



Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas - Departamento de Engenharia Civil
Curso de Graduação em Engenharia Civil



Rodrigo Miranda de Aguiar

**ANÁLISE COMPARATIVA PARA DETERMINAÇÃO DO
TEOR DE UMIDADE DE SOLO PELOS MÉTODOS DA
ESTUFA, FRIGIDEIRA, *SPEEDY TEST* E BALANÇA
INFRAVERMELHO**

Ouro Preto
2024

Rodrigo Miranda de Aguiar

Análise Comparativa para Determinação do Teor de Umidade de Solo pelos
Métodos da Estufa, Frigideira, *Speedy Test* e Balança Infravermelho

Projeto Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenheiro Civil na Universidade Federal de Ouro Preto.

Área de concentração: Geotecnia

Orientador: Prof. D. Felipe de Campos Loch – UFOP

Co-orientador: Eng^o MSc. Hebert da Consolação Alves

Ouro Preto

2024

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

A282a Aguiar, Rodrigo Miranda de.

Análise comparativa para determinação do teor de umidade de solo pelos métodos da Estufa, Frigideira, Speedy test e Balança infravermelho. [manuscrito] / Rodrigo Miranda de Aguiar. - 2024.
41 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Felipe de Campos Loch.

Coorientador: Me. Hebert da Consolação Alves.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Civil .

1. Solos - Umidade. 2. Umidade - Teor de. 3. Umidade - Frigideira, Método de. 4. Umidade - Balança Infravermelho, Método de. 5. Umidade - Speedy Test, Método de. 6. Umidade - Termogravimétrico, Método de. 7. Umidade - Estufa, Método de. I. Loch, Felipe de Campos. II. Alves, Hebert da Consolação. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 624

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



FOLHA DE APROVAÇÃO

Rodrigo Miranda de Aguiar

Análise comparativa para a determinação do teor de umidade de solo pelos métodos da estufa, frigideira, speedy test e balança infravermelho

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de engenheiro civil.

Aprovada em 20 de fevereiro de 2024

Membros da banca

Prof. Dr. Felipe de Campos Loch - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto
Prof.a Dra. Daniela Antunes Lessa - Universidade Federal de Ouro Preto
Prof.a Dra. Marina de Medeiros Machado - Universidade Federal de Ouro Preto

Prof. Dr. Felipe de Campos Loch, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 11/03/2024



Documento assinado eletronicamente por **Felipe de Campos Loch, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 11/03/2024, às 16:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0681363** e o código CRC **EB243B61**.

*“Uma mente que se
abre a uma nova ideia
jamais voltará ao seu
tamanho original”
Albert Einstein.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha avó que, além de sempre me incentivar, esteve comigo em grande parte da minha graduação.

À toda minha família, em especial à tia Valéria por todo apoio, sem você e sem minha família eu não teria chegado até aqui.

Ao grupo de amigos de sala e aos amigos que fiz ao longo da minha jornada em Ouro Preto.

Aos meus amigos que se tornaram parte da minha história, em especial aos moradores, ex-alunos e agregados da República Cruz Vermelha.

Ao meu orientador Prof. D. Felipe de Campos Loch pelos ensinamentos, ajuda e complacência.

Ao Laboratório de Ferrovias e Asfalto pela disponibilidade e contribuição para o desenvolvimento deste trabalho, em especial ao meu coorientador Eng^o MSc. Hebert da Consolação Alves.

Por fim, agradeço à Universidade Federal de Ouro Preto e à Escola de Minas pelo ensino de qualidade e pelas oportunidades ao longo dos anos.

Rodrigo Miranda de Aguiar. **Análise Comparativa para Determinação do Teor de Umidade de Solo pelos Métodos da Estufa, Frigideira, *Speedy Test* e Balança Infravermelho**. 2024. 30. Projeto Final de Curso (Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, 2024.

RESUMO

Existem diversas áreas da engenharia que necessitam do solo como premissa para algum estudo específico. Saber as características dele é de suma importância, visto que, a caracterização influencia diretamente no seu comportamento para determinada finalidade. Para a engenharia civil, por exemplo, a caracterização deve ser feita antecedendo qualquer estudo em que o solo é incluído, pois a função que ele irá desempenhar neste estudo pode ser variável dependendo das diversas áreas que são embargadas na engenharia civil, tais como a construção civil, geotecnia, infraestrutura de vias terrestres. Existem os métodos diretos, como o método da estufa, e indiretos, como o método *Speedy Test* utilizados para encontrar a umidade do solo. Este trabalho teve como objetivo avaliar os métodos da estufa, frigideira, *Speedy Test* e balança infravermelho utilizados para mensurar o teor de umidade dos solos. Os ensaios foram realizados no laboratório de ferrovias e asfalto da Universidade Federal de Ouro Preto localizada em Minas Gerais. Utilizou-se dois tipos de solo: silto arenoso e argilo arenoso. O primeiro foi retirado do norte do estado de Minas Gerais e o segundo do sul do estado de São Paulo. Posteriormente a realização dos ensaios, fez-se uma comparação entre os resultados e, para os métodos da estufa, frigideira e balança infravermelho, os resultados obtidos foram satisfatórios, pois apresentaram resultados próximos. Já o método *Speedy Test* apresentou resultados discrepantes em relação aos demais métodos.

Palavras-chaves: Solo, Teor de Umidade, Termogravimétrico, Estufa, Frigideira, *Speedy Test*, Balança Infravermelha.

Rodrigo Miranda de Aguiar. **Comparative Analysis for Soil Moisture Content Determination Using Oven, Pan, Speedy Test, and Infrared Balance Methods.** 2024. 31. Undergraduate Final Project (Civil Engineering) – School of Mines, Federal University of Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, Brazil, 2024.

