



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

João Matheus Miranda Monteiro Parente

DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE COLAPSO DO SOLO NA QUADRA 308
REGIÃO SUL DE PALMAS

Palmas – TO
2017/1

João Matheus Miranda Monteiro Parente

DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE COLAPSO DO SOLO NA QUADRA 308
REGIÃO SUL DE PALMAS

Trabalho de Conclusão de Curso elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA). Orientador: Prof. Dra Elizabeth Hernández Zubeldía.

João Matheus Miranda Monteiro Parente
DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE COLAPSO DO SOLO NA QUADRA 308 SUL
EM PALMAS-TO

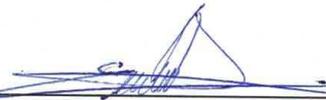
Trabalho de Conclusão de Curso elaborado e
apresentado como requisito parcial para obtenção
do título de bacharel em Engenharia Civil pelo
Centro Universitário Luterano de Palmas
(CEULP/ULBRA). Orientador: Prof. Dra Elizabeth
Hernández Zubeldia.

Aprovada em 26 de maio de 2017.

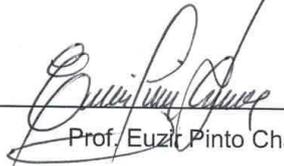
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dra. Elizabeth Hernández Zubeldia.
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. M.Sc. Edivaldo Alves dos Santos
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. Euzil Pinto Chagas
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas – TO
2017

RESUMO

PARENTE, João Matheus Miranda Monteiro Parente. **DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE COLAPSO DO SOLO NA QUADRA 308 SUL EM PALMAS-TO**. 2017. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2017.

A etapa inicial de qualquer tipo de empreendimento edificado horizontal ou vertical da construção civil, tem seu início pelo solo devido o apoio do empreendimento com suas fundações sobre o solo, quando falasse em obras verticais, e a retirada do material ruim ou mesmo regularização química e granulométrica quando se fala em obras horizontais como em uma rodovia que receberá cargas móveis e cargas devido a frenagem necessitando de uma resistência adequada para que o solo receba as tensões e a dissipe. O solo merece destaque devido sua grande importância para manter o empreendimento seguro, duradouro com qualidade para seus usuários evitando patologias patológicas devido ao mau uso do solo ou mesmo a falta de estudo sobre o mesmo. Os solos colapsíveis são normalmente solos com formação oriunda de solos residuais e lateríticos devido sua formação natural, o meio ambiente e seus intemperismos. No Brasil os solos colapsíveis são encontrados em depósitos coluvionares, aluvionares, e solos residuais que sofrem processo de lixiviação. Na quadra 308 sul em Palmas-Tocantins, foram feitos ensaios para quantificar o potencial de colapso onde o mesmo demonstrou que na quadra em questão apresentou um potencial leve de colapso, com gravidade moderada em relação as obras de construção civil. Esses resultados obtidos confirmam sua veracidade, pois na quadra em questão observou-se que os empreendimentos de múltiplos pavimentos não apresentam manifestações patológicas oriundas de problemas derivados do colapso do solo, problemas que se manifestam através de recalques.

ABSTRACT

PARENTE, João Matheus Miranda Monteiro Parente. DETERMINATION OF SOIL COLLAPSE POTENTIAL IN QUADRA 308 SOUTH IN PALMAS-TO . 2017. 52 f. Course Completion Work (Undergraduate) - Civil Engineering, University Center Luterano de Palmas, Palmas / TO, 2017.

The initial stage of any type of enterprise built horizontally or vertically of the civil construction, has its beginning by the ground due to the support of the enterprise with its foundations on the ground, when it speaks in vertical works, and the removal of the bad material or even chemical and Particle size when talking about horizontal works such as a highway that will receive mobile loads and loads due to braking requiring adequate resistance so that the soil receives the tensions and dissipates. The soil deserves prominence due to its great importance to keep the enterprise safe, durable with quality for its users avoiding pathological symptoms due to the misuse of the soil or even the lack of study on it. The collapsible soils are usually soils with formation originating from residual and lateritic soils due to their natural formation, the environment and their weathering. In Brazil, collapsible soils are found in colluvial, alluvial deposits, and residual soils undergoing leaching. In block 308 south in Palmas-Tocantins, tests were made to quantify the collapse potential where it showed that in the court in question presented a slight collapse power, with moderate gravity in relation to the civil construction works. These results confirm its veracity, because in the block in question it was observed that the developments of multiple pavements do not present pathological manifestations originating from problems arising from the collapse of the soil, problems that are manifested through settlements.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Resultado esperado após a inundação do corpo de prova.....	19
Figura 2 - Comparativo entre os corpos de prova no ensaio duplo	19
Figura 3 - Mapa de sondagem	22
Figura 4 - Mapa do local onde foram coletadas as amostras	23
Figura 5 - Remoção de camada vegetal e abertura do local de coleta da amostra...	23
Figura 6 - Esculpindo a amostra indeformada no solo	24
Figura 7 - Armazenamento da amostra de solo	25
Figura 8 - Corpo de prova moldado e armazenado.....	26
Figura 9 - Prensa de adensamento e acomodação da célula de adensamento.....	27
Figura 10 – Ensaio de densidade.....	28

LISTA DE QUADRO

Quadro 1 – Classificação da gravidade do colapso para obras de engenharia civil..	36
Quadro 2 – Classificação do colapso para obras da engenharia civil	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Potencial de colapso 1975	18
Tabela 2 – Potencial de colapso 1988	18

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1. Problema de Pesquisa.....	9
1.2. Objetivos.....	9
1.3.1 Objetivo Geral	9
1.3.2 Objetivos Específicos	9
1.3. Justificativa.....	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 Origem dos solos.....	11
2.1.1 Formação dos solos	11
2.1.2 Solos Residuais	11
2.1.3 Formação de Solos Residuais	11
2.1.4 Solos Laterísticos	13
2.1.5 Solos colapsíveis	13
2.2 Colapso e tipos de colapso.....	13
2.2.1 Colapso	13
2.2.2 Tipos de colapso	14
2.2.3 Consequência do colapso no solo	15
2.2.4 Identificação do colapso	16
2.2.1 Influência do fluido de umedecimento no processo de colapso	16
2.2.2 Soluções para solos colapsíveis	17
2.3 Ensaio Edométrico.....	17
2.3.1 Ensaio edométrico simples	17
2.3.2 Ensaio edométrico duplo	19
2.4 Cálculo de colapso.....	19
2.5 Classificação Unificada (SUCS).....	Erro! Indicador não definido.
3 METODOLOGIA	22
3.1 Definição das regiões de trabalho.....	22
3.2 Procedimento de amostragem.....	23
3.2.1 Limpeza e remoção de camada vegetal	23
3.2.2 Obtenção de amostras	24
3.3 Caracterização física do solo e determinação do potencial de colapso.....	25
3.3.1 Ensaio de umidade	25

3.3.2	<i>Obtenção do corpo de prova</i>	26
3.3.3	<i>Execução do ensaio</i>	27
3.3.4	<i>Materiais</i>	27
3.4	GS Determinação de massa específica do solo	28
3.4.1	Ensaio de massa específica	28
3.5	ENSAIO DE GRANULOMETRIA	28
3.5.1	<i>Materiais</i>	28
3.5.2	<i>Metodologia</i>	28
3.5.3	<i>Com desfloculante</i>	29
3.5.4	<i>Sem desfloculante</i>	30
3.6	NIVEL DA COLAPSBILIDADE DO SOLO	17
3.6.1	<i>Ensaio endométrio simples</i>	17
3.7	ENSAIO EDOMÉTRICO	30
3.7.1	<i>Materiais</i>	30
3.7.2	<i>Metodologia</i>	30
4	RESULTADOS	31
5	CONCLUSÃO	38
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1 INTRODUÇÃO

Devido crescimento populacional, a abertura de novos empreendimentos é indispensável para acomodação da própria população. Nos últimos anos houve um grande aumento na construção civil em Palmas, fazendo com que diversas construções aparecessem em pouco tempo para suprir a necessidade da coletividade, por exemplo: loteamentos, edifícios comerciais e multifamiliares. Neste sentido, um fator de substancial importância, o estudo geotécnico é, por vezes, negligenciado.

A etapa inicial de diferentes empreendimentos da construção civil (horizontal ou vertical) tem seu início pelo solo. Em verticais, inicia-se com a regularização do terreno e a implantação de suas fundações. Já em empreendimentos horizontais, com a pavimentação, a extração de material ruim (quando o mesmo existir) e a regularização química ou granulométrica das camadas que compõem o pavimento. Tendo isso em vista, o estudo do solo é de suma importância para a realização de obras de maneira correta, segura e economicamente viável.

Sabendo disso, o estudo do potencial colapsível é algo que merece atenção sabendo que o colapso pode gerar patologias. Muitas vezes tal estudo não é levado em conta por falta de conhecimento do mesmo ou negligência pela rápida execução das benfeitorias

O estudo da colapsibilidade faz com que diferentes problemas sejam evitados tanto no início como no final da obra realizada, desde de os mais simples como pequenas fissuras em edifícios e panelas no pavimento, como grandes recalques diferenciais e desprendimento total de pistas de rolagem, respectivamente em prédios e pavimentos.

1.1. Problema de Pesquisa

Qual o potencial de colapso do solo na quadra 308, na região sul de Palmas?

1.2. Objetivos

1.3.1 *Objetivo Geral*

Identificar o potencial de colapso do solo na quadra 308, região sul de Palmas.

1.3.2 *Objetivos Específicos*

- 1) Descrever o mecanismo de colapso no solo.
- 2) Realizar a caracterização física da quadra 308 sul.
- 3) Realizar o ensaio edométrico para quantificar a colapsibilidade dos solos estudados

1.3. Justificativa

Tendo em vista que o estudo do solo é a etapa inicial de qualquer que seja a edificação, tanto lineares como verticais, o mesmo é de suma importância para uma edificação concreta e durável, com segurança e qualidade visto que, é no solo que todas as cargas são distribuídas.

Em vista o grande número de edificações verticalizadas em espaços cada vez mais limitados na região sul de Palmas, é consenso que quanto mais esbelto a edificação maior é a exigência da resistência do solo quanto aos esforços e carregamentos, o que gera uma preocupação quanto a resistência do solo, que é responsável por garantir estabilidade e segurança das edificações.

Por isso é necessária uma atenção maior nos estágios iniciais em qualquer empreendimento, como estudos mais aprofundados e específicos no solo como o ensaio edométrico que tem como função, avaliar o potencial colapsível do solo e trazer mais embasamento para adoção medidas por exemplo qual tipo de fundação será adotada de maneira que não onere a obra, trazendo segurança e economia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Origem dos solos

2.1.1 Formação dos solos

A formação dos solos é a resultante da meteorização das rochas por fragmentação mecânica ou desagregação química. Fragmentação mecânica é obtida por meio gatilhos como temperatura, vento, vegetação e água, assim obtidos os siltes, pedregulhos, argilas e areias. Desagregação química quando a origem mineralógica ou química é alterada, são entendidos como agentes causadores água por meio da hidratação, oxidação, carbonatação e reações da vegetação. Tais processos tendem a caminhar juntos em alguns casos quando por exemplo as condições climáticas contribuem (CAPUTO, 1988).

