



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA BAHIA  
CAMPUS VITÓRIA DA CONQUISTA  
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GABRIEL FERREIRA FERNANDES

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA WEB PARA ANÁLISE DE ENSAIOS  
SELETOS DE LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS**

VITÓRIA DA CONQUISTA – BA

2024

GABRIEL FERREIRA FERNANDES

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA WEB PARA ANÁLISE DE ENSAIOS  
SELETOS DE LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Campus de Vitória da Conquista como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Joaz de Souza Batista

VITÓRIA DA CONQUISTA – BA

2024

F363d      Fernandes, Gabriel Ferreira

Desenvolvimento de um sistema web para análise de ensaios seletos de laboratório de mecânica dos solos: / Gabriel Ferreira Fernandes; orientador Joaz de Souza Batista; coorientador Djan Almeida Santos -- Vitória da Conquista : IFBA, 2024.

78 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) -- Instituto Federal da Bahia, 2024.

1. Mecânica dos Solos. 2. Ensaios de Laboratório. 3. Software de Análise de Solos. 4. Desenvolvimento web. I. Batista, Joaz de Souza, orient. II. Santos, Djan Almeida, coorient. III. TÍTULO.

CDD:624

GABRIEL FERREIRA FERNANDES

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA WEB PARA ANÁLISE DE ENSAIOS  
SELETOS DE LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS**

A presente monografia, apresentada em sessão pública realizada 01 de agosto de 2024, foi avaliada como adequada para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, julgada e aprovada em sua forma final pela Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Campus Vitória da Conquista.

Data da Aprovação: 01/08/2024

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Me. Joaz de Souza Batista

Orientador – IFBA Campus Vitória da Conquista – BA

Prof. Dr. Djan Almeida Santos

Coorientador – IFBA Campus Vitória da Conquista – BA

Prof<sup>a</sup>. Me. Michelle Dias Santos

IFBA Campus Lauro de Freitas – BA

Prof<sup>a</sup>. Me. Thaís Mota Freitas

IFBA Campus Eunápolis – BA



Documento assinado eletronicamente por **JOAZ DE SOUZA BATISTA, Membro da Unidade**, em 02/08/2024, às 13:37, conforme decreto nº 8.539/2015.

---



Documento assinado eletronicamente por **Thais Mota Freitas, Professor(a) do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico - EBTT**, em 09/08/2024, às 11:40, conforme decreto nº 8.539/2015.

---



Documento assinado eletronicamente por **Michelle Dias Santos, Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico - Campus Lauro de Freitas**, em 10/08/2024, às 06:47, conforme decreto nº 8.539/2015.

---



Documento assinado eletronicamente por **DJAN ALMEIDA SANTOS, Professor(a) do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico - EBTT**, em 11/08/2024, às 07:01, conforme decreto nº 8.539/2015.

---



A autenticidade do documento pode ser conferida no site [http://sei.ifba.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&acao\\_origem=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ifba.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&acao_origem=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0) informando o código verificador **3642892** e o código CRC **FA6858FB**.

---

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

*Dedico este trabalho ao meu pai e à minha mãe que sempre dedicaram seus esforços aos meus estudos. E dedico também ao amor da minha vida, Gabriela Soares Lima Macêdo. Amo vocês.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus por permitir que tudo acontecesse e por guiar todos os meus caminhos até este momento. Deus sempre foi o meu refúgio, a minha força e o meu melhor amigo, sem ele eu não chegaria até aqui.

Aos meus pais expresso minha profunda gratidão, pelo incentivo e pelo apoio incondicional na minha vida e nos meus estudos. À minha namorada e futura esposa, Gabriela, expresso meu profundo amor e gratidão por estar sempre comigo e ser a minha felicidade diária. Aos meus irmãos agradeço por dividirem a vida comigo e estarem comigo sempre que precisei de auxílio.

Agradeço também aos meus colegas de curso, que estiveram comigo desde o início e me ajudaram a superar as dificuldades da vida acadêmica. Agradeço também a todos os meus professores pelos ensinamentos e lições valiosas que estarão comigo pelo resto da minha vida.

*“A vida não é sobre quão duro você é capaz de bater, mas sobre quão duro você é capaz de apanhar e continuar indo em frente.”*

*(Rocky Balboa)*

## RESUMO

Para identificar as principais características de um determinado solo, é necessária a realização de diversos ensaios laboratoriais, onde cada um deles é composto por numerosas particularidades. O trabalho desenvolvido se baseia no desenvolvimento de um *software web*, denominado Detetive Terra (DT), programado em HTML, CSS e JavaScript; capaz de auxiliar no cálculo e análise dos ensaios de granulometria, massa específica, teor de umidade, limites de atterberg, compactação de proctor e compressão simples. Deste modo, foi realizada uma revisão bibliográfica referente aos ensaios de laboratório selecionados e suas respectivas normas técnicas, bem como às linguagens de programação que seriam utilizadas. Os testes de validação foram realizados por meio da comparação entre os resultados obtidos em relatórios de ensaios já existentes, e os resultados obtidos via Detetive Terra. O *software* apresentou desempenho satisfatório, se mostrando como uma ferramenta eficaz no cálculo e análise de ensaios de laboratório de Mecânica dos Solos.

**Palavras-chave:** Mecânica dos Solos. Ensaios de Laboratório. Software de Análise de Solos. Desenvolvimento *web*.

## ABSTRACT

To identify the main characteristics of a given soil, it is necessary to carry out several laboratory tests, each of which is made up of numerous particularities. The work developed is based on the development of web software, called Detective Terra (DT), programmed in HTML, CSS and JavaScript; capable of assisting in the calculation and analysis of granulometry, specific mass, moisture content, atterberg limits, proctor compaction and simple compression tests. In this way, a bibliographical review was carried out regarding the selected laboratory tests and their respective technical standards, as well as the programming languages that would be used. The validation tests were carried out by comparing the results obtained in existing test reports, and the results obtained via Detective Terra. The software presented satisfactory performance, proving to be an effective tool in the calculation and analysis of Soil Mechanics laboratory tests.

**Keywords:** Soil Mechanics. Laboratory tests. Soil Analysis Software. Web development.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Classificação normatizada das partículas de solo de acordo com seus diâmetros equivalentes segundo a ABTN NBR 6502:1995 .....	22
<b>Tabela 2</b> – Quantidade de material em função da dimensão dos grãos segundo a ABTN NBR 6457:2016 .....	31
<b>Tabela 3</b> – Classificação qualitativa do Índice de Plasticidade .....	36
<b>Tabela 4</b> – Energia de compactação segundo a ABTN NBR 7182:2016 .....	38
<b>Tabela 5</b> – Relação entre o formato da curva de compactação e o limite de liquidez .....	40
<b>Tabela 6</b> - Dados e Resultados obtidos no relatório de ensaio de granulometria dos discentes da UEM .....	59
<b>Tabela 7</b> – Resultados obtidos por meio do Software Detetive Terra para o ensaio de Granulometria.....	60
<b>Tabela 8</b> - Dados e Resultados obtidos no relatório de Ensaio de Determinação de Massa Específica dos discentes do CEFET - MG.....	61
<b>Tabela 9</b> – Resultados obtidos por meio do software Detetive Terra para o ensaio de Determinação de Massa Específica do Solo.....	61
<b>Tabela 10</b> - Dados e Resultados obtidos no relatório de Determinação do Teor de Umidade dos discentes da UFCG.....	62
<b>Tabela 11</b> - Resultados obtidos por meio do software Detetive Terra para o ensaio de Determinação do Teor de Umidade.....	63
<b>Tabela 12</b> – Dados coletados pelo laboratório da UFCG para determinação do Limite de Liquidez (LL).....	64
<b>Tabela 13</b> – Dados coletados e Resultados obtidos pelo laboratório da UFCG para determinação do Limite de Plasticidade (LP).....	65
<b>Tabela 14</b> - Resultados obtidos por meio do software Detetive Terra para o ensaio de Limites de Atterberg .....	66
<b>Tabela 15</b> - Dados utilizados no relatório de Determinação do Teor de Umidade dos discentes da UNITAVES.....	67
<b>Tabela 16</b> – Resultados obtidos no relatório de Determinação do Teor de Umidade dos discentes da UNITAVES.....	67
<b>Tabela 17</b> – Resultados obtidos por meio do software Detetive Terra para o ensaio de Compactação de Proctor.....	68
<b>Tabela 18</b> – Dados e resultados obtidos para o ensaio de Compressão Simples pela norma técnica DNER – IE 004/94. ....	70
<b>Tabela 19</b> – Resultados obtidos por meio do software Detetive Terra para o ensaio de Compressão Simples .....	70

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Exemplo de Curva Granulométrica.....	21
<b>Figura 2</b> – Diferentes graduações de solo .....	28
<b>Figura 3</b> – Aparelhagem para realização do ensaio de Limite de Liquidez.....	33
<b>Figura 4</b> – Tipos de curva de compactação de solo. ....	41
<b>Figura 5</b> - Fases da metodologia utilizada no trabalho. ....	46
<b>Figura 6</b> - Interface do Visual Studio Code .....	48
<b>Figura 7</b> – Logo do Detetive Terra .....	52
<b>Figura 8</b> - Menu de Navegação do Software .....	53
<b>Figura 9</b> - Seção de Introdução .....	53
<b>Figura 10</b> - Seção de Aparelhagem .....	54
<b>Figura 11</b> - Seção de Método .....	55
<b>Figura 12</b> - Seção de Inserção de Dados .....	56
<b>Figura 13</b> – Botão “INSERIR DADOS” .....	56
<b>Figura 14</b> – Seção de Resultados .....	57
<b>Figura 15</b> – Interface mobile do Detetive Terra .....	58
<b>Figura 16</b> - Curva Granulométrica gerada no Software Detetive Terra. ....	60
<b>Figura 17</b> - Resultado gráfico obtido pelo laboratório da UFCG para o Limite de Liquidez da amostra .....	64
<b>Figura 18</b> - Gráfico gerado pelo software Detetive Terra para o Limite de Liquidez (LL).....	65
<b>Figura 19</b> - Gráfico do Peso Específico Aparente Seco em função do Teor de Umidade disponibilizado pelos discentes da UNITAVES.....	68
<b>Figura 20</b> - Gráfico da Massa Específica Aparente Seca em função do Teor de Umidade gerado pelo Detetive Terra .....	69
<b>Figura 21</b> - Curva granulométrica gerada pelos discentes da Universidade Estadual de Maringá .....	76
<b>Figura 22</b> - Relatório de Ensaio de Compressão Simples disponibilizado pelo DNER .....	77

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1	OBJETIVOS .....	16
1.1.1	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>16</b>
1.1.2	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>17</b>
2.1	A MECÂNICA DOS SOLOS .....	17
2.2	TIPOS DE SOLOS .....	18
2.2.1	<b>Areias</b> .....	<b>18</b>
2.2.2	<b>Argilas</b> .....	<b>18</b>
2.2.3	<b>Siltes</b> .....	<b>19</b>
2.3	ENSAIOS DE LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS .....	20
2.3.1	<b>Análise Granulométrica</b> .....	<b>21</b>
2.3.1.1	Ensaio de Peneiramento Grosso .....	22
2.3.1.2	Ensaio de Sedimentação.....	23
2.3.1.3	Ensaio de Peneiramento Fino .....	24
2.3.1.4	Cálculos.....	24
2.3.2	<b>Determinação da Massa Específica</b> .....	<b>28</b>
2.3.3	<b>Determinação do teor de umidade</b> .....	<b>30</b>
2.3.4	<b>Limites de Atterberg</b> .....	<b>32</b>
2.3.4.1	Limite de Liquidez.....	32
2.3.4.2	Limite de Plasticidade.....	34
2.3.4.3	Índice de Plasticidade.....	36
2.3.5	<b>Ensaio de Compactação de Proctor</b> .....	<b>37</b>
2.3.6	<b>Ensaio de Compressão Simples</b> .....	<b>41</b>
2.4	DENSENVOLVIMENTO <i>WEB</i> .....	44
2.4.1	<b>HTML</b> .....	<b>44</b>
2.4.2	<b>CSS</b> .....	<b>45</b>
2.4.3	<b>JavaScript</b> .....	<b>45</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>46</b>
3.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	46
3.2	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA <i>WEB</i> .....	47
3.3	TESTES DE VALIDAÇÃO .....	50
3.4	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	51

<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>52</b>
4.1	ELEMENTOS GERAIS DO SISTEMA WEB	52
4.1.1	Nome e logo do <i>software</i>	52
4.1.2	Menu de Navegação	52
4.1.3	Seção de Introdução	53
4.1.4	Seções de aparelhagem e método	54
4.1.5	Seção de Inserção de Dados	55
4.1.6	Seção de Resultados	57
4.1.7	Interface <i>mobile</i>	57
4.2	RESULTADOS DE ANÁLISE	58
4.2.1	Ensaio de Granulometria	58
4.2.2	Ensaio de Massa Específica	61
4.2.3	Ensaio de Determinação do Teor de Umidade	62
4.2.4	Ensaio de Limites de Atterberg	63
4.2.5	Ensaio de Compactação de Proctor	66
4.2.6	Ensaio de Compressão Simples	69
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>71</b>
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	72
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>73</b>
	<b>ANEXO A: Curva granulométrica para comparação para o ensaio de granulometria</b>	<b>76</b>
	<b>ANEXO B: Relatório de Ensaio de Compressão simples para comparação</b>	<b>77</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Desde os tempos primordiais, o solo é base fundamental para sustentação de toda e qualquer edificação. Diante disso, é vista a essencialidade dos solos no que tange ao âmbito da engenharia civil. Segundo Caputo (1988):

A necessidade do homem trabalhar com os solos, encontra sua origem nos tempos mais remotos, podendo-se mesmo afirmar ser tão antiga quanto a civilização. Recordem-se, entre outros, os problemas de fundações e de obras de terra que terão surgido quando das grandes construções representadas pelas pirâmides do Egito, os templos da Babilônia, a Grande Muralha da China, os aquedutos e as estradas do Império Romano.

Como argumenta Nogueira (2005), diferentemente de outros materiais envolvidos na construção civil (tais como aço, concreto e etc.) os solos são materiais heterogêneos e, devido a essa heterogeneidade, os solos são diferentes entre si e demandam a importância da realização de ensaios experimentais para obtenção de dados de fundamental importância. Os ensaios experimentais podem ser realizados *in situ* ou em laboratório e, para este trabalho, os ensaios em laboratório terão enfoque principal.

Para se identificar as principais características de um determinado solo, é necessária a realização de diversos ensaios laboratoriais, onde cada um deles é definido por numerosas particularidades. Como afirma Nogueira (2005), para que os ensaios sejam efetivos é preciso atentar-se a diversos fatores, tais como: cuidado no manuseio de amostras e equipamentos, realização correta das medidas e cálculos e o cumprimento da norma vigente.

Nos dias de hoje, a utilização de *softwares* é importante para os mais diversos avanços científicos e tecnológicos. Os *softwares* são capazes de automatizar, agilizar e aperfeiçoar diversos processos nas mais variadas áreas da sociedade humana. Sommerville (2011) é enfático ao afirmar que “[...] a engenharia de software é essencial para o funcionamento de sociedades nacionais e internacionais.”

Devido aos dispendiosos cálculos e numerosas particularidades envolvendo o âmbito experimental da mecânica dos solos, este trabalho tem como intuito principal a elaboração de um *software* capaz de auxiliar na análise e obtenção de resultados utilizando dados dos principais ensaios realizados no laboratório de solos.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um software (sistema *web*) capaz de auxiliar e realizar análises utilizando dados obtidos a partir dos principais ensaios de laboratório de mecânica dos solos.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Explorar ensaios laboratoriais seletos de Mecânica dos Solos: granulometria, teor de umidade, massa específica, limites de Atterberg, compactação de Proctor e compressão simples;
- Identificar as linguagens de programação mais adequadas para desenvolvimento de um sistema *web* voltado para a mecânica dos solos;
- Desenvolver um ambiente virtual que integre a vasta gama de informações e processos (normas, métodos, fórmulas, cálculos análises, gráficos, tabelas) que estão envolvidos nos ensaios de laboratório para estudo dos solos;
- Desenvolver um *software* (sistema *web*) que sirva como ferramenta para ser utilizada em ambientes acadêmicos e em laboratórios de estudo dos solos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A MECÂNICA DOS SOLOS

Conforme Massad (2016), o solo pode ser considerado como todo material contido na crosta terrestre cuja escavação pode ser realizada por meio de ferramentas e que durante o longo contato com a água é desagregado. Os solos são formados pela decomposição das rochas situadas na superfície terrestre que se encontram fraturadas e fragmentadas e sofrem ação direta do meio ambiente.

