

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS

**Retroanálise de um Deslizamento de Talude Ocorrido no
Morro da Praia Mole/SC-406**

Ricardo Souza Rosa Silva

Trabalho de Conclusão de Curso submetido a banca examinadora para a obtenção do Grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Orlando Martini de Oliveira

Florianópolis

2019

Silva, Ricardo Souza Rosa Silva
Retroanálise de um Deslizamento de Talude Ocorrido no
Morro da Praia Mole/SC-406 / Ricardo Souza Rosa Silva
Silva ; orientador, Orlando Martini de Oliveira Oliveira,
2019.

74 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de
Filosofia e Ciências Humanas, Graduação em Geologia,
Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Geologia. 2. Geotecnia. 3. Estabilidade de Taludes.
4. Movimentos de Massa. 5. Retroanálise. I. Oliveira,
Orlando Martini de Oliveira. II. Universidade Federal de
Santa Catarina. Graduação em Geologia. III. Título.

Ricardo Souza Rosa Silva

**Retroanálise de um Deslizamento de Talude Ocorrido no
Morro da Praia Mole/SC-406**

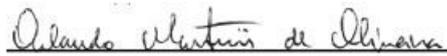
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Geologia, e aprovado em sua forma final pelo Coordenador do Curso de Geologia.

Florianópolis, 09 de dezembro de 2019.



Prof. Marivaldo dos Santos Nascimento, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:



Prof.^a Orlando Martini de Oliveira, Dr.
Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

PI 

Prof.^a Juan Antônio Altamirano Flores, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Rafael Augusto dos Reis Higashi, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado ao meu pai Roberto.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram para a conclusão dessa etapa final de curso, encerro esse ciclo com corpo e alma presentes. Agradeço especialmente ao meu pai Roberto e minha mãe Nélia por sempre me apoiarem ao longo dessa caminhada e as minhas irmãs Roberta e Raissa.

Sinto-me grato por todos os conhecimentos adquiridos pela Geologia e a oportunidade de poder enxergar o mundo com outros olhos. Agradeço a todo corpo docente pelas aulas teóricas e práticas realizadas.

Agradeço também aos meus colegas Bernardo e Felipe que me ajudaram durante todo esse projeto e pelas discussões e conclusões chegadas sobre o tema em estudo. Agradeço aos meus colegas de sala João Paulo, Tiago, Wellington, Vinicius, Mateus, Beatriz, Júlia e Humberto, e aos meus colegas incorporados na sala Matheus e Gabriel. Ao meu orientador Orlando, pelas manhãs doadas e pela presença em torno do desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina pela oportunidade de me tornar Geólogo.

A Deus e a todos os envolvidos, reverencio-me, muito obrigado!

RESUMO

O município de Florianópolis é caracterizado geomorfologicamente por possuir um domínio de maciços rochosos e um domínio de planícies costeiras interligando esses maciços que são denominados de morros. Além disso, a Ilha de Santa Catarina vem sofrendo um grande aumento na sua população nas últimas décadas, o que acarretou a ocupação das áreas desses morros onde há uma declividade acentuada, caracterizadas por ser áreas de risco. As moradias que ocupam essas regiões foram construídas sem planejamento, mudando a geometria original das encostas, o que pode acarretar junto aos períodos de grandes concentrações pluviométricas processos de instabilidade. Devido a predominância dos maciços rochosos na ilha a construção das rodovias foram realizadas efetuando-se cortes nesses morros sem a devida medida de construções de elementos de drenagem e contenção, assim, como ocorre nas moradias irregulares as rodovias ficam sujeitas a ocorrências de eventos de movimentos de massas, podendo acarretar riscos de danos materiais e vítimas intensificados durante períodos de chuvas. Como o histórico desses desastres naturais no estado e no município são recorrentes, esse projeto tem como foco o estudo da retroanálise de um deslizamento de talude ocorrido no dia 11 de janeiro de 2018, devido a elevados índices pluviométricos ocorridos no dia do processo de instabilidade. A área de estudo refere-se a um corte de talude para abertura da SC-406 que liga o centro-leste da ilha ao norte. Em campo, foi realizado coleta de amostras para realização de ensaios de caracterização do solo em laboratório e feito o ensaio *in situ* de cisalhamento denominado *Borehole Shear Test* (BST), com o objetivo de obter os parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo, coesão e ângulo de atrito interno, que consistem em duas variáveis essenciais para a análise da suscetibilidade a deslizamentos de taludes. Com os dados obtidos desses ensaios e das análises geológicas-geotécnicas feitas em campo o estudo tem como objetivo a reconstituição dos parâmetros físicos que levaram a ruptura da encosta. Discute-se então por meio de análises de estabilidade no software GeoStudio com o uso da ferramenta *Slope/W* quais são os parâmetros levantados pelas interpretações dos resultados dos ensaios obtidos que mais se adequam ao processo de estabilização em estudo e satisfaçam a condição de fator de segurança unitário.

Palavras-chave: 1. Movimentos de Massa 2. Estabilidade de Talude 3. Retroanálise 4. *Borehole Shear Test* 5. Fator de Segurança.

ABSTRACT

The city of Florianópolis is geomorphologically characterized by having a domain of rock massifs and a domain of coastal plains interconnecting these massifs that are called hills. In addition, Santa Catarina Island has been suffering a large increase in its population in the last decades, which has led to the occupation of areas on these hills where there is an accentuated slope, characterized by being areas of risk. The houses that occupy these regions were built without planning, changing the original geometry of the hills, which may lead to periods of high rainfall instability processes. Due to the predominance of the rock massifs on the island, the construction of the highways was carried out by making cuts in these hills without the proper construction of drainage and containment elements, thus, as occurs in irregular habitations, the highways are subject to occurrences of mass movements events, causing greater risk of material damage and victims during rainy periods. As the history of these natural disasters in the state and in the city is recurring, this project focuses on the study of the retroanalysis of a slope landslide occurred on January 11, 2018, due to high rainfall on the day of the instability process. The study area refers to an open cut-off section of the SC-406 that connects the eastern center of the island to the north. In the field, samples were collected to perform soil characterization tests in the laboratory and the in situ shear test called *Borehole Shear Test* (BST) was carried out to obtain the parameters of soil shear strength, cohesion and internal friction angle, which are two essential variables for the analysis of slope susceptibility. With the data obtained from these tests and from geological-geotechnical analyzes made in the field, the study aims to reconstruct the physical parameters that led to the rupture of the slope. It is then discussed through stability analysis in the GeoStudio software using the *Slope/W* tool which parameters are raised by the interpretations of the obtained test results that best suit the instability process under study and satisfy the condition of unitary factor security.

Keywords: 1. Mass Movements 2. Slope Stability 3. Retroanalysis 4. *Borehole Shear Test* 5. Safety Factor.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo da geometria de um talude com seus elementos.....	20
Figura 2: Exemplo de corte em talude construído com seus elementos de estabilização.....	20
Figura 3: Exemplo de talude natural com sua possível superfície de ruptura.....	21
Figura 4: Escala de velocidade para enquadramento dos movimentos de massas (Varnes, in Nascimento, 1967).....	26
Figura 5: Exemplo de rastejo.....	27
Figura 6: Exemplos de corridas (Petrópolis, 2011).....	28
Figura 7: Perfil esquemático escorregamento/deslizamento translacional.....	29
Figura 8: Perfil esquemático escorregamento/deslizamento rotacional.....	30
Figura 9: Deslizamento circular ocorrido em 1995, em La Conchita, Califórnia, Estados Unidos da América.....	31
Figura 10: Perfil esquemático de queda de blocos.....	32
Figura 11: Exemplo de movimento complexo de massa ocorrido em Florianópolis, janeiro 2018.....	33
Figura 12: Gráfico c x ϕ	36
Figura 13: Gráfico FS(critico) x ϕ	36
Figura 14: Residências destruídas e danos totais em SC 1995 -2014.....	39
Figura 15: Correlação entre deslizamentos de massa e precipitação acumulada de 3 dias em Florianópolis.....	40
Figura 16: Correlação entre movimentos de massa e precipitação acumulada de 4 dias em Florianópolis.....	40
Figura 17: Equação da reta de Coulomb ajustada aos pontos experimentais do BST.....	41
Figura 18: Equipamento <i>BoreHole Shear Test</i>	42
Figura 19: Localização área de estudo.....	43
Figura 20: Foto panorâmica da área de estudo.....	44
Figura 21: Vista frontal do deslizamento SC-406.....	45
Figura 22: Vista geral do escorregamento observado no dia 12/01/2018, notar a grande quantidade de água vertendo na base do escorregamento.....	46
Figura 23: Vista de outro ângulo do escorregamento.....	46
Figura 24: Tronco de árvore recurvado, evidenciando rastejo.....	47
Figura 25: Deslizamento ocorrido em janeiro 2018 na área de estudo Morro da Mole.....	47
Figura 26: Localização da área de estudo em mapa geológico elaborado por Tomazzoli & Pellerini (2014), em destaque em vermelho o Granito Ilha e em azul os Diques.....	51
Figura 27: Granito Ilha intrudido por dique do Enxame Florianópolis no pé do talude na área de estudo.....	51

Figura 28: Fluxograma de atividades.	56
Figura 29: Perfil antes da ruptura.....	59
Figura 30: Perfil depois da ruptura.....	59
Figura 31: Localização do BHST e do perfil topográfico.....	62
Figura 32: Equação resultante do ensaio do BST.....	63
Figura 33: Gráfico resultante da análise granulométrica.	65
Figura 34: Carta de Plasticidade de Casagrande. CL = argilas inorgânicas de baixa plasticidade; ML = siltes inorgânicos de baixa plasticidade; CH = argilas inorgânicas de altas plasticidade; MH = siltes inorgânicos de alta plasticidade.	66
Figura 35: Geometria inicial da encosta sem nível d'água.....	67
Figura 36: Encosta totalmente saturada e com superfície de ruptura crítica definida.	68
Figura 37: Encosta com NA 3m e superfície de ruptura crítica definida.....	68
Figura 38: Gráfico $c \times \phi$	69
Figura 39: Gráfico FS(c) x ϕ	70
Figura 40: Saturada (19kPa, 35°) → FS=0,997.....	71
Figura 41: Gráfico $c \times \phi$	71
Figura 42: Gráfico FS(c) x ϕ	72
Figura 43: NA 3 metros (10kPa, 30°) → FS=0,973.	73
Figura 44: Seco 1 - sem água (19kPa, 35°) → FS(crítico)=1,997.....	74
Figura 45: Seco 2 - sem água (10kPa, 30°) → FS(crítico)=1,475.....	74

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE).....	23
Quadro 2: Classificação dos movimentos de encosta segundo Varnes (1978).	24
Quadro 3: Características dos principais grandes grupos de movimento de massa.	25
Quadro 4: Nível de segurança contra perda de vidas humanas.	35
Quadro 5: Coluna estratigráfica proposta para as rochas da ISC.....	50

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Maiores desastres em Santa Catarina 1974 – 2016.....	38
Tabela 2: Dados da precipitação total mensal e velocidade média do vento.	49
Tabela 3: Resultados do <i>Borehole Shear Test</i>	63
Tabela 4: Resultados da análise granulométrica.	64
Tabela 5: Resultado da massa específica e LL e LP.	66
Tabela 6: Resultados encontrados nas retroanálises e BST.	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

BST – *Borehole Shear Test*

CEPED – Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil

Cfa - Classificação Climática de Köppen-Geiger

CIRAM - Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina

CLIMER - Centro Integrado de Meteorologia e Recursos Hídricos de Santa Catarina

COBRADE – Classificação e Codificação Brasileira de Desastres

CPT – *Cone Penetration Test*

ECV – Departamento de Engenharia Civil

EPAGRI/SC - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

FS – Fator de Segurança

FS(c) – Fator de Segurança Crítico

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IP - Índice de Plasticidade do Solo

ISC – Ilha de Santa Catarina

LAMGEO - Laboratório de Mapeamento Geotécnico

LL - Limite de Liquidez Do Solo

LMS – Laboratório de Mecânica dos Solos

LP - Limite de Plasticidade do Solo

MDT – Modelo Digital de Terreno

MPA - Massa Polar Atlântica

MTA - Massa Tropical Atlântica

SC – Santa Catarina

SDS - Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável

SIGSC - Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina

SPT – *Standard Penetration Test*

LISTA DE SÍMBOLOS

ϕ - Ângulo de Atrito

Σ - Somatório

α - Ângulo da Base da Lamela com a Horizontal ou Ângulo de Inclinação do Talude com a Horizontal

ATi - Basaltos Alto-Titânio

b - Largura da Lamela

BTi – Basaltos Baixo-Titânio

c – Coesão do Solo

Pb - Chumbo

R^2 - Coeficiente de Relação

σ - Tensão Normal Atuante no Plano de Ruptura

τ - Resistência ao Cisalhamento

u – Poro Pressão

U – Urânio

W - Peso Total da Lamela

σ_3 – Tensão Desconfinamento

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	18
1.1. OBJETIVOS.....	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1. ESTABILIDADE DE TALUDES.....	20
2.1.1. Tipos De Taludes.....	20
2.2. DESLIZAMENTOS/MOVIMENTOS DE MASSA.....	21
2.2.1. Tipos De Deslizamento De Massa.....	22
2.2.2. Escoamentos.....	25
2.2.3. Tipos De Deslizamentos Quanto À Forma Da Superfície.....	28
2.2.4. Movimentos Complexos De Massa.....	32
2.3. RETROANÁLISE.....	33
2.4. FATOR DE SEGURANÇA.....	34
2.5. HISTÓRICO DE DESLIZAMENTOS EM SANTA CATARINA.....	37
2.6. <i>BOREHOLE SHEAR TEST</i> (BST).....	41
3. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	43
3.1. DESCRIÇÃO DO DESLIZAMENTO DO TALUDE OCORRIDO EM JANEIRO DE 2018.....	44
3.2. CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS.....	48
3.3. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS.....	50
3.4. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS.....	53
3.5. CARACTERÍSTICAS PEDOLÓGICAS.....	55
4. MATERIAIS E MÉTODO.....	56
5. RESULTADOS.....	62
5.1. RESULTADOS DO <i>BOREHOLE SHEAR TEST</i> E DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS.....	62
5.2. RESULTADOS DA RETROANÁLISES.....	66
6. DISCUSSÕES DOS RESULTADOS.....	69
7. CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE SOLUÇÕES DE ESTABILIZAÇÃO	76
REFERÊNCIAS.....	78

ANEXOS:83

1. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização das grandes cidades vem ocorrendo de forma desordenada desde o início do contexto do período industrial. Esse fenômeno da concentração populacional nas grandes metrópoles é característico dos países subdesenvolvidos e é marcado pela elevada velocidade em que o êxodo rural aconteceu. Tais cidades não conseguem absorver esse quantitativo populacional, propiciando a formação de favelas e habitações irregulares, geralmente precárias, sem sistema de coleta de esgoto, drenagem e infraestrutura (PENA, 2007).

O crescimento desordenado e acelerado dos aglomerados humanos, bem como a ausência de um planejamento urbano adequado, apresenta como consequência direta, o surgimento de impactos ambientais adversos nas diferentes porções do meio ambiente, cuja leitura permite identificar a ocorrência de profundas modificações no uso e ocupação do solo. Os impactos ambientais decorrentes dessa intervenção humana podem ser identificados quando da ocupação de áreas ambientais críticas, abordando em específico à ocupação de terrenos de encostas naturais (SILVA e PIRES, 2010).

A propósito, o estado de Santa Catarina é caracterizado por ter uma maior procura e excedente populacional nas planícies costeiras, como na região metropolitana da capital Florianópolis, acarretando ocupações em solos de encostas irregulares e sem nenhum planejamento urbano, causando concomitantemente nos períodos de maior índices pluviométricos deslizamentos de massa e desastres naturais com conseqüente elevado número de vítimas, como exemplo crítico na região do estado de Santa Catarina, o ocorrido em 2008 na região metropolitana do Vale do Itajaí, que devido a fortes chuvas enchentes e deslizamentos deixaram muitas vítimas, desabrigados e enormes danos materiais .

Neste contexto, o presente projeto procura investigar através de uma retroanálise os condicionantes geológicos e geotécnicos que estão relacionados ao movimento de massa ocorrido em um talude rodoviário situado no Morro da Praia Mole SC – 406. A construção desta rodovia está associada a execução de corte e aterro, com remoção da cobertura vegetal e alteração no escoamento superficial e subsuperficial das águas. O agente principal deflagrador deste movimento de massa foram os altos índices pluviométricos do mês de janeiro de 2018.

1.1. OBJETIVOS

O presente projeto tem como objetivo principal caracterizar geologicamente e geotecnicamente a encosta rompida do Morro da Praia Mole SC - 406, e realizar uma retroanálise com sua superfície de ruptura crítica do deslizamento de solo que ocorreu no local em janeiro de 2018. Entre os objetivos específicos, destacam-se:

- Investigar e analisar os condicionantes geológicos e geotécnicos;
- Caracterizar as amostras de solo retiradas de um furo executado a trado;
- Definir os parâmetros físicos de resistência (ângulo de atrito e coesão) através de ensaios de resistência ao cisalhamento realizados *in situ*;
- Relacionar índices pluviométricos locais com o deslizamento;
- Definir a geometria da encosta antes e após a ocorrência do movimento de massa;
- Realizar retroanálise do deslizamento;
- Propostas de soluções de estabilização.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ESTABILIDADE DE TALUDES

Segundo Caputo (1988), sob o nome genérico de *taludes* compreende-se quaisquer superfícies inclinadas que limitam um maciço de terra, de rocha ou de terra e rocha. Podem ser naturais, caso das encostas, ou artificiais, como os taludes de cortes e aterros. Na Figura 1 estão apresentados alguns termos utilizados para descrever aspectos geométricos de um talude.

Figura 1: Exemplo da geometria de um talude com seus elementos.

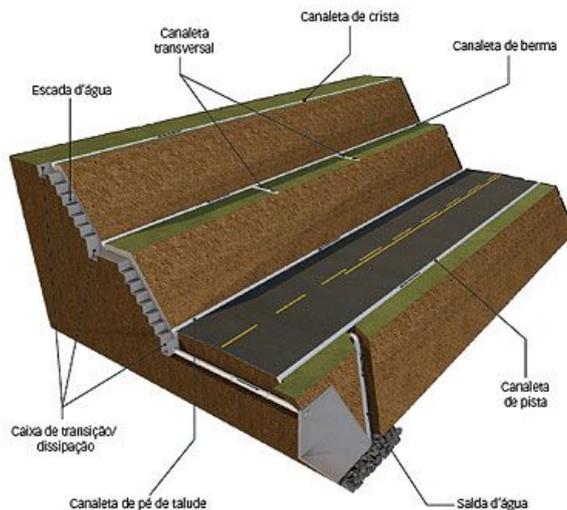


Fonte: Imagem retirada de Caputo (1988), p. 379.

2.1.1. Tipos De Taludes

Os *taludes artificiais*, realizados pela ação humana, resultam de cortes em encostas, de escavações ou de lançamentos de aterros. Os cortes ou escavações são realizados frequentemente como forma de estabilizar encostas (Fig.2) e abertura de obras de mineração.

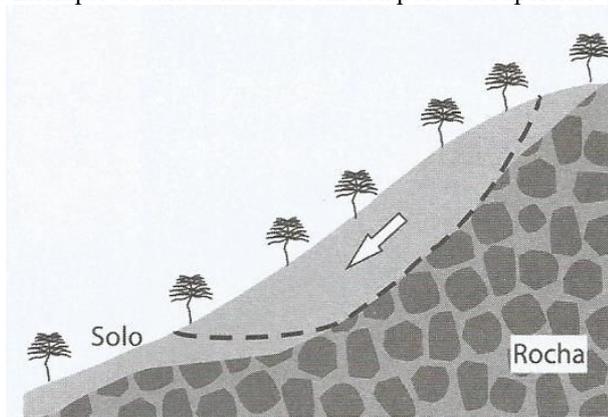
Figura 2: Exemplo de corte em talude construído com seus elementos de estabilização.



Fonte: Imagem retirada de <http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/7/obras-de-retaludamento-235540-1.aspx>, acesso em 24/06/2019.

Os *taludes naturais* podem ser constituídos por solo residual e/ou coluvionar, além de rocha. Eles estão sempre sujeitos a problemas de instabilidade (Fig. 3), porque as ações das forças gravitacionais contribuem naturalmente para a desestabilização da encosta ocasionando eventualmente a deflagração do movimento.

Figura 3: Exemplo de talude natural com sua possível superfície de ruptura.



Fonte: Imagem retirada Gerscovich (2012), p.12.

2.2. DESLIZAMENTOS/MOVIMENTOS DE MASSA

Segundo Guidicini e Nieble (1984), deslizamentos de massas, ou movimentos coletivos de solos e de rochas, têm sido objeto de amplos estudos nas mais diversas latitudes, não apenas por sua importância como agentes atuantes na evolução das formas de relevo, mas também em função de suas implicações práticas e de sua importância do ponto de vista econômico.

A propósito, Selby (1990), *apud* Dias e Herrmann (2002), define deslizamento de massa como o movimento de solo ou material rochoso encosta abaixo sob a influência da gravidade, sem a contribuição direta de outros fatores como água, ar ou gelo. Entretanto, água e gelo geralmente estão envolvidos em tais movimentos, reduzindo a resistência dos materiais e interferindo na plasticidade e fluidez dos solos. Logo, esses processos chamados de deslizamentos de massa, são classificados baseando-se nas condições geológicas e climáticas regionais e locais, e podem ocorrer de maneira lenta (rastejos), rápida (corridas e quedas de blocos) e complexa (combinação de vários agentes simultâneos ou sucessivos).

Segundo Gerscovich (2012), a instabilidade de encostas é consequência da própria dinâmica de evolução das encostas. Com o avanço dos processos físico-químicos de alteração das rochas, o material resultante torna-se menos resistente e, dependendo da influência da topografia, geram-se condições propícias para deflagrar a ruptura. Por isso, a ocorrência da perda da estabilidade e deflagração do deslocamento de massa é atribuída a uma complexa relação entre fatores, dos quais

destacam-se (Guidicini e Nieble, 1984):

- Complexo geológico – natureza petrográfica, estado de alteração por intemperismo, acidentes tectônicos (falhamentos e dobramentos), atitude das camadas (orientação e mergulho), formas estratigráficas etc.;
- Complexo morfológico – inclinação superficial, massa, forma de relevo;
- Complexo climático-hidrológico – clima, regime de águas meteóricas e subterrâneas;
- Complexo pedológico – tipo de solo, espessura;
- Gravidade – força gravitacional;
- Temperatura – calor solar;
- Vegetação – primária ou secundária;
- Complexo antrópico – ação do homem na alteração da paisagem.

Os deslizamentos de massa destacam-se como um dos principais processos geomorfológicos responsáveis pela evolução das encostas e do relevo em geral, sobretudo em áreas com elevadas declividades (montanhosas), remobilizando materiais ao longo das encostas em direção às planícies e/ou para o sopé das encostas. Junto aos processos erosivos, os deslizamentos de massa promovem o recuo das encostas e a formação de rampas coluviais. Deste modo, considerando os mecanismos específicos e os diferentes materiais envolvidos, os deslizamentos de massa são classificados em diferentes tipos, que serão abordados no seguinte tópico.

2.2.1. Tipos De Deslizamento De Massa

Os estudos abordados na literatura tratam os deslizamentos de massa como processos associados a problemas de instabilidade de encosta, com risco de danos materiais e vida. Segundo a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), os desastres naturais de atribuições geológicas são definidos como movimentos de massa que são divididos conforme suas características específicas no desenvolvimento do processo de instabilidade. No Quadro 1 retirado do COBRADE é possível visualizar a classificação dos desastres e sua sucinta definição. Entretanto, além da classificação da COBRADE, diversos autores propuseram diferentes propostas de classificação (Varnes, 1958, 1978; Hutchinson, 1968; Guidicini e Nieble, 1984), sendo que, segundo Gerscovich (2012), a de Varnes (1978) a mais utilizada internacionalmente, aplicável tanto para solos quanto para rochas apresentada no Quadro 2.

