

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**MATHEUS RUBI SCHREINER
DEIVISON ERNANDES RODRIGUES**

**COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS DE OBTENÇÃO DO TEOR DE UMIDADE
UTILIZADOS NOS SERVIÇOS DE COMPACTAÇÃO DE SOLO**

CARATINGA

2018

MATHEUS RUBI SCHREINER
DEIVISON ERNANDES RODRIGUES

FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA

**COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS DE OBTENÇÃO DO TEOR DE UMIDADE
UTILIZADOS NOS SERVIÇOS DE COMPACTAÇÃO DE SOLO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil das Faculdades Doctum de Caratinga, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Geotecnia.

Orientador: Prof. MSc Eng. José Salvador Alves.

CARATINGA


2018

TERMO DE APROVAÇÃO

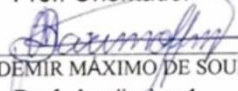
O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS DE OBTENÇÃO DO TEOR DE UMIDADE UTILIZADO NOS SERVIÇOS DE COMPATAÇÃO DE SOLOS, elaborado pelo(s) aluno(s) MATHEUS RUBI SCHREINER e DEIVISON ERNANDES RODRIGUES foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA CIVIL das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.


Caratinga 12/12/2018



JOSÉ SALVADOR ALVES
Prof. Orientador



CLAUDEMIR MÁXIMO DE SOUZA
Prof. Avaliador 1



SIDINEI SILVA ARAÚJO
Prof. Examinador 2

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Cc	Coefficiente de curvatura
Cu	Coefficiente de uniformidade
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
g	Gramma
H	Teor de umidade
H _{hot}	Teor de umidade ótima
Kpa	Quilopascal
ml	Mililitro
mm	Milímetro
Mpa	Megapascal
NBR	Norma brasileira
γ	Peso específico
γ_s	Peso específico seco

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Curva de Compactação.....	13
Figura 2 Compactação de diferentes tipos de solo.....	15
Figura 3 Análise pela curva de Proctor para diferentes solos.....	16
Figura 4 Gráfico do ensaio de compressão.....	19
Figura 5 Gráfico do ensaio de tração	20
Figura 6 Resultado do teste de compressão no solo-cimento.....	21
Figura 7 Aparelho Speedy	26
Figura 8 Aparelho Speedy e sua tabela	30
Figura 9 Curva Granulométrica	33

LISTA DE TABELA

Tabela 1 Relação dos grupos, pesos, porcentagens e quantidade de água	29
Tabela 2 Análise Granulométrica.....	32
Tabela 3 Valores para determinação da graduação do solo.....	33
Tabela 4 Valores obtidos pelo método do álcool	34
Tabela 5 Valores obtidos pelo método Speedy.....	35
Tabela 6 Valores obtidos pelo método da Frigideira.....	35
Tabela 7 Valores obtidos pelo método da Estufa.....	36
Tabela 8 Média dos resultados	36
Tabela 9 Coeficientes de correção dos métodos estudados	37

RESUMO

Algumas obras de engenharia necessitam da compactação do solo para aumentar a resistência à ruptura e assim dar continuidade ao serviço. Para se fazer a compactação é necessário saber o teor de umidade do solo, sendo este, variável dependendo do tipo de solo que se está trabalho, para isto foram criados e normatizados ensaios em campo para se averiguar a umidade do solo em campo. Estudos demonstram diferenças dos resultados obtidos entre os métodos em relação ao teor de umidade real do solo, outras pesquisas comprovam que pequenas diferenças nos teores de umidade podem ocasionar grandes perdas na resistência do solo. Sendo assim, este trabalho fez verificações entre os métodos normatizados que são Speedy, Álcool e Frigideira usando o método da estufa como padrão de relação entre eles, e foi proposto uma tabela com coeficientes de correção para cada ensaio referente aos teores de umidade trabalhados.

Palavras-chave: Compactação. Teor de umidade. Ensaio de umidade.

ABSTRACT

Some engineering works require compaction of the soil to increase the resistance to rupture and thus give continuity to the service. In order to compose it is necessary to know the moisture content of the soil, being this, variable depending on the type of soil that is being worked, for this were created and standardized field tests to ascertain the soil moisture in the field. Studies show differences in the results obtained between the methods in relation to the actual soil moisture content, other studies have shown that small differences in moisture content can cause large losses in soil resistance. Thus, this work made verifications between the standardized methods that are Speedy, Alcohol and Frying Pan using the greenhouse method as the standard of relation between them, and a table with correction coefficients was proposed for each test concerning the moisture contentes.

Keywords: Compression. Moisture content. Tests of humidity.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Contextualização	11
1.2 Objetivos	11
1.2.1 Objetivo geral	11
1.2.2 Objetivo específico	12
1.3 Justificativa.....	12
1.4 Estrutura do trabalho	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1 Compactação.....	13
2.2 Influência do tipo de solo na compactação	14
2.3 Resistência do solo x umidade do solo	17
2.4 Ensaios.....	21
2.4.1 Preparação do solo para ensaios.....	21
2.4.2 Ensaio de granulometria.....	22
2.4.3 Ensaio da Estufa	24
2.4.4 Ensaio Speedy	24
2.4.5 Ensaio do álcool	26
2.4.6 Ensaio da Frigideira	26
3 Metodologia	28
3.1 Material.....	28
3.2 Ensaios de caracterização.....	28
3.2.1 Ensaio de granulometria.....	28
3.3 Ensaios para determinação de umidade	28
3.3.1 Preparação das amostras	28
3.3.2 Procedimento dos ensaios	29
3.3.3 Procedimento do ensaio Speedy.....	29
3.3.4 Procedimento pelo método do Álcool.....	30
3.3.5 Procedimento pelo método da Frigideira.....	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
4.1 Análise granulométrica.....	32
4.2 Resultados dos ensaios de teor de umidade.....	34

4.3 Proposta do coeficiente de correção.....	37
5 CONCLUSÃO	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Para aumentar a resistência de um determinado solo é feito um procedimento chamado compactação, onde é aplicada uma energia no solo reduzindo o seu índice de vazios, tornando-o mais denso, melhorando também características como permeabilidade, absorção da água, compressibilidade.

Solos mal compactados geram problemas de fissuras, rachaduras, queda de resistência, aumentando os custos da obra para resolver os problemas, quando estes não são irreversíveis.

Os fatores determinantes para garantir uma adequada compactação do solo é a energia aplicada e a quantidade de água dentro do solo, uma vez que esta deve estar no seu ponto ideal também conhecido como umidade ótima. Quando tem água insuficiente no solo torna-se a interação de um grão com outro mais difícil, impedindo de se reagruparem, por outro lado, água em excesso impede a saída do ar de dentro do solo e conseqüentemente, ambas as situações, prejudicam a resistência do solo.

Sabendo da importância do teor de umidade no momento da compactação, foram desenvolvidos ensaios para obter estes valores em campo que são speedy, frigideira e álcool. Estudos demonstram que existem divergências destes resultados entre si e com relação ao ensaio adotado para os projetos que é o da estufa.

Outras pesquisas comprovam que variações de 2% da umidade em relação ao seu valor considerado ótimo, implica em redução significativa da resistência do solo. Este trabalho propõe um fator de correção da umidade obtida no campo para compatibilizá-la com a umidade ótima de projeto determinada a partir do ensaio na estufa.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é avaliar as diferenças entre os valores de teor de umidade encontrados nos ensaios de campo em relação ao da estufa, para fins de

compactação do solo. Os ensaios foram feitos utilizando um solo arenoso retirado de um aterro na cidade de Caratinga, Minas Gerais.

