

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL
DISCIPLINA: ESTÁGIO SUPERVISIONADO
ORIENTADOR: JOÃO BATISTA Q. DE CARVALHO.
ALUNO: ALLAM PEREIRA DE MOURA MAT: 20121083.**



**ESTÁGIO SUPERVISIONADO.
(LABORATÓRIO DA ATECEL)**

Campina Grande, Maio de 2007.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL
DISCIPLINA: ESTÁGIO SUPERVISIONADO
ORIENTADOR: JOÃO BATISTA Q. DE CARVALHO.
ALUNO: ALLAM PEREIRA DE MOURA MAT: 20121083.**

**ESTÁGIO SUPERVISIONADO.
(LABORATÓRIO DA ATECEL)**


Orientador: João Batista Queiroz de Carvalho.


Aluno: Allam Pereira de Moura.



Biblioteca Setorial do CDSA. Julho de 2021.

Sumé - PB

Sumario

| | |
|--|-----------|
| 1. Apresentação..... | 3 |
| 2. Introdução..... | 4 |
| 3. Atividades Desenvolvidas..... | 5 |
| 3.1 Materiais Betuminosos..... | 5 |
| 3.1.1 Ensaio de Penetração (NBR – 6576/1998)..... | 5 |
| • Introdução..... | 5 |
| • Fundamentação Teórica..... | 5 |
| • Materiais Betuminosos Básicos..... | 5 |
| • Cimento Asfálticos de Petróleo – CAP..... | 6 |
| • Penetração (NBR – 6576/1998)..... | 7 |
| • Desenvolvimento..... | 7 |
| • Procedimentos do Ensaio..... | 7 |
| • Resultados do Ensaio de Penetração..... | 8 |
| • Conclusão Ensaio de Penetração..... | 9 |
| 3.1.2 ensaios de ponto de Amolecimento e viscosidade..... | 10 |
| • Introdução..... | 10 |
| • Ponto de Amolecimento..... | 10 |
| • Viscosidade..... | 10 |
| • Desenvolvimento..... | 10 |
| • Ensaio do Ponto de Amolecimento (NBR – 6560/2000)..... | 11 |
| • Preparação da amostra e procedimentos..... | 11 |
| • Ensaio de Viscosidade (P – MP – 517/1971)..... | 12 |
| • Procedimentos..... | 13 |
| • Ponto de Amolecimento (resultados)..... | 13 |
| • Viscosidade (resultados)..... | 14 |
| • Conclusão ensaios de ponto de Amolecimento e viscosidade..... | 15 |
| 3.2 Cimento Portland..... | 16 |
| 3.2.1 Finura; consistência; início e fim de pega..... | 16 |
| • Introdução..... | 16 |

| | |
|--|-----------|
| • Cimento Portland (definição)..... | 16 |
| • Algumas propriedades..... | 17 |
| • Densidade | 17 |
| • Finura..... | 17 |
| • Tempo de pega..... | 18 |
| • Pasta de cimento..... | 19 |
| • Resistência..... | 20 |
| • Desenvolvimento..... | 20 |
| • Ensaio de Determinação da Finura do Cimento (NBR 11579/91)..... | 20 |
| • Material utilizado..... | 21 |
| • Procedimento do ensaio..... | 21 |
| • Resultados obtidos..... | 22 |
| • Determinação dos Tempos de Pega do Cimento..... | 23 |
| • Material utilizado..... | 23 |
| • Procedimento do ensaio..... | 24 |
| • Resultados obtidos..... | 24 |
| • Ensaio da Determinação de Consistência..... | 25 |
| • Material utilizado..... | 25 |
| • Procedimento do Ensaio..... | 26 |
| • Resultados Obtidos..... | 27 |
| • Ensaio de determinação da massa específica (NBR NM 23/98)..... | 27 |
| • Material utilizado..... | 27 |
| • Procedimento do ensaio..... | 28 |
| • Resultados Obtidos..... | 29 |
| • Determinação da Resistência à Compressão..... | 32 |
| • Material utilizado..... | 32 |
| • Procedimento de Ensaio..... | 33 |
| • Resultados Obtidos..... | 34 |
| • Conclusão de 3.2..... | 36 |
| 3.3 Ensaio com solos..... | 38 |
| 3.3.1 Ensaio de caracterização e teor de umidade do solo..... | 38 |
| • Apresentação..... | 38 |

| | |
|---|-----------|
| • Introdução..... | 39 |
| • Objetivos..... | 40 |
| • Fases de Preparação de Amostras..... | 40 |
| • Materiais Utilizados..... | 42 |
| • Determinação do Teor de Umidade..... | 42 |
| • Análise e Discussão dos Resultados..... | 43 |
| • Conclusão Ensaio de caracterização e teor de umidade do solo..... | 46 |
| 3.3.2 Massa Específica..... | 47 |
| • Apresentação..... | 47 |
| • Introdução Teórica..... | 47 |
| • Objetivo..... | 47 |
| • Material Utilizado..... | 47 |
| • Procedimentos Experimentais..... | 48 |
| • Análise e Discussão dos Resultados..... | 49 |
| • Conclusão..... | 51 |
| 3.3.3 Limites de consistência..... | 52 |
| • Apresentação..... | 52 |
| • Introdução..... | 52 |
| • Objetivos..... | 53 |
| • Revisão Teórica..... | 53 |
| • Material Utilizado..... | 54 |
| • Procedimentos Experimentais..... | 55 |
| • Determinação do Limite de Liquidez..... | 55 |
| • Determinação do Limite de Plasticidade..... | 56 |
| • Análise e Discussão dos Resultados..... | 57 |
| - Determinação do Limite de Liquidez..... | 58 |
| - Determinação do Limite de Plasticidade..... | 59 |
| • Conclusão Limites de consistência..... | 61 |
| 3.3.4 Análise Granulométrica..... | 62 |
| • Apresentação..... | 62 |
| • Introdução..... | 62 |
| • Objetivos..... | 63 |

| | |
|--|-----------|
| • Material Utilizado..... | 63 |
| • Revisão Bibliográfica..... | 64 |
| • Peneiramento Grosso..... | 66 |
| • Peneiramento Fino..... | 67 |
| • Sedimentação..... | 67 |
| • Procedimentos Experimentais..... | 68 |
| - Peneiramento Grosso..... | 69 |
| - Peneiramento Fino..... | 69 |
| - Sedimentação..... | 69 |
| • Análise e Discussão dos Dados..... | 70 |
| • Conclusão Análise Granulométrica..... | 77 |
| 3.3.5 Ensaio de Compactação..... | 79 |
| • Apresentação..... | 79 |
| • Introdução..... | 79 |
| • Objetivo..... | 80 |
| • Material Utilizado..... | 80 |
| • Revisão Bibliográfica..... | 80 |
| • Procedimentos Experimentais..... | 83 |
| • Análise e Discussão dos Dados..... | 83 |
| • Conclusão Ensaio de Compactação..... | 87 |
| 3.3.6 Ensaio de Permeabilidade..... | 88 |
| • Apresentação..... | 88 |
| • Introdução | 88 |
| • Objetivo..... | 89 |
| • Material Utilizado..... | 89 |
| • Revisão Bibliográfica..... | 90 |
| • Fatores que influenciam na permeabilidade..... | 90 |
| • Determinação do Coeficiente de Permeabilidade..... | 91 |
| • Procedimentos Experimentais..... | 93 |
| • Análise e Discussão dos Resultados..... | 93 |
| • Conclusão Ensaio de Permeabilidade..... | 98 |
| 3.3.7 Ensaio de Adensamento..... | 99 |

| | |
|--|-----|
| • Apresentação..... | 99 |
| • Introdução | 99 |
| • Objetivo..... | 100 |
| • Revisão Teórica..... | 100 |
| • Compressão e Expansão nos Solos..... | 100 |
| • Fenômeno de Adensamento..... | 101 |
| • Compressibilidade dos solos considerados permeáveis e impermeáveis.... | 101 |
| • Comportamento do Índice de Vazios..... | 102 |
| • Ensaio de Adensamento..... | 103 |
| • Coeficiente de Adensamento..... | 104 |
| • Pressão de Pré-Adensamento..... | 105 |
| • Aparelhagem..... | 106 |
| • Execução do Ensaio..... | 107 |
| • Amostra..... | 107 |
| • Determinações Preliminares..... | 107 |
| • Preparação do Corpo-de-Prova..... | 107 |
| • Determinação da Umidade e Massa Específica Aparente Iniciais..... | 107 |
| • Montagem do Corpo-de-Prova na Célula de Adensamento..... | 108 |
| • Procedimento para Execução do Ensaio..... | 108 |
| • Cálculos e Resultados..... | 109 |
| • Índices Físicos Iniciais do Corpo-de-Prova..... | 109 |
| • Massa Específica Aparente Seca..... | 109 |
| • Índice de Vazios Inicial..... | 109 |
| • Grau de Saturação Inicial..... | 109 |
| - Índices Físicos Finais do Corpo-de-Prova..... | 110 |
| - Índices de vazios ao final de cada estágio de carga..... | 110 |
| • Grau de Saturação Final..... | 111 |
| • Coeficiente de Adensamento..... | 111 |
| • Processo de Casagrande..... | 111 |
| • Processo de Taylor..... | 112 |
| • Índice de Compressão..... | 113 |
| • Pressão de Pré-Adensamento..... | 113 |
| • Processo de Casagrande..... | 113 |

| | | |
|---|--|------------|
| • | Processo de Pacheco Silva..... | 113 |
| • | Determinação do Coeficiente de Permeabilidade..... | 113 |
| • | Determinação do Coeficiente de Compressibilidade..... | 114 |
| • | Conclusão Ensaio de Adensamento..... | 115 |
| • | Dados Bibliográficos..... | 116 |
| • | Tabela. 43..... | 116 |
| • | Anexo (gráficos de adensamento)..... | 120 |
| | 3.3.8 cisalhamento direto..... | 125 |
| • | Apresentação..... | 125 |
| • | Introdução..... | 125 |
| • | Objetivo..... | 126 |
| • | Revisão Teórica..... | 126 |
| • | Princípio de Mohr..... | 126 |
| • | Resistência ao Cisalhamento dos Solos..... | 127 |
| • | Ensaio de Cisalhamento Direto..... | 127 |
| • | Aparelhagem e Procedimentos para execução do ensaio..... | 128 |
| • | Resultados e Cálculos | 128 |
| • | Resultados para a Amostra 01..... | 128 |
| • | Resultados para a Amostra 02..... | 131 |
| • | Resultados para a Amostra 03..... | 133 |
| • | Conclusão cisalhamento direto..... | 137 |
| | 4. Considerações Finais..... | 138 |
| | 5. Referencias Bibliografia..... | 139 |

AGRADECIMENTOS:

Agradeço primeiramente a **Deus** por sempre estar presente em minha vida e ter me trago até aqui; aos meus pais (Maria de Fátima) e Antonio (in memória); em especial a minha avó (dona Maria Viana); aos meus filhos (Lucas e Lara); a minha esposa (Leilda), e a toda a minha família pelo apoio e incentivo.

A todos os meus professores por tudo. Principalmente ao professor João Queiroz por todo apoio e por ter aceitado me orientar na elaboração desse projeto e ao engenheiro Francisco Barbosa de Lucena que me deu a oportunidade de estagiar no laboratório da ATECEL e por ter colaborado para o enriquecimento dos meus conhecimentos no campo da construção civil e especialmente ao meu mestre e grande amigo Prof. Jailton que me mostrou que eu era capaz de envereda pelos caminhos da construção civil .

Agradeço também aos funcionários e laboratoristas que com os seus conhecimentos colaboraram para a minha formação profissional.

Agradeço também aos meus verdadeiros amigos ao longo dessa caminhada amigos esses que se mostraram verdadeiros irmãos como (Thiago, Gilvam, Robson, Marcio entre outros), e em especial as pessoas que cuidam e coordenam o programa de residências universitárias (RUN-CG), onde vivi todos esses anos.

A todos o meu muito obrigado.

1. Apresentação

O presente relatório apresenta informações de atividades desenvolvidas a partir do estágio supervisionado do aluno Allam Pereira de Moura, aluno regularmente matriculado do curso de engenharia civil do centro de tecnologia e recursos naturais-CTRN, na Universidade Federal de Campina Grande, sob o numero de matricula N° 20121083. O referido estágio ocorreu no período compreendido entre: 08 de Janeiro de 2007 e 03 de Março de 2007, onde de 08 de Janeiro a 02 de Fevereiro com disposição de 08 horas diariamente totalizando 40 horas semanais e posteriormente a essa data a carga horária semanal passou a ser de 20 horas semanais totalizando 200 horas.

As atividades foram desenvolvidas no laboratório da ATECEL- Associação técnico-científica Ernesto Luiz de O. Júnior, localizado na rua Aprígio Veloso n° 882, Bodocongó, bem como no laboratório de solos I no bloco cw localizado dentro do campos da UFCG e teve como engenheiro orientador Francisco Barbosa de Lucena.

2. Introdução

O estágio supervisionado tem pro finalidade prioritária criar raciocínios práticos, lógicos e realistas dos trabalhos realizados a cada dia no canteiro de obras, tendo como base os conhecimentos teóricos adquiridos na instituição de ensino(UFCG), mesclados com as experiências vividas pelo estagiário.

O objetivo desse relatório é descrever as atividades realizadas no laboratório, onde foram aprimorados e adquiridos novos conhecimentos. As atividades desenvolvidas foram aplicações da teoria adquirida no curso até o momento na prática, aquisição de novos conhecimentos gerais e termos utilizados no cotidiano, desenvolver a capacidade de analisar e solucionar possíveis problema que possam vir a ocorrer no decorrer das atividades, desenvolvimento no relacionamento com as pessoas, coleta e preparação de amostra em campo para realização de ensaios tais como: ensaios de caracterização de materiais de construção, como caracterização dos solos, de cimento asfáltico de petróleo(CAP) e emulsões asfálticas; montagens de copos de prova para os testes de resistência do concreto; etc abordando ainda as dificuldades encontradas durante a execução dos ensaios.

3. Atividades Desenvolvidas

3.1 Materiais Betuminosos;

3.1.1 Ensaio de Penetração (NBR – 6576/1998)

Introdução.

Os materiais betuminosos são aglomerantes inertes constituídos essencialmente por betumes e normalmente misturados com argila, silte, areia, impureza minerais ou orgânicas, podendo ocorrer na natureza em jazidas ou ser obtido pela refinação de petróleo. São materiais bastante utilizados na Engenharia Civil de diversas maneiras (pavimentação, impermeabilização, etc.) e possuem determinadas propriedades que devem ser obedecidas quando da aplicação destes produtos, ou seja, quando a utilização destes materiais, deve-se verificar as especificações exigidas para certos serviços e determinar através de ensaios se esses materiais atendem a esses requisitos padrões estabelecidos pela norma. É através destes ensaios que são determinadas as principais propriedades dos materiais betuminosos.

Este ensaio tem como objetivo determinar o ponto de fulgor e a resistência à penetração desses materiais.

OBS: É importante ressaltar que como anteriormente já foi feito um resumo teórico falando minuciosamente das características desses materiais, só será feita aqui uma revisão teórica sobre eles, esse ensaio se restringirá a mostrar apenas os métodos, objetivos e descrição de sua realização.

Fundamentação Teórica.

Materiais Betuminosos Básicos

Os materiais betuminosos se dividem inicialmente em dois grandes grupos: asfaltos e alcatrões.

Os asfaltos são constituídos essencialmente de por betume, de cor preta presente nos petróleos nos quais se encontram dissolvidos. Removendo-se os óleos e solventes do

petróleo por destilação obtém-se o asfalto. Portanto os asfaltos são os produtos resultantes da destilação do petróleo ou é o resíduo da destilação do petróleo. Esses produtos são denominados de CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo). Os asfaltos são aglomerantes que oferecem particular interesse ao engenheiro, por se tratar de um poderoso ligante, rapidamente adesivo, altamente impermeável e de longa durabilidade, apresenta ainda, flexibilidade elevada, resistência ao pela maioria dos ácidos, sulfatos e sais. A utilização dos asfaltos na construção civil e na pavimentação é devido a esse produto possuir determinadas características, denominadas características fundamentais dos materiais betuminosos:

- ✓ São materiais aglomerantes ou ligantes;
- ✓ São sensíveis ao calor;
- ✓ São hidrofugantes, ou seja, repelentes a água;
- ✓ São quimicamente inertes não reagindo com cimento, cal, madeira, etc.
- ✓ Envelhecem com o tempo, podendo perder a sua flexibilidade.

Neste experimento nos limitamos a estudar os Asfaltos, principalmente os asfaltos para pavimentações (CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo)

Cimento Asfálticos de Petróleo - CAP

São materiais termoplásticos, variando a consistência de firme a duro, em temperaturas normais, e que devem ser aquecidos até atingir a condição de fluidos, conveniente ao emprego.

Os cimentos asfálticos são produzidos a partir dos materiais residuais compostos de asfalto e óleo. Esse material é submetido à destilação em baixa temperatura sob vácuo o qual freqüentemente tem o vapor da água introduzido com a ajuda no processo de destilação, sendo os produtos assim obtidos usualmente denominas “ao vácuo” ou “ao vapor e vácuo”, onde o processo é realizado a uma temperatura aproximadamente de 250°C.

Podem ser obtidos também pelo processo de precipitação, em soluções de matéria prima com solventes seletivos que dissolvem apenas a fração do óleo presente. Estes por si só são produzidos e classificados segundo diversas variedades, de acordo com os resultados dos ensaios de penetração e com fim de controlar outras características o ensaio do ponto de fulgor. Existem tabelas que contêm a classificação dos cimentos asfálticos de petróleo.

Os cimentos Asfálticos de Petróleo apresentam características próprias para o uso em pavimentação, em virtude de serem aglutinantes e impermeabilizantes, possuem características de flexibilidade, durabilidade e alta resistência à ação da maioria dos produtos inorgânicos. Caracterizam-se principalmente de acordo com a sua consistência medida pela Viscosidade, Penetração Ponto de Fulgor e Ponto de Amolecimento.

Penetração(NBR – 6576/1998)

O ensaio de penetração consiste basicamente, na medida da penetração de uma agulha sobre a amostra em condições pré-fixadas de carga ($100g \pm 0,50g$), temperatura ($25^{\circ}C \pm 0,1^{\circ}C$) e é medida em décimo de milímetro, como será mostrado posteriormente.

Desenvolvimento

Para a determinação da penetração de materiais betuminosos sólidos e semi-sólidos foi necessária a utilização do seguinte material:

- ✓ Recipiente de forma cilíndrica e fundo de metal;
- ✓ Penetrômetro;
- ✓ Agulha de aço devidamente polida;
- ✓ Amostra com banho de água, ficando a mesma submersa, para manter a temperatura constante;
- ✓ Cuba de transferência, cilíndrica de Alumínio;
- ✓ Termômetro;

Procedimentos do Ensaio

Inicialmente colocou-se a amostra de CAP em uma cuba de transferência no banho d'água, a temperatura do banho estava em $25^{\circ}C$.

Examinou-se o suporte da agulha e a haste, limpou-se a agulha com solvente colocou-se a cuba de transferência sobre o prato do penetrômetro, ajustou-se a agulha até a mesma tocar levemente a superfície da amostra, logo em seguida travou-se o aparelho e regulou-se a medição. Foram feitas 3 medições, sempre tomando o cuidado de zerar o aparelho e limpar cuidadosamente a agulha com solvente a cada determinação.

Resultados do Ensaio de Penetração

Dados obtidos no ensaio de penetração:

Tabela. 1

| Numero das leituras | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------------------|----|----|----|----|----|
| Leitura do penetrômetro | 50 | 46 | 47 | 42 | 44 |

Fazendo a media entre os valores acima descritos temos: 46

De acordo com a norma sabe-se que pode se ter a diferença entre o valor mais alto e o valor mais baixo das determinações deve ser de 4 para a penetração até 249 décimos de milímetro. Analisando as tabelas de classificação dos CAP, verifica-se que o CAP encontrado se enquadra no CAP 50-60.

Entre diversos erros que podem ter ocorrido durante o processo de identificação do CAP no ensaio de penetração temos que a agulha tenha sido largada a partir da película de água, que no caso do ensaio realizado no laboratório não coincidia com a película mais externa na amostra. Outro ponto que pode ter atrapalhado é a variação da temperatura durante o experimento.

CONCLUSÃO

O principal objetivo deste ensaio foi o de determinar alguns elementos característicos do Cimento Asfáltico de Petróleo, afim de que se possa ter-se uma idéia do tipo de material que se está trabalhando para que se possa, portanto, utilizá-lo em alguma de suas necessidades, principalmente em pavimentações.

O ensaio de penetração é importante porque é através dele que se tem idéia da consistência desses materiais.

3.1.2 ensaios de ponto de Amolecimento e viscosidade.

Introdução

Os ensaios que serão apresentados neste relatório têm como objetivo determinar alguns elementos característicos dos materiais betuminosos, como ponto de amolecimento e a viscosidade. São esses os principais elementos (juntamente com o ponto de fulgor e a consistência) que se devem conhecer do asfalto para verificar a sua viabilidade, principalmente em pavimentações.

Ponto de Amolecimento

O Ponto de Amolecimento é a temperatura lida no momento em que uma esfera metálica padronizada atravessa um anel também padronizado, completamente cheia com o material, toca a placa de referência após ter percorrido uma distância de 25,4 mm sob condições especificadas, ou seja, a temperatura em que o material apresenta consistência fluida, facilitando assim, o superaquecimento do produto. Ao mesmo tempo tem-se a idéia do local onde este produto pode ser aplicado em função da temperatura ambiente.

Viscosidade

È a resistência à deformação oposta por um fluido à ação de uma força, ou seja, é a resistência ao escoamento, o resultado do atrito interno, que se opôs à fluidez. Neste ensaio pode ser definida como sendo o tempo em segundos para que um volume de 60m^3 de uma amostra de Cut-back escoe através de um orifício padrão para um recipiente graduado a uma temperatura pré-fixada.

Desenvolvimento

Todos os ensaios realizados com materiais betuminosos exigem grande cuidado de manuseio com equipamentos e amostras. Alguns ensaios são feitos a temperaturas que podem chegar a 400°C , temperatura esta que pode acarretar sérios danos, se a amostra e a aparelhagem não forem bem administradas. Outros ensaios fazem o uso de equipamentos bastante sensíveis e exigem bastante atenção e prática no manuseio, para

além de não ocorrer danificações no equipamento, também não ocorra alteração no resultado do ensaio.

Ensaio do Ponto de Amolecimento (NBR – 6560/2000)

A amostra é fundida e colocada em um molde que consiste em dois anéis de latão. Os anéis são mantidos suspensos em um banho de água destilada para ensaios com temperatura variando na faixa de 30 a 80 °C, ou glicerina USP para ensaios com temperatura variando na faixa de 80 a 157 °C a temperatura controlada, e, sobre ele, é colocada uma bola de aço. [O conjunto é aquecido a uma velocidade de aquecimento constante fazendo com que a amostra amoleça dentro do anel e ceda ao peso da bola que se deslocará a uma determinada distancia.]

Para este ensaio foram utilizados os seguintes materiais:

- ✓ Anéis de latão;
- ✓ Bola de aço;
- ✓ Dispositivo de latão, para manter a bola centrada sobre o anel (guias das bolas);
- ✓ Fonte de aquecimento;
- ✓ Béquer de 800ml, de forma baixa, resistente ao fogo e dimensões aproximadas de: diâmetro maior ou igual a 85mm e altura maior ou igual a 120mm;
- ✓ Suportes para os anéis e termômetros;
- ✓ Termômetros de acordo com a ASTM E - 1;
- ✓ Banho líquido de água destilada recém fervida;
- ✓ Agentes não adesivos tipo talco, óleo de silicone, etc.
- ✓

Preparação da amostra e procedimentos

Funda-se a amostra com cuidado, agitando-a continuamente para evitar superaquecimento local, até que ela se torne fluida. A amostra não deve ser aquecida acima 93⁰C acima do ponto de amolecimento esperado para os CAP; Não aquecer por mais de 30 minutos e evite inclusão de bolhas de ar; aquecem-se os anéis, aproximadamente, à temperatura na qual a amostra flui facilmente e coloque sobre a placa de latão coberta com uma mistura de glicerina e dextrina ou glicerina e talco;

encha-os com suficiente amostra fundida, de modo a permanecer um excesso acima do topo dos anéis após o resfriamento; resfria-se durante 30 minutos ao ar e corte o excesso de material com uma concha espátula suficientemente aquecida. Materiais com ponto de amolecimento próximo da temperatura ambiente (mais ou menos 30°C), deverão ser resfriadas durante 30 minutos a uma temperatura de, no mínimo, 8°C abaixo do ponto de amolecimento esperado.

Montou-se o aparelho, colocando água destilada no béquer até uma altura suficiente para que se cobrisse as amostras quando mergulhadas (aproximadamente 10cm). Colocaram-se então as guias das bolas de aço sobre os anéis e introduziu-se o conjunto no béquer, manteve esse banho por aproximadamente por 15 minutos, logo em seguida, colocaram-se as duas bolas de aço, simultaneamente. À medida que as amostras foram esquentando as bolas foram descendo, até um ponto em que o material que envolve as bolas tocou na placa inferior ($h = 2,54\text{cm}$), neste instante foi medida a temperatura. A temperatura constatada para as duas bolas foi à mesma, mais não e porque ocorreu isto que podemos deixar de lado os possíveis erros que podem ter ocorrido durante a preparação da amostra ou durante a execução do experimento, como, por exemplo, entre estes erros temos; erro no nivelamento da amostra, consistência em que se encontrava a amostra para cada uma das bolas e tempo gasto para realização do experimento, a água destilada não estava nas condições adequadas estabelecidas pela norma, etc.

Ensaio de Viscosidade (P – MP – 517/1971)

Realizado com um aparelho denominado viscosímetro Saybolt-Furol, a uma determinada temperatura, que varia em função do material empregado, neste ensaio registra-se o tempo em segundos, necessário para que 60cm^3 do produto escoem, através de um orifício padrão, para o frasco graduado.

Para a realização deste ensaio foram utilizados os seguintes materiais:

- ✓ Tubo de Viscosidade Saybolt-Furol;
- ✓ Frasco receptor com dimensões específico e marcado por um traço no gargalo;
- ✓ Banho d'água;
- ✓ Termômetro que obedeça às especificações da E – 1 ASTM;

- ✓ Tampa de metal com dimensões específicas e um furo feito no centro;
- ✓ Placa de aquecimento elétrico e cronômetro.

Procedimentos

A amostra, ainda quente, foi introduzida no tubo até transbordar uma pequena quantidade na galeria. Em seguida inseriu-se o termômetro de ensaio pelo orifício central, agitou-se a amostra com o auxílio do termômetro em movimento giratório (sempre na horizontal para que se evitar a inclusão de bolhas de ar).

Ajustou-se a temperatura do sistema, até que a temperatura permanecesse constante. Com a temperatura constante durante aproximadamente um minuto retirou-se o termômetro. Posicionou-se o frasco receptor na extremidade inferior do tubo, de modo que não houvesse perda de material durante o escoamento, retirou-se a rolha e acionou-se imediatamente o cronômetro, parando quando a amostra atingir o traço de referência do frasco receptor.

Obs.: durante a realização deste ensaio a técnica esqueceu o viscosímetro ligado no aquecedor máximo, desta forma a temperatura do óleo chegou a 80°C e a do asfalto chegou a 65°C, no entanto deveria estar por volta de 60°C. E isto pode ter provocado erros.

Ponto de Amolecimento (resultados)

No ensaio do ponto de amolecimento a temperatura inicial estava por volta de 25°C. as duas esferas desceram praticamente juntas dando assim uma melhor representatividade para os resultados obtidos neste experimento, e a temperatura lida no termômetro no momento em que foi atingida a placa de suporte foi de 57°C.

Viscosidade(resultados)

No ensaio de viscosidade a amostra deveria escoar através de um orifício padrão para o frasco receptor até a marca graduado existente no mesmo, a qual corresponde a um volume de 60cm³. No primeiro frasco receptor o tempo foi de 92s e no segundo o tempo foi de 94s. Podemos notar uma dificuldade quando vai olhar se o volume de asfalto no

recipiente atingiu a marca que corresponde a 60cm^3 , esta dificuldade se deu devido ha, quando o asfalto estava escoando para dentro do recipiente ele melou todo o recipiente, e por ele ser escuro ficava dificil a visualização da marca tivemos assim quer contar com a experiência de nossa técnica Rosimery.

Conclusão

No ensaio de amolecimento é de grande importância, pois é a temperatura em que o CAP amolece, e deste modo podemos saber em que regiões podem trabalhar com ele, sabendo disto podemos evitar o superaquecimento do CAP, que pode trazer para ele grandes prejuízos entre eles: podendo haver a combustão ou ainda com isto ele perde algumas de suas propriedades mais importantes entre elas o poder impermeabilizante e aglutinante entre outras, isto pode ocorrer devido ao fenômeno de craqueamento (quebra de moléculas após submissão a elevadas temperaturas). Em relação aos resultados obtidos neste experimento podemos concluir que são aceitáveis, pois para o CAP 50-60 temos índices que está entre -1 e 4 e o índice encontrado no laboratório foi de 0,4 que está neste intervalo, o que deixa este experimento válido. Isto foi possível também porque fomos auxiliados tanto pela professora quanto pela técnica, evitando assim muitos possíveis erros que poderiam ter ocorrido.

No que diz respeito ao ensaio de viscosidade os resultados também foram representativos, pois o tempo de escoamento para os dois beques especiais foi bem próximo e desta forma podemos classificar o CAP, que para este experimento ficou CM-70. Mais pelo fato disto ter ocorrido isto não implica que durante o experimento não pode ter ocorrido erros devido, por exemplo, imprecisão do aparelho, na verificação se o volume desejado foi atingido ou devido a marcação do cronômetro.

Desta forma podemos afirmar que o experimento descrito aqui é de grande valia, pois é uma maneira de aplicarmos e verificarmos o que foi visto em sala de aula, desta forma fixando de maneira mais concreta os conceitos adquiridos.

3.2 Cimento Portland

3.2.1 Finura; consistência; início e fim de pega.

Introdução

Entre os aglomerantes, indubitavelmente, os cimentos são um dos materiais de maior importância e mais utilizado na construção civil na confecção de concretos, argamassas e pastas, destacando-se por atender a um gama muito grande de necessidades.

O cimento é um material pulverulento, constituído de silicatos e aluminatos de cálcio, praticamente sem cal livre, resultante da moagem do clinker, obtido pelo cozimento até fusão incipiente de misturas de calcários e argila, convenientemente dosada e homogeneizada, de tal forma que toda a cal se combine com os componentes argilosos, sem que, depois do cozimento, resulte cal livre em quantidade prejudicial, é um aglomerante ativo hidráulico que precisa reagir com a água para endurecer. Para o uso eficiente desse aglomerante é preciso conhecer suas características que serão descritas e algumas determinadas aqui neste experimento.

Os ensaios aqui apresentados têm como objetivo determinar propriedades dos cimentos, tais como, finura, tempo de pega, consistências etc. Outras características como massa específica, resistência à compressão serão lembrados, mais os resultados de seus experimentos só será apresentado em outro relatório. Essas são propriedades de fundamental importância no cimento, pois é através delas que se analisa as características do cimento e suas aplicabilidades na construção civil, ou seja, suas características de engenharia, para que deste modo possa se prever como se deve esperar que o cimento se comporte sobre determinadas condições que o mesmo possa ser submetido.

Cimento Portland (definição)

Cimento portland é o produto obtido pela pulverização de **clinker** constituído essencialmente de silicatos hidráulico de cálcio, com certa proporção de sulfato de cálcio natural, contendo, eventualmente, adição de certas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego.

O **clinker** é um produto de natureza granulosa, resultante da calcinação de uma mistura daqueles materiais, cozida até a temperatura de sua fusão incipiente.

Algumas propriedades

As propriedades das pastas e argamassa são relacionadas com o comportamento desse produto quando utilizado, ou seja, as propriedades potenciais para a elaboração de concreto e argamassas. Tais propriedades se enquadram em processos artificialmente definidos nos métodos e especificações padronizados, oferecendo sua utilidade quer para o controle de aceitação do produto, quer para avaliação de suas qualidades para os fins de utilização dos mesmos.

Densidade

A densidade absoluta do cimento portland é usualmente considerada como 3,15, embora, possa variar para valores ligeiramente inferiores. A utilidade do conhecimento desse valor se encontra nos cálculos do consumo do produto nas misturas geralmente feita com base nos volumes específicos dos constituintes.

Na pasta de cimento, a pasta é um valor variável com o tempo, aumentando à medida que progride o processo de hidratação. Tal fenômeno de natureza extremamente complexa é conhecido pelo nome de retração.

Finura

A finura do cimento é uma noção relacionada com o tamanho dos grãos do produto. A finura ou superfície específica do produto, é o fator que governa a velocidade de reação de hidratação do mesmo e tem também influência comprovada em muitas qualidades de pasta, das argamassas e dos concretos. O aumento da finura melhora a resistência, diminui a exaustão e outros tipos de segregação, aumenta a impermeabilidade, a trabalhabilidade e a coesão dos concretos e diminui a expansão e autoclave.

A finura do cimento é determinada naturalmente durante o processo de fabricação para controle do mesmo, como também nos ensaios de recepção do produto, quando deve estar dentro dos limites determinados nas especificações correspondentes. As especificações brasileiras NBR 5732 (EB-1) e NBR 5733 (EB-2) prescrevem limite de retenção na peneira 200 de malha 75 micra de abertura. Para o cimento portland comum, o resíduo deixado nessa peneira não deve exceder 15% em peso. Para cimento portland de alta resistência inicial, tal índice deve baixar a 6%.