Segundo Caputo (1988), o homem encontra a necessidade de se trabalhar com os solos desde os tempos mais antigos. Em outras palavras, pode-se afirmar que toda e qualquer construção civil é erguida sobre o solo. Assim como afirma Pinto (2006), as obras de Engenharia Civil em geral são assentadas sobre terreno e, por isso, é inevitável que o comportamento do solo seja considerado. Logo, é perceptível a grande importância do estudo e análise dos solos no que se refere às obras de construção civil.

Diante de tamanha importância, surge a Mecânica dos solos, a qual pode ser definida como uma Ciência de Engenharia que tem seu enfoque no estudo do comportamento dos solos quando submetidos a tensões aplicadas, como no caso das fundações, ou aliviadas, como ocorre nas escavações, ou quando submetidos ao percolamento de água por seus vazios. Tal estudo é a base para o desenvolvimento de um projeto de Engenharia Civil (Pinto, 2006).

Caputo (1988) afirma que a Mecânica dos Solos é definida como uma mecânica de sistemas que são constituídos por duas fases: uma fase sólida granular e uma fase fluída. Ainda segundo Caputo (1988), é uma ciência “jovem” que ainda está em pleno desenvolvimento. Deste modo, as inovações tecnológicas são ferramentas inevitáveis para o progresso de uma ciência tão importante como a Mecânica dos Solos.

Pinto (2006) atribui importante reconhecimento aos trabalhos do engenheiro austríaco Karl Terzaghi nas suas fundamentais contribuições para o conhecimento do comportamento do solo. Os trabalhos de Terzaghi significaram o marco inicial da Mecânica dos Solos, ao abordarem a importância das pressões na água na análise das tensões do solo e mostrarem a evolução dos recalques das argilas por meio de uma solução matemática (PINTO, 2006).

## 2.2 TIPOS DE SOLOS

O principal critério de classificação dos solos é a sua granulometria (tamanho das partículas). Segundo Testoni (2022), a textura do solo é relacionada à proporção relativa de suas frações granulométricas. Neste tópico, são descritos os principais tipos de solo envolvidos no âmbito da Construção Civil: Areia, Argila e Silte.

### 2.2.1 Areias

Segundo Almeida (2005), em conformidade com a NBR 6502:1995, a areia é classificada como um solo não coesivo e não plástico, a qual é constituída por partículas de rochas ou minerais cujo diâmetro varia entre 0,06mm e 2mm. Ainda conforme Almeida (2005), o solo arenoso é caracterizado por sua textura, compacidade, que se refere ao estado de concentração de grãos ou partículas de um solo não coesivo em um determinado volume, e pela forma dos grãos.

De acordo com Pinto (2006), a compacidade de uma areia pode ser expressa pelo seu índice de vazios, que descreve o estado em que se encontram as partículas de areia e a quantidade de espaço vazio entre elas. Já segundo Testoni (2022), com relação a textura, o solo arenoso apresenta sensação de manuseio áspera, com partículas de maior tamanho e que geram mais barulho.

### 2.2.2 Argilas

De acordo com a NBR 6502:1995, a argila é definida como um tipo de solo com granulação fina que é composto por partículas com diâmetros inferiores a 0,002 mm e que apresentam coesão e plasticidade. Almeida (2005) destaca que, quando suficientemente úmida, a argila molda-se facilmente, e quando seca, forma torrões de difícil desagregação pelos dedos. Ela se caracteriza por sua plasticidade, textura, sensibilidade e consistência na umidade natural.

A textura das argilas é analisada na fase de sedimentação do ensaio de granulometria. Com relação a plasticidade, as argilas podem ser definidas como gordas (muito plásticas) ou magras (pouco plásticas). As argilas também se caracterizam por sua consistência, a qual é avaliada de forma tátil, e podem ser definidas de uma maneira qualitativa como: Muito Mole (escorre entre os dedos), Mole (é moldada facilmente pelos dedos), Média (pode ser moldada pelos dedos), Rija (é dificilmente moldada pelos dedos) e Dura (não pode ser moldada) (ALMEIDA,2005).

Pode-se afirmar que as características dos minerais de argila estão diretamente relacionadas com as principais características do solo. Em outras palavras, a constituição química e física dos minerais de argila está conectada com a maioria das características do solo, com diferentes graus de influência. Ela apresenta plasticidade em relação ao material formador do solo, ao tempo, ao clima, à vegetação e a outros organismos. Nesse sentido, as intempéries ambientais que afetam o solo (intemperismo) o transformam de baixo para cima, alterando sua constituição química e física em relação ao material de origem, embora mantenha certa memória da constituição química e mineralógica do material original (TESTONI, 2022).

### **2.2.3 Siltes**

Segundo a NBR 6502:1995, o silte pode ser definido como um tipo de solo que apresenta baixa ou nenhuma plasticidade e que apresenta resistência baixa quando seco ao ar. Além disso, a NBR 6502:1995 compreende o tamanho das partículas de silte em uma faixa de 0,002 mm e 0,06mm. Os siltes caracterizam-se por sua textura e compactidade (ALMEIDA, 2005).

Em relação a essa definição, Testoni (2022) especifica que o solo siltoso é caracterizado por apresentar um teor de argila total menor que 350g/kg e um teor de areia menor que 150g/kg. Além disso, Testoni (2022) afirma que a sensação de manuseio do solo siltoso é sedosa e se assemelha ao talco.

## 2.3 ENSAIOS DE LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS

Segundo Nogueira (2005), o solo pode ser caracterizado através de ensaios in situ ou em laboratório. Ainda segundo o autor, os ensaios em laboratório apresentam maior controle das condições limites do ensaio, do material e da precisão das medidas realizadas. Os ensaios em laboratório são o enfoque principal deste trabalho.

Para se realizar a caracterização dos solos por meio de ensaios, inicialmente, é necessária a obtenção de amostras representativas que serão tratadas e reduzidas em amostras menores que serão utilizadas na realização de cada tipo de ensaio (NOGUEIRA, 2005). Também segundo Massad (2016), antes da realização de qualquer ensaio, necessita-se realizar um exame prévio da amostra a ser utilizada e oferecer uma breve classificação do solo a partir da descrição das condições em que ele se encontra.

Conforme Nogueira (2005), no laboratório de Mecânica dos Solos, são utilizados dois grupos de instrumentos (equipamentos e acessórios) na realização de ensaios e na medição de grandezas para a obtenção dos resultados. Com relação aos equipamentos, pode-se afirmar que eles são divididos em dois grupos com base na sua utilização: um grupo de uso geral e outro de uso específico. O primeiro grupo inclui equipamentos de uso comum em diversos ensaios, como balanças, estufas, dispersares, bombas de vácuo, e tornos de talhagem de corpos de prova. O segundo grupo é composto por equipamentos específicos para tipos determinados de ensaio, como prensas para ensaios de resistência ao cisalhamento ou de consolidação, picnômetros, conjuntos de compactação e permeômetros.

De acordo com Nogueira (2005), o grupo dos acessórios compreende as espátulas, paquímetros, densímetros, deflectômetros e muitos outros. Ainda segundo o autor, é importante ter extrema cautela a fim de se evitar erros acidentais e erros sistemáticos oriundos por defeitos nos instrumentos.

Segundo Nogueira (2005), quase todos os ensaios de laboratório situam-se normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e estes devem ser seguidos a rigor para que os resultados alcançados possam ser equiparáveis aos obtidos em laboratórios similares nas mesmas circunstâncias. Nesta seção, serão apresentados alguns ensaios realizados em um Laboratório de Mecânica dos Solos.

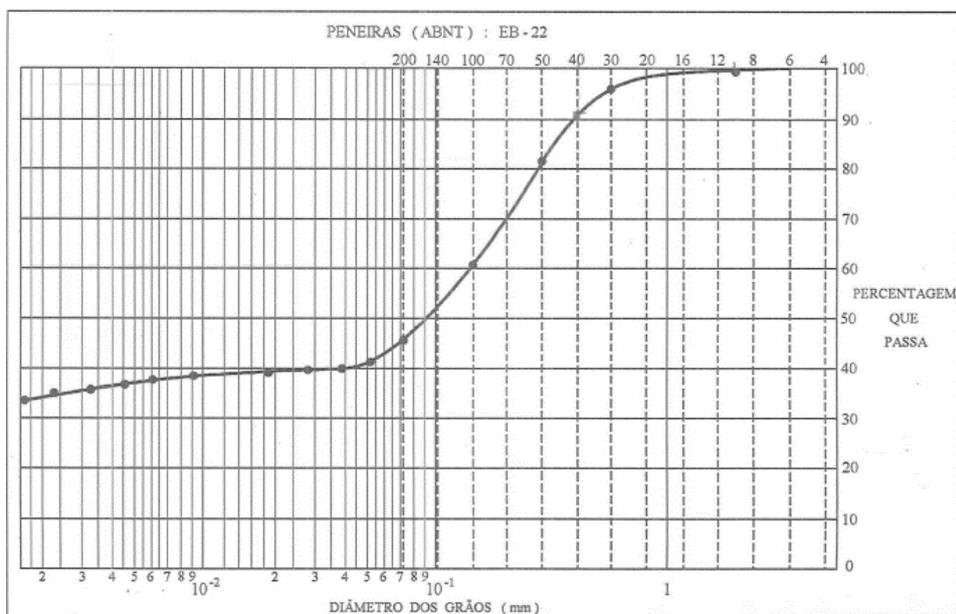
### 2.3.1 Análise Granulométrica

A análise granulométrica desempenha importante papel na classificação dos solos, e tem como utilidade principal nomear as frações predominantes de solo: fração argila, fração areia, fração silte e etc. (MASSAD, 2016).

Das (2007), classifica a análise granulométrica como “[..] a determinação do tamanho das partículas presentes em um solo, expressa como uma porcentagem do peso seco total” (p.29). Ainda segundo Das (2007), de maneira geral, são realizados dois ensaios para a determinação do tamanho das partículas de solo: o ensaio de peneiramento (para partículas com diâmetros maiores que 0,075mm) e o ensaio de sedimentação (para partículas com diâmetros menores que 0,075mm).

Após a realização dos ensaios, os resultados obtidos são expressos em curva granulométrica, conforme exemplifica a Figura 1. O eixo horizontal corresponde ao diâmetro das partículas em milímetros; enquanto o eixo vertical corresponde a porcentagem das partículas com diâmetros equivalentes menores, ou seja, que passam pela peneira (NOGUEIRA, 2005).

**Figura 1– Exemplo de Curva Granulométrica**



normalizada do solo com relação a faixa em que se encontra o diâmetro predominante das partículas do mesmo.

**Tabela 1**– Classificação normalizada das partículas de solo de acordo com seus diâmetros equivalentes segundo a ABNT NBR 6502:1995

<b>Classificação (fração)</b>	<b>Faixa de diâmetro dos grãos (mm)</b>
Matacão	1000 - 200
Pedra de mão	200 - 60
Pedregulho	60 - 2
Areia Grossa	2 – 0,6
Areia Média	0,6 – 0,2
Areia Fina	0,2 – 0,06
Silte	0,06 – 0,002
Argila	<0,002

Fonte: ABNT NBR 6502:1995

### 2.3.1.1 Ensaio de Peneiramento Grosso

Segundo Das (2007), o ensaio de peneiramento pode ser caracterizado pelo ato de agitar uma determinada amostra de solo em um conjunto de peneiras que possuem malhas progressivamente menores. Em seu trabalho, Das (2007) utiliza o padrão americano no tamanho de abertura das peneiras e no método de realização do ensaio. No entanto, neste trabalho, vão ser abordadas preferencialmente as normas brasileiras para realização deste ensaio.

Inicialmente, a NBR 7181:2016 determina como operação preliminar separar e determinar a massa da amostra seca a temperatura ambiente ( $M_t$ ). Deve-se passar este material pela peneira de 2,0mm e, após, deve-se lavar o material retido na peneira de 2,0mm e secar em estufa a temperatura de 105 °C ou 110°C. O material que foi obtido após a realização de tais processos é utilizado no peneiramento grosso (NBR 7181:2018).

Conforme instrui a NBR 7181:2016, no peneiramento grosso, deve-se pesar o material retido na peneira de 2,0mm (processo descrito anteriormente) e anotar como  $M_g$ . Após isso, utilizando-se do agitador mecânico, deve-se passar o material pelas peneiras de 50mm, 38mm, 25mm, 19mm, 9,5mm e 4,8mm. Ao final deste processo, deve-se anotar as massas retidas acumuladas em cada peneira.

### 2.3.1.2 Ensaio de Sedimentação

O ensaio de sedimentação faz parte da análise granulométrica do solo e, de acordo Das (2007), “[...] é baseado no princípio da sedimentação dos grãos de solos na água” (p.30). Ainda segundo o autor, as partículas de solo sedimentam em velocidades diferentes quando uma amostra é dispersa na água e tal velocidade depende da forma, tamanho e peso das partículas, além da viscosidade da água.

Segundo a NBR 7181:2016, para a realização dos ensaios de sedimentação e peneiramento fino, é necessário separar 120 g, para solos arenosos, ou 70 g, para solos siltosos ou argilosos, do material que é passado na peneira de 2,0mm. Deve-se anotar a massa desse material como  $M_w$ . Após realizado tal procedimento, a norma estabelece que o material deve ser posto em um béquer de 250 cm<sup>3</sup> e acrescer 125 cm<sup>3</sup> de solução de hexametáfosfato de sódio como defloculante na concentração de 45,7 g do sal por 1000 cm<sup>3</sup> de solução. Posteriormente, deve-se agitar o béquer até que todo o material fique imerso e manter um repouso de no mínimo 12 horas.

Após o repouso descrito anteriormente, a NBR 7181:2016 instrui que se deve transferir a dispersão para a proveta e remover todo o material aderido ao copo com a utilização de água destilada. Deve-se adicionar água destilada até atingir a marca correspondente de 1000 cm<sup>3</sup>. Após realizado este processo, segundo a norma, é necessário colocar a proveta no tanque para banho e, posteriormente, deve-se agitar frequentemente com baqueta de vidro para manter as partículas em suspensão. Logo que a temperatura de equilíbrio seja atingida, a norma instrui que deve-se tampar a “boca” da proveta e realizar movimentos enérgicos de rotação pelo tempo de 1 minuto.

De acordo com a NBR 7181:2016, após a agitação deve-se anotar a hora exata do início da sedimentação e mergulhar de maneira cuidadosa o densímetro na dispersão. A norma orienta em primeiro momento realizar as leituras do densímetro

correspondentes aos tempos de sedimentação (t) de 0,5min, 1min e 2min. Posteriormente, deve-se realizar as leituras do densímetro nos tempos subsequentes à 4min, 8min, 15min, 30min, 1h, 2h, 4h, 8h e 24h, a partir do momento de início da sedimentação. Após cada leitura, a norma instrui a medir a temperatura de dispersão. Finalizada a última leitura, deve-se despejar o material da proveta na peneira de 0,075 mm.

### 2.3.1.3 Ensaio de Peneiramento Fino

O ensaio de peneiramento fino é realizado após o ensaio de sedimentação. De acordo com a NBR 7181:2016, o material retido na peneira de 0,075mm deve ser secado em estufa a uma temperatura de 105 °C a 110 °C até se obter uma massa constante. Posteriormente, de acordo com a norma, deve-se passar o material nas peneiras de 1,2mm, 0,6mm, 0,42mm, 0,25mm, 0,15mm e 0,075mm utilizando um agitador mecânico. Deve-se anotar as massas retidas acumuladas.

### 2.3.1.4 Cálculos

A NBR 7181:2016 descreve as equações necessárias para se construir a curva granulométrica a partir dos dados coletados dos ensaios realizados anteriormente. Para calcular a massa total da amostra seca ( $M_t$ ), a norma se utiliza da Equação 1:

$$M_s = \frac{(M_T - M_g)}{(100 + W)} \cdot 100 + M_g \quad (1)$$

Onde,

$M_s$  é a massa total da amostra seca;

$M_t$  é a massa da amostra seca em temperatura ambiente;

$M_g$  é a massa do material seco retido na peneira de 2,0 mm;

$W$  é a umidade higroscópica do material passado na peneira de 2,0mm.

Para determinar a porcentagem de materiais que passam nas peneiras utilizadas no peneiramento grosso (50mm, 38mm, 25mm, 19mm, 4,8mm e 2,0mm), a NBR 7181:2016 descreve a seguinte Equação 2:

$$Q_g = \frac{(M_s - M_r)}{M_s} \cdot 100 \quad (2)$$

Onde,

$Q_g$  é a porcentagem passante de material em cada peneira;

$M_s$  é a massa total da amostra seca;

$M_r$  é a massa do material retido acumulado em cada peneira.