1.2.2 Objetivo específico

São objetivos específicos do presente trabalho:

- Realizar a caracterização do solo;
- Obter o valor de umidade através do ensaio da estufa feito em laboratório, de acordo com a ABNT NBR 6457/2016;
- Realizar os testes de umidade através dos métodos do álcool (DNER – ME 088/94), speedy e frigideira (ABNT NBR 16097/2012).
- Propor um coeficiente de correção dos valores de umidade obtidos em campo.

1.3 Justificativa

Atualmente existem diversas formas de obter os teores de umidade do solo in situ, mas ainda assim existem diferenças dos valores obtidos entre os testes para um mesmo material, e para o ensaio adotado nos projetos, gerando insegurança no momento de executar o serviço de compactação do solo e até mesmo compromete-lo com ocorrências de recalques, fissuras, rachaduras. Por isso a importância de ter resultados em campo que correspondam aos valores definidos no projeto de compactação.

1.4 Estrutura do trabalho

Capítulo 1: Trata da abordagem inicial do tema proposto, contendo a contextualização, objetivos, justificativa e a estrutura do trabalho.

Capítulo 2: Descreve as pesquisas referentes que dão suporte ao tema.

Capítulo 3: Aborda todos os procedimentos e normas que adotados na pesquisa para realização dos ensaios e validação da mesma.

Capítulo 4: Apresenta-se os resultados e as análises dos mesmos.

Capítulo 5: Conclusões e considerações finais desta pesquisa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

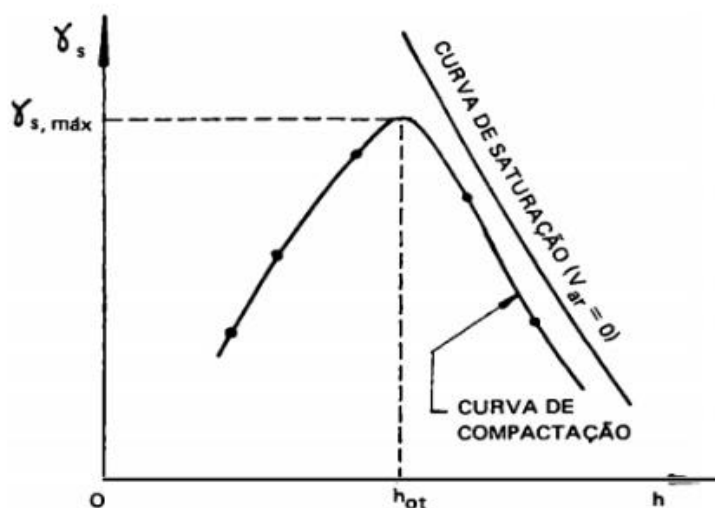
2.1 Compactação

Na década de 1930 o engenheiro Ralph R. Proctor publicou um artigo, nos Estados Unidos, sobre suas observações na compactação de aterros de solos, demonstrando que a aplicação de uma quantidade de golpes de um soquete sobre o solo contido num molde em laboratório ou aplicando uma quantidade de energia de compactação, representada por um determinado número de passadas de um equipamento de compactação no campo, indicava a existência de uma relação entre o teor de umidade da compactação e a massa específica aparente seca, para um valor específico de energia de compactação utilizada.

Segundo Pinto (2006), houve uma padronização internacional do ensaio de compactação, com algumas pequenas mudanças com base neste estudo de Proctor sendo mais conhecido com Ensaio de Proctor. No Brasil, o ensaio de compactação Proctor é normatizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 7182/2016), com o nome de Solo – ensaio de compactação.

Segundo Caputo (1996), foi observado na compactação do solo, com diferentes teores de umidade para uma mesma energia de compactação, uma curva de variação do peso específicos γ_s , em função do teor de umidade h , cujo gráfico está representado na na Figura 1.

Figura 1 Curva de Compactação



Fonte: Caputo (1996)

Caputo (1996) fala que caso queira obter a massa específica seca máxima do solo, é preciso realizar o Ensaio de Proctor com ao menos 5 amostras deste solo, variando a umidade do mesmo em 2% para cada amostra. Com os resultados encontrados é montado o gráfico e será encontrado o valor máximo da densidade correspondente a umidade ótima.

Senço (1997), explica que, através da compactação com uma determinada energia, obtém-se a densidade máxima aparente de um solo, para uma umidade denominada ótima. Nesta condição tem-se a maior quantidade de partículas sólidas por unidade de volume, ou seja, obtém-se uma rigidez mais estável desse solo. Assim, para toda e qualquer execução de obras que necessitem da construção de aterros, a obtenção das maiores densidades possíveis é fator de segurança e estabilidade, inclusive pela melhoria da impermeabilidade deste solo compactado.

Como dito, é necessário ter os valores mais próximos da relação entre teor de umidade e a massa específica seca máxima do solo, garantindo uma maior segurança e qualidade para as construções.

2.2 Influência do tipo de solo na compactação

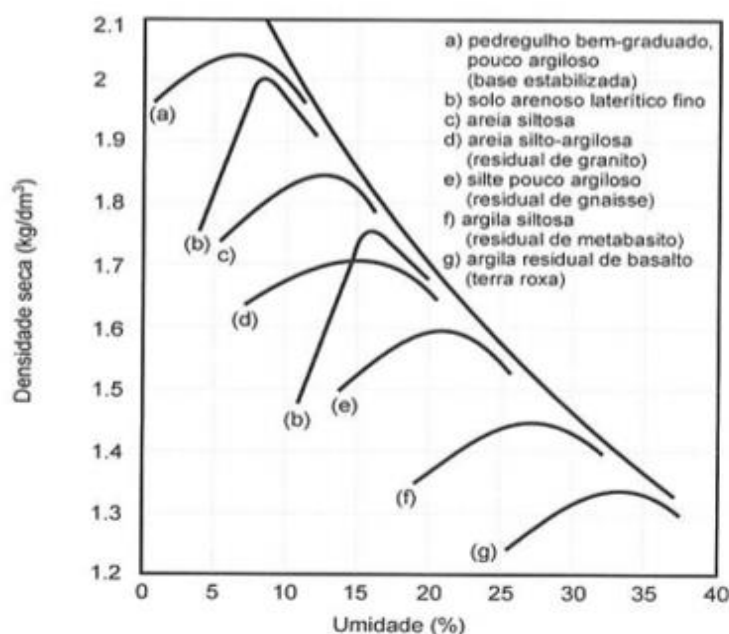
A estrutura de um solo compactado está diretamente ligada aos fatores que afetam o ensaio de compactação: a umidade do solo, o número e a espessura das camadas, a energia de compactação e o tipo equipamento utilizado. Logo, a estrutura de um solo compactado depende da constituição do solo, do tipo e do estado inicial do solo, e também do tipo de compactação.

“Quando todos os solos de um país como o nosso, de dimensões continentais, forem estudados e classificados, o seu número deverá contar entre milhares.” (BERTONI E NETO, 2014, pág 28). Como dito por Bertoni e Neto devido à grande diversidade dos solos o número significativo de fatores que influenciam na compactação e na estrutura do solo, torna-se indispensável o seu conhecimento, para que possam ser estudados e adaptados a fim de se conseguir interpretar os resultados obtidos.

Bertoni e Neto (2014) relatam que a textura é a distribuição de tamanhos das partículas que compõe um solo e que este é um dos principais fatores no uso do solo. Para Werk (2000, apud Mitchell, 1993) a estrutura é um dos elementos de maior

importância na determinação do comportamento de um solo compactado e está diretamente ligada aos fatores que afetam o ensaio de compactação (Figura 2).

