



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**IVO DE CASTRO CARVALHO**

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA COMPACTAÇÃO EM ESCALA REDUZIDA**  
**NA DEFORMABILIDADE DE SOLOS ARENOSOS**

**FORTALEZA**

**2022**

**IVO DE CASTRO CARVALHO**

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA COMPACTAÇÃO EM ESCALA REDUZIDA NA  
DEFORMABILIDADE DE SOLOS ARENOSOS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Rosiel Ferreira Leme.

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- C323a Carvalho, Ivo de Castro.  
Avaliação da influência da compactação em escala reduzida na deformabilidade de solos arenosos / Ivo de Castro Carvalho. – 2022.  
96 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2022.  
Orientação: Prof. Dr. Rosiel Ferreira Leme.
1. Compactação de solos. 2. Adensamento de solos. 3. Deformabilidade. 4. Compactação em escala reduzida. I. Título.

CDD 620

---

IVO DE CASTRO CARVALHO

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA COMPACTAÇÃO EM ESCALA REDUZIDA NA  
DEFORMABILIDADE DE SOLOS ARENOSOS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: 18/02/2022.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Rosiel Ferreira Leme (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

MSc. Amanda Vieira Hohn  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dr. Roberto Antônio Cordeiro da Silva  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

## AGRADECIMENTOS

A minha avó, Eline, por nunca ter medido esforços para me auxiliar e me dar a melhor condição de vida possível. Muito obrigado por todo o apoio, conselhos e companheirismo. Obrigado por ser um exemplo de ser humano, de gentileza, empatia e por sempre me ensinar muita coisa que me faz uma pessoa melhor a cada dia.

Aos meus pais, Débora e Olney, por terem sempre demonstrado apoio incondicional as minhas decisões e sempre estarem presentes (mesmo que de longe) na minha vida.

Ao restante da minha família que sempre demonstra muito carinho e companheirismo e me apoia em todas as jornadas. Em especial aos meus irmãos Pedro e Lorenzo, minha vó Nancy e minha tia Cláudia.

À Marina Braga, por ter me acompanhado durante todo o ano e todo o processo de elaboração do trabalho. Muito obrigado por todo o apoio incondicional, pelos momentos vividos, risadas e conselhos, tenho muita admiração por você e sou muito grato de ter você comigo nesse momento ímpar. Um agradecimento especial a sua família que me acolheu tão bem durante esse ano.

À melhor panelinha que eu poderia ter conhecido na vida, com quem compartilhei todos os momentos da graduação, Rodrigo Forti, Carlos Nelton, Lia Gomes, Lissa Ito, Rafaela Machado, Francisco José, Vinicius Albuquerque, Hermano Fontenele e Lucas Feijó. Agradeço por todo o aprendizado e pela evolução pessoal e profissional que tivemos durante esses anos e um obrigado especial por terem me permitido ter uma experiência de universidade tão boa ao lado de vocês.

Aos meus irmãos de vida, Vitor Varoni, João Victor Vieira, Vinicius Pinheiro, Vinicius Correia, João Pedro Sobreira, Ananias Bezerra, Anderson Áfio, Danilo Tamurejo, Davi di Castro, David Melo, Francisco Gabriel e Domingos Sávio, que sempre estão comigo pra todas as situações desde o início, e que me ajudaram muito durante todo o processo. Obrigado por todos os momentos.

Ao professor Rosiel Ferreira por ter me auxiliado e me ajudado muito durante todo o processo de elaboração do trabalho e que deu o máximo de si para me ajudar em todas as circunstâncias.

Aos integrantes da banca de defesa, Amanda Vieira e Roberto Antônio Cordeiro por aceitarem participar deste momento único da minha graduação, obrigado!

## RESUMO

A compactação de solos é um processo muito utilizado nos dias atuais que consiste basicamente na diminuição dos índices de vazios de amostras de solos por meio da aplicação de cargas estáticas ou dinâmicas, podendo ser aplicada em campo ou realizada em laboratório, com o intuito de melhorar as propriedades mecânicas do solo, tais como: resistência, permeabilidade e deformabilidade. A avaliação das propriedades mecânicas supracitadas é feita normalmente em laboratório, através de ensaios especiais. Em situações em que existe pouca quantidade de solo disponível, os ensaios podem ser feitos em amostras compactadas diretamente no aparato do equipamento, como por exemplo no anel de adensamento, na caixa de cisalhamento ou até mesmo no próprio permeâmetro. Normalmente essa compactação das amostras a serem ensaiadas se dá através de um controle de densidade e umidade, mas sem controle da energia de compactação, podendo essa distribuição não padronizada de energia afetar diretamente os parâmetros geotécnicos em análise. Esta pesquisa tem como objetivo principal a análise da influência do tipo de compactação na deformabilidade do solo, mais especificamente avaliando resultados de ensaio de adensamento unidimensional, comparando os dados encontrados para compactação Proctor, convencionalmente utilizada em laboratórios, e para a compactação em escala reduzida sem controle de energia. O estudo foi realizado com solos arenosos coletados nos Estados do Piauí e Rio Grande do Norte, no ano de 2021. Os solos passaram por caracterização e, posteriormente, foram compactados em suas respectivas umidades ótimas, utilizando dois métodos de compactação diferentes para, em seguida, serem submetidos aos ensaios de adensamento. Os resultados indicaram que existe influência da compactação em escala reduzida no que tange a deformabilidade dos solos arenosos estudados, uma vez que foi possível obter-se uma variação média de recalques de 24,53% para solos compactados em escala reduzida em relação a solos compactados pelo método Proctor, chegando a alcançar um percentual de diferença de 32,18%. Além disso, obtiveram-se resultados de expansão muito semelhantes, com esse percentual subindo para 26,43%, com diferenças de expansão chegando a mais de 50% em uma das amostras.

**Palavras-chave:** Compactação de solos; Adensamento de solos; Deformabilidade; Compactação em escala reduzida.

## ABSTRACT

Soil compaction is a process widely used nowadays, which basically consists of reducing the void rates of soil samples through the application of static or dynamic loads, and can be used in the field or in laboratory tests, in order to improve the mechanical properties of the soil, such as: Resistance, permeability and deformability. The evaluation of the aforementioned mechanical properties is normally carried out in the laboratory, through special tests. In situations where there is little amount of soil available, the tests can be carried out on samples compacted directly in the equipment apparatus, such as in the consolidation ring, or in the shear box and even in the permeameter itself. Normally, this compaction of the samples to be tested takes place through a density and humidity control, but without a compaction energy control, and this non-standardized energy distribution can directly affect the geotechnical parameters under analysis. This research has as main objective the study of the influence of the type of compaction as analysis of soil deformability, analyzing results of densification test comparing results of the Proctor test, conventionally used in laboratories, and the miniature compaction test, without compaction energy control. The study has focus on sandy soils taken from the states of Piauí and Rio Grande do Norte, in the year 2021, where we have a characterization of these soils that are later compacted, in their optimal maintenance of moisture, using the two characterized compaction methods. Then the densification tests will be concluded where results will be found that will allow reach the conclusion of the general research. These results were found and is made a comparison to analyze the influence of the miniature compaction teste in soil compressibility. The results indicate that there is an influence of miniature compaction in deformability of the sandy soils because it was possible to obtain an average variation of settlements of 24.53% for soils compacted on a reduced scale in relation to soils compacted by the Proctor method, reaching a percentage difference of 32.18%. In addition, very similar expansion results were obtained, with this percentage rising to 26.43%, with expansion differences reaching more than 50% in one of the samples.

**Keywords:** Soil Compaction; Soil consolidation; Deformability; Miniature compaction.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Curva de compactação padrão de solos. ....	20
Figura 2 – “ <i>British Standard Light Compaction Test</i> ” .....	21
Figura 3 - Sequência de golpes aplicado no molde para o “ <i>BS light compaction test</i> ” .....	21
Figura 4 - Dimensões e equipamentos utilizados no ensaio de compactação Proctor Normal.	23
Figura 5 - Curva de compactação em relação a sua respectiva energia de compactação. ....	25
Figura 6 - Curva de compactação em relação ao tipo de solo analisado. ....	26
Figura 7 - Curva de compactação em para diferentes tipos de solos brasileiros. ....	27
Figura 8 - Estrutura floclulada (A) e Estrutura dispersa (B) de um solo, variando de acordo com a umidade do mesmo. ....	28
Figura 9 - Gráfico representativo da teoria de Lambe e Whitman (1979). ....	29
Figura 10 - Determinação gráfica do parâmetro $c'$ no ensaio mini-MCV.....	31
Figura 11- Determinação gráfica do parâmetro $d'$ no ensaio mini-MCV. ....	32
Figura 12 - Molde (a), Peso de compactação de massa variável (b) e Base/removedor de amostras(c) – Método de Harvard. ....	33
Figura 13 - Sequência de aplicação do amassamento de solo – Método de compactação de Harvard. ....	34
Figura 14 – Gráfico de adensamento de solos. ....	37
Figura 15 - Dados da amostra 1 de solo. ....	38
Figura 16 - Dados da amostra 2 de solo. ....	39
Figura 17 - Dados da amostra 3 de solo. ....	39
Figura 18 - Ensaio de densidade real das 3 amostras de solo.....	41
Figura 19 - Ensaio de compactação Proctor Normal. ....	42
Figura 20 – Procedimentos para correção de umidade.....	43
Figura 21- Etapa de isolamento, homogeneização de solo e retirada de frações para conferência de umidade. ....	43
Figura 22 - Coleta de solo compactado para o anel de adensamento. ....	45
Figura 23 – Coleta de solo compactado para o anel de adensamento. ....	45
Figura 24 – Compactação do solo em escala reduzida. ....	46
Figura 25 – Aparatos (A) e montagem da célula edométrica (B).....	47
Figura 26 – Prensa de adensamento manual.....	47
Figura 27 – Adição de água para saturação do solo. ....	48



Figura 28 – Etapa de carregamento do ensaio de adensamento. ....	49
Figura 29 - Curva de compactação da Amostra 1 .....	53
Figura 30 - Curva de compactação da Amostra 2 .....	53
Figura 31 - Curva de compactação da Amostra 3 .....	54
Figura 32 – Gráfico do ensaio de adensamento: Amostra 1 .....	56
Figura 33 – Gráfico do ensaio de adensamento: Amostra 2.....	56
Figura 34 – Gráfico do ensaio de adensamento: Amostra 3.....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros do ensaio de compactação Proctor (Cilindro Pequeno).....	23
Tabela 2 - Parâmetros do ensaio de compactação Proctor (Cilindro Grande).....	24
Tabela 3 – Umidades naturais das 3 amostras de solo. ....	51
Tabela 4 – Densidade real das 3 amostras de solo. ....	52
Tabela 5 - Dados e parâmetros das amostras de solo - Amostras 1, 2 e 3.....	52
Tabela 6 – Tabela de correção de umidade das amostras de solo. ....	55
Tabela 7 – Coeficientes de adensamento Cc e Cs .....	57
Tabela 8 – Recalques de compressão e expansão encontrados para os dois tipos de compactação – AMOSTRA 1 .....	58
Tabela 9 - Recalques de compressão e expansão encontrados para os dois tipos de compactação – AMOSTRA 2.....	58
Tabela 10 - Recalques de compressão e expansão encontrados para os dois tipos de compactação – AMOSTRA 3.....	59
Tabela 11 – Comparação de métodos - Compressão.....	60
Tabela 12 – Comparação de métodos - Expansão.....	60

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**ABNT** = Associação Brasileira de Normas Técnicas

**Cc** = Índice de compressão de solos no adensamento

**Cs** = Índice de expansão de solos no adensamento

**C'** = Parâmetro de caracterização do solo em relação a sua granulometria

**DH** = Deslocamento dos solos devido ao carregamento do ensaio de adensamento de solos

**d'** = Parâmetro que caracteriza o solo em relação a sua probabilidade de ser um solo laterítico

**e** = Índice de vazios

**Gs** = Densidade real do solo

**G<sub>s20</sub>** = Densidade real do solo a 20°C

**H** = Altura de queda do soquete do ensaio Proctor Normal, em cm

**Hs** = Altura da camada de solo a ser determinado o recalque

**k<sub>20</sub>** = razão entre a densidade relativa da água à temperatura (T°C) e a densidade relativa da água a 20°C

**MCV** = *Moisture Condition Value*

**N<sub>c</sub>** = Número de camadas de solo utilizadas no ensaio Proctor Normal

**N<sub>g</sub>** = Número de golpes aplicados em cada camada durante o ensaio Proctor Normal

**P** = Peso do soquete do ensaio Proctor Normal, em N

**P1** = Peso do picnômetro vazio e seco, em gramas

**P2** = Peso do picnômetro + solo, em gramas

**P3** = Peso do picnômetro + solo + água, em gramas

**P4** = Peso do picnômetro + água, em gramas

**V<sub>cilindro</sub>** = Volume do cilindro utilizado no ensaio Proctor Normal, em cm<sup>3</sup>

**W<sub>ot</sub>** = Umidade ótima do solo

**γ<sub>dmáx</sub>** = Densidade aparente seca máxima do solo

**γ<sub>s</sub>** = Peso específico das partículas de solo

**γ<sub>w</sub>** = Peso específico da água a 4°C

**Δe** = Variação do índice de vazios

**Δlog(σ)** = Variação da tensão aplicada

**ρ** = Recalque de solos

**σ<sub>1</sub>** = Tensão inicial aplicada no solo

**σ<sub>2</sub>** = Tensão final aplicada no solo

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>5</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>6</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>6</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>10</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	<b>11</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1 Justificativas para escolha do trabalho.....	16
1.2 Objetivos .....	17
1.2.1 Objetivo Geral.....	17
1.2.2 Objetivos específicos .....	17
1.3 Estrutura do trabalho.....	18
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>19</b>
2.1 Compactação de solos .....	19
2.1.1 Métodos e ensaios de compactação.....	19
2.1.2 Ensaio de compactação Proctor Normal.....	22
2.1.3 Influência da granulometria e do tipo de solo em um ensaio e resultados de compactação.....	25
2.1.4 Influência do reuso de solos na compactação .....	27
2.2 Estrutura de solos em compactações.....	28
2.3 Ensaios de mini compactação: mini - MCV .....	30
2.4 Compactação de solos com controle de densidade.....	32
2.5 Método de compactação de HARVARD.....	33
2.6 Adensamento de solos .....	35
2.6.1 Compressibilidade e recalque de solos .....	35
2.6.2 Conceitos de adensamento de solos .....	35
2.6.3 Ensaio edométrico de adensamento de solos .....	36
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>38</b>
3.1 Descrição dos solos utilizados .....	38
3.1.1 Amostra 1.....	38
3.1.2 Amostra 2.....	39

3.1.3	Amostra 3.....	39
3.2	Caracterização das amostras .....	39
3.2.1	Umidade Higroscópica.....	40
3.2.2	Densidade Real .....	40
3.3	Ensaio de compactação .....	41
3.4	Correção de umidade.....	42
3.5	Ensaio de adensamento.....	44
3.5.1	Amostras compactadas .....	44
3.5.2	Procedimento dos ensaios.....	46
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>51</b>
4.1	Caracterização das amostras .....	51
4.1.1	Umidade Higroscópica.....	51
4.1.2	Densidade real .....	51
4.2	Ensaio de compactação .....	52
4.3	Correção de umidade.....	54
4.4	Ensaio de adensamento.....	55
4.5	Avaliação dos parâmetros obtidos em laboratório em um caso hipotético de carregamento e descarregamento .....	57
5	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>61</b>
5.1	Conclusão.....	61
5.2	Sugestões para trabalhos futuros .....	62
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>63</b>
	<b>APÊNDICE A – DADOS E CURVAS DE COMPACTAÇÃO DAS AMOSTRAS .....</b>	<b>66</b>
	<b>APÊNDICE B – DADOS DE CARREGAMENTO DO ADENSAMENTO DA AMOSTRA 1 (COMPACTAÇÃO PROCTOR). .....</b>	<b>69</b>
	<b>APÊNDICE C – DADOS DE DESCARREGAMENTO DO ADENSAMENTO DA AMOSTRA 1 (COMPACTAÇÃO PROCTOR). .....</b>	<b>72</b>
	<b>APÊNDICE D – DADOS DE CARREGAMENTO DO ADENSAMENTO DA AMOSTRA 1 (COMPACTAÇÃO EM ESCALA REDUZIDA). .....</b>	<b>74</b>
	<b>APÊNDICE E – DADOS DE DESCARREGAMENTO DO ADENSAMENTO DA AMOSTRA 1 (COMPACTAÇÃO EM ESCALA REDUZIDA). .....</b>	<b>77</b>
	<b>APÊNDICE F – DADOS DE CARREGAMENTO DO ADENSAMENTO DA AMOSTRA 2 (COMPACTAÇÃO PROCTOR). .....</b>	<b>79</b>

<b>APÊNDICE G – DADOS DE DESCARREGAMENTO DO ADENSAMENTO DA AMOSTRA 2 (COMPACTAÇÃO PROCTOR). .....</b>	<b>82</b>
<b>APÊNDICE H – DADOS DE CARREGAMENTO DO ADENSAMENTO DA AMOSTRA 2 (COMPACTAÇÃO EM ESCALA REDUZIDA). .....</b>	<b>84</b>
<b>APÊNDICE I – DADOS DE DESCARREGAMENTO DO ADENSAMENTO DA AMOSTRA 2 (COMPACTAÇÃO EM ESCALA REDUZIDA). .....</b>	<b>87</b>
<b>APÊNDICE J – DADOS DE CARREGAMENTO DO ADENSAMENTO DA AMOSTRA 3 (COMPACTAÇÃO PROCTOR). .....</b>	<b>89</b>
<b>APÊNDICE K – DADOS DE DESCARREGAMENTO DO ADENSAMENTO DA AMOSTRA 3 (COMPACTAÇÃO PROCTOR). .....</b>	<b>92</b>
<b>APÊNDICE L – DADOS DE CARREGAMENTO DO ADENSAMENTO DA AMOSTRA 3 (COMPACTAÇÃO EM ESCALA REDUZIDA). .....</b>	<b>94</b>
<b>APÊNDICE M – DADOS DE DESCARREGAMENTO DO ADENSAMENTO DA AMOSTRA 3 (COMPACTAÇÃO EM ESCALA REDUZIDA). .....</b>	<b>97</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A compactação de solos é uma metodologia muito comum nos dias atuais, utilizada de maneira geral para buscar melhorar propriedades físicas do solo com o objetivo de aprimorar o desempenho deles quando submetidos a alguns esforços e situações.

Santos (2008) afirma que a compactação consiste em um processo mecânico que, por meio de repetidas aplicações de golpes, conduz a uma diminuição do volume e consequentemente uma diminuição do índice de vazios e um aumento na densidade seca do solo. Essa redução de volume é decorrente da expulsão de partículas de ar do solo.

O tipo de compactação realizado difere de equipamento pra equipamento, além de existir a influência da energia de compactação, que varia e existe a partir da aplicação de cargas estáticas e dinâmicas ou pela combinação de forças estáticas e vibrações (SANTOS; LOPES e SILVA, 2019).

Para realização e entendimento mais completo de uma compactação, é necessário um estudo prévio das propriedades do solo, estudando sua umidade ótima e sua massa específica aparente seca máxima. Além disso, temos que, em laboratório, a compactação é baseada em um ensaio principal: Compactação Proctor (SANTOS; LOPES e SILVA, 2019).

Além das propriedades gerais, dos ensaios e dos conceitos básicos de compactação de solos, temos que levar em consideração a influência da estrutura dos solos no comportamento mecânico dos mesmos.

Maribel (2000) abordou de maneira completa a influência da estrutura do solo no comportamento mecânico, mostrando que a estrutura de um solo compactado depende da relação umidade – energia de compactação aplicada.

Ademais, conceitos apresentados por Lambe e Whitman, em 1979, explicitam a relação direta da umidade quando se trata da estrutura dos solos, onde mostram que para uma mesma energia de compactação aplicada, existem diferentes estruturas predominantes nos solos variando de acordo com a umidade existente. Com isso, temos o levantamento do conceito de atração e repulsão de partículas, de acordo com a umidade do solo, para explicar a variação da estrutura do mesmo.

Outros pontos importantes a serem abordados para melhor entendimento dos conceitos apresentados neste trabalho são a compressibilidade e o adensamento de solos, diretamente relacionados a problemas existentes na construção civil, principalmente o recalque em construções.

Segundo Das (2007), o conceito geral do adensamento de solo está diretamente vinculado a um aumento de tensão existente no solo, afetando diretamente sua estrutura e gerando uma expulsão de partículas de água, diminuindo o volume do solo.

Normalmente, essa tensão aplicada no solo é decorrente de algum tipo de carregamento, seja por obras ou por carregamentos em laboratório.

Esses conceitos de adensamento e compressibilidade afetam diretamente a ocorrência ou não de recalques em solos e são conceitos extremamente importantes de serem entendidos e analisados, a fim de diminuir riscos de problemas de recalque em obras de construção civil.

Outro conceito importante que deve ser exposto é o conceito do ensaio unidimensional de adensamento, que é o procedimento de laboratório que realiza o adensamento de amostras de solo, por meio de etapas de carregamento e descarregamento em intervalos de tempo definidos, com o objetivo de determinar o gráfico de compressibilidade do solo, permitindo a obtenção de parâmetros como índices de compressão e expansão.

O entendimento dos conceitos expostos acima é de extrema importância para a realização do presente trabalho, que busca avaliar a influência de diferentes métodos de compactações em laboratório na deformabilidade de solos arenosos.

### **1.1 Justificativas para escolha do trabalho**

Os ensaios especiais de laboratório de solos tais como o ensaio de adensamento, exigem, em algumas situações, a realização do procedimento com amostras deformadas compactadas. Desta forma, é comum a realização de uma compactação do solo no próprio aparato do experimento, tendo como base um certo teor de umidade e uma densidade específica, ou seja, a compactação é feita com base no “controle de densidade” do solo em relação aos parâmetros definidos para o estudo.

Todavia, este tipo de procedimento em uma subamostra de pequeno volume não apresenta o controle de uma homogênea quantidade de energia durante os golpes com um compactador manual. Mesmo que cada camada compactada tenha a densidade especificada para o ensaio, este procedimento sem controle de energia pode resultar uma heterogeneidade de densidade ao longo de cada uma mesma camada, podendo isso influenciar nas propriedades mecânicas do ensaio especial.

