

# AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS GEOMECÂNICAS DO SOLO DA ÁREA DESTINADA À CONSTRUÇÃO DO CAMPUS DEFINITIVO DA UNIDADE ACADÊMICA DO CABO DE SANTO AGOSTINHO - UFRPE

André Vinícius Melo Couto

## RESUMO

A ABNT (NBR 6502/1995) define solo como “material proveniente da decomposição das rochas pela ação de agentes físicos ou químicos, podendo ou não ter matéria orgânica”. Para classificação do solo e o conhecimento do seu comportamento frente às solicitações, é necessário que se faça a caracterização física e geomecânica através de ensaios de laboratório. Neste contexto, este estudo visa caracterizar o solo da área onde está sendo construído o edifício-garagem do campus definitivo da Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho, situada município do Cabo de Santo Agostinho. Para alcançar estes objetivos foram determinadas as principais características físicas e geomecânicas da amostra de solo através da realização dos ensaios de granulometria, limites de consistência, picnômetro, compactação e adensamento. Obteve-se através dos resultados de granulometria e dos limites de consistência que o solo é classificado como silte inorgânico medianamente plástico, de acordo com o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS). A partir do método do picnômetro obteve-se que a densidade relativa ou real dos grãos é igual a 2,725, concluindo que pode conter minerais como montmorilonita, feldspato e clorita. Através do ensaio de compactação foi possível obter os dados de umidade ótima (23,5%) e a massa específica seca (1,505 g/cm<sup>3</sup>) e o adensamento, proporcionou adquirir o índice de compressão C<sub>c</sub> de 0,066 e de descompressão C<sub>d</sub> de 0,0066 para amostra na umidade ótima, e C<sub>c</sub> de 0,232 e C<sub>d</sub> de 0,046 para amostra saturada, parâmetros importantes para o estudo do recalque do solo.

**Palavras-chave:** Solo, Caracterização, ensaios físicos, ensaios geomecânicos.

## ABSTRACT

The ABNT (NBR 6502/1995) defines the soil as “material from the decomposition of rocks by the action of physical or chemical agents whether or not they have organic matter”. For classification of soil and the knowledge of their behavior against requests it is necessary to characterize it physics and geomechanics through laboratory tests. In this context, this study aims to characterize the soil of the area where the garage building is being built of the definitive campus of the Federal Rural University of Pernambuco - Academic Unit of Cabo de Santo Agostinho. To achieve these goals the main physical and geomechanical characteristics were determined of the soil sample by performing the tests of granulometry, limits of consistency, pycnometer, compaction and densification. It was obtained through the results of granulometry and the limits of consistency that the soil is classified as inorganic silt medium plastic, according to Unified Soil Classification System (USCS). From the pycnometer method it was obtained that the relative or actual density of the grains is equal to 2.725, concluding

that may contain minerals such as montmorillonite, feldspar and chlorite. Through the compression test it was possible to obtain optimum moisture data (23,5%) and the specific dry mass (1,505 g/cm<sup>3</sup>) and the densification, provided allowed to obtain the compression index Cc of 0.066 and Cd decompression of 0.0066 for sample at optimal moisture, And Cc of 0.232 and Cd of 0.046 for saturated sample, important parameters for the study of soil repression.

**Key-words:** Soil, Characterization, physical tests, geomechanical tests.

## 1 INTRODUÇÃO

O solo pode ser considerado um material complexo e multifuncional, desta forma não é simples defini-lo. Como observado por Teixeira et al. (2009), os conceitos de solo variam de acordo com sua utilização, assim, para o engenheiro agrônomo ou para o agricultor, o solo é o meio necessário para o desenvolvimento de plantas. Para o geólogo, o solo é visto como o produto da alteração das rochas na superfície do planeta ou como fonte de matéria prima, enquanto para engenheiro civil é o material que serve para base ou fundação de obras civis. Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2006), o solo é um conjunto de corpos naturais, formado por partes sólidas, líquidas e gasosas, composto por materiais minerais e orgânicos. Já a ABNT (NBR 6502/1995) define solo como “material proveniente da decomposição das rochas pela ação de agentes físicos ou químicos, podendo ou não ter matéria orgânica”. Entretanto, existe uma definição simples que se adapta aos propósitos das ciências da terra, que considera o solo como o produto da decomposição e desintegração da rocha pela ação de agentes atmosféricos. Assim, todos os solos “originam-se da decomposição das rochas que constituíam inicialmente a crosta terrestre” (PINTO, 2006, p.14), essa decomposição pode ser classificada em intemperismo mecânico (mantém a composição mineralógica original da rocha mãe) ou químico (modifica a estrutura mineral das partículas).

O solo, sob o ponto de vista da engenharia, poderá ser utilizado tanto em suas condições naturais quanto como material de construção. Em sua condição natural, será usado como elemento de suporte de uma estrutura. Como material de construção poderá ser usado, principalmente, na construção de aterros para finalidades as mais diversas, como sub-bases e bases de pavimentos sendo, nestes casos, possível dar ao solo as características necessárias e desejadas em cada

projeto (NOGUEIRA, 1988). O solo também poderá ser empregado tanto como elemento de estrutura quanto material em barragens de terra.

Neste contexto, o solo é elemento de grande importância no setor da construção civil, quer no seu estado natural, quer quando utilizado como material de construção, afinal “todas as obras de Engenharia Civil assentam-se sobre o terreno e inevitavelmente requerem que o comportamento do solo seja devidamente considerado” (PINTO, 2006). No entanto, é frequente encontrar solos naturais sem os requisitos necessários para cumprir adequadamente a função a que estão destinados (CRUZ et al., 2010).

O estudo das partes constituintes do solo leva a finalidade de prevenção e adoção de medidas que possam vir a causar possíveis problemas geotécnicos nas obras de engenharia. Segundo Caputo (2016), a determinação da interação terreno-fundação-estrutura vem com a necessidade de evitar recalques prejudiciais ou a possível ruptura do terreno. Feito isso, diversas opções surgem, dentre as quais pode-se citar: a substituição do solo ou até o melhoramento do mesmo com a adição de materiais como cal ou resíduos sólidos de construção civil, a escolha da solução vai de acordo com a particularidade do problema.

