

Avaliação da compactação como melhoramento de um solo silto, argiloso, colapsível, um partidor da realização de ensaios oedométricos e provas de carga diretas

Assessment of compaction as an improvement of a clay silt soil, collapsible, a party of conducting edometric tests and direct load tests

Gleiber da Silva Chagas(1); Alfran Sampaio Moura(2); Andressa de Araujo Carneiro(3)

1 Universidade de Fortaleza (UNIFOR), Ceará, Brasil.

E-mail: gleiberbook@gmail.com

2 Universidade Federal do Ceará, Ceará, Brasil.

E-mail: alfransampaio@ufc.br

3 Universidade Federal do Piauí, Piauí, Brasil.

E-mail: andressa@ufpi.edu.br

Revista de Engenharia Civil IMED, Passo Fundo, vol. 6, n. 1, p. 3-19, Janeiro-Junho 2019 - ISSN 2358-6508

[Recebido: Novembro 21, 2017; Aceito: Março 19, 2019]

DOI: <https://doi.org/10.18256/2358-6508.2019.v6i1.2287>

Endereço correspondente / Correspondence address

Gleiber da Silva Chagas

SGAN 912 Módulo C Bloco G, Ap. 15, Asa norte

Brasília, DF, Brasil

CEP: 70790-123

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Editora: Luciana Oliveira Fernandes

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui/click here!](#)

Resumo

A presente pesquisa refere-se ao estudo do comportamento de um solo silto argiloso, que será utilizado como suporte das fundações das estruturas de um conjunto habitacional, localizado na cidade de Icó-CE. O objetivo do trabalho é averiguar a eficiência da técnica da compactação no melhoramento do solo estudado tomando como base para as análises resultados de ensaios edométricos e de provas de cargas diretas. Para isso, inicialmente, foi realizada uma caracterização do solo por meio de ensaios de laboratório (granulometria, limite de liquidez, limite de plasticidade, densidade real, compactação e CBR) e campo (SPT). Posteriormente, realizaram-se ensaios especiais do tipo edométrico duplo e ensaios de provas de carga diretas em diferentes condições de umidade. Pela análise dos resultados foi possível verificar que a compactação mostrou-se uma técnica eficiente para minorar ou mesmo reduzir o potencial de colapso do solo estudado. Além disso, os resultados dos ensaios edométricos duplos obtidos apresentaram concordância com relação aos resultados obtidos com as provas de carga diretas realizadas.

Palavras-chave: Compactação. Edométrico duplo. Prova de carga.

Abstract

The present research refers to the study of the behavior of a clayey soil, which will be used as support for the foundations of the structures of a housing complex, located in the city of Icó-CE. The objective of this work is to investigate the efficiency of the compaction technique in the improvement of the studied soil, based on the results of the oedometric tests and the plate load test. For this, a soil characterization was carried out by means of laboratory tests (grain size, liquidity limit, plasticity limit, real density, compaction and CBR) and field (SPT). Subsequently, special double-edometric type tests and direct load tests were carried out under different humidity conditions. By the analysis of the results it was possible to verify that the compaction was an efficient technique to reduce or even reduce the collapse potential of the studied soil. In addition, the results of the double edometric tests obtained were in agreement with the results obtained with the direct load tests performed.

Keywords: Compression. Double-edometric. Load test.

1 Introdução

Grande parte das obras de engenharia é executada utilizando solos não saturados. Alguns solos não saturados apresentam comportamento conhecidamente problemático, como os solos expansivos e os solos colapsíveis. Esses solos quando sujeitos a variações do grau de saturação podem expandir ou colapsar. Neste contexto, é evidente a importância de se buscar um melhor entendimento do comportamento desses solos frente aos agentes que instabilizam suas estruturas, tais como a intensidade da carga atuante do líquido inundante (AGNELLI; ALBIERO, 1997).

Mendonça (1990) conceitua o colapso do solo como sendo o fenômeno observado em alguns solos não saturados que apresentam brusca redução de volume quando lhes é aumentada a umidade.

De acordo com Ferreira (2005), a ocorrência de solos colapsíveis é favorecida por: estrutura porosa potencialmente instável; solo não saturado; presença de agentes cimentantes e instabilidade com tensão externa aplicada. Os fatores que influenciam a colapsividade dos solos são: estrutura, peso específico aparente seco, umidade, tipo de permeante, mineral argílico, velocidade de inundação, tensão vertical de inundação e trajetória de tensões, dentre outros.

Os solos potencialmente colapsíveis apresentam como característica a estrutura macroscópica fofa, baixo grau de saturação e partículas maiores mantidas por cimentação ou por tensão capilar.

Os solos colapsíveis ocorrem em várias partes do Brasil e de outros países e tem sido muitas vezes, causadores de sérios danos ocorridos em edifícios, barragens e diversos outros tipos de obras. Decorre destes fatos, a importância em se detectar a presença desse tipo de solo e analisar o seu comportamento frente aos agentes que desestabilizam a sua estrutura, tais como a intensidade da carga atuante do líquido inundante (AGNELLI; ALBIERO, 1997).

