

CENTRO UNIVERSITÁRIO SAGRADO CORAÇÃO

LEONARDO FREDERICH MACEGOZA

**VERIFICAÇÃO E ANÁLISE DO POTENCIAL DE COLAPSIVIDADE DO SOLO
DE BAURU**

BAURU

2021

LEONARDO FREDERICH MACEGOZA

**VERIFICAÇÃO E ANÁLISE DO POTENCIAL DE COLAPSIVIDADE
DO SOLO DE BAURU**

Monografia apresentada pelo aluno Leonardo Frederich Macegoza ao Programa de Iniciação Científica do Centro Universitário Sagrado Coração - UNISAGRADO sob orientação do Professor Doutor Norival Agnelli.

BAURU

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

T832p	<p>Macegoza, Leonardo Frederich</p> <p>Verificação e análise do potencial de colapsividade do solo de Bauru/ Leonardo Frederich Macegoza. - 2021. 24f. : il.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Norival Agnelli</p> <p>Monografia (Iniciação Científica em Engenharia Civil) - Centro Universitário Sagrado Coração - UNISAGRADO - Bauru - SP</p> <p>1. Engenharia. 2. Solo. 3. Colapsibilidade. 4. Fundações. I. Agnelli, Norival. II. Título.</p>
-------	---

Este trabalho é dedicado a toda minha família, vocês são meus exemplos de força, dedicação e amizade. Sem vocês nada disso faria sentido e seria possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família e meus amigos que a todo momento me apoiaram durante toda a execução deste trabalho, incentivaram e acreditaram no meu potencial.

Agradeço ao meu professor e orientador Norival Agnelli por cada ensinamento tanto nas disciplinas cursadas na graduação, quanto na Iniciação Científica.

RESUMO

Solos colapsíveis são aqueles que podem apresentar uma redução de volume significativa quando sofrem infiltração de água, às vezes até mesmo quando não estão sofrendo uma sobrecarga, ou seja, uma construção no terreno. Geralmente são solos que apresentam elevados índices de vazios com uma estrutura macroporosa e um baixo grau de saturação. Esses solos são, na maioria das vezes compostos por grãos de areia e silte ou areia e argila, e quando são expostos a um acréscimo de umidade acabam sofrendo uma mudança considerável em sua estrutura sofrendo uma diminuição brusca do volume. Essa diminuição por ocorrer rapidamente, principalmente quando o solo entra em contato com a água de esgoto doméstico, que tem uma elevada quantidade de detergente e/ou sabão, ricos em substâncias alcalinas, aceleram o colapso do solo, sendo esse evento relacionado a estrutura das partículas que quando entram em contato com a água, sofrem uma quebra dos vínculos de cimentação ou pontes de argila, diminuindo a aderência dos grãos fazendo com que, devido a saturação das mesmas, deslizem uma sobre a outra e acabam se deslocando para os espaços que estão vazios. Entendido a importância de se diagnosticar se um solo é ou não potencialmente colapsível, despertou-se o interesse na presente pesquisa, programada para ser desenvolvida mediante amostragem do solo da cidade de Bauru, SP e, a partir dessas amostras, objetivou-se a realização de uma bateria de testes no laboratório de Mecânica dos solos do Curso de Engenharia Civil do UNISAGRADO.

Palavras chaves: solos, solo colapsível, fundações, danos estruturais, ensaios laboratoriais.

ABSTRACT

Collapsible soils are those that present a reduction in volume when they come into contact with water, thus presenting high levels of voids as a macroporous structure and a low degree of saturation, with or without the addition of loads. These soils are, in most cases, composed of sand and silt grains and when they are exposed to an increase in moisture, they end up suffering a considerable change in their structure, causing a sudden decrease in volume. Because this decrease occurs quickly, especially when the soil comes into contact with domestic sewage water, which has a high amount of detergent and/or soap that are rich in alkaline substances, it accelerates the soil's collapse, and this event is related to the structure of the particles that, when they come into contact with water, suffer a break in cementing bonds or clay bridges, reducing the adhesion of the grains, causing them to slide over each other, due to their saturation, and end up moving to the spaces that are empty. Understanding the importance of diagnosing whether or not a soil is potentially collapsible, interest was awakened in this research, which will be developed by sampling the soil from the city of Bauru, SP and, based on these samples, perform a battery of tests in the laboratory of Soil Mechanics of the Civil Engineering course at Unisagrado.