Segundo a NBR 7186:2016, para determinação das porcentagens de material em suspensão correspondentes às leituras realizadas no ensaio de sedimentação, utiliza-se a Equação 3 descrita abaixo:

$$Q_s = N \cdot \frac{\rho_s}{(\rho_s - \rho_{md})} \cdot \frac{V \cdot \rho_{wc} (L - L_d)}{\frac{M_w}{(100 + W)} \cdot 100} \quad (3)$$

Onde,

$V$  é o volume da proveta (1000 cm<sup>3</sup>);

$Q_s$  é a porcentagem de solo em suspensão no instante da leitura do densímetro;

$N$  é a porcentagem de material que passa na peneira de 2,0mm (calculado pela Equação 2);

$\rho_s$  é a massa específica dos grãos do solo ( g/cm<sup>3</sup>);

$\rho_{md}$  é a massa específica do meio dispersor na temperatura de calibração do densímetro (20 °C) (g/cm<sup>3</sup>);

$\rho_{wc}$  é a massa específica da água na temperatura de calibração do densímetro (1000 g/cm<sup>3</sup>);

$L$  é a leitura do densímetro na suspensão;

$L_d$  é a leitura do densímetro no meio dispersor;

$M_w$  é a massa do material úmido submetido à sedimentação (g);

$W$  é a umidade higroscópica do material passado na peneira de 2,0mm.

Para determinação do diâmetro referente às partículas de solo em suspensão, utiliza-se a lei de Stokes descrita na Equação 4, conforme orienta a NBR 7181:2016:

$$d = \sqrt{\frac{1800\mu}{(\rho_s - \rho_{md})} \cdot \frac{z}{t}} \quad (4)$$

Onde,

$d$  é o diâmetro máximo das partículas (mm);

$\mu$  é o coeficiente de viscosidade do meio dispersor, à temperatura de ensaio (g.s/cm<sup>2</sup>);

$z$  é a altura de queda das partículas correspondente a leitura do densímetro (cm);

$t$  é o tempo de sedimentação expresso em segundos (s);

$\rho_s$  é a massa específica dos grãos do solo (g/cm<sup>3</sup>);

$\rho_{md}$  é a massa específica do meio dispersor, à temperatura de ensaio (g/cm<sup>3</sup>).

Por último, a NBR 7181:2016 utiliza-se da Equação 5 para determinação da porcentagem passante nas peneiras utilizadas no ensaio de peneiramento fino (1,2mm, 0,6mm, 0,42mm, 0,25mm, 0,15mm e 0,75mm):

$$Q_f = \frac{M_W \cdot 100 - M_r(100 + W)}{M_W \cdot 100} \cdot N \quad (5)$$

Onde,

$Q_f$  é a porcentagem de material passante em cada peneira;

$M_W$  é a massa do material úmido submetido ao peneiramento fino ou à sedimentação;

$M_r$  é a massa do material retido acumulado em cada peneira;

$W$  é a umidade higroscópica do material passado na peneira de 2,0mm;

$N$  é a porcentagem de material que passa na peneira de 2,0mm (calculado pela Equação 2).

Com a construção da curva granulométrica, é possível analisar o grau de uniformidade dos diâmetros das partículas de solo. Segundo Caputo (1988), o Coeficiente de Uniformidade ( $C_u$ ) de um solo se refere a razão entre os diâmetros relativos a 60% das partículas passantes e 10% das partículas passantes. Em outras palavras, o Coeficiente de Uniformidade pode ser descrito conforme a Equação 6:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (6)$$

Onde,

$C_u$  é o coeficiente de uniformidade;

$D_{60}$  é o diâmetro correspondente a 60% das partículas passantes;

$D_{10}$  é o diâmetro efetivo, correspondente a 10% das partículas passantes.

Ainda conforme Caputo (1988), a análise da curva granulométrica permite calcular o Coeficiente de Curvatura ( $C_c$ ) de um solo. Tal parâmetro é obtido por meio da Equação 7:

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \cdot D_{10}} \quad (7)$$

Onde,

$C_c$  é o Coeficiente de Curvatura;

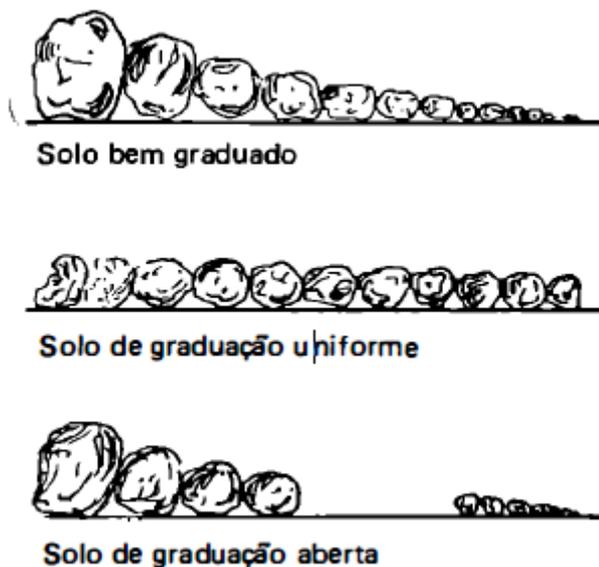
$D_{60}$  é o diâmetro correspondente a 60% das partículas passantes;

$D_{30}$  é o diâmetro correspondente a 30% das partículas passantes;

$D_{10}$  é o diâmetro efetivo, correspondente a 10% das partículas passantes.

Os coeficientes de Uniformidade e Curvatura permitem a determinação do quão “bem graduado” é um solo. Solos com  $C_u < 5$  apresentam muita uniformidade; solos com  $5 < C_u < 15$  apresentam uniformidade média; e solos com  $C_u > 15$  são considerados desuniformes. Além disso, solos que apresentam  $1 < C_c < 3$  são considerados bem graduados. A Figura 2 ilustra solos com diferentes tipos de graduações.

**Figura 2– Diferentes graduações de solo**



Fonte: Caputo, 1988.

### 2.3.2 Determinação da Massa Específica

De acordo com Testoni (2022), a massa específica de um solo “[...] refere-se à razão entre a massa de solo e o volume de solo, e pode ser representada pela unidade em  $\text{g/cm}^3$ ” (p.76). A autora não considera a densidade do solo como um atributo morfológico, mas um atributo que está ligado às propriedades físicas do solo.

De acordo com Pinto (2006), as massas específicas podem ser definidas como as relações entre a quantidade de massa e volume. Em ensaios de laboratório são obtidas as massas e, a partir das normas existentes, são definidas as massas específicas. No Brasil, a NBR 6458:2016 estabelece as diretrizes para a realização do ensaio para determinação da massa específica dos grãos de solo.

Para a realização do ensaio, de acordo com as diretrizes estabelecidas pela NBR 6458:2016, são necessários uma vasta variedade de aparelhos:

- Estufa;
- Aparelho de dispersão com hélices metálicas substituíveis;
- Picnômetro de  $500\text{cm}^3$  ou  $1000\text{cm}^3$ , calibrado a  $20\text{ }^\circ\text{C}$ ;

- Bomba de vácuo com registro, vacuômetro e conexões; a qual seja capaz de aplicar um vácuo de 88kPa;
- Termômetro graduado;
- Balança com resolução de 0,01g;
- Funil de vidro;
- Conta-gotas ou pipeta;
- Banho-maria;
- Béquer de vidro com capacidade de 250 cm<sup>3</sup>;
- Cápsulas para determinação da umidade.

De acordo com a NBR 6458, são realizados dois ensaios para determinação da massa específica. Para o primeiro ensaio, toma-se aproximadamente 250g de amostra preparada, enquanto o restante é utilizado no segundo ensaio. Deve-se homogeneizar a amostra e pesar (cerca de 50g para solos argilosos e siltosos; e cerca de 60g para solos arenosos) para o picnômetro de 500cm<sup>3</sup>. Caso seja utilizado o picnômetro de 1000cm<sup>3</sup>, o valor pesado das amostras deve ser praticamente dobrado. A massa pesada deve ser anotada como  $M_1$

Conforme instrui a norma, deve-se inserir a amostra inicialmente em cápsula com água destilada por 12 horas e, posteriormente, a amostra deve ser colocada em um béquer de vidro de 250cm<sup>3</sup> com água destilada por também 12 horas, no mínimo. O material restante deve ser utilizado para determinação da umidade, segundo estipula a NBR 6457.

A amostra deve ser transferida para o copo de dispersão e, posteriormente, deve-se ser acrescida água destilada até cerca de metade do volume do copo e dispersar durante 15 minutos. Após tal processo, a amostra deve ser transferida para o picnômetro e deve ser acrescida água destilada até cerca da metade do picnômetro. Em seguida, a NBR 6458:2016 instrui que é necessário aplicar um vácuo de no mínimo 88kPa, durante aproximadamente 15 minutos, agitando o picnômetro em intervalos regulares de tempo.

Após a agitação, é necessário acrescentar água destilada até cerca de 1 cm abaixo da base do gargalo e aplicar a pressão de vácuo referida anteriormente, durante o mesmo intervalo de tempo. Logo após, a norma regulamenta que se deve

adicionar água destilada até cerca de 1 cm abaixo da marca de calibração do picnômetro e, posteriormente, o picnômetro deve ser mantido em repouso para que sua temperatura se equilibre com a temperatura do ambiente. (ABTN, 2016)

Utilizando um conta-gotas ou pipeta, é necessário realizar a adição de água destilada no picnômetro até que a marcação referencial coincida com a base do menisco. Finalmente, deve-se pesar todo o conjunto formado pelo picnômetro, o solo e a água e anotar como  $M_2$ . (ABNT, 2016)

A NBR 6458:2016 normatiza que se deve determinar a temperatura do conteúdo do picnômetro e, a partir deste valor, obter a massa do picnômetro com água até a marca de referência  $M_3$  na curva de calibração correspondente. Com os valores obtidos, a NBR 6458:2016 utiliza a Equação 8 para determinação da massa específica dos grãos do solo:

$$\rho_s = \frac{M_1 \cdot 100 / (100 + W)}{\left[ \frac{M_1 \cdot 100}{100 + W} \right] + M_3 - M_2} - \rho_{w(T)} \quad (8)$$

Onde,

$\rho_s$  é a massa específica dos grãos do solo (g/cm<sup>3</sup>);

$M_1$  é a massa do solo úmido;

$M_2$  é a massa do conjunto picnômetro + solo + água, à temperatura T de ensaio;

$M_3$  é massa do picnômetro cheio de água até a marca de referência, à temperatura T de ensaio;

$W$  é a umidade inicial da amostra;

$\rho_{w(T)}$  é a massa específica da água, à temperatura T de ensaio.

### 2.3.3 Determinação do teor de umidade

Segundo Caputo (1988), a umidade de um solo pode ser definida como a razão entre o peso de água contida em determinado volume de solo e o peso da parte sólida presente no mesmo volume. Ainda conforme o autor, o teor de umidade é um fator

muito significativo, em especial para solos argilosos que têm sua resistência baseada nesse índice.

A NBR 6457:2016 estabelece as diretrizes para a realização do ensaio de determinação do teor de umidade de solos. De acordo com a norma, é necessária a utilização da seguinte aparelhagem para a realização do ensaio:

- Balança;
- Estufa capaz de manter a temperatura entre 60 a 65°C e entre 105 e 110°C;
- Dessecador com sílica-gel;
- Recipientes adequados;
- Pinças metálicas.

Conforme instrui a NBR 6457:2016, deve-se separar uma determinada quantidade de material em função dos maiores grãos contidos na amostra, conforme determina a Tabela 2. Cabe salientar que, para cada amostra, deve-se realizar no mínimo três determinações do teor de umidade, conforme regulamenta a norma NBR 6457:2016. A amostra separada deve ser destorrada, colocada no estado fofo e armazenada em cápsulas metálicas com tampa. Todo o conjunto (cápsula, tampa e amostra) deve ser pesado e a massa deve ser anotada como  $M_1$ . (ABNT, 2016)

**Tabela 2** – Quantidade de material em função da dimensão dos grãos segundo a ABNT NBR 6457:2016

Dimensão dos grãos maiores contidos na amostra, determinada visualmente (mm)	Quantidade de material (em massa seca) a tomar (g)	Capacidade nominal da balança a ser utilizada (g)	Resolução da balança a ser utilizada (g)
< 2	30	200	0,01
2 a 20	30 a 300	1500	0,1
20 a 76	300 a 3000	5000	0,5

Fonte: ABNT NBR 6457:2016

Com a amostra devidamente separada, a NBR 6457:2016 instrui que a cápsula deve ser destampada e colocada na estufa à temperatura de 105 a 110°C, até atingir constância de massa. A norma recomenda deixar a amostra em estufa por um período

de 16 a 24 horas, para garantir a secagem do material. Após este processo, a cápsula deve ser levada para o dessecador e, após atingir temperatura ambiente, a mesma deve ser tampada e pesada. O valor pesado deve ser anotado como  $M_2$ . Também deve ser anotada a massa da cápsula com tampa vazia como  $M_3$ .

Com os valores das massas obtidos, a NBR 6457:2016 fornece a Equação 9 para determinação do teor de umidade ( $W$ ):

$$W = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} \cdot 100 \quad (9)$$

Onde,

$W$  é o teor de umidade do solo (%);

$M_1$  é a massa do solo úmido mais a massa do recipiente com tampa (g);

$M_2$  é a massa do solo seco mais a massa do recipiente com tampa (g);

$M_3$  é a massa do recipiente com tampa vazio (g).

### 2.3.4 Limites de Atterberg

Quando um determinado solo apresenta umidade muito elevada pode-se dizer que o mesmo se encontra no “estado líquido”. Com a evaporação da água, o solo perde umidade e se enrijece, podendo ser moldado facilmente sem perder sua forma (estado plástico). No exato ponto em que isto acontece, temos o Limite de Liquidez (LL) de um solo. À medida que o solo continua perdendo umidade, o solo perde as características de ser moldado facilmente passando a se desmanchar ao ser trabalhado (estado semi-sólido). Neste caso, no momento desta transição, temos o Limite de Plasticidade (LP). Os limites descritos (LL e LP), são devidos ao cientista sueco Atterberg. (CAPUTO, 1988)

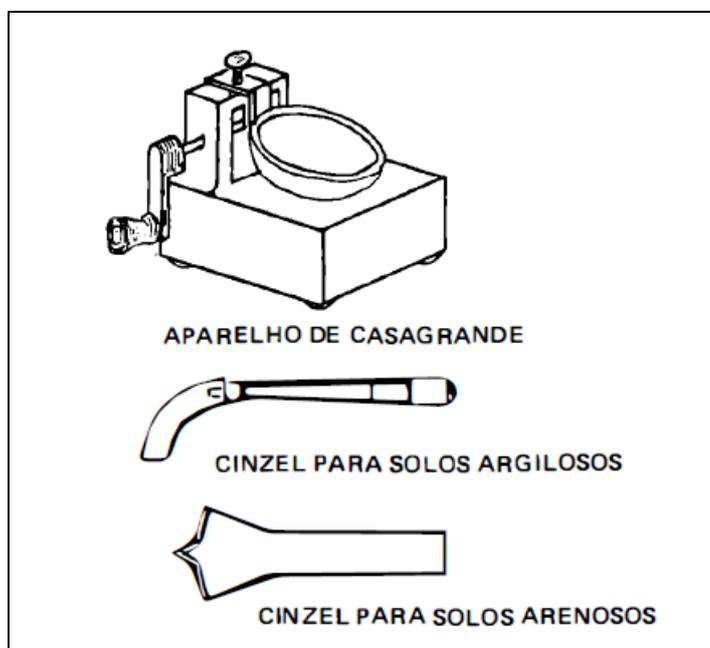
#### 2.3.4.1 Limite de Liquidez

Segundo Caputo (1988), a realização do ensaio do Limite de Liquidez é feita com uso do aparelho de Casagrande, ilustrado na Figura 3, o qual consiste em um

prato de latão, em formato de concha, sobre um suporte de ebonite. O ensaio de Limite de Liquidez é regulamentado pela NBR 6459:2016, que especifica a seguinte aparelhagem para realização do ensaio:

- Estufa capaz de manter a temperatura entre 60 a 65°C e entre 105 e 110°C;
- Cápsula de porcelana com aproximadamente 120mm de diâmetro;
- Espátula de lâmina flexível com 80mm de comprimento e 20mm de largura aproximada;
- Aparelho de Casagrande (ilustrado na Figura 3);
- Cinzel (ilustrado na Figura 3);
- Recipientes adequados para evitar a perda de umidade;
- Balança;
- Gabarito para verificação da altura de queda da concha;
- Esfera de aço com 8mm de diâmetro.

**Figura 3** – Aparelhagem para realização do ensaio de Limite de Liquidez



Fonte: Caputo, 1988.

