

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

RAFAEL EUDE SOUZA FERREIRA

RAPHAEL BATISTA DE OLIVEIRA

**INVESTIGAÇÃO DE COLAPSO EM SOLO: COMPARATIVO
DE DOIS ESTUDOS DE SOLO REALIZADOS NA CIDADE DE
ANÁPOLIS-GO (2018)**

ANÁPOLIS / GO

2020

RAFAEL EUDE SOUZA FERREIRA
RAPHAEL BATISTA DE OLIVEIRA

**INVESTIGAÇÃO DE COLAPSO EM SOLO: COMPARATIVO
DE DOIS ESTUDOS DE SOLO REALIZADOS NA CIDADE DE
ANÁPOLIS GO.**

**ORIENTADOR: RODOLFO RODRIGUES DE SOUSA
BORGES**

ANÁPOLIS / GO

2020

FICHA CATALOGRÁFICA

FERREIRA, RAFAEL EUDE SOUZA /OLIVEIRA, RAPHAEL BATISTA DE
Investigação de colapso em solo: Comparativo de dois estudos de solo realizados na cidade
de Anápolis GO.

50P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2020).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Solo	2. Colapso
3. Recalque	4. Investigação
I. ENC/UNI	II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FERREIRA, Rafael Eude Souza; OLIVEIRA, Raphael Batista de. Investigação de colapso em solo: Comparativo de dois estudos de solo realizados na cidade de Anápolis GO. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 50p. 2019.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Rafael Eude Souza Ferreira

Raphael Batista de Oliveira

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

Investigação de colapso em solo: Comparativo de dois estudos de solo realizados na cidade de Anápolis GO.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2020

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Rafael Eude Souza Ferreira

E-mail: euderafael@gmail.com

Raphael Batista De Oliveira

E-mail: raphael.olivera97@hotmail.com

**RAFAEL EUDE SOUZA FERREIRA
RAPHAEL BATISTA DE OLIVEIRA**

**INVESTIGAÇÃO DE COLAPSO EM SOLO: COMPARATIVO
DE DOIS ESTUDOS DE SOLO REALIZADOS NA CIDADE DE
ANÁPOLIS GO.**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

APROVADO POR:

**RODOLFO RODRIGUES DE SOUSA BORGES, (UniEvangélica)
(ORIENTADOR)**

**NOME DO MEMBRO DA BANCA, titulação (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**NOME DO MEMBRO DA BANCA, titulação (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 22 de MAIO de 2020

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho em primeiro lugar a Deus, que me deu saúde e forças para superar todos os momentos difíceis a que eu me deparei ao longo da minha graduação, ao meu pai e minha mãe, por serem essenciais na minha vida e a toda minha família e amigos por me incentivarem a ser uma pessoa melhor e não desistir dos meus sonhos.

Rafael Eude Souza Ferreira

AGRADECIMENTOS

É chegado o fim um ciclo de muitas risadas, choro, felicidade e frustrações. Sendo assim, dedico este trabalho a todos que fizeram parte desta etapa da minha vida. Agradeço a Deus por ter iluminado o meu caminho, aos meus pais e padrasto por terem propiciado a realização deste sonho, aos meus professores por todo o ensinamento e a todos os meus amigos que me apoiaram nos momentos mais difíceis.

Raphael Batista de Oliveira

RESUMO

Embora a construção civil tenha passado por diversos avanços ao longo dos anos, ainda existem construções que não fazem previamente um estudo de solo para identificar as propriedades, características e perfil do solo, tendo-se em mente que cada solo possui suas particularidades convencionando-o a um determinado tipo de uso. Ao se construir em solo não conhecido é possível que ocorram sérios problemas na fundação e que conseqüentemente venham afetar criticamente a estrutura. Visto que o colapso de solo é um problema recorrente na construção civil e que pode se agravar pela falta de estudo adequado, este trabalho tem como objetivo desenvolver um estudo de colapso em solo através do comparativo entre dois estudos realizadas na cidade de Anápolis GO; Elaborar a revisão bibliográfica, apresentando os principais conceitos, características, causas e conseqüências dos solos colapsáveis; Fazer o comparativo entre dois estudos realizadas na cidade de Anápolis; Determinar dentre os solos analisados qual solo apresenta mais características colapsáveis e por fim, a partir da determinação do solo mais colapsável, apresentar quais medidas de contenção foram tomadas desde a publicação do estudo. Para tal, será utilizado o método comparativo, que visa levantar as semelhanças e diferenças sobre o assunto. Logo, para oferecer a base teórica necessária para a realização do trabalho em questão, foi realizada inicialmente uma pesquisa bibliográfica onde posteriormente a apresentação da análise e interpretação dos dados coletados foi transcrito em forma de relatório, tabelas e imagens. Através do comparativo, observou-se que a Vila Formosa apresentou mais características colapsáveis, e a partir desse resultado foi apresentada uma obra de recuperação feita no local.

Palavras-Chave: Colapso. Recalque. Solo. Comparativo.

ABSTRACT

Although civil construction has undergone several advances over the years, there are still constructions that do not carry out a study of the soil to identify the properties, characteristics and profile of the soil, bearing in mind that each soil has its particularities, agreeing on it. a certain type of use. When building on unfamiliar soil, it is possible that serious problems will occur in the foundation and that consequently will critically affect the structure. Since the collapse of soil is a recurring problem in civil construction and can be aggravated by the lack of adequate study, this work aims to develop a study of collapse in soil through the comparison between two studies carried out in the city of Anápolis GO; Prepare the bibliographic review, presenting the main concepts, characteristics, causes and consequences of collapsible soils; Make a comparison between two studies carried out in the city of Anápolis; Determine among the soils analyzed which soil has the most collapsible characteristics and, finally, from the determination of the most collapsible soil, present which containment measures have been taken since the publication of the study. For this, the comparative method will be used, which aims to raise the similarities and differences on the subject. Therefore, in order to offer the necessary theoretical basis for carrying out the work in question, a bibliographic research was initially carried out, where later the presentation of the analysis and interpretation of the collected data was transcribed in the form of a report, tables and images. Through the comparison, it was observed that Vila Formosa presented more collapsible characteristics, and from that result, a recovery work done on site was presented..

Keywords: Collapse. Repression. Ground. Comparative

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Comportamento de um solo antes e depois do colapso.	19
Figura 02 - Solos colapsíveis estudados no Brasil	20
Figura 03 - Curva de deformação do solo em colapso – Ensaio edométrico simples	27
Figura 04 - Curva de deformação do solo em colapso – Ensaio edométrico duplo	28
Figura 05 - Formação de trincas causadas por colapso no solo	31
Figura 06 – Trinca na laje por colapso no solo.....	32
Figura 07 - Local do estudo 01	36
Figura 08 – Local do estudo 01	36
Figura 09 – Movimentação de Terra: Rua Leopoldo de Bulhões.....	38
Figura 10 – Erosão: Avenida Federal	38
Figura 11 – Galeria de águas pluviais danificada na Vila Formosa.	39
Figura 12 - Local do estudo 02.....	40
Figura 13 – Local do estudo 02	40
Figura 14 – Local da erosão após a obra.	46
Figura 15 – Gabião: Vila Formosa	46

LISTA DE TABELA

Tabela 01 - Métodos indiretos e diretos de Identificação de solos colapsíveis.....	23
Tabela 02 - Critérios de identificação de solos colapsíveis.....	24
Tabela 03 - Valores de NSPT para alguns perfis de solos colapsíveis encontrados no Brasil .	25
Tabela 04 - Critérios de identificação de solos colapsíveis por Reznik	26
Tabela 05 – Parâmetros para ocorrência de colapsidade no solo – Ensaio edométrico duplo .	29
Tabela 06 - classificação dos problemas de colapsividade na construção civil.	30
Tabela 7 - Potenciais de colapso do Jardim Promissão	42
Tabela 8 - Tendência de colapso: Jardim Promissão.....	42

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
CP	- Corpo de Prova
NBR	- Norma Brasileira
NR	- Norma Regulamentadora
NT	- Norma Técnica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 JUSTIFICATIVA.....	14
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos.....	14
1.3 METODOLOGIA	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 SOLO	17
2.1.1 Tipos De Solo	17
2.2 COLAPSO	18
2.2.1 Solos colapsíveis.....	19
2.2.1.1 Origem dos solos colapsíveis.....	21
2.2.1.2 Identificação e Classificação dos solos colapsíveis	22
2.2.1.2.1 <i>Metodos indiretos</i>	24
2.2.1.2.2 <i>Metodos diretos</i>	26
2.2.2 Fatores que influenciam o colapso de solo	29
2.2.3 Consequências do colapso na construção civil.....	30
2.2.3.1 Na estrutura da edificação.....	31
2.2.3.2 Na Alvenaria da Edificação	31
2.2.3.3 Nas Fundações da Edificação	32
2.3 TÉCNICAS DE TRATAMENTO E MELHORIA DE SOLOS COLAPSÍVEIS	33
2.3.1 Substituição do Solo	33

2.3.2	Pré-inundação	33
2.3.3	Inundação controlada	33
2.3.4	Compactação controlada	34
2.3.5	Estabilização química.....	34
2.3.6	Tratamento térmico	34
3	CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO: Amostragem e ensaios de cada estudo.....	35
3.1	ESTUDO 01	35
3.1.1	Metodologia utilizada.....	37
3.1.2	Características do solo	37
3.1.3	Resultados obtidos no estudo.....	37
3.2	ESTUDO 02	39
3.2.1	Metodologia utilizada.....	41
3.2.2	Características do solo	41
3.2.3	Resultados obtidos no estudo.....	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
4.1	RECUPERAÇÃO DAS ÁREAS DEGRADADAS DA VILA FORMOSA	45
5	Conclusão.....	47
	REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

O breve desenvolvimento econômico vivido pelo país nas últimas décadas, antes do retrocesso atual, teve um salto na construção civil, exigindo assim, uma grande demanda de obras.

