

Determinação da Resistência ao Cisalhamento Não Drenada (S_u) por Diferentes Métodos, para um Depósito de Solo Mole da Região da Barra dos Coqueiros-SE

Letícia Menezes Santos Sá

Mestranda em Engenharia Geotécnica e Pavimentação, Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, Brasil,
leticiamenezes0512@gmail.com

Erinaldo Hilário Cavalcante

Professor, Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, Brasil, erinaldo@ufs.br

Guilherme Bravo de Oliveira Almeida

Professor, Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, Brasil, gbravo1982@gmail.com

RESUMO: A elaboração de projetos geotécnicos em áreas que possuem camadas de solo mole merece especial atenção. Devido às peculiaridades desse tipo de solo, é crucial conhecer algumas de suas propriedades para a produção de um projeto seguro e econômico. Dentre elas, pode-se destacar a resistência ao cisalhamento não drenada (S_u), obtida através de ensaios de campo, ensaios de laboratório e correlações empíricas. No município de Barra dos Coqueiros (SE), está sendo construída uma termoeletrica. Para o transporte das turbinas que serão empregadas na obra, utilizou-se como acesso uma estrada que continha camadas de solo compressível em seu subsolo. Então, fez-se necessário a realização de Ensaios de Palheta de Inspeção (*Mini Vane*), bem como de Ensaios de Laboratório (Compressão Simples e Triaxial UU), a título de comparação, e Ensaios de Prova de Carga sobre Placa, para a obtenção da capacidade de suporte do solo. Assim, o presente estudo objetiva apresentar os resultados dos Ensaios de Palheta realizados na área selecionada para a obtenção da resistência ao cisalhamento não drenada do solo, e compará-los aos encontrados por meio dos Ensaios de Laboratório, a fim de identificar a ocorrência de divergências e verificar as possíveis causas dessas variações.

PALAVRAS-CHAVE: Solos Moles, Resistência ao Cisalhamento Não Drenada, Ensaios de Palheta.

ABSTRACT: The elaboration of geotechnical projects in areas that have layers of soft soil in their subsoil deserves special attention. Due to the peculiarities of this type of soil, it is crucial to know some of its properties to produce a safe and economical project. Among these properties, one of the most important is the undrained shear strength (S_u), which can be obtained through field tests, laboratory tests and empirical correlations. In the municipality of Barra dos Coqueiros (SE), a thermoelectric power plant is being built. For the transportation of the turbines that will be used in this work, a road that contained layers of compressible soil in its subsoil was used as access. In this way, it was necessary to accomplish Inspection Vane Tests (*Mini Vane*) in four different points, Laboratory Tests, for comparison, and Load Tests on Board, to obtain the soil support capacity. Thus, the present study has as the main purpose to present the results of the Inspection Vane Tests (*Mini Vane*) performed in the selected area to obtain the soil undrained shear strength, and compare them to those found by Laboratory Tests, in order to identify the occurrence of divergences and verify the possible causes of these variations.

KEYWORDS: Soft Soils, Undrained Shear Strength, Vane Tests.

1 Introdução

Por serem materiais formados pela ação da natureza, os solos possuem peculiaridades que merecem especial atenção. Dessa forma, a elaboração de projetos geotécnicos não é uma tarefa simples, visto que é

fundamental conhecer com detalhes as propriedades dos solos que servirão de fundação ou serão empregados como materiais construtivos em obras geotécnicas. Assim, a realização de uma campanha de investigação do subsolo é etapa indispensável à execução de qualquer projeto na área de Geotecnia, especialmente quando há no subsolo camadas de solos ditos problemáticos, a exemplo dos solos moles.

A resistência ao cisalhamento não drenada (S_u) é, sem dúvidas, um dos parâmetros de maior importância no estudo dos solos moles, especialmente nas análises de estabilidade a curto prazo para a elaboração de projetos envolvendo esses solos. Apesar de relativamente fácil de ser obtida, a definição do valor de S_u a ser utilizado em projeto não é tão simples. Definir quais ensaios serão realizados para sua determinação, divergências entre resultados de ensaios de campo e de laboratório e adoção ou não fatores de correção dos valores encontrados, são alguns dos questionamentos pelos quais perpassa a decisão final do projetista geotécnico (PINTO, 1992; SHOGAKI, 2006).

Por isso, em geral, costuma-se confrontar informações obtidas a partir de ensaios de campo e ensaios de laboratório, para uma decisão mais acertada. Os métodos mais comumente empregados para a obtenção dos valores da resistência ao cisalhamento não drenada são: ensaio de compressão triaxial do tipo UU; ensaio de compressão simples e ensaios de palheta (*Vane test*).