Conforme a NBR 6459:2016, deve-se inicialmente colocar a amostra preparada na cápsula de porcelana e adicionar água destilada aos poucos, amassando e

revolvendo com o auxílio da espátula, para se obter uma pasta homogênea com uma consistência ideal para que sejam necessários aproximadamente 35 golpes para fechar a ranhura. Parte da mistura deve ser transferida para a concha e moldada de forma que sua espessura central seja de aproximadamente 10mm. O excesso de solo deve ser transferido novamente para a cápsula. (ABNT, 2016)

Na concha, a amostra de solo deve ser dividida em duas partes com o auxílio do cinzel, abrindo-se uma ranhura central. Após este processo, a concha deve ser colocada no aparelho de Casagrande e golpeada contra a base em queda livre, realizando tal processo de maneira manual girando a manivela na velocidade de duas voltas por segundo. Deve-se anotar o número de golpes necessários para que as bordas inferiores da ranhura se unam ao longo de aproximadamente 13mm de comprimento. Imediatamente após este processo, se deve transferir uma amostra do material junto às bordas que se uniram para um recipiente adequado para determinação da umidade, conforme normatiza a NBR 6457:2016. (ABNT, 2016)

Segundo a NBR 6459:2016, o restante da massa deve ser transferido para a cápsula de porcelana e posteriormente amassado e revolvido com a adição de água destilada durante no mínimo 3 minutos. Deste modo, deve ser repetido as operações no aparelho de Casagrande para se obter o 2º ponto de ensaio. Ainda conforme a norma, deve se obter no mínimo mais três pontos de ensaio, repetindo as operações realizadas para a obtenção do 2º ponto, cobrindo o intervalo de 35 a 15 golpes.

Com resultados obtidos em ensaio, a NBR 6459 instrui que se deve construir um gráfico cujo eixo horizontal (em escala logarítmica) represente os números de golpes e o eixo vertical (em escala aritmética) represente os teores de umidades correspondentes. Os pontos obtidos devem ser ajustados para uma reta e, a partir desta, deve-se obter o Limite de Liquidez (LL) do solo, o qual é determinado pelo teor de umidade correspondente a 25 golpes.

#### 2.3.4.2 Limite de Plasticidade

Segundo Almeida (2005), o cientista sueco Atterberg determinou que para que uma amostra de solo esteja em estado plástico, é necessário que exista “[...]a possibilidade de com ela ser possível moldar um cilindro de 10cm de comprimento por

3mm de diâmetro, por rolagem sobre uma placa de vidro” (p.96). Ainda segundo o autor, o Limite de Plasticidade (LP) pode ser definido como o teor de umidade em que o solo, no estado plástico, passa para o estado semi-sólido.

A NBR 7180:2016, norma que estabelece as diretrizes para a realização do ensaio para determinação do Limite de Plasticidade (LP) de um solo, estabelece a seguinte aparelhagem para a realização do ensaio:

- Estufa capaz de manter a temperatura entre 60 a 65°C e entre 105 e 110°C;
- Cápsula de porcelana com aproximadamente 120mm de diâmetro;
- Espátula de lâmina flexível com 80mm de comprimento e 20mm de largura aproximada;
- Recipientes adequados para evitar a perda de umidade;
- Balança;
- Gabarito cilíndrico para comparação com 3mm de diâmetro e cerca de 100mm de comprimento;
- Placa de vidro de superfície esmerilhada com cerca de 30cm de lado.

Conforme a NBR 7180:2016, deve-se inicialmente colocar a amostra preparada na cápsula de porcelana e adicionar água destilada aos poucos, amassando e revolvendo com o auxílio da espátula, para se obter uma pasta homogênea com consistência plástica. O tempo ideal para homogeneização, segundo a norma, deve estar na faixa entre 15 e 30 minutos. Após este processo, deve-se separar cerca de 10g da amostra preparada com secagem prévia e formar uma pequena bola, a qual deve ser rolada manualmente sobre a placa de vidro a fim de atingir a forma cilíndrica. (ANBR,2016)

Caso a amostra se fragmente antes de atingir 3mm, a NBR 7180:2016 estipula que o material deve ser retornado a cápsula de porcelana, amassado e revolvido com a adição de água destilada por no mínimo 3 minutos e, após isso, deve ser realizado novamente o processo de rolagem sobre a placa de vidro. No caso da amostra atingir o diâmetro de 3mm sem se fragmentar, deve-se amassar o material e repetir o processo de rolagem sobre a placa de vidro. (ABNT, 2016)

Conforme a NBR 7180:2016, quando a amostra se fragmentar com diâmetro de 3mm e comprimento de aproximadamente 100mm, deve-se transferir de maneira imediata a amostra para um recipiente adequado para determinação da umidade, conforme regulamenta a NBR 6457:2016. Logo, o Limite de Plasticidade (LP), segundo a NBR 7180:2016 é a média de pelo menos três valores de umidade que não diferenciem da respectiva média de mais que 5% dessa média.

### 2.3.4.3 Índice de Plasticidade

Conforme Caputo (1988), o Índice de Plasticidade refere-se à diferença entre os limites de Liquidez (LL) e Plasticidade (LP), conforme ilustra a Equação 10 abaixo:

$$IP = LL - LP \quad (10)$$

Onde,

IP é o Índice de Plasticidade;

LL é o Limite de Liquidez;

LP é o Limite de Plasticidade.

Das (2007), citando Burmister<sup>1</sup> (1849), classifica o Índice de Plasticidade de forma qualitativa, conforme mostrado na Tabela 3 abaixo:

**Tabela 3 – Classificação qualitativa do Índice de Plasticidade**

IP	Descrição
0	Não plástico
1 a 5	Ligeiramente plástico
5 a 10	Plasticidade baixa
10 a 20	Plasticidade média
20 a 40	Plasticidade alta
> 40	Plasticidade muito alta

Fonte: Das (2007)

<sup>1</sup> BURMISTER, D. M. Principles and Techniques of Soil Identification, Proceedings, Annual Highway Research Board Meeting, National Research Council, Washington, D.C., v. 29, 402-434, 1949.

### 2.3.5 Ensaio de Compactação de Proctor

Caputo (1988) define a compactação de um solo como o processo manual ou mecânico que visa reduzir o volume de seus vazios e, dessa forma, aumentar sua resistência, tornando-o mais estável. Também segundo Massad (2016), a compactação de um solo pode ser entendida como uma redução rápida do índice de vazios a partir da utilização de processos mecânicos.

Segundo Caputo (1988), o ensaio padrão que determina a umidade ótima e o peso específico máximo de um solo é o ensaio de compactação de Proctor, o qual foi proposto em 1933. A curva resultante do ensaio também recebe o nome de Proctor e relaciona a massa específica aparente seca em função do teor de umidade. (Das, 2007)

A NBR 7182:2016, a qual estabelece as diretrizes para a realização do Ensaio de Compactação de Proctor, estabelece a seguinte aparelhagem necessária para realização do ensaio:

- Balanças;
- Peneiras de 19mm e 4,8mm;
- Estufa capaz de manter a temperatura entre 60 a 65°C e entre 105 e 110°C;
- Cápsulas metálicas para determinação da umidade;
- Bandejas metálicas;
- Régua de aço biselada;
- Espátulas de lâmina flexível;
- Cilindro de Proctor (1000cm<sup>3</sup>);
- Cilindro metálico grande (2085cm<sup>3</sup>);
- Soquete pequeno;
- Soquete grande;
- Provetas de vidro (1000 cm<sup>3</sup>, 200cm<sup>3</sup> e 100cm<sup>3</sup>);
- Desempenadeira de madeira;
- Extrator de corpo de prova;
- Conchas metálicas;
- Base rígida (preferencialmente de concreto);

- Papel-filtro;
- Sacos plásticos.

Para a realização do ensaio, a NBR 7182:2016 estabelece a energia de compactação necessária conforme o tipo de cilindro e soquete utilizados. Tal relação é exposta na Tabela 4:

**Tabela 4** – Energia de compactação segundo a ABNT NBR 7182:2016

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
Grande	Soquete	Grande	Grande	Grande
	Número de camadas	5	5	5
	Número de golpes por camada	12	26	55
	Altura do disco espaçador	63,5	63,5	63,5

Fonte: ABNT NBR 7182:2016

Inicialmente, deve-se fixar o molde cilindro à base, fixar o cilindro complementar, colocar todo o conjunto sobre uma base rígida e colocar uma folha de papel filtro com diâmetro igual ao do molde utilizado. Deve-se então, tomar a amostra preparada para realização do ensaio, colocá-la na bandeja metálica e a revolver com a adição de água destilada até se obter o teor de umidade em torno de 5% abaixo da suposta umidade ótima (ABNT, 2016).

Conforme a NBR 7182:2016, após a completa homogeneização do material se deve realizar o processo de compactação utilizando a energia de compactação desejada e seguindo as demais determinações descritas na Tabela 4. Cabe salientar que os golpes do soquete devem ser aplicados de maneira perpendicular e em queda livre. Posteriormente, após a compactação da última camada, deve-se retirar o cilindro complementar completamente e escarificar todo o material sobre sua parede e, posteriormente, removido também o cilindro pequeno. Todo o conjunto deve então ser pesado e, subtraindo a massa do molde cilíndrico, deve ser anotado como a massa úmida do solo compactado ( $M_u$ ) (ABNT, 2016).

Utilizando-se de um extrator, deve-se retirar o corpo de prova do molde e retirar uma amostra do seu centro para determinação da sua umidade ( $W$ ), conforme estabelecido pela NBR 6457. O material restante deve ser passado na peneira de 4,8mm ou na 19mm, juntado ao material remanescente da bandeja metálica e revolvido com adição de água destilada com o objetivo de aumentar o teor de umidade em aproximadamente 2%. Deve-se então repetir o processo de compactação até que sejam obtidos cinco pontos (ABNT, 2016).

Com os dados obtidos, a NBR 7182:2016 estabelece a seguinte equação para determinação da massa específica aparente seca ( $\rho_d$ ):

$$\rho_d = \frac{M_u - 100}{V(100 + W)} \quad (11)$$

Onde,

$\rho_d$  é a massa específica aparente seca ( $\text{g/cm}^3$ );

$M_u$  é a massa úmida do solo compactado (g);

$V$  é o volume útil do molde cilíndrico ( $\text{cm}^3$ );

$W$  é o teor de umidade do solo compactado (%).

Ainda segundo a NBR 7182:2016, a curva de saturação de um solo pode ser obtida por meio da Equação 12:

$$\rho_d = \frac{S}{\frac{W}{\rho_w} + \frac{S}{\rho_s}} \quad (12)$$

Onde,

$\rho_d$  é a massa específica aparente seca ( $\text{g/cm}^3$ );

$S$  é o grau de saturação (%);

$W$  é o teor de umidade na faixa de interesse (%);

$\rho_s$  é a massa específica dos grãos de solo, conforme a NBR 6458 ( $\text{g/cm}^3$ );

$\rho_w$  é a massa específica da água (considerar  $1,00 \text{ g/cm}^3$ ).

Com os resultados obtidos, a NBR 7182:2016 determina que deve ser traçada a curva de compactação em um gráfico onde o eixo horizontal representa os teores de umidade  $W$  e o eixo vertical representa as massas específicas aparentes secas  $\rho_d$ . Por meio da curva de compactação, também é possível determinar a massa específica aparente seca máxima e a umidade ótima do solo, as quais estão relacionadas com o ponto de máximo da curva de compactação traçada. A norma recomenda ainda traçar a curva de saturação, utilizando-se da Equação 12, no mesmo gráfico da curva de compactação.

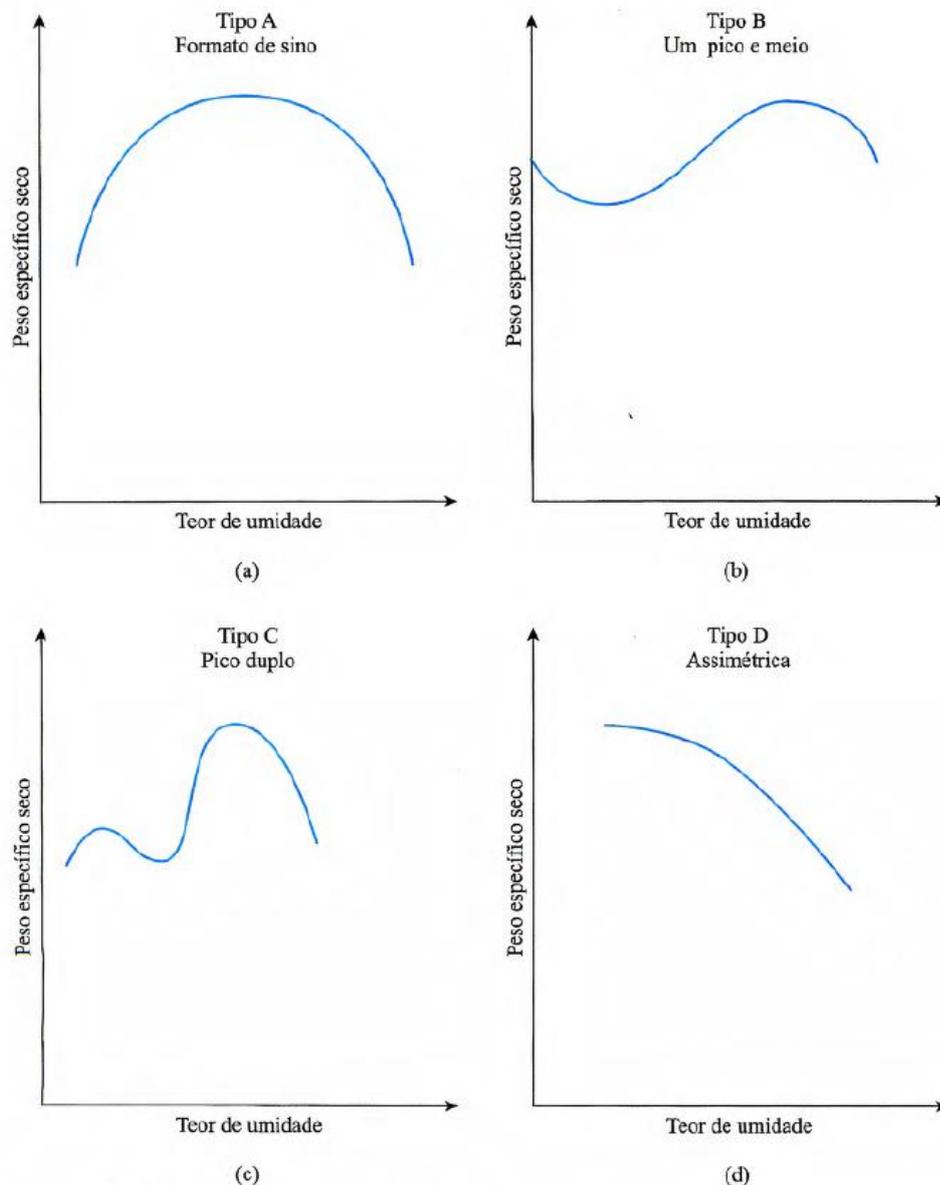
Conforme Das (2007), o teor de umidade exerce grande influência no grau de compactação do solo. Além disso, o autor ainda afirma que as características do solo possuem, também, grande importância no que diz respeito ao formato da curva de compactação, a massa específica máxima seca e ao teor de umidade ótima de um solo. Das (2007), relaciona o formato da curva de compactação com o limite de liquidez do solo conforme descreve a Tabela 5 em conjunto com a Figura 4:

**Tabela 5** – Relação entre o formato da curva de compactação e o limite de liquidez

<b>Tipo de curva de compactação</b>	<b>Descrição da curva</b>	<b>Limite de Liquidez (LL)</b>
A	Formato de sino	Entre 30 e 70
B	Um pico e meio	Menor que 30
C	Pico duplo	Menor que 30 e maior que 70
D	Formato assimétrico	Maior que 70

Fonte: Das, 2007.

**Figura 4** – Tipos de curva de compactação de solo.



Fonte: Das, 2007.

### 2.3.6 Ensaio de Compressão Simples

Das (2007) explica que um aumento na tensão, causado pela construção de fundações ou outras cargas, comprime as camadas do solo. Ainda conforme o autor, a compressão é originada por três fatores principais: deformação das partículas, deslocamento das partículas e expulsão de água ou ar dos vazios do solo.

A NBR 12770:2022 estabelece as diretrizes para a realização do ensaio de determinação da resistência à compressão não confinada (simples). De acordo com a norma, a seguinte aparelhagem é necessária para realização do ensaio:

- Equipamento de compressão, como a prensa hidráulica;
- Anel dinamométrico;
- Extrator de amostra;
- Medidor de deslocamento (deflectômetro ou relógio comparador);
- Medidor das dimensões;
- Cronômetro;
- Balança.

De acordo com a NBR 12770:2022 os corpos-de-prova devem possuir diâmetro mínimo de 35mm e podem ser preparados a partir de amostras indeformadas, corpos-de-prova remoldados ou compactados. Para início do ensaio, deve-se colocar o corpo de prova no centro do pedestal do equipamento de compressão e zerar o medidor de deslocamento (ABNT, 2022).