Tempo de pega

O fenômeno pega do cimento compreende a evolução das propriedades mecânica da pasta no início do processo de endurecimento, propriedades essencialmente físicas, conseqüente, entretanto a um processo químico de hidratação. É um fenômeno artificialmente definido como o momento em que a pasta adquire certa consistência que a torna imprópria para a um trabalho. Tal conceituação se estende, evidentemente, tanto à argamassa quanto aos concretos nos quais a pasta de cimento está presente e com missão aglutinadora dos agregados.

No processo de hidratação, os grãos de cimento que inicialmente se encontram em suspensão e vão-se aglutinando paulatinamente uns aos outros, por efeito de floculação, conduzindo à construção de um esqueleto sólido, finalmente responsável pela estrutura geral. O prosseguimento da hidratação em subseqüentes idades conduz ao endurecimento responsável pela aquisição permanente das qualidades mecânicas, características do produto acabado. A pega e o endurecimento são dois aspectos do mesmo processo de hidratação do cimento visto em períodos diferentes – a pega na primeira fase do processo e o endurecimento na segunda e última fase do mesmo. A partir de um certo tempo após a mistura, quando o processo de pega alcança um determinado estágio, a pasta não é mais trabalhável, não admite operação de remistura. Tal período de tempo constitui um prazo disponível para operações de manuseio das argamassas e concretos, após a qual esses materiais devem permanecer em repouso, em sua posição definitiva, para permitir o desenvolvimento de endurecimento.

A caracterização da pega dos cimentos é feita pela determinação de dois tempos distintos – o tempo de início e o tempo de fim de pega. Os ensaios são feitos com pasta de consistência normal, e geralmente, com aparelho de Vicat. Nesse aparelho mede-se, em última análise, a resistência à penetração de uma agulha na pasta de cimento.

A **Figura 1** ilustra o aparelho de Viact.

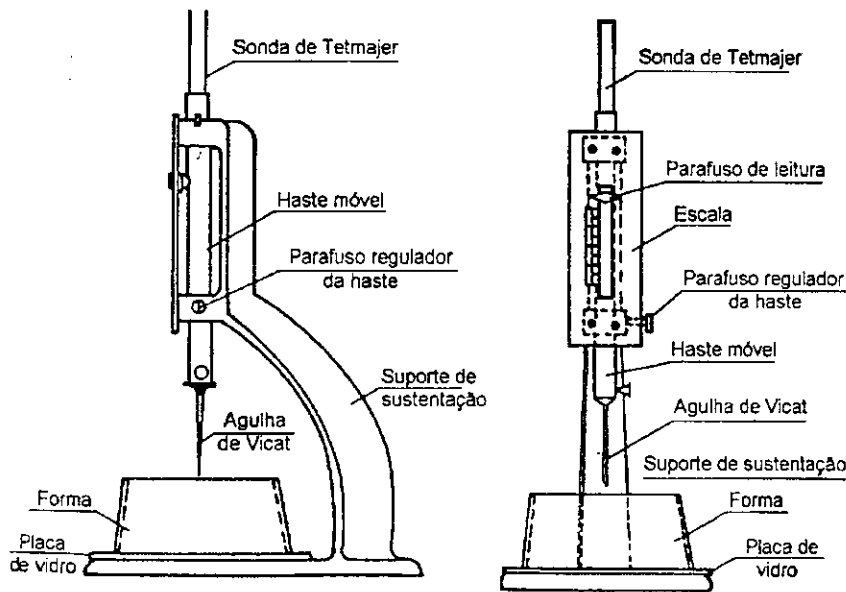


Figura 1: Aparelho de Vicat

Pasta de cimento

A ocorrência da pega no cimento deve ser regulada tendo-se em vista os tipos de aplicação do material, devendo-se processar ordinariamente em períodos superiores a uma hora após o início da mistura. Nesse prazo são desenvolvidas as operações de manuseio do material, mistura, transporte, lançamento e adensamento. Há casos entretanto, em que o tempo de pega deve ser diminuído ou aumentado.

Nas aplicações em que se deseja uma pega rápida, como, por exemplo, nas obturações de vazamentos, são empregados aditivos ao cimento, conhecidos com o nome de aceleradores de pega, como, por exemplo, cloreto de cálcio e o silicato de sódio.

Contrariamente, em outros processos tecnológicos, ressalta-se a conveniência de um tempo de pega mais longo, como por exemplo, nas operações de injeção de pastas ou argamassas e nos lançamentos de concreto sob água, quando então se empregavam aditivos denominados retardadores. Alguns cimentos oferecem raramente o fenômeno de falsa pega, que tem as características de pega ordinária, ocorrendo em período mais curto e não correspondendo, entretanto, à evolução já descrita para o fenômeno. Trata-se de uma anomalia, geralmente atribuída ao comportamento do gesso adicionado ao cimento, no processo de manufatura, e que pode ser corrigida por destruição do

incipiente esqueleto solidão e formação mediante ação enérgica de mistura ou remistura. O tempo de pega do cimento é determinado, como já foi dito, por ensaio do aparelho de Vitac. A pasta é misturada em proporção que conduz a uma resistência denominada normal. Essa consistência normal é verificada no aparelho de Vitac, utilizando-se a chamada sonda de Tetmajer, um corpo cilíndrico, metálico liso, de 10mm de diâmetro e terminada em seção reta. A sonda é posta a penetrar verticalmente em pasta fresca por ação de um peso total de 300g. No ensaio de consistência da pasta, a sonda penetra e estaciona a uma certa distância do fundo do aparelho. Essa distância, medida em milímetros, é denominada índice de consistência. A pasta preparada para ensaio de tempo de pega, deve ter uma consistência normal de 6mm, isto é, a sonda deve estacionar à distância de 6 mm do fundo da amostra. Uma melhor descrição a respeito de cada ensaio será especificada na descrição dos mesmos.

Resistência

A resistência mecânica dos cimentos é determinada pela ruptura à compressão de corpos-de-prova realizados com argamassa. A forma do corpo de prova, suas dimensões, a tração da argamassa, sua consistência e o tipo de areia empregado são definidos nas especificações correspondentes, e constituem características que variam de um país para outro. Quase todos adotam cubos de arestas de 5 a 7 cm, predominado a última dimensão. Apenas no Brasil e no Uruguai empregam-se corpos-de-prova de forma cilíndrica. No Brasil, o corpo-de-prova é um cilindro de 10cm de altura e 5cm de diâmetro. A consistência da argamassa é determinada pelo ensaio de escorregamento da argamassa normal sobre mesa cadente. O processo é descrito pormenorizadamente no método NBR 7215(MB-1) da ABNT.

Desenvolvimento

Ensaio de Determinação da Finura do Cimento (NBR 11579/91)

Este ensaio consiste simplesmente na separação da amostra em duas porções, tendo numa delas todas as partículas maiores que uma certa dimensão e a outra porção, menores. A dimensão mencionada nada mais é do que os espaçamentos entre os fios os fios que formam a malha da peneira.

Na especificação NBR NM - ISO 3310-2, encontra-se a série normal de peneiras, com aberturas que variam desde 125 mm até 20 µm, sendo que apenas as aberturas normais menores que 150 µm apresentam interesse para análise de cimentos.

O ensaio de finura do cimento especificado pela norma brasileira é realizado na PENEIRA DE 75 µm e é regido pela NBR 11579/91. A adoção dessa peneira reside no fato que, do ponto de vista prático, as partículas maiores do que 75 µm não contribuem significativamente na resistência aos 28 dias de idade.

Material utilizado

- ✓ Balança que deve ser capaz de determinar massas com resolução de 0,01g, devendo ser aferida pelo menos a cada seis meses;
- ✓ Peneira com abertura de malha de 75 µm, calibrada e verificada de acordo com a NBR NM – ISO 3310-1, deve estar provida de tampa e fundo.
- ✓ Pincel;
- ✓ Bastão;
- ✓ Vidro de relógio;
- ✓ Frasco de vidro com tampa que deve ter aproximadamente 250cm³ de capacidade;
- ✓ Flanela;

Procedimento do ensaio

Colocar aproximadamente 100g da amostra de cimento no frasco, tampar e agitar energicamente até desfazer todas as aglomerações de partículas. Se a amostra apresentar umidade severa ser seca em estufa.

Determinar uma massa de (50 ± 0,05)g de cimento, transferindo-a para a peneira, que deve estar limpa e seca, e munida de fundo. Inicialmente o operador deve imprimir ao conjunto sem tampa, um movimento alternativo horizontal, com os pulsos, durante tempo necessário para que a maior parte dos finos passem ao fundo. O tempo deste peneiramento varia de 3 a 5 minutos. Em seguida, tampar a peneira, retirar o fundo e dar golpes suaves no rebordo exterior do caixilho com o bastão para desprender as partículas aderidas à tela e ao caixilho da peneira. Limpar com o auxílio do pincel toda a

superfície inferior da tela da peneira, encaixando-a no fundo, após a limpeza deteste com a flanela; retirar a tampa e continuar o peneiramento com suaves movimentos de vaivém horizontais, durante 15 a 20 minutos, girando o conjunto e limpando a tela com o pincel a intervalos regulares. No final do período colocar a tampa e limpar a tela e o fundo como indicado anteriormente. O material passante deve ser desprezado. Quando o operador notar que a quantidade que passa é pequena, procede-se ao teste final que é executado com frequência de 150 ciclos em 1 minuto, gerando a peneira de 60° em relação à posição da mão em cada 25 movimentos de vaivém. Deve-se atender para que o fundo esteja limpo antes do teste. Terminado o teste, determinar a massa que passou, depositada sobre o fundo; e se esta for inferior a 0,05g o ensaio terminou, bastando apenas determinar a massa do resíduo (**R**) da peneira. Caso contrário, peneirar mais alguns minutos e proceder a novo teste para verificar se o material que passou durante 1 minuto, segundo o procedimento descrito anteriormente, é inferior a 0,05g.

Resultados obtidos

O cálculo do índice de finura do cimento é dado pela expressão:

$$F = \frac{RC}{M} \times 100$$

Onde:

F – índice de finura do cimento, em porcentagem;

R – resíduo do cimento na peneira 75µm, em g;

M – massa inicial do cimento, em g;

C – fator de correção da peneira utilizada no ensaio (*C* = 1).

No ensaio para determinação da finura do cimento, foram obtidos os seguintes resultados:

Massa inicial do cimento *M* = 50g

Peso que sobra do material *R* = 1,52g

$F = (R/M) \times 100 = 3,04\%$

O CP-II Z-32 deve apresentar uma finura inferior a 12% , o que pode ser constatado no resultado do ensaio, desta forma este cimento esta dentro dos limites.

Na realização deste ensaio pode ter ocorrido alguns erros que podem influenciar no resultado do experimento tais como: erros nos equipamentos como peneiras danificadas, erro no procedimento, determinação imprecisa da massa do cimento, peneiramento incorreto ocasionando perda de material por movimentos bruscos ou materiais aderido à malha da peneira.

Determinação dos Tempos de Pega do Cimento

A partir do instante em que a água entra em contato com o cimento para executar a mistura destinada a consistência normal da pasta, ocorre reações químicas, cuja consequência é um gradativo enrijecimento da massa. Existe um momento no qual a pasta inicia um crescimento brusco de viscosidade onde se convencionou chamar este momento de tempo de início de pega. Há outro momento no qual ocorre a passagem da pasta do estado plástico para o estado sólido onde se convencionou chamar este momento de tempo de fim de pega.

A importância prática do ensaio é, no controle de qualidade do cimento, verificar se as adições de gesso estão nos teores preestabelecidos, uma vez que é este que controla o fenômeno de pega no cimento, ou, no caso de concretagens, o concreto precisa ser lançado no estado plástico. Portanto, tendo-se o conhecimento do início de pega do cimento, pode-se associá-lo ao concreto, estimando o tempo máximo possível para seu lançamento, já para o fim de pega podemos saber o tempo mínimo para que possamos iniciar a transição sobre a massa de concreto desta forma estes ensaios são de grande importâncias.

Material utilizado

Para realização do ensaio foram utilizados os seguintes materiais:

- ✓ Balança;
- ✓ Misturador mecânico;
- ✓ Cronômetro;
- ✓ Espátula metálica;
- ✓ Forma;
- ✓ Aparelho de vicat.

Procedimento do ensaio

Antes de executar o ensaio é preciso que o ponteiro indicador da agulha de Vicat deverá estar em posição zero da escala.

A massa de cimento a ser utilizada na preparação da pasta deveria ser de 500g mais de acordo com a professora Lucerna e a técnica Rosemary pode-se utilizar 400g que é mais que suficiente e foi isto que fizemos. Deve-se introduzir no recipiente do misturador mecânico a água e lentamente adicionar o cimento previamente pesado. Após a introdução de todo o cimento, acionar o cronômetro e aguardar 30 segundos. Liga-se o misturador na velocidade baixa durante 30 segundos. Deve parar a mistura durante 120 segundos, sendo que nos primeiros 15 segundos deverão ser raspadas, com uma espátula, as paredes internas do recipiente e a pá, de modo a juntar toda a pasta no fundo da cuba e ligar o misturador na velocidade alta durante 60 segundos. Após 60 minutos faz-se a penetração com a agulha de Vicat, que deve descer suavemente com velocidade constante e lenta. Define-se como início de pega quando a agulha estacionar a 1mm do fundo do molde. Após a constatação do início de pega, faz-se leituras a intervalos regulares de 10 minutos. A primeira de 3 leituras sucessivas e iguais, superiores a 38mm constitui a indicação do fim de pega.

Resultados obtidos

O tempo de início da pega e fim da pega foi respectivamente de 2h 40min e 5 a 10h estes valores foram ditos pela técnica Rosemary segundo ela baseado em ensaios anteriores com este tipo de cimento e também devido sua grande experiência neste tipo de ensaio, o qual está dentro dos limites estabelecidos, onde o tempo de início de pega deve ser no mínimo de uma hora.

Na realização deste ensaio pode ter ocorrido alguns erros que podem influenciar no resultado do experimento tais como: erros nos equipamentos como peneiras danificadas, erro no procedimento, determinação imprecisa da massa do cimento, peneiramento incorreto ocasionando perda de material por movimentos bruscos ou materiais aderido à malha da peneira. A presença de bolhas de ar pode interferir no resultado.

Ensaio da Determinação de Consistência

A pasta de cimento, com índice de consistência normal constitui uma mistura padronizada de cimento e água que apresenta propriedade reológica constante, sendo utilizada para a verificação de duas importantes características do cimento portland: os tempos de pega e a instabilidade de volume.

Para que a execução do ensaio seja uniforme para todos os cimentos, de maneira que os resultados sejam comparáveis, é necessário que as pastas de cimento apresentem as mesmas características. Como se trata de pastas, se forem igualadas as viscosidades, que é uma das suas principais propriedades, ter-se-ão todos os ensaios nas mesmas condições. Esta viscosidade padrão é denominada de consistência normal e seu valor foi fixado de forma que as condições de ensaio, como por exemplo, enchimento dos moldes, fosse as melhores possíveis. A consistência normal do cimento é função de vários parâmetros como quantidade de água, finura do material, composição mineralógica, etc. portanto, é característica de cada cimento e sua determinação é feita através de tentativas.

Material utilizado

Os materiais utilizados na execução deste ensaio são:

- ✓ Balança com resolução de no máximo 0,1g;
- ✓ Misturador mecânico (Figura 3);
- ✓ Cronômetro com precisão de 1 segundo;
- ✓ Espátula;
- ✓ Forma no formato de um tronco cônico, com diâmetro superior de (70 ± 1) mm, inferior de (80 ± 1) mm, altura de $(40 \pm 0,5)$ mm e espessura das paredes maior ou igual a (8 ± 1) mm, que deve ser apoiada sobre uma placa de vidro com ± 6 mm de espessura;
- ✓ Aparelho de Vicat;
- ✓ Agulha de Tetmajer;
- ✓ Água destilada;

Resultados Obtidos

O limite de consistência para uma amostra de 400g de cimento foi obtido com um volume de água de 120ml na qual a sonda de Tetmajer penetrou 5,5 mm.

$$\text{Consistência Normal} = (Ma/Mc).100 = (120/400).100 = 24\%$$

Na realização deste ensaio pode ter ocorrido alguns erros que podem influenciar no resultado do experimento tais como: reutilização da pasta adicionando água; erros na aparelhagem como massa e dimensões em desconformidade com a norma; zeragem incorreta do aparelho de Vicat, não centralização do cone no aparelho; erro na operação de descida da haste, não observação dos tempos, vibração ou choques da mesa e do aparelho durante a penetração da sonda.

Ensaio de determinação da massa específica (NBR NM 23/98)

O conhecimento da massa específica dos cimentos permite, durante seu processo de fabricação, controlar os teores de escória, pozolana ou calcária na mistura com o clinker e o gesso; por outro lado constitui o método auxiliar necessário para o cálculo da finura pelo método de permeabilidade de ar *Blaine* como indica a norma (NBR NM 23/98).

A norma brasileira NBR NM 23/98 especifica que a determinação da massa específica seja feita pelo uso do frasco volumétrico de Le Chatelier.

Material utilizado

Os materiais necessários para determinação da massa específica real segundo a norma (NBR NM 23/98) são:

- ✓ Frasco volumétrico de Le Chatelier ;
- ✓ Balança com resolução de 0,001g;
- ✓ Banho Termo regulador;
- ✓ Líquido de medição (este líquido deve ser escolhido de tal maneira que não reaja com o material ensaiado, nesse caso do cimento pode ser xilol, ou querosene que foi o utilizado neste experimento);
- ✓ Recipiente de vidro com 250 cm³ de capacidade com tampa para conter a amostra (não utilizado neste experimento);

- ✓ Recipiente de alumínio de aproximadamente 100 cm³ de capacidade, com tampa para pesar a amostra a ser ensaiada;
- ✓ Funil de vidro com haste longa para introduzir o líquido no frasco;
- ✓ Funil de vidro com haste curta para introduzir a amostra de cimento;
- ✓ Barra de metal de 2 a 3mm de diâmetro para forçar a passagem de cimento no funil;
- ✓ Pincel pequeno para limpeza de acessórios;
- ✓ Placa de borracha com aproximadamente 20 a 40 cm (não utilizado neste experimento);
- ✓ Termômetro de precisão com graduação de 0,1^o C.

Procedimento do ensaio

Limpar o frasco de Le Chatelier com água corrente com auxílio de uma solução de ácido clorídrico 1:10 e secá-lo, em seguida, em estufa. Após a secagem com ao frasco a temperatura ambiente, introduzir com auxílio do funil de haste longa, uma quantidade suficiente de líquido de medição de maneira que o nível fique compreendido entre as marcas de 0 a 1 cm³.

Secar a haste do frasco volumétrico, na parte acima do nível do líquido, com papel absorvente e tampar com a rolha de vidro.

Submergir o frasco no banho termoregulador durante o tempo necessário para atingir o equilíbrio térmico, fato que ocorre em aproximadamente, 30 minutos fazer a leitura inicial V_i do nível na parte inferior do menisco do líquido com precisão de 0,1 cm³ registrando na ficha de ensaio (procedimento não realizado).

Agitar energicamente, durante 10 segundos o frasco contendo amostra e pesar uma amostra de 60g de cimento (massa m) com precisão de 0,001g. Introduzir o cimento no frasco com o auxílio do funil de haste curta e com a barra de metal, tomando cuidado para que não ocorram perdas de material ou para que partículas fiquem aderidas aos acessórios, estes devem ser limpos com o pincel.

Em seguida, tampar o frasco e, retirar o ar que ficou aprisionado em camada de cimento, girando o frasco ligeiramente inclinado alternadamente numa e noutra direção sobre a placa de borracha.

Colocar novamente o frasco no banho termoregulador até que ocorra o equilíbrio térmico (procedimento não realizado), fazer a leitura final V_f do nível do líquido da

parte inferior do menisco registrando-a na ficha com precisão de $0,1 \text{ cm}^3$. A diferença entre as temperaturas do banho termoregulador na ocasião das determinações não deve ser maior que $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$

Com V_i e V_f determinar os volumes corrigidos $V_{i \text{ corrigido}}$ e $V_{f \text{ corrigido}}$ por meio da tabela do frasco.

A massa específica é obtida por meio da expressão:

$$\rho = \frac{M}{V_{f \text{ corr}} - V_{i \text{ corr}}}$$

ρ = massa específica (g.cm^3)

M = massa do cimento (60g)

$V_{f \text{ corrigido}}$ = volume final corrigido (cm^3)

$V_{i \text{ corrigido}}$ = volume inicial corrigido (cm^3)

Resultados Obtidos

Para cada frasco (1 e 2, assim denominados) encontra-se as massas do conjunto Frasco Le Chatelier + Querosene inicial bem como suas massas isoladas, e então determina-se os valores corrigidos do volume e posteriormente a massa específica.

Temperatura ambiente do ensaio = 25°C

Frasco 1

Determina-se inicialmente a massa do funil e do conjunto Querosene-frasco.

Massa frasco vazio = 105,52

Massa do conjunto frasco + Querosene = 316,25g

Massa do conjunto com o cimento = 376,15g

Desta forma pode-se encontrar o valor da massa do cimento M subtraindo a massa do conjunto com o cimento da massa do conjunto frasco + Querosene temos:

$$M = 376,15\text{g} - 316,25\text{g} = 59,90\text{g}$$

De posse dos valores de V_i e V_f , medidos experimentalmente, determina-se os volumes corrigidos $V_{i \text{ corr}}$ e $V_{f \text{ corr}}$ para cada frasco, através do uso da tabela de aferição do frasco:

Tabela 2: Aferição Experimental do Frasco de Le Chatelier. Temperatura: 21 °C

| Intervalo de Leitura no Frasco em (cm ³) | Volume Real em (cm ³) do Frasco 01 | | | Volume Real em (cm ³) do Frasco | | |
|--|--|----------------|--------|---|----------------|--------|
| | 1 ^a | 2 ^a | Média | 1 ^a | 2 ^a | Média |
| Até Zero | 261,20 | 261,27 | 261,24 | 259,07 | 259,01 | 259,04 |
| De Zero a 1 | 1,01 | 0,99 | 1,00 | 1,03 | 1,02 | 1,03 |
| De 1 a 18 | 16,74 | 16,77 | 16,76 | 16,80 | 16,76 | 16,78 |
| De 18 a 19 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| De 19 a 20 | 0,96 | 1,00 | 0,98 | 0,98 | 1,03 | 1,01 |
| De 20 a 21 | 1,01 | 0,99 | 1,00 | 0,96 | 0,99 | 0,98 |
| De 21 a 22 | 0,96 | 0,97 | 0,97 | 0,99 | 0,98 | 0,99 |
| De 22 a 23 | 1,02 | 1,01 | 1,02 | 0,98 | 1,00 | 0,99 |
| De 23 a 24 | 0,98 | 0,99 | 0,99 | 1,02 | 1,00 | 1,01 |

Tabela 3: Tabela de Aferição completa, interpolada a partir de Valores

Experimentais.

Do Frasco de Le Chatelier de nº 01

| | | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 0 | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
| 1 | 1,0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 18 | 17,76 | 17,86 | 17,96 | 18,06 | 18,16 | 18,26 | 18,35 | 18,45 | 18,55 | 18,65 |
| 19 | 18,75 | 18,85 | 18,95 | 19,04 | 19,14 | 19,34 | 19,34 | 19,44 | 19,53 | 19,63 |
| 20 | 19,73 | 19,83 | 19,93 | 20,03 | 20,13 | 20,23 | 20,33 | 20,43 | 20,53 | 20,63 |
| 21 | 20,73 | 20,83 | 20,92 | 21,02 | 21,12 | 21,21 | 21,31 | 21,41 | 21,51 | 21,60 |
| 22 | 21,70 | 21,80 | 21,90 | 22,00 | 22,10 | 22,21 | 22,31 | 22,41 | 22,51 | 22,62 |
| 23 | 22,72 | 22,82 | 22,92 | 23,02 | 23,12 | 23,22 | 23,31 | 23,41 | 23,51 | 23,61 |
| 24 | 23,71 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Tabela 4: Tabela de Aferição completa, interpelada a partir de Valores

Experimentais

Do Frasco de Le Chatelier de nº 02

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 0,0 | 0,10 | 0,21 | 0,31 | 0,41 | 0,52 | 0,62 | 0,72 | 0,82 | 0,93 |
| 1 | 1,03 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 18 | 17,81 | 17,91 | 18,01 | 18,11 | 18,21 | 18,31 | 18,41 | 18,51 | 18,61 | 18,71 |
| 19 | 18,81 | 18,91 | 19,01 | 19,11 | 19,21 | 19,32 | 19,42 | 19,52 | 19,62 | 19,72 |
| 20 | 19,82 | 19,92 | 20,02 | 20,11 | 20,21 | 20,31 | 20,41 | 20,51 | 20,60 | 20,70 |
| 21 | 20,80 | 20,90 | 21,00 | 21,10 | 21,20 | 21,30 | 21,39 | 21,49 | 21,59 | 21,69 |
| 22 | 21,79 | 21,89 | 21,99 | 22,09 | 22,19 | 22,28 | 22,38 | 22,48 | 22,58 | 22,68 |
| 23 | 22,78 | 22,88 | 22,98 | 23,08 | 23,18 | 23,28 | 23,37 | 23,47 | 23,57 | 23,67 |
| 24 | 23,79 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

$$V_{\text{Inicial}} = 0,8 \text{ cm}^3$$

$$\rightarrow V_{\text{I corrigido}} = 0,8 \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{Final}} = 21,2 \text{ cm}^3$$

$$\rightarrow V_{\text{F corrigido}} = 20,92 \text{ cm}^3$$

E desta forma pode-se determinar o valor da massa específica do cimento através da equação dada anteriormente:

$$\rho = \frac{M}{V_{\text{Fcorr}} - V_{\text{Icorr}}}$$

Logo a massa específica do cimento será:

$$\rho = 59,90 \text{ g} / 20,12 = 2,977 \text{ g/cm}^3$$

Frasco 2

De forma análoga determina-se inicialmente a massa do funil e do conjunto funil-frasco.

$$\text{Massa frasco vazio} = 106,61$$

$$\text{Massa do conjunto frasco} + \text{Querosene} = 313,86 \text{ g}$$

$$\text{Massa do conjunto com o cimento} = 373,73$$

Desta forma pode-se encontrar o valor da massa do cimento M subtraindo a massa do conjunto com o cimento da massa do conjunto frasco + Querosene temos:

$$M = 373,73 - 313,86 = 59,87\text{g}$$

De forma análoga determina-se os volumes corrigidos no frasco:

$$V_{\text{Inicial}} = 0,6 \text{ cm}^3 \quad \rightarrow \quad V_{\text{I corrigido}} = 0,62 \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{Final}} = 20,9 \text{ cm}^3 \quad \rightarrow \quad V_{\text{F corrigido}} = 20,7 \text{ cm}^3$$

A massa específica será dada então pela seguinte formula:

$$\rho = \frac{M}{V_{\text{Fcorr}} - V_{\text{Icorr}}}$$

Logo a massa específica do cimento será:

$$\rho = 59,87/20,08 = 2,982 \text{ g/cm}^3$$

Média das Massas Específica encontrada: $2,980 \text{ g/cm}^3$

Na realização deste ensaio pode ter ocorrido alguns erros que podem influenciar no resultado do experimento tais como: no frasco de Le Chatelier podem ocorrer erros inerentes às características frasco; líquido inadequado (viscosidade alta); erros de leitura; perdas de material após a leitura da massa total; a exposição do cimento ao ambiente sem proteção.

Determinação da Resistência à Compressão

Material utilizado

Os materiais utilizados para realização deste ensaio são:

- ✓ Balança com resolução de 0,1g e carga mínima de 1000g;
- ✓ Misturador mecânico;
- ✓ Molde e soquete (Figura 2);

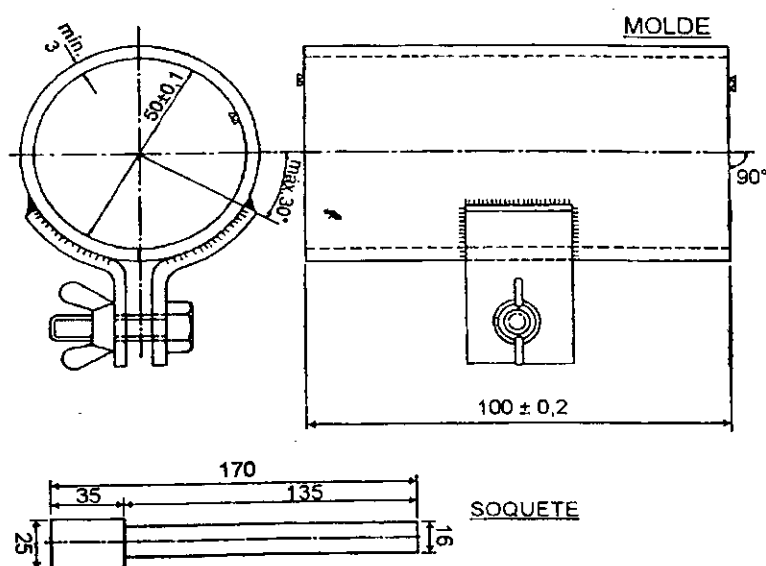


Figura 3 – Molde e Soquete

- ✓ Espátula;
- ✓ Cronômetro;
- ✓ Máquina de ensaio à compressão.

Procedimento de Ensaio

Inicialmente é feita a preparação dos moldes; a água utilizada no experimento deve ser potável e a areia devidamente normalizada; prepara-se, então, a argamassa de cimento; depois enche os moldes em quatro camadas de alturas aproximadamente iguais, onde cada camada, uniformemente distribuída, recebe trinta golpes do soquete normal; após serem moldados os blocos foram para câmara úmida onde permanecera por 15 dias o correto seria até os 28 dias mais como ia levar muito tempo achamos melhor romper os blocos com 15 dias, em fase de cura. Passada o tempo de cura os blocos foram capeados com uma massa de enxofre e cimento de forma a deixar as sua superfície bem plana, mais este capeamento não pode ser feito, pois a nossa técnica Rosemary tem uma grande alergia ao enxofre mais ele utilizou um papelão para que a seção ficasse uniforme e as forças se distribuísem por igual em todo o corpo de prova evitando-se, assim, durante o ensaio de compressão, a concentrações de tensões e conseqüentemente resultados não representativos.

Resultados Obtidos

Os corpos de prova foram moldados com as seguintes proporções de material para um fator água/cimento de 0,48, e traço utilizado foi de 1:3

Quantidade de material seco = 500 g

Quantidade de cimento = 125 g

Quantidade de areia = 375 g

Água = 60 ml

Desta forma foi obtido para os corpos de prova as seguintes resistências:

Para os corpos rompidos com quinze dias de cura:

Corpo de prova 1

Área = $19,64 \text{ cm}^2$

Carga = 2100 kgf

Tensão = $2100/19,64 \times 10 = 10,69 \text{ MPa}$

Corpo de prova 2

Área = $19,64 \text{ cm}^2$

Carga = 1400 kgf

Tensão = $1400/19,64 \times 10 = 7,13 \text{ MPa}$

Como podemos observar, os corpos de prova não apresentaram os resultados esperado visto que para um corpo rompido em 3 dias sua resistência deve ser maior que 10MPa, para 7 dias sua resistência tem que ser maior que 20MPa e para 28 dias a resistência que se espera deve ser por volta de 32MPa, como nossos corpos de prova foram rompidos com 15 dias era pra eles apresentarem resistências entre 20MPa e 32MPa, no entanto a resistências obtida para o corpo um e dois foram 10,69MPa e 7,13Mpa respectivamente, estes resultados podem ser considerados não satisfatórios visto a tamanha discrepância apresenta entre eles e o que estávamos esperando.

Na realização deste ensaio pode ter ocorrido alguns erros que podem influenciar no resultado do experimento tais como: os erros mais comuns relacionados à mistura dos materiais, a moldagem, adensamento, capeamento, visto que não foi feito e sim utilizado um papelão para que as cargas se distribuíssem uniformemente sobre a seção

onde estava sendo aplicados a carga, cura dos corpos de prova e os erros de procedimento, dos quais pode-se destacar: erros nas medidas da cuba, velocidades do misturador, desrespeito na ordem de colocação dos materiais na cuba e a não homogeneização da areia usada, leitura imprecisa da carga de ruptura ao qual o corpo de prova é submetido.

Conclusão

Os ensaios aqui realizados são de extrema importância para a determinação das propriedades do cimento, pois é através delas que se analisará as características do cimento e sua aplicabilidade na construção civil. Entre os aglomerantes, indubitavelmente, o cimento é um dos materiais de maior importância e mais utilizado na construção civil na confecção de concretos, argamassas e pastas, destacando-se por atender a um gama muito grande de necessidades, portanto é indispensável conhecer suas propriedades para que se consiga precisão e segurança na sua aplicação.

Segundo as normas destinadas para cada ensaio realizado, nota-se que os ensaios foram realizados de maneira coerente, pois durante a realização destes ensaios fomos orientados pela professora Lucerna e a técnica Rosemary dando assim mais confiabilidade aos resultados encontrados e desta forma podendo assimilar com eficácia seus objetivos. Os resultados obtidos estão sujeitos aos mais diversos tipos de erros assim como qualquer experimento, mais vale salientar que mais importante que os resultados obtidos esta o fato de que os procedimentos de cada ensaio foram assimilados, e ainda ter a sensibilidade de poder apontar os possíveis erros que pode ter ocorrido durante o experimento.

No caso do ensaio para a determinação da finura do cimento podemos destacar alguns erros que influenciaram nos resultados entre eles temos: erros nos equipamentos como peneiras danificadas, erro no procedimento, determinação imprecisa da massa do cimento, peneiramento incorreto ocasionando perda de material por movimentos bruscos ou materiais aderido à malha da peneira.

