UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI

Graduação em Engenharia Civil Nadinne Cavalcante Silva Tammy Reis de Paiva Condé

CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS. ESTUDO DE CASO: Campus do Mucuri UFVJM

Nadinne Cavalcante Silva Tammy Reis de Paiva Condé CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS. ESTUDO DE CASO: Campus do Mucuri UFVJM Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao programa de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de bacharéis em Engenharia Civil. Orientador: Prof. Me. Alcino de Oliveira Costa Neto

Teófilo Otoni 2018

Nadinne Cavalcante Silva Tammy Reis de Paiva Condé

CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS. ESTUDO DE CASO: Campus do Mucuri UFVJM

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao programa de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de bacharéis em Engenharia Civl.
Orientador: Prof. Me. Alcino de Oliveira Costa Neto
Data de aprovação/
Prof. Me. Alcino de Oliveira Costa Neto
Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia - UFVJM
Prof. André Froede Silva
Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia - UFVJM
Profa. Me. Iara Ferreira de Rezende Costa

Teófilo Otoni

Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia - UFVJM

RESUMO

O conhecimento prévio das propriedades de um solo é de suma importância no âmbito da Engenharia Civil. Sendo o solo o responsável por receber toda a carga proveniente de uma estrutura, um estudo preliminar é necessário para obtenção de informações sobre as características de qualquer solo a ser trabalhado, podendo-se prever o comportamento do mesmo antes e durante a vida útil de uma obra. Buscando-se aprofundamento nos conhecimentos da disciplina de Mecânica dos Solos, com auxílio das normas da ABNT, viabilizou-se a preparação de amostras para a realização de ensaios, em seguida procedeu-se a determinação dos parâmetros necessários para a classificação dos solos, como: índices físicos, peneiramento, coeficientes de uniformidade e de curvatura, limite de liquidez, limite de plasticidade, entre outros. As amostras foram coletadas em um ponto localizado atrás do Restaurante Universitário da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – *Campus* Mucuri. Os cálculos decorrentes dos experimentos resultaram nos dados que serão apresentados.

Palavras chave: Mecânica dos solos. Índices físicos. Limite de plasticidade. Limite de liquidez. Análise granulométrica.

ABSTRACT

The prior knowledge of the properties of a soil is of the utmost importance in the scope of Civil Engineering. Since the soil is responsible for receiving all the load coming from a structure, a preliminary study is necessary to obtain information about the characteristics of any soil to be worked, being possible to predict the behavior of it before and during the useful life of a work. In order to deepen the knowledge of the discipline of Soil Mechanics, with the help of the ABNT standards, it was possible to prepare samples for the tests, then the parameters necessary for the classification of soils were determined: physical indexes, sieving, coefficients of uniformity and curvature, liquidity limit, plasticity limit, among others. The samples were collected at a point located behind the University Restaurant of the Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – *campus* Mucuri. Calculations from the experiments resulted in the data that will be presented.

Keywords: Soil mechanics. Physical indices. Plasticity limit. Liquidity limit. Granulometric analysis.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇAO	11
2 OBJETIVO	13
3 JUSTIFICATIVA	13
4 REFERENCIAL TEÓRICO	15
4.1 Estrutura dos solos	15
4.2 Classificação	16
4.2.1 Por tipo de solo	16
4.2.2 Genética geral	16
4.2.3 Granulométrica	17
4.2.4 Unificada	17
4.2.5 Trasportation research board	18
4.3 Índices físicos	19
4.3.1 Teor de umidade	20
4.3.2 Índice de vazios	20
4.3.3 Porosidade	21
4.3.4 Saturação	22
4.3.5 Peso específico dos sólidos (ou dos grãos)	22
4.4 Densidade real dos grãos	22
4.5 Análise granulométrica	24
4.6 Limites de Atterberg	27
4.7 Resistência a penetração	29
5 MATERIAIS E MÉTODOS	31
5.1 Coleta das amostras	31
5.2 Determinação dos índices físicos	33
5.3 Preparação de amostras para ensaios de caracterização	34
5.3.1 Aparelhagem	34
5.3.2 Preparação com secagem prévia	

5.3.2.1 Operações preliminares	34
5.3.2.2 Amostra para análise granulométrica de solos	35
5.3.2.3 Amostra para determinação dos limites de liquidez e plasticidade	35
5.3.2.4 Amostra para densidade real de solos	35
5.4 Análise granulométrica de solos	35
5.4.1 Aparelhagem	35
5.4.2 Análise granulométrica por sedimentação	36
5.4.2.1 Execução do ensaio	36
5.4.3 Análise granulométrica por peneiramento	36
5.4.3.1 Execução do ensaio	36
5.5 Determinação dos limites de liquidez e de plasticidade	37
5.5.1 Limite de liquidez	37
5.5.1.1 Aparelhagem	37
5.5.1.2 Calibração do aparelho de Casagrande	37
5.5.1.3 Execução de ensaio	38
5.5.2 Limite de plasticidade	40
5.5.2.1 Aparelhagem	40
5.5.2.2 Execução de ensaio	40
5.5.3 Determinação de teor de umidade	40
5.5.3.1 Aparelhagem	40
5.5.3.2 Execução de ensaio	41
5.6 Densidade real de solos	41
5.6.1 Aparelhagem	41
5.6.2 Execução de ensaio	41
5.7 Resistência a penetração	41
5.7.1 Aparelhagem	41
5.7.2 Execução de ensaio	42
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
6.1 Índices físicos	45
6.2 Densidade real do solo	46
6.3Análise granulométrica do solo	46
6.4 Limites de Atterberg	50

6.5 Classificação unificada	52
6.6 Classificação TRB	52
6.7 Penetrômetro	52
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
REFERÊNCIAS	57
APÊNDICE A – ENSAIO DE PENETRAÇÃO EM DEMAIS PONTOS DA UI	FVJM.61
•	

1 INTRODUÇÃO

Conhecer o comportamento do solo é primordial quando se trata da construção civil. Os solos suportam toda a carga de uma edificação, necessitando de estudos prévios que auxiliem na execução de uma obra.

A formação do solo ocorre de maneira desordenada e não uniforme, caracterizandoo como um material heterogêneo. A falta de homogeneidade não nos permite afirmar que uma mesma região irá possuir o mesmo solo, com as mesmas composições e características em toda área. Mostrando-nos desta maneira a importância de ensaios prévios, tanto *in situ* quanto laboratoriais.

Os ensaios *in situ* consideram as eventuais descontinuidades que um solo pode apresentar, no entanto o mesmo pode não acontecer em ensaios de laboratório devido aos corpos de provas serem relativamente pequenos. Entretanto, nos ensaios laboratoriais há um maior controle das condições limites do ensaio, do material ser ensaiado e da precisão das medidas realizadas. O fator econômico também agrega importância, visto que os ensaios *in situ* são mais caros que os correspondentes ensaios de laboratório. (NOGUEIRA, 2005).

Os ensaios laboratoriais mais conhecidos e que nos fornecem características dos solos são os índices físicos e os parâmetros de caracterização. Os solos são formados por partículas sólidas, água e ar/gases. Os índices físicos são determinados entre volumes, massas ou entre a massa e o volume das fases constituintes de um solo. E a caracterização dos solos se organiza como sendo a determinação da granulometria, consistência e plasticidade.

Nesse contexto escolheu-se a Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – *campus* Mucuri, para efetuar a análise no solo de determinado local. Na área escolhida foram coletadas amostras de solo para análise laboratorial e com auxílio de equipamento próprio foram feitos ensaios de campo para determinação da resistência do solo à penetração.

2 OBJETIVO

O presente trabalho de conclusão de curso tem por objetivo classificar o solo próximo ao Restaurante Universitário da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) – *campus* Mucuri, mediante a apresentação dos índices físicos e propriedades do solo como granulométrica, plasticidade, consistência do solo e resistência à penetração.

3 JUSTIFICATIVA

O estudo da mecânica dos solos é de extrema importância, principalmente para estudantes e profissionais da área de Engenharia Civil. Os solos por diversas vezes são usados como material de construção (aterros de estrada, barragens de terra, enrocamento e etc.) ou como material natural (fundações de edifícios, escavações de valas e túneis, estabilização e encostas etc.), sendo a solução de vários problemas na área. (MASSAD, 2016).

Não se conhece completamente os solos através da literatura. Testes práticos precisam existir, o contato físico é necessário, é preciso cheirar, apalpar, olhar, ouvir o som produzido ao ser esfregado ou socado e às vezes até mesmo conhecer o seu sabor. Os solos são extremamente heterogêneos, sendo preciso investigar, adquirir experiência ao repetir experimentos e analisar seus resultados, efetuar comparações entre índices e propriedades com seu comportamento, aprender com os erros cometidos, saber diferenciar os diversos solos e outros materiais utilizados na engenharia (ALMEIDA, 2005).

O presente trabalho de conclusão de curso levou para a prática o conhecimento adquirido na disciplina de Mecânica dos Solos. Através de todos os ensinamentos aprendidos em sala de aula, em pesquisas e estudos feitos extraclasse, procurou-se aplicar o que é visto em teoria. Optou-se pela prática de ensaios em laboratório e em campo, para o desenvolvimento intelectual, visando contrair conhecimentos para vida profissional.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

Para a construção deste estudo, primeiramente se fez necessária a realização de uma pesquisa bibliográfica com o objetivo de se conhecer a estrutura do solo, suas propriedades e o que cada uma delas representa quanto a classificação do solo, assim como, através da literatura e normalizações, identificar como executar de ensaios de interesse para análise do solo.