2.1.2 Solos Residuais

Segundo (CAPUTO, 1988). É tido como solo residual aquele que após a sua formação derivado da rocha mãe, acomoda-se no local de sua formação. Os solos colapsíveis ou porosos são característicos na região de Brasília, já o Massapê é característico do estado da Bahia tido como expansivo.

2.1.3 Formação de Solos Residuais

Os solos colapsíveis podem ser comumente identificados quanto a sua origem como solos transportados (eólicos, aluvionares e coluvionares), residuais ou de áreas compactadas. Entretanto, segundo Mendonça et al. (1994), a gênese natural desses solos deve ser investigada verificando os processos físico-químicos os quais são gerados pelas diversas formas de intemperismo, em especial a pluviosidade e a estiagem, combinadas com as diversas formações geológicas. Além disso, planícies de inundação aluvionares, cones detríticos, corridas de lama, depósitos coluvionares, solos residuais e turfa vulcânica podem produzir solos colapsíveis. Na maioria dos casos, os depósitos são caracterizados pela estrutura fofa com grãos, a maioria das vezes, na forma do tamanho de siltes e areia fina.

2.1.3.1 Depósitos Eólicos

Estes depósitos consistem de materiais transportados pela ação do vento dos quais representam as dunas, loess, depósitos similares a loess, sedimentos eólicos de praias e grandes depósitos de cinzas vulcânicas. Apresentam uniformidade textural das partículas constituídos de pequenos grãos de quartzo e mica. Estes depósitos são encontrados em regiões áridas onde o nível d'água se encontra a

grandes profundidades e recobrando formações de outra origem. Segundo Araki (1997), no período de estiagem, a água existente nos interstícios evapora e, com isso, o fluido escoar para os espaços estreitos entre os grãos, devido às tensões capilares que são geradas. Com o fluido, são carregadas partículas de sais solúveis, siltes e argilas oriundas das intempéries. Quando o solo resseca, entre os contatos dos grãos ocorre uma cimentação causada por essas partículas. O solo, então, adquire uma resistência temporária à compressão e ao cisalhamento enquanto estiver a baixos teores de umidade. Segundo Gusmão Filho (1994), estes depósitos possuem uma estrutura com baixa compactação devido à granulometria, o arranjo das partículas e o frequente movimento das dunas.

2.1.3.2 Depósitos Coluvionares

Os solos coluvionares são formados pela ação da gravidade devido aos escorregamentos, ao longo das encostas, do material resultante do intemperismo de rochas que cobrem as elevações. Formam-se os talus nos pés dos taludes, massas de materiais muito diversos e sujeitos a movimentação de rastejos. Segundo Gusmão Filho (1994), no colúvio, pode existir uma mistura de silte, areia e fragmentos de rocha, o que faz surgir um depósito de compactação fofa, pouco consolidado e permeável, o que faz com que o material fique facilmente saturado em períodos de intensa precipitação.

2.1.3.3 Depósitos Aluvionares

Os depósitos aluvionares são constituídos a partir de lama de corrida solos aluvionares. Sua formação decorre a partir da velocidade em que ocorre a disposição. Segundo Araki (1997), estes solos são oriundos de fortes enxurradas, características de locais onde se têm grandes precipitações pluviométricas em curtos períodos de tempo. Os mesmos apresentam, então, altos valores de índice de vazios, baixo peso específico, apreciável teor de argila e má consolidação.

2.1.3.4 Depósitos Residuais

Gusmão Filho (1994) diz que os solos residuais são constituídos em horizontes mais ou menos espessos com diferenças na textura e mineralogia dependendo das condições do meio ambiente atuantes. A abundância de água e alta temperatura, existentes no clima tropical, favorecem à formação dos solos residuais, no chamado horizonte B. onde em grande quantidade constitui-se de finos

e também a presença de feições de solo lateríticos vermelho, apresentando concreções e agregados de argila, cimentados por óxidos, principalmente alumínio e ferro.

2.1.4 Solos Lateríticos

Os solos lateríticos tem sua formação devido uma série de requisitos como um determinado tipo de rocha mãe, clima, vegetação, fauna, idade e o relevo junto as condições físico químicas.

Segundo (ARAKI,1997), a frequente aparição desse solo se concentra em locais onde existe um elevado índice de precipitação acarretando a lixiviação e o carregamento das partículas, logo temos registros da ocorrência desse solo em regiões intertropicais da África, Austrália, Índia, sudeste da Ásia e na América do Sul e Central.

2.1.5 Solos colapsíveis

Segundo (ARAKI, 1997), comumente os solos colapsíveis no Brasil são encontrados em depósitos coluvionares, depósitos aluvionares e solos residuais que sofreram um processo de lixiviação dos horizontes superficiais, onde a região oferece um clima propício sofrendo uma brusca variação do clima com bruscas secas seguido de fortes precipitações com baixo teor de humidade.

2.2 Colapso e tipos de colapso

2.2.1 Colapso

Solo que apresenta redução de volume com a aparição de água com presença ou não de carga externa. Solos que se identificam nesse processo são solos colapsáveis (ARAKI, 1997).

Solos que tem baixo grau saturação normalmente tendem a ser colapsáveis e apresenta um alto índice de vazios, o colapso demonstra-se de maneira que os seus vazios são reduzidos de maneira brusca (SOUZA,1992).

Segundo Menezes & Fraga (1994), solos potencialmente colapsíveis são aqueles solos normalmente silto-arenosos que possuem colóides e/ou argilas como vínculos entre suas partículas e que podem apresentar colapso nas seguintes condições: a uma determinada sobrecarga constante com o aumento do seu grau de saturação; a um dado grau de saturação, com o aumento da sobrecarga e com o acréscimo da sobrecarga, associado ao acréscimo do grau de saturação.

Colapso é entendido como uma reorganização de suas partículas que constituem o solo ocupando os espaços vazios que antes eram presentes devido a uma aplicação de carga ou a presença de água que retira as ligações entre os grãos, transportando as partículas ligantes antes existentes (MENDES,1993).

Um solo mesmo que apresente características meta-estável por influencias de partículas ligantes temporárias, esta sujeita ao colapso (VILAR,1981).

Os solos que são potencialmente colapsáveis tendem a ser sensíveis a permeabilidade do solo, visto que a presença de água é o gatilho para a acessão do colapso (Cintra,1998).

Um fator que aumenta a resistência do solo temporariamente são as forças capilares e a presença de elementos ligantes como carbonatos e oxido de ferro (NUÑES,1975)

Quando se tem o início de uma evaporação de um solo saturado, externamente ele se apresenta seco, mas em seu interior o mesmo ainda apresenta água em seus poros ficando em sob pressão em contato grão a grão com isso a pressão neutra tornasse negativa e a tensão efetiva tornasse maior que a tensão total (DUDLEY,1970).

Quando as tensões capilares são rompidas pela saturação parcial ou total do solo o mesmo sofre uma perda de resistência tornando-se predisposto ao colapso estrutural, que se da pela manifestação da perda de uma grande número de vazios (ARMAN & THORNTON, 1973).

2.2.2 Tipos de colapso

Colapso devido a força eletromagnética

Colapso devido à diminuição das pressões capilares

Colapso devido à distribuição do elemento aglomerante

2.2.2.1 Colapso devido a força eletromagnética

Neste mecanismo o colapso se deve ao envolvimento de partículas maiores que são envolvidas por partículas menores e apresentam ação marcante das forças de Van der Waals, de osmose e de tração molecular. A presença dessas forças aplicadas tende acomodar as partículas maiores fazendo assim uma resistência aparente (OLIVEIRA, 2002).

A percolação de água por capilaridade diminui a atração com isso acontece a redução da resistência do solo, pois o material ligante tende a se expandir diminuindo o contato grão a grão favorecendo o colapso (OLIVEIRA, 2002).

2.2.2.2 Colapso devido à diminuição das pressões capilares

Com a diminuição do raio de curvatura dos meniscos de água, existe um aumento de resistência do solo pelo aumento de pressão capilar, essa resistência também se deve ao aumento do contato entre as partículas mais robustas. (OLIVEIRA, 2002).

Quando existe uma saturação conseqüentemente existe um aumento dos meniscos de água fazendo com que o solo sofra uma redução de sua resistência, pois as pressões capilares são desfeitas o que gera o colapso. (OLIVEIRA, 2002).

2.2.2.3 Colapso devido à distribuição do elemento aglomerante

A presença de elementos cimentantes entre os compostos do solo é um fator que gera temporariamente um aumento da resistência, essa ação que causa a fixação dos solos em suas posições proporciona uma estrutura mais densa.

Quando a água entra satura o solo ela rica em sais e ácidos que tem como uma reação o efeito de romper as ligações cimentantes através de reações químicas, o que proporciona uma movimentação das partículas causando o colapso. (OLIVEIRA, 2002).

2.2.3 Consequência do colapso no solo

Solos que apresentam características colapsíveis são preocupações na área geotécnica, principalmente quando é utilizado esse solo para a disposição das fundações de empreendimentos, quando a execução desses empreendimentos em solos com potencial de colapso, os mesmos apresentam aparições de patologias como trincas, fissuras e recalques causando danos visuais e estruturais na primeira manifestação de infiltração no solo (AGNELLI,1992).

Este solo que recalca proveniente de um colapso do solo, conseqüentemente a aparição de patologias na edificação.

O solo, em todos os casos, deve ter capacidade de sustentação para receber os carregamentos distribuídos providos dos elementos de fundação. E se tratando de solos colapsíveis, a saturação total ou parcial do solo (uma das formas mais comuns de gatilho de colapso), acarreta uma alteração na estrutura do solo e,

consequentemente, reduz sua resistência de suporte ocasionando movimentações nos elementos de fundação. Caso o elemento tenha sido projetado corretamente, o elemento estrutural de fundação não sofre dano algum, ocorrendo apenas a sua movimentação, não abalando estruturalmente, mas, acarreta danos na edificação.

Os maiores danos que são desencadeados são nas alvenarias, lajes e cobertura. Podendo em casos mais profundos de movimentação danos estruturais, pois acarretara tensões que os elementos não foram dimensionados para suportarem como torção e flexão composta (LOLLO, 2008).

2.2.4 Identificação do colapso

Com o decorrer de décadas critérios foram desenvolvidos para os estudos dos solos colapsíveis tanto em campos experimentais como em laboratórios.

Destes critérios utilizados em laboratório são utilizados os índices de limites de consistência, outro também utilizado é o ensaio edométrico (OLIVEIRA, 2002).

Estes processos que se baseiam nos índices físicos têm caráter mais simples e barato, podem ser executados com uma menor infraestrutura, em contrapartida apresenta apenas dados qualitativos em relação ao potencial de colapso (OLIVEIRA, 2002).