Figura 2 Compactação de diferentes tipos de solo

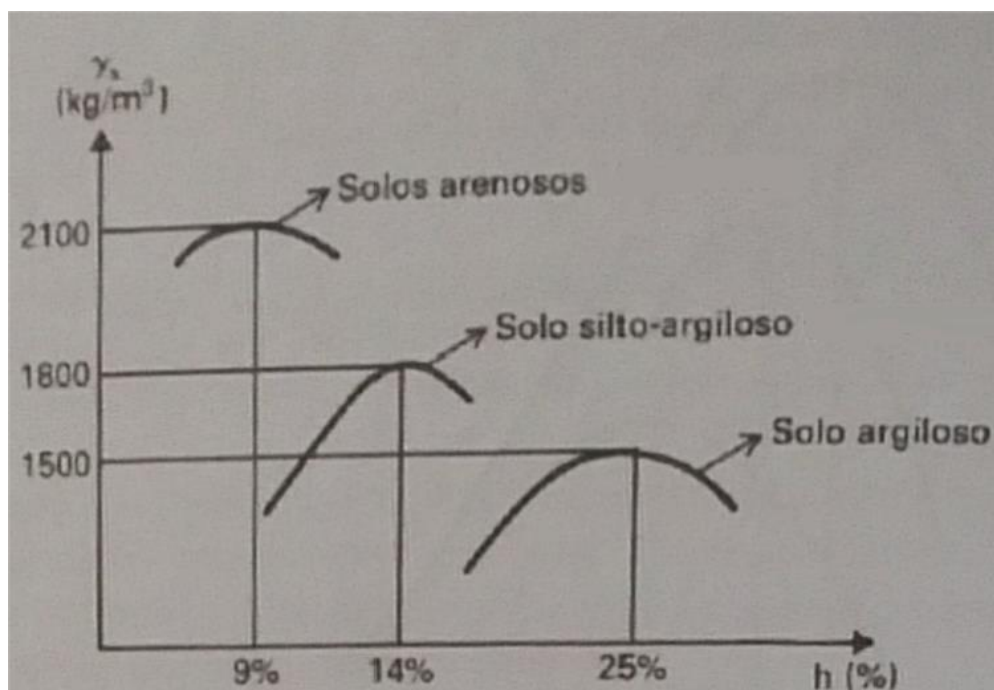


Fonte: Pinto (2006)

Ainda nesta análise, Pinto (2006) mostra conforme a Figura 2 um gráfico com diferentes tipos de solos e seus pesos específicos máximos obtidos através de ensaios de compactação. Como pode ser observado, os solos de granulação grossa obtêm os maiores valores de peso específico seco, ou seja, eles têm maior resistência à ruptura.

Ricardo e Catalani (2007) constataram que os solos predominantemente arenosos possuíam maior massa específica aparente e menor teor de umidade, comparando com outros tipos de solo, como os solos argilosos e silto-argilosos, que tiveram valores inferiores de massa específica aparente e maior teor de umidade, os dados podem ser vistos conforme a curva de poctor mostrada na Figura 3.

Figura 3 Análise pela curva de Proctor para diferentes solos



Fonte: Ricardo e Catalani (2007)

Segundo Pinto (2006, pág 282) “Quanto mais bem distribuída Granulometricamente é uma areia, melhor o entrosamento entre as partículas e, conseqüentemente, maior o ângulo de atrito”. Em mecânica dos solos referimos como solos arenosos os tipos de solo que contem quase ou nenhum tipo de solo fino (Pinto, 2006).

Conclui-se que os solos arenosos têm uma alta capacidade de resistência e por isso são largamente utilizados em obras de engenharia que necessitam deste fator, abaixo está a Quadro 1 de uma empresa americana chamada (Multiquip) classificando os melhores tipos de solo para cada tipo de obra.

É possível observar através dos autores e deste exemplo (Quadro 1) de uma empresa especializada em obras de terra, os solos grossos com quase um nenhum fino são os mais indicados em obras de engenharia como estradas, fundações e barragens. Como está pesquisa é direcionada para avalaria e comparar o valor a umidade do solo destinado à compactação para estes tipos de obra, utilizou-se então apenas solo arenoso pois são muito utilizados e estão dentro da faixa granulométrica aceita pelas normas dos ensaios.

Quadro 1 Classificação do solo por obra de engenharia

PREFERÊNCIA DE SOLOS RELACIONADA A ATERRO COMPACTADO													
Tipo do Grupo	Tipo do Solo	Preferência relacionada a vários usos (1=melhor; 14=menos interessante)											
		Barragens de Terra Rolada			Seções de Canais		Fundações		Estradas				
		Barragem Homogênea	Núcleo	Revestimento	Resistência à Erosão	Revestimento de Argila Compactada	Infiltração Importante	Infiltração não importante	Aterros		Acabamento Superficial		
								Congelamento Impossível	Congelamento Possível				
CASCALHOS	GW	Cascalhos de boa qualidade, misturas de cascalho e areia, poucos finos ou nenhum	--	--	1	1	--	--	1	1	1	3	
	GP	Cascalhos de baixa qualidade, misturas de cascalho e areia, poucos finos ou nenhum	--	--	2	2	--	--	3	3	3	--	
	GM	Cascalhos siltosos, misturas de baixa qualidade de cascalho, areia e silte	2	4	--	4	4	1	4	4	9	5	
	GC	Cascalhos argilosos, misturas de baixa qualidade de cascalho, areia e silte	1	1	--	3	1	2	6	5	5	1	
AREIAS	SW	Areias de boa qualidade, areias com cascalho, poucos finos ou nenhum	--	--	3*	6	--	--	2	2	2	4	
	SP	Areias de baixa qualidade, areias com cascalho, poucos finos ou nenhum	--	--	4*	7*	--	--	5	6	4	--	
	SM	Areias siltosas, misturas de baixa qualidade de areia e silte	4	5	--	8*	5**	3	7	6	10	6	
	SC	Areias argilosas, misturas de baixa qualidade de areia e argila	3	2	--	5	2	4	8	7	6	2	
ARGILAS & SILTES MAGRO	ML	Siltos inorgânicos e areias muito finas, pó de pedra, areias finas siltosas ou argilosas com pouca elasticidade	6	6	--	--	6**	6	9	10	11	--	
	CL	Argilas inorgânicas de elasticidade baixa a média, argilas com cascalho, argilas arenosas, argilas siltosas, argilas pobres	5	3	--	9	3	5	10	9	7	7	
	OL	Siltos orgânicos e argilas siltosas orgânicas de baixa elasticidade	8	8	--	--	7**	7	11	11	12	--	
	MN	Siltos orgânicos, solos siltosos ou de areia fina micácea ou diatomácea, siltos elásticos	9	9	--	--	--	8	12	12	13	--	
	GORDO	CH	Argilas inorgânicas de elasticidade alta, argilas gordurosas	7	7	--	10	8***	9	13	13	8	--
		OH	Argilas orgânicas de elasticidade média-alta	10	10	--	--	--	10	14	14	14	--

Fonte: Multiquip (2018)

2.3 Resistência do solo x umidade do solo

Segundo Knappett e Craig (2014), existem dois fatores que são mais importantes dentre os que influenciam na compactação do solo: teor de umidade e energia de compactação.

García et. al. (2012) estudou o efeito da umidade de um determinado solo, com o objetivo de avaliar a relação entre a resistência ao cisalhamento e variação entre os parâmetros de massa específica seca e umidade do ensaio Proctor. Nos resultados, foi verificado que a maior força de resistência ao cisalhamento do solo foi alcançada com umidade inferior a umidade ótima.

Silva (2015, apud Jianqiang e Jing, 2000) também relataram que a resistência ao cisalhamento aumenta com o incremento da massa específica, mas a razão desse aumento é maior quando se tem menores umidades. Os resultados deste estudo apoiam o argumento de que a resistência do solo compactado é uma função do conteúdo de água.

Segundo Ricardo e Catalani (2007) afirmam que o teor de umidade e o volume de vazios de um solo determina diretamente o atrito interno que, por sua vez, determina a resistência à ruptura por cisalhamento de um solo. Eles também articulam que a maior área de contato entre as partículas, deve-se ao menor volume de vazios aumentando o atrito de partícula as partículas.

