



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS REITOR JOÃO DAVID FERREIRA LIMA – CENTRO
TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TRANSPORTES E GESTÃO
TERRITORIAL

VINICIUS LAZZARIS PEDROSO

**EFEITO DA VARIAÇÃO DO NÍVEL DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA
ESTABILIDADE DE UMA ENCOSTA DE GRANITO E DIABÁSIO DA
ILHA DE SANTA CATARINA/FLORIANÓPOLIS - SC**

FLORIANÓPOLIS

2019

Vinicius Lazzaris Pedroso

**EFEITO DA VARIAÇÃO DO NÍVEL DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA
ESTABILIDADE DE UMA ENCOSTA DE GRANITO E DIABÁSIO DA ILHA DE
SANTA CATARINA/FLORIANÓPOLIS - SC**

Dissertação submetido(a) ao Programa de Pós-Graduação em Transportes e Gestão Territorial da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de mestre em transportes e gestão territorial.

Orientador: Prof. Dr. Orlando Martini de Oliveira

Florianópolis

2019

Ficha de identificação da obra

Pedroso, Vinicius Lazzaris

Efeito da Variação do Nível de Água Subterrânea na Estabilidade de uma Encosta de Solo Residual de Granito e Diabásio da Ilha de Santa Catarina/Florianópolis - SC / Vinicius Lazzaris Pedroso ; orientador, Orlando Martini de Oliveira, 2019.

205 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. 2. Estabilidade de Taludes. 3. Variação de Nível de Água Subterrâneo. 4. Fator de Segurança de Encostas. 5. Monitoramento pluviométrico. I. Oliveira, Orlando Martini de. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. III. Título.

Vinicius Lazzaris Pedroso

Efeito da Variação do Nível da Água Subterrânea na Estabilidade de uma Encosta de Granito e Diabásio da Ilha de Santa Catarina/Florianópolis - SC

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a) Gracieli Dienstmann, Dr(a).
Universidade Federal de Santa Catarina

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

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

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em transportes e gestão territorial.

Prof. Dr.(a) Norberto Hochheim
Coordenador(a) do Programa

Prof. Dr.(a) Orlando Martini de Oliveira
Orientador(a)

Florianópolis, 01 de agosto de 2019.

A minha esposa Ari.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer às pessoas que foram fundamentais para a realização desse trabalho:

Em primeiro lugar, agradecer à família. À minha esposa, Arianna de Miranda Nogueira, pela paciência e compreensão, por todas as horas e noites mal dormida para a execução do trabalho. Meu pai, Márcio José Pedroso, minha mãe, Carmen Luci Lazzaris Pedroso, e meu irmão, Leonardo Henrique Pedroso, por estarem ali e fazerem parte de tudo o que sou. Aos meus sogros, Eliza Amélia de Miranda Nogueira e Carlos Augusto Nogueira, por serem uma segunda família e estarem sempre presentes, mesmo quando não percebem. E a Páprica, pelos carinhos que me deu e pediu em todas as noites e horas dedicadas ao trabalho.

Aos professores. Professor Orlando Martini de Oliveira, que depois de alguns desencontros na pós-graduação me lembrou que era possível fazer um trabalho em moldes pouco tradicionais e me apoiou em toda a jornada para a finalização desse trabalho, sem medo de sujar as mãos no campo. Ao professor Marciano Maccarini, que deu o apoio (e solicitou apoio também) em todos os ensaios realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos da UFSC. E ao professor Rafael Augusto dos Reis Higashi que, provavelmente sem perceber, ajudou a passar algumas longas horas de ensaios no laboratório.

Aos amigos, aquela família que a gente escolhe de fato. Aqui, em primeiro lugar, agradecimentos aos amigos Jean Calel Santos da Silveira e Jacson Ramon Pereira de Figueiredo por, além de ajudarem a refrescar a cabeça com o rugby, pegarem no pesado e irem para o UCAD ajudar a cavar buracos só pela amizade mesmo. Ao Rafael Casaril, que cedeu inúmeras vezes o seu AutoCAD para o desenho de diversos esquemas presentes no trabalho. Ao Felipe “Baka” Pereira da Silva, por correr o campo uma ou outra vez comigo. Ao Michel Reis Pedreira Muniz Tavares, por possibilitar o trabalho agilizando mais um segmento para o trado manual junto aos laboratórios da Engenharia Mecânica da UFSC. Ao Elias Bencz, engenheiro eletricitista que construiu o circuito que possibilitou todas as leituras de nível d’água nos INA. À Beatriz Kuhnen, que trilhou esse caminho árduo da pós-graduação comigo, dividindo várias histórias e horas de ajuda em diversos momentos. E finalmente ao Silvano Guilherme da Costa, servidor da UFSC, que iria ficar para o próximo parágrafo, mas ao longo dessa jornada, foi promovido para esse e se tornou um amigo, dividindo longas horas no UCAD, entre escavação, instalação, monitoramento, café e conversa jogada fora.