Já o ensaio edométrico que necessita de um laboratório mais elaborado e destinado a esse tipo de estudo tem uma maior amplitude em resultados que podem vir a demonstrar o colapso (OLIVEIRA, 2002).

2.2.1 Influência do fluido de umedecimento no processo de colapso

Os problemas que podem ocorrer com uma edificação já construída são os recalques por colapso, os quais são ocasiona FUNDAÇÕES EM SOLOS COLAPSÍVEIS pelo umedecimento do solo colapsível. Seja qual for o caso da fonte alimentadora, faz-se necessário a sua determinação e localização, para que os devidos reparos ou tratamentos sejam aplicados (LOLLO, 2008).

Como solução temos o reforço de fundação que pode ser feito com estacas mega no caso de edificações de pequeno e médio porte, podendo chegar até a utilização de estacas de concreto moldadas. Após a execução do reforço de fundação, a edificação pode ser macaqueada e nivelada, seguida de seu calçamento. Feito isso muitas das trincas diminuem suas aberturas facilitando suas correções. No entanto, os reforços de fundações ainda são soluções de custo

considerável, portanto, têm de ser bem estudadas e elaboradas, para evitarem problemas futuros. (LOLLO,2008).

2.2.2 Soluções para solos colapsíveis

Com relação ao projeto de uma fundação em solos colapsíveis experiência demonstra que tal projeto deve atender aos seguintes requisitos: escolha adequada do tipo de fundação; capacidade de carga do solo; tratamento do solo de fundação; e precauções construtivas. A escolha do tipo de fundação deveria se pautar exclusivamente em critérios técnicos, mas como a questão econômica é uma exigência na maioria dos projetos, alguns cuidados devem ser tomados. (LOLLO,2008).

As soluções mais adequadas de fundações em solos colapsíveis são as estacas de concreto, sejam elas moldadas *in loco* ou deslocamento. No entanto, alguns cuidados devem ser tomados e indicados no projeto executivo. Para o caso de estacas moldadas *in loco*, normalmente a preocupação é com o solo; já para as estacas cravadas a preocupação são com as próprias estacas (LOLLO,2008).

A opção por fundação direta em sapata ou radier é a menos indicada, em função desta se apoiar sobre o solo colapsível, a sua utilização implica no tratamento do solo de fundação, elevando o custo final. (LOLLO,2008)

2.3 Ensaio Edométrico

Ensaio edométrico simples

Ensaio edométrico duplo

2.3.1 Ensaio edométrico simples

O ensaio consiste em aplicações de cargas em um corpo de prova durante um período de 24h com sua umidade natural até o carregamento de 200KPa, a partir começa com a saturação do solo onde se finaliza o ensaio. Onde o mesmo ainda pode ser estendido a outros carregamentos a pós sua saturação chegando ao carregamento desejado (ARAKI, 1997).

2.4 NIVEL DA COLAPSBILIDADE DO SOLO

2.4.1 Ensaio endométrio simples

Para a determinação do potencial de colapso, o ensaio é conduzido até a tensão de 200kPa. Com o término das deformações devido a este carregamento, o

solo é inundado e após 24h solicitado com carregamentos progressivos até o término do ensaio.

Ao término do ensaio identifica-se os níveis de colapsibilidade do solo que se encontram em e diferentes intervalos estes níveis se encontram nas (tabelas 1 e 2) a seguir.

Tabela 1 – Potencial de colapso 1975

Potencial de Colapso (CP) segundo JENNINGS & KNIGHT (1975)

CP (%)	Gravidade do Problema
0 – 1	Nenhum
1 – 5	Moderado
5 – 10	Problemático
10 – 20	Grave
> 20	Muito Grave

Fonte: JENNINGS & KNIGHT (1975)

VARGAS (1978) considerou apenas o efeito da inundação no solo, ou seja, a grandeza do colapso estrutural é medida pela variação do índice de vazios pela inundação. Para este autor, solos que apresentam $i > 0,02$ são colapsíveis.

Tabela 2 – Potencial de colapso 1988

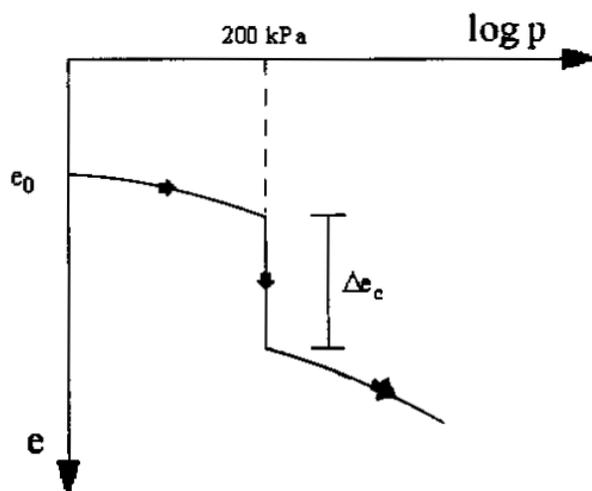
Potencial de Colapso (I) segundo LUTENEGGER & SABER (1988)

Gravidade do Problema	I (%)
Leve	2,0
Moderada	6,0
Alta	10,0

Fonte: LUTENEGGER & SABER (1988)

LUTENEGGER & SABER (1988) apresentaram uma definição para o potencial de colapso (I) diferente de JENNINGS & KNIGHT (op. cit.). Consiste em conduzir o ensaio até a tensão de 300kPa (ou outro nível de tensão apropriado) e em seguida inundá-lo com água ou outro fluido de interesse.

Figura 1 - Resultado esperado após a inundação do corpo de prova

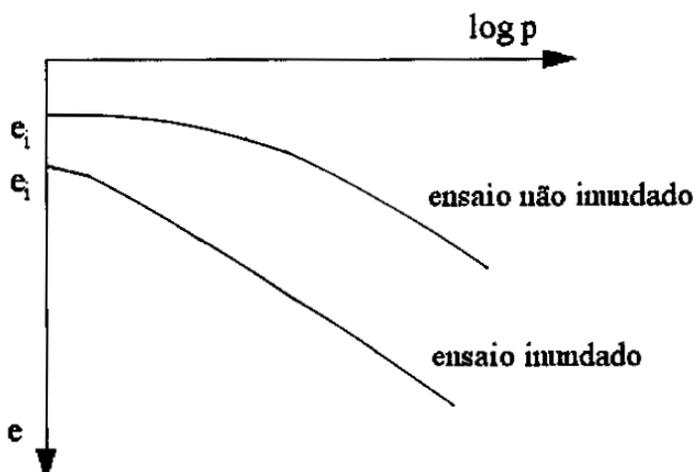


Fonte: (ARAKI, 1997)

2.4.2 Ensaio edométrico duplo

Segundo (Jennings & Knight, 1957) o ensaio duplo é utilizado para solos arenosos, onde é utilizado dois ensaios em corpos de prova indeformados derivado do mesmo solo, onde é feito um comparativo entre o ensaio com umidade natural e o ensaio com amostra inundada.

Figura 2 - Comparativo entre os corpos de prova no ensaio duplo



Fonte: (ARAKI, 1997)

2.5 Cálculo de colapso

Os cálculos a seguir calculam os índices físicos, para quantificar o potencial de colapso. Cálculos segundo as equações (1 a 6) segundo NBR 12007 (1997).

Massa especifica aparente úmida inicial

$$\gamma_{hi} = \frac{\text{massa do corpo de prova}}{\text{volume do corpo de prova}} \quad (1)$$

Onde γ_{hi} é o peso específico aparente úmido

Massa especifica aparente seca

$$\gamma_{si} = \frac{\gamma_{hi} \times 100}{hi + 100}$$

Onde γ_{si} peso específico seco

γ_{hi} Peso específico úmido

hi Teor de umidade inicial (2)

Grau de saturação inicial (3)

$$Si = \frac{hi \times \delta}{ei \times \gamma_a}$$

Onde Si Grau de saturação inicial

δ Peso específico dos grãos

hi Teor de umidade inicial

γ_a Peso específico da água

Índice de vazios inicial (4)

$$ei = \frac{\delta}{\gamma_{si}} - 1$$

Onde ei Índice de vazios inicial

δ Peso específico dos grãos

γ_{si} Peso específico seco

Altura dos sólidos (5)

$$Hs = \frac{Hi}{1 + ei}$$

Onde ei Índice de vazios inicial

Hi Altura inicial do corpo de prova

Hs Altura dos sólidos

Índice de vazios ao final de cada estágio (6)

$$ei = \frac{H}{Hs} - 1$$

Onde *ei* Índice de vazios inicial

H Altura do corpo de prova ao final de cada estágio

Hs Altura dos sólidos

Segundo Jennings & Knight, (1975), o potencial de colapso é mensurado a partir das equações (7 e 8). De acordo com Lutenegger & Saber, (1984), potencial de colapso é quantificado apenas com a equação (7).

Potencial de colapso (7)

$$CP = \frac{\Delta e}{1+e}$$

Onde Δe Variação do índice de vazios do corpo de prova devido ao colapso

e Índice de vazios inicial do corpo de prova

CP Potencial de colapso

$$CP = \frac{\Delta H e}{H} \quad (8)$$

Onde $\Delta H e$ Variação de altura do corpo de prova devido ao colapso

H Altura inicial do corpo de prova

CP Potencial de colapso

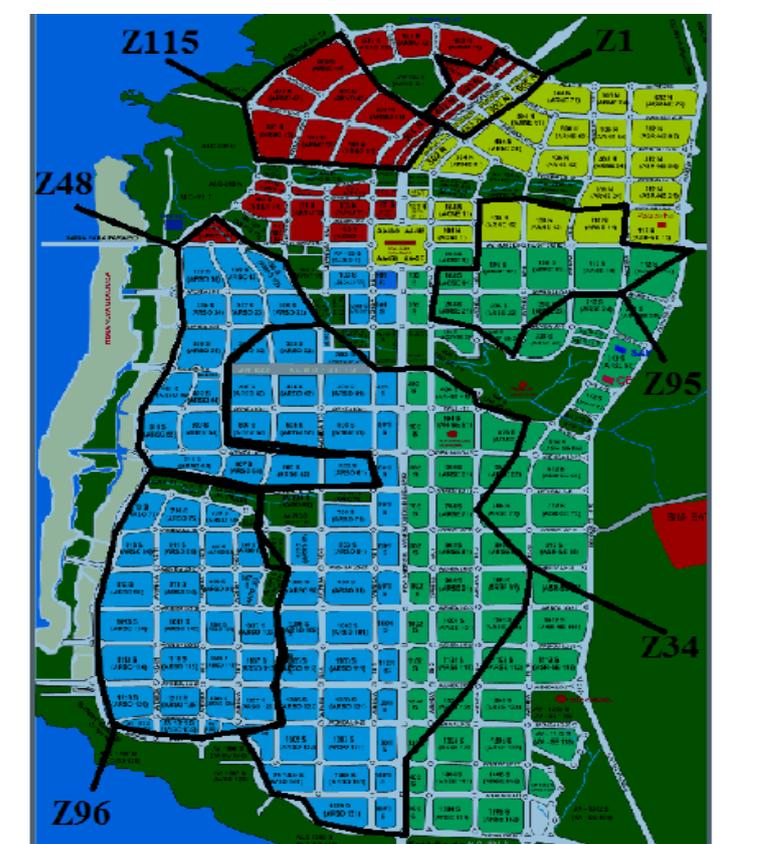
3 METODOLOGIA

A presente pesquisa foi realizada com caráter experimental na região sul de Palmas Tocantins, como intuito de verificar o potencial de colapso do solo de palmas em diferentes zonas da região sul da cidade. A pesquisa tem como função caracterizar o potencial de colapso do solo da região. Serão coletadas a mostras na quadra e 308 sul. O local definido por se encontrar na região sul de palmas.