Com o corpo-de-prova no equipamento, a NBR 12770:2022 estabelece que o carregamento deve ser aplicado com uma velocidade de deformação axial constante entre 0,5%/min e 2%/min. Deve-se então, anotar os valores da carga, deslocamento e tempo em intervalos adequados. O ensaio deve prosseguir até que os valores de carga diminuam à medida que os deslocamentos aumentem. Após o rompimento, recomenda-se fotografar ou desenhar um esboço do corpo de prova rompido, sinalizando o ângulo da superfície de ruptura.

Segundo a NBR 12770:2022, utiliza-se a Equação 13 para cálculo da deformação axial específica, para uma determinada carga aplicada:

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H} \cdot 100 \quad (13)$$

Onde,

$\varepsilon$  é a deformação axial específica (%);

$\Delta H$  é a variação de altura do corpo de prova (mm);

$H$  é a altura inicial do corpo de prova (mm).

A NBR 12770:2022 estabelece também a Equação 13 para determinação da área da seção transversal média:

$$A = \frac{100.A_i}{100-\varepsilon} \quad (13)$$

Onde,

$A$  é a área da seção transversal média(m<sup>2</sup>);

$A_i$  é a área da seção transversal média inicial (m<sup>2</sup>);

$\varepsilon$  é a deformação axial específica (%).

Para o cálculo da tensão de compressão, a NBR 12770:2022 estabelece a Equação 14, descrita abaixo, que relaciona a carga aplicada com a área calculada anteriormente:

$$q = \frac{P}{A} \quad (14)$$

Onde,

$q$  é a tensão de compressão (KN/m<sup>2</sup>);

$P$  é a carga aplicada (KN);

$A$  é a área da seção transversal média (m<sup>2</sup>);

Com os resultados obtidos e com as equações estabelecidas pela NBR 12770, deve-se apresentar como resultado principal do ensaio um gráfico de tensão-deformação axial específica e um esboço ou fotografia do corpo-de-prova rompido com o ângulo da superfície de ruptura sinalizado. O valor da resistência à compressão não confinada ( $q_u$ ) refere-se a tensão de compressão na qual o corpo-de-prova se rompeu; e o valor da resistência ao cisalhamento ( $s_u$ ) é a metade do valor da resistência à compressão ( $q_u$ ).

## 2.4 DENSENVOLVIMENTO *WEB*

Conforme Júnior e Patrício (2015), a *World Wide Web* (ou *WEB*) pode ser definida como um conjunto de recursos vinculados, tais como documentos, imagens, vídeos, aplicações e músicas. Eis e Ferreira (2012) são enfáticos ao dizerem que “A *WEB* foi criada para compartilhar informação”(p.20) e que “Informação é tudo que o usuário consome”(p.20).

Segundo Júnior e Patrício (2015), o novo modelo de distribuição de conteúdos e serviços pela internet gerou diversas melhorias tecnológicas. Os autores ainda definem a *WEB* como uma grande “teia de conhecimentos” que possui grande alcance e é largamente democrática no que diz respeito a conteúdo e ao seu público alvo. Com o crescimento potencial da *WEB* e pela necessidade de gerar conteúdos adaptados a ela, surgiram um conjunto de tecnologias e tentativas de padronização, tais como HTML, CSS e Javascript. (JÚNIOR E PATRÍCIO, 2015)

### 2.4.1 HTML

Conforme Eis e Ferreira (2012), o HTML (*Hypertext Markup Language*) pode ser definido como uma “[...] linguagem para publicação de conteúdo (texto, imagem, vídeo, áudio e etc) para a *WEB*” (p.25). O HTML é fundamentado no conceito de Hipertexto, o qual se refere a uma maneira organizacional de conteúdo de modo não linear composta por um conjunto de elementos ligados por conexões. (EIS E FERREIRA, 2012).

De maneira mais técnica, Júnior e Patrício (2015) definem o HTML como uma linguagem composta por *tags* (ou rótulos), que são utilizadas para envolver o texto que vai ser impactado pelo código. As *tags* são elementos entre parênteses angulares que atribuem semântica e/ou características visuais ao texto que é aplicado. A *tag* `<b>`, por exemplo, é utilizada para colocar uma fração de texto em negrito. Desta forma, exemplificando, utilizando a linguagem HTML, quando desejado colocar a palavra “Mecânica” da frase abaixo em negrito, o código HTML se sucederá da seguinte maneira:

A `<b>`Mecânica`</b>` dos Solos é fundamental.

E, visualmente, o resultado será:

*A **Mecânica** dos Solos é fundamental.*

### **2.4.2 CSS**

Conforme Júnior e Patrício (2015), o CSS (*Cascading Style Sheet*) pode ser definido como “[...] uma linguagem de estilo, simples e bastante útil, usada para definir a apresentação de documentos escritos em uma linguagem de marcação” (p.39). Em outras palavras, o CSS estiliza o HTML. Ainda conforme Júnior e Ferreira (2015), o CSS possibilita realizar alterações visuais importantes na construção de um *Web site*, deixando o código HTML livre de tais atribuições.

Segundo Eis e Ferreira (2012), o CSS é responsável por formatar a informação que é disponibilizada pelo HTML, seja ela imagem, texto, áudio, vídeo ou qualquer outro tipo de elemento. Conforme os autores, o CSS prepara tal informação para que a mesma seja consumida pelo usuário da maneira mais ideal. Com o CSS se torna possível a formatação de características como cores, background, características da fonte do texto, margens, posições, dentre outros atributos. (EIS E FERREIRA, 2012)

### **2.4.3 JavaScript**

JavaScript pode ser definida como a linguagem de programação da *Web*. A maior parte dos sites da atualidade, bem como os navegadores mais modernos estão envolvidos com o JavaScript. Tal fato, faz com que esta linguagem se torne a linguagem de programação mais “onipresente” que já existiu. (FLANAGAN, 2013)

Segundo Júnior e Patrício (2015), a linguagem JavaScript possibilita que o desenvolvedor *WEB* modifique ou manipule os diferentes objetos presentes em uma página, tais como imagens, vídeos, formulários, textos, links e etc. Com o JavaScript também é possível realizar a captura de eventos, tais como o apertar de uma tecla no teclado ou o *click* do mouse. (JÚNIOR E PATRÍCIO, 2015)

### 3 METODOLOGIA

Este Trabalho de Conclusão de Curso trata do desenvolvimento de um *software web* para cálculos e análises referentes a ensaios selecionados de laboratório de Mecânica dos Solos, para fins de utilização acadêmica e profissional, seguindo as regulamentações estabelecidas pela ABNT e abordando conceitos de obras bibliográficas no campo do estudo do solo.

A metodologia utilizada no trabalho se fundamenta na pesquisa de desenvolvimento e possui abordagem predominantemente qualitativa, visto que o objetivo principal se baseia no desenvolvimento de um *software web* capaz de auxiliar na análise e realização de cálculos envolvidos em ensaios selecionados de laboratório de Mecânica dos Solos. Resumidamente, a metodologia utilizada se divide em quatro fases principais:

- Revisão Bibliográfica;
- Desenvolvimento do Software;
- Testes de validação;
- Análise dos Resultados.

As fases metodológicas deste trabalho são ilustradas na Figura 5 abaixo:

*Figura 5 - Fases da metodologia utilizada no trabalho.*



Fonte: Autoria Própria.

#### 3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a realização deste trabalho, inicialmente, realizou-se uma revisão bibliográfica a fim de adquirir o conhecimento necessário para prosseguir com as

demais etapas desta pesquisa. Evidenciando a interdisciplinaridade deste trabalho, o estudo abrangeu conteúdos referentes a dois principais campos: o campo da Engenharia e o campo do Desenvolvimento Web.

No campo da Engenharia, este trabalho foi embasado nas normas regulamentadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) referentes a ensaios selecionados presentes em um laboratório de Mecânica dos Solos, sendo eles: Ensaio de Granulometria, Ensaio de determinação de Massa Específica dos Grãos de Solo, Ensaio de determinação do Teor de Umidade, Ensaio de Limites de Liquidez e Plasticidade, Ensaio de Compactação de Proctor e Ensaio de Compressão Simples. Além disso, a revisão bibliográfica abrangeu conceitos presentes em obras de variados autores do campo da Mecânica dos Solos, tais como as obras de Caputo (1988), Das (2007) e Almeida (2005).

Na área do Desenvolvimento *Web*, foram consultadas obras educativas relacionadas aos principais conceitos referentes a construção de um *software web*. Tais conceitos, se baseiam em três linguagens de programação principais: *HTML*, *CSS* e *JavaScript*.

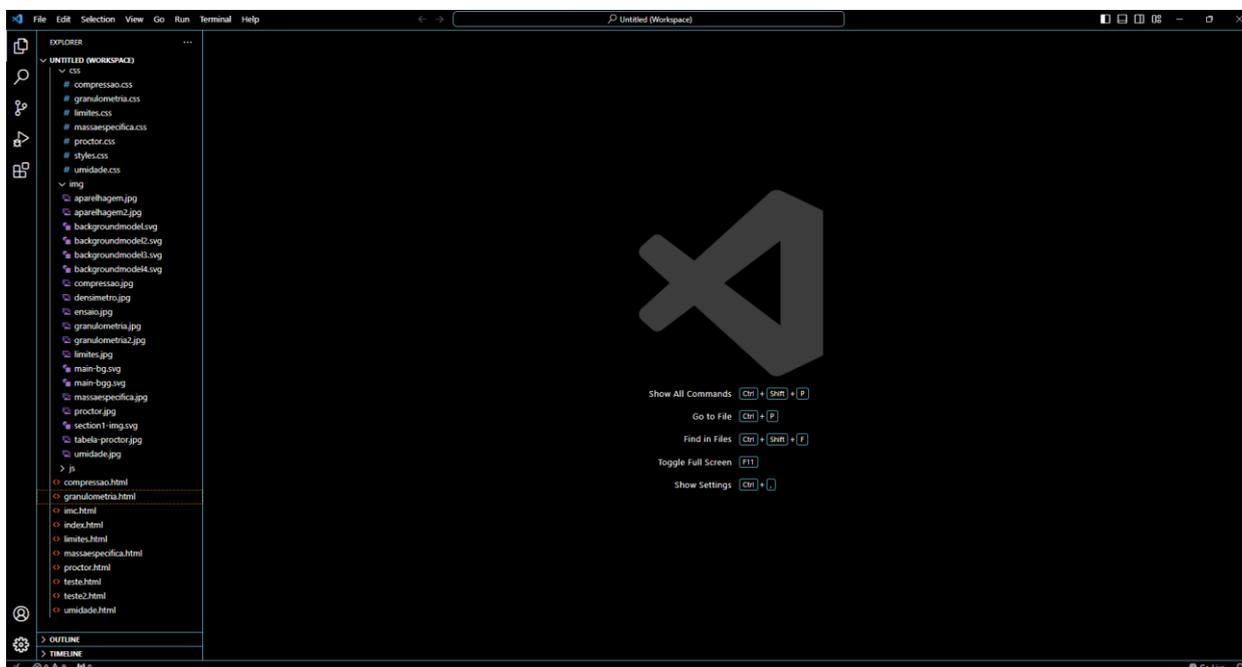
### 3.2 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA WEB

O desenvolvimento do sistema web, foco deste trabalho, tem como objetivo principal auxiliar nas análises e realização de cálculos referentes à ensaios selecionados de laboratório de Mecânica dos Solos, servindo como ferramenta de apoio para fins acadêmicos e profissionais. A partir da revisão bibliográfica realizada e com os conhecimentos e habilidades adquiridos por meio desta, foi iniciada a segunda etapa deste projeto que envolve efetivamente a criação do sistema *web*. Nesta etapa, todos os aspectos técnicos e visuais do *software*, bem como os instrumentos necessários para o desenvolvimento, foram definidos. O *software* desenvolvido foi nomeado de Detetive Terra (DT).

Todo o sistema foi projetado em um editor de código-fonte gratuito, disponibilizado pela Microsoft, denominado *Visual Studio Code* (VSC). O VSC oferece suporte a uma vasta gama de linguagens de programação e *frameworks*, além de ser multiplataforma e possuir uma comunidade ativa que contribui para a criação de

extensões úteis e aprimoramento contínuo da ferramenta. A Figura 6 ilustra a interface do ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) do *Visual Studio Code*:

**Figura 6 - Interface do Visual Studio Code**



Fonte: Visual Studio Code (Microsoft).

As linguagens de programação utilizadas para a criação do software estão relacionadas a três importantes fatores intrínsecos à uma página *web*: estrutura, estilo e interatividade. No desenvolvimento do projeto, foi empregado a linguagem HTML (Hypertext Markup Language) para estabelecer a estrutura fundamental da página, definindo os elementos e sua organização. A linguagem CSS (Cascading Style Sheets) foi adotada para conferir uma apresentação visual atraente, estilizando os elementos HTML e proporcionando um *layout* harmonioso. Além disso, foi integrada à linguagem JavaScript para adicionar dinamismo à página, possibilitando a manipulação de elementos, a resposta a eventos do usuário, a implementação de funcionalidades interativas e a realização de cálculos e demais lógicas de programação. A combinação entre as linguagens de programação HTML, CSS e JavaScript possibilita criar uma experiência *web* completa, abrangendo desde a estruturação básica até o comportamento dinâmico, resultando em um software mais rico e funcional.

A estrutura do sistema, programada em HTML, baseou-se na criação de páginas individuais para cada ensaio de laboratório, além de uma página principal e uma página para informações gerais. A navegação entre as páginas pode ser realizada por um menu na parte superior do sistema que está sempre visível, facilitando a dinâmica de navegação ao usuário. As páginas referentes aos ensaios de laboratório foram estruturadas em seções, responsáveis por organizar os conteúdos envolvidos na realização e análise dos ensaios e auxiliar na realização dos ensaios no ambiente laboratorial. Deste modo, cada página apresenta as seguintes seções:

- **Introdução:** A seção de Introdução revela uma breve introdução sobre o ensaio em questão.
- **Aparelhagem:** A seção de Aparelhagem define os materiais e instrumentos que devem ser utilizados para a realização do ensaio em laboratório, conforme a norma regulamentadora brasileira correspondente.
- **Método:** A seção de Método define o método de realização do ensaio em laboratório, conforme a norma regulamentadora brasileira correspondente.
- **Inserção de Dados:** A seção de Inserção de Dados recolhe os dados obtidos pelo usuário na realização do ensaio de laboratório *in situ*.
- **Resultados:** A seção de Resultados disponibiliza, por meio dos dados coletados anteriormente, a análise e o resultado do cálculo de diversos parâmetros referentes ao ensaio correspondente.

O *design* do projeto, desenvolvido em CSS, fundamentou-se na escolha de uma cor principal (tonalidade que se remete ao solo) e uma cor secundária (branco) que, juntas, formaram a paleta de cores principal do software. Também foram definidos o tamanho da fonte e dimensões para diversos elementos da página (títulos, parágrafos, formulários, imagens) e a organização posicional de cada um destes elementos. Além disso, o *design* apresenta caráter responsivo, sendo possível obter uma visualização e utilização adequada seja em um *desktop*, seja em dispositivos móveis.

A interatividade do *software*, programada em JavaScript, embasou-se na coleta de dados obtidos por meio de formulários e a atribuição destes dados à variáveis. Utilizando-se das equações, métodos e informações disponibilizadas pela ABNT foi

desenvolvida uma lógica de programação capaz de transformar as informações coletadas em resultados expressos de maneira organizada e limpa. Tal lógica de programação envolveu elementos nativos da linguagem JavaScript, bem como a utilização de bibliotecas que facilitam a utilização de alguns recursos, tais como gráficos e equações matemáticas complexas.

### 3.3 TESTES DE VALIDAÇÃO

Os testes de validação do sistema *web* desenvolvido foram realizados por meio do navegador *web* da Google, o Google Chrome. Por meio de uma extensão disponível para o *Visual Studio Code*, a “*Open with a live server*”, foi possível iniciar um servidor *web* local diretamente do VSC, tornando possível testar em tempo real a organização dos elementos, o design da página e a funcionalidade dos recursos desenvolvidos.

Para testar a eficácia e a eficiência do *software*, foi realizada a comparação entre os resultados obtidos por meio da utilização do sistema desenvolvido com os resultados obtidos manualmente ou disponíveis em outras fontes (tais como trabalhos acadêmicos, apostilas e etc.). Deste modo, cada ensaio de laboratório presente neste projeto apresenta seu próprio teste de validação quanto ao seu desempenho, sendo que alguns destes testes foram realizados de maneira qualitativa visto que envolvem o esboço de curvas e gráficos. Foi adotada a margem de erro máxima de 3% para que o resultado obtido no sistema *web* seja considerado aceitável. Caso o erro ultrapasse o limite estipulado, considera-se necessária uma eventual correção no código ou alteração nos recursos utilizados.