De acordo com Moura et al. (2011), os solos não saturados são de natureza bastante diversa. Dentro dessa categoria estão as argilas expansivas altamente plásticas, solos residuais lateríticos e saprolíticos, além de uma grande variedade de depósitos aluvionares, coluvionares e eólicos, diferentes tipos de solos compactados e cimentados.

Os solos não saturados quando submetidos a variações de umidade, principalmente, por condições climáticas, solos apresentam mudanças de resistência ao cisalhamento e instabilidade volumétrica, originando fenômenos como colapso.

A Tabela 1 mostra diversos locais em que Ferreira (2005) identifica solos colapsíveis no Nordeste.

Tabela 1 - Ocorrências de solos colapsíveis no Nordeste

Local	Referência	Origem dos Solos / Classe Pedológica
Parnaíba - PI	Riani e Barbara (1989)	Eólica / Areia quartzosa
Natal - RN	Santos Junior e Araújo (1999)	Eólico / Areia Quartzosa
Recife - PE	Ferreira (1997)	Formação Barreiras / Latossolo
Gravatá - PE	Ferreira (1989)	Complexo Carnaíba Remobilizado / Podzólico
Carnaíba - PE	Ferreira (1989)	Complexo Moteiro / Bruno não cálcico
Petrolândia - PE	Ferreira (1989)	Formação Tacaratu / Areia quartzosa
Sta Maria da Boa Vista - PE	Ferreira (1989)	Granitóides diversos / Latossolo
Petrolina - PE	Aragão e Melo (1982) Ferreira (1989)	Aluvial / Areia quartzosa
Rodelas - BA	Ferreira (1989)	Formação Marizal / Areia quartzosa
Bom Jesus da Lapa - BA	Mendonça (1990)	Formação Vazante e Aluviões / Latossolos e Areias quartzosas

Fonte: Ferreira (2005).

Tratando-se de solos argilosos, o comportamento geral depende da forma de aplicação da carga e da variação da umidade do solo, podendo ocorrer expansão ou colapso. Entretanto, quando há umedecimento de um solo argiloso sob carga, poderá gerar uma tendência de quebra das partículas ou expansão (PEREIRA, 2013).

Os métodos de identificação de argilas potencialmente expansivas podem ser classificados em indiretos e diretos. Os métodos indiretos são baseados na classificação mineralógica, índices físicos, limites de consistência e parâmetros associados à textura e composição da argila. Já os métodos diretos são baseados a medida de expansão induzida ao solo. (SILVA, 2005).

Segundo Pinto (2006), os ensaios edométricos representam adequadamente as condições do terreno abaixo de fundações superficiais, tendo como vantagem seu baixo custo quando comparado a outras técnicas utilizadas para previsão de recalques.

Para a determinação do potencial de colapso pode-se realizar o ensaio edométrico de duas formas. No ensaio de compressão edométrica simples o corpo de prova na umidade natural é ensaiado da maneira convencional até a tensão em estudo. Depois de estabilizadas as deformações, o corpo de prova é saturado, para então serem observadas as deformações decorrentes dessa saturação. Já o ensaio de compressão edométrica duplo é realizado com a execução simultânea de dois corpos de prova, um no estado natural e outro saturado. A previsão dos recalques é calculada de acordo com a teoria do adensamento.

Segundo Cintra (1998), em diversas obras em que utilizaram a técnica da compactação, solos anteriormente colapsíveis apresentaram menor compressibilidade e colapsibilidade. Lima e Ribeiro Junior (2012) também afirmam que a compactação de solos colapsíveis reduzem a compressibilidade do solo.

Já Ribeiro Júnior e Futai (2010) observaram, estudando a argila porosa de São Paulo, que a compactação no solo poroso e colapsível estudado provoca melhorias significativas no solo de fundação, aumentando sua rigidez e diminuindo sua compressibilidade.

No Sul da Califórnia é comum a utilização da melhoria de solos colapsíveis pela remoção e recompactação do solo retirado. No entanto, segundo Rollins e Rogers (1994) esse processo é eficiente apenas nos primeiros 5 m e com maior melhoria nos 3 primeiros metros.

Vilar e Gaioto (1994) realizaram ensaios edométricos com inundação em cargas de interesse para avaliar o comportamento colapsível de solos lateríticos compactados. Os autores observaram que mesmo com a máxima densidade do ensaio de Proctor Normal ocorreram deformações significativas para altos valores de sobrecargas. Já para umidades elevadas, 3 % acima da ótima, as deformações por colapso foram insignificantes, mesmo nas amostras compactadas com massa específica seca baixa.

Melo e Bandeira (2014) concluíram que, ao compactar um solo predominantemente granular na energia do Proctor Normal, lhe conferindo uma maior interação entre as partículas, com redução do índice de vazios, houve uma minimização no potencial de colapso, passando a apresentar valores menores que 0,5% nas tensões aplicadas. Foi observado ainda que o melhoramento do solo por compactação também aumentou a capacidade de carga contribuindo para a viabilidade da execução de fundações superficiais na situação analisada.