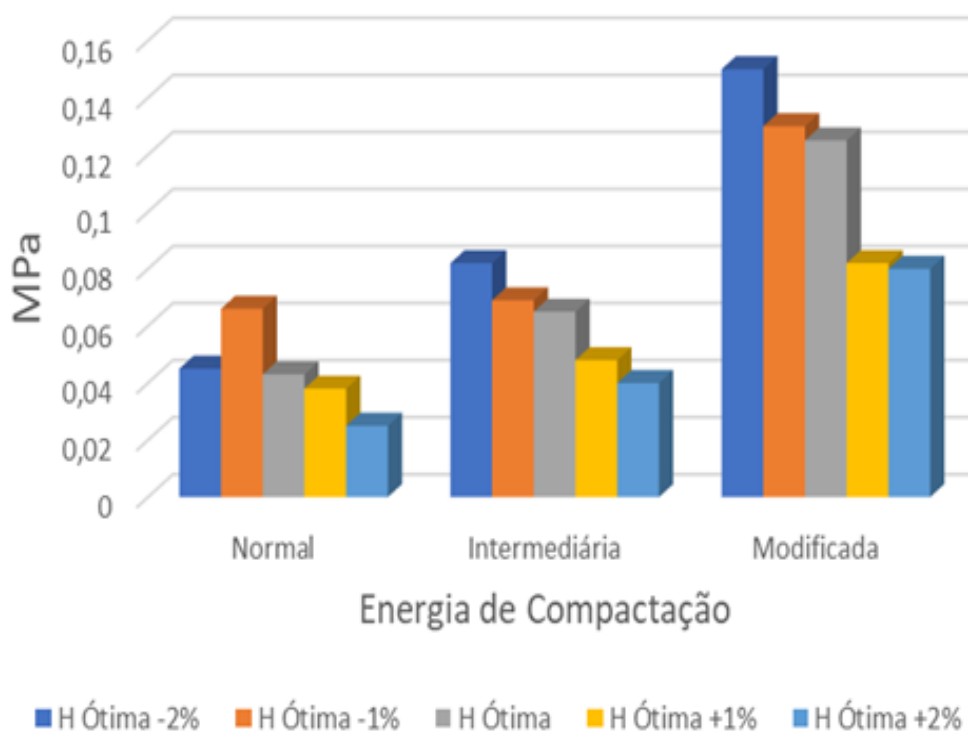
O volume de vazios é determinado por dois parâmetros: granulação do solo e o teor de umidade. “Um solo bem graduado tem pequeno volume de vazios [...] As variações de volume dependem diretamente do teor de umidade” (RICARDO E CATALANI, 2007, pág 37).

Na mesma linha de pesquisa, Silva (2015, apud Adekalu, 2007), ao trabalhar com solos arenosos e argilosos verificou que nos níveis de energia de compactação mais elevados ocorre aumento da massa específica e da força de cisalhamento, enquanto a força de cisalhamento diminuiu com o aumento do conteúdo de água no solo; para todos os níveis de compactação, a massa específica aumentou com o acréscimo do teor de água até atingir um valor máximo e diminuiu com progressiva agregação de água. A taxa de aumento da resistência ao cisalhamento diminuiu com o aumento da umidade, essa diminuição é atribuída às menores forças delimitadoras devido à menor sucção. Conseqüentemente, o teor de umidade é o fator mais importante que afeta o valor da força de cisalhamento.

Os autores deixam claro que, para atingir a resistência máxima do solo é necessário conhecer a umidade ótima para se alcançar a massa específica máxima do solo e valores distantes dessa interferem diretamente na resistência, tornando o solo mais fraco. A determinação dessas propriedades desempenha um papel importante na concepção de projetos de compactação.

Na Figura 4 é apresentado o gráfico do trabalho de pós-graduação em engenharia civil e ambiental de Campina Grande da autora Silva (2015), o estudo dela foi em relação aos diferentes parâmetros de energia de compactação e os teores de umidade que interferem diretamente na resistência do solo, demonstrando que valores de umidade com variações de 2% já são suficientes para ter variações de mais de 50% da resistência do solo (Figura 4).

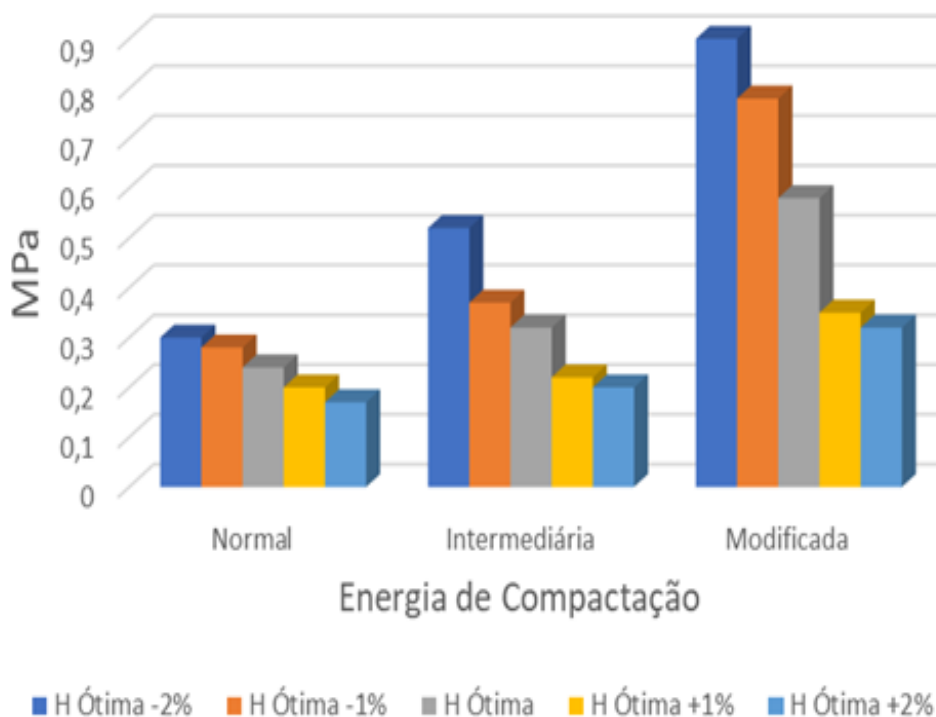
Figura 4 Gráfico do ensaio de compressão



Fonte: Silva (2015)

A Figura 4 mostra os valores obtidos ao ensaio de compressão dos solos compactados com diferentes valores de umidade e com três tipos diferentes de energia de compactação, na Figura 5 segue os mesmos parâmetros do solo, mas para o ensaio de tração. Silva (2015, pág 155), explica:

O estudo da variação de umidade foi importante para verificar o quão rigoroso deve ser o controle do teor de umidade de compactação durante a compactação em campo, uma vez que teores de umidade, superiores em até 2% da umidade ótima, podem provocar reduções acima de 50% da resistência mecânica.