O presente trabalho se enquadra neste contexto, e visa o estudo dos solos moles de Sergipe. A área escolhida para a presente pesquisa foi um trecho de uma estrada vicinal que atravessa o Sítio Pomonga, situada no sentido sudoeste do município Barra dos Coqueiros, nas proximidades da zona litorânea e do Rio Sergipe e seus afluentes.

Nessa região, estavam sendo realizados estudos para dimensionar um reforço do terreno da estrada em questão, a fim de permitir a passagem de um veículo de elevado porte e grandes dimensões. Esse veículo iria transportar um equipamento com cerca de 800 toneladas, para uma usina termelétrica em fase de construção nas circunvizinhanças. A passagem por essa estrada, que possui camadas de solo mole em seu subsolo, era obrigatória. Isso gerou a necessidade de realizar investigações geotécnicas a fim de executar o reforço e evitar uma ruptura por baixa capacidade de carga do solo (SÁ, 2019).

Portanto, o objetivo principal desta pesquisa é apresentar os resultados obtidos por meio de ensaios de palheta executados no local de estudo para a determinação da resistência ao cisalhamento não drenada do solo, e comparar esses resultados àqueles encontrados através de ensaios de laboratório, a fim de identificar a ocorrência de divergências e verificar as possíveis causas dessas variações.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Ensaio de Palheta (*Vane Test*)

O ensaio de palheta, também conhecido com *Vane Test*, é um ensaio de campo que visa a determinação da resistência ao cisalhamento não drenada (S_u) dos solos argilosos. Nesse ensaio, uma palheta de seção cruciforme é cravada no terreno e submetida a uma rotação por meio de um torquímetro mantido na superfície. A rotação da palheta, em condições não drenadas, promove o cisalhamento do solo, que é medido através do torque (PINTO, 2006; SCHNAID; ODEBRECHT, 2012). A NBR 10295 (ABNT, 1989) estabelece as diretrizes para a realização desse ensaio.

Por ser econômico e de simples execução, o *Vane Test* é largamente utilizado para a obtenção do valor de S_u dos solos. A desvantagem que esse ensaio apresenta diz respeito à velocidade de rotação das palhetas, que deve ser elevada para evitar a dissipação das pressões neutras. A resistência assim determinada é muito superior àquela obtida através de carregamentos lentos, que melhor representam as situações práticas (PINTO, 2006).

2.2 Ensaios Triaxiais

Os ensaios de laboratório mais comumente utilizados para a determinação da resistência ao cisalhamento não drenada dos solos são os triaxiais convencionais. O princípio básico de execução desses ensaios é a aplicação de um estado hidrostático de tensões e de um carregamento axial sobre um corpo de prova cilíndrico de solo. Os ensaios triaxiais podem ser divididos em três subcategorias: adensado e drenado

(CD); adensado e não drenado (CU) e não adensado e não drenado (UU) (CAVALCANTE; CASAGRANDE, 2006; PINTO, 2006).

O ensaio triaxial UU possui como principais vantagens a simplicidade e a rapidez de execução, quando comparado aos triaxiais CU e CD. Com esse ensaio, é fácil determinar a resistência ao cisalhamento não drenada dos solos, visto que, independente das pressões confinantes aplicadas, serão obtidos círculos de Mohr em tensões totais com os mesmos diâmetros e a envoltória de ruptura será uma reta horizontal, cuja ordenada é o valor de S_u da argila (LEMOS; PIRES, 2017; PINTO, 2006).

Devido ao fato de poderem ser realizados com velocidade controlada, os ensaios triaxiais UU podem apresentar melhores resultados do que os de compressão simples para a determinação dos valores de resistência. Entretanto, a imposição do confinamento ao corpo de prova não compensa a perda de tensão efetiva natural das amostras, sobre a qual não se tem controle (PINTO, 2006).

2.3 Ensaio de Compressão Simples

O ensaio de compressão simples deve ser realizado de acordo com a NBR 12770 (ABNT, 1992) e se caracteriza pela aplicação de um carregamento axial a um corpo de prova cilíndrico. Na compressão simples, a carga é aplicada em uma única direção, não havendo confinamento lateral, diferente do que ocorre no ensaio triaxial UU. Por isso, o corpo de prova possui liberdade para deformar-se nas outras direções sem qualquer restrição (CAVALCANTE; CASAGRANDE, 2006).