Quadro 1: Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE).

GRUPO	SUBGRUPO	TIPO	SUBTIPO	DEFINIÇÃO	COBRADE	SINBOLOGIA	
1. NATURAIS	1. Terremoto	1. Tremor de terra	0	Vibrações do terreno que provocam oscilações verticais e horizontais na superfície da Terra (ondas sísmicas). Pode ser natural (tectônica) ou induzido (explosões, injeção profunda de líquidos e gás, extração de fluidos, alívio de carga de minas, enchimento de lagos artificiais).	1.1.1.1.0		
		2 Tsunami	0	Série de ondas geradas por deslocamento de um grande volume de água causado geralmente por terremotos, erupções vulcânicas ou movimentos de massa.	1.1.1.2.0		
	2. Emissão vulcânica	0	0	Produtos/materiais vulcânicos lançados na atmosfera a partir de erupções vulcânicas.	1.1.2.0.0		
	3. Movimento de massa	1. Quedas, tombamentos e rolamentos	1. Blocos	As quedas de blocos são movimentos rápidos e acontecem quando materiais rochosos diversos e de volumes variáveis se destacam de encostas muito íngremes, num movimento tipo queda livre. Os tombamentos de blocos são movimentos de massa em que ocorre rotação de um bloco da solo ou rocha em torno de um ponto ou eixo do centro de gravidade da massa despendida. Rolamentos de blocos são movimentos de blocos rochosos ao longo de encostas, que ocorrem geralmente pela perda de apoio (descolamento).	1.1.3.1.1		
				2. Lascas	As quedas de lascas são movimentos rápidos e acontecem quando fatias delgadas formadas pelos fragmentos de rochas se deslizam de encostas muito íngremes, num movimento tipo queda livre.		1.1.3.1.2
				3. Matacões	Os rolamentos de matacões são caracterizados por movimentos rápidos e acontecem quando materiais rochosos diversos e de volumes variáveis se destacam de encostas e movimentam-se num plano inclinado.		1.1.3.1.3
				4. Lejes	As quedas de lejes são movimentos rápidos e acontecem quando fragmentos de rochas extensas de superfície mais ou menos plana e de pouca espessura se destacam de encostas muito íngremes, num movimento tipo queda livre.		1.1.3.1.4
		2. Deslizamentos	1. Deslizamentos de solo e/ou rocha	São movimentos rápidos de solo ou rocha, apresentando superfície de ruptura bem definida, de duração relativamente curta, de massas de terreno geralmente bem definidas quanto ao seu volume, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora do talude. Frequentemente, os primeiros sinais desses movimentos são a presença de fissuras.	1.1.3.2.1		
	3. Corrida de massa	1. Solo/Lama	Ocorrem quando, por índices pluviométricos excepcionais, o solo/lama, misturado com a água, tem comportamento de líquido viscoso, de extenso raio de ação e alto poder destrutivo.	1.1.3.3.1			
			2. Rocha/Detrítico	Ocorrem quando, por índices pluviométricos excepcionais, rocha/detrítico, misturado com a água, tem comportamento de líquido viscoso, de extenso raio de ação e alto poder destrutivo.		1.1.3.3.2	
4. Subsídências e colapsos		0	Afundamento rápido ou gradual do terreno devido ao colapso de cavidades, redução da porosidade do solo ou deformação de material argiloso.	1.1.3.4.0			

Fonte: COBRADE.

Quadro 2: Classificação dos movimentos de encosta segundo Varnes (1978).

Tipo de movimento			Tipo de material		
			Rocha	Solo	
				Grosseiro	Fino
Quedas			de rocha	de detritos	de terra
Tombamentos			de rocha	de detritos	de terra
Escorregamentos	Rotacional	Poucas unidades	Abatimento e rocha de blocos rochosos	Abatimento de Detritos de Blocos de Detritos	Abatimento de Terra de Blocos de Terra
	Translacional	Muitas unidades	de rocha	de Detritos	de Terra
Expansões laterais			de rocha	de detritos	de terra
Corridas/escoamentos			de rocha (rastejo profundo)	de detritos	de terra
			Rastejo de solo		
Complexos: combinação de 2 ou mais dos principais tipos de movimentos					

Fonte: Quadro retirado de Gerscovich (2012), p.16.

As classificações têm aplicabilidade regional e baseiam-se nas condições geológicas, climatológicas e geomorfológicas locais. Sendo assim, algumas propostas foram adequadas, como: Augusto Filho (1992) adaptou a classificação de Varnes (1978), relacionando as características do deslizamento com a geometria da encosta e com o tipo de material envolvido, e descreveu de forma simplificada os tipos de movimento de massa mais frequentes no Brasil, sendo quatro os tipos de movimento: rastejo, escorregamentos, quedas e corridas, conforme apresentado no Quadro 3.

Quadro 3: Características dos principais grandes grupos de movimento de massa.

Processos	Características do movimento, material e geometria
Rastejo ou Fluência	Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes Solo, rocha alterada/fraturada Geometria indefinida
Escorregamentos	Poucos planos de deslocamento Velocidades médias a altas Pequenos e grandes volumes de material Geometria e materiais variáveis Planares solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza Circulares solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas Em cunha solos e rochas com dois planos de fraqueza
Quedas	Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado Velocidades muito altas Material rochoso Pequenos a médios volumes Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc Rolamento de matacão Tombamento
Corridas	Movimento semelhante ao de um líquido viscoso Desenvolvimento ao longo das drenagens Velocidades médias a altas Mobilização de solo, rocha, detritos e água Grandes volumes de material Extenso alcance, mesmo em áreas planas

Fonte: Quadro retirado de Gerscovich (2012), p.17.

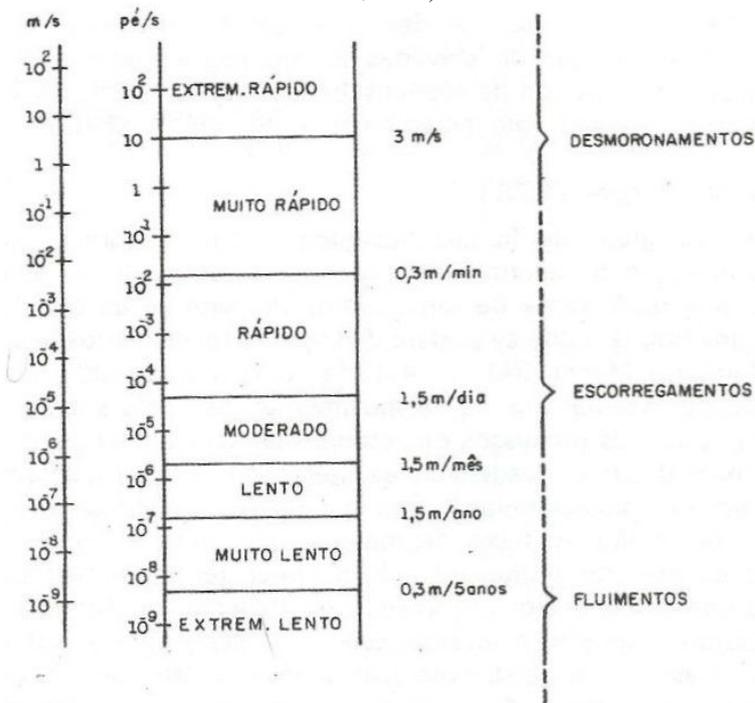
Segundo a classificação da literatura e da COBRADE o tipo e geometria do deslizamento de massa que se enquadra no estudo da encosta rompida no Morro da Praia Mole classifica-se, respectivamente, como escorregamentos e deslizamentos de solo e/ou rocha. Entretanto, o estudo desse projeto abordará o processo de instabilidade ocorrido como deslizamento de talude, em virtude de a encosta rompida em 11 de janeiro de 2018 situar-se em um corte de estrada caracterizado por ser um talude rodoviário.

A seguir será apresentada a descrição dos tipos de movimento.

2.2.2. Escoamentos

Segundo Gerscovich (2012), são movimentos contínuos, com ou sem superfície de deslocamento definida. Quando o movimento é lento, dá-se o nome de a) rastejo, quando o movimento é rápido, denomina-se b) corrida, na Figura 4 apresenta-se uma escala de movimento quanto a velocidade de deslocamento da massa.

Figura 4: Escala de velocidade para enquadramento dos movimentos de massas (Varnes, in Nascimento, 1967).



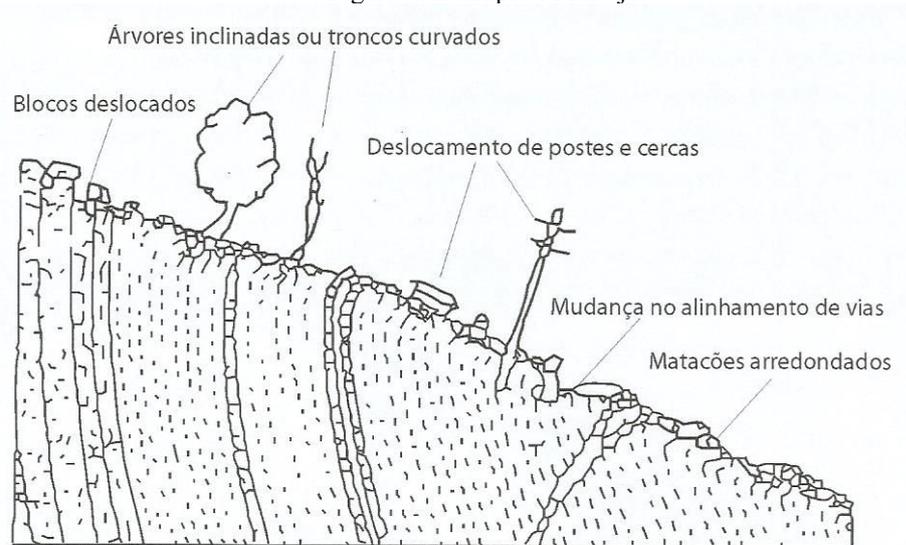
Fonte: Figura retirada de Guidicini e Nieble (1984), p.21.

a) Rastejo

Rastejos são movimentos lentos e contínuos, onde não há uma superfície de ruptura bem definida, podem envolver grandes áreas, sem que haja uma diferenciação clara entre a massa de solo em movimento e a região estável (Gerscovich, 2012).

A movimentação é provocada pela ação da gravidade, intervindo, porém, os efeitos devidos às variações de temperatura e umidade. O fenômeno de expansão e contração da massa de material, por variação térmica, se traduz o movimento, encosta abaixo, numa espessura proporcional à atingida pela variação da temperatura. Abaixo dessa profundidade, somente haverá rastejo por ação da gravidade, denominado por Terzaghi rastejo constante, em contraposição o material mais superficial chamado de rastejo periódico ou sazonal (Guidicini e Nieble, 1984). Em superfície, os rastejos podem ser identificados (Fig.5) pela observação de deslocamentos de eixos de estrada, blocos, postes ou cercas, ou mudanças na verticalidade de árvores (embarrigamento).

Figura 5: Exemplo de rastejo.



Fonte: Figura retirada de Sharpe (938) apud Gerscovich (2012), p. 20.

b) Corrida

São escoamentos de velocidade mais elevada (Fig. 6) do que os rastejos e apresenta comportamento hidrodinâmico ocasionado pela perda do atrito interno, em virtude da destruição estrutural, em presença de água em excesso. Portanto, é comum associar a massa de solo com grau de saturação elevado e muitas vezes com o teor de umidade superior ao limite de liquidez do solo.

Segundo Guidicini e Nieble (1984), uma massa de solo, ou de solo e rocha, pode fluir como um líquido, se atingir um certo grau de fluidez. Uma massa de solo no estado sólido pode se tornar um fluido por:

- simples adição de água (o caso das areias é típico);
- efeito de vibrações, tal como ocorre com os chamados solos tixotrópicos durante terremotos ou durante a cravação de estacas nas proximidades;
- processo de amolgamento no caso de argilas muito sensíveis.

Figura 6: Exemplos de corridas (Petrópolis, 2011).



Fonte: Imagem retirada do gl.globo.com em 24/06/2019.

A seguir será apresentada a descrição dos tipos de deslizamentos de taludes quanto à forma da superfície.

2.2.3. Tipos De Deslizamentos Quanto À Forma Da Superfície

Segundo Gerscovich (2012), os deslizamentos são movimentos de massa rápidos, com superfície de ruptura bem definida. A deflagração do movimento ocorre quando as tensões cisalhantes mobilizadas na massa de solo atingem a resistência ao cisalhamento do material. Tanto em solos como em rochas, a ruptura se dá pela superfície que apresenta menor resistência.

Guidicini e Nieble (1984) reitera, afirmando que os deslizamentos, são movimentos rápidos, de duração relativamente curta, de massas de terreno geralmente bem definidas quanto ao seu volume, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora do talude.

É possível classificar os tipos de deslizamentos quanto a sua morfologia de superfície, Gerscovich (2012) afirma que conforme as condições geomorfológicas, as superfícies de rupturas podem ser planares, circulares, em cunha, ou uma combinação de formas (circular e plana), denominadas de superfícies mistas.

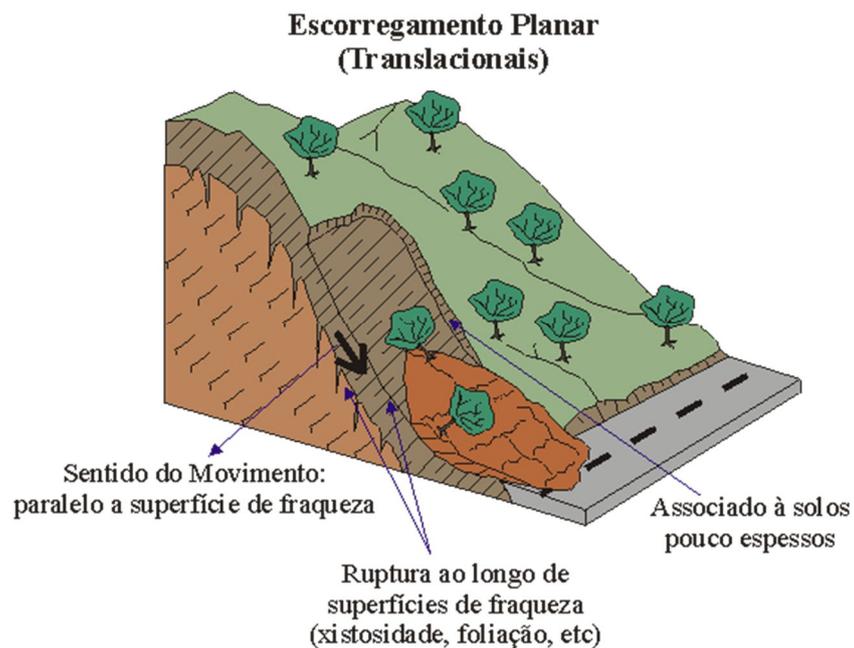
a) Translacionais

Segundo Gerscovich (2012), os deslizamentos planares ou translacionais caracterizam-se pelas descontinuidades ou planos de fraqueza (Fig. 7). Esse tipo de ruptura é muito comum em mantos de colúvio de pequena espessura, sobrejacente a um embasamento rochoso.

Os deslizamentos translacionais são tipicamente deflagrados em encostas mais íngremes

e com presença de solos rasos. O plano de ruptura encontra-se em profundidades que variam de 0,5 a 5,0 m, e podem ocorrer em uma zona de fraqueza proveniente de falhas, juntas, planos de acamamento, entretanto em se tratando de rupturas no manto do solo, a infiltração da água se torna o principal agente deflagrador da ruptura, pois devido o fluxo de água paralelo à encosta formado pela existência de uma camada menos permeável, como exemplo o embasamento rochoso, sob outra passível de instabilização, como exemplo, um solo permeável, gera consequentemente um aumento de poropressão positivas no interior da masa do solo que pode promover a ruptura.

Figura 7: Perfil esquemático escorregamento/deslizamento translacional.



Fonte: Figura retirada de <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09c.html> em 24/06/2019.

b) Rotacionais

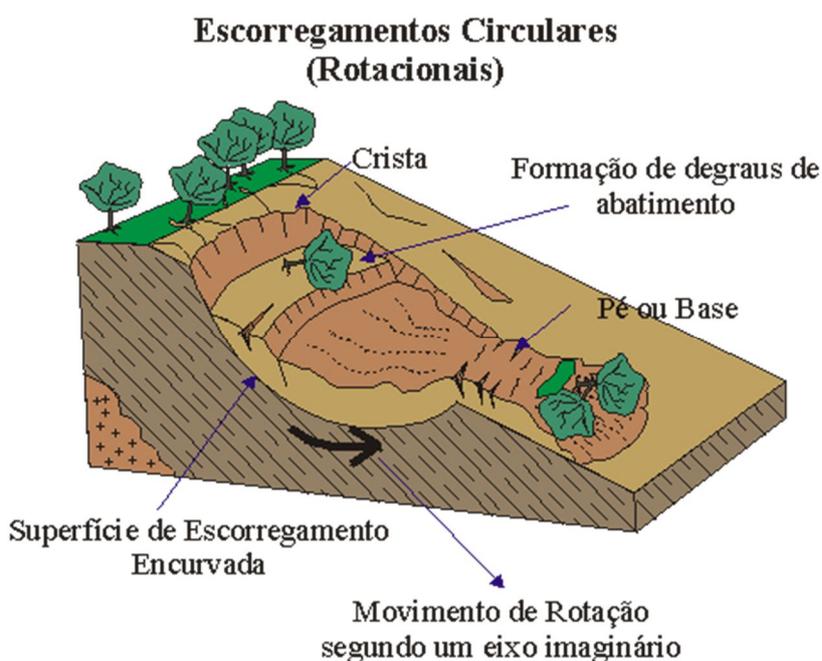
Segundo Varnes (1978), os deslizamentos rotacionais são pequenos escorregamentos ao longo de uma superfície circular com concavidade voltada para cima (Fig.8).

De acordo Guidicini e Nieble (1984), a forma e a posição da superfície de ruptura são influenciadas pela distribuição de pressões neutras e pelas variações de resistência ao cisalhamento dentro da massa do terreno. Assume-se então uma forma simplificada de superfície, a que mais se aproxima da realidade, sendo, geralmente, em arco de circunferência (ou cilíndrica). Supõe-se que o talude seja contínuo na seção. Supõe-se também que a tensão de cisalhamento e a resistência ao cisalhamento sejam uniformemente distribuídas ao longo de toda a superfície de ruptura. O colapso da massa ocorre por ruptura ao longo da superfície de escorregamento e rotação em torno do centro do arco. A força resistente é, em princípio, a resistência ao cisalhamento ao longo do círculo de

ruptura. Efetua-se uma análise da relação entre outras forças resistentes e forças atuantes, para diferentes posições do círculo de escorregamento, chamando-se ao menor valor encontrado, fator de segurança contra a ruptura. Em rochas e solos, bem como em qualquer outro tipo de material, a ruptura segue o caminho de menor resistência. Em um material coesivo, mais ou menos homogêneo, como, por exemplo, em algumas argilas, a superfície de ruptura se aproxima realmente de um arco de circunferência (ou melhor, de uma superfície circular cilíndrica, considerando-se a terceira dimensão).

O deslizamento rotacional do solo é um fenômeno verificado nas encostas brasileiras, mobilizando geralmente o manto de alteração. São movimentos catastróficos (Fig. 9), causados pelo deslizamento súbito do solo residual que recobre a rocha, ao longo de uma superfície qualquer de ruptura, ou ao longo da própria superfície da rocha.

Figura 8: Perfil esquemático escorregamento/deslizamento rotacional.



Fonte: Figura retirada de <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09c.html> em 24/06/2019.

Figura 9: Deslizamento circular ocorrido em 1995, em La Conchita, Califórnia, Estados Unidos da América.



Fonte: Figura retirada de <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09c.html> em 24/06/2019.

c) Quedas De Blocos

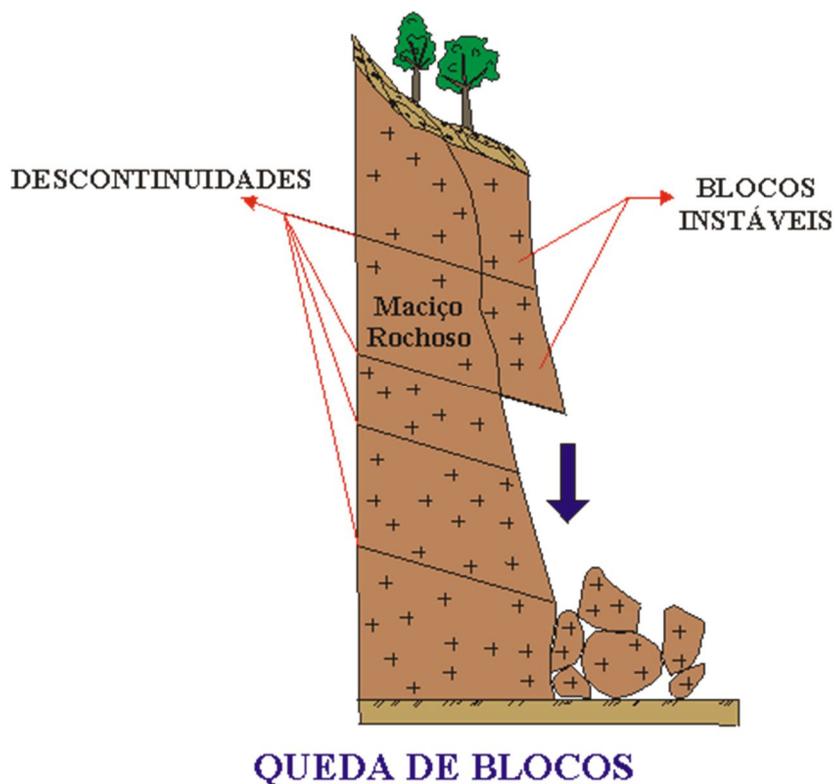
Segundo Guidicini e Nieble (1984), quedas de blocos ocorrem geralmente em penhascos com formas verticais, ou taludes muito íngremes (Fig. 10). Os blocos de rochas deslocados do maciço devido ao intenso intemperismo, caem por ação da gravidade. Este é um dos fatores de formação de depósitos de talús. Uma queda de blocos é definida por uma queda livre a partir de uma elevação, com ausência de superfície de movimentação, podendo causar grandes riscos ambientais, devido ao alto poder destrutivo das grandes massas de rochas que caem. A queda pode ser combinada com outros movimentos, quais saltos, rotação de blocos, ações de impacto no substrato, disso resultando em uma fragmentação e uma diminuição de dimensão com o progresso da movimentação.

As quedas de blocos ocorrem por perda de apoio da massa rochosa causada por ação erosiva água pluviométrica e drenagens mal distribuídas, por alívio de tensões de origem tectônica, ou por processo de desconfinamento lateral de maciços decorrentes de linha de entalhe recentes.

Neste grupo incluem-se, assim, movimentos das mais variadas proporções desde a queda isolada de um bloco, até colapso de enormes complexos rochosos, e, se enquadram como movimentos complexos de massa quando associados a deslizamentos de solos, que será abordado no tópico

seguinte. Os termos *tombamento* ou *basculamento* são também usados com frequência para definir o processo, além de *desmoronamento*.

Figura 10: Perfil esquemático de queda de blocos.



Fonte: Figura retirada de <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter14.html> em 24/06/2019.