O *software web* desenvolvido visa ser implementado tanto no meio educacional acadêmico, quanto no meio profissional. O projeto estará disponível livremente à comunidade acadêmica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, campus de Vitória da Conquista para fins de auxílio nos estudos e desenvolvimento de projetos. Para a comunidade profissional fora do âmbito do IFBA, os recursos do site estarão disponíveis apenas por meio da obtenção de uma licença de uso.

### 3.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos resultados foi realizada de maneira quantitativa e qualitativa, exibindo a porcentagem do erro presente e os aspectos divergentes em cada um dos ensaios de laboratório abordados. Por meio da avaliação individual de cada ensaio de laboratório, buscou-se averiguar, no final deste trabalho, a eficiência e a eficácia do software Detetive Terra desenvolvido de modo geral. A análise dos resultados foi explícita por meio de elementos textuais e visuais (imagens, gráficos, tabelas), o que facilita na visualização e compreensão dos elementos principais desta etapa.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ELEMENTOS GERAIS DO SISTEMA WEB

#### 4.1.1 Nome e logo do *software*

Para criar uma identidade profissional, única e facilmente reconhecível, o *software web* desenvolvido neste trabalho foi denominado de Detetive Terra. Tal nomeação correlaciona, de maneira criativa, o aspecto investigativo do sistema com o campo em que as análises são realizadas, neste caso a Mecânica dos Solos. A logo do *software* é ilustrada na Figura 7:

*Figura 7 – Logo do Detetive Terra*



Fonte: Autoria própria.

#### 4.1.2 Menu de Navegação

O sistema *web* desenvolvido, foi subdividido em páginas distintas. Cada página apresenta um ambiente destinado a cálculos e análises de um ensaio de laboratório de Mecânica dos Solos específico. Para a navegação entre as páginas foi criado um menu de navegação, ou *navbar*, que está sempre disponível ao usuário enquanto ele acessa o *software*. Tal menu possibilita o acesso dinâmico aos diferentes ensaios de laboratório e facilita na análise correlacionada entre os diferentes ensaios. Pode-se

tomar como exemplo o ensaio de teor de umidade que é “pré-requisito” para a realização da análise de outros ensaios presentes neste trabalho. O menu de navegação pode ser observado na Figura 8:

**Figura 8 - Menu de Navegação do Software**



Fonte: Autoria própria.

### 4.1.3 Seção de Introdução

Cada página do sistema *web* apresenta uma seção de introdução. Nesta seção, o ensaio de laboratório é apresentado ao usuário de maneira clara e objetiva, expondo as principais características e peculiaridades referentes a tal ensaio. Nesta seção, também é disponibilizada uma imagem lúdica que faz alusão ao tema da página. Na Figura 9, é mostrada uma seção de introdução presente do sistema *web*:

**Figura 9 - Seção de Introdução**



Fonte: Autoria própria.



**Figura 11 - Seção de Método**



Granulometria    Massa Específica    Teor de Umidade    Limites de Atterberg    Compactação de Proctor    Compressão Simples    Sobre

---

## Como realizar o ensaio

### Ensaio Compressão Simples

De acordo com a NBR 12770:2022 os corpos-de-prova devem possuir diâmetro mínimo de 35mm e podem ser preparados a partir de amostras indeformadas, corpos-de-prova remoldados ou compactados. Para início do ensaio, deve-se colocar o corpo de prova no centro do pedestal do equipamento de compressão e zerar o medidor de deslocamento.

Com o corpo-de-prova no equipamento, a NBR 12770:2022 estabelece que o carregamento deve ser aplicado com uma velocidade de deformação axial constante entre 0,5%/min e 2%/min. Deve-se então, anotar os valores da carga, deslocamento e tempo em intervalos adequados. O ensaio deve prosseguir até que os valores de carga diminuam à medida que os deslocamentos aumentem. Após o rompimento, recomenda-se fotografar ou desenhar um esboço do corpo de prova rompido, sinalizando o ângulo da superfície de ruptura.

Fonte: Autoria própria.

#### 4.1.5 Seção de Inserção de Dados

Para dar início ao processo de análise e cálculos referentes aos ensaios de laboratório de Mecânica dos Solos, deve-se coletar os dados obtidos com a realização física do ensaio. Deste modo, foi desenvolvida uma seção específica a fim de que o usuário insira os dados obtidos para que o *software* realize os cálculos e análises. Esta seção apresenta campos de formulário bem divididos e com rótulos claros, para que o usuário insira os dados na unidade de medida correta.

Após a inserção de dados pelo usuário, o botão “ANALISAR” dá prosseguimento ao processo de análise do software. O modelo da seção de inserção de dados pode ser visualizado na Figura 12:

**Figura 12 - Seção de Inserção de Dados**



Vamos lá! Preencha os campos abaixo com os dados obtidos nos ensaios de Determinação da Massa específica dos Grãos de Solo:

**Dados Coletados no Ensaio**

Massa do Solo Úmido (M1) (g) \*

Massa do picnômetro ou balão volumétrico + solo + água, à temperatura T de ensaio (M2) (g) \*

Massa do picnômetro ou balão volumétrico cheio de água até a marca de referência, à temperatura T de ensaio (M3) (g) \*

Umidade inicial da amostra (W) (%) \*

Temperatura de Ensaio (T) (°C) \*

ANALISAR

Fonte: Autoria própria.

Foi desenvolvido também um botão que possibilita ao usuário pular para a seção de inserção de dados instantaneamente e que está sempre disponível na página. Este mecanismo visa promover maior dinâmica na navegação entre as seções e, conseqüentemente, maior dinâmica na utilização do *software* com puro intuito de análise de resultados. O botão em questão pode ser visualizado na Figura 13:

**Figura 13 – Botão “INSERIR DADOS”**



**Massa Específica**

Bem-vindo à seção dedicada ao ensaio de Determinação de Massa Específica em nosso laboratório de mecânica dos solos. Este ensaio desempenha um papel crucial na caracterização das propriedades físicas e geotécnicas do solo, fornecendo informações valiosas para uma variedade de aplicações na engenharia civil e ambiental.

A determinação da massa específica de um solo é um procedimento fundamental que visa quantificar a densidade do material em estudo. Este ensaio fornece dados essenciais para compreender a

INSERIR DADOS

Fonte: Autoria própria.

#### 4.1.6 Seção de Resultados

A seção de resultados é a última seção de cada página do *software*. Ela apresenta os resultados obtidos com a análise dos dados inseridos pelo usuário na seção anterior. Os resultados são mostrados em tela instantaneamente após o “clique” no botão “ANALISAR”, descrito anteriormente. Foi desenvolvido também um *layout* de impressão, que imprime um relatório dos resultados obtidos no formato *Portable Document Format* (PDF). O modelo da seção de resultados pode ser visualizado na Figura 14:

**Figura 14 – Seção de Resultados**



Fonte: Autoria própria.

#### 4.1.7 Interface *mobile*

Com a crescente utilização de *smartphones* e *tablets*, a criação de uma interface *mobile* para um sistema *web* é de fundamental importância. Deste modo, o *software web* foi ajustado para apresentar uma interface *mobile* prática e dinâmica, na qual o usuário pode acessar todos os recursos da versão *desktop* com facilidade. A interface *mobile* do Detetive Terra pode ser visualizada na Figura 15 abaixo:

Figura 15 – Interface mobile do Detetive Terra



Fonte: Autoria própria.

## 4.2 RESULTADOS DE ANÁLISE

### 4.2.1 Ensaio de Granulometria

Para validação e análise dos resultados obtidos com o *software* Detetive Terra (DT) referentes ao Ensaio de Granulometria, foi utilizado um relatório de análise granulométrica realizado por discentes de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá (UEM). Os dados utilizados e resultados obtidos no relatório estão dispostos na Tabela 6. A curva granulométrica construída pelos discentes está disposta no ANEXO A.

**Tabela 6** - Dados e Resultados obtidos no relatório de ensaio de granulometria dos discentes da UEM

<b>DADOS INICIAIS</b>		
<b>Umidade média (%)</b>		1,41
<b>Massa total da amostra seca (g)</b>		986,43
<b>Massa separada para peneiramento fino (g)</b>		120
<b>PENEIRAMENTO GROSSO</b>		
<b>Abertura da Peneira</b>	<b>Massa retida acumulada (g)</b>	<b>Porcentagem Passante (%)</b>
50mm	0	100
38mm	0	100
25mm	0	100
19mm	0	100
9,5mm	0	100
4,8mm	0	100
2,0mm	23,99	97,57
<b>PENEIRAMENTO FINO</b>		
<b>Abertura da Peneira</b>	<b>Massa retida acumulada (g)</b>	<b>Porcentagem Passante (%)</b>
1,2mm	2,44	95,56
0,6mm	10,31	89,07
0,42mm	16,88	83,65
0,25mm	35,44	68,35
0,15mm	65,26	43,76
0,075mm	16,84	29,88

Fonte: YOSHIOKA, et.al (2015).

Utilizando-se dos mesmos dados iniciais no *software web* desenvolvido, foram obtidos os seguintes resultados expostos na Tabela 7. A curva granulométrica, também gerada por meio do Detetive Terra, é ilustrada na Figura 16.

**Tabela 7** – Resultados obtidos por meio do Software Detive Terra para o ensaio de Granulometria.

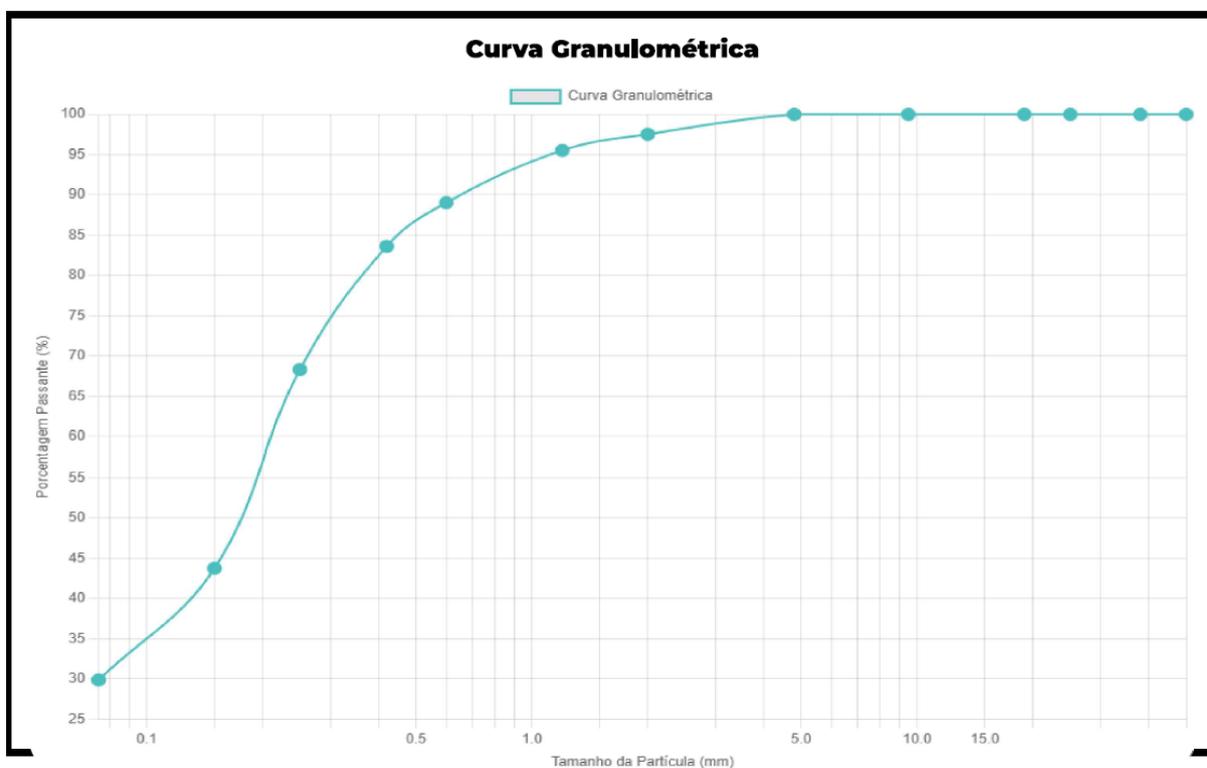
PENEIRAMENTO GROSSO		
Abertura da Peneira	Massa retida acumulada (g)	Porcentagem Passante (%)
50mm	0	100
38mm	0	100
25mm	0	100
19mm	0	100
9,5mm	0	100
4,8mm	0	100
2,0mm	23,99	97,53

PENEIRAMENTO FINO		
Abertura da Peneira	Massa retida acumulada (g)	Porcentagem Passante (%)
1,2mm	2,44	95,52
0,6mm	10,31	89,04
0,42mm	16,88	83,62
0,25mm	35,44	68,32
0,15mm	65,26	43,74
0,075mm	82,1	29,86

Fonte: Autoria Própria.

**Figura 16** - Curva Granulométrica gerada no Software Detive Terra.



Fonte: Autoria Própria.

Analisando os resultados obtidos com a utilização do DT, verifica-se que os valores de porcentagem passante se diferenciam em menos de 0,1% em comparação com o relatório dos discentes da Universidade Estadual de Maringá. Além disso, o comportamento da curva granulométrica é extremamente semelhante em ambos os resultados. A curva granulométrica utilizada para comparação está disponível no ANEXO A. Deste modo, o *software* obteve desempenho satisfatório e se mostrou uma ferramenta útil e confiável na análise e cálculo referente ao Ensaio de Granulometria.

#### 4.2.2 Ensaio de Massa Específica

A fim de atingir a validação e análise dos resultados referentes ao Ensaio de Determinação da Massa Específica dos Grãos de Solo, obtidos com o *software* desenvolvido, foi utilizado um relatório de análise de ensaio realizado por discentes de Engenharia Civil da Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET- MG). Os dados utilizados e resultados obtidos no relatório estão dispostos na Tabela 8 abaixo.

**Tabela 8** - Dados e Resultados obtidos no relatório de Ensaio de Determinação de Massa Específica dos discentes do CEFET - MG

Amostra	M1 (g)	M2 (g)	M3 (g)	w (%)	T (°C)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
1	50	649,5	617,5175	4,734	28,2	3,018
2	50	649,66	617,5175	4,734	27,1	3,05

Fonte: DUTRA, et.al (2015).

Utilizando-se dos mesmos dados iniciais no *software* Detetive Terra, foram obtidos os seguintes resultados expostos na Tabela 9.

**Tabela 9** – Resultados obtidos por meio do *software* Detetive Terra para o ensaio de Determinação de Massa Específica do Solo

Amostra	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
1	3,017
2	3,05

Fonte: Autoria própria

Comparando os resultados expostos nas Tabelas 8 e 9, verifica-se que para a Amostra 1 houve diferença de apenas 0,001 enquanto para a Amostra 2 o resultado obtido via *software* foi idêntico ao resultado obtido no trabalho acadêmico dos discentes do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Deste modo, o Detetive Terra se mostra efetivo e confiável na realização do cálculo referente ao Ensaio de Determinação da Massa Específica dos Grãos do Solo.

#### 4.2.3 Ensaio de Determinação do Teor de Umidade

Para testar a validade e eficiência do *software* no cálculo do Ensaio de Determinação do Teor de Umidade, o qual é fundamental na realização de outros ensaios, foi realizada uma comparação entre os resultados obtidos por discentes de engenharia civil da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e os resultados obtidos por meio do *software* desenvolvido neste trabalho, o Detetive Terra (DT). Os dados coletados e os resultados obtidos para teores de umidade pelos discentes da UFCG estão dispostos na Tabela 10 abaixo:

**Tabela 10** - Dados e Resultados obtidos no relatório de Determinação do Teor de Umidade dos discentes da UFCG

Cápsula	M1 (g)	M2 (g)	M3(g)	Teor de Umidade (%)
1	60,67	56,4	20,83	12
2	57,12	53	19,07	12,14
3	72,62	70,93	19,66	3,29
4	61,63	60,44	20,99	3,02

Fonte: NETO, et.al (2013)

Foram utilizados os mesmos dados referentes as massas (M1, M2 e M3) no Detetive Terra, e os resultados estão expostos na Tabela 11:

**Tabela 11** - Resultados obtidos por meio do software *Detetive Terra* para o ensaio de Determinação do Teor de Umidade

Cápsula	Teor de Umidade (%)
1	12
2	12,14
3	3,29
4	3,02

Fonte: Autoria própria.

Ao realizar a comparação dos resultados obtidos para os valores de teor de umidade, analisando as tabelas 10 e 11, verifica-se que os resultados obtidos por meio da utilização do *software* desenvolvido foram idênticos aos resultados descritos no relatório dos discentes da UFCG, ao utilizar os mesmos dados de entrada. Deste modo, confirma-se a eficiência e a aplicabilidade do *software web* no cálculo para determinação do teor de umidade de determinado solo.