Por meio desse ensaio, também é possível determinar a resistência ao cisalhamento não drenada do solo. A velocidade de carregamento empregada, de modo geral, conduz à ruptura do corpo de prova em cerca de 10 a 15 minutos. Por ser um intervalo curto de tempo, não há condições de dissipação das pressões neutras provocadas pelo carregamento. Devido a isso, esse ensaio pode ser considerado um caso particular de ensaio UU, em que a pressão confinante é igual a zero (PINTO, 2006).

Os resultados dos ensaios de compressão simples são afetados pelos efeitos da amostragem e estocagem do solo, que podem reduzir os valores de resistência. Por outro lado, a velocidade de carregamento necessária para garantir a condição não drenada pode fazer com que se obtenha valores de resistência maiores que aqueles correspondentes a velocidades de carregamento reais. É possível que haja uma compensação entre o aumento da resistência provocado pela velocidade de ensaio e a redução decorrente das perturbações da amostra, mas é difícil mensurar qual é a real resistência do solo (PINTO, 2006), até porque nesse ensaio não se tem controle das condições de drenagem e poropressão.

2.4 Ensaio de Prova de Carga sobre Placa

A norma que estabelece as diretrizes para a execução do ensaio de Prova de Carga Direta sobre Terreno de Fundação ou Prova de Carga sobre Placa é a NBR 6489 (ABNT, 1984). A prova de carga direta é um ensaio estático de campo que tem por objetivo verificar a capacidade de carga e a deformabilidade do terreno sobre o qual será construída a obra a ser projetada (COSTA, 1999).

No decorrer do ensaio de prova de carga direta convencional, mede-se o recalque em função das tensões aplicadas em estágios crescentes. Durante cada estágio de carregamento, as tensões são mantidas constantes por um determinado período de tempo, até que os recalques se estabilizem de acordo com o critério adotado. Dessa forma, como resultado do ensaio, é possível se obter uma curva tensão-recalque, na qual devem constar as informações feitas no início e no fim de cada estágio de carga, com indicação dos tempos decorridos (ABNT, 1984; COSTA, 1999).

Existem diferentes métodos de se executar uma prova de carga sobre placa: ensaio lento, ensaio rápido, ensaio cíclico e ensaio com taxa de penetração constante. O ensaio rápido caracteriza-se por assumir um intervalo de tempo fixo para o término de cada estágio de carregamento, independente da estabilização dos recalques. As principais vantagens do ensaio rápido são o baixo custo e o reduzido período de execução (COSTA, 1999).

3 Materiais e Métodos

3.1 Materiais

Os materiais empregados para o desenvolvimento da presente pesquisa são os solos compressíveis da Estrada Sítio Pomonga, localizada no Município de Barra dos Coqueiros (SE). Os solos dessa região são argilas de coloração cinza-escuro, com presença de matéria orgânica, próprias de ambientes com influência marinha e com odor característico. Muitas vezes, foi possível identificar, através das amostras coletadas, que essas camadas de argila estavam intercaladas a faixas de areia.

3.2 Métodos

Para realização dos ensaios de laboratório foram coletadas duas amostras indeformadas de solo (Amostra 01 e Amostra 02), com o uso de amostrador Shelby de parede fina, medindo 75 mm de diâmetro. Ambas as amostras possuíam 76 cm de comprimento, e foram coletadas em profundidades de 1,00 e 1,50 m, respectivamente.

Em laboratório, foram realizados os seguintes ensaios com essas amostras: Análise Granulométrica; Limite de Liquidez; Limite de Plasticidade; Ensaio de Adensamento Unidimensional; Ensaio de Compressão Simples e Ensaio Triaxial UU. Como referência para a execução desses ensaios, foram utilizadas as normas previstas pela ABNT e, quando não havia normas brasileiras, recorreu-se à norma equivalente da ASTM.

Em campo, por sua vez, foram executados Ensaios SPT, Ensaios de Palheta de Inspeção (*Mini Vane*) e Ensaios de Prova de Carga sobre Placa.

Por meio das sondagens à percussão do tipo SPT, foi possível obter a estatigrafia do terreno. Foram executados 07 (sete) furos de sondagem, com profundidades máximas variando entre 7,45 m e 10,45 m.

Os ensaios de palheta foram realizados em quatro pontos distintos, com profundidades máximas variando entre 1,97 e 2,25 m. Esses ensaios foram do tipo *Mini Vane*, devido à restrição insposta pelo equipamento disponível em laboratório.