Porém, nota-se acontecimento de diversos casos de problemas nas estruturas das construções, e surge a necessidade de estudos voltados a analisar essas patologias.

O conhecimento das causas que provocam as patologias nas construções é a conscientização de que medidas preventivas na fase de projeto e cuidados na execução não tiveram a devida atenção. Para Consoli (2005), a ausência de investigação de subsolo é prática inaceitável, pois pode ocorrer uma patologia na estrutura, por falta de uma investigação no solo, como por exemplo um colapso de solo.

Uma das patologias mais significativas é o recalque diferencial. O recalque ou assentamento é o termo utilizado em engenharia civil para caracterizar o fenômeno que ocorre quando uma edificação sofre um rebaixamento devido ao adensamento do solo sob sua fundação (CONSOLI, 2005).

Há solos colapsíveis que, ao serem inundados, entram em colapso apenas pelo próprio peso da camada. Em outros, o colapso está associado a uma sobrecarga, isto é, o mesmo só ocorre se for atingida uma carga limite ou crítica. Mais frequentemente, o fenômeno ocorre por uma combinação do efeito da sobrecarga e do acréscimo ocasional do grau de saturação (NETO, 2004).

Todos os tipos de solos, quando submetidos a um carregamento, sofrem recalques, em maior ou menor grau, dependendo das propriedades de cada solo e da intensidade do carregamento. Os recalques geralmente tendem a cessar ou estabilizar após certo período de tempo, mais ou menos prolongado, e que depende das características geotécnicas dos solos (CONSOLI, 2005).

Nas obras civis, o colapso no solo se manifesta com o surgimento de trincas e rachaduras nas construções, rupturas de aterros, deslizamentos de taludes e de túneis, danos estruturais em pavimentos, deformações excessivas de maciços compactados durante enchimentos de reservatórios, colapso nas fundações e outros.

O Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) em questão visa fazer um estudo comparativo entre duas análises de solo realizadas em dois lugares distintos na cidade de Anápolis GO. Com o intuito de apresentar qual solo apresenta mais características colapsíveis.

1.1 JUSTIFICATIVA

No Brasil, clima predominantemente tropical, a predisposição ao desenvolvimento de solos colapsíveis ocorre devido a constante alteração climática do país onde em alguns momentos solo muito seco pela escassez de chuva, ou até mesmo por períodos, existindo um excesso de água devido as chuvas (NETO, 2004).

Dentre as consequências mais comuns decorrentes do colapso do solo é caracterizada a danificação de edificações, visto que a maior parte das edificações não conta com estruturas de fundação adequadas a solos colapsíveis (NETO, 2004).

Logo, o conhecimento e identificação de processos de colapso de solos e das condições que os potencializam pode proporcionar uma melhor adequação das obras de engenharia a esta realidade.

O desenvolvimento deste trabalho trata da conscientização e importancia de se prevenir danos estruturais, devido ao recalque do solo, que podem trazer futuras patologias na estrutura e prejuízos diversos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver um estudo comparativo sobre colapso de solo realizadas na cidade de Anápolis feitos a partir da pesquisa de campo e análise de dados em laboratório e amostragem do solo.

1.2.2 Objetivos específicos

- Elaborar a revisão bibliográfica, apresentando os principais conceitos, características, causas e consequências do colapso nos solos;
- Fazer o comparativo entre dois estudos já realizados na cidade de Anápolis;
- Determinar dentre os solos analisados qual solo apresenta mais características colapsíveis.

- A partir da determinação do solo mais colapsível, apresentar quais medidas de contenção foram tomadas desde a publicação do estudo no ano de 2018.

1.3 METODOLOGIA

O Trabalho de Conclusão de Curso foi realizado através de pesquisa bibliográfica, onde buscou-se explicações dos acontecimentos através de suas semelhanças e diferenças.

Segundo Vidal (2013) o método comparativo é uma ciência que permite deslindar as semelhanças e diferenças de indivíduos, classes, fenômenos ou fatos, com vistas a ressaltar as diferenças e as similaridades entre eles, logo, esse estudo pode servir para o conhecimento e a aprendizagem mútua de experiências, tal como mostram estudos e seminários. Através desse método foram coletadas e posteriormente analisadas as informações de dois estudos de análises de solo feitos na cidade de Anápolis GO no ano de 2018.

Para oferecer a base teórica necessária para a realização do trabalho em questão, foi realizada inicialmente uma pesquisa bibliográfica, segundo Tybel (2017) essa pesquisa tem o intuito de levantar um conhecimento disponível sobre teorias, a fim de analisar, produzir ou explicar um objeto sendo investigado. Ora, foi realizado o levantamento de todo o material didático necessário para a aplicação da pesquisa assim como o levantamento complementar de informações através da internet.

Para a apresentação da análise e interpretação dos dados coletados foi feito um levantamento das informações obtidas nos estudos juntamente com o material teórico reunido foi realizado uma comparação dos solos na região norte da cidade no Jardim Promissão e Vila Formosa em Anápolis-GO e posteriormente levantado dentre os solos analisados qual solo apresenta mais características colapsáveis, na região da Vila Formosa já existia uma erosão, e no bairro Jardim Promissão foi feito um estudo de caso onde foi constatado que não existe grave risco de colapso.

Por fim, essas informações foram analisadas e o resultado dos dados coletados foi transcrito em forma de relatório, tabelas e imagens.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para uma melhor estruturação e apresentação da proposta do estudo, este trabalho está organizado em cinco capítulos.

- Capítulo 1 – Introdução: apresenta a introdução do estudo, evidenciando os objetivos propostos, justificativa e metodologia utilizada para a elaboração do TCC.
- Capítulo 2 – Revisão bibliográfica: apresenta a revisão bibliográfica, onde foi realizado o levantamento do material teórico necessário para o estudo.
- Capítulo 3 – Caracterização do Estudo: Amostragem e ensaios de cada estudo: apresenta as principais informações dos estudos realizados e que servirão de base para o comparativo proposto.
- Capítulo 4 – Resultados e Discussões: apresenta os resultados obtidos através do comparativo entre os dois estudos de colapso de solo, assim como as sugestões propostas para trabalhos futuros.
- Capítulo 5 – Conclusão: apresenta as conclusões obtidas através do estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SOLO

O Solo é a camada exterior da crosta terrestre. De acordo com a NBR 7250 - Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos (ABNT, 2001) o solo é um material proveniente da decomposição das rochas pela ação de agentes físicos ou químicos, podendo ou não conter matéria orgânica. Na construção civil o solo é a camada que dá sustentação das estruturas em geral, uma vez que, a fundação é o alicerce para qualquer obra, e determina características fundamentais do projeto em função de seu perfil e características.

O solo, como se conhece hoje, é resultado da decomposição das rochas por ação dos agentes físicos, químicos ou biológicos como temperatura, água, clima, organismos vivos, relevo, tipo de rocha e o tempo. Devido esses fatores, pode-se considerar o solo como um sistema dinâmico que se desenvolve e se modifica de acordo com o ambiente em que está inserido (PINTO, 2006).

Segundo Pinto (2006) Todos os solos originam-se da decomposição das rochas que constituíam inicialmente a crosta terrestre, essa decomposição é decorrente de agentes físicos e químicos, a partir daí, variações de temperatura provocam trincas, nas quais penetra a água, atacando quimicamente os minerais.

2.1.1 Tipos De Solo

Uma vez que o solo é um sistema que está constantemente sob ação de matéria e energia, juntamente com a ação conjunta de demais fatores como temperatura, água, clima, organismos vivos, relevo, tipo de rocha e o tempo, conforme mencionado, originam-se diversos tipos de solo (PINTO, 2006).

Nesse contexto, é importante ter em mente que os tipos de solo podem ser classificados considerando-se suas limitações como por exemplo, um solo para construção ou para fundações pode ser totalmente inapropriado para pavimentação, uma vez que, possuem características e propriedades distintas (PINTO, 2006). Entretanto, no geral são encontrados 3 tipos principais de solo:

a) Solos Arenosos

Os solos arenosos são compostos predominantemente por areia, seguida de grãos visíveis a olho nu podendo ser grossos, médios e finos. Esse tipo de solo retém pouca água devido seu grande índice de vazios, que é expresso como um número, ou seja é uma grandeza adimensional e portanto não possui unidade e é definido como o volume dos poros dividido pelo volume ocupado pelas partículas sólidas de uma amostra de solo facilitam o escoamento da água, além disso normalmente o solo arenoso é pobre em nutrientes. Devido ser um solo que não possui um grande índice de coesão, o solo arenoso o requer fundações profundas com estacas, geralmente de aço ou concreto armado, para proporcionar a segurança da estrutura (CAPUTO, 2012).

b) Solos Argilosos

Os solos argilosos são compostos por grãos pequenos e compactos e contém e alta impermeabilidade. Devido o tamanho dos grãos das argilas esse tipo de solo é facilmente moldado com água, logo apresenta dificuldade de desagregação e apresenta grande quantidade de nutrientes. É ideal para taludes com ângulos na vertical (CAPUTO, 2012).

c) Solos Siltosos

O solo siltoso é um solo intermediário entre os solos arenoso e argiloso, possuindo pouca coerência e se transforma em lama facilmente em contato com a água. O usual é se utilizar de estacas mais profundas para a fundação nesses tipos de solo (CAPUTO, 2012).