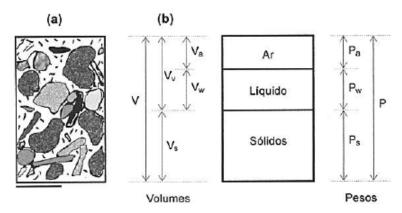
4.1 Estrutura dos solos

Fiori (2015) alega que uma massa de solo pode ser vista como um agrupamento de partículas sólidas, contendo vazios (água e gases/ar) de diversos tamanhos e formas, que pode ser visto da seguinte forma:

$$Solo = s\'olido + \'agua + gases$$
 (1)

A proporção de cada um desses elementos (sólidos, água e gases/ar) influencia no comportamento do solo. De maneira simplificada na Figura 1.a estão representadas as três fases que ocorrem nos solos frequentemente, ainda que algumas vezes, os vazios possam estar ocupados somente por água. Na Figura 1.b, as três fases estão separadas de acordo com o volume que ocupam, delimitando as relações entre elas. Os volumes de cada fase são apresentados à esquerda e os pesos, à direita. (PINTO, 2006).

Figura 1- As fases no solo: (a) no estado natural, (b) separada em volume.



Fonte: CURSO BÁSICO DE MECÂNICA DOS SOLOS, PINTO, 2006, pág. 35.

4.2 Classificação

4.2.1 Por tipo de solo

Conforme Almeida (2005), a identificação do solo é o início para sua classificação. Ela deverá ser feita através de testes visuais e táteis, específicos para cada tipo de solo antes de qualquer ensaio, sendo regulamentada pela NBR 7250 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1982). Em solos que apresentam uma fração grossa (pedregulhos e areias) ao tato são ásperas e se fragmentam quando secas, sendo também visíveis a olho nu. Quando finos (siltes e argilas) são invisíveis a olho nu, quando molhadas seus torrões sofrem desagregação. A cor e às vezes presença de matéria orgânica são informações importantes para classificar um solo como orgânico. Com o resultado dos testes é possível identificar, conforme NBR 7250/82, o nome do solo analisado.

O tamanho das partículas de um solo é a primeira característica que os diferenciam um dos outros. Em alguns solos podem-se identificar, em um primeiro instante, grãos visíveis a olho nu, como areia do mar ou pedregulhos, e outros possuem grãos tão finos que, se tornam uma pasta (barro) quando molhados, impedindo que suas partículas sejam visualizadas separadamente. (PINTO, 2006).

Devido à diferença nos tamanhos das partículas de um solo, a identificação das dimensões pelo seu simples manuseio não é fácil, por exemplo, um grão de areia pode estar coberto por grande quantidade de argila. Sendo as duas formações parecidas quando secas. Porém, quando úmidas as partículas argilosas formam uma pasta fina, enquanto a arenosa revestida pode ser reconhecida pelo tato. (PINTO, 2006).

4.2.2 Genética geral

Os solos podem ser classificados de acordo com sua genética, a sua origem de formação. A sua criação está ligada aos agentes denominados de intemperismo químico e físico.

O físico é responsável pela desintegração de rochas através de agentes externos, sem haver mudança em sua composição. Os responsáveis por essa desintegração são: variação de temperatura, água, pressão, vegetação e vento. No intemperismo químico ocorre modificação na composição mineralógica das rochas de origem. As rochas sofrem decomposição, sendo o principal agente a água e os principais mecanismos modificadores são

17

a carbonatação, hidratação, oxidação e os efeitos químicos provenientes de apodrecimento de

vegetais e animais.

Os agentes do intemperismo agem de maneira ininterrupta na formação dos solos,

sendo responsáveis pela grande diversidade em diferentes áreas tanto na qualidade quanto na

quantidade (espessura de cada camada), alterando os solos e decompondo as partículas em

outras cada vez menores. (VARELA, [20-?]).

4.2.3 Granulométrica

A classificação granulométrica de um solo se dá conforme a NBR 6502/1995 -

Rochas e Solos. Segundo a norma as frações do solo são identificadas como:

a) Pedregulho: diâmetro entre 2 e 60 mm;

b) Areia: diâmetro entre 0.06 e 2 mm:

c) Silte: diâmetro entre 0,002 e 0,06 mm;

d) Argila: diâmetro inferior a 0,002 mm.

Para a engenharia é preciso mais que os dados sobre a distribuição granulométrica

de um solo para caracterizá-lo. As partículas apresentam distintos comportamentos devido as

suas superfícies dessemelhantes.

4.2.4 Unificada

O Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) foi criado pelo Prof.

Casagrande, na década de 40, para utilização em aeroportos, sendo posteriormente adaptado

para uso em laboratório e em campo pelas agências americanas "Bureau of Reclamation" e

"U.S. Corps of Engenneers", com simplificações que permitem a classificação metódica.

(ALMEIDA, 2005).

Casagrande propôs mudanças e revisões na antiga norma, que foram resumidas em

4 itens:

a) A classificação de um solo é feita através de um símbolo e de um nome;

b) Os nomes dos grupos, simbolizados por um par de letras, foram normalizados;

c) Argilas e siltes orgânicos foram redefinidas;

d) Foi estabelecida uma classificação mais precisa.

No novo sistema a classificação do solo se dá pela junção de duas letras (QUADRO 1).

O	1	T	.1 .		<u>:</u> C:1 -
Ouaaro	1-	Terminologia	ao	sistema	unificado
Z	_			D_D 0 0	

G	Pedregulho
S	Areia
M	Silte
C	Argila
O	Solo orgânico
W	Bem graduado
P	Mal graduado
Н	Alta compressibilidade
L	Baixa compressibilidade
	-
Pt	Turfas

Fonte: MECÂNICA DOS SOLOS. PINTO, 2006, pág 64, adaptado.

A porcentagem de finos presentes no solo que passam pela peneira nº200 (0,075 mm) é o primeiro parâmetro para utilização desse sistema. Apresentando porcentagem inferior a 50, o solo é apontado como de granulação grosseira, G ou S. Sendo superior a 50, o solo será considerado de granulação fina, M, C ou O. (PINTO, 2006).

4.2.5 Trasportation research board

A Transportation Research Board (TRB) é uma classificação de grande peso geotécnico, inspirou-se a partir do sistema *American Association of State Highway and Transportation* (AASHTO) e tem origem na classificação do *Public Roads Administration*. Embasa-se na granulometria, limite de liquidez e índice de plasticidade e foi inicialmente criada para analisar materiais para base e sub-base de pavimentos.

A classificação dos solos se divide em grupos, de A-1 a A-7. Sendo compreendidos entre A-1 e A-3 os "solos granulares" e entre A-4 e A-7 os "solos finos".

A Figura 2 representa a "Tabela TRB" que indica os tipos de material e a forma de identificação e classificação. (ALMEIDA, 2005).

Figura 2– Tabela	TRB
Tabela TRB	

				Labeld	ם או ב						
Classificação Geral	SOLOS GRANULARES							SOLOS SILTO-ARGILOSOS			
oracomoayao o oran	(P200 < 35 %)						(P200 > 35%)				
Grupos	A-	1	A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7	
Subgrupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
P10	< 50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P40	< 30	< 50	> 50	-	-	-	-	-	-	-	-
P200	< 15	< 25	< 10	< 35	<35	< 35	< 35	> 35	> 35	> 35	> 35
LL	-	-	-	< 40	> 40	< 40	> 40	< 40	>40	< 40	> 40
IP	< 6	< 6	NP	< 10	< 10	> 10	> 10	< 10	< 10	> 10	> 10
Índice de grupo (IG)	0	0	0	0	0	< 4	< 4	< 8	< 12	< 16	< 20
Tipos de material	Fragmentos de pedra, areia pedregulho e fina areia		Pedregulhos e areias siltosas ou argilosas			Solos siltosos		Solos argilosos			
Classificação como sub leito	Excelente a bom				Regular a mau						
Podemos acrescer à estes o tipo A-8:solos orgânicos/turfas, imprestáveis como bases de pavimentos											

Fonte: CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS, ALMEIDA, 2005, pág. 114.

De acordo com Almeida (2005) o índice de grupo apresenta a seguinte forma:

$$IG = 0.2 a + 0.005 a.c + 0.01 b.d$$
 (2)

Sendo:

$$a = P_{200}-35$$
, $0 < a < 40$ (3)

(Se $P_{200}>75$ a=40 e se $P_{200}<35$, a=0);

$$b = P_{200}-15, 0 < b < 40 \tag{4}$$

(Se $P_{200}>55$, b =55 e se $P_{200}<15$, b=0);

$$c = LL-40, 0 < c < 20$$
 (5)

(Se LL > 60, c = 20 e se LL < 40, c=0);

$$d = IP-10, 0 < d < 20$$
 (6)

(Se IP > 30, d= 20 e se IP < 10, d=0).

4.3 Índices físicos

Os índices físicos do solo apresentam relações matemáticas entre pesos e volumes dos integrantes de uma massa de solo, ou seja, entre as frações de sólidos, líquidos e gases. (FIORI, 2015).