Já no que diz respeito aos Ensaios de Prova de Carga sobre Placa, foram executadas duas provas de carga, consideradas do tipo ensaio rápido. Como as provas de carga foram realizadas com a finalidade de permitir a manobra rápida de equipamentos no terreno, adotou-se o tempo máximo de leitura dos recalques de 30 minutos, inclusive porque o local em questão não oferecia condições de trabalho durante a noite.

A finalidade de se realizar esse tipo de ensaio era avaliar a capacidade de suporte do solo diante das cargas decorrentes da passagem do veículo de grandes dimensões com os equipamentos para a Obra da Termelétrica de Sergipe, anteriormente mencionado. As provas de carga foram executadas em um local constituído por um aterro de brita e solo de aproximadamente 60 cm de espessura, sobre camada de subleito em argila mole, orgânica, com cerca de 2 m de espessura.

Utilizou-se um macaco hidráulico com capacidade de 50 tf alimentado por uma bomba manual munida de manômetro calibrado para a execução das referidas provas de carga. Como sistema de reação, foi empregada uma cargueira de caçamba basculante. Tal sistema conseguiu aplicar uma carga máxima de aproximadamente 6 tf na placa de teste. Sabendo-se que essa placa possui 0,5 m² de área, a tensão aplicada ao solo foi de cerca de 12tf/m².

Realizou-se a medição dos deslocamentos verticais, simultaneamente, através de três extensômetros digitais, instalados em eixos de 120°, os quais permitiram leituras de recalques com precisão de 0,01mm. Os extensômetros foram fixados em vigas de referência, cuja rigidez era compatível com a sensibilidade das medidas a serem efetuadas. Ao total, foram executados 10 (dez) estágios de carregamento e 04 (quatro) de descarregamento.

4 Resultados e Discussões

4.1 Standard Penetration Test (SPT)

Os ensaios de sondagem à percussão permitiram identificar a presença de camadas de argila orgânica,

com consistência variando de mole e muito mole, ao longo de toda a extensão da estrada. São camadas superficiais, com espessuras entre 1,70 m e 6,00 m.

Muitas vezes, percebe-se que essas camadas de argila orgânica estão intercaladas a faixas arenosas, por isso a presença de lentes de areia no solo coletado das amostras indeformadas. As profundidades máximas atingidas pelas sondagens estavam entre 7,45 m e 10,45 m. Notou-se ainda que os valores de N_{SPT} eram muito baixos para as camadas de argila orgânica - variando de 01 (um) a 05 (cinco) - compatíveis com o comportamento dos solos moles.

4.2 Caracterização Geotécnica

A caracterização geotécnica do solo estudado nesta pesquisa foi realizada com base em ensaios de Granulometria e Limites de Atterberg. A Figura 1 apresenta as curvas granulométricas obtidas para os solos das Amostras 01 e 02, coletadas para a realização dos ensaios de laboratório.

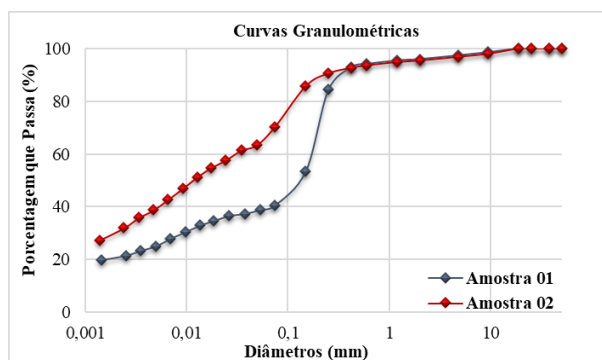


Figura 1. Curvas granulométricas para o solo das Amostras 01 e 02.

As curvas granulométricas apresentadas mostram que há uma diferença significativa entre o solo das duas amostras, mesmo sabendo-se que elas são oriundas do mesmo local. A Amostra 01 possui uma quantidade significativa de areia, superior à soma das porcentagens passando na peneira #200, enquanto que para a Amostra 02 há predomínio da fração que passa nessa peneira (silte e argila), em detrimento da fração areia. Esse comportamento também se reflete nos resultados dos demais ensaios e pode ser justificado pela profundidade de coleta da Amostra 01, que era mais superficial e pela presença de um aterro composto de material arenoso disposto sobre o solo natural da estrada, que pode ter “contaminado” superficialmente o solo local, contribuindo para o aumento da porcentagem de areia.

No que diz respeito à plasticidade, para a Amostra 01 obteve-se um índice de plasticidade (IP) igual a 9,0, característico de um solo medianamente plástico e para a Amostra 02, o IP foi de 19,0, próprio de um solo muito plástico, como era de se esperar. Uma comparação entre esses resultados e os obtidos por Ribeiro (1992) para a região do Terminal Portuário de Sergipe (um depósito *offshore* relativamente próximo a essa localidade), percebe-se que as argilas do presente estudo possuem plasticidade inferior às analisadas por Ribeiro (1992), cujo IP era em média 23,5%, para os ensaios seguindo o procedimento da ABNT.