Neste estudo para o conhecimento das propriedades e o comportamento do solo, a caracterização física e geomecânica possui grande relevância, dispondo de ensaios geomecânicos para a obtenção de parâmetros que irão auxiliar nesse processo. Dentre esses ensaios podemos exemplificar: análises da granulometria através da obtenção de curvas granulométricas, determinação dos limites de consistência e do teor de umidade em solos finos, ensaios de compactação e determinação da densidade das partículas sólidas.

Os limites de consistência (ou de Atterberg) servem para determinação do comportamento do solo em uma determinada umidade no qual se encontra. Outros ensaios também são de grande importância para o conhecimento do comportamento do solo quando tensões são aplicadas ou aliviadas, como o ensaio de adensamento. Entende-se por adensamento a deformação plástica e a redução do índice de vazios de uma massa de solo em função do tempo e da pressão aplicada. Através deste ensaio é possível determinar diretamente os parâmetros do solo, necessários para o cálculo de recalques, sendo recalque o termo utilizado em Engenharia Civil para

designar o fenômeno que ocorre quando uma obra sofre um rebaixamento devido ao adensamento do solo sob sua fundação.

Diversos estudos já foram realizados para a caracterização dos solos na Região Metropolitana do Recife (RMR). No município do Cabo de Santo Agostinho existem diversos tipos de solos que podem ser encontrados. Segundo Assis (1999), os solos do Cabo de Santo Agostinho encontram-se nas classes:

- GL3: associação de gleissolos de textura argilosa e solos aluviais de textura média a argilosa que se desenvolvem em relevo plano e correspondem à maioria das aluviões da região;
- SM (solos de mangue): desenvolvidos em áreas de relevo plano com vegetação de mangue e textura argilosa;
- TR (terra roxa): corresponde aos solos provenientes da alteração de rochas vulcânicas;
- PV e LA (podzólico vermelho amarelo e latossolo amarelo): ocorrem no relevo ondulado do embasamento cristalino;
- AM: areias marinhas, associadas com podzol, típicas de relevo plano e vegetação de restinga, correspondentes às áreas dos terraços marinhos holocênicos e pleistocênicos e as areias de praia.

Para este presente estudo de caracterização foi escolhido o solo da área onde está sendo construído o edifício-garagem do campus definitivo da Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho, situada no bairro da Charneca, município do Cabo de Santo Agostinho, com a finalidade de comparar os dados obtidos com os dados disponibilizados pela empresa. Neste contexto, visa-se determinar as principais características físicas e geomecânicas da amostra de solo através dos ensaios de granulometria, limites, picnômetro, compactação e adensamento para determinação do possível recalque que a amostra pode sofrer.

## 2. METODOLOGIA

A metodologia aplicada para se atingir os objetivos mencionados constou das seguintes etapas.

### 2.1. Área de Estudo

A Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho está sendo construída no endereço Gleba 4<sup>a</sup>, s/n, Sul da antiga Linha Férrea da Rede Ferroviária Federal entre os engenhos Santa Rosa e Caeté, local de alto relevo onde inicialmente não havia nenhum tipo de construção. O empreendimento foi dividido em 2 fases, na fase 1 (atual) está sendo construído a biblioteca, o prédio administrativo, o restaurante universitário, dois prédios de residência estudantil, um prédio de sala de aula, um de laboratório sujo, a sala dos professores e o estacionamento edifício-garagem (Figura 1).

**Figura 1: Fase da obra para construção do novo Campus da UACSA, julho de 2017.**



**Fonte: Construtora Pottencial (2017)**

### 2.2. Coleta de amostras e dados geotécnicos

Para o desenvolvimento da pesquisa, uma amostra de solo foi coletada na área onde será construído o estacionamento edifício-garagem do Campus da UACSA (Figura 2). A construção deste prédio encontra-se na fase de execução da fundação (Figura 3a). A coleta foi realizada a partir de uma visita de campo na área selecionada, onde foram retiradas amostras deformadas para caracterização física dos solos e ensaio de adensamento. Mediante escavação com o auxílio de

ferramentas manuais (Figura 3b), o solo foi extraído de uma área aleatória e acondicionado em sacos de náilon em quantidades suficientes para análise, sendo posteriormente vedados e transportados até o Laboratório de Solos e Instrumentação da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), onde foram realizados os ensaios.

**Figura 2: Planta de locação da obra com destaque ao local de onde foi retirada a amostra**



**Fonte: Autor (2017)**

**Figura 3: Procedimentos de obtenção da amostra**



**a) Disposição das armaduras de uma das sapatas**

**b) Coleta das amostras**

**Fonte: Autor (2017)**

Durante a visita técnica também foi possível obter informações geotécnicas do solo em estudo, através do relatório técnico emitido pela empresa responsável pela avaliação geotécnica da área e das fundações da obra. Assim como, foram obtidos os perfis de sondagens da área onde foi realizada a coleta do solo.

## 2.3. Procedimentos experimentais

### 2.3.1. Determinação da granulometria

Para a determinação da granulometria do solo foram seguidos os procedimentos citados na NBR 7181 (2016). Para este ensaio, a amostra de solo foi inicialmente seca ao ar, sendo posteriormente determinada a umidade higroscópica. Pesou-se 1000g da amostra para realização das etapas do peneiramento e sedimentação. Na parte do ensaio relacionada à sedimentação das partículas, foram analisadas amostras do solo com e sem defloculante (Figura 4).

Este ensaio de granulometria tem como objetivo a obtenção da curva granulométrica, a identificação da granulometria das partículas finas do solo, a comparação dos resultados de sedimentação das partículas com e sem o uso de defloculante, e por fim a verificação dispersividade do solo.

**Figura 4: Provetas com o solo durante a etapa da sedimentação. A da esquerda contém a amostra com defloculante e a da direita contém a sem defloculante.**



Fonte: Autor (2017)

### 2.3.2. Determinação dos limites de liquidez e plasticidade

O ensaio para a determinação do limite de liquidez foi realizado seguindo o procedimento normatizado pela NBR 6459 (2016), através do aparelho de Casagrande e a determinação do limite de plasticidade de acordo com a NBR



7180 (2016). A amostra de solo utilizada nestes ensaios foi obtida através do peneiramento do solo por uma peneira nº 40, ou seja, de 0,42mm. Nas Figuras 5 e 6 estão apresentadas alguns dos procedimentos que foram realizados durante os ensaios.