3.1 Definição das regiões de trabalho

A quadra foi escolhida de acordo com o mapa de sondagem (figura 3) elaborado pelo acadêmico (AIRES 2015) em sua monografia de conclusão de curso.

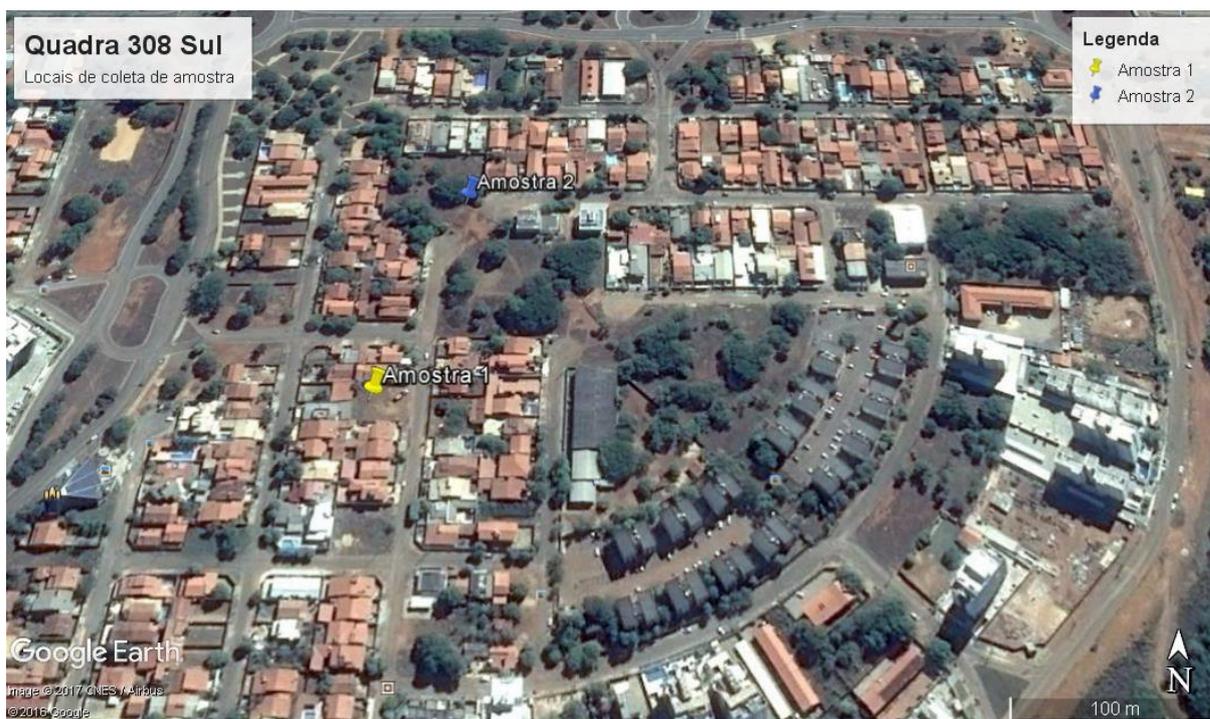
Figura 3 - Mapa de sondagem



Fonte: Aires, 2015

A quadra em questão é a 308 sul, os locais escolhidos foram em lotes vazios para obtenção das amostras indeformadas. Os pontos podem ser visualizados na figura 4. A amostra 1 encontra-se na coordenada latitude: $10^{\circ}12'1.53''S$, longitude: $48^{\circ}19'4.61''O$, amostra 2 encontra-se na coordenada latitude: $10^{\circ}11'57.01''S$, longitude: $48^{\circ}19'3.30''O$.

Figura 4 - Mapa do local onde foram coletadas as amostras



Fonte: GOOGLE EARTH PRO, 2017

3.2 Procedimento de amostragem.

3.2.1 *Limpeza e remoção de camada vegetal*

Retirando-se a camada vegetal de aproximadamente 20cm de profundidade em uma área de aproximadamente 1 metro quadrado, com a enxada (sachola), auxílio de uma pá e uma alavanca. Representado na (figura 5) abaixo.

Figura 5 - Remoção de camada vegetal e abertura do local de coleta da amostra



3.2.2 Obtenção de amostras

As amostras foram coletadas da quadra 308 sul, por meio escavação lateral para uma melhor retirada da amostra de maneira que a mesma se mantenha indeformada, por meio de um corpo de prova cilíndrico, a amostra foi envolvida em papel plástico para que a mesma não perca suas características naturais. Foram retiradas 3 amostras, todas foram coletadas a partir de 1 metro de profundidade. Foi utilizada a NBR 9820 (ABNT 1997) coleta de amostras indeformadas em furos de sondagem. A coleta está demonstrada na (Figura 6).

Figura 6 - Esculpindo a amostra indeformada no solo



Figura 7 - Armazenamento da amostra de solo



Figura 7: Amostra coletada na quadra 308 sul é envolvida de maneira que não perca suas características naturais.

3.3 Caracterização física do solo e determinação do potencial de colapso

3.3.1 Ensaio de umidade

O ensaio foi realizado com o objetivo de determinar o teor de umidade presente nas amostras de solo, pelo método Estufa.

3.3.1.1 Materiais

Cápsulas, Bandeja grande metálica, Almofariz, Mão de grau. Peneiras 19mm e 4,8mm, Balança E Estufa.

3.3.1.2 Metodologia

Primeiramente à pesagem das cápsulas metálicas a serem utilizadas, devidamente identificadas, as quais posteriormente receberam as amostras de solo que foram misturadas pelo almofariz para que as mesmas não apresentassem os torrões.

Novamente as cápsulas metálicas serão pesadas, no entanto, dessa vez com as amostras em seu interior. Visto que essas amostras de solo foram provenientes do corpo de prova coletado que chega de forma natural no laboratório, bastando apenas homogeneizá-las, atentando-se para que não ocorram mudanças em suas características.

Em seguida, com o solo nas cápsulas deveram ser levadas à estufa por um período de 24 horas, passando assim o tempo necessário na estufa, às cápsulas serão novamente pesadas, onde se será identificado o novo peso da cápsula mais agora com o peso do solo seco. O ensaio foi realizado segunda a NBR 16097 (ABNT 2012). Resultados APÊNDICE G E H

3.3.2 Obtenção do corpo de prova

O corpo de prova foi talhado a partir da amostra de solo coletada por meio de um molde cilíndrico com as mesmas dimensões da prensa de adensamento, de maneira que o corpo de prova não sofra qualquer deformação. Posteriormente o corpo de prova é confinado na célula de adensamento tipo “órgão” e o mesmo é novamente envelopado de maneira que não perca suas características naturais.

Figura 8 - Corpo de prova moldado e armazenado



3.3.3 Execução do ensaio

A prensa de adensamento (figura 9) é calibrada colocando seu braço no nível, utilizando o nível de bolha que o mesmo possui, deixando o seu braço alinhado, após isso é colocado o extensômetro para aferir as medições de estágio em estágio.

É retirado papel plástico da amostra então, são aferidas as massas da célula de adensamento junto ao corpo de prova logo após sua aferição é dado início ao ensaio colocando uma carga de pré-adensamento 5KPa após 5 minutos o extensômetro é aferido novamente, zerando o relógio, então é dado o início real do ensaio com os carregamentos alternados a cada 24h horas. Fazendo se as leituras nos intervalos de 7 segundos, 15 segundos, 30 segundos, 1 min, 2 minutos, 4 minutos, 8 minutos, 15 minutos, 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 4 horas, 8 horas e 24 horas.

Figura 9 - Prensa de adensamento e acomodação da célula de adensamento



3.3.4 Materiais

Água destilada, prensa de adensamento, pesos, célula de adensamento, filtro, extensômetro e pedras porosas.

3.4 GS Determinação de massa específica do solo

3.4.1 Ensaio de massa específica

Foi pesado a capsula logo em seguida a balança foi tarada a onde foi depositado 60g da amostra de solo, a mesma foi levada para estufa para a determinação da umidade, logo em seguida foi aferida a massa do picnômetro, então colocamos agua destilada no picnômetro, representado (figura 10), até seu total preenchimento a onde foi anotada sua massa agora com recipiente preenchido por completo anotasse a massa do recipiente. Em seguida satura-se o solo que estava na capsula com agua destilada deposita o no picnômetro e termina de preencher o picnômetro com agua destilada para saber a massa do solo. O ensaio foi realizado pela NBR 6508 (1984). Os resultados encontram-se no APÊNDICE (I e J).

Figura 10 – Ensaio de densidade



3.5 ENSAIO DE GRANULOMETRIA

Este ensaio será realizado com o objetivo de determinar a granulométrica de uma amostra de solo, de acordo com a NBR 7181 (ABNT, 1984), a fim de se obter a curva granulométrica desses solos de maneira que o caracterize.

3.5.1 Materiais

Estufa, Série de Peneiras, Bandeja, Balança Digital.

3.5.2 Metodologia

Com a amostra previamente preparada, será à determinada a granulometria para o material grosso e fino da amostra.

A. Peneiramento Grosso (material retido na peneira #10)

O material peneirado grosso é realizado utilizando a amostra de solo que fica retida na peneira #10 (2,00mm), no momento da preparação da amostra, seguindo o seguinte passo experimental:

B. Lava-se o material na peneira (#10), em seguida na estufa

As peneiras de diâmetro maiores e igual a (#10) são sobrepostas com as aberturas das malhas crescentes. Sob a peneira de menor abertura será colocado o fundo que acomodará o material que por ela passar. Sobre a peneira de maior abertura coloca-se a tampa para que o não aja a dispersão de partículas no início do processo de vibração. O conjunto de peneiras assim organizados deve ser agitado manualmente ou peneirador capaz de produzir um movimento horizontal e um vertical às peneiras, concomitantemente;

C. Pesa-se o material retido de solo em cada peneira, até chegar à #10 (2,00mm).**Peneiramento Fino**

O peneiramento fino é realizado utilizando-se cerca de 120g de solo que passa na peneira (2,00mm), no momento da preparação da amostra, executando o seguinte procedimento experimental:

Acomoda-se o material na peneira (0,075mm), lavando a amostra e em seguida colocando a mesma na estufa;

Organizando as peneiras e empilhando as mesmas, aberturas entre as peneiras (2,00mm) e (0,075mm), Acomoda-se o material seco no conjunto de peneiras e agita-se mecânica ou manualmente;

Pesando o de solo retido em cada peneira.