O teor de umidade médio obtido para esse depósito foi 29,18%, também inferior aos valores encontrados por Ribeiro (1992), que variavam entre 57% e 72%, ao passo que a massa específica real média, igual a 2,585 g/cm³, enquadra-se na faixa de valores comumente apresentados para depósitos de solos moles brasileiros (SCHNAID; ODEBRECHT, 2012).

4.3 Ensaios de Adensamento Unidimensional

Foram moldados dois corpos de prova para a execução de ensaios de adensamento unidimensional. Como resultados desses ensaios, foi possível obter as curvas Índice de Vazios (e) x Tensão Vertical Efetiva (σ_v'), em escala logarítmica. Através dessas curvas, determinou-se o índice de compressão médio ($C_{cmédio}$) para o solo da região, igual a 0,247.

Não havia como identificar a transição entre os trechos de recompressão e compressão virgem em

nenhuma das amostras, o que impossibilitou a determinação da tensão de pré-adensamento (σ'_a) do solo. Essa característica é própria de solos que sofreram amolgamento, seja no processo de amostragem, transporte para o laboratório ou moldagem dos corpos de prova (MARTINS; LACERDA, 1994).

4.4 Ensaios de Palheta (Vane Test)

Em campo, foram realizados ensaios de palheta de inspeção (*Mini Vane*) para obtenção da resistência ao cisalhamento não drenada do solo. Esses ensaios foram executados em 04 (quatro) pontos distintos e atingiram profundidades máximas que variaram de 1,97 a 2,25 m. Na Figura 2 é possível visualizar o comportamento da S_u com a profundidade para os 04 (quatro) locais ensaiados.

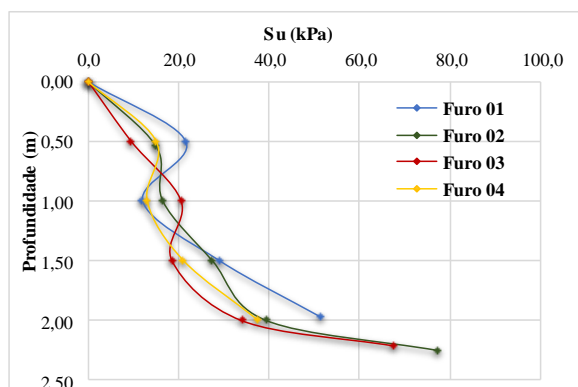


Figura 2. Variação da resistência ao cisalhamento não drenada (S_u) com a profundidade.

A partir do gráfico apresentado na Figura 2, verifica-se que, para o Furo 01, na profundidade de 1,00 m (profundidade de coleta da Amostra 01), ocorre uma queda progressiva no valor de S_u de 21,5 kPa para 12,0 kPa. O mesmo se observa na profundidade de 1,50 m (profundidade de coleta da Amostra 02), para o Furo 03, com S_u igual a 18,5 kPa. Para o Furo 04, também houve uma redução do valor de S_u na profundidade de 1,00 m, que caiu de 15 kPa para 13,00 kPa. Isso pode ser um indicativo da existência de uma camada de solo com baixa resistência nessa profundidade. No caso do Furo 02, entretanto, o valor de S_u manteve-se mais ou menos estável nas profundidades próximas a 1,00 m, com cerca de 16,5 kPa. Uma análise conjunta dos gráficos permite concluir que, de modo geral, ocorre um aumento do valor da resistência ao cisalhamento não drenada com a profundidade. Esses valores são relativamente próximos aos encontrados por Ribeiro (1992), que obteve S_u igual a 15 kPa por meio de ensaios de palheta para a região da construção do Terminal Portuário de Sergipe.

4.5 Ensaios Triaxiais UU

Com o solo da Amostra 02, foram moldados 03 (três) corpos de prova para a execução dos ensaios triaxiais UU. Como resultado, foi possível obter um gráfico relacionando à tensão desviadora (σ_d) com a deformação axial em porcentagem (Figura 3).