Aos laboratoristas ou pessoas envolvidas no Laboratório de Mecânica dos Solos da UFSC, principalmente à Cândida Bernardi, que me ensinou todos os ensaios de caracterização dos solos, ao Saulo Zanol Nogueira Garcia e Mateus Prazeres Orsi pela ajuda na execução dos ensaios e ao Vinicius “Marisco” Martins Correia pelos momentos de conversa e distração entre um ensaio e outro no laboratório.

Ao CAPES, pela bolsa oferecida durante a realização desse trabalho. Sem a bolsa, a dedicação necessária para a manufatura dos sensores, instalação e incursões de campo seriam impossíveis de serem realizadas.

A todos que possivelmente eu tenha esquecido de citar nominalmente, a minha gratidão!

RESUMO

O presente trabalho se propôs a verificar como as variações do nível de água (NA) subterrâneo, associados ao regime de chuvas da região, alteram o fator de segurança ao escorregamento. A região estudada fica na SC-401, na cidade de Florianópolis, e possui amplo histórico de instabilidades. Os índices pluviométricos foram obtidos através de pluviômetro instalado na localidade, de responsabilidade do EPAGRI/CIRAM. O NA da área foi monitorado através da instalação de 10 indicadores de nível d'água e sensores de sucção, instalados a 3 metros de profundidade cada um. Com o material proveniente da instalação dos equipamentos foi realizada a caracterização do solo. Os equipamentos foram instalados em regiões com solo residual de diabásio e de granito. Em relação ao tempo de resposta às precipitações, não se observou diferenças significativas entre os 2 tipos de solo. Em geral, observa-se uma resposta rápida, sendo sensível a mudança no nível d'água nas horas seguintes aos eventos de precipitação mais intensos. Os solos residuais de diabásio estudados apresentam maior fração fina em relação aos solos residuais de granito. Em termos de consistência, as amostras de ambas as origens apresentaram resultados semelhantes. A região estudada possui drenagem superficial complexa, com diversos trechos de drenagem natural e artificial, sempre intermitentes. Além disso, apresenta, em alguns trechos, sumidouros e canais subterrâneos. Estudou-se a estabilidade de dois taludes da região. Nas simulações de estabilidade de taludes foram simuladas duas hipóteses: 5 e 10 metros de espessura de camada de solo residual, e com condição de ruptura circular e não circular. Observou-se que os fatores obtidos para os cenários com 10 metros de espessura foram muito baixos (menores que 1). Nas simulações com 5 metros, os fatores de segurança calculados apresentaram valores coerentes. Como toda a instrumentação foi instalada a 3 metros de profundidade, pode-se estimar que a espessura da camada de solo na região esteja entre 3 e 5 metros.

Palavras-chave: Monitoramento pluviométrico. Variação do nível de água subterrâneo. Fator de segurança de encostas.

ABSTRACT

The present study aimed to verify how variations in the underground water level, associated to the rainfall regime of the region, alter the slope stability safety factor. The studied region is located in SC-401, in the city of Florianópolis, and has a wide history of instabilities. The rainfall indexes were obtained through a pluviometer installed in the locality, under the responsibility of EPAGRI/CIRAM. The area water level was monitored through the installation of 10 water level indicators and suction sensors, installed at 3 meters depth each. With the extracted material from the installation of the equipment was carried out the characterization of the soil. The equipment was installed in regions with residual diabase and granite soil. Regarding the rainfall response time, no significant differences were observed between the two types of soil. In general, a rapid response is observed, with fast response in the level of water in the hours following the more intense events of precipitation. The residual soils of diabase studied presented a greater fine fraction in relation to the residual soils of granite. In terms of consistency, the samples from both origins did not present different results. The region studied has complex surface drainage, with several sections of natural, artificial, perennial and intermittent drainage. In addition, it presents, in some sections, sinks and underground channels. The stability of two slopes of the region was studied. In the slope stability simulations, two hypotheses were simulated: 5 and 10 meters thickness of residual soil layer, with circular and non-circular rupture conditions. It was observed that the safety factors obtained for the 10-meter-thick scenarios were very low (less than 1). In the 5-meter simulations, the calculated safety factors presented coherent values. As all instrumentation was installed at 3 meters depth, it can be estimated that the thickness of the soil layer in the region is between 3 and 5 meters.