3.5.3 Com defloculante

Ensaio com o uso de defloculante, cujas partículas ficam mais tempo em suspensão e cuja mistura permanece com coloração homogênea por um período maior de tempo.

3.5.4 Sem defloculante

Ensaio sem o uso de defloculante observa-se a rapidez de queda das partículas, formando uma mistura heterogênea, com uma quantidade maior de material depositado no fundo da proveta. Resultados encontram-se no APÊNDICE (C e D).

3.6 ENSAIO EDOMÉTRICO

O ensaio consiste na compressão do solo contido dentro de um molde que impede qualquer deformação lateral.

O ensaio simula o comportamento do solo quando ele é comprimido pela ação do peso de novas camadas de solo que sobre ele se depositam.

3.6.1 Materiais

Balança de capacidade 1500g e precisão de 0,01 g.

Cápsulas metálicas; Estufa de secagem 110°C; Talhador; Paquímetro; Bureta graduada; Espátulas; Facas; Serras de fio metálico; Anel; Régua; Pedras Porosas; Papel filtro; Célula de adensamento; Prensa de adensamento

3.6.2 Metodologia

O método requer que um elemento de solo, mantido lateralmente confinado, seja axialmente, carregado em incrementos, com pressão mantida constante em cada incremento, até que todo o excesso de pressão na água dos poros tenha sido dissipado.

Durante o processo de compressão, são aferidas as variações da altura na amostra, e estes dados são usados no cálculo dos parâmetros que descrevem a relação entre a pressão efetiva e o índice de vazios, e a evolução das deformações em função do tempo.

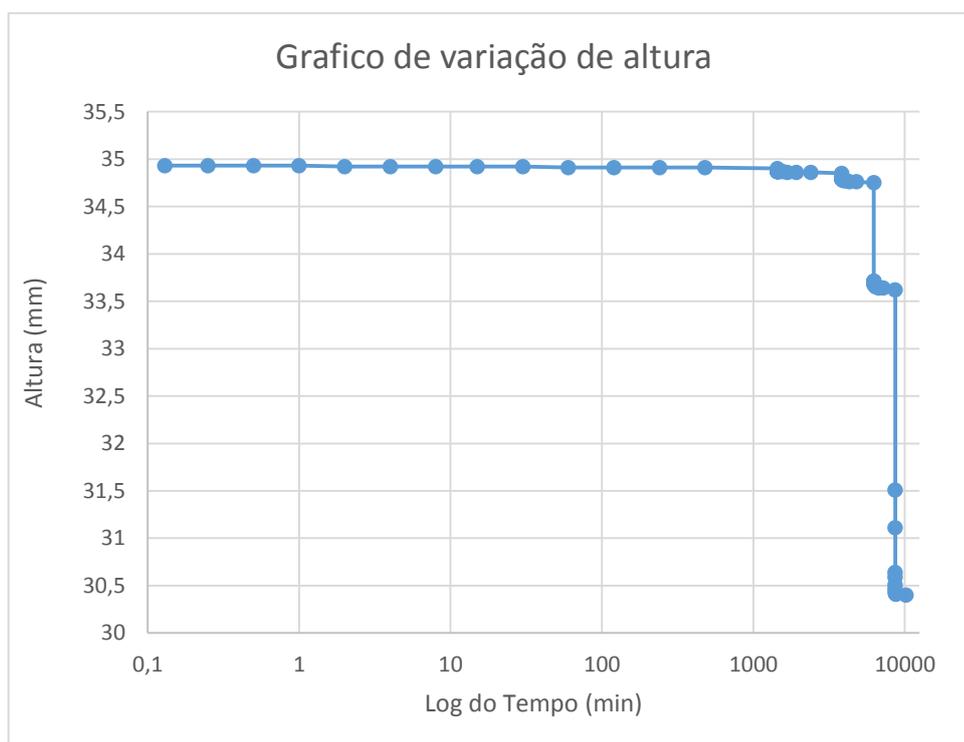
A aparelhagem é constituída de um sistema de aplicação de carga (prensa de adensamento ou edométrico) e da célula de adensamento.

A prensa permite a aplicação e manutenção das cargas verticais especificadas, ao longo do período necessário de tempo.

A célula de adensamento é um dispositivo apropriado para conter o corpo de prova confinado lateralmente, que deve proporcionar meio para aplicação das cargas verticais e medidas da variação de altura do corpo de prova.

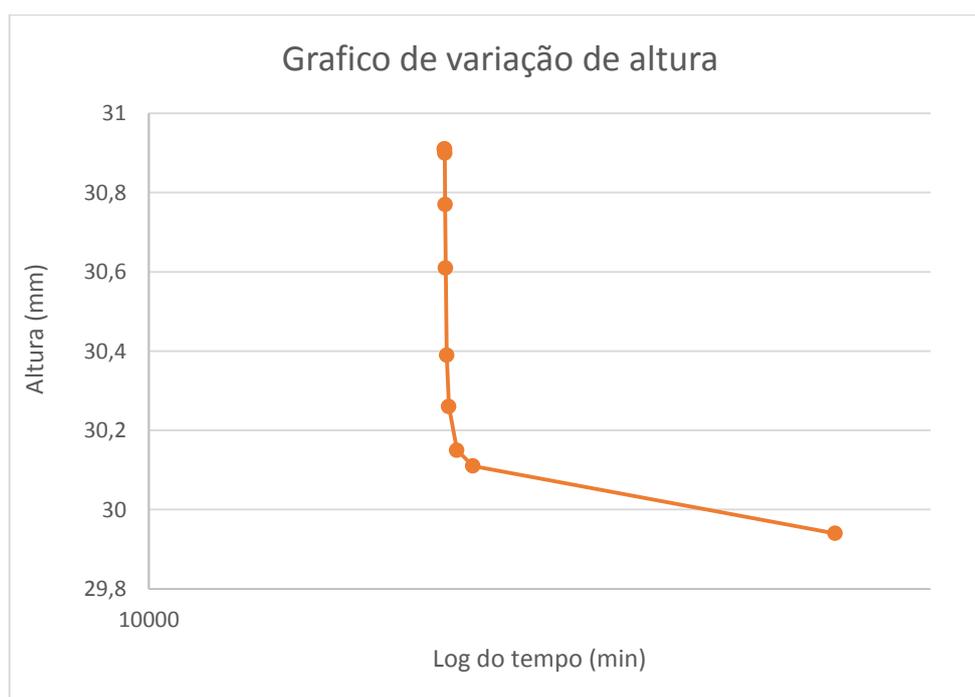
Consiste de uma base rígida, um anel para conter o corpo de prova (anel fixo ou flutuante), pedras porosas e um cabeçote rígido de carregamento.

Gráfico 2-Deformação em função do log do tempo Amostra2



No momento da saturação o solo sofre uma brusca variação de altura, e reduzindo o índice de vazios demonstrando em um curto espaço de tempo, o que se manifestou com maior evidencia na segunda amostra como apontado nos gráficos 3 e 4 consecutivamente. Gráficos oriundos do APÊNDICE (A e B).

Gráfico 3- Variação da altura em função do log do tempo Amostra 1 Saturada



Durante o carregamento do solo notou-se uma redução do índice de vazios em relação ao log do tempo o que ficou mais evidente no ultimo carregamento, e uma redução mais expressiva em relação ao log do tempo quando as amostras foram saturadas como está evidente nos gráficos 5 e 6 respectivamente.

Gráfico 5- Índice de vazios pelo log da Pressão Amostra 1

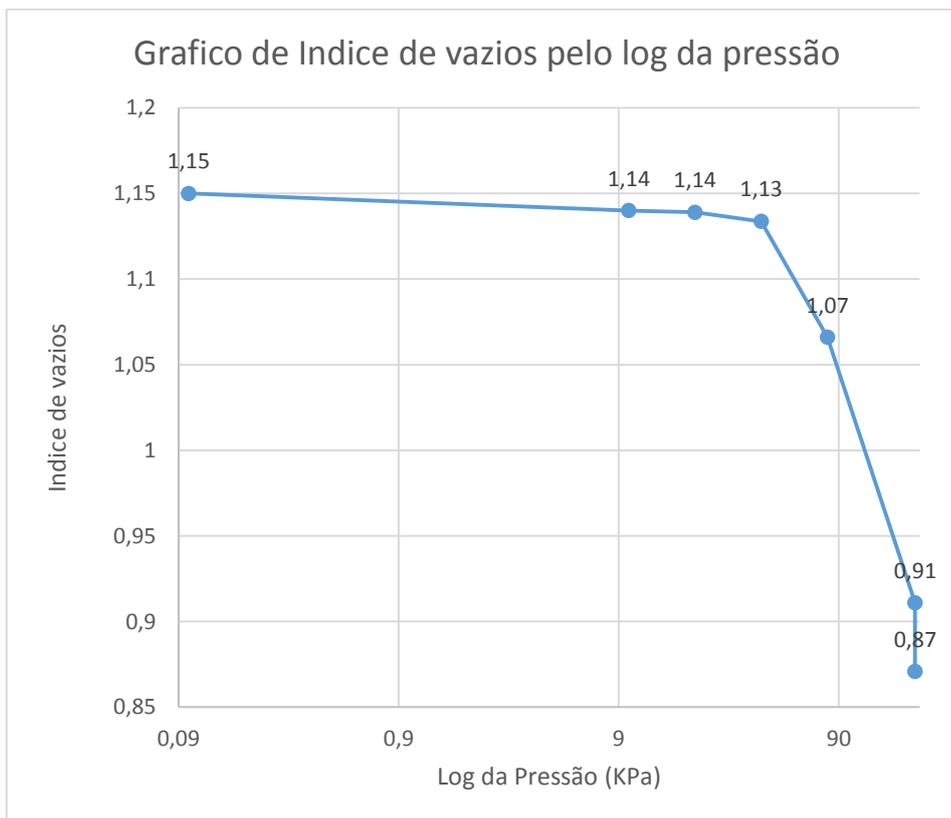
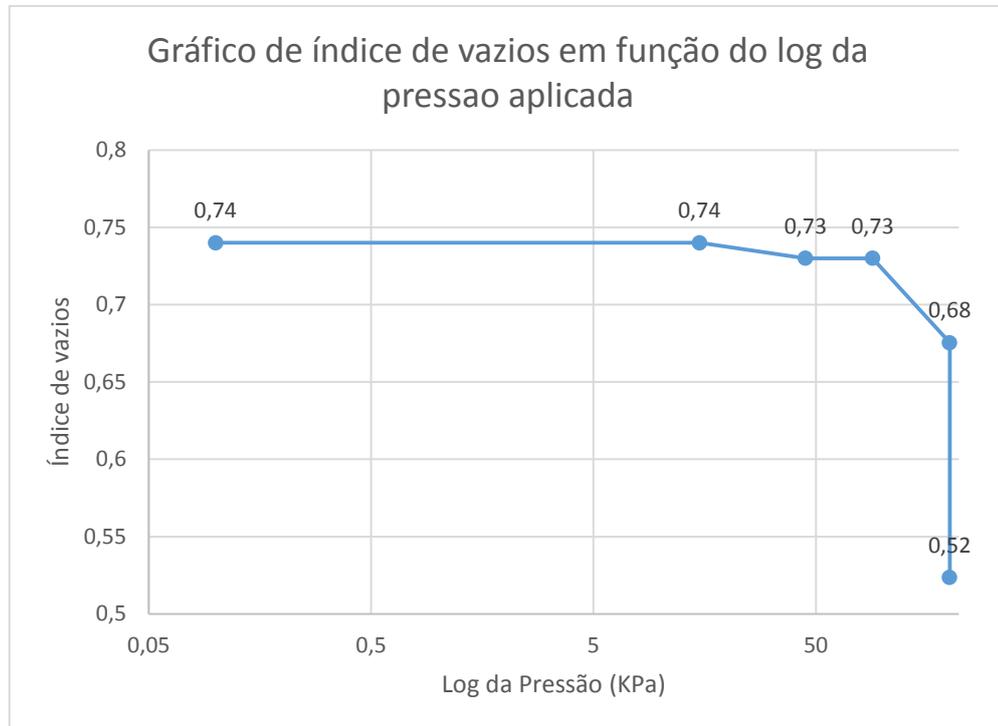