A compactação em menor escala, também denominada de minicompactação, é pouco utilizada para grande parte dos ensaios atualmente, devido a dificuldade de realizar esse tipo de



compactação com controle de energia, pela falta de equipamentos específicos, uma vez que os dispositivos permitem compactações controladas para maiores volumes e amostras, na grande parte dos laboratórios. Apesar disso ainda existem algumas literaturas que abordam ensaios de minicompactação com controle de energia, como o método de compactação de Harvard, apresentado por Head em 1980.

Desta forma, a presente pesquisa visa avaliar a influência da atual compactação em pequena escala, para ensaios especiais de adensamento, realizado sem controle de energia em relação a compactação a ser feita em um compactador manual com aplicação de golpes de mesma quantidade de energia.

Deve-se destacar ainda que esta pesquisa contou com o apoio do Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação LMSP da UFC, que cedeu suas instalações e os equipamentos necessários aos ensaios realizados.

## **1.2 Objetivos**

### ***1.2.1 Objetivo Geral***

O objetivo geral dessa pesquisa é avaliar a influência da compactação, em escala reduzida por controle de densidade, na compressibilidade de solos arenosos, com foco em resultados de ensaio de adensamento de solos.

### ***1.2.2 Objetivos específicos***

Como objetivos específicos da pesquisa temos:

- (a) Avaliar a possibilidade de realização de compactações em escala reduzida, diretamente no aparato do ensaio de adensamento, de modo a obter resultados satisfatórios;
- (b) Analisar os resultados de ensaios de adensamento realizados, comparando os resultados das compactações em escala reduzida com os resultados obtidos pelo compactador manual convencional;
- (c) Comparar os resultados de recalques de solo para os dois tipos de compactação, em solos arenosos.

### **1.3 Estrutura do trabalho**

O presente trabalho está dividido em 5 capítulos, onde o Capítulo 1 foi a introdução geral do texto, expondo conceitos iniciais, objetivos de pesquisa e justificativas. No Capítulo 2, uma abordagem completa sobre toda a teoria e conceitos da literatura referentes a compactação de solos, estrutura de solos e adensamento de solos.

No Capítulo 3 serão apresentados os materiais utilizados no trabalho, juntamente com toda a metodologia aplicada para realização de ensaios, correções e análises, com o intuito de chegar-se aos resultados do trabalho.

No Capítulo 4, tem-se a exposição e discussão de todos os resultados encontrados a partir da aplicação da metodologia, ilustrados por meio de tabelas e figuras, com o intuito de chegar a conclusões a respeito da análise feita, visando alcançar todos os objetivos da pesquisa.

No Capítulo 5, serão listadas as conclusões e considerações finais do trabalho executado, tendo como base os objetivos estabelecidos no começo do mesmo, analisando se foi possível alcançar ou não esses objetivos, e expondo possíveis adversidades e problemas existentes durante o processo.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Compactação de solos

O método de compactação de solos surgiu na antiguidade como uma solução para melhorar propriedades físicas de solos, visando torná-los mais viáveis para diversas atividades. Os primeiros indícios de utilização de compactação de solos estão atrelados a um caso de construção de uma rede extensiva de estradas, nas proximidades do México, no ano de 3500 a.C., onde encontraram-se, próximo as estradas, um rolo de 5 toneladas e 65cm de diâmetro, o qual acredita-se ter sido utilizado para realizar a compactação do solo e auxiliar na criação dessa rede de estradas (RIBEIRO, 2008).

A compactação atua, de forma geral, reduzindo os vazios de um solo por meio de aplicação de cargas, seja na forma estática, dinâmica, de vibração ou de impacto, que aproximam as partículas sólidas do solo, diminuindo o índice de vazios, o volume da amostra de solo trabalhada e conseqüentemente aumentando a massa específica do solo. Esse tipo de aplicação de carga tem como principal objetivo o aumento da resistência e da capacidade de suporte do solo (FERNANDES, 1994).

Segundo Kovacs e Holtz (1981), as melhorias proporcionadas pela compactação em relação as propriedades físicas dos solos são: redução e prevenção do adensamento, maior controle de variações de volumes (expansão e retração), aumento da estabilidade do solo e aumento da capacidade de suporte das camadas de subleito.

#### 2.1.1 Métodos e ensaios de compactação

O americano Porter, da *California Division of Highways* criou, em 1930, o ensaio para determinação da massa específica seca máxima e da umidade ótima de amostras de solo a serem utilizadas em rodovias. Esse ensaio, foi padronizado por Ralph Proctor em 1933, sendo esse o método mais utilizado nos dias atuais (MASSAD, 2016).

O comportamento de um solo numa compactação pode ser explicando através da consideração de que a trabalhabilidade do solo aumenta com o aumento da umidade, até que esse valor chegue a uma certa umidade ótima, onde tem-se também maiores resultados de densidades secas máximas (CAPUTO, 2015).

Nos ensaios de compactação, o teor de umidade do solo é considerado um parâmetro essencial para analisar-se o efeito de uma compactação, uma vez que a água presente no solo

funciona tem um efeito de lubrificação que facilita a expulsão de partículas de ar da amostra. Tendo isto em vista, tem-se que para uma amostra de solo com um teor de umidade baixo, esse efeito de lubrificação por parte da água não é muito evidente, logo existe um grande atrito que dificulta a expulsão do ar de dentro do solo (MASSAD, 2016).

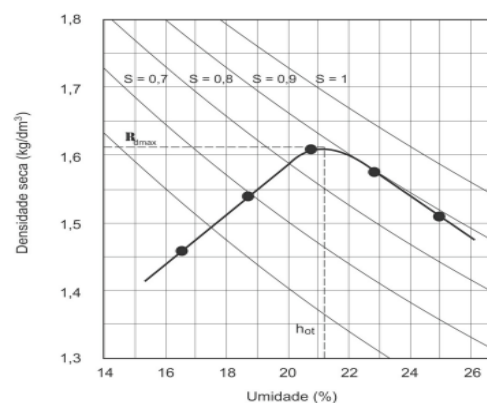
Pinto (2006) afirma que a medida que se aumenta o teor de água existente na amostra trabalhada tem-se um aumento da lubrificação e uma aproximação entre as partículas de solo e água, em decorrência da redução das forças capilares e das resistências de atrito e cisalhamento do solo, diminuindo os vazios e aumentando conseqüentemente a massa específica.

Por outro lado, para um teor de umidade muito elevado, a exacerbada presença de água no solo dificulta a expulsão de partículas de ar afetando diretamente no índice de vazios, impossibilitando esse aumento da massa específica e, conseqüentemente, não proporcionando as desejadas melhorias significativas nas propriedades do solo, tendo em vista que o efeito de lubrificação, para uma umidade muito elevada não impacta de maneira relevante nas propriedades do material (MASSAD, 2016).

A partir dessas relações expostas têm-se o conhecimento da curva de compactação geral de solos, ou curva Proctor, exibida na Figura 1, na qual está exposto alguns pontos importantes da curva, como a umidade ótima, a máxima densidade aparente seca, e a divisão de ramos, com o ramo seco tendo umidade menor do que a umidade ótima e ramo úmido tendo um teor de umidade maior do que o teor ótimo encontrado.

Vale ressaltar que os parâmetros da curva e a relação entre eles funciona para uma mesma energia de compactação. A Figura 1 mostra uma curva de compactação padrão, com os eixos, o teor de umidade ótima ( $W_{ot}$ ) e a densidade aparente seca máxima ( $\gamma_{dm\acute{a}x}$ ), além da divisão da curva em ramo úmido e ramo seco.

Figura 1- Curva de compactação padrão de solos.



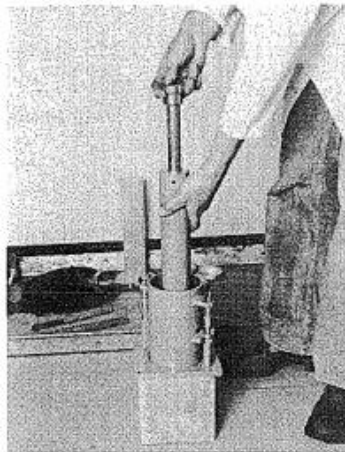
Fonte: Pinto (2006).

Ademais, ressalta-se uma possível variação dessa curva de compactação de solos quando se considera o tipo de ensaio adotado, onde é possível se variar a energia utilizada, como será abordado mais profundamente no item 4.1.2.

De maneira geral, tem-se o comportamento da relação entre densidade e umidade seguindo um padrão mesmo para diferentes tipos de solos, variando apenas valores de peso específico aparente máximo ou de umidade ótima para cada um deles.

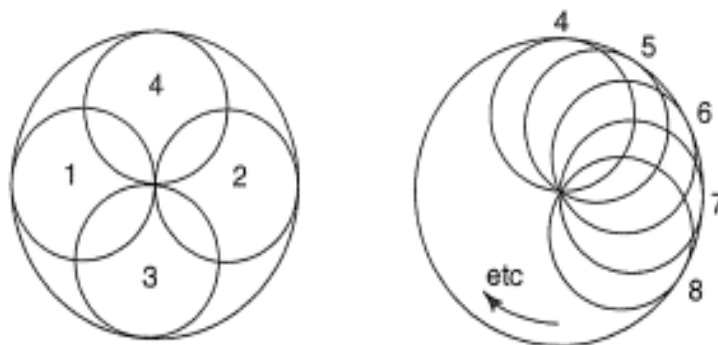
Além do ensaio de compactação Proctor, existem outros métodos de compactação também utilizados atualmente, como por exemplo, o ensaio “*British Standard (BS) light compaction test*” (Figura 2), no qual utiliza-se um molde de 50mm de diâmetro e um soquete de 2,5kg. No ensaio BS, a aplicação das cargas pelo soquete é feita manualmente, como mostrado na Figura 2 a seguir (HEAD, 1980).

Figura 2 – “*British Standard Light Compaction Test*”.



Fonte: Head (1980).

Figura 3 - Sequência de golpes aplicado no molde para o “*BS light compaction test*”.



Fonte: Head (1980).

Outro aspecto a ser considerado no ensaio *British Standard* é a variação do local de aplicação da carga, o que é realizado em círculos de modo a abranger toda a área do molde, como explicitado na Figura 3 (HEAD, 1980).

### **2.1.2 Ensaio de compactação Proctor Normal**

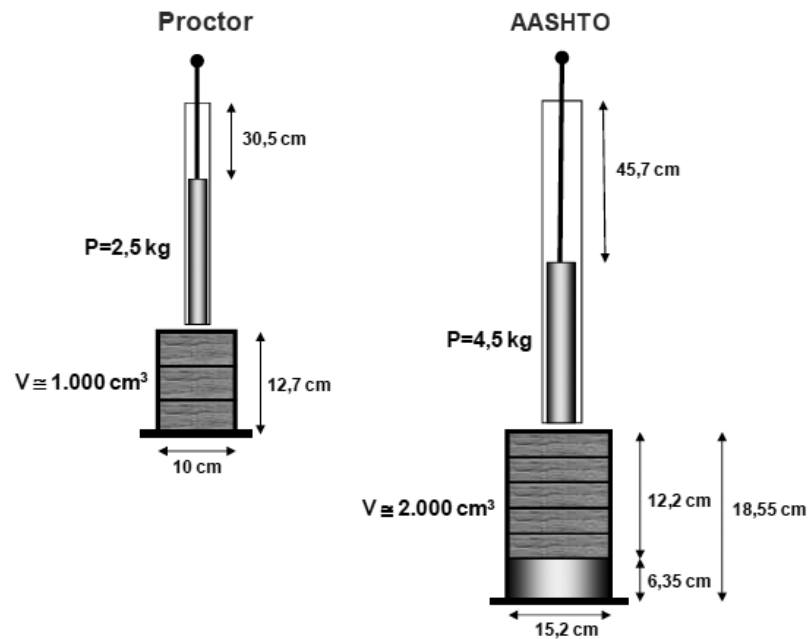
Como citado anteriormente, Ralph Proctor foi um dos principais nomes para a evolução de técnicas e de conhecimentos no que se trata de compactação de solos e um dos principais feitos de Proctor foi a criação de um método de ensaio para realização de compactação de solos, ensaio este que é usado até os dias atuais de maneira dominante.

O ensaio se caracteriza pela compactação de solos, colocados em camadas em um cilindro de tamanho variável, com a aplicação de “golpes” por meio da queda livre de soquetes em cada uma das camadas do solo. O número de golpes, o peso do soquete e o tamanho do cilindro, além de todos os outros parâmetros utilizados no ensaio são retirados da NBR 7182:2016, que regulamente os procedimentos do ensaio Proctor.

Os principais equipamentos e parâmetros utilizados são apresentados a seguir:

- Cilindro pequeno (Proctor): Diâmetro de  $100\text{mm} \pm 0,4\text{mm}$  e volume igual a  $1000\text{cm}^3 \pm 10\text{cm}^3$ .
- Cilindro grande (ISC/AASHTO): Diâmetro de  $152,4\text{mm} \pm 0,6\text{mm}$  e volume igual a  $2085\text{cm}^3 \pm 22\text{cm}^3$ .
- Soquete pequeno: De material metálico. Massa igual a  $2500\text{g} \pm 10\text{g}$  e altura de queda aplicada igual a  $305\text{mm} \pm 2\text{mm}$ .
- Soquete grande: De material metálico. Massa igual a  $4536\text{g} \pm 10\text{g}$  e altura de queda aplicada igual a  $457\text{mm} \pm 2\text{mm}$ .

Figura 4 - Dimensões e equipamentos utilizados no ensaio de compactação Proctor Normal.



Fonte: Suporte Solos (2018).

A partir dos parâmetros expostos acima, temos que o ensaio de Proctor, como determina a NBR 7182:2016 da ABNT, se divide em: Ensaio de Energia Normal, Ensaio de Energia Intermediária e Ensaio de Energia Modificada, variando o tipo de cilindro utilizado, o tipo de soquete empregado, a quantidade de camadas e a quantidade de golpes aplicados em cada camada.

As tabelas abaixo expõem, de maneira mais detalhada e organizada, a divisão do ensaio de acordo com a energia de compactação aplicada e os respectivos parâmetros para cada energia de compactação.

Tabela 1 - Parâmetros do ensaio de compactação Proctor (Cilindro Pequeno).

Cilindro	Características inerentes a cada energia de compactação	Energia		
		Normal	Intermediária	Modificada
Pequeno	Soquete	Pequeno	Grande	Grande
	Número de camadas	3	3	5
	Número de golpes por camada	26	21	27

Fonte: ABNT NBR 7182:2016.

Tabela 2 - Parâmetros do ensaio de compactação Proctor (Cilindro Grande).

Cilindro	Características inerentes a cada energia de compactação	Energia		
		Normal	Intermediária	Modificada
Grande	Soquete	Grande	Grande	Grande
	Número de camadas	5	5	5
	Número de golpes por camada	12	26	55
	Altura do disco espaçador mm	63,5	63,5	63,5

Fonte: ABNT NBR 7182:2016.

Após a aplicação dos golpes, por meio da queda livre perpendicular do soquete para determinadas alturas já especificadas na norma, de acordo com a energia que será trabalhada, retira-se a amostra de solo do cilindro com o auxílio de um extrator para que a amostra possa ser utilizada para outros ensaios e diferentes abordagens.

Um parâmetro que deve ser ressaltado, quando se trata do ensaio de compactação Proctor, é o valor de energia de compactação que é calculado de acordo com os parâmetros previamente expostos nas Tabelas 1 e 2. O cálculo dessa energia de compactação é dado pela Equação 1:

$$Energia\ de\ Proctor = \frac{P \cdot H \cdot N_c \cdot N_g}{V_{cilindro}} \quad (01)$$

Onde:

P = Peso do soquete, determinado pelas Tabelas 1 e 2, em N;

H = Altura de queda do soquete, determinado pelas Tabelas 1 e 2, em cm;

N<sub>c</sub> = Número de camadas, determinado pelas Tabelas 1 e 2 para os diferentes tipos de ensaio;

N<sub>g</sub> = Número de golpes aplicados em cada camada, determinado pelas Tabelas 1 e para os diferentes tipos de ensaio; e

V<sub>cilindro</sub> = Volume do cilindro utilizado, em cm<sup>3</sup>.

Os valores de energia de compactação variam de acordo com os equipamentos e parâmetros escolhidos, como mostra a Equação 1.

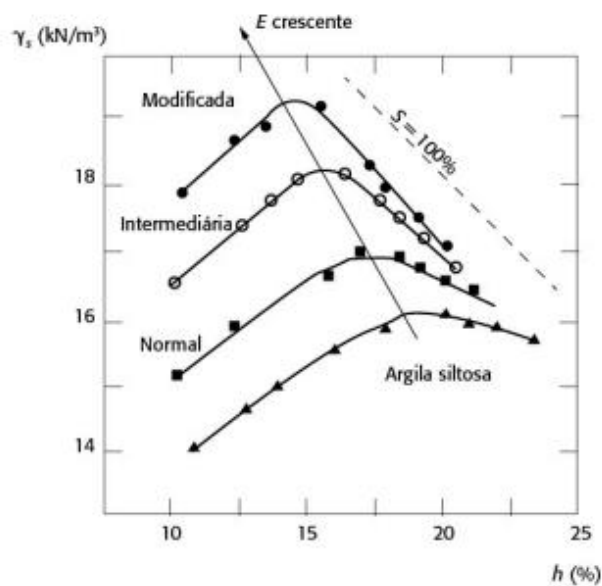


Outro parâmetro que deve ser abordado é a curva de compactação de solos. Essa curva, exposta de maneira generalizada na Figura 5, varia de acordo com a energia de compactação aplicada no ensaio, atingindo maiores valores de peso específico aparente em ensaios com maiores energias de compactação (LAMBE E WHITMAN, 1969).

Segundo Head (1980), a necessidade de obtenção de maiores densidades devido ao crescente volume de solos movimentados proporcionou as pesquisas cuja conclusão foi a de que quanto maior a energia de compactação utilizada maior seria a densidade seca máxima que poderia ser obtida nas compactações.

Um exemplo de curva de compactação com variação de energias de compactação está exposto na Figura 5:

Figura 5 - Curva de compactação em relação a sua respectiva energia de compactação.



Fonte: Massad (2016).

### 2.1.3 Influência da granulometria e do tipo de solo em um ensaio e resultados de compactação

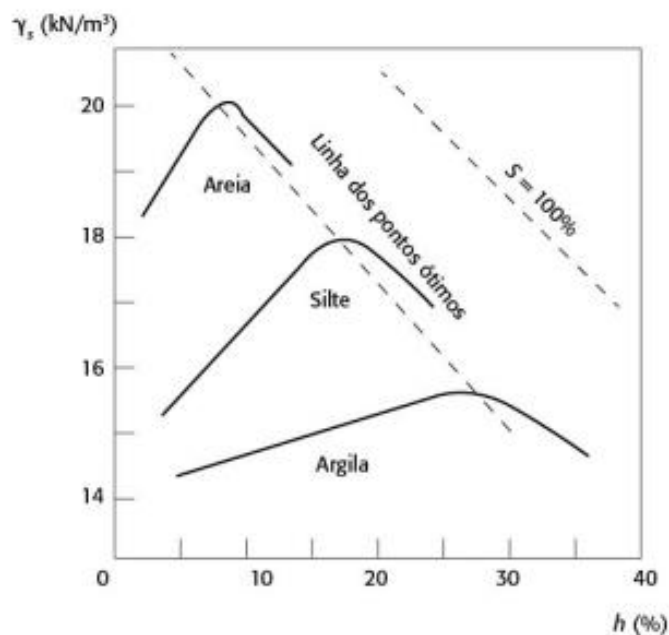
Tendo como foco a compactação de solos, é relevante ressaltar e abordar alguns fatores que influenciam diretamente esse tipo de compactação, seja melhorando ou piorando o desempenho ou outras propriedades.

Um dos fatores que afeta diretamente a compactação de solos e seu comportamento quando compactado é a granulometria do solo utilizado. Existe uma variação em valores e

parâmetros de peso específico e umidade ótima para diferentes tipos de solos, dependendo da granulometria e como se classificam entre solos coesivos, não-coesivos, granulares etc.

Mello e Teixeira (1971) afirmaram que a variação do tipo de solo a ser compactado e sua granulometria afeta diretamente sua curva de compactação. Solos mais finos têm maiores valores de umidade ótima e menores valores de peso específico aparente seco. A Figura 6 representa a variação das curvas de compactação para três tipos de solos: Areia, Silte e Argila.

Figura 6 - Curva de compactação em relação ao tipo de solo analisado.

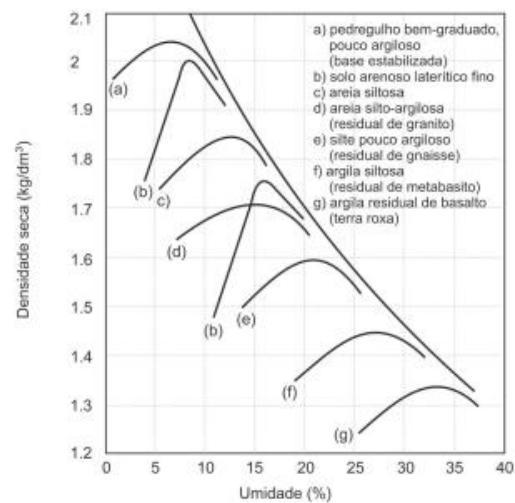


Fonte: Pinto (2006).

Dando continuidade, Hilf (1991) classificou os solos compactados em coesivos e não coesivos, sendo um solo coesivo aquele que possui como maior parte da sua composição siltes e argilas, promovendo uma maior impermeabilidade e sendo, quando bem compactados, mais resistentes em ensaios de compressão ou outros ensaios de resistência em geral. Por outro lado, solos não-coesivos (solos compostos majoritariamente por agregados de tamanho considerável) e areias apresentam maiores índices de vazios e maior permeabilidade, além de serem menos resistentes de maneira geral.

Para outros tipos de solos muito comuns no Brasil, o gráfico da Figura 7 mostra a variação da curva de compactação para cada um deles (PINTO, 2006).

Figura 7 - Curva de compactação para diferentes tipos de solos brasileiros.



Fonte: Pinto (2006).

O gráfico reafirma o que foi citado anteriormente por Mello e Teixeira (1971) em relação a influência da granulometria do solo quando relacionado a sua respectiva curva de compactação, onde solos mais grossos e granulares atingem valores de peso específico aparente seco muito elevados (na faixa de 1,7 – 2,0 g/cm<sup>3</sup>) e têm menores valores de umidade ótima (variando de 5 – 12,5%).