Key words: Rainfall monitoring. Groundwater level variation. Slope stability safety factor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Registros de movimentos de massa no Brasil de 1991 a 2012.....	2
Figura 02 - Elemento de solo não-saturado e suas quatro fases.....	4
Figura 03 - Zonas solo em relação à água subsuperficial.....	6
Figura 04 - Estrutura do solo não-saturado, com a formação de meniscos de água.....	6
Figura 05 - Tensões atuantes no menisco de um tubo capilar e distribuição da pressão da água pelo tubo.....	7
Figura 06 - Penetração dos meniscos ar-água no interior do solo em função do aumento da sucção.....	8
Figura 07 - Principais feições da curva de retenção.....	8
Figura 08 - Exemplos de curvas de retenção para diferentes tipos de solo.....	9
Figura 09 - Esquema de permeâmetro utilizado na dedução da Lei de Darcy.....	12
Figura 10 - Esquema ilustrando as linhas de fluxo.....	13
Figura 11 - Rede de fluxos de uma seção genérica de uma cortina de estacas prancha.....	14
Figura 12 - Fluxo entre equipotenciais nos casos isotrópico e anisotrópico.....	15
Figura 13 - Diferentes esquemas de rede de fluxo em encostas.....	16
Figura 14 - Rede de fluxo em planta elaborada a partir da interpolação das cargas hidráulicas mensuradas em campo (equipotenciais).....	17
Figura 15 - Superfície de ruptura formando uma cunha de solo que escorregará dividida em fatias para os cálculos de estabilidade.....	18
Figura 16 - Forças mobilizadas em uma fatia genérica e o polígono de forças e esforços.....	19
Figura 17 - Esquema de montagem dos indicadores de nível d'água com tubo de PVC.....	22
Figura 18 - Esquema de montagem dos indicadores de nível d'água com tubo de PVC.....	23
Figura 19 - (A) Sensor de matriz granular (SMG); (B) <i>Datalogger</i> utilizado para leitura de sucção instantânea.....	24
Figura 20 - SMG antes de ser instalado diretamente no solo.....	24
Figura 21 - Corte esquemático do SMG.....	25
Figura 22 - Localização da Estação Meteorológica de Florianópolis (seta vermelha), no município de São José, região metropolitana de Florianópolis. Na figura também está indicada a localização do UCAD (seta azul).....	37
Figura 23 - Médias de precipitação total mensal e dias de chuva mensais em Florianópolis.....	39
Figura 24 - Pluviômetro instalado no UCAD.....	41
Figura 25 - Correlação entre movimentos de massa e precipitação acumulada de 4 dias no município de Florianópolis.....	42
Figura 26 - Diagrama de atividade propostas.....	44

Figura 27 - Croqui de localização dos indicadores de nível d'água instalados na área de estudo.....	45
Figura 28 - Materiais utilizados na confecção dos indicadores de nível d'água.....	47
Figura 29 - Detalhes da confecção do indicador de nível d'água.....	48
Figura 30 - Procedimento de escavação com trado helicoidal.....	49
Figura 31 - Execução do filtro de areia (esquerda) e do selo argiloso (direita).....	49
Figura 32 - Moldagem da porção superior do selo argiloso.....	49
Figura 33 - Esquema de conjunto INA-SMG.....	51
Figura 34 - Detalhes de instalação da instrumentação de campo.....	52
Figura 35 - Detalhes do dispositivo utilizado para leitura dos INA.....	52
Figura 36 - Detalhes do circuito elétrico.....	53
Figura 37 - Esquema de fixação do sensor aos tubos de PVC.....	54
Figura 38 - Recobrimento do sensor de sucção de medida indireta com lama.....	54
Figura 39 - Indicador de nível d'água e sensor de sucção de medida indireta instalado.....	55
Figura 40 - Pontos experimentais da calibração dos sensores de sucção de medida indireta S1 a S4.....	56
Figura 41 - Pontos experimentais na curva de retenção de água obtidos nos solos estudados por Nunes, 2017.....	57
Figura 42 - Exemplo de ascensão capilar detectada por SMG.....	57
Figura 43 - Regiões caracterizadas para cada INA.....	58
Figura 44 - Amostras coletadas nas escavações de sondagens dos INA.....	59
Figura 45 - Amostras secando ao ar, em preparação para a realização dos ensaios.....	60
Figura 46 - Análise granulométrica: ensaio de adensamento.....	60
Figura 47 - Análise granulométrica: peneiramento fino.....	61
Figura 48 - Obtenção da massa específica dos sólidos: aplicação de vácuo.....	61
Figura 49 - Ensaio de limite de plasticidade.....	62
Figura 50 - Ensaio de limite de liquidez.....	62
Figura 51 - Diferentes amostras acondicionadas para a secagem em estufa.....	63
Figura 52 - Mapa de localização da microbacia do Ribeirão das Pedras.....	65
Figura 53 - Indicação do dique de diabásio na área de estudo.....	65
Figura 54 - Mapa geológico da região. Em destaque, a região estudada.....	66
Figura 55 - Região alagada após período de chuva extrema.....	67
Figura 56 - Queda d'água intermitente existente na região. Tal queda d'água pode ser vista a partir da SC-401.....	68
Figura 57 - Drenagem natural existente na região. O fluxo d'água é intermitente, sendo constante nas semanas posteriores à eventos de precipitação e interrompido em seguida.....	69