As curvas obtidas para o CP-1 e o CP-2 foram semelhantes, apresentando picos de tensão, enquanto que a curva para o CP-3 teve um comportamento diferente, com valores de tensões desviadoras muito superiores quando comparadas às demais. A presença de uma maior quantidade de areia no solo do CP-3 é, possivelmente, a explicação para esse comportamento inesperado. Havia lentes de areia visualmente identificáveis nesse corpo de prova, provavelmente provenientes da camada superficial de solo, um pouco mais arenosa, e/ou do solo do aterro que contaminou a região superficial da Amostra 01.

Portanto, apenas o CP-1 e o CP-2 foram considerados para o cálculo da resistência ao cisalhamento não drenada do solo, a fim de se obter parâmetros mais coerentes e representativos dos solos moles.

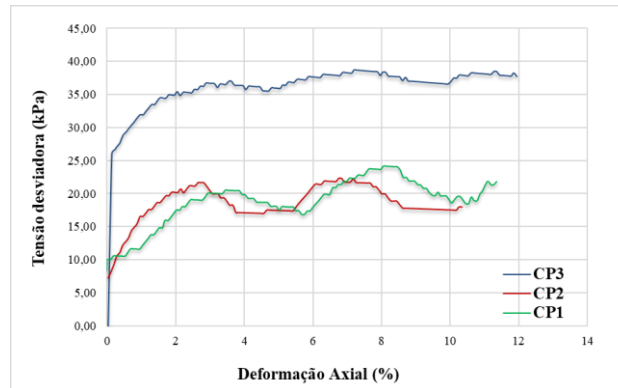


Figura 3. Gráfico Tensão Desviadora (kPa) x Deformação Axial (%).

A Figura 4 mostra a envoltória de ruptura traçada com os resultados do ensaio UU para o CP-01 e o CP-02, que permitiu estimar a coesão não drenada do solo em cerca de 10,0 kPa.

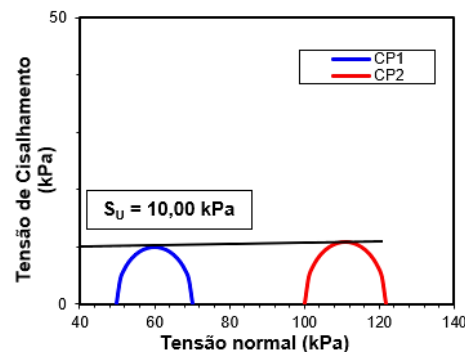


Figura 4. Envoltória de ruptura: ensaios triaxiais UU.

4.6 Ensaios de Compressão Não Confinada (Simples)

Para a execução dos ensaios de compressão simples, foram moldados 03 (três) corpos de prova distintos. A tensão de ruptura (σ_r) foi determinada ao se atingir o limite máximo de 15% de deformação desses corpos de prova, estabelecido pela NBR 12770 (ABNT, 1992), o que ilustra a elevada plasticidade do solo da região estudada. A Tabela 1 apresenta os valores de resistência ao cisalhamento não drenada (S_u), determinados com base nos valores de tensão de ruptura.

Tabela 1. Resultados obtidos através dos ensaios de compressão não confinada.

CP	Amostra	σ_r (kPa)	S_u (kPa)
01	Amostra 02	10,20	5,10
02	Amostra 01	4,92	2,46
03	Amostra 01	5,00	2,50

O solo da Amostra 01 apresentou valores de S_u muito inferiores àquele da Amostra 02. Durante a moldagem dos corpos de prova, era perceptível que o solo da Amostra 01 era muito mole, extremamente deformável, pois este já havia sofrido deformações verticais apenas com o peso próprio atuando sobre ele, antes do início do ensaio. Esse fato pode justificar os baixos valores de S_u quando comparados aos do solo da Amostra 02.

4.7 Comparação entre os Diferentes Métodos Utilizados para a Obtenção da Resistência ao Cisalhamento não Drenada

Uma análise dos valores de S_u obtidos utilizando-se diferentes métodos permite verificar que existem divergências significativas entre os resultados encontrados. A Tabela 2 apresenta um comparativo entre os resultados de ensaios de campo e de laboratório, para os solos da Amostra 01 e da Amostra 02.

Tabela 2. Comparação entre os valores de resistência ao cisalhamento não drenada, obtida por diferentes métodos, para os solos da Amostra 01 e Amostra 02.

Local	Compressão Simples (CS)	Triaxial UU (TUU)	Palheta (P)	CS/P	TUU/P
Amostra 01 (média)	2,48 kPa	-	12,00 kPa (1,00 m)	0,21	-
Amostra 02 (média)	5,10 kPa	10,00 kPa	18,5 kPa (1,50 m)	0,27	0,51

Comparando-se os resultados determinados por meio de diferentes ensaios, percebe-se que os valores de S_u obtidos através do ensaio de palheta de inspeção (ensaio de campo), como esperado, são superiores àqueles obtidos em laboratório. Isso pode ser explicado pela elevada velocidade de rotação das palhetas, que faz com que a resistência ao cisalhamento não drenada determinada por esse método seja muito superior àquela obtida através de carregamentos lentos, que melhor representam as situações práticas (PINTO, 2006).