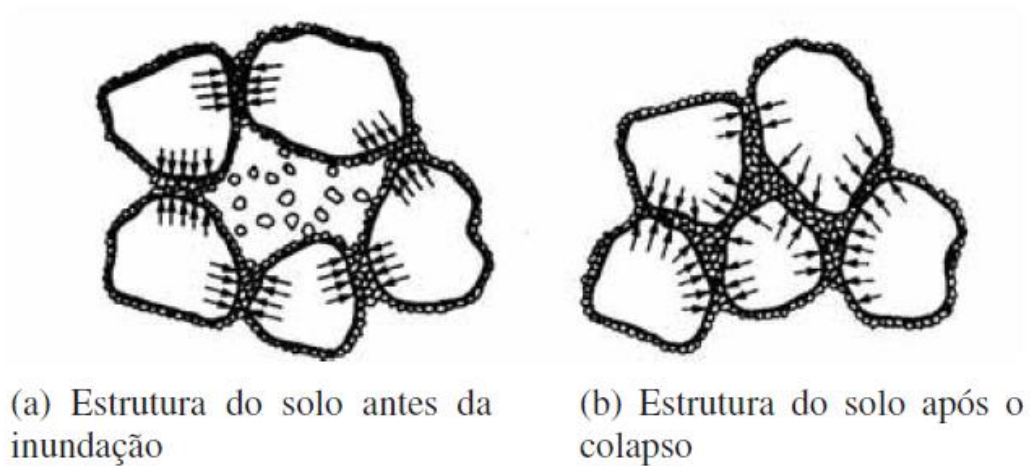
2.2 COLAPSO

Segundo Neto (2004) o colapso é o termo utilizado para os recalques adicionais de uma fundação devido ao umedecimento de um solo não saturado, normalmente sem aumento nas tensões aplicadas. De acordo com Lollo (2008) o fenômeno do colapso está relacionado à perda de resistência do solo não saturado e pode ocorrer em função da perda dos vínculos que mantinham as partículas sólidas unidas ou pela destruição dos efeitos capilares.

Um solo não saturado é aquele onde os seus poros não estão totalmente preenchidos com água, logo, o colapso trata-se da diminuição da resistência desse solo causado ao pela

separação das ligações que mantinham as partículas sólidas, os poros, unidas gerando assim o recalque. Os solos não saturados sujeitos a este fenômeno são denominados de Solos Colapsíveis. A Figura 01 ilustra o comportamento de um solo antes e depois do colapso.

Figura 01 - Comportamento de um solo antes e depois do colapso.



Fonte: Neto (2004)

Ainda para Lollo (2008) as condições nas quais o colapso ocorre podem levar a crer que variados tipos de solos podem estar sujeitos ao ocorrido, no entanto algumas condições próprias de ocorrência do processo e características básicas dos solos colapsível devem ser satisfeitas para que o colapso ocorra.

2.2.1 Solos colapsíveis

Um solo colapsível é o resultado de um solo que foi sujeito ao fenômeno do colapso, ou seja, são solos que tendem a perder a resistência sofrendo significativa redução de volume quando umedecidos. É importante ter em mente que esse tipo de fenômeno ocorre com ou sem aplicação de carga adicional. De acordo com Lollo (2008, p.59):

Quando determinados solos experimentam aumento da quantidade de água em seus vazios ou são umedecidos após aplicação de sobrecargas, estes podem sofrer uma redução de volume expressa por uma variação do índice de vazios sem que necessariamente tenha havido aumento das cargas aplicadas.

A ocorrência desse tipo de solo ocorre em locais com deficiência hídrica, em regiões de baixos níveis de precipitações pluviométricas sendo mais comum em regiões de clima quente

pois depende dos fatores climáticos regionais e do ambiente geológico, contudo, embora tem havido a constatação desses tipos de solos em regiões onde são registradas uma maior pluviosidade, ou seja, uma considerável quantidade de chuva durante determinado espaço de tempo.

Os solos colapsíveis podem ser encontrados em diversos países como, Argentina, Africa do Sul, Estados Unidos, dentre outros (LOLLO, 2008). No Brasil, esses solos têm sido encontrados em diversas regiões do país, conforme mostra a Figura 02.

Figura 02 - Solos colapsíveis estudados no Brasil



Fonte: Lollo (2008)

Esses solos são representados principalmente por aterros mal compactados e por depósitos aluviais, coluviais e residuais muito lixiviados, ou seja sujeitos ao processo erosivo

ocasionado a partir da lavagem da camada superficial do solo pelo escoamento das águas (LOLLO, 2008).

2.2.1.1 Origem dos solos colapsíveis

A origem dos solos colapsíveis esta intimamente ligada a sua formação geologica, logo, a formação desses solos dependem da ocorrência de alguns fatores, conforme citado anteriormente deficiência hídrica, regiões de baixos níveis de chuva, regiões de clima quente, ademais existem também outras variantes que fazem influenciam esse fenômeno como os compostos ligantes, o intemperismo, a rocha de origem e o processo de formação. Os principais processos de formação dos solos colapsíveis são, de acordo com Lollo (2008):

a) Aterro Compactado

A compactação de um aterro visa a reduzir o volume dos vazios do um solo de tal sorte que a permeabilidade seja diminuída e a resistência e estabilidade sejam aumentados. Entretanto, quando é realizado um aterro sem os devidos cuidados com a compactação pode ocorrer uma alta compressibilidade e permeabilidade, facilitando assim, a infiltração d'água devido à estrutura porosa e conseqüentemente aumentando a possibilidade de ocorrências de recalques caracterizado pelo o colapso no terreno o processo de colapso (NETO, 2004).

b) Depósitos de Origem Eólica

Os depósitos de origem eólica são caracterizados por solos formados por grãos de areia e silte, essas propriedades resultam em perfis de solos pouco coesivos, com elevada porosidade e de boa drenagem. Na ausência de chuvas o solo apresenta uma resistência temporária devido a evaporação dos fluidos e cimentação dos grãos, entretanto, quando em contato com a água o terreno apresenta comportamento colapsível Neto (2004) .

c) Depósitos de Origem Aluvial

Os depósitos de origem aluvial são Depósitos de materiais transportados pela ação da água, o perfil desse solo é caracterizado por por apresentar com elevada porosidade, baixa massa específica e considerável teor de argila, logo, devido a essas características o solo tende a ser colapsível (NETO, 2004).

d) Perfis de Solos Residuais

Os solos residuais são derivados intemperismo da rocha, caracterizados por não serem transportados de seu local original, tais perfis podem apresentar grãos de tamanho variado, inclusive argila. Esse tipo de solo está sujeito ao colapso devido a lixiviação das camadas mais superficiais gerando camadas superiores mais porosas e instáveis e camadas subjacentes tornam-se mais duras (NETO, 2004).

2.2.1.2 Identificação e Classificação dos solos colapsíveis

O colapso acarreta diversos problemas para a construção, esse assunto será abordado com melhor detalhe na seção 2.2.3 - Consequências do colapso na construção civil, isso faz com que a identificação da potencialidade de colapso de um solo seja uma das etapas que o projetista deve levar em consideração na hora de construir, fazendo com que o estudo dos solos colapsíveis seja necessário.

Tendo em vista que os solos colapsíveis são caracterizados por solos não saturados e portanto não encontram na natureza na condição saturada, condição em que seus vazios são totalmente preenchidos pela água, suas propriedades mecânicas como permeabilidade, variação de volume e resistência ao cisalhamento possuem características distintas dos demais solos. Segundo Lollo (2008, p. 95) “ caracterização das propriedades mecânicas dos solos não saturados partiu dos princípios básicos estabelecidos na mecânica dos solos clássica.”

Segundo Neto (2004) os sistemas de classificação dos solos colapsíveis convencionalmente usados em mecânica dos solos são todos baseados na granulometria e nas suas propriedades, entretanto, ainda assim a previsão do comportamento colapsível de um solo é limitada. Essa limitação se dá devido a complexidade do comportamento colapsível em nível microestrutural, ainda assim, diversos autores tem apresentado métodos de ensaio para estudar esse fenômeno.

Para tal, os métodos podem ser classificados em dois grupos, a saber: métodos diretos baseados na análise real das tensões e verificação de recalques e métodos indiretos que são baseados em ensaios simples de campo ou de laboratório. Os métodos diretos por sua vez, apresentam uma maior representatividade quando comparados aos indiretos uma vez que,

possibilitam ao considerar as tensões atuantes podem quantificar o potencial de colapso de qualquer tipo de solo (SOUZA NETO, 2012). A Tabela 01 resume alguns desses métodos.

Tabela 01 - Métodos indiretos e diretos de Identificação de solos colapsíveis

MÉTODOS	SUB-DIVISÕES	BASE PARA DEFINIÇÃO DO CRITÉRIO	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS
INDIRETO	IDENTIFICATIVOS	Microscopia eletrônica de varredura	COLLINS e McGOWN (1974), WOLLE et al. (1978)
	ORIENTATIVOS	Pedologia	FERREIRA (1990) e FERREIRA (1993),
		Ensaio expedito	ARMAN e THORNTON (1972) JENNINGS e KNIGHT (1975)
INDIRETO	QUALITATIVOS	Índices físicos	DENISOV (1951), PRIKLONSKIJ (1952), GIBBS e BARA (1962 e 1967), FEDA (1966), KASSIF e HENKIN (1967), DESIGN OF SMALL DAMS (1960 e 1974) ² , CÓDIGO DE OBRAS DA URSS (1977)
		Ensaio de campo – cone	CÓDIGO DE OBRAS ³
		Ensaio SPT-T	URSS (1977), DÉCOURT e QUARESMA FILHO (1994)
DIRETO	AVALIATIVOS	Ensaio edométrico duplos	REGINATTO e FERRERO (1973)
	QUANTITATIVOS	Ensaio edométrico simples	BALLY et al. (1973), JENNINGS e KNIGHT (1975), VARGAS (1978), LUTENEGGER e SABER (1988) FERREIRA e LACERDA (1993).
		Ensaio de campo	

Fonte: Neto, 2004 (Adaptado)

Para efeito do estudo serão citados abaixo alguns dos principais métodos de identificação e caracterização dos solos colapsíveis.

2.2.1.2.1 Métodos indiretos

Os métodos indiretos utilizam como informação os índices físicos e limites de consistência, ou parâmetros ligados à textura de simples obtenção em ensaios de laboratório e de campo, para identificar a potencialidade do colapso. Os Métodos indiretos são subdivididos ainda em dois grupos, os baseados em ensaio de laboratório e os baseados em ensaios de campo.