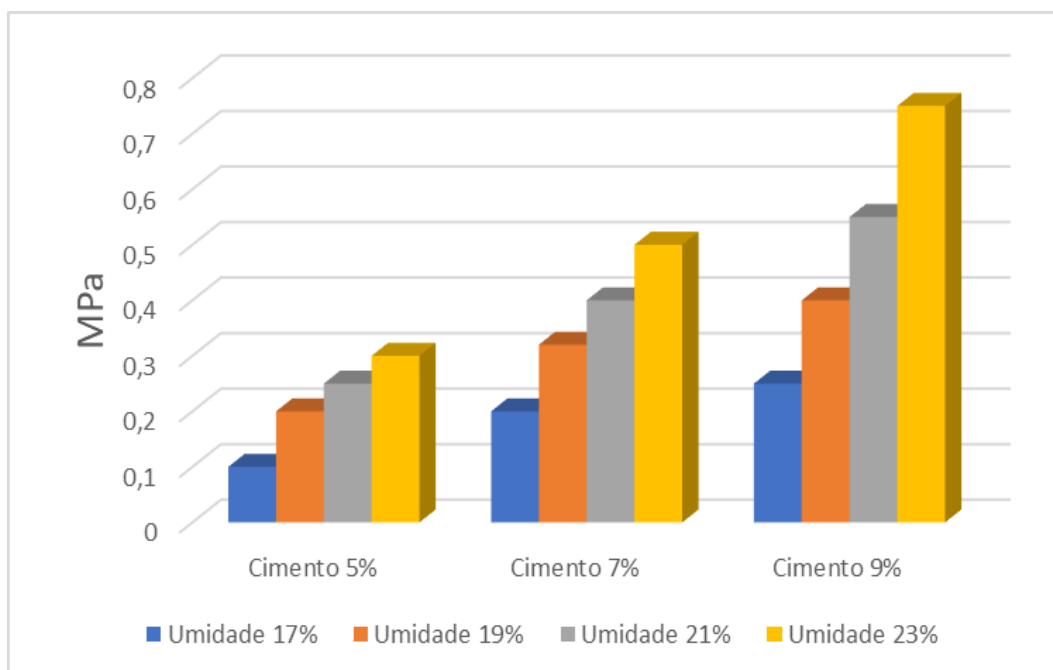
Figura 5 Gráfico do ensaio de tração

Fonte: Silva (2015)

Silva (2015), demonstra que para o solo utilizado na pesquisa, os valores de 2% abaixo da umidade ótima, obtiveram os maiores resultados para resistência dos solos, chegando a uma diferença de mais de 50% entre o solo com 2% abaixo da umidade ótima e o solo com 2% acima da umidade ótima.

Seguindo está mesma temática, um segundo estudo sobre solo-cimento para área de pós-graduação em engenharia civil do Rio Grande do Sul da autora Rosa (2013), mostra que para valores de massa específica seca encontra-se diferentes valores de resistência para o solo cimento, utilizando a mesma quantidade de cimento e alterando apenas o teor de umidade em cada aplicação. Segue abaixo os gráficos de seu estudo (Figura 6).

Observando-se a variação da resistência à tração com o teor de umidade, para 15kN/m³ e 16kN/m³ de peso específico aparente seco e teores de cimento de 3, 5, 7 e 9% verifica-se, novamente, o aumento da resistência frente ao aumento do teor de umidade da mistura em questão. (ROSA, 2013, pág. 51)

Figura 6 Resultado do teste de compressão no solo-cimento

Fonte: Rosa (2013)

Observando o gráfico nota-se um ganho na resistência dos três tipos de solo-cimento (5%, 7% e 9% de cimento em relação ao solo), variando em cada um apenas o teor de umidade, e obteve valores que variam de 220 KPa até 750 KPa um aumento de 340%.

2.4 Ensaios

Será apresentado todos os procedimentos e ensaios seguindo as normas da ABNT necessários para coleta, preparação e ensaios de teor de umidade para o solo analisado.

2.4.1 Preparação do solo para ensaios

A norma da ABNT NBR 6457/2016 – Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, “Esta norma prescreve o método para a preparação de amostras de solos para os ensaios de compactação e de caracterização (análise granulométrica, determinação dos limites de liquidez e plasticidade, massa específica dos grãos que passam na peneira de 4,8 mm e massa específica, massa específica aparente e absorção de água dos grãos retidos na

peneira 4,8mm). No anexo apresenta-se, ainda, o método para determinação do teor de umidade de solos, em laboratório. ”

Preparação com secagem prévia até a umidade higroscópica:

- Secar a amostra ao ar, até próximo da umidade higroscópica;
- Desmanchar os torrões, evitando-se quebra de grãos, e homogeneizar a amostra;
- Com o auxílio do repartidor de amostrar, ou pelo quarteamento, reduzir a quantidade de material até se obter uma amostra representativa em quantidade suficiente para realização do ensaio.

2.4.2 Ensaio de granulometria

Seguindo a norma da ABNT NBR 7181/2016 – Solo – Análise Granulométrica. O ensaio de granulometria é utilizado para determinar a distribuição granulométrica do solo, ou em outras palavras, a percentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de grãos, representa na massa seca total utilizada para o ensaio.

O principal objetivo é conhecer a distribuição granulométrica do agregado, e representa-la através de uma curva, possibilitando assim a determinação de suas características físicas (Quadro 2).

Quadro 2 Classificação de acordo com a granulometria

Classificação	Diâmetro dos grãos
Bloco de Rocha	$d > 1000$
Matação	$200 < d < 1000$
Seixo	$60 < d < 200$
Grânulo	$2 < d < 60$
Areia grossa	$0,6 < d < 2$

Continuação

Conclusão

Areia média	0,2<d<0,6
Areia fina	0,06<d<0,2
Silte	0,002<d<0,06
Argila	d<0,002

Fonte: ABNT NBR 6502 (1995)

A curva de distribuição granulométrica de um solo representa não apenas os tamanhos dos grãos, mas também a forma como os mesmos estão distribuídos no material.

Três parâmetros são importantes para a caracterização de uma curva granulométrica, conforme as classificações: diâmetro efetivo (D_{ef} ou D_{10}), coeficiente de uniformidade (C_u) e coeficiente de curvatura (C_c).

Os valores de C_u são definidos conforme a Equação 1:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (1)$$

Onde:

D_{60} = É o tamanho das partículas do solo passantes em 60%

D_{10} = É o tamanho das partículas do solo passantes em 10%

Os valores de C_c são definidos conforme a Equação 2:

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

Onde:

D_{30} = É o tamanho das partículas do solo passantes em 30%

Os solos bem graduados apresentam coeficientes de curvatura entre 1 e 3. Quanto ao coeficiente de uniformidade, o mesmo apresenta valores variados para solos muito uniformes ($C_u < 5$), medianamente uniformes ($5 < C_u < 15$) e solos

desuniformes, sendo estes últimos referidos também como bem graduados ($C_u > 15$) (Das, 2007).

2.4.3 Ensaio da Estufa

Seguindo a norma da ABNT NBR 6457/2016 Anexo – Determinação do teor de umidade de solos

O método da estufa, obtém o índice físico após a secagem de uma amostra natural por um período de pelo menos 24 horas, em um aparelho, que a temperatura deverá ser constantemente mantida em torno de 105°C a 110°C, de acordo com a NBR 6457/2016. Em alguns casos, segundo a Teoria dos solos tropicais, essa temperatura poderá permanecer entre 60 e 80°C, mas devendo prevalecer o mesmo período de tempo.

Atualmente, esse é o método mais preciso de determinação do teor de umidade dos solos, sendo aplicado em laboratórios. Essa metodologia apresenta vantagem em relação às demais, porque apresenta resultados confiáveis, porém traz como inconveniente, o tempo excessivo para obtenção desse índice físico.

Seguindo a Equação 3:

$$h = \frac{(M_1 - M_2)}{(M_2 - M_3)} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

h = Teor de umidade (%)

M1 = massa do solo úmido mais capsula (g)

M2 = massa do solo seco mais (g)

M3 = massa do recipiente (g)

2.4.4 Ensaio Speedy

O método do umidímetro tipo Speedy, praticado em campo, é um procedimento padronizado pela ABNT NBR 16097/2016 Solo – Determinação do teor de umidade – Métodos expeditos de ensaio, fixa o procedimento para a determinação do teor de umidade de solos pelo emprego do aparelho Speedy. O método é aplicável somente

para solos que não contenham pedregulho, ou agregado, e é apropriado somente para o controle de compactação de solos, solo-cimento e misturas estabilizadas, de granulometria fina. Speedy é um aparelho patenteado a nível mundial, e que se destina à determinação rápida do teor de umidade e já incorporada à tecnologia brasileira.

