



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

MATHEUS DA SILVA DAVI

**COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE OBTENÇÃO DE UMIDADE DO SOLO DE
ANGICOS/RN**

ANGICOS/RN

2022

MATHEUS DA SILVA DAVI

**COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE OBTENÇÃO DE UMIDADE DO SOLO DE
ANGICOS/RN**

Trabalho Final de Graduação apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Arthur Gomes Dantas
de Araújo

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

D249c Davi, Matheus da Silva.

Comparação de métodos de obtenção de umidade do solo de Angicos/RN / Matheus da Silva Davi. - 2022.

36 f. : il.

Orientador: Arthur Gomes Dantas de Araújo.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil, 2022.

1. Umidade do solo. 2. Micro-ondas. 3. Estufa.
4. Speedy test. 5. Frigideira. I. Araújo, Arthur Gomes Dantas de, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Angicos

Bibliotecário: Helder Romero Maia Duarte

CRB: 15/673

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE OBTENÇÃO DE UMIDADE DO SOLO DE ANGICOS/RN

Trabalho Final de Graduação apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Defendida em: 23/11/2022

BANCA EXAMINADORA

Arthur Gomes Dantas de Araújo, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Kleber Cavalcanti Cabral, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Wendell Rossine Medeiros de Souza, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Toda honra seja dada a Deus. Agradeço a Deus por tudo quanto Ele vem fazendo em minha vida, por sempre estar comigo e principalmente nas horas que pensei que não iria conseguir. Sempre que clamei a Deus, Ele vinha em meu socorro me acalmando para que eu pudesse concluir o curso. Gosto de citar Josué 1:9 que diz: Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso. Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar. Aos meus familiares, em especial meus pais e irmãs que sempre me apoiaram em minhas decisões.

Ao meu orientador Dr. Arthur Gomes Dantas de Araújo que com sua atenção e dedicação, esteve sempre disposto a ajudar em todo o desenvolvimento do trabalho. A empresa Medeiros Galvão Soluções, a qual me proporcionou trabalhar home office em determinados momentos do curso para que eu pudesse frequentar as aulas presenciais. Aos meus amigos, por toda ajuda durante o curso em especial, não irei citar nomes porque são muitos, mas que Deus vos abençoe grandemente. Agradeço a UFERSA e em especial ao pessoal do PROAE, pois sem o auxílio deles reconheço que não teria chegado até aqui.

A todos os professores que passei e contribuíram para minha formação, agradeço a cada um e lembrarei de todos. A minha noiva pelo incentivo, ao amigo Marcus Vinícius pela ajuda no laboratório e o monitor do laboratório que me ajudou com os ensaios.

RESUMO

O conhecimento das características do solo é um fator relevante para a área de construção civil, quando se trata de execução de obras. O primeiro passo é investigar o solo para obter suas informações e características. Uma das propriedades mais importantes para quem trabalha com geotecnia, é o teor de umidade do solo. O objetivo deste trabalho é realizar uma análise tátil visual em seis amostras de solo coletadas no Município de Angicos/RN. Posteriormente, foi determinado a umidade das amostras pelos métodos da estufa, frigideira, Speedy Test e micro-ondas. Os resultados entre os métodos foram similares, com exceção do ensaio Speedy Test. O método do micro-ondas mostrou-se uma ótima alternativa para obtenção da umidade do solo, pois é prático, rápido e o resultado é bem semelhante ao do método da estufa.

Palavras-chave: umidade do solo; micro-ondas; estufa; speedy test; frigideira.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Estados de consistência	4
Figura 02 – Tabela 1A.....	6
Figura 03 – Estufa.....	7
Figura 04 – Speedy test.....	9
Figura 05 – Frigideira.....	10
Figura 06 – Micro-ondas.....	12
Figura 07 – Pontos das amostras.....	14
Figura 08 – Peneira 4,75mm.....	15
Figura 09 – Amostras de solo.....	15
Figura 10 – Método para classificar o solo.....	16
Figura 11 – Balança com solo seco	17
Figura 12 – Solo homogeneizado.....	17
Figura 13 – Cápsula de solo	18
Figura 14 - Estufa	18
Figura 15 - Balança	19
Figura 16 – Speedy test	20
Figura 17 - Frigideira	21
Figura 18 – Micro-ondas	22
Figura 19 – Ensaio pausado para homogeneização	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Classificação dos solos.....	24
Tabela 02 – Resultados das areias fina/média pouco siltosa.....	25
Tabela 03 – Resultados das areias fina/média siltosa.....	25
Tabela 04 – Resultados das areias fina/média muito siltosa.....	25
Tabela 05 – Resultados das areias fina/média argilosa.....	26
Tabela 06 – Resultados das areias fina/média pouco siltosa.....	26
Tabela 07 – Resultados das areias fina/média siltosa.....	26
Tabela 08 – Resultados das areias fina/média muito siltosa.....	27
Tabela 09 – Resultados das areias fina/média argilosa.....	27
Tabela 10 – Resultados das areias fina/média pouco siltosa.....	27
Tabela 11 – Resultados das areias fina/média siltosa.....	28
Tabela 12 – Resultados das areias fina/média muito siltosa.....	28
Tabela 13 – Resultados das areias fina/média argilosa.....	28
Tabela 14 – Resultados das areias fina/média pouco siltosa.....	29
Tabela 15 – Resultados das areias fina/média siltosa.....	29
Tabela 16 – Resultados das areias fina/média muito siltosa.....	29
Tabela 17 – Resultados das areias fina/média argilosa.....	30
Tabela 18 – Teor de umidade entre os métodos.....	30

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Comparação dos resultados entre os ensaios areia fina/média pouco siltosa.....	31
Gráfico 02 – Comparação dos resultados entre os ensaios areia fina/média siltosa.....	31
Gráfico 03 – Comparação dos resultados entre os ensaios areia fina/média muito siltosa.....	32
Gráfico 04 – Comparação dos resultados entre os ensaios areia fina/média argilosa.....	33
Gráfico 05 – Comparação estufa vs micro-ondas.....	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

NBR – Norma Brasileira

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos.....	2
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Teor de umidade no solo.....	3
2.2 Análise Táctil e visual.....	4
2.3 Ensaio da Estufa.....	5
2.4 Ensaio Speedy Test.....	8
2.5 Ensaio da Frigideira.....	10
2.6 Ensaio Micro-ondas.....	11
3METODOLOGIA.....	14
3.1 Local de coleta das amostra de solo.....	14
3.2 Análise Táctil e visual.....	15
3.3 Preparação das amostras de solo.....	16
3.4 Ensaio método da Estufa.....	17
3.5 Ensaio método Speedy Test.....	19
3.6 Ensaio método Frigideira.....	20
3.7 Ensaio método micro-ondas.....	22
4 RESULTADOS.....	24
4.1 Análise táctil e visual.....	24
4.2 Ensaio da Estufa.....	24
4.2 Ensaio Speedy Test.....	26
4.3 Ensaio da Frigideira.....	27
4.4 Ensaio Micro-ondas.....	28
4.5 Resultados e comparações dos métodos.....	30
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

Na construção civil, quando se trata da execução de obras, o primeiro passo é investigar o solo para obter suas informações de propriedades e características. Uma das propriedades mais importantes para quem trabalha com geotecnia, é o teor de umidade do solo. Segundo Caputo (2017), determina-se umidade de um solo como a razão entre a massa da água contida em uma amostra de volume conhecido de solo e a massa da parte sólida existente dessa mesma amostra.

Outra característica relevante é o tipo do solo, é preciso classificar se a amostra é areia fina, média ou grossa, ou se apresenta maior quantidade de finos, sejam eles silte ou argila em sua composição. Ranzan e Zuffo (2014) definem que o conhecimento das propriedades do subsolo, é um fator extremamente necessário para o desenvolvimento de projetos seguros e econômicos. Uma das formas de classificar o material é por meio da análise tátil e visual, normatizado pela NBR 7250 (ABNT,1982).

A partir da umidade é possível determinar os limites de Atterberg, limites de Contração, limite de Plasticidade e limite de Liquidez. Para os solos, os limites definem o seu comportamento seguindo a ordem de mudança, sólido, plástico e líquido, quanto menor seu teor de água mais sólido é o material. Nas obras de pavimentação, é comum utilizar o processo de compactação, mas para que esse processo seja realizado da maneira correta é necessário conhecer a umidade ótima daquele solo. Segundo Pinto (2006), para umidades mais elevadas, a compactação é maior, haja vista que a água atua como um lubrificante entre as partículas que deslizam entre si. Áreas mal compactadas geram patologias como fissuras, afundamento plástico e consequentemente perda na sua resistência.