**Figura 5: Procedimentos de determinação do limite de liquidez**



**(a) Preparação da amostra para o ensaio**



**(b) Aparelho de Casagrande com amostra**

**Figura 6: Procedimentos de determinação do limite de plasticidade**



**(a) Preparação da amostra para o ensaio**



**(b) Realização do ensaio**

Fonte: Autor (2017)



### 2.3.3. Ensaio do Picnômetro

Este ensaio, normatizado pela NBR 6508 (1984), tem o objetivo de determinar a densidade real das partículas ( $\delta$ ) da amostra coletada. Tomou-se uma amostra de solo que foi seco em estufa por aproximadamente 24h e passa pela peneira de 2,0mm. Da parcela que passou pela peneira, tomou-se 10g de solo para o ensaio. Pesou-se o picnômetro limpo e seco (P1). Logo após, colocou-se 10g de solo dentro do picnômetro com o auxílio do funil, procedendo então a sua pesagem (P2).

Posteriormente, adicionou-se água destilada até cobrir a amostra com excesso e em seguida foi colocada na bomba de vácuo por quinze minutos para a retirada do ar. Logo após esse processo, adicionou-se água até completar o topo do picnômetro, em seguida pesou-se o conjunto (P3) e foi registrada a temperatura do conteúdo. Por fim, removeu-se o conteúdo do picnômetro, enchendo-o completamente com água destilada seguido da pesagem do conjunto (P4). Esse procedimento foi repetido duas vezes para se obter uma média que representasse o peso específico dos grãos. A densidade real das partículas do solo é um número adimensional determinado pela seguinte equação:

$$\delta = \frac{2 - 1}{(4 - 1) - (3 - 2)}$$

Equação 1: Densidade real das partículas

### 2.3.4. Ensaio de Compactação

Para a obtenção da umidade ótima e do peso específico seco máximo do solo foi realizado o ensaio de compactação Proctor Normal com reuso de material. Entende-se por compactação de um solo “a redução rápida do índice de vazios por meio de processos mecânicos, face à compressão ou expulsão do ar dos poros” (MASSAD, 2016). Normatizado pela NBR 7182 (2016), este ensaio tem como finalidade a construção de um gráfico onde se relaciona teor

de umidade e peso específico aparente seco de solos quando compactados. A amostra foi preparada previamente sendo deixada ao ar livre para ser seca até atingir a umidade higroscópica, logo após foi separada em uma quantidade de 3kg e disposta em uma bandeja metálica onde será feito o peneiramento na peneira nº 4 (4,8mm) e em seguida o destorroamento dos torrões presentes. Na Figura 7 estão apresentadas as etapas realizadas neste ensaio.

**Figura 7: Procedimento do ensaio de compactação**



Fonte: Autor (2017)

Logo após, a amostra é disposta no cilindro, sendo colocada em três camadas. A cada camada foi realizada a compactação por meio de um soquete de 2,5kg dotado de um dispositivo de controle de altura de queda de 30,5cm, causando uma energia de compactação na camada em questão. O mesmo processo foi repetido para as duas camadas posteriores, realizando-se ranhuras na superfície das camadas para a melhor aderência entre elas.

Feito isso, o colarinho do cilindro foi retirado e realizou-se o nivelamento da amostra com a superfície do cilindro com o auxílio de uma espátula, pesou-se o conjunto cilindro-amostra e logo após, com o auxílio de um extrator, retirou-se o corpo de prova do molde. Este foi cortado ao meio para a retirada de pequenas amostras que serão utilizadas para a determinação da umidade

em que o corpo de prova se encontra, essas amostras foram dispostas em cápsulas pesada anteriormente (duas para cada corpo de prova moldado) e então foi pesado o conjunto cápsula-amostra, em seguida as cápsulas são levadas para a estufa que se encontra a 110°C por 24 horas. Todo este procedimento foi repetido cinco vezes, e a cada início de moldagem do corpo de prova foi adicionado água, para a obtenção de cinco pontos do gráfico, sendo dois do ramo seco, um próximo a umidade ótima e dois no ramo úmido da curva de compactação.

### 2.3.5. Ensaio de Adensamento

Para o ensaio de adensamento foi utilizado uma célula modificada onde, além de medir as tensões verticais, também é medido as tensões horizontais. A célula foi construída por Lins (2014) e adaptada por Galindo (2016) na Universidade Federal de Pernambuco, sendo feita de uma liga de bronze-alumínio, com um anel de confinamento de 7cm de diâmetro e sua altura reduzida de 8cm para 4cm, conforme apresentada na Figura 8. As deformações são medidas por meio de extensômetros: LVDT (verticais) e strain gages (horizontais).

Neste ensaio foram utilizados dois tipos de amostras com uma altura de 3,5cm, sendo uma na umidade ótima e outra saturada, estas foram dispostas na célula edométrica modificada, que foi instalada na prensa de adensamento. Devido ao solo coletado ter sido proveniente de amostras amolgadas, os corpos de prova tiveram que ser compactados até atingir as dimensões necessárias para a realização do ensaio. Os extensômetros foram ajustados e ligados a um computador, onde um programa de medição de dados da célula estava instalado. No decorrer do ensaio foram sendo adicionadas cargas na prensa de adensamento da ordem de 10, 20, 40, 80, 160 e 300KPa, e foram sendo acompanhadas as deformações verticais até elas estabilizarem, foi utilizado a seguinte fórmula para o critério de parada do próximo peso:

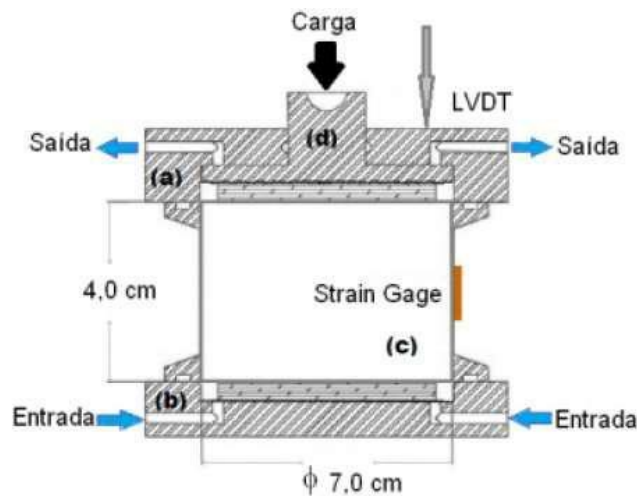
$$\left( \frac{\Delta e}{e} \right) * 0,05 < \left( \frac{\Delta e}{e} \right)$$

Equação 2: Critério de parada do ensaio de adensamento

Onde: L1 = Primeira leitura ; Ln = Última leitura

Logo após todo o carregamento ter sido concluído, foi realizado o descarregamento da prensa, retirando as cargas da mesma forma que foram dispostas. O intervalo de tempo entre um descarregamento e outro foi de 4 minutos.