Rodrigues, Souza e Lollo (2002), realizaram ensaios de campo (provas de carga em placa) e de laboratório (ensaios edométricos duplos) monitorando medidas de recalques em dois protótipos de sapatas corridas, com o objetivo de estabelecer a magnitude dos recalques por colapso em função da profundidade das amostras a cada estágio de carregamento. Os potenciais de colapso obtidos permitiram a classificação do solo como condicionalmente colapsível em 80% dos casos e como verdadeiramente colapsível nos outros 20%. A compactação do solo na base das sapatas permitiu reduzir os recalques em 50%.

Souto Silveira e Silveira (1963) estudaram a técnica da recompactação para solos de São Paulo utilizando como método de avaliação prova de carga em placa e observaram elevação da capacidade de carga, após a compactação, de 200%.

Aflitos et al. (1990) também relatam aumento da resistência do solo com a compactação a partir da utilização de ensaios edométricos e de provas de carga direta. O trabalho foi realizado em solos colapsíveis do município de Bom Jesus, na Bahia. Os autores observaram ainda que, com a compactação, o potencial de colapso foi anulado.

Já Gutierrez, Nóbrega e Vilar (2009) analisaram a influência da microestrutura de um material residual argiloso em seu comportamento colapsível. Foi estudado através de ensaios edométricos simples e duplos, e correlacionado com a estrutura interna do solo, a natureza dos poros e sua porosidade interconectada, indicando influência da variação da estrutura com a profundidade no comportamento colapsível do material.

Já Villar et al. (2015) buscou mostrar que a estrutura de um solo compactado tem relevante importância na determinação de seu comportamento, particularmente, quando na condição não saturada. Posteriormente, Cardoso de Freitas (2016) avaliou a técnica da execução de colunas de solo laterítico compactado como reforço de solo de suporte de fundações diretas de forma a controlar e reduzir o recalque por colapso. Segundo o autor o mencionado processo provoca a densificação do solo e consequente redução da compressibilidade da massa reforçada.

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho é avaliar a eficiência da técnica da compactação no melhoramento do solo estudado, tomando como base para as análises, resultados de ensaios edométricos e de provas de cargas diretas realizados em um solo silto argiloso potencialmente colapsível.

2 Localização da área estudada

O local do presente estudo localiza-se no município de Icó, situado na região sudeste do estado do Ceará, abrangendo uma área total de 1.871,98 Km², distante 301 km da capital Fortaleza. A Figura 1 mostra a localização da área em estudo. A escolha da área de estudo foi realizada considerando-se a ocorrência de solos com comportamento problemático, neste caso, colapsível ou expansível.

Figura 1 – Localização do Município de Icó



Fonte: Ipece, 2009.

3 Dados coletados, programa experimental e métodos

3.1 Dados Coletados

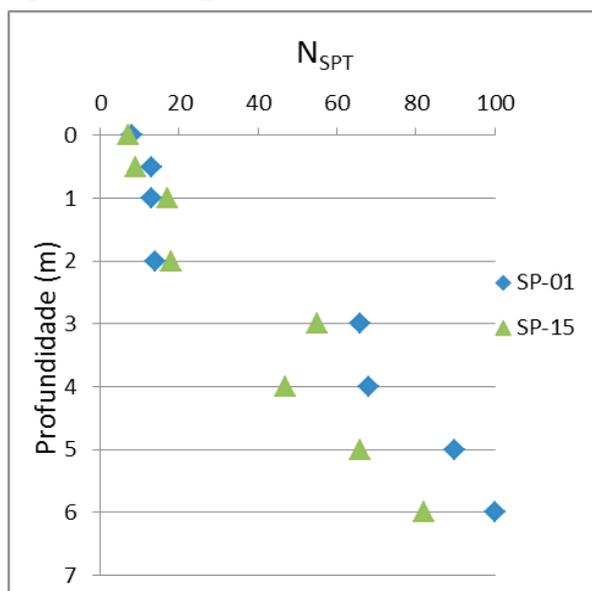
A coleta de dados foi realizada em julho de 2010, em uma empresa local da cidade de Fortaleza. Por meio da coleta obteve-se resultados de 20 sondagens à percussão (SPT) realizadas em um terreno situado na cidade de Icó-CE.

Foram selecionados dados de dois furos de sondagem para o estudo. Pelo furo SP-01 (Figura 2) foi observada, até a profundidade de 0,5 m, uma camada de pedregulhos de seixo rolado. Posteriormente, de 1,0 m a 4,0 m tem-se um silte argiloso de consistência média e, abaixo deste, uma camada de silte arenoso, muito compacto, de cor cinza esverdeada e amarela até a profundidade de 6,63 m. A partir daí o solo apresentou-se impenetrável à percussão. Vale mencionar que, nesta sondagem o nível d'água (NA) não foi encontrado.