Nos ensaios de laboratório, por sua vez, existe a influência do processo de amostragem que pode reduzir significativamente a resistência do solo (RIBEIRO, 1992).

A razão entre o valor de S_u obtido no ensaio triaxial UU e o encontrado no ensaio de palheta de inspeção para o furo correspondente ao local de coleta da Amostra 02, em profundidade equivalente, é de 0,51, indicando uma redução de quase metade do valor de resistência ao comparar o resultado do ensaio de campo com o de laboratório.

Para o ensaio de compressão simples, a comparação com o de palheta para o furo correspondente ao local de extração das Amostras 01 e 02, em profundidades similares, permite identificar uma redução ainda mais drástica do valor de resistência, de quase 80%.

Esses resultados demonstram que, tanto o amolgamento da amostra quanto a velocidade de execução de um determinado ensaio podem ser fatores determinantes na obtenção dos valores de resistência ao cisalhamento não drenada do solo. Por isso, é importante avaliar com cautela o valor final a ser adotado em projeto, considerando-se as divergências entre os diferentes métodos. Para o cálculo de estabilidade de taludes, por exemplo, recomenda-se corrigir os valores de S_u determinados através dos ensaios de palheta por meio do método proposto por Bjerrum (1973).

Não foi possível utilizar correlações empíricas para a determinação dos valores de S_u devido à impossibilidade de estimar a tensão de pré-adensamento do solo em decorrência do amolgamento verificados nas curvas de adensamento.

4.8 Prova de Carga sobre Placa

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos com as 02 (duas) provas de carga sobre placa realizadas no local em questão.

Tabela 3. Resultados das provas de carga sobre placa.

Prova de Carga	Recalque Total (mm)	Recalque Elástico (mm)	Recalque Permanente (mm)	Tensão Máxima Aplicada (tf/m ²)
PC-01	2,54	1,00	1,54	12,0
PC-02	3,12	1,30	1,82	12,0

As provas de carga foram executadas até a carga máxima de 6 tf, o que equivale uma tensão da placa no solo igual 120 kN/m^2 , o dobro da tensão admissível necessária para suportar o equipamento utilizado na manobra operacional que foi executada no local. Foi possível verificar que, até à tensão máxima utilizada no ensaio, o sistema placa-solo não apresentou um processo iminente de ruptura, pois os valores de recalque obtidos eram muito inferiores ao limite máximo, de 25 mm. Isso indicou que a capacidade de carga desse terreno era superior à exigida para a passagem do transporte na estrada em questão.

As Figuras 5 e 6 apresentam as curvas carga-recalque determinadas para cada uma das provas de carga executadas. Como se trata de provas de carga rápida, sem esperar que os recalques se estabilizassem, os formatos das curvas apresentadas diferem dos formatos comumente obtidos para as provas de carga lentas.

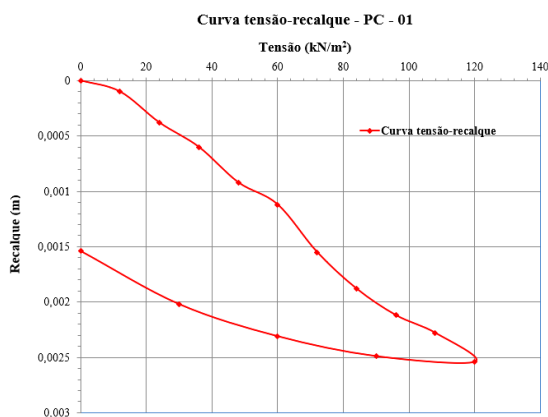


Figura 5. Curva carga-recalque para a PC-01.

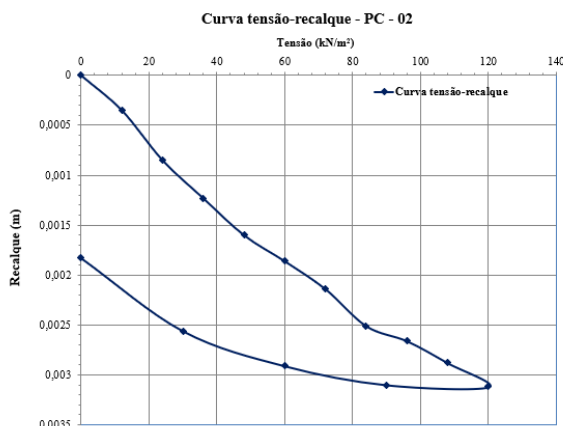


Figura 6. Curva carga-recalque para a PC-02.