Segundo Neto (2004) os métodos indiretos baseados em ensaios de laboratório, buscam relacionar o índice de vazios (e_l) na umidade equivale ao limite de liquidez (w_l) com o índice de vazios inicial do solo (e_o), ou utilizam o índice de consistência. Outros relacionam características granulométricas do solo, diretamente ou associadas a outros índices físicos do solo, para avaliar a susceptibilidade ao colapso do solo. A Tabela 02 resume alguns desses métodos.

Tabela 02 - Critérios de identificação de solos colapsíveis

(Continua)

REFERÊNCIA	EXPRESSÃO	LIMITES
Denisov (1951) citado por Reginato (1970)	$K = \frac{e_l}{e_o}$	0,5 < K < 0,75 – altamente colapsível, K = 1 – não colapsível e 1,5 < K < 2 não colapsível
Feda (1966)	$KI = \frac{\left(\frac{w_o}{S_o}\right) - w_p}{w_l - w_p}$	O resultado expressa a colapsibilidade. $S_o > 80\%$. $KI > 0,85$ são colapsíveis
Código de obras da URSS (1962), citado por Reginatto (1970)	$I = \frac{e_o - e_l}{1 + e_o}$	$I < -0,1$ – o solo é colapsível
Priklonskij (1952) citado por Feda (1966)	$Kd = \frac{w_l - w_o}{w_l - w_p}$	$Kd < 0$ – altamente colapsível, $Kd > 0,5$ – colapsível e $Kd > 1$ - expansivo
Gibbs e Bara (1962)	$R = \frac{w_{sat}}{w_l}$	$R > 1$ - colapsível
Kassif e Henkin (1967)	$K = g_d \cdot w$	$K < 15$ - colapsível
Jennings e Knight (1975)	Cascalho fino	$S_r < 6\%$ – colapsível $S_r > 10\%$ – não colapsível
	Areia fina	$S_r < 50\%$ – colapsível $S_r > 60\%$ – não colapsível
	Silte argiloso	$S_r < 90\%$ – colapsível $S_r > 95\%$ - não colapsível

Tabela 02 - Critérios de identificação de solos colapsíveis

(Continuação)

Código de obras da URSS (1977) citado por Resnik (1989)	$CI = \frac{e_o - e_l}{1 + e_o}$ $S_r < 80\%$	Ocorre colapso para: $1\% \leq w_p \leq 10\%$, $CI < 0,1$ $10\% \leq w_p \leq 14\%$, $CI < 0,17$ $14\% \leq w_p \leq 22\%$, $CI < 0,24$
Handy (1973) citado por Lutenegeger e Saber (1988)	Teor de finos (<0,002 mm) < 16%	Alta probabilidade de colapso
	16 a 24%	Provavelmente colapsível
	24 a 32%	Probabilidade de colapso < 50%
	> 32%	Geralmente não colapsível
Basma e Tuncer (1992)	PC (%) = Equação II.12 PC (%) = Equação II.13	O resultado corresponde ao potencial de colapso. A classificação dependerá do critério adotado que se baseie em PC
Futai (2000)	$\ddot{A}e_{cm\acute{a}x}$ ou $PC_{max.}$ = Equação II.14	Critérios baseados em PC

Fonte: Neto, 2004 (Adaptado).

Em relação ao método indireto baseado em ensaios de campo, ainda não existe um critério específico para identificação de solos colapsíveis. Entretanto, alguns autores como Neto (2004) identifica algumas características típicas de solos que apresentam colapso como camadas porosas, não saturadas, variando de solos arenosos a argilosos, apresentando baixos valores de NSPT, caracterizado por $NSPT < 5$. Logo, esses dados podem servir como indicador para a identificação de solos colapsíveis. A Tabela 03 apresenta os valores de NSPT para alguns perfis de solos colapsíveis encontrados no Brasil.

Tabela 03 - Valores de NSPT para alguns perfis de solos colapsíveis encontrados no Brasil

REFERÊNCIA	LOCAL	PROF. (m)	NSPT (Golpes)	SOLO
Carvalho e Souza (1990)	Ilha Solteira -SP	até 10m	3 a 6	SC
Ferreira et al. (1990)	São Paulo	até 5m	< 5	SC
Conciani (1997)	Rondonópolis - MT	até 4m	< 5	SC
Conciani (1997)	Campo Novo – MT	até 10m	1 a 5	CL
Camapum de Carvalho et al. (2001)	Brasília - DF	até 4m	2 a 6	Argiloso
Barbosa e Conciani (2000)	Primavera Leste - MT	até 12m	1 a 8	SM

Fonte: Neto, 2004 (Adaptado).

Além de determinado pelo NSPT, existe um método, baseado na equação 1, onde identificação de solos colapsíveis e obtida baseada em resultados de ensaios de cone (CPT) realizados na umidade natural e na condição inundada Neto (2004). A Tabela 04 mostra os Critérios de identificação de solos colapsíveis.

$$K_w = \frac{P_q}{P_{q_w}} \quad (1)$$

Onde: K_w = coeficiente de colapso;

P_{q_w} = resistência à penetração do cone no solo inundado;

P_q = resistência à penetração do cone no solo na condição natural.

Tabela 04 - Critérios de identificação de solos colapsíveis por Reznik

CARGA APLICADA kPa	SOLO COLAPSÍVEL SE $K_w >$
100	2,0
200	1,5
300	1,3

Fonte: Neto, 2004 (Adaptado).

2.2.1.2.2 *Metodos diretos*

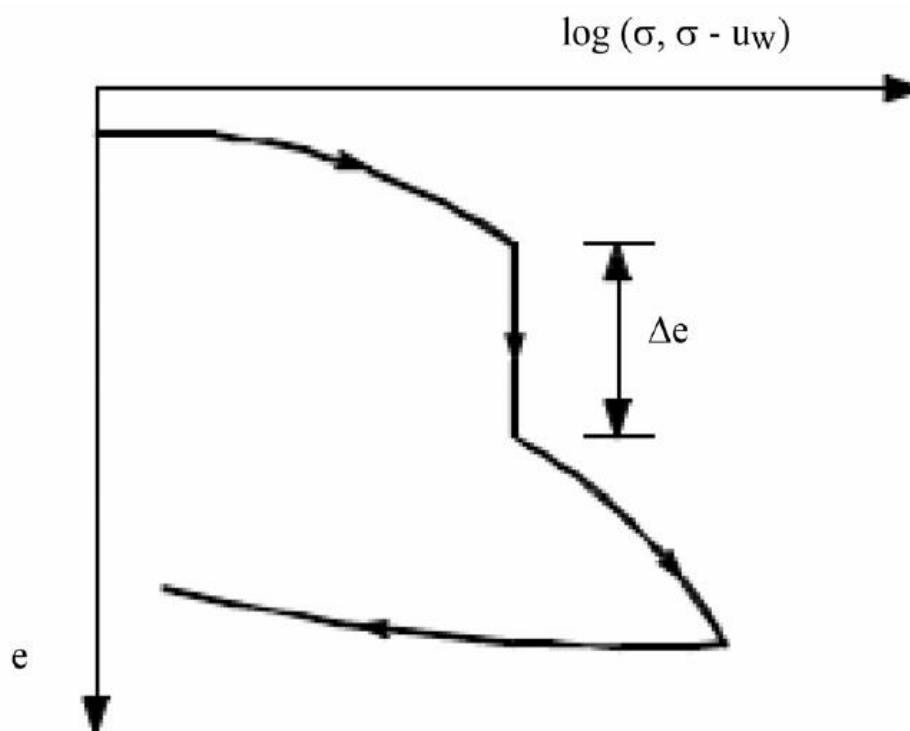
Os métodos diretos para identificação de solos colapsíveis, tem-se utilizado o ensaio edométrico, que é um tipo de ensaio utilizado para medir a resposta do solo a uma dada solicitação leva em consideração as deformações axiais provocadas pelo acréscimo de sobrecargas e pela inundação de corpos-de-prova, esse tipo de ensaio leva em consideração das tensões atuantes para a avaliação da colapsidade do solo (NETO, 2004).

Basicamente o ensaio edométrico consiste na moldagem de corpos de prova que posteriormente são submetidos às sobrecargas.

a) Ensaio edométrico simples

Consiste na moldagem de um corpo de prova (CP) que contém um certo teor de umidade, posteriormente o CP é submetido a uma tensão e posteriormente inundado. A Figura 03 representa a curva de deformação do solo em colapso (NETO, 2004).

Figura 03 - Curva de deformação do solo em colapso – Ensaio edométrico simples



Fonte: Lollo (2008)

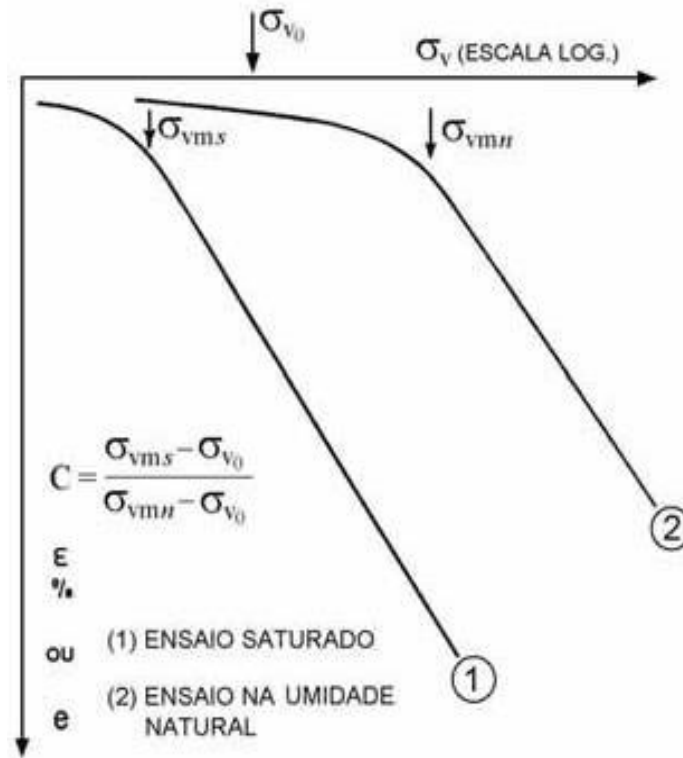
Observa-se que na Figura 03 a curva apresentou uma queda vertical devido ao colapso do solo. Após a inundação do corpo de prova, o carregamento prosseguiu até um valor padrão de tensão, sofrendo posteriormente um descarregamento.

b) Ensaio edométrico duplo

No ensaio edométrico duplo são moldados dois CPs idênticos, é importante que os dois CPs moldados para esse ensaio sejam realmente iguais possuindo as mesmas características. Desta forma o CP-1 deve possuir um teor de umidade que garanta que o solo seja não saturado enquanto o CP-2 deve ser inundado desde o início do ensaio.