Na realização do ensaio para a determinação do tempo de pega do cimento podemos destacar alguns erros que podem ter influenciado nos resultados obtidos tais como: erros nos equipamentos como peneiras danificadas, erro no procedimento, determinação imprecisa da massa do cimento, peneiramento incorreto ocasionando perda de material por movimentos bruscos ou materiais aderido à malha da peneira. A presença de bolhas de ar pode interferir no resultado.

Já no caso do ensaio para a determinação da consistência do cimento podemos destacar alguns erros que podem ter influenciado nos resultados finais do experimento entre eles temos: reutilização da pasta adicionando água; erros na aparelhagem como massa e dimensões em desconformidade com a norma; zeragem incorreta do aparelho de Vicat,

não centralização do cone no aparelho; erro na operação de descida da haste, não observação dos tempos, vibração ou choques da mesa e do aparelho durante a penetração da sonda.

No caso do ensaio para a determinação da massa específica podemos destacar alguns erros que podem ter influenciado diretamente os resultados entre eles podemos destacar: no frasco de Le Chatelier podem ocorrer erros inerentes às características do frasco; líquido inadequado (viscosidade alta); erros de leitura; perdas de material após a leitura da massa total; a exposição do cimento ao ambiente sem proteção entre outros.

Na realização do ensaio para a determinação da resistência à compressão pode ter ocorrido alguns erros que podem influenciar no resultado do experimento tais como: os erros mais comuns relacionados à mistura dos materiais, a moldagem, adensamento, capeamento, visto que não foi feito e sim utilizado um papelão para que as cargas se distribuíssem uniformemente sobre a seção onde estava sendo aplicada a carga, cura dos corpos de prova e os erros de procedimento, dos quais pode-se destacar: erros nas medidas da cuba, velocidades do misturador, desrespeito na ordem de colocação dos materiais na cuba e a não homogeneização da areia usada, leitura imprecisa da carga de ruptura ao qual o corpo de prova é submetido.

Visto isso podemos concluir que os experimentos e erros aqui descritos foram de grande importância, pois é uma maneira de aplicarmos e verificarmos o que foi visto em sala de aula, desta forma fixando de maneira mais concreta os conceitos adquiridos.

3.3 Ensaio com solos.

3.3.1 Ensaio de caracterização e teor de umidade do solo.

Apresentação

O presente relatório pretende especificar o nosso primeiro experimento no laboratório, que teve como tema “Ensaio de Caracterização do Solo”.

O objetivo da experiência é obter o teor de umidade de um determinado solo, através de testes com amostras, ao qual a realização desta como outras experiências tem de seguir normas que no Brasil são especificadas pela ABNT.

Este experimento foi realizado na Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, pelo Departamento de Engenharia Civil no Laboratório de Mecânica dos Solos Experimental, tendo como orientador o professor João Queiroz e o técnico em Laboratório Ruy.

No mesmo será abordado o objetivo do experimento, a parte teórica, procedimentos, resultados encontrados a partir dos dados obtidos durante o ensaio, bem como, uma conclusão condicionada pelos resultados que foram verificados no experimento.

Introdução

Quando no campo, em determinado tipo de solo, observado por engenheiros ou técnicos, apresenta características visuais, que denotam sua utilização em um projeto de engenharia, este solo é demarcado e são retiradas amostras de 10 em 10cm de profundidade, estas amostra são secadas ao ar sobre bandejas apropriadas, em seguidas são colocadas em sacos, onde estes devem ter etiquetas especificando suas características visuais.

Na preparação das amostras para ensaios de caracterização, dois processos são utilizados, seguindo as normas corretamente:

❖ Preparação com Secagem Prévia:

A amostra é secada ao ar até próximo da umidade higroscópica, em seguida os torrões são desmanchados evitando a quebra de grãos homogeneizados. Com o repartidor de amostras ou pelo quarteamento, o material vai sendo reduzido, chegando a uma quantidade suficiente para realização dos ensaios requeridos.

❖ Preparação sem Secagem Prévia:

A amostra vai para o laboratório embalada, evitando assim, perda de umidade. Os torrões são desmanchados e a amostra homogeneizada evitando quebra dos grãos e perda de umidade, em seguida com o uso do repartidor de amostras, ou pelo quarteamento, a amostra é reduzida até uma quantidade suficiente para os ensaios.

As preparações de amostras para determinação da massa específica, massa específica aparente, determinação dos limites de liquidez e plasticidade, determinação da massa específica dos grãos de solo que passam na peneira de 4,8mm e análise granulométrica, também são feitas em laboratório, mas no ensaio feito no laboratório, nosso objetivo era a determinação do teor de umidade, por isso as determinações de amostras para outras análises não foram citadas no relatório.

As normas pertencentes a ABNT que podem ser utilizadas para fazer o estudo da amostragem, são:

- ABNT - Ensaios de Caracterização de amostras– NBR 6457/1986
- ABNT - Determinação do Teor de Umidade – NBR 6457/1986

Objetivos

Este relatório visa aos seguintes objetivos:

- Corroborar a preparação de amostras para ensaios de caracterização;
- Determinar o teor de umidade dos solos, seguindo as normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas);
- Discutir e analisar os resultados obtidos no experimento.

Fases de Preparação de Amostras

Nas preparações de amostras de solos para análise é necessário seguir normas técnicas que, no Brasil, em geral utiliza-se às normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), Esta fase consiste nos seguintes procedimentos:

- **Secagem parcial das amostras:** consiste em secar o solo o máximo possível. Pode ser feita de três maneiras: exposição ao ar – a amostra é espalhada em área aberta, tendo contado direto com o sol e o ar; exposição a luz infravermelha – a amostragem é espalhada em bandejas, rasas e expostas a luz infravermelhas, por um período de 12 horas; e secagem em estufa – a amostra é colocada em estufa, por um período de 12 horas, a uma temperatura máxima de 60°C. Esta alternativa só deverá ser empregada se houver conhecimento de que a temperatura, pois as características do material podem ser desperdiçadas, como por exemplo, solos que possuem matéria orgânica.
- **Destorreamento da amostra:** consiste no desagregamento das partículas, deixando a amostra mais homogênea com relação ao tamanho dos grãos. Esse procedimento é auxiliado por um conjunto de equipamentos formados por almofariz de porcelana e uma mão de grão com base recoberta por borracha. Com a amostra desejada dentro no almofariz de 5 kg de solo, e com o auxílio da mão de grão, se pressiona a amostra, fazendo movimento circular até conseguir uma desagregação total das partículas do solo.

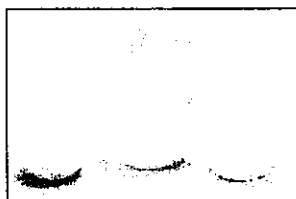


Figura 4: Almofariz com mão de grão

- **Quarteamento da Amostra:** Neste procedimento se verifica a extração de uma parte da amostra total de uma amostra menor que seja representativa da amostra total, com o auxílio de um repartidor de amostras. No quateamento, a amostra é colocada numa superfície plana e limpa, misturada intensamente com uma colher, sendo arrumada de formas cônicas. Esse cone é então achatado, com a ajuda da colher e em seguida é cortado em quatro partes iguais, sendo que as duas partes opostas diametralmente serão descartadas, misturando o material restante e repetindo o mesmo processo até obter uma quantidade de amostra desejada. O quarteamento de repartição funciona dividindo a amostra em partes iguais colocado-as em duas bandejas, sendo que, o material de uma das bandejas é descartado, submetendo o solo da outra bandeja a separação, até se conseguir a amostra com peso desejado. Para ser representativa a amostra deverá ter os seguintes pesos:

- Argilas ou siltes – 1500g
- Areias ou pedregulhos – 2000g

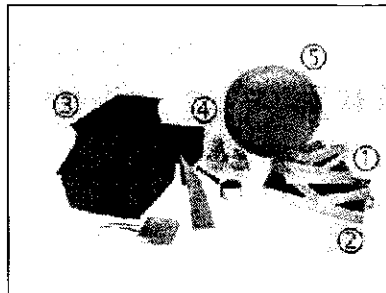


Figura 5: Equipamento para o Quarteamento de amostras grandes

- **Peneiramento da Amostra:** é o último processo para a preparação da amostra consistindo em fazer a disjunção do material para os diversos tipos de ensaios. É indicado que antes do início deste procedimento, é necessário a realização de um destorreamento leve para desagregar de fato todas as partículas, além de facilitar o peneiramento, que é o processo seguinte. Toda a amostra é passada na peneira de 4,8 mm, segundo as normas da ABNT.

Materiais Utilizados

A aparelhagem necessária para a execução do ensaio é a seguinte:

- Balança digital;
- Cápsulas de material não corrosível (branca e azul);
- Hastes metálicas;
- Estufas;
- Dessecador;
- Conjunto SPEEDY.

Determinação do Teor de Umidade

Adquiriu-se uma quantidade suficiente da amostra desejada, já sofrida o processo de distorreamento e a umedeceu. No ensaio feito no laboratório utilizou-se solo residual para determinarmos o teor de umidade – se define teor de umidade(h), como sendo a razão entre o peso da água contida em um certo volume de solo e o peso da parte sólida existente neste mesmo volume. Para o método do Álcool, as amostras foram colocadas com quantidades suficientes, em cápsulas (branca e azul), estas foram pesadas, obtendo assim, o peso úmido do solo em cada cápsula, ressaltando que o peso de cada cápsula havia sido determinado anteriormente. Em seguida foram colocadas 12,5ml de álcool em cada cápsula para queima da amostra. Na medida em que o solo queimava, o técnico mexia a amostra com uma pinça metálica, de forma que a queima se distribuisse homogeneamente por toda a amostra. O processo de queima foi repetido mais duas vezes, tendo em vista que após cada queima, espera-se um pouco para que a outra fosse realizada. Terminado o processo de queima, as amostras foram pesadas, para a determinação do peso bruto seco (Tabela).

Utilizou-se também o método SPEEDY: colocou-se dentro do equipamento a amostra, juntamente com duas esferas de aço e uma ampola de carbureto (CaC_2). O SPEEDY foi balanceado para que as esferas de aço quebrassem a cápsula do carbureto. Com a quebra, o carbureto é misturado com a amostra ocorrendo a seguinte reação: $\text{CaC}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{C}_2\text{H}_2$, exercendo desta forma, a perda de água do solo. Nesta reação surge uma pressão interna que é determinada usando um medidor de pressão externo e

acoplado ao SPEEDY. Através desta pressão e de uma tabela, que também é acessório do SPEEDY, determinou-se uma pressão com uma equivalente umidade, correspondente ao valor da tabela.

Este processo corresponde ao uso do álcool e método SPEEDY para a determinação do teor de umidade (h), onde este valor é obtido em função do peso bruto úmido do solo, peso bruto seco e peso das cápsulas.

Outros métodos também utilizados na determinação do teor de umidade são:

- **Estufa (105° - 110°):** é um processo demorado, em relação ao uso do álcool. A amostra deve permanecer 24 horas na estufa para secagem. Este ensaio não foi feito em laboratório, pois não dispunha de tempo, mas os dados para o cálculo do teor de umidade foram adquiridos através do técnico que auxiliou o experimento.
- **Tubo Shelby:** é a estufa capaz de manter a temperatura entre 60° e 65°. É usado para argilas orgânicas, para que não ocorra a queima da matéria orgânica, o que ocorre quando utilizamos o álcool. Os ensaios feitos em laboratório demoram cerca de três dias e por isso não acompanhamos os procedimentos, mas o técnico do laboratório nos repassou os resultados obtidos.

Análise e Discussão dos Resultados

Na determinação do teor de umidade, utilizando a queima com o álcool, os resultados estão na tabela 1, onde para todas as tabelas o teor de umidade é obtido pela fórmula:

$$h = \frac{PBh - PBs}{PBs - TARA} = \frac{Pa}{Pss}$$

Foram feitas as seguintes considerações neste método:

- Conteúdo de álcool utilizado em uma queima por cápsula – 12,5 ml;
- Quantidade de queima do material por cápsula – 3;

Tabela 5: Resultados do teor de umidade para o método do Álcool

| Cápsula | PBh (g) | PBs (g) | TARA(g) | Pa (g) | Pss (g) | h% | hm |
|---------|---------|---------|---------|--------|---------|------|------|
| Branca | 142,99 | 140,26 | 92,10 | 2,73 | 48,16 | 5,67 | |
| Azul | 137,32 | 134,55 | 87,77 | 2,73 | 46,78 | 5,92 | 5,79 |

Em utilização do estufa entre 105° e 110°, temos:

Tabela 6: Resultados do teor de umidade para o método da estufa entre 105 e 110°C

| Cápsula | PBh (g) | PBs (g) | TARA(g) | Pa (g) | Pss (g) | h% | hm |
|---------|---------|---------|---------|--------|---------|------|------|
| AL - 25 | 120,57 | 115,64 | 13,22 | 4,93 | 102,42 | 4,81 | |
| AL - 37 | 124,55 | 119,52 | 14,45 | 5,03 | 105,07 | 4,79 | 4,80 |

Material de Shelby, que corresponde à estufa entre 60°C 65°C. utiliza apenas para solo que possui muita matéria orgânica.

Tabela 7: Resultados do teor de umidade para o método da estufa a 60°C

| Cápsula | PBh (g) | PBs (g) | TARA(g) | Pa (g) | Pss (g) | h% | hm |
|---------|---------|---------|---------|--------|---------|--------|-------|
| AL - 45 | 85,42 | 33,89 | 14,87 | 51,53 | 19,02 | 270,90 | |
| AL - 82 | 80,652 | 32,75 | 14,99 | 47,90 | 17,76 | 269,70 | 270,3 |

Já o método Speedy apresentou, com uma amostra de 20g, os seguintes resultados:

Pressão – 0,6 kg/cm²;

Valor da tabela em umidade – 3,1%

Temos:

- ❖ **TARA:** peso da cápsula;
- ❖ **PBh:** peso bruto úmido do solo;
- ❖ **PBs:** peso bruto seco do solo;
- ❖ **Pa:** peso da água, corresponde ao PBh – PBs;
- ❖ **Pss:** peso do solo seco, corresponde ao PBs – TARA;

❖ **hm:** teor de umidade media, é a soma dos dois teores de umidade, dividido por dois (2).

Com os dados obtidos na tabela, observamos que existem diferenças significantes nos teores de umidade, dentre os valores obtidos no teor de umidade o ensaio feito no laboratório, mostra que a estufa entre 105°C e 110°C, proporcionou os resultados mais próximos ao teor de umidade, obtido com o SPEEDY.

No ensaio feito com o álcool, notamos um erro marcante, que foi a queima da matéria orgânica. Já os dados obtidos no “material de Shelby” ,tiveram teores de umidade elevados, pois não trabalhamos com solo rico em matéria orgânica, os dados foram apenas fornecidos para nós, assim como os dados da estufa entre 105°C e 110°C.

Conclusão

Neste primeiro ensaio, observamos em laboratório a grande importância que é para o engenheiro saber trabalhar com ensaios ou ter o conhecimento necessário para que quando um técnico fizer um ensaio, o engenheiro saiba se os dados obtidos estão certos ou errados.

Da mesma forma, os cuidados verificados na realização do ensaio, são de extrema importância, para que os erros sejam os menores possíveis, independente do tipo de ensaio e ou material a ser utilizado.

Verifica-se em destaques três métodos aqui analisados, são eles:

- ✓ Estufa;
- ✓ Álcool;
- ✓ Speedy.

Os mesmos têm diferenças tamanhas, em precisão e eficácia. O álcool em processo de queima perde material e também matéria orgânica, que com o fogo, pode chegar até ser jogado para fora da cápsula. Desta maneira, conclui-se que o método do álcool é o menos indicado para a realização desta experiência.

3.3.2 Massa Específica

Apresentação

O presente relatório refere-se a experiência de determinação da massa específica, condicionada pela norma NBR 6508/ABNT. Foram empregadas duas amostras: Solo Residual e Argila Orgânica. O experimento foi conduzido no Laboratório de Tecnologia de Solos e Materiais de Construção, sob orientação do técnico Ruy e supervisão do professor orientador João Queiroz.

Introdução Teórica

A massa específica de um solo é a relação entre sua massa e o seu volume: $\rho = m/V$. partindo desta relação, pode-se definir outras relações, tais como:

- Massa específica Aparente Natural (úmida): $\gamma = P/V$;
- Massa específica Aparente Saturada: $\gamma_{sat} = P_{sat}/V$;
- Massa específica Submersa: $\gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_a$;
- Massa específica Aparente Seca: $\gamma_s = P_s/V$

Para as areias o valor da massa específica úmida pode variar de 16 g/m^3 a 212 V , enquanto para as argilas a variação média é de 13 g/m^3 a 17 g/m^3 . A massa específica aparente saturada é aquela determinada quando tem $S=100\%$ (Grau de Saturação).

Objetivo

- Determinar a massa específica dos grãos de solos que passam na peneira de 4,8m, por meio de pictômetro, por meio da realização de dois ensaios.

Material Utilizado

- Estufa capaz de manter a temperatura de 60°C a 65°C e de 105°C a 110°C ;
- Aparelho de dispersão com hélices metálicas substituíveis e um copo munido de chicanas metálicas

- Pictômetro de 500ml com calibrador a 20°C, com a respectiva curva de calibração (variação da massa do pictômetro cheio de água, até a marca de referencia, em função da temperatura);
- Termômetro graduado em 0,1°C, de 0 a 50°C
- Bomba de vácuo com vacuômetros e conexões, capaz de aplicar um vácuo de 88Kpa, para remoção do ar aderente as partículas do solo
- Balança que permita pesar nominalmente até 1,5Kg, com resolução de 0,02g e sensibilidade compatível;
- Funil de Vidro;
- Conta-gotas.

Procedimentos Experimentais

Na preparação da amostra para o ensaio, toma-se cerca de 250g da amostra preparada. Este procedimento é repetido mais uma vez. Em seguida, homogeneizou-se a amostra e pesou-se, com resolução de 0,0g, quantidade tal que a massa seca esteja em torno de 50g para solos argilosos e siltosos, e de 60g para solos arenosos, quando for empregado pictômetro de 500ml, e anotar a massa como m1. colocou-se a amostra a ser ensaiada em cápsula com água destilada em quantidade suficiente para completa imersão de material durante 12h, no mínimo.

Em seguida, transfere-se a amostra para o copo de dispersão, lavando-se a cápsula com água destilada para completa remoção do material. Acrescenta-se água destilada ate cerca de metade do volume do copo e deixa-se durante 15 min. Com o auxilio do funil de vidro, transferiu-se à amostra para o pictômetro, lavando-se o copo de dispersão e o funil com água destilada para completa remoção do material. Adiciona-se água destilada no pictômetro, ate a metade do volume, aproximadamente. A seguir aplica-se um vácuo de 88Kpa, durante pelo menos, 15min, agitando o pictômetro em intervalos regulares de tempo. Logo após, acrescenta-se água destilada até cerca de 1cm abaixo do gargalo do pictômetro e aplicamos a pressão de vácuo já referida anteriormente, durante o mesmo intervalo de tempo. Adiciona-se água destilada até cerca de 1cm abaixo da marca de calibração do pictômetro em repouso até que a temperatura do mesmo se equilibre com a do ambiente. Com o auxílio de um conta-gotas, adiciona-se água destilada no pictômetro até que a base do menisco coincida com a marca de referencia .Enxuga-se a

parte externa do pictômetro e a parte interna do gargalo acima do menisco. Pesa-se o conjunto: pictômetro + solo + água e denomina-se m2.

Determinou-s, logo a seguir, a temperatura do conteúdo (T) do pictômetro. Através desse valor, obtêm-se na curva de calibração correspondente, com resolução de 0,01g, a massa do pictômetro cheio de água ate a marca de referencia, anota-se esse valor com m3.

Análise e Discussão dos Resultados

Para o solo residual consideramos os seguintes resultados na preparação da amostra:

Tabela 8: Resultados obtidos da preparação de amostra do solo residual

| Cápsula N° | PBh (g) | PBs (g) | Tara (g) | PSs (g) | Pa (g) | h% |
|------------|---------|---------|----------|---------|--------|------|
| Al-42 | 123,26 | 120,14 | 14,17 | 3,12 | 105,97 | 2,94 |
| Al-43 | 113,75 | 110,96 | 14,77 | 2,79 | 96,19 | 2,19 |

Os valores são zerados para a argila orgânica:

Tabela 9: Resultados obtidos para preparação de amostra da argila orgânica:

| Cápsula N° | PBh (g) | PBs (g) | Tara (g) | PSs (g) | Pa (g) | h% |
|------------|---------|---------|----------|---------|--------|------|
| - | - | - | - | - | - | 0,00 |
| - | - | - | - | - | - | 0,00 |

Calculou-se o peso específico dos grãos, através da fórmula relacionada abaixo:

$$\delta = \frac{M_1 * (100/100 + h)}{M_1 * (100/100 + h) + M_3 - M_2} * \delta_T$$

Tabela 10: Resultados para o Solo Residual

| Procedimentos de Ensaio | REF. | PIC. Nº 1 | PIC. Nº 2 |
|-------------------------------|------------|-----------|-----------|
| Pesos da Amostra | M1 | 50g | 50g |
| Peso do Pic. + Amostra + água | M2 | 671,8 | 699,7 |
| Temperatura da água | °C | 25 | 25 |
| Massa específica da água | γ_a | 0,9971 | 0,9971 |
| Peso do Pic. + água | M3 | 641,8 | 669,6 |
| Massa específica dos Grãos | Δ | 2,607 | 2,621 |

A média da umidade é $h = 2,92\%$

Tabela 11: Resultados para a Argila Orgânica

| Procedimentos de Ensaio | REF. | PIC. Nº 1 | PIC. Nº 2 |
|-------------------------------|------------|-----------|-----------|
| Pesos da Amostra | M1 | 50g | 50g |
| Peso do Pic. + Amostra + água | M2 | 669,17 | 696,93 |
| Temperatura da água | °C | 25 | 25 |
| Massa específica da água | γ_a | 0,9971 | 0,9971 |
| Peso do Pic. + água | M3 | 641,8 | 669,6 |
| Massa específica dos Grãos | δ | 2,205 | 2,198 |

material com $h=0,0\%$

Conclusão

A experiência realizada teve como objetivo a determinação da massa específica dos grãos que passam na peneira 4,8mm, de dois materiais analisados: solo residual e argila orgânica.

Durante o experimento é possível que tenha ocorrido alguns Eros, como por exemplo: imprecisões nas pesagens do picnômetro e seu conteúdo. A curva de calibração perderá a validade se o acúmulo de sujeira alterar seu peso. No entanto, o emprego de água contendo sólidos em dissolução é essencial para resultados favoráveis na realização do experimento. Os solos analisados são Brasileiros e por isso possuem certas peculiaridades que influenciam diretamente no experimento.

Os resultados obtidos foram satisfatórios, pois os resultados não diferiram em mais de 0,02 no aspecto de relação entre os solos estudados.

3.3.3 Limites de consistência

Apresentação

O presente relatório trata-se da obtenção das propriedades limite de liquidez e o limite de plasticidade dos solos que marcam a transição de um estado para outro (líquido-plástico e plástico semi-sólido). Tendo em vista que estas transições são marcantes, principalmente em solos argilosos.

A especificação da preparação de amostras para ensaios para a determinação do limite de liquidez e limite de plasticidade, seguindo as normas ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

Introdução

Um determinado tipo de solo é demarcado quando observado em campo por técnicos ou engenheiros, podendo verificar algumas características visuais que denotam sua utilidade em um projeto de engenharia. Amostras são retiradas, ensacadas e são enviadas para o laboratório, onde são feitos todos os ensaios para preparação destas amostras e, em seguida, estas seguem para os laboratórios onde serão submetidos a ensaios para comprovar sua utilização ou não em projetos de engenharia.

A determinação e tipo de ensaios ao qual são submetidas às amostras não são feitos de qualquer maneira. Os ensaios são descritos por normas regidas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Neste relatório, especifica-se a determinação dos limites de liquidez e plasticidade que seguem a norma ABNT - NBR 6459 e ABNT - NBR 7180, sendo que as amostras do solo passam primeiro pelo estágio, seguindo a norma ABNT - NBR 6457.

Objetivos

- Determinar o limite de liquidez de tipos de solos específicos, seguindo a norma NBR 6459/ABNT;
- Determinar o limite de plasticidade de tipos de solos específicos, seguindo a norma NBR 7180/ABNT.

Revisão Teórica

O termo consistência é usado para descrever um estado físico, ou seja, o grau de ligação entre as partículas das substâncias. Quando aplicado aos solos finos ou coesivos, a consistência está ligada a quantidade de água existente no solo, isto é, o seu teor de umidade. Enquanto as areias são caracterizadas em função do parâmetro densidade relativa o qual reflete o grau de compactação existente, todavia, para a argila este parâmetro não é adequado para caracterizá-la, utiliza-se portanto, a consistência como uma forma de definir os possíveis estados em que um solo argiloso pode ser encontrado. As propriedades mecânicas de uma argila são profundamente alteradas pela variação do teor de umidade. Uma argila amolece quando se adiciona água, e se a quantidade adicionada for excessiva, forma-se uma lama com compartimento viscoso, com resistência ao cisalhamento praticamente nula, diz-se que a argila está no estado líquido. Ao reduzir-se a quantidade de água, em um processo lento de secagem, a argila começa a oferecer alguma resistência às deformações, podendo ser moldada sem variação de volume e sem apresentar trincas, este estado caracterizado como plástico. Com uma posterior perda de água por evaporação, a argila sofre uma variação de volume, até que se torna quebradiça, este é o estado semi-sólido. Prosseguindo a secagem a argila continua a se contrair, atingindo um volume mínimo. Além deste ponto, a secagem não mais provocará uma diminuição do volume; o ar começa a entrar nos poros da argila, dando a esta uma tonalidade mais clara e o solo torna-se aos poucos mais duro; este é o estado sólido.

Os limites de Atterberg representam a transição entre os estados: líquido, plástico, semi-sólido, sólido. Estes limites referem-se somente, ao limite de liquidez (LL), Limite de plasticidade (LP), e limite de contração (LC).

- Limite de Liquidez (LL): “o limite de liquidez é o teor de umidade para um qual um suco/ranhura, longitudinalmente feito por um cinzel padrão que será

fechado em um comprimento de 13mm, quando o recipiente (concha) onde está a amostra do solo, é forçado a cair 25 vezes de uma altura padrão de 10 mm”. Esta é a definição dada por Arthur Casagrande (1932), onde o mesmo desenvolveu um equipamento, conhecido como aparelho de Casagrande. O limite de liquidez marca a transição do estado líquido para o estado plástico e é uma característica de solos argilosos (um areia, por exemplo, não apresenta esta plasticidade);

- Limite de Plasticidade (LP): é definido pela determinação do teor de umidade que marca o ponto onde o solo começa a fraturar-se quando se tenta moldar, rolando-se sobre uma placa de vidro fosco com a mão, um cilindro de diâmetro igual a 3mm e comprimento de aproximadamente 10cm. O limite de plasticidade é o menor teor de umidade em que o solo se comporta plasticamente, definindo, portanto, a transição entre o estado plástico e o semi-sólido;
- Limite de Contração (LC): é o teor de umidade no qual qualquer perda desta, não provocara uma diminuição do volume. Marca a transição entre o estado semi-sólido e o estado sólido.

Material Utilizado

- Estufa capaz de manter a temperatura de 60°C a 65°C e de 105°C a 110°C;
- Cápsula de Porcelana;
- Espátula de lâmina flexível com aproximadamente 80mm de comprimento e 20mm de largura;
- Aparelho de Casagrande;
- Cinzel;
- Recipientes adequados, tais como: pares de vidros de relógio com grampo que evitem a perda de umidade da amostra;
- Balança que permite pesar normalmente 200g, com resolução 0,01g e sensibilidade compatível;
- Gabarito para verificação da leitura de queda da concha;
- Placa de vidro de superfície esmerilhada, com cerca de 30cm de lado;
- Esfera de aço;

- Gabarito cilíndrico para comparação, com 3mm de diâmetro e cerca de 100mm de comprimento.

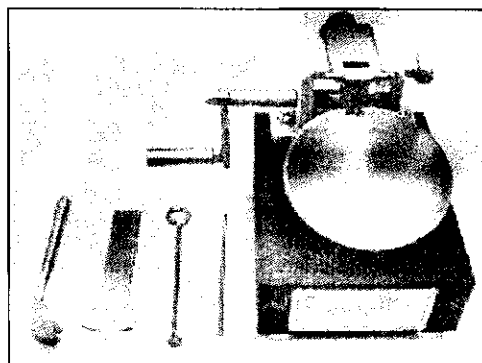


Figura. 6 (Aparelho Casagrande)

Para limite de liquidez de solos com cinzéis curvo e reto , Gabarito e Calibrador de Altura

Procedimentos Experimentais

O experimento foi realizado em duas partes: a primeira consiste em determinar o limite de liquidez e a segunda o limite de plasticidade.

Determinação do Limite de Liquidez

A determinação do limite de liquidez segue a norma NBR 6459. Pega-se metade da quantidade da amostra que é preparada com secagem prévia colocando a amostra na cápsula de porcelana, em seguida, adiciona-se água destilada, pouco a pouco, e vai homogeneizando a amostra até obter uma pasta homogênea, tal que sejam necessários 35 golpes para fechar a ranhura. Para homogeneização espera-se 15 a 30 minutos. Em seguida colocam-se partes desta amostra na concha do aparelho de Casagrande, moldando-a de forma que no centro a espessura seja de 10mm e que todas as bolhas de ar seja retiradas do interior da mistura. O excesso de solo é retirado.

Em seguida passa o cinzel através da mesma, de maneira a abrir uma ranhura na parte central, sabendo que isso deve ser feito na mão do operador. Depois se coloca a concha no aparelho, gira a manivela a razão de duas voltas por segundo e, anota-se o número de golpes necessários para que a ranhura se feche nas bordas inferiores ao longo de 13mm de comprimento, aproximadamente. Coloca a massa do local que fechou em uma cápsula pequena para ser secada em estufa, sendo que, posteriormente irá obter o

cálculo do seu teor de umidade, e o resto da amostra volta a cápsula de porcelana, lava-se a concha e o cinzel. Adiciona água destilada à amostra homogeneizando durante 3 minutos. Depois se repete a operação e, assim por diante, até obter amostras que se fechará em intervalos de 25-35, 20-30 e 15-25 golpes, aproximadamente. Colocam-se estes dados num gráfico e obtém-se na reta o teor de umidade correspondente a 25 golpes, que é o limite de liquidez do solo.

Determinação do Limite de Plasticidade

A determinação do limite de plasticidade segue a norma NBR 7180, junto com as normas complementares NRR 6457 e NBR 6459.

Na execução do ensaio, utilizando amostra preparada com secagem prévia, coloca-se a amostra na cápsula de porcelana, adicionando a esta, água destilada em pequenos incrementos, amassando e revolvendo vigorosa e continuamente com o auxílio da espátula de forma a obter uma pasta homogênea de consistência plástica. O tempo de homogeneização deve estar compreendido entre 15 e 30min, sendo que o maior intervalo de tempo para solos mais argilosos. Toma-se cerca de 10g da amostra assim preparada e forma-se uma pequena bola de solo que deve ser rolada sobre a placa de vidro com pressão suficiente da palma da mão para lhe dar a forma cilíndrica de diâmetro uniforme. O objetivo da rolagem é obter um cilindro de 3mm de diâmetro e 10cm de comprimento, onde apareçam os primeiros sinais de ruptura. O cilindro poderá atingir o diâmetro de 3mm e não estar fissurado, ou quebrar antes de ter atingido o diâmetro de 3mm.

toma-se metade da quantidade de amostra, coloca na cápsula de porcelana, adicionando água destilada, e homogeneiza até obtenção de uma pasta, onde o tempo de homogeneização compreenda 15 e 30 minutos. Retira-se 10g da amostra assim preparada e, forma-se uma pequena bola, que é rolada sobre uma placa de vidro, com a palma da mão, até formar um cilindro de 3mm de diâmetro. Se a amostra fragmentar-se antes de atingir o diâmetro desejado, coloca esta novamente na cápsula de porcelana, acrescenta mais água destilada e, deve-se homogeneizar por 3mm de diâmetro e 100mm de comprimento, o material é amassado, colocado num recipiente, para determinação de umidade conforme a NBR 6457. São feitos vários cilindros até obter pelo menos três valores de umidade.

Se a amostra for preparada sem secagem previa, coloca-se a amostra na cápsula de porcelana, amassa revolve vigorosamente e continuamente com auxilio de espátula, para obter uma pasta homogênea. Em seguida procede como descrito de 4.2.2 a 4.2.6, da norma NBR 7180, de acordo com a execução do ensaio.

Análise e Discussão dos Resultados

Pelos ensaios realizados em laboratório, os dados a respeito do limite de liquidez e limite de plasticidade, seguem nas tabelas.