2.2.4. Movimentos Complexos De Massa

Os movimentos complexos de massa, é o resultado e a combinação dos movimentos descritos anteriormente, caracterizam-se por movimentos múltiplos, ou complexos, e pela ação de vários agentes simultâneos ou sucessivos (Fig. 11). Pode-se dizer que *movimentos complexos de massa* é um sinônimo a *deslizamentos mistos* da classificação de Freire (1973), ratificado por Guidicini e Nieble (1984).

Esta classe abrange todos os fenômenos de movimentação onde, durante sua manifestação, ocorra uma mudança de características morfológicas, mecânicas ou casuais. Por exemplo, rastejos de detritos de talús, que, com o aumento do teor de água, tornam-se avalanche de detritos, ou corridas, que, por perda do teor de água, tornam-se rastejos, assim por diante.

Logo, é possível entender que em uma evolução das encostas promovidas pela erosão ao longo do tempo, pode-se atingir substratos com características físicas e químicas diferentes, que, geralmente em regiões tropicais é o fator chuva que promove a deflagração do movimento complexo de diferentes massas (solo + rocha).

Figura 11: Exemplo de movimento complexo de massa ocorrido em Florianópolis, janeiro 2018.



Fonte: Imagem retirada de laudo Defesa Civil - SC, 412/2018.

2.3. RETROANÁLISE

A retroanálise de uma encosta é o estudo da estabilização em local com instabilidade já ocorrida, onde são considerados os seguintes fatores para estudo a) definição do tipo, geometria e mecanismo de instabilidade; b) geometria da encosta anterior e posterior a ruptura; c) condições de pressão neutra; d) estimativa de ângulo de atrito e coesão para fator de segurança unitário.

A propósito Ahrendt (2005) comenta que a retroanálise consiste na observação e análise de dados precedentes de materiais compreendidos pela mesma formação geológica, permitindo a definição de parâmetros de resistência ao cisalhamento através de combinações dos parâmetros.

Segundo Wolle (1980), a existência de casos prévios de rupturas em taludes com condições geológico-geomorfológicas e fenomenológicas semelhantes, permite, através do uso de retroanálise, estabelecer faixas prováveis de variação dos valores médios dos parâmetros de resistência.

Logo, é importante salientar que a utilização de parâmetros de resistência obtidos através de retroanálise, em análise de outros taludes, deverá se restringir a situações onde ocorrem os mesmos tipos de solos e em condições semelhantes, de modo a permitir esta extrapolação de resultados (CARVALHO et al. 1991).

Augusto Filho & Virgili (1998) ressaltam que a técnica da retroanálise consiste na realização de cálculos tentativos do fator de segurança, até ajustar os parâmetros de resistência do solo (coesão e ângulo de atrito) à situação de $FS = 1,00$. Lembram que em geral, como os valores típicos de ângulo de atrito para diferentes classes de terrenos apresentam menores dispersões, eles são preestabelecidos e a coesão é obtida por decorrência. Os autores recomendam a utilização da técnica de retroanálise para avaliação do ganho de segurança com a execução de uma obra de estabilização de um talude rompido ou em processo de ruptura.

Segundo Serra Jr. & Ojima (1998), a retroanálise utilizada em análise de estabilidade de taludes compreende basicamente o estudo das condições em que ocorreu determinada ruptura. A reconstituição do mecanismo de instabilidade e a aplicação das técnicas de retroanálise configuram um ensaio em escala natural, que complementado por ensaios de laboratório ou *in situ*, permite a determinação dos parâmetros de resistência com maior confiança.

O método adotado nesse projeto para realização da retroanálise seguirá as seguintes etapas com suas devidas adaptações a fim de se chegar a um parâmetro coerente de resistência para o talude em estudo. A topografia do talude rompido foi obtida através de imagens aéreas com seu modelo digital de terreno, assim foi possível encontrar a geometria antes e após a ruptura, além disso, foi verificado o registro pluviométrico total mensal e diário do mês de janeiro de 2018 e é claro a restrita relação da ruptura com os altos índice pluviométricos, pois choveu em um dia mais o que esperado para todo o mês, para a determinação dos valores de ângulo de atrito e coesão do solo, realizou-se o ensaio *in situ* do *Borehole Shear Test*, que consiste em conseguir a reta de Coulumb através do cisalhamento do solo aplicando-o uma tensão definida. Logo, após essas etapas obtiveram-se os dados e resultados que serviram para análise de estabilidade do talude, onde, são analisados no tópico de discussão no final desse trabalho.

2.4. FATOR DE SEGURANÇA

O Fator de Segurança (FS) é a relação numérica para se estabelecer o grau de susceptibilidade a ruptura de um talude. Segundo a NBR 11682/1991, o fator de segurança é definido pela relação de esforços estabilizantes (resistentes) e os esforços instabilizantes (atuantes) para determinado cálculo adotado escolhido, sejam determinísticos ou estatísticos. Essa determinação, derivado do cálculo, pode não ser o fator realmente existente, a precisão das hipóteses e estudos dos parâmetros corretos do solo na área escolhida, que será imprescindível para o sucesso da estabilização de um talude.

Dessa maneira, quando $FS = 1$, as forças estabilizantes são exatamente iguais às forças instabilizantes; quando $FS < 1$, as forças instabilizantes são maiores que as estabilizantes e a encosta está propensa a rupturas; e quando $FS > 1$ as forças estabilizantes são maiores que as instabilizantes, assim, teoricamente a encosta está estável. Usando-se os métodos matemáticos de análise, baseados no

equilíbrio-limite, pode-se adotar o fator de segurança como “1” se, por meio de controle efetuado, verifica-se que houve a diminuição da velocidade de deslizamento do talude, evidenciado segundo as superfícies de ruptura ou de movimentação de massa de terreno, ou a estabilidade do talude.

Para determinar o fator de segurança, através dos métodos que utilizam a teoria do equilíbrio limite ($FS = 1$), é necessário dispor-se dos parâmetros de resistência dos solos, ou seja, coesão e ângulo de atrito. Esses parâmetros podem ser obtidos através de ensaios de laboratório específicos (triaxiais e de cisalhamento direto) realizados sobre amostras dos solos de interesse, ensaios *in situ* realizados no próprio local de interesse (SPT, CPT, BST), aplicando-se posteriormente correlações estatísticas previamente determinadas, e através de retroanálises de casos reais observados de rupturas na região circunvizinha à área analisada para se ter sucesso nos parâmetros adotados em campo e em laboratório.

O nível do fator de segurança de forma numérica torna-se mais imprescindível quando se relaciona com o nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas. Conforme o Quadro 4.

Quadro 4: Nível de segurança contra perda de vidas humanas.

Nível de Segurança	Crítérios
Alto	Áreas com intensa movimentação e permanência de pessoas, como edificações públicas, residenciais ou industriais, estádios, praças e demais locais, urbanos ou não, com a possibilidade de elevada concentração de pessoas. Ferrovias e rodovias de tráfego intenso
Médio	Áreas e edificações com movimentação e permanência restrita de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego moderado
Baixo	Áreas e edificações com movimentação e permanência eventual de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego reduzido

Fonte: ABNT NBR 11682: 2009

Na prática, para a definição do fator de segurança em trabalhos de retroanálises são realizadas da seguinte forma: fixadas as condições de contorno do problema (geometria inicial e atual do talude, geometria da superfície de ruptura no seu eixo mais crítico e as condições de pressão neutra) estima-se o ângulo de atrito e a coesão do solo objetivando gerar um fator de segurança unitário.

Segundo Gomes (2003), se o fator de segurança calculado for diferente de 1,00, geralmente, o valor do ângulo de atrito é fixado (Mello, 1972) e o valor da coesão é alterado, por tentativas, até que o fator de segurança seja igual a 1,00. Para se obter todos os pares de parâmetros da curva $c = f(\phi)$ que satisfazem a condição de $FS = 1,00$, o procedimento acima mencionado é repetido, o que o torna extremamente trabalhoso devido ao elevado número de tentativas necessárias. Isso se dá em função da formulação dos cálculos do fator de segurança, visto que este é calculado a partir de uma coesão e de um ângulo de atrito conhecidos, ou seja, ($FS = f(c, \phi)$), independentemente do método de cálculo utilizado. Para resolver essa questão, basta fixar o valor de $FS = 1,00$ e alterar a formulação do cálculo

do fator de segurança de modo que $c = f(\text{FS}, \phi)$. Como o fator de segurança tem valor fixo ($\text{FS} = 1,00$), para cada variação do ângulo de atrito se obtém a coesão correspondente.

Segue como exemplo a equação modificada por Gomes (2003) proposta para o método de Bishop Simplificado.

$$c = \frac{\text{FS} * \sum w * \text{sen}\alpha - \sum (w - u * b) * \text{tg}\phi * \frac{1}{M\alpha}}{\sum b * \frac{1}{M\alpha}} \quad (1)$$

O método de Bishop Simplificado (Bishop, 1955) é um dos mais utilizados entre os métodos determinísticos baseados na teoria do equilíbrio limite. Segundo Ducan (1994), esse método tem como restrição o fato de somente poder ser aplicado para superfícies de rupturas circulares, sendo, nesses casos, bastante preciso para todas as situações.

Em razão do método de Bishop Simplificado (Bishop, 1955) ser muito conhecido no meio técnico. Este método está baseado em algumas simplificações, as quais admitem: somente superfície circular; fator de segurança constante ao longo de toda a superfície de ruptura; e que as componentes verticais das forças atuantes nas faces laterais da lamela se anulam.

Resumidamente a metodologia feita por Gomes (2003), através da equação proposta de $c = f(\text{FS}, \phi)$, gera o gráfico apresentado na Figura 12. Após isso, com os pares de coesão e ângulo de atrito obtidos é realizadas pesquisas da superfície de ruptura crítica para cada par de parâmetros, gerando assim fatores de segurança críticos em função do ângulo de atrito, apresentado no gráfico da Figura 13. Desta forma o par de coesão e ângulo de atrito que mais se aproxima do fator de segurança unitário, será escolhido pelo ângulo de atrito do gráfico da Figura 13, em que mostra uma curva com pico delimitado em $\text{FS}=1$.

Figura 12: Gráfico $c \times \phi$.

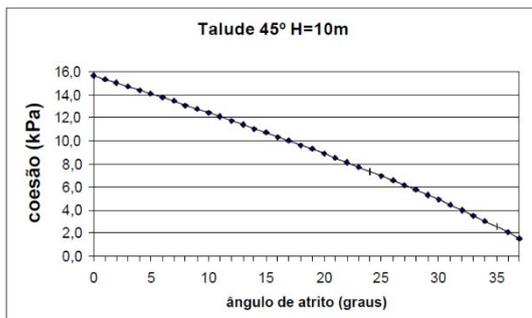
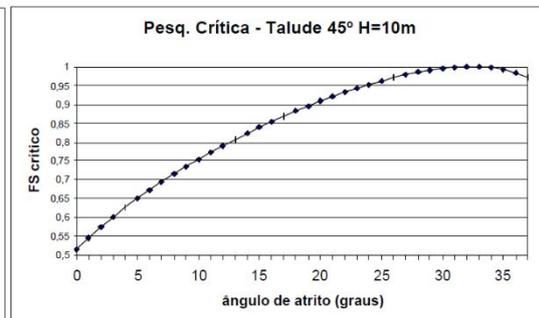


Figura 13: Gráfico $\text{FS}(\text{crítico}) \times \phi$.



Fonte: Gomes, 2003.

2.5. HISTÓRICO DE DESLIZAMENTOS EM SANTA CATARINA

Segundo Siebert (2017), para o estado de Santa Catarina, as mudanças climáticas e os desastres naturais são questões prioritárias. Com um território de cerca de 95.737 km² (1,1% do território nacional) e população estimada pelo IBGE para 2016 de cerca de 6,9 milhões de habitantes (3,3 % da população brasileira), Santa Catarina vem sendo atingida periodicamente por desastres naturais em todo o seu território. De 2002 a 2012, foram registradas 1.108 ocorrências de enxurradas, inundações e deslizamentos, o que corresponde a 11% do total de ocorrências semelhantes no país.

Um exemplo de desastre de grande magnitude ocorrido no estado foi no final de 2008, onde palco de uma das maiores catástrofes naturais, relacionadas a escorregamentos de encostas, ocorridas no Brasil. Estes escorregamentos vieram associados a problemas de erosão, assoreamento e inundações. Segundo levantamento realizado pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI/SC), os processos citados anteriormente afetaram mais de 60 cidades e mais de 1,5 milhões de pessoas, com 133 mortes, 22 desaparecidos e mais de 78.000 habitantes que tiveram que abandonar suas casas. Uma das regiões mais afetadas foi o Complexo do Morro do Baú, que engloba parte dos Municípios de Ilhota, Gaspar e Luiz Alves no norte do estado (EPAGRI/SC, 2009). O período de chuvas mais intensas do evento ocorrido no final de 2008 em Santa Catarina foi entre os dias 20 e 24 de novembro. Neste evento estima-se que tenha ocorrido mais de 4000 escorregamentos de encosta de diferentes tipos, tais como, escorregamentos translacionais, circulares, corridas de lama e de detritos.

Siebert (2017), reuniu em uma Tabela 1 com dados obtidos pela Defesa Civil SC os maiores desastres de Santa Catarina com os números de consequências causadas pelas catástrofes. Segue a Tabela:

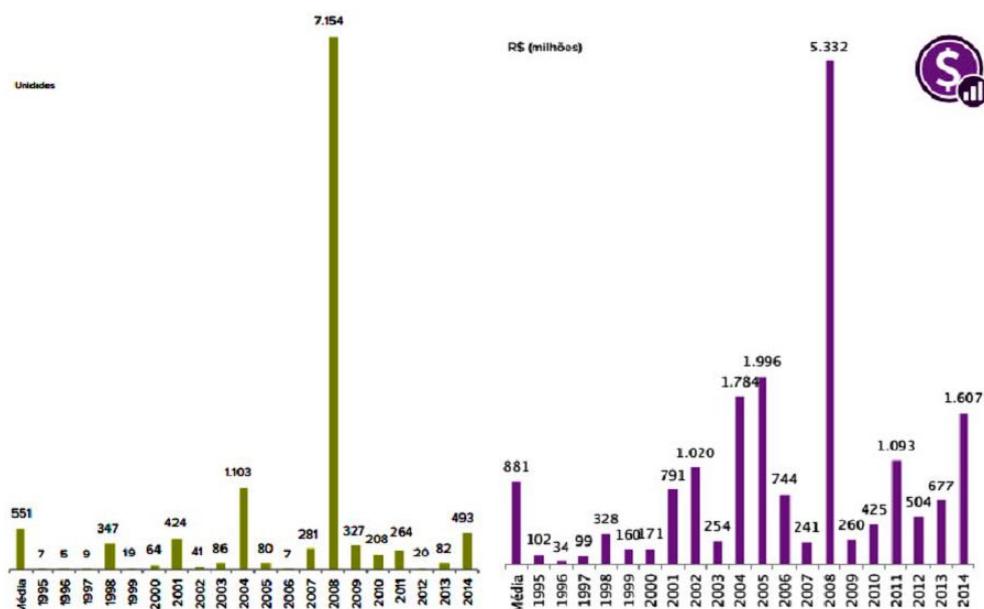
Tabela 1: Maiores desastres em Santa Catarina 1974 – 2016.

ANO	LOCAL	EVENTO
1974	Tubarão	enchente 10 m 199 mortes, 65.000 desabrigados/desalojados
1983	Vale do Itajaí	enchente +15m (5 dias de chuvas) 49 mortes, 198 mil desabrigados
1984	Vale do Itajaí	enchente +15m 16 mortes, 225.000 desabrigados/desalojados
1987	Norte, Oeste, Serra	El Niño – inundações Fevereiro – 2 mortes, 4.000 desabrigados, 5 municípios Maio – 5 mortes, 3.350 desabrigados, 32 municípios
1990	Blumenau	enxurrada 65mm/4 horas 21 mortes, 67 deslizamentos
1995	Gde Fpolis e Sul	inundação + deslizamento 29 mortes, 29.000 desabrigados, 27 municípios CP
1997		El Niño – inundações Jan – 7 mortes, 14.000 desabrigados, 35 municípios Out 2 mortes, 9.000 desabrigados, 37 municípios
2004	Litoral Sul	Furacão Catarina (primeiro furacão do Atlântico Sul) 4 mortes, 33.000 desabrigados, 40 cidades afetadas
2004/2005	Região Oeste	estiagem
2008	Região Oeste	estiagem
2008	Vale do Itajaí	deslizamentos e inundação brusca (3 meses chuvas intensas) 135 mortes, 80.000 desabrigados/desalojados, 14 municípios CP
2011	Vale do Itajaí	inundação Fev – 6 mortes, 20.970 desabrigados/desalojados Set – 3 mortes, 177.000 desabrigados/desalojados, 10 municípios CP
2014	Vale do Itapocu	inundação
2015	Região Oeste	tornado categoria F2 (ventos de 181km/h a 252km/h)
2016	Tubarão	tsunami meteorológico

Fonte: Dados Defesa Civil SC. Elaboração Siebert (2017).

No entanto, a análise do número de registros de desastres é insuficiente para a compreensão dos danos e prejuízos causados por estes eventos. Por este motivo, é de extrema relevância a análise do Relatório de Danos Materiais e Prejuízos Decorrentes de Desastres Naturais em Santa Catarina (CEPED/UFSC, 2016). No período analisado, de 1995 a 2014, o ano de 2008 destaca-se com o maior número de habitações destruídas, e com maiores valores em danos e prejuízos totais, somando-se os setores públicos e privados (agricultura, indústria e serviços), como pode ser observado na Figura 14 a seguir.

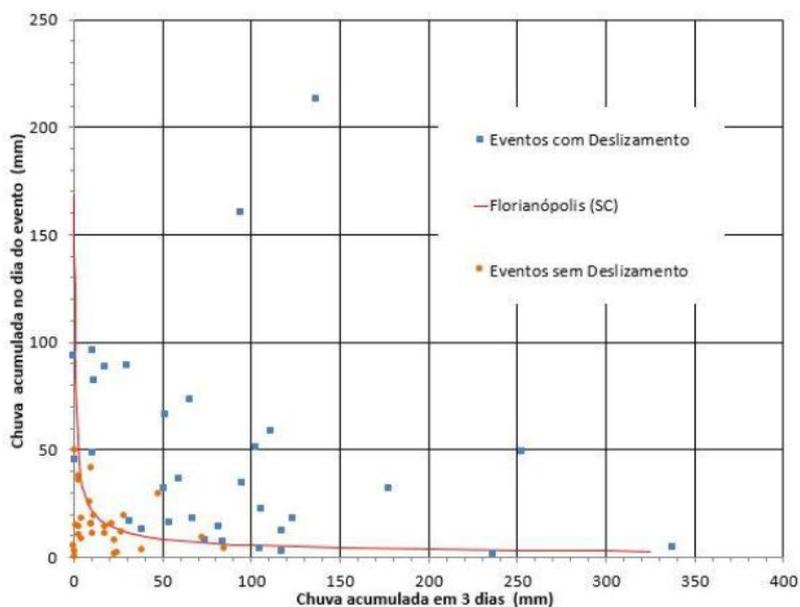
Figura 14: Residências destruídas e danos totais em SC 1995 -2014.



Fonte: CEPED/UFSC, 2016.

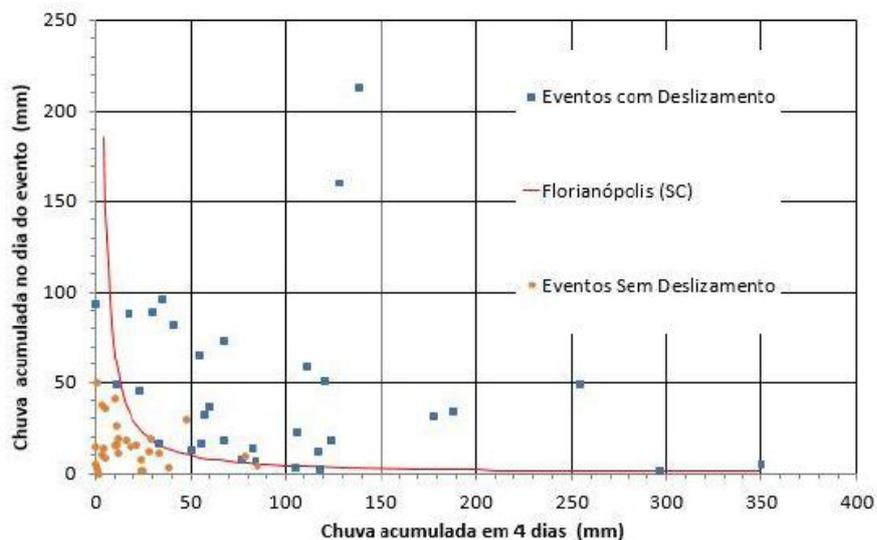
Além desses graves registros de desastres a capital do estado, o município de Florianópolis, também se inclui nesses eventos catastróficos. Oliveira *et al.* (2012), estudou o maior escorregamento de encosta localizado na Ilha de Florianópolis, que ocorreu associado também ao evento de 2008, localizado no km 14 da rodovia SC-401, onde o deflagrador do movimento foram as fortes chuvas. O autor gerou um gráfico onde correlaciona os movimentos de massa e precipitação acumulada, evidenciando os riscos de desastres, onde é visualizado nas Figuras 15 e 16.

Figura 15: Correlação entre deslizamentos de massa e precipitação acumulada de 3 dias em Florianópolis.



Fonte: Gráfico retirado de Oliveira *et al.* (2012).

Figura 16: Correlação entre movimentos de massa e precipitação acumulada de 4 dias em Florianópolis.



Fonte: Gráfico retirado de Oliveira *et al.* (2012).

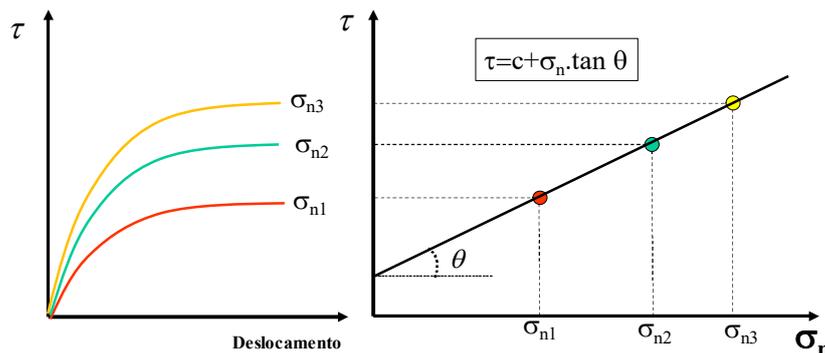
Logo, ressalta-se nesse projeto em estudo do deslizamento ocorrido na SC-406, que é importante um monitoramento das previsões de temporais para evitar-se e/ou alerta-se a probabilidade de ocorrência dos deslizamentos de encostas que ponham em riscos vítimas fatais e danos materiais exorbitantes.

2.6. BOREHOLE SHEAR TEST (BST)

O *Borehole Shear Test* (BST) é um ensaio de cisalhamento realizado *in situ* e é uma alternativa ao ensaio de cisalhamento direto e compressão triaxial, executados em laboratório, para a obtenção parâmetros de resistência e resultados mais rápidos. Salienta-se que, em comparação ao ensaio laboratorial, o ensaio BST possui a vantagem de ser mais rápido e de tornar mais fácil a repetição ou substituição de pontos amostrados, o que torna-o bastantes aplicável a estudos de mapeamentos de susceptibilidade a deslizamentos de encostas, pois a sua agilidade de aplicação faz-se com que cubra-se uma maior área de análise em um menor espaço de tempo.