Após o preparo dos CPs é submetidos a uma tensão durante 24 horas e posteriormente aplicado o carregamento para obtenção de medidas de deformação axial (NETO, 2004). Ao final dessas etapas obtém-se a curva de deformação do solo em colapso, ilustrada pela figura 04.

Figura 04 - Curva de deformação do solo em colapso – Ensaio edométrico duplo



Fonte: Neto (2004)

A partir da curva demonstrada na figura acima, utiliza-se a equação 2 para a determinação do coeficiente de colapcidade.

$$C = \frac{\sigma_{vms}}{\sigma_{vmn}} - \frac{\sigma_{v0}}{\sigma_{v0}} \quad (2)$$

Onde: C = coeficiente de colapcidade

σ_{v0} = tensão vertical geostática,

σ_{vmn} = tensão de escoamento do solo na umidade natural,

σ_{vms} = tensão de escoamento do solo na condição inundada.

Através do coeficiente de colapcidade determina-se se há perigo de colapso e para qual nível de tensão esse colapso ocorrerá. Conforme Tabela 05.

Tabela 05 – Parâmetros para ocorrência de colapsidade no solo – Ensaio edométrico duplo

Parâmetro	Observação	
$\sigma_{vm} < \sigma_{vo}$ e $C < 0$	Colapsível	Ocorrerão grandes recalques
$\sigma_{vm} > \sigma_{vo}$ e $0 < C < 1$	Condicionalmente colapsível	A ocorrência de colapso dependerá do valor de σ_v
$C = 1$	Não ocorrerá colapso	Condição restrita a poucos solos
$C = -\infty$, $\sigma_{vm} = \sigma_{vo}$	Solos não-cimentados	

Fonte: Neto, 2004 (Adaptado)

2.2.2 Fatores que influenciam o colapso de solo

Com base na identificação e classificação dos solos colapsíveis em resultados de ensaios foram identificados alguns comportamentos que influenciam no colapso do solo.

a) Umidade inicial do solo

Segundo Neto (2004) o colapso tende a aumentar, de forma inversa com a umidade do solo antes da inundação, uma vez que, quanto menor a umidade mais rígido torna-se o solo por conta da sucção, e menor será a parcela dos recalques medidos.

Logo, esse comportamento tem um reflexo na determinação do colapso, principalmente no ensaio edométrico duplo citado anteriormente, ao passo que a diferença da deformação entre a curva do ensaio com o solo não saturado e do solo inundado dependem da umidade inicial. Caso o ensaio seja realizado em amostra coletada na estação úmida, o potencial de colapso será pequeno. Caso o ensaio seja realizado na estação seca, sob o mesmo nível de tensão, o potencial de colapso terá seu valor máximo (FERREIRA, 1995).

b) Estado de tensão

Assim como a umidade inicial do solo o colapso do solo está condicionado também ao valor da tensão em que a inundação ocorre. Segundo Neto (2004, p. 21) “o potencial de colapso tende a aumentar com a tensão de inundação, até alcançar um valor máximo, a partir do qual tende a diminuir.”

O autor ainda evidencia que solos argilosos não saturados podem apresentar comportamento expansivo, sob baixas tensões, e comportamento colapsível sob tensões altas. (NETO, 2004)

c) Vazão de inundação

A velocidade com que a água penetra nos vazios do solo tem influência na sua desintegração estrutural, podendo ser menor, maior ou igual à velocidade de destruição das ligações entre as partículas, estando relacionada, entre outros fatores à afinidade interna do solo pela água (permeante) e à intensidade da força de coesão que mantém as partículas agregadas (FERREIRA, 1995).

Em geral a inundação ocorre de forma, relativamente, lenta. Inundação brusca geralmente estão relacionadas com evento inesperado, tal como a ruptura de um duto. Por esta razão é importante que inundação nos ensaios de laboratório deva ser realizada numa vazão próxima a prevista no campo.

2.2.3 Consequências do colapso na construção civil

A partir da identificação do tipo de solo, levando-se em consideração valor do potencial de colapso Netto (2004) apresenta uma classificação dos solos colapsíveis levando em consideração os danos causados na construção civil. A Tabela 06 mostra a classificação dos problemas de colapsividade.

Tabela 06 - classificação dos problemas de colapsividade na construção civil.

PC (%)	GRAVIDADE DOS PROBLEMAS
0 a 1	Sem problema
1 a 5	Problema moderado
5 a 10	Problemático
10 a 20	Problema grave
> 20	Problema muito grave

Fonte: Neto (2004)

Desta forma, conforme mencionado, os solos colapsíveis caracterizam-se por sofrerem variação volumétrica, ou seja, recalque quando submetidos a uma variação de tensão, como

consequência esse comportamento colapsível de um solo gera muitos problemas nas estruturas, como trincas e rachaduras a saber:

2.2.3.1 Na estrutura da edificação

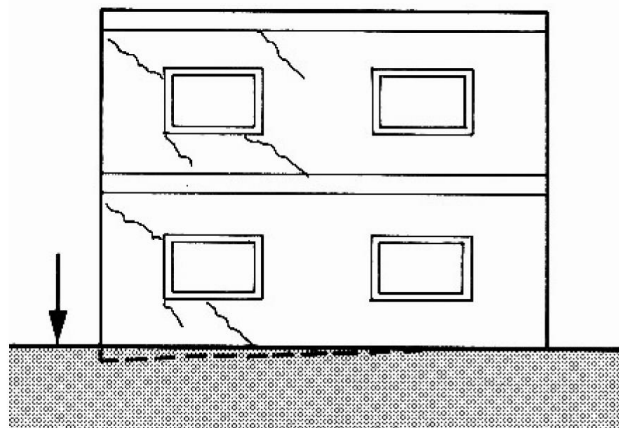
Em função da magnitude do colapso podem ocorrer sérios descolamentos devido o recalque das fundações causando desaprumo, trincas, rachaduras, deformações em função de novas tensões não previstas no dimensionamento e até mesmo ruptura dos elementos estruturais.

Além disso, uma vez que as trincas assim como as rachaduras afetam não so a integridade estrutural como a estética da edificação, ao passo que podem ser vistas tanto do lado interno da edificação também podem ser vistas do lado externo. As áreas que recebem revestimento cerâmico também são afetados, comprometendo a estética da edificação. Além disso, podem ocorrer também danos nas tubulações hidráulicas e sanitárias, que não têm resistência suficiente para absorver os movimentos resultantes do recalque (CAPUTO, 2012).

2.2.3.2 Na Alvenaria da Edificação

Quando ocorre o processo de colapso no solo, elementos estruturais ficam sujeitos a tensão para os quais não foram projetados. As alvenarias das edificações funcionam como elemento de fechamento estrutural ou de vedação, logo se houver deslocamentos ou recalques na fundação, refletirá diretamente na alvenaria surgindo trincas e/ou rachaduras (CAPUTO, 2012). A Figura 05 ilustra a formação de trincas causadas por colapso no solo.

Figura 05 - Formação de trincas causadas por colapso no solo



Fonte: Lollo (2008)

Além do aparecimento de trincas e rachaduras na alvenaria, podem ocorrer danos também nas lajes, principalmente quando estão apenas apoiadas sobre as paredes ou sobre cintas de amarração, conforme Figura 06.

Figura 06 – Trinca na laje por colapso no solo



Fonte: Lollo (2008)

2.2.3.3 Nas Fundações da Edificação

O processo de colapso dos solos é caracterizado principalmente por causar recalque, ou seja, um rebaixamento do solo. Isso provoca sérios problemas nas fundações uma vez estas são elementos estruturais que tem por finalidade receber e transferir as cargas da edificação para o solo.

Tendo em mente que o solo é o sistema que recebe e sustenta as edificações, é fato que ele deve ter resistência suficiente ou capacidade de suporte para receber os carregamentos suportados pela fundação (CAPUTO, 2012).

Em se tratando de solos colapsíveis, o umedecimento do solo provoca uma alteração em sua estrutura, por conseguinte, reduz sua capacidade de suportar a sobrecarga. Devido isso, mais uma vez é importante destacar a eficácia da realização de um estudo de solo para identificar fenômenos que possam comprometer a eficiência do projeto (CAPUTO, 2012).

2.3 TÉCNICAS DE TRATAMENTO E MELHORIA DE SOLOS COLAPSÍVEIS

Para reduzir os efeitos do recalque por colapso de solo, existem algumas medidas que podem ser tomadas como reforço ou melhoria do solo. Essas medidas são de grande importância principalmente quando diz respeito a baixo custo, eficiência, facilidade e rapidez na execução (FREITAS, 2016).

Desta forma, existem alguns métodos que podem ser utilizados para minimizar ou até mesmo eliminar o efeito do colapso do solo e conseqüentemente suas conseqüências na estrutura. É importante destacar que a escolha do método apropriado depende das características do solo colapsível assim como da estrutura a ser construída (FREITAS, 2016).