Figura 8: Esquema da célula edométrica modificada composta por (a) parte superior e (b) inferior, (c) cilindro de confinamento da amostra, e (d) pistão para aplicação da carga



Fonte: Galindo (2016)

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Caracterização física do solo da área de estudo.

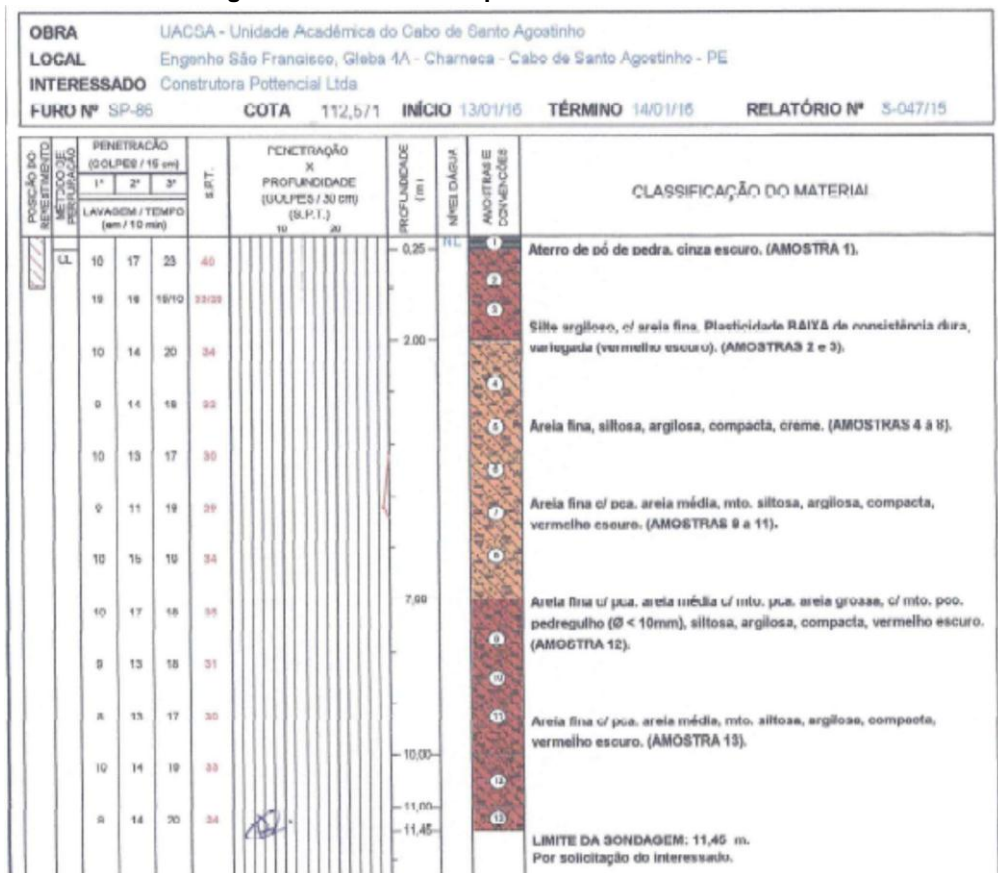
##### 3.1.1 Furo de Sondagem

A empresa responsável pelo estudo do solo realizou a extração de amostras indeformadas do local e, por meio dos devidos ensaios, caracterizou o solo de área como um silte argiloso de baixa plasticidade e, através da análise de furos de sondagem SPT, chegou à conclusão que pudesse fazer uso de fundação direta, pois o solo apresenta pressões expansivas menores que 20kPa e um colapso máximo de 2% para uma sobrecarga de 50kPa,

concluindo-se que este solo não apresenta propriedades expansivas ou de colapso relevantes.

Na Figura 9 está apresentado o resultado de um furo sondagem, SP-86, realizado na área próximo ao local onde foram coletadas as amostras para este estudo. Este resultado foi disponibilizado pela empresa responsável pela obra que estava sendo realizada na área. A partir deste furo de sondagem é possível verificar que até 2m o solo corresponde a um silte argiloso com areia fina e baixa plasticidade, de 2 a 7m é uma areia fina com silte e argila e de 7 a 10m é uma areia fina com areia média, grossa e pouco pedregulho.

Figura 9: Furo de sondagem realizado na área próximo ao local onde foram coletadas as amostras.



Fonte: Construtora Pottencial (2017)

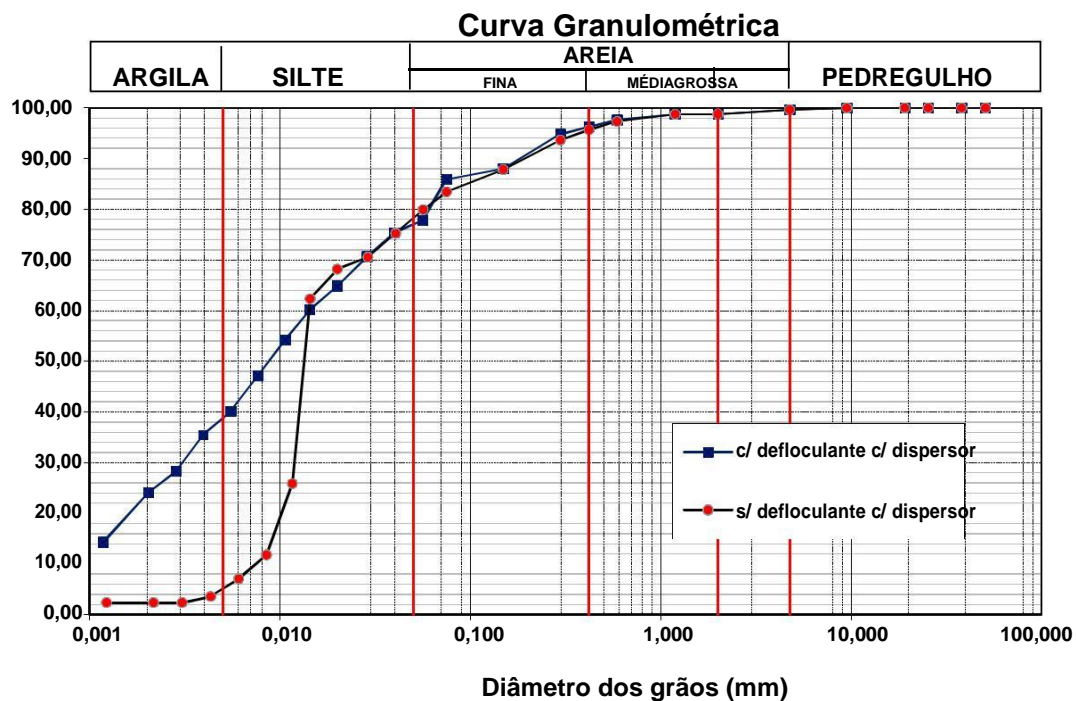
### 3.1.2 Ensaio de Granulometria - Peneiramento e Sedimentação