ABSTRACT

There are several engineering areas that require soil as a premise for specific studies. Knowing its characteristics is of paramount importance, since characterization directly influences its behavior for a particular purpose. For civil engineering, for example, characterization should precede any study in which soil is included, as its function in this study can vary depending on the diverse areas encompassed in civil engineering, such as civil construction, geotechnics, and road infrastructure. There are direct methods, such as the oven method, and indirect methods, like the Speedy Test method, used to determine soil moisture. This study aimed to assess the oven, frying pan, Speedy Test, and infrared balance methods employed for measuring soil moisture content. The experiments were conducted at the laboratory of railways and asphalt of the Federal University of Ouro Preto in Minas Gerais. Two types of soil were utilized: sandy silt and sandy clay. The former was sourced from the northern part of Minas Gerais, while the latter was obtained from the southern part of São Paulo state. Following the experiments, a comparison was made among the results. For the oven, frying pan, and infrared balance methods, the obtained results were satisfactory, as they showed close agreement. However, the Speedy Test method yielded discrepant results compared to the other methods

Keywords: Soil, Moisture Content, Thermogravimetric, Oven, Frying Pan, Speedy Test, Infrared Scale.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma representativo do trabalho.	9
Figura 2 – Cápsulas metálicas.....	11
Figura 3 – Pesagem das cápsulas metálicas.....	11
Figura 4 – Amostras na estufa.....	12
Figura 5 – Secagem da amostra de solo.	14
Figura 6 – Solos após a secagem.....	14
Figura 7 – Conjunto <i>Speedy</i>	15
Figura 8 – Pesagem da amostra.....	17
Figura 9 – Início do ensaio.....	17

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela adaptada da norma ABNT NBR 6457.	10
Tabela 2 – Leitura do manômetro para encontrar o teor de umidade.	16
Tabela 3 – Quadro com resultados obtidos pelo método termogravimétrico.	19
Tabela 4 – Quadro com os resultados obtidos pelo método da frigideira.	20
Tabela 5 – Quadro com os resultados obtidos pelo método <i>Speedy Test</i>	20
Tabela 6 – Quadro com os resultados obtidos pelo método da balança infravermelho.	21
Tabela 7 – Comparação entre os métodos para o solo silto arenoso.	21
Tabela 8 – Comparação entre os métodos para o solo argilo arenoso.	21
Tabela 9 – Desvio para o solo silto arenoso.	23
Tabela 10 – Desvio para o solo argilo arenoso.	23

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Objetivo.....	2
1.1.1	Objetivos Específicos	2
2	Revisão Bibliográfica.....	3
2.1	O teor de umidade	3
2.2	O teor de umidade e sua importância para a engenharia civil	4
2.3	Métodos para determinação do teor de umidade	5
2.4	Pesquisas anteriores sobre métodos de determinação do teor de umidade dos solos	7
3	Metodologia.....	9
3.1	Material.....	9
3.2	Ensaio para determinação do teor de umidade	9
3.2.1	Preparação das amostras	10
3.2.2	Método termogravimétrico.....	10
3.2.3	Método da frigideira	13
3.2.4	Método Speedy Test.....	14
3.2.5	Método da balança infravermelho	16
4	Resultados	19
4.1	Método termogravimétrico	19
4.2	Método da frigideira	20
4.3	Método <i>Speedy Test</i>	20
4.4	Método da balança infravermelho.....	21
4.5	Discussão dos resultados.....	21

5	Conclusão	26
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	27
	Referências.....	28

1 INTRODUÇÃO

Os solos são formados por processos de intemperismo químico e físico das rochas e, normalmente, são constituídos por grãos com diâmetros variáveis. No estudo dos solos é necessário fazer a caracterização a fim de conhecer o tipo de material. A NBR 6457 (ABNT, 2024) preconiza os ensaios que devem ser realizados para a obtenção de parâmetros importantes para o estudo geotécnico.

A partir da umidade pode-se determinar parâmetros como os limites de liquidez e plasticidade que são regidos, respectivamente, pela NBR 6459 (ABNT, 2017) e NBR 7180 (ABNT, 2016) e permitem a determinação dos limites de consistência do solo e a granulometria, conforme NBR 7181 (ABNT, 2018), necessária para diferenciar os tipos de solo quanto ao tamanho de suas partículas.

A caracterização do solo levando em consideração os limites de plasticidade e de liquidez influenciam diretamente no comportamento dos solos, visto que, esses limites ditam o comportamento perante a umidade. Quanto mais úmido o solo se encontra, mais líquido e quanto menos úmido, mais sólido.

Tendo em vista os desastres ambientais ocorridos no Brasil em Bento Rodrigues, distrito de Mariana e em Brumadinho nos anos de 2015 e 2019, respectivamente, a determinação da umidade do solo se tornou algo imprescindível no âmbito da geotecnia, pois, o resultado obtido influencia diretamente na possibilidade de liquefação de uma barragem, bem como a possibilidade de erosões superficiais e formação de ravinas em pilhas de rejeito.

O rejeito é tratado como solo devido ao seu comportamento e às suas características se assemelharem. Segundo Braga (2022), no Brasil a maneira com que o rejeito será depositado se tornou alvo de preocupação para as empresas e pessoas devido aos riscos de se construir uma barragem. Para ensaios de compactação, conforme a NBR 7182 (ABNT, 2020), o teor de umidade faz-se necessário a fim de mensurar a umidade ótima do material para empilhá-lo e não haver ruptura.

Além disso, no ramo da infraestrutura de vias terrestres a umidade das camadas das vias influencia diretamente no comportamento do material, visto que, para haver

a compactação do subleito é necessário determinar o teor de umidade do solo que será utilizado a fim de que não haja deformabilidade plástica do mesmo. (OLIVEIRA e MOTTA, 2021)

Existem alguns métodos que podem fornecer o resultado da umidade. Embasando-se que a determinação do teor de umidade é importante para obter as características do solo, este trabalho visa avaliar e comparar os métodos que apresentam os resultados da umidade. Os ensaios selecionados para a obtenção deste parâmetro foram os métodos da estufa, frigideira, *Speedy Test* e balança infravermelho.

Os solos em estudo são silto arenoso e argilo arenoso e foram retirados, respectivamente, do norte do estado de São Paulo e do sul do estado de Minas Gerais.

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho é comparar os valores resultantes dos métodos para determinação do teor de umidade nas amostras de solo.

1.1.1 Objetivos Específicos

O objetivo específico deste trabalho é a determinação do teor de umidade através dos métodos da estufa, frigideira, *Speedy Test* e balança infravermelho e, a partir dos resultados obtidos comparar os métodos entre si e analisar a eficácia de cada um dos métodos para os dois tipos de solos estudados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentada a importância do teor de umidade, em especial para a engenharia civil, assim como a abordagem de quatro métodos para sua determinação levando em consideração os diversos fatores que influenciam na escolha do método.