Com relação à amostra da (solo residual) jazida Água Doce na Barragem de Caturité, temos:

Tabela 12: Resultados para o Limite de Liquidez

| Cápsula | LL - 21 | LL - 32 | LL - 13 | LL - 08 | LL - 54 |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Nº de golpes | 10 | 20 | 31 | 39 | 52 |
| Peso bruto úmido | 19,14 | 17,27 | 18,17 | 20,99 | 18,86 |
| Peso bruto seco | 16,59 | 15,03 | 15,67 | 18,28 | 16,54 |
| Tara | 7,85 | 7,05 | 6,56 | 8,26 | 7,81 |
| Peso da água | 2,55 | 2,24 | 2,50 | 2,71 | 2,32 |
| Peso do solo seco | 8,74 | 7,98 | 9,11 | 10,02 | 8,73 |
| Umidade % | 29,17 | 28,10 | 27,44 | 27,05 | 26,57 |

Tabela. 13: Resultados para o Limite de Plasticidade

| Cápsula | LL - 07 | LL - 44 | LL - 81 | LL - 72 | LL - 25 | LL - 29 |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Peso bruto úmido | 9,43 | 9,91 | 8,87 | 10,16 | 10,05 | 9,19 |
| Peso bruto seco | 9,09 | 9,60 | 8,56 | 9,83 | 9,72 | 8,84 |
| Tara | 7,21 | 7,89 | 6,87 | 8,01 | 7,93 | 6,93 |
| Peso da água | 0,34 | 0,31 | 0,31 | 0,33 | 0,33 | 0,35 |
| Peso do solo seco | 1,88 | 1,71 | 1,69 | 1,82 | 1,79 | 1,91 |
| Umidade % | 18,08 | 18,13 | 18,34 | 18,13 | 18,44 | 18,32 |

Na amostra de argila orgânica, proveniente do PB-003, tem-se:

Tabela 14: Resultados para o Limite de Liquidez

| Cápsula | LL - 18 | LL - 33 | LL - 41 | LL - 11 | LL - 01 |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Nº de golpes | 09 | 19 | 30 | 41 | 52 |
| Peso bruto úmido | 15,70 | 15,73 | 15,56 | 13,91 | 15,08 |
| Peso bruto seco | 12,80 | 12,64 | 12,73 | 11,38 | 12,22 |
| Tara | 8,09 | 7,41 | 7,81 | 6,91 | 7,11 |
| Peso da água | 2,9 | 3,09 | 2,83 | 2,53 | 2,86 |
| Peso do solo seco | 4,71 | 5,23 | 4,92 | 4,47 | 5,11 |
| Umidade % | 61,57 | 59,08 | 57,52 | 56,60 | 55,97 |

Tabela 15: Resultados para o Limite de Plasticidade

| Cápsula | LL - 04 | LL - 77 | LL - 51 | LL - 22 | LL - 15 | LL - 10 |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Peso bruto úmido | 9,07 | 9,06 | 9,26 | 10,00 | 10,05 | 8,97 |
| Peso bruto seco | 8,47 | 8,43 | 8,62 | 9,34 | 9,45 | 8,34 |
| Tara | 7,08 | 6,98 | 7,14 | 7,83 | 8,08 | 6,89 |
| Peso da água | 0,60 | 0,63 | 0,64 | 0,66 | 0,60 | 0,63 |
| Peso do solo seco | 1,39 | 1,45 | 1,48 | 1,51 | 1,37 | 1,45 |
| Umidade % | 43,16 | 43,45 | 43,24 | 43,71 | 43,79 | 43,45 |

Determinação do Limite de Liquidez

Pelos dados expressados nas tabelas pode-se identificar o limite de liquidez para ambas as amostras, através de um gráfico, onde o teor de umidade correspondente a 25 golpes é o limite de liquidez

O limite de liquidez é obtido através do gráfico (Nº de golpes x Teor de umidade). Quando se obtém a reta no gráfico, o teor de umidade correspondente a 25 golpes é o limite de liquidez.

Pelos dois gráficos traçados em função das tabelas 5.1 e 5.3, os resultados são:

- Jazida Água Doce: limite de liquidez = 28%, como o LP=→IP = 10%;
- Argila orgânica, PB-003: limite de liquidez =59%,como LP=43 →IP = 16%.

Os valores obtidos expressam o limite, ao qual passando deste teor de umidade, o solo perde o comportamento de líquido e adquire aspecto plástico, podendo ser moldado sem sofrer fissuras.

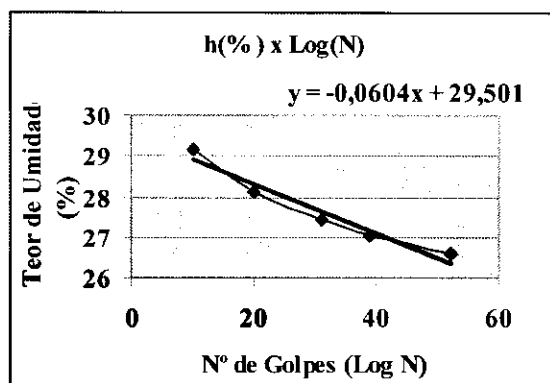


Figura 7: Relação entre o teor de umidade versus o número de golpes para a amostra de solo residual

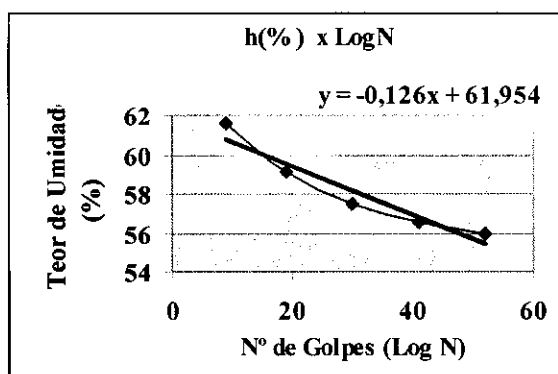


Figura 8: Relação entre o teor de umidade versus o número de golpes para a amostra de argila orgânica

Determinação do Limite de Plasticidade

A determinação do limite de plasticidade é feita quando são satisfatórios os valores de umidade, ao qual de 3 (três) valores, nenhum pode diferir da respectiva média de mais de 5% dessa média. O resultado final, média de pelo menos três valores de umidade considerados satisfatórios, deve ser expresso em porcentagem.

Para a **Tabela 13**, temos que:

- Utilizando os valores (18,08, 18,13, 18,34, 18,13, 18,44, 18,32), encontramos a seguinte média: $m = \frac{18,08 + 18,13 + 18,34 + 18,13 + 18,44 + 18,32}{6} = 18,24\%$.
- Como nenhum valor difere de mais de 5% da média e, aproximando este valor do inteiro mais próximo, temos LP = 18 %.

Para a **Tabela 15**, temos que:

- Utilizando os valores (43,16, 43,45, 43,24, 43,71, 43,79, 43,45), e fazendo a seguinte média: $m = \frac{43,16 + 43,45 + 43,24 + 43,71 + 43,79 + 43,45}{6} = 43,50\%$.
- Nenhum valor difere mais de 5% da média e, aproximando pra um numero inteiro mais próximo, temos $LP = 43,00\%$.

Simbologia:

- ❖ **TARA**: peso da cápsula;
- ❖ **PBh**: peso bruto úmido do solo;
- ❖ **PBs**: peso bruto seco do solo;
- ❖ **Pa**: peso da água, corresponde ao $PBh - PBs$;
- ❖ **Pss**: peso do solo seco, corresponde ao $PBs - TARA$;
- ❖ **h**: teor de umidade;
- ❖ **IP = LL - LP**, Índice de Plasticidade.

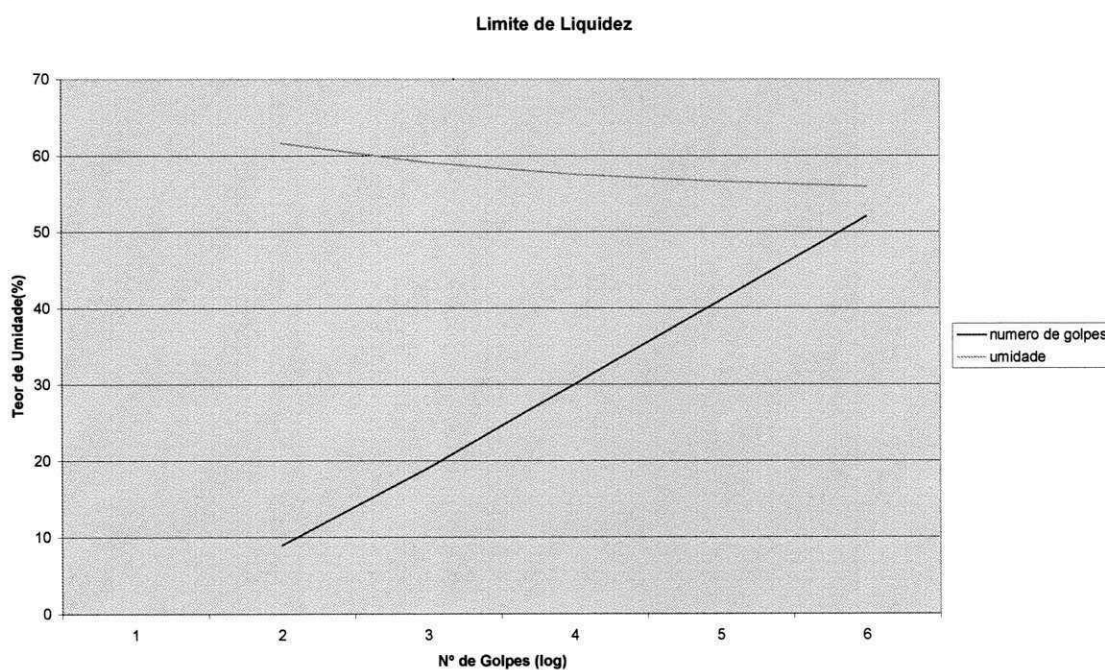


Figura. 9

Conclusão

Pelos ensaios os quais foram observados no laboratório temos a noção exata da importância destes ensaios para a determinação das propriedades do solo, onde estes devem ser realizados com o máximo de cuidado e, por pessoas de alta competência, para a obtenção de dados precisos.

Os ensaios de Limite de Liquidez e Plasticidade especificam um determinado teor de umidade onde o solo passa de um estado para outro, ao qual a obtenção destes limites depende de boa preparação das amostras e desenvolvimento dos ensaios, tendo em vista que a obtenção destes dados deve seguir regras especificadas pela ABNT.

Pelas especificações das normas e procedimentos realizados pelo técnico no laboratório, observamos que as realizações destes ensaios não são complicadas, mas um trabalho que requer atenção, competência e experiência, pois se forem obtidos dados excessivos, a determinação do limite de plasticidade e o gráfico para obtenção do limite de liquidez, fornecerão dados absurdos e o ensaio terá de ser realizado novamente. Deve-se salientar que existem muitas diferenças entre os solos, diferenças estas provocadas pelas intempéries que estes sofrem. Isto implica e chama a atenção dos pesquisados para que as peculiaridades de cada região e seus respectivos tipos de solos também sejam levados em consideração ao se realizar experimentos.

3.3.4 Análise Granulométrica

Apresentação

O presente relatório refere-se a experiência de análise granulométrica, condicionada pela norma NBR 7181/ABNT. Foram empregadas duas amostras: Solo Residual e Argila Orgânica. O experimento foi conduzido no Laboratório de Tecnologia de Solos e Materiais de Construção, sob orientação do técnico Ruy e supervisão do professor orientador João Queiroz.

Introdução

A análise granulométrica do solo pode ser definida como a medição dos tamanhos da parte sólida que constitui o solo e serve na Engenharia para identificar os diversos tipos de solos e conhecer como estes se comportam, principalmente os solos grossos, que de uma forma geral, pode ser identificado facilmente em uma curva granulométrica, ao contrário, os solos finos necessitam de outras características, peculiares a estes para uma correta identificação na curva granulométrica.

Os solos encontrados na natureza são formados por partículas de diferentes tamanhos, em proporções variadas. O tamanho relativo dos grãos que formam a fase sólida dos solos é chamado de textura. De acordo com a textura os solos são classificados como: pedregulho, areia, siltes e argila.

Uma das primeiras propriedades que deve ser determinada em um solo é a sua granulometria, ou seja, deve-se determinar a percentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de grãos representa na massa seca total utilizada para o experimento.

O ensaio é dividido em duas partes distintas, utilizáveis de acordo com o tipo de solo e as finalidades do ensaio para cada caso particular. São elas: análise granulométrica por peneiramento e análise granulométrica por sedimentação. Os solos grossos (areias e pedregulhos), possuindo pouca ou nenhuma quantidade de finos, podem ter a sua curva granulométrica inteiramente determinada utilizando-se somente o peneiramento. Nos solos que contenha expressiva quantidade de finos, deve-se proceder ao ensaio de granulometria conjunta, que engloba as fases de peneiramento e sedimentação.

Através dos resultados obtidos, é possível construir a curva de distribuição granulométrica que possui fundamental importância na caracterização geotécnica do solo, principalmente no caso dos solos grossos.

Objetivos

- ❖ Analisar granulometricamente os solos por meio de peneiramento e sedimentação ou por uma combinação de ambos;
- ❖ Determinar a curva granulométrica para os solos utilizados, ressaltando a viabilidade da curva granulométrica dos solos.

Material Utilizado

Os seguintes equipamentos foram utilizados no ensaio:

- ❖ Estufa capaz de manter a temperatura de 60°C a 65°C e de 105°C a 110°C;
- ❖ Balança que permita pesar nominalmente 200g, 1,5Kg, 5,0Kg e 10Kg com resoluções de 0,02g, 0,15g, 0,5g e 1g, respectivamente e sensibilidade compatível;
- ❖ Recipientes adequados, tais como dessecadores, que permita guardar amostras sem variação de umidade;
- ❖ Aparelho de dispersão, com hélices substituíveis, com copo munido de chicanas. A rotação da hélice do aparelho não deve ser inferior a 9000rpm;
- ❖ Proveta de vidro, com cerca de 450mm de altura e 65mm de diâmetro, com traço de referência indicando 1,000cm³ a 20°C;
- ❖ Densímetro de bulbo de simétrico, calibrado a 20°C e com resolução de 0,01, graduado em 0,995 a 1,050;
- ❖ Termômetro graduado 0,1°C, de 0°C a 50°C;
- ❖ Relógio com indicação de segundos;
- ❖ Béquer de vidro, com capacidade de 250 cm³;
- ❖ Proveta de vidro, com capacidade de 250 cm³ e resolução de 2 cm³;
- ❖ Tanque para banho, com dimensões adequadas à imersão das provetas até o traço de referência capaz de manter a temperatura da suspensão aproximadamente constante durante a fase de sedimentação;

- ❖ Peneiras de 50; 38; 25,4; 19,1; 9,5; 4,8; 2,0; 1,2; 0,6; 0,42; 0,30; 0,15 e 0,074 mm, de acordo com a NBR 5734;
- ❖ Escova com cerdas metálicas;
- ❖ Agitador mecânico de peneiras com dispositivo para fixação de até seis peneiras, incluindo tampa e fundo;
- ❖ Baqueta de vidro;
- ❖ Bisnaga;

Revisão Bibliográfica

A análise granulométrica é o ensaio básico de laboratório, necessário a identificação dos solos através dos sistemas de classificação utilizados na engenharia dos solos. Estes sistemas de classificação dividem as partículas sólidas, com base em sua dimensões: solos grossos (pedregulho de areia), solos finos (silte e argila)

A norma (ABNT – NBR 6502) classifica os solos de acordo com o diâmetro dos grãos da seguinte maneira:

Tabela 16: Classificação dos solos segundo a ABNT

| Graduação | | Diâmetro das Partículas (mm) |
|------------|--------|------------------------------|
| Pedregulho | Grosso | $20 < \phi < 60$ |
| | Médio | $20 < \phi < 6$ |
| | Fino | $6 < \phi < 2$ |
| Areia | Grossa | $0,6 < \phi < 2$ |
| | Média | $0,2 < \phi < 0,6$ |
| | Fina | $0,06 < \phi < 0,2$ |
| Silte | | $0,002 < \phi < 0,06$ |
| Argila | | $\phi < 0,002$ |

A curva granulométrica é bastante utilizada como representação técnica para a classificação dos solos, onde com a mesma pode-se ter informações sobre as características granulométricas do mesmo, como: a posição da curva na escala indica se o solo possui granulação grossa ou fina; a alta declividade, o achatamento e a forma geral da curva informam sobre a distribuição dos grãos pelos diversos diâmetros. Os

solos, como a areia e o pedregulho podem ser classificados pela curva de distribuição granulométrica, inferindo daí suas propriedades de engenharia. De acordo com a variedade do tamanho dos grãos, os solos podem ser:

- **Solos Uniformes:** em geral a maioria dos grãos possuem as mesmas dimensões, a curva apresenta alta declividade, aproximando-se da vertical;
- **Solos bem Graduados:** as dimensões das partículas abrangem uma extensa faixa de valores, a curva granulométrica é suave apresentando uma concavidade típica dos materiais bem graduados;
- **Solos mal Graduados:** aplica-se a qualquer solo que não se enquadre como bem graduado ou solos uniformes. Nestes solos faltam partículas com certas dimensões e suas curvas granulométricas apresentam trechos quase horizontais.

De modo geral existe uma influência da granulometria nas Propriedades dos Solos, da seguinte forma:



Figura. 10

- **Solo sem finos:** massa específica baixa, permeabilidade elevada, coesão nula, difícil compactação, atrito intergranular elevado, insensível a variações de umidade, deformidade elevada;



Figura. 11

- **Solo com finos enchendo os vazios:** massa específica elevada, permeabilidade baixa, possível coesão, compactação razoável, atrito intergranular presente, estabilidade favorável;



Figura. 12

- **Solo com muito fino:** massa específica regular, permeabilidade baixa, possível coesão, fácil compactação, não há atrito entre as partículas maiores, estabilidade precária;

Existem dois processos distintos para a obtenção da distribuição granulométrica dos solos: Análise granulométrica por peneiramento (Grosso e Fino) e por sedimentação.

Peneiramento Grosso

É empregado para partículas com dimensões das areias e pedregulhos. Usa-se um conjunto de peneiras adequadas dentro do conjunto de normas estabelecidas.

Para calcular o percentual de solo retido em cada peneira, utiliza-se a seguinte expressão:

$$M_s = \frac{M_t - M_g}{(100 + h)} \times 100 + M_g, \text{ onde:}$$

M_s: Massa total da amostra seca;

M_t: Massa da amostra seca ao ar;

M_g: Massa do Material seco, retido na # 2,0;

h: Teor de Umidade;

A equação que calcula o percentual de material que passam nas peneiras é:

$$Q_g = \frac{M_s - M_i}{M_s} \times 100, \text{ onde}$$

Q_g: Percentual que passa na amostra total;

M_s: Massa total da amostra seca;

M_i: Massa do material retido acumulado em cada peneira;

h: Teor de Umidade;

Peneiramento Fino

Para calcular o percentual de solo retido em cada peneira, utiliza-se a seguinte expressão:

$$Q_f = \frac{M_h \times 100 - M_i(100 + h)}{M_h \times 100} \times N, \text{ onde}$$

Q_f: Percentagem do material que passa nas peneiras;

M_h: Massa úmida da amostra;

M_i: Massa da amostra retida acumulada em cada peneira;

h: Teor de Umidade;

N: Relação entre o peso de solo que passa na (#10) e o peso seco total de solo;

Sedimentação

Utilizada para solos mais finos, calcula-se as percentagens correspondentes a cada leitura do densímetro, referidas a massa total da amostra, utilizando-se a seguinte expressão:

$$Q_s = N \times \frac{\delta}{(\delta - \delta_d)} \times \frac{v \times \delta_c(L - L_d)}{M_h / (100 + h) \times 100}, \text{ onde}$$

Q_s: Percentagem da amostra em suspensão;

V: Volume da suspensão, em cm³;

δ: Massa específica dos grãos de solo passando na peneira 4,8 mm;

δ_d: Massa específica do meio dispersor, à temperatura de ensaio, em g/cm³;

M_h: Massa úmida da amostra;

L: Leitura do densímetro na suspensão;

L_d: Leitura do densímetro no meio dispersor, na mesma temperatura;

h: Teor de Umidade;

N: relação entre o peso de solo que passa na (#10) e o peso seco total de solo;

Para calcular o diâmetro máximo das partículas em suspensão, no momento de cada leitura do densímetro, utilizou-se a expressão baseada na lei de Stokes, abaixo:

$$D = \sqrt{\frac{1800 \times \eta}{\delta - \delta_d} \times \frac{\alpha}{t}}, \text{ onde:}$$

D: Diâmetro das partículas de solo em suspensão;

η : Coeficiente de viscosidade do meio dispersor, à temperatura de ensaio;

δ : Massa específica dos grãos de solo passando na peneira 4,8 mm;

δ_d : Massa específica do meio dispersor, à temperatura de ensaio, em g/cm³;

α : Altura de queda das partículas, com resolução de 0,1 cm correspondente à leitura do densímetro, em cm;

t: Tempo de sedimentação em segundos;

A viscosidade corresponde ao coeficiente de viscosidade da água, para uma temperatura de 25° C, que através da tabela em anexo, $\eta = 9,13 \times 10^{-6}$ gs/cm².

As análises por peneiramento e sedimentação são combinadas para definir a composição granulométrica dos solos que possuem grãos grossos e finos.

Procedimentos Experimentais

A execução do ensaio granulométrica é dividida em etapas, onde inicialmente prepara-se a amostra, tomando a quantidade de amostra preparada de acordo com a norma NBR 6457. em seguida realizam-se algumas preparações preliminares, como: determina-se a massa da amostra seca ao ar (M_i) e passa-se este material na peneira de 2,0mm, tomando-se a precaução de desmanchar no almofariz todos os torrões eventualmente ainda existentes, de modo a assegurar a retenção na peneira somente dos grãos maiores que a abertura da malha. Logo após, lava-se a parte retida na peneira de 2,0mm a fim de eliminar o material fino aderente. O material é seco em estufa 105°C/110°C e assim obtém-se o peneiramento grosso. Para determinação da distribuição granulométrica do material, apenas por peneiramento procede-se da seguinte forma: do material que passa na peneira de 2,0mm, toma-se cerca de 120g e pesa-se este material com resolução de 0,01g , e anota-se como M_g . Toma-se ainda cerca de 100g para três determinações da umidade higroscópica (h), de acordo co a norma NBR 6457. em seguida lava-se o material, vertendo-se água a baixa pressão. Logo depois procede-se com se faz os procedimentos de peneiramento fino.

Realizada as operações preliminares tem-se as seguintes etapas:

Peneiramento Grosso

O peneiramento grosso foi realizado utilizando-se a quantidade de solo que ficou retida na peneira 10, no momento da preparação da amostra, e que se segue o seguinte procedimento experimental: Lava-se a amostra na peneira 10 colocando-se em seguida na estufa. As peneiras de aberturas maior e igual a #10 foram colocadas uma sobre as outras com as aberturas das malhas crescendo de baixo para cima. Embaixo da peneira de menor abertura colocou-se o prato que recolheu os grãos que por ela passou. Em cima da peneira de maior abertura foi colocada a tampa para que se evitasse a perda de partículas no início do processo de vibração. O conjunto de peneiras assim montado pôde ser agitado manualmente, em seguida pesou-se a fração da amostra retida em cada peneira;

Peneiramento Fino

O peneiramento fino foi realizado utilizando-se a quantidade de solo que passou na peneira 10, no momento da preparação da amostra, e que se segue o seguinte procedimento experimental: Coloca-se a amostra na peneira 200, onde se lava a amostra e a coloca na estufa. Juntam-se e empilham-se as peneiras de aberturas compreendidas entre as peneiras 10 e 200, colocando a amostra seca no conjunto das peneiras. Agita-se o conjunto manualmente (toma-se todo o cuidado como descrito para o caso do peneiramento grosso) em seguida pesa-se a fração da amostra retida em cada peneira.

Sedimentação

Para a realização do ensaio de sedimentação, utiliza-se o material que passa na peneira de 2,0mm e toma-se cerca de 70g a 120g para a sedimentação e peneiramento fino. O material é pesado com resolução de 0,01g e anota-se como M_h . Toma-se ainda cerca de 100g para determinação da umidade higroscópica (h), de acordo com a norma NBR 6457. em seguida, transfere-se o material obtido para u béquer de 250cm³ de solução de hexametáfosfato de sódio com a concentração de 45,7g do sal por 1000 cm³ de solução, agita-se o béquer ate que todo o material fique imerso e deixa-o em repouso no mínimo 12 horas. Verte-se, então, a mistura no copo de dispersão, removendo-se com água destilada o material aderido às paredes do béquer. Adiciona-se água destilada ate que seu nível fique 5cm abaixo das bordas do copo e submete-se a amostra por 15 minutos no aparelho dispersor. Em seguida, transfere-se a dispersão para a proveta e remove-se com água destilada todo o material aderido ao copo. Junta-se com água destilada até

atingir o traço correspondente à 1000cm^3 e em seguida coloca-se a proveta no tanque para banho ou em local com temperatura aproximadamente constante. Logo que a dispersão atinja a temperatura de equilíbrio, toma-se a proveta, tampando-a com uma das mãos com movimentos enérgicos de rotação, durante 1 minuto. Imediatamente depois de terminada a agitação, coloca-se a proveta sobre uma mesa e anota a hora exata do início da sedimentação (t) de 0,5, 1 e 2 minutos. Retirar cuidadosamente o densímetro da dispersão. Cerca de 15 a 20 segundos antes de cada leitura, mergulha-se o densímetro para fazer uma nova leitura, que deve ser na parte superior do menisco. Assim que a leitura for realizada, coloca-se o densímetro em água limpa, à mesma temperatura da dispersão. Em seguida verte-se o material da proveta na peneira de 0,075mm, procede-se para retirada de todo material aderido em suas paredes e efetuar a lavagem do material na peneira mencionada, empregando-se água potável a baixa pressão.

Análise e Discussão dos Dados

Os dados obtidos no ensaio serão aqui demonstrados. Inicialmente faz-se a calibração do densímetro. Temos os seguintes dados:

Tabela 17: Dados referentes à calibração do densímetro

| | | |
|--|-------|-------|
| Densímetro (Nº) | 09/95 | 09/95 |
| Peso do Densímetro (g) | 39,26 | 39,26 |
| Leitura Inferior da Escala (cm) | 1,050 | 1,050 |
| Volume do Bulbo a partir de Li (cm^3) | 37,40 | 37,40 |
| Altura do Bulbo(h) | 14,0 | 14,0 |
| Parte superior do Bulbo (d^1) | 0,9 | 0,9 |
| Distância entre a leituras extremas (H) | 11,3 | 11,3 |
| Zs (cm) | 19,2 | 19,2 |
| Zi (cm) | 7,9 | 7,9 |

Para obter o volume do Bulbo utiliza-se a seguinte formula: $VB=Pd/Li$, onde :Pd é o peso do densímetro e Li a leitura inferior da escala. Os valores referentes a $Zs= H +d^1 +h/2$ e $Zi=d^1+h/2$.

A proveta é calibrada com os seguintes dados:

Tabela 18: Dados referentes à calibração da proveta

| | | |
|-----------------------------|------|------|
| Proveta (Nº) | 01 | 02 |
| Volume de Referencia (VR) | 1000 | 1000 |
| Leitura Correspondente (LC) | 35,1 | 35,1 |
| Área Media (A) | 28,5 | 28,5 |

A área media é dada pela formula: $A=VR/LC$.

No caso da imersão é feita a correção de imersão, onde a mesma é dada pela seguinte formula: $Correção=VB/2$. Os valores obtidos foram os seguintes:

Tabela. 19: Dados referentes à correção de imersão

| | | |
|-----------------|-------|-------|
| Densímetro (Nº) | 09/95 | 09/95 |
| Proveta (Nº) | 0,1 | 02 |
| Correção | 0,66 | 0,66 |

Os coeficientes de viscosidade do meio dispersor, à temperatura de ensaio, são os seguintes:

Tabela. 20: Viscosidade da água(10^{-6} g.s/cm²)

| °C | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 10 | 13,36 | 12,99 | 12,63 | 12,30 | 11,98 | 11,68 | 11,38 | 11,09 | 10,81 | 10,54 |
| 20 | 10,29 | 10,03 | 9,80 | 9,56 | 9,34 | 9,13 | 8,92 | 8,72 | 8,52 | 8,34 |
| 30 | 8,16 | 7,98 | 7,82 | 7,66 | 7,50 | 7,45 | 7,20 | 7,06 | 6,92 | 6,79 |

Para a determinação dos diâmetros dos grãos na etapa de sedimentação, utilizou-se os dados na calibração do densímetro e da proveta, de modo, que foi traçado uma curva em papel milimetrado (Anexo) a fim de calcular a altura de queda das partículas com uma resolução de 0,1cm, correspondente à leitura do densímetro.

A amostra do solo residual foi retirada na Barragem de Caturité no trecho Jazida Água Doce a uma profundidade de 0,1m-1,2m. Com os seguintes valores numéricos:

Tabela. 21: Valores para a determinação da umidade higroscópica da amostra solo residual

| Cápsula | Pbh | Pbs | Tara | Pss | Pa | H(%) |
|---------|--------|--------|-------|--------|------|------|
| AL-35 | 126,67 | 124,60 | 14,48 | 110,12 | 2,07 | 1,88 |
| AL-72 | 130,77 | 128,75 | 13,29 | 115,46 | 2,02 | 1,75 |

A umidade média $hm = 1,82$

A massa total da amostra (Mt) seca ao ar é igual a 1000,00, assim como a massa úmida do material para peneiramento fino ou sedimentação (Mh) é igual a 100,00. a massa específica dos grãos do solo (δ) é igual a 2,615.

Tabela. 22 : Dados granulométricos para a amostra de solo residual

| Peneiramento da Amostra Total | | | | Peneiramento da Amostra Parcial | | | |
|-------------------------------|-----------------|-------|----------------------|---------------------------------|-----------------|-------|----------------------|
| # (mm) | Material Retido | | % passa total(Qg) | # (mm) | Material retido | | % passa total(Qf) |
| | Massa(g) | Mi(g) | | | Massa(g) | Mi(g) | |
| 50 | | | | 1,2 | 5,31 | 5,31 | 79,71 |
| 38 | | | | 0,6 | 11,18 | 16,49 | 70,12 |
| 25,4 | | | | 0,42 | 7,91 | 24,40 | 63,33 |
| 19,1 | 25,12 | 25,12 | 97,44 | 0,30 | 11,09 | 35,49 | 53,81 |
| 9,5 | 36,41 | 65,53 | 93,33 | 0,15 | 13,65 | 49,14 | 42,10 |
| 4,8 | 34,02 | 95,55 | 90,28 | 0,074 | 12,72 | 61,86 | 31,33 |
| 2,0 | 59,05 | 154,6 | 84,27 | | | | |

Tabela. 23 : Dados para a sedimentação para a amostra de solo residual

| Hora observada | Tempo decorrido(min) | L | Temperatura (°C) | Ld | α | Diâmetro(mm) | Amostra Total (Qs) |
|----------------|----------------------|-------|------------------|--------|----------|--------------|--------------------|
| 6:10:30" | 0,5 | 1,023 | 24 | 1,0028 | 14,1 | 0,069 | 28,1 |
| 6:11 | 1,0 | 1,021 | 24 | 1,0028 | 14,3 | 0,050 | 25,3 |
| 6:12 | 2,0 | 1,019 | 24 | 1,0028 | 15,0 | 0,036 | 22,5 |
| 6:14 | 4,0 | 1,017 | 24 | 1,0028 | 14,8 | 0,025 | 19,73 |

| | | | | | | | |
|----------|--------|-----------|----|------------|----------|--------|-------|
| 6:18 | 8,0 | 1,01 6 | 24 | 1,002 8 | 15, 0 | 0,018 | 18,34 |
| 6:25 | 15,0 | 1,01 5 | 24 | 1,002 8 | 15, 2 | 0,013 | 16,95 |
| 6:40 | 30,0 | 1,01 4 | 24 | 1,002 8 | 15, 4 | 0,0094 | 15,56 |
| 7:10 | 60,0 | 1,01 3 | 24 | 1,002 8 | 15, 6 | 0,0067 | 14,17 |
| 8:10 | 120,0 | 1,01 2 | 24 | 1,002 8 | 15, 8 | 0,0048 | 12,78 |
| 10:10 | 240,0 | 1,01 2 | 24 | 1,002 8 | 15, 8 | 0,0034 | 12,78 |
| 14:10 | 480,0 | 1,01 1 | 25 | 1,002 6 | 16, 0 | 0,0024 | 11,67 |
| 6:10:30" | 1440,0 | 1,01 1 | 23 | 1,003 0 | 16, 0 | 0,0014 | 11,11 |

Tabela.24: Valores para a determinação da umidade higroscópica da amostra argila orgânica

| Cápsula | Pbh | Pbs | Tara | Pss | Pa | H(%) |
|---------|--------|--------|-------|--------|------|------|
| AL-35 | 131,21 | 129,46 | 14,25 | 115,21 | 1,75 | 1,52 |
| AL-72 | 124,84 | 123,17 | 14,44 | 108,73 | 1,67 | 1,54 |

A umidade média correspondente é igual a $h=1,53$

Observa-se que a granulometria da amostra argila orgânica é formada por grãos muito finos, e portanto não ficam retidos grãos nas peneiras citadas.