Na execução do furo SP-15, representado na Figura 2, o N.A também não foi encontrado. Por esse furo, observa-se que o subsolo é composto inicialmente por uma camada superficial de areia fina e média, siltosa, pouco compacta até 2,20 m. Abaixo desta tem-se um silte argiloso até 2,70 m, seguida de uma camada de silte arenoso, pouco argiloso, muito compacto, até 6,20 m. A partir dessa profundidade, o solo apresentou-se impenetrável à percussão.

Analisando-se os perfis da Figura 2, verifica-se praticamente uma coincidência do índice de resistência (N_{SPT}) até a profundidade de 2 m. A partir do 3º metro de profundidade, a sondagem SP-01 apresentou valores do N_{SPT} mais elevados que os obtidos na sondagem SP- 15, e ambos, a partir de 6,0 m de profundidade apresentam-se impenetráveis à percussão.

Figura 2 – Comparação dos perfis de resistência dos furos SP-01 e SP-15



3.2 Programa Experimental e Métodos

Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas para a realização dos ensaios de caracterização e adensamento. As amostras de solo deformadas foram utilizadas em ensaios de análise granulométrica (ABNT, 1984a), índices físicos (ABNT, 1984b e 1984c) e compactação (ABNT, 1986).

As amostras deformadas foram passadas na peneira de nº 4, submetidas a secagem em estufa e, em seguida, procedeu-se o ensaio de granulometria por peneiramento e, em seguida, determinação do teor de umidade ótima (w_{ot}) através de ensaios de compactação com a energia do Proctor Normal.

Já a amostra indeformada foi obtida através da obtenção de um bloco indeformado, envolto em parafina, para preservação da umidade de campo (Figura 3). Para identificar o provável comportamento colapsível do solo e o seu potencial, realizaram-se ensaios de adensamento duplo. Por não existir Norma específica, tomou-se como referencial os procedimentos básicos do ensaio de adensamento estabelecidos pela Norma ABNT (3336/90).

Posteriormente realizaram-se ainda ensaios edométricos duplo utilizando-se as amostras de solo compactadas na energia do Proctor Normal.

No ensaio edométrico duplo para avaliação do possível potencial de colapso, tomou-se a sequência de pressões aplicadas a dois corpos de prova, um na umidade natural e outro inundado, conforme Norma NBR 3336/90. Nesse ensaio um dos corpos de prova foi previamente inundado na tensão inicial de 13 kPa.

Figura 3 - Moldagem e coleta de amostra de solo indeformado



Em campo foram executados ainda três provas de carga direta. Em duas delas, o solo foi mantido na umidade natural durante todo o ensaio e, na outra, o solo foi inundado com água, cujo terreno foi preparado conforme está mostrado na Figura 4.

Figura 4 – Preparação das provas de carga direta.



Os ensaios foram realizados utilizando-se um equipamento composto por: sistema de reação, sistema de transmissão de cargas e sistema de leitura. Para a realização das provas de carga direta foi utilizada uma placa de 80 cm de diâmetro e o sistema de reação utilizado foi um caminhão carregado com brita.

O sistema de transmissão de cargas (Figura 5) compreende um macaco hidráulico com capacidade de carga de 500 kN, bomba hidráulica, hastes cilíndricas e a placa de 80 cm de diâmetro. Para o sistema de leitura foram utilizados dois extensômetros, sensíveis a 0,01 mm, colocados em posições diametralmente opostas.

Figura 5 – Vista do sistema de transmissão utilizado no ensaio

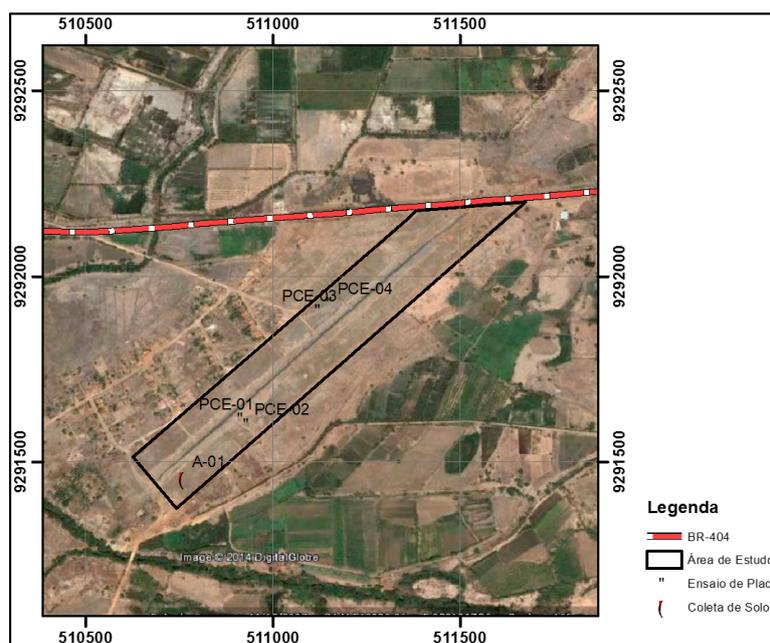


As provas de carga foram executadas com carregamentos em estágios de pressão até a estabilização dos recalques, aplicando-se carga até atingir a carga máxima de 35,2 kN (3,52 tf), que correspondeu a uma pressão máxima de 70 kPa.