5 Conclusões

Com a realização da presente pesquisa experimental fez-se a estimativa da resistência ao cisalhamento não drenada de uma camada de solo argiloso mole por meio de ensaios de laboratório (compressão não confinada e compressão triaxial UU) e de ensaios de campo (palheta de inspeção). Foi possível verificar uma variação significativa entre os resultados obtidos. Apesar da tendência à superestimativa dos valores de resistência pelo ensaio de palheta, ocasionada pela elevada velocidade de ensaio e devido à impossibilidade de controlar precisamente o torque aplicado ao solo com o aparato utilizado, esse ensaio é mais realista, por minimizar os efeitos da perturbação provocados pela coleta, armazenamento e transporte de amostras até o laboratório. Nos ensaios de laboratório, o amolgamento da amostra parece ter interferido nos resultados, provocando uma redução dos valores de S_u .

Por meio dos ensaios de prova de carga sobre placa, atestou-se a capacidade de suporte do solo para a

magnitude da solicitação imposta pelo veículo no curto intervalo de tempo. Dessa forma, o tráfego desse meio de transporte pela Estrada Sítio Pomonga foi realizado sem maiores transtornos e o equipamento alcançou o seu destino final no prazo previsto.

Como sugestões para trabalhos futuros, recomenda-se coletar amostras com boa qualidade, que permitam a estimativa dos valores da tensão de pré-adensamento. Isso tornará possível a comparação entre os resultados obtidos por ensaios de campo e de laboratório, com aqueles determinados empregando-se as correlações empíricas disponíveis na literatura.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me guiar ao longo dessa jornada diária. Aos meus familiares e amigos, pelo carinho e compreensão. Aos meus professores orientador e co-orientador, bem como à Universidade Federal de Sergipe, por contribuírem de maneira significativa para a execução desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). NBR 6489. *Prova de Carga Direta sobre Terreno de Fundação*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1989). NBR 10905. *Solo - Ensaios de Palheta In Situ*. Rio de Janeiro.
- Bjerrum, L. (1973) Problems of Soil Mechanics and Construction on Soft Clays and Structurally Unstable Soils (Collapsible, Expansive and Others). In: ICSMFE, 8, *Anais...*Moscow.
- Cavalcante, E. H.; Casagrande, M. D. T. (2006). *Mecânica dos Solos II - Notas de Aula*. p. 79, 2006.
- Costa, Y. D. J. (1999). *Estudo do Comportamento de Solo Não Saturado Através de Provas de Carga em Placa*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos / USP, 138 p.
- Lemos, S. G. F. P. (2014) *Estudo da Resistência Não Drenada de Solo de Baixa Consistência Por Meio de Ensaios de Campo e Laboratório*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 182 p.
- Lemos, S. G. F. P.; Pires, P. J. M. (2017) The Undrained Strength of Soft Clays Determined from Unconventional and Conventional Tests. *Soils and Rocks*, v. 40, n. 3, p. 291–301.
- Martins, I. S. M.; Lacerda, W. A. (1994) Sobre a Relação Índice de Vazios-Tensão Vertical Efetiva na Compressão Unidimensional. *Solos e Rochas*, p. 157–166.
- Pinto, C. de S. (1992) Primeira Conferência Pacheco Silva: Tópicos da Contribuição de Pacheco Silva e Considerações sobre a Resistência Não Drenada das Argilas. *Solos e Rochas*, p. 49–87.
- Pinto, C. de S. (2006) *Curso Básico de Mecânica dos Solos*. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 367 p.
- Ribeiro, L. F. M. (1992) *Ensaios de Laboratório para Determinação das Características Geotécnicas da Argila Mole de Sergipe*. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 201 p.
- Sá, L.M.S. (2019) *Caracterização Geotécnica E Georreferenciamento De Alguns Depósitos De Solos Moles Da Região Metropolitana De Aracaju*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 197 p.
- Schnaid, F.; Odebrecht, E. (2012) *Ensaios de Campo e Suas Aplicações à Engenharia de Fundações*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 223 p.
- Shogaki, T. (2006) An Improved Method for Estimating In-Situ Undrained Shear Strength of Natural Deposits. *Soils and Foundations*, v. 46, n. 2, p. 109–121.