Nos materiais do tipo agregado, em especial o agregado miúdo, é indispensável não conhecer a percentagem de água contida no material. No traço do concreto é definido o quantitativo de agregado, aglomerante e água que devem ser utilizados na preparação de uma determinada argamassa ou concreto. Quando o volume de água presente no agregado não é considerado, corre-se o risco de dosar a argamassas ou concretos de com excesso de água, com isso podem surgir inúmeras patologias como exsudação, perda de resistência, aumento da porosidade e rachaduras (NASCIMENTO, 2022).

Para a determinar o teor de umidade existem diversos métodos. Dentre os meios existentes, o resultado do método da estufa é adotado como referência para as outras metodologias, o mesmo

é normatizado pela NBR 6457 (ABNT, 2016). Sabendo da importância de conhecer o teor de umidade do solo, o presente trabalho adotou quatro métodos para obtenção do mesmo, os resultados foram comparados entre si. Os ensaios escolhidos foram os métodos da Estufa, Speedy test, Frigideira e Micro-ondas.

Este trabalho buscou comparar e analisar a eficácia dos métodos conhecidos para determinar o teor de umidade, considerando seis amostras de diferentes solos coletadas na cidade de Angicos/RN, próximo a universidade Federal Rural do Semi-Árido.

1.1 Objetivos

Os objetivos listados a seguir, referem-se ao propósito que esta pesquisa busca atingir ao seu final.

1.1.1 Objetivo Geral

- Estudar e comparar os resultados de diferentes ensaios para determinação do teor de umidade em amostras de solo

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar a análise tátil visual de seis amostras de solo;
- Obter o teor de umidade do solo com o ensaio da Estufa;
- Obter o teor de umidade do solo com o ensaio Speedy test;
- Obter o teor de umidade do solo com o ensaio do Frigideira;
- Obter o teor de umidade do solo com o ensaio do Micro-ondas;
- Comparar os resultados dos ensaios realizados;

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é apresentado a importância de conhecer o teor de umidade das amostras de solo. Conhecendo a umidade do solo é possível empregá-lo da maneira devida ou definir o tratamento correto para utilizar na construção civil. Para determinar o teor de umidade existem diversos meios, neste capítulo serão abordados quatro métodos em específico.

2.1 Teor de umidade no solo

De acordo com Caputo (2022), a umidade de um solo é definida como a razão entre a massa da água contida em certo volume de solo e a massa da parte sólida existente nesse mesmo volume, é expressa em porcentagem na Equação 1:

$$w = \frac{M_w}{M_s} \times 100[\%] \quad (1)$$

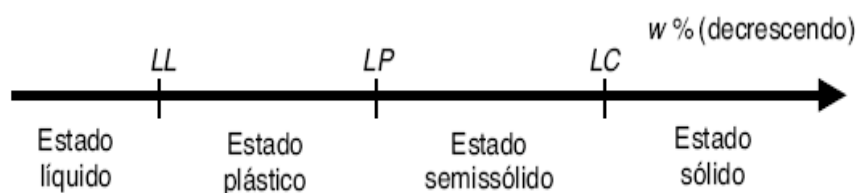
W = Teor de umidade (%)

M_w = Massa de água

M_s = Massa de solo seco

Um solo com sua umidade muito elevada, ele se apresenta como um fluido denso e se diz no estado líquido. Segundo Caputo (2022), à medida que evapora a água, ele se endurece e para certa umidade, perde sua capacidade de fluir, mas pode ser moldado facilmente e conservar sua forma (estado plástico). Se o solo continuar a perder de umidade, o mesmo passa para o estado semissólido, o último estágio é o estado sólido, ocorre gradualmente com a perda de umidade no estado semissólido. A Figura 01 ilustra o processo de mudança.

Figura 01: Estados de consistência



Fonte: Adaptado Caputo (2022)

Na engenharia civil, conhecer o teor de umidade é muito importante, principalmente quando se trabalha com compactação do solo. Schreiner e Rodrigues (2018), define que na compactação para atingir a resistência máxima do solo é importante conhecer a umidade ótima para se alcançar a massa específica máxima do solo e valores afastados da umidade ótima interferem diretamente na resistência, tornando o solo menos resistentes. A determinação dessas propriedades desempenha um papel valioso na concepção de projetos de compactação.

Na área de materiais de construção, o teor de umidade do agregado miúdo tem um papel importante na preparação de argamassas, é importante que a relação água/cimento não ultrapasse a proporção definida pelo traço. Segundo Bauer (2019), a umidade causa o afastamento dos grãos, gerando um inchamento, esse problema pode ocasionar uma redução na massa de areia prevista, e conseqüentemente menor resistência.

2.2 Análise tátil e visual

O profissional que trabalha em campo, muitas vezes enfrenta a necessidade de identificar o solo sem dispor de resultados de ensaios laboratoriais, seja porque no local ou na cidade não dispõe de ensaios laboratoriais, ou porque a obra está em fase preliminar de estudos. Ranzan e Zuffo (2014) estabelece que o conhecimento das características do subsolo, é um fator extremamente necessário para o desenvolvimento de projetos seguros e econômicos. A classificação pode ser feita por meio de identificação tátil visual, manuseando-se o solo e sentindo sua reação. Segundo Pinto (2006), cada profissional

deve desenvolver sua própria habilidade para identificar o solo, inicialmente é necessário estimar a possível quantidade de grossos (areia) através do tato. Definindo o solo, resta estimar se a amostra apresenta característica de siltes ou de argilas, no caso de solos finos. Pinto (2006), define os procedimentos para estimar se os finos apresentam características de silte ou de argilas.

- Resistência a seco – Ao acrescentar uma pequena quantidade de água a uma argila é possível moldar uma pequena pelota irregular (Dimensões da ordem de 2 cm) e deixá-la secar ao ar, a pelota ganha resistência, e quando quebrada, divide-se em pedaços bem distintos. Ao contrário, pelotas semelhantes de siltes são menos resistentes e se pulverizam quando quebradas.
- Shaking Test – Ao adicionar água até formar uma pasta úmida (saturada) de silte na palma da mão, quando se bate esta mão contra a outra por baixo, observa-se o surgimento de água na superfície. Ao apertar o torrão com os dedos polegar e indicador da outra mão, a água regressa para o interior da pasta. No caso de argilas, o impacto das mãos não provoca o surgimento de água.
- Ductilidade – Ao se moldar um solo com umidade em torno do limite de plasticidade com as mãos, nota-se que as argilas se apresentam mais resistentes nessa umidade do que os siltes.

2.3 Ensaio da Estufa

O método da estufa é utilizado para determinação da umidade do solo, padronizado pela norma NBR 6457 (ABNT, 2016), é considerado um método consagrado, seu ensaio é relativamente simples e seus resultados apresentam valores confiáveis. Para realizar o ensaio basta determinar a massa da amostra no seu estado natural e a massa após completa secagem em estufa a 105°C até 110°C, com a exceção dos solos orgânicos que devem ser secados com temperaturas entre 60 °C e 65 °C.

Segundo a NBR 6457 (ABNT, 2016), a preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização consiste em ter um conjunto de aparelhagens. Balança que permite pesar nominalmente 200g, 1,5 kg, 5 kg e com resoluções de 0,01g, 0,1g 0,5g, respectivamente. Dessecador contendo sílica-gel, recipientes adequados, confeccionados

com material não corrosivo, como cápsulas metálicas com tampa e pares de vidro de relógio com grampo e pinças metálicas com aproximadamente 30 cm de comprimento.

- Apanhar uma quantidade de material, em função da dimensão dos grãos maiores contidos na amostra, conforme a Figura 02 referentes à Tabela 1A da norma, destorroar sem que haja perda de umidade, e colocar em cápsulas metálicas. Efetuar pesagem do conjunto.