Tabela 25: Dados para a sedimentação para a amostra de argila orgânica.

| Hora observada | Tempo decorrido(min) | L | Temperatura (°C) | Ld | α | Diâmetro(mm) | Amostra Total (Qs) |
|----------------|----------------------|-----------|------------------|------------|----------|--------------|--------------------|
| 6:20:30" | 0,5 | 1,02 8 | 24 | 1,002 8 | 12, 9 | 0,078 | 46,87 |

| | | | | | | | |
|----------|--------|-----------|----|------------|----------|--------|-------|
| 6:21 | 1,0 | 1,02 6 | 24 | 1,002 8 | 13, 1 | 0,055 | 43,15 |
| 6:22 | 2,0 | 1,02 4 | 24 | 1,002 8 | 13, 8 | 0,040 | 39,43 |
| 6:24 | 4,0 | 1,02 2 | 24 | 1,002 8 | 13, 5 | 0,028 | 35,71 |
| 6:28 | 8,0 | 1,02 0 | 24 | 1,002 8 | 14, 0 | 0,020 | 31,99 |
| 6:35 | 15,0 | 1,01 8 | 24 | 1,002 8 | 14, 4 | 0,015 | 28,27 |
| 6:50 | 30,0 | 1,01 6 | 24 | 1,002 8 | 14, 8 | 0,011 | 24,55 |
| 7:20 | 60,0 | 1,01 4 | 24 | 1,002 8 | 15, 3 | 0,0077 | 20,83 |
| 8:20 | 120,0 | 1,01 2 | 24 | 1,002 8 | 15, 8 | 0,0055 | 17,11 |
| 10:20 | 240,0 | 1,01 1 | 24 | 1,002 8 | 16, 0 | 0,0039 | 15,25 |
| 14:20 | 480,0 | 1,01 0 | 25 | 1,002 6 | 16, 2 | 0,0027 | 13,76 |
| 6:20:30" | 1440,0 | 1,00 9 | 23 | 1,003 0 | 16, 5 | 0,0016 | 11,16 |

De acordo com as dimensões dos grãos em cada etapa (peneiramento e sedimentação) as curvas foram traçadas com os seguintes resultados:

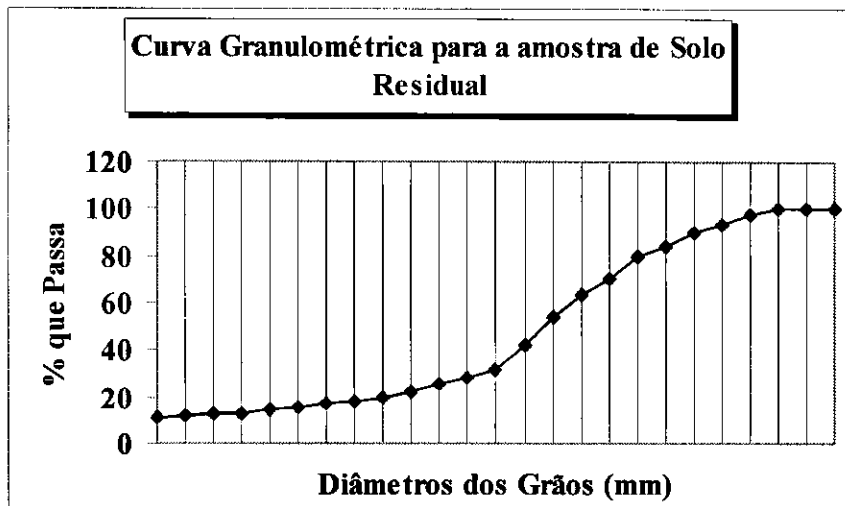


Figura 13: Curva Granulométrica para a amostra de Solo Residual

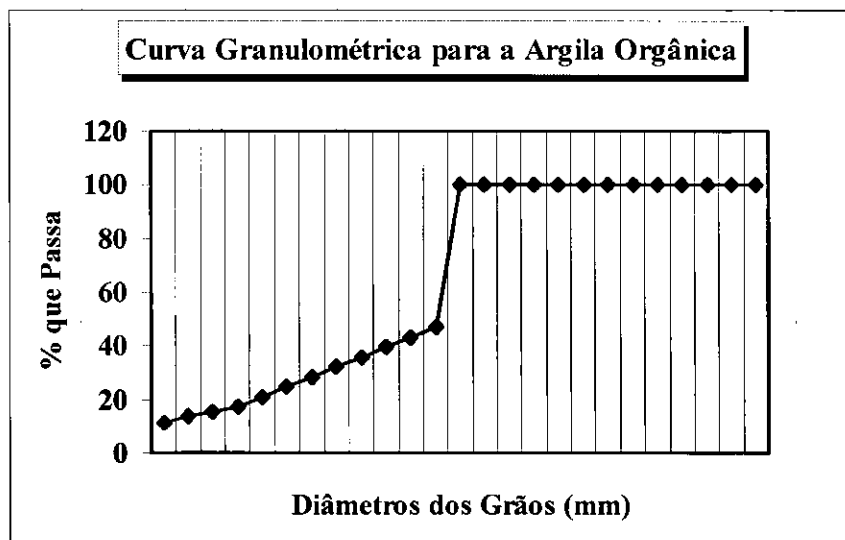


Figura 14: Curva Granulométrica para a amostra de Argila Orgânica

Através das curvas granulométricas foi feita uma análise com a obtenção das seguintes porcentagens de cada fração:

Tabela. 25: Resumo da Granulometria para o solo residual

| | | |
|---------------------|---------------------|------------|
| Pedregulho | Acima de 4,8 | 9% |
| Areia Grossa | 4,8 a 0,84 | 16% |
| Areia Media | 0,84 a 0,25 | 24% |
| Areia Fina | 0,025 a 0,05 | 24% |

| | | |
|---------------------------------|-----------------------|---------------|
| Silte+Argila | Abaixo de 0,05 | 27% |
| Total | | 100% |
| Retido entre 2,0 e 0,074 | | 52,94% |

Tabela. 26 : Resumo da Granulometria para a argila orgânica

| | | |
|---------------------------------|-----------------------|-------------|
| Pedregulho | Acima de 4,8 | 0% |
| Areia Grossa | 4,8 a 0,84 | 0% |
| Areia Media | 0,84 a 0,25 | 0% |
| Areia Fina | 0,25 a 0,05 | 56% |
| Silte+Argila | Abaixo de 0,05 | 44% |
| Total | | 100% |
| Retido entre 2,0 e 0,074 | | 0% |



Figura. 15

Conclusão

As relações entre diâmetros dos grãos dos solos condicionam diversas características dos mesmos e implica em sua classificação através de curvas granulométricas, classificação esta, que pode ser viável para solos mais grossos, mas para os solos finos será necessário obter outras informações para uma adequada classificação. Através das curvas granulométricas podemos caracterizar os solos e verificar como este se comporta quando posto em serviços de engenharia., ou seja, as dimensões dos grãos viabilizam o modo de utilização dos solos para fins técnicos de engenharia. Na construção de rodovias, por exemplo, tem-se que escolher adequadamente o tipo de solo que será utilizado no aterro, verificando, para tanto, seu comportamento plástico, sua compactidade, sua permeabilidade, e outras características presentes no solo.

Neste ensaio, a amostra de Solo Residual possui 27% de silte e argila, 24% de areia média, 24% de areia fina, 16% de areia grossa e 9% de pedregulho, ou seja, é um solo bem graduado, com porcentagens razoáveis de todas as dimensões. Este solo possui grande resistência quando secos; boa resistência ao cisalhamento quando compactado e saturado; baixa compressibilidade quando compactado e saturado; impermeável quando compactado; boa qualidade como fundação, boa trabalhabilidade como material de construção; má qualidade como superfície de rolamento em construções de emergência; quase nenhuma retração e umedecimento; é excelente em drenagens; com boa compactação no campo para tratores (equipamento com pneumáticos). É uma mistura de areia-argila bem graduadas com excelente ligante. Pode ser considerado estável, apesar de que sua maior porcentagem é de solo fino

A amostra de Argila Orgânica possui 56% de areia fina e 44% de silte e argila, ou seja, é uma amostra com predominância de finos, com média a alta plasticidade. Este solo pode ser identificado por ensaios no estado plástico, pela cor e cheiro. Possui média a grande resistência do solo seco; fraca resistência ao cisalhamento quando compactado; qualidade como fundação extremamente ruim; inútil para construções de emergência como superfície de rolamento; fraca trabalhabilidade como material de construção; alta retração e umedecimento; má drenabilidade e compactação impraticável.

As propriedades de engenharia, tais como: resistência, deformidade, erodibilidade, durabilidade, permeabilidade, compressibilidade, entre outras, podem ser atingidas com êxito, quando a escolha do solo é baseada no conhecimento exato de seu

comportamento. Para isso, é necessário que o engenheiro esteja atento em como escolher o tipo de solo adequado para a sua obra.

3.3.5 Ensaio de Compactação

Apresentação

O presente relatório refere-se a experiência de ensaio de compactação, condicionada pela norma NBR 7182/ABNT, tendo como normas complementares as seguintes: NBR 5734, NBR 6457, NBR 6458 e NBR 6508. Na referida experiência utilizou-se a amostra de Solo Residual. O experimento foi conduzido no Laboratório de Tecnologia de Solos e Materiais de Construção, sob orientação do técnico Ruy e supervisão do professor orientador João Queiroz.

Introdução

Os solos em seu estado natural, encontram-se compostos por água, ar e a parte sólida. O processo de compactação dos solos é proposto a redução, ao máximo, do volume de vazios presentes nos solos. Este processo mecânico ou não, vem a viabilizar a adequação do solo como material de construção, tornando-o, para tanto, um solo com as propriedades de uso na engenharia presentes, tais como: resistência, permeabilidade, compressibilidade e estabilidade. É o processo de estabilização do solo utilizado principalmente em rodovias, barragens de terra, aeroportos, entre outros, isso porque é dito como um processo prático e econômico.

Em geral as obras que utilizam o processo de compactação são realizadas em campo aberto. Então se faz necessário também, o transporte do solo para laboratório e proceder ao ensaio de compactação segundo as normas utilizadas, ou seja, esse processo deve ser efetuado tanto em campo como em laboratório. Verifica se há muita discrepância entre os valores de ambos, e a partir disso tira-se as conclusões necessárias para o procedimento do tipo de obra que servirá aquele solo como material de construção. Existem vários métodos de compactação de solos, cada um com sua eficiência e importância, que dependerá de fatores, que quando analisados, torna-se necessário dispor-se de procedimentos adequados que produzam o processo de compactação de campo em laboratório.

O ensaio realizado é chamado de Proctor Normal, consistindo em compactar uma amostra dentro de um recipiente cilíndrico, em três camadas sucessivas com 1000cm^3 , sob a ação de 25 golpes e utilizando-se um soquete de 2,5Kg, caindo em uma altura de 30,5cm.

Objetivo

- Determinar a relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca de solos quando compactados.

Material Utilizado

Os seguintes equipamentos foram utilizados no ensaio:

- Balança que permita pesar nominalmente 10Kg e 200g, com resoluções de 1g e 0,01g, respectivamente e sensibilidade compatível;
- Peneiras de 19 e 4,8mm, de acordo com a norma NBR 5734;
- ❖ Estufa capaz de manter a temperatura entre 105°C e 110°C;
- ❖ Cápsulas metálicas com tampa pra determinação da umidade;
- ❖ Bandejas Metálicas de 75x50x5 cm;
- ❖ Régua de aço biselada com comprimento de 30cm;
- ❖ Espátulas de lâmina flexível com aproximadamente 10cm e 2cm de largura e 12cm de comprimento, respectivamente;
- ❖ Cilindro metálico (cilindro de Proctor) que compreende o molde cilíndrico, com base e cilindro complementar de mesmo diâmetro (colarinho);
- ❖ Cilindro metálico grande (CBR) que compreende o molde cilíndrico, com base e cilindro complementar de mesmo diâmetro e disco espaçador metálico;
- ❖ Soquetes;
- ❖ Provetas de vidro com capacidade de 1000cm³, 200 cm³ e 100 cm³;
- ❖ Desempenadeira de madeira;
- ❖ Extrator de corpo de provas;
- ❖ Conchas metálicas com capacidade de 1000cm³ e 500 cm³;
- ❖ Base rígida preferencialmente de concreto, com massa superior a 100Kg;
- ❖ Papel filtro com diâmetro igual ao do molde empregado.

Revisão Bibliográfica

Compactar um solo significa que este sofrera um processo, pelo qual o solo aumentará sua resistência, diminuirá sua permeabilidade e a absorção de água. O processo pode ser

manual ou mecânico, onde haverá a expulsão do ar dos vazios, obtendo uma relação entre o peso específico e a umidade.

O engenheiro americano Ralph R. Proctor apresentou em 1933, o processo de compactação e afirmou que este é uma função do peso específico, teor de umidade, energia de compactação e do tipo de solo. esta energia é representada em laboratório através dos golpes realizados pelo equipamento soquete e, em campo pelo número de passagens de um rolo compactador.

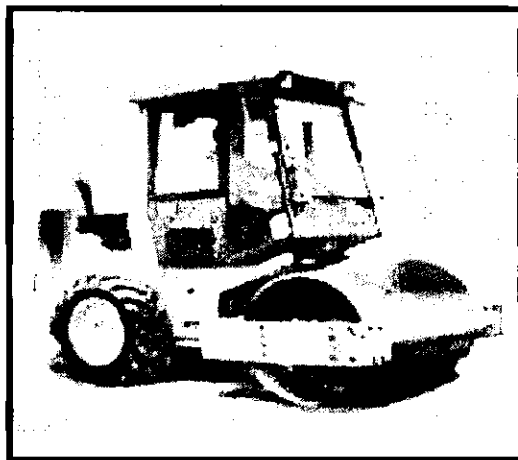


Figura 16: Tipo de equipamento para compressão no campo

Os resultados obtidos em laboratório devem exprimir os que representam a compressão em campo. Estes são representados por uma curva de compactação que mostra um determinado ponto para o qual a massa específica aparente seca é máxima. O teor de umidade correspondente a este ponto de peso específico aparente máximo é denominado de umidade ótima. Para cada solo com uma determinada energia de compactação existem, então uma umidade ótima e uma massa específica aparente seca máxima. Esse comportamento pode ser explicado considerando-se que à medida que cresce o teor de umidade do solo torna-se mais trabalhável, resultado em uma massa específica aparente seca maior e teores de ar menores.



Figura 17 : Soquetes Proctor Normal e C.B.R., respectivamente.

O cálculo dos valores de γ_s e $h(\%)$ é realizado empregando-se as expressões apresentadas a seguir:

$$\gamma_s = \frac{\gamma}{1 + h}, \text{ onde:}$$

γ_s = Massa específica aparente seca;

h = Teor de umidade;

γ = Densidade do solo úmido.

A curva de saturação é apresentada também ao lado do gráfico da curva de compactação. Tem-se esta curva por que nunca se expulsa todo o ar existente nos vazios do solo. Abaixo se encontra a equação referente à curva de saturação do solo.

$$\gamma_s = \left\langle \frac{1}{\gamma_{s1}} - \frac{1}{\gamma_G} \right\rangle . 100, \text{ onde:}$$

γ_s = Massa específica aparente seca;

γ_G = Massa específica dos grãos;

A energia de compactação desse ensaio é obtida pela seguinte fórmula:

$$E = PhNn/V, \text{ onde:}$$

E = Energia de compactação;

P = Peso do soquete;

H = Altura de queda do soquete;

N = número de golpes por camada;

n = número de camadas;

V = volume do solo compactado.

Os métodos utilizados no processo de compactação de solos podem produzir efeitos finais diferentes, onde os principais responsáveis pela influencia do método de compactação nas propriedades do solo são as deformações induzidas durante a compactação. Cada método se aplica melhor a um certo tipo de material, por exemplo, um material granular tipo uniforme ou brita graduada só será compactada por vibração, enquanto um material argiloso acertará bem uma compactação estática de amassamento.

Procedimentos Experimentais

As etapas seqüenciadas do ensaio são as seguintes: Toma-se uma certa quantidade de material seco ao ar, desmancha-se os torrões e homogeniza-se cuidadosamente o solo utilizado. Reduz-se todo o material, com o auxílio do repartidor de amostras ou pelo quarteamento manual, até se obter uma amostra representativa de cerca de 4 Kg de solo que passa na peneira nº4. Passou-se a amostra do solo na peneira nº4, com o cuidado de desmanchar todos os torrões que existe, de modo que a retenção na peneira nº4 seja somente de grãos maiores que a abertura da malha. Homogeneizou-se com a amostra tomando-se cerca de 50g para a determinação do teor de umidade higroscópica.

Em seguida adiciona-se água à amostra até se verificar uma certa consistência do material, atentando para a perfeita homogeneização desta. Compacta-se no molde cilíndrico a amostra em três camadas iguais, onde a cada camada da amostra, aplicou-se 25 golpes distribuídos uniformemente sobre a superfície da camada, deixando o soquete cair a 35 cm; Remove-se o colarinho e a base do cilindro de compactação, onde se aplainou a superfície do material à altura do molde e pesou-se o conjunto cilindro + solo úmido compactado. Retirou-se a amostra do molde com o auxílio do extrator e partiu-se ao meio, coletou-se uma pequena quantidade da amostra para a determinação da umidade. Desmancha-se o material compactado misturando-o em seguida com ao restante da amostra inicial, em seguida adiciona-se novamente água na amostra, homogeneizando-a bem. Repete-se o procedimento pelo menos por mais quatro vezes.

Análise e Discussão dos Dados

Através dos dados obtidos no ensaio, pode-se fazer uma análise detalhada do tipo de situação presente no experimento.

A amostra utilizada no ensaio é de solo residual da jazida de Água Doce na Barragem de Caturité a uma profundidade de 0,1-1,2, localizada no furo 15.

Inicialmente tem-se os dados para a determinação da umidade higroscópica.

Tabela 27: Determinação da umidade higroscópica

| Determinação da umidade higroscópica | | |
|--------------------------------------|--------|--------|
| Cápsula N° | AL-04 | AL-11 |
| Peso Bruto Úmido (g) | 135,1 | 138,59 |
| Peso Bruto Seco (g) | 133,38 | 136,77 |
| Tara da Cápsula (g) | 14,07 | 13,75 |
| Peso da Água (g) | 1,72 | 1,82 |
| Peso do Solo Seco (g) | 119,31 | 123,02 |
| Umidade (%) | 1,44 | 1,48 |
| Umidade Média (%) | 1,46 | |

Os dados oferecidos pelo ensaio sobre o molde, estão a seguir:

Tabela 28: Dados verificados no molde utilizado

| | |
|-----------------|------------------------|
| Molde N° | 05 |
| Volume do Molde | 996,95 cm ³ |
| Peso do Molde | 2375 g |

Os golpes aplicados por camada contabilizam 25 aplicados em 3 camadas.

Tabela 29: Valores para a determinação da densidade do solo úmido

| Ponto n° | Peso Bruto Úmido (g) | Peso do Solo Úmido (g) | Densidade do Solo (g) |
|----------|----------------------|------------------------|-----------------------|
| 1 | 4158 | 1783 | 1,788 |
| 2 | 4301 | 1926 | 1,932 |
| 3 | 4455 | 2080 | 2,086 |
| 4 | 4408 | 2033 | 2,039 |
| 5 | 4351 | 1976 | 1,982 |

Tabela 30: Determinação da Umidade

| Cápsula N° | Peso bruto úmido (g) | Peso Bruto Seco(g) | Peso da cápsula (g) | Peso da Água(g) | Peso do Solo Seco(g) | Umidade (%) |
|------------|----------------------|--------------------|---------------------|-----------------|----------------------|-------------|
| AL-41 | 135,29 | 124,20 | 13,12 | 11,09 | 111,08 | 9,98 |
| AL-32 | 129,31 | 118,69 | 13,37 | 10,62 | 105,32 | 10,08 |
| AL-53 | 135,72 | 122,71 | 14,23 | 13,01 | 108,48 | 11,99 |
| AL-18 | 139,33 | 126,06 | 15,67 | 13,27 | 110,39 | 12,02 |
| AL-21 | 141,86 | 125,89 | 13,48 | 15,97 | 112,41 | 14,21 |
| AL-07 | 139,28 | 123,51 | 14,18 | 15,77 | 109,33 | 14,42 |
| AL-15 | 145,82 | 127,12 | 13,87 | 18,70 | 113,25 | 16,51 |
| AL-01 | 147,66 | 128,78 | 14,31 | 18,88 | 114,47 | 16,49 |
| AL-39 | 148,98 | 128,93 | 14,74 | 21,03 | 114,19 | 18,42 |
| AL-16 | 147,18 | 126,63 | 13,85 | 20,55 | 112,78 | 18,22 |

Tabela 31: Determinação da Umidade Média e da Densidade do Solo Seco

| Umidade média (%) | Densidade do Solo Seco (g/cm ³) | h _{sat} |
|-------------------|---|------------------|
| 10,03 | 1,625 | 23,19 |
| 12,00 | 1,725 | 19,63 |
| 14,32 | 1,825 | 16,45 |
| 16,50 | 1,750 | 18,79 |
| 18,32 | 1,675 | 21,32 |

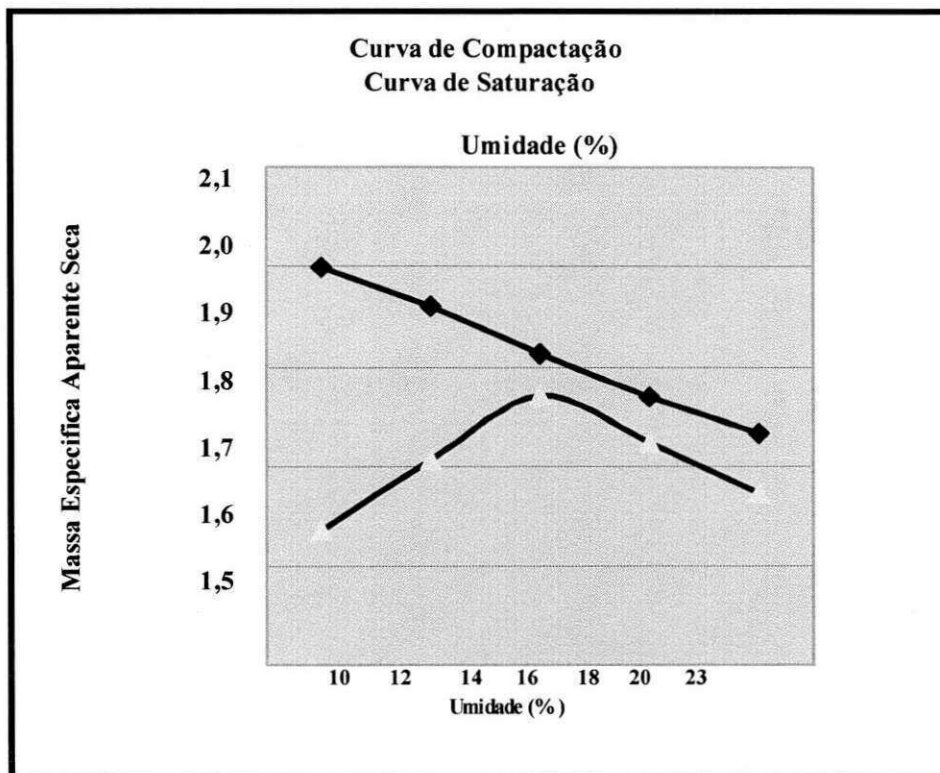


Figura 18: Curva de compactação(Parabólica) e Curva de Saturação(Reta)

Ao se verificar o gráfico, pode-se observar que para o valor máximo de γ_{Smax} que é numericamente igual a $1,8 \text{ g/cm}^3$ a umidade ótima (h_{ot}) equivale a 14,3%.

Conclusão

O processo de compactação evidencia a melhora da trabalhabilidade do solo em alguns aspectos, ou seja, sofrido o processo de compactação, o solo passa a possuir determinadas propriedades que vem a adequar melhor a sua utilidade como material de construção em obras de engenharia.

A amostra utilizada no presente ensaio apresentou umidade ótima (h_{ot}) de 14,3 e massa específica aparente seca (γ_{Smax}) de 1,8. Com a compactação o tipo de SC (amostra de solo residual) na classificação unificada, passa a possuir, depois de compactado, as seguintes características: apresenta impermeabilidade, regular resistência ao cisalhamento e baixa compressibilidade.

3.3.6 Ensaio de Permeabilidade

Apresentação

O presente relatório refere-se a experiência de ensaio de permeabilidade, normalizada por NBR 14545/ABNT. Na referida experiência utilizaram-se as amostras de Solo Residual e Argila Orgânica. O experimento foi conduzido no Laboratório de Tecnologia de Solos e Materiais de Construção, sob orientação do técnico Ruy e supervisão do professor orientador João Queiroz.

Introdução

Diz-se do solo permeável, todo aquele que tem a capacidade de permitir a passagem de um fluido através de sua massa. Neste caso específico, o fluido do ponto de vista geotécnico é a água. Os métodos mais utilizados para medição da permeabilidade do solo são os diretos, com resultados que são aplicados a problemas de carregamento de finos, erosão, projetos de filtros, etc. Os ensaios feitos em laboratório representam somente pequenos volumes de solo em pontos individuais de uma grande massa, portanto a validade da aplicação dos valores obtidos quando aplicados em projetos de drenagem e percolação dependem da representação da massa do solo.

A medição da permeabilidade fundamenta-se na lei de Darcy que pressupõe a proporcionalidade entre as velocidades de fluxo e os gradientes hidráulicos. Os métodos para a obtenção do coeficiente de permeabilidade são: contrapressão, o que assegura uma efetiva saturação do corpo-de-prova, e portanto o seu uso é o mais recomendável, uma vez que o coeficiente de permeabilidade decresce com o aumento da qualidade de ar presente no material e o outro método é conduzido em condições sensivelmente menos controladas. Quando ocorre variação do índice de vazios, o coeficiente de permeabilidade também varia, como os índices de vazios dependem das tensões efetivas, segue-se que para a obtenção da relação entre o coeficiente de permeabilidade e o índice de vazios, o ensaio deve ser repetido para diferentes valores de tensões efetivas. O presente relatório determina o coeficiente de permeabilidade através da carga variável, utilizada pela norma para solos argilosos.

Quando medida “in situ”, a permeabilidade leva em consideração as variações espaciais e nas estruturas do solo, fato preponderante na validade do ensaio.

Objetivo

- Determinar o coeficiente de permeabilidade a carga variável com água percolando através do solo no regime de escoamento laminar.

Material Utilizado

- Sistema de aplicação de contrapressão;
- Sistema de medição de pressão neutra;
- Sistema de pressurização da câmara do permeâmetro;
- Câmara do Permeâmetro;
- Sistema Pistão defletômetro;
- Base e cabeçote
- Membrana flexível;
- Peneira #4;
- Balança;
- Permeâmetro;
- Destilador e deaerador de água;
- Bureta;
- Termômetro
- Proveta;
- Reservatório com “ladrão”;
- Pedras porosas;
- Tela de arame com malha de 2,0 mm;
- Anéis para vedação
- Papel Filtro
- Cilindro auxiliar.

Revisão Bibliográfica

É através da permeabilidade dos solos que estes permitem que fluidos escoem sobre os seus vazios, ou seja, os solos se constituem de partículas sólidas intercaladas por vazios. Em geral estes os vazios presentes no solo são interconectados e possibilitam a passagem de água através deles de uma forma que o grau de permeabilidade é proporcional à estrutura do solo e a diferença de pressão do fluido na seção considerada.

Fatores que influenciam na permeabilidade

O coeficiente de permeabilidade varia para os diferentes solos, e para um mesmo solo, depende essencialmente da temperatura e do índice de vazios. Como a viscosidade da água influencia diretamente na temperatura desta, e como a viscosidade diminui com o aumento da temperatura, tem-se que, com o aumento da temperatura a água escoar mais facilmente entre os vazios do solo.

Outros fatores também causam suscetibilidade a permeabilidade, tais como:

- **Granulometria:** o tamanho dos grãos do solo influencia na permeabilidade, já que os solos com partículas menores possuem menor índices de vazios, conseqüentemente o fluido (água) sofrerá uma maior resistência através da massa do solo, ou seja a permeabilidade será menor em solos mais finos.
- **Forma e textura das partículas:** a forma das partículas presente no solo faz com que a passagem da água através destas varie para diferentes formas, por exemplo as partículas arredondadas provocam fluxo mais tortuoso, enquanto as partículas arredondadas possuem um fluxo mais regular.
- **Composição mineralógica:** a água adsorvida presente na composição molecular dos cristais de solos intervem na permeabilidade já que os diferentes tipos de minerais possuem diferentes espessuras de água adsorvida com conseqüente variação do tamanho efetivo dos poros. Como as argilas possuem menos poros este fator possui maior influência nestas do nas areias, por exemplo.
- **Índice de vazios:** a compactação dos solos e a maneira como este é depositado influencia na permeabilidade, pois o tamanho e a disposição dos vazios entre as partículas varia no grau de permeabilidade.

- **Grau de saturação:** o número de vazios preenchidos com água é fundamental para a medida da permeabilidade. Bolhas de ar podem impedir o fluxo entre as partículas reduzindo a permeabilidade. Uma das dificuldades do ensaio de permeabilidade é a eliminação das bolhas de ar através da completa saturação da amostra.
- **Estrutura:** os solos em seu estado natural não são homogêneos e sim anisotrópicos, ou seja, sua estratificação na horizontal é diferente da estratificação na vertical. A relação entre elas pode ser calculada, tendo valores no máximo igual a $kH/kV=100$.
- **Temperatura:** como já foi dito, o aumento da temperatura diminui a viscosidade da água, tornando o escoamento mais intenso.

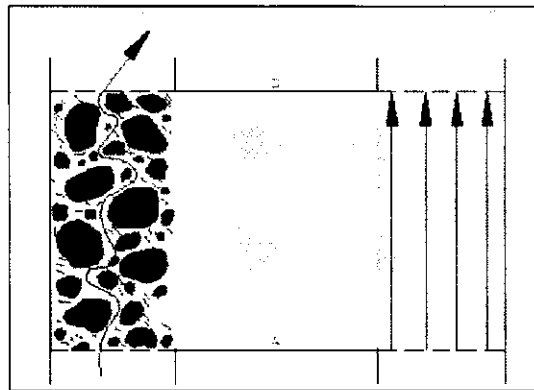


Figura. 19: Escoamento real (turbulento) e laminar entre os vazios dos solos

Determinação do Coeficiente de Permeabilidade

Em 1856 Henry Darcy correlacionou as velocidades superficiais de percolação da equação abaixo com os gradientes hidráulicos:

Esta expressão deu nome a lei chamada “lei de Darcy”, onde k é uma constante chamado coeficiente de permeabilidade que é um índice da maior ou menor dificuldade que o solo opõe a percolação d’água através de seus poros, isto é, mede a permeabilidade do solo. chama-se assim de permeabilidade a maior ou menor facilidade com que a percolação ocorre através de um solo. É uma das características mais importantes dos solos e intervem em grande número de problemas da engenharia: percolação pelas fundações e através de barragens de terra, drenagem, recalques por adensamento, etc.

Depois de Darcy outras teorias sobre permeabilidade foram utilizadas com o auxílio da fundamentação teórica sobre o regime de escoamento em condutos forçados que foram estabelecidas por Reynolds, em 1883. A experiência de Reynolds, comprovou que o regime de escoamento é laminar, sob certas condições, ou turbulento. A experiência permite que o fluxo de água através de uma tubulação transparente e, por meio de um pequeno funil instalado no tanque superior, introduza um corante no fluxo: se o corante escoasse com uma trajetória retilínea, o regime de escoamento seria laminar, pois as partículas têm trajetórias paralelas; caso contrário, o regime seria turbulento. O número de Reynolds é dado pela seguinte equação:

$$Re = \frac{v_c \times D \times \gamma}{\mu \times g}, \text{ onde}$$

Re: Número de Reynolds, adimensional e igual a 2000;

v_c : Velocidade crítica;

D: Diâmetro;

γ : Peso específico do fluido;

μ : Viscosidade do fluido;

g: Aceleração da gravidade;

O coeficiente de permeabilidade dos solos pode ser determinado *in situ* e em laboratório. Em laboratório, a determinação pode ser feita através dos seguintes métodos:

- **Permeâmetro de carga constante:** são aparelhos do tipo nos quais a amostra é submetida a uma carga hidráulica constante. Os solos grossos são submetidos a este tipo de ensaio. O coeficiente é calculado a partir da lei de Darcy; $v=Q/S\Delta t$, onde $i=H/L$.
- **Permeâmetro de carga variável:** são utilizados principalmente em ensaios com solos finos, os quais sendo praticamente impermeáveis são atravessados por quantidade de água muito pequena;
- Determinação indireta através do ensaio de adensamento;
- Determinação indireta através do ensaio de capilaridade.

O permeâmetro de carga variável é recomendado para solos argilosos e pela lei de Darcy, tem-se então a seguinte relação com o coeficiente de permeabilidade:

$$k = 2,303 \times \frac{a \times L}{A \times (t_2 - t_1)} \times \log\left(\frac{h_1}{h_2}\right), \text{ onde}$$

k: Coeficiente de permeabilidade (cm/s);

a: Área interna da bureta (cm²);

L: Altura do corpo de prova (cm);

A: Área do corpo de prova (cm²);

h₁ e h₂: altura dos níveis de água referentes às cargas (cm);

t₂ - t₁: Intervalo de tempo em segundos entre a ocorrência das cargas h₁ e h₂.

A curva de permeabilidade do solo em seu estado natural pode ser obtida fazendo uma relação entre os índices de vazios e *e* o coeficiente de permeabilidade *K*.

Procedimentos Experimentais

Depois de todas as verificações feitas de acordo com a norma NBR 14545, transfere-se o corpo de prova para o cilindro do ensaio de permeabilidade, colocando sobre a pedra porosa do cilindro uma camada de areia grossa e a tela de arame. Em seguida sobre a parcela de material que ficou em contato com a argila impermeável, colocou-se um anel de plástico e assentou-se o corpo de prova sobre a tela, preenchendo-o o espaço ao seu redor com argila impermeável, em camadas de 2 cm, compactando-se as juntas para não ocorrer caminhos preferenciais de percolação entre as paredes do permeâmetro e o corpo de prova. Em seguida, colocou-se um anel de plástico sobre a argila de impermeabilização e preencheu o restante do cilindro com areia grossa. Após a montagem do permeâmetro, procedeu-se à saturação do corpo de prova no sentido base/topo, para facilitar a saída do ar. A saturação terá sido satisfatória quando a água tiver surgido no topo do aparelho. Depois se fez a água percolar do topo para a base e efetuar-se algumas leituras de cargas e tempos correspondentes, bem como anotações da temperatura da água. Anotam-se cada leitura de coluna d'água num intervalo de determinado em segundos para cada leitura.

Análise e Discussão dos Resultados

Com os dados obtidos nos procedimentos do ensaio têm-se os seguintes valores descritos e relacionados.