Nesse método são aplicadas tensões de cisalhamento dentro de um furo feito anteriormente a trado no solo, o ensaio BST pode ser realizado em diversas profundidades na mesma perfuração. Eles são efetuados através de uma sonda que possui duas placas dentadas. Por meio de uma bomba manual de ar comprimido com um manômetro acoplado, o dispositivo localizado entre os pratos infla e uma tensão normal é gerada contra ao solo. Por fim, ocorre o deslocamento vertical da placa dentro do furo para mensuração da tensão cisalhante máxima aplicada por meio da aplicação de torque em uma manivela. Assim, através de, pelo menos, a repetição de 3 vezes do ensaio para tensões normais distintas, é possível plotar as envoltórias de ruptura dada pela reta de Coulomb, obtendo-se o ângulo de atrito interno e o intercepto coesivo do solo amostrado. Segue na Figura 17 um exemplo esquemático de um BST com a equação de Coulomb ajustada aos pontos experimentais.

Figura 17: Equação da reta de Coulomb ajustada aos pontos experimentais do BST.



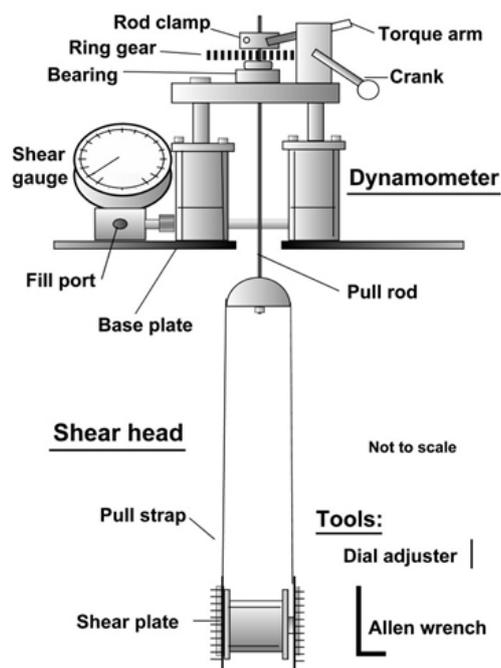
Fonte: Autor, 2019.

O teste é realizado em duas fases: a fase de consolidação e a fase de cisalhamento. Na fase de consolidação, após a aplicação da tensão normal no furo é necessário esperar que o solo se consolide, o tempo de espera deve ser de no mínimo 5 minutos, sendo que em solos argilosos deve ser maior do que 15 minutos. Já na fase de cisalhamento é feita a medição do valor máximo da

tensão cisalhante. O processo é repetido até que se tenha atingido a tensão máxima (LUTENEGGER, 1981).

O resultado das medições é plotado para descrever a envoltória de ruptura Coulomb, com o ângulo de atrito e a coesão (LUTENEGGER, 1981). A Figura 18 mostra todos os componentes do equipamento *Borehole Shear Test*.

Figura 18: Equipamento *BoreHole Shear Test*.



Fonte: *Handy Geotechnical Instruments*, (2013).

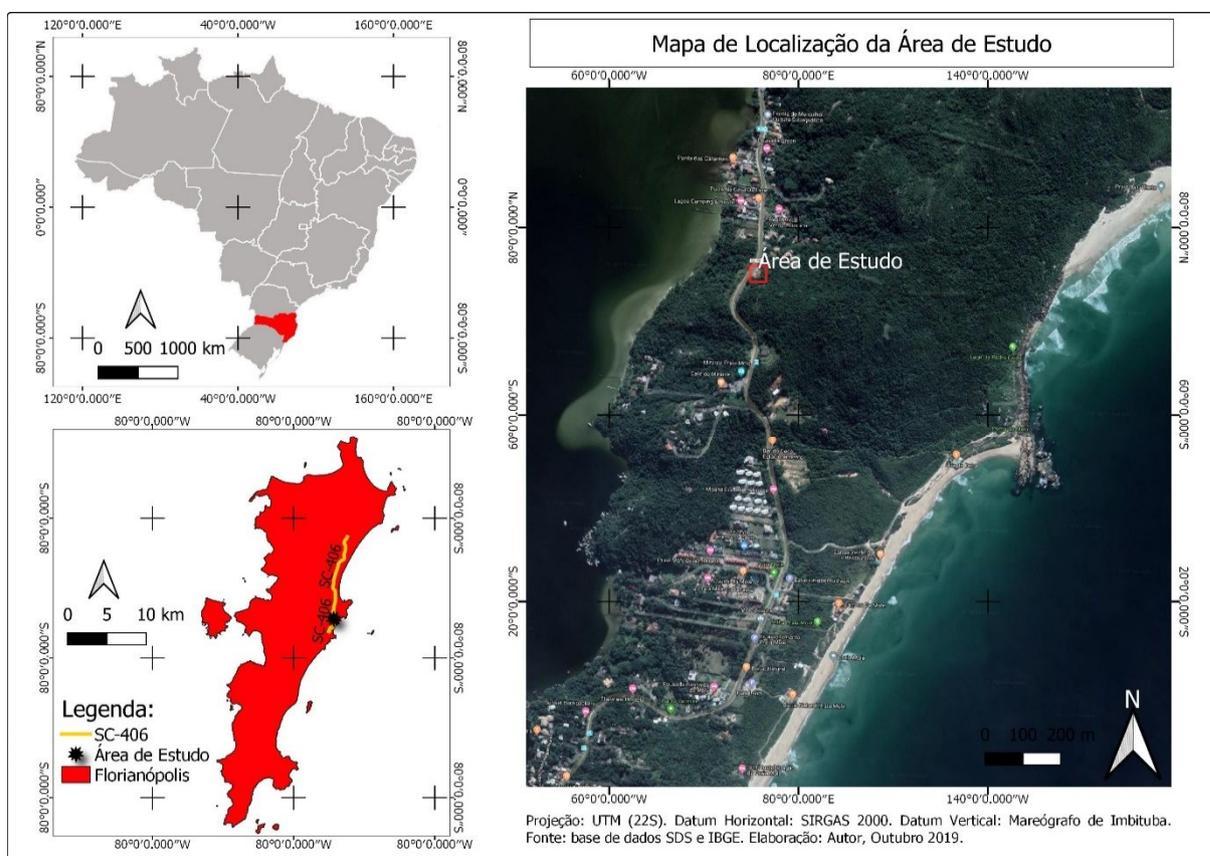
Ressalta-se as vantagens da escolha para utilização do equipamento baseiam-se:

- a) Fácil aplicabilidade e transporte;
- b) Realização *in situ*;
- c) Obtenções dos resultados de ângulo de atrito e coesão mais rápidos;
- d) Recomendado para mapeamento de susceptibilidade a deslizamento;
- e) Não necessita de energia elétrica.

3. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo escolhida está localizada na porção leste da Ilha de Santa Catarina, situada na atual capital do estado no município de Florianópolis, corresponde a um talude rodoviário localizado na Rodovia Jornalista Manuel de Menezes (SC-406) próximo ao Mirante Barra da Lagoa no Morro da Praia Mole. Na Figura 19 está a indicação da área de estudo elaborada na forma de mapa temático pelo software QGIS 3.8.2 que apresenta coordenadas UTM dadas por: (753093.389956; 6945077.06437). Uma visão panorâmica atual do deslizamento ocorrido no dia 11 de janeiro de 2018 está apresentada Figura 20.

Figura 19: Localização área de estudo.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 20: Foto panorâmica da área de estudo.



Fonte: Autor, 2019.

3.1. DESCRIÇÃO DO DESLIZAMENTO DO TALUDE OCORRIDO EM JANEIRO DE 2018

O escorregamento do talude rodoviário ocorreu no dia 11 de janeiro de 2018, e se deu por influência climática devidos dias consecutivos de altos índices pluviométricos. A encosta foi escavada com o objetivo da construção da rodovia SC-406, porém no talude escavado não foi realizado a construção de elementos de contenção e drenagem, o que ocasionou junto a grande concentração de chuvas do mês de janeiro a saturação do solo residual de granito levando ao seu colapso, que caracteriza-se por ser um escorregamento do tipo rotacional devido a geometria formada com plano de ruptura bem definido, sendo possível a distinção do material deslizado e o que não foi movimentado. Logo, as causas de instabilidade observadas para o local é um conjunto de fatores associados, sendo que é possível enumerar os mais relevantes:

1. Talude rodoviário com ângulos de inclinação com 40° sem a construção de obras de contenção e drenagem;
2. Índice pluviométrico do mês de janeiro com volume de chuvas consideráveis, acima dos 400mm;
3. Sobrecarga do solo pela saturação de água do solo e presença de árvores de grande porte.

Na Figura 21 retirada no dia seguinte logo após o acontecimento, é possível visualizar a vista frontal da queda em que mostra uma grande quantidade de solo movimentado e raízes de árvores de grande porte desenraizadas, o que enfatiza os fatores condicionantes para o acontecimento do deslizamento em estudo.

Figura 21: Vista frontal do deslizamento SC-406.



Fonte: Laudo Geológico de Urgência Defesa Civil, 2018.

Já nas Figuras 22 e 23, além do solo e árvores, é possível visualizar uma grande quantidade de água vertendo na base a jusante do deslizamento, o que evidencia que o solo está saturado de água, ratificando que os altos índices pluviométricos é sem dúvidas um agente potencializador e causador dos deslizamentos de encosta da área em estudo, e também em outras áreas do município de Florianópolis. Na figura 24, é possível visualizar um tronco de árvore recurvado, que mostra que já estava instalado o movimento de rastejo na área de estudo, que apenas foi potencializado pela chuva, acarretando o deslizamento de grande parte da encosta.

Figura 22: Vista geral do escorregamento observado no dia 12/01/2018, notar a grande quantidade de água vertendo na base do escorregamento.



Fonte: Laudo Geológico de Urgência Defesa Civil, 2018.

Figura 23: Vista de outro ângulo do escorregamento.



Fonte: Laudo Geológico de Urgência Defesa Civil, 2018.

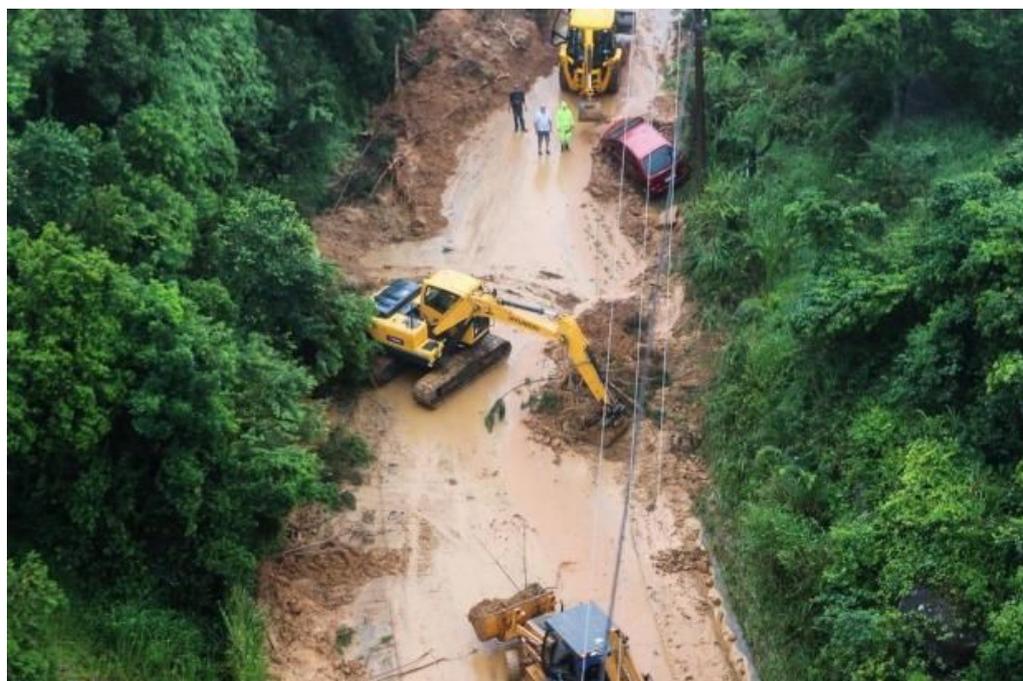
Figura 24: Tronco de árvore recurvado, evidenciando rastejo.



Fonte: Laudo Geológico de Urgência Defesa Civil, 2018.

Na figura 25, retirada da notícia do Diário Catarinense, é realizada a limpeza da rodovia com retroescavadeiras, devido à grande quantidade de material que obstruiu a passagem de carros na pista, é identificado também um carro de cor vermelha que foi atingido pelo deslizamento, porém não consta essa informação nos relatórios realizados pela Defesa Civil.

Figura 25: Deslizamento ocorrido em janeiro 2018 na área de estudo Morro da Mole.



Fonte: Tiago Ghizoni para Diário Catarinense.

3.2. CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS

O litoral catarinense, incluindo Florianópolis, é de clima subtropical, com a temperatura média anual superior a 20°C e com um inverno ameno. A temperatura média inferior oscila no mês mais frio entre 15°C e 18°C, e a temperatura média de janeiro entre 24°C e 26°C (NIMER, 1979). Este clima é uma transição entre o clima tropical quente das latitudes baixas do Brasil, e temperado mesotérmico das latitudes médias da região Sul, acaba sendo um prolongamento climático da região Sudeste. Portanto o clima deve ser classificado como subtropical mesotérmico úmido (conforme proposto por Strahler) equivalente ao Cfa de Köppen. Tanto a uniformidade quanto a unidade das condições climáticas são dadas pelos fatores climáticos dinâmicos. O Sul é uma região sujeita a passagem da frente polar em frontogênese, tornando a região apta a brusca mudança de tempo. A posição marítima determina uma forte e constante concentração de núcleos de condensação nas camadas inferiores de sua atmosfera que, certamente, contribuem para o acréscimo de chuvas em seu território. A predominância da formação florestal no litoral está em perfeita concordância com o caráter úmido do clima regional (NIMER, 1979). Durante todo ano qualquer parte da Região Sul é constantemente submetida a mudanças de tempo que são divididas em 4 grupos principais, segundo Nimer (1979):

- a) Estável com temperatura mediana a elevada, sob o domínio do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul;
- b) Tempo instável de chuvas mais ou menos pesadas que acompanham a passagem da Frente Fria;
- c) Retorno do tempo estável sob o domínio do Anticiclone Polar que traz tempo ensolarado, umidade relativa baixa e calma e;
- d) Com o desaparecimento do Anticiclone Polar este último tempo é submetido pelo primeiro, recomeçando novamente o ciclo.

O clima do município de Florianópolis é condicionado pelo domínio da massa de ar quente e úmida, a Massa Tropical Atlântica (MTA) e pela influência das Massas de Ar Intertropical (quente) e a Massa Polar Atlântica (MPA, fria), que dão caráter mesotérmico à região. Destaca-se a Frente Polar Atlântica, responsável pelo ritmo de chuvas da Ilha (em geral frontais, pré-frontais e pós-frontais), e que resulta do encontro das massas MPA, responsável pelos ventos Sul e Sudeste, e MTA, responsável pelos ventos Norte e Nordeste (FREYESLEBEN, 1979). O clima é classificado em subtropical mesotérmico úmido, com verões quentes e invernos amenos. Florianópolis apresenta temperatura média anual de 20,4°C, com o mês mais quente em janeiro 24,5°C em média, e a média mensal mais baixa registrada no mês de julho em torno de 16,5°C (CARUSO, 1983; M. MONTEIRO, 1991; MENDONÇA, 2002).

Apresenta chuvas bem distribuídas ao longo do ano sem uma estação seca bem definida, a passagem das frentes frias polares ocasiona bruscas mudanças de tempo atmosférico em qualquer

estação. Em função da maritimidade, a umidade relativa do ar é em média de 80%. Os ventos predominantes sopram do quadrante norte, com velocidade média de 3.5 m/s, no entanto os mais velozes e também mais frequentes sopram do sul com velocidade média de 10 m/s, associados a Tropical Marítima e Polar Marítima do Atlântico. Os ventos sul antecedem a entrada de frentes frias e da Polar Marítima do Atlântico com rajadas chegando até 80 km/h (M. MONTEIRO, 1991; MENDONÇA, 2002). Em dados do Centro Integrado de Meteorologia e Recursos Hídricos de Santa Catarina – CLIMERH, nos últimos 70 anos tem-se a predominância dos ventos Norte (36.92%); seguido pelos ventos de Sudeste (16.92%); Sul (15.77%); Nordeste (10.05%); Noroeste (2.85%) e Sudoeste (1.14%).

Então, devido a esses ciclos de fenômenos climáticos, o estado de Santa Catarina e a capital Florianópolis sofre a décadas com enchentes, alagamentos e deslizamentos de taludes/encostas, pois devido às fortes chuvas causadas por consequência da chegada desses fenômenos climáticos, altos índices pluviométricos são registrados na história do estado, que são desencadeadores da formação de áreas de risco, como encostas e leitos próximos a rios. Na Tabela 2, é apresentado o valor da precipitação total mensal e velocidade média do vento para o mês (janeiro) do acontecimento da instabilidade do talude na SC-406. Nota-se a grande diferença da precipitação total mensal entre o mês do deslizamentos e os meses próximos a ele, no dia do ocorrido choveu mais de 100mm de chuva o que era esperado para chover distribuídamente em todo mês.

Tabela 2: Dados da precipitação total mensal e velocidade média do vento.

MÊS/ANO	Precipitação Total Mensal (mm)	Velocidade Média do Vento (m/s)
NOV/17	114,79	6,35
DEZ/17	165,25	5,53
JAN/18	534,00	5,26
FEV/18	128,00	4,49

Fonte: EPAGRI, 2019.

É importante ressaltar o valor da precipitação total mensal de 534,00 mm ocorrido em janeiro de 2018, foi o mês em que ocorreu o deslizamento do talude em estudo do projeto, o que ratifica a correlação dos altos índices pluviométricos com os desastres naturais. A estação de monitoramento pluviométrica do Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (CIRAM), que foi obtido os dados situa-se no bairro do Itacorubi, a aproximadamente 7,5km de distância, entretanto é o sensor mais próximo da região de estudo. A propósito, foi fornecido a precipitação diária do sensor, nos dias: 09;10;11/01/18, teve o registro pluviométrico em milímetros de respectivamente: 58,50; 93,00; 178,75.

Podendo-se assim entender que a soma do acúmulo de dias de chuvas acompanhado do grande volume de 178,75mm ocorrido no dia (11/01/2018), dia do deslizamento do talude do Morro da Praia Mole, acarreta-se a saturação do solo, fazendo com que o as forças resistentes e iguaem as forças atuantes e ocorra o deslizamento. Conclui-se então, que a chuva meteórica é o principal agente da

deflagração de deslizamentos de encostas na região de estudo. Portanto, é importante ter mais atenção aos estudos climatológicos de regiões mais susceptíveis a desastres naturais.

3.3. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

Segundo Pellerin & Tomazzoli (2015), resumidamente a geologia da Ilha de Santa Catarina (ISC) é composta por maciços rochosos formados por migmatitos do Complexo Águas Mornas, por granitos São Pedro de Alcântara e Ilha e por rochas plutonovulcânicas ácidas que compõem a Suíte Cambirela. Esses litotipos são seccionados por diques básicos, ácidos e intermediários que compõem o Enxame Florianópolis, também por rochas cataclásticas e por falhas/fraturas diversas (Quadro 5). Interligando esses maciços, ocorrem depósitos quaternários inconsolidados, que constituem a planície costeira depositados sob condições e ambientes deposicionais variados.

Quadro 5: Coluna estratigráfica proposta para as rochas da ISC.

ERA/PERÍODO	LITOTIPO	UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA
Cretáceo	Cataclasitos/Brechas de falha	Rochas cataclásticas policíclicas
	Dacito (diques)	Enxame de Diques Florianópolis
	Andesito/Traquiandesito (diques)	
	Basalto/Diabásio (diques)	
Neoproterozoico	Riolito (diques e derrames)	Suíte Plutono-Vulcânica Cambirela
	Rochas vulcanoclásticas finas	
	Tufos e Ignimbritos indiferenciados	
	Rochas piroclásticas estratificadas	
	Tufos e Ignimbritos com maiores concentrações em bombas	
	Granito Itacorubi	
	Granito Ilha	Suíte Pedras Grandes
Granito São Pedro de Alcântara	Suíte Maruim	
Meso/Paleoproterozoico	Milonito	Complexo Águas Mornas
	Migmatito/Ortoogneisse	

Fonte: Tomazzoli & Pellerin (2014).

Entretanto, a área de estudo situa-se sobre o litotipo denominado como Granito Ilha, o qual é seccionado por diques que compõem o Enxame Florianópolis. Na Figura 26 modificada de Tomazzoli & Pellerini (2014), está localizado a área de estudo por um ponto amarelo. Segundo o Mapa Geológico de Santa Catarina elaborado por Tomazzoli & Pellerini (2014), próximo o local do estudo na parte superior tem-se a presença de um dique, porém na Figura 27 retirada em campo, identifica-se no pé do talude a presença do dique em contato com o granito ilha. Infere-se por questão de escala houve essa diferença.

A propósito como definido por Sheibe & Teixeira (1970), denomina o Granito Ilha como ao Granito Grosseiro Ilha. Integra a Suíte Intrusiva Pedras Grandes (ZANINI *et al.*, 1997) que engloba também o Granito Serra do Tabuleiro e outros granitóides alcalinos de natureza pós-tectônica, com muito pouca ou nenhuma deformação dúctil.

Segundo Pellerin & Tomazzoli (2015), o Granito Ilha é o litotipo predominante na ISC, apresentando-se de forma extremamente homogênea em toda a extensão na área de estudo. Na ilha apresentam-se como sienos e monzogranitos maciços, isótopos, de coloração rosada ou cinza-claro, com textura equigranular, mais raramente pórfira, grossa ou média, hipidiomórfica. Mineralogicamente, seus constitutivos principais são quartzo, K feldspato, biotita; com allanita zircão, magnetita/ilmenita, e apatita como minerais acessórios. Como minerais secundários são comuns sericita/muscovita, epidoto, titanita, clorita, fluorita e carbonatos. Datações pelo método ICP MS-LA em zircões, realizada por Corrêa (2016) na ISC, indicaram idades entre 600 e 585 Ma.

No Enxame de Diques Florianópolis que também ocorre na área de estudo, apresenta-se com uma ampla diversidade de litotipos na ilha, todos toleíticos, a saber: basaltos alto-Titânio (ATi) e baixo-Titânio (BTi), andesitos basálticos, tranquiandesitos basálticos, andesitos, tranquiandesitos e dacitos. Formam diques que atingem até 200 m de espessura, com orientação principal N10°-20°E e, secundariamente, N-S, N20°-30°W, e E-W. Predominam os diabásios e basaltos ATi que geralmente com textura afanítica ou equigranular fina a média, raramente pórfira. Gabros ocorrem no interior dos diques mais espessos. Florisbal *et al.* (2014), utilizando dados U-Pb, sugeriu que a maior partes dos diques do enxame tem idades entre 134,7 e 133,9 Ma.

Entretanto, a relação que existe entre o Granito Ilha e os Enxames de Diques Florianópolis é esclarecida por Tomazzoli (2018) onde, a deformação rúptil proterozoica no maciço granítico da ISC desenvolveu falhas e fraturas sob direções variadas, que foram reativadas posteriormente, principalmente quando da estruturação do Rifte da Margem Continental Catarinense, no Cretáceo. Concomitantemente à estruturação desse rifte, houve a intrusão dos diques do Enxame Florianópolis, sob um campo de tensões no qual a direção de máxima distensão horizontal (σ_3) predominante é de N70°-80°W, congruente à orientação preferencial do enxame.

Logo, com a intensa intrusão dos diques houve o desenvolvimento de zonas de fraturamentos rochosos, que funcionam como planos de maior facilidade para o escoamento superficial e subsuperficial d'água, no trabalho realizado por Raimundo (1998), é apontado, que o agente mais incisivo para os deslizamentos de massa é a água subterrânea, principalmente pela forma que se apresentam os diques, que funcionam como drenos tabulares por dentro o granito.

