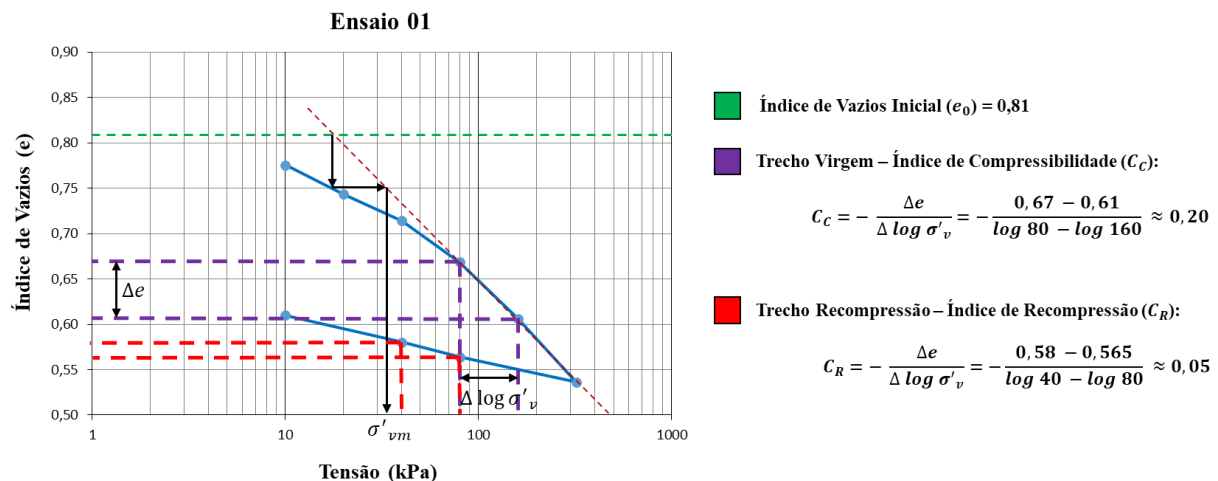


Figura 15. Resultados do Ensaio 01 de Adensamento Edométrico.

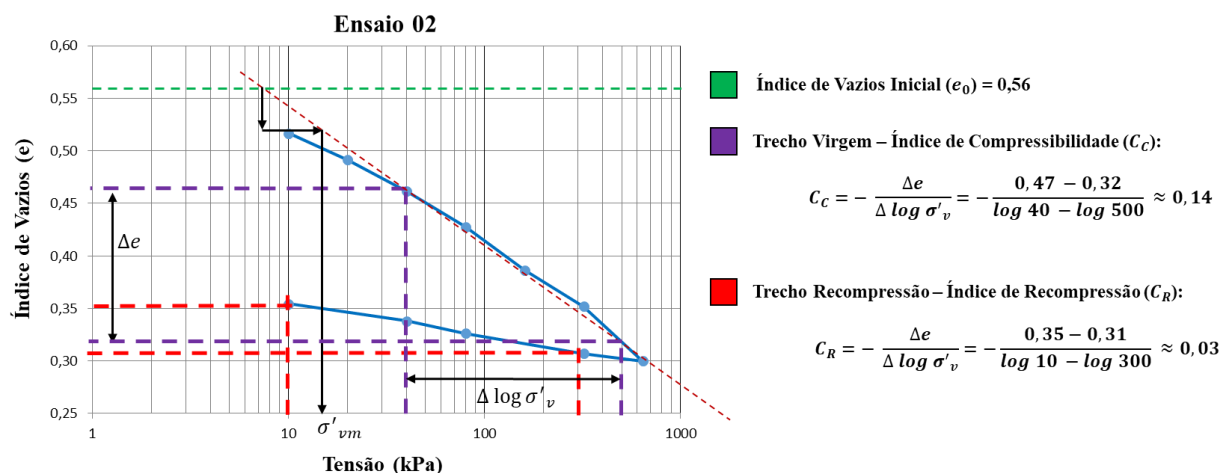


Figura 16. Resultado do Ensaio 02 de Adensamento Edométrico.

Os resultados dos Ensaios 01 e 02 de adensamento para os índices de compressibilidade e recompressão foram próximos, o que pode indicar uma boa repetibilidade de execução dos ensaios. O Método Pacheco Silva foi utilizado na determinação da Tensão de Pré-adensamento ( $\sigma'_{vm}$ ) que, por definição, é a máxima tensão vertical efetiva sob qual a amostra de solo já esteve submetida em sua história. Os valores de Tensão de Pré-adensamento foram de 33 kPa e 15 kPa nos Ensaio 01 e 02, respectivamente. Esses baixos valores de Tensão de Pré-adensamento significam que a camada de argila amostrada não esteve submetida a carregamentos expressivos em sua história. Essa afirmação também pode ser observada no formato das curvas de compressibilidade apresentadas nas Figuras 15 e 16, nas quais os trechos de recompressão inicial (anterior so da reta virgem) e de reta virgem não são bem definidos; não apresentam o formato teórico.

## 5 Conclusões

A realização deste programa composto por ensaio em campo e em laboratório permitiu apresentar as características geotécnicas de uma camada argilo arenosa até então pouco conhecida, localizada em uma região central na cidade de Fortaleza, Ceará. A camada foi classificada como uma argila arenosa, com densidade relativa dos grãos igual a 2,52, limite de liquidez de 31,6% e limite de plasticidade de 25,0%. Do ensaio de cisalhamento direto obteve-se uma faixa para a coesão, variando de 8,0 a 16,0 kPa (0,08 a 0,16 kgf/cm<sup>2</sup>), com ângulo de atrito em torno de 33°. Do ensaio de adensamento edométrico determinou-se um índice de compressibilidade ( $C_c$ ) variando de 0,14 a 0,20, e um índice de recompressão ( $C_r$ ) de 0,03 a 0,05. Observa-se que as curvas de compressibilidade não apresentaram o formato teórico esperado, sem uma indicação expressiva de um trecho de reta virgem. Esse formato pode estar relacionado ao fato da amostra ter apresentado uma baixa Tensão de Pré-adensamento ou, ainda, a um amolgamento durante a coleta da amostra. Assim, recomenda-se, para futuras pesquisas, uma avaliação do efeito de amolgamento e a execução de no mínimo três ensaios para uma melhor comparação dos resultados, se possível.

## AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao CNPq pelas bolsas dos estudantes Beatriz Rodrigues Soares e Fernando Feitosa Monteiro. Ainda, a empresa Tecnord pela disponibilização dos arquivos referentes à construção da Av. Sebastião de Abreu.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, M.S., Marques, M.E.S. (2014) Aterros sobre Solos Moles: Projeto e Desempenho, 2 ed., Oficina de Textos, São Paulo, 254 p.
- Das, B.M., Sobhan, K. (2014) *Fundamentos de Engenharia Geotécnica*, Tradução da 8 ed., Cengage Learning, 630 p.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1994). ME 092/94. *Determinação da massa específica aparente "in situ", com emprego do frasco de areia*. Ministério dos Transportes. Rio de Janeiro.
- Miranda, A.N. (2005) Prática de Fundações no Ceará, 15 p. Livro Geotecnia no Nordeste, Capítulo 5, Recife, 2005.
- Tecnord (1991) Relatório do Projeto de Adequação da Avenida Sebastião de Abreu em Fortaleza, Ceará. Fortaleza, Ceará.