Os dados obtidos para o trecho da jazida e água doce da Barragem de Caturité com energia Proctor normal com a carga variável horizontal, são os seguintes:

Tabela. 32: Análise da umidade

| Teor de Umidade | Moldagem | | Saturação | |
|----------------------|----------|--------|-----------|--------|
| | AL-12 | AL-53 | AL-44 | AL-05 |
| Cápsula nº | | | | |
| Solo úmido + cápsula | 141,1 | 146,93 | 150,85 | 155,23 |
| Solo seco + cápsula | 124,52 | 129,31 | 129,2 | 131,71 |
| Massa da Cápsula | 14,29 | 13,47 | 14,83 | 13,46 |
| Massa da água | 16,58 | 17,62 | 21,65 | 23,52 |
| Massa do solo seco | 110,23 | 115,84 | 114,37 | 118,25 |
| Umidade | 15,04 | 15,21 | 18,93 | 19,89 |
| Umidade média | 15,125 | | 19,41 | |

Tabela. 33 : Análise da compactação a amostra

| | |
|--------------------------|------------------------|
| Molde 04 | |
| Área do molde | 39,57 cm ² |
| Volume do Molde | 934,75 cm ³ |
| Molde + solo úmido | 3774 g |
| Massa do molde | 1834 g |
| Massa do solo úmido I | 1940g |
| Massa específica úmida F | 2,075g/cm ³ |
| Massa específica seca | 1,8 g/cm ³ |

Tabela.34 : Dados referentes à carga variável horizontal

| Variáveis | Dados obtidos | | | | | | | |
|----------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| a (cm ²) | 0,202 | 0,202 | 0,202 | 0,202 | 0,202 | 0,202 | 0,202 | 0,202 |
| A (cm ²) | 39,57 | 39,57 | 39,57 | 39,57 | 39,57 | 39,57 | 39,57 | 39,57 |
| t ₁ (s) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| t ₂ (s) | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| h ₀ (cm) | 146,3 | 146,2 | 146,3 | 146,2 | 146,3 | 146,2 | 146,3 | 146,2 |

| | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| h (cm) | 146,2 | 146,1 | 146,2 | 146,1 | 146,2 | 146,1 | 146,2 | 146,1 |
| K_t (cm/s) $\times 10^{-8}$ | 6,624 | 6,628 | 6,624 | 6,628 | 6,624 | 6,628 | 6,624 | 6,628 |
| T ($^{\circ}$ C) | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | V | 24 | 24 |
| Viscos.da água | 0,907 | 0,907 | 0,907 | 0,907 | 0,907 | 0,907 | 0,907 | 0,907 |
| K a 20 $^{\circ}$ (10^{-8}) | 6,013 | 6,017 | 6,013 | 6,017 | 6,0,13 | 6,017 | 6,013 | 6,017 |

O coeficiente corrigido a 20 $^{\circ}$ médio é : $K=6,0915 \cdot 10^{-8}$

Em seguida tem-se os dados obtidos para o trecho da jazida e água doce da Barragem de Caturité com energia Proctor normal com a carga variável vertical.

Tabela. 35 : Análise da umidade

| Teor de Umidade | Moldagem | | Saturação | |
|----------------------|----------|--------|-----------|--------|
| | AL-12 | AL-53 | AL-18 | AL-39 |
| Cápsula n $^{\circ}$ | | | | |
| Solo úmido + cápsula | 141,1 | 146,93 | 139,24 | 144,17 |
| Solo seco + cápsula | 124,52 | 129,31 | 119,84 | 124,59 |
| Massa da Cápsula | 14,29 | 13,47 | 13,86 | 15,27 |
| Massa da água | 16,58 | 17,62 | 19,40 | 19,58 |
| Massa do solo seco | 110,23 | 115,84 | 105,98 | 19,325 |
| Umidade | 15,04 | 15,21 | 18,30 | 17,90 |
| Umidade média | 15,125 | | 18,10 | |

Tabela. 36 : Análise da compactação da amostra

| | |
|--------------------------|----------------|
| Molde 08 | |
| Área do molde | 80,08 cm 2 |
| Volume do Molde | 934,75 cm 3 |
| Molde + solo úmido | 3746 g |
| Massa do molde | 1740 g |
| Massa do solo úmido I | 1992g |
| Massa específica úmida F | 2,13g/cm 3 |
| Massa específica seca | 1,85g/cm 3 |

Tabela. 37: Dados referentes à carga variável Vertical

| Variáveis | Dados obtidos | | | | | | | |
|--|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | a (cm ²) | 0,202 | 0,202 | 0,202 | 0,202 | 0,202 | 0,202 | 0,202 |
| A (cm ²) | 80,08 | 80,08 | 80,08 | 80,08 | 80,08 | 80,08 | 80,08 | 80,08 |
| t ₁ (s) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| t ₂ (s) | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| h ₀ (cm) | 144,5 | 144,3 | 144,5 | 144,3 | 144,5 | 144,4 | 144,5 | 144,4 |
| h (cm) | 144,3 | 144,1 | 144,3 | 144,1 | 144,4 | 144,3 | 144,4 | 144,3 |
| K _t (cm/s) x 10 ⁻⁸ | 8,724 | 8,736 | 8,724 | 8,736 | 4,360 | 4,362 | 4,360 | 4,362 |
| T (°C) | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | V | 24 | 24 |
| Viscos.da água | 0,907 | 0,907 | 0,907 | 0,907 | 0,907 | 0,907 | 0,907 | 0,907 |
| K a 20° (10 ⁻⁸) | 7,918 | 7,927 | 7,918 | 7,927 | 3,950 | 3,959 | 3,950 | 3,359 |

O coeficiente corrigido a 20° médio é : K=5,938. 10⁻⁸

Tem-se para amostra de argila orgânica com carga variável na vertical os seguintes valores:

Tabela. 38: Análise da umidade

| Teor de Umidade | Moldagem | | Saturação | |
|----------------------|----------|--------|-----------|--------|
| | AL-31 | AL-42 | AL-08 | AL-71 |
| Cápsula n° | | | | |
| Solo úmido + cápsula | 83,69 | 87,52 | 62,04 | 77,33 |
| Solo seco + cápsula | 38,63 | 39,56 | 31,92 | 35,01 |
| Massa da Cápsula | 14,32 | 13,48 | 13,49 | 14,25 |
| Massa da água | 45,06 | 47,96 | 30,12 | 42,32 |
| Massa do solo seco | 24,31 | 26,08 | 18,43 | 20,76 |
| Umidade | 185,35 | 183,89 | 163,43 | 203,85 |
| Umidade média | 184,67 | | 183,64 | |

Tabela.39 : Análise dos dados do corpo de prova

| | |
|------------------------|------------------------|
| Peso do corpo de prova | 355,11 |
| Área do molde | 39,69 cm ² |
| Volume do Molde | 237,43 cm ³ |
| Massa do solo úmido I | 1,495 |

Tabela. 40 : Dados referentes à carga variável Vertical para a argila orgânica

| Variáveis | Dados obtidos | | | | | | | |
|---|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| a (cm ²) | 0,202 | 0,202 | 0,202 | 0,202 | 0,202 | 0,202 | 0,202 | 0,202 |
| A (cm ²) | 39,57 | 39,57 | 39,57 | 39,57 | 39,57 | 39,57 | 39,57 | 39,57 |
| t ₁ (s) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| t ₂ (s) | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| h ₀ (cm) | 146,0 | 112,6 | 146,0 | 112,6 | 146,0 | 112,7 | 146,0 | 112,8 |
| h (cm) | 112,6 | 86,3 | 112,6 | 86,3 | 112,7 | 86,4 | 112,8 | 86,5 |
| K _t (cm/s) x10 ⁻⁴ | 1,324 | 1,356 | 1,324 | 1,356 | 1,311 | 1,355 | 1,315 | 1,353 |
| T (°C) | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | V | 24 | 24 |
| Viscos.da água | 0,907 | 0,907 | 0,907 | 0,907 | 0,907 | 0,907 | 0,907 | 0,907 |
| K a 20° (10 ⁻⁴) | 1,198 | 1,231 | 1,202 | 1,231 | 1,189 | 1,229 | 1,194 | 1,228 |

O coeficiente corrigido a 20° médio é : K=1,2105.10⁻⁴

Conclusão

A permeabilidade é uma das características mais importantes dos solos e intervém em grande número de problemas da engenharia: percolação pelas fundações e através de barragens de terra, drenagem, recalques por adensamento, etc. É através desta propriedade, que depende de vários outros estados do solo, como índices de vazios, temperatura, etc, que se pode prever o quanto de água fluirá por uma determinada amostra de solo, através da medição do coeficiente de permeabilidade.

Os resultados para o coeficiente de permeabilidade, aqui obtidos, para as amostra utilizadas foram os seguintes: $K=6,0915 \cdot 10^{-8}$ do solo residual com carga variável horizontal; $K=5,938 \cdot 10^{-8}$ para o solo residual com carga variável vertical; $K=1,2105 \cdot 10^{-4}$ para a argila orgânica com carga variável vertical.

3.3.7 Ensaio de Adensamento

Apresentação

O presente relatório refere-se a experiência de ensaio de adensamento, tendo como norma NBR 12007/ABNT, além das normas complementares NBR 6457 – Amostras de Solo – Preparação para ensaio de compactação e ensaio de caracterização – Método de Ensaio; e a NBR 6508 – Grãos de solo que passam na peneira de 4,8mm – Determinação da Massa Específica – Método de Ensaio. Na referida experiência utiliza-se da amostra de Argila Orgânica para simulação do experimento, onde este foi conduzido no Laboratório de Tecnologia de Solos e Materiais de Construção, sob orientação do técnico J. N. Sobreira e supervisão do professor orientador João Queiroz.

Introdução

Situações de recalque de solo são muito freqüentes em processos de construções que utilizam o solo como receptor de carga, uma das principais causas de recalque é a compressibilidade do solo que implica em uma diminuição do seu volume sob a ação de cargas aplicadas, um caso particular de recalque, por exemplo, e grande importância prática é aquele que se refere à compressibilidade de uma camada de solo, saturada e confinada lateralmente. Esta é uma situação praticada em laboratório que condiciona os chamados recalques por adensamento, denominar preferencialmente de recalques por consolidação.

A norma NBR 12007 da ABNT, prescreve o método de determinação das propriedades de adensamento do solo, através do ensaio de adensamento unidimensional, que tem como normas complementares a NBR 6457 – Amostras de Solo – Preparação para ensaio de compactação e ensaio de caracterização – Método de Ensaio; e a NBR 6508 – Grãos de solo que passam na peneira de 4,8mm – Determinação da Massa Específica – Método de Ensaio.

No presente relatório é descrito como títulos os objetivos do ensaio; a aparelhagem utilizada, a revisão teórica, além dos procedimentos experimentais e análises dos resultados e uma conclusão com uma análise final do ensaio

Objetivo

O ensaio de adensamento dos solos tem como objetivos a determinação das propriedades de adensamento do solo, tais como: coeficiente de adensamento, índice de compressão e pressão de pré-adensamento de uma amostra de solo por dois métodos, através do ensaio de adensamento unidimensional.

Revisão Teórica

O solo, como elemento composto também por vazios e água, pode sofrer esforços que produzem neste, deformações. Essas deformações podem acontecer quando o solo é comprimido ou quando este sofre expansão. Como já foi dito, o solo é formado por um esqueleto de grãos sólidos, constituindo uma macroestrutura, em cujos interstícios há água e ar, quando o solo passa a sofrer esforços externos a água presente começa a sofrer o processo de drenagem, ou seja, neste momento existe no solo tensão efetiva; em seguida os grãos começam a tocarem uns nos outros e se deformam, aparecerá então tensão neutra juntamente com tensão efetiva, até que toda a tensão neutra desaparecerá, pois a água é toda drenada, tendo agora somente pressão efetiva no solo. Todos estes processos são as fases pelas quais o solo é submetido ao adensamento

Compressão e Expansão nos Solos

Dentre as inúmeras propriedades dos solos tem-se a compressão e a expansão destes. A primeira trata-se de uma propriedade que tem possuem certos corpos de mudarem de forma ou de volume quando lhes são aplicadas forças externas. Nos solos grossos, por exemplo, há uma deformação no caso de aplicação, de carga externa, facilitando também quebra de grãos, envolvendo deslocamento relativo destes resultando em uma variação de volume ou de forma dos interstícios entre os grãos. Então, deste processo pode-se resultar: compressão, devido a diminuição de volume; dilatação, devido ao aumento de volume; ou simples deformação, quando o corpo muda de forma sem variar de volume.

Fenômeno de Adensamento

O processo de adensamento feito em laboratório compreende um modelo baseado em um cilindro contendo lateralmente o solo, de modo a impedir qualquer deformação lateral, com um líquido incompressível, em comparação com uma mola; existem também orifícios suficientemente pequenos para que a água escoe lentamente, o que corresponde à baixa permeabilidade das camadas dos solos argilosos. Quando se aplica uma pressão à camada argilosa, toda ela é transmitida à água intersticial, como já foi dito antes, toda essa água escoa através dos poros do solo. Então, quando toda a água escoar, a pressão é transmitida aos grãos, e este se deforma, diminuindo o volume dos poros intersticiais. Neste processo, dois fatos ocorrem: a compressão do solo que corresponde a uma diminuição do volume dos seus poros, ou seja os índices de vazios ficam praticamente inexistentes no solo; e o escoamento que gera a expulsão da água, que é necessário pra a compressão do solo e conseqüentemente, para retardar o recalque, em função do tempo, que o solo sofrerá. Neste processo, dois fatos ocorrem: a compressão do solo que corresponde a uma diminuição do volume dos seus poros, ou seja os índices de vazios ficam praticamente inexistentes no solo; e o escoamento que gera a expulsão da água, que é necessário pra a compressão do solo e conseqüentemente, para retardar o recalque, em função do tempo, que o solo sofrerá.

Tabela. 41 : Tensões presentes em um solo quando submetido às fases do adensamento

| Fases do adensamento | Tensões presentes no adensamento |
|-----------------------------|--|
| Início | Pressão neutra (μ) |
| Durante | Pressão neutra (μ) + tensão efetiva (σ_e) |
| Término | Tensão efetiva (σ_e) |

Compressibilidade dos solos considerados permeáveis e impermeáveis

Os solos que são em geral muito permeáveis, como as areias e os pedregulhos, o processo de adensamento não ocorre como a maneira tradicionalmente estudada, pois a

pressão efetiva é praticamente sempre igual à pressão aplicada e, conseqüentemente, as deformações se produzem de maneira muito rápida. Tais deformações são explicadas pelo reajuste de posição das partículas do solo; daí sofrerem, em um grau muito maior que as argilas, deformações inelásticas nos terrenos permeáveis.

Em se tratando de solos argilosos a variação de altura, que se denomina compressão primária ou adensamento propriamente dito, representa apenas uma fase particular da compressão. Além desta, considera-se a compressão inicial ou imediata – a qual se atribui a uma deformação da estrutura da argila ante a aplicação brusca da carga e à compressão instantânea da fase gasosa, quando essa existir – e a compressão secundária ou secular, também chamada “efeito secundário” do adensamento, o qual se explica como uma compressão do esqueleto sólido formado pelas partículas do solo. Desses três tipos de compressão, apenas o primeiro tem importância especial, dados os seus efeitos sobre as construções. (Caputo, 1983)

Comportamento do Índice de Vazios

Os estágios do adensamento são contemplados por uma redução do índice de vazios. A cada estágio de carga corresponde uma redução da altura da amostra, a qual, usualmente, se expressa segundo a variação do índice de vazios, da seguinte forma:

$$e_i = \frac{H - H_s}{H_s},$$

que é a própria definição de índice de vazios quando se admite uma coluna de seção unitária em uma camada argilosa não se deforma. Da mesma forma o índice de vazios no final do processo de adensamento será:

$$e_f = \frac{(H - r) - H_s}{H_s},$$

onde r é o recalque que a camada sofreu durante o adensamento, Logo:

$$e_i - e_f = \frac{r}{H_s} \Rightarrow H_s = \frac{H}{1 + e_i}.$$

Se substituir os valores, tem-se a formula que dá o recalque total por adensamento de uma camada argilosa de espessura H .

$$r = \frac{e_i - e_f}{1 + e_i} H,$$

onde H é suposto conhecido, ou determinável por meio de sondagem, e_i é conhecido, ou determinável em ensaio de laboratório sobre amostra indeformada da camada. O valor de e_f é determinado por meio do ensaio de adensamento sobre amostra indeformada da camada.

Ensaio de Adensamento

Como já foi dito o ensaio de adensamento, se faz necessário para solos que podem sofrer um suposto recalque e constitui de três estágios, onde se verifica a existência de tensões. Este ensaio deve ser executado sobre uma amostra indeformada, tal amostra é retirada do terreno com cuidado de preservar não somente o seu teor de umidade e sua massa específica natural, como também sua estrutura. de modo a preservar o arranjo original das partículas do solo nos ensaios de laboratório, tais como o de adensamento, cujos resultados são extremamente sensíveis a perturbações em sua estrutura. (Vargas, 1977).

O aparelho para Ensaio de Adensamento consta de um anel metálico, de diâmetro bem maior que sua altura, onde a amostra é colocada e confinada, no topo e base, por dois discos rígidos de material poroso. O conjunto é mergulhado em recipiente contendo água que sobre uma placa superior coloca-se uma placa rígida de aço por meio da qual se aplicam as cargas ao corpo de prova. O anel metálico impede as deformações laterais do corpo de prova, permitindo apenas que se efetuem as de adensamento. A carga é aplicada no topo da amostra que começa a adensar expulsando a água dos seus poros através dos discos porosos. Existe um micrometro que irá medir as novas espessuras do corpo de prova que diminuem com o tempo. Considera-se terminada a observação quando o ramo reto final da curva ficar bem determinado. Em seguida aplica-se uma outra seqüência de carga com o dobro da anterior.

Sendo h_i a altura inicial do corpo de prova e e_i seu índice de vazios, calcula-se a altura ideal de sólidos pela formula:

$$h_s = h_i / (1 + e_i).$$

A cada acréscimo de pressão aplicado, o corpo de prova sofre, por adensamento, a diminuição da altura à qual inclui uma deformação inicial d_0 , porem não inclui o recalque secundário. A variação da altura irá corresponder uma variação de índice de vazios, que será:

$$\Delta e = \Delta h / h_s.$$

Assim é possível correlacionar pressões aplicadas com índices de vazios contra as pressões. Para se ter uma idéia do efeito do amolgamento, na curva de adensamento traça-se um curva com a amostra totalmente amolgada. Se for mantida a mesma umidade natural e as amostra são saturadas, os índices de vazios da amostra indeformada e da amolgada são os esmos. Porém a compressibilidade é menor e a pressão de pré-adensamento desaparece, então se tem:

$$e = e_0 - K_v \lg p / p_0.$$

A constante K_v é a inclinação da reta virgem em um gráfico semilogarítmico, e é chamada de índice de compressão, o qual é a verdadeira medida de compressibilidade do solo e varia de acordo com as características mecânicas e físico-químicas que governam a compressibilidade.

O coeficiente de compressão específica m_v é determinado na curva de adensamento, num determinado intervalo de pressões a partir de Δp , correspondente a uma variação de índice de vazios Δe , a partir da seguinte expressão:

$$m_v = \Delta e / \Delta p (1 + e_i)$$

Então, pode-se concluir que a tanto compressibilidade com a resistência, de uma argila normalmente adensada variam com os índices de vazios dos corpos de prova.

Coefficiente de Adensamento

Utilizando o processo de Casagrande determina-se o 100% da compressão primária prolongando-se a linha, praticamente reta, do extremo da curva experimental até interceptar a tangente traçada pelo ponto de inflexão da curva. Este ponto de interseção corresponde ao 100% teórico do adensamento. Esta construção baseia-se na observação da curva teórica, que lhe é semelhante e que termina segundo uma assíntota horizontal.

O ponto relativo a 0% é determinado admitindo-se que a parte superior da curva (em escala aritmética) é uma parábola; pode-se assim determinar o seu eixo matematicamente, bastando seguir a construção gráfica indicada na figura, como facilmente se compreende. Afastando-nos dos extremos (0% a 100%), para não introduzirmos erros inerentes às suas determinações, comumente adota-se o tempo (t_{50}) obtido sobre a curva tempo-recalque, correspondente à porcentagem de 50%. Para este

valor de U o fator tempo, é praticamente igual a 0,197 tendo em vista as condições de pressão e drenagem na célula de adensamento.

Assim teremos:

$$c_v = \frac{0,197}{t_{50}} \times H_{50}^2$$

onde H_{50} é a espessura da amostra para 50% de adensamento.

Pressão de Pré-Adensamento

A pressão limite da curva de recompressão, o que corresponde ao estado de solitação a que esteve submetida anteriormente a camada de solo chama-se pressão de pré-adensamento (p_a). (Caputo, 1983)

A pressão vertical correspondente ao início da reta virgem, a partir da qual o solo passa a sofrer grandes deformações é denominada pressão de pré-adensamento σ'_{vm} ou de sobreadensamento, ou ainda de pré-consolidação. O conhecimento do valor de σ'_{vm} é extremamente importante para o estudo do comportamento dos solos, pois é a fronteira entre deformações relativamente pequenas e muitas grandes. Vários métodos têm sido propostos para sua determinação, tendo sido sumarizados por Leonards (1962). Dois deles, entretanto, merecem atenção: o de *Casagrande*, devido a sua importância histórica, pois foi o primeiro a ser proposto, e o de Pacheco Silva, engenheiro do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), que propôs um método de fácil aplicação e muito usado no Brasil. (Ortigão, 1995)

Para a determinação de σ'_{vm} pelo método de Casagrande, é definido inicialmente o ponto de menor raio de curvatura, a partir do qual são traçadas duas retas, uma tangente à curva e a outra paralela ao eixo das tensões. Após determinar a bissetriz do ângulo formado por essas duas retas, prolonga-se a reta virgem até encontrar a bissetriz. O ponto de encontro terá coordenadas (e_{vm} , σ'_{vm}). Para a determinação de σ'_{vm} pelo método de Pacheco Silva, traça-se uma reta horizontal, passando pela ordenada correspondente ao índice de vazios inicial e_0 , e prolonga-se a reta virgem até interceptar a reta horizontal. A partir dessa interseção (ponto A), traça-se uma reta vertical até interceptar a curva (B) e, daí, traça-se uma outra reta horizontal até sua interseção com o prolongamento da reta virgem (C). As coordenadas desse ponto são (e_{vm} , σ'_{vm}). (Ortigão, 1995)

Aparelhagem

Para realização dos procedimentos práticos, utiliza-se a seguinte aparelhagem de execução de ensaio:

- **Sistemas de Aplicação de Carga:** onde permite a aplicação de cargas verticais especificadas ao longo de um período específico de tempo com uma precisão de 0,5% da carga aplicada;
- **Célula de Adensamento:** é um dispositivo apropriado para conter o corpo de prova e que deve proporcionar meios para aplicação de cargas verticais. Consiste em uma base rígida, um anel para conter o corpo-de-prova, pedras porosas e um cabeçote rígido de carregamento, com as seguintes características:
 - ♣ **Anel de Adensamento:** deve ter um diâmetro interno de , no mínimo, 50mm; a altura deve ser no mínimo de 13mm e não inferior a dez vezes o Máximo diâmetro de partícula do corpo-de-prova; a relação entre o diâmetro interno e a altura do anel deve ser no mínimo 2,5; a rigidez do anel deve ser tal que as condições de pressões hidrostáticas igual a máxima pressão áxil a ser aplicada não exceda 0,03% da variação do diâmetro; o material do anel deve ser não corrosível, como o aço inoxidável;
 - ♣ **Pedras Porosas:** devem ser confeccionadas com material inerte ao solo e a água, dever ter poros pequenos de forma a evitar a intrusão de partículas de solo, geralmente usa-se papel filtro pra que nenhuma partícula do solo penetre na pedra porosa; o conjunto papel filtro e pedra porosa deve apresentar alta permeabilidade de modo a retardar a drenagem do corpo de prova;
- **Talhador:** permite a talhagem do corpo-de-prova no diâmetro interno do anel com nenhum efeito na amostra;
- **Balança:** que tenha capacidade nominal de 3 Kg, com resolução de 0,1g e sensibilidade compatível;
- **Extensômetro:** capaz de medir deslocamentos de ate 1,5cm, com resolução de 0,01mm;
- **Cronômetro:** com resolução de 1s;
- **Termômetro:** deve ser graduado em 0,1°C de 0 a 50°C;

- **Outros:** paquímetro, bureta graduada, espátulas, facas, serras metálicas, régua metálica biselada

Execução do Ensaio

Amostra

O corpo-de-prova é obtido no campo, a partir de amostras indeformadas, coletadas por meio de tubos amostradores de parede fina (tubo shelby). Os corpos-de -prova devem ser preparados em ambiente onde a mudança da umidade dos solos, durante a preparação, não exceda 0,2%.

Determinações Preliminares

Com o auxílio da balança e do paquímetro determinar a massa, o diâmetro interno e a altura do anel de adensamento. Com uma parte da amostra original que represente o corpo-de prova ser ensaiado, determinar a massa específica dos grãos do solo (de acordo com NBR 6508).

Preparação do Corpo-de-Prova

Após a amostra ser extraída do tubo amostrador, cortar com a serra de fio metálico, um cilindro de altura cerca de 2cm maior que a altura do anel a ser utilizado. O corpo-de-prova é introduzido no anel com sobrealtura em relação ao anel utilizado, permitindo, assim, o posterior acerto final das superfícies da base e do topo. Então o corpo-de-prova é talhado rente ao topo do anel com o auxílio do fio metálico.

Determinação da Umidade e Massa Específica Aparente Iniciais

Utilizando as aparas resultantes da talhagem do corpo-de-prova, usa-las para determinar o teor de umidade (de acordo com a NBR 6457).

Obter a massa do conjunto corpo-de-prova e anel de adensamento com auxílio da balança.. Calcular a massa do corpo-de-prova, subtraindo-se do valor obtido da massa do anel.

Calcular a massa específica aparente úmida inicial pela divisão da massa do corpo-de-prova pelo seu volume.

Montagem do Corpo-de-Prova na Célula de Adensamento

As pedras porosas e os papéis de filtro são previamente umedecidas (antes da montagem da célula), para evitar mudanças no teor de umidade do corpo-de-prova. A montagem da célula de adensamento obedece a seguinte seqüência: base rígida; pedra porosa inferior; papel-filtro; corpo-de-prova contido no anel; papel-filtro e pedra porosa superior. Após a montagem da célula, colocar o cabeçote metálico, ajustando-se, então, o conjunto ao sistema de aplicação de carga.

Procedimento para Execução do Ensaio

Após a colocação da célula de adensamento no sistema de aplicação de carga, instalar o extensômetro e aplicar uma pressão de assentamento de 2KPa, no caso de solos moles como a argila. O extensômetro deve ser zerado, cinco minutos após aplicação dessa pressão. Após esse período de tempo, transmitir cargas adicionais à célula de adensamento, em estágios, para obter pressões totais sobre o solo de aproximadamente 10KPa; 20kKa; 40KPa; 80KPa, etc., mantendo cada pressão pelo período de tempo descrito no próximo item. Para cada estágio de pressão, fazer leituras no extensômetro da altura do corpo-de-prova, imediatamente antes do carregamento (correspondente ao tempo zero), e a seguir, nos intervalos de tempo de 10s; 15s; 30s; 1min; 2min; 4min; 8min; 15min; 30min; 1h; 2h; 4h; 8h e 24h contados a partir do instante de aplicação do incremento de carga. A duração de cada estágio de pressão deve ser aproximadamente a mesma ao longo de todo o ensaio, exceção feita, se necessário, nos fins de semana. Completadas as leituras correspondentes ao máximo carregamento empregado, efetuar o descarregamento do corpo-de-prova. Descarregado totalmente o corpo-de-prova, retirar imediatamente da célula de adensamento o anel com o corpo-de-prova. O descarregamento deve ser feito no mínimo em três estágios. Enxugar as superfícies expostas do corpo-de-prova com papel absorvente, determinar a sua massa e tomar uma porção do material para determinar o teor de umidade final de acordo com a NBR 6457. (NBR 12007/ABNT,1990)

Cálculos e Resultados

Os valores usados para encontrar os índices abaixo calculados, encontram-se na tabela em anexo.

Índices Físicos Iniciais do Corpo-de-Prova

Massa Específica Aparente Seca:

Inicialmente calcula-se a umidade inicial, da seguinte forma:

$$\begin{aligned} P_H &= (P_H + P_{\text{anel}}) - P_{\text{anel}} && \rightarrow && P_H = 320,91 - 251,64 = 69,27\text{g} \\ P_a &= P_H - P_S && \rightarrow && P_a = 69,27 - 18,11 = 50,82\text{g} \\ h_i &= \frac{P_a}{P_S} \times 100 && \rightarrow && h_i = \frac{51,16}{18,11} \times 100 = 282,5\% \end{aligned}$$

Em seguida, tem-se o cálculo do volume da amostra:

$$\begin{aligned} V &= \frac{\pi \cdot D^2}{4} \times H_0 && \rightarrow \\ V &= \frac{\pi \cdot (6,32)^2}{4} \times 2,0 = 62,74\text{cm}^3 \end{aligned}$$

Pode-se então calcular a massa aparente seca, da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \gamma_{Hi} &= \frac{P_H}{V} && \rightarrow && \gamma_{Hi} = \frac{69,27}{62,74} = 1,104\text{g/cm}^3 \\ \gamma_{Si} &= \frac{100 \times \gamma_{Hi}}{100 + h_i} && \rightarrow \\ \gamma_{Si} &= \frac{100 \cdot 1,104}{100 + 282,5} = 0,2886\text{g/cm}^3 \end{aligned}$$

Índice de Vazios Inicial

$$e_i = \frac{\gamma_g}{\gamma_{Si}} - 1 \quad \rightarrow \quad e_i = \frac{2,073}{0,3477} - 1 = 6,183$$

Grau de Saturação Inicial

$$S_i = \frac{h_i \cdot \gamma_g}{e_i \cdot \gamma_a} \quad \rightarrow$$

$$S_i = \frac{282,5 \cdot 2,073}{6,183 \cdot 1,0} = 94,715\%$$

Índices Físicos Finais do Corpo-de-Prova

Tem-se o valor da umidade final:

$$P_S = P_{BS} + P_{CAP.} \quad \Rightarrow \quad P_S = 74,12 - 56,01 = 18,11g$$

$$P_a = P_{BH} - P_{BS} \quad \Rightarrow \quad P_a = 106,47 - 74,12 = 32,35g$$

$$h_i = \frac{P_a}{P_S} \times 100 \quad \Rightarrow \quad h_i = \frac{32,35}{18,11} \times 100 = 178,63\%$$

Índices de vazios ao final de cada estágio de carga

Inicialmente, calcula-se a altura dos sólidos do corpo-de-prova, da seguinte forma:

A formula para calculo do recalque é a seguinte:

Recalque = $\sum dH \cdot 2,54'' \cdot 10^{-4}$, onde dH são os números de divisões.