Os solos são diariamente afetados por fatores naturais (chuvas, insolação) ou não (compactação mecânica, cortes, aterros). Sendo assim, após um período de chuva, um determinado solo poderá apresentar seus vazios preenchidos por água, e o ar existente anteriormente será expulso. No verão, posteriormente a evaporação da água, este mesmo solo terá um novo estado, o ar penetrando nos vazios deixados pela água.

Para identificar o estado em que se encontra um determinado solo, utilizamos os índices físicos. (VARELA, [20-?]).

4.3.1 Teor de umidade

O teor de umidade (w) de um solo é definido como sendo a razão entre a massa de água existente em certo volume de solo e a massa da parte sólida presente neste mesmo volume, expressa em porcentagem.

O teor de umidade é determinado de maneira simples. Basta definir o valor da massa de uma amostra em seu estado natural (a amostra deve ser preservada para que não ocorra perda de umidade) e o valor da massa da amostra após completa secagem em estufa a 105°C ou 110°C. Em solos argilosos esse índice é muito expressivo, pois sua resistência depende dessa porcentagem de água. (CAPUTO, 1996).

O teor de umidade é definido pela seguinte expressão:

$$w(\%) = \frac{m_w}{m_s} x 100 \tag{7}$$

Sendo m_w a massa de água presente no solo e m_s o valor da massa do solo após completa secagem.

Os teores de umidade dependem do tipo de solo e permanecem geralmente entre 10 e 40%, podendo apresentar valores muito baixos (solos secos) ou muito altos (150% ou mais). (PINTO, 2006).

4.3.2 Índice de vazios

É a razão existente entre o volume de vazios (V_v) e o volume das partículas sólidas (V_s) , sendo representado pela letra e. Sua determinação se dá de maneira indireta, a partir de outros índices. Seu valor situa-se entre 0,5 e 1,5 (adimensional), porém, as argilas orgânicas

podem apresentar índices de vazios superiores a 3 (sendo a água, volume de vazios, três vezes maior que o volume de partículas sólidas). (PINTO, 2006).

O índice de vazios é representado pela seguinte fórmula:

$$e = \frac{V_{v}}{V_{s}} \tag{8}$$

Conforme Almeida (2005) o índice de vazios apresenta aplicação direta, além do cálculo de outros índices físicos, no estudo da densificação de solos. Quando uma quantidade de solo diminui de volume, significa que ocorreu uma redução do volume de vazios. Quando um solo se densifica, se torna mais denso, reduz seu volume de vazios. A densificação pode ser ocasionada por vibração, em solos não coesivos, compactação (pressão e amassamento) em solos coesivos. Muitos autores qualificam o adensamento como sendo o fenômeno de redução lenta do volume de vazios de um solo, quando pressões causam o escoamento da água que os integra.

4.3.3 Porosidade

A porosidade de um solo indica a mesma coisa que o índice de vazios. É a relação entre o volume de vazios e o volume total (volume dos sólidos mais o volume de vazios). É representado pela letra *n*. Apresenta valores geralmente entre 30 e 70%. (PINTO, 2006).

É a razão entre o volume de vazios e o volume total de uma amostra de solos:

$$n(\%) = \frac{V_v}{V_t} x 100 \tag{9}$$

Pode ser determinado também através do índice de vazios, pela relação:

$$n = \frac{e}{1 - e} \tag{10}$$

4.3.4 Saturação

De acordo com Almeida (2005) é a quantidade em volume de água existente no volume de vazios de um solo.

Representado pela letra S. Seu valor não é definido diretamente, mas calculado. Podendo variar de zero (solo seco) a 100% (solo saturado). (PINTO, 2006).

Apresentado na seguinte fórmula:

$$S(\%) = \frac{\Box_w}{V_v} x 100 \tag{11}$$

4.3.5 Peso específico dos sólidos (ou dos grãos)

O peso específico dos sólidos (γ_s) é determinado pela relação entre o peso das partículas sólidas e o seu volume. Seu valor pouco varia de solo para solo, sendo necessária a utilização de outros ensaios para identificar o solo em questão.

Sendo expresso pela seguinte fórmula:

$$\gamma_s = \frac{P_s}{V_t} \tag{12}$$

O ensaio é realizado com o auxílio de um picnômetro. Coloca-se uma massa de solo conhecida em um picnômetro, completa-se com água e mede-se a massa total. A massa do picnômetro preenchido só com água, mais a massa do solo, menos a massa do picnômetro com solo e água, é a massa da água que foi substituída pelo solo. Dessa massa, calcula-se o volume de água que foi substituído pelo solo e que é o volume do solo. Com o valor da massa multiplicada pela gravidade e o volume, tem-se o peso específico. (PINTO, 2006).

4.4 Densidade real dos grãos

A Densidade Real dos Grãos (G), ou densidade relativa, é a relação entre a massa específica das partículas sólidas (ρ_s) e a massa específica (em mesma proporção) da água pura a 4°C(ρ_w). Sendo representado pela seguinte equação. (LAGETEC, 2017).

$$G = \frac{\rho_S}{\rho_W} \tag{13}$$

De acordo com Pinto (2006), a água pura à essa temperatura apresenta massa específica igual a 1kg/dm³, ou 1g/cm³, o que ao ser representado em fórmula apresenta como resultado o valor da densidade relativa igual ao valor da massa específica das partículas sólidas, porém adimensional.

Segundo a norma DNER-ME 093/94, para se determinar a densidade real do solo (G), seria necessário a utilização de picnômetros e bicos de gás (ou outra fonte de calor) para se realizar o ensaio com total precisão, porém nos laboratórios da UFVJM não foram encontrados disponíveis tais equipamentos. Buscou-se na literatura uma alternativa para a realização do ensaio, onde se encontrou que os métodos para determinação da densidade das partículas fundamentam-se no deslocamento de um volume de líquido ou ar por uma amostra de solo de massa conhecida (FLINT & FLINT, 2002 apud GUBIANI et al., 2006). A partir desse conhecimento, determinou-se a densidade real do solo com base no deslocamento de um líquido conhecido no interior de uma proveta, ao ser adicionado uma massa de solo conhecida na mesma.

Assim, serão necessárias mais fórmulas para a realização do cálculo, sendo elas:

$$\Delta v = v_f - v_i \tag{14}$$

Onde:

 Δv : volume total (ml);

 v_i : volume inicial (ml);

 v_f : volume final (ml).

E:

$$\rho_{\rm S} = \frac{m_{\rm S}}{\Delta {\rm v}} \tag{15}$$

Sendo:

ms: massa dos grãos.

Depois de encontrada a massa específica dos sólidos, seu valor é substituído na fórmula de densidade real dos grãos, onde se torna possível encontrar seu valor.

4.5 Análise granulométrica

A análise granulométrica trata-se de um ensaio para reconhecimento das dimensões dos grãos de um solo, realizada por meio de duas fases: sedimentação e peneiramento (PINTO, 2006). A norma que rege esse ensaio é a NBR 7181/1984.

De acordo com Das (2007) a análise granulométrica por peneiramento baseia-se em agitar uma quantidade de solo por um conjunto de peneiras de abertura nominais cada vez menores. O menor diâmetro usual de uma peneira para esse ensaio é a de nº 200, cuja abertura é de 0,075mm. Para Pinto (2006), peneiras com diâmetros menores são pouco resistentes, sendo pouco usadas para esse ensaio, são empregadas para estudos especiais.

Uma amostra de solo deve ser seca em estufa e depois deve ter seus torrões quebrados em pequenas partículas. O solo é então disposto na peneira superior da pilha, e é então agitado. Depois de realizada a agitação do solo determina-se a massa retida em cada peneira e na cuba (DAS, 2007). A quantidade de solo passante em cada peneira, referido ao peso seco da amostra, é chamada de "porcentagem que passa". O "diâmetro" das partículas é considerado como a abertura nominal da peneira. Esse diâmetro é equivalente, pois as partículas não são esféricas. (PINTO, 2006).

Para as situações onde o solo é composto por materiais finos, inviabilizando a execução do peneiramento, opta-se pelo ensaio de sedimentação. Segundo Das (2007) ao se dispersar uma amostra de solo em água, as partículas apresentam diferentes velocidades de decantação, variando conforme a sua forma, tamanho, peso e da viscosidade da água.

Assume-se que todas as partículas do solo são esféricas, para simplificar, e que suas velocidades podem ser expressas pela lei de Stokes: onde a velocidade de queda das partículas esféricas num fluido atinge um valor limite que depende do peso específico do material da esfera (γ_s), do peso específico do fluido (γ_w), da viscosidade do fluido (μ), e do diâmetro da esfera (D), conforme expressão. (PINTO, 2006):

$$v = \frac{\gamma_{\rm s} - \gamma_{\rm w}}{18.\,\mu}.D^2\tag{16}$$

Graficamente é possível representar a determinação das dimensões das partículas (análise granulométrica) de um solo e as proporções em que elas se encontram, através da curva granulométrica. Esta curva (FIGURA 3) é obtida ao traçarem-se pontos em um diagrama semilogarítmico, onde as dimensões das partículas são representadas por logaritmos, no eixo das abscissas, e as porcentagens do peso do material de acordo com suas dimensões, no eixo das ordenadas. (CAPUTO, 1996).