A inundação do solo em uma das provas de carga foi realizada pela adição de água ao redor da placa 1 h antes do início do ensaio, cujo nível foi mantido constante durante toda a execução da prova de carga.

A Figura 6 mostra a localização na área de estudo, a locação dos pontos de coletas de amostra de solo e das provas de carga diretas.

Figura 6 – Localização na área de estudo, a locação dos pontos de coletas de amostra de solo e das provas de carga diretas



4 Apresentação dos Resultados e Análises

A Tabela 1 apresenta os resultados dos ensaios de laboratório (caracterização e compactação) realizados no solo coletado na área de estudo.

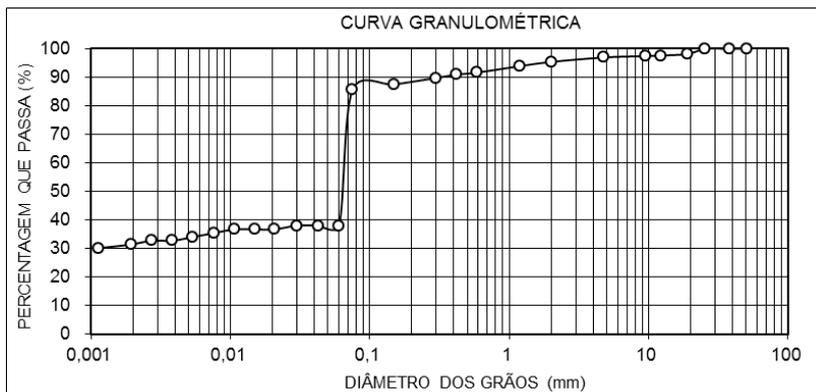
Tabela 1 – Resultados dos ensaios de laboratório realizados (caracterização e compactação)

Granulometria (% passando)				Limites Físicos		Compactação (12 golpes)		ISC
n° 4	n°10	n° 40	n° 200	LL	IP	W_{ot} (%)	γ_{dmax} (kN/m ³)	%
100	95	97	86	40	11	15,3	16,7	3

De acordo com a classificação do Highway Research Board (AASHTO), a amostra estudada enquadra-se no subgrupo dos solos A-6 e corresponde a um silte argiloso.

A Figura 7 mostra a curva granulométrica da amostra de solo em estudo.

Figura 7 – Curva granulométrica para o solo em estudo



Pela Figura 7 observa-se que trata-se de um solo predominantemente fino com cerca de 86% passando na peneira de número 200. Pela granulometria o solo apresenta 14% de areia, 51% de silte e 35% de argila.

A atividade da argila também foi determinada utilizando-se a seguinte equação:

$$A = \frac{IP}{\% < 0,002mm} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

A = índice de atividade

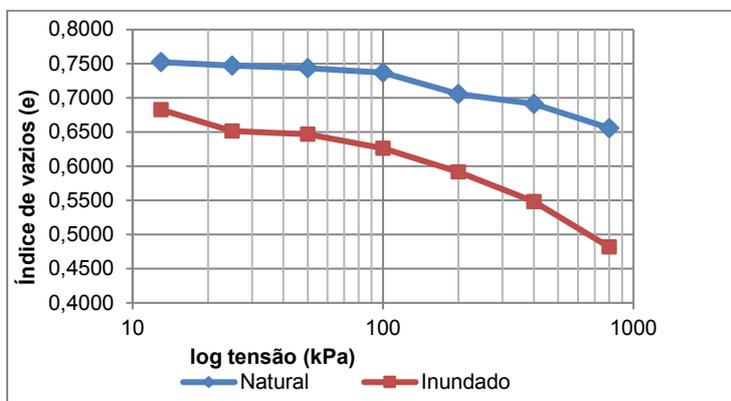
IP = índice de plasticidade

%<0,002mm = fração de argila (menor que 0,002mm)

A atividade do solo ensaiado foi estimada em 1,26 que, de acordo com Pinto (2006), corresponde a uma argila ativa. Vale mencionar que, segundo Nelson & Miller (1992), argilas ativas apresentam um maior potencial para a expansão.

A Figura 8 mostra os resultados do ensaio edométrico duplo. Comparando-se os trechos de carregamento deste ensaio, observa-se uma queda brusca no índice de vazios para o corpo de prova submetido à inundação, fato não evidenciado no corpo de prova ensaiado na umidade natural.

Figura 8 – Gráfico e $x \sigma$ do ensaio edométrico duplo



A partir da Figura 8 observa-se um distanciamento considerável entre as curvas correspondentes ao solo natural e inundado, que indica tratar-se de um solo possivelmente colapsível.