Na Figura 10, estão apresentadas as curvas granulométricas do solo em estudo, com e sem defloculante. Através da curva granulométrica com o uso de

defloculante é possível verificar as frações do solo, que foram: pedregulho 0%, areia grossa 1%, areia média 3%, areia fina 20%, silte 41% e argila 39%.

A partir desta curva granulométrica é possível verificar que a amostra estudada tem característica de um solo fino, silte e argila, com pouca areia fina. Desta forma, é necessário classificar o solo de acordo com o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) e com os resultados dos ensaios dos limites de consistência, visto que é um solo com alta porcentagem de finos.

Figura 10: Curva Granulométrica



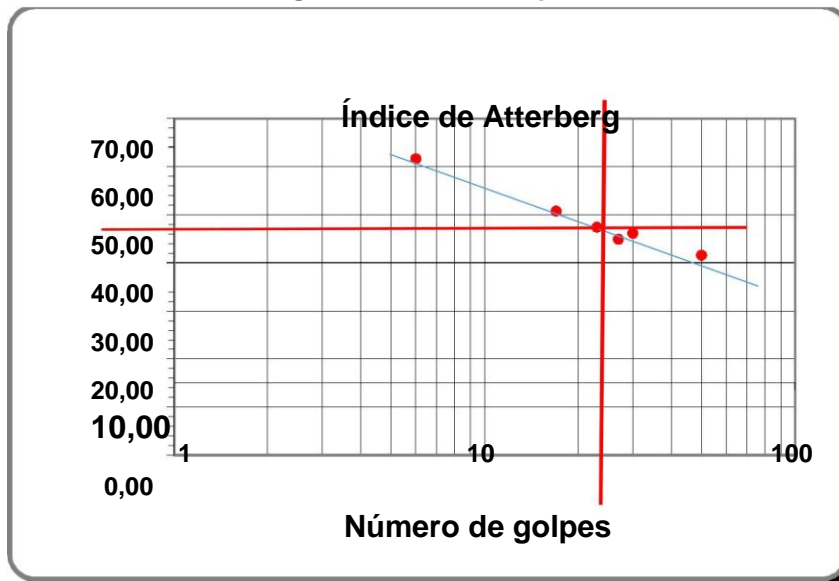
Fonte: Autor (2017)

O material preparado com defloculante (hexametáfosfato de sódio) sedimentou de forma mais lenta quando comparado à amostra sem defloculante, esta ação é justificada, pois o defloculante tem a função de dispersar as partículas, evitando que as mais finas se unam entre si ou às mais grossas. Analisando a curva granulométrica, observa-se que as curvas das amostras com e sem defloculante variam quanto ao seu comportamento. Na amostra sem defloculante nota-se que a fração de argila corresponde a apenas 2%, isso pode indicar que houve aglomeração das partículas mais finas do solo.

### 3.1.3 Ensaio de limite de Plasticidade e Liquidez

Na Figura 11, está apresentado o resultado do ensaio de Limite de Liquidez para o solo estudado. De acordo com os resultados obtidos através dos ensaios para determinação dos Limites de Consistência do Solo verificou-se que o Limite de liquidez foi de 47% e o limite de plasticidade do solo foi de 35,34%.

Figura 11: Limite de liquidez



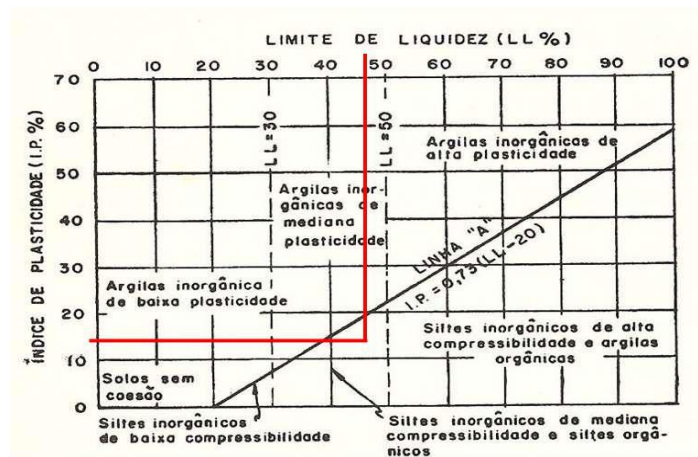
Fonte: Autor (2017)



Para determinar o índice de plasticidade (IP) subtraímos o limite de plasticidade (LP) do limite de liquidez (LL) chegando ao valor de 11,66. Segundo Caputo (2016), os solos podem ser classificados quanto ao seu IP como fracamente plásticos ( $1 < IP < 7$ ), medianamente plásticos ( $7 < IP < 15$ ) e altamente plásticos ( $IP > 15$ ). Nesta classificação, o solo utilizado nesse estudo encontra-se na faixa de medianamente plástico.

Para classificar o solo de acordo com o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), como o solo possui uma alta porcentagem de finos, utilizou-se a carta de plasticidade de Casagrande. De posse dos resultados de LL e IP, vê-se a área do gráfico de plasticidade de Casagrande que corresponde aos dados obtidos (Figura 12).