2.1 O teor de umidade

O teor de umidade pode ser definido como a razão entre a massa de água (M_a) contida num determinado volume de solo e a massa da parte sólida (M_s) existente neste volume (CAPUTO, 2022). A determinação deste parâmetro para diversas áreas tais como, engenharia civil, engenharia ambiental, engenharia geológica e agronomia, se tornou algo de extrema importância por sua interdisciplinaridade. O teor de umidade indica, em resumo, a quantidade de água presente no solo em estudo, em porcentagem.

Tendo em vista essa interdisciplinaridade entre os diversos cursos que tem como premissa o estudo do solo, houve uma dissertação de mestrado feita por Nascimento (2002) onde o estudo foi feito embasando-se em duas áreas da engenharia civil e da engenharia ambiental, que são recursos hídricos e tecnologia ambiental, respectivamente.

Além disso, outro exemplo dessa conexão entre os diversos cursos da engenharia pode-se citar a dissertação de mestrado feita por Buske (2013), onde a área em estudo trata-se da engenharia agrícola e o estudo feito por meio de análises estatísticas voltadas para a determinação da umidade do solo voltado para agricultura.

Segundo Cherlinka (2022), existem alguns fatores que influenciam diretamente o quão úmido o solo se encontra:

- Textura: para este aspecto, deve-se levar em consideração o tamanho dos grãos presentes no solo;
- Estrutura: quanto mais poros tiver o solo, mais úmido ele se encontra;

- **Matéria orgânica:** a presença de matéria orgânica no solo faz com que ele aumente sua capacidade de reter a umidade;
- **Densidade:** quanto menos denso for o solo, maior será sua umidade;
- **Temperatura:** a temperatura influencia bastante, visto que, em dias mais ensolarados, a umidade relativa do ar se encontra mais baixa; em contrapartida, quando encontra-se chuva, a umidade aumenta;

2.2 O teor de umidade e sua importância para a engenharia civil

Conhecer a umidade do solo é de extrema importância para diversas áreas da engenharia civil tais como geotecnia, pavimentação, materiais de construção civil. No âmbito de solos, os limites de liquidez, plasticidade e contração, também conhecidos como limites de Atterberg, ditam o comportamento do solo por meio da umidade. Quanto mais úmido o solo se apresenta, mais líquido o mesmo se encontra e quanto menos úmido, mais sólido. A NBR 7180 (ABNT, 2016) e NBR 6459 (ABNT, 2017) preconizam a determinação, respectivamente, do limite de plasticidade e do limite de liquidez.

Um método de compactação do solo, também chamado de Ensaio de Proctor, consiste em compactar uma quantidade de solo em um determinado cilindro com volume previamente medido e a quantidade de camadas e de golpes por camada se encontra em três energias de compactação diferentes que são: normal, intermediária e modificada que são preconizadas na NBR 7182 (ABNT, 2020). Para tal, o solo deve estar com sua umidade ótima e massa específica seca. Esses parâmetros podem interferir no grau de compactação do solo, fazendo com que ele tenha um comportamento diferente, caso não haja a adequação destes parâmetros, como supracitado.

Segundo Nascimento (2022), deve-se conhecer as propriedades do solo possibilitando a sua caracterização e avaliação de resistência. As partículas presentes em cada tipo de solo podem influenciar no seu comportamento e características (NASCIMENTO, 2022). Além disso, é necessário saber os limites de consistência do solo, visto que, um solo que apresenta um teor de umidade muito alto tende a ter um

comportamento líquido e, à medida que a secagem ocorre no material, o mesmo passa a ter um comportamento sólido (DAVI, 2022).

Para Oliveira e Motta (2021), a análise do teor de umidade deve ser feita rigorosamente, pois o Brasil, como um país tropical, tende a apresentar altos índices de chuvas podendo afetar no comportamento dos subleitos ou outras camadas que compõe a infraestrutura caso não haja uma drenagem apropriada.

A compactação do solo e sua deformabilidade estão diretamente ligadas ao teor de umidade, pois com a determinação da umidade ótima do solo, é possível fazer uma compactação útil à pavimentação (OLIVEIRA e MOTTA, 2021).

No ramo da construção civil, é sabido que a umidade pode influenciar bastante nas patologias (SANTANA, [s.d.]). Segundo Santana ([s.d.]), a falta de impermeabilização assim como a falta de obediência das normas acarreta a aparição de patologias relacionadas a umidade e este entrave poderia ser resolvido facilmente pois o custo é baixo.

2.3 Métodos para determinação do teor de umidade

O método termogravimétrico, também conhecido como método da estufa, é regido pela NBR 6457 (ABNT, 2024). Este método é considerado padrão dentre os métodos por obter resultados confiáveis com elevada precisão, além de ser simples e prático.

Para Davi (2022), a maior desvantagem apresentada por este método é o tempo necessário para a obtenção dos resultados, visto que, é preciso de 24 horas para a obtenção desse parâmetro. Entretanto, a sua maior vantagem é a confiabilidade dos resultados, tendo em vista a precisão que ele apresenta (DAVI, 2022).

O método da frigideira tem como normativa a NBR 16097 (ABNT, 2012). Nascimento (2022) afirma que o método da frigideira tem uma execução mais simples além do seu baixo custo, visto que, a aparelhagem necessária é de fácil acesso e barata em comparação aos demais métodos. Além disso, o estudo de Taveira, Santos *et al.* (2011) conclui que o método alternativo da frigideira se mostrou eficaz, quando comparado ao método da estufa, para a amostra de solo.

A principal vantagem deste método é o fato de sua utilização em campo ser mais prática e o tempo de secagem das amostras ter um tempo bastante reduzido

levando em consideração que o método da estufa necessita de um tempo de secagem de 24 horas (TAVEIRA, SANTOS, *et al.*, 2011).

O *Speedy Test* também é regido pela norma NBR 16097 (ABNT, 2012). O estudo realizado por Nascimento (2022) obteve resultados muito abaixo do esperado comparado aos métodos da estufa, frigideira e forno micro-ondas. Foi observado que, para os diferentes tipos de solo arenoso, as ampolas de carbureto de cálcio tinham quantidades variadas em seu interior, podendo interferir nos resultados (NASCIMENTO, 2022).