Figura 02: Tabela 1A

Dimensão dos grãos maiores contidos na amostra, determinada visualmente (mm)	Quantidade de material (g)	Balança a ser utilizada	
		Capacidade (g)	Resolução (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: NBR 6457 (ABNT,2016)

- Retirar a tampa e colocar a cápsula na estufa, à temperatura de 105 °C a 110 °C, onde deve permanecer até apresentar constância de massa. Em geral um intervalo de 16 a 24 horas, necessário à secagem do material. Intervalos maiores podem ser necessários dependendo do tipo e quantidade do solo ou se o mesmo estiver muito úmido. A tampa não pode ser recolocada enquanto o material permanecer em estufa. A Figura 03 exibe a estufa.
- Solos orgânicos, turfosos ou contendo gipsita são secados em estufa, a uma temperatura que varia de 60 °C a 65 °C, requerendo intervalos maiores de secagem.
- Remover a amostra da estufa e transferi-la para o dessecador, onde deve permanecer até atingir a temperatura ambiente.
- Efetuar, no mínimo, três determinações do teor de umidade por solo.

Figura 03: Estufa



Fonte: Buske (2013)

Para o cálculo de teor de umidade temos a Equação 2:

$$w = \frac{M1-M2}{M2-M3} \times 100 \quad (2)$$

w = Teor de umidade expresso em porcentagem (%).

M1 = Massa do solo Úmido mais a massa do recipiente, expressa em gramas (g).

M2 = Massa do solo seco mais a massa do recipiente, expressa em gramas (g).

M3 = Massa do recipiente, expressa em gramas (g).

Essa metodologia apresenta desvantagem em relação às demais, o maior limitante é o tempo necessário para obtenção do resultado, o qual será de aproximadamente 24 horas para obtenção desse índice físico, no entanto, a grande vantagem do método é a precisão que ele apresenta, sendo utilizado como referência para calibrar equipamentos e outros meios. Este ensaio é um dos meios mais utilizados pelo seu baixo custo de realização, não

necessitando de equipamentos sofisticados e nem de adição de produtos químicos (Bruske, 2013).

2.4 Ensaio Speedy test

O Método Speedy é descrito pela NBR 16097 (ABNT, 2012) e normalizado pelo Departamento Nacional de Estradas e Rodagem – DNER-ME 52- 64/94 (1994), o ensaio é relativamente simples, prático e que pode ser aplicado na obra. Segundo a NBR 16097 (ABNT, 2012), o aparelho é composto por um reservatório que é conectado a um manômetro, o mesmo mede a pressão do gás, o teor de umidade é determinado pela reação gerada entre o carbureto de cálcio e a amostra de solo úmido que são inseridas no aparelho, como mostra a Figura 04.

Segundo (CAPUTO, 2015), o processo químico envolvido se dá pela combinação entre a água presente no solo e o carbureto de cálcio que gera o acetileno, conhecendo a variação da pressão interna, obtém-se a quantidade de água existente no solo. O processo termina quando a pressão registrada no manômetro não sofre alteração, se mantendo constante, sinalizando que já ocorreu a reação entre a água presente na amostra e o carbureto de cálcio. A NBR 16097 (ABNT, 2012) recomenda seguir o processo abaixo para o ensaio:

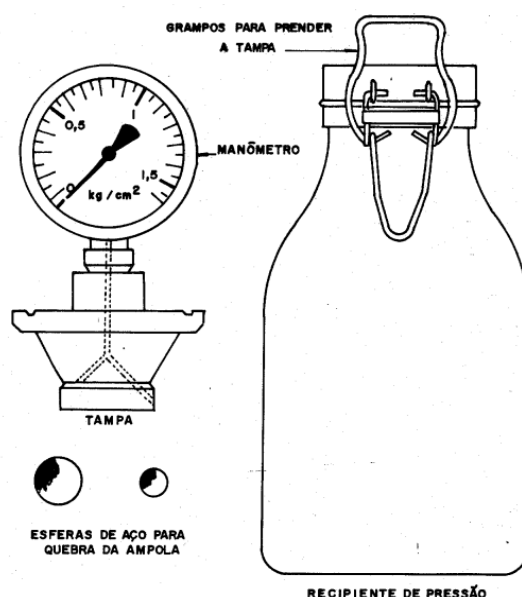
- Inserir no recipiente, com o auxílio da espátula, a massa de solo úmido recomendada pelo fabricante, as esferas de aço e uma ampola de carbureto de cálcio. Em alguns modelos, o carbureto é colocado a granel, na quantidade definida pelo fabricante, sem a necessidade das esferas de aço.
- Fechar o recipiente e promover alguns ciclos de agitação vigorosa e repouso até estabilizar a pressão resultante da reação exotérmica entre o carbureto e água contida na amostra.
- Após a estabilização do equipamento, efetuar a leitura da pressão no manômetro.
- Para limpeza do equipamento, abrir bem devagar o aparelho para aliviar a pressão do gás, recolher as esferas de aço e limpá-lo a seco.
- Realizar o ensaio longe de fonte de calor, pois o gás resultante da reação é inflamável.

O método definido pelo DNER-ME 52- 64/94 é semelhante e simples, a mudança entre os dois meios, é a tabela de umidade que o primeiro não utiliza, com valores em função do peso, variando o teor de 5%, 10%, 20%, 30% ou mais.

- Pesa-se a amostra e coloca-se no reservatório do aparelho “Speedy”
- Introduz-se na câmara duas esferas de aço e uma ampola de carbureto de cálcio, deixando deslizar com cuidado pelo o interior da câmara, a fim de evitar que se quebre;
- Fecha-se o aparelho, agita-se-o repetidas vezes para quebrar a ampola, o que se verificar ter ocorrido pelo surgimento da pressão vista no nanômetro
- Lê-se a pressão manométrica após estabilizar-se constante, o que indica que a existente no solo reagiu com o carbureto;
- Verifica na tabela de aferição do aparelho o teor de umidade, entrando com os valores de pressão manométrica e peso da amostra.

Se a leitura manométrica for menor que 20 KPa, o ensaio deve ser repetido com peso de amostra imediatamente superior ao empregado. Se a leitura for maior que 150 KPa, repete-se o ensaio com um peso imediatamente inferior.

Figura 04: Speedy Test



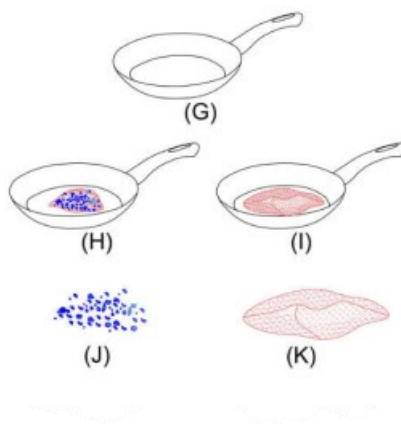
Fonte: Adaptado DNER-ME 52- 64/94

2.5 Ensaio da Frigideira

O método do fogareiro ou frigideira é descrito pela norma NBR 16097 (ABNT, 2012), o processo é prático e rápido de se obter a umidade do solo em termos de massa. Método mostrado na Figura 05, o procedimento consiste em secar uma determinada amostra de solo em uma frigideira por meio de um fogareiro. As principais vantagens para a sua aplicação é a redução no tempo de secagem da amostra de solo e também por ser um método simples, pode ser empregado diretamente em campo (SANTOS et al., 2011).

A norma estabelece alguns critérios necessários para os itens a serem utilizados no ensaio, frigideira de tamanho médio, fogareiro a gás, balança com capacidade de 1kg e resolução de 0,5 g, recipiente de metal ou plástico para pesagem do solo, saco plástico para coleta do material, espátula com cabo comprido, placa de vidro incolor e concha do tipo jardineira.

Figura 05: Frigideira



Fonte: adaptado Santos (LGP – UDESC)

Procedimento de ensaio:

- Anotar a tara T do conjunto frigideira mais espátula.
- Reunir cerca de 200g de amostra úmida e colocar na frigideira, determinando a massa bruta úmida (conjunto solo, frigideira e espátula). Para solos contendo mais de 20 % de material retido na peneira com

abertura de malha de 4,75mm, usar massa mínima de 300 g, já para os solos com 20 % de material retido na peneira de malha 19 mm, utilizar uma quantidade mínima de 500 g.

- Utilizar o fogareiro para aquecer a frigideira com fogo baixo. Com o auxílio de uma espátula ou colher, mexer o material com pouca velocidade e tomando cuidado para não perder nenhuma parcela do material no processo.
- Pesquisar o conjunto e anotar. Pesquisar novamente esse conjunto, repetir esse procedimento até que o conjunto chegue em uma constância de massa, adotando esse valor constante como a massa da frigideira mais solo seco.