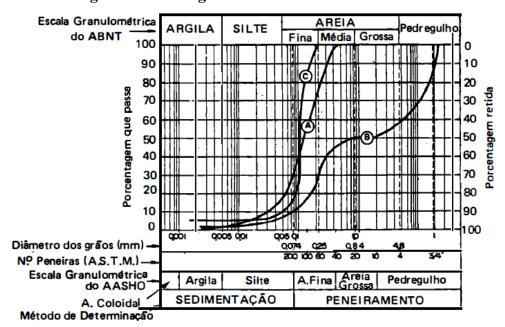


Figura 3- Escalas granulométricas: ABNT e AASHO

Fonte: LIVRO MECÂNICA DOS SOLOS, CAPUTO, 1996, pág 25.

Acompanhando as curvas representadas no gráfico, é possível distinguir os tipos de granulometria. Quando um solo apresenta sua forma granulométrica contínua, o gráfico se comporta como a curva A, quando descontínua, se comporta como a curva B, e uniforme como a curva C; podem apresentar granulometria bem graduada, manifestando o comportamento da curva A, ou mal graduada, que apresentam tanto frações grossas quanto finas de solo. A Figura 4 representa as diferenças granulométricas. (CAPUTO, 1996).

Figura 4- Diferenças granulométricas



Fonte: LIVRO MECÂNICA DOS SOLOS, CAPUTO, 1996, pág 26.

Embora as dimensões das partículas não sejam iguais, o diagrama admitido representa melhor a parte de granulação fina do solo e admite que a forma da curva seja a mesma para solos que apresentam a composição granulométrica semelhante.

Pela curva granulométrica é possível se definir o "diâmetro efetivo" e "grau de uniformidade". O Diâmetro Efetivo (d_{ef}) corresponde ao diâmetro equivalente a 10% em peso total, de todas as partículas menores que ele, sendo que esse parâmetro propõe uma indicação, sobre a permeabilidade das areias usadas para filtros. O Coeficiente de Uniformidade (C_u) é a razão entre os diâmetros correspondentes a 60% e 10%, tomados na curva granulométrica, sendo representado na equação abaixo:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \tag{17}$$

O coeficiente de uniformidade busca informar o quanto o material é constante, quanto maior o valor de Cu, menos uniforme será o solo e quanto menor mais uniforme ele será. Um solo é considerado muito uniforme, quando seu Cu < 5, de uniformidade média se 5 < Cu< 15 e desuniforme, quando Cu > 15. Define-se ainda, complementarmente, o coeficiente de curvatura (C_c) do solo:

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}} \tag{18}$$

onde D_{30} é o diâmetro correspondente a 30%.

O coefieciente de curvatura quantifica a forma e simetria da curva granulométrica. Observando a forma da curva podemos distinguir os diferentes tipos de granulometria. Para solos bem graduados seu valor está compreendido entre 1 e 3. Solos com coeficiente de curvatura abaixo de 1 e acima de 3 são considerados mal graduados. (CAPUTO, 1996).

4.6 Limites de Atterberg

Segundo Caputo (1996) os solos apresentam limites de consistência. Conforme a água evapora o solo vai mudando suas características. Na presença de muita umidade, o solo apresenta-se como um fluido denso e se diz no estado líquido. À medida que ocorre a evaporação, o solo endurece e o teor de umidade se iguala ao limite de liquidez, perdendo a habilidade de fluir.

As diferenças nos teores de umidade equivalente às mudanças de estado são estabelecidas como: Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP) dos solos. (PINTO, 2006).

O limite de liquidez caracteriza-se por ser o menor teor de umidade que a amostra de um solo pode ter mantendo a capacidade de fluir. Apesar de esta capacidade ser mais associada ao grau de saturação do que com o teor de umidade, os ensaios para definir o limite de liquidez dos solos finos têm o teor de umidade como critério, devido à dificuldade de medir e controlar o grau de saturação. (ALMEIDA, 2005).

Os solos em certas condições de umidade quando possuem a maior ou menor capacidade de serem moldados, sem variação de volume e sem se romperem, apresentam a peculiaridade de serem plásticos. Sendo essa a característica mais importante das argilas. (CAPUTO, 1996).

De acordo com Caputo (2006), após perder sua habilidade de fluir, o solo adquire capacidade de ser moldado facilmente e preservar sua forma, encontrando-se no estado plástico. Ao continuar perdendo umidade esse chega ao seu limite de plasticidade, onde se desmancha ao ser trabalhado, apresentando-se então no estado semi-sólido. Esses limites foram estabelecidos pelo cientista sueco Albert Atterberg.

A exigência que Atterberg estabeleceu para que se considerasse o solo em estado plástico, é a capacidade de se moldar um cilindro de 10 cm de comprimento por 3 mm de diâmetro com o material, por rolagem sobre uma placa de vidro. Sendo, limite de plasticidade o teor de umidade após a passagem do estado plástico para o estado semi-sólido, impossibilitando sua moldagem devido ao seu estado quebradiço (ALMEIDA, 2005).

O índice de plasticidade é a faixa de valores em que o solo se apresenta plástico (FIGURA 5), sendo encontrado pela subtração do limite de liquidez pelo limite de plasticidade de um solo, representado pela expressão (PINTO, 2006):

$$IP = LL - LP \tag{19}$$

Figura 5- Limites de Atterberg dos solos

Fonte: LIVRO CURSO BÁSICO DE MECÂNICA DOS SOLOS, PINTO, 2006, pág 25.

Sendo classificados em:

- a) Solos fracamente plásticos: 1 < IP < 7;
- b) Solos medianamente plásticos: 7 < IP < 15;
- c) Solos altamente plásticos: IP > 15.

Os solos ainda apresentam o índice de consistência (IC) (EQUAÇÃO 20) que ponta a consistência aproximada de um solo, mostrando a capacidade de resistência de um solo a esforços de compressão (sem caráter decisivo), no teor de umidade w (geralmente a umidade natural). (ALMEIDA, 2005).

Expresso por:

$$IC = \frac{(LL - w)}{IP} \tag{20}$$

Classificado como:

- a) Muito mole= IC < 0;
- b) Consistência mole= 0 < IC < 0.5;
- c) Consistência média= 0,5 < IC < 0,75;
- d) Consistência rija= 0,75 < IC < 1;
- e) Consistência dura= IC > 1.

4.7 Resistência a penetração

A resistência do solo (RP) à penetração é uma característica que é comumente utilizada para analisar a compactação do solo e, comparativamente, a versatilidade do arranjo do perfil do solo. (Ralisch & Tavares Filho, 2002). É diretamente proporcional a quantidade de argila, ou seja, é influenciada pelo tipo de mineral no solo, e inversa ao conteúdo de água (TABELA 1). (ROSOLEM, 1999).

Tabela 1 – Classificação quanto a resistência à penetração

Classe	Resistência à				
Classe	penetração (MPa)				
Extremamente	<0,01				
baixa	<0,01				
Muito baixa	0,01-0,1				
Baixa	0,1-1,0				
Moderada	1,0-2,0				
Alta	2,0-4,0				
Muito alta	4,0-8,0				
Extremamente alta	>8,0				

Fonte: RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO COMO INDICADORA DE ALTERAÇÕES ESTRUTURAIS NO SOLO DECORRENTES DE IMPLEMENTOS PARA MANEJO DO SOLO, CAMPOS *et al.*, 2015, pág 2.

O equipamento corriqueiramente utilizado para mensurar a compactação é o penetrômetro e são designados de acordo com o princípio de penetração: estáticos, quando a

resistência a penetração é registrada em um dinamômetro ao ser pressionado contra o solo; e dinâmicos, quando há penetração no solo devido ao impacto de queda de um peso. (STOLF, 1991).

Os penetrômetros estáticos informam a resistência por unidade de área e sua penetração ocorre de forma constante. De acordo com o manual de instruções de uso do penetrômetro de solos da marca SOLOTEST, esse apresenta a aplicabilidade de medir a força exercida em solos para indicar a capacidade da resistência a diferentes cargas sobre esses materiais. Sua forma de utilização é muito ampla.

A resistência à penetração (RP) de um local ensaiado, que se obtém como resultado nesse modelo de aparelho é apenas indicativa, visto que a sua área de ensaio é pequena. A adoção de um coeficiente de segurança a critério do projetista será necessária.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

O levantamento das propriedades do solo decorreu a partir da análise dos resultados obtidos através dos ensaios de caracterização em laboratório e do ensaio de penetração em campo para determinação a capacidade de resistência a cargas variáveis. Escolheu-se a Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri – *campus* Mucuri (UFVJM) como local de pesquisa.

Os ensaios realizados em laboratório para identificação dos índices físicos e demais propriedades de caracterização do solo, foram:

- a) Análise granulométrica por sedimentação;
- b) Análise granulométrica por peneiramento;
- c) Limite de plasticidade do solo;
- d) Limite de liquidez de solos;
- e) Densidade real de solos;

Para determinação da resistência à penetração, optou-se pele ensaio de penetração em campo com o penetrômetro estático, mais especificadamente, penetrômetro para solo com anel dinamometrico.

5.1 Coleta das amostras

Para a realização dos ensaios de caracterização retirou-se uma amostra do solo localizado atrás do restaurante universitário da UFVJM, *campus* Mucuri, em Teófilo Otoni/MG, à 17° 52' 50,5" de latitude sul e à 41° 29' 44,1" de latitude oeste. A Figura 7 indica a localização do ponto.