No trabalho feito por Davi (2022), os resultados de teor de umidade obtidos para amostras de solo arenosas também se mostraram discrepantes em relação aos métodos da estufa, frigideira e micro-ondas que foram utilizados no estudo.

O método da balança infravermelho utiliza um raio infravermelho que é direcionado ao solo, onde é colocado na parte de dentro da balança sobre um recipiente metálico, e aquecendo-o até que o resultado referente ao teor de umidade seja obtido. Este método depende diretamente do manual do fabricante, o qual pode-se obter informações pertinentes para seu uso, tais como a máxima temperatura e o peso das amostras que a balança suporta. Os tipos de balança podem variar, por exemplo, no estudo feito por Santos, Aguiar e Mancini (2019) foi utilizada a balança Gehaka IV2000, já no estudo feito por Badaró (2022) foi utilizada a balança Marte (Modelo ID200).

Na análise feita por Santos, Aguiar e Mancini (2019), este método se mostrou bastante eficaz com resultados sem diferenças significativas. Para uma avaliação mais rigorosa tendo em vista aspectos estatísticos, fez-se uma comparação entre o método da estufa, que tem uma confiabilidade maior, com o método da balança infravermelho podendo observar que, estatisticamente, este método trouxe resultados favoráveis tendo como base os resultados da estufa.

Tendo em vista as análises supracitadas, observa-se que o método da balança infravermelho tem resultados com confiabilidade e precisão alta, podendo ser uma alternativa mais rápida para a obtenção do teor de umidade.

2.4 Pesquisas anteriores sobre métodos de determinação do teor de umidade dos solos

Assim como o presente trabalho busca analisar e comparar os métodos para a determinação do teor de umidade, existem alguns trabalhos que embargam também essa análise comparativa.

O estudo realizado por Nascimento (2022) embasou-se nesta determinação a partir de um tipo de solo que não foi especificado e 3 tipos de granulometria de areia, sendo fina, média e grossa.

Já o trabalho feito por Davi (2022) teve como base 6 amostras de solo, sendo 3 com característica silto-arenoso e 3 com característica argilo-arenoso.

O trabalho executado por Badaró (2022) diferenciou-se dos demais devido ao fato de que foi realizada uma análise com métodos estatísticos, utilizando rejeito filtrado.

A Tabela 1 apresenta a diferença entre cada trabalho tendo em vista o método e o tipo de solo que foi levado em consideração para as análises.

Tabela 1 – Especificação dos tipos de métodos e solos utilizados em cada trabalho.

AUTOR	TIPO DE SOLO	TIPO DE MÉTODO
Nascimento (2022)	Solo não especificado e 3 tipos de granulometria de areia (fina, média e grossa)	Métodos da estufa, frigideira, forno micro-ondas e <i>Speedy Test</i>
Davi (2022)	Solo silto-arenoso e solo argilo-arenoso	Métodos da estufa, frigideira, forno micro-ondas e <i>Speedy Test</i>
Badaró (2022)	Rejeito filtrado	Métodos da estufa, frigideira e balança infravermelho

Fonte: O autor (2024).

Conforme o trabalho de Nascimento (2022), para os tipos de solos estudados, o método do forno micro-ondas e o método da frigideira apresentaram resultados favoráveis em comparação com o método da estufa, já o método *Speedy Test* obteve resultados com diferenças consideráveis comparado aos demais métodos.

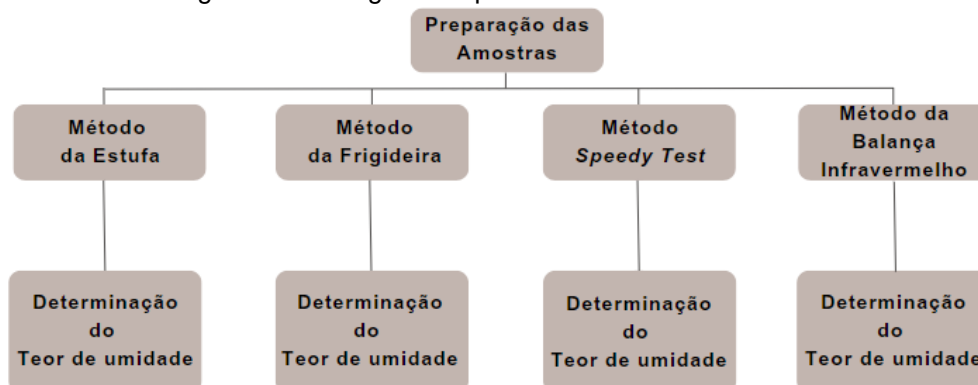
No trabalho de Davi (2022), as características dos solos em estudo se assemelham às características dos solos estudados no presente trabalho e, além disso, os métodos da frigideira e forno micro-ondas apresentaram resultados próximos enquanto o método *Speedy Test* obteve resultados discrepantes, todos tendo em vista os resultados obtidos pelo método da estufa.

O estudo feito por Badaró (2022), diferentemente dos estudos supracitados, foi utilizado métodos para análise estatística. Entretanto, no estudo realizado, os métodos da balança infravermelho e frigideira obtiveram resultados positivos em comparação com o método da estufa e é importante salientar que o método da balança infravermelho teve um desempenho melhor em relação ao método da frigideira.

3 METODOLOGIA

Para este trabalho tivemos etapas essenciais para a obtenção dos resultados e o fluxograma da Figura 1 representa as etapas seguidas.

Figura 1 – Fluxograma representativo do trabalho.



Fonte: O autor (2024).

3.1 Material

No presente trabalho, foram utilizados dois tipos de solo para a realização dos ensaios de determinação do teor de umidade. O primeiro solo apresenta característica silto arenoso e o segundo, argilo arenoso e foram coletados, respectivamente, do norte do estado de São Paulo e do sul do estado de Minas Gerais. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Ferrovias e Asfalto (LabFer) pertencente a Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

3.2 Ensaios para determinação do teor de umidade

A identificação do solo foi feita visualmente a partir das informações da Tabela 2, onde foi notado que ambos os solos apresentavam uma dimensão dos grãos entre 2 a 20 milímetros. A partir dessa identificação, inferiu-se a quantidade de material a ser utilizada assim como a balança e iniciou-se os ensaios.