O método é uma alternativa que oferece vantagens pela sua velocidade de obtenção do resultado, equipamento simples e de baixo custo podendo ser utilizado em locais desprovidos de recursos. A NBR 16097 (ABNT, 2012), deixa claro que a precisão e confiabilidade dos resultados dependem exclusivamente da habilidade e do conhecimento do operador.

2.6 Ensaio Micro-ondas

O processo de secagem do solo através do emprego da radiação eletromagnética leva em conta o fato das moléculas de água serem dipolos elétricos naturais, os quais sofrem rotação quando expostos a um campo eletromagnético. Segundo Aguilar (2001), o atrito molecular resultante gera calor instantânea e uniformemente na amostra de solo, reduzindo a umidade.

Tavares (2008), realizou um estudo com a utilização do forno micro-ondas na determinação de umidade no solo, comparando o resultado com o método estufa convencional, os dados obtidos pelos dois métodos não tiveram variação significativa entre si. No entanto, a secagem utilizando o forno micro-ondas, houve diminuição na variação das repetições de acordo com o tamanho das amostras. O ensaio realizado com o micro-ondas é uma forma alternativa para a determinação do teor de umidade, o seu principal objetivo é reduzir o processo de secagem em relação ao método da estufa que dura em média 24 horas.

No Brasil não há uma referência normativa para o ensaio, mas existe uma norma Americana a D4643 – 08 (Standard Test Method for Determination of Water (Moisture) Content of Soil by Microwave Oven Heating) que define como proceder com o experimento.

A duração do ensaio em (minutos) varia de acordo com a potência do aparelho, porém o tipo de solo, a umidade inicial, o tamanho das amostras e a potência do micro-ondas são alguns fatores que influenciam diretamente na eficiência do processo de secagem (SANTOS e FILHO, 2017). A Figura 06 ilustra o aparelho micro-ondas da marca Electrolux.

Figura 06: Micro-ondas



Fonte: Autor (2022)

O ensaio de acordo com a D4643 – 08, segue os seguintes passos:

- Colocar o solo em um recipiente, levar ao forno micro-ondas com o dissipador de calor e ligar o forno por 3 minutos. Se a experiência com um determinado tipo de solo e tamanho de grãos varia de acordo com o tempo, granulometrias maiores podem ser adotadas com maior duração sem superaquecimento, os tempos de secagem inicial e subsequente podem ser ajustados.

NOTA 6 - A configuração inicial de 3 minutos é para uma massa de amostra mínima de 100 g.

- Passado o tempo definido, retire o recipiente e sujeira do forno, pese a amostra imediatamente, ou coloque em um dessecador para esfriar para permitir o manuseio e evitar danos ao equilíbrio. Determine e registre a massa.
- Com uma espátula misture cuidadosamente o solo, tomando cuidado especial para não perder qualquer solo.
- Devolva a amostra ao micro-ondas e aqueça por 1 minuto.
- Repita até a mudança entre duas determinações de massa consecutivas terem um valor insignificante sobre o teor de umidade calculado. Uma variação de 0,1% ou menos da massa úmida inicial do solo.

A Equação 03, define o cálculo para determinar o teor de umidade.

$$w = \frac{M1-M2}{M2-Mc} \times 100 = \left(\frac{Mw}{Ms} \right) \times 100 \quad (3)$$

w = Teor de umidade (%)

M1 = massa do recipiente e amostra úmida (g)

M 2 = massa do recipiente e amostra seca em estufa (g)

Mc = massa do recipiente (g)

Mw = massa de água (g)

Ms = massa de partículas sólidas (g)

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a forma que a pesquisa foi realizada, os materiais e processos utilizados, como também o local de coleta das amostras.

3.1 Local de coleta das amostra de solo

O local escolhido para coleta das amostras fica próximo a universidade Federal Rural do Semi-Árido, o trecho é uma via de acesso não pavimentada. No total foram coletadas seis amostras de diferentes locais com profundidade de 30cm, como mostra a Figura 07.

Figura 07: Pontos das amostras



Fonte: Adaptado Google Maps (2022)

3.2 Análise tátil e visual

Com o material coletado e em laboratório, iniciou-se o processo de caracterização das amostras. Como o solo apresentou irregularidade na sua granulometria e de acordo com NBR 16097 (ABNT, 2012), todas as amostras passaram pela peneira 4,75mm, a Figura 08 ilustra o processo.

Figura 08: Peneira 4,75mm



Fonte: Autor (2022)

O material que passou na peneira foi separado e identificado seguindo uma sequência padrão, amostra 01, amostra 02, amostra 03, amostra 04, amostra 05 e amostra 06, apresento na Figura 09. Em seguida também foram definidas as suas respectivas cores, as mesmas são apresentadas no capítulo seguinte.

Figura 09: Amostras de solo



Fonte: Autor (2022)

O método para classificar os solos é visto na Figura 10, o processo sucedeu em colocar uma fração de material na palma da mão e ir adicionando um pequeno volume de água, até conseguir manusear o material de forma que fosse possível moldá-los no caso de solos com finos em sua composição.

Figura 10: Método para classificar o solo



Fonte: Autor (2022)

3.3 Preparação das amostras de solo

A preparação das amostras ocorreu da seguinte maneira, utilizou-se um recipiente plástico, balança digital, almofariz, proveta graduada, espátula, pincel e papel filme. Pesou-se cerca de 1kg de solo seco, Figura 11 e 12, o mesmo foi depositado no almofariz e umedecido, adicionado cerca de 100 ml. Em seguida, realizou-se a homogeneização e a vedação do almofariz com papel filme para evitar a perda umidade para o ambiente.

Figura 11: Balança com solo seco



Fonte: Autor (2022)

Figura 12: Solo homogeneizado

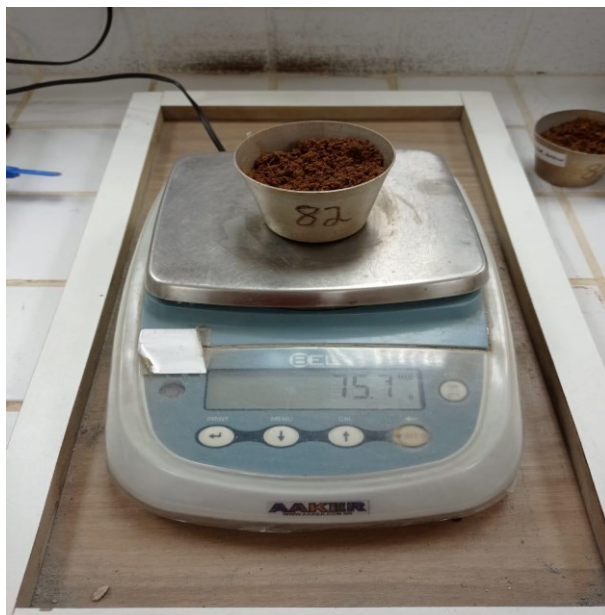


Fonte: Autor (2022)

3.4 Ensaio método da Estufa

No método da Estufa, o procedimento se deu em aquecer a estufa a uma temperatura de 105 °C como recomenda a NBR 6457 (ABNT, 2016). Pesou-se três cápsulas vazias e depois três cápsulas com solo úmido, Figura 13. O processo se repetiu para as outras cinco amostragens, sempre anotando o peso da cápsula e o peso da cápsula mais solo.

Figura 13: Cápsula de solo



Fonte: Autor (2022)

Anotado os respectivos pesos das cápsulas e com a estufa aquecida, uma bandeja metálica contendo as doses amostra, foi levada a estufa e deixada por um período de 24h, Figura 14. Passado o tempo, retirou-se o material e tomando o devido cuidado para não absorver umidade, aguardou-se a temperatura diminuir para coletar o peso seco.

Figura 14: Estufa



Fonte: Autor (2022)

3.5 Ensaio método Speedy Test

Para o ensaio Speedy Test, o procedimento iniciou-se com a conferência do equipamento, o aparelho utilizado em questão pertence ao fornecedor Petrodidática. O conjunto é composto por um reservatório com um manômetro conjugado, ampolas de carbureto cálcio, duas esferas metálicas, balança digital, espátula, escova para limpeza e a tabela do fabricante. Antes de seguir com as análises, foram realizados 2 testes para verificar o funcionamento do manômetro.

Figura 15: Balança



Fonte: Autor (2022)

De acordo com a tabela do fabricante, pesou-se 10 g de solo (Figura 15), introduziu o material no reservatório junto às esferas metálicas e ampolas de carbureto. Depois agitou-se o conjunto até quebrar o composto químico e visualizar a variação de pressão no manômetro, Figura 16.