Key words: soils, collapsible soil, foundations, structural damage, laboratory tests.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Composição do solo	11
Figura 2 – Estrutura de solo colapsível antes e depois da inundação proposta por Casagrande.....	14

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E REVISÃO DA LITERATURA	10
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	122
3. RESULTADOS	13
4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	155
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	16
6. REFERÊNCIAS	166
ANEXOS	177
ANEXO 1 - CARTA DE DISPENSA DE APRESENTAÇÃO AO CEP OU CEUA177	

1. INTRODUÇÃO E REVISÃO DA LITERATURA

O relato a seguir corresponde aos resultados parciais da pesquisa de Iniciação Científica Intitulada ESTUDO E ANÁLISE DO POTENCIAL DE COLAPSIVIDADE DO SOLO. Após aprovação para desenvolvimento da investigação, na forma de pesquisador voluntário e de acordo com o cronograma apresentado inicialmente, foi feito um planejamento da pesquisa, bem como o levantamento bibliográfico pertinente à presente pesquisa. No mês de fevereiro, foram coletadas as amostras de solo, devidamente embaladas e levadas ao laboratório de Mecânica do Solos do curso de Engenharia Civil da Unisagrado, para serem submetidas aos ensaios necessários para se alcançar os dados a serem trabalhados na investigação desse solo.

Os ensaios laboratoriais com o solo coletado e a análise dos dados seriam realizados nos meses de março e abril. Na sequência iniciar-se-iam as conclusões e as considerações finais da presente pesquisa, bem como elaboração do relatório final e a elaboração de um artigo para publicação.

Contudo, face à Pandemia da Covid 19, os ensaios mais importantes e decisivos não foram possíveis de serem realizados, havendo, portanto, uma radical alteração na metodologia de pesquisa, partindo para uma investigação bibliográfica, trabalhando com publicações pertinentes a solos potencialmente colapsíveis.

Alguns dos primeiros registros de colapsos referem-se a projetos que foram resolvidos em loess, uma espécie de solo formado após a propagação do vento, existente amplamente em várias partes do mundo. Posteriormente, mais áreas de terras foram estudadas como Califórnia, África e América do Sul, permitindo verificar que esse fenômeno do colapso do solo pode ter origem em terrenos mal compactados, com solo não saturado e com alta porosidade, condições básicas para a atuação do fenômeno.

O solo tem como definição a decomposição lenta das rochas devido a ação dos mares, rios, chuvas e ventos. Esses fragmentos são levados para vários lugares e com o passar do tempo vão se juntando com matéria orgânica, formando então vários tipos de solos, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 – Composição do solo



Fonte: www.infoescola.com/geografia/solo/. Acesso em 15 out. 2021.

O solo pode ser usado como suporte para edificações e para grandes obras da construção civil, como barragens, estradas, aeroportos. Quando seu teor de umidade aumenta, o volume pode diminuir, o que geralmente acontece em solos de elevada porosidade. As razões para essas duas situações são diferentes. Em solos de baixa densidade, a umidade fará com que a resistência no contato entre as partículas diminua, geralmente através da redução da sucção e rearranjo da estrutura.

Quando se inicia uma construção, uma das primeiras coisas a se fazer é o estudo do solo e é nessa etapa que se pode deparar com um solo colapsível.

A colapsividade de um solo se dá devido a uma queda da resistência entre as suas partículas sólidas, fazendo com que o solo e conseqüentemente o que está junto a ele, cedam, podendo gerar patologias na construção, como fissuras, trincas e rachaduras.

Um solo colapsível constitui-se basicamente por grãos de areia e silte, ou areia e argila, ou mesmo, essas três frações, predominado, geralmente, a areia, que submetidos a umidade sofrem uma redução de seu volume ocasionado pela quebra estrutural que existe entre suas partículas, devido a uma cimentação natural, permitindo o deslizamento de uma partícula sobre as outras, deslocando-a para os espaços não preenchidos. Os tipos de solos mais propícios a essa colapsibilidade são os argilosos porosos e arenosos, com um alto índice de vazios e um baixo teor de umidade.