Tabela 2 – Tabela adaptada da norma ABNT NBR 6457.

Dimensão dos sólidos (grãos) maiores contidos na amostra, determinada visualmente	Quantidade de material (em massa seca) a ser utilizada	Balança a ser utilizada	
		Capacidade nominal	Resolução
mm	g	g	g
< 2	30	200	0,01
2 a 20	30 a 300	1 500	0,1
20 a 76	300 a 3 000	5 000	0,5

Fonte: ABNT NBR 6457 (2024).

3.2.1 Preparação das amostras

De acordo com a NBR 6457 (ABNT, 2024) foi possível fazer a preparação das amostras de solo. A norma apresenta os procedimentos necessários para a preparação das amostras para ensaios de compactação, caracterização e teor de umidade.

As amostras foram coletadas diretamente dos sacos plásticos que foram transportadas até o laboratório, ou seja, não houve secagem prévia do material. Conforme preconizado na NBR 6457 (ABNT, 2024), as amostras sem secagem prévia, após a etapa de encaminhamento ao laboratório, tiveram seus torrões desmanchados e foram homogeneizadas com auxílio de uma espátula. Por fim, houve a repartição das amostras para os ensaios.

3.2.2 Método termogravimétrico

Segundo a NBR 6457 (ABNT, 2024), para a execução do método termogravimétrico, também conhecido como método da estufa, é necessária a seguinte aparelhagem: uma estufa com capacidade de manter a temperatura até 110 °C, uma balança e cápsulas metálicas. A norma também prevê que para este método devem ser realizados no mínimo 3 ensaios. Para cada ensaio, foi-se utilizado duas cápsulas, ou seja, para cada um dos dois solos ensaiados, utilizou-se 6 cápsulas, tendo como total 12 cápsulas para a realização do ensaio.

Para a iniciação do ensaio, houve a identificação das cápsulas metálicas assim como a sua respectiva pesagem, conforme Figura 2 e Figura 3. A identificação foi feita na parte de baixo das cápsulas e sua pesagem foi feita ao tarar a balança, colocar a cápsula no recipiente metálico e anotar o respectivo valor fornecido pela balança.

Figura 2 – Cápsulas metálicas.



Fonte: O autor (2024).

Figura 3 – Pesagem das cápsulas metálicas.



Fonte: O autor (2024).

Após o processo de identificação e pesagem das cápsulas anotando os valores de cada cápsula, acrescentou-se à cápsula os solos e, em sequência, anotando os pesos das cápsulas contendo o solo úmido.

Em seguida, as cápsulas contendo solo úmido foram colocadas na estufa entre 105 °C e 110 °C por 24 horas conforme a Figura 4.

Figura 4 – Amostras na estufa.



Fonte: O autor (2024).

Posteriormente, após as 24 horas, as cápsulas contendo solo seco foram pesadas, anotando-se o valor.

Com isso, tendo todos os valores de massa das cápsulas metálicas, massa das cápsulas contendo solo úmido e massa das cápsulas contendo solo seco, é possível obter o teor de umidade pela equação indicada na NBR 6457 (ABNT, 2024):

$$W = \frac{(M1 - M2)}{M2 - M3} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

W = Teor de umidade (%)

M1 = Massa da cápsula + Solo úmido (g)

M2 = Massa da cápsula + Solo seco (g)

M3 = Massa da cápsula vazia (g)

3.2.3 Método da frigideira

Este método para determinação do teor de umidade é regido pela NBR 16097 (ABNT, 2012). Como os dois solos em estudo são arenosos (silto arenoso e argilo arenoso), a norma especifica que para areias e solos arenosos não é necessário ter um preparo das amostras. A aparelhagem utilizada para este método foi uma frigideira de tamanho médio, uma balança, um recipiente de metal, uma espátula e um fogão a gás.

Antecedendo aos ensaios, fez-se necessária a identificação e pesagem dos recipientes de metal para a locação das amostras. Para cada tipo de solo foi realizado 2 ensaios.

Em seguida, retirou-se de cada um dos solos duas amostras. As 4 amostras tiveram seu peso em torno de 500 gramas. Iniciando-se os ensaios, a amostra foi colocada em fogo baixo com tempos de 10 e 20 minutos, mostrando uma estabilização satisfatória. Durante a ocorrência da secagem, é necessário, conforme a NBR 16097 (ABNT, 2012), revolver a amostra com auxílio da espátula para não haver queima do material e facilitar a secagem. A cada intervalo de tempo (20 minutos, 20 minutos, 10 minutos), houve a pesagem do recipiente de metal contendo solo até a estabilização. Este processo pode ser observado na Figura 5 e Figura 6 e foi repetido para todas as 4 amostras de solo.

Figura 5 – Secagem da amostra de solo.



Fonte: O autor (2024).

Figura 6 – Solos após a secagem.



Fonte: O autor (2024).

Tendo todos os valores, é possível fazer a determinação do teor de umidade utilizando a equação (2):

$$W = \frac{(M1 - M2)}{M2 - M3} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

W = Teor de umidade (%)

M1 = Massa do recipiente metálico + Solo úmido (g)

M2 = Massa do recipiente metálico + Solo seco (g)

M3 = Massa do recipiente metálico vazio (g)

3.2.4 Método Speedy Test

Conforme a NBR 16097 (ABNT, 2012), para o método do umidímetro, comumente conhecido como método *Speedy*, deve haver como aparelhagem um cilindro com um manômetro, escova para limpeza, ampolas de carbureto de cálcio, espátula, esferas de aço e tabela com informações do fabricante.

Figura 7 – Conjunto *Speedy*.



Fonte: O autor (2024).

O primeiro passo para este método é a pesagem do solo. Foram utilizadas 3 amostras para cada tipo de solo, totalizando 6 amostras e cada amostra continha 5 gramas.

Após a pesagem, conforme NBR 16097 (ABNT, 2012), inseriu-se no cilindro aberto as duas esferas de aço, a amostra de solo e a cápsula de carbureto de cálcio. Então o cilindro foi fechado e, em seguida, agitado até a estabilização da pressão. Assim que houve a estabilização, a pressão obtida na leitura do manômetro foi utilizada para a obtenção do teor de umidade seguindo a tabela do fabricante, conforme Tabela 3. Após cada ensaio, é necessário que haja a limpeza do conjunto *Speedy* para que não haja interferência nos valores de teor de umidade. Este procedimento foi realizado para todas as amostras de solo.