Figura 16: Speedy Test



Fonte: Autor (2022)

Após realizar a agitação do aparelho, aguarda-se um determinado tempo até o relógio estabilizar, e anota-se o valor da pressão. No caso do manômetro usado, o mesmo apresenta o valor de umidade em porcentagem, sem a necessidade de entrar com o valor da pressão na tabela do fabricante.

3.6 Ensaio método Frigideira

O método em questão é normatizado, a norma que define o processo de ensaio é a NBR 16097 (ABNT, 2012). Para realizar o ensaio era necessário a utilização de uma frigideira, fonte de calor, espátula e balança. Como no momento do experimento não havia uma fonte de calor disponível, utilizou-se o fogão da cozinha do laboratório Mecânica dos Solo I.

O ensaio começou com a pesagem do recipiente vazio, em seguida o recipiente mais a amostra de solo úmido. Anotado o peso, o conjunto foi conduzido para a cozinha do laboratório para ser levado ao fogo, o processo é exibido na Figura 17.

Figura 17: Frigideira



Fonte: Autor (2022)

Com o conjunto posto no fogão a uma temperatura próxima a 100 °C e um relógio, anotou-se o tempo em que o solo mudava de coloração, até apresentar aspecto seco. A partir disso adotou-se um tempo de 5 min para o ensaio. Em seguida, coletou-se o peso seco da amostra.

O cálculo para determinação do teor umidade, seguiu a Equação (4) abaixo:

$$w = \frac{M1-M2}{M2-M3} \times 100 \quad (4)$$

w = Teor de umidade expresso em porcentagem (%).

M1 = Massa do solo Úmido mais a massa do recipiente, expressa em gramas (g).

M2 = Massa do solo seco mais a massa do recipiente, expressa em gramas (g).

M3 = Massa do recipiente, expressa em gramas (g).

3.7 Ensaio método micro-ondas

A execução do ensaio do Micro-ondas foi relativamente simples, o aparelho utilizado foi o da marca Eletrolux modelo MEF41 de 31L, Figura 18 e 19. Para realizar o experimento usou-se três copos de vidro de boa resistência, como também balança e espátula. De acordo com a norma a Americana D4643 – 08, a potência e o tempo necessário para determinar o teor de umidade varia de acordo com o fabricante do micro-ondas.

Figura 18: Micro-ondas



Fonte: Autor (2022)

Sabendo disso, colocou-se uma quantidade de solo teste no micro-ondas, com peso próximo a 100g e testou os intervalos de tempo 2 min, 3 min, 5 min e 7 min. Para prosseguir com o ensaio, definiu-se o tempo de 7 min, sendo que com 3:30 min, o forno era parado para homogeneizar o solo.

Figura 19: Ensaio pausado para homogeneização



Fonte: Autor (2022)

No método utilizou-se 3 copos de vidro para cada amostra de solo, primeiro pesou-se os recipientes vazios e depois os recipientes com a massa de solo úmido. Ao passar o tempo de 7 minutos, os copos foram retirados do forno com cuidado para não haver troca de umidade, após diminuir a temperatura, verificou-se o peso de cada copo. Para calcular o teor de umidade, usou-se a fórmula definida pela D4643 – 08, como mostra a Equação 05.

$$w = \frac{M1-M2}{M2-Mc} \times 100 = \frac{Mw}{Ms} \times 100 \quad (5)$$

w = Teor de umidade (%)

M1 = massa do recipiente e amostra úmida (g)

M 2 = massa do recipiente e amostra seca em estufa (g)

Mc = massa do recipiente (g)

Mw = massa de água (g)

Ms = massa de partículas sólidas (g)

4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados a classificação da análise tátil e visual e os resultados obtidos pelos ensaios para determinação do teor de umidade, através dos métodos estufa, Speedy test, frigideira e micro-ondas. Foi determinado o teor de umidade para diferentes amostras de solo, os mesmos foram comparados entre si, tomando como referência o resultado gerado pelo método da estufa. Além disso, para o micro-ondas ocorreu a verificação quanto a sua confiabilidade e viabilidade para determinar a umidade do solo.

4.1 Análise tátil e visual

Com base no tátil, as amostras foram caracterizadas de acordo com sua granulometria e coloração. Todas as amostras apresentaram maior porcentagem de areia em sua composição, as amostras também dispõem de uma pequena quantidade de finos, sendo silte ou argila. A Tabela 01 exibe a classificação adotada.

Tabela 01: Classificação dos solos

CLASSIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS	
AMOSTRA 01	AREIA FINA/MÉDIA POUCO SILTOSA - MARROM
AMOSTRA 02	AREIA FINA/MÉDIA POUCO SILTOSA - CINZA CLARO
AMOSTRA 03	AREIA FINA/MÉDIA SILTOSA - MARROM
AMOSTRA 04	AREIA FINA/MÉDIA POUCO SILTOSA - MARROM CLARO
AMOSTRA 05	AREIA FINA/MÉDIA MUITO SILTOSA - MARROM CLARO
AMOSTRA 06	AREIA FINA/MÉDIA ARGILOSA - MARROM ESCURO

Fonte: Autor (2022)

4.2 Ensaio da Estufa

Para o método da estufa, as tabelas mostram os resultados obtidos para as amostras e a média das 3 cápsulas usadas para cada tipo de solo. As tabelas abaixo trazem os dados de umidade (%). A Tabela 02, é composta pelas as amostras 01,02 e 04 classificadas como areia fina/média pouco siltosa. A Tabela 03 para areia fina/média siltosa, a Tabela 04 areia fina/média muito siltosa e a Tabela 05 areia fina/média argilosa.

Tabela 02: Resultados das areias fina/média pouco siltosa

AMOSTRA 01				
CÁPSULA	PC(g)	PCU(g)	PCS(g)	w (%)
82	17,9	93,60	86,6	10,19
89	13,4	87,80	80,9	10,22
90	13,9	93,10	85,9	10,00
			MÉDIA(w)	10,14
AMOSTRA 02				
CÁPSULA	PC(g)	PCU(g)	PCS(g)	w (%)
95	13,7	81,80	75,7	9,84
104	11,9	94,20	86,7	10,03
122	13,4	97,40	89,9	9,80
			MÉDIA(w)	9,89
AMOSTRA 04				
CÁPSULA	PC(g)	PCU(g)	PCS(g)	w (%)
101	13,2	94,80	87,2	10,27
125	13,7	89,30	82,4	10,04
229	14	87,90	80,9	10,46
			MÉDIA(w)	10,26

Fonte: Autor (2022)

Tabela 03: Resultados das areias fina/média siltosa

AMOSTRA 03				
CÁPSULA	PC(g)	PCU(g)	PCS(g)	w (%)
201	14,2	90,50	83	10,90
227	13,5	81,40	74,6	11,13
228	15	88,10	80,8	11,09
			MÉDIA(w)	11,04

Fonte: Autor (2022)

Tabela 04: Resultados das areias fina/média muito siltosa

AMOSTRA 05				
CÁPSULA	PC(g)	PCU(g)	PCS(g)	w (%)
117	18,3	84,60	77,9	11,24
216	15	84,10	76,4	12,54
222	14,2	88,90	81,4	11,16
			MÉDIA(w)	11,65

Fonte: Autor (2022)

Tabela 05: Resultados das areias fina/média argilosa

AMOSTRA 06				
CÁPSULA	PC(g)	PCU(g)	PCS(g)	w (%)
212	13,5	101,10	92,1	11,45
233	14,7	93,30	85	11,81
236	12,9	100,40	91,2	11,75
			MÉDIA(w)	11,67

Fonte: Autor (2022)

Para os solos analisados, a máxima variação média de teor de umidade é 1,53%. A pequena diferença da umidade entre as amostras se deve a classificação do solo das amostras serem similares.

4.2 Ensaio Speedy Test

No Speedy test, as tabelas abaixo mostram os resultados obtidos a partir dos ensaios realizados para cada amostra de solo. Os resultados das amostras, amostra 01, amostra 02 e amostra 04 formam a Tabela 06, material classificado como areia fina/média siltosa. A Tabela 07 apresenta o teor de umidade para areia fina/média siltosa, na Tabela 08 valores para areia fina/média muito siltosa, já a Tabela 09 traz o resultado da areia fina/média argilosa.