Corroborando, segundo Guidicini e Nieble (1984), o processo de alteração por intemperismo leva a um enfraquecimento gradual do meio rochoso, ou terroso, no qual ocorre, pela remoção dos elementos solúveis constituintes dos próprios minerais, pela dissolução dos elementos com função de

cimentação em solos ou rochas sedimentares, pelo desenvolvimento de uma rede de microfraturas num meio rochoso que não as possuía. Observa-se, com o aumento do índice de alteração, uma clara diminuição de coesão e de ângulo de atrito das rochas graníticas. O processo de alteração em rochas tende, ainda, a formar zonas de materiais com características de permeabilidade diferenciadas, normalmente dispostas paralelamente à superfície do talude. A presença de camadas menos permeáveis, capeando camadas de maior permeabilidade, em posição paralela à superfície do talude poderá resultar no desenvolvimento de elevadas pressões neutras nesses taludes alterados, favorecendo a instabilidade.

3.4. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS

Geomorfologicamente, a ISC é dividida em dois grandes domínios: 1) domínio dos maciços rochosos, constituídos pelos litotipos que compõem as unidades litoestratigráficas a seguir relacionadas; 2) domínio das planícies costeiras, compostas por depósitos sedimentares quaternários inconsolidados dispostos por entre esses maciços.

A área de estudo situa-se próximo ao topo de uma maciço rochoso que caracteriza-se por ser uma região de declividade média/alta, pois está localizada no Morro da Praia Mole, já em direção a descida para o bairro da Barra da Lagoa, o talude em estudo é oriundo do corte da encosta para a construção da rodovia SC-406. O maciço rochoso é caracterizado por ser o Granito Ilha, seccionado na base por um dique de diabásio, rompeu-se devido a declividade elevada do morro que foi escavado e acrescido a falta de medidas de contenção e drenagem do talude, assim, totalizando com o principal fator do desastre, as fortes chuvas de janeiro, o drástico acontecimento de deslizamento causando obstruções na rodovia.

Florianópolis possui uma paisagem que é resultado do contraste entre as planícies litorâneas e as elevações montanhosas, gerando paisagens naturais bastante diversificadas. O litoral é muito recortado, com pequenas ilhas (30), praias (42), enseadas, promontórios, costões, lagunas, restingas, manguezais (4) e campos de dunas (2). As planícies costeiras emolduram morros isolados e cristas montanhosas descontínuas no sentido NE-SW, que chegam a uma altitude máxima de 522 m (GUEDES JÚNIOR, 2005).

A atual ilha de Santa Catarina resulta da interligação de um grande número de morros que correspondem aos topos de blocos mais elevados, separados do continente e entre si por fossas tectônicas hoje preenchidas, parcial ou totalmente, por sedimentação quaternária. Antes desta sedimentação, e em épocas de nível mais elevado do mar, sua configuração não era de uma ilha, mas sim de muitas ilhas. Característica esta que vem sendo salientadas nos principais trabalhos que tratam dos seus aspectos geológicos e geomorfológicos, como os de Scheibe e Teixeira (1970); Caruso Jr. (1993); Zannini et al (1997); Cruz (1998); Tomazzoli e Pellerin (2001); Herrmann (1989).

As duas unidades geomorfológicas da Ilha de Santa Catarina são a Serra Litorânea e a Planície

Costeira. Na Ilha é encontrado um relevo dominado por morros cristalinos com altitudes de até 522 m, como o morro do Ribeirão da Ilha (CARUSO JR., 1993; CRUZ, 1998). O embasamento rochoso está representado por granitos, riolitos e por intrusões em forma de diques de diabásio; onde o granito se apresenta cataclásado ocorrendo em vales em forma de calha. Nas áreas onde ocorrem diques, o relevo apresenta-se deprimido em relação às rochas encaixantes mais resistentes, pois os diques mostram-se com menor resistência ao intemperismo. O relevo onde aflora o riolito encontra-se em forma de cristas acentuadas, destacando-se na paisagem (CARUSO JR., 1993). Desta forma, a geomorfologia da ilha apresenta relação com o substrato geológico. O embasamento serve de apoio às áreas sedimentares que delineiam o atual contorno da ilha (HERRMANN, 1989).

As planícies costeiras constituem uma extensão de terrenos planos ou muito pouco dissecados, onde a geração do relevo está intrinsecamente relacionada à sedimentação devido às variações do nível do mar ocorrido durante o *Quaternário*, e que formam ambientes marinhos, lacustres, eólicos, fluviais e de leques aluviais. (GUEDES JÚNIOR, 2005).

Entre as duas unidades geomorfológicas descritas, há um processo de acumulação chamado de rampas, que podem ser de dois tipos: colúvio-eluviais e de dissipação. As rampas colúvio-eluviais são constituídas basicamente por materiais originários da decomposição de rochas graníticas, deslocadas vertente abaixo, que avançam sobre as planícies e os relevos modelados em rochas cristalinas, sendo mais comuns na face oeste da Ilha. As rampas de dissipação são formadas a partir de dunas de captação juntamente com materiais oriundos da vertente deslocados por solifluxão, fluxos de areia e lama, rolamento etc. e que ocorrem frequentemente na face leste da Ilha (GUEDES JÚNIOR, 2005). As unidades litoestratigráficas que constituem os morros, montanhas e elevações são elencadas, da mais antiga para a mais recente em Complexo Águas Mornas, Granito São Pedro de Alcântara, Granito Ilha, Suíte Plutono-Vulcânica Cambirela, Enxame de Diques Florianópolis, além de refusões graníticas e rochas miloníticas e cataclásticas.

Os depósitos que constituem o domínio das planícies costeiras são agrupados, do mais antigo para o mais recente em depósitos do sistema deposicional continental, do sistema deposicional transicional e do sistema deposicional antropogênico.

3.5. CARACTERÍSTICAS PEDOLÓGICAS

Conforme Vieira (1988), solo é a superfície intemperizada que se desenvolve sobre as rochas e que mantém a vida vegetal e animal da Terra. É constituído por camadas de diferentes composições química, física, biológica e mineralógica, e que se desenvolvem com o tempo, sob a influência do clima e da atividade biológica.

Segundo Herrmann (1989), na área onde o Granito Ilha (Fig. 21) predomina, os solos apresentam espessura em torno de 1 m (horizontes A + B), tipo Argissolo Vermelho-Amarelo, com o horizonte A em cor clara e o horizonte B apresentando acúmulo de argila e coloração vermelho-amarelada. Os Argissolos são solos que apresentam migração de argila do horizonte A para o B, criando uma diferença de textura entre esses horizontes (o A fica mais arenoso e o B mais argiloso). Sua profundidade é de aproximadamente 1,5 m. Os Argissolos Vermelho-Amarelos geralmente derivam do intemperismo dos granitos e apresentam textura areno-argilosa, não possuindo boa fertilidade.

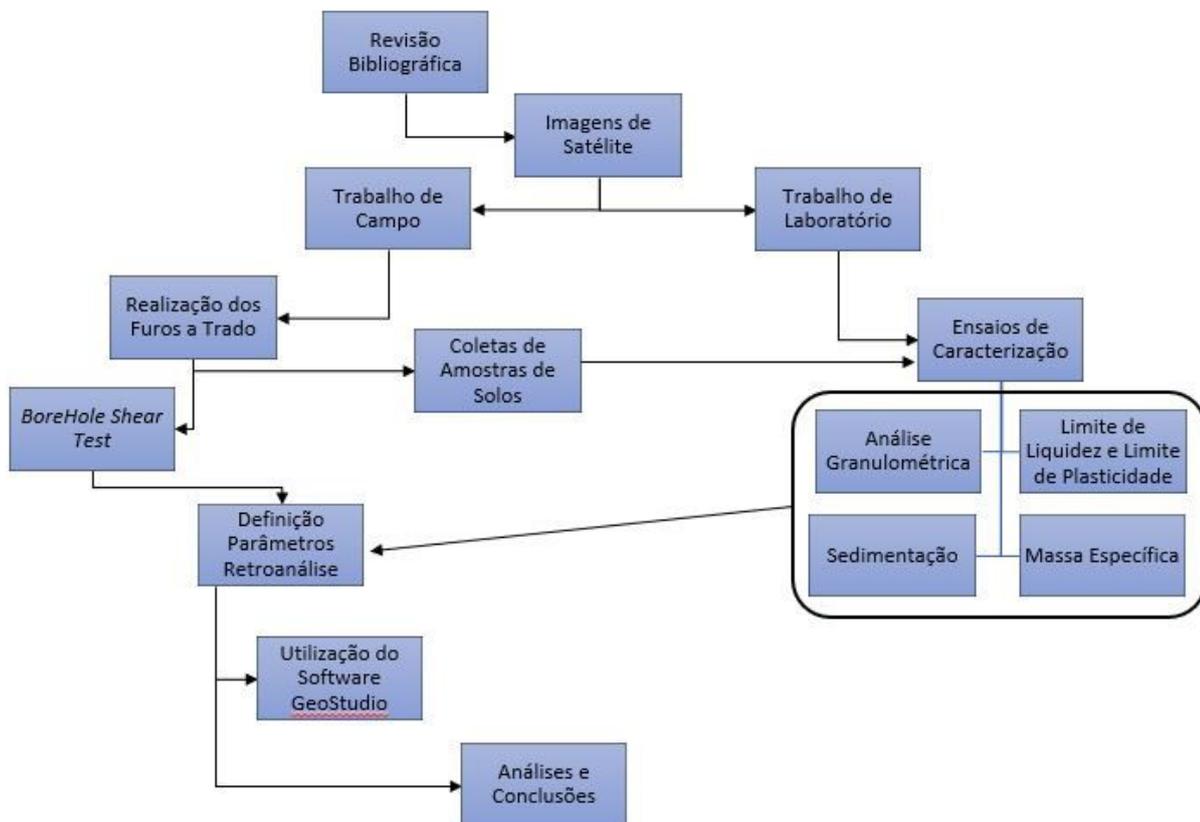
Entretanto, na área de estudo também é encontrado em menor quantidade solos derivados do intemperismo dos diques que são classificados como Argissolos Vermelhos, e originam-se da alteração das rochas de diabásio apresentando textura argilosa, sendo geralmente mais férteis que os solos residuais do Granito Ilha. Como só foi encontrado o diabásio na parte inferior do talude, as amostras de solo coletas e identificadas no topo do talude em estudo são de composição majoritária do Granito Ilha, assim, sendo diferenciadas por vezes pela grande quantidade de remanescentes de minerais feldspáticos e quartzosos.

Correlacionando o solo e a geomorfologia do relevo da área de estudo. Há uma maior fragilidade à erosão quando não possuem cobertura vegetal, alinhando-se a isso a altas declividades e a espessura de solo, a uma maior probabilidade de acontecer deslizamentos na área exposta. Porém, Florianópolis é caracterizado por ter uma grande quantidade promontório rochosos caracterizados como morros e de uma vegetação densa sobre os solos originado dos mesmos, portanto, os deslizamentos de massas ocorrem quando sucessivos dias de chuvas e a combinação com elevadas precipitações fazem com que esse solo fique saturado e com isso o equilíbrio entre as forças atuantes e as forças resistentes se igualem e acarrete em desastres, como o ocorrido na área de estudo.

4. MATERIAIS E MÉTODO

Os trabalhos desenvolvidos para a execução da pesquisa e obtenção de resultados seguiu o fluxograma apresentado pela Figura 28, onde pautaram-se em diversas etapas conjuntas, desde o levantamento bibliográfico, produção de mapas, trabalhos em campo, trabalhos em laboratório, até análises definitivas e discussão dos resultados, as quais compõem técnicas definidas por normas e autores renomados da literatura.

Figura 28: Fluxograma de atividades.



Fonte: Autor, 2019.

A seguir será descrita como foram realizadas as etapas das atividades da pesquisa para obtenção dos resultados:

i. Revisão bibliográfica

O levantamento e revisão bibliográfica é a base para realização do presente projeto, sendo todos os estágios de desenvolvimentos associados e corroborados com a bibliografia. Para tal levantamento foi realizada a revisão bibliográfica que inclui trabalhos sobre: (a) Geologia da Ilha

de Santa Catarina; (b) Estabilidade de Taludes; (c) Mapeamento de Riscos Geológicos; (d) Susceptibilidade a Deslizamentos de Massa; (e) Execução do *BoreHole Shear Test*; (f) Retroanálises de Deslizamentos de Massa.

ii. Imagens de satélite

Foram analisados mapa temático geológico da região na escala 1:50.000 e a interpretação de imagens de satélite para melhor entendimento e caracterização da área de estudo e identificação de possíveis regiões de deslizamentos.

iii. Realização de mapa temático

Software QGIS 3.8.2 foi usado para confecção de mapas temáticos, com intuito de fornecer informações para estudos posteriores e facilitar a localização da área de estudo, e produção de curvas de níveis, as fontes de dados foram obtidas através do projeto do Governo do Estado de Santa Catarina, por meio da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS), que realizou o Levantamento Aerofotogramétrico de alta precisão fornecidos pelo Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina (SIGSC), e por fontes de dados do IBGE.

iv. Trabalhos em campo

Em campo foram feitas as descrições dos aspectos em escala detalhada, objetivando a descrição geológica e geotécnica da área, levantando contatos geológicos, tipos de solos e indícios de instabilidade.

Para a execução do *Borehole Shear Test* fornecido pelo laboratório de Mapeamento Geotécnico (LAMGEO/UFSC), foi feita a limpeza e nivelamento do terreno. Após isso, com o auxílio de um trado manual fornecido pelo laboratório de Mapeamento Geotécnico (LAMGEO/UFSC), foi realizada a perfuração do solo, com o devido cuidado para não desestruturar as paredes do furo e fazendo a devida coleta de amostras de solo em seus respectivos horizontes para realização dos ensaios de caracterização, em seguida, foi medida a profundidade do furo com o auxílio de uma trena.

Depois de executada a perfuração, o furo foi preenchido com água e aguardado 10 minutos para verificação da inundação. Na sequência, foi montado o BHST e bolhado com bússola para ser inserido no furo. A primeira tensão normal aplicada foi de 25 kPa, após aplicada a tensão, aguardou-se o tempo de consolidação de 5 min, logo, foi realizada torque de maneira constante na manivela,

gerando uma tensão cisalhante máxima através da sonda com placas dentadas, tomando cuidado para efeitos de pick-up, observados no manômetro do equipamento, logo, foi anotado o valor de máxima tensão cisalhante na folha de dados do BST. Assim, o procedimento foi repetido para as tensões de 50Kpa e 100Kpa, tomando cuidado para aplicar em diferentes profundidades, e seguindo as respectivas fases de inundação e consolidação.

Com os resultados obtidos das tensões aplicadas no solo, foram traçadas as envoltórias de ruptura pela reta de Coulomb (tensão cisalhante X tensão normal). Determinada a reta da equação, obteve-se os parâmetros de resistência: ângulo de atrito e intercepto coesivo. Os resultados e a reta da equação estão apresentados no tópico de Resultados.

V. Trabalho em laboratório

Os equipamentos necessários para análises dos solos foram fornecidos pelo laboratório de Mecânica dos Solos (LMS – ECV/UFSC), onde foi feita a caracterização das amostras retiradas em campo com o auxílio do trado, coletadas em sacos transparentes e vedados para não perder a sua umidade natural. Seguindo as regras da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), os ensaios de caracterização realizados foram:

- Preparação de amostras de solo para ensaios de caracterização, conforme a NBR 6457/1986;
- Análise granulométrica [%], conforme a NBR 7181/1984;
- Determinação da massa específica [g/cm³], para grãos menores que 4,8 mm por meio do picnômetro, conforme a NBR 6508/1984;
- Determinação do limite de plasticidade (LP), conforme a NBR 7180/1984 e limite de liquidez (LL), conforme a NBR 6459/1984.

Com os resultados dos ensaios de caracterização e os resultados dos parâmetros de resistência obtidos em campo, foi feita as análises e definições numéricas para a realização da retroanálise.

vi. Retroanálise

A retroanálise foi realizada pelo método do equilíbrio-limite de Bishop Simplificado (BISHOP,1955), com utilização do software GeoStudio 2012 com o uso da ferramenta *Slope/W*.

A técnica para realização da retroanálise foi feita seguindo a metodologia dos autores Gomes

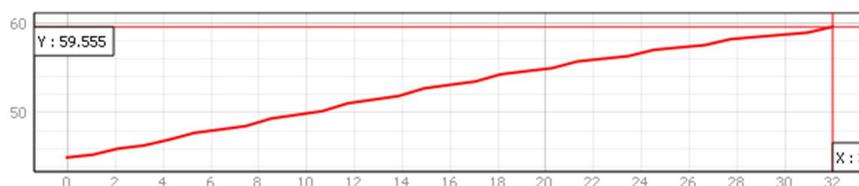
(2003) e Jesus (2008) com algumas modificações, resumidamente, consiste em adotar parâmetros de resistência que são constantes na superfície do deslizamento que satisfazem a condição de fator de segurança igual a um, a técnica condiz com a definição para estudos de retroanálises de casos com processos de instabilidades já ocorridos pela NBR 11.682/1991 – Estabilidade de Taludes.

O método aplicado nesse trabalho consiste em três etapas:

a) Etapa 1 - Reconstituição Geométrica das Encostas Rompidas

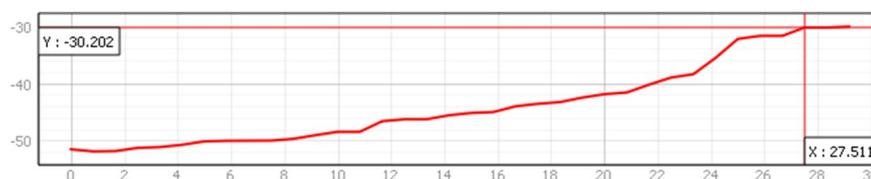
A ferramenta *Slope/W* necessita como dado de entrada os dados da geometria da encosta antes e após a ocorrência do deslizamento. A geometria antes do perfil da encosta (Fig. 29) foi feita utilizando o plugin Terrain Profile do software QGIS 3.8.2 com a utilização do MDT da área de estudo fornecido pelo SIGSC na escala 1:100.000. Já a geometria da encosta após a ocorrência (Fig. 30) do deslizamento foi feita utilizando as fotos fornecidas pela Defesa Civil de Santa Catarina que realizou um voo de drone na área de estudo, e foram tratadas pelo software *Agisoft PhotoScan* 1.4.2 apresentada na Figura 31, onde foi possível gerar uma imagem MDT do terreno atual e assim produzir o perfil através do plugin Terrain Profile no QGIS 3.8.2. Definidos os perfis de antes e depois é possível entrar com os dados de coordenadas dos perfis no *Slope/w* e desenhar a encosta. O local do perfil topográfico feito está exibido na Figura 32.

Figura 29: Perfil antes da ruptura.



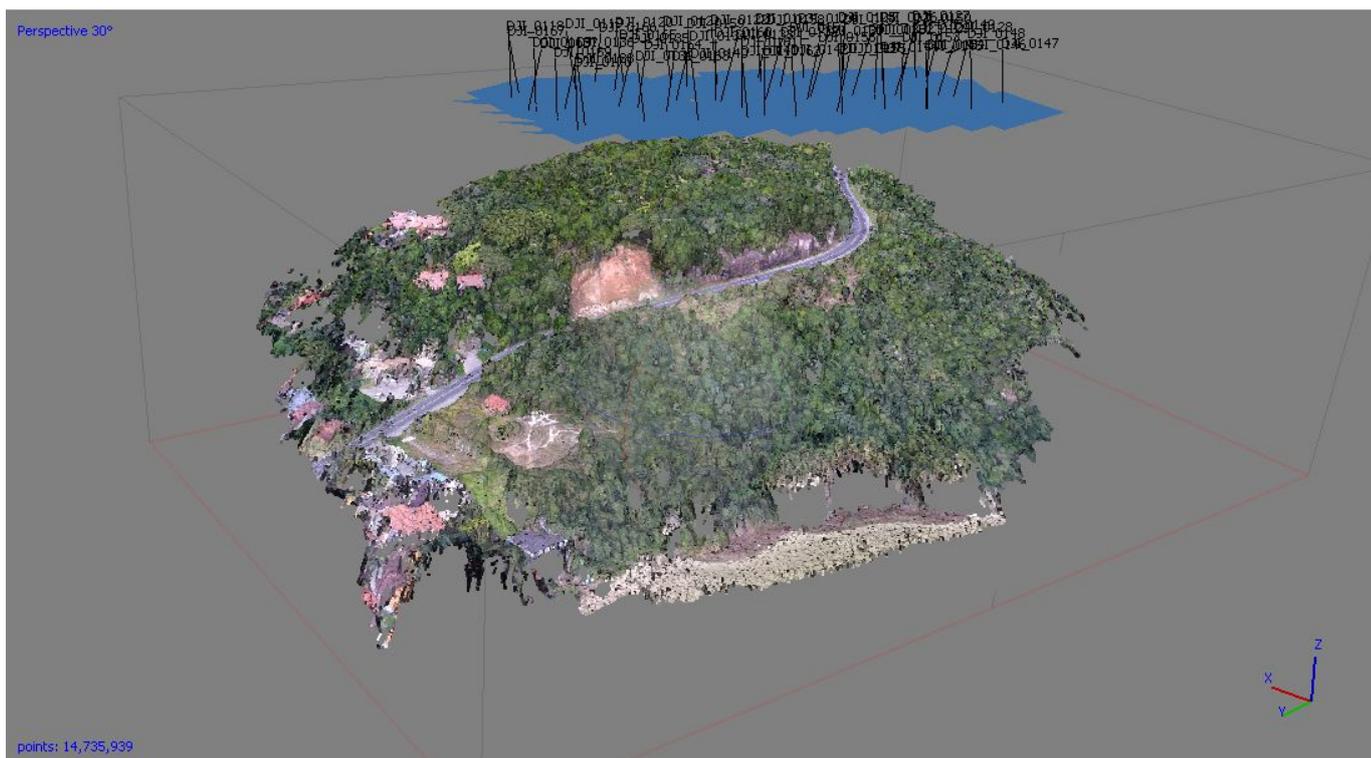
Fonte: Autor, 2019.

Figura 30: Perfil depois da ruptura.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 31: Modelo de superfície gerado no *Agisoft PhotoScan*.



Fonte: Autor, 2019.

b) Etapa 2 - Definição da curva $c=f(\phi)$

A etapa consiste em determinar a curva $c=f(\phi)$ para que o fator de segurança seja unitário através dos seguintes procedimentos: fixar o raio e o centro do círculo de ruptura (Draw → Slip Surface → Fully Specified), determinados pela sobreposição das geometrias antes e depois do deslizamento e das condições das posições das cicatrizes no terreno analisadas em campo; determinar os pares de coesão e ângulo de atrito para condição da retroanálise (FS=1); gerar gráfico de coesão x ângulo de atrito.

c) Etapa 3 - Determinação dos Parâmetros de Resistência

Após a definição do gráfico dos pares de coesão x ângulo de atrito foi fixado o centro do círculo de ruptura e deixado livre o raio (Draw → Slip Surface → Entry and Exit), e então para cada par de valores de $c=f(\phi)$ é realizado uma análise de estabilidade

pelo *Slope/W* com as condições de nível d'água definidas, gerando a superfície de ruptura com FS mais crítico para traçar o gráfico de FS crítico x ângulo de atrito. Escolhido o par de parâmetros que mais se adequa a superfície de ruptura e que mais se aproxima do valor de FS=1, retorna-se a curva $c=f(\phi)$ e determina-se a coesão correspondente.

5. RESULTADOS

Esse tópico do trabalho exhibe os resultados referentes às etapas realizadas em campo BST, em laboratório análise granulométrica, plasticidade dos materiais e densidade, e os resultados sobre as retroanálises.