Os principais métodos de estabilização dos solos colapsíveis são:

2.3.1 Substituição do Solo

Como o próprio nome já sugere esse método tem como principal característica a substituição do solo colapsível, onde o solo é escavado até a profundidade requerida e camada de solo colapsível é removida. Posteriormente esse solo removido pode ser reutilizado, de forma compactada, como solo de fundação. Essa compactação deve atingir um grau de compactação entre 95 e 100% e deve sempre ser compactado com umidade 2% inferior à sua umidade ótima. Bastante utilizada em camadas mais rasas de colapso (FREITAS, 2016).

2.3.2 Pré-inundação

Esse método consiste em umedecer o solo que apresenta comportamento colapsível antes do início da construção. Desta forma, ao ser solicitado pela construção os efeitos do colapso já foram minimizados. Entretanto, essa técnica pode não ser suficiente para prevenir futuros recalques, uma vez que o colapso pode ter sido causado por uma pressão inferior à sobrecarga que será inserida (FREITAS, 2016).

2.3.3 Inundação controlada

Esse método de estabilização de solo através da inundação controlada é bastante

parecido com o método explicado anteriormente, através da pré-inundação. A diferença é que nesse a inundação é realizada após a construção da edificação de forma que, a inundação deve ser controlada e adicionadas em quantidades iguais.(FREITAS, 2016).

2.3.4 Compactação controlada

Esse método trata-se basicamente da compactação do solo que pode ser feito através uso de colunas de deslocamento, rolos compactadores, vibrocompactação ou compactação dinâmica. Esse tipo de estabilização é um dos mais simples métodos de estabilização de colapso de solo, uma vez que, ao ser realizada na umidade ótima, o solo passará a apresentar uma maior estabilidade com presença de água, inclusive, para diferentes níveis de tensão (FREITAS, 2016).

2.3.5 Estabilização química

Esse tipo de estabilização é feito através da cimentação através da mistura de solo com CAL ativa, com o objetivo de aumentar a resistência do solo ao colapso quando o solo é inundado. Quando aditivo é misturado ao solo ele se dissolve, hidratando o solo e conseqüentemente, reduzindo o teor de umidade e aumentando sua resistência (FREITAS, 2016). É importante destacar que a penetração da CAL até a profundidade desejada no solo é de extrema importância para a eficiência da estabilidade. (FREITAS, 2016).

2.3.6 Tratamento térmico

Esse método de tratamento térmico trata basicamente da queima de combustíveis em furos realizados no interior solo, de forma que, a temperatura seja controlada, e a saída do ar aquecido seja forçando a sair pelos vazios. A temperatura da queima do combustível nesse método pode alcançar até 1000°C uma vez que os furos são estreitos e espaçados de maneira uniforme.

Esse tipo de estabilização por tratamento térmico ocasiona um ganho de resistência devido a redução da sensibilidade do solo quando submetido ao colapso provocado pela água. (FREITAS, 2016).

3 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO: AMOSTRAGEM E ENSAIOS DE CADA ESTUDO.

O TCC em questão tem como objetivo central o desenvolvimento de um estudo de colapso em solo através do comparativo entre dois estudos realizadas na cidade de Anápolis GO.

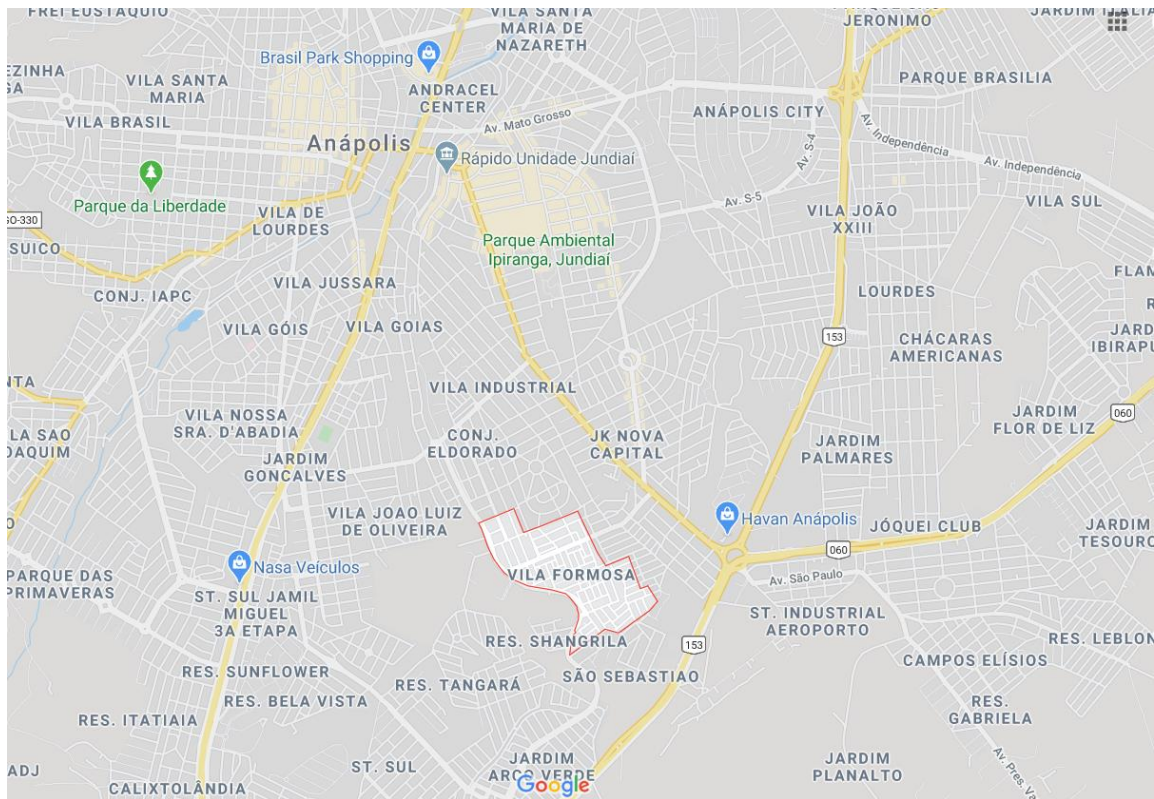
Anápolis é uma cidade que pertence ao estado de Goiás localizada nas rodovias BR-153, BR-060, BR414 e as estaduais GO-222 e GO-330 além de estar localizada próxima as capitais do estado Goiânia e Capital do País Brasília e é bastante conhecida como pólo industrial farmacêutico do Brasil.

Anápolis possui um relevo potencialmente erosivo e bastante argiloso na maior parte da região, além de ter constantemente grandes movimentações de terras e substituição da vegetação comum por postos ou construções urbanas, além da pratica de queimadas que proporcionam uma perda de nutrientes do solo, o que contribui para sensibilização do solo (LOPES e MORAES, 2018).

Os dois estudos que serviram de fundamento para a proposta sugerida nesse TCC foram feitos a partir da análise de dados em laboratório, amostragem do solo e levantamento de informações com visitas e pesquisa de campo, ambos realizados no ano de 2018. Nesse sentido, serão apresentadas a seguir as principais informações de cada pesquisa, apontando suas principais características assim como metodologia utilizada e resultados obtidos, para que posteriormente no capítulo 04 sejam apresentados os resultados obtidos através dos comparativos entre os dois estudos.

3.1 ESTUDO 01

- **Título:** Análise de solo colapsíveis: Um estudo da Vila Formosa de Anápolis-GO
- **Autores:** Bruna Lacerda de Moraes
Isadora Gonçalves Lopes.
- **Ano:** 2018.
- **Local do estudo:** Vila Formosa de Anápolis-GO. Ilustrado pela figura 07.

Figura 07 - Local do estudo 01**Figura 08 – Local do estudo 01**

Fonte: Google Earth (2020)

3.1.1 Metodologia utilizada

A metodologia adotada foi baseada em pesquisa bibliográfica, desenvolvida através de material já elaborado, com base principalmente em livros e artigos científicos (GIL, 2008) e implementada com uma pesquisa de campo realizada por meio da observação direta do local e levantamento de informantes para captar as explicações e interpretações do ocorrem naquela realidade (GIL, 2008).

Para o desenvolvimento do trabalho foi realizada um análise da erosão existente na Vila Formosa, através de informações obtidas na Prefeitura de Anápolis-GO através do departamento PROANA (Programa de Crescimento de Anápolis) e do corpo de bombeiros, que por meio da equipe de engenharia disponibilizaram os gráficos, fotografias, dados e o plano de políticas públicas voltadas para a solução do problema no local (LOPES e MORAES, 2018).

Os dados obtidos foram organizados em forma de relatório contendo fotografias ilustrativas do local, tabelas e gráficos de resultados.

3.1.2 Características do solo

O Bairro Vila Formosa é um bairro bastante populoso caracterizado por recorrentes problemas de erosão. O solo em questão é em sua maior parte composto por argila de coloração avermelhada, conhecida como caulinita, em sua maior parte é uniforme, mas em alguns pontos é possível identificar uma macro porosidade justificada pela alta permeabilidade sendo possível ainda notar falta de nutriente (LOPES e MORAES, 2018).

3.1.3 Resultados obtidos no estudo

É comum encontrar movimentações de terras na região conforme ilustrado na figura 08, que mostra um deslizamento de terra ocorrido na Rua Leopoldo de Bulhões (LOPES e MORAES, 2018). Além disso, outro fator bastante preocupante foi a erosão encontrada em alguns pontos, onde o colapso chegou a níveis drásticos interditando trechos das ruas e impossibilitando a passagem de veículos e pessoas (LOPES e MORAES, 2018).

Figura 09 – Movimentação de Terra: Rua Leopoldo de Bulhões



Fonte: Lopes e Moraes (2018)

A figura 09 ilustra uma erosão ocorrida na Avenida Federal, a qual interditou parte da rua, impossibilitando a passagem de pessoas e veículos e conseqüentemente expondo os moradores a riscos.