Tabela 3 – Leitura do manômetro para encontrar o teor de umidade.

LEITURA DO MANÔMETRO kg/cm²	PORCENTAGEM DE ÁGUA CONTIDA NAS AMOSTRAS		
	20g	10g	5g
0,1	-	1,2	2,5
0,2	-	2,3	4,8
0,3	2,5	3,5	7,0
0,4	3,1	4,6	9,3
0,5	3,7	5,8	11,6
0,6	4,2	6,9	13,8
0,7	4,7	8,1	16,1
0,8	5,3	9,3	18,5
0,9	5,9	10,4	20,6
1,0	6,5	11,5	23,0
1,1	7,1	12,7	25,2
1,2	7,7	13,8	27,4
1,3	8,3	15,0	29,5
1,4	8,9	16,2	31,8
1,5	9,4	17,3	33,0
1,6	10,0	18,4	35,2
1,7	10,6	19,5	37,5
1,8	11,2	20,7	39,7
1,9	11,8	21,8	42,0
2,0	12,4	23,0	44,3

Fonte: Tabela adaptada do fabricante SoloCap.

3.2.5 Método da balança infravermelho

Para este método, fez-se necessário seguir as instruções contidas no manual da balança. A balança utilizada foi a Marte (Modelo ID200), com carga máxima de 210 gramas. Inicialmente, deve-se pesar entre 10 a 20 gramas de material úmido sem o peso do prato da balança, conforme Figura 8.

Figura 8 – Pesagem da amostra.



Fonte: O autor (2024).

Em seguida, é necessário abaixar a tampa para que a balança comece a secar o solo até 180 °C. À medida que a balança seca o material, o teor de umidade aumenta e é indicado ao lado do cronômetro da máquina, conforme Figura 9.

Figura 9 – Início do ensaio.



Fonte: O autor (2024).

Realizou-se apenas 1 ensaio para cada tipo de solo. O solo silto arenoso obteve um tempo em torno de 15 minutos para a secagem total do material, enquanto o solo argilo arenoso levou em torno de 25 minutos para secar.

4 RESULTADOS

Os resultados dos ensaios feitos para cada método de determinação do teor de umidade serão expressos nos itens 4.1, 0, 4.3 e 0. A discussão destes resultados será embargada pelo item 4.5.

4.1 Método termogravimétrico

A Tabela 4 apresenta os resultados do teor de umidade de ambos os solos obtidos pelo método termogravimétrico.

Tabela 4 – Quadro com resultados obtidos pelo método termogravimétrico.

ENSAIO	CÁPSULA VAZIA (g)	CÁPSULA + SOLO ÚMIDO (g)	CÁPSULA + SOLO SECO (g)	TEOR DE UMIDADE (%)	TIPO DE SOLO
1	10,87	76,70	66,93	17,43	SILTO ARENOSO
1	13,07	85,88	75,03	17,51	
2	12,60	83,24	72,67	17,60	
2	11,84	81,17	70,94	17,31	
3	13,62	98,33	86,08	16,91	
3	13,40	81,23	71,28	17,19	
MÉDIA:				17,32	
1	16,22	67,84	54,55	34,67	ARGILO ARENOSO
1	13,72	66,18	52,72	34,51	
2	13,08	70,33	55,55	34,80	
2	12,65	60,01	47,80	34,74	
3	12,23	74,08	58,13	34,75	
3	21,97	71,36	58,82	34,03	
MÉDIA:				34,58	

Fonte: O autor (2024).

4.2 Método da frigideira

Para o método da frigideira, a Tabela 5 apresenta os resultados do teor de umidade obtidos para os dois tipos de solo.

Tabela 5 – Quadro com os resultados obtidos pelo método da frigideira.

ENSAIO	RECIPIENTE VAZIO (g)	RECIPIENTE + SOLO ÚMIDO (g)	RECIPIENTE + SOLO SECO (g)	TEOR DE UMIDADE (%)	TIPO DE SOLO
1	4,52	500,80	423,07	18,57	SILTO ARENOSO
2	4,54	500,43	425,93	17,68	
MÉDIA:				18,13	
1	4,54	500,15	365,89	37,16	ARGILO ARENOSO
2	4,59	500,48	363,10	38,32	
MÉDIA:				37,74	

Fonte: O autor (2024).

4.3 Método *Speedy Test*

O método *Speedy* tem como resultado os valores de teor de umidade obtidos na Tabela 6.

Tabela 6 – Quadro com os resultados obtidos pelo método *Speedy Test*.

ENSAIO	SOLO ÚMIDO (g)	TEOR DE UMIDADE (%)	TIPO DE SOLO
1	5,00	13,80	SILTO ARENOSO
2	5,00	16,10	
3	5,00	20,60	
MÉDIA:		16,83	
1	5,00	27,40	ARGILO ARENOSO
2	5,00	25,20	
3	5,00	27,40	
MÉDIA:		26,67	

Fonte: O autor (2024).

4.4 Método da balança infravermelho

Este método obtém a determinação do teor de umidade automaticamente, sem precisar de cálculos auxiliares. A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 7 – Quadro com os resultados obtidos pelo método da balança infravermelho.

ENSAIO	SOLO ÚMIDO (g)	TEOR DE UMIDADE (%)	TIPO DE SOLO
1	10,67	17,20	SILTO ARENOSO
1	21,20	33,00	ARGILO ARENOSO

Fonte: O autor (2024).

4.5 Discussão dos resultados

Os resultados de teor de umidade do solo obtidos nos 4 métodos podem ser verificados na compilação da Tabela 8 e Tabela 9. Para cada método fez-se uma média entre os resultados.

Tabela 8 – Comparação entre os métodos para o solo silto arenoso.

MÉTODO	ESTUFA	FRIGIDEIRA	SPEEDY TEST	BALANÇA INFRAVERMELHO
TEOR DE UMIDADE (%)	17,32	18,13	16,47	17,20

Fonte: O autor (2024).

Tabela 9 – Comparação entre os métodos para o solo argilo arenoso.