A preparação da amostra do solo segue a seguinte sequência: Prepara-se e pesa usando a balança uma amostra de areia úmida, em seguida, para determinar a pressão, coloca na garrafa do aparelho duas esferas de aço e duas ampolas de carbureto de cálcio. É preciso colocar na garrafa o peso exato da amostra desagregada, de acordo com a umidade prevista. Mantendo a tampa do aparelho para cima, agita-se vigorosamente cerca de dez vezes, com movimentos verticais a fim de uniformizar a temperatura do aparelho. Coloca-se o aparelho em posição horizontal para efetuar a leitura do manômetro, após o estacionamento de sua agulha.

Deve-se destampar o aparelho para despejar o seu conteúdo numa superfície limpa, para inspeção. O operador deve destampar o aparelho com cuidado, mantendo-o afastado de seu rosto, pois os gases que escapam são tóxicos e explosivos.

Por fim determina-se a umidade pela curva de calibragem do manômetro onde o grau de imprecisão dependerá do tipo de solo.

A determinação do teor de umidade de solos e agregados miúdos com a utilização deste método tem base na reação química da água existente em uma amostra com o carbureto de cálcio, realizada em ambiente confinado.



(carbureto de cálcio + água \diamond acetileno + hidróxido de cálcio)

O gás acetileno ao expandir-se gera pressão proporcional a quantidade de água existente na amostra. A leitura dessa pressão em um manômetro permite a avaliação da quantidade de água em uma amostra, e em consequência, de seu teor de umidade (Figura 7).

Figura 7 Aparelho Speedy

Fonte: <http://www.solocap.com.br> (2018)

2.4.5 Ensaio do álcool

É um ensaio normatizado pelo departamento nacional de infraestrutura e transporte (DNER – ME 088/94). Neste método, primeiramente limpa-se a frigideira, logo em seguida, deve-se pesar a amostra de solo úmido, e colocar dentro da frigideira seguido por cima da areia uma porção de álcool até cobrir a amostra. Após colocar o álcool na amostra de solo, cuidadosamente inflama-se o álcool utilizando isqueiro. Deve-se esperar o fogo apagar sozinho, e repetir o procedimento mais duas vezes. Após a finalização, pesa-se novamente a amostra afim de se obter o valor de umidade do solo.

2.4.6 Ensaio da Frigideira

Também é um ensaio regido pela norma ABNT NBR 16097/2016 Solo – Determinação do teor de umidade – Métodos expeditos de ensaio. Através do método de frigideira diretamente ao fogo, inicialmente deve-se limpar a frigideira, em seguida pesar a amostra coletada.

O solo úmido é colocado na frigideira e acende-se o fogareiro, deixa a frigideira em cima do fogareiro e revolve o solo com uma espátula para melhor espalha-lo sobre a frigideira, decorrido alguns minutos segura uma superfície de vidro acima da

frigideira, caso esta fique embaçada, significa que o solo ainda contém umidade, e deve-se continuar o procedimento até a superfície de vidro não ficar mais embaçada. Retirada toda a umidade pesa-se novamente a amostra, para determinar a umidade.

3 METODOLOGIA

3.1 Material

O solo usado foi de um aterro na região de Caratinga – MG, seguindo os estudos da revisão bibliográfica, onde os solos arenosos são frequentemente usados por conta de sua característica a maior resistência a compressão do que os solos finos, e através dele foram feitos os ensaios de determinação do teor de umidade. Levados até o laboratório das Faculdades Integradas de Caratinga (FIC), para o início dos ensaios.

3.2 Ensaio de caracterização

Iniciou-se os testes a partir do ensaio de caracterização do solo. O tipo de solo para o presente estudo foi o arenoso com pouco ou nenhum fino graças ao seu uso em obras que necessitam de resistência a compressão. Tendo a confirmação do tipo de solo através da caracterização, será dado início aos ensaios de umidade.

3.2.1 Ensaio de granulometria

Foi colocado 1500g de amostra na estufa a 105^o graus por 24h para secagem prévia do material. Decorrido o tempo, o solo foi retirado e destorroado, pesou-se 1100g para iniciar os testes de peneiramento utilizando as faixas de peneiras e o procedimento de pesagem de cada uma, como dita a norma ABNT NBR 7181/2016.

3.3 Ensaio para determinação de umidade

3.3.1 Preparação das amostras

Tendo a curva granulométrica e confirmando o solo, houve a secagem de todo o material e foi separado em grupos, cada grupo teve um teor de umidade diferente que foi calculado referente ao peso da amostra seca, lembrando que as normas de ensaios para determinação de umidade já predefinem o peso do solo para cada ensaio, sendo do speedy 20 gramas para 5%, 10 gramas para 10% e 15% e 5 gramas

para 20%, frigideira 200 gramas e álcool 50 gramas, ambos para todas as porcentagens. Também foi retirado 3 amostras de cada ensaio para determinação de umidade pelo método da estufa, determinando assim a umidade real do solo de cada grupo do ensaio. Segue a Tabela 1:

Tabela 1 Relação dos grupos, pesos, porcentagens e quantidade de água

<i>Grupos</i>	<i>Peso do solo (g)</i>	<i>Teores de umidade</i>	<i>Água (ml)</i>
<i>Grupo 1</i>	1500	5%	75
<i>Grupo 2</i>	1500	10%	150
<i>Grupo 3</i>	1500	15%	225
<i>Grupo 4</i>	1500	20%	300

Fonte: Autores, 2018

3.3.2 Procedimento dos ensaios

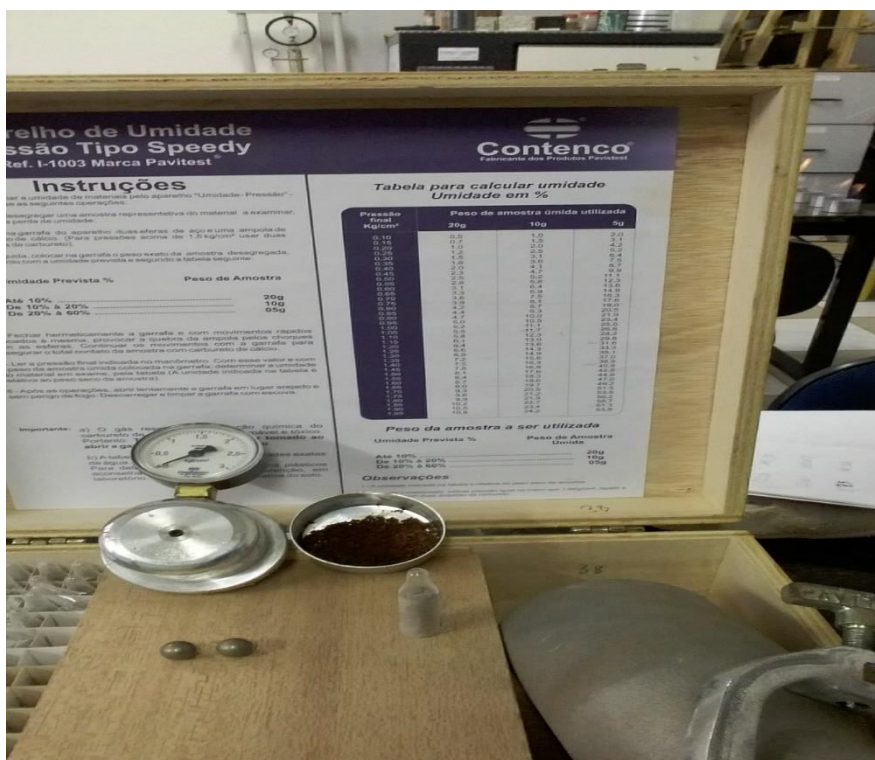
Cada grupo foi destorroado e pesado em uma balança de precisão. Foi utilizado um medidor para a quantidade de água calculada, sendo misturada ao solo seco por espátulas até sua total homogeneização. Pesou-se as capsulas e o solo umedecido de acordo com cada ensaio, três amostras de cada grupo foram colocadas na estufa a 105°C por 24h e foi iniciado os demais testes, speedy, álcool e frigideira.