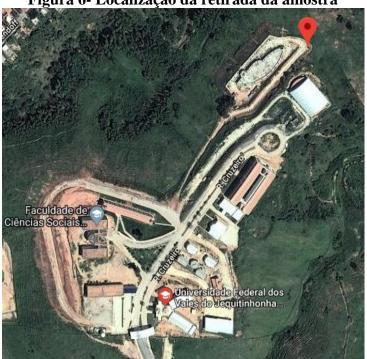
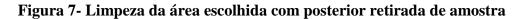


Figura 6- Localização da retirada da amostra

Fonte: GOOGLE MAPS, 2018.

Com auxílio de uma enxada limpou-se a área escolhida, assim retirando a matéria orgânica que se encontrava na superfície, posteriormente coletou-se a amostra de solo através da escavação do local (FIGURA 8).





Obteve-se a amostra para os ensaios dos índices físicos com auxílio de um cilindro de inox, no mesmo local onde se retirou a amostra para os ensaios de caracterização. Colocouse o cilindro sobre o solo e com o auxílio de um martelo foi cravado ao chão. Após ser totalmente enterrado ao solo, removeu-se com cuidado e em seguida foi levado ao laboratório onde se mediu a massa de solo total retirada com o equipamento (FIGURA 9).



5.2 Determinação dos índices físicos

Após a coleta da amostra, o cilindro foi levado à estufa onde permaneceu por aproximadamente 24 horas a temperatura de 105°C. Logo após a massa da amostra foi novamente aferida. De posse dos valores medidos, os índices físicos foram calculados conforme apresentado na fundamentação teórica.

5.3 Preparação de amostras para ensaios de caracterização

5.3.1 Aparelhagem

- a) Almofariz;
- b) Balança que permite pesar nominalmente 101kg;
- c) Peneira 25mm;
- d) Bandejas metálicas.

5.3.2 Preparação com secagem prévia

5.3.2.1 Operações preliminares

Obteve-se a amostra para os ensaios de acordo com o especificado no item sobre preparação de amostras de solos para ensaios de caracterização da NBR 6457/86, todavia foram necessárias adaptações devido à realidade do laboratório de mecânica dos solos, por conseguinte foram utilizadas peneiras diferentes das estipuladas na norma. Dez quilogramas da amostra foram secos ao ar por aproximadamente 48 horas (FIGURA 10), posteriormente a amostra foi homogeneizada mediante desmanche dos torrões sem quebrar os grãos. A seguir seguem as preparações específicas de cada ensaio.



5.3.2.2 Amostra para análise granulométrica de solos

Tomou-se uma fração da amostra obtida de acordo com item 5.3.2.1 para a realização dos ensaios de análise granulométrica, sendo passada na peneira de 90mm. A escolha da peneira se deu por esta ter a dimensão mais aproximada do exigido na norma, de 78mm. Como determinado no item que descreve a execução dos ensaios de análise granulométrica, NBR 7181/1984, novamente, passou-se essa parcela por uma peneira, agora de 0,18 mm, sendo primeiro desmanchados os torrões com o almofariz.

O material passante foi destinado para o ensaio de análise granulométrica por sedimentação. Já a parte retida na peneira de 0,18mm foi lavada para eliminação do material fino aderente e então levada para secagem em estufa a 105°C, para posteriormente ser executado o peneiramento.

5.3.2.3 Amostra para determinação dos limites de liquidez e plasticidade

Novamente, conforme a NBR6457, tomou-se outra fração da amostra obtida conforme o item 5.3.2.1. Passou-se o material pela peneira de 0,5 mm e deste destinou-se 200g para a realização dos ensaios para determinação dos limites de liquidez e de plasticidade dos solos de acordo, respectivamente, com a NBR 6459/84 e a NBR 7180/84.

5.3.2.4 Amostra para densidade real de solos

Passou-se uma fração da amostra obtida de acordo com o item 5.3.2.1 na peneira de 5,5mm, de modo a obter-se 100g do material passado para a execução do ensaio.

5.4 Análise granulométrica de solos

5.4.1 Aparelhagem

- a) Estufa;
- b) Balança que permite pesar nominalmente 6200 g;
- c) Cápsulas de porcelana;
- d) Agitador mecânico;
- e) Proveta de 1000ml:

- f) Densímetro;
- g) Baqueta de vidro;
- h) Peneiras 0,18; 0,25; 0,36; 0,5; 2,8; 3,35; 12,5; 25mm;
- i) Béquer.

5.4.2 Análise granulométrica por sedimentação

5.4.2.1 Execução do ensaio

Do material obtido de acordo com o item 5.3.2.2, tomou-se 100g. Logo após, transferiu-se para um béquer de 500cm³ e adicionou-se 200cm³ de água. Agitou-se o béquer até que todo material ficasse imerso e então se deixou em repouso por cerca de 24horas. Após este intervalo, com o auxílio de uma baqueta de vidro, manualmente dispersou-se a mistura que então foi transferida para uma proveta de 1000cm³ sendo que se removeu o material aderido ao béquer com água destilada. Então, tapando a boca da proveta com uma das mãos, executaram-se movimentos enérgicos de rotação durante 1 minuto, pelos quais a boca da proveta passou de cima para baixo e vice-versa. Imediatamente após terminada a agitação, colocou-se a proveta sobre uma mesa, sendo anotada a hora de início da sedimentação e inserido um densímetro na dispersão. Efetuou-se as leituras do densímetro após 30, 60 e 120 segundos. Retirou-se o densímetro sendo recolocado 20 segundos previamente as demais leituras realizadas nos seguintes intervalos: 4, 8, 15 e 30 minutos, 1, 2 e 17 horas, a contar do início da sedimentação.

De acordo com a norma, deveriam ser realizadas leituras nos intervalos de 4, 8, 12 e 24 horas, entretanto não foi possível devido a inviabilidade da execução do ensaio nesses horários. Após a última leitura, verteu-se o material da proveta na peneira de 0,18mm, removeuse o material aderido à sua parede com água e então se lavou o material na peneira com água potável à baixa pressão.

5.4.3 Análise granulométrica por peneiramento

5.4.3.1 Execução do ensaio

Do material retido na peneira de 0,18mm, conforme descrito no item 5.3.2.2, tomou-se uma fração equivalente a 120g. Utilizando um agitador mecânico, passou-se pelas seguintes peneiras 3,35, 2,8, 0,5, 0,36, 0,25,0,18mm. Foram anotadas as massas retidas em cada peneira (FIGURA 12).



Figura 10- Agitador mecânico com as peneiras dispostas

5.5 Determinação dos limites de liquidez e de plasticidade

5.5.1 Limite de liquidez

5.5.1.1 Aparelhagem

- a) Estufa;
- b) Forma de alumínio;
- c) Aparelho de Casagrande;
- d) Cinzel;
- e) Espátula;
- f) Balança que permite pesar nominalmente 6200 g.

5.5.1.2 Calibração do aparelho de Casagrande

Para a calibração do aparelho suspendeu-se a concha para posicionar o cabo do cinzel (calibrador) no ponto de contato da concha com a base do aparelho, apoiando a concha sobre o calibrador. Foram desapertados os dois parafusos acima da concha e então girou-se a manivela do aparelho, acionando simultaneamente um terceiro parafuso localizado na lateral do aparelho, até o instante em que o excêntrico apenas raspasse o suporte da concha, sem suspendê-la. Para concluir a calibração, apertaram-se os dois primeiros parafusos (FIGURA 13).



Figura 11- Aparelho de Casagrande calibrado

5.5.1.3 Execução de ensaio

Em uma forma de alumínio colocou-se 100g da amostra preparada, adicionou-se água destilada em pequenos incrementos, amassando e revolvendo, vigorosa e continuamente, com o auxílio da espátula, de forma a se obter uma pasta homogênea (FIGURA 14). Transferiu-se parte da mistura para a concha do aparelho de Casagrande, moldando-a de forma que na parte central a espessura seja de ordem de 10mm (FIGURA 15). Com o cinzel dividiu-se a massa em duas partes abrindo um talho no centro. Golpeou-se a concha contra base, girando a manivela duas vezes por segundo. Anotou-se o número de golpes necessários para que as bordas inferiores das duas partes se unissem. Tomou-se uma parte da amostra para a determinação do teor de umidade conforme a NBR 6457/86 e o restante foi transferido para uma cápsula de porcelana. Lavou-se a concha e o cinzel, adicionou-se mais água destilada repetindo-se as operações, obtendo no total três pontos de ensaio cobrindo os intervalos de 15 a 35 golpes.





5.5.2 Limite de plasticidade

5.5.2.1 Aparelhagem

- a) Estufa:
- b) Forma de alumínio;
- c) Balança que permite pesar nominalmente 6200 g;
- d) Espátula;
- e) Régua.

5.5.2.2 Execução de ensaio

Tomou-se o restante da amostra preparada de acordo com item 5.3.2.3, colocou-a em uma cápsula de porcelana e, em pequenos incrementos, adicionou-se água destilada. A fim de se obter uma consistência plástica, a amostra foi manipulada com a espátula, amassando e revolvendo-a por cerca de 15 minutos. Deste material, tomou-se cerca de 10g e fez-se uma pequena bola, esta foi rolada sobre a bancada do laboratório até assumir uma forma cilíndrica de aproximadamente 3mm de diâmetro. Quando o material se fragmentava antes de atingir o diâmetro necessário, retornava-o para a cápsula de porcelana onde adicionava-se mais água e então era feita a homogeneização. A amostra era considerada adequada quando se fragmentava após atingir os 3 mm de diâmetro com comprimento aproximado de 10cm. Esta era transferida para outra cápsula de porcelana e levada à estufa para determinação do teor de umidade. O processo foi repetido com o intuito de obter três valores de teor de umidade.