#### 4.2.4 Ensaio de Limites de Atterberg

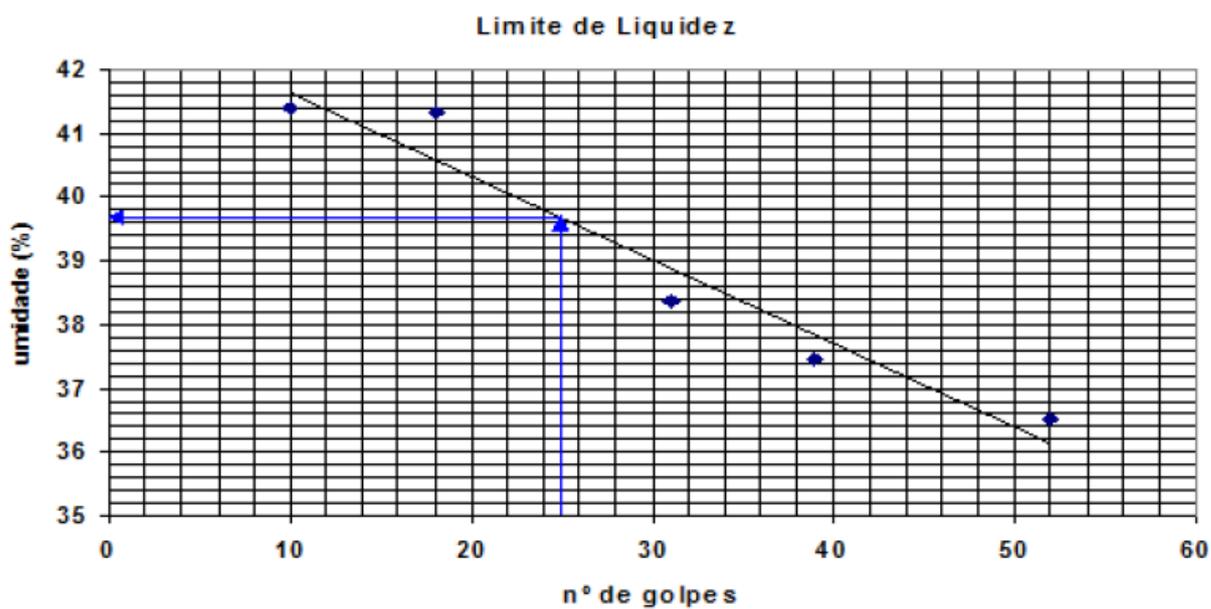
Para realizar o teste da validação do *software* *Detetive Terra* com relação aos ensaios de Limites de Atterberg (Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade), foram utilizados como comparação os resultados obtidos pelo Laboratório de Engenharia de Pavimentos da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Os resultados são referentes à determinação do Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e Índice de Plasticidade (IP) de uma determinada amostra de solo. Os dados utilizados pelo laboratório e os resultados obtidos são ilustrados na Tabela 12, Tabela 13 e Figura 17.

**Tabela 12** – Dados coletados pelo laboratório da UFCG para determinação do Limite de Liquidez (LL)

Cápsula	Nº de Golpes	Teor de Umidade (%)
1	10	41,39
2	18	41,33
3	31	38,35
4	39	37,45
5	52	36,53

Fonte: UFCG, 2022.

**Figura 17** - Resultado gráfico obtido pelo laboratório da UFCG para o Limite de Liquidez da amostra



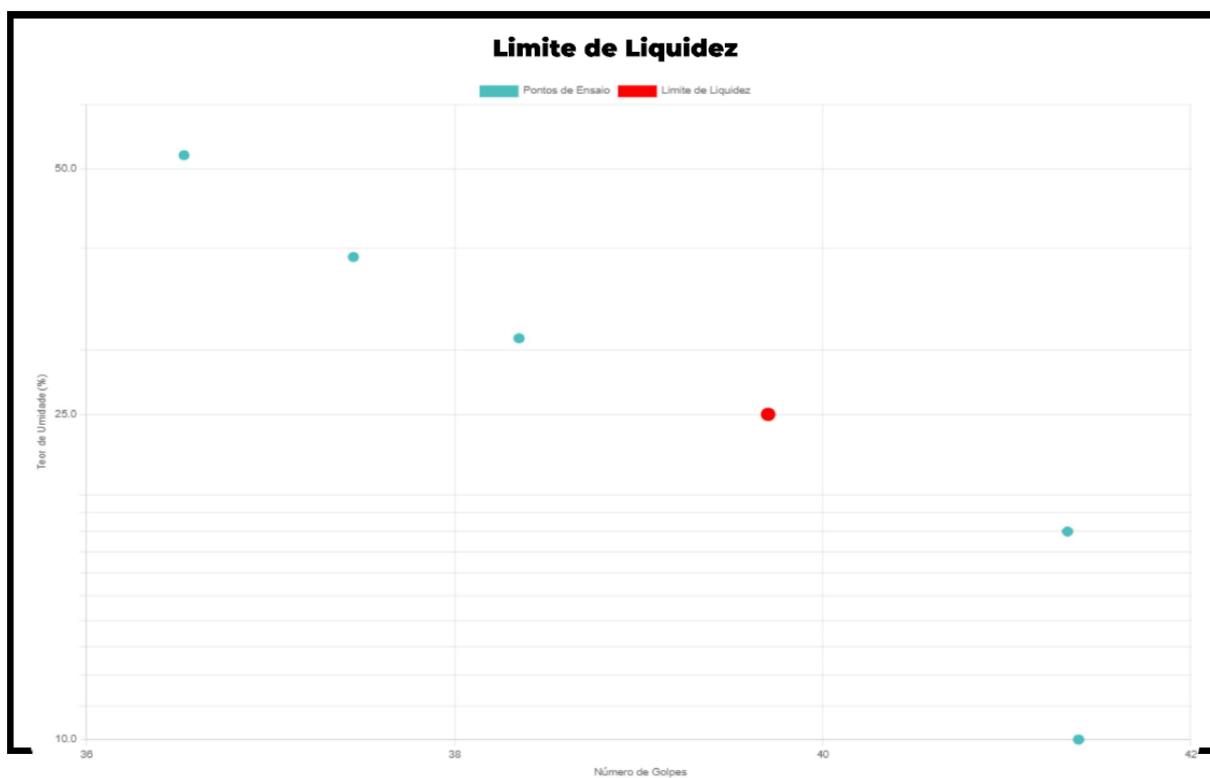
**Tabela 13** – Dados coletados e Resultados obtidos pelo laboratório da UFCG para determinação do Limite de Plasticidade (LP)

Cápsula	Teor de Umidade (%)
1	24,14
2	24,72
3	24,84
4	23,78
5	23,7
6	26,25
<b>Limite de Plasticidade</b>	<b>24,57%</b>
<b>Índice de Plasticidade (IP)</b>	<b>15,03%</b>

Fonte: UFCG, 2022.

Foram utilizados os mesmos dados coletados pelo laboratório da UFCG no software Detetive Terra, desenvolvido neste trabalho. Os resultados obtidos estão expostos na Figura 18 e na Tabela 14:

**Figura 18** - Gráfico gerado pelo software Detetive Terra para o Limite de Liquidez (LL)



Fonte: Autoria Própria.

**Tabela 14** - Resultados obtidos por meio do software *Detetive Terra* para o ensaio de Limites de Atterberg

<b>Limite de Liquidez (LL)</b>	39,70%	
<b>Limite de Plasticidade (LP)</b>	24,57%	
<b>Índice de Plasticidade (IP)</b>	15,13%	Solo de plasticidade média.

Fonte: Autoria própria.

Por meio da análise dos resultados obtidos pelo laboratório da UFCG em comparação com os resultados obtidos via utilização do *software*, verifica-se que os valores se aproximam de maneira satisfatória. Pela análise do gráfico disponibilizado pela UFCG, ilustrado na Figura 15, nota-se que o valor do Limite de Liquidez está compreendido entre 39,6% e 39,8%, enquanto que o resultado obtido por meio do *Detetive Terra* possui valor de 39,7% e, portanto, o valor está compreendido dentro do intervalo esperado.

Os resultados para o Limite de Plasticidade (LP) apresentaram equivalência ao se realizar a comparação. Já o valor do Índice de Plasticidade (IP) obtido via *software* difere em apenas 0,1% do valor obtido pelo laboratório, sendo assim um resultado extremamente satisfatório. Além disso, o *software* fornece informação adicional referente a plasticidade do solo, indicando que a amostra possui plasticidade média, conforme a literatura.

#### 4.2.5 Ensaio de Compactação de Proctor

A fim de determinar a validade e eficácia do *software* *Detetive Terra* no cálculo e análise referente ao Ensaio de Compactação de Proctor, foi utilizado como fonte de comparação um relatório de ensaio realizado em laboratório por discentes de Engenharia Civil da Universidade do Vale do Taquari (UNITAVES). Os dados utilizados e os resultados obtidos pelos discentes estão dispostos na Tabela 15, Tabela 16 e Figura 19.

**Tabela 15** - Dados utilizados no relatório de Determinação do Teor de Umidade dos discentes da UNITAVES.

Ponto de Ensaio	Massa do Solo Úmido Compactado (g)	Teor de Umidade (%)
1	1519,9	20,9
2	1602,2	26,53
3	1770,9	31,64
4	1812,5	36,82
5	1738,51	42,64
<b>Volume do molde cilíndrico (cm<sup>3</sup>)</b>		999,81 cm <sup>3</sup>

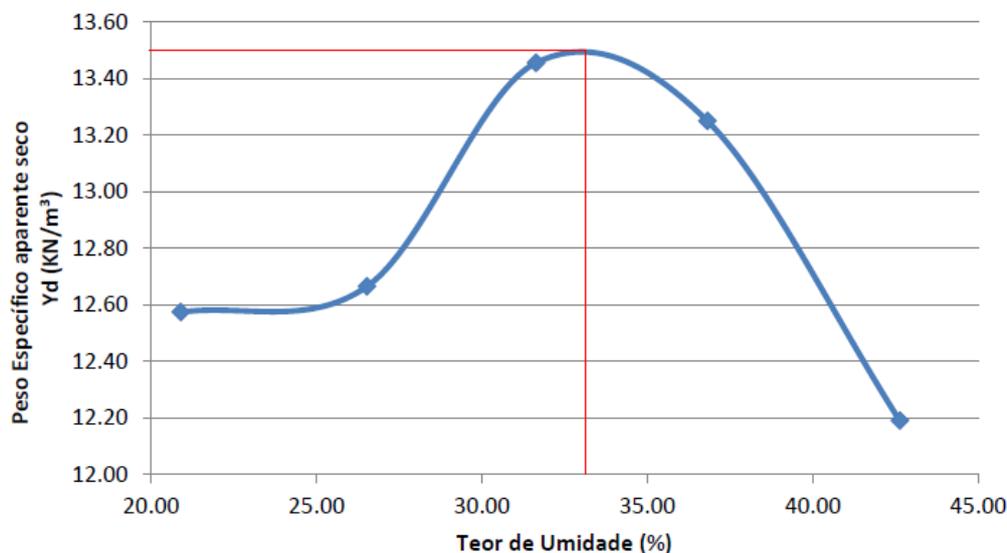
Fonte: FORNARI e KICH, 2017.

**Tabela 16** – Resultados obtidos no relatório de Determinação do Teor de Umidade dos discentes da UNITAVES.

Ponto de Ensaio	Massa específica aparente seca (g/cm <sup>3</sup> )	Umidade Ótima	Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )
1	1,26		
2	1,27		
3	1,35	33%	1,35
4	1,33		
5	1,22		

Fonte: FORNARI e KICH, 2017.

**Figura 19** - Gráfico do Peso Específico Aparente Seco em função do Teor de Umidade disponibilizado pelos discentes da UNITAVES



Fonte: FORNARI e KICH, 2017.

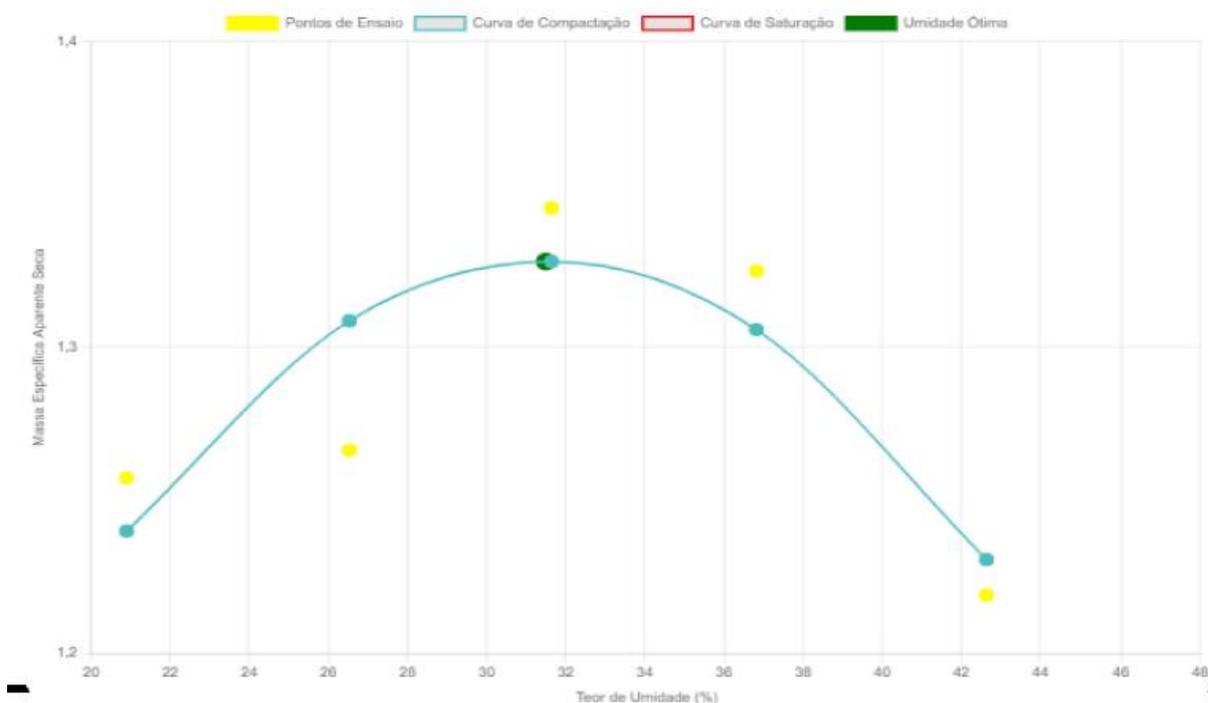
Para efetivar a validação do *software* desenvolvido, foram utilizados os mesmos dados coletados pelos discentes da UNITAVES no Detetive Terra. Os resultados obtidos via utilização do *software* desenvolvido estão expostos na Tabela 17 e Figura 20:

**Tabela 17** – Resultados obtidos por meio do *software* Detetive Terra para o ensaio de Compactação de Proctor.

Ponto de Ensaio	Massa específica aparente seca (g/cm³)	Umidade Ótima	Massa específica aparente seca máxima (g/cm³)
1	1,26		
2	1,27		
3	1,35	31,5%	1,33
4	1,32		
5	1,22		

Fonte: Autoria própria.

**Figura 20** - Gráfico da Massa Específica Aparente Seca em função do Teor de Umidade gerado pelo Detetive Terra



Realizando a comparação, verifica-se que os valores obtidos via utilização do *software* desenvolvido neste trabalho se aproximam satisfatoriamente dos resultados descritos no relatório dos discentes da UNITAVES. O teor de Umidade Ótima diferiu em apenas 1,5%, enquanto o valor referente a Massa Específica Aparente Seca Máxima apresentou variação de apenas 0,02 g/cm<sup>3</sup>. Por se tratar de resultados obtidos graficamente via linhas de tendência, tais variações são justificadas por eventuais variações no método utilizado para as aproximações. Deste modo, conclui-se que o *software* Detetive Terra apresentou desempenho e eficácia satisfatórios no cálculo do ensaio de Compactação de Proctor.

#### 4.2.6 Ensaio de Compressão Simples

Para validação do *software* Detetive Terra no ensaio de Compressão Simples, foi utilizado como comparação um exemplo de ensaio disposto na norma técnica DNER-IE 004/94 disponibilizada pelo Departamento Nacional de Estradas e Rodagem. O relatório de ensaio está disposto no Anexo B. Realizando a conversão

de algumas unidades de medidas, os dados utilizados e resultados dispostos pela norma técnica estão dispostos na Tabela 18:

**Tabela 18** – Dados e resultados obtidos para o ensaio de Compressão Simples pela norma técnica DNER – IE 004/94.

<b>Altura inicial do corpo de prova (mm)</b>	100
<b>Altura final do corpo de prova (mm)</b>	95,936
<b>Área da seção transversal média inicial (m<sup>2</sup>)</b>	0,001964
<b>Área da seção transversal média (m<sup>2</sup>)</b>	<b>0,002047</b>
<b>Carga Aplicada no Instante do Rompimento (kN)</b>	0,028
<b>Deformação axial específica (%)</b>	<b>4,06</b>
<b>Resistência à compressão não confinada (MPa)</b>	<b>0,013678</b>

Fonte: DNER, 1994.