Dessa forma, a partir da proposta de R estimou-se o coeficiente de colapsividade do solo em 0,21%, utilizando-se a seguinte expressão:

$$C = \frac{\sigma_{vps} - \sigma_{v0}}{\sigma_{vpn} - \sigma_{v0}} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

σ_{vpn} é a tensão de pré adensamento virtual do solo na umidade natural;

σ_{vps} é a tensão de pré adensamento virtual do solo inundado;

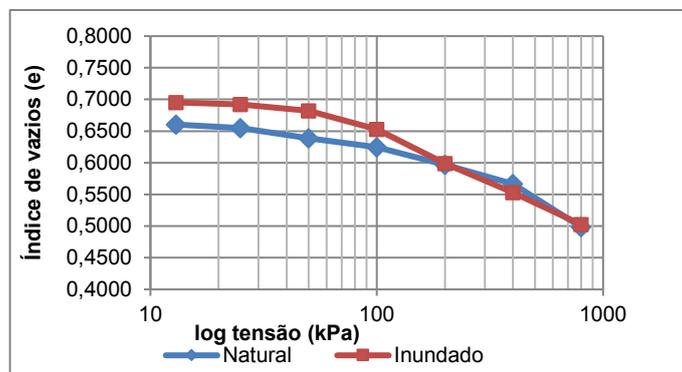
σ_{v0} é a tensão vertical devido ao peso próprio do solo em campo.

De acordo com Reginatto e Ferrero (1973), a amostra ensaiada apresenta potencial de colapso que a qualifica como “condicionada ao colapso”. Neste caso, se a tensão vertical (geostática + carregamento externo), σ_v , for inferior a σ_{vps} (50 kPa) não ocorre colapso. Mas se, σ_v superar σ_{vps} , mas não superar σ_{vPA} (200 kPa), ocorrerá colapso quando o solo for inundado após carregamento. No entanto, se σ_v superar σ_{vPA} , ocorrerá colapso mesmo sem inundação.

Para verificar o efeito da compacta o no potencial de colapso do solo realizaram-se ensaios de adensamento duplos com amostra compactada. Os ensaios foram realizados de maneira similar aos executados nos corpos de prova indeformados. Os corpos de prova foram moldados na umidade ótima (w_{ot}) e peso específico aparente seco máximo (γ_{dmax}), de acordo com ensaio de compacta o com energia de compacta o do Proctor Normal.

O gráfico da Figura 9 apresenta o resultado obtido com o ensaio de adensamento duplo, realizado em corpo de prova compactado.

Figura 9 – Adensamento duplo para amostra compactada



Pelo gráfico da Figura 9, observa-se que a curva de adensamento correspondente ao solo inundado posicionou-se ligeiramente acima da curva do solo natural, indicando que o processo de compacta o anulou o potencial de colapso do mesmo,

demonstrando que a compactação é um processo eficaz para o tratamento de solos colapsíveis.

Para a avaliação das previsões de colapso efetuadas a partir do ensaio edométrico realizaram-se provas de carga direta. Foram realizados quatro ensaios de prova de carga, sendo duas executadas na condição natural e duas realizadas com inundação.

A Figura 10 apresenta o comportamento da curva pressão versus recalque para o ensaio de placa 01 executado na condição de umidade natural. No ensaio foi aplicada pressão máxima de 70 kPa, obtendo um recalque total de apenas 2,01 mm.

O ensaio de prova de carga 02, também executado na condição de umidade natural, foi realizado com aplicação de uma pressão máxima de 70 kPa (capacidade do equipamento), e obteve-se novamente um recalque baixo. Neste caso o valor máximo foi de 3,56 mm. O comportamento da curva pressão versus recalque está representado na Figura 11.

Figura 10 – Curva carga x recalque – Prova de carga 01, solo na umidade natural

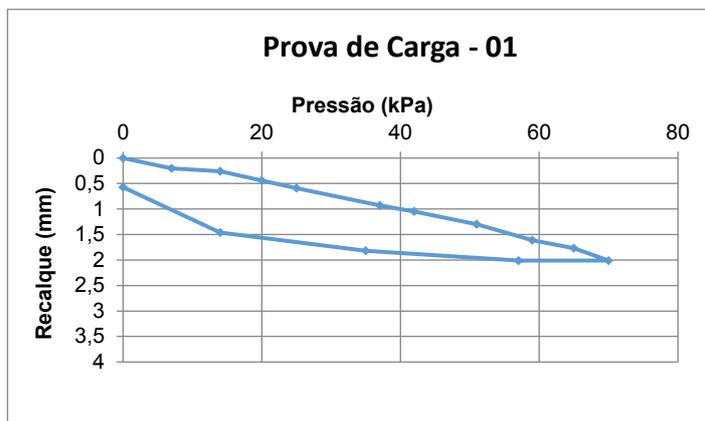
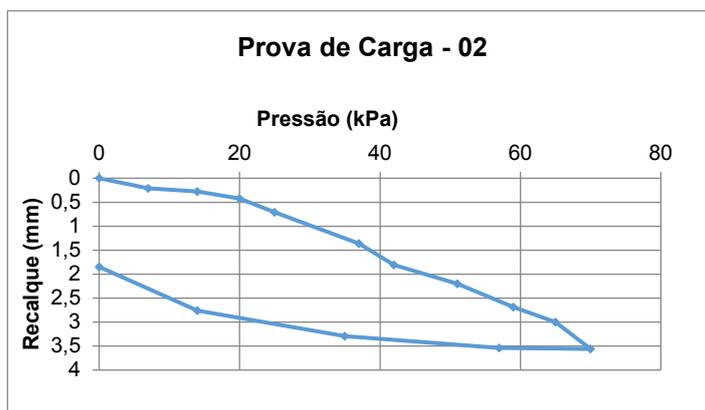
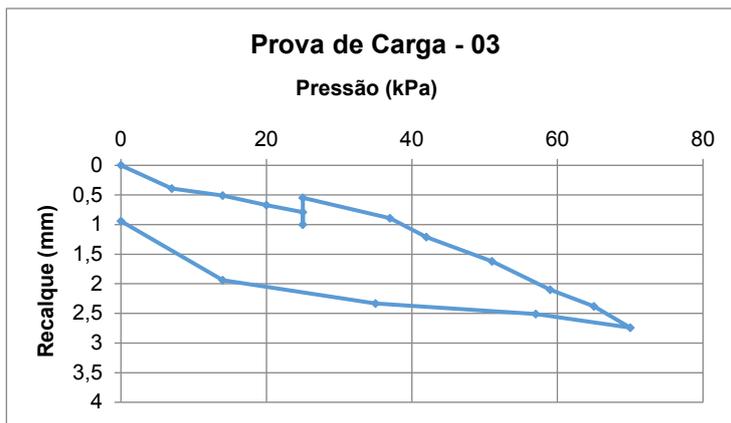