5.5.3 Determinação de teor de umidade

5.5.3.1 Aparelhagem

- a) Balança que permite pesar nominalmente 6200 g;
- b) Estufa;
- c) Recipientes de porcelana.

5.5.3.2 Execução de ensaio

As amostras tomadas após a realização dos ensaios de limite de liquidez e de plasticidade foram transferidas para recipientes de porcelana, com massa conhecida, e então postos na balança a fim de obter o valor da massa úmida mais a massa do recipiente. Posteriormente foram levados à estufa onde permaneceram por aproximadamente 24 horas a uma temperatura de 105°C. Após esse tempo, foram novamente postos na balança tomando-se nota da massa seca das amostras mais a massa do recipiente. Como a massa do recipiente era conhecida, essa foi subtraída dos valores encontrados e então de posse dos valores das massas do solo, conseguiu-se calcular o teor de umidade.

5.6 Densidade real de solos

5.6.1 Aparelhagem

a) Proveta de 500ml.

5.6.2 Execução de ensaio

Para obtenção do valor da densidade real do solo (G), utilizou-se uma proveta com capacidade volumétrica de 500ml. Adicionou-se um volume de 200ml de água ao recipiente, e em seguida, 100g de amostra de solo seco. Aguardou-se o tempo de 10 minutos para o assentamento dos grãos e notou-se a alteração no volume da água. Com a diferença de volume representada na proveta, conseguiu-se determinar a densidade real do solo.

5.7 Resistência a penetração

5.7.1 Aparelhagem

a) Penetrômetro de solos (composto de maçaneta dupla, 2 hastes de 15" com 2 divisões, um anel dinamometrico com capacidade de 100kgf, uma ponta cônica removível, 1 luva para conexão das hastes).

5.7.2 Execução de ensaio

Após a montagem do equipamento, verificou-se se as luvas de conexão estavam bem conectadas e se o relógio comparador estava seguro.

O ensaio foi executado em campo, nos locais onde previamente foram retiradas as amostras de solo para análise em laboratório, sendo utilizados dois penetrômetros. Com o local limpo e o penetrômetro na posição vertical, calibrou-se o equipamento girando o aro em torno do relógio até posicionar o comparador em "zero". Com o intuito de penetrar por completo a ponteira, aplicou-se um esforço de compressão contra o solo (FIGURAS 16 e 17).



Figura 13- Penetrômetro de solos – marca Solotest



Figura 14- Penetrômetro sendo utilizado em campo

Após a penetração, fez-se as leituras dos relógios comparadores dos anéis e identificou o quanto cada ponteira havia penetrado no solo. Para converter esses dados na carga aplicada foram utilizadas as equações das curvas de calibração referente aos certificados de calibração de cada penetrômetro fornecidos pela Solotest. Obtidas as cargas, calculou-se a resistência a penetração dividindo-se a carga aplicada pela área da base do cone, sendo que, para as situações onde não ocorreu a penetração por completo, utilizou-se os fatores de correção estipulados no manual do equipamento.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos por meio da realização dos ensaios já descritos. Tais informações foram fundamentais para a análise e classificação do solo em estudo.

6.1 Índices físicos

De posse dos valores das massas do cilindro vazio, do conjunto cilindro + solo antes e após levado a estufa, pode-se encontrar a massa do solo antes e após ser levado a estufa e a massa de água presente no solo.

Tabela 2-Massas para cálculo dos índices físicos

Tara (g)	Solo úmido + tara (g)	Solo úmido (g)	Solo seco + tara (g)	Solo seco (sólidos) (g)	Massa de água (g)
139,3	1553,5	1414,2	1376,73	1237,43	176,77

De posse das massas, determinou-se o volume dos grãos e o volume de vazios da amostra, podendo-se estabelecer os outros parâmetros do solo, sendo dispostos da Tabela 2:

Tabela 3 – Índices físicos

Índice	Variável representativa	Valor	Unidade	
Volume dos grãos	V_{S}	545,12	cm³	
Volume de vazios	Vv	868,6	cm³	
Teor de umidade	W	12,50	%	
Índice de vazios	e	1,593	-	
Porosidade	n	61,44	%	
Saturação	S	20,35	%	
Peso específico do solo	$\gamma_{\rm s}$	22,27	kgf/cm ³	

6.2 Densidade real do solo

A Tabela 9 representa os resultados obtidos na execução do ensaio de determinação da densidade real do solo.

Tabela 4- Dados encontrados para determinação da densidade real do solo

Volume	Massa específica dos	Densidade real do solo
deslocado (cm³)	sólidos (ρs) (g/cm³)	(G) (adimensional)
44	2,27	2,27

6.3Análise granulométrica do solo

A determinação do tamanho das partículas e suas respectivas porcentagens de ocorrência permite obter a função distribuição de partículas do solo que é denominada distribuição granulométrica.

Através do peneiramento, essa distribuição pode ser identificada analisando a quantidade de amostra passante em cada peneira.

Tabela 5- Informações referentes a execução do ensaio por peneiramento

Massa da amostra inicial = 120g									
Pene	eiras	Massa d sec	% de						
n° (ASTM)	mm (ABNT)	Retida	Passante	passante					
6	3,35	20,40	99,60	83,00					
7	2,80	9,40	90,20	75,17					
35	0,50	38,20	52,00	43,33					
45	0,36	2,60	49,40	41,17					
60	0,25	10,20	39,20	32,67					
	0,18	4,40	34,80	29,00					

A leitura do densímetro é correlacionada com a altura de queda (y) das partículas, ou seja, a distância entre a superfície da suspensão e o centro do bulbo do densímetro.

No que se refere à altura de queda, admite-se duas equações, sendo uma válida para os dois primeiros minutos de ensaio quando o densímetro permanece mergulhado na dispersão, e outra para as leituras subsequentes:

$$y = 15,073 - 0,1644LC \tag{21}$$

$$y = 15,073 - 0,1644LC - \frac{V_d}{2A}$$
 (22)

Onde:

LC = leitura do densímetro corrigida;

 V_d = volume do densímetro:

A = área da proveta;

Para determinar o diâmetro máximo das partículas em suspensão, no momento de cada leitura do densímetro, deve ser utilizada a expressão fornecida pela lei de Stokes:

$$d = \sqrt{\frac{1800 * \eta * y}{(G_S - G) * t}}$$
 (23)

Onde:

 η = coeficiente de viscosidade da água;

 G_s e G = densidade real dos sólidos e da água, respectivamente;

t = tempo de sedimentação em segundos.

A porcentagem de solo suspensa na solução no momento da leitura do densímetro, indica a quantidade de partículas com dimensão menor do que diâmetro referente a uma determinada altura de queda. É dada em função da porcentagem passante na peneira de 2mm (P₁₀), da densidade real dos grãos e da água, da leitura corrigida e do peso da amostra total seca.

É possível determinar a porcentagem passante na P_{10} por meio da interpolação dos resultados obtidos com o ensaio de peneiramento:

Tabela 6 - % Passante na peneira nº 10

n° (ASTM)	mm (ABNT)	% de passante
7	2,80	75,17
35	0,50	43,33
10	2,00	64,09

$$\%P = \%PP_{10} * \frac{G_s}{G_s - G} * \frac{LC}{P_s}$$
 (24)

Tabela 7: Informações referentes à execução do ensaio por sedimentação

Data	ara + +		Leitura Densimétrica	Leitura corrigida	Altura de queda (cm)	Diâmetro dos Grãos (mm)	% Passante da amostra total		
12/jun	30	26	1,010	1,011	14,907	0,085	1,159		
12/jun	60	26	1,005	1,006	14,908	0,060	1,153		
12/jun	120	26	1,005	1,006	14,908	0,043	1,153		
12/jun	240	26	1,004	1,005	14,091	0,029	1,152		
12/jun	480	26	1,003	1,004	14,091	0,021	1,151		
12/jun	900	26	1,003	1,004	14,091	0,015	1,151		
12/jun	1800	26	1,003	1,004	14,091	0,011	1,151		
12/jun	3600	26	1,002	1,003	14,091	0,008	1,149		
12/jun	7200	26	1,001	1,002	14,091	0,005	1,148		
13/jun	61200	26	0,900	0,901	14,108	0,002	1,033		
V_d	1 = 48,0666	cm³	Massa do	Massa do solo seco = 100g			$G_s = 2,27$		
A	x = 29,42c	m²	wassa uu	2010 2000 -	G = 1				

Com os dados obtidos, plotou-se o gráfico de distribuição da curva granulométrica da amostra utilizada para identificar os parâmetros necessários para a classificação do solo quanto à granulometria.



Gráfico 1- Gráfico de distribuição da curva granulométrica

Tabela 8- Porcentagem passante referentes às peneiras utilizadas para classificação granulométrica

Peneira (mm)	% Passante
2,00	64,09
0,42	42,14
0,075	1,16
0,06	1,15
0,002	1,04

Portanto, de acordo com a NBR 6502/95, classificou-se o solo analisado com a seguinte fração granulométrica: 62,94% de areia, 35,91% de pedregulho, 0,11% silte e 1,04% de argila. A maioria das partículas se encontra na fração areia, evidenciada pela inclinação da curva na faixa corresponde a esta fração.