Figura 12: Gráfico de Plasticidade de Casagrande



Fonte: Autor (2017)

Segundo o gráfico de plasticidade de Casagrande, o solo encontra-se na área que condiz com siltes inorgânicos de mediana compressibilidade, que na nomenclatura do SUCS é representado por ML. Utilizando outro sistema de classificação, agora o *Highway Research Bord* (HRB) que é bastante utilizado na parte rodoviária, o solo é considerado fino, pois mais que 35% passaram na peneira nº 200. Analisando o IP, o LL e o LP do solo, chega-se ao resultado de que o solo é uma argila plástica de alta compressibilidade, ou seja, o solo encontra-se no subgrupo A-7-5 da classificação.

Estes resultados estão de acordo com os dados fornecidos pela empresa responsável executora da obra do Campus da UACSA. Neste documento, o limite de liquidez do solo foi de 49%, o limite de plasticidade foi de 33% e o Índice de Plasticidade de 11,66 para o solo próximo da área onde foi coletado o solo para esta pesquisa. Comparando esses valores com os obtidos através dos ensaios, verifica-se

que os mesmos estão próximos dos fornecidos pela empresa, podendo afirmar que os procedimentos foram realizados de forma correta.

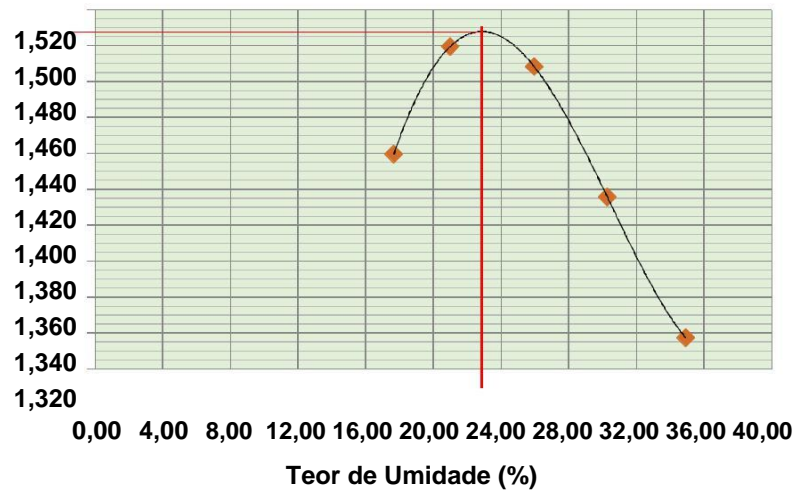
#### **3.1.4 Ensaio do picnômetro**

A partir do ensaio de picnômetro obteve-se que a densidade relativa ou real dos grãos é igual a 2,725. Segundo Caputo (2016), o valor da densidade depende da composição mineralógica do grão. Este parâmetro diminui para os solos que contém elevado teor de matéria orgânica e cresce para teores mais altos de óxidos de ferro. De acordo com Das (2014), este solo tem frações que pode conter montmorilonita, feldspato sódico e cálcico ou clorita, porém para confirmar esta composição deve ser realizada a caracterização mineralógica do solo.

#### **3.2 Ensaio de compactação**

Com os resultados obtidos no ensaio de compactação, foi possível a construção da curva de compactação representada na Figura 13. A partir deste gráfico podemos concluir que a umidade ótima ( $W_{ot}$ ) do solo é de 23,5% e a massa específica seca máxima é de 1,505 g/cm<sup>3</sup>. De acordo com Pinto (2006), os solos siltosos e argilosos apresentam densidades secas baixas (1,4 a 1,5 g/cm<sup>3</sup>) e umidades ótimas elevadas (25 a 30%). Desta forma, pode-se notar que, sendo o solo classificado como silte argiloso, os valores encontrados estão dentro da faixa ou próximos a ela.

**Figura 13: Curva de compactação  
Ensaio de Compactação**



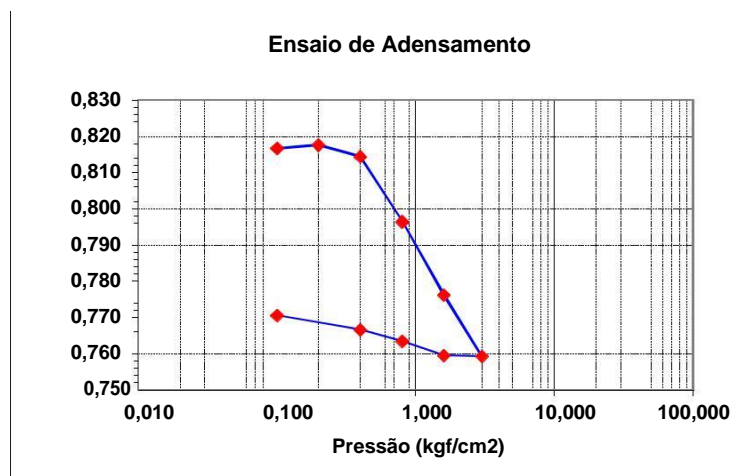
Fonte: Autor (2017)

Esta massa específica e a umidade ótima foram adotadas para preparação do corpo de prova para os ensaios de adensamento.

### 3.3 Resultados do ensaio de adensamento

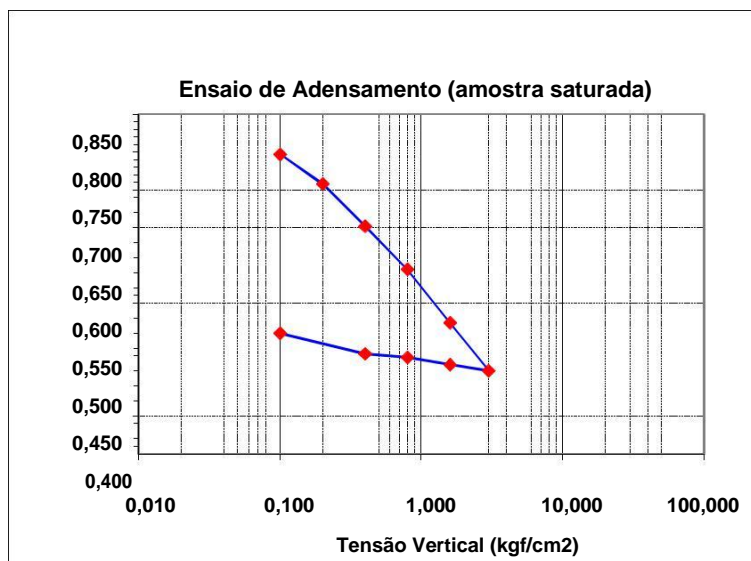
Através dos ensaios de adensamento realizado com as amostras moldadas na umidade ótima e para a amostra saturada, obtiveram-se as curvas apresentadas nas Figuras 14 e 15.