A partir dos mesmos dados utilizados pelo DNER, foi realizado o teste do *software* desenvolvido neste trabalho. Os resultados obtidos via utilização do Detetive Terra estão dispostos na Tabela 19:

**Tabela 19** – Resultados obtidos por meio do *software* Detetive Terra para o ensaio de Compressão Simples

<b>Área da seção transversal média (m<sup>2</sup>)</b>	<b>0,002047</b>
<b>Deformação axial específica (%)</b>	<b>4,06</b>
<b>Resistência à compressão não confinada (MPa)</b>	<b>0,013678</b>
<b>Resistência ao cisalhamento (Mpa)</b>	<b>0,006839</b>

Fonte: Autoria própria.

Por meio da comparação entre os resultados dispostos nas tabelas 18 e 19, verifica-se que os valores obtidos via utilização do *software* Detetive Terra foram idênticos aos resultados dispostos pelo DNER. Desta maneira, comprova-se a eficiência e a eficácia do *software* desenvolvido nos cálculos referentes ao ensaio de Compressão Simples.

## 5 CONCLUSÃO

Por meio dos resultados obtidos com o *software* desenvolvido neste trabalho, denominado Detetive Terra, através do comparativo com outros trabalhos e relatórios de ensaio, verificou-se que o *software* apresentou desempenho satisfatório na análise e cálculo dos ensaios de laboratório de Mecânica dos Solos selecionados. Deste modo, o objetivo principal foi atingido ao conseguir desenvolver uma ferramenta capaz de auxiliar na análise de importantes ensaios de laboratório do âmbito da Engenharia Civil.

O desempenho do *software* foi avaliado por meio da comparação com resultados já obtidos em diversos relatórios existentes. Esse processo de comparação proporcionou uma avaliação abrangente e fundamentada do desempenho do *software web* em relação aos padrões estabelecidos. Os resultados obtidos via utilização do Detetive Terra apresentaram constantemente igualdade com os valores esperados e as variações apresentadas foram em escala mínima e quase sempre justificadas por questões de arredondamento. Deste modo, conclui-se que o *software web* desenvolvido neste trabalho apresenta desempenho extremamente satisfatório em seu objetivo principal.

O Detetive Terra apresentou uma interface dinâmica e informativa, que auxilia o usuário tanto na realização do ensaio “in-loco”, apresentando as instruções e aparelhagem necessária normatizadas pela ABNT, quanto no gerenciamento dos dados e a inserção destes no *software*. A implementação de uma interface *mobile* se mostrou satisfatória, gerando um ambiente acessível e dinâmico mesmo na tela de um celular. Além disso, o Detetive Terra é capaz de imprimir um relatório gerando facilidade e agilidade na exportação dos resultados obtidos. Logo, o *software* desenvolvido demonstra ser uma ferramenta capaz de auxiliar o usuário na realização, cálculo e análise dos ensaios selecionados de laboratório de Mecânica dos Solos.

Contudo, é evidente que o *software* apresenta espaço para diversos refinamentos, melhorias e inserções. Tais aprimoramentos são essenciais para tornar o Detetive Terra mais interativo, confiável e abrangente, proporcionando ao usuário uma experiência mais completa e eficiente.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante o desenvolvimento deste trabalho, verificou-se uma vasta gama de extensões que poderiam ser abordadas e construídas. Como sugestão de trabalhos futuros, recomenda-se a implementação de outros importantes ensaios de laboratório de Mecânica dos Solos, tais como o ensaio de permeabilidade e o ensaio de adensamento, visando uma abrangência maior de utilização na análise dos solos. No contexto da programação, recomenda-se a implementação de um banco de dados, capaz de salvar resultados de ensaio na nuvem e armazenar diversas informações pré-estabelecidas referentes a características de diversos tipos de solo.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Gil Carvalho Paulo de. **Caracterização Física e Classificação dos Solos**. 1. ed. Juíz de Fora: UFJF, 2005. 145 p. v. 1. Disponível em: <https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/solos/livros/CARACTERIZACAO%20FISICA%20E%20CLASSIFICACAO%20DOS%20SOLOS.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502: Rochas e Solos**. Rio de Janeiro, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180: Solo - Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: Solo -Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182: Solo -Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12770: Solo coesivo – Determinação da resistência à compressão não confinada**. Rio de Janeiro, 2022.
- CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e suas aplicações: Fundamentos**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1988. 234 p. Disponível em: <https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/05/mecanica-solos-fundamentos-vol1-6ed-caputo.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2024.
- DAS, Braja M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. 6.ed. São Paulo: Cengage Learning, 2007. 561 p. ISBN 8522105480.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNER - IE 004/94: **Solos coesivos - Determinação da compressão simples de amostras inderformadas**. Brasília, 1994.

DUTRA, João Paulo Cardoso; SAÚDE, Marcus Paulo Alves; GUSTAVO, Luiz; ROCHA, Marina. **Relatório Nº 01**: Determinação da massa específica dos grãos. 2015. 16 p. Relatório de Ensaio (Engenharia Civil) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, [S. l.], 2015. Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/centro-federal-de-educacao-tecnologica-de-minas-gerais/mecanica-dos-solos/relatorio-determinacao-da-massa-especifica-dos-graos/7668426>. Acesso em: 16 fev. 2024.

EIS, Diego; FERREIRA, Elcio. **HTML5 e CSS3 com farinha e pimenta**. 1. ed. [S. l.]: Tableless, 2012. 2019 p. v. 1. Disponível em: <https://www.cin.ufpe.br/~dfop/Arquivos/Pacote%20Web/HTML5%20e%20CSS3%20com%20Farinha%20e%20Pimenta%20Diego%20Eis%20e%20Elcio%20Ferreira.pdf>. Acesso em: 6 fev. 2024.

FLANAGAN, David; TORTELLO, João Eduardo Nóbrega. **JavaScript: o guia definitivo**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. xviii, 1062 p. ISBN 9788565837194.

FORNARI, Lorenzo; KICH, Vinícius Wathier. **Relatório de aula prática de laboratório ensaio de compactação de solo – Proctor normal**. 2017. Relatório de Ensaio (Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2017. Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/universidade-do-vale-do-taquari/mecanica-dos-solos-i/ensaio-de-compactacao-de-solo-proctor-normal/8909069>. Acesso em: 20 fev. 2024.

JÚNIOR, Joaquim Celestino; PATRICIO, Robério Gomes. **Desenvolvimento para Web**. 2. ed. Fortaleza: EdUECE, 2015. 68 p. v. 1. Disponível em: [https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/432205/2/Livro\\_Desenvolvimento%20para%20Web.pdf](https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/432205/2/Livro_Desenvolvimento%20para%20Web.pdf). Acesso em: 29 jan. 2024.

MASSAD, F. **Mecânica dos solos experimental**. [s.l.] Oficina de Textos, 2016.

NETO, André Queiroga; ALMEIDA, Bernardo Augusto; NETO, João Saraiva Coelho; SANTOS, Júlio Câmara dos. **Teor de Umidade**. 2013. Relatório de Ensaio (Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013. Disponível em: [https://www.academia.edu/16480119/2\\_Relat%C3%B3rio\\_Teor\\_de\\_Umidade](https://www.academia.edu/16480119/2_Relat%C3%B3rio_Teor_de_Umidade). Acesso em: 16 fev. 2024.

NOGUEIRA, João Baptista. **Mecânica dos Solos: Ensaios de Laboratório**. São Carlos: EESC-USP, 2005. 248 p. Disponível em: <http://repositorio.eesc.usp.br/handle/RIEESC/6042>. Acesso em: 16 jan. 2024.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso básico de mecânica dos solos: com exercícios resolvidos: em 16 aulas**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 367 p. ISBN 9788586238512.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de software**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011. Disponível em: <https://www.facom.ufu.br/~william/Disciplinas%202018-2/BSI-GSI030-EngenhariaSoftware/Livro/engenhariaSoftwareSommerville.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2024.

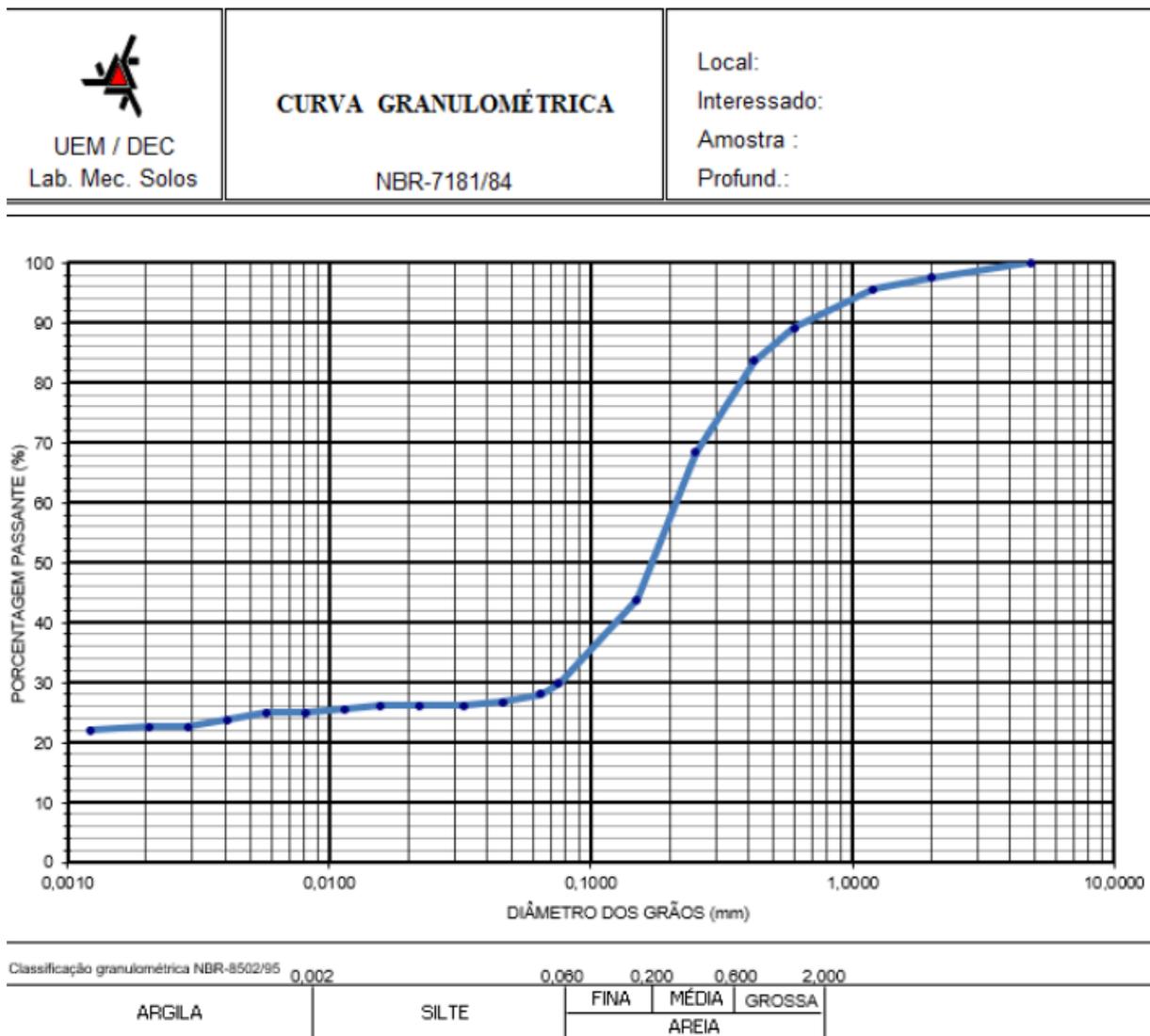
TESTONI, Samara Alves. **Gênese e Morfologia do Solo**. 1. ed. Indaial: UNIASSELVI, 2022. 155 p. v. 1. ISBN 978-65-5466-116-4. Disponível em: <https://www.uniasselvi.com.br/extranet/layout/request/trilha/materiais/livro/livro.php?codigo=325345>. Acesso em: 31 jan. 2024.

UFCG. Laboratório de Engenharia de Pavimentos. **Relatório**: Limite de Liquidez e Plasticidade. 2022. Relatório de Ensaio (Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campina Grande, [S. I.], 2022. Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/universidade-federal-de-campina-grande/pavimentacao/relatorio-modelo-simplificado/28184804>. Acesso em: 17 fev. 2024.

YOSHIOKA, Bruno Augusto; HATOUM, Kalil Saleh; PAVÃO, Roberta de Oliveira. **Relatório Nº 04**: Análise Granulométrica do Solo. 2015. 16 p. Relatório de Ensaio (Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Maringá, [S. I.], 2015. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/378498742/Relatorio-4-Granulometria>. Acesso em: 15 fev. 2024.

## ANEXO A: Curva granulométrica para comparação para o ensaio de granulometria

Figura 21 - Curva granulométrica gerada pelos discentes da Universidade Estadual de Maringá



Fonte: YOSHIOKA, et.al (2015).<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/378498742/Relatorio-4-Granulometria>. Acesso em: 15 fev. 2024.

## ANEXO B: Relatório de Ensaio de Compressão simples para comparação

Figura 22 - Relatório de Ensaio de Compressão Simples disponibilizado pelo DNER

DNER - IE 004/94									
ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES									
P. 11 / 11									
LOCAL: BANHADO DO RIO CUBÍCULO-SANTA CATARINA					REGISTRO: 11.127				
SONDAGEM: 4					AMOSTRA: 14				
INTERESSADO: 16º D.R.F.					PROFUNDIDADE: 7,00 - 7,50 m				
PESO DO CORPO-DE-PROVA (g): 278					ÁREA DO CORPO-DE-PROVA (cm <sup>2</sup> ): 19,64				
DIÂMETRO DO CORPO-DE-PROVA (cm): 5					VOLUME DO CORPO-DE-PROVA (cm <sup>3</sup> ): 196,4				
ALTURA DO CORPO-DE-PROVA (cm): 10					MASSA ESP. APARENTE DO SOLO (g/cm <sup>3</sup> ): 1,415				
DESCRIÇÃO DA AMOSTRA: ARGILA COM DETRITOS ORGÂNICOS, MOLE, CINZA ESCURA									
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE								CROQUIS:	
CÁPSULA Nº			40	5	39				
AMOSTRA ÚMIDA + TARA (g)			75,40	105,80	109,05				
AMOSTRA SECA + TARA (g)			57,60	71,38	72,40				
PESO DA TARA (g)			41,08	38,92	38,23				
PESO DA ÁGUA (g)			17,80	34,42	36,65				
PESO DO SOLO SECO(g)			16,52	32,46	34,17				
UMIDADE (%)			107,75	106,04	107,25				
UMIDADE MÉDIA (%): 107,01								OBS.:	
TEMPO DE ENSAIO	LEITURA DA DEFORMAÇÃO VERTICAL		LEITURA DA CARGA		DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA			ÁREA CORRIGIDA	PRESSÃO
	MINUTOS	POL x 10 <sup>-3</sup>	mm	POL x 10 <sup>-4</sup>	g	ε	ε%		
0,5	20	0,508	3	450	0,00508	0,51	0,99492	19,74	22,80
1	40	1,016	6	900	0,01016	1,02	0,98984	19,84	45,36
1,5	60	1,524	9	1350	0,01524	1,52	0,98476	19,94	67,70
2	80	2,032	13	1900	0,02032	2,03	0,97968	20,05	94,76
2,5	100	2,540	15	2200	0,02540	2,54	0,97460	20,15	109,18
3	120	3,048	17	2500	0,03048	3,05	0,96952	20,26	123,40
3,5	140	3,556	18	2650	0,03566	3,56	0,96434	20,37	130,09
4	160	4,064	19	2800	0,04064	4,06	0,95936	20,47	136,78
4,5	180	4,572	19	2800	0,04572	4,57	0,95428	20,58	136,05
5	200	5,080	19	2800	0,05080	5,08	0,94920	20,69	135,33
OBS.: ENSAIO DE DEFORMAÇÃO CONTROLADA									
OPERADOR: _____ VISTO: _____ DATA: _____									
FIGURA 4 - FOLHA DE ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES									

Fonte: DNER, 1994.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/instrucao-de-ensaio-ie/dner\\_ie\\_004\\_94.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/instrucao-de-ensaio-ie/dner_ie_004_94.pdf). Acesso em: 15 fev. 2024.