Para solos mais finos como uma argila residual ou siltosa obtiveram-se valores de peso específico aparente seco na faixa de 1,2 – 1,5 g/cm<sup>3</sup>, e teores de umidade ótima bem mais elevados, podendo alcançar valores próximos a 30% para solos extremamente finos.

#### 2.1.4 Influência do reuso de solos na compactação

Massad (2016) afirmou que quando ocorre a reutilização de um solo dentro de um ensaio de compactação, é possível identificar alterações no comportamento desse solo, uma vez que esse reuso afeta diretamente sua granulometria que, como explicado anteriormente, é um fator que influencia numa compactação de solo.

Solos reutilizados, quando submetidos a uma nova compactação, retornam resultados de peso específico aparente seco superiores, quando comparados a solos sem reuso. Por outro lado, tem-se uma diminuição dos valores de umidade ótima quando se realiza a mesma comparação. Esse fato atesta o que foi citado anteriormente em relação a influência da granulometria em ensaios de compactação, uma vez que, quando existe reuso de solo, este se

torna mais grosso e granular, se caracterizando diferentemente do solo sem reuso, quando se analisa sua estrutura (VERÇOSA, 2017).

Verçosa (2017) e Ramos *et al.* (2012) mostraram experimentalmente e por meio de resultados gráficos, os fatos citados por Massad (2016), nos quais se obtiveram densidades máximas maiores e umidades ótimas menores para solos reutilizados.

## 2.2 Estrutura de solos em compactações

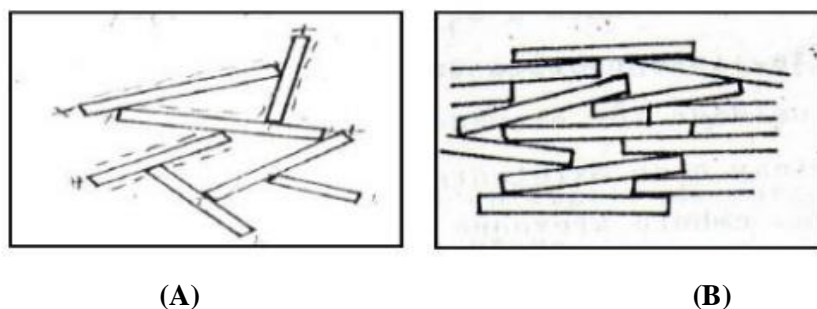
Um aspecto extremamente relevante quando se trata da compactação de um solo é o teor de umidade existente nele. Esse assunto já foi abordado previamente de maneira generalizada, porém algumas teorias propostas por autores tratam de forma ainda mais complexa a respeito da influência desse parâmetro e como essa umidade afeta diretamente a estrutura do solo em compactações.

Lambe e Whitman (1979) abordaram o teor de umidade de um solo como sendo diretamente relacionado a concentração eletrolítica presente nele e utilizaram esse conceito para complementar a influência da umidade num processo de compactação de solo. Para baixos teores de umidade, a concentração de eletrólitos é relativamente alta gerando um aumento nas forças de atração (Van der Waals) e isso provoca a floculação de partículas e perda de orientação destas, quando compactadas.

Por outro lado, quando se aumenta o teor de água no solo, ocorre uma maior repulsão entre as partículas e uma conseqüente reorientação das mesmas, que passam a formar uma estrutura dispersa e mais deformável (MARIBEL, 2000).

Os conceitos citados acima, por Maribel (2000) e Lambe e Whitman (1979), estão expostos visualmente pela Figura 8 a seguir:

Figura 8 - Estrutura floculada (A) e Estrutura dispersa (B) de um solo, variando de acordo com a umidade do mesmo.



Fonte: Pinto (2006).

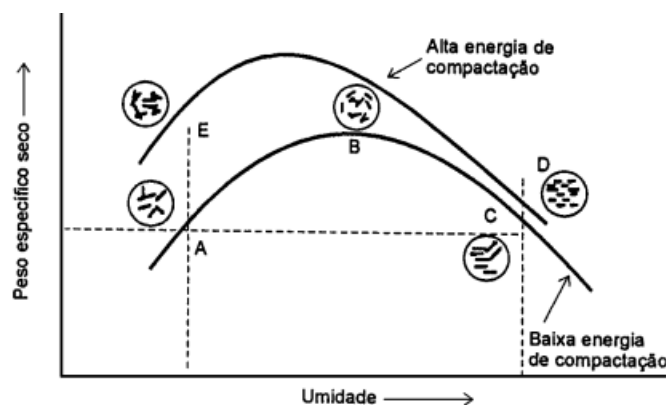
Solos com estruturas floculadas são menos deformáveis do que solos com estruturas dispersas (MEDINA, 1997).

O gráfico da Figura 9 expõe a teoria proposta por Lambe (1979), onde “A” e “E” são pontos de baixo teor de umidade e possuem uma estrutura floculada e desorientada de partículas, com predominância de forças atrativas de Van der Waals. Com o aumento da umidade, chega-se ao ponto “B”, onde diminui-se o grau de floculação da estrutura, ocorre a lubrificação das partículas e um aumento das forças repulsivas, chegando próximo de um equilíbrio em relação as forças de atração. O ponto “B” é o ponto de umidade ótima e é onde se percebe a existência de uma estrutura mais densa.

Aumentando ainda mais o teor de umidade temos a transição do ponto “B” para os pontos “C” e “D” onde observou-se estruturas dispersas e mais orientadas. Neste ponto tem-se um aumento considerável das forças de repulsão devido a diminuição da concentração eletrolítica da amostra (LAMBE E WHITMAN, 1979).

Ademais, tem-se a consideração da energia de compactação aplicada como um diferencial em relação a estrutura do solo. De maneira geral, quanto maior a energia de compactação aplicada, maior será o grau de dispersão das partículas. Quando se trata de um elevado teor de umidade, o aumento da energia de compactação promove uma orientação mais paralela das partículas, como visto nos pontos “C” e “D” do gráfico da Figura 7 (MARIBEL, 2000).

Figura 9 - Gráfico representativo da teoria de Lambe e Whitman (1979).



Fonte: Pinto (2006).

### 2.3 Ensaio de minicompactação: mini - MCV

Abordando um pouco mais sobre ensaios de compactação é possível citar a minicompactação como uma metodologia importante e que será trabalhada no decorrer deste trabalho de maneira mais aprofundada.

Os ensaios de mini compactação têm como diferencial principal um tamanho de amostra consideravelmente pequeno quando comparado a outros ensaios. O principal ensaio desta natureza é o ensaio mini-MCV (*Moisture Condition Value*) normatizado pela DNER-ME 258/94, e foi criado com base no ensaio MCV proposto por Parsons e Bolden em 1979.

O ensaio mini-MCV foi desenvolvido por meio de uma adaptação do método de Parsons e Bolden (1979) realizada por Sória e Fabbri (1980), orientados por Nogami, na qual utilizam-se alguns parâmetros e valores diferentes do ensaio original MCV, porém com muitos objetivos e resultados em comum. As principais diferenças entre os dois ensaios estão nos menores tamanhos, massas e volumes de equipamentos adotados na compactação do ensaio mini-MCV, quando comparado ao ensaio de Parsons e Bolden.

Um dos diferenciais do ensaio mini-MCV é a possibilidade de acompanhamento e determinação da altura do corpo de prova resultante após a aplicação da série de golpes, tendo como um dos parâmetros do ensaio a variação de altura entre cada série de golpes.

A partir da obtenção dos dados, após a realização de todas as séries de golpes do ensaio, é possível determinar-se as curvas de compactação (Curvas de deformabilidade) para um mesmo solo para diversas energias de compactação aplicadas. Essa variação de energia se dá pela variação do número de golpes em cada série.

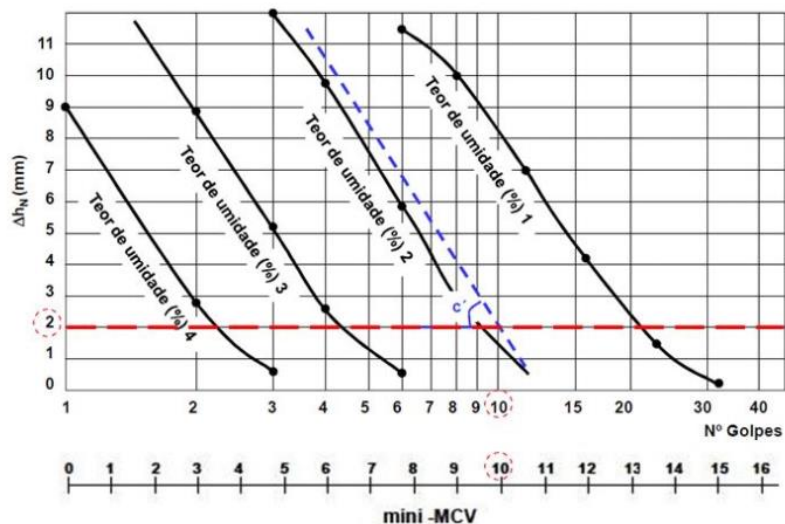
A seguir estão expostos alguns conceitos e metodologias utilizadas no ensaio que devem ser seguidas para obtenção de resultados coerentes:

- Nogami (1981) afirma que o início do processo de compactação deve se dar pela separação da amostra total de solo em 5 amostras menores de 200g, independentemente do tipo de solo, com diferentes teores de umidade em cada amostra.
- Utilização de um soquete de 2.270g para aplicação de golpes (FABBRI, 1994).
- O diâmetro da amostra de solo compactada é de 50mm.
- A altura de queda do soquete para aplicação do golpe é de 305mm.

- O término do ensaio se dá pela ocorrência de exsudação da amostra, da obtenção de uma variação de altura menor que 1mm em mudança de sequência de golpes ou ao alcançar-se 256 golpes na sequência.
- As sequências de golpes presentes no ensaio se dão na seguinte ordem: 1, 2, 3, 4, 6, 12, 16, 24, 32, 48, 64, 96, 128, 192 e 256 golpes. Em cada final de sequência, a variação de altura é medida. Essa sequência de golpes é aplicada em cada uma das 5 amostras com diferentes teores de umidade.

O parâmetro  $c'$  representa a caracterização da amostra de solo em relação a sua granulometria, onde valores de  $c' > 2,0$  representam solos argilosos, e valores de  $c' < 0,5$  representam solos arenosos.

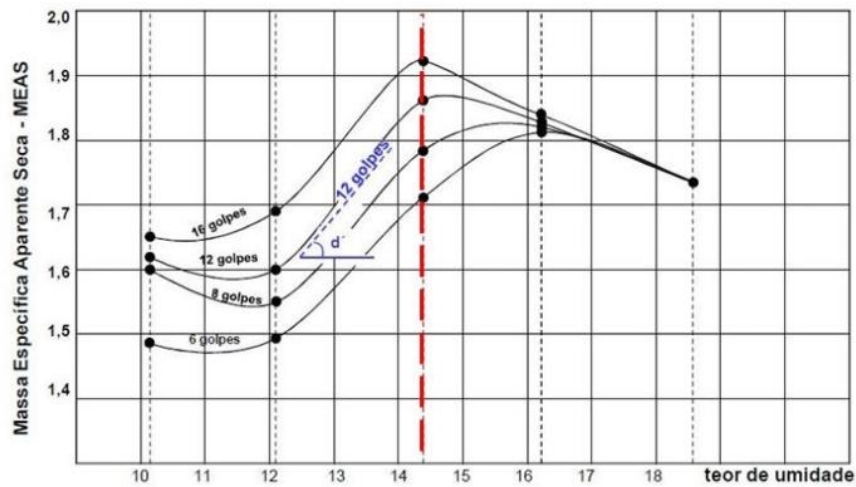
Figura 10 - Determinação gráfica do parâmetro  $c'$  no ensaio mini-MCV.



Fonte: Suporte Solos (2018).

Outro parâmetro representativo no ensaio mini-MCV é o parâmetro  $d'$ , que caracteriza o solo em relação a sua probabilidade de ser um solo laterítico, levando em consideração também o tamanho dos grãos da amostra analisada. Segundo Nogami e Villibor (1995), classificam-se solos não-lateríticos siltosos por um  $d' < 5$ , argilas lateríticas por um parâmetro  $d' > 20$  e argilas não lateríticas por  $d' < 10$ .

Figura 11- Determinação gráfica do parâmetro  $d'$  no ensaio mini-MCV.



Fonte: Suporte Solos (2018).

Os coeficientes e parâmetros calculados neste ensaio podem ser utilizados para caracterização dos solos na classificação MCT de solos tropicais, levando em consideração, além de  $c'$  e  $d'$ , o valor da perda de massa por imersão das amostras de solo.

#### 2.4 Compactação de solos com controle de densidade

Kafodya e Okonta (2018) afirmaram que o controle de densidade, quando realizado em uma amostra de solo, é utilizado com o objetivo principal de impor, para a amostra trabalhada, a densidade seca máxima para o tipo de solo trabalhado. Para a utilização desse método é necessária a realização de uma compactação prévia, pelo ensaio Proctor Normal, para obtenção da curva de compactação do solo e determinação dos seus parâmetros principais: Massa específica aparente seca máxima e umidade ótima.

Para a obtenção da massa específica aparente seca desejada na nova amostra trabalhada, normalmente uma amostra de dimensões bem inferiores às do ensaio Proctor, é necessária a realização repetida de ensaios, de modo que a probabilidade de obtenção coerente dessa densidade seja mais alta. Para obtenção de um valor de massa específica aparente seca desejado, recomenda-se no mínimo 3 amostras de solo a serem compactadas, considerando uma margem de erro de  $\pm 3\%$  em relação ao valor de densidade seca obtido pelo ensaio Proctor Normal (KAFODYA E OKONTA, 2018).



## 2.5 Método de compactação de HARVARD

O método de compactação de Harvard, introduzido por Wilson em 1950 e normatizado pela norma americana ASTM STP 479, é um método utilizado para compactação de solos finos quando apenas uma pequena parcela de solo está disponível. Logo, ocorre uma compactação de pequenas amostras (HEAD, 1980).

A aplicação do carregamento se difere dos ensaios de queda livre de soquete, por exemplo, uma vez que a carga no ensaio de compactação de Harvard é feita por amassamento do solo (HEAD, 1980).

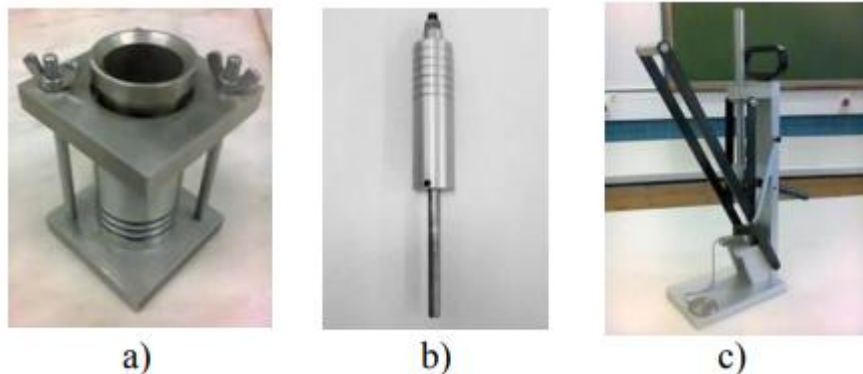
O método de compactação de Harvard é realizado a partir de 3 principais aparatos, exemplificados abaixo, na Figura 12.

- a) Molde
- b) Peso de compactação
- c) Base/Removedor de amostras

Por Head, em 1980, temos que o molde utilizado no método de Harvard possui um diâmetro de 33,34 mm e uma altura de 71,5 mm, promovendo um volume de solo a ser compactado de 62,4 cm<sup>3</sup>.

O peso de compactação utilizado pode existir em diferentes valores, de acordo com a disponibilidade de laboratórios. O Laboratório de Engenharia de Coimbra, por exemplo, utiliza pesos de aproximadamente 9,0kg, 17,0kg e 18,0kg (SANTOS e SILVA, 2019).

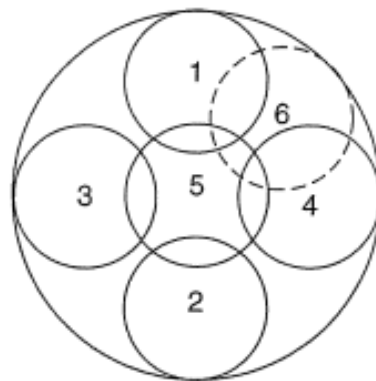
Figura 12 - Molde (a), Peso de compactação de massa variável (b) e Base/removedor de amostras(c) – Método de Harvard.



Segundo Head (1980), a amostra de solo a ser utilizada no ensaio de Harvard não pode ter grãos de dimensão superior a 2mm e o ensaio pode ser alterado para proporcionar mais ou menos graus de compactação na compactação do solo.

O início do procedimento se dá a partir da compressão manual do equipamento até que seja possível sentir o peso de compactação estejam começando a comprimir o solo naquela posição, passando em seguida para o próximo ponto de compactação. A sequência da aplicação do peso de compactação deve ser iniciada com os 4 primeiros movimentos estando opostos entre os quatro quadrantes, com um quinto movimento central. Em seguida, repete-se a ideia de aplicação de carga com um espaçamento entre os 4 primeiros movimentos. A Figura 13 exposta abaixo exemplifica o padrão de aplicação de carga no método de compactação de Harvard (HEAD, 1980).

Figura 13 - Sequência de aplicação do amassamento de solo – Método de compactação de Harvard.



Fonte: Head (1980).

Para um peso de 40lb (18kg), têm-se que a aplicação de 25 movimentos em cada camada, para 3 camadas, proporciona um solo equivalente a um solo compactado no ensaio “BS light compaction test”, exposto anteriormente. (HEAD, 1980).

Além disso, o método de compactação de Harvard tem um diferencial considerável uma vez que, devido a sua pequena parcela de solo utilizada na compactação, esse ensaio produz amostras coerentes que são muito boas para serem utilizados em outros ensaios de laboratório como ensaios de força de cisalhamento e outros ensaios especiais em solos compactados (HEAD, 1980).

## 2.6 Adensamento de solos

### 2.6.1 Compressibilidade e recalque de solos

O conceito geral de compressibilidade de solos pode ser definido como uma relação direta entre as tensões aplicadas neste solo e as deformações sofridas pelo mesmo que acarreta em uma diminuição do volume do solo. (CAPUTO, 2015).

A compressibilidade de solos é uma das principais causas de recalque, onde é muito usual o caso de ocorrência em uma camada saturada e confinada lateralmente, ou seja, sem sofrer deformações laterais. Esse tipo de situação onde o solo está nas condições citadas caracteriza um recalque por adensamento. (CAPUTO, 2015).

O recalque de solos é um conceito de extrema importância no contexto da construção civil uma vez que é um parâmetro que impacta diretamente na estabilidade e segurança da estrutura, uma vez que a ocorrência de recalques consideráveis pode comprometer ou prejudicar fortemente a construção.

O recalque pode ser calculado a partir de alguns parâmetros de solo como mostrado por meio da equação 2 abaixo:

$$\rho = \frac{H_s}{(e+1)} \cdot C_c \cdot \log \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \quad (2)$$

Onde:

$\rho$  = Recalque do solo pela aplicação de tensão;

$H_s$  = Altura da camada de solo, em metros;

$e$  = Índice de vazios do solo;

$C_c$  = Índice de compressão do solo;

$\sigma_1$  = Tensão inicial aplicada, em kPa;

$\sigma_2$  = Tensão final aplicada, em kPa.

### 2.6.2 Conceitos de adensamento de solos

A partir dos conceitos expostos por Das (2007) é possível entender o funcionamento de um adensamento de solos, onde a partir de um aumento de tensão do solo existe uma drenagem de água e uma diminuição de volume do solo, resultando em um recalque. Essa água drenada

percola em direção as áreas mais permeáveis, como uma pedra porosa existente no ensaio de adensamento em laboratório.

Pinto (2006) expõe o conceito da analogia mecânica de Terzaghi que pode ser utilizado no processo de adensamento, uma vez que considera o solo a ser adensado como uma mola. Nessa analogia, temos que a água que envolve um solo completamente saturado suporta parcialmente as cargas aplicadas ao conjunto, de modo que o solo, assim como uma mola mergulhada em água, vai aumentando gradativamente a quantidade de carga que suporta.

Considera-se também que “A água, ainda em carga, continuará a sair do pistão; simultaneamente, a mola irá se comprimir e, assim, suportará cargas cada vez maiores. O processo continua até que toda a carga seja suportada pela mola” (PINTO, 2006, p. 212)

No início do processo de aplicação de cargas, temos a existência de um aumento da pressão neutra, no instante que a água passa a suportar mais cargas, além de não haver deformações do solo no instante inicial, uma vez que não existem tensões efetivas. Com o início da saída de água, temos a diminuição da pressão neutra e o aumento das tensões efetivas do solo, iniciando a deformação do mesmo. O processo é finalizado quando toda a pressão aplicada se transforma em acréscimo de tensão neutra, e toda a sobrepressão neutra tenha se dissipado com a saída de água. (PINTO, 2006).

O adensamento pode ser dividido em adensamento primário e adensamento secundário, onde têm-se o adensamento primário como a fase inicial do processo, após a aplicação de cargas, na qual as partículas procuram um novo arranjo estável, aproximando-se umas das outras, afetando diretamente as forças de atração e repulsão atuantes. Esse adensamento primário é baseado fundamentalmente em três tipos de equações: Equação de continuidade, relação tensão-deformação e equações de equilíbrio, onde essas equações analisam o fluxo de água, seus efeitos no arranjo das partículas e diversos outros parâmetros. (MASSAD, 2016).

No caso do adensamento secundário temos este como referente ao fim do processo, onde não existem mais excessos de pressões neutras atuando e a água tende a ser expulsa. Retrata o momento onde estão agindo forças dependentes do tempo. (MASSAD, 2016).

### ***2.6.3 Ensaio edométrico de adensamento de solos***

A realização do ensaio edométrico de adensamento se baseia na aplicação de carregamentos, por um determinado intervalo de tempo estabelecido, de modo que esse tempo seja suficiente para ocorrer a fase de adensamento primário completamente. (MASSAD, 2016).