**Figura 14: Índice de vazios vs Tensão Vertical (umidade ótima)**



Fonte: Autor (2017)

Figura 15: Índice de vazios vs Tensão Vertical (saturada)



Fonte: Autor (2017)

Analisando as curvas de adensamento (Figuras 14 e 15), verifica-se que para amostra compactada na umidade ótima, o solo apresentou um comportamento de pré-adensamento, e para a amostra compactada na umidade ótima e posteriormente saturada, o solo apresentou uma característica de normalmente adensado. Percebe-se esse comportamento, analisando as curvas de adensamento, pois a amostra na umidade ótima apresentou uma área de recompressão (parte inicial do gráfico) mais significativa que o gráfico da amostra saturada.

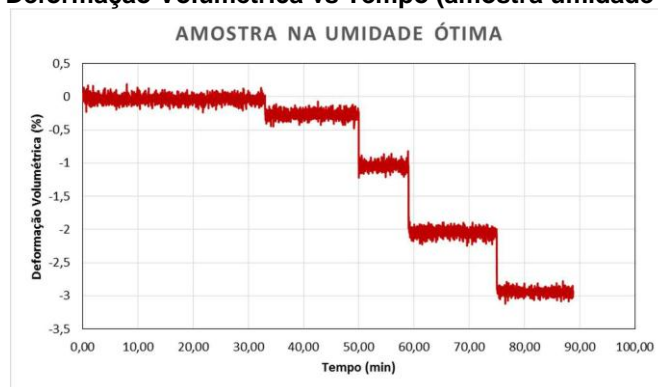
Porém, estas características são aproximadas, visto que o corpo de prova estudado foi proveniente de uma amostra amolgada. Para amostra compactada na umidade ótima, considerada pré-adensada, possível obter uma Tensão de Pré-adensamento pelo método de Casagrande próxima a  $0,4 \text{ kgf/cm}^2$ . É possível também verificar uma redução no índice de vazios para as amostras estudadas, variando de um índice de vazios inicial de 0,82 para 0,76 para amostra na umidade ótima, e para 0,51 para amostra saturada. Observando assim, uma maior deformação na amostra saturada.

Através das curvas de adensamento foi possível determinar os parâmetros necessários para análise de recalque do solo, como o índice de compressão ( $C_c$ ),

que corresponde a área mais central do gráfico, e descompressão (Cd), correspondente a área inferior do gráfico, sendo encontrado para amostra na umidade ótima um Cc de 0,066 e Cd de 0,0066, e para amostra saturada um Cc de 0,232 e Cd de 0,046. Estes valores foram obtidos através da subtração entre dois pontos de índices de vazios dividido pela subtração entre dois pontos de tensões conhecidas, equivalente à parte do gráfico no qual queremos analisar.

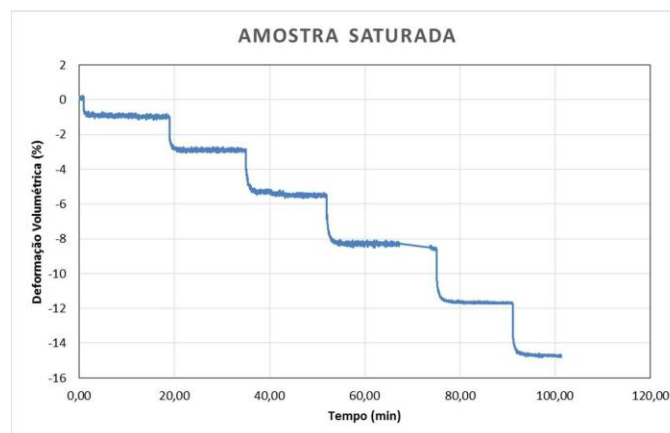
Nas Figuras 16 e 17, estão apresentadas a deformação volumétrica com relação ao tempo para amostra na umidade ótima e saturada, respectivamente. É possível observar que para a amostra ensaiada na umidade ótima a deformação máxima foi de 3%, enquanto para a amostra saturada a deformação máxima foi de 15%. Este fato é justificado, devido ao processo de saturação contribuir para diminuir o entrosamento entre as partículas e sua coesão e, conseqüentemente, sua resistência, facilitado o processo de deformação.

**Figura 16: Deformação Volumétrica vs Tempo (amostra umidade ótima)**



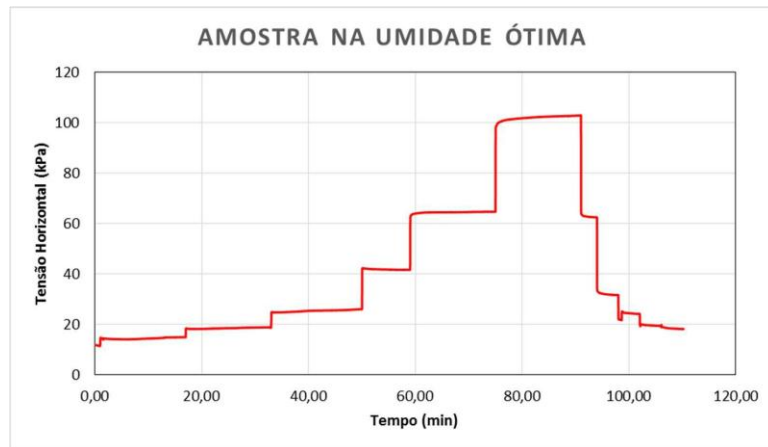
Fonte: Autor (2017)