Para o **primeiro estágio**, temos que:

$$H_0 = 2,00$$

$$\text{Recalque} = 0,0721$$

$$H_i = H_0 - \text{Recalque} \quad \rightarrow \quad H_i = 1,927$$

$$H = \frac{(H_0 + H_i)}{4} \quad \rightarrow \quad H = 0,9820 \quad \rightarrow \quad H^2 = 0,9646$$

Para o **segundo estágio**, temos que:

$$H_0 = 1,927$$

$$\text{Recalque} = 0,1718$$

$$H_i = H_0 - \text{Recalque} \quad \rightarrow \quad H_i = 1,755$$

$$H = \frac{(H_0 + H_i)}{4} \quad \rightarrow \quad H = 0,9205 \quad \rightarrow \quad H^2 = 0,8474$$

Para o **terceiro estágio**, temos que:

$$H_0 = 1,755$$

$$\text{Recalque} = 0,219$$

$$H_i = H_0 - \text{Recalque} \quad \rightarrow \quad H_i = 1,5355$$

$$H=(H_0+H_i)/4 \quad \rightarrow H=0,8226 \quad \rightarrow H^2=0,6767$$

Para o **quarto estágio**, temos que:

$$H_0=1,5355$$

$$\text{Recalque}=0,178$$

$$H_i=H_0 - \text{Recalque} \quad \rightarrow H_i=1,357$$

$$H=(H_0+H_i)/4 \quad \rightarrow H=0,723 \quad \rightarrow H^2=0,523$$

Em seguida, calcula-se o índice de vazios ao final de cada estágio de pressão aplicada, pela seguinte expressão:

Calculado anteriormente temos que: $e_0=6,183$

$$e_1 = \frac{h_1}{h_0}(1 + e_0) - 1 \quad \rightarrow e_1=5,92$$

$$e_2 = \frac{h_2}{h_1}(1 + e_1) - 1 \quad \rightarrow e_2=4,391$$

$$e_3 = \frac{h_3}{h_2}(1 + e_2) - 1 \quad \rightarrow e_3=3,716$$

$$e_4 = \frac{h_4}{h_3}(1 + e_3) - 1 \quad \rightarrow e_4=3,167$$

Grau de Saturação Final

$$S_f = \frac{h_f \cdot \gamma_g}{e_f \cdot \gamma_a} \quad \rightarrow S_f= 116,924\%$$

Coefficiente de Adensamento

Processo de Casagrande

Neste processo desenha-se uma curva para cada incremento de carga escolhido marcando-se no eixo das ordenadas a altura do corpo-de-Prova e no eixo das abscissas o logaritmo do tempo. Em seguida determina-se utilizando a curva o ponto correspondente a 100% do adensamento primário pela interseção das retas tangentes aos ramos da curva que definem as compressões primária e secundária, este ponto transportado para o eixo das ordenadas equivale ao H_{100} . o ponto equivalente a 0% do adensamento primário é obtido selecionando duas alturas quaisquer da curva e seus

respectivos tempos associados a estas, cuja relação entre a razão destes é igual a quatro, onde a altura correspondente é igual a $H_0 = H_1 + (H_1 - H_2)$. A altura do corpo de prova correspondente a 50% do adensamento primário é obtida por: $H_{50} = (H_0 + H_{100})/2$, onde o tempo correspondente a esta altura (t_{50}) é o utilizado para calcular o coeficiente de adensamento pela seguinte expressão:

$$C_v = \frac{0,197 \cdot H^2}{t_{50}}, \text{ onde o valor } H^2 \text{ está calculado nas respectivas tabelas em}$$

anexo para cada estágio

Para o primeiro estágio, temos que: $t_{50}=8$ min e $H^2=0,9643 \rightarrow C_{v1}=0,0237$ (Figura)

Para o segundo estágio, temos que: $t_{50}=7,5$ min e $H^2=0,8474 \rightarrow C_{v2}=0,0222$ (Figura)

Para o terceiro estágio, temos que: $t_{50}=8$ min e $H^2=0,6767 \rightarrow C_{v3}=0,0167$ (Figura)

Para o quarto estágio, temos que: $t_{50}=6,5$ min e $H^2=0,523 \rightarrow C_{v4}=0,0158$ (Figura)

Processo de Taylor

Para cada estágio de adensamento desenha-se a curva marcando no eixo das ordenadas a altura do corpo-de-prova e no eixo das abscissas a raiz quadrada do tempo e em seguida determina-se o ponto correspondente a 0% do adensamento primário, prolongando-se a reta definida pelos pontos iniciais da curva ate cortar o eixo das ordenadas. No ponto que toca a curva traça-se uma linha reta com coeficiente angular igual a 1,15 vezes o coeficiente angular da reta obtida. A interseção desta reta com a curva de adensamento define o ponto correspondente a 90% do adensamento, obtendo-se t_{90} e H_{90} . A altura de prova obtida para 50% de adensamento e o coeficiente de adensamento são calculados, respectivamente, por:

$$H_{50} = H_0 \frac{5}{9} (H_0 - H_{90})$$

$$C_v = \frac{0,848 \cdot H^2}{t_{90}}$$

Para o primeiro estágio, temos que: $t_{90}=4,5$ min e $H^2=0,9643 \rightarrow C_{v1}=0,0403$ (Figura)

Para o segundo estágio, temos que: $t_{90}=5,0$ min e $H^2=0,8474 \rightarrow C_{v1}=0,0287$ (Figura)

Para o terceiro estágio, temos que: $t_{90}=4,0$ min e $H^2=0,6767 \rightarrow C_{v1}=0,0358$ (Figura)

Para o quarto estágio, temos que: $t_{90}=6,0$ min e $H^2=0,523 \rightarrow C_{v1}=0,0123$ (Figura)

Índice de Compressão

Utilizando o traçado da curva do índice de vazios em função do logaritmo da pressão aplicada e tomando dois pontos do trecho virgem da curva, ou seja, o trecho posterior a tensão de pré-adensamento. Então pode-se calcular o índice de compressão, utilizando a seguinte equação:

$$C_v = (e_1 - e_2) / (\log P_2 - \log P_1) \quad \rightarrow C_v = 4,37 \text{ (1/Kpa)}$$

Pressão de Pré-Adensamento

Processo de Casagrande

Com a mesma curva utilizada no item anterior com o ponto de mínimo raio de curvatura traçar uma paralela ao eixo das abscissas e uma tangente a curva, em seguida traça-se a bissetriz do ângulo formado por essas retas. A abscissa do ponto de intersecção da bissetriz com o prolongamento do trecho virgem corresponde à pressão de pré-adensamento. Feito estes processos à tensão encontrada vale 45 KPa. (Figura)

Processo de Pacheco Silva

Com a mesma curva do item anterior traça-se uma reta horizontal que passa pela ordenada correspondente ao índice de vazios inicial. Em seguida prolonga-se a reta virgem até o ponto de intersecção com o traçado horizontal. Pelo este ponto traça-se uma vertical até interceptar a curva e depois uma horizontal ate interceptar o prolongamento da reta virgem, este ponto será a pressão de pré-adensamento, e seu valor é aproximadamente igual a 45KPa. (Figura)

Determinação do Coeficiente de Permeabilidade

Para se determinar o coeficiente de permeabilidade é necessário conhecer o coeficiente de deformação volumétrica (m_v), que se pode calcular utilizando a seguinte expressão:

$$m_v = (\Delta h_i / h_i) \cdot (1 / \sigma (i + 1) - \sigma)$$

Para facilitar os cálculos construiu-se a seguinte **tabela.42** com os dados:

| CARGA (Kg) | Δh_i (cm) | h_i (cm) | σ (Kgf/cm ²) | $\Delta h_i / h_i$ | $\sigma(i + 1) - \sigma$ (Kgf/cm ²) | m_v |
|---------------|-------------------|------------|------------------------------------|--------------------|--|-------|
| 0,258 | 0,0721 | 1,9279 | 0,0823 | 0,037 | 0,082 | 0,456 |

| | | | | | | |
|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
| 0,578 | 0,1718 | 1,755 | 0,1843 | 0,098 | 0,1023 | 0,96 |
| 0,218 | 0,2193 | 1,5357 | 0,3881 | 0,428 | 0,2038 | 0,71 |
| 2,497 | 0,1781 | 1,3576 | 0,7959 | 0,13 | 0,4078 | 0,3215 |

Com a seguinte equação calcula-se o coeficiente de Permeabilidade:

$K=C_v \cdot m_v \cdot \gamma_a \cdot 0,17 \cdot 10^{-4}$, onde $0,17 \cdot 10^{-4}$ é uma constante utilizada neste cálculo.

Então, temos que:

$$K_1=0,0237 \cdot 0,456 \cdot 1 \cdot 0,17 \cdot 10^{-4}=1,87 \cdot 10^{-7} \text{ cm/s}$$

$$K_2=0,0222 \cdot 0,96 \cdot 1 \cdot 0,17 \cdot 10^{-4}=3,60 \cdot 10^{-7} \text{ cm/s}$$

$$K_3=0,0117 \cdot 0,71 \cdot 1 \cdot 0,17 \cdot 10^{-4}=1,41 \cdot 10^{-7} \text{ cm/s}$$

$$K_4=0,0158 \cdot 0,3215 \cdot 1 \cdot 0,17 \cdot 10^{-4}=8,63 \cdot 10^{-7} \text{ cm/s}$$

Determinação do Coeficiente de Compressibilidade

Pode-se utilizar a seguinte equação para este cálculo:

$$a_v=m_v(1+e_i), \text{ então, temos que:}$$

$$a_{v1}=0,456(1+6,183)=3,27$$

$$a_{v2}=0,96(1+5,92)=6,64$$

$$a_{v3}=0,711(1+4,39)=4,38$$

$$a_{v4}=0,3215(1+3,716)=1,76$$

Conclusão

Então, pode-se concluir que tanto compressibilidade com a resistência, de uma argila normalmente adensada variam com os índices de vazios dos corpos de prova.

Dados Bibliográficos

Tabela. 43

| ENSAIO DE ADENSAMENTO | | | | | |
|--|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------------------|
| IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO | | | | | |
| Interessado: Mecânica dos Solos Experimental | | | | | |
| Profundidade: 1,5 a 2,0 | | | | | |
| Rodovia: PB-005 | | | | | |
| Amostra: n° 04 | | | | | |
| CÁLCULO DA ALTURA DRENANTE | | | | | |
| H ₀ =2,0 cm | Hi=H ₀ Recalque=1,9279 | + H=(H ₀ Hi)/4=0,9820 | + H ² =0,9643 | | |
| MEG=2,073g/cm ³ | Diâmetro: 6,32 cm | Altura: 2,0cm | Recalque: 0,0721 cm | | |
| Pressão: 8,07 Kpa | | γ _S máx : | Pressão: Kg/cm ² | | |
| Carga: 0,258 Kg | | hot: % | Carga: Kg | | |
| Extensometro: 10- 4 | area: 31,37cm ² | Volume: 62,74 cm ³ | | | |
| PROCEDIMENTO (amostra antes do ensaio) | Tempo (hora) | t (acumuladao) | Raiz de t (min.) | Leit./Ext.1 /10,0" | Somatório dH (div.) |
| P. Úmido + Anel=320,91 g | 08:10' 00" | 0 s | | 0 | 0 |
| Peso do Anel = 251,64g | | 10s | | 46 | 46 |
| Peso Solo Úmido= 69,27g | | 15s | | 52 | 52 |
| Peso do Solo Seco =18,11g | | 30s | | 70 | 70 |
| Peso da Água= 51,16g | 08:11' 00" | 1 min | | 85 | 85 |

| | | | | | |
|---|------------|----------|--|-------|-----|
| Umidade inicial= 282,5% | 08:12' 00" | 02 min. | | 109 | 109 |
| PROCEDIMENTO (amostra depois do ensaio) | 08:14' 00" | 04 min. | | 132 | 132 |
| Peso Bruto Úmido=106,47 g | 08:18' 00" | 08 min. | | 152,5 | 153 |
| Peso Bruto Seco=74,12 | 08:25' 00" | 30 min. | | 164 | 164 |
| Peso da Cápsula =56,01 | 08:40' 00" | 30 min. | | 178 | 178 |
| Peso do Solo Seco=18,11 | 09:10' 00" | 1 hora | | 190,5 | 191 |
| Peso da Água= g | 10:10' 00" | 2 horas | | 207 | 207 |
| Umidade final=178,63 % | 12:10' 00" | 4 horas | | 228 | 228 |
| | 14:10' 00" | 6 horas | | 242 | 242 |
| INICIO DO ENSAIO | 16:10' 00" | 8 horas | | 253 | 253 |
| | 07:30' 00" | 24 horas | | 284 | 284 |
| | | 48 horas | | 4 | |
| INDICE DE VAZIOS INICIAL | | | INDICE DE VAZIOS FINAL | | |
| Peso da Água da Amostra: g | | | Umidade Final :% | | |
| B Variação do Peso da Água: g | | | $\sum f$ | | |
| Água Inicial: g | | | Coeficiente de Consolidação: | | |
| Peso Seco da Amostra: g | | | $C_v = \log \text{tempo} / \text{raiz do tempo}$ | | |
| Recalque: $\sum dH.2,14".10^{-4}$ | | | $H_i = H_0 + \text{Recalque}$ | | |

ENSAIO DE ADENSAMENTO**IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO**

Interessado: Mecânica dos Solos Experimental

Profundidade: 1,5 a 2,0

Rodovia: PB-005

Amostra: n° 04

CÁLCULO DA ALTURA DRENANTE

| | | | | | |
|--|----------------------------|--|--------------------------------|-----------------------|------------------------|
| H0=2,0 cm | Hi=H0 Recalque=1,9279 | + H=(H0 + H ² Hi)/4=0,9820 | =0,9643 | | |
| MEG=2,073g/cm ³ | Diâmetro: 6,32 cm | Altura: 2,0cm | Recalque: 0,0721 cm | | |
| Pressão: 18,08 Kpa | | $\gamma_{Sm\acute{a}x}$: | Pressão: Kg/cm ² | | |
| Carga: 0,258 Kg | | hot: % | Carga: Kg | | |
| Extensometro: 10-4 | area: 31,37cm ² | Volume: 62,74 cm ³ | | | |
| PROCEDIMENTO (amostra antes do ensaio) | Tempo (hora) | t (acumuladao) | Raiz de t (min.) | Leit./Ext.1 /10,0" | Somatório dH (div.) |
| P. Úmido + Anel=320,91 g | 08:10' 00" | 0 s | | 0 | 0 |
| Peso do Anel = 251,64g | | 10s | | 46 | 46 |
| Peso Solo Úmido= 69,27g | | 15s | | 52 | 52 |
| Peso do Solo Seco =18,11g | | 30s | | 70 | 70 |
| Peso da Água= 51,16g | 08:11' 00" | 1 min | | 85 | 85 |
| Umidade inicial= 282,5% | 08:12' 00" | 02 min. | | 109 | 109 |

| | | | | | |
|---|------------|----------|--|-------|-----|
| PROCEDIMENTO (amostra depois do ensaio) | 08:14' 00" | 04 min. | | 132 | 132 |
| Peso Bruto Úmido=106,47 g | 08:18' 00" | 08 min. | | 152,5 | 153 |
| Peso Bruto Seco=74,12 | 08:25' 00" | 30 min. | | 164 | 164 |
| Peso da Cápsula =56,01 | 08:40' 00" | 30 min. | | 178 | 178 |
| Peso do Solo Seco=18,11 | 09:10' 00" | 1 hora | | 190,5 | 191 |
| Peso da Água= g | 10:10' 00" | 2 horas | | 207 | 207 |
| Umidade final=178,63 % | 12:10' 00" | 4 horas | | 228 | 228 |
| | 14:10' 00" | 6 horas | | 242 | 242 |
| INICIO DO ENSAIO | 16:10' 00" | 8 horas | | 253 | 253 |
| | 07:30' 00" | 24 horas | | 284 | 284 |
| | | 48 horas | | | |
| INDICE DE VAZIOS INICIAL | | | INDICE DE VAZIOS FINAL | | |
| Peso da Água da Amostra: g | | | Umidade Final :% | | |
| Variação do Peso da Água: g | | | $\sum f$ | | |
| Água Inicial: g | | | Coeficiente de Consolidação: | | |
| Peso Seco da Amostra: g | | | $C_v = \log \text{tempo} / \text{raiz do tempo}$ | | |
| Recalque: $\sum dH.2,14".10^{-4}$ | | | $H_i = H_0 + \text{Recalque}$ | | |

Anexo (gráficos de adensamento)

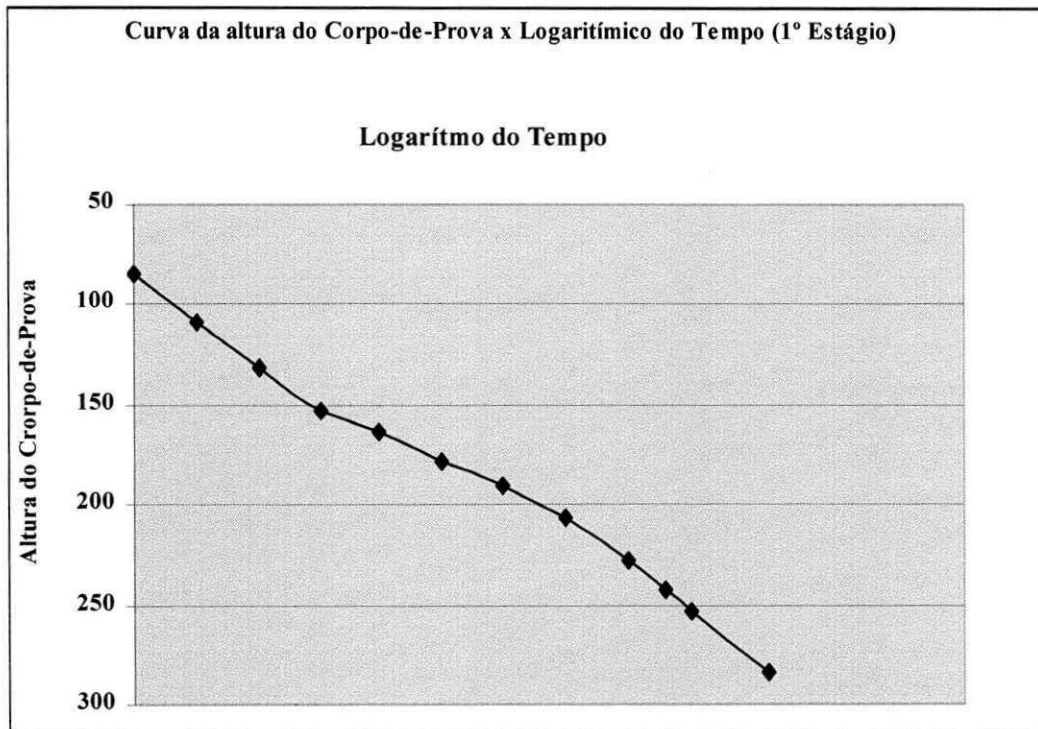


Figura.20

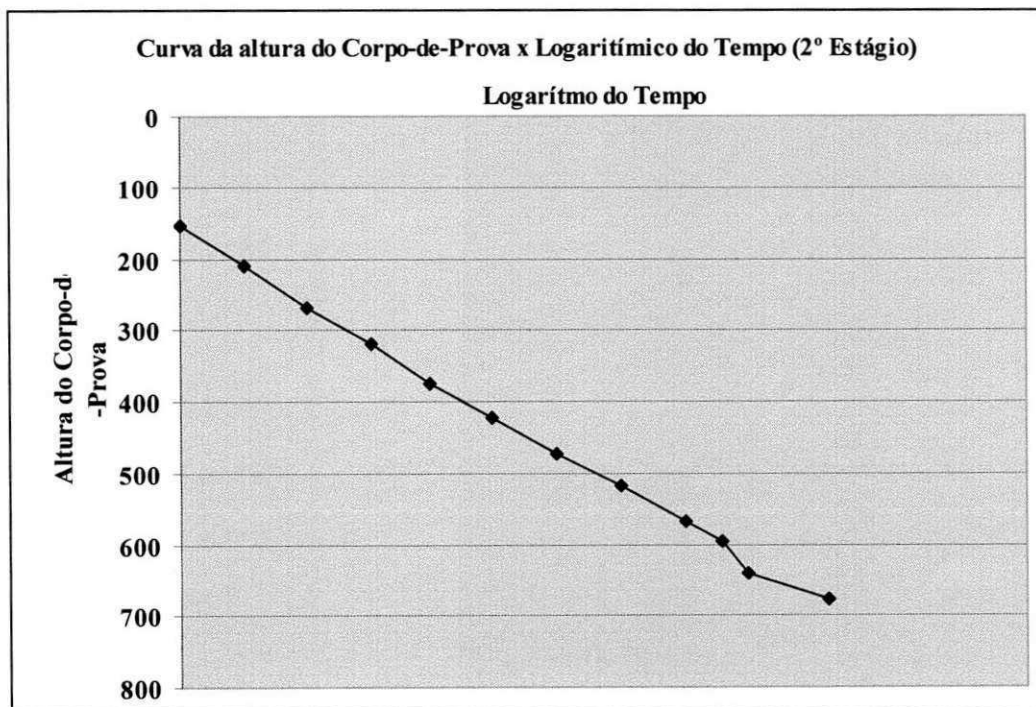


Figura.21

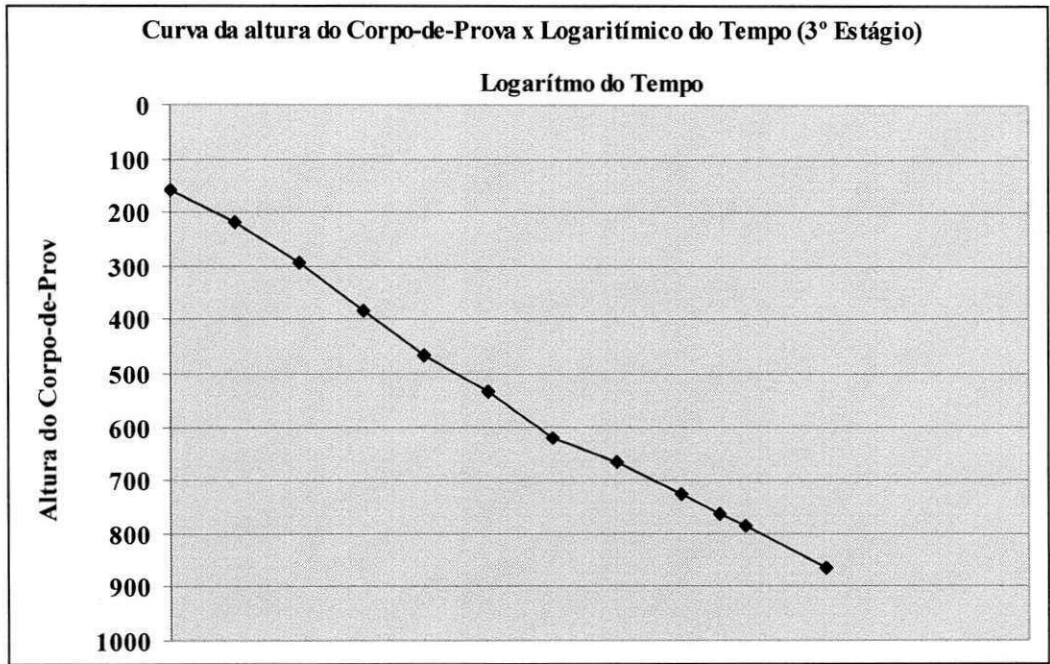


Figura.22

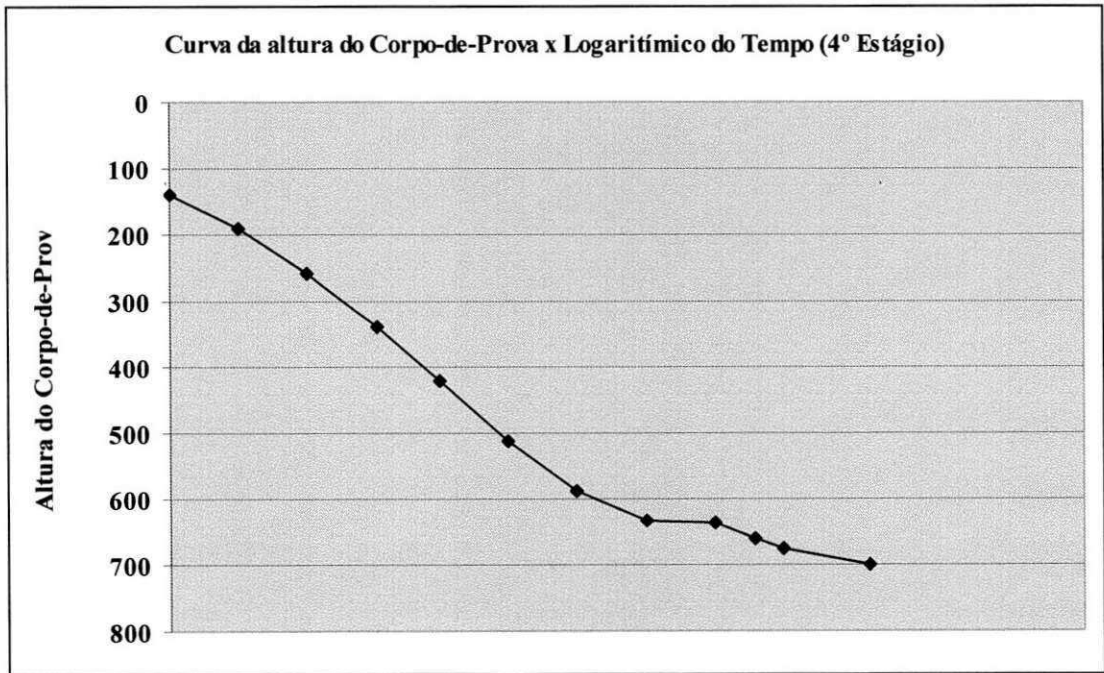


Figura.23

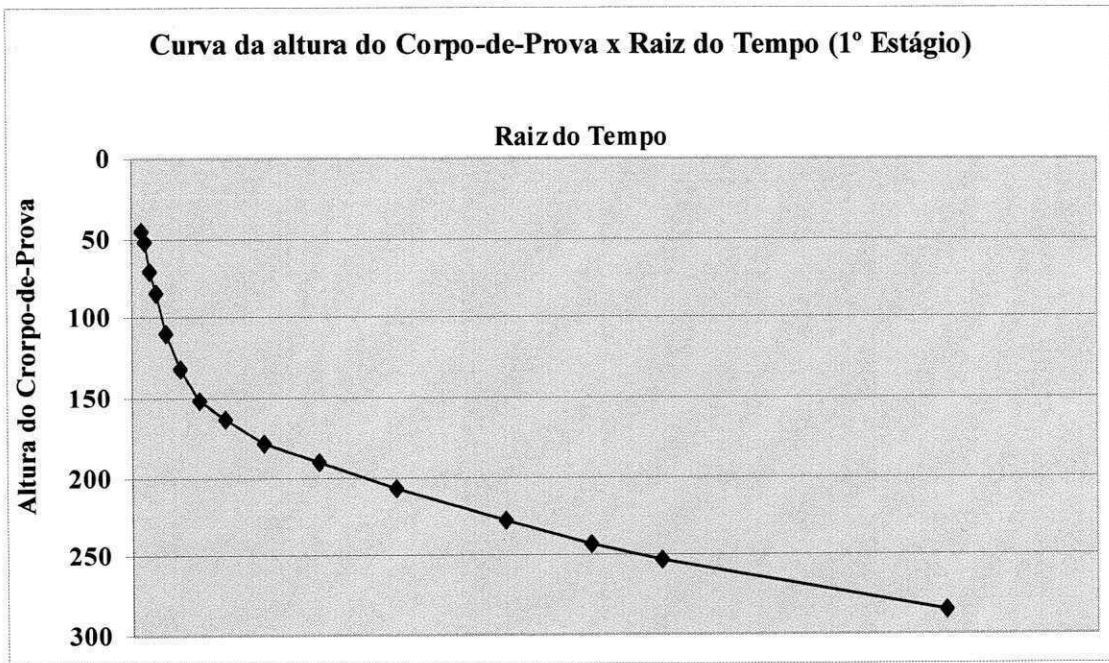


Figura.24

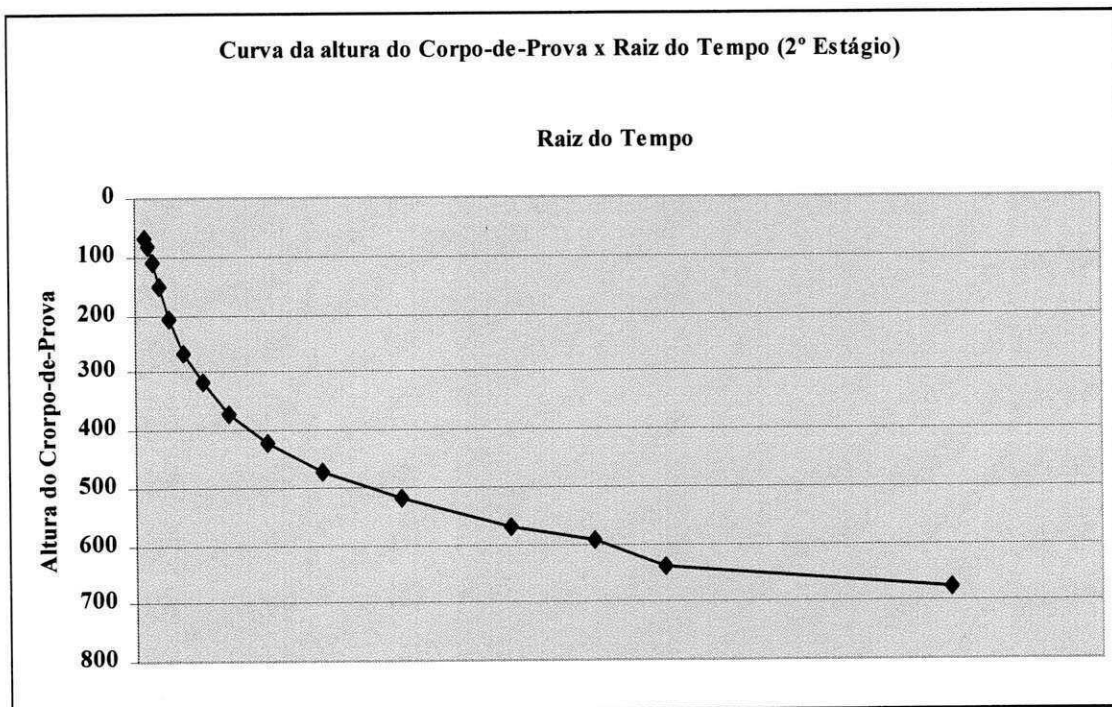


Figura.25

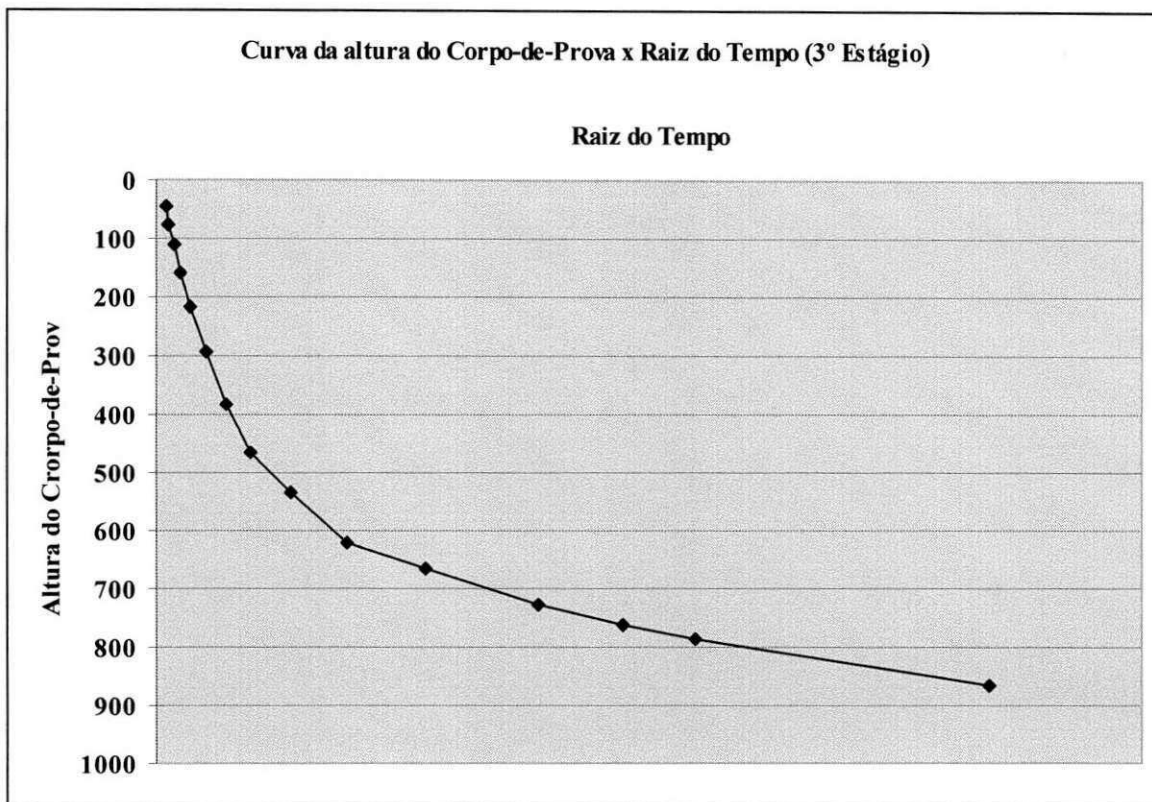


Figura.26

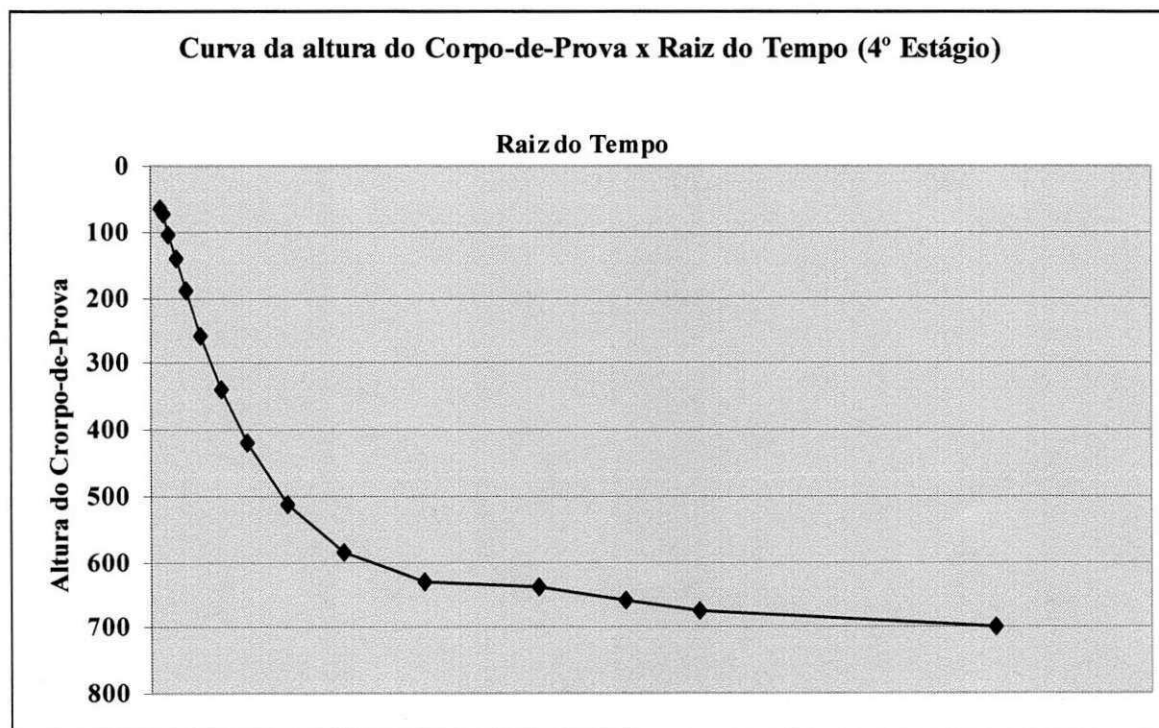


Figura.27

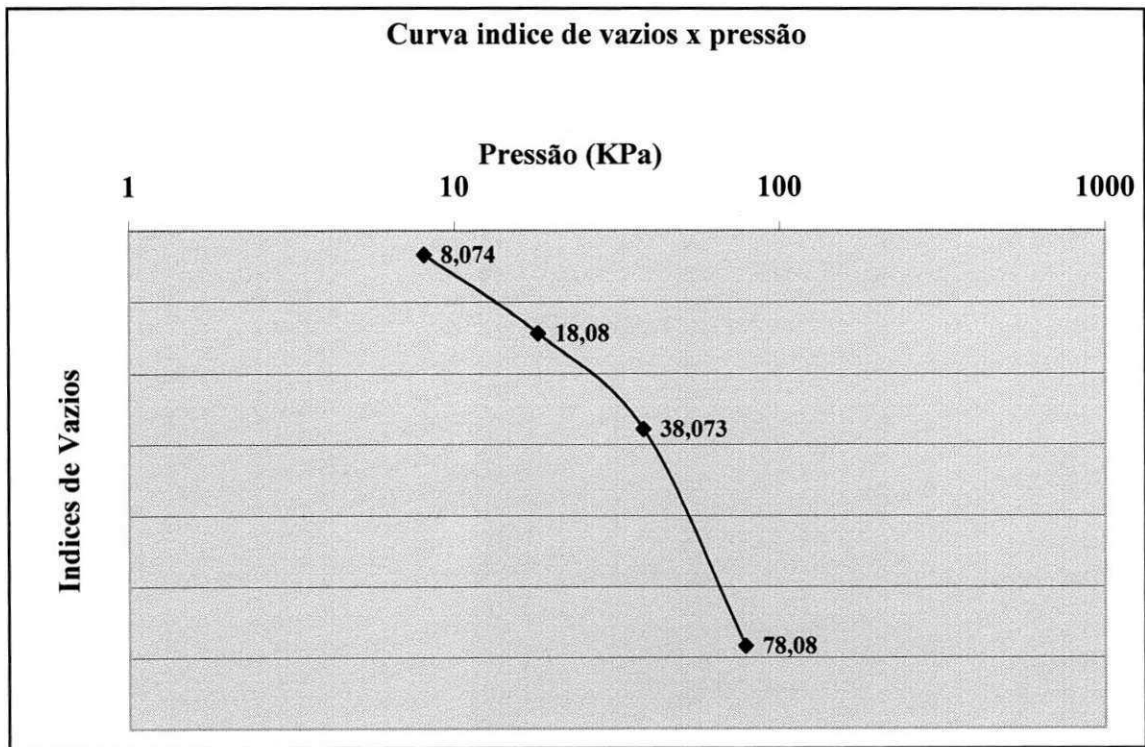


Figura.28

3.3.8 cisalhamento direto

Apresentação

O presente relatório refere-se a experiência de Cisalhamento Direto Na referida experiência utiliza-se da amostra de solo Residual para simulação do experimento, onde este foi conduzido no Laboratório de Tecnologia de Solos e Materiais de Construção, sob orientação do técnico J. N. Sobreira e supervisão do professor orientador. Vale salienta que este ensaio é ausente de normas convencionais, no entanto os cuidados para a obtenção de resultados representativos são requeridos.