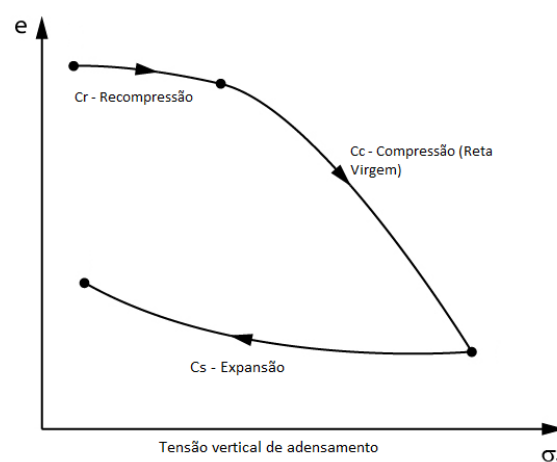
O ensaio é feito com a amostra de solo utilizada em inundação e o aumento das cargas, na fase de carregamento, normalmente é de 100% para cada leitura, ou seja, dobra-se a carga para cada carregamento realizado (DAS, 2007).

Além disso tem-se a etapa de descarregamento, na qual adota-se um tempo de duração de cada estágio bem menor quando comparado a etapa de carregamento, uma vez que a expansão do solo ocorre mais rapidamente do que o adensamento do mesmo. (MASSAD, 2016).

A execução e análise de adensamento de solos em ensaios laboratoriais é feita por meio de ensaios edométricos, nos quais é possível determinar alguns parâmetros importantes como os índices de compressão ( $C_c$ ) e expansão ( $C_s$ ) dos solos, além de outros parâmetros como a tensão de cedência de cada solo. Esses índices  $C_c$  e  $C_s$  estão diretamente relacionados aos gráficos encontrados nos ensaios de adensamento, uma vez que representam a inclinação das retas referentes ao trecho de compressão ( $C_c$ ) e ao trecho de expansão ( $C_s$ ).

O resultado geral do ensaio de adensamento pode ser definido como o gráfico de adensamento (Índice de vazios x Tensão) que é dividido em trechos, onde o trecho inicial é o trecho de pré-adensamento de solos, ou trecho de recompressão, onde existe uma pequena variação do índice de vazios. O maior trecho do gráfico, referente a uma reta inclinada para baixo, explicita uma variação bem maior do índice de vazios com o aumento da tensão aplicada e é definido como trecho virgem ou trecho de carregamento, referente a etapa de carregamento do ensaio. Por fim temos o trecho de expansão ou trecho de descarregamento, que é o trecho onde ocorre a diminuição da tensão aplicada e um leve aumento do índice de vazios do solo. O modelo de gráfico e a identificação dos seus trechos, estão expostos na Figura 14 a seguir:

Figura 14 – Gráfico de adensamento de solos.



Fonte: Autor (2022).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O capítulo 3 aborda e expõe de maneira coerente os materiais e métodos utilizados no processo de evolução do trabalho para que seja possível a obtenção dos resultados que serão expostos futuramente. Esse tópico irá mostrar os tipos de solos utilizados nos ensaios, os parâmetros e propriedades desses solos juntamente com os ensaios realizados durante a execução do estudo. Todas as etapas descritas neste capítulo foram realizadas com o apoio do Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação, da Universidade Federal do Ceará, que cedeu o espaço, staff e equipamentos para realização das etapas.

#### 3.1 Descrição dos solos utilizados

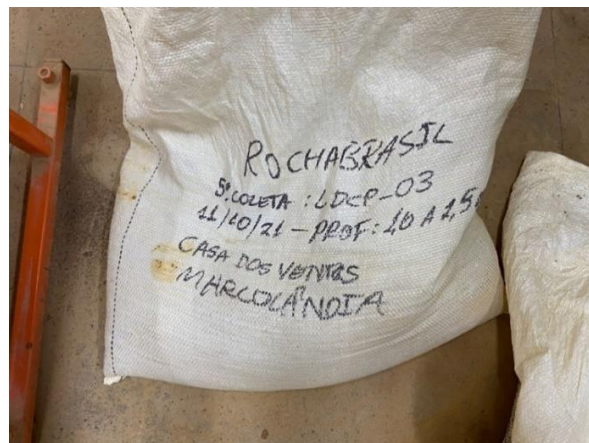
Para dar continuidade ao presente trabalho, foram separadas algumas amostras de solos utilizadas para obtenção dos resultados e comparação dos mesmos, com o objetivo de chegar-se a uma conclusão que satisfaça os objetivos propostos.

Os materiais utilizados foram coletados dos Estados do Piauí e do Rio Grande do Norte. Os dados das amostras de solos e suas respectivas profundidades de escavação estão expostos a seguir:

##### 3.1.1 Amostra 1

Coletada na cidade de Marcolândia – PI no dia 11/10/2021 a uma profundidade de 1,0 a 1,5m pela empresa Rocha Brasil (5ª coleta). O material presente na amostra 1 é um solo de caráter arenoso.

Figura 15 - Dados da amostra 1 de solo.

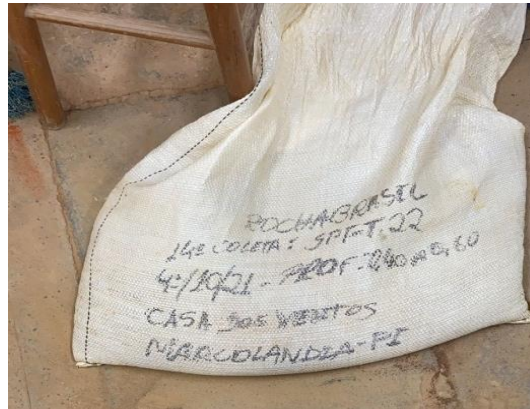


Fonte: Autor (2022).

### 3.1.2 Amostra 2

Amostra de solo de caráter arenoso, coletada na cidade de Marcolândia – PI no dia 04/10/2021 a uma profundidade de 0,40 a 0,80m pela empresa Rocha Brasil.

Figura 16 - Dados da amostra 2 de solo.



Fonte: Autor (2022).

### 3.1.3 Amostra 3

Amostra de solo de caráter arenoso, coletada na Usina Fotovoltaica Assú V, na cidade de Assú – RN, no dia 16/11/2021, a uma profundidade de 2,0m.

Figura 17 - Dados da amostra 3 de solo.



Fonte: Autor (2022).

## 3.2 Caracterização das amostras

Para realizar a caracterização das amostras de solos selecionadas foram realizados alguns ensaios para determinar parâmetros, como: umidade natural do solo e sua densidade real.

### 3.2.1 *Umidade Higroscópica*

A determinação da umidade higroscópica das 3 amostras de solo trabalhadas foi feita pelo método da estufa, com base na norma ABNT NBR 6457:2016 (Anexo A). A obtenção dessa umidade natural dos solos é importante para caracterização dos mesmos e para possibilitar a correção de umidades, a ser realizada posteriormente, para as amostras de solo, tendo em vista que é necessário considerar essa umidade natural para realizar a adição de água de modo a alcançar a umidade ótima requerida.

### 3.2.2 *Densidade Real*

No caso da finalização da caracterização das amostras de solo, foi realizado um ensaio de densidade real por meio do aquecimento de picnômetros, uma vez que a determinação dos parâmetros de densidade real dos solos trabalhados é de extrema importância para o cálculo dos índices de vazios que serão utilizados e obtidos posteriormente no ensaio de adensamento executado.

O ensaio de densidade real é feito para determinação do coeficiente de densidade real ( $G_s$ ), que representa a razão entre o peso específico das partículas de solo ( $\gamma_s$ ) e o peso de igual volume de água para 4°C ( $\gamma_w$ ). O valor de  $G_s$  é determinado pela Equação 3:

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (3)$$

Onde:  $\gamma_s$  = Peso específico das partículas de solo ( $\text{kN/m}^3$ ) e  $\gamma_w = 10\text{kN/m}^3$  a 4°C.

A determinação desse valor de densidade real ( $G_s$ ) para as 3 amostras de solo trabalhadas foi feita com base nas normas a seguir:

- DNER-ME 093/94 – Solos – determinação da densidade real; e
- NBR 6457 (ABNT) - Amostras de Solo – Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização.

Os valores de densidade real obtidos para cada uma das 3 amostras de solo serão expostos posteriormente no capítulo de Resultados, por meio de uma tabela. Os picnômetros utilizados no ensaio descrito podem ser visualizados na Figura 18.



Figura 18 - Ensaio de densidade real das 3 amostras de solo.



Fonte: Autor (2022).

### 3.3 Ensaios de compactação

Após a separação das amostras de solos utilizadas na análise, foi feito um estudo para a determinação das propriedades de cada um dos solos, com o objetivo de determinar a umidade ótima e a massa específica aparente seca máxima dos mesmos.

Essa determinação das propriedades é feita inicialmente pela realização da compactação Proctor Normal, já comentada anteriormente na seção de Revisão da Literatura, para uma energia de compactação Normal.

Tendo em vista isso, seguindo as informações da Tabela 1, disponibilizada pela ABNT NBR 7182:2016, a compactação dos solos foi feita com o cilindro pequeno, de  $997\text{cm}^3$  de volume e massa de 2.121g, utilizando o soquete pequeno.

A utilização do cilindro e do soquete pequeno foi feita devido a granulometria do solo, uma vez que as 3 amostras de solos utilizadas são amostras de solos arenosos, com dimensões menores que 2,0 mm. Além disso ressalta-se que as compactações realizadas são feitas sempre com os solos em suas umidades higroscópicas, sem realizar nenhum procedimento para retirada de umidade antes dos ensaios.

Executa-se a compactação da amostra nesse primeiro ponto (Umidade higroscópica) e obtém-se alguns dados que serão utilizados posteriormente para traçar a curva do solo nesse ponto. Para o prosseguimento da metodologia, no ponto seguinte adiciona-se uma quantidade de 60ml de água no solo do ponto anterior, representando aproximadamente 2% da amostra

total de 3kg. Em cada um desses pontos o processo de compactação é feito com reuso dos solos para os demais pontos.

A Figura 19 abaixo expõe como foi realizado o ensaio de compactação para a Amostra 1, de modo a esclarecer a metodologia.

Figura 19 - Ensaio de compactação Proctor Normal.



Fonte: Autor (2022).

### 3.4 Correção de umidade

Após determinar-se a umidade natural dos solos (exposta no item 3.2) e as propriedades dos solos (no item 3.3), adicionou-se uma certa quantidade de água para as 3 amostras, de modo a colocar-se todas na sua umidade ótima. Essa adição foi feita por meio de uma proveta, espalhando a água ao máximo e é feita para uma fração de 4kg de cada uma das 3 amostras.

Leva-se em consideração, nessa adição de água, as perdas de umidade que podem ocorrer durante o processo, logo optou-se por adicionar o equivalente a 0,5% da umidade, de modo que essas perdas não afetam consideravelmente o resultado dos ensaios.

Esse procedimento realizado no laboratório está apresentado através da Figura 20.

Figura 20 – Procedimentos para correção de umidade.



(A) Etapas de adição de água.

(B) Homogeneização de solo.

Fonte: Autor (2022).

Em seguida, isolou-se os solos em suas respectivas umidades ótimas com o uso de sacos plásticos específicos, de modo a minimizar a perda de umidade para o ar. Foi necessário esperar um período de homogeneização de umidade de 24h, como visto na Figura 21, para, em seguida, realizar as compactações corretamente.

Figura 21- Etapa de isolamento, homogeneização de solo e retirada de frações para conferência de umidade.



Fonte: Autor (2022).

Os valores de água a serem adicionados em cada porção de 4kg das 3 amostras de solo e outros dados referentes serão apresentados no capítulo de Resultados.

### **3.5 Ensaio de adensamento**

Dando prosseguimento a metodologia de trabalho, após a correção de umidade das 3 amostras de solo para suas respectivas umidades ótimas, foram realizados ensaios de compactação de duas formas distintas e posteriormente os ensaios de adensamento para obtenção de resultados e que possibilitem avaliar a influência dos tipos de compactação abordados nestes ensaios.

#### **3.5.1 Amostras compactadas**

As amostras utilizadas no ensaio de adensamento foram compactadas através dos seguintes tipos de compactação de solo:

##### **(a) Compactação Proctor Normal**

A primeira compactação realizada foi a Proctor Normal, já comentada anteriormente e normatizada pela ABNT NBR-7182:2016. Esse método de compactação foi feito em laboratório (ver Figura 18), e realizado igualmente para as 3 amostras de solo em suas umidades ótimas.

A partir do corpo de prova obtido pela compactação Proctor Normal, foi retirada uma fração de solo, de uma camada intermediária do corpo de prova, correspondente ao anel utilizado no ensaio de adensamento, cujas dimensões são 5 cm de diâmetro e 2 cm de altura. Essa coleta foi feita de modo ao solo compactado ocupar todo o volume do anel que será utilizado posteriormente no ensaio de adensamento. As Figura 22 e 23 ilustram esse procedimento.

Figura 22 - Coleta de solo compactado para o anel de adensamento.



Fonte: Autor (2022).

Figura 23 – Coleta de solo compactado para o anel de adensamento.



Fonte: Autor (2022).

### **(b) Compactação em escala reduzida com controle de densidade**

Após a realização da compactação Proctor descrita, foi executada uma compactação em escala reduzida com controle de densidade executada diretamente no anel de adensamento. Essa compactação foi feita sem controle de energia e de número de golpes, porém realizou-se com um controle de massa específica, de modo que a densidade obtida com essa compactação, analisando a massa de solo e o volume do anel, possui valor igual a massa específica do solo no ensaio de compactação Proctor.

Além disso, a partir do controle de densidade existente, foi possível estimar a quantidade de solo, em massa, que ocuparia todo o volume do anel, sendo pesado, em cada camada, uma

quantidade exata para ocupar todo o volume. Vale ressaltar também que para a execução da compactação em escala reduzida colocou-se todas as amostras de solo em suas respectivas umidades ótimas, buscando sempre o melhor desempenho do solo.

Foi conferido durante o processo apenas as alturas correspondentes a cada camada, uma vez que se realizou uma compactação em 3 camadas, tendo cada uma delas uma altura correspondente de aproximadamente 6,7mm. Ressalta-se que essas medições de altura, para conferência durante a compactação em cada camada, foram feitas por meio de um paquímetro, visando a uma medição precisa.

Os aparatos utilizados nessa compactação em escala reduzida foram o anel de adensamento e um soquete improvisado, onde foram aplicados os golpes nas camadas de solo. Esses aparatos estão apresentados na Figura 24.

Figura 24 – Compactação do solo em escala reduzida.



Fonte: Autor (2022).

### 3.5.2 Procedimento dos ensaios

#### a) Preparação da amostra

Após a realização dos dois tipos de compactação descritos acima, para as 3 amostras de solo, foram executados os ensaios de adensamentos para cada uma dessas compactações. Esse ensaio de adensamento é padronizado pela norma ABNT NBR-16853:2020.

A Figura 25 mostra os equipamentos utilizados na célula edométrica, incluindo o anel de adensamento já preenchido com solo, além da montagem do mesmo.

O anel de adensamento, como exposto no item 3.5.1, possui dimensões de 5cm de diâmetro e 2cm de altura, e, para a execução e preparação da célula edométrica, é preenchido completamente com o solo compactado que será analisado.

Figura 25 – Aparato (A) e montagem da célula edométrica (B).



Fonte: Autor (2022).

Após o encaixe do anel de adensamento preenchido com o solo, finaliza-se a montagem do equipamento utilizado, alocando a célula edométrica mostrada na prensa de adensamento exposta na Figura 26.

Figura 26 – Prensa de adensamento manual.



Fonte: Autor (2022).

Em seguida, após a finalização da montagem, foi iniciado o procedimento do ensaio realizando a saturação do solo por meio da adição de água ao recipiente cilíndrico (Figura 27). Essa adição é feita por meio de inundação e aguarda-se um período de saturação de no mínimo 4 horas para em seguida iniciar os carregamentos do ensaio.

Figura 27 – Adição de água para saturação do solo.



Fonte: Autor (2022).

#### **b) Etapa de carregamento**

Após aguardar o tempo de saturação de 4 horas estabelecido foram realizadas as medições, para todos os 8 carregamentos proposto. A etapa de carregamento do ensaio de adensamento consistiu na aplicação de carregamentos cronometrados, variando entre 13kPa, 25kPa, 50kPa, 100kPa, 200kPa, 400kPa, 800kPa e 1600kPa. Com esses carregamentos sendo aplicados, foram realizadas medições nos seguintes intervalos de tempo: 0s, 6s, 12s, 30s, 1min, 2min, 4min, 8min e 15min. Essa etapa está ilustrada pela Figura 28.

Além disso, vale ressaltar que, durante essa etapa, foram estabelecidos os seguintes parâmetros para a determinação do fim de cada carga aplicada: um tempo de carregamento de 15 minutos e uma deformação  $\epsilon < 5,0\%$ , ou seja: caso não fossem alcançados valores de deformações menores que 5%, o carregamento deveria prosseguir e caso esse percentual de deformação fosse alcançado, o referido carregamento prosseguia até o limite de 15 minutos estabelecido.



Figura 28 – Etapa de carregamento do ensaio de adensamento.



Fonte: Autor (2022).

### c) Etapa de descarregamento

Em seguida, foi realizada a etapa de descarregamento, que consistiu na retirada de algumas cargas com medições que variaram de 0 a 4 minutos, com o objetivo de analisar a expansão do solo ao ocorrer a retirada de carregamentos. Esse foram feitos apenas para 800kPa, 400kPa, 200kPa e 100kPa, e suas medições anotadas e organizadas.

O procedimento foi realizado para os dois tipos de compactações de todas as 3 amostras trabalhadas, e para cada amostra, executou-se o ensaio de maneira simultânea, com 1 prensa correspondendo a cada tipo de compactação feita. As medições foram feitas com auxílio de um cronômetro para cada uma das prensas.

Assim como na etapa de carregamento, foram adotados um tempo de 4 minutos e uma deformação  $\mathcal{E} < 5,0\%$  como parâmetros limitantes do descarregamento, ou seja, é necessário alcançar esse percentual de deformação e o tempo de 4 minutos para finalizar cada um dos descarregamentos.

O coeficiente  $C_c$  corresponde ao índice de compressão, ligado a etapa de carregamento e o coeficiente  $C_s$  corresponde ao índice de expansão, ligado a etapa de descarregamento. O cálculo desses coeficientes leva em consideração a variação do índice de vazios, determinada com base nos parâmetros de densidade e umidade previamente conhecidos, bem como a variação das tensões aplicadas.

Os resultados obtidos através desse ensaio são os coeficientes de adensamento  $C_c$  e  $C_s$  descritos e o gráfico de adensamento, que serão apresentados posteriormente na seção de Resultados.

Esses coeficientes são determinados por meio da Equação.

$$C_c = C_s = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma} \quad (4)$$

Onde:

$\Delta e =$  *Varição do índice de vazios.*

$\Delta \log \sigma =$  *Varição da tensão aplicada.*

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Caracterização das amostras

A partir da realização dos ensaios e análises, descritas no item 3.2, foram obtidos alguns resultados referentes a umidade higroscópica (natural) e densidade real das 3 amostras de solo trabalhadas.

#### 4.1.1 Umidade Higroscópica

O resultado de umidade higroscópica para os solos trabalhados está na Tabela 3:

Tabela 3 – Umidades naturais das 3 amostras de solo.

Solo	Umidade natural
Amostra 1	0,38%
Amostra 2	0,37%
Amostra 3	0,32%

Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

Os resultados expostos acima podem ser interpretados de uma maneira coerente, uma vez que são valores característicos de solos arenosos, que foram os solos utilizados no ensaio. Além disso observa-se que não existe uma grande diferença entre as 3 amostras, uma vez que as 3 possuem caráter arenoso, sendo a terceira um pouco menos arenosa que as outras duas amostras.

#### 4.1.2 Densidade real

Dando continuidade, foram realizados os ensaios de densidade real por picnômetro, com o objetivo de determinar-se a densidade real das 3 amostras de solo trabalhadas. Os resultados encontrados estão expostos na Tabela 4.

Tabela 4 – Densidade real das 3 amostras de solo.

Solo	Densidade real (Gs)
Amostra 1	Gs = 2,70
Amostra 2	Gs = 2,65
Amostra 3	Gs = 2,63

Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

A partir dos resultados encontrados pela Tabela 4 acima, com densidades reais na faixa de 2,60 – 2,70, conclui-se que os valores são bastante coerentes com a densidade real típica de solos arenosos. Massad (2016) expõe o valor de Gs típico para o quartzo como sendo na faixa de 2,65. Assim, sendo o quartzo um dos componentes presentes em maior quantidade em solos arenosos, obter valores próximos a eles faz sentido para nossa análise.

#### 4.2 Ensaio de compactação

Os resultados obtidos pelos ensaios de compactação (ver item 3.3) podem ser vistos através da Tabela 5, que contém um resumo dos valores de umidade ótima e massa específica aparente seca máxima para as 3 amostras de solo trabalhadas. Além disso, é válido ressaltar que todas as 3 amostras de solo analisadas são de solos arenosos.

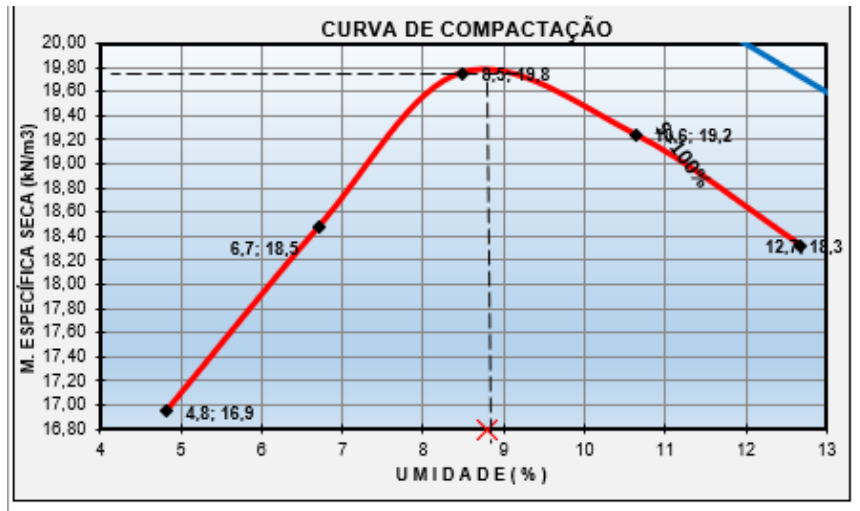
Tabela 5 - Dados e parâmetros das amostras de solo - Amostras 1, 2 e 3.