3.3.3 Procedimento do ensaio Speedy

Foram enumeradas, pesadas as 5 capsulas e adicionadas ao solo umedecido, que também foi pesado de acordo com seu teor de umidade (20 gramas para 5%, 10 gramas para 10% e 15% e 5 gramas para 20%). Para cada ensaio, o aparelho speedy foi limpo e colocado dentro por dentro duas esferas de metal, uma capsula de carbureto e o solo umedecido, foi fechado, agitado por 1 minuto e aguardado mais 1 minuto para estabilização da pressão, foi feita a leitura do manômetro e olhado na

tabela que acompanha o aparelho, especificando o teor de umidade do solo no presente ensaio. Abaixo Figura 8 do aparelho e sua tabela.

Figura 8 Aparelho Speedy e sua tabela



Fonte: Autores, 2018

3.3.4 Procedimento pelo método do Álcool

Como no método speedy, também foram enumeradas e pesadas 5 capsulas que foram adicionadas 50 gramas do solo umedecido para cada grupo, foi acrescentado álcool 92,8% em cada capsula já com o solo umedecido, até cobrir cada amostra e colocado fogo com fósforo, após as chamas se dissiparem, repetiu-se o processo num total de três vezes. Novamente foi pesado e descontado o valor da capsula para encontrar o peso do solo seco. Com os valores do peso do solo úmido e o peso do solo seco utilizou-se a equação 3 para encontrar o teor de umidade.

3.3.5 Procedimento pelo método da Frigideira

Diferente dos outros dois métodos, para o método da frigideira foi feita a pesagem da frigideira e a espátula utilizada para mexer o solo, adicionando 200

gramas de solo úmido na frigideira e colocado em cima do fogareiro. Passados alguns minutos mexendo o solo na frigideira em cima do fogareiro, segurou um vidro acima da frigideira, caso este estivesse embaçado significava que o solo ainda continha água e o teste deveria continuar, caso o vidro continuasse limpo o ensaio poderia ser encerrado.

Após encerrado o ensaio, novamente foi pesada a frigideira, juntamente com a espátula e o solo, desta vez seco, e diminuído pelo valor encontrado da aparelhagem, encontrando assim, o valor do peso do solo seco. Utilizando a Equação 3 encontra-se o teor de umidade do solo, iniciando novamente o teste até cobrir toda a amostragem.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise granulométrica

O solo em estudo foi retirado de um aterro, conforme o que foi apresentado na revisão bibliográfica, onde os solos arenosos são frequentemente usados por causa de sua característica de a maior resistência ao cisalhamento do que os solos finos e através dele foram feitos os ensaios de determinação do teor de umidade, abaixo está a análise granulométrica do solo (Tabela 2).

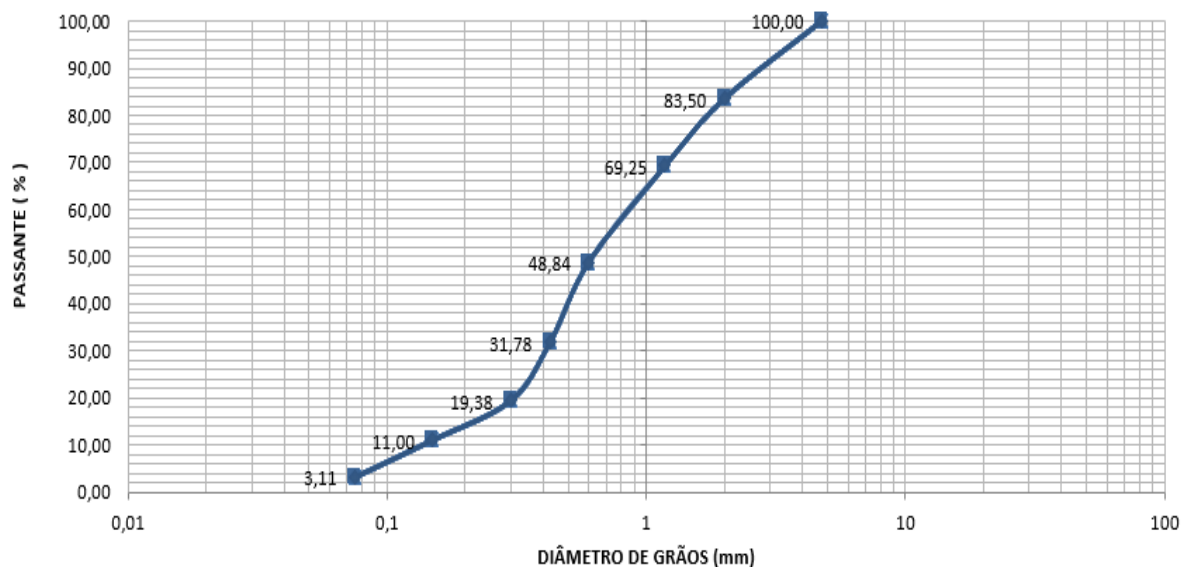
Tabela 2 Análise Granulométrica

<i>Peneira</i>	<i>Abertura (mm)</i>	<i>Massa Ret. (g)</i>	<i>% Ret.</i>	<i>% Ret. Acum.</i>	<i>% Que passa</i>
4	4,75	0	0	0	100
10	2	181,51	16,50	16,50	83,50
16	1,18	156,74	14,25	30,75	69,25
30	0,6	224,56	20,41	51,16	48,84
40	0,425	187,65	17,06	68,22	31,78
50	0,3	136,40	12,40	80,62	19,38
100	0,15	92,23	9,38	89,00	11,00
200	0,075	86,85	7,89	96,89	3,11
Fundo		34,17	3,11	100	0
<i>TOTAL</i>		1100,11	100		

Fonte: Autores, 2018

Como visto pela Tabela 2 o solo é arenoso, mas também é necessário saber o coeficiente de uniformidade e o coeficiente de curvatura, para determinar se é um solo uniforme e granular, abaixo encontrar-se a Figura 9 da curva granulométrica do solo.

Figura 9 Curva Granulométrica



Fonte: Autores, (2018)

Os valores de D60, D30 e D10 foram obtidos através da curva granulométrica, com estes valores foram calculados a coeficiente de uniformidade (Cu) e o coeficientes de uniformidade (Cc) de acordo com as Equações 1 e 2. Os seus respectivos valores estão na Tabela 3.

Tabela 3 Valores para determinação de graduação do solo

D60	0,92
D30	0,41
D10	0,14
Cu	6,55
Cc	1,29

Fonte: Autores (2018)

Conforme Das (2007) os resultados de Cu e Cc, estão dentro dos limites para determinação de um solo arenoso bem graduado.

Conseguindo o tipo de solo adequado como cita Gonçalves (2016, pág 25) “na estabilização granulométrica procura-se obter um material bem graduado e de

percentagem limitada de partículas finas”, no nosso caso um solo arenoso com quase nenhum fino e bem graduado.

4.2 Resultados dos ensaios de teor de umidade

Os ensaios para determinação dos teores de umidade foram realizados e os seus valores obtidos para cada método de ensaio estão apresentadas em forma de tabelas (Tabela 4).