AGNELLI (1992) estudou as características físicas e mecânicas do solo da cidade de Bauru, SP, com amostragens feitas em um Campo Experimental de Fundações na UNESP/Bauru, realizando provas de carga no local, em profundidades de 1 e 2 metros e realizando vários ensaios laboratoriais, com amostras coletadas até 4 metros de profundidade concluindo que o solo local tem elevada potencialidade colapsível, segundo diversos parâmetros consagrados na literatura internacional.

LOBO et al. (1997), citados por AGNELLI (1997) relatam a ocorrência de trincas e rachaduras num prédio de abatedouro de aves na cidade de Itapuí, SP, situada à margem direita do rio Tietê, próximo à cidade de Bauru, SP. Segundo esses autores esses danos ocorreram em função de recalques diferenciais próximos de 30 mm provocados por um vazamento numa tubulação de água de 51 mm de diâmetro.

O solo que foi inicialmente analisado na presente pesquisa é o da cidade de Bauru (SP), que possui dois tipos de solos predominantes, o latossolo (vermelho-amarelo) de forma geral e argissolo que é mais encontrado em áreas inclinadas e ambos possuem textura arenosa.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Devido à pandemia do COVID-19, este trabalho não prosseguiu como originalmente planejado, pois o laboratório de Mecânica dos solos da Unisagrado precisou ser fechado. A pesquisa bibliográfica foi a única atividade que pôde ser realizada no cronograma original. Como é impossível realizar outras atividades especificadas no plano original, foi necessário alterar o método de pesquisa, portanto, um plano de dados inclui revisão de literatura, coleta, análise e

interpretação de dados, relatório final, monografia e resumo. Tendo em vista a manobra a ser realizada, aplicou-se então uma metodologia comparativa e investigativa, mediante ao estudo do solo de Bauru, através de trabalhos anteriormente desenvolvidos por outros autores e que tratam das características mecânicas e físicas do solo da cidade. Anteriormente à pandemia, este trabalho contou com a coleta de uma amostra de solo, o qual comparados aos estudados, apresentou resultados que originaram e tornaram possível o trabalho.

Uma amostra de solo foi retirada em campo, utilizando-se o Método do Frasco de Areia, porém, se constituiu em um resultado que acabou não sendo utilizado na presente pesquisa, pois isoladamente em nada contribuiu nessa pesquisa.

3. RESULTADOS

Foram analisados os estudos redigidos por Agnelli (1997) com a tese de doutorado “Comportamento de um solo colapsível inundado com líquidos de diferentes composições químicas”, Maximino (2015) com seu trabalho “Avaliação do grau de colapsividade de amostras do solo de Bauru, mediante o emprego de índices físicos e limites de Atterberg” e Ferreira (1998) na sua tese “Efeito da inundação do solo no comportamento de estacas moldadas in loco, instrumentadas, em campo experimental de Bauru”.

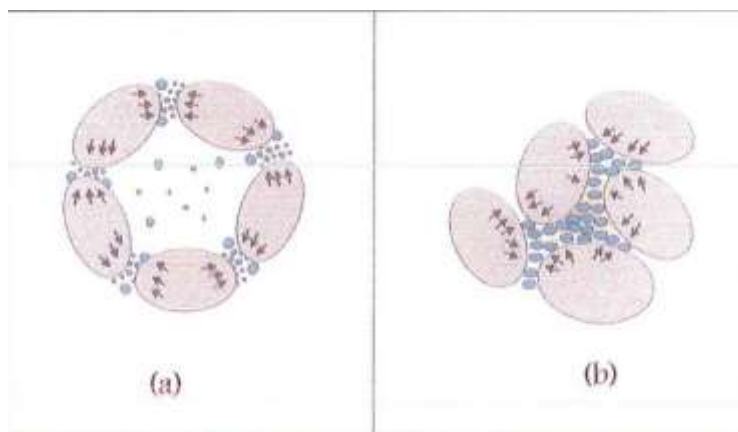
3.1. Agnelli (1997)