Solo	Umidade ótima	Massa específica aparente seca máxima
Amostra 1	8,8 %	19,8 kN/m <sup>3</sup>
Amostra 2	9,3 %	19,6 kN/m <sup>3</sup>
Amostra 3	8,4 %	18,1 kN/m <sup>3</sup>

Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

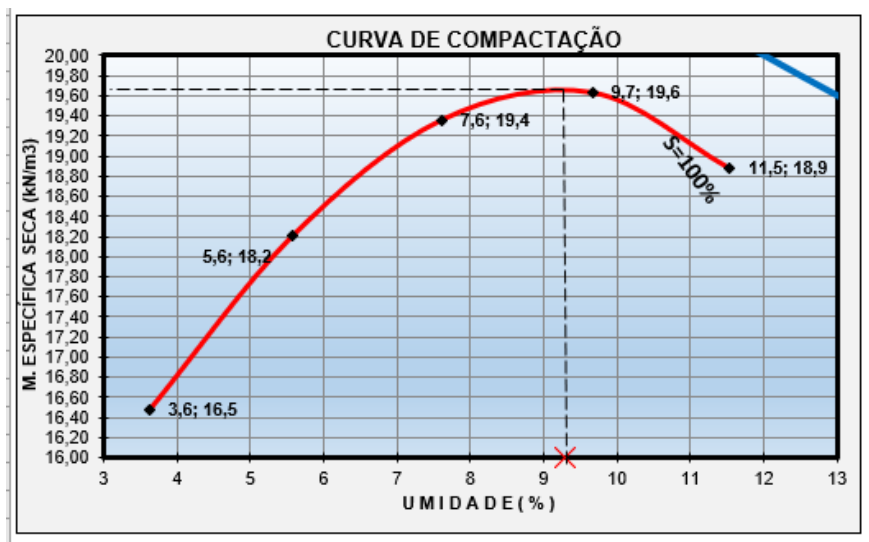
As curvas de compactação dos 3 solos analisados foram obtidas, e seus respectivos parâmetros de umidade ótima e massa específica aparente seca máxima foram determinados diretamente nessas curvas. As curvas referentes aos 3 solos trabalhados estão expostas nas Figuras 29, 30 e 31.

Figura 29 - Curva de compactação da Amostra 1.



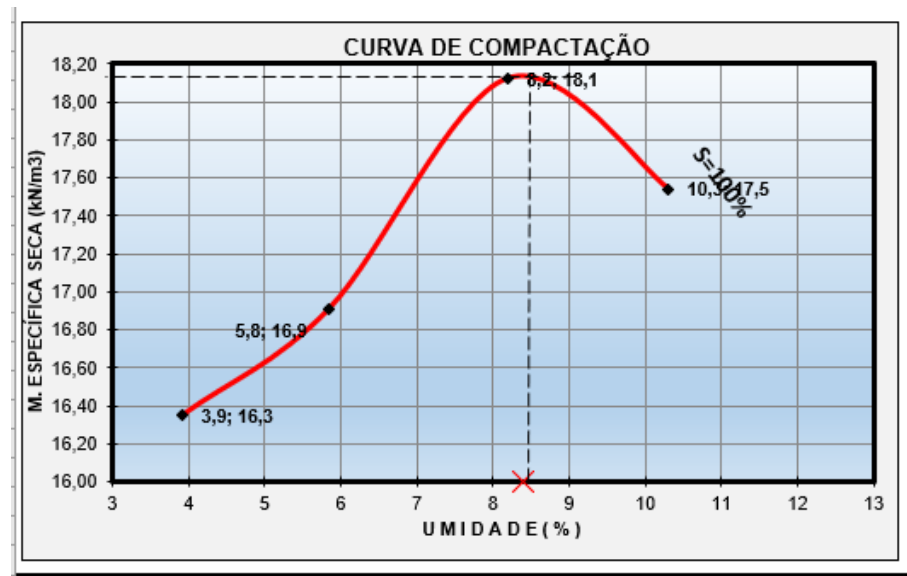
Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

Figura 30 - Curva de compactação da Amostra 2.



Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

Figura 31 - Curva de compactação da Amostra 3.



Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

A partir da obtenção dos parâmetros e das curvas expostos, foi possível analisa-los e concluir a coerência desses valores com base em gráficos do presente trabalho, onde a curva de compactação para solos arenosos possui valores de umidade ótima na faixa de 9,0% e massa específica aparente seca máxima variando na faixa de 18 a 20 kN/m<sup>3</sup>.

### 4.3 Correção de umidade

Na etapa de correção da umidade dos solos, para levá-los a umidade ótima, foram realizadas adições de certas quantidades de água aos solos em umidade higroscópica, considerando um acréscimo de 0,5% na umidade referente as perdas existentes no processo.

A Tabela 6 mostra as quantidades de água que foram adicionadas a cada uma das amostras de solo, assim como a umidade ótima a ser atingida, já considerando os 0,5% adicionais de umidade, referentes as perdas de execução.

Tabela 6 – Tabela de correção de umidade das amostras de solo.

Solo	Umidade natural	Umidade ótima	Umidade ótima final (+0,5% de perdas)	Água adicionada para 4kg de solo
Amostra 1	0,38 %	8,8 %	9,3%	355,45 g
Amostra 2	0,37 %	9,3 %	9,8%	375,81 g
Amostra 3	0,32 %	8,4 %	8,8%	358,05 g

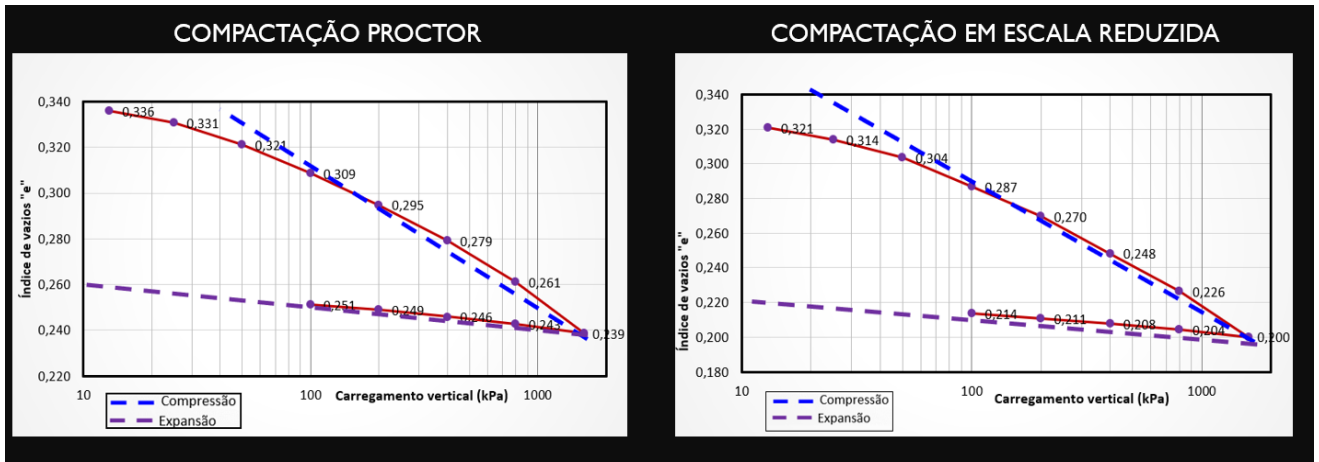
Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

#### 4.4 Ensaio de adensamento

Os resultados encontrados nos ensaios de adensamento correspondem aos coeficientes de adensamento ( $C_c$  e  $C_s$ ) de cada tipo de compactação e para cada amostra, além dos gráficos correspondentes ao ensaio de adensamento que representa a Tensão aplicada x Índice de vazios do solo.

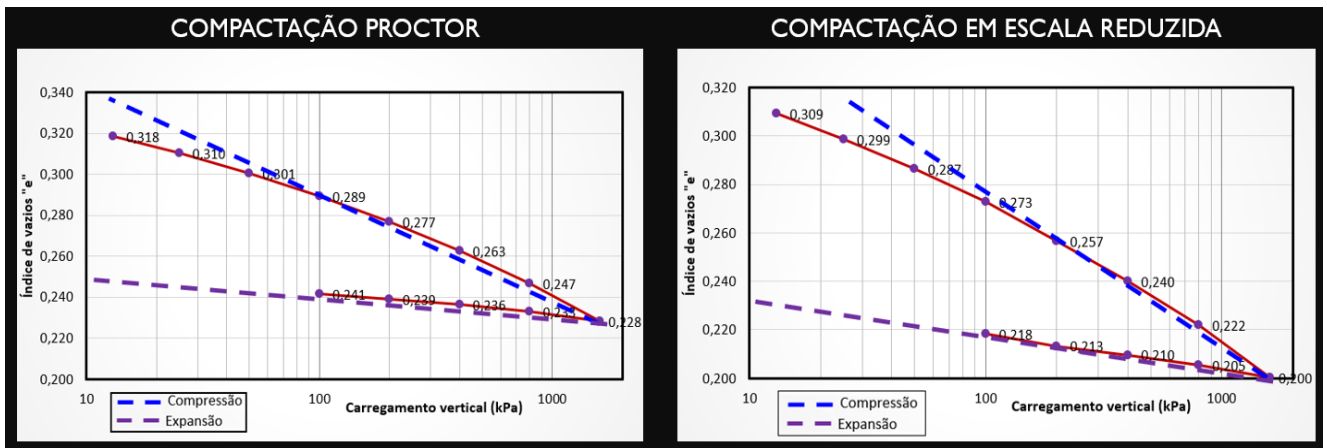
Foi possível obter-se os gráficos correspondentes a cada um dos ensaios de adensamento realizados, para cada amostra e cada tipo de compactação correspondente. Esses estão apresentados nas Figuras 32, 33 e 34, onde cada figura corresponde a uma amostra de solo, com os resultados obtidos pelos dois tipos de compactação executados, compactação Proctor Normal e compactação em escala reduzida.

Figura 32 – Gráfico do ensaio de adensamento: Amostra 1.



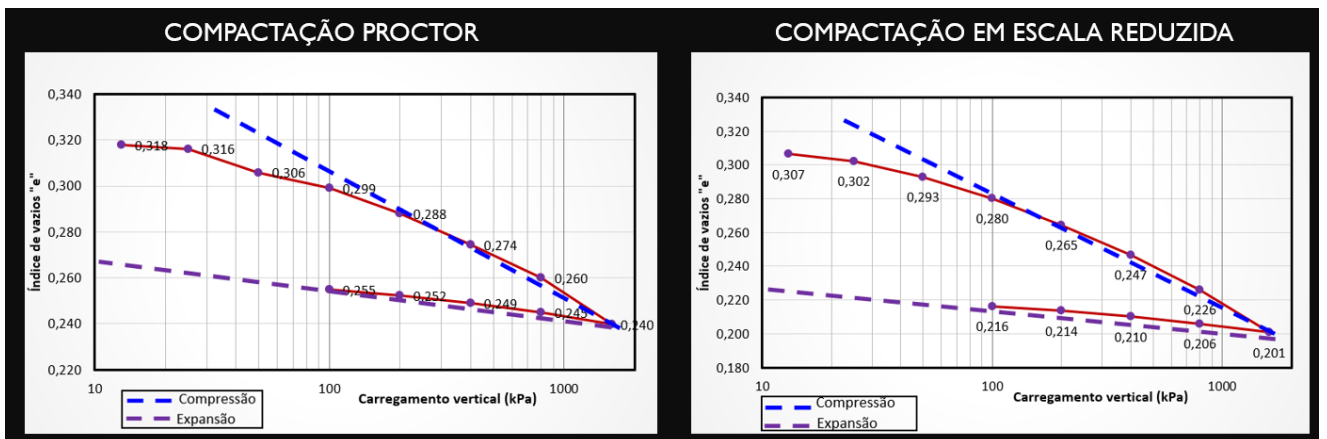
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 33 – Gráfico do ensaio de adensamento: Amostra 2 .



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 34 – Gráfico do ensaio de adensamento: Amostra 3 .



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).



Os resultados gerais, em resumo, estão expostos através das figuras e tabelas acima, porém as tabelas gerais, com todos os dados e parâmetros obtidos e utilizados, de cada carregamento e descarregamento, constam das tabelas nos Apêndices B – M.

Os resultados dos índices de compressão ( $C_c$ ) e índices de expansão ( $C_s$ ) encontrados para cada tipo de solo e seus respectivos tipos de compactação estão na Tabela 7.

Tabela 7 – Coeficientes de adensamento  $C_c$  e  $C_s$ .

Amostra	Compactação Proctor		Compactação em escala reduzida	
	$C_c$	$C_s$	$C_c$	$C_s$
1	0,062	0,009	0,077	0,010
2	0,054	0,010	0,063	0,015
3	0,054	0,011	0,071	0,012

Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

#### 4.5 Avaliação dos parâmetros obtidos em laboratório em um caso hipotético de carregamento e descarregamento

Os dados de gráficos de compressibilidade e coeficientes de adensamento  $C_c$  e  $C_s$  expostos acima permitem a realização de uma análise mais clara a respeito da influência direta do método de compactação no que tange ao adensamento de solos arenosos.

Estabeleceu-se o recalque como o parâmetro de análise, criando uma situação onde tem-se uma camada de solo com profundidade  $H = 10\text{m}$ , na qual são aplicadas tensões. Foi determinada uma tensão inicial  $\sigma_1$ , que é a tensão aplicada pelo peso de 10m de camada de solo, para a densidade natural de cada um dos 3 tipos de solo e foi adotada uma tensão final  $\sigma_2$  de 800kPa, como sendo a carga total que seria aplicada.

A tensão inicial, para o cenário de compressão, foi adotada como sendo a tensão do peso do solo, finalizando na tensão final adotada em 800 kPa. Por outro lado, no caso da expansão a tensão inicial foi de 800 kPa e, para a situação escolhida, adotou-se a realização de uma expansão total do solo, logo teríamos uma tensão final igual a tensão do peso do solo natural.

Além dos fatores adotados, foram utilizados, também, os valores de índices de compressão e expansão  $C_c$  e  $C_s$  encontrados, e os índices de vazios determinados por meio dos ensaios de adensamento e expostos nas tabelas encontradas nos Apêndices B – M.

O cálculo do recalque foi feito de acordo com a Equação 2 (ver item 2.6.1). Com isso, realizou-se o cálculo para as situações de compressão e expansão para cada um dos métodos de compactação analisados e para as 3 amostras de solo. Os valores de recalque, em metro, encontrados para as amostras de solo estão expostos por meio das Tabelas 8, 9 e 10:

Tabela 8 – Recalques de compressão e expansão encontrados para os dois tipos de compactação (Amostra 1).

	<b>Amostra 1</b>			
	<b>COMPRESSÃO (<math>C_c</math>)</b>		<b>EXPANSÃO (<math>C_s</math>)</b>	
	Proctor	Escala Reduzida	Proctor	Escala Reduzida
<b>H (Espessura da camada)</b>	10	10	10	10
<b><math>\sigma_1</math> (Tensão inicial)</b>	107,7	107,7	800	800
<b><math>\sigma_2</math> (Tensão Final)</b>	800	800	107,7	107,7
<b><math>C_c/C_s</math></b>	0,062	0,077	0,009	0,010
<b>e (Índice de vazios)</b>	0,337	0,332	0,261	0,227
<b>Recalque "<math>\rho</math>" (m)</b>	<b>0,4038</b>	<b>0,5034</b>	<b>0,0622</b>	<b>0,0710</b>

Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

Tabela 9 - Recalques de compressão e expansão encontrados para os dois tipos de compactação (Amostra 2).

	<b>Amostra 2</b>			
	<b>COMPRESSÃO (<math>C_c</math>)</b>		<b>EXPANSÃO (<math>C_s</math>)</b>	
	Proctor	Escala Reduzida	Proctor	Escala Reduzida
<b>H (Espessura da camada)</b>	10	10	10	10
<b><math>\sigma_1</math> (Tensão inicial)</b>	107,1	107,1	800	800
<b><math>\sigma_2</math> (Tensão Final)</b>	800	800	107,1	107,1
<b><math>C_c/C_s</math></b>	0,054	0,063	0,01	0,015
<b>e (Índice de vazios)</b>	0,327	0,326	0,247	0,222
<b>Recalque "<math>\rho</math>" (m)</b>	<b>0,3554</b>	<b>0,4149</b>	<b>0,0700</b>	<b>0,1072</b>

Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

Tabela 10 - Recalques de compressão e expansão encontrados para os dois tipos de compactação (Amostra 3).

	<b>Amostra 3</b>			
	<b>COMPRESSÃO (Cc)</b>		<b>EXPANSÃO (Cs)</b>	
	Proctor	Escala Reduzida	Proctor	Escala Reduzida
<b>H (Espessura da camada)</b>	10	10	10	10
<b><math>\sigma_1</math> (Tensão inicial)</b>	98,1	98,1	800	800
<b><math>\sigma_2</math> (Tensão Final)</b>	800	800	98,1	98,1
<b>Cc/Cs</b>	0,054	0,071	0,011	0,012
<b>e (Índice de vazios)</b>	0,318	0,311	0,26	0,227
<b>Recalque "p" (m)</b>	<b>0,3734</b>	<b>0,4936</b>	<b>0,0796</b>	<b>0,0891</b>

Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

A partir dos resultados encontrados nas Tabelas 8, 9 e 10 é possível encontrar valores de recalques baixos para a situação criada, com uma camada de 10m de espessura e uma tensão de 800kPa. Foram obtidos valores de recalque de compressão variando na faixa de 0,35m a 0,50m aproximadamente. Com isso, foi possível observar uma tendência geral dos valores de recalques dos solos compactados pelo método de escala reduzida serem maiores do que os valores para os solos compactados pelo método Proctor.

Apesar de observar-se a diferença, os valores tiveram uma ordem de grandeza pequena e analisando apenas esses recalques, não é possível indicar-se influências muito consideráveis ocorreriam em construções ou obras semelhantes, apesar dos valores terem uma diferença considerável, como será mostrado nas Tabelas 11 e 12.

Por fim, com o intuito de completar a discussão dos resultados encontrados, foi criada uma tabela comparativa entre os valores de recalque para compressão e expansão, analisando a diferença para cada tipo de compactação. Essas comparações estão expostas por meio das Tabelas 11 e 12:

Tabela 11 – Cálculo de recalques.

COMPRESSÃO				
Amostra	Recalque (Compactação Proctor) (m)	Recalque (Compactação em escala reduzida) (m)	Diferença	
			(m)	(%)
1	0,4038	0,5034	0,0996	24,7%
2	0,3554	0,4149	0,0595	16,8%
3	0,3734	0,4936	0,120	32,2%
Média			0,0931	24,6%

Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

Tabela 12 – Cálculo de expansões.

EXPANSÃO				
Amostra	Expansão (Compactação Proctor) (m)	Expansão (Compactação em escala reduzida) (m)	Diferença	
			(m)	(%)
1	0,0622	0,0710	0,0088	14,2%
2	0,0700	0,1072	0,0372	53,1%
3	0,0796	0,0891	0,0095	12,0%
Média			0,0185	26,4%

Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

A partir da exposição das tabelas comparativas acima e analisando os resultados encontrados, chegou-se a valores de diferenças percentuais bastante significativos. É possível observar-se, por meio dos dados da Tabela 11, diferenças de recalque de 24,7%, 16,8% e 32,2%, variando entre 6cm e 12cm, para a situação de compressão de solo, tendo uma média de 24,6%, mostrando que solos compactados em escala reduzida geram maiores valores de recalque, sendo mais compressíveis.

No que tange a expansão, os dados da Tabela 12, referentes ao método de compactação em escala reduzida, as expansões foram consideravelmente maiores, variando de 12,0% até 53,1%, para a amostra 2, e com uma diferença média de 26,4% em relação aos resultados obtidos por solos compactados pelo método convencional de Proctor.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresenta, de maneira geral, conclusões a respeito da pesquisa feita, com o objetivo de analisar se os objetivos estabelecidos inicialmente foram alcançados e expõe, também, sugestões para pesquisas futuras.

### 5.1 Conclusão

Esta pesquisa tinha como objetivo geral a análise da influência do método de compactação em escala reduzida no que tange a deformabilidade do solo, mais especificamente relacionado ao ensaio de adensamento unidimensional para solos arenosos.

Essa análise foi feita por meio da separação e caracterização de 3 amostras de areias, além da execução de ensaios em laboratório, para determinar resultados do ensaio edométrico, sendo possível chegar a parâmetros específicos, como os índices de compressão e expansão, para os dois métodos de compactação abordados.

A partir dos resultados encontrados, conclui-se que existe, sim, uma indicação de existência de influência do método de compactação em escala reduzida no que tange a compressibilidade de solo, uma vez que, tanto para compressão quanto para expansão, foram encontrados valores maiores de recalque para solos compactados pelo método da escala reduzida.

Ressalta-se ainda que para a situação de expansão, apesar da existência de percentuais consideráveis de diferenças, os valores são pouco significativos numa análise global, uma vez que temos expansões com valores baixos, menores que 10cm para as amostras 1 e 3, e diferença menor que 1cm entre os 2 métodos de compactação, sendo a situação de expansão menos afetada pela mudança do método.

Vale expor também que o indicativo de alterações nas deformabilidades do solo indica também possíveis mudanças na permeabilidade e resistência ao cisalhamento desses solos, uma vez que a deformabilidade do solo está diretamente ligada a esses parâmetros, sendo possível que essa mudança tenha sido acarretada por isso.

A pesquisa realizada alcançou os objetivos estabelecidos no capítulo inicial de maneira coerente e satisfatória, encontrando uma indicação da existência de influência direta do método de compactação em escala reduzida na deformabilidade de solos arenosos.

## 5.2 Sugestões para trabalhos futuros

A partir da realização da pesquisa e dos conhecimentos adquiridos a respeito do assunto, é possível citar algumas sugestões para trabalhos futuros de modo a complementar a análise feita.

- (a) Criação e utilização de um aparato de compactação em escala reduzida com controle de energia, analisando os resultados de compressibilidade de solos compactados por esse aparato;
- (b) Realização da análise de influência dos métodos de compactação para outros tipos de solos, fugindo dos solos arenosos, visando estudar o impacto da mudança dos métodos de compactação para diferentes tipos de solos; e
- (c) Avaliar a influência dos métodos de compactação na resistência ao cisalhamento e na permeabilidade dos solos.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182: SOLO - ENSAIO DE COMPACTAÇÃO**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457: AMOSTRAS DE SOLO – PREPARAÇÃO PARA ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO E ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16853: SOLO – ENSAIO DE ADENSAMENTO UNIDIMENSIONAL**. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

British Standards Institute (1990) **BS 1377: 1990 - Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes**. British Standards Institute, Milton Keynes, 1990.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 7ª edição, 2015.