Figura 11 – Curva carga x recalque – Prova de carga 02, solo na umidade natural



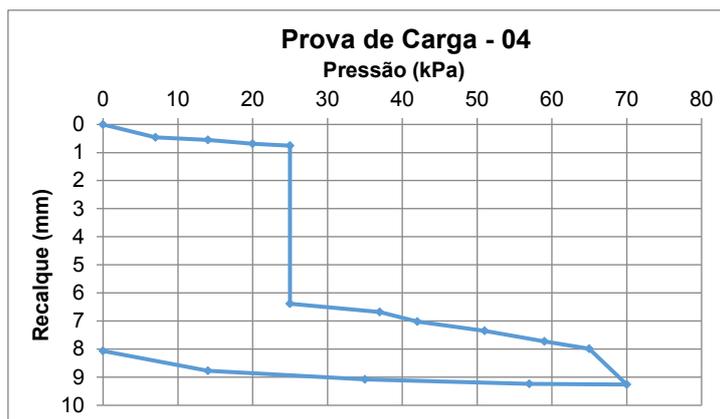
Foram executadas duas provas de carga direta com inundação, mantendo-se o nível de água constante durante todo o ensaio. A Figura 12 apresenta o comportamento da curva pressão *versus* recalque para o ensaio de placa 03 executado com inundação. No ensaio foi aplicada pressão máxima de 70 kPa, obtendo um recalque total de 2,74 mm.

Figura 12 – Curva carga x recalque – Prova de carga 03, com inundação



O gráfico do resultado referente ao ensaio de prova de carga 04, executado com inundação e com a aplicação de uma pressão máxima de 70 kPa, é apresentado na Figura 13. Neste caso, obteve-se um recalque total de 9,26 mm, cujo valor é bastante superior aos máximos recalques obtidos com as provas de carga direta realizadas sem inundação.

Figura 13 – Curva carga x recalque – Prova de carga 04, solo inundado.



Neste caso, foi observado colapso do solo na pressão de 25 kPa que foi provocado pela saturação do solo e estimado em 0,16%. Vale observar que para o cálculo do colapso adotou-se como espessura do solo a profundidade do bulbo de tensão gerado pela placa durante o ensaio.

Assim, pelos resultados das provas de carga, também se observa que o solo apresenta características colapsíveis, confirmando as previsões obtidas a partir dos resultados dos ensaios edométricos duplo.

5 Conclusões

A realização do presente estudo permitiu constatar que os resultados obtidos com a realização dos ensaios edométricos duplo o solo estudado na condição natural pode ser

considerado como potencialmente colapsível e que apesar da atividade do solo ensaiado, classificada como ativa, não foi observado comportamento expansivo no solo ensaiado.

Foi possível observar através dos ensaios edométricos executados em amostras compactadas que o processo de compactação praticamente anulou as características colapsíveis do solo estudado, comprovando ser um procedimento eficaz no tratamento de solos colapsíveis. A realização de ensaios de provas de carga diretas também permitiu identificar o potencial de colapso do solo investigado.