Introdução

Os problemas de ruptura nos solos envolvem o equilíbrio das forças atuantes sobre maciços terrosos, levando-se em conta o próprio peso do maciço além das forças de inércia despertadas por movimentos de vibração neste. Uma das tensões que surgem neste processo de deformação do solo é a tensão cisalhante que é a máxima tensão de cisalhamento que o solo pode suportar sem sofrer ruptura.

Todos os solos possuem a propriedade de suportar esforços e conservar a sua estabilidade dependente da resistência ao cisalhamento deste e, assim toda massa de solo se rompe quando esta resistência é ultrapassada, então qualquer problema de ruptura de um maciço, envolve portanto, uma superfície de ruptura que estará sujeita a uma tensão cisalhante que quando esta ultrapassa o seu limite admissível o maciço se rompe em um ângulo mais suscetível ao rompimento.

O estudo da resistência ao cisalhamento dos solos é importante em diversos tipos de problemas na engenharia, tais como: estabilidade de taludes de terra, empuxo sobre muros de arrimo, placas de ancoragem, cargas em sapatas ou de fundações entre outros. O critério de ruptura exige a consideração de uma condição plana de distribuição de tensões, pois a resistência somente vai depender de uma pressão normal, ou seja, as tensões atuantes podem-se ser calculadas conhecendo-se as tensões principais. A estabilidade dos solos pode ser verificada por essa resistência ao cisalhamento que o solo possui e é ela que determinará, também, a capacidade que um solo têm de suportar cargas.

O presente ensaio é realizado para que as condições de campo sejam simuladas em laboratório de modo que exista uma aproximação dos valores entre este e aquele. Então se determina se parâmetros que condizem com as características intrínsecas do solo, que são dependentes das condições de drenagem e das tensões que este solo sofreu durante todo o processo de sua existência.

Objetivo

Este experimento tem como objetivo classificar um certo tipo de solo a partir da determinação dos parâmetros de erodibilidade e o ângulo de atrito, sendo os mesmos obtidos através do ensaio de cisalhamento direto.

Revisão Teórica

O atrito entre as partículas de solos é grande quando comparados com a atração química entre as partículas que provocam uma resistência independente da tensão normal atuante no plano e que constitui uma coesão real, onde esta parcela de coesão em solos sedimentar é em geral muito pequena, entretanto em solos sedimentares esta coesão é particularmente representativa. Este fenômeno de atrito é caracterizado pelo deslocamento que se faz envolvendo um grande número de grãos, podendo eles deslizar entre si ou rolares uns sobre os outros, acomodando-se em vazios que encontrem no percurso. Quando os solos já se encontram compactados os grãos tendem a subir em cima uns dos outros, fazendo com que haja um aumento no volume do solo.

Segundo a equação de Coulomb: $\tau = c + \sigma \tan \phi$, a resistência ao cisalhamento de um solo se compõe, basicamente, de duas componentes: a “coesão” e o “atrito” entre as partículas (Caputo, 1973)

Princípio de Mohr

A existência de uma ruptura em um ponto genérico quando situado em um plano qualquer, que passe por esse ponto, faz surgir uma tensão de cisalhamento atuante que é igual à resistência ao cisalhamento intrínseca do material. A ruptura generalizada é aquela em que todos os pontos de uma zona de um determinado maciço é estabelecida

por uma condição em que tem-se vários planos passando pelo ponto genérico. Entretanto a resistência ao cisalhamento dos solos, ao longo de um plano, é função da pressão normal atuante sobre esse plano, de forma, que a definição de ruptura necessita de uma complementação, então adotou-se que há uma ruptura em um determinado ponto quando, ao longo de uma superfície passando por esse ponto, a tensão de cisalhamento iguala a resistência intrínseca de cisalhamento do material, a qual é uma função da pressão normal atuante, no ponto, sobre o plano em questão, daí surgem tensões normais que com estas, pode-se calcular as tensões atuantes sobre os vários planos que passam pelo ponto genérico. (Vargas, 1977)

Resistência ao Cisalhamento dos Solos

A resistência ao cisalhamento é em função das pressões normais sobre o plano cisalhado, por exemplo, as rochas apresentam crescentes resistências com a influência da pressão normal. Essas tensões podem ser expressas utilizando o critério de Mohr.

A resistência ao cisalhamento dos solos pode ser expressa pela seguinte equação, que se chama reta de Coulomb.

$$\tau_r = c + \sigma \cdot \operatorname{tg}\phi,$$

onde σ é a pressão efetiva atuante no plano cisalhado, e c e ϕ são parâmetros de resistência ao cisalhamento, ambas propriedades intrínsecas do solo. (Vargas, 1977)

Ensaio de Cisalhamento Direto

Como já dito anteriormente, a determinação da resistência ao cisalhamento dos solos é determinada pelo ensaio de cisalhamento que é feito cisalhando-se uma amostra de solo prismática, com pequena altura em relação a sua área de base quadrada, retangular ou circular. O aparelho utilizado é composto por uma caixa metálica bipartida que é colocada entre duas pedras porosas. O corpo de prova é comprimido pela força normal ao plano de cisalhamento, por meio da placa. Existem dois medidores um na vertical e outro na horizontal para medição das deformações sofridas pelo corpo de prova. O ensaio de cisalhamento direto deve ser realizado lentamente, e com amostras de solos suficientemente pequenas, para que não surja estabelecimento de pressões neutras nos

poros da amostra, nem por efeito do seu adensamento sobre as pressões normais, nem por efeito das deformações dos poros introduzidas pelas deformações de cisalhamento.

Aparelhagem

Procedimentos para execução do ensaio

Medem-se as dimensões da caixa onde a amostra de solo será ensaiada, em seguida se observa qual é carga morta do aparelho, quando se aplica uma carga normal nula. Coloca-se a amostra no aparato cuidadosamente. Coloca-se uma placa em cima das pedras porosas para haver a transmissão de carga normal uniforme. Aplica-se a carga normal colocando os extensômetros para medir as deformações normal e tangencial, anotando suas leituras iniciais. Verifica-se a existência de contato nos marcos fixo e móvel da caixa de cisalhamento. Em seguida, Inicia-se o processo de aplicação de carga tangencial, obtendo as leituras de carga aplicada e das deformações normais e tangenciais, há diversos tempos. O experimento se findará quando a amostra de solo é rompida ou quando se atinge 15% de deformação do solo.

Resultados e Cálculos

Têm-se os cálculos e resultados para três amostras do mesmo tipo de solo, com os seguintes dados:

Resultados para a Amostra 01

$$\text{Carga} = 18,0 \text{ Kg}$$

$$\text{Área inicial} = 36,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\sigma = \text{Carga} / \text{Área inicial} \quad \rightarrow \quad \sigma = 50 \text{ KPa}$$

Tabela 44: Dados para o cisalhamento direto da amostra 01

| Cisalhamento Direto | | | | | | | Área Inicial= | |
|--|-------------------|-----------------|-----|-------------------------------|------------------------|---------------------------------------|---------------------------|--|
| Interessado: Mecânica dos solos experimental | | | | | | | 36,00cm ² | |
| Rodovia: PB-005 | | | | Tensão: 50 KPa | | Constante/Anel: 0,0154 Kgf/div | | |
| Profundidade: 1,50 a 2,0 | | | | Carga: 18 Kg | | Velocidade do Ensaio: 0,011886in/min. | | |
| Dimensões da amostra | | | | Maquina: N° 1 | | | | |
| Φ=60cm | | H=3,8 cm | | Volume: 136,8 cm ³ | | | | |
| Def. Anel(Div) | Def. Horiz. (Div) | Def. vert.(Div) | ε % | F=D . K (N) | Área (m ²) | cor. | τ= F/A _c (KPa) | |
| 32,0 | 12 | 0 | 0,2 | 48,34 | 35,93 | | 13,45 | |
| 66,0 | 25 | -0,4 | 0,4 | 99,71 | 35,86 | | 27,80 | |
| 91,0 | 35 | -0,5 | 0,6 | 137,47 | 35,79 | | 38,41 | |
| 127,0 | 50 | -0,6 | 0,8 | 191,86 | 35,71 | | 53,73 | |
| 148,0 | 60 | -0,5 | 1,0 | 223,58 | 35,64 | | 62,73 | |
| 172,0 | 72 | -0,2 | 1,2 | 259,77 | 35,57 | | 73,03 | |
| 193,0 | 85 | 1,3 | 1,4 | 291,57 | 35,50 | | 82,13 | |
| 210,0 | 95 | 2,5 | 1,6 | 317,25 | 35,43 | | 89,54 | |
| 223,0 | 110 | 3,5 | 1,8 | 336,89 | 35,36 | | 92,27 | |
| 232,0 | 120 | 4,5 | 2,0 | 350,49 | 35,29 | | 99,32 | |
| 239,0 | 130 | 6,0 | 2,2 | 361,07 | 35,22 | | 102,52 | |
| 245,0 | 150 | 10,0 | 2,5 | 370,13 | 35,12 | | 105,39 | |
| 245,0 | 180 | 17,5 | 3,0 | 370,13 | 34,95 | | 105,93 | |
| 245,0 | 210 | 24,3 | 3,5 | 370,13 | 34,78 | | 106,42 | |
| 240,0 | 240 | 27,0 | 4,0 | 362,57 | 34,62 | | 104,73 | |
| 225,0 | 270 | 31,0 | 4,5 | 339,91 | 34,45 | | 98,67 | |
| | 300 | | 5,0 | | 34,29 | | | |
| | 330 | | 5,5 | | 34,12 | | | |

Ruptura da amostra

| | | | | | |
|------|--|------|--|-------|--|
| 360 | | 6,0 | | 33,96 | |
| 390 | | 6,5 | | 33,80 | |
| 420 | | 7,0 | | 33,64 | |
| 450 | | 7,5 | | 33,49 | |
| 480 | | 8,0 | | 33,33 | |
| 510 | | 8,5 | | 33,18 | |
| 540 | | 9,0 | | 33,02 | |
| 570 | | 9,5 | | 32,88 | |
| 600 | | 10,0 | | 32,72 | |
| 660 | | 11,0 | | 32,43 | |
| 720 | | 12,0 | | 32,14 | |
| 780 | | 13,0 | | 31,86 | |
| 840 | | 14,0 | | 31,58 | |
| 900 | | 15,0 | | 31,30 | |
| 960 | | 16,0 | | 31,03 | |
| 1020 | | 17,0 | | 30,77 | |
| 1080 | | 18,0 | | 30,51 | |
| 1160 | | 19,0 | | 30,25 | |
| 1200 | | 20,0 | | 30,00 | |

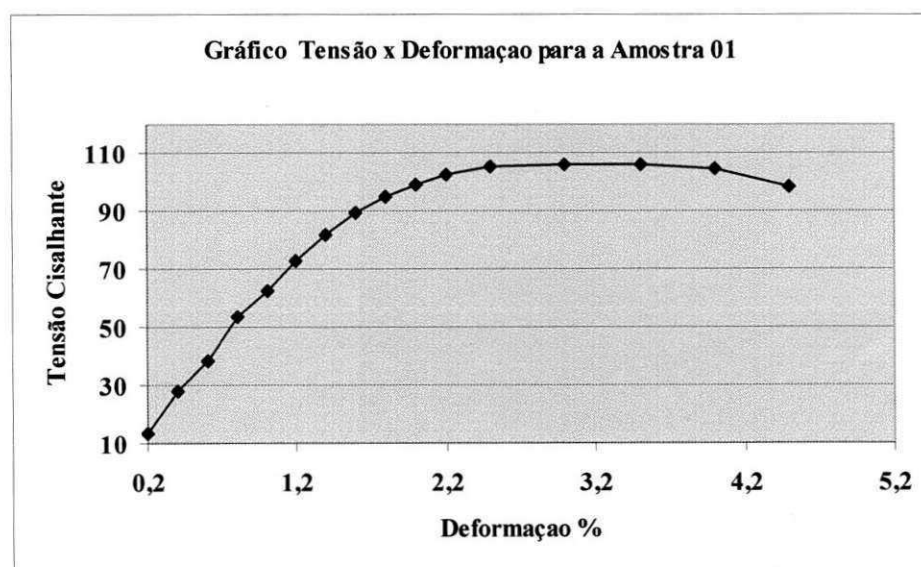


Figura. 29 : Gráfico tensão x deformação para a amostra 01

Resultados para a Amostra 02

Carga = 36,0 Kg

Área inicial = $36,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

$\sigma = \text{Carga}/\text{Área inicial} \Rightarrow \sigma = 100 \text{ Kpa}$

Tabela. 45: Dados para o cisalhamento direto da amostra 02

| Cisalhamento Direto | | | | | | | Área Inicial= | |
|--|-------------------|-----------------|-----|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|----------------------|--|
| Interessado: Mecânica dos solos experimental | | | | | | | 36,00cm ² | |
| Rodovia: PB-005 | | | | Tensão:100 KPa | | Constante/Anel:0,0,156Kgf/div | | |
| Profundidade:0,1 a 0,9 | | | | Carga: 36 Kg | | Velociade do Ensaio: 0,011886in/min. | | |
| Dimensões da amostra | | | | Maquina: N° 2 | | | | |
| Φ=60cm | | H=3,8 cm | | Volume: 136,8 cm ³ | | | | |
| Def. Anel(Div) | Def. Horiz. (Div) | Def. vert.(Div) | ε % | F=D . K (N) | Área cor. (m ²) | τ= F/A _c (KPa) | | |
| 34,0 | 12 | 0 | 0,2 | 52,03 | 35,93 | 14,48 | | |
| 55,0 | 25 | 0 | 0,4 | 84,17 | 35,86 | 23,47 | | |
| 71,5 | 35 | -0,2 | 0,6 | 109,42 | 35,79 | 30,57 | | |
| 100,5 | 50 | -0,4 | 0,8 | 153,80 | 35,71 | 43,07 | | |
| 117,5 | 60 | -0,7 | 1,0 | 179,81 | 35,64 | 50,45 | | |
| 114,3 | 72 | -1,0 | 1,2 | 174,92 | 35,57 | 49,17 | | |
| 160,5 | 85 | -1,2 | 1,4 | 245,62 | 35,50 | 69,19 | | |
| 177,5 | 95 | 0 | 1,6 | 271,64 | 35,43 | 76,67 | | |
| 195,5 | 110 | 0,4 | 1,8 | 299,18 | 35,36 | 84,61 | | |
| 208,5 | 120 | 0,9 | 2,0 | 319,08 | 35,29 | 90,42 | | |
| 220,5 | 130 | 1,9 | 2,2 | 337,44 | 35,22 | 95,81 | | |

| | | | | | | |
|-------|------|------|------|--------|-------|--------|
| 246,5 | 150 | 2,9 | 2,5 | 377,23 | 35,12 | 107,41 |
| 283,5 | 180 | 5,4 | 3,0 | 433,85 | 34,95 | 124,14 |
| 320,5 | 210 | 7,9 | 3,5 | 490,48 | 34,78 | 141,02 |
| 329,0 | 240 | 9,4 | 4,0 | 503,48 | 34,62 | 145,33 |
| 341,5 | 270 | 11,4 | 4,5 | 522,62 | 34,45 | 151,70 |
| 344,5 | 300 | 13,8 | 5,0 | 527,21 | 34,29 | 153,75 |
| 339,5 | 330 | 15,3 | 5,5 | 519,55 | 34,12 | 152,27 |
| 318,5 | 360 | 17,8 | 6,0 | 487,42 | 33,96 | 143,53 |
| 301,5 | 390 | 19,8 | 6,5 | 461,40 | 33,80 | 136,51 |
| | 420 | | 7,0 | | 33,64 | |
| | 450 | | 7,5 | | 33,49 | |
| | 480 | | 8,0 | | 33,33 | |
| | 510 | | 8,5 | | 33,18 | |
| | 540 | | 9,0 | | 33,02 | |
| | 570 | | 9,5 | | 32,88 | |
| | 600 | | 10,0 | | 32,72 | |
| | 660 | | 11,0 | | 32,43 | |
| | 720 | | 12,0 | | 32,14 | |
| | 780 | | 13,0 | | 31,86 | |
| | 840 | | 14,0 | | 31,58 | |
| | 900 | | 15,0 | | 31,30 | |
| | 960 | | 16,0 | | 31,03 | |
| | 1020 | | 17,0 | | 30,77 | |
| | 1080 | | 18,0 | | 30,51 | |
| | 1160 | | 19,0 | | 30,25 | |
| | 1200 | | 20,0 | | 30,00 | |

Ruptura
da
amostra

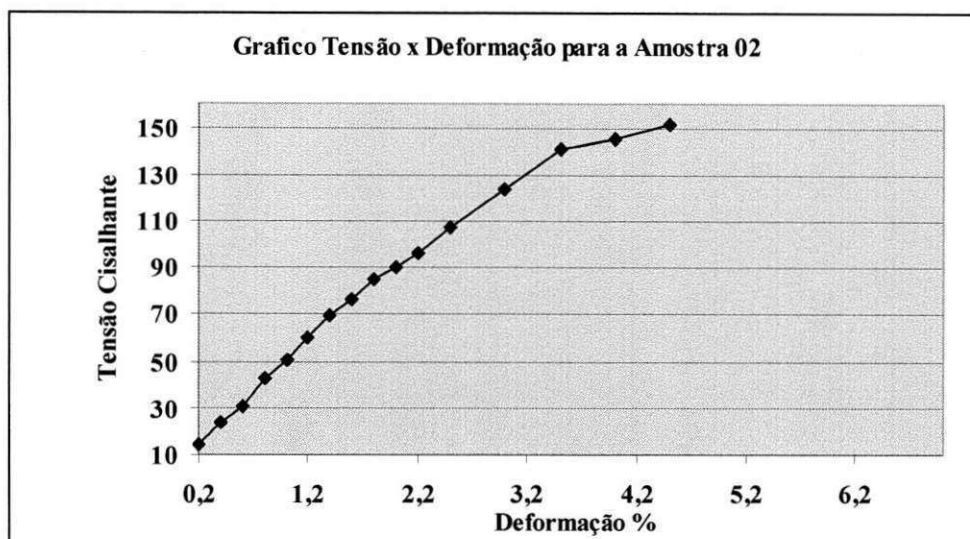


Figura. 30: Gráfico tensão x deformação para a amostra 02

Resultados para a Amostra 03

Carga = 72,0 Kg

Área inicial = $36,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

$$\sigma = \text{Carga} / \text{Área inicial} \quad \Rightarrow \quad \sigma = 200 \text{ KPa}$$

Tabela. 46 : Dados para o cisalhamento direto da amostra 03

| | | | |
|--|-------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| Cisalhamento Direto | | Área Inicial= 36,00cm ² | |
| Interessado: Mecânica dos solos experimental | | Tensão: 200 KPa | |
| Rodovia: PB-005 | | Carga: 72 Kg | Velocidade do Ensaio: 0,011886in/min. |
| Profundidade: 1,5-2,0 | | Maquina: N° 3 | |
| Dimensões da amostra | Φ=60cm | H=3,8 cm | Volume: 136,8 cm ³ |
| Def. | Def. Horiz. | Def. Vert | ε % |
| F=D | . | K | Área cor. τ= F/A _c |

| Anel(Div) | (Div) | (Div) | | (N) | (m ²) | (KPa) |
|-----------|-------|-------|------|--------|-------------------|--------|
| 22,0 | 12 | -0,5 | 0,2 | 34,10 | 35,93 | 9,49 |
| 52,0 | 25 | -1,0 | 0,4 | 80,59 | 35,86 | 22,47 |
| 84,0 | 35 | -2,0 | 0,6 | 130,19 | 35,79 | 36,37 |
| 107,0 | 50 | -2,0 | 0,8 | 165,84 | 35,71 | 46,44 |
| 129,0 | 60 | -2,0 | 1,0 | 199,94 | 35,64 | 56,10 |
| 154,0 | 72 | -2,0 | 1,2 | 238,69 | 35,57 | 67,11 |
| 177,0 | 85 | -2,0 | 1,4 | 274,35 | 35,50 | 81,89 |
| 200,0 | 95 | -2,0 | 1,6 | 309,99 | 35,43 | 87,49 |
| 222,0 | 110 | -2,0 | 1,8 | 344,09 | 35,36 | 97,31 |
| 243,0 | 120 | -2,5 | 2,0 | 376,64 | 35,29 | 109,73 |
| 261,0 | 130 | -3,0 | 2,2 | 404,54 | 35,22 | 114,86 |
| 302,0 | 150 | -3,5 | 2,5 | 468,09 | 35,12 | 133,28 |
| 362,0 | 180 | 3,5 | 3,0 | 561,09 | 34,95 | 160,54 |
| 420,0 | 210 | -3,0 | 3,5 | 651,00 | 34,78 | 187,17 |
| 445,0 | 240 | -2,5 | 4,0 | 689,74 | 34,62 | 199,23 |
| 443,0 | 270 | -2,0 | 4,5 | 686,64 | 34,45 | 199,32 |
| 512,0 | 300 | -1,0 | 5,0 | 793,59 | 34,29 | 231,43 |
| 540,0 | 330 | 0 | 5,5 | 836,98 | 34,12 | 245,31 |
| 563,0 | 360 | 1,5 | 6,0 | 872,64 | 33,96 | 256,96 |
| 581,0 | 390 | 3,2 | 6,5 | 900,54 | 33,80 | 266,43 |
| 594,0 | 420 | 5,0 | 7,0 | 920,68 | 33,64 | 273,68 |
| 602,0 | 450 | 7,2 | 7,5 | 933,08 | 33,49 | 278,62 |
| 610,0 | 480 | 9,7 | 8,0 | 945,48 | 33,33 | 283,67 |
| 617,0 | 510 | 12,5 | 8,5 | 956,33 | 33,18 | 288,23 |
| 622,5 | 540 | 15,0 | 9,0 | 964,86 | 33,02 | 292,20 |
| 623,0 | 570 | 16,0 | 9,5 | 965,63 | 32,88 | 293,68 |
| 624,0 | 600 | 18,0 | 10,0 | 967,18 | 32,72 | 295,60 |
| 613,0 | 660 | 20,0 | 11,0 | 950,14 | 32,43 | 292,98 |
| | 720 | | 12,0 | | 32,14 | |
| | 780 | | 13,0 | | 31,86 | |
| | 840 | | 14,0 | | 31,58 | |
| | 900 | | 15,0 | | 31,30 | |

Ruptura
da
amostra

| | | | | | | |
|--|------|--|------|--|-------|--|
| | 960 | | 16,0 | | 31,03 | |
| | 1020 | | 17,0 | | 30,77 | |
| | 1080 | | 18,0 | | 30,51 | |
| | 1160 | | 19,0 | | 30,25 | |
| | 1200 | | 20,0 | | 30,00 | |

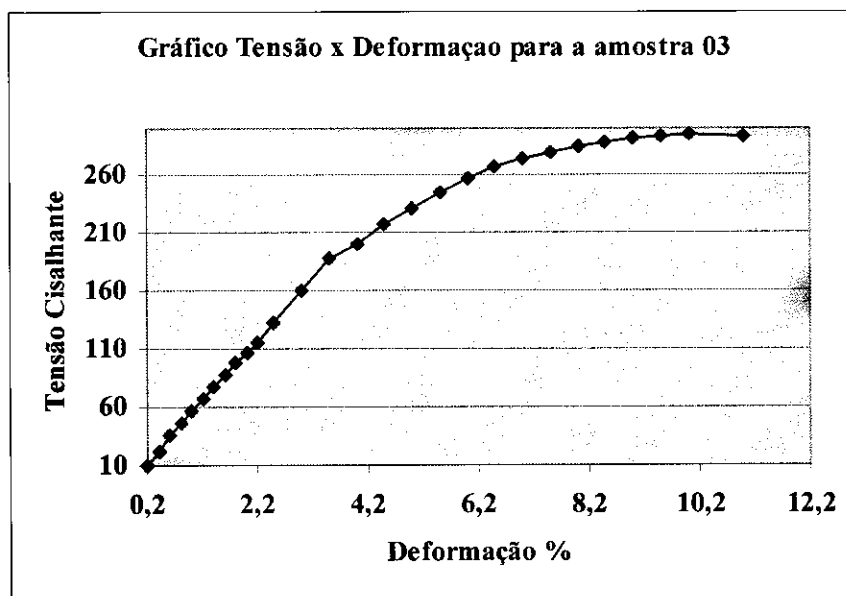


Figura. 31 : Gráfico tensão x deformação para a amostra 03

Utilizando as tensões máximas obtidas para cada amostra através os gráficos, que seus valores deram respectivamente iguais a: 106,42(Tabela 7.1), 153,75 (Tabela 7.2), 295,6 (Tabela 7.3), traça-se o gráfico dessas tensões máximas de cisalhamento versus as respectivas tensões normais.

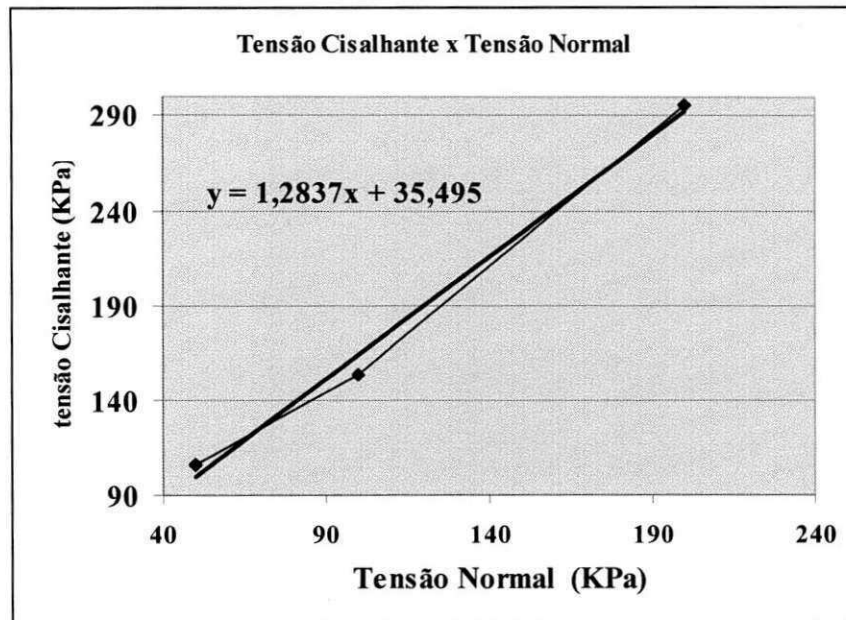


Figura. 32: Gráfico tensão Cisalhante x Tensão Normal

Esta curva representa a envoltória de Mohr correspondente às tensões atuantes, de onde se pode tirar a equação de Coulomb que é correspondente à resistência ao cisalhamento, ou seja calcula-se os parâmetros c e ϕ que dependem também de uma série de fatores, entre os quais destacam-se: natureza do solo, história progressiva das solicitações sofridas, condições de drenagem, além das grandezas de tensões aplicadas.

Pela reta indicada acima, tem-se para um valor de $x=0$, uma coesão de 35,5, e tomando-se dois pontos da reta tem-se uma inclinação de $43,43^\circ$, o é referente ao ângulo de atrito entre as partículas do solo.

Conclusão

O ensaio de cisalhamento direto deve ser realizado lentamente, e com amostras de solos suficientemente pequenas, para que não surja estabelecimento de pressões neutras nos poros da amostra, nem por efeito do seu adensamento sobre as pressões normais, nem por efeito das deformações dos poros introduzidas pelas deformações de cisalhamento. O plano de ruptura é pré-determinado como sendo horizontal, quando este pode não ser o plano mais fraco. Eis algumas desvantagens do ensaio alguns cuidados que são necessários para uma efetiva representação do ensaio na realidade: A amostra não pode se deformar na lateral devido ao fato de está confinada pela caixa de cisalhamento (o que pode ocorrer na prática) além de que a drenagem é de difícil controle. A área do plano de ruptura decresce com o andamento do ensaio. Existe uma concentração não uniforme de tensões na superfície da amostra onde as tensões são maiores nas bordas e diminuindo para o centro da amostra, Existe também uma mudança não controlada dos planos principais de tensões.

Com os resultados obtidos foram os seguintes: a coesão do solo 35,5 Kpa e o ângulo de atrito igual a 36,89°. Analisando os dados obtidos, pode-se dizer que este é um solo misto, pois apresentou uma coesão média, o que indica a ocorrência de uma porcentagem maior de argila.

4. Considerações Finais.

A construção civil, segundo definição já consagrada pelos tratadistas, é a ciência que estuda as disposições e métodos seguidos na realização de uma obra arquitetônica sólida, útil e econômica.

Esta é uma atividade que abrange uma grande diversidade de serviços e técnicas, além de um bom relacionamento pessoal entre todos os profissionais envolvidos. Por isso, um estágio nessa atividade, para os estudantes de engenharia civil, é muito importante, pois ele acarreta aquisição de mais conhecimentos desenvolvido pelo estagiário na prática da construção civil nas três fases da construção que se pode distinguir como sendo em trabalhos preliminares, de execução e acabamento.

Pode-se afirmar que todo o conhecimento teórico adquirido até agora abordados pelos professores ao longo de todo o curso é indispensável para a formação profissional por isso é extremamente importante uma constante revisão e atualização dos conhecimentos adquiridos pois a tecnologia aplicada a engenharia civil está continuamente sendo desenvolvida para uma melhor e mais eficiente produtividade e qualidade no ramo da construção civil.

Assim sendo pode-se dizer que a técnica da construção tem por objetivo o estudo e aplicação dos princípios gerais indispensáveis à construção de edifícios de modo que esses princípios apresentem requisitos apontados, isto é, sejam ao mesmo tempo sólidos, econômicos, úteis e dotados da melhor aparência possível.

Esse tipo de estágio é importante para que se possa desenvolver as relações humanas e despertar a consciência profissional e o amadurecimento do estudante. Além disso deve-se conhecer a legislação vigente desta área de atuação para que seja possível realizar os procedimentos construtivos de acordo com a lei em vigor.

5. Referencias Bibliografia.

- VARGAS, Milton. Introdução à Mecânica dos Solos, Mc Graw-Hill do Brasil, 1977.
- ABNT, Norma NBR 7185. Solo-Determinação da massa específica aparente, "in situ", com emprego do frasco de areia- Método de ensaio. 1986.
- ABNT, Norma NBR 7181, Solo – Análise Granulométrica – Método de Ensaio, 1984.
- ABNT, Norma NBR 6508, Grãos de Solo que passam na peneira de 4,8mm – determinação da massa específica – método de ensaio, 1984.
- ABNT, Norma NBR 6457, Amostras de Solo – Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização – Método de Ensaio, 1986.
- CATUTO, H. P. Mecânica dos solos e suas aplicações – vol 1 Ed. Livros técnicos e científicos S,A, Rio de Janeiro, 1983.
- VASCONCELOS, C. Roberto. Apostila Teórica de Materiais de construção experimental II , Campina Grande – PB (2002)
- BAUER, L. Falcão, Materiais de Construção (vol. I e II) – Livros técnicos e científicos – 5º edição, Rio de Janeiro, 1995.
- CARVALHO, Queiroz J.B. Mecânica dos solos