DAS, B. M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. São Paulo: Thomson, 2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 258/94: Solos compactados em equipamento miniatura – Mini - MCV**. Rio de Janeiro: DNER, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 093/94: Solos – Determinação da densidade real**. Rio de Janeiro: DNER, 1994.

FERNANDES, M. **Sebenta de Mecânica dos Solos**, Vol.I. FEUP, Porto, 1994.

HEAD, K. H. **Manual of Soil Laboratory Testing**. Scotland, UK: Whittles Publishing, 1980.

HILF, J. W. Compacted fill. In: FANG, H. **Foundation engineering handbook**. New York: Chapman & Hall, 1991.

HOLTZ, R.D.; KOVACS, W.D. **An introduction to geotechnical engineering**. New Jersey: Prentice-Hall, 1981.

KAFODYA, I.; OKONTA, F. **Density control method for compression test of compacted lime-flyash stabilised fiber-soil mixtures**. ELSIER, B. V. p. 848-856. Johannesburg, 2018.

LAMBE, T. W.; WHITMAN, R.V. **Soil Mechanics**. New York: J. Wiley, 1969.

MARIBEL, S. S. W. **Estudo da influência dos métodos de compactação no comportamento resiliente de solos**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). UFRGS. Porto Alegre, 2000.

MASSAD, F. **Mecânica dos solos experimental**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2016.

MEDINA, J. **Mecânica dos pavimentos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 1997.

MELLO, V. F. B.; TEIXEIRA, A. H. **Mecânica dos solos, fundações e obras de terra**. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, SP, 1971.

NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F. **Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias**. Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, Rio de Janeiro, 1981.

FABBRI, G. T. P. **Caracterização da fração fina de solos tropicais através da adsorção de azul de metileno**. 1994. Tese (Doutor em Engenharia Civil). USP – São Carlos. São Carlos – SP, 1994.

NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos**. São Paulo: Editora Villibor, 1995.

PARSONS, A. W.; BOLDEN, J. B. **The Moisture Condition Test and its Potential Application in Earthworks**. Transport and Road Research Laboratory, UK, 25p., 1979.

PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2006.



RAMOS, F.T.; MAIA, J.C.S.; SERAFIM, M.E; AZEVEDO, E.C. & ROQUE, M.W. Curvas de Compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo: com e sem reuso de amostras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.2, p.129–136, 2013.

RIBEIRO, S. **Terraplenagem. Metodologia e técnicas de compactação**. 2008. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – FEUP, Porto, 2008.

SANTOS, L. A.; LOPES, S.; SILVA, J. **Difficulties of using the Harvard Miniature Compaction Apparatus as a reference test in the study of soil compaction**. In: XVII European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Reikjavavik: 2019.

Sayão, A.S. F. J. **Ensaio de laboratório na argila mole da escavação experimental de Sarapuí**. Dissertação de mestrado, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 1980.

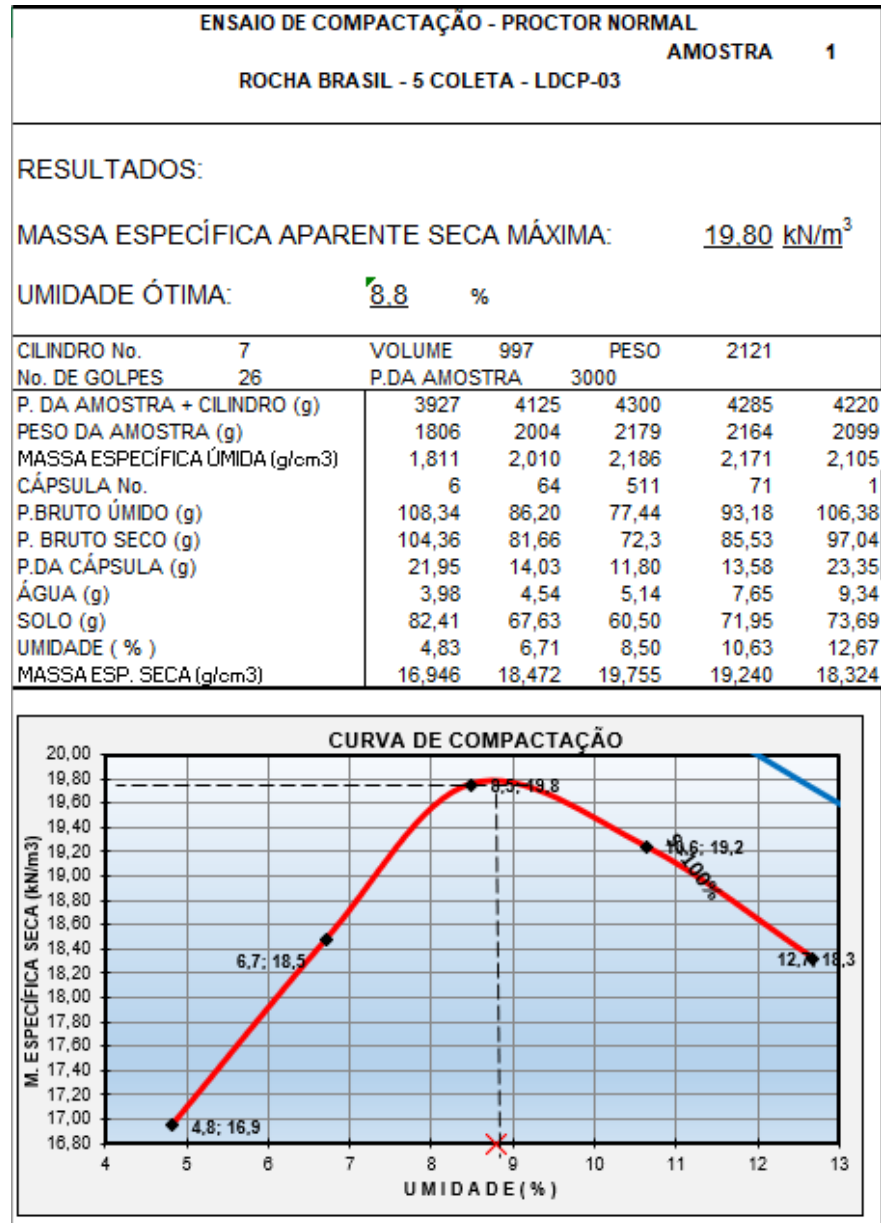
SÓRIA, M.H.A., FABBRI, G.T.P. **O Ensaio Mini-MCV - Um Ensaio de MCV, Moisture Condition Value, com Corpos de Prova de Dimensões Reduzidas**. In: 15ª Reunião Anual de Pavimentação, Belo Horizonte, 1980.

SANTOS, J. A. **Obras Geotécnicas – Compactação**. Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil. Lisboa, 2008.

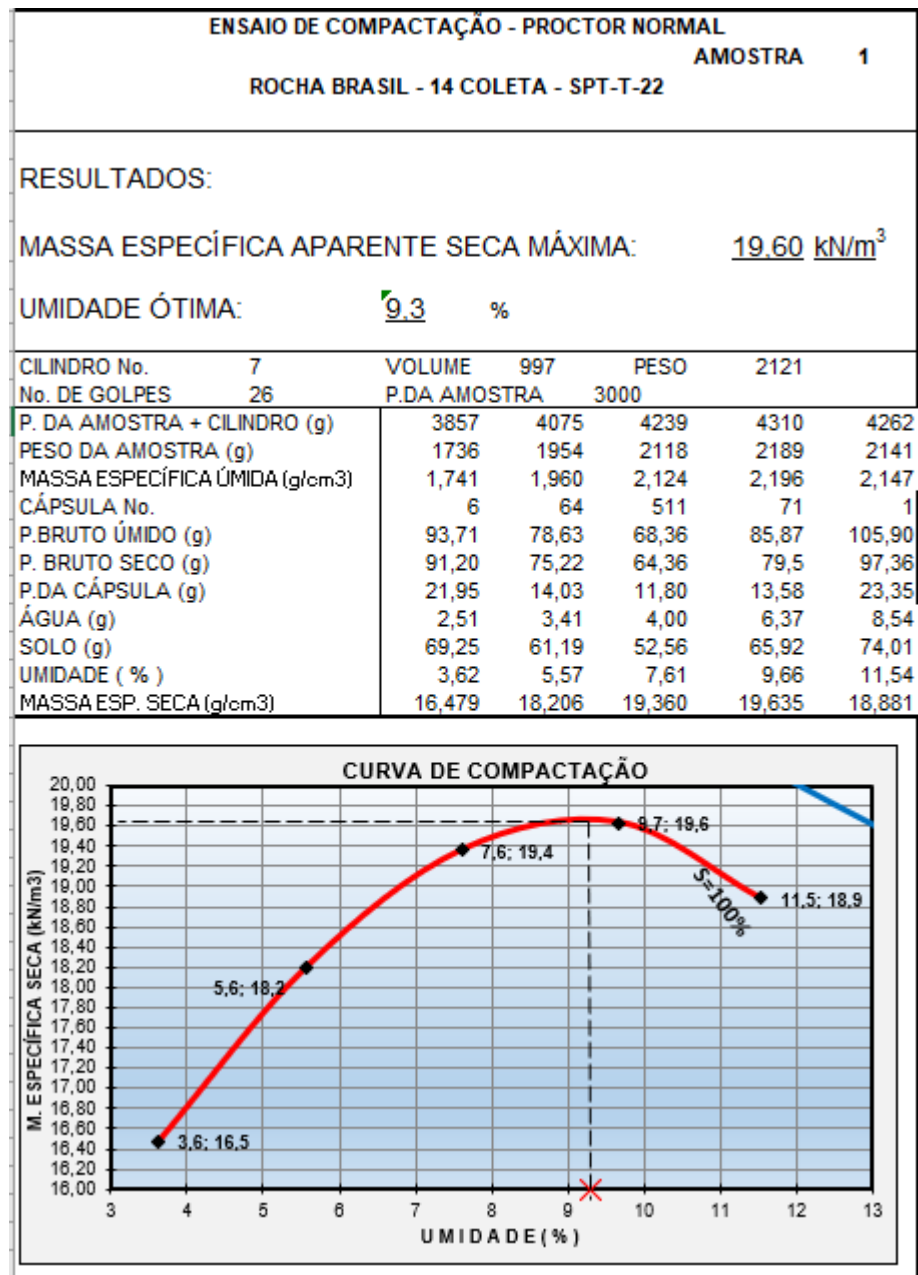
VERÇOSA, M. C. **Influência do reuso de amostras no ensaio de compactação de dois latossolos de Minas Gerais**. 2017. Monografia (Graduação em Engenharia Civil. Área: Geotecnia). UFOP, Departamento de Engenharia Civil. Ouro Preto, 2017.

## APÊNDICE A – DADOS E CURVAS DE COMPACTAÇÃO DAS AMOSTRAS

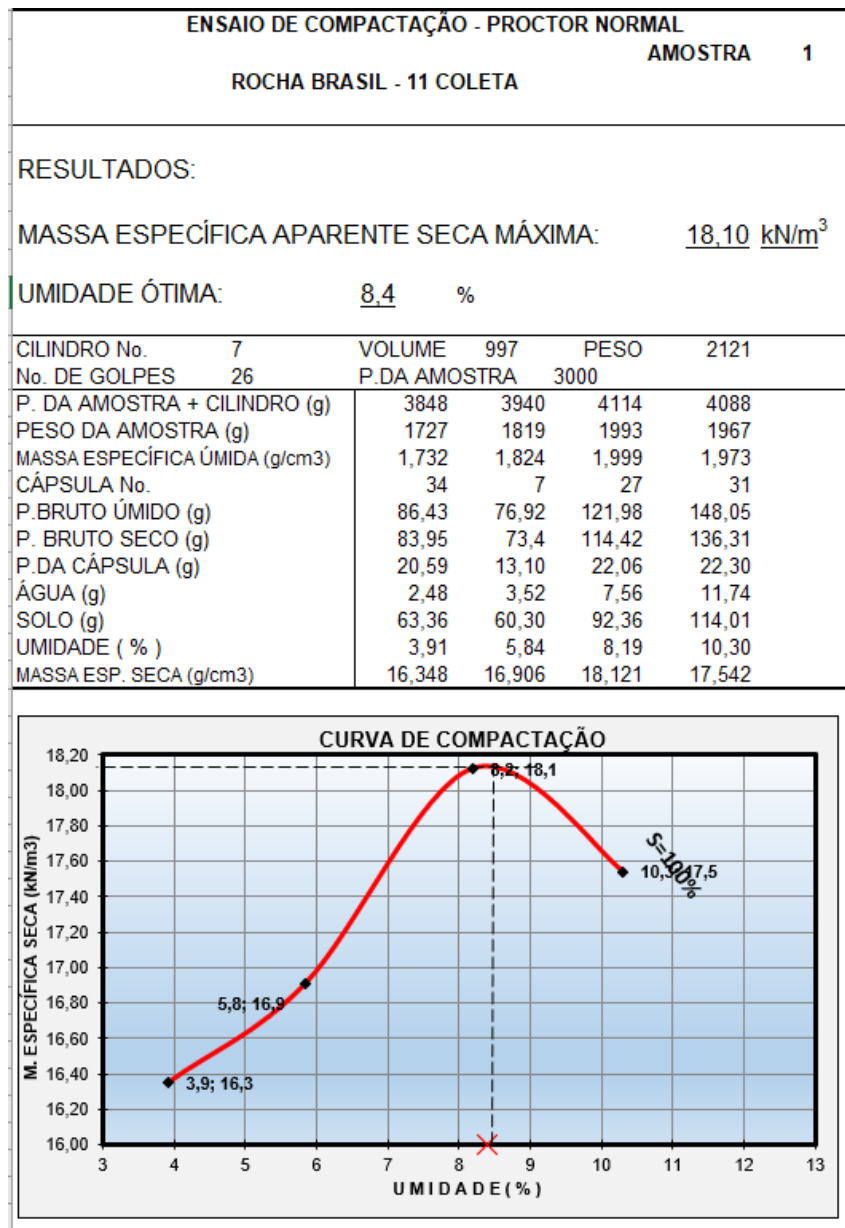
### a) Amostra 1



## b) Amostra 2



## c) Amostra 3



**APÊNDICE B – DADOS DE CARREGAMENTO DO ADENSAMENTO DA  
AMOSTRA 1 (COMPACTAÇÃO PROCTOR).**

CARGA	5 kPa			SATURAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	5,000	0,000	20,000	0,000	0,337		0,001
0,10	0,32	4,999	0,001	19,999	0,000	0,337	100,0%	
0,20	0,45	4,999	0,000	19,999	0,000	0,337	0,0%	
0,50	0,71	4,999	0,000	19,999	0,000	0,337	0,0%	
1	1,00	4,999	0,000	19,999	0,000	0,337	0,0%	
2	1,41	4,999	0,000	19,999	0,000	0,337	0,0%	
4	2,00	4,999	0,000	19,999	0,000	0,337	0,0%	
8	2,83	4,999	0,000	19,999	0,000	0,337	0,0%	
15	3,87	4,999	0,000	19,999	0,000	0,337	0,0%	

CARGA	13 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,999	0,000	19,999	0,000	0,337		0,015
0,10	0,32	4,990	0,009	19,990	0,001	0,336	100,0%	
0,20	0,45	4,989	0,001	19,989	0,000	0,336	10,0%	
0,50	0,71	4,987	0,002	19,987	0,000	0,336	16,7%	
1	1,00	4,986	0,001	19,986	0,000	0,336	7,7%	
2	1,41	4,985	0,001	19,985	0,000	0,336	7,1%	
4	2,00	4,984	0,001	19,984	0,000	0,336	6,7%	
8	2,83	4,984	0,000	19,984	0,000	0,336	0,0%	
15	3,87	4,984	0,000	19,984	0,000	0,336	0,0%	

CARGA	25 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,984	0,000	19,984	0,000	0,336		0,079
0,10	0,32	4,930	0,054	19,930	0,004	0,332	100,0%	
0,20	0,45	4,925	0,005	19,925	0,000	0,332	8,5%	
0,50	0,71	4,920	0,005	19,920	0,000	0,332	7,8%	
1	1,00	4,915	0,005	19,915	0,000	0,331	7,2%	
2	1,41	4,912	0,003	19,912	0,000	0,331	4,2%	
4	2,00	4,910	0,002	19,910	0,000	0,331	2,7%	
8	2,83	4,908	0,002	19,908	0,000	0,331	2,6%	
15	3,87	4,905	0,003	19,905	0,000	0,331	3,8%	

CARGA	50 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,905	0,000	19,905	0,000	0,331		0,144
0,10	0,32	4,788	0,117	19,788	0,008	0,323	100,0%	
0,20	0,45	4,780	0,008	19,780	0,001	0,322	6,4%	
0,50	0,71	4,775	0,005	19,775	0,000	0,322	3,8%	
1	1,00	4,770	0,005	19,770	0,000	0,322	3,7%	
2	1,41	4,768	0,002	19,768	0,000	0,321	1,5%	
4	2,00	4,765	0,003	19,765	0,000	0,321	2,1%	
8	2,83	4,762	0,003	19,762	0,000	0,321	2,1%	
15	3,87	4,761	0,001	19,761	0,000	0,321	0,7%	

CARGA	100 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,761	0,000	19,765	0,000	0,321		0,185
0,10	0,32	4,598	0,163	19,602	0,011	0,310	100,0%	
0,20	0,45	4,596	0,002	19,600	0,000	0,310	1,2%	
0,50	0,71	4,592	0,004	19,596	0,000	0,310	2,4%	
1	1,00	4,587	0,005	19,591	0,000	0,310	2,9%	
2	1,41	4,583	0,004	19,587	0,000	0,309	2,2%	
4	2,00	4,581	0,002	19,585	0,000	0,309	1,1%	
8	2,83	4,578	0,003	19,582	0,000	0,309	1,6%	
15	3,87	4,576	0,002	19,580	0,000	0,309	1,1%	

CARGA	200 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,576	0,000	19,580	0,000	0,309		0,207
0,10	0,32	4,395	0,181	19,399	0,012	0,297	100,0%	
0,20	0,45	4,390	0,005	19,394	0,000	0,296	2,7%	
0,50	0,71	4,383	0,007	19,387	0,000	0,296	3,6%	
1	1,00	4,379	0,004	19,383	0,000	0,296	2,0%	
2	1,41	4,376	0,003	19,380	0,000	0,296	1,5%	
4	2,00	4,373	0,003	19,377	0,000	0,295	1,5%	
8	2,83	4,370	0,003	19,374	0,000	0,295	1,5%	
15	3,87	4,369	0,001	19,373	0,000	0,295	0,5%	

CARGA	400 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,369	0,000	19,373	0,000	0,295		0,232
0,10	0,32	4,168	0,201	19,172	0,013	0,282	49,3%	
0,20	0,45	4,159	0,009	19,163	0,001	0,281	2,2%	
0,50	0,71	4,153	0,006	19,157	0,000	0,281	1,4%	
1	1,00	4,150	0,003	19,154	0,000	0,280	0,7%	
2	1,41	4,147	0,003	19,151	0,000	0,280	0,7%	
4	2,00	4,143	0,004	19,147	0,000	0,280	0,9%	
8	2,83	4,139	0,004	19,143	0,000	0,280	0,9%	
15	3,87	4,137	0,002	19,141	0,000	0,280	0,5%	

CARGA	800 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,137	0,000	19,141	0,000	0,280		0,274
0,10	0,32	3,900	0,237	18,904	0,016	0,264	35,1%	
0,20	0,45	3,893	0,007	18,897	0,000	0,263	1,0%	
0,50	0,71	3,886	0,007	18,890	0,000	0,263	1,0%	
1	1,00	3,881	0,005	18,885	0,000	0,262	0,7%	
2	1,41	3,876	0,005	18,880	0,000	0,262	0,7%	
4	2,00	3,872	0,004	18,876	0,000	0,262	0,6%	
8	2,83	3,868	0,004	18,872	0,000	0,262	0,6%	
15	3,87	3,863	0,005	18,867	0,000	0,261	0,7%	

CARGA	1600 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,863	0,000	18,867	0,000	0,261		0,336
0,10	0,32	3,580	0,283	18,584	0,019	0,242	28,4%	
0,20	0,45	3,568	0,012	18,572	0,001	0,242	1,2%	
0,50	0,71	3,558	0,010	18,562	0,001	0,241	1,0%	
1	1,00	3,552	0,006	18,556	0,000	0,240	0,6%	
2	1,41	3,545	0,007	18,549	0,000	0,240	0,7%	
4	2,00	3,538	0,007	18,542	0,000	0,240	0,7%	
8	2,83	3,532	0,006	18,536	0,000	0,239	0,6%	
15	3,87	3,527	0,005	18,531	0,000	0,239	0,5%	

**APÊNDICE C – DADOS DE DESCARREGAMENTO DO ADENSAMENTO DA  
AMOSTRA 1 (COMPACTAÇÃO PROCTOR).**

CARGA	800 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,527	0,000	18,531	0,000	0,239		0,062
0,10	0,32	3,586	0,059	18,590	0,004	0,243	100,0%	
0,20	0,45	3,587	0,001	18,591	0,000	0,243	1,7%	
0,50	0,71	3,588	0,001	18,592	0,000	0,243	1,6%	
1	1,00	3,589	0,001	18,593	0,000	0,243	1,6%	
2	1,41	3,589	0,000	18,593	0,000	0,243	0,0%	
4	2,00	3,589	0,000	18,593	0,000	0,243	0,0%	

CARGA	400 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,589	0,000	18,593	0,000	0,243		0,047
0,10	0,32	3,632	0,043	18,636	0,003	0,246	100,0%	
0,20	0,45	3,630	0,002	18,638	0,000	0,246	4,4%	
0,50	0,71	3,631	0,001	18,639	0,000	0,246	2,2%	
1	1,00	3,632	0,001	18,640	0,000	0,246	2,1%	
2	1,41	3,632	0,000	18,640	0,000	0,246	0,0%	
4	2,00	3,632	0,000	18,640	0,000	0,246	0,0%	