Tabela 06: Resultados das areias fina/média pouco siltosa

AMOSTRA 01			
ENSAIO	PC (g)	PCU (g)	w (%)
1	15	10,00	10,2
AMOSTRA 02			
ENSAIO	PC (g)	PCU (g)	w (%)
1	12,9	10,00	14
AMOSTRA 04			
ENSAIO	PC (g)	PCU (g)	w (%)
1	12,9	10,00	13,2

Fonte: Autor (2022)

Tabela 07: Resultados das areias fina/média siltosa

AMOSTRA 03			
ENSAIO	PC (g)	PCU (g)	w (%)
1	14,7	10,00	14,6

Fonte: Autor (2022)

Tabela 08: Resultados das areias fina/média muito siltosa

AMOSTRA 05			
ENSAIO	PC (g)	PCU (g)	w (%)
1	12,9	10,00	14,2

Fonte: Autor (2022)

Tabela 09: Resultados das areias fina/média Argilosa

AMOSTRA 06			
ENSAIO	PC (g)	PCU (g)	w (%)
1	14,7	10,00	14,2

Fonte: Autor (2022)

De acordo com os resultados percebe-se que o teor de umidade variou entre 10,4% e 14,2%. No ensaio o solo da amostra 01 se comportou diferente das demais, para as amostras 02, 03, 04 e 06 os valores se mostraram bem próximos entre si.

4.3 Ensaio da Frigideira

As tabelas abaixo mostram os resultados obtidos por meio do método da frigideira. Os teores de umidade das amostras, amostra 01, amostra 02 e amostra 04 constituem a Tabela 10, material classificado como areia fina/média pouco siltosa. Tabela 11 apresenta o teor de umidade para areia fina/média siltosa, na Tabela 12 valores para areia fina/média muito siltosa, já a Tabela 13 traz o resultado da areia fina/média argilosa.

Tabela 10: Resultados das areias fina/média pouco siltosa

AMOSTRA 01				
ENSAIO	PC(g)	PCU(g)	PCS(g)	w (%)
1	14,1	101,60	93,5	10,20
AMOSTRA 02				
ENSAIO	PC(g)	PCU(g)	PCS(g)	w (%)
2	13,5	90,90	83,2	11,04
AMOSTRA 04				
ENSAIO	PC(g)	PCU(g)	PCS(g)	w (%)
4	12,9	91,10	83,6	10,60

Fonte: Autor (2022)

Tabela 11: Resultados das areias fina/média siltosa

AMOSTRA 03				
ENSAIO	PC(g)	PCU(g)	PCS(g)	w (%)
3	12,9	91,70	83,8	11,14

Fonte: Autor (2022)

Tabela 12: Resultados das areias fina/média muito siltosa

AMOSTRA 05				
ENSAIO	PC(g)	PCU(g)	PCS(g)	w (%)
5	13,5	93,60	85,5	11,25

Fonte: Autor (2022)

Tabela 13: Resultados das areias fina/média Argilosa

AMOSTRA 06				
ENSAIO	PC(g)	PCU(g)	PCS(g)	w (%)
6	14,7	93,80	84,6	13,16

Fonte: Autor (2022)

Analisando os resultados percebe-se que o teor de umidade para as amostras 01, 02, 03 e 04, apresentaram valores bem próximos entre si. A amostra 06 comportou-se diferente das demais, umidade na casa de 13%, valor elevado em comparação com as outras amostras.

4.4 Ensaio Micro-ondas

No ensaio do micro-ondas, as tabelas demonstram os resultados obtidos para as amostras e a média dos 3 recipientes, adotados como copo americano, copo grande e copo pequeno para cada tipo de solo. As tabelas a seguir trazem os dados de umidade (%). A Tabela 14, é composta pelas as amostras 01, 02 e 04 classificadas como areia fina/média pouco siltosa. A Tabela 15 para areia fina/média siltosa, a Tabela 16 areia fina/média muito siltosa e a Tabela 17 areia fina/média argilosa.

Tabela 14: Resultados das areias fina/média pouco siltosa

AMOSTRA 01				
COPO	PC(g)	PCU(g)	PCS(g)	w (%)
CA	103,2	221,90	210,7	10,419
CG	189,4	338,40	324,6	10,207
CP	125,3	259,70	247,2	10,254
			MÉDIA	10,29
AMOSTRA 02				
COPO	PC(g)	PCU(g)	PCS(g)	w (%)
CA	103,2	220,20	209,5	10,07
CG	189,4	348,30	333,9	9,97
CP	125,3	267,40	254,45	10,03
			MÉDIA	10,02
AMOSTRA 04				
COPO	PC(g)	PCU(g)	PCS(g)	w (%)
CA	115,6	240,00	228,2	10,48
CG	189,4	345,30	330,2	10,72
CP	125,3	234,10	223,7	10,57
			MÉDIA	10,59

Fonte: Autor (2022)

Tabela 15: Resultados das areias fina/média siltosa

AMOSTRA 03				
COPO	PC(g)	PCU(g)	PCS(g)	w (%)
CA	103,2	209,98	198,9	11,58
CG	189,4	327,00	312,9	11,42
CP	125,3	255,20	241,9	11,41
			MÉDIA	11,47

Fonte: Autor (2022)

Tabela 16: Resultados das areias fina/média muito siltosa

AMOSTRA 05				
COPO	PC(g)	PCU(g)	PCS(g)	w (%)
CA	115,8	220,60	209,9	11,37
CG	189,6	326,20	312,4	11,24
CP	125,3	245,80	233,7	11,16
			MÉDIA	11,26

Fonte: Autor (2022)

Tabela 17: Resultados das areias fina/média argilosa

AMOSTRA 06				
COPO	PC(g)	PCU(g)	PCS(g)	w (%)
CA	115,8	242,10	228,2	12,37
CG	189,4	324,20	309,7	12,05
CP	125,3	257,50	243,3	12,03
			MÉDIA	12,15

Fonte: Autor (2022)

Para os resultados exibidos nas tabelas, é possível observar que os teores de umidade das 3 repetições de cada amostra, apresentaram valores bem próximos, a partir disso, foi gerado uma média e essa média apresentou uma elevação na porcentagem apenas para a amostra 06, comparada com as outras amostras.

4.5 Resultados e comparações dos métodos

A Tabela 18 mostra os resultados das amostras de solo para os 4 métodos. Apenas os resultados do Speedy test apresentou discrepância nos valores para a mesma amostra em relação aos demais métodos. Essa variação provavelmente pode ter ocorrido devido ao manômetro estar descalibrado. Os métodos da estufa, frigideira e micro-ondas exibem uma proximidade nos resultados entre eles.

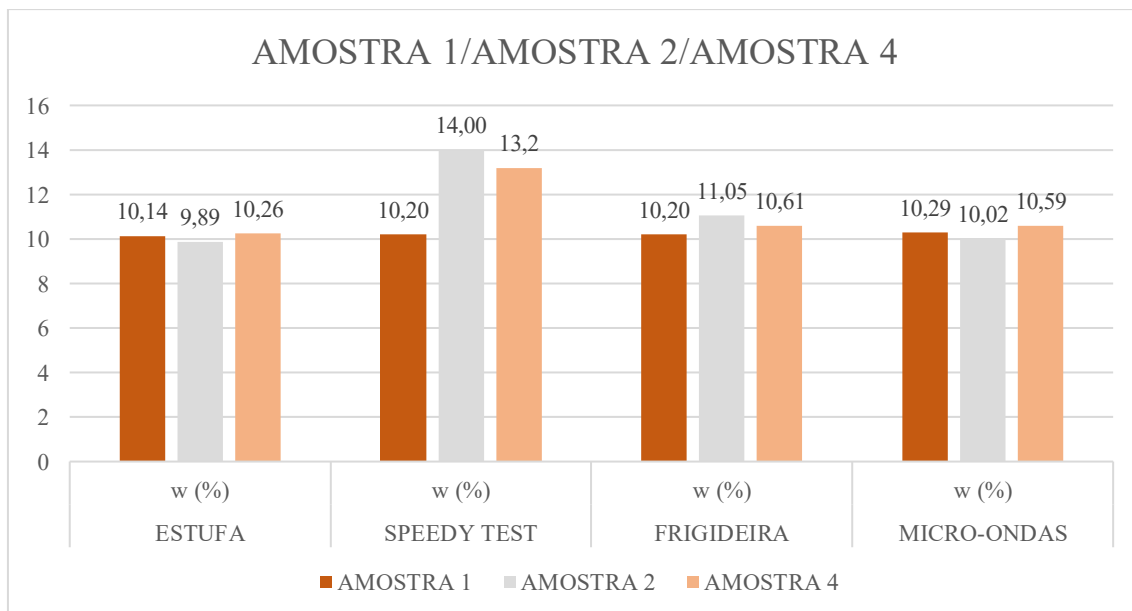
Tabela 18: Teor de umidade entre os métodos

RESULTADOS				
AMOSTRAS/TESTE	ESTUFA	SPEEDY TEST	FRIGIDEIRA	MICRO-ONDAS
	w (%)	w (%)	w (%)	w (%)
AMOSTRA 1	10,14	10,20	10,20	10,29
AMOSTRA 2	9,89	14,00	11,05	10,02
AMOSTRA 3	11,04	14,6	11,14	11,47
AMOSTRA 4	10,26	13,2	10,61	10,59
AMOSTRA 5	11,65	14,2	11,25	11,26
AMOSTRA 6	11,67	14,2	13,16	12,15

Fonte: Autor (2022)

O Gráfico 01 exibe uma comparação entre as amostras de areia fina/média pouco siltosa, no gráfico é notório uma similaridade nos resultados gerados através dos métodos com exceção do speedy test.