O autor avaliou e desenvolveu a pesquisa no Campo Experimental da UNESP de Bauru em solos de profundidade variável de 1 até 4 metros, verificando o grau de colapso de um solo residual laterítico inundando o solo com líquidos de diferentes composições químicas. O autor executou vários experimentos com o solo de Bauru, a fim de verificar a colapsividade do solo quando é exposto a líquidos de diferentes composições químicas. Por meio do sistema de microscopia eletrônica de varredura e de transmissão o autor constatou que o solo do local de realização dos estudos, até uma profundidade de 4 metros, é um solo de compactação fofa e que de acordo com Ferreira (1998) é uma particularidade de solos colapsíveis. por meio do critério baseado em

indicadores físicos, limite de Atterberg, critério de Vargas e experimentos de teste de carga para verificar e avaliar a colapsividade do solo.

Por meio de testes característicos, Agnelli (1997) obteve os mesmos resultados da pesquisa anteriormente feita, em 1992, comprovando que o solo do local é composto por areia fina argilosa. Pôde-se analisar também que a estrutura desse tipo de solo é macroporosa e de baixa saturação, que são as principais características dos solos colapsáveis. A Figura 2 mostra que esse tipo de solo quando com baixa saturação apresenta uma sucção entre suas partículas, o que pode ser chamado de falsa resistência ou resistência temporária, que, após sofrer uma inundação, essa sucção se desfaz e o solo perde sua resistência, fazendo com que as partículas sólidas se desloquem umas em relação às demais, reduzindo o volume, o que acaba caracterizando esse fenômeno chamado colapso.

Figura 2 – Estrutura de solo colapsível antes e depois da imundação proposta por Casagrande, 1932.



Fonte: Agnelli (1997)

3.2. Maximino

Maximino (2015) realizou levantamento de solo próximo à rodovia João Baptista Cabral Rennó e Avenida José Vicente Aiello em Bauru (SP), realizou testes de laboratório e utilizou alguns critérios para avaliar o abatimento para destacar a potencialidade colapsível do solo local. O autor utilizou, ainda, um relatório de sondagem à percussão, padrão (SPT) fornecido pela empresa M.S. Tecnologia e Consultoria LTDA, podendo observar que o local é constituído por um solo predominantemente arenoso. O relatório mostra que o solo abaixo de

3,50 metros é identificado como pouco siltoso, marrom claro com textura fofa. A identificação de 3,50 metros a 10,45 metros só muda de claro para vermelho e sua compactidade de fofo para moderadamente compacto.

3.3. FERREIRA

Ferreira (1998, p. 27) realizou ensaios de carga de compressão no Campo Experimental de Fundações da UNESP em Bauru (SP), sendo que alguns dos solos de ensaio foram submersos para verificar o efeito do abatimento. Para a investigação do subsolo, foram realizados levantamentos simples, infiltração contínua, abertura de poços de inspeção e coleta de amostras. Os resultados das perfurações mostraram que o solo apresenta resíduos de arenito, e o SPT de uma camada de areia argilosa fina aumentou a partir de 12 metros até atingir uma camada impenetrável. (FERREIRA 1998) também concluiu que a inundação anterior do solo causou uma perda de 90,5% do atrito lateral em estacas de 4 metros, indicando que fundações de estacas curtas não são recomendadas para esta categoria de solo.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Mediante essa pesquisa bibliográfica pôde-se observar que os três autores chegaram ao entendimento de que o solo de Bauru é classificado como areia argilosa fina, de consistência fofa nos primeiros metros, até aproximadamente os 4 metros de profundidade, aumentando a compactidade a partir dessa cota, e apresenta características de colapsividade. Devido ao umedecimento e saturação final do solo, o colapso se faz presente, pois ocorre quebra da sucção e efeitos microestruturais (redução de poros, fratura de pontes de argila e rearranjo de partículas). Ocorre também uma dispersão de argila inicialmente floculada, bem como remoção de cimentação natural pela presença de óxido de ferro e carbonato. Ocorre, também, uma lixiviação de pó fino, para camadas mais profundas. A partir das pesquisas discutidas, pode-se afirmar a importância de estudar o solo que suporta uma determinada carga, identificando a camada de solo que será carregada, a classificação do solo e sua relação com a carga de toda a estrutura. É importante também considerar os fatores externos