Figura 10 – Erosão: Avenida Federal



Fonte: Lopes e Moraes (2018)

Foi identificado que a combinação do tipo de solo com a topografia e a quantidade de recursos hídricos da cidade, aliada com a manutenção, uso e ocupação incorretos, culminam na maximização do problema. Além disso a impermeabilização urbana existente na região, faz com que haja uma concentração de água por baixo das galerias danificadas existentes no local, uma vez que, aliada ao volume de movimentação de Terra, faz com que o solo fique úmido contribuindo assim para que ocorram deslizamentos de terra (LOPES e MORAES, 2018). A figura 10 ilustra uma rede de Galeria de águas pluviais danificadas na Vila Formosa.

Figura 11 – Galeria de águas pluviais danificada na Vila Formosa.



Fonte: Lopes e Moraes (2018)

Logo, de acordo com a visita técnica a equipe de engenharia da prefeitura de Anápolis-GO juntamente com a análise do solo no local listou os prováveis mecanismos que desencadearam o processo de colapso, entre os mais comuns: rupturas nas redes de água e esgoto, rupturas na rede pública de drenagem pluvial, o lixo descartado pela população de forma errada (LOPES e MORAES, 2018).

Através da análise de solo da região realizada pelo Corpo de bombeiros em 2017, onde foram coletadas amostras de terras em dois pontos distintos para identificação da estrutura física do terreno, verificou-se que o solo em questão é em sua maior parte composto por argila, entretanto, apresenta uma camada fina de areia media e fina que envolve toda a superfície, visto que, em alguns pontos foi possível identificar uma macro porosidade caracterizada pela alta permeabilidade além apresentar grande falta de nutrientes. Além disso, foram encontrados ainda níveis de fósforo e potássio que podem interferir de forma significativa na argila que atribuídos à movimentação de terras que ocasionam o colapso (LOPES e MORAES, 2018)

3.2 ESTUDO 02

- **Título:** Estudo de caso de colapso em solos tropicais - Para um ponto na região norte de Anápolis.
- **Autores:** Inês Menezes Barbosa
Juliana Ribeiro Gonçalves da Silva.
- **Ano:** 2018.

- **Local do estudo:** Jardim Promissão em Anápolis GO. Ilustrado pela figura 11.

Figura 12 - Local do estudo 02

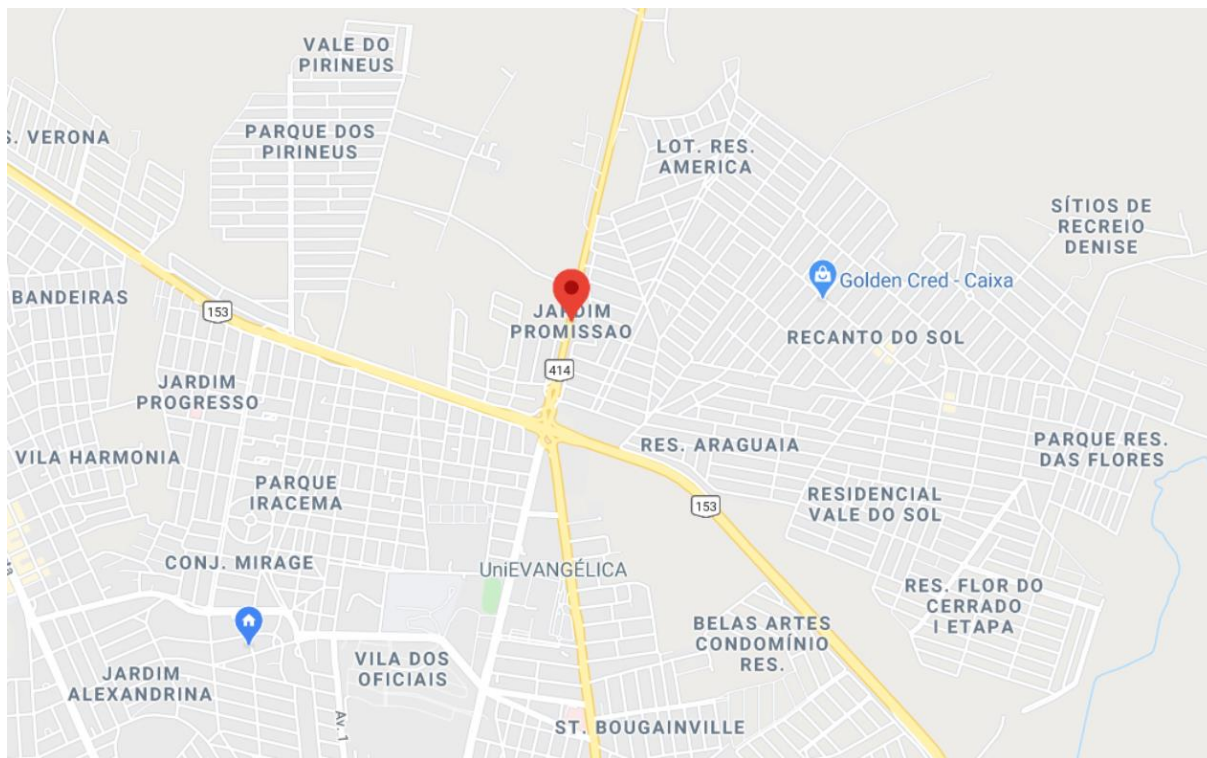


Figura 13 – Local do estudo 02



Fonte: Google Earth (2020)

3.2.1 Metodologia utilizada

A metodologia adotada foi baseada na pesquisa experimental que é caracterizada pela seleção das variáveis capazes de influenciar determinado objeto (GIL, 2008). Onde os resultados foram obtidos através de ensaio aliado a pesquisa bibliográfica em publicações sobre o tema.

Para o desenvolvimento foi feito estudo in loco, com a coleta de amostra de indeformada, e testagem em laboratório, com testes de caracterização do solo e ensaio edométrico, que tem como objetivo determinar as propriedades de adensamento, conforme a velocidade de deformação e magnitude, quando o solo passa por um regime de confinamento, carregamento e drenagem axial, para medir a possibilidade de colapso do bairro Jardim Promissão (BARBOSA e SILVA, 2018).

Por fim, os resultados foram organizados em forma de relatório para um melhor entendimento e organização do tema.

3.2.2 Características do solo

O bairro Jardim Promissão é caracterizado por habitações familiares, com um só piso e sem presença de subsolo, sem atividades de grande impacto na região. O solo por sua vez é definido como um solo com relevo de chapadas tratando-se de um latossolo.

Nos ensaios executados, constatou-se que o solo, possui uma quantidade de grãos médios, tendo em vista a análise de peneiramento, feita pela granulometria. Nos ensaios de limite de Atterberg (liquidez e plasticidade), ficou concluído que é solo fofo, e pouco plástico (BARBOSA e SILVA, 2018).

3.2.3 Resultados obtidos no estudo

O potencial de colapso de solo do Jardim Progressão foi medido através do ensaio edométrico que é realizado no edômetro, e moldado conforme o anel de adensamento. Então a amostra é submetida à aplicação de cargas progressivas e fornece curvas que representam a deformação ao longo do tempo no solo, e o índice de vazios do solo (BARBOSA e SILVA, 2018).

Logo, no decorrer do ensaio foram feitas leituras de cada carregamento, onde foram registrados os dados mais relevantes, para facilitar na análise do solo e posteriormente, calculado potencial de colapso através da equação 3 (BARBOSA e SILVA, 2018).

$$PC (\%) = \frac{\Delta H}{H_0} \times 100 \quad (3)$$

Onde: PC=potencial de colapso;

ΔH variação de altura do corpo de prova devido a sua inundação; =

H_0 = altura inicial do corpo de prova;

Para tal, foram obtidos valores conforme tabela 7 que mostra os potenciais de colapso obtidos com o teste edométrico.

Tabela 7 - Potenciais de colapso do Jardim Promissão

Tensão aplicada	ΔH	H_0	PC (%)
5	0,048	20,0	0,24
25	0,395	19,952	1,98
50	0,426	19,557	2,18
100	0,561	19,131	2,93
200	0,774	18,570	4,6
400	0,819	17,796	4,6
800	0,986	16,977	5,8
400	-0,041	15,991	-0,256
200	-0,044	16,032	-0,2745
100	-0,028	16,076	-0,174
50	-0,089	16,104	-0,055
25	-0,108	16,193	-0,667

Fonte: Barbosa e Silva (2018)

A partir da tabela 06 apresentada da seção 2.3.3 que determina a colapssividade do solo, solos com $1 < PC < 5$ apresentam problema moderado de colapssividade. Conforme os critérios da tabela 6 foi traçado o perfil de colapso ilustrado na forma de tabela 8 que tendência de colapso para o estudo realizado (BARBOSA e SILVA, 2018).

Tabela 8 - Tendência de colapso: Jardim Promissão

Tensão de carga (KPa)	Potencial de colapso	Vargas	Jening e Knight
5	0,24	Não colapsível	Sem problema
25	1,98	Colapsível	Problema moderado
50	2,18	Colapsível	Problema moderado
100	2,93	Colapsível	Problema moderado
200	4,6	Colapsível	Problema moderado
400	4,6	Colapsível	Problema moderado
800	5,8	Colapsível	Problemático

Fonte: Barbosa e Silva (2018)

Logo no ensaio edométrico realizado, observou-se a influência do carregamento na deformação, onde através das medições de recalque, por meio de altura, foi possível observar o comportamento do solo em função do carregamento, demonstrado com parâmetros, como; tensão efetiva, índice de vazios e diferença de altura (sendo esse fator o recalque sofrido com o carregamento) (BARBOSA e SILVA, 2018).

Portanto, a partir do estudo, determinou-se que o solo do Jardim Promissão em Anápolis-GO não possui uma incidência séria de colapso. Entretanto mesmo, com o colapso, não sendo tão acentuado é necessário ter em vista, um tratamento no solo, para que não ocorra o colapso (BARBOSA e SILVA, 2018).