Gráfico 6 – Índice de vazios em função do log da Pressão aplicada amostra 2



Índices físicos iniciais do corpo de prova

A seguir são apresentados os cálculos necessários para obter o valor do potencial de colapso (CP) do material, conforme as equações (1) a (8).

Amostra de solo 1

Massa específica aparente úmida inicial

$$\gamma_{hi} = \frac{208,2}{134,7} \cong 1,55 \text{ g/cm}^3$$

Massa específica aparente seca

$$\gamma_{si} = \frac{1,55 \times 100}{18,33 + 100} \cong 1,31 \text{ g/cm}^3$$

Grau de saturação inicial

$$S_i = \frac{18,33 \times 2,81}{1,15 \times 1} \cong 44,79\%$$

Índice de vazios inicial

$$e_i = \frac{2,81}{1,31} - 1 \cong 1,15$$

Altura dos sólidos

$$H_s = \frac{3,5}{1 + 1,15} \cong 1,63 \text{ cm}$$

Índice de vazios ao final de cada estágio

$$e = \frac{2,99}{1,63} - 1 = 0,83$$

Potencial de colapso amostra 1

$$CP = \frac{0,90 - 0,84}{1 + 1,15} \times 100 = 2,8\%$$

Ou

$$CP = \frac{3,09 - 2,99}{3,5} \times 100 = 2,9\%$$

Potencial de colapso amostra 2

$$CP = \frac{0,57 - 0,51}{1 + 0,74} \times 100 = 3,5\%$$

Ou

$$CP = \frac{3,15 - 3,04}{3,5} \times 100 = 3,2\%$$

Quadro 1 – Classificação da gravidade do colapso para obras de engenharia civil

i (%)	Gravidade
2.0	Leve
6.0	Moderado
10.0	Alto

Fonte: Lutenegeger & Saber (1988)

Quadro 2 – Classificação do colapso para obras da engenharia civil

CP	GRAVIDADE DO PROBLEMA
0 a 1	Sem problema
1 a 5	Problema moderado
5 a 10	Problemático
10 a 20	Problema grave
>20	Problema muito grave

Fonte: JENNINGS & KNIGHT (1975)

Segundo JENNINGS E KNIGHT (1975) tanto pelo índice de vazios como pela deformação do corpo de prova o solo apresenta um problema moderado em relação ao potencial de colapso. Pois o mesmo apresenta índice de vazios superior a 0,02 o que já caracteriza como um solo moderadamente colapsível.

No entanto LUTENEGGER & SABER 1984) só leva em consideração a variação do índice de vazios e classifica o solo como leve, moderado ou alto. O mesmo o solo apresentou um leve potencial de colapso pois os mesmos se encontra no intervalo superior a 2% e inferior a 6%. Notando se que a segunda amostra apresentou um leve aumento em relação a primeira amostra mais ambas se encontram no mesmo intervalo.

5 CONCLUSÃO

O mecanismo de colapso no solo ocorre devido a diminuição da resistência ao cisalhamento dos vínculos entre as partículas do solo, o mesmo pode acontecer com solo saturado ou não, pelo peso próprio ou por uma sobrecarga, no solo em questão estudado o mesmo apresentou seu colapso por uma sobre carga e sob condições de solo saturado inclusive pelo período do ano em que o solo foi retirado, ensaiado e quantificado obteve-se o potencial de colapso calculado por dois índices diferente, um está ligado ao índice de vazios e outro ligado altura que o corpo de prova encontrou-se no final do ensaio.

O colapso é dividido em 3 três tipos, colapso eletromagnético onde as partículas maiores que são envolvidas por partículas menos e apresentam ação marcante das forças de Van der Waals de osmose e tração molecular, essas forças causam uma falsa resistência ao solo. O colapso devido as pressões capilares ocorrem quando os meniscos de água existentes geram um aumento na resistência do solo pelo aumento da pressão capilar, esse aumento da resistência também se deve ao contato entre as partículas de solo. E o colapso devido aos elementos aglomerantes que é resultante da presença de elementos cimentantes entre os compostos que estão presentes no solo aumentando a resistência do solo temporariamente fazendo com que o solo fique mais denso.

Foi realizada uma caracterização física do solo que apresentou um solo fino, ou seja, o mesmo apresenta na sua maior composição finos e uma granulometria com composição aberta ou descontínua, aonde o colapso foi avaliado pelos seus índices físicos em função da redução do índice de vazios e da altura do corpo de prova ambos em função do log de tempo, sendo assim uma avaliação quantitativa do colapso onde foram necessários, os ensaios físicos de massa específica dos grãos e umidade.

Foi realizado o ensaio edométrico onde foi quantificado o potencial de colapso e sua gravidade do colapso, o solo retirado e ensaiado apresentou um nível leve de colapso e uma gravidade moderada para obras de engenharia. O ensaio consistiu na submissão de carregamentos crescentes a cada 24h onde em seu estágio final após sua saturação pode se obter a variação de altura do corpo de prova e o seu índice de vazios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

_____. **NBR 6457** – A mostras de solos - preparação para ensaios de compactação e caracterização, 2016.

_____. **NBR 16.097**-Solo –Determinação do teor de umidade Métodos expeditos de ensaio, 2012.

_____. **NBR 7181** – Solo -Análise granulométrica, 1984.

_____. **NBR 9820** - NBR 9820 Coleta de amostras indeformadas de solos em furos de sondagem, 1997.

_____. **NBR 12.007**–Ensaio de Adensamento Unidimensional, 1997.

_____. **NBR 6508** – Ensaio de massa específica dos grãos, 1984.

ARAKI, M.S. (1997). **Aspectos relativos às propriedades dos solos porosos colapsíveis do Distrito Federal**. Dissertação de mestrado G.DM-040A/97. Mestrado em Geotecnia, Universidade de Brasília. 121p.

SOUZA, A. **Colapsividade dos solos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21, 1992, Santa Maria(RS). Anais..., Santa Maria, SBEA, 1992,p. 141-156.

VILAR, O.M. RODRIGUES, J.E., NOGUEIRA, J.B. **Solos Colapsiveies: um problema para engenharia de solos**. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS, 1, Rio de Janeiro, p.209-224.1981.

GUSMÃO FILHO, J.A. (1994). **Fundações em solos não saturados**. 2º Simpósio sobre Solos Não Saturados. p. 217-230.

Menezes, R.S. & Fraga, M.B.T. (1994). **Solos colapsíveis**. 2º Simpósio sobre Solos Não Saturados. Pernambuco, Recife, p. 111-116.

JENNINGS, J.E E KNIGHT, K. **A guide to construction on or with materials exhibiting. Additional settlement due to collapse of grain structure**. In Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 6, Durban. Proceedings...,pp.99-105,1975.

LOLLO, J.A. **O Uso da Técnica de Avaliação do Terreno no Processo de Elaboração do Mapeamento Geotécnico: sistematização e aplicação na Quadrícula de Campinas São Carlos: EESC/USP. 1996.2v. Tese (Doutorado em Engenharia Civil -Geotecnia)–Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1996.**

LOLLO, J.A. **Solos colapsíveis**: identificação, comportamento, impactos, S689 riscos e soluções tecnológicas / José Augusto de Lollo (Org.) . –São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró Reitoria de Graduação, 2008 262 p.

OLIVEIRA, C.M.G. & LOLLO, J.A. **Susceptibilidade de ocorrência de colapso de solos na área urbana de Ilha Solteira (SP)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 10, 2002, Ouro Preto. Anais..., Ouro Preto: ABGE, 2002.

SOUZA, A. **Colapsividade dos solos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21, 1992, Santa Maria (RS). Anais..., Santa Maria, SBEA, 1992, p. 141-156.

CAPUTO. **Mecânica dos solos e suas aplicações**, 1999. Ed.6 p.14-16

APÊNDICE

APÊNDICE A- TABELA DE ADENSAMENTO

Data	Pressão (KPa)	Leitura	Hora	Tempo (min)	Variação Altura (mm)	altura final	Índice de vazios
03/04/2017	10	0	09:35:00	0	0	35	1,15
		1	09:35:00	0,13	0,07	34,93	1,14
		2	09:35:15	0,25	0,07	34,93	1,14
		3	09:35:30	0,5	0,07	34,93	1,14
		4	09:36:00	1	0,07	34,93	1,14
		5	09:37:00	2	0,08	34,92	1,14
03/04/2017	10	6	09:39:00	4	0,08	34,92	1,14
		7	09:43:00	8	0,08	34,92	1,14
		8	09:51:00	15	0,08	34,92	1,14
		9	10:05:00	30	0,08	34,92	1,14
		10	10:35:00	60	0,09	34,91	1,14
		11	11:35:00	120	0,09	34,91	1,14
		12	13:35:00	240	0,09	34,91	1,14
		13	17:35:00	480	0,09	34,91	1,14
		14	09:35:00	1440	0,1	34,9	1,14
04/04/2017	20	1	09:46:00	1440,1	0,13	34,87	1,14
		2	09:46:15	1440,4	0,13	34,87	1,14
		3	09:46:30	1440,9	0,13	34,87	1,14
		4	09:47:00	1441,9	0,13	34,87	1,14
		5	09:48:00	1443,9	0,13	34,87	1,14
		6	09:50:00	1447,9	0,13	34,87	1,14
		7	09:54:00	1455,9	0,13	34,87	1,14
		8	10:01:00	1470,9	0,13	34,87	1,14
		9	10:16:00	1500,9	0,13	34,87	1,14
		10	10:46:00	1560,9	0,13	34,87	1,14
		11	11:46:00	1680,9	0,14	34,86	1,14
		12	13:46:00	1920,9	0,14	34,86	1,14
		13	17:46:00	2400,9	0,14	34,86	1,14
		14	09:46:00	3840,9	0,15	34,85	1,14
05/04/2017	40	1	10:10:00	3841	0,2	34,8	1,13
		2	10:10:15	3841,3	0,21	34,79	1,13
		3	10:10:30	3841,8	0,21	34,79	1,13
		4	10:11:00	3842,8	0,21	34,79	1,13
		5	10:12:00	3844,8	0,21	34,79	1,13
		6	10:14:00	3848,8	0,21	34,79	1,13
		7	10:18:00	3856,8	0,22	34,78	1,13
		8	10:25:00	3871,8	0,22	34,78	1,13
		9	10:40:00	3901,8	0,22	34,78	1,13
		10	11:10:00	3961,8	0,23	34,77	1,13