do próprio edifício, se há possibilidade de infiltrações de água sob a fundação, que, para esse tipo de solo, potencialmente colapsável, pode se tornar um grave problema. Para isso, é necessário usar testes no local e em laboratório para obter resultados mais significativos. A falta desta análise pode afetar gravemente a estrutura do edifício, por meio de patologias que comprometem a resistência da estrutura e a segurança do usuário, o que pode causar o colapso da estrutura no futuro.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelos resultados obtidos, pode-se concluir que o solo de Bauru (SP) é composto por argila fina com pouco silte, apresentando uma estrutura macroporosa e baixa saturação, que são as principais características do solo colapsável. O autor da consulta comprovou que o solo nesta área apresenta comportamento colapsável, mas devido a algumas diferenças nos resultados apresentados pelos três autores, cujos trabalhos foram analisados na presente pesquisa, pode-se afirmar que o grau de colapso pode ser diferente para cada local de levantamento, ainda que seja em uma mesma cidade.

6. REFERÊNCIAS

AGNELLI, N. (1997): **Comportamento de um solo colapsável inundado com líquidos de diferentes composições químicas, tese de doutorado**, Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 205p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6484**. Solo — Sondagem de simples reconhecimento com SPT — Método de ensaio Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

CINTRA JOSÉ CARLOS, AOKI NELSON (2009) **Projetos De Fundação Em Solos Colapsáveis**. Escola de Engenharia de São Carlos – USP.

FERREIRA, C. V. **Efeito da inundação do solo no comportamento de estacas moldadas in loco, instrumentadas, em campo experimental de Bauru-SP. 1998**. 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil: Geotecnia) – Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-26032018-111104/pt-br.php>>. Acesso em: 15 ago. 2021.

FERREIRA, S. R. M. **Solos colapsíveis e expansivos**. Pernambuco: Solos não saturados. <Capitulo-15-Livro-Solos-Nao-Saturados.pdf (researchgate.net)> Acesso em: 16 de Set. 2021.

FRANCISCO SERGIO BERNARDES LADEIRA. **Solos do passado: origem e identificação**. 2010. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/21778>> Acesso em: 21. mar. 2019.

ISABELA CRISTINA DA SILVEIRA. **Identificação de Danos Estruturais a partir de um Modelo de Superfície de Resposta**. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S2179-84512016000300267&script=sci_arttext> Acesso em: 20. mar. 2019.

KANASHIRO, M. **Pesquisa elabora primeira carta brasileira de risco**. São Paulo: Ciência e Cultura, 2003. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252003000300009>. Acesso em: 19 de março de 2020.

MARIA DENISE MONACCI. **Estudo da colapsividade de um solo do campo experimental da faculdade de engenharia agrícola**. 1995. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257412/1/Monacci_MariaDenise_M.pdf> Acesso em: 17. mar. 2019.

MAXIMINO, M. C. **Avaliação do grau de colapsividade de amostras do solo de Bauru, mediante o emprego de índices físicos e limites de Atterberg**. 2015. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade do Sagrado Coração, Bauru, 2015.

ROGER AUGUSTO RODRIGUES. **A influência do esgoto doméstico como fluido de saturação no colapso de um solo arenoso**. 2003. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/90741>> Acesso em: 25. mar. 2019.

ANEXOS

ANEXO 1 - CARTA DE DISPENSA DE APRESENTAÇÃO AO CEP OU CEUA

À

COORDENADORIA DO PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO UNISAGRADO

Informo que não é necessária a submissão do projeto de pesquisa intitulado

VERIFICAÇÃO E ANÁLISE DO POTENCIAL DE COLAPSIVIDADE DO SOLO DE BAURU, ao Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CEP) ou à Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) devido ao fato que referida pesquisa será feita somente em amostras de solo, coletadas na cidade de Bauru, SP, e com essas amostras serão feitos ensaios laboratoriais pelo próprio aluno que ora pleiteia a presente Iniciação Científica.