Outro ponto interessante obtido na análise foi a constituição, altamente concentrada do solo por pedregulho no horizonte B (abaixo de um metro da superfície), pois a presença do mesmo deixou o solo com um aspecto mais firme, funcionando com uma espécie de agregado graúdo deste tipo de solo, o deixando mais firme. O que leva-se também a conclusão de que a presença de pedregulho no solo afeta na resistência do solo, se seria uma variante de acréscimo de resistência, oferecendo um aspecto mais consolidado para o solo ou não (BARBOSA e SILVA, 2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme mencionado, este TCC foi baseado no método comparativo, onde buscou-se explicações dos acontecimentos através de semelhanças e diferenças entre dois estudos sobre colapso de solo realizados na cidade de Anápolis no ano de 2018, a saber:

- Estudo 01: Estudo de caso de colapso em solos tropicais: Para um ponto na região norte de Anápolis;
- Estudo 02: Análise de solo colapsável: Um estudo da Vila Formosa de Anápolis GO.

O primeiro ponto a se observar através desse comparativo é a respeito da metodologia utilizada pelos autores para explicar o conjunto de métodos empregados e o caminho percorrido desde o início até a conclusão ou resultados finais dos trabalhos realizados.

O estudo 01 utilizou uma metodologia baseada na pesquisa bibliográfica e estudo de caso, desenvolvida com fundamento em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos e posteriormente partindo-se para o estudo profundo do bairro selecionado através da pesquisa de campo, de forma que foi possível obter um detalhado conhecimento sobre o colapso de solo na região. Já o estudo 02 utilizou uma metodologia baseada na pesquisa experimental e estudo de caso, onde os autores buscaram analisar o solo estudado através das variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, por meio de ensaios.

É importante destacar que o objetivo deste comparativo não é apontar qual metodologia de pesquisa adotada pelos autores é mais ou menos válida para a identificação do colapso de solo, mas determinar dentre os solos analisados qual deles apresenta mais características colapsáveis, ou seja, identificar a partir dos resultados dos estudos apresentados pelos autores qual região apresenta um maior perfil de características e problemas gerados pelo colapso de solo, e conseqüentemente quais medidas foram ou estão sendo tomadas para contenção desse problema desde a data do estudo até os dias de hoje.

A partir da identificação dos dois bairros foram observadas as características que cada solo apresentou. O estudo 01 apresentou diversos problemas de erosão no bairro Vila Formosa, caracterizados principalmente grandes movimentação de terras na região, onde em alguns pontos o colapso chegou a níveis drásticos interditando trechos das ruas e impossibilitando a passagem de veículos e pessoas, conforme evidenciado na figura 09.

Nesse contexto, verificou-se através do estudo que a combinação do tipo de solo com a topografia e a quantidade de recursos hídricos da cidade, aliada com má manutenção, uso e ocupação incorretos, falta de impermeabilização urbana, concentração de água por baixo das galerias fazendo com que o solo fique úmido contribuindo assim para que ocorram

deslizamentos e conseqüentemente as grandes movimentações de terra culminam na maximização do problema de colapso de solo na região.

Enquanto isso, o estudo 02 apresentou como resultado do ensaio edométrico que o solo não possui uma incidência séria de colapso, e seu caso mais grave é referente à carga de 800 kPa, com a definição de incidência de colapso classificada como; problemático. E em outras cargas, seu potencial é praticamente fixo em problema moderado, não chega a um caso grave de colapso.

Inclusive, não foi apresentado pelos autores, conforme dados e fotografias apresentados no estudo 01, incidência de colapso grave ocorrido na região do Jardim Promissão.

Portanto, a partir do comparativo entre os dois estudos identificou-se que o problema de colapso encontrado no estudo 01: Vila Formosa é caracterizado como mais grave, uma vez que, existem evidências claras através de imagens e estudo que evidenciam esse fato. Além disso, de acordo com o resultado apresentado do estudo 02, o solo apresentou que não possui uma incidência séria de colapso.

4.1 RECUPERAÇÃO DAS ÁREAS DEGRADADAS DA VILA FORMOSA.

A obra de recuperação de algumas áreas degradadas da Vila Formosa em Anápolis GO iniciou-se logo após o estudo realizado pelas autoras Bruna Lacerda de Moraes e Isadora Gonçalves Lopes em 2018, em função de uma iniciativa da Prefeitura de Anápolis GO que investiu cerca de R\$ 4,5 milhões de recursos próprios para por fim a um grande problema de infraestrutura do município, em caráter emergencial.

A obra de recuperação foi iniciada com ensaio de sondagem de solo, topografia e limpeza do terreno através da ação de caminhões e retroescavadeiras trabalham na remoção de entulhos oriundos de erosão ou depositados pela própria população. O projeto teve como iniciativa também a implantação de um bueiro celular duplo, drenos nas encostas além de um canal de 115 metros construído dentro da erosão.

Hoje, obra já finalizada conta com 90 metros de extensão, 16 degraus de queda d'água e 845 metros de dreno profundo. Seu objetivo é captar toda a água e canalizar, assim o solo não vai mais ficar saturado, de forma que a capacidade de captação de água pluvial aumente em até oito vezes. A figura 12 ilustra a obra após concluída.

Figura 14 – Local da erosão após a obra.



Fonte: Brito (2020)

Além da obra ilustrada acima foi implantado também um sistema de gabião, composto por pedras revestidas por uma tela de proteção (Colchão Reno), em forma de escada, com dissipador no final, conforme ilustrado na figura 13.

Figura 15 – Gabião: Vila Formosa



Fonte: Brito (2020)

5 CONCLUSÃO

Quando se pensa em construção civil automaticamente precisa-se ter em mente os ensaios de campo e de laboratório que tem como objetivos avaliar a variação no comportamento de um solo uma vez que, esse fator é determinante tanto para as fundações quanto para as estruturas ou edificação a ser erguida no local.

Neste contexto, destacam-se o estudo de solos colpsíveis que são solos não saturados, submetidos a um determinado estado de tensão, que sofrem considerável redução de volume quando submetidos a um eventual processo de umedecimento. Tal deformação pode causar diversos danos como rachaduras nas edificações ou recalques de grandes proporções, que podem inclusive comprometer drasticamente a estabilidade da superestrutura resultantes dos recalques adicionais não previstos.

Pensando nisso, este TCC apresentou um comparativo entre dois estudos de colapso de solo ocorridos na cidade de Anápolis onde identificou-se que o problema de colapso de solo na região da Vila Formosa mostrou-se mais acentuado que a probabilidade de ocorrência de colapso identificado na Vila Promissão, através de ensaio.

A partir de dados obtidos através da Prefeitura de Anápolis, Corpo de Bombeiros e Visita ao local, foi levantado que a Vila Formosa não só apresenta um comum e recorrente problema de colapso como foi identificado a falta de um estudo de solo para a aplicação da pavimentação no local, o que não permitiu a identificação do colapso possível no local e assim implantar técnicas que assim fosse realizada uma obra que suprisse as necessidades da região e não viesse a ser um dinheiro público desperdiçado, sendo esta uma política pública ineficaz.

Foi observado que a Vila Formosa se tornou uma possível risco aos moradores Anápolis GO, entretanto com a obra de recuperação realizada esse problema foi resolvido.

REFERÊNCIAS

ABNT -ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7250 - Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos.** 2001a.

BARBOSA, Inês Menezes; LOPES, Silva, Juliana Ribeiro Gonçalves das. **Estudo de caso de colapso em solos tropicais - Para um ponto na região norte de Anápolis.** 2018. 91p. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2018.

BRITO, Claudius. Erosão da Vila Formosa: fim de um pesadelo que durou décadas. Contexto, 2020. Disponível em: <https://portalcontexto.com/erosao-da-vila-formosa-fim-de-um-pesadelo-que-durou-decadas/>. Acesso em: 12/05/2020.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações. Volume 1: fundamentos.** 6.ed., rev. e ampl., [9. Impr.]. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e suas aplicações: Mecânica das rochas-Fundações-Obras de terra.** 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e suas aplicações: Fundações.** 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CONSOLI, N. C.; MILITITSKY, J.; SCHINAID, F. **Patologias das Fundações.** 1ª. ed. São Paulo, Oficina de Textos: 2005.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GUIMARÃES, J. E. P. **A cal – Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil.** 1ª ed. São Paulo: PINI. 1998.

FERREIRA, S.R.M. (1995). Colapso e Expansão de Solos Naturais Não Saturados Devido à Inundação”. Tese de Doutorado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, Março, 379 p.

FREITAS, Milena Cardoso de. **Avaliação de técnica de melhoria de solos colapsíveis por meio de colunas de solo laterítico compactado.** 2016. 201p. Dissertação. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

LOLLO, José augusto de. **Solos colapsíveis : identificação, comportamento, impactos, riscos e soluções tecnológicas**. São Paulo : Cultura Acadêmica: 2008

MORAIS, Bruna Lacerda de; LOPES, Isadora Gonçalves. **Análise de solo colapsíveis: Um estudo da Vila Formosa de Anápolis-GO**. 2018. 45p. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2018.

NETO, João Barbosa de Souza. **Comportamento de um solo colapsível avaliado a partir de ensaios de laboratório e campo, e previsão de recalques devidos à inundação (colapso)**. Rio de Janeiro, 2004

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

TYBEL, Douglas. **O que é Pesquisa Bibliográfica ?**. Guia da Monografia: O seu guia preferido, 2017. Disponível em: <https://guiadamonografia.com.br/pesquisa-bibliografica/>. Acesso em: 15/04/2020.

VIDAL, Josep Pont. **Metodologia comparativa e estudo de caso**. Núcleo de Altos Estudos Amazônicos (NAEA), 2013. Disponível em: <file:///C:/Users/Vendas/Downloads/Paper308.pdf>. Acesso em: 15/04/2020.

SOUZA NETO, J. B.; MARTINS P. A.; PEREZ, E. N. P.; SANTOS, M. V. F.. **Avaliação da Colapsibilidade do Solo de um Trecho do Projeto de Integração do Rio São Francisco por meio de Ensaios de Laboratório e de Campo**. XVI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Porto de Galinhas, 2012.