		11	12:10:00	4081,8	0,23	34,77	1,13
		12	14:10:00	4321,8	0,24	34,76	1,13
		13	18:10:00	4801,8	0,24	34,76	1,13
		14	10:10:00	6241,8	0,25	34,75	1,13
06/04/2017	80	1	10:17:00	6241,9	1,29	33,71	1,07
		2	10:17:15	6242,1	1,29	33,71	1,07
		3	10:17:30	6242,6	1,29	33,71	1,07
		4	10:18:00	6243,6	1,3	33,7	1,07
		5	10:19:00	6245,6	1,3	33,7	1,07
		6	10:21:00	6249,6	1,31	33,69	1,07
		7	10:25:00	6257,6	1,32	33,68	1,07
		8	10:25:00	6272,6	1,32	33,68	1,07
		9	10:32:00	6302,6	1,33	33,67	1,07
		10	11:17:00	6362,6	1,34	33,66	1,07
		11	12:17:00	6482,6	1,35	33,65	1,06
		12	14:17:00	6722,6	1,36	33,64	1,06
		13	18:17:00	7202,6	1,36	33,64	1,06
		14	10:17:00	8642,6	1,38	33,62	1,06
07/04/2017	200	1	10:17:00	8642,8	3,18	31,82	0,95
		2	10:17:15	8643	3,54	31,46	0,93
		3	10:17:30	8643,5	3,66	31,34	0,92
		4	10:18:00	8644,5	3,74	31,26	0,92
		5	10:19:00	8646,5	3,81	31,19	0,91
		6	10:21:00	8650,5	3,88	31,12	0,91
		7	10:25:00	8658,5	3,91	31,09	0,91
		8	10:25:00	8673,5	3,96	31,04	0,90
		9	10:32:00	8703,5	3,98	31,02	0,90
		10	11:17:00	8763,5	4,01	30,99	0,90
		11	12:17:00	8883,5	4,03	30,97	0,90
		12	14:17:00	9123,5	4,06	30,94	0,90
		13	18:17:00	9603,5	4,07	30,93	0,90
		14	10:17:00	11044	4,09	30,91	0,90
Solo Saturado		1	10:34:00	11044	4,09	30,91	0,90
08/04/2017	200	2	10:34:15	11044	4,09	30,91	0,90
		3	10:34:30	11044	4,1	30,9	0,90
		4	10:35:00	11045	4,23	30,77	0,89
		5	10:36:00	11047	4,39	30,61	0,88
		6	10:38:00	11051	4,61	30,39	0,86
		7	10:42:00	11059	4,74	30,26	0,86
		8	11:04:00	11089	4,85	30,15	0,85
		9	11:34:00	11149	4,89	30,11	0,85
		10	10:34:00	12589	5,06	29,94	0,84

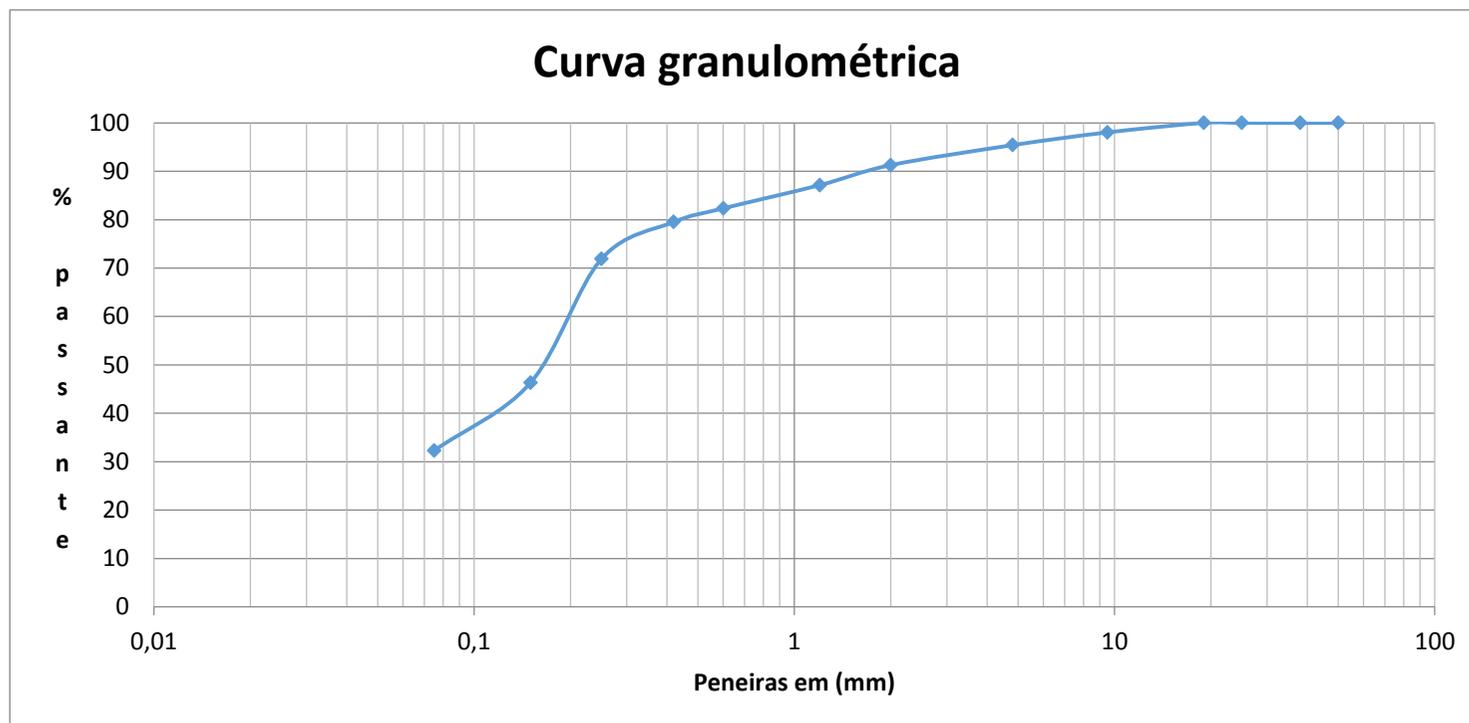
APÊNDICE B-TABELA DE ADENSAMENTO EM RELAÇÃO AO ÍNDICE DE VAZIOS
AMOSTRA 2

Data	Pressão (Kpa)	Leitura	Hora	Tempo(min)	Varição de Altura(mm)	Altura Final	Índice de Vazios
02/05/2017	15	0	00:35:00	0	0	35	0,74
02/05/2017		1	09:35:00	0,13	0,07	34,93	0,74
		2	09:35:15	0,25	0,07	34,93	0,74
		3	09:35:30	0,5	0,07	34,93	0,74
		4	09:36:00	1	0,07	34,93	0,74
		5	09:37:00	2	0,08	34,92	0,74
		6	09:39:00	4	0,08	34,92	0,74
		7	09:43:00	8	0,08	34,92	0,74
		8	09:51:00	15	0,08	34,92	0,74
		9	10:05:00	30	0,08	34,92	0,74
		10	10:35:00	60	0,09	34,91	0,74
		11	11:35:00	120	0,09	34,91	0,74
		12	13:35:00	240	0,09	34,91	0,74
		13	17:35:00	480	0,09	34,91	0,74
14	09:35:00	1440	0,1	34,9	0,74		
03/05/2017	45	1	09:46:00	1440,1	0,13	34,87	0,73
		2	09:46:15	1440,4	0,13	34,87	0,73
		3	09:46:30	1440,9	0,13	34,87	0,73
		4	09:47:00	1441,9	0,13	34,87	0,73
		5	09:48:00	1443,9	0,13	34,87	0,73
		6	09:50:00	1447,9	0,13	34,87	0,73
		7	09:54:00	1455,9	0,13	34,87	0,73
		8	10:01:00	1470,9	0,13	34,87	0,73
		9	10:16:00	1500,9	0,13	34,87	0,73
		10	10:46:00	1560,9	0,13	34,87	0,73
		11	11:46:00	1680,9	0,14	34,86	0,73
		12	13:46:00	1920,9	0,14	34,86	0,73
		13	17:46:00	2400,9	0,14	34,86	0,73
		14	09:46:00	3840,9	0,15	34,85	0,73
04/05/2017	90	1	10:10:00	3841	0,2	34,8	0,73
		2	10:10:15	3841,3	0,21	34,79	0,73
		3	10:10:30	3841,8	0,21	34,79	0,73
		4	10:11:00	3842,8	0,21	34,79	0,73
		5	10:12:00	3844,8	0,21	34,79	0,73
		6	10:14:00	3848,8	0,21	34,79	0,73
		7	10:18:00	3856,8	0,22	34,78	0,73
		8	10:25:00	3871,8	0,22	34,78	0,73
		9	10:40:00	3901,8	0,22	34,78	0,73
		10	11:10:00	3961,8	0,23	34,77	0,73

			11	12:10:00	4081,8	0,23	34,77	0,73
			12	14:10:00	4321,8	0,24	34,76	0,73
			13	18:10:00	4801,8	0,24	34,76	0,73
			14	10:10:00	6241,8	0,25	34,75	0,73
05/05/2017		200	1	10:17:00	6241,9	1,29	33,71	0,68
			2	10:17:15	6242,1	1,29	33,71	0,68
			3	10:17:30	6242,6	1,29	33,71	0,68
			4	10:18:00	6243,6	1,3	33,7	0,68
			5	10:19:00	6245,6	1,3	33,7	0,68
			6	10:21:00	6249,6	1,31	33,69	0,68
			7	10:25:00	6257,6	1,32	33,68	0,68
			8	10:25:00	6272,6	1,32	33,68	0,68
			9	10:32:00	6302,6	1,33	33,67	0,68
			10	11:17:00	6362,6	1,34	33,66	0,67
			11	12:17:00	6482,6	1,35	33,65	0,67
			12	14:17:00	6722,6	1,36	33,64	0,67
			13	18:17:00	7202,6	1,36	33,64	0,67
			14	10:17:00	8642,6	1,38	33,62	0,67
06/05/2017	Solo Saturado	200	1	10:17:00	8642,8	3,49	31,51	0,57
			2	10:17:15	8643	3,89	31,11	0,55
			3	10:17:30	8643,5	4,36	30,64	0,52
			4	10:18:00	8644,5	4,41	30,59	0,52
			5	10:19:00	8646,5	4,49	30,51	0,52
			6	10:21:00	8650,5	4,54	30,46	0,52
			7	10:25:00	8658,5	4,57	30,43	0,51
			8	10:32:00	8673,5	4,58	30,42	0,51
			9	10:47:00	8703,5	4,59	30,41	0,51
			10	11:17:00	8763,5	4,59	30,41	0,51
			11	11:17:00	10204	4,6	30,4	0,51