Tabela 9- Dimensões dos grãos correspondentes a 10%, 30% e 60% de material

passante								
%	Diâmetro							
passante	(mm)							
10	0,11							
30	0,20							
60	1,70							

O coeficiente de uniformidade apresentado pela amostra foi de 14,93, enquanto o coeficiente de curvatura foi de 0,20, desta forma podemos dizer que o solo tem uniformidade média e granulometria descontínua.

6.4 Limites de Atterberg

A Tabela 7, apresenta os resultados obtidos na execução do ensaio de limite de liquidez.

Tabela 10- Resultados obtidos após a execução do ensaio de Casagrande

Ensaio	N° de golpe	Tara (g)	Solo úmido + tara (g)	Solo seco + tara (g)	Teor de umidade (w) (%)
1°	29	46,90	56,40	53,20	50,79
2°	21	44,20	53,10	50,00	53,45
3°	17	22,50	32,80	29,20	53,73

Com base nestes dados plotou-se um gráfico no qual as ordenadas são os números de golpes em escala logarítmica e, as abscissas, os teores de umidade. Desta forma, obtivemos a equação da reta para assim calcular o teor de umidade referente a 25 golpes, sendo este o limite de liquidez do solo.

LIMITE DE LIQUIDEZ

100

y = -3,6568x + 214,89

Limite de liquidez

Linear (Limite de liquidez)

10 50 52 54 56

TEOR DE UMIDADE (%)

Gráfico 2- Limite de Liquidez

Portanto, verifica-se que o solo possui limite de liquidez, aproximado para o inteiro mais próximo, de 52%.

Os valores registrados no ensaio de limite de plasticidade foram utilizados para o cálculo do teor de umidade respectivo de cada etapa.

Tabela 11- Dados para obtenção do limite de plasticidade

Ensaio	Tara (g)	Solo úmido + tara (g)	Solo seco + tara (g)	Teor de umidade (w) (%)
1°	22,50	25,50	24,90	25,00
2°	22,60	25,30	24,70	28,57
3°	19,60	22,00	21,50	26,32
	26,63			

O item 5.1.2 da NBR 7180/84 estabelece que o limite de plasticidade é a média dos teores de umidade encontrados, aproximado para o inteiro mais próximo, ou seja, LP = 27%. Desta forma, utilizando a equação 19 para determinação do índice de plasticidade, temos:

$$IP = 52\% - 27\% \tag{25}$$

$$IP = 25\%$$
 (26)

Por fim, determinou-se o índice de consistência através da equação 20:

$$IP = \frac{52\% - 12,5\%}{25} \tag{27}$$

$$IC = 1,58 \tag{28}$$

Logo, o solo pode ser classificado como altamente plástico e duro.

6.5 Classificação unificada

A classificação pelo sistema unificado decorre-se em posse dos resultados encontrados na análise granulométrica e o valor de C_c. Conforme ensaio o solo é considerado como sendo do tipo SP (areia mal graduada).

6.6 Classificação TRB

De posse dos dados da análise granulométrica e dos índices de Atterberg, foi possível classificar o solo em questão pelo sistema TRB. Caracterizou-se o solo de acordo com a Tabela TRB (FIGURA 2) como sendo pertencente ao grupo A-2; subgrupo A-2-7; sendo predominantemente constituído de pedregulhos e areias siltosas ou argilosas e classificado como um material para subleito com características de regulares a mal.

6.7 Penetrômetro

Nas Tabelas 10 e 11, são apresentados os dados obtidos através da execução do ensaio, necessários para determinar a resistência à penetração (RP) do solo.

Tabela 12- Leituras do relógio do penetrômetro de registro 3758

				Nº rog	istro non	atrômatr	0: 2759				
	Nº registro penetrômetro: 3758										
1ª penetração				2ª penetração			3ª penetração				
Nº de voltas	Leitura do relógio	Altura penet.	Corre- ção	Nº de voltas	Leitura do relógio	Altura penet.	Corre- ção	Nº de voltas	Leitura do relógio	Altura penet.	Corre- ção
0,600	65,00	1	1	0,097	44,00	1	1	0,600	69,00	1/2	4

Tabela 13- Leituras do relógio do penetrômetro de registro 3755

	Nº de registro do penetrômetro: 3755										
1ª penetração				2ª penetração					3ª penetração		
Nº de voltas	Leitura do relógio	Altura penet.	Corre- ção	Nº de voltas	Leitura do relógio	Altura penet.	Corre- ção	Nº de voltas	Leitura do relógio	Altura penet.	
0,250	43,00	1	1	0,280	68,00	1	1	0,200	96,00	1	1

E nas Tabelas 12 e 13, são apresentados os valores de resistência a penetração encontrados.

Tabela 14- Resistência a penetração do penetrômetro de registro 3758

Nº registro penetrômetro: 3758											
Eq. de calibração: $y = 0.505x + 1.080123603$ Área do cone: $6.33cm^2$											
	R (kgf)		R	P(kgf/cn	n²)	RP(kPa)					
1 ^a Penet.	1 ^a 2 ^a 3 ^a			1 ^a 2 ^a 3 ^a Penet. Penet. Penet.			2ª Penet.	3ª Penet.			
34,21	23,35	36,23	5,40	3,69	22,89	540,41	368,86	2289,30			

Tabela 15- Resistência a penetração do penetrômetro de registro 3755

Nº de registro do penetrômetro: 3755											
Eq. de calibração: y = 0,4024371335x + 1,2764653263 Área do cone: 6,											
	R (kgf)		R	P(kgf/cn	n²)	RP(kPa)					
1ª Penet.	2 ^a 3 ^a 1 ^a 2 ^a 3 ^a et. Penet. Penet. Penet. Pene				5	1 ^a Penet.	2ª Penet.	3ª Penet.			
19,56	30,14	41,94	3,09	4,76	6,63	308,97	476,11	662,54			

Seguindo a classificação adaptada de Soil Survey Staff (1993), apresentada por Campos *et al.* (2015), pode-se afirmar que cinco dos seis pontos analisados indicam baixa resistência do solo à penetração. Contudo, as tensões calculadas apresentam uma variação maior do que 150kPa, sendo que um único ponto pode ser considerado com alta resistência à penetração.

Apesar dos resultados serem apenas indicativos visto que a área de análise do equipamento é pequena, a discrepância nos valores de resistência obtidos em ambos os equipamentos possibilita conjecturara ocorrência de erros durante a execução do ensaio.

Como forma de enriquecimento do trabalho, analisou-se a resistência a penetração do solo em outros pontos da UFVJM, sendo que estes também apresentam divergência nos resultados. Tais valores estão disponíveis no apêndice.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A execução de ensaios laboratoriais e de campo são ferramentas de grande enriquecimento acadêmico e profissional, pois, por permitir o contato direto com o objeto analisado, auxilia na absorção dos conteúdos teóricos estudados. Desta forma, a elaboração deste trabalho de conclusão de curso serviu como uma complementação do conteúdo visto na disciplina Mecânica dos Solos e, imprevistamente, expôs o déficit da infraestrutura dos laboratórios do Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia da UFVJM, com ênfase no laboratório destinado ao estudo dos solos.

A primeira dificuldade encontrada foi localizar os equipamentos específicos destinados a execução de ensaios relacionados à área de interesse. O laboratório designado à disciplina de Mecânica dos Solos é compartilhado com a disciplina de Química da Água, limitando a sua utilização. Catalogaram-se os equipamentos que estavam dispersos nos demais laboratórios do *campus* com a finalidade de se obter o quantitativo dos materiais, identificando as condições de uso e localização.

Constatou-se a carência de diversos equipamentos o que tornou necessária a adaptação de todos os ensaios realizados. Algumas dessas adequações foram singelas, não interferindo nos resultados obtidos, como, por exemplo, ausência de espátulas, pinças, recipientes para manuseio das amostras e para obtenção da amostra indeformável do solo. Todavia, em alguns ensaios as adaptações realizadas certamente influenciaram nos valores encontrados. Para a preparação da amostra e para o peneiramento faltaram peneiras estipuladas nas NBRs alusivas aos ensaios, a análise granulométrica também foi afetada por não ser possível proceder corretamente o passo a passo do ensaio de sedimentação, já que o laboratório não dispunha de defloculante e aparelho dispersor apropriado. A determinação da densidade real dos grãos foi a atividade que mais divergiu do método ideal, sendo executada por um artifício não empregado na DNER-ME 093/94, e sim pela aplicação dos conhecimentos obtidos na disciplina de Mecânica dos Solos.

Mesmo com todos os empecilhos, executaram-se os ensaios possibilitando caracterizar o solo conforme sua aplicabilidade, proporção de frações granulométricas, consistência e resistência conforme as tabelas e classificações de maior valor geotécnico, como a TRB e o SUCS.

Acerca da amostra coletada, conclui-se que possui uma maior fração de areia seguida de pedregulho, sendo assim uma areia pedregulhosa. Por meio da curva granulométrica

traçada e dos coeficientes de uniformidade e curvatura calculados, determina-se que o solo tem uniformidade média e granulometria descontínua. Pelos limites de Atterberg, o solo é classificado como plástico e duro. Pela classificação TRB, tem-se um solo A-2, enquanto pela SUCS se classifica como SP (areia mal graduada). E por fim, a amostra ensaiada apresenta baixa resistência à penetração.