CARGA	200 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,632	0,000	18,640	0,000	0,246		0,046
0,10	0,32	3,674	0,042	18,682	0,003	0,249	100,0%	
0,20	0,45	3,672	0,002	18,684	0,000	0,249	4,5%	
0,50	0,71	3,673	0,001	18,685	0,000	0,249	2,2%	
1	1,00	3,673	0,000	18,685	0,000	0,249	0,0%	
2	1,41	3,674	0,001	18,686	0,000	0,249	2,2%	
4	2,00	3,674	0,000	18,686	0,000	0,249	0,0%	



CARGA	100 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,674	0,000	18,686	0,000	0,249		0,035
0,10	0,32	3,705	0,031	18,717	0,002	0,251	100,0%	
0,20	0,45	3,706	0,001	18,718	0,000	0,251	3,1%	
0,50	0,71	3,707	0,001	18,719	0,000	0,251	3,0%	
1	1,00	3,708	0,001	18,720	0,000	0,251	2,9%	
2	1,41	3,709	0,001	18,721	0,000	0,251	2,9%	
4	2,00	3,709	0,000	18,721	0,000	0,251	0,0%	

**APÊNDICE D – DADOS DE CARREGAMENTO DO ADENSAMENTO DA  
AMOSTRA 1 (COMPACTAÇÃO EM ESCALA REDUZIDA).**

CARGA	5 kPa			SATURAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	5,300	0,000	20,000	0,000	0,334		0,030
0,10	0,32	5,270	0,030	19,970	0,002	0,332	100,0%	
0,20	0,45	5,270	0,000	19,970	0,000	0,332	0,0%	
0,50	0,71	5,270	0,000	19,970	0,000	0,332	0,0%	
1	1,00	5,270	0,000	19,970	0,000	0,332	0,0%	
2	1,41	5,270	0,000	19,970	0,000	0,332	0,0%	
4	2,00	5,270	0,000	19,970	0,000	0,332	0,0%	
8	2,83	5,270	0,000	19,970	0,000	0,332	0,0%	
15	3,87	5,270	0,000	19,970	0,000	0,332	0,0%	

CARGA	13 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	5,270	0,000	19,970	0,000	0,332		0,170
0,10	0,32	5,140	0,130	19,840	0,009	0,323	100,0%	
0,20	0,45	5,130	0,010	19,830	0,001	0,323	7,1%	
0,50	0,71	5,120	0,010	19,820	0,001	0,322	6,7%	
1	1,00	5,110	0,010	19,810	0,001	0,321	6,2%	
2	1,41	5,110	0,000	19,810	0,000	0,321	0,0%	
4	2,00	5,100	0,010	19,800	0,001	0,321	5,9%	
8	2,83	5,100	0,000	19,800	0,000	0,321	0,0%	
15	3,87	5,100	0,000	19,800	0,000	0,321	0,0%	

CARGA	25 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	5,100	0,000	19,800	0,000	0,321		0,100
0,10	0,32	5,040	0,060	19,740	0,004	0,317	100,0%	
0,20	0,45	5,030	0,010	19,730	0,001	0,316	14,3%	
0,50	0,71	5,020	0,010	19,720	0,001	0,315	12,5%	
1	1,00	5,010	0,010	19,710	0,001	0,315	11,1%	
2	1,41	5,010	0,000	19,710	0,000	0,315	0,0%	
4	2,00	5,000	0,010	19,700	0,001	0,314	10,0%	
8	2,83	5,000	0,000	19,700	0,000	0,314	0,0%	
15	3,87	5,000	0,000	19,700	0,000	0,314	0,0%	

CARGA	50 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	5,000	0,000	19,700	0,000	0,314		0,157
0,10	0,32	4,900	0,100	19,600	0,007	0,307	100,0%	
0,20	0,45	4,858	0,042	19,558	0,003	0,305	29,6%	
0,50	0,71	4,855	0,003	19,555	0,000	0,304	2,1%	
1	1,00	4,850	0,005	19,550	0,000	0,304	3,3%	
2	1,41	4,849	0,001	19,549	0,000	0,304	0,7%	
4	2,00	4,847	0,002	19,547	0,000	0,304	1,3%	
8	2,83	4,845	0,002	19,545	0,000	0,304	1,3%	
15	3,87	4,843	0,002	19,543	0,000	0,304	1,3%	

CARGA	100 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,843	0,000	19,547	0,000	0,304		0,250
0,10	0,32	4,620	0,223	19,324	0,015	0,289	100,0%	
0,20	0,45	4,614	0,006	19,318	0,000	0,289	2,6%	
0,50	0,71	4,606	0,008	19,310	0,001	0,288	3,4%	
1	1,00	4,600	0,006	19,304	0,000	0,288	2,5%	
2	1,41	4,598	0,002	19,302	0,000	0,287	0,8%	
4	2,00	4,596	0,002	19,300	0,000	0,287	0,8%	
8	2,83	4,595	0,001	19,299	0,000	0,287	0,4%	
15	3,87	4,593	0,002	19,297	0,000	0,287	0,8%	

CARGA	200 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,593	0,000	19,297	0,000	0,287		0,255
0,10	0,32	4,375	0,218	19,079	0,015	0,273	100,0%	
0,20	0,45	4,366	0,009	19,070	0,001	0,272	4,0%	
0,50	0,71	4,358	0,008	19,062	0,001	0,271	3,4%	
1	1,00	4,353	0,005	19,057	0,000	0,271	2,1%	
2	1,41	4,348	0,005	19,052	0,000	0,271	2,0%	
4	2,00	4,345	0,003	19,049	0,000	0,271	1,2%	
8	2,83	4,342	0,003	19,046	0,000	0,270	1,2%	
15	3,87	4,338	0,004	19,042	0,000	0,270	1,6%	

CARGA	400 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,338	0,000	19,042	0,000	0,270		0,323
0,10	0,32	4,063	0,275	18,767	0,018	0,252	51,9%	
0,20	0,45	4,053	0,010	18,757	0,001	0,251	1,9%	
0,50	0,71	4,045	0,008	18,749	0,001	0,251	1,5%	
1	1,00	4,049	0,004	18,745	0,000	0,250	0,7%	
2	1,41	4,036	0,013	18,732	0,001	0,249	2,3%	
4	2,00	4,030	0,006	18,726	0,000	0,249	1,1%	
8	2,83	4,027	0,003	18,723	0,000	0,249	0,5%	
15	3,87	4,023	0,004	18,719	0,000	0,249	0,7%	

CARGA	800 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,023	0,000	18,719	0,000	0,249		0,327
0,10	0,32	3,749	0,274	18,445	0,018	0,230	32,2%	
0,20	0,45	3,732	0,017	18,428	0,001	0,229	2,0%	
0,50	0,71	3,723	0,009	18,419	0,001	0,229	1,0%	
1	1,00	3,713	0,010	18,409	0,001	0,228	1,1%	
2	1,41	3,710	0,003	18,406	0,000	0,228	0,3%	
4	2,00	3,705	0,005	18,401	0,000	0,227	0,6%	
8	2,83	3,700	0,005	18,396	0,000	0,227	0,6%	
15	3,87	3,696	0,004	18,392	0,000	0,227	0,4%	

CARGA	1600 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,696	0,000	18,392	0,000	0,227		0,395
0,10	0,32	3,354	0,342	18,050	0,023	0,204	27,4%	
0,20	0,45	3,350	0,004	18,046	0,000	0,204	0,3%	
0,50	0,71	3,343	0,007	18,039	0,000	0,203	0,6%	
1	1,00	3,335	0,008	18,031	0,001	0,203	0,6%	
2	1,41	3,327	0,008	18,023	0,001	0,202	0,6%	
4	2,00	3,329	0,002	18,021	0,000	0,202	0,2%	
8	2,83	3,313	0,016	18,005	0,001	0,201	1,2%	
15	3,87	3,305	0,008	17,997	0,001	0,200	0,6%	

**APÊNDICE E – DADOS DE DESCARREGAMENTO DO ADENSAMENTO DA  
AMOSTRA 1 (COMPACTAÇÃO EM ESCALA REDUZIDA).**

CARGA	800 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,305	0,000	17,997	0,000	0,200		0,063
0,10	0,32	3,365	0,060	18,057	0,004	0,204	100,0%	
0,20	0,45	3,366	0,001	18,058	0,000	0,204	1,6%	
0,50	0,71	3,367	0,001	18,059	0,000	0,205	1,6%	
1	1,00	3,368	0,001	18,060	0,000	0,205	1,6%	
2	1,41	3,368	0,000	18,060	0,000	0,205	0,0%	
4	2,00	3,368	0,000	18,060	0,000	0,205	0,0%	

CARGA	400 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,368	0,000	18,060	0,000	0,205		0,052
0,10	0,32	3,418	0,050	18,110	0,003	0,208	100,0%	
0,20	0,45	3,419	0,001	18,111	0,000	0,208	2,0%	
0,50	0,71	3,419	0,000	18,111	0,000	0,208	0,0%	
1	1,00	3,419	0,000	18,111	0,000	0,208	0,0%	
2	1,41	3,420	0,001	18,112	0,000	0,208	1,9%	
4	2,00	3,420	0,000	18,112	0,000	0,208	0,0%	

CARGA	200 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,420	0,000	18,112	0,000	0,208		0,045
0,10	0,32	3,462	0,042	18,154	0,003	0,211	100,0%	
0,20	0,45	3,463	0,001	18,155	0,000	0,211	2,3%	
0,50	0,71	3,464	0,001	18,156	0,000	0,211	2,3%	
1	1,00	3,465	0,001	18,157	0,000	0,211	2,2%	
2	1,41	3,465	0,000	18,157	0,000	0,211	0,0%	
4	2,00	3,465	0,000	18,157	0,000	0,211	0,0%	

CARGA	100 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,465	0,000	18,157	0,000	0,211		0,042
0,10	0,32	3,502	0,037	18,194	0,002	0,214	100,0%	
0,20	0,45	3,504	0,002	18,196	0,000	0,214	5,1%	
0,50	0,71	3,505	0,001	18,197	0,000	0,214	2,5%	
1	1,00	3,506	0,001	18,198	0,000	0,214	2,4%	
2	1,41	3,507	0,001	18,199	0,000	0,214	2,4%	
4	2,00	3,507	0,000	18,199	0,000	0,214	0,0%	

**APÊNDICE F – DADOS DE CARREGAMENTO DO ADENSAMENTO DA  
AMOSTRA 2 (COMPACTAÇÃO PROCTOR).**

CARGA	5 kPa			SATURAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	5,000	0,000	20,000	0,000	0,327		0,005
0,10	0,32	4,995	0,005	19,995	0,000	0,327	100,0%	
0,20	0,45	4,995	0,000	19,995	0,000	0,327	0,0%	
0,50	0,71	4,995	0,000	19,995	0,000	0,327	0,0%	
1	1,00	4,995	0,000	19,995	0,000	0,327	0,0%	
2	1,41	4,995	0,000	19,995	0,000	0,327	0,0%	
4	2,00	4,995	0,000	19,995	0,000	0,327	0,0%	
8	2,83	4,995	0,000	19,995	0,000	0,327	0,0%	
15	3,87	4,995	0,000	19,995	0,000	0,327	0,0%	

CARGA	13 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,995	0,000	19,995	0,000	0,327		0,125
0,10	0,32	4,885	0,110	19,885	0,007	0,319	100,0%	
0,20	0,45	4,880	0,005	19,880	0,000	0,319	4,3%	
0,50	0,71	4,876	0,004	19,876	0,000	0,319	3,4%	
1	1,00	4,875	0,001	19,875	0,000	0,319	0,8%	
2	1,41	4,871	0,004	19,871	0,000	0,318	3,2%	
4	2,00	4,870	0,001	19,870	0,000	0,318	0,8%	
8	2,83	4,870	0,000	19,870	0,000	0,318	0,0%	
15	3,87	4,870	0,000	19,870	0,000	0,318	0,0%	

CARGA	25 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,870	0,000	19,870	0,000	0,318		0,119
0,10	0,32	4,778	0,092	19,778	0,006	0,312	100,0%	
0,20	0,45	4,768	0,010	19,768	0,001	0,312	9,8%	
0,50	0,71	4,763	0,005	19,763	0,000	0,311	4,7%	
1	1,00	4,762	0,001	19,762	0,000	0,311	0,9%	
2	1,41	4,758	0,004	19,758	0,000	0,311	3,6%	
4	2,00	4,755	0,003	19,755	0,000	0,311	2,6%	
8	2,83	4,752	0,003	19,752	0,000	0,311	2,5%	
15	3,87	4,751	0,001	19,751	0,000	0,310	0,8%	

CARGA	50 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,751	0,000	19,751	0,000	0,310		0,149
0,10	0,32	4,629	0,122	19,629	0,008	0,302	100,0%	
0,20	0,45	4,624	0,005	19,624	0,000	0,302	3,9%	
0,50	0,71	4,621	0,003	19,621	0,000	0,302	2,3%	
1	1,00	4,615	0,006	19,615	0,000	0,301	4,4%	
2	1,41	4,613	0,002	19,613	0,000	0,301	1,4%	
4	2,00	4,610	0,003	19,610	0,000	0,301	2,1%	
8	2,83	4,605	0,005	19,605	0,000	0,301	3,4%	
15	3,87	4,602	0,003	19,602	0,000	0,301	2,0%	

CARGA	100 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,602	0,000	19,610	0,000	0,301		0,173
0,10	0,32	4,460	0,142	19,468	0,009	0,292	100,0%	
0,20	0,45	4,458	0,002	19,466	0,000	0,292	1,4%	
0,50	0,71	4,452	0,006	19,460	0,000	0,291	4,0%	
1	1,00	4,448	0,004	19,456	0,000	0,291	2,6%	
2	1,41	4,443	0,005	19,451	0,000	0,291	3,1%	
4	2,00	4,438	0,005	19,446	0,000	0,290	3,0%	
8	2,83	4,430	0,008	19,438	0,001	0,290	4,7%	
15	3,87	4,429	0,001	19,437	0,000	0,290	0,6%	

CARGA	200 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,429	0,000	19,437	0,000	0,290		0,187
0,10	0,32	4,262	0,167	19,270	0,011	0,279	100,0%	
0,20	0,45	4,261	0,001	19,269	0,000	0,278	0,6%	
0,50	0,71	4,259	0,002	19,267	0,000	0,278	1,2%	
1	1,00	4,254	0,005	19,262	0,000	0,278	2,9%	
2	1,41	4,250	0,004	19,258	0,000	0,278	2,2%	
4	2,00	4,248	0,002	19,256	0,000	0,278	1,1%	
8	2,83	4,246	0,002	19,254	0,000	0,278	1,1%	
15	3,87	4,242	0,004	19,250	0,000	0,277	2,1%	



CARGA	400 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,242	0,000	19,250	0,000	0,277		0,212
0,10	0,32	4,058	0,184	19,066	0,012	0,265	49,6%	
0,20	0,45	4,055	0,003	19,063	0,000	0,265	0,8%	
0,50	0,71	4,050	0,005	19,058	0,000	0,264	1,3%	
1	1,00	4,045	0,005	19,053	0,000	0,264	1,3%	
2	1,41	4,042	0,003	19,050	0,000	0,264	0,8%	
4	2,00	4,039	0,003	19,047	0,000	0,264	0,8%	
8	2,83	4,035	0,004	19,043	0,000	0,264	1,0%	
15	3,87	4,030	0,005	19,038	0,000	0,263	1,3%	

CARGA	800 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,030	0,000	19,038	0,000	0,263		0,239
0,10	0,32	3,828	0,202	18,836	0,013	0,250	33,6%	
0,20	0,45	3,813	0,015	18,821	0,001	0,249	2,4%	
0,50	0,71	3,808	0,005	18,816	0,000	0,248	0,8%	
1	1,00	3,804	0,004	18,812	0,000	0,248	0,6%	
2	1,41	3,800	0,004	18,808	0,000	0,248	0,6%	
4	2,00	3,798	0,002	18,806	0,000	0,248	0,3%	
8	2,83	3,792	0,006	18,800	0,000	0,247	0,9%	
15	3,87	3,791	0,001	18,799	0,000	0,247	0,2%	

CARGA	1600 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,791	0,000	18,799	0,000	0,247		0,280
0,10	0,32	3,549	0,242	18,557	0,016	0,231	27,5%	
0,20	0,45	3,541	0,008	18,549	0,001	0,231	0,9%	
0,50	0,71	3,532	0,009	18,540	0,001	0,230	1,0%	
1	1,00	3,528	0,004	18,536	0,000	0,230	0,4%	
2	1,41	3,525	0,003	18,533	0,000	0,230	0,3%	
4	2,00	3,521	0,004	18,529	0,000	0,229	0,4%	
8	2,83	3,518	0,003	18,526	0,000	0,229	0,3%	
15	3,87	3,511	0,007	18,519	0,000	0,229	0,8%	

**APÊNDICE G – DADOS DE DESCARREGAMENTO DO ADENSAMENTO DA  
AMOSTRA 2 (COMPACTAÇÃO PROCTOR).**

CARGA	800 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,511	0,000	18,519	0,000	0,229		0,068
0,10	0,32	3,576	0,065	18,584	0,004	0,233	100,0%	
0,20	0,45	3,576	0,000	18,584	0,000	0,233	0,0%	
0,50	0,71	3,577	0,001	18,585	0,000	0,233	1,5%	
1	1,00	3,578	0,001	18,586	0,000	0,233	1,5%	
2	1,41	3,578	0,000	18,586	0,000	0,233	0,0%	
4	2,00	3,579	0,001	18,587	0,000	0,233	1,5%	

CARGA	400 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,579	0,000	18,587	0,000	0,233		0,053
0,10	0,32	3,630	0,051	18,638	0,003	0,237	100,0%	
0,20	0,45	3,630	0,000	18,638	0,000	0,237	0,0%	
0,50	0,71	3,631	0,001	18,639	0,000	0,237	1,9%	
1	1,00	3,632	0,001	18,640	0,000	0,237	1,9%	
2	1,41	3,632	0,000	18,640	0,000	0,237	0,0%	
4	2,00	3,632	0,000	18,640	0,000	0,237	0,0%	

CARGA	200 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,632	0,000	18,640	0,000	0,237		0,042
0,10	0,32	3,672	0,040	18,680	0,003	0,239	100,0%	
0,20	0,45	3,672	0,000	18,680	0,000	0,239	0,0%	
0,50	0,71	3,673	0,001	18,681	0,000	0,239	2,4%	
1	1,00	3,673	0,000	18,681	0,000	0,239	0,0%	
2	1,41	3,674	0,001	18,682	0,000	0,240	2,4%	
4	2,00	3,674	0,000	18,682	0,000	0,240	0,0%	

CARGA	100 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,674	0,000	18,682	0,000	0,240		0,035
0,10	0,32	3,705	0,031	18,713	0,002	0,242	100,0%	
0,20	0,45	3,706	0,001	18,714	0,000	0,242	3,1%	
0,50	0,71	3,707	0,001	18,715	0,000	0,242	3,0%	
1	1,00	3,708	0,001	18,716	0,000	0,242	2,9%	
2	1,41	3,709	0,001	18,717	0,000	0,242	2,9%	
4	2,00	3,709	0,000	18,717	0,000	0,242	0,0%	

**APÊNDICE H – DADOS DE CARREGAMENTO DO ADENSAMENTO DA  
AMOSTRA 2 (COMPACTAÇÃO EM ESCALA REDUZIDA).**

CARGA A	5 kPa			SATURAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	5,000	0,000	20,000	0,000	0,327		0,010
0,10	0,32	4,990	0,010	19,990	0,001	0,326	100,0%	
0,20	0,45	4,990	0,000	19,990	0,000	0,326	0,0%	
0,50	0,71	4,990	0,000	19,990	0,000	0,326	0,0%	
1	1,00	4,990	0,000	19,990	0,000	0,326	0,0%	
2	1,41	4,990	0,000	19,990	0,000	0,326	0,0%	
4	2,00	4,990	0,000	19,990	0,000	0,326	0,0%	
8	2,83	4,990	0,000	19,990	0,000	0,326	0,0%	
15	3,87	4,990	0,000	19,990	0,000	0,326	0,0%	

CARGA A	13 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,990	0,000	19,990	0,000	0,326		0,255
0,10	0,32	4,769	0,221	19,769	0,015	0,312	100,0%	
0,20	0,45	4,760	0,009	19,760	0,001	0,311	3,9%	
0,50	0,71	4,751	0,009	19,751	0,001	0,310	3,8%	
1	1,00	4,749	0,002	19,749	0,000	0,310	0,8%	
2	1,41	4,743	0,006	19,743	0,000	0,310	2,4%	
4	2,00	4,739	0,004	19,739	0,000	0,310	1,6%	
8	2,83	4,735	0,004	19,735	0,000	0,309	1,6%	
15	3,87	4,735	0,000	19,735	0,000	0,309	0,0%	

CARGA A	25 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,735	0,000	19,735	0,000	0,309		0,161
0,10	0,32	4,600	0,135	19,600	0,009	0,300	100,0%	
0,20	0,45	4,594	0,006	19,594	0,000	0,300	4,3%	
0,50	0,71	4,585	0,009	19,585	0,001	0,299	6,0%	
1	1,00	4,583	0,002	19,583	0,000	0,299	1,3%	
2	1,41	4,582	0,001	19,582	0,000	0,299	0,7%	
4	2,00	4,580	0,002	19,580	0,000	0,299	1,3%	
8	2,83	4,578	0,002	19,578	0,000	0,299	1,3%	
15	3,87	4,574	0,004	19,574	0,000	0,299	2,5%	

CARGA	50 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
A	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$	e		
Tempo								
0	0,00	4,574	0,000	19,574	0,000	0,299		0,184
0,10	0,32	4,415	0,159	19,415	0,011	0,288	100,0%	
0,20	0,45	4,410	0,005	19,410	0,000	0,288	3,0%	
0,50	0,71	4,403	0,007	19,403	0,000	0,287	4,1%	
1	1,00	4,402	0,001	19,402	0,000	0,287	0,6%	
2	1,41	4,400	0,002	19,400	0,000	0,287	1,1%	
4	2,00	4,395	0,005	19,395	0,000	0,287	2,8%	
8	2,83	4,394	0,001	19,394	0,000	0,287	0,6%	
15	3,87	4,390	0,004	19,390	0,000	0,287	2,2%	