Comparando os resultados das provas de carga realizadas com os resultados dos ensaios edométricos duplo, observam-se estimativas de colapso concordantes e constatou-se ainda que os ensaios edométricos duplos são capazes de indicar, com confiabilidade, situações de colapso em campo.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (POSDEHA), Universidade Federal do Ceará e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Referências

- AFLITOS, A. O.; PEREIRA, J. H. F.; CARVALHO, J. C. de; MENDONÇA, M. B. Projeto formoso A - implantação de obras localizadas com fundações em solos colapsíveis. *Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações*, Salvador, v. 2, p. 101-108, 1990.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. *AASHTO Materials*, Part I, Specifications, Washington, D. C., 1982.
- AGNELLI, N.; ALBIERO, J. H. Aspectos físicos, químicos e mecânicos de um solo colapsível, inundado com diferentes líquidos. *Revista Brasileira de Geotecnia: Solos e Rochas*, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7181 – Solo - Análise Granulométrica*. Rio de Janeiro, 1984a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7180 – Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. Método de Ensaio*, Rio de Janeiro, 1984b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6459 – Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Método de Ensaio*, Rio de Janeiro, 1984c.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7182 – Solo – Ensaio de Compactação. Método de Ensaio*, Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR MB 3366 – Solo – Ensaio de Adensamento Unidimensional*. Rio de Janeiro, 1990.
- CARDOSO DE FREITAS, M. *Avaliação da técnica de melhoria de solos colapsíveis por meio de colunas de solo laterítico compactado*. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação e área de concentração em geotecnia – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2016.
- CINTRA, J. C. A. *Fundações em solos colapsíveis*. São Carlos: Serviço Gráfico da EESC/USP, São Carlos, 116 p., 1998.
- FERREIRA, S. R. M. *Solos Colapsíveis do Nordeste*. Geotecnia do Nordeste, Editora Universitária UFPE, 2005.
- GUTIERREZ, N. H. M.; NÓBREGA, M. M. T.; VILAR, O. M. Influence of the microstructure in the collapse of a residual clayey tropical soil. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Heidelberg, v. 68, n. 1, p. 107-116, 2009.
- IPECE: Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. *Perfil Básico Municipal - Icó*, 2009.
- LIMA, T. L. da S.; RIBEIRO JUNIOR, I. Estudo de Caso com Amostras Indeformadas e Amostras Compactadas em Solos Colapsíveis no Município de Primavera do Leste – MT. *XVI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – COBRAMSEG 2012*, Porto de Galinhas, 2012.
- MELO, C. E. de; BANDEIRA, A. P. N. *Estudo do Colapso dos Solos para Dimensionamento de Fundações Superficiais*. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – COBRAMSEG 2014, Goiânia, 2014.

- MENDONÇA, M. B. Comportamento de Solos Colapsíveis da Região de Bom Jesus da Lapa – Bahia. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1990. (Dissertação de Mestrado).
- MOURA, A. S.; SILVA FILHO, F. C. da; DANTAS NETO, S. A. Estudo do Comportamento de Um Solo Silto Arenoso, Não Saturado, do Campus do Itaperi, em Fortaleza-CE. *VII Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados- ñSAT 2011*, vol. 1, pp 377-382, 2011.
- NELSON, J.; MILLER, D. J. *Expansive Soils: Problems and Practice in Foundation and Pavement Engineering*. John Wiley e Sons, Inc., p. 259, 1992.
- PEREIRA, A. Comportamento mecânico saturado e não saturado de um solo coluvionar de arenito. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 305, 2013.
- PINTO, C. Souza. *Curso Básico de Mecânica dos Solos*, Ed. Oficina de Textos. 2006.
- REGINATO, A. R; FERRERO, J. C. *Collapse Potencial of Soils and Soil Water Chemistry*, Proc. 8th ICSMFE, Moscú, vol. 22, p. 177-180, 1973.
- RIBEIRO JÚNIOR, I.; FUTAI, M. M. Estudo de Caso de um Melhoramento de Solos Colapsíveis com Compactação. *Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – COBRAMSEG 2010*. Gramado. 2010.
- RODRIGUES, R. A.; SOUZA, A.; LOLLO, J. A. Estudo da colapsibilidade dos solos de Ilha Solteira - SP para projetos de fundações rasas e profundas. In: CONG. BRAS. MEC. SOLOS E ENG. GEOTÉCNICA, 12., 2002, [S. l.]. *Anais...* [S. l.: s. n.], 2002. 1 CD-ROM.
- ROLLINGS, K. M.; ROGERS, G. W. Mitigation Measures for Small Structures on Collapsible Alluvial Soils. *Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 120, p. 1533-1553, 1994.
- SILVA, J. M. J. *Solos Expansivos*. Geotecnia do Nordeste, Editora Universitária UFPE, 2005.
- SOUTO SILVEIRA, E. B.; SILVEIRA, A. Low cost shallow foundation. *Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações*, São Paulo, v. 1, p. 327-335, 1963.
- VILAR, O. M.; GAIOTO, N. Comportamento Colapsível de um Solo Laterítico Compactado. *II Simpósio sobre solos não saturados*, v. 1, p. 185-190, Recife, 1994.
- VILLAR, L. F. de S.; GUIMARÃES, R. C.; RODRIGUES, J. K. G.; AZEVEDO, R. F. de; CAMAPUM DE CARVALHO, J. Compactação dos solos: laboratório e campo. In: *Solos Não saturados no contexto geotécnico / José Camapum de Carvalho ... et al. orgs. – São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, 2015.