MÉTODO	ESTUFA	FRIGIDEIRA	SPEEDY TEST	BALANÇA INFRAVERMELHO
TEOR DE UMIDADE (%)	34,58	37,74	26,93	33,00

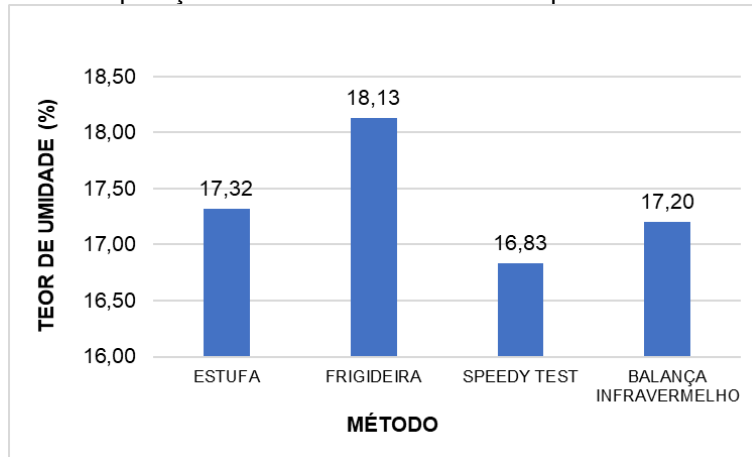
Fonte: O autor (2024).

À fim de obter uma relação entre os métodos e o teor de umidade obtido em cada um, fez-se necessária a compilação desses dados em forma de gráfico.

O Gráfico 1 apresenta os resultados dos ensaios para o solo silto arenoso. Para os métodos estufa, frigideira e balança infravermelho os resultados foram satisfatórios,

visto que apresentam pouca variação de umidade, enquanto o método Speedy apresentou um resultado elevado em comparação ao restante.

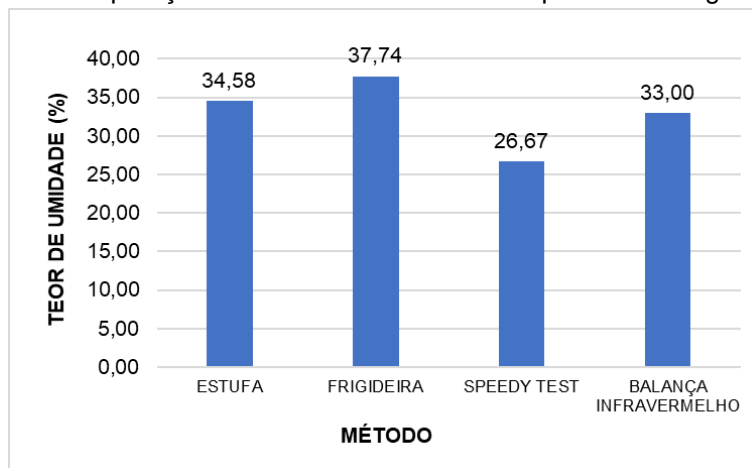
Gráfico 1 – Comparação entre os resultados obtidos para o solo silto arenoso.



Fonte: O autor (2024).

O Gráfico 2 mostra os resultados dos ensaios para o solo argilo arenoso. Assim como o solo silto arenoso, para os métodos estufa, frigideira e balança infravermelho os resultados obtidos tiveram pouca variação. Já o método Speedy apresentou uma variação elevada.

Gráfico 2 – Comparação entre os resultados obtidos para o solo argilo arenoso.



Fonte: O autor (2024).

Além disso, foi feita uma análise tomando como referência o método da estufa em relação aos demais métodos para os dois tipos de solo. Esta análise está descrita na Tabela 10 e na Tabela 11.

Tabela 10 – Desvio para o solo silto arenoso.

MÉTODO	FRIGIDEIRA	SPEEDY TEST	BALANÇA INFRAVERMELHO
DESVIO PADRÃO	0,57	0,35	0,09

Fonte: O autor (2024).

Tabela 11 – Desvio para o solo argilo arenoso.

MÉTODO	FRIGIDEIRA	SPEEDY TEST	BALANÇA INFRAVERMELHO
DESVIO PADRÃO	2,23	5,59	1,12

Fonte: O autor (2024).

É possível perceber que o método do *Speedy Test* foi o que sofreu maior desvio padrão em relação ao método da frigideira e método da balança infravermelho tendo como base o método da estufa. Este fato pode ter ocorrido devido a vários fatores, tais como: variabilidade nas amostras coletadas, falta de *expertise* ao realizar os ensaios, falta de limpeza adequada da instrumentação do ensaio, dentre outros.

Além disso, é importante citar que a umidade relativa do ar pode interferir diretamente nos resultados obtidos, visto que, para os métodos da estufa e frigideira que foram realizados no primeiro dia, esta umidade estava em torno de 85% e para os métodos *Speedy Test* e balança infravermelho, a umidade estava em torno de 65%.

Nota-se que, para o solo silto arenoso, há um desvio menor, podendo inferir que há uma maior confiabilidade nos resultados.

Os trabalhos supracitados no item 2.4 obtiveram resultados semelhantes aos resultados encontrados no presente trabalho e resumem-se na

Tabela 12. O método da estufa foi usado como referência nos 3 trabalhos mencionados e, para os demais métodos, foi feita a distinção entre “FAVORÁVEL” e “DESFAVORÁVEL”. Quando o método apresenta resultado favorável, significa dizer que os resultados obtidos por aquele método estão em consonância com os resultados obtidos pelo método da estufa tomado como referência.

Tabela 12 – Resultados obtidos das pesquisas de outros autores.

TRABALHO	MÉTODO	RESULTADO
NASCIMENTO (2022)	ESTUFA	-
	FRIGIDEIRA	FAVORÁVEL
	FORNO MICRO-ONDAS	FAVORÁVEL
	SPEEDY TEST	DESFAVORÁVEL
DAVI (2022)	ESTUFA	-
	FRIGIDEIRA	FAVORÁVEL
	FORNO MICRO-ONDAS	FAVORÁVEL
	SPEEDY TEST	DESFAVORÁVEL
BADARÓ (2022)	ESTUFA	-
	FRIGIDEIRA	FAVORÁVEL
	BALANÇA INFRAVERMELHO	FAVORÁVEL

Fonte: Tabela com resultados retirados dos estudos feitos por Nascimento (2022), Davi (2022) e Badaró (2022).