CARGA	100 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
A	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$	e		
Tempo								
0	0,00	4,390	0,000	19,395	0,000	0,287		0,207
0,10	0,32	4,215	0,175	19,220	0,012	0,275	100,0%	
0,20	0,45	4,209	0,006	19,214	0,000	0,275	3,3%	
0,50	0,71	4,202	0,007	19,207	0,000	0,274	3,7%	
1	1,00	4,198	0,004	19,203	0,000	0,274	2,1%	
2	1,41	4,193	0,005	19,198	0,000	0,274	2,5%	
4	2,00	4,190	0,003	19,195	0,000	0,274	1,5%	
8	2,83	4,185	0,005	19,190	0,000	0,273	2,4%	
15	3,87	4,183	0,002	19,188	0,000	0,273	1,0%	

CARGA	200 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
A	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$	e		
Tempo								
0	0,00	4,183	0,000	19,188	0,000	0,273		0,242
0,10	0,32	3,973	0,210	18,978	0,014	0,259	100,0%	
0,20	0,45	3,970	0,003	18,975	0,000	0,259	1,4%	
0,50	0,71	3,962	0,008	18,967	0,001	0,258	3,6%	
1	1,00	3,958	0,004	18,963	0,000	0,258	1,8%	
2	1,41	3,952	0,006	18,957	0,000	0,258	2,6%	
4	2,00	3,949	0,003	18,954	0,000	0,258	1,3%	
8	2,83	3,943	0,006	18,948	0,000	0,257	2,5%	
15	3,87	3,941	0,002	18,946	0,000	0,257	0,8%	

CARGA A	400 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,941	0,000	18,946	0,000	0,257		0,252
0,10	0,32	3,715	0,226	18,720	0,015	0,242	48,3%	
0,20	0,45	3,710	0,005	18,715	0,000	0,242	1,1%	
0,50	0,71	3,705	0,005	18,710	0,000	0,241	1,0%	
1	1,00	3,700	0,005	18,705	0,000	0,241	1,0%	
2	1,41	3,697	0,003	18,702	0,000	0,241	0,6%	
4	2,00	3,693	0,004	18,698	0,000	0,241	0,8%	
8	2,83	3,692	0,001	18,697	0,000	0,241	0,2%	
15	3,87	3,689	0,003	18,694	0,000	0,240	0,6%	

CARGA A	800 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,689	0,000	18,694	0,000	0,240		0,272
0,10	0,32	3,449	0,240	18,454	0,016	0,224	32,7%	
0,20	0,45	3,445	0,004	18,450	0,000	0,224	0,5%	
0,50	0,71	3,440	0,005	18,445	0,000	0,224	0,7%	
1	1,00	3,433	0,007	18,438	0,000	0,223	0,9%	
2	1,41	3,432	0,001	18,437	0,000	0,223	0,1%	
4	2,00	3,429	0,003	18,434	0,000	0,223	0,4%	
8	2,83	3,423	0,006	18,428	0,000	0,223	0,8%	
15	3,87	3,429	0,006	18,422	0,000	0,222	0,8%	

CARGA A	1600 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,429	0,000	18,422	0,000	0,222		0,329
0,10	0,32	3,138	0,291	18,131	0,019	0,203	27,5%	
0,20	0,45	3,128	0,010	18,121	0,001	0,202	0,9%	
0,50	0,71	3,122	0,006	18,115	0,000	0,202	0,6%	
1	1,00	3,115	0,007	18,108	0,000	0,201	0,6%	
2	1,41	3,105	0,010	18,098	0,001	0,201	0,9%	
4	2,00	3,103	0,002	18,096	0,000	0,201	0,2%	
8	2,83	3,102	0,001	18,095	0,000	0,201	0,1%	
15	3,87	3,100	0,002	18,093	0,000	0,200	0,2%	

**APÊNDICE I – DADOS DE DESCARREGAMENTO DO ADENSAMENTO DA  
AMOSTRA 2 (COMPACTAÇÃO EM ESCALA REDUZIDA).**

CARGA	800 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,100	0,000	18,093	0,000	0,200		0,077
0,10	0,32	3,168	0,068	18,161	0,005	0,205	100,0%	
0,20	0,45	3,165	0,003	18,164	0,000	0,205	4,2%	
0,50	0,71	3,167	0,002	18,166	0,000	0,205	2,7%	
1	1,00	3,168	0,001	18,167	0,000	0,205	1,4%	
2	1,41	3,169	0,001	18,168	0,000	0,205	1,3%	
4	2,00	3,171	0,002	18,170	0,000	0,206	2,6%	

CARGA	400 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,171	0,000	18,170	0,000	0,206		0,065
0,10	0,32	3,226	0,055	18,225	0,004	0,209	100,0%	
0,20	0,45	3,223	0,003	18,228	0,000	0,209	5,2%	
0,50	0,71	3,225	0,002	18,230	0,000	0,210	3,3%	
1	1,00	3,227	0,002	18,232	0,000	0,210	3,2%	
2	1,41	3,229	0,002	18,234	0,000	0,210	3,1%	
4	2,00	3,230	0,001	18,235	0,000	0,210	1,5%	

CARGA	200 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,230	0,000	18,235	0,000	0,210		0,056
0,10	0,32	3,273	0,043	18,278	0,003	0,213	100,0%	
0,20	0,45	3,269	0,004	18,282	0,000	0,213	8,5%	
0,50	0,71	3,272	0,003	18,285	0,000	0,213	6,0%	
1	1,00	3,274	0,002	18,287	0,000	0,213	3,8%	
2	1,41	3,276	0,002	18,289	0,000	0,213	3,7%	
4	2,00	3,278	0,002	18,291	0,000	0,214	3,6%	

CARGA	100 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,278	0,000	18,291	0,000	0,214		0,077
0,10	0,32	3,344	0,066	18,357	0,004	0,218	100,0%	
0,20	0,45	3,341	0,003	18,360	0,000	0,218	4,3%	
0,50	0,71	3,343	0,002	18,362	0,000	0,218	2,8%	
1	1,00	3,346	0,003	18,365	0,000	0,219	4,1%	
2	1,41	3,348	0,002	18,367	0,000	0,219	2,6%	
4	2,00	3,349	0,001	18,368	0,000	0,219	1,3%	



**APÊNDICE J – DADOS DE CARREGAMENTO DO ADENSAMENTO DA  
AMOSTRA 3 (COMPACTAÇÃO PROCTOR).**

CARGA	13 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	5,000	0,000	20,000	0,000	0,318		0,000
0,10	0,32	5,000	0,000	20,000	0,000	0,318	0	
0,20	0,45	5,000	0,000	20,000	0,000	0,318	0	
0,50	0,71	5,000	0,000	20,000	0,000	0,318	0	
1	1,00	5,000	0,000	20,000	0,000	0,318	0	
2	1,41	5,000	0,000	20,000	0,000	0,318	0	
4	2,00	5,000	0,000	20,000	0,000	0,318	0	
8	2,83	5,000	0,000	20,000	0,000	0,318	0	
15	3,87	5,000	0,000	20,000	0,000	0,318	0	

CARGA	25 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	5,000	0,000	20,000	0,000	0,318		0,027
0,10	0,32	4,982	0,018	19,982	0,001	0,317	100,0%	
0,20	0,45	4,982	0,000	19,982	0,000	0,317	0,0%	
0,50	0,71	4,980	0,002	19,980	0,000	0,317	10,0%	
1	1,00	4,980	0,000	19,980	0,000	0,317	0,0%	
2	1,41	4,980	0,000	19,980	0,000	0,317	0,0%	
4	2,00	4,979	0,001	19,979	0,000	0,317	4,8%	
8	2,83	4,976	0,003	19,976	0,000	0,316	12,5%	
15	3,87	4,973	0,003	19,973	0,000	0,316	11,1%	

CARGA	50 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,973	0,000	19,973	0,000	0,316		0,157
0,10	0,32	4,825	0,148	19,825	0,010	0,306	100,0%	
0,20	0,45	4,824	0,001	19,824	0,000	0,306	0,7%	
0,50	0,71	4,822	0,002	19,822	0,000	0,306	1,3%	
1	1,00	4,821	0,001	19,821	0,000	0,306	0,7%	
2	1,41	4,819	0,002	19,819	0,000	0,306	1,3%	
4	2,00	4,818	0,001	19,818	0,000	0,306	0,6%	
8	2,83	4,817	0,001	19,817	0,000	0,306	0,6%	
15	3,87	4,816	0,001	19,816	0,000	0,306	0,6%	

CARGA	100 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,816	0,000	19,818	0,000	0,306		0,105
0,10	0,32	4,731	0,085	19,733	0,006	0,300	100,0%	
0,20	0,45	4,728	0,003	19,730	0,000	0,300	3,4%	
0,50	0,71	4,725	0,003	19,727	0,000	0,300	3,3%	
1	1,00	4,721	0,004	19,723	0,000	0,300	4,2%	
2	1,41	4,719	0,002	19,721	0,000	0,300	2,1%	
4	2,00	4,716	0,003	19,718	0,000	0,299	3,0%	
8	2,83	4,715	0,001	19,717	0,000	0,299	1,0%	
15	3,87	4,711	0,004	19,713	0,000	0,299	3,8%	

CARGA	200 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,711	0,000	19,713	0,000	0,299		0,164
0,10	0,32	4,569	0,142	19,571	0,009	0,290	100,0%	
0,20	0,45	4,565	0,004	19,567	0,000	0,289	2,7%	
0,50	0,71	4,561	0,004	19,563	0,000	0,289	2,7%	
1	1,00	4,559	0,002	19,561	0,000	0,289	1,3%	
2	1,41	4,555	0,004	19,557	0,000	0,289	2,6%	
4	2,00	4,551	0,004	19,553	0,000	0,289	2,5%	
8	2,83	4,550	0,001	19,552	0,000	0,288	0,6%	
15	3,87	4,547	0,003	19,549	0,000	0,288	1,8%	

CARGA	400 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,547	0,000	19,549	0,000	0,288		0,208
0,10	0,32	4,366	0,181	19,368	0,012	0,276	52,5%	
0,20	0,45	4,362	0,004	19,364	0,000	0,276	1,1%	
0,50	0,71	4,357	0,005	19,359	0,000	0,276	1,4%	
1	1,00	4,351	0,006	19,353	0,000	0,275	1,7%	
2	1,41	4,350	0,001	19,352	0,000	0,275	0,3%	
4	2,00	4,345	0,005	19,347	0,000	0,275	1,4%	
8	2,83	4,341	0,004	19,343	0,000	0,275	1,1%	
15	3,87	4,339	0,002	19,341	0,000	0,275	0,5%	

CARGA	800 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,339	0,000	19,341	0,000	0,275		0,221
0,10	0,32	4,154	0,185	19,156	0,012	0,262	33,2%	
0,20	0,45	4,149	0,005	19,151	0,000	0,262	0,9%	
0,50	0,71	4,140	0,009	19,142	0,001	0,261	1,6%	
1	1,00	4,136	0,004	19,138	0,000	0,261	0,7%	
2	1,41	4,130	0,006	19,132	0,000	0,261	1,0%	
4	2,00	4,126	0,004	19,128	0,000	0,261	0,7%	
8	2,83	4,121	0,005	19,123	0,000	0,260	0,8%	
15	3,87	4,118	0,003	19,120	0,000	0,260	0,5%	

CARGA	1600 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,118	0,000	19,120	0,000	0,260		0,307
0,10	0,32	3,852	0,266	18,854	0,018	0,242	31,0%	
0,20	0,45	3,847	0,005	18,849	0,000	0,242	0,6%	
0,50	0,71	3,840	0,007	18,842	0,000	0,242	0,8%	
1	1,00	3,831	0,009	18,833	0,001	0,241	1,0%	
2	1,41	3,829	0,002	18,831	0,000	0,241	0,2%	
4	2,00	3,822	0,007	18,824	0,000	0,241	0,8%	
8	2,83	3,817	0,005	18,819	0,000	0,240	0,6%	
15	3,87	3,811	0,006	18,813	0,000	0,240	0,7%	

**APÊNDICE K – DADOS DE DESCARREGAMENTO DO ADENSAMENTO DA  
AMOSTRA 3 (COMPACTAÇÃO PROCTOR).**

CARGA	800 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,811	0,000	18,813	0,000	0,240		0,079
0,10	0,32	3,886	0,075	18,888	0,005	0,245	100,0%	
0,20	0,45	3,887	0,001	18,889	0,000	0,245	1,3%	
0,50	0,71	3,887	0,000	18,889	0,000	0,245	0,0%	
1	1,00	3,887	0,000	18,889	0,000	0,245	0,0%	
2	1,41	3,889	0,002	18,891	0,000	0,245	2,6%	
4	2,00	3,890	0,001	18,892	0,000	0,245	1,3%	

CARGA	400 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,890	0,000	18,892	0,000	0,245		0,062
0,10	0,32	3,949	0,059	18,951	0,004	0,249	100,0%	
0,20	0,45	3,950	0,001	18,952	0,000	0,249	1,7%	
0,50	0,71	3,950	0,000	18,952	0,000	0,249	0,0%	
1	1,00	3,950	0,000	18,952	0,000	0,249	0,0%	
2	1,41	3,951	0,001	18,953	0,000	0,249	1,6%	
4	2,00	3,952	0,001	18,954	0,000	0,249	1,6%	

CARGA	200 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,952	0,000	18,954	0,000	0,249		0,049
0,10	0,32	3,999	0,047	19,001	0,003	0,252	100,0%	
0,20	0,45	4,000	0,001	19,002	0,000	0,252	2,1%	
0,50	0,71	4,000	0,000	19,002	0,000	0,252	0,0%	
1	1,00	4,000	0,000	19,002	0,000	0,252	0,0%	
2	1,41	4,001	0,001	19,003	0,000	0,252	2,0%	
4	2,00	4,001	0,000	19,003	0,000	0,252	0,0%	

CARGA	100 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,001	0,000	19,003	0,000	0,252		0,042
0,10	0,32	4,040	0,039	19,042	0,003	0,255	100,0%	
0,20	0,45	4,040	0,000	19,042	0,000	0,255	0,0%	
0,50	0,71	4,040	0,000	19,042	0,000	0,255	0,0%	
1	1,00	4,041	0,001	19,043	0,000	0,255	2,5%	
2	1,41	4,041	0,000	19,043	0,000	0,255	0,0%	
4	2,00	4,043	0,002	19,045	0,000	0,255	4,8%	

**APÊNDICE L – DADOS DE CARREGAMENTO DO ADENSAMENTO DA  
AMOSTRA 3 (COMPACTAÇÃO EM ESCALA REDUZIDA).**

CARGA	13 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,904	0,000	19,904	0,000	0,311		0,063
0,10	0,32	4,846	0,058	19,846	0,004	0,307	100,0%	
0,20	0,45	4,846	0,000	19,846	0,000	0,307	0,0%	
0,50	0,71	4,845	0,001	19,845	0,000	0,307	1,7%	
1	1,00	4,845	0,000	19,845	0,000	0,307	0,0%	
2	1,41	4,844	0,001	19,844	0,000	0,307	1,7%	
4	2,00	4,842	0,002	19,842	0,000	0,307	3,2%	
8	2,83	4,842	0,000	19,842	0,000	0,307	0,0%	
15	3,87	4,841	0,001	19,841	0,000	0,307	1,6%	

CARGA	25 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,841	0,000	19,841	0,000	0,307		0,066
0,10	0,32	4,790	0,051	19,790	0,003	0,303	100,0%	
0,20	0,45	4,789	0,001	19,789	0,000	0,303	1,9%	
0,50	0,71	4,786	0,003	19,786	0,000	0,303	5,5%	
1	1,00	4,784	0,002	19,784	0,000	0,303	3,5%	
2	1,41	4,780	0,004	19,780	0,000	0,303	6,6%	
4	2,00	4,780	0,000	19,780	0,000	0,303	0,0%	
8	2,83	4,777	0,003	19,777	0,000	0,302	4,7%	
15	3,87	4,775	0,002	19,775	0,000	0,302	3,0%	

CARGA	50 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,775	0,000	19,775	0,000	0,302		0,141
0,10	0,32	4,656	0,119	19,656	0,008	0,294	100,0%	
0,20	0,45	4,651	0,005	19,651	0,000	0,294	4,0%	
0,50	0,71	4,648	0,003	19,648	0,000	0,294	2,4%	
1	1,00	4,646	0,002	19,646	0,000	0,294	1,6%	
2	1,41	4,642	0,004	19,642	0,000	0,293	3,0%	
4	2,00	4,640	0,002	19,640	0,000	0,293	1,5%	
8	2,83	4,638	0,002	19,638	0,000	0,293	1,5%	
15	3,87	4,634	0,004	19,634	0,000	0,293	2,8%	

CARGA	100 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,634	0,000	19,640	0,000	0,293		0,195
0,10	0,32	4,463	0,171	19,469	0,011	0,282	100,0%	
0,20	0,45	4,459	0,004	19,465	0,000	0,282	2,3%	
0,50	0,71	4,452	0,007	19,458	0,000	0,281	3,8%	
1	1,00	4,450	0,002	19,456	0,000	0,281	1,1%	
2	1,41	4,448	0,002	19,454	0,000	0,281	1,1%	
4	2,00	4,444	0,004	19,450	0,000	0,281	2,1%	
8	2,83	4,440	0,004	19,446	0,000	0,281	2,1%	
15	3,87	4,439	0,001	19,445	0,000	0,280	0,5%	

CARGA	200 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,439	0,000	19,445	0,000	0,280		0,236
0,10	0,32	4,232	0,207	19,238	0,014	0,267	100,0%	
0,20	0,45	4,229	0,003	19,235	0,000	0,267	1,4%	
0,50	0,71	4,224	0,005	19,230	0,000	0,266	2,3%	
1	1,00	4,220	0,004	19,226	0,000	0,266	1,8%	
2	1,41	4,214	0,006	19,220	0,000	0,266	2,7%	
4	2,00	4,210	0,004	19,216	0,000	0,265	1,7%	
8	2,83	4,206	0,004	19,212	0,000	0,265	1,7%	
15	3,87	4,203	0,003	19,209	0,000	0,265	1,3%	

CARGA	400 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	4,203	0,000	19,209	0,000	0,265		0,272
0,10	0,32	3,964	0,239	18,970	0,016	0,249	50,3%	
0,20	0,45	3,959	0,005	18,965	0,000	0,249	1,0%	
0,50	0,71	3,952	0,007	18,958	0,000	0,248	1,4%	
1	1,00	3,946	0,006	18,952	0,000	0,248	1,2%	
2	1,41	3,942	0,004	18,948	0,000	0,248	0,8%	
4	2,00	3,940	0,002	18,946	0,000	0,248	0,4%	
8	2,83	3,936	0,004	18,942	0,000	0,247	0,8%	
15	3,87	3,931	0,005	18,937	0,000	0,247	1,0%	

CARGA	800 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,931	0,000	18,937	0,000	0,247		0,310
0,10	0,32	3,662	0,269	18,668	0,018	0,229	34,6%	
0,20	0,45	3,655	0,007	18,661	0,000	0,229	0,9%	
0,50	0,71	3,650	0,005	18,656	0,000	0,228	0,6%	
1	1,00	3,643	0,007	18,649	0,000	0,228	0,9%	
2	1,41	3,639	0,004	18,645	0,000	0,228	0,5%	
4	2,00	3,631	0,008	18,637	0,001	0,227	1,0%	
8	2,83	3,627	0,004	18,633	0,000	0,227	0,5%	
15	3,87	3,621	0,006	18,627	0,000	0,227	0,7%	

CARGA	1600 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,621	0,000	18,627	0,000	0,227		0,386
0,10	0,32	3,300	0,321	18,306	0,021	0,205	28,2%	
0,20	0,45	3,286	0,014	18,292	0,001	0,205	1,2%	
0,50	0,71	3,277	0,009	18,283	0,001	0,204	0,8%	
1	1,00	3,270	0,007	18,276	0,000	0,203	0,6%	
2	1,41	3,260	0,010	18,266	0,001	0,203	0,8%	
4	2,00	3,251	0,009	18,257	0,001	0,202	0,8%	
8	2,83	3,242	0,009	18,248	0,001	0,202	0,8%	
15	3,87	3,235	0,007	18,241	0,000	0,201	0,6%	



**APÊNDICE M – DADOS DE DESCARREGAMENTO DO ADENSAMENTO DA  
AMOSTRA 3 (COMPACTAÇÃO EM ESCALA REDUZIDA).**

CARGA	800 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,235	0,000	18,241	0,000	0,201		0,077
0,10	0,32	3,310	0,075	18,316	0,005	0,206	100,0%	
0,20	0,45	3,310	0,000	18,316	0,000	0,206	0,0%	
0,50	0,71	3,311	0,001	18,317	0,000	0,206	1,3%	
1	1,00	3,311	0,000	18,317	0,000	0,206	0,0%	
2	1,41	3,312	0,001	18,318	0,000	0,206	1,3%	
4	2,00	3,312	0,000	18,318	0,000	0,206	0,0%	

CARGA	400 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,312	0,000	18,318	0,000	0,206		0,064
0,10	0,32	3,371	0,059	18,377	0,004	0,210	100,0%	
0,20	0,45	3,372	0,001	18,378	0,000	0,210	1,7%	
0,50	0,71	3,372	0,000	18,378	0,000	0,210	0,0%	
1	1,00	3,373	0,001	18,379	0,000	0,210	1,6%	
2	1,41	3,374	0,001	18,380	0,000	0,210	1,6%	
4	2,00	3,376	0,002	18,382	0,000	0,210	3,1%	

CARGA	200 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,376	0,000	18,382	0,000	0,210		0,054
0,10	0,32	3,425	0,049	18,431	0,003	0,214	100,0%	
0,20	0,45	3,425	0,000	18,431	0,000	0,214	0,0%	
0,50	0,71	3,426	0,001	18,432	0,000	0,214	2,0%	
1	1,00	3,428	0,002	18,434	0,000	0,214	3,8%	
2	1,41	3,429	0,001	18,435	0,000	0,214	1,9%	
4	2,00	3,430	0,001	18,436	0,000	0,214	1,9%	

CARGA	100 kPa			COM INUNDAÇÃO			% de deformação	DH (mm)
	Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	$\Delta e$		
0	0,00	3,430	0,000	18,436	0,000	0,214		0,040
0,10	0,32	3,464	0,034	18,470	0,002	0,216	100,0%	
0,20	0,45	3,465	0,001	18,471	0,000	0,216	2,9%	
0,50	0,71	3,466	0,001	18,472	0,000	0,216	2,8%	
1	1,00	3,466	0,000	18,472	0,000	0,216	0,0%	
2	1,41	3,469	0,003	18,475	0,000	0,217	7,7%	
4	2,00	3,470	0,001	18,476	0,000	0,217	2,5%	