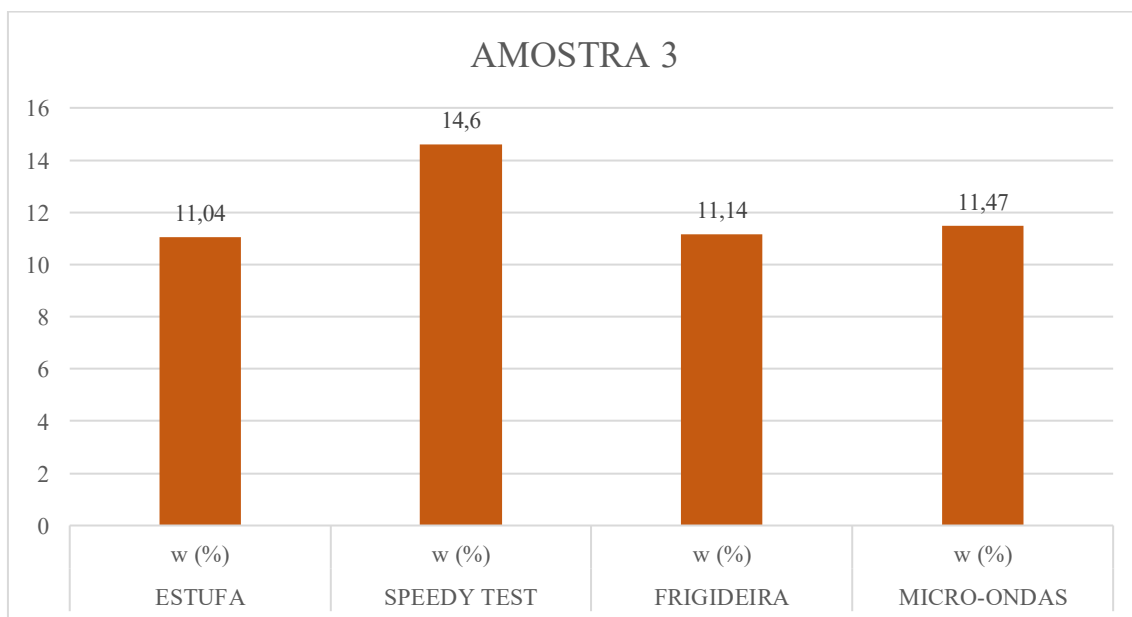
Gráfico 01: Comparação dos resultados entre os ensaios para areia fina/média pouco siltosa



Fonte: Autor (2022)

O Gráfico 02 apresenta os resultados dos ensaios para areia fina/média siltosa, amostra apresentou pequenas variações de umidade nos métodos estufa, frigideira e micro-ondas, apenas o speedy apresentou resultado superior em relação os outros meios.

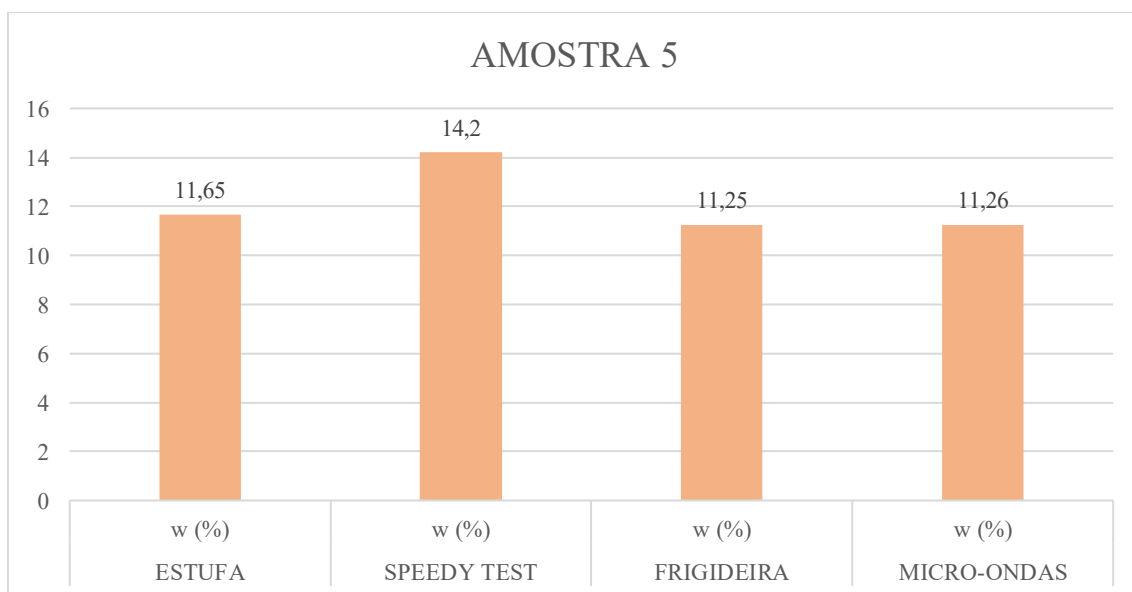
Gráfico 02: Comparação dos resultados entre os ensaios para areia fina/média siltosa



Fonte: Autor (2022)

Para a amostra 05 o Gráfico 03 mostra os resultados de cada ensaio realizado para areia fina/média muito siltosa. O gráfico exibe uma similaridade entre os resultados, com exceção do speedy test, o mesmo apresentou valor elevado em relação aos métodos.

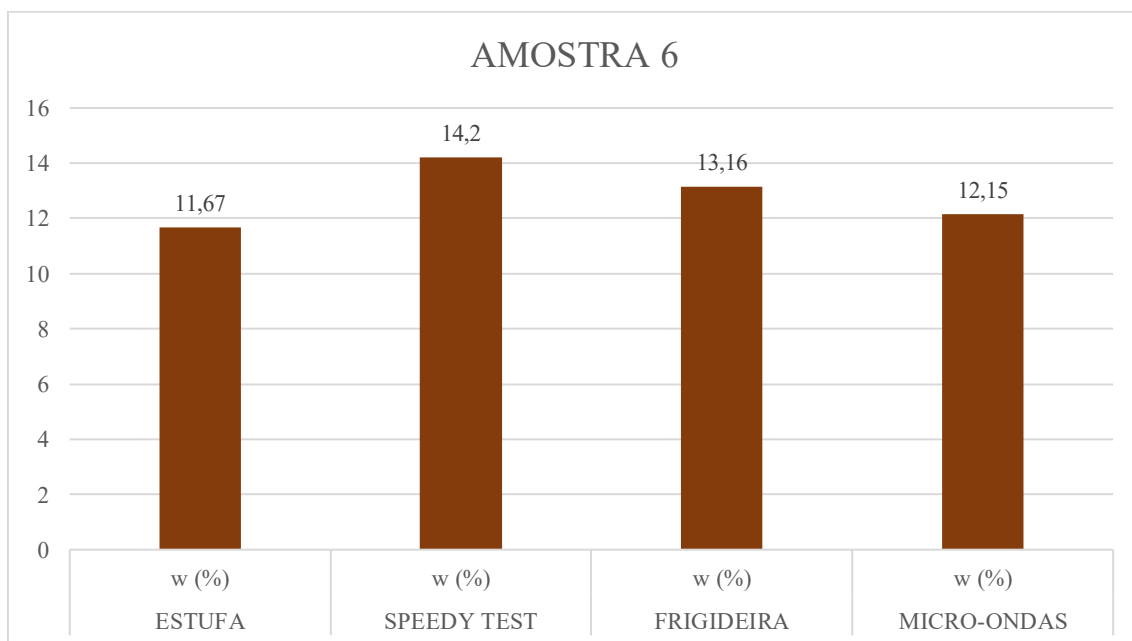
Gráfico 03: Comparação dos resultados entre os ensaios para areia fina/média muito siltosa



Fonte: Autor (2022)

O Gráfico 04 traz os resultados dos métodos estudados para areia fina/média argilosa. A amostra 06 foi a que apresentou maior teor de umidade em relação aos 6 solos testados. Os resultados para essa amostra mostraram variantes em cada método e com maior elevação no speedy test.