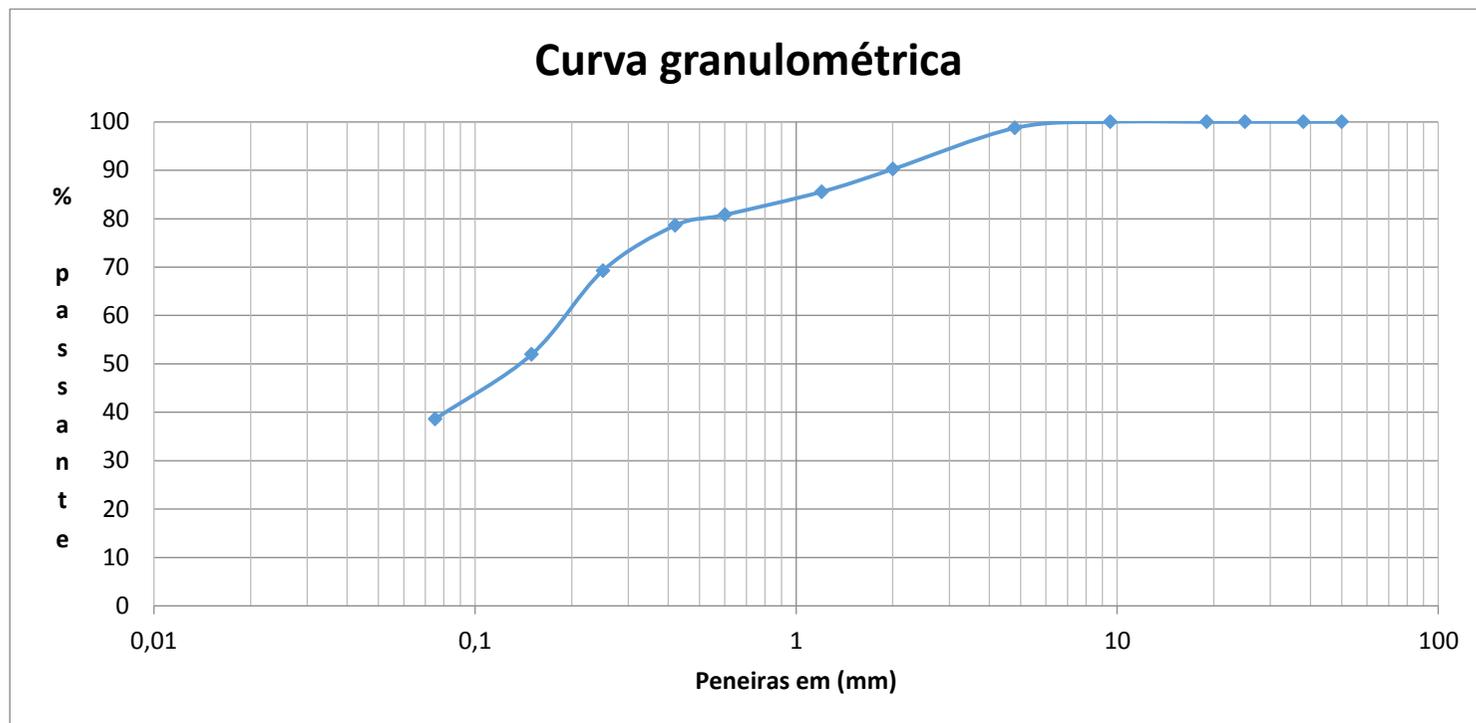
APÊNDICE C – QUADRO ENSAIO GRANULOMETRIA REFERENTE A AMOSTRA DE SOLO 1

Umidade Higroscópica			PENEIRAMENTO DO MATERIAL GROSSO					% passante do material seco	
			Peneiras		Massa da amostra seca (g)				
N° cápsula	1	2	Pol.	mm	Retido	Passado			
C + S + A	26,8	26,2	2	50	0	1946,70	100,0		
C + S	26,5	25,8	1 1/2"	38	0	1946,70	100,0		
Água (g)	0,3	0,4	1"	25	0	1946,70	100,0		
Massa da Cáps. (g)	17,1	11,9	3/4"	19	0	1946,70	100,0		
Solo seco (g)	9,4	13,90	3/8"	9,5	38,3	1908,40	98,0		
Umidade (%)	3,2	2,9	N° 4	4,8	51,3	1857,10	95,4		
Umidade média	3,0		N° 10	2,0	80,4	1776,70	91,3		
AMOSTRA			PENEIRAMENTO MATERIAL FINO						
Amostra total úmida (g)	2000		Massa da amostra parcial úmida =			100	g		
Solo seco retido pen. N° 10 (g)	170		Massa da amostra parcial seca =			97,0	g		
Solo úmido passante pen. N° 10 (g)	1830		PENEIRAS		Massa da amostra seca (g)		% que passa da amostra parcial	% que passa da amostra total	
Solo seco passante pen. N° 10 (g)	1776,70		POL.	mm	RETIDO	PASSADO			
Amostra total seca (g)	1946,70								
RESUMO GRANULOMÉTRICO									
PEDREGULHO	8,7		16	1,2	4,4	92,60	95,5	87,1	
AREIA DE GRADUAÇÃO GROSSA	8,9		30	0,6	5,1	87,50	90,2	82,3	
AREIA DE GRADUAÇÃO MÉDIA	10,4		40	0,42	3	84,50	87,1	79,5	
AREIA DE GRADUAÇÃO FINA	39,6		60	0,25	8,1	76,40	78,8	71,9	
SILTE + ARGILA	32,3		100	0,15	27,2	49,20	50,7	46,3	
	100,0		200	0,075	14,9	34,30	35,4	32,3	



APÊNDICE D – QUADRO ENSAIO DE GRANULOMETRIA REFERENTE A AMOSTRA DE SOLO 2

Umidade Higroscópica			PENEIRAMENTO DO MATERIAL GROSSO						
			Peneiras		Massa da amostra seca (g)				
N° cápsula	1	2	Pol.	mm	Retido	Passado	% passante do material seco		
C + S + A	18,4	24,9	2	50	0	1973,30	100,0		
C + S	18,3	24,8	1 1/2"	38	0	1973,30	100,0		
Água (g)	0,1	0,1	1"	25	0	1973,30	100,0		
Massa da Cáps. (g)	12	17,6	3/4"	19	0	1973,30	100,0		
Solo seco (g)	6,3	7,20	3/8"	9,5	0	1973,30	100,0		
Umidade (%)	1,6	1,4	N° 4	4,8	25,1	1948,20	98,7		
Umidade média	1,5		N° 10	2,0	167,9	1780,30	90,2		
AMOSTRA			PENEIRAMENTO MATERIAL FINO						
Amostra total úmida (g)	2000		Massa da amostra parcial úmida =			100	g		
Solo seco retido pen. N° 10 (g)	193		Massa da amostra parcial seca =			98,5	g		
Solo úmido passante pen. N° 10 (g)	1807		PENEIRAS		Massa da amostra seca (g)		% que passa da amostra parcial	% que passa da amostra total	
Solo seco passante pen. N° 10 (g)	1780,30		POL.	mm	RETIDO	PASSADO			
Amostra total seca (g)	1973,30								
RESUMO GRANULOMÉTRICO									
PEDREGULHO	9,8		16	1,2	5,1	93,40	94,8	85,5	
AREIA DE GRADUAÇÃO GROSSA	9,4		30	0,6	5,2	88,20	89,5	80,8	
AREIA DE GRADUAÇÃO MÉDIA	11,5		40	0,42	2,4	85,80	87,1	78,6	
AREIA DE GRADUAÇÃO FINA	30,7		60	0,25	10,2	75,60	76,8	69,2	
SILTE + ARGILA	38,6		100	0,15	18,9	56,70	57,6	51,9	
	100,0		200	0,075	14,6	42,10	42,7	38,6	



APÊNDICE E – TABELA DE ADENSAMENTO EM RELAÇÃO AO ÍNDICE DE VAZIOS AMOSTRA 1

Pressão (Kpa)	Índice de vazios
0,1	1,15
10	1,14
20	1,14
40	1,13
80	1,07
200	0,91
200	0,87

APÊNDICE F – TABELA DE ADENSAMENTO EM RELAÇÃO AO ÍNDICE DE VAZIOS AMOSTRA 2

Pressão (KPa)	Índice de vazios
0,1	0,74
15	0,74
45	0,73
90	0,73
200	0,68
200	0,52

APÊNDICE G – TABELA DE ENSAIO DE UMIDADE AMOSTRA 1

Capsula	Massa da cap	cap+solo+a	cap+solo seco	Umidade
cap6	16,4	27,9	26,1	18,56%
cap4	18,9	30,9	29	18,81%
cap5	17,6	29	27,2	18,75%
cap3	16,1	33,3	30,7	17,81%
cap2	16,6	27,9	26,2	17,71%
			Media	18,33%

APÊNDICE H – TABELA DE ENSAIO DE UMIDADE DA AMOSTRA 2

Capsula	Massa da cap	cap+solo+a	cap+solo seco	Umidade
54	17,8	29,1	27,7	14,14%
6	17,1	30,9	29,1	15,00%
1	17,2	32,1	30	16,41%
2	11,9	27,3	25,2	15,79%
11	17,8	29,6	28,1	14,56%
			Media	15,18%

APÊNDICE I – QUADRO ENSAIO DE MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS, REFERENTE AO CORPO DE PROVA 1

Solo 1										
Amostras	P1 (gf)	P2 (gf)	P3 (gf)	P4 (gf)	t (°C)	Gs (t)	K20	Gs (20°C)	Media Gs(20°C)	Erro
1	147,13	207,13	669,40	630,80	26,50	2,80	1,00	2,80	2,81	0,005
2	145,24	205,73	671,30	632,35	26,50	2,81	1,00	2,81		

APÊNDICE J – QUADRO DO ENSAIO DE MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS, REFERENTE AO CORPO DE PROVA 2

Solo 1										
Amostras	P1 (gf)	P2 (gf)	P3 (gf)	P4 (gf)	t (°C)	Gs (t)	K20	Gs (20°C)	Media Gs(20°C)	Erro
1	147,11	207,04	669,30	631,00	27,00	2,77	1,00	2,77	2,77	0,002
2	145,06	205,16	671,00	632,60	27,00	2,77	1,00	2,76		