5.1. RESULTADOS DO *BOREHOLE SHEAR TEST* E DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS

O local escolhido para realização do método de ensaio do BST foi na porção da crista do talude, em virtude do solo se encontrar indeformado, pois o local não foi deslizado junto com a massa de solo que escorregou no dia 11 de janeiro quando ocorreu o incidente. Foi então realizado um ensaio com profundidade de 1,5m e de 1,3m. Na Figura 32 a seguir está identificado o local escolhido para realização do ensaio de BST e a localização do perfil topográfico escolhido para definição da geometria da encosta antes e depois da ruptura.

Figura 32: Localização do BHST e do perfil topográfico.



Fonte: Autor, 2019.

A Tabela 3 apresenta os dados obtidos pelo ensaio do BST realizado em campo.

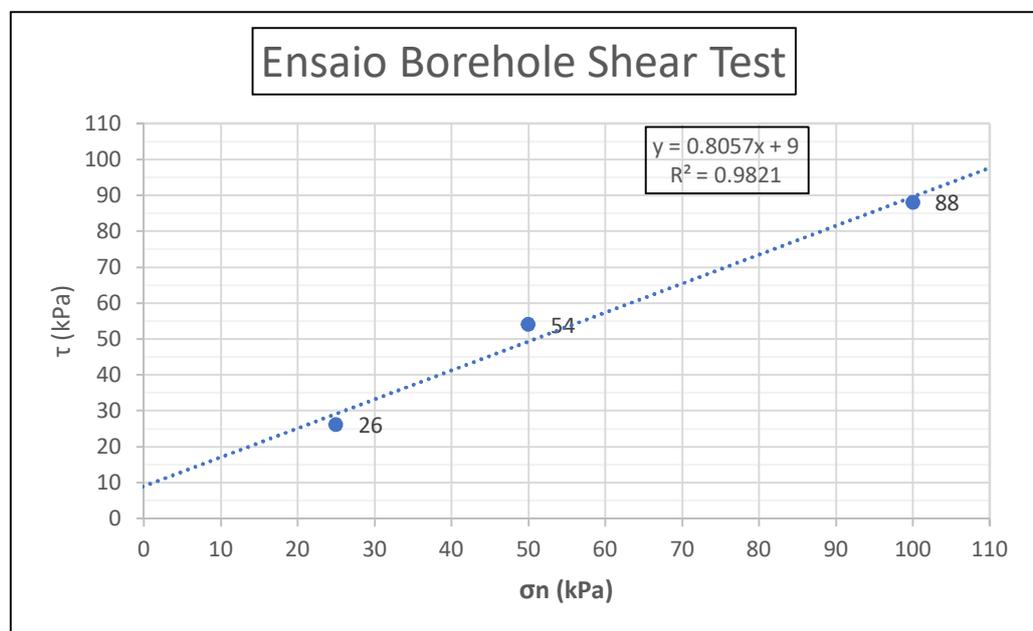
Tabela 3: Resultados do *Borehole Shear Test*.

Identificação	BST1	BST2	BST3
Tensão Normal (kPa)	25	50	100
Tempo de Consolidação (min)	5	5	5
Tensão Cisalhante (kPa)	26	54	88
Profundidade (m)	1,5	1,5	1,3
Ângulo de Atrito Interno (°)	38,85		
Intercepto Coesivo (kPa)	9		

Fonte: Autor, 2019.

Na Figura 33 está apresentada a envoltória de ruptura do ensaio com a equação de ajuste e o coeficiente de relação (R^2), no eixo das ordenadas é a tensão de resistência ao cisalhamento (kPa) e no eixo das abcissas é tensão normal (kPa).

Figura 33: Equação resultante do ensaio do BST.



Fonte: Autor, 2019.

O resultado obtido do ensaio apresentou coesão 9kPa e ângulo de atrito 38,85°.

A amostragem do solo para realização dos ensaios de caracterização foi feita no mesmo local

do ensaio do BST. O solo caracteriza-se por ser um solo residual do Granito Ilha, pois contém uma grande quantidade de minerais de feldspato e quartzo remanescentes característicos da composição do Granito Ilha, e por ter um baixo teor de matéria orgânica. A amostragem foi feita em duas profundidades, uma na parte mais profunda do furo a 1 - 1,5 metro e a outra a 0,4 - 1 metros. A seguir na Tabela 4 é apresentada os resultados da análise granulométrica, sendo que a mais profunda é identificada como inferior e a mais rasa como superior.

Tabela 4: Resultados da análise granulométrica.

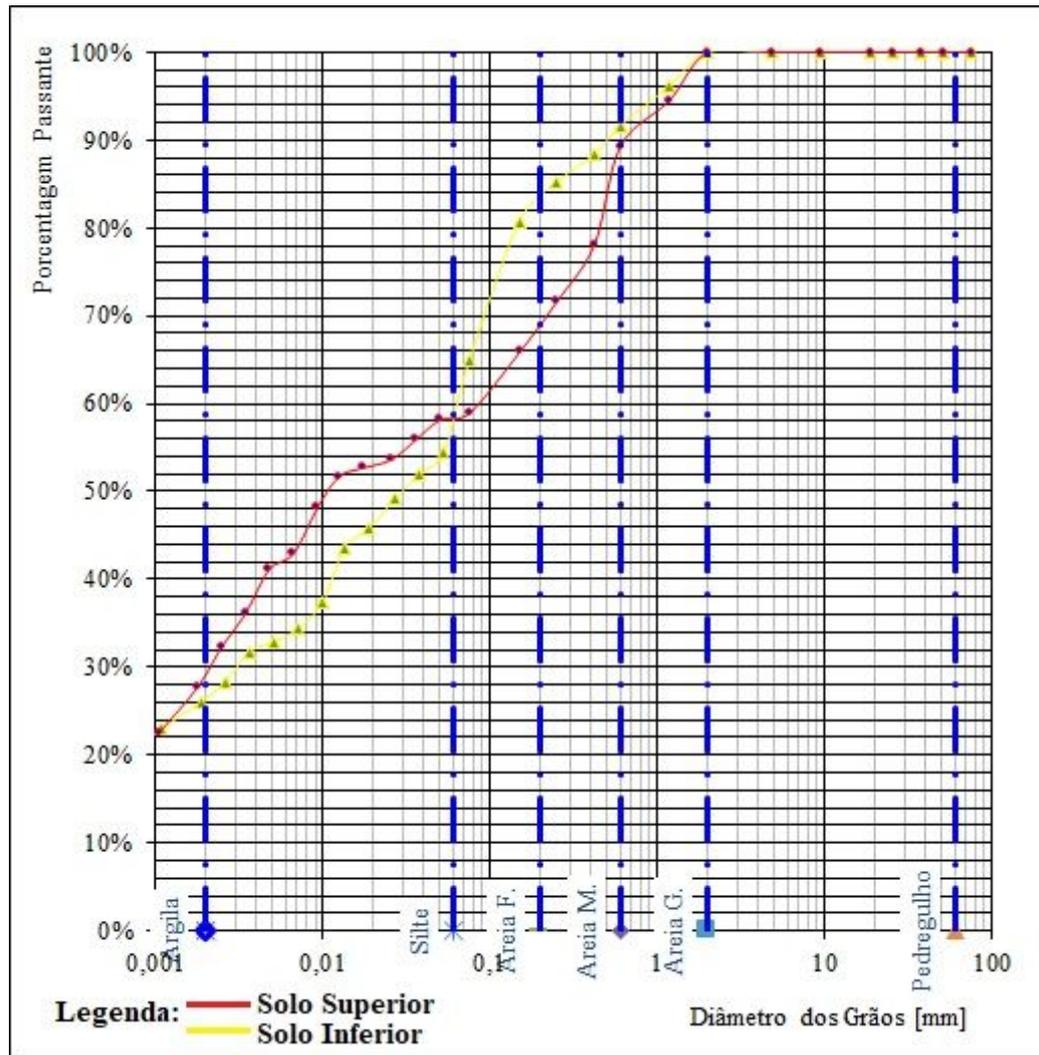
Identificação	Profundidade (m)	Granulometria (%)					
		Argila	Silte	A.F.	A.M.	A.G.	P
Inferior	1 - 1,5	28,24	36,57	15,89	10,83	8,47	0
Superior	0,4 - 1	32,37	26,62	6,97	23,35	10,69	0

A.F.= Areia Fina; A.M.= Areia Média; A.G.= Areia Grossa; P= Pedregulho

Fonte: Autor, 2019.

A Figura 34 apresenta o gráfico resultante da análise granulométrica, é possível visualizar uma predominância das frações de granulometria mais fina (silte e argila), devido a isso é possível concluir que o solo é bastante lixiviado.

Figura 34: Gráfico resultante da análise granulométrica.



Fonte: Autor, 2019.

Em vermelho gráfico da amostra de solo superior e em amarelo gráfico da amostra de solo inferior.

Na Tabela 5 está os resultados dos ensaios de limite de liquidez, limite de plasticidade e os resultados dos ensaios de densidade específica das partículas, ambos realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos (ECV-UFSC). Na Figura 35 é apresentado o gráfico da Carta de Plasticidade de Casagrande, onde foi plotado as porcentagens resultantes dos ensaios de LL e LP, indicando para o solo amostrado da parte inferior uma classificação de argilas inorgânicas de altas plasticidade, e para o solo amostrado da parte superior uma classificação de siltes inorgânicos de alta plasticidade.

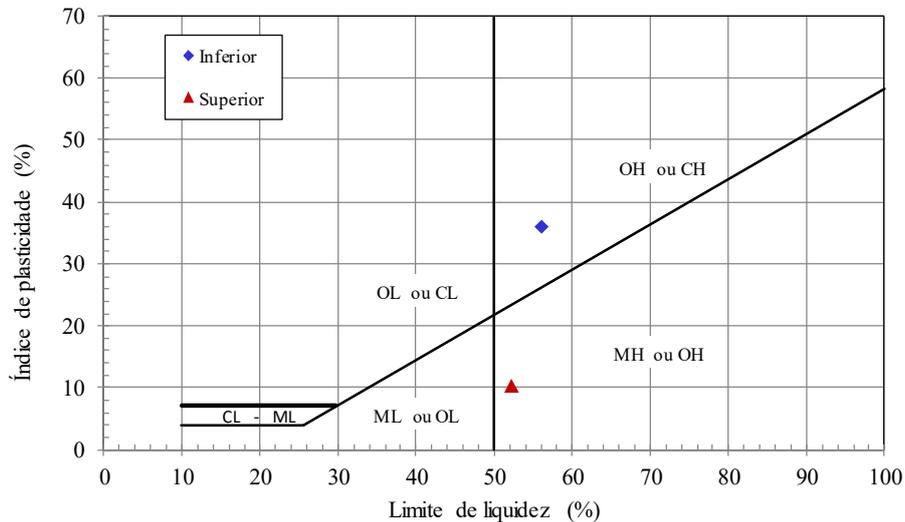
Tabela 5: Resultado da massa específica e LL e LP.

Limites de Consistência					
Identificação	Densidade (g/cm ³)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Classificação
Inferior	2,67	56	20,02	35,98	Plasticidade Alta
Superior	2,78	52,19	42,05	10,14	Plasticidade Média

IP = 0 Não Plástico 1 < IP < 7 Pouco Plástico 7 < IP < 15 Plasticidade Média IP > 15 Muito Plástico

Fonte: Autor, 2019.

Figura 35: Carta de Plasticidade de Casagrande. CL = argilas inorgânicas de baixa plasticidade; ML = siltes inorgânicos de baixa plasticidade; CH = argilas inorgânicas de altas plasticidade; MH = siltes inorgânicos de alta plasticidade.



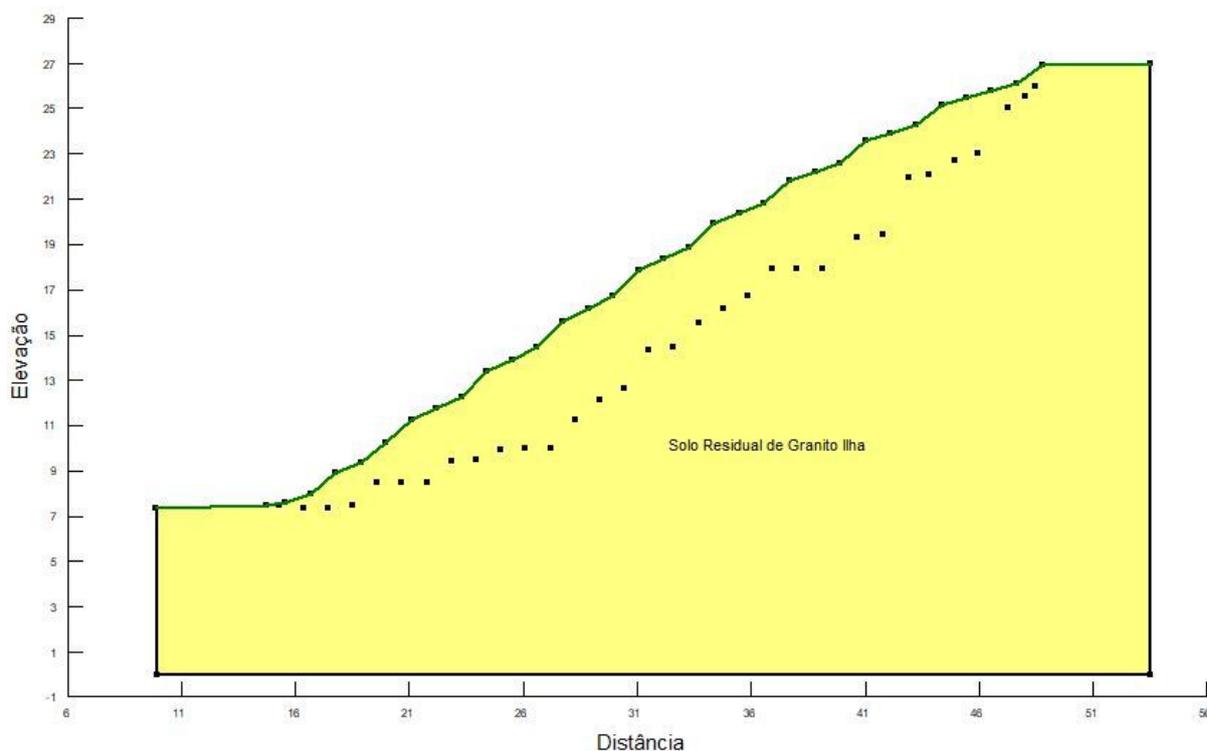
Fonte: Autor, 2019.

5.2. RESULTADOS DA RETROANÁLISES

A retroanálise foi feita levando em consideração principalmente a geometria inicial da encosta. As características da geometria são: altura 20 metros, largura 50 metros, distância horizontal do pé do talude para crista de 30 metros e inclinação da encosta de aproximadamente 40°. O γ (saturado) utilizado para o solo foi de 19 kN/m³ para as retroanálises que tiveram nível d'água adicionado e para a encosta na condição sem nível d'água foi utilizado o γ (natural) de 17,3 kN/m³. A seguir será apresentada a geometria que foi desenhada no *Slope/W* onde é possível identificar a geometria inicial desenhada e a atual em pontos definidas por pares de coordenadas retiradas dos perfis gerados no QGIS (Fig. 36),

lembrando que para as escalas (X,Y) que refere-se a (Distância, Elevação) está definido em metros para todas as figuras a seguir elaboradas.

Figura 36: Geometria inicial da encosta sem nível d'água.



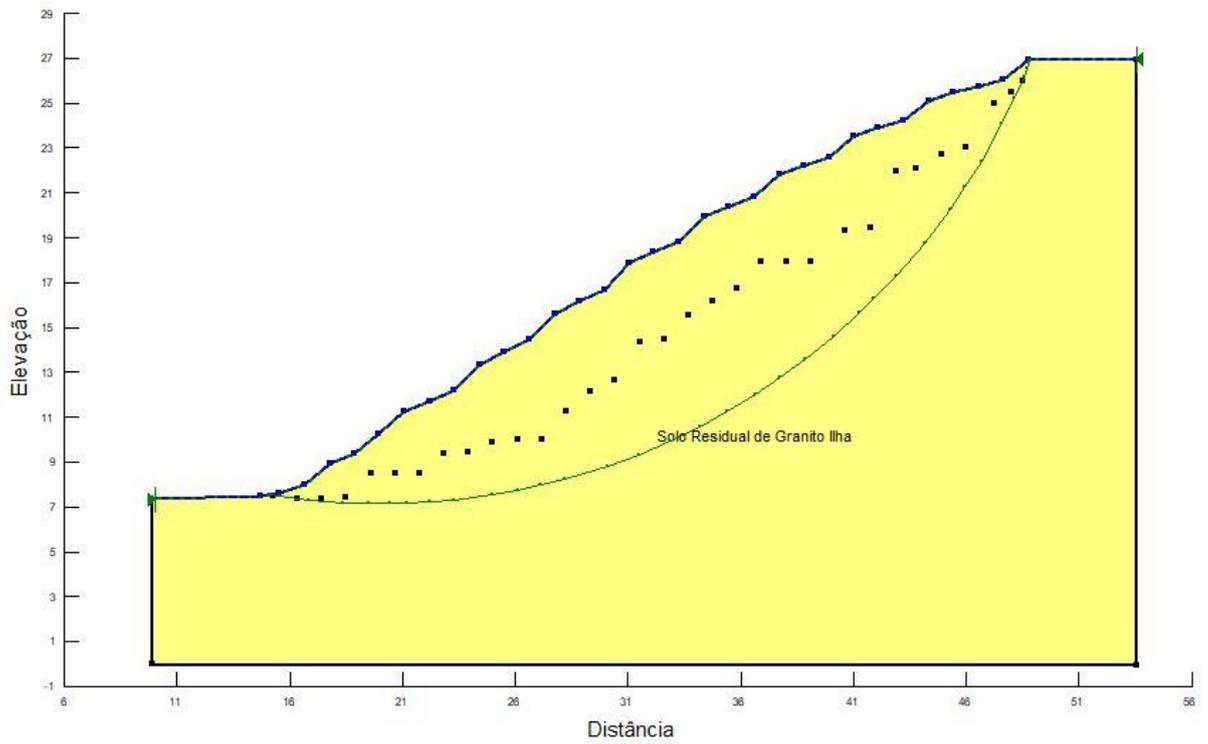
Fonte: Autor, 2019.

Na Figura 37 a seguir é apresentado o modelo de encosta totalmente saturada identificada pela linha piezométrica na cor azul desenhada por cima da geometria da encosta inicial, é possível também identificar a superfície de ruptura crítica desenhada na cor verde que foi definida pela sobreposição das geometrias e das condições físicas da encosta analisadas em campo. A superfície de ruptura crítica possui (x, y, raio), respectivamente de (20; 38; 22,085).

Na Figura 38, o nível piezométrico definido foi de 3m abaixo da geometria inicial da encosta. As linhas piezométrica e da superfície de ruptura crítica também são identificadas pelas mesmas cores da Figura 37. A superfície de ruptura crítica possui os mesmos valores de (x, y, raio) nas Figuras 37 e 38, pois elas foram definidas de acordo com tópico “b)” da metodologia de retroanálise, onde a superfície foi definida (Draw → Slip Surface → Fully Specified) com raio e centro de círculo fixado.

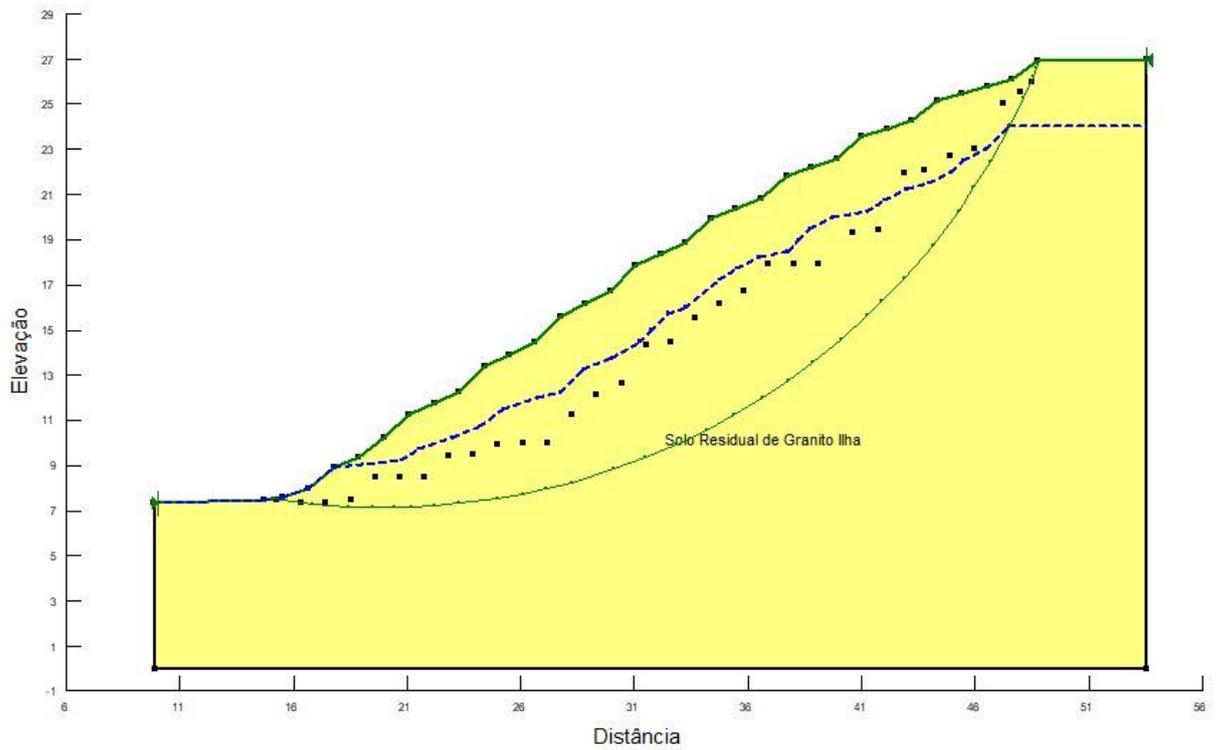
A explicação para a escolha da condição da encosta totalmente saturada e NA de 3m, se justifica pelos elevados índices pluviométricos registrados no mês de janeiro de 2018. A precipitação total mensal registrada pelo sensor de monitoramento situado no bairro do Itacorubi foi de 534,00mm, e nos dias: 09;10;11/01/18, teve o registro pluviométrico em milímetros de respectivamente: 58,50; 93,00; 178,75. Esses índices altos de chuva são um dos fatores preponderantes para a ruptura da encosta, o qual norteou o estudo da retroanálise para as condições de NA acima citadas.

Figura 37: Encosta totalmente saturada e com superfície de ruptura crítica definida.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 38: Encosta com NA 3m e superfície de ruptura crítica definida.



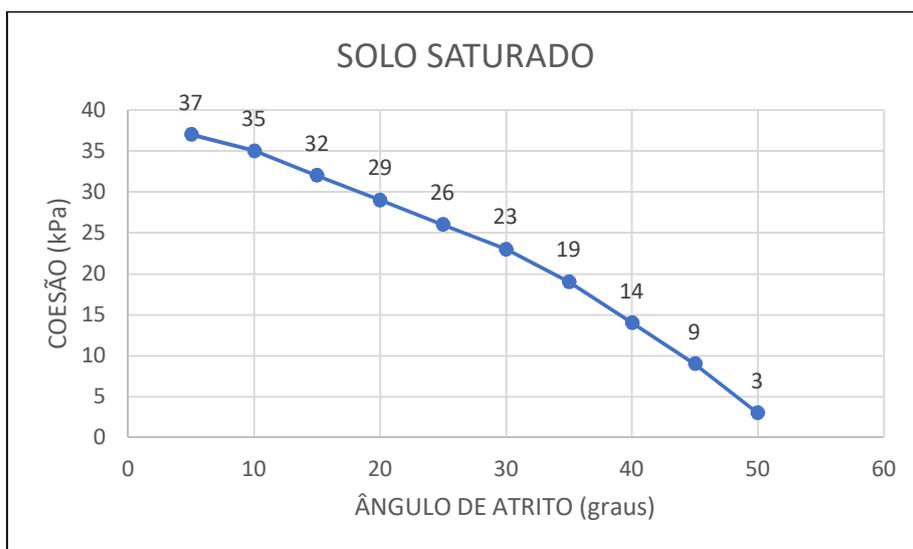
Fonte: Autor, 2019.

6. DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

As discussões do trabalho têm enfoque para os resultados de pares de coesão, ângulo de atrito e FS obtidos das retroanálises, e sua relação com os elevados índices pluviométricos ocorridos.

A retroanálise realizada para a condição totalmente saturada obteve os pares $c \times \phi$ para a condição de $FS = 1$, variando o ϕ de 5° em 5° , apresentados na Figura 39 com o gráfico abaixo.

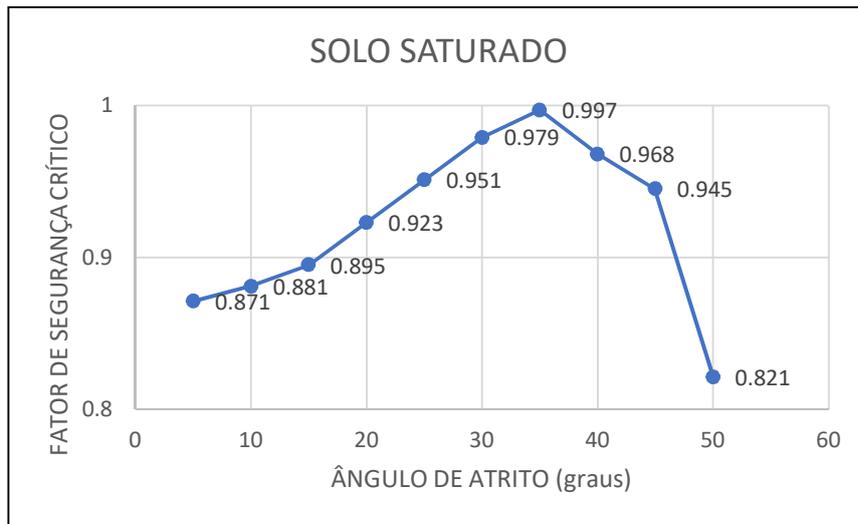
Figura 39: Gráfico $c \times \phi$.



Fonte: Autor, 2019.

Notar que para condição mais próxima do fator de segurança unitário na Figura 40 com centro de círculo fixo e raio livre o ângulo de atrito é igual a 35° com valor de $FS(\text{crítico})=0,997$, dando uma diferença de apenas 0,003 para o valor $FS=1$. Dessa maneira, retornando na Figura 38 é definido o valor de coesão igual a 19kPa.

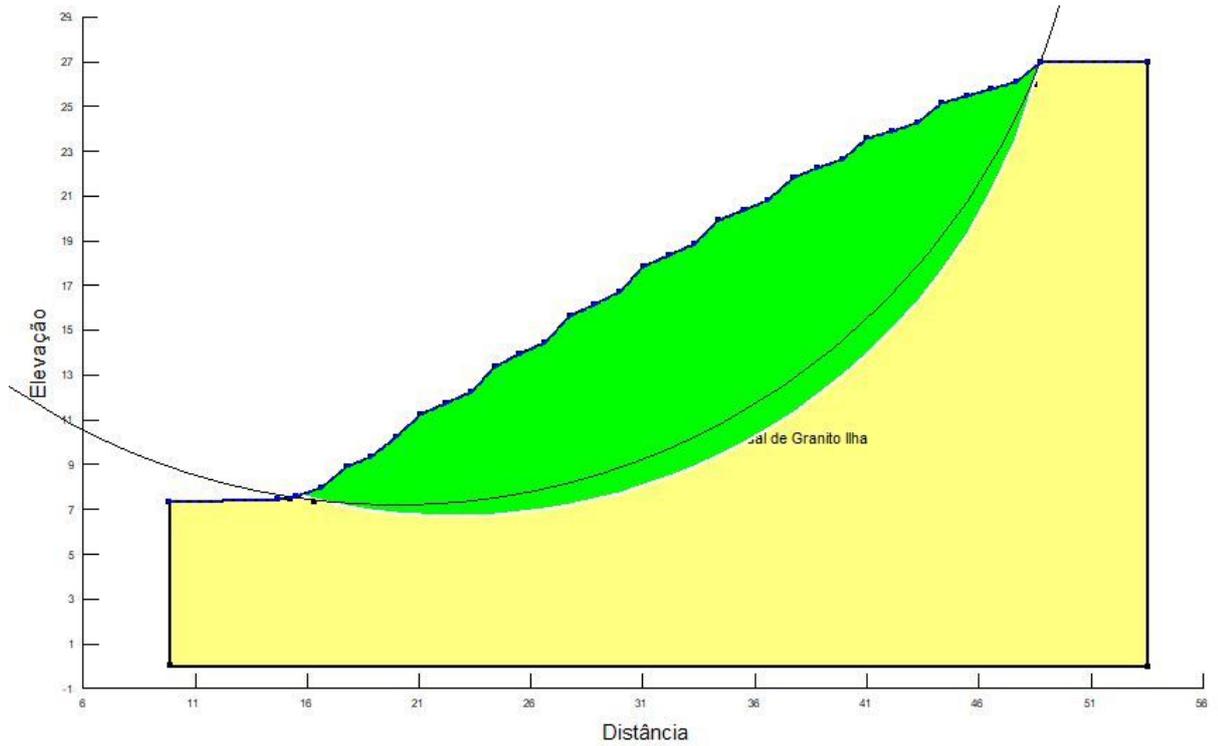
Figura 40: Gráfico FS(c) x ϕ .



Fonte: Autor, 2019.

Após definido o par de resistência (c x ϕ) realizou-se a etapa “c)” da metodologia de retroanálise, que consiste em fixar o centro do círculo e deixar livre o raio (Draw \rightarrow Slip Surface \rightarrow Entry and Exit), com isso obteve-se a superfície de ruptura crítica identificada na cor branca com preenchimento na cor verde com $FS(\text{crítico}) = 0,997$, na cor preta está desenhado o círculo de superfície de ruptura definido em “b)” para poder ser feita a comparação com a superfície gerada pelo par de parâmetro escolhido, apresentada na Figura 41.

Figura 41: Saturada (19kPa, 35°) → FS=0,997.



Fonte: Autor, 2019.

A retroanálise realizada para a condição NA 3 metros abaixo da geometria inicial obteve os pares $c \times \phi$ para a condição de FS = 1, variando o ϕ de 5° em 5°, apresentados na Figura 42 com o gráfico abaixo.

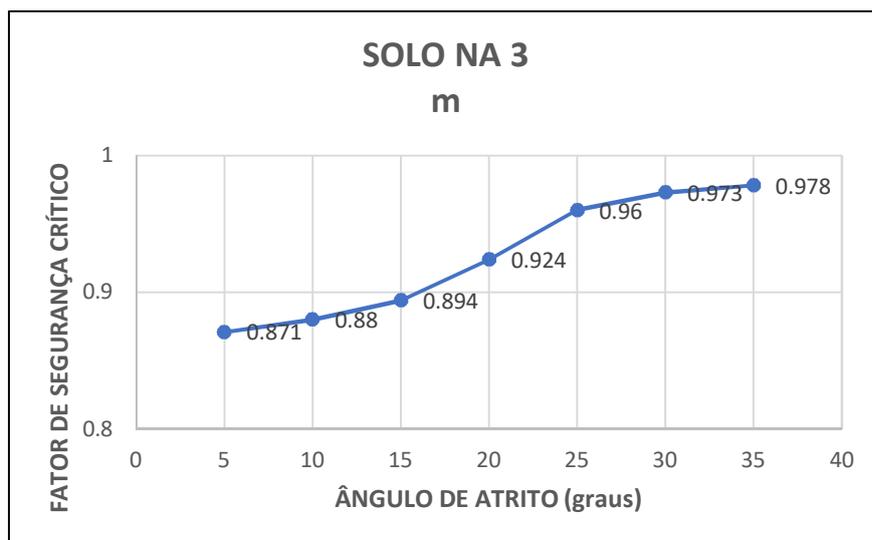
Figura 42: Gráfico $c \times \phi$.



Fonte: Autor, 2019.

Notar que para condição mais próxima do fator de segurança unitário na Figura 43 com centro de círculo fixo e raio livre o ângulo de atrito é igual a 35° com valor de FS(critico)=0,978, dando uma diferença de apenas 0,022 para o valor FS=1, porém como a coesão é 3kPa para esse ângulo de atrito é muito baixa, o ângulo de atrito escolhido foi de 30°, que tem valor de FS(critico)=0,973, dando uma diferença de apenas 0,027 para o valor FS=1. Dessa maneira, retornando na Figura 42 é definido o valor de coesão igual a 10kPa.

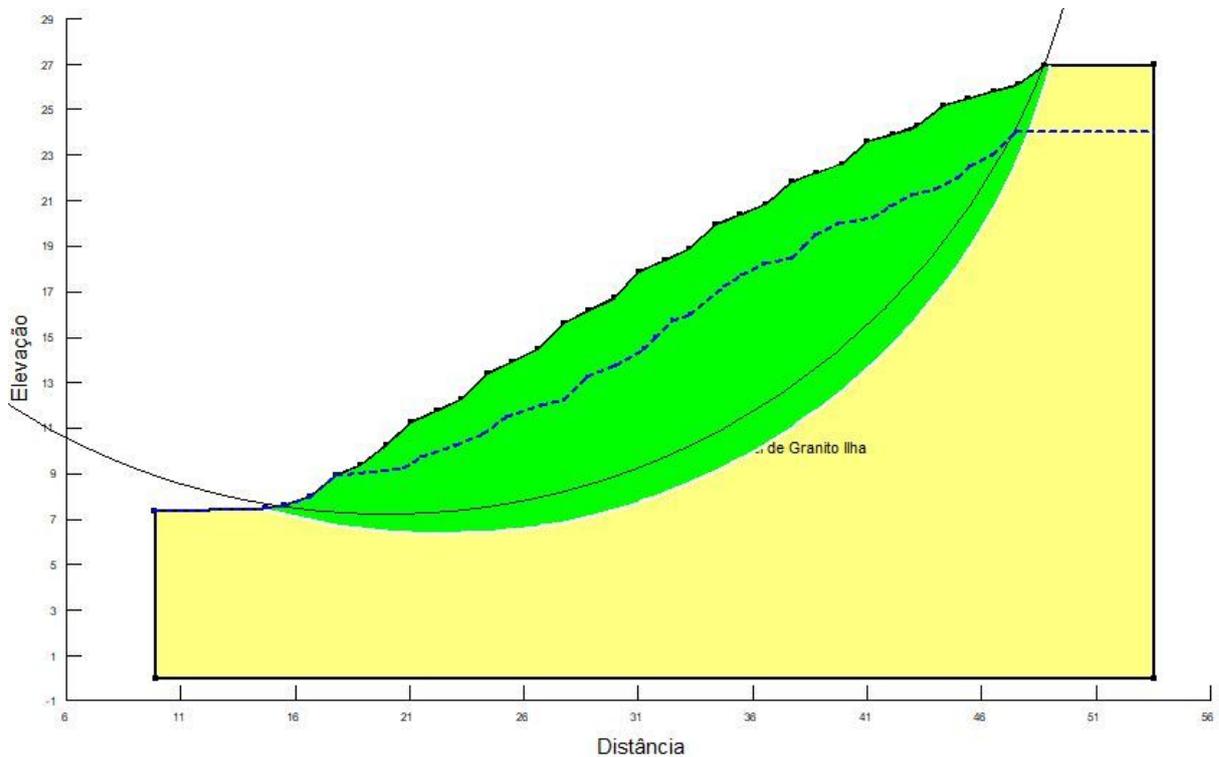
Figura 43: Gráfico FS(c) x ϕ .



Fonte: Autor, 2019.

Após definido o par de resistência (c x ϕ) realizou-se a etapa “c)” da metodologia de retroanálise, que consiste em fixar o centro do círculo e deixar livre o raio (Draw → Slip Surface → Entry and Exit), com isso obteve-se a superfície de ruptura crítica identificada na cor branca com preenchimento na cor verde com FS = 0,973, na cor preta está desenhado o círculo de superfície de ruptura definido em “b)” para poder ser feita a comparação com a superfície gerada pelo par de parâmetro escolhido, apresentada na Figura 44.

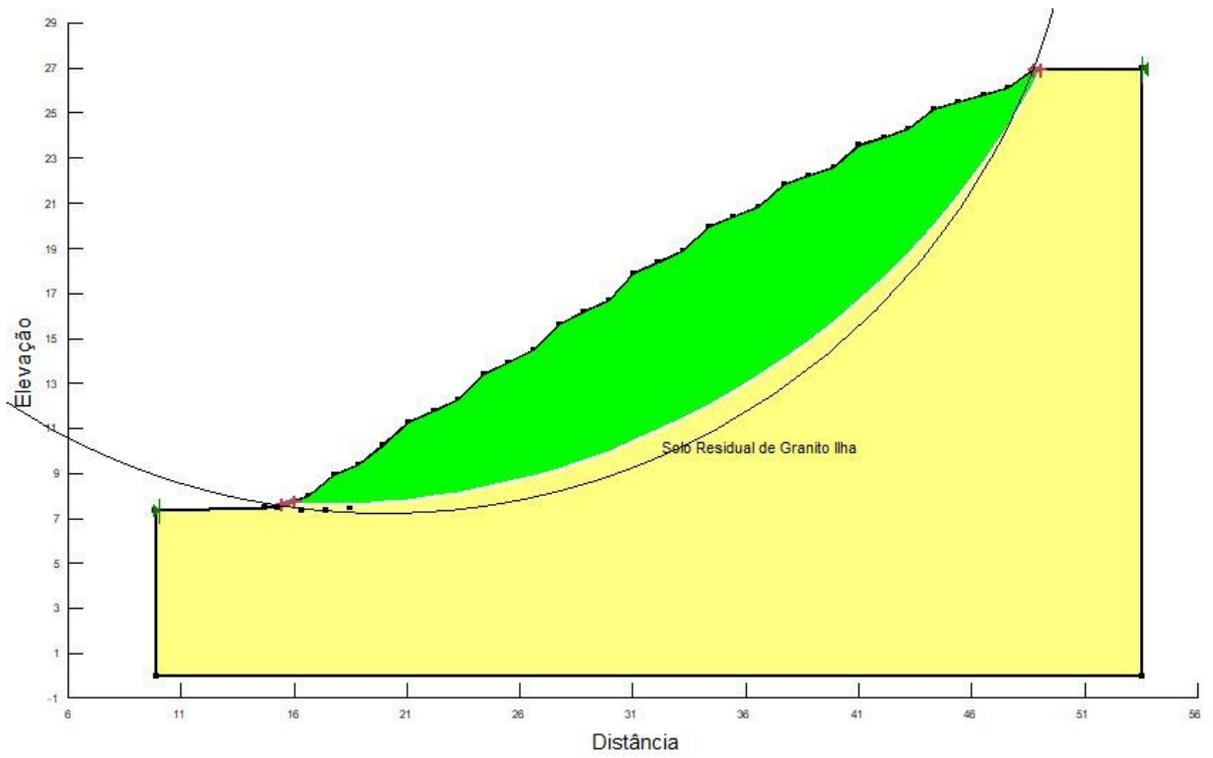
Figura 44: NA 3 metros (10kPa, 30°) → FS=0,973.



Fonte: Autor, 2019.

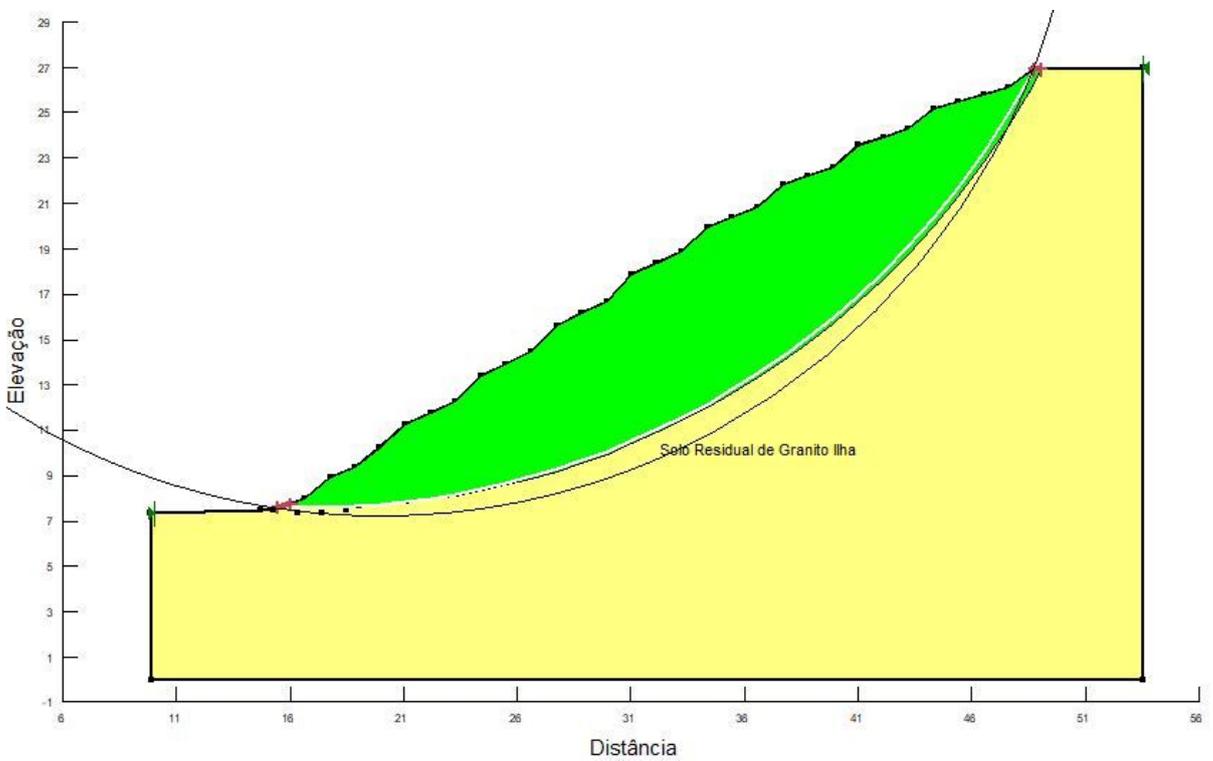
Foi realizado também uma análise de estabilidade com os pares de $(c \times \phi)$ escolhidos acima para a condição totalmente seca com $\gamma(\text{natural})$ de $17,3 \text{ kN/m}^3$. O motivo dessas análises foi para justificar que os altos índices pluviométricos acumulados e ocorrido no dia do deslizamento, foi o motivo preponderante para o desencadeamento do deslizamento, pois os valores para $(19\text{kPa}, 35^\circ)$ deu um $\text{FS}(\text{crítico})=1,997$ e para $(10\text{kPa}, 30^\circ)$ deu um $\text{FS}(\text{crítico})=1,475$, que significa que com a ausência da água a encosta encontraria-se estável. A seguir nas próximas figuras estão os resultados das análises (Figs. 45 e 46).

Figura 45: Seco 1 - sem água (19kPa, 35°) → FS(critico)=1,997.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 46: Seco 2 - sem água (10kPa, 30°) → FS(critico)=1,475.



Fonte: Autor, 2019.

Apresenta-se na Tabela 6 o resumo dos resultados encontrados nas retroanálises e no ensaio de BST. É notável a diferença ocorrida na variação da coesão e ângulo de atrito para as condições de análises saturada e NA 3m, essa variação faz com que a superfície de ruptura gerada com o fator de segurança crítico na condição saturada tenha uma proximidade maior com a superfície de ruptura definida em “b)” comparando-a com a superfície de ruptura gerada com o fator de segurança crítico para condição de NA 3m. Além disso, o FS (crítico) na condição saturada aproxima-se mais do FS=1 definido pela literatura para realização de estudos de retroanálises.

Comparando os resultados dos pares de coesão e ângulo de atrito das retroanálises com o par obtido com BST é possível identificar uma disparidade, entretanto é sugerido na Conclusão deste trabalho de que sejam feitos novos ensaios do BST para uma melhor obtenção de parâmetros físicos médios do solo.

Tabela 6: Resultados encontrados nas retroanálises e BST.

Identificação	c (kPa)	Φ (graus)	FS (crítico)
Saturado	19	35	0,997
NA 3 metros	10	30	0,973
Seco 1	19	35	1,997
Seco 2	10	30	1,475
BST	9	38,85	-

Fonte: Autor, 2019.

7. CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE SOLUÇÕES DE ESTABILIZAÇÃO

O desenvolvimento desse estudo permitiu alcançar os objetivos gerais e específicos estabelecidos.

Após a investigação e análises dos condicionantes geológicos e geotécnicos, foi feito o ensaio de resistência ao cisalhamento realizado *in situ* pelo método do BST, definindo os parâmetros físicos de resistência (coesão e ângulo de atrito) do solo residual do Granito Ilha em (9kPa, 38,85°). Entretanto, devido as condições de campo e a recente ruptura do talude foi possível ser feito um único ensaio *in situ*, pois para realização do ensaio necessita-se uma área com solo indeformado, logo, como sugestão para a obtenção de resultados mais precisos em próximos estudos, é interessante que sejam realizados mais ensaios do BST em pontos melhor distribuídos, ou a realização de outros ensaios de cisalhamento, como por exemplo Cisalhamento Direto.

Juntamente com o ensaio do BST, foi feita a amostragem do solo para realização dos ensaios de caracterização física em laboratório. É possível concluir que para esses ensaios, obteve-se resultados satisfatórios, pois há uma predominância das frações finas (silte e argila) com plasticidades altas, podendo associar assim os eventos de chuva na área que quando em contato com essas frações promovem uma incorporação da molécula de água ocasionando em uma modificação do comportamento dos solos, podendo desencadear o deslizamento.

Na retroanálise, pode-se concluir, que o par de parâmetro adotado mais adequado aos resultados da análise de estabilidade foi o da condição totalmente saturada que obteve: (19kPa, 35°) → FS=0,997 e superfície de ruptura crítica mais próxima pelo que foi definido na parte “b)” da metodologia. É importante salientar que estudos de retroanálises são de grande relevância para o monitoramento de deslizamentos, pois consiste em restabelecer as condições pretéritas dos parâmetros físicos dos taludes rompidos de materiais compreendidos pela mesma formação geológica, entretanto, para a realização de retroanálises fidedignas, os parâmetros adotados têm de ser os mais próximos da realidade, para que assim os dados obtidos sirvam para contribuir para projetos de reabilitação de outros taludes que carreguem características similares ao talude estudado.

Conforme eventos de deslizamentos já deflagrados e propensão a novos deslizamentos na área de estudo e em áreas próximas a localidade é importante ressaltar que o grau de risco é alto nesta região da SC-406, pois a rodovia liga a porção centro-leste da ilha ao norte, tendo assim um tráfego intenso, principalmente, nas épocas de verão de Janeiro e Fevereiro, que foi quando ocorreu a instabilidade do talude, acarretando em obstrução da via e danos a infraestrutura pública. Corroborando as evidências observadas em campo, caracterização da área, descrição e análise geológica-geotécnica, tipologia de processos geodinâmicos e nível de risco identificado, recomenda-se propostas para mitigação do risco.