**Figura 17: Deformação Volumétrica vs Tempo (amostra saturada)**

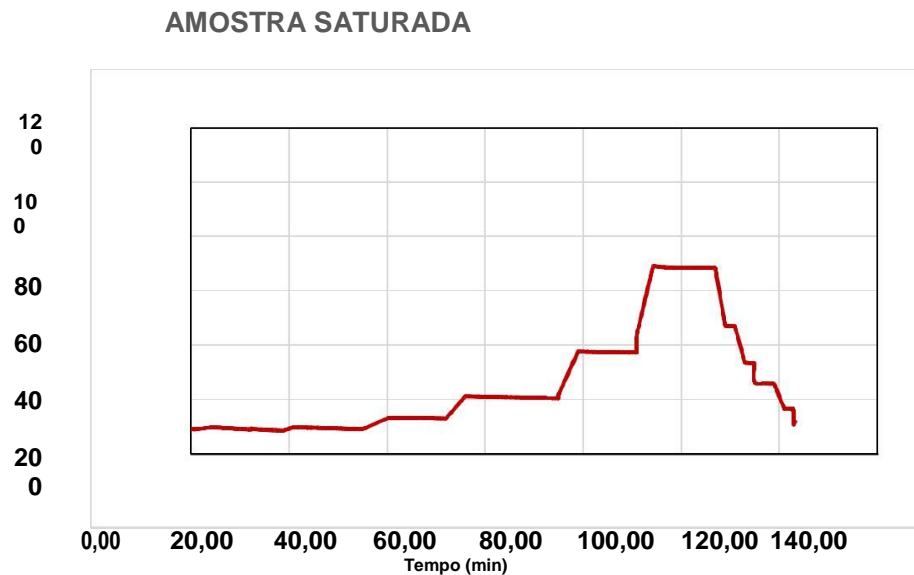


Nas Figuras 18 e 19, verifica-se o comportamento da tensão horizontal com relação ao tempo das amostras estudadas. Observa-se que ocorreu um aumento desta tensão devido ao processo de carregamento e posteriormente uma diminuição devido ao descarregamento, como era o esperado.

**Figura 18: Tensão Horizontal vs Tempo (amostra na umidade ótima)**



Fonte: Autor (2017)



Fonte: Autor (2017)

**Figura 19:  
Tensão  
Horizontal  
vs Tempo  
(amostra  
saturada)**

## 4 CONCLUSÃO

Com base nos ensaios de caracterização física e geomecânica do solo foi possível verificar que o solo coletado para a realização deste estudo é considerado um solo fino, com presença de silte (41%) e argila (39%), composto ainda de uma fração de areia fina (20%). De acordo com os limites de consistência obtidos, o solo é considerado medianamente plástico e, segundo o gráfico de plasticidade de Casagrande, classifica-se como siltes inorgânicos de mediana compressibilidade, que na nomenclatura do SUCS é representado por ML, porém na classificação HRB, a amostra de solo está classificada como argila plástica de alta compressibilidade.

No ensaio do picnômetro obteve-se uma densidade real dos grãos de 2,725, o que se leva a concluir que podem conter minerais como montmorilonita, feldspato sódico e cálcico ou clorita em sua composição mineralógica. Pela compactação, adquiriu os dados de umidade ótima igual a 23,5% e a massa específica seca igual a 1,505 g/cm<sup>3</sup> que, segundo estudos anteriores, estão próximos às faixas de valores determinadas para este tipo de solo.

Através do ensaio de adensamento, foi possível determinar o índice de compressão, Cc de 0,066 e descompressão, Cd de 0,0066 para amostra na umidade ótima e Cc de 0,232 e Cd de 0,046 para amostra saturada. Estes valores são parâmetros importantes para o estudo do recalque que o solo pode sofrer em determinadas situações. Assim como, foi possível verificar pelo ensaio de adensamento que para a amostra ensaiada na umidade ótima a deformação máxima foi de 3%, enquanto para a amostra saturada a deformação máxima foi de 15%.

A partir deste estudo, constata-se que o solo analisado apresenta características de um solo com alta resistência, e dependendo do nível de tensões a ser aplicado, pode-se fazer uso de fundações diretas. Conclui-se também que é de grande importância a realização da caracterização do solo para o entendimento de suas propriedades e seu comportamento quando cargas são aplicadas, para assim poder avaliar situações no campo, como problemas de recalque.



## REFERÊNCIAS

- ASSIS, Hortência Maria Barboza de. **Cartografia geomorfológica do Município do Cabo de Santo Agostinho/PE**. Recife: CPRM/FIDEM, 1999. Disponível em: <[http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/17368/rel\\_geomorfologia\\_cabo\\_snt\\_agostinho.pdf?sequence=1](http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/17368/rel_geomorfologia_cabo_snt_agostinho.pdf?sequence=1)>. Acessado em: 19 Jul 2017.
- ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas **NBR 6459**. Solo – Determinação do limite de liquidez, 2016.
- \_\_\_\_\_. **NBR 6502**. Rochas e solos, 1995.
- \_\_\_\_\_. **NBR 7180**. Solo – Determinação do limite de plasticidade, 2016.
- \_\_\_\_\_. **NBR 7181**. Solo – Análise granulométrica, 2016.
- \_\_\_\_\_. **NBR 7182**. Solo – Ensaio de compactação, 2016.
- CAPUTO, Homero Pinto. CAPUTO, Armando Negreiros. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações**, vol. 1 – 7ª edição. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2016.
- CRUZ, M. JALALI, S. **Melhoramento do desempenho de misturas solo-cimento**. In: CONGRESSO NACIONAL DE GEOTECNIA, XII. Guimarães, 2010.
- DAS, Braja M. SOBHAN, Khaled. **Fundamentos da Engenharia Geotécnica**. Traduzido por Noveritis do Brasil. São Paulo: Cengage Learning, 2014.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos** – 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006.
- GALINDO, Katia Botelho Torres et al. **Estudo Experimental das Tensões e Deformações de uma Rocha Carbonática Sintética Durante a Dissolução Química**. Minas Gerais: SBMR, 2016.
- LINS, C.M.M.S. **Desenvolvimento de uma célula edométrica para estudo da evolução da tensão horizontal durante a dissolução química**. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, Brasil, 2014.
- MASSAD, Faïçal. **Mecânica dos Solos Experimental**. 1. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2016.
- NOGUEIRA, J. B. **Mecânica dos solos**. São Carlos: EESC-USP, publicação 03-88, São Carlos, 1988.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas** – 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

TEIXEIRA, Wilson. FAIRCHILD, Thomas Rich. TOLEDO, M. Cristina Motta de. TAIOLI, Fabio. **Decifrando a Terra** – 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.