Tabela 4 Valores obtidos pelo método do álcool

	5%	10%	15%	20%
1	4,24	8,86	13,43	19,24
2	4,25	8,85	14,94	18,48
3	4,78	8,84	13,64	19,84
4	4,23	8,94	14,29	18,89
5	4,24	9,21	13,86	19,57
Média	4,35	8,94	14,03	19,20

Fonte: Autores (2018)

A Tabela 5 estão os resultados pelo método Speedy seguindo a norma e o procedimento de massa do solo por teor de umidade como dita no próprio aparelho.

Tabela 5 Valores obtidos pelo método Speedy

	5%	10%	15%	20%
1	3,30	8,70	11,10	16,30
2	3,10	8,10	11,10	17,60
3	3,60	7,50	10,50	14,90
4	4,20	7,50	11,70	16,30
5	4,20	8,10	11,70	14,90
Média	3,68	7,98	11,22	16,00

Fonte: Autores (2018)

No momento em que o vidro parava de demonstrar embasamento pela evaporação da água, foi pesado o solo e feito os cálculos do teor de umidade e listados como na Tabela 6.

Tabela 6 Valores obtidos pelo método da Frigideira

	5%	10%	15%	20%
1	5,47	10,18	15,02	20,73
2	5,61	9,56	14,95	21,80
3	5,40	10,06	15,04	21,56
4	5,42	10,10	14,82	20,83
5	5,34	9,55	15,07	21,13
Média	5,45	9,89	14,98	21,21

Fonte: Autores (2018)

Antes de iniciar cada ensaio, foi retirado uma amostra do solo umedecido e levado a estufa conseguindo assim os valores de umidade real do solo como mostra a Tabela 7.

Tabela 7 Valores obtidos pelo método da Estufa

	5%	10%	15%	20%
1	4,33	9,51	14,67	19,37
2	4,64	9,09	14,20	19,85
3	4,84	9,71	14,52	19,84
Média	4,60	9,43	14,46	19,69

Fonte: Autores (2018)

A média de todos os resultados de cada tipo de ensaio, referente ao teor de umidade está sendo apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 Média dos resultados

	5%	10%	15%	20%
Álcool	4,35	8,94	14,03	19,20
Speedy	3,68	7,98	11,22	16,00
Frigideira	5,45	9,89	14,98	21,21
Estufa	4,60	9,43	14,46	19,69

Fonte: Autores (2018)

Como observado, o método do álcool e da frigideira tiveram os resultados mais próximos do resultado encontrado pelo método da estufa. O método do Speedy teve um crescimento da diferença nominal da umidade em relação à da estufa, com o aumento da umidade da amostra.

O método da frigideira obteve valores acima do método da estufa, acredita-se que enquanto misturava o solo com a espátula, as partículas finas do solo se desprendem havendo uma perda de parte dele.

4.3 Proposta do coeficiente de correção

Após as análises laboratoriais dos ensaios, foram elaborados coeficientes de correção do teor de umidade de acordo com o método utilizado, usando como referência os valores encontrados pelo método da estufa, por ser considerado mais preciso para a obtenção deste índice e ser o utilizado nos projetos.

Sendo assim a Tabela 9 traz os coeficientes para cada método referente ao teor de umidade que se quer encontrar, diminuindo as divergências e aumentando a precisão dos resultados.

Tabela 9 Coeficientes de correção dos métodos estudados

	5%	10%	15%	20%	Média
Álcool	1,06	1,05	1,03	1,03	1,05
Speedy	1,25	1,18	1,29	1,23	1,24
Frigideira	0,84	0,95	0,97	0,93	0,92

Fonte: Autores (2018)

5 CONCLUSÃO

A principal abordagem deste estudo foi de demonstrar a relevância que se deve ter nos teores de umidade do solo e as suas consequências diretas na resistência à ruptura, tornando imprescindível testes com maior precisão para obter os valores de teor de umidade de um solo no instante que será efetuado a compactação.

Como a extensão dos tipos de solos é muita grande, o estudo foi direcionado aos solos mais utilizados em aterros e base de estradas, por motivo de sua maior resistência a compressão, que são os solos arenosos com quase ou nenhum fino.

Como apresentado por Silva (2015), diferenças de 2% no teor de umidade, ocasionam perdas que podem passar 50% da resistência à ruptura do solo. Caso o engenheiro calcule que o solo compactado com o teor de umidade ótimo à 15% alcance 0,6 Mpa, e utiliza este parâmetro como base para o dimensionamento da fundação ou estrada, e no momento de execução utiliza-se o aparelho speedy e este apresenta um teor de umidade 11,22%, ou seja, uma diferença de 3,78% da umidade calculada para compactação, este solo terá uma perda que pode ultrapassar 50% de sua resistência em projeto, significaria que a resistência deste solo seria de 0,3 Mpa, colocando em risco toda a obra e os trabalhadores nela. Para evitar problemas como este, foi elaborado a Tabela 9 com coeficientes de correção das umidades para cada ensaio estudado.

Para futuros trabalhos, poderá ser feito o mesmo tipo de comparação entre os ensaios, porém, com solos que tenham uma maior porcentagem de finos, observando como cada ensaio se comporta dentro de um tipo específico de solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16097**. Solo – Determinação do teor de umidade – Métodos expeditos de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**. Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**. Rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**. Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**. Solo - Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2016.

AGUIAR, L. A. (2010). **Contribuições para a Análise do Comportamento Mecânico de Solos Compactados para uso em Barragens**. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-184/10, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 127p.

BERTONI, José. NETO, Francisco Lombardi. **Conservação do Solo**. 9. ed. São Paulo, ÍCONE, 2014.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro, LTC, 1996.

DAS, Braja M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. 6. ed. São Paulo, Thomson, 2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER – ME. 088/94**. Solos – determinação da umidade pelo método expedito do álcool. São Paulo, 1994.

GARCÍA, A. J. H.; JAIME, Y. N. M.; CONTRERAS, A. M. Z.; BASTARDO, L. D. S. e LLOVERA, F. A. S. **Savanna soil water content effect on its shear strength-compactness relationship**. Universidad de Oriente, Departamento de Ingeniería Agrícola, Núcleo de Monagas, Maturín, estado Monagas, Venezuela, 2012.

GONÇALVES, R. M. **Incorporação de coproduto de aciaria KR e polímero PDC em solos para base de pavimentos**. Espírito Santo: UFES, 2016. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Espírito Santo, Vitória, 2016.

KNAPPETT, J. A. CRAIG, R. F. **Craig Mecânica dos solos**. 8. ed. Rio de Janeiro, LTC, 2014.

MULTIQUIP. Compactação do solo, um manual básico. **Multiquip do Brasil**. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em <http://multiquip.com.br/imagens/catalogo/Catalogo_Compacta%E7%A6odeSolo_20050822132416.pdf>. Acesso em: 13 out. 2018.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3. ed. São Paulo, Oficina de Textos, 2006.

RICARDO, Hélio de Souza. CATALANI, Guilherme. **Manual pratico de escavação, terraplanagem e escavação de rocha**. 3. ed. São Paulo, PINI, 2007.

ROSA, D. A. **Relação entre resistência à tração e à compressão de um solo fino artificialmente cimentado**. Rio Grande do Sul: UFRS, 2013. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação**. Editora PINI, Vol. 1. São Paulo, 1997.

SILVA, A. M. **Estudo de parâmetros de compactação proctor no comportamento do solo**. Paraíba: UFCG, 2015. Tese (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Paraíba, Campina Grande, 2015.

SOLOCAP. Minas Gerais, 1988. Disponível em <<http://www.solocap.com.br/>>. Acesso em: 13 out. 2018.

WERK, S. M. S. **Estudo da influência dos métodos de compactação no comportamento resiliente de solos**. Rio Grande do Sul: UFRS, 2000. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.