Para o talude rompido recomenda-se monitoramento das precipitações pluviométricas, principalmente, quando ocorre dias seguidos de chuva, como aconteceu no período 9, 10 e 11 de janeiro de 2018, para que a população seja avisada dos riscos eminentes de novas rupturas na área estudada e áreas adjacentes. Como proposta de estabilização, sugere-se execução do muro de gabião na porção do pé do talude, aplicação de drenos de areias e valetas para drenagem das águas superficiais e subsuperficiais, implantação de cortina arbórea e mudas de trepadeiras para formar superfície verde e reforçar a estabilização, além disso, é importante reformar as canaletas de drenagem da rodovia que se encontram degradadas.

REFERÊNCIAS

AHRENDT, A. **Movimentos de Massa Gravitacionais – Proposta de um sistema de previsão: Aplicação de uma Área Urbana de Campos de Jordão – SP.** Tese de Doutorado em Geotecnia pela Escola de Engenharia de São Carlos – USP. São Carlos, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 11682: Estabilidade de Taludes.** Rio de Janeiro, 1991. 39p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6457: Amostras de Solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.** Rio de Janeiro, 1986. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez.** Rio de Janeiro, 1984. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm - Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 1984. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7180: Solo - Determinação do limite de plasticidade.** Rio de Janeiro, 1984. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7181: Solo – Análise granulométrica.** Rio de Janeiro, 1984. 10 p.

AUGUSTO FILHO, O. & VIRGILI, J. C. (1998), *Geologia de Engenharia, Estabilidade de Taludes, ABGE*, São Paulo, Cap. 15, p. 243-269.

AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica.** In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS. Anais... Rio de Janeiro, v. 2. P. 721-733, 1992.

AUGUSTO FILHO, O., VIRGILLI J.C. **Estabilidade de Taludes.** In: Editor geral et al. *Geologia de Engenharia.* São Paulo ABGE. Cap 25 p. 260, São Paulo, 1998.

AUGUSTO FILHO, O; WOLLE, Claudio Michael. *Cartas de risco de escorregamentos: uma proposta metodologica e sua aplicacao no municipio de ilha bela , sp. Solos e Rochas: Revista Brasileira de Geotecnia*, São Paulo, v. 19, n. 1 , p. 45-62, 1996.

BISHOP, A. W. (1955), **The Use of The Slipe Circle in The Stability Analiysis of Slopes,** *Geotechnique*, v. 5, n. 1, p. 7-17.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações.** 6. Ed. Vol. 1. Rio de Janeiro, 1988.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações.** 6. Ed. Vol. 2. Rio de Janeiro, 1987.

CARUSO JR., F. **Mapa geológico da ilha de Santa Catarina – Escala 1:100.000.** Texto explicativo e mapa. Notas Técnicas, 6:1-28. 1993.

CARUSO, M. L. **O desmatamento da Ilha de Santa Catarina de 1500 aos dias atuais.** Florianópolis: UFSC, 1983.

CARVALHO, J.A.R. **“Perigos Geológicos, Cartografia Geotécnica e Proteção Civil”.** In: 3º Simpósio

Brasileiro de Cartografia Geotécnica. Florianópolis, UFSC. CD-ROM. 1998.

CARVALHO, P. A. S. (Coord.) (1991), **Manual de Geotecnia – Taludes de Rodovias: Orientação para Diagnóstico e Soluções de Seus Problemas**, *Publicação IPT 1843*, São Paulo, 410p.

CORRÊA, V. X. Geoquímica, Isotopia e geocronologia das rochas graníticas do Batólito Florianópolis na Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. 2016. 219 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

COSTA, E. A. **Avaliação de Ameaças e Risco Geotécnico Aplicados à Estabilidade de Taludes**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFRGS. Porto Alegre (RS), 2005.

CRUZ, O. **A Ilha de Santa Catarina e o continente próximo: um estudo de geomorfologia costeira**. Florianópolis: UFSC, 1998.

DIAS, Fernando Peres. **Análise da susceptibilidade a deslizamentos no Bairro Saco Grande, Florianópolis – SC. 2000**. 103 f. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

DUNCAN, J. M. (1996), **State of the Art: Limit Equilibrium and Finite-Element Analysis of Slopes**, *Journal of Geotechnical Engineering*, v.122, n.7, p.577-596.

EMBRAPA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA solos, 2006.

FLORISBAL, L. M. et al. Tectonic significance of the Florianópolis Dyke Swarm, Paraná–Etendeka Magmatic Province: A reappraisal based on precise U–Pb dating. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, [s.l.], nov. 2014, v. 289, p. 140-150.

FREIRE, E. S. de M. – **Movimentos coletivos de solos e rochas e sua moderna**. Construção, Rio de Janeiro, 8(95): 10-18, março, 1965, il.

FREYESLEBEN, L.M.C. **Aspectos essenciais do ritmo climático de Florianópolis**. 1979. 49 f. Trabalho Técnico. Florianópolis, UFSC, 1979.

FREYESLEBEN, L.M.C. **Aspectos essenciais do ritmo climático de Florianópolis**. 1979. 49 f. **Trabalho Técnico**. Florianópolis, UFSC, 1979.

GERSCOVICH, D. M. S. **Estabilidade de Taludes**. 2. Ed. São Paulo, 2016.

GIONGO, Michele. Análise do nível de exposição das edificações à chuva dirigida para Florianópolis. 2007. 107 p. **Dissertação** (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

GOMES, C. L. R (2003), **Retroanálise em Estabilidade de Taludes em Solo: Metodologia para Obtenção dos Parâmetros de Resistência ao Cisalhamento**. 2003. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

GUEDES JUNIOR, Alexandre. **Áreas de proteção ambiental para poços de abastecimento público em aquíferos costeiros**. 2005. 184p. Tese (doutorado). Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2005.

GUIDICINI, G., NIEBLE, C. M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. São Paulo, 1984.

HANDY, R. L., & FOX, N. S. (1967). **A soil borehole direct shear test device**. Highway Research News (27), pp. p. 42-51.

HANDY, Richard Lincoln, David J. White, and A. J. Lutenecker. **The Papers of R.L. Handy: A Geotechnical Legacy of Iowa State University**. Ames, Iowa: Center for Transportation Research and Education, Iowa State U: Earthworks Engineering Research Center, 2008. Print.

HERRMANN, Maria Lucia de Paula. Problemas geoambientais da faixa central do litoral catarinense. 1998. 307 f. **Tese** (Doutorado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH), Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, 1998.

HUTCHINSON, J. N. **Mass movement**. In: Encyclopedia of Geomorphology. Nova York. Fairbridge Reinhold Book, 1968.

JESUS, A. C. (2008), **Retroanálises de escorregamentos em solos residuais não saturados**. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Carlos – SP.

KRYNINE, K. P. FRITZ (1957). **Landslides and other crustal displacements**. In: Principles of engineering geology and geotechnics. Tóquio, McGraw-Hill. 1957, p.636-671.

LUTENEGGER, A.J.; Hallberg, G.R., 1988. **Stability of loess**. Eng. Geol., 25: 247–261.

MELLO, V. F. B. (1972), **Thoughts on Soil Mechanics Applicable to Residual Soils**, In: Southeast Asian Conference on Soil Engineering, 3, Hong-Kong, Proceedings, p.5-34.

MENDONÇA, Magaly. **A dinâmica têmporo-espacial do clima subtropical na região conurbada de Florianópolis/SC**. 343 f. Tese (Doutorado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, 2002.

MONTEIRO, C.A. de F. **Clima e excepcionalismo**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1991.

NASCIMENTO. U. (1967) – **Simpósio dobre estabilidade e consolidação de taludes**. Relato geral. In: Jornadas Luso-Brasileira de Engenharia Civil, 2ª, São Paulo. Rio de Janeiro, 54 pp.

NIMER, Edmond. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.

OLIVEIRA, Mônica Carvalho Generini de. **Correlação Entre Movimentos De Massa E Pluviosidade Para O Município De Florianópolis, SC**. 2018. 225 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

OLIVEIRA, Mônica Carvalho Generini de; HIGASHI, Rafael Augusto dos Reis; OLIVEIRA, Orlando Martini de. **Correlação Entre Movimentos de Massa e Pluviometria do Município de Florianópolis, SC**. In: XII CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 12., 2017, Florianópolis.

OLIVEIRA, Orlando Martini de; BIM, Rodrigo; ESPÍNDOLA, Murilo da Silva. **Aspectos Geotécnicos do Esgorregamento de Encosta da Rodovia SC-401/Florianópolis**. 2012, 8p.

PENA, Rodolfo F. Alves. **"Urbanização"; Brasil Escola**. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/brasil/urbanizacao.htm>>. Acesso em 18 de abril de 2019.

RAIMUNDO, Huri Alexandre. **Aspectos geotécnicos e pluviométricos associados a instabilidade de**

encostas em Florianópolis – SC. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 1998. 343p.

REDAÇÃO NOTÍCIA DO DIA (Santa Catarina). **Há cinco anos, Santa Catarina vivia a maior tragédia climática da sua história.** 2013. Disponível em: <<http://ndonline.com.br/joinville/noticias/hacincos-anos-santa-catarina-vivia-a-maior-tragedia-climatica-da-sua-historia>>. Acesso em: 18 de abr. 2019.

SATO, R. D. O. (2018), **Laudo geológico de urgência – protocolo D.C:412/2018.** Secretaria Municipal de Segurança e Defesa do Cidadão, 2018, p. 22.

SCHEIBE, L.F. & TEIXEIRA, V.H. **Mapa topogeológico da ilha de Santa Catarina.** Porto Alegre. DNPM (inédito, sem texto explicativo). 1970.

SELBY, M.J. **Hillslope Materials & Processes.** Oxford: Oxford University Press. 1990.

SERRA FILHO, E. & OJIMA, L. M. (1998), **Caracterização e Classificação de Maciços Rochosos, Geologia de Engenharia, Cap. 13,** ABGE, São Paulo, p. 211-226.

SHARPE, C. F. S. (1938) – **Landslides and related phenomena.** New York. Columbia University Press, 137 pp.

SIEBERT, C. **Mudanças Climáticas e Desastres Naturais em Santa Catarina: Impactos Socioterritoriais e Avaliação das Políticas Públicas.** Universidade Regional de Blumenau, 2017, p. 22.

SILVA, H. A. da; BERNADINO, L. de O. (2018), **Laudo geológico-geotécnico.** 2018, p. 32.

SILVA, Pedro José da; PIRES, Maria Aparecida Faustino. **A ocupação de encostas: Um exemplo da ausência de atendimento aos domínios de estudos.** Engenharia, São Paulo, p.130-133, 01 abr. 2010.

TOMAZZOLI, E. R & PELLERIN, J. Aspectos geológicos-geomorfológicos do Sul da Ilha de Santa Catarina. In: Encontros de Geógrafos da América Latina, 8, Santiago de Chile, 4-10/03/2001, **Anales...**, item3, p. 8-15, Santiago de Chile, 2001.

TOMAZZOLI, E. R.; PELLERIN, J. R. M. **O Mapeamento geológico-geomorfológico como procedimento básico na caracterização de áreas de risco: o caso da área central da cidade de Florianópolis-SC.** In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, Florianópolis. Anais... Florianópolis: GEDN/UFSC, p. 277-287, 2004.

TOMAZZOLI, E. R.; PELLERIN, J. R. M. **Unidades do mapa geológico da ilha de Santa Catarina: as rochas.** Geosul, v.30, n.60, 2015. P. 226 – 247.

VARGAS, M. (1966) – **Estabilização de taludes em encostas de gneisses decompostos.** – In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos, 3º, Belo Horizonte, 1966. *Anais*, Belo Horizonte, Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, 1966. V. 1, tema 6, 24 p. il.

VARNES, D. J. **Landslides types and processes.** In: EKEL, E. B. (Org.) *Landslides and engineering practice.* Washington: National Academy of Science, 1958. Cap. 2.

VARNES, D. J. **Landslides, analysis and control.** Special Report 176, National Academy of Sciences, cap II, 1978.

VARNES, D. J. **Slope Movement Types and Processes.** In: *landslides analysis and control.*

Washington: National Academy of Sciences, 1978.

VIEIRA, L. S. **Manual de ciência do solo com ênfase aos solos tropicais**. 2.ed. São Paulo, Agronômica Ceres, 1988. 463p.

ZANINI, L.F.P.; BRANCO, P.M.; CAMOZZATO, E. & RAMGRAB, G.E. (orgs.) **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Florianópolis (FolhaSH.22-Z-D-V) e Lagoa (Folha SH.22-Z-D-VI)**. CPRM, Brasília, 252p., mapas. Escala 1:100.000. 1997.

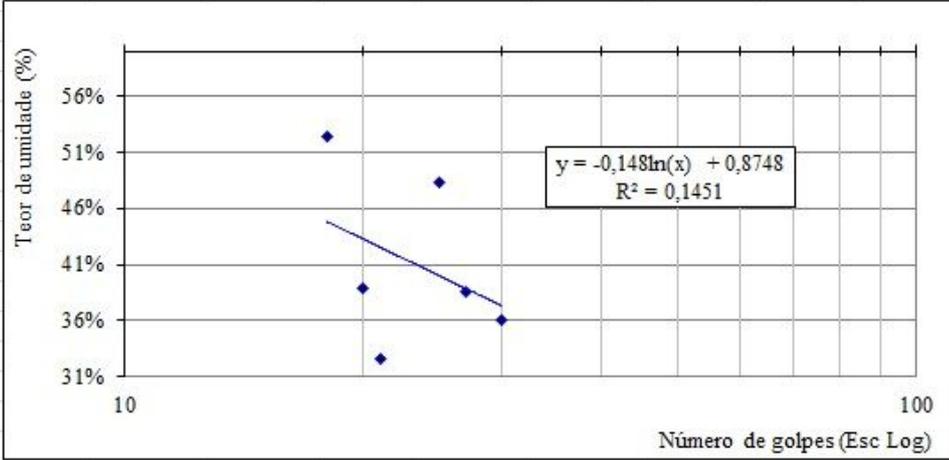
WOLLE, C.M. **Taludes Naturais: mecanismos de instabilização e critérios de segurança**. Dissertação de Mestrado. São Paulo, 1980.

2008 – **Deslizamentos e Inundações Bruscas no Vale do Itajaí e Regiões de Santa Catarina**. CEPED – UFSC. Florianópolis, 12 de agosto de 2015. Disponível em :< <http://www.ceped.ufsc.br/2008-deslizamentos-e-inundacoes-no-vale-do-itajai-em-santa-catarina/>>. Acesso em: 20 de abr. 2019.

ANEXOS:

- Anexos A: Tabelas dos ensaios de determinação dos limites de liquidez e plasticidade do solo inferior e superior;
- Anexos B: Tabelas dos ensaios de determinação de massa específica do solo inferior e superior.

ANEXOS A

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA		DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS / ENGENHARIA CIVIL		FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA E EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA		LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS	
							
DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA DOS SOLOS							
Solo:	Residual de Granito	Laboratnsta:	Ricardo Rosa				
Local:	SC - 406	Projeto:	DGL 7183 - TCC II				
Amostra:	Amostra 2 Inferior	Coordenador:	Prof. Orlando M Oliveira				
Interessado:	xxxxxxx	Rev./Elaboração:	murilo.espindola@ufsc.br				
			Data:	10/10/2019			
NBR 06459 - 1984 - Solo- Determinação do Limite de Liquidez							
Cápsula N ^o	233	30A	71	72	B22Z	250	
Cápsula + Solo Úmido (g)	23,85	19,24	19,86	20,42	37,85	20,67	
Cápsula + Solo Seco (g)	21,53	17,23	18,36	18,92	35,79	19,28	
Peso da Cápsula (g)	15,56	13,39	14,20	14,32	30,45	16,40	
N ^o . de Golpes	20	18	30	21	27	25	
Teor de Umidade (%)	38,86%	52,34%	36,06%	32,61%	38,58%	48,26%	
WL (%)	56,00%						
							
NBR 07180 - 1984 - Solo - Determinação do limite de plasticidade							
Cápsula N ^o	B4	B5	B6	B10	B7	B8	
Cápsula + Solo Úmido (g)	12,30	12,01	9,36	8,46	9,71	9,27	
Cápsula + Solo Seco (g)	11,76	11,55	8,97	8,00	9,19	8,83	
Peso da Capsula (g)	8,71	9,21	7,12	5,69	6,63	6,78	
Teor de Umidade (%)	17,70%	19,66%	21,08%	19,91%	20,31%	21,46%	
Situação:	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	
WP (%)	20,02%						
IP (%)	35,98%						

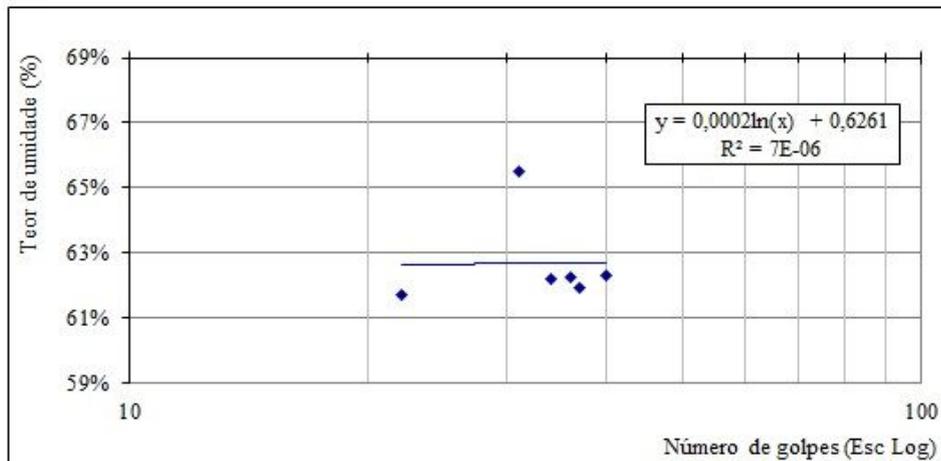


DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA DOS SOLOS

Solo:	Residual de Granito	Laboratnista:	Ricardo Rosa
Local:	SC - 406	Projeto:	DGL 7183 - TCC II
Amostra:	Amostra 1 Superior	Coordenador:	Prof. Orlando M Oliveira
Interessado:	xxxxxxx	Rev./Elaboração:	murilo.espindola@ufsc.br
Data: 10/10/2019			

NBR 06459 - 1984 - Solo - Determinação do Limite de Liquidez

Cápsula N ^o	16A	CR51B	CR11C	31D	44E	A021F
Cápsula + Solo Úmido (g)	26,06	19,18	18,07	21,58	17,94	27,95
Cápsula + Solo Seco (g)	24,14	18,23	16,95	19,81	16,52	26,55
Peso da Cápsula (g)	21,03	16,78	15,15	16,97	14,24	24,29
N ^o . de Golpes	22	31	34	40	36	37
Teor de Umidade (%)	61,74%	65,52%	62,22%	62,32%	62,28%	61,95%
WL (%)	52,19%					



NBR 07180 - 1984 - Solo - Determinação do limite de plasticidade

Cápsula N ^o	16A	CR51B	CR11C	31D	44E	A021F
Cápsula + Solo Úmido (g)	22,42	18,28	16,72	18,23	15,53	25,29
Cápsula + Solo Seco (g)	21,98	17,82	16,27	17,87	15,17	24,99
Peso da Capsula (g)	21,03	16,78	15,15	16,97	14,24	24,29
Teor de Umidade (%)	46,32%	44,23%	40,18%	40,00%	38,71%	42,86%
Situação:	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
WP (%)	42,05%					

IP (%) 10,14%

ANEXOS B

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA					
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS / ENGENHARIA CIVIL					
FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA E EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA					
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS					
					
NBR 06508 - 1984 - Grãos de solos que passam na peneira de 4.8 mm - Determinação da massa específica					
Solo:	Residual de Granito	Laboratorista:	Ricardo Rosa		
Local:	SC-406	Projeto:	DGL 7183 - TCC II		
Amostra:	Solo Inferior	Cordenador:	Prof. Orlando M Oliveira		
Interessado:	xxxx	Revisão/Elaboração:	murilo.espindola@ufsc.br		
Data: #####					
Dados de ensaio					
Determinação 1					
Picnometro	CR11				
Peso do Picnometro (g)	162,42	Teor de umidade			
Peso do solo (g)	51,30	Cápsula	CR11	CR233	304
Peso de sólidos (g)	48,40	Wcap [g]	15,15	15,56	16,07
Peso do Picnometro + água (g)	646,63	Wcap+s+w	65,17	50,50	51,45
Peso do Picnometro + água + sólidos (g)	677,80	Wcap+s [g]	63,25	48,72	48,65
Densidade relativa dos grãos	2,81	w [%]	3,99%	5,37%	8,59%
Temperatura água (°C)	22	w [%]	5,98%		
Peso específico da água (g/cm³)	0,998				
Peso específico dos sólidos (kN/m³)	27,5				
Determinação 2					
Picnometro	CR51				
Peso do Picnometro (g)	205,52	Teor de umidade			
Peso do solo (g)	60,00	Cápsula	CR11	CR233	304
Peso de sólidos (g)	56,61	Wcap [g]	15,15	15,56	16,07
Peso do Picnometro + água (g)	725,93	Wcap+s+w	65,17	50,50	51,45
Peso do Picnometro + água + sólidos (g)	756,06	Wcap+s [g]	63,25	48,72	48,65
Densidade relativa dos grãos	2,14	w [%]	3,99%	5,37%	8,59%
Temperatura água (°C)	22	w [%]	5,98%		
Peso específico da água (g/cm³)	0,998				
Peso específico dos sólidos (kN/m³)	20,9				
Peso específico dos sólidos que passam na peneira 4.8mm [kN/m³]					24,2



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS / ENGENHARIA CIVIL
FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA E EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA
LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS



NBR 06508 - 1984 - Grãos de solos que passam na peneira de 4.8 mm - Determinação da massa específica

Solo:	Residual de Granito	Laboratorista:	Ricardo Rosa
Local:	SC-406	Projeto:	DGL 7183 - TCC II
Amostra:	Solo Superior	Cordenador:	Prof. Orlando Martini
Interessado:	xxxx	Revisão/Elaboração:	murilo.espindola@ufsc.br
Data: 10/10/2019			

Dados de ensaio

Determinação 1

Picnometro	CR11				
Peso do Picnometro (g)	162,42	Teor de umidade			
Peso do solo (g)	51,30	Cápsula	A021	A022	304
Peso de sólidos (g)	45,69	Wcap [g]	24,29	18,69	16,07
Peso do Picnometro + água (g)	646,63	Wcap+s+w	50,69	50,24	51,45
Peso do Picnometro + água + sólidos (g)	677,95	Wcap+s [g]	47,23	46,58	48,65
Densidade relativa dos grãos	3,18	w [%]	15,08%	13,12%	8,59%
Temperatura água (°C)	22	w [%]	12,27%		
Peso específico da água (g/cm³)	0,998				
Peso específico dos sólidos (kN/m³)	31,1				

Determinação 2

Picnometro	CR51				
Peso do Picnometro (g)	205,52	Teor de umidade			
Peso do solo (g)	60,00	Cápsula	A021	A022	304
Peso de sólidos (g)	53,44	Wcap [g]	24,29	18,69	16,07
Peso do Picnometro + água (g)	725,93	Wcap+s+w	50,69	50,24	51,45
Peso do Picnometro + água + sólidos (g)	756,89	Wcap+s [g]	47,23	46,58	48,65
Densidade relativa dos grãos	2,38	w [%]	15,08%	13,12%	8,59%
Temperatura água (°C)	22	w [%]	12,27%		
Peso específico da água (g/cm³)	0,998				
Peso específico dos sólidos (kN/m³)	23,3				

Peso específico dos sólidos que passam na peneira 4.8mm [kN/m³] 27,2