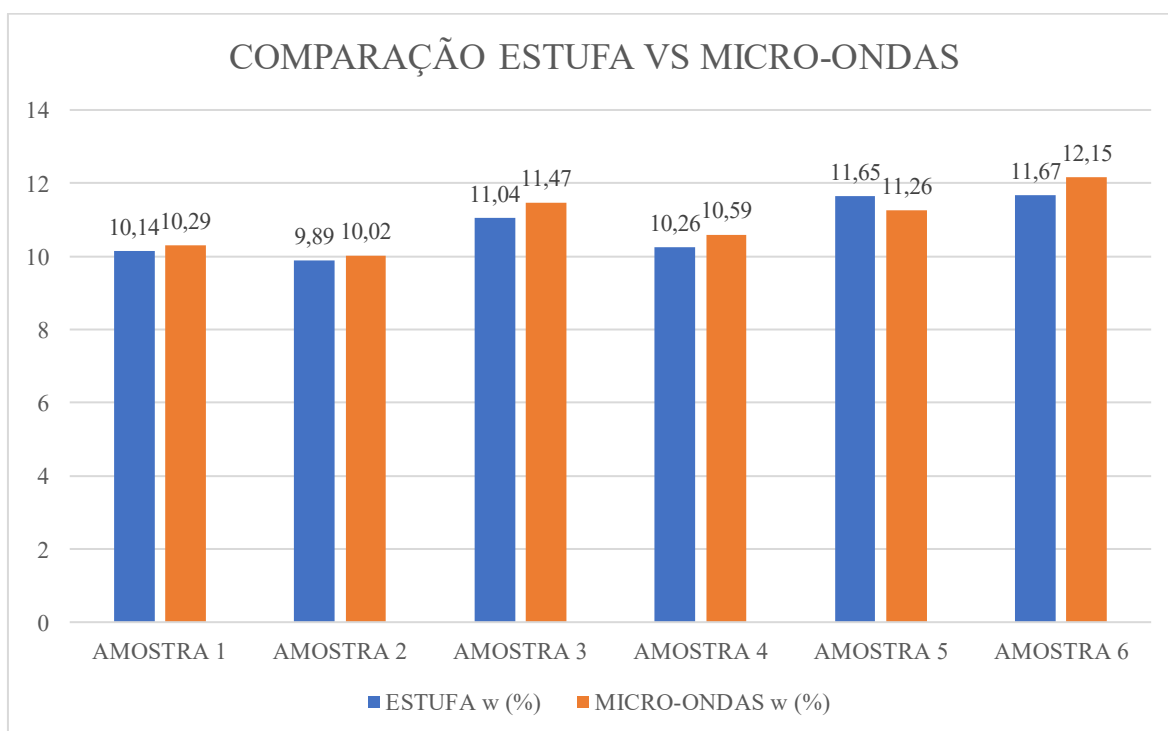
Gráfico 04: Comparação dos resultados entre os ensaios para areia fina/média argilosa



Fonte: Autor (2022)

O Gráfico 05 apresenta a comparação dos resultados obtidos pelos métodos estufa e micro-ondas. Analisando o gráfico, ambos ensaios tiveram resultados similares para as 06 amostras de solo. Dessa forma, os resultados classificam o ensaio do micro-ondas como confiável.

Gráfico 05: Comparação dos resultados entre os métodos estufa e micro-ondas



Fonte: Autor (2022)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A execução dos diferentes métodos se deu no mesmo dia, utilizou-se a mesma quantidade de solo e água na preparação das 6 amostras. A partir do ensaio tátil e visual, as amostras foram classificadas como areia, apesar de seus pontos de coletas serem próximos uns dos outros, as amostras apresentaram variação na sua composição, sendo areia com silte ou areia com argila.

As correlações obtidas no método do micro-ondas em relação ao ensaio da estufa adotado como padrão neste trabalho, foram bem significativas para os diferentes solos analisados, já os valores de umidade fornecido pelo Speedy test não proporcionaram um bom desempenho comparados com o método da estufa, micro-ondas e frigideira.

O método da frigideira mostrou resultados próximos ao da estufa, com exceção da amostra 06, a mesma apresentou uma elevação no teor, teor superior aos métodos estufa e micro-ondas. No entanto, essa variação pode ter ocorrido por falha na execução, o resultado está ligado diretamente com o operador.

Com relação ao Speedy, as diferenças nos resultados podem ter ocorrido por mal funcionamento no manômetro, ausência de calibração, assim causando erro na leitura. Para determinação do teor de umidade em amostras de solo utilizando o micro-ondas, é possível afirmar que o método é uma alternativa viável para obras com ausência de laboratório, visto que é um ensaio simples e com baixo custo, menor tempo de obtenção dos resultados, cerca de 7 minutos e enquanto o método da estufa tem duração de 16 a 24 h.

Com isso, é possível perceber que todos os métodos para determinação do teor de umidade apresentaram bons resultados em comparação ao ensaio da estufa. Para trabalhos futuros sugere-se que seja feito uma verificação quanto aos equipamentos em especial ao manômetro do Speedy test, repetir os ensaios no mínimo três vezes, verificar o tempo de secagem da frigideira e o do Micro-ondas, visto que no último ensaio o tempo varia de acordo com potência do aparelho e solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16097: Solo - Determinação do teor de umidade – Métodos expeditos de ensaio. Referências, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457/2016 - Amostras de solo - preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização: método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASTM D4643-08: 2008; Standard Test Method for Determination of Water (Moisture) Content of Soil by Microwave Heating. ASTM International: Philadelphia, PA, USA, 2008.

BAUER, L. A. F. Materiais de Construção - Vol. 1. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

BUSKE, Taise Cristine. COMPORTAMENTO DA UMIDADE DO SOLO DETERMINADA POR MÉTODOS EXPEDITOS. 2013. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

CAPUTO, Homero Pinto. Mecânica dos Solos: teoria e aplicações. 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2022. 288 p.

CAPUTO, Homero Pinto; CAPUTO, Armando Negreiros; Mecânica dos solos e suas aplicações. 7. ed. rev. e ampla. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNER-ME 052/94 – Solos e agregados miúdos – determinação da umidade com emprego do “Speedy”. DNER, 1994.

NASCIMENTO, Amanda Cristina. Estudo comparativo do Teor de Umidade de Solos e Areias pelos métodos Speedy Test, Termogravimétrico, Frigideira e Micro-Ondas. 2022. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário de Lavras, Lavras-Mg, 2022.

PINTO, C.S. Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas, São Paulo: Oficina de textos, 247p., 2006.

RANZAN, R., ZUFFO, L.M., Caracterização do subsolo da área urbana de pato branco baseado em relatórios de sondagem. 2014. 71f. Trabalho de conclusão de curso de Graduação em Engenharia Civil- Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

SANTOS, M.; TAVEIRA, M. R; TAVARES, A. C. S; ALVES JUNIOR, J.; EVANGELISTA, A. W. P. Determinação do conteúdo de água de solo pelo método da frigideira em um latossolo vermelho escuro. In: Congresso de Pesquisa, ensino e extensão da Universidade de Goiás, Goiânia, 2011. Cerrado: Água, Alimento e Energia. Goiânia: UFG, 2011.

TAVARES M. H. F.; CARDOSO D.L.; GENTELINI D. P.; FILHO A. G.; KONOPATSKI, E. A., Uso do forno micro-ondas na determinação da umidade em diferentes tipos de solos. Semina: Ciências agrária, Londrina, 2008. v. 29, n. 3, p. 529-538, jul-set, 2008.