Em relação a sua aplicabilidade, areias mal graduadas são difíceis de serem compactados para alcançar altas densidades e são menos desejáveis para suportar pavimentos, sendo então, material para subleito com características de regulares a mal. Tem trabalhabilidade regular como material de construção, comportamento como fundação varia entre má e boa, é permeável e possui características excelentes quanto a drenagem.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, G. C. P. Caracterização física e classificação dos solos. UFJF – Universidade Federal de Juiz de Fora: Faculdade de Engenharia: Departamento de transportes, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: amostras de solo: preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: determinação do limite de liquidez: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508**: grãos que passam na peneira de 4,8mm: determinação da massa específica: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: determinação do limite de plasticidade: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: análise granulométrica: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7250**: identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos. Rio de Janeiro, 1982.

CAMPOS, A. G de. *et al.* **Resistência à penetração como indicadora de alterações estruturais no solo decorrentes de implementos para manejo do solo**. In: XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do solo, 2015, Natal. Anais eletrônicos. Natal, 2015. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/138563/1/Resistencia-penetracao.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2018.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**: Fundamentos. 6ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 1996, v.1.

- DAS, B. M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. Tradução: AllTasks. Revisão técnica: Pérsio Leister de Almeida Barros. 6ª edição. São Paulo: Thomson Learing, 2007.
- FIORI, A. P. **Fundamentos da mecânica dos solos e das rochas**: aplicações na estabilidade de taludes. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- FLINT, A.L.; FLINT, L.E. Particle density. In: DANE, J.H; TOPP, G.C. (Ed). **Methods of soil analysis**: part 4 physical methods. Madison: American Society of America, 2002. p.229-240. *apud* GUBIANI, P.I.; REINERT, J. D.; REICHERT, J. M. **Método alternativo para a determinação da densidade de partículas do solo exatidão, precisão e tempo de processamento**. v. 36. n° 2. Santa Maria: Cienc. Rural, 2006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782006000200049 Acesso em: 14 de julho de 2018.
- GUBIANI, P.I.; REINERT, J. D.; REICHERT, J. M. **Método alternativo para a determinação da densidade de partículas do solo exatidão, precisão e tempo de processamento**. v. 36. n° 2. Santa Maria: Cienc. Rural, 2006.Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782006000200049 Acesso em: 14 de julho de 2018.
- LAGETEC, LABORATÓRIO DE GEOTÉCNICA UFC (Universidade Federal do Ceará). **Determinação da densidade real em solos**. Disponível em: http://www.lagetec.ufc.br/wpcontent/uploads/2017/07/Determinação-da-densidade-real-em-solos1.pdf Acesso em: 02 de Agosto de 2018.
- MASSAD, F. **Mecânica dos solos experimental**. São Paulo: Oficina de textos, 2016. Disponível em: < https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=LE8lDAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=livro+mec%C3%A2nica+dos+solos&ots=sXY2xCi55o&sig=MuSLuEN1ST3JB0Rqr9cAnikaLfE#v=onepage&q=livro%20mec%C3%A2nica%20dos%20solos&f=false> Acesso em: 05 de agosto de 2018.
- MT DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 093**: solo- determinação da densidade real. 1994. Disponível em: http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/dner-me093-94.pdf Acesso em: 14 de julho de 2018.
- NOGUEIRA, J. B. **Mecânica dos solos**: Ensaios de laboratório. Escola de engenharia de São Carlos Departamento de Geotecnia, USP. São Carlos, 2005. Disponível em: http://repositorio.eesc.usp.br/bitstream/handle/RIEESC/6042/Mecânica%20dos%20solos-%20Ensaios%20de%20laboratório_Nogueira.pdf?sequence=1> Acesso em: 03 de agosto de 2018.

PINTO, C. S. Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas. 3ª edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

RALISCH, R.; TAVARES FILHO, J. Compactação do solo em sistema de plantio direto – causas, efeitos e prevenção. In: Encontro Nacional de Plantio Direto na Palha, 8, 2002, Águas de Lindóia. Resumos... Ponta Grossa: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, 2002. p.125-127. Disponível em: http://www.redalyc.org/html/4457/445744077016/index.html. Acesso em: 16 de jun. 2018

ROSOLEM, C.A. et al. **Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração**. Pesq. Agropecu. Bras., Brasília, v.34, n.5, p.821-828, 1999. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0100-204X1999000500013&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 01 de jul. 2018.

SOLOTEST – APARELHOS PARA MECÂNICA DOS SOLOS LTDA. Instrução de uso do penetrômetro de solos marca SOLOTEST- REF. 1.210.001

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.2, p.229-35, 1991. Disponível em: http://www.ebah.com.br/content/ABAAAftyYAA/stolf-1991-teoria-teste-experimental-formulas-transformacao-dos-dados-penetrometro-impacto-resistencia-solo-v15n3art01. Acesso em: 16 de jun 2018.

VARELA, M. **Apostila de mecânica dos solos**. IFRN — Curso Técnico em Edificações. Rio Grande do Norte, [20-?]. Disponível em: . Acesso em: 04 de agosto de 2018.

APÊNDICE A – ENSAIO DE PENETRAÇÃO EM DEMAIS PONTOS DA UFVJM

Quadro 2– Legenda

Ponto	Local
A	Atrás do ginásio poliesportivo
В	Atrás do ICET
C	Área do setor de transportes
D	Estacionamento
E	Próximo ao RU
F	Entorno do prédio da FACSAE
G	Atrás do pavilhão de aulas

Tabela 16- Leituras do relógio do penetrômetro de registro 3758

N° registro		3758									
		1ª peneti	ração		2ª penetr	2ª penetração			3ª penetração		
Ponto	Nº de voltas	Leitura do relógio	Altura de penetração do cone	Nº de voltas	Leitura do relógio	Altura de penetração do cone	Nº de voltas	Leitura do relógio	Altura de penetração do cone		
A	0,098	13,00	1/3	0,100	26,00	1/3	0,100	29,00	1/3		
В	0,000	41,00	1	0,100	29,00	1	0,100	34,00	1		
C	0,100	30,60	1	0,100	28,00	1	0,100	31,00	1		
D	0,100	28,00	1/3	0,100	32,00	1/2	0,100	27,50	1/3		
E	0,100	35,00	1/2	0,100	29,00	1/2	0,100	5,00	1/3		
F	0,100	28,50	1/2	0,100	29,50	1	0,096	94,00	1		
G	0,100	35,00	1/2	0,100	34,00	1/2	0,100	37,00	1/3		

Tabela 17- Resistência a penetração do penetrômetro de registro 3758

N° registro					375	58			
		R (kgf)		RI	P(kgf/cn	n²)	RP(kPa)		
Ponto	1 ^a Penet.	2ª Penet.	3 ^a Penet.	1 ^a Penet.	2ª Penet.	3 ^a Penet.	1ª Penet.	2ª Penet.	3ª Penet.
A	7,69	14,26	15,78	14,59	27,03	29,91	1458,69	2703,44	2990,64
В	21,79	15,78	18,30	3,44	2,49	34,69	344,16	249,22	3469,31
C	16,58	15,27	16,79	2,62	2,41	2,65	261,98	241,24	265,18
D	15,27	17,29	15,02	28,95	10,93	28,47	2894,90	1092,61	2847,04
E	18,81	15,78	3,66	11,88	9,97	6,93	1188,35	996,88	693,01
F	15,52	16,03	48,60	9,81	2,53	7,68	980,92	253,21	767,75
G	18,81	18,30	19,82	11,88	11,56	37,57	1188,35	1156,44	3756,52

Tabela 18- Leituras do relógio do penetrômetro de registro 3755

N° registro		3755								
	1ª penetração				2ª penetr	ação	3ª penetração			
Ponto	Nº de voltas	Leitur a do relógio	Altura de penetração do cone	Nº de voltas	Leitur a do relógio	Altura de penetraçã o do cone	Nº de voltas	Leitur a do relógio	Altura de penetraçã o do cone	
A	0,360	49,00	1/2	0,350	28,00	1/3	0,330	48,00	1/3	
В	0,250	40,00	1/4	0,320	21,00	1	0,350	32,00	1	
C	0,280	81,00	1	0,300	26,00	1	0,300	11,00	1	
D	0,350	35,00	1/3	0,330	46,00	1/2	0,320	32,00	1/3	
E	0,300	11,00	1	0,350	35,00	1	0,250	54,50	1	
F	0,350	61,00	1	0,320	33,00	1/2	0,310	29,00	1	
G	0,330	53,00	1/3	0,390	83,00	1/2	0,310	31,00	1/3	

Tabela 19- Resistência a penetração do penetrômetro de registro 3755

Nº registro		3755								
		R (kgf)		RI	P(kgf/cn	n²)	RP(kPa)			
Ponto	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	
	Penet.	Penet.	Penet.	Penet.	Penet.	Penet.	Penet.	Penet.	Penet.	
A	22,14	13,26	21,70	13,99	25,14	41,15	1399,07	2513,68	4114,68	
В	18,29	10,29	14,95	46,23	1,63	2,36	4622,97	162,53	236,18	
C	35,63	12,39	6,05	5,63	1,96	0,96	562,91	195,78	95,62	
D	16,22	20,86	14,94	30,75	13,18	28,32	3074,59	1318,14	2831,79	
E	6,05	16,22	24,42	0,96	2,56	3,86	95,62	256,22	385,76	
F	27,21	15,36	13,67	4,30	9,71	25,91	429,83	970,64	2590,60	
G	23,82	36,52	14,51	45,15	23,08	27,51	4515,33	2308,02	2750,86	