Os trabalhos supracitados levaram em consideração a estufa como referência e obtiveram resultados favoráveis para os métodos da frigideira e balança infravermelho e desfavoráveis para *Speedy Test*, assim como os resultados obtidos neste trabalho.

É importante salientar que, para análises estatísticas, os resultados obtidos não devem ser levados em consideração devido a falta de amostragem.

5 CONCLUSÃO

O intuito principal deste trabalho foi avaliar a eficácia dos métodos para determinação do teor de umidade e compará-los entre si. O método da estufa e da frigideira foram executados no mesmo dia, enquanto no dia posterior foram executados os métodos *Speedy* e balança infravermelho. As análises foram iniciadas a partir do ensaio táctil visual que permitiu inferir que os solos se classificavam como silto arenoso e argilo arenoso.

Para ambos os solos, os resultados obtidos para os métodos da estufa, frigideira e balança infravermelho foram bem satisfatórios, visto que, apresentaram pouca discrepância. Contudo, o método *Speedy Test*, em comparação com os demais, houve uma discrepância maior.

O método da estufa foi utilizado como embasamento para o restante dos resultados devido a sua confiabilidade dos dados ser maior em relação aos outros métodos.

O método da frigideira, em comparação com o termogravimétrico, obteve um resultado competente. A sua utilização em campo se torna mais viável devido a sua facilidade de execução assim como o custo dos aparelhos necessários para a realização dos ensaios. Além disso, o tempo de execução da frigideira se mostrou mais rápido do que a estufa, sendo o primeiro tempo estabilizado em 50 minutos e a estufa necessitando de 24 horas para a estabilização.

O método da balança infravermelho, apesar de não ser normativo, apresentou resultados favoráveis em comparação com o método da estufa. Contudo, o aparelho infravermelho se torna uma opção não tão viável pelo seu custo mais alto que o restante dos métodos, porém, a sua realização é fácil, eficaz e rápida, visto que houve estabilização do teor de umidade de 10 a 20 minutos.

Os resultados do método *Speedy Test*, tendo em vista o método da estufa, obteve resultados inferiores ao esperado.

Em resumo, pode-se inferir que os métodos da estufa, frigideira e balança infravermelho podem ter apresentado resultados diferentes, apesar de estarem próximos, devido a falha na execução ou umidade relativa do ar alta, visto que, no dia de realização dos ensaios, esta umidade estava em torno de 85% podendo interferir

diretamente nos resultados obtidos. Já para o método *Speedy Test*, que apresentou maior variação, pode ter sofrido interferência da falta de calibração do manômetro ou falta de experiência do executor.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros, indica-se que seja utilizado o micro-ondas como método de determinação de teor de umidade desde que o solo não apresente em sua constituição metais, visto que, esse tipo de solo ao entrar em contato com as ondas emitidas pelo micro-ondas pode leva-lo explosão.

Além disso, é indicado, caso o solo não apresente, realizar os ensaios de caracterização do solo tais como granulometria completa, limites de plasticidade e liquidez, massa específica natural e massa específica dos sólidos.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação B. D. N. T. NBR 16097. **Solo - Determinação do teor de umidade - Métodos expeditos de ensaio**, 16 set. 2012. 9.

ABNT, Associação B. D. N. T. NBR 7180. **Solo - Determinação do limite de plasticidade**, 30 mar. 2016. 9.

ABNT, Associação B. D. N. T. NBR 6459. **Solo - Determinação do limite de liquidez**, 24 abr. 2017. 9.

ABNT, Associação B. D. N. T. NBR 7181. **Solo - Análise granulométrica**, 28 maio 2018. 16.

ABNT, Associação B. D. N. T. NBR 7182. **Solo - Ensaio de compactação**, 22 jan. 2020. 13.

ABNT, Associação B. D. N. T. NBR 6457. **Solos - Preparação de amostras para ensaios de compactação, caracterização e determinação do teor de umidade**, 09 jan. 2024. 11.

BADARÓ, João V. Análise estatística como ferramenta de tomada de decisões: Estudo de caso na determinação da umidade no controle tecnológico de uma estrutura de disposição de rejeito filtrado, Ouro Preto, 22 jun. 2022. 75.

BRAGA, Patricia M. Considerações de projeto para empilhamento de rejeito filtrado - Estudo de caso de minério de ferro, Belo Horizonte, Julho 2022. 58.

BUSKE, Taise C. Comportamento da umidade do solo determinada por métodos expeditos, Santa Maria, 2013. 68.

CAPUTO, Homero P. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações**. 8ª. ed. [S.l.]: LTC, 2022.

CHERLINKA, Vasyli. **Earth Observing System**, 2022. Disponível em: <https://eos.com/pt/blog/umidade-do-solo/#:~:text=Conte%C3%BAde%20mat%C3%A9ria%20org%C3%A2nica%3A%20Quanto,alto%20em%20temperaturas%20mais%20baixas.> Acesso em: 01 Março 2024.

DAVI, Matheus D. S. Comparação de métodos de obtenção de umidade do solo de Angicos/RN, Angicos, 2022. 47.

NASCIMENTO, Amanda C. Estudo comparativo do teor de umidade de solos e areias pelo método Speedy Test, termogravimétrico, frigideira e micro-ondas, Lavras, 2022. 71.

NASCIMENTO, Arlene C. Avaliação da umidade no perfil do solo a partir de sensoriamento remoto, Brasília, Março 2002. 107.

OLIVEIRA, Nivalda A. C. D.; MOTTA, Laura M. G. D. Influência da variação de umidade pós-compactação na deformação permanente de dois solos típicos de subleitos rodoviários brasileiros, Rio de Janeiro, 2021. 11.

SANTANA, Lucas D. S. Patologias na construção civil devido a umidade - Revisão de literatura, [s.d.]. 11.

SANTOS, L. G. F.; AGUIAR, V. A. F. ; MANCINI, M. C. Estudo da determinação da umidade de sinter feed em medidor de infravermelho, como técnica alternativa à proposta na norma NBR ISO 3087:2011, Uberlândia, 21 jul. 2019. 6.

TAVEIRA, Márcio R. *et al.* Determinação do conteúdo de água de solo pelo método da frigideira em um latossolo vermelho escuro, Goiânia, 2011. 5.