Figura 58 - Croqui da localização das drenagens superficiais da área de estudo.....	70
Figura 59 - Variação do peso específico dos grãos e dos limites de consistência ao longo da profundidade do solo residual de granito.....	74
Figura 60 - Variação do peso específico dos grãos e dos limites de consistência ao longo da profundidade do solo residual de diabásio.....	75
Figura 61 - Carta de plasticidade de Casagrande para as amostras analisadas e outros estudos da região.....	76
Figura 62 - Análise granulométrica do solo residual de granito.....	78
Figura 63 - Distribuição granulométrica das amostras do solo residual de granito.....	79
Figura 64 - Distribuição granulométrica detalhada por amostra do solo residual de granito.....	79
Figura 65 - Análise granulométrica dos solos residuais de diabásio.....	81
Figura 66 - Distribuição granulométrica das amostras de solo residual de diabásio.....	82
Figura 67 - Distribuição granulométrica detalhada por amostra do solo residual de diabásio....	82
Figura 68 - Comparação entre as frações granulométricas dos solos residuais de granito e diabásio.....	83
Figura 69 - Índices pluviométricos mensais de Florianópolis no período de monitoramento....	86
Figura 70 - Leituras de nível da água obtidas no INA 01 (solo residual de diabásio).....	87
Figura 71 - Leituras de nível da água obtidas no INA 02 e sensor de sucção de medida indireta S3 (solo residual de diabásio).....	88
Figura 72 - Leituras de nível da água obtidas no INA 03 (solo residual de diabásio).....	88
Figura 73 - Leituras de nível da água obtidas no INA 04 (solo residual de granito).....	89
Figura 74 - Leituras de nível da água obtidas no INA 05 e sensor de sucção de medida indireta S4 (solo residual de granito).....	89
Figura 75 - Leituras de nível da água obtidas no INA 06 (solo residual de diabásio).....	90
Figura 76 - Leituras de nível da água obtidas no INA 07 (solo residual de diabásio).....	90
Figura 77 - Leituras de nível da água obtidas no INA 08 e sensor de sucção de medida indireta S1 (solo residual de granito).....	91
Figura 78 - Leituras de nível da água obtidas no INA 09 e sensor de sucção de medida indireta S2 (solo residual de granito).....	91
Figura 79 - Leituras de nível da água obtidas no INA 10 (solo residual de diabásio).....	92
Figura 80 - Drenagem subterrânea observada no local de instalação do INA 01.....	93
Figura 81 - Variação do NA no Perfil A.....	95
Figura 82 - Variação do NA no Perfil B.....	95
Figura 83 - Localização dos perfis para estudo de estabilidade de talude e limites do dique de diabásio.....	96
Figura 84 - Geometria do perfil “A”, na hipótese de 5 metros de espessura de camada de solo.....	97

Figura 85 - Geometria do perfil “B”, na hipótese de 10 metros de espessura de camada de solo.....	97
Figura 86 - Variação do fator de segurança no perfil “A”, hipótese de 5 m de espessura de solo.....	103
Figura 87 - Variação do fator de segurança no perfil “A”, hipótese de 10 m de espessura de solo.....	103
Figura 88 - Variação do fator de segurança no perfil “B”, hipótese de 5 m de espessura de solo.....	104
Figura 89 - Variação do fator de segurança no perfil “B”, hipótese de 10 m de espessura de solo.....	104
Figura 90 - Superfícies de rupturas críticas nas diferentes simulações do perfil “A”.....	105
Figura 91 - Superfícies de rupturas críticas nas diferentes simulações do perfil “B”.....	105
Figura 92 - Regiões críticas de ambos os perfis estudados.....	106

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Valores do coeficiente de permeabilidade para materiais não-consolidados e puros.....	10
Quadro 02 - Tabela comparativa entre diferentes métodos das fatias.....	20
Quadro 03 - Síntese dos resultados obtidos por diferentes autores para solos residuais de granito na região estudada.....	32
Quadro 04 - Síntese dos resultados obtidos por diferentes autores para solos residuais de diabásio na região estudada.....	34
Quadro 05 - Índices pluviométricos para Florianópolis, no período de 1948-2018.....	38
Quadro 06 - Detalhamento da localização dos indicadores de nível d'água.....	46
Quadro 07 - Equações de calibração dos sensores de sucção de medida indireta.....	56
Quadro 08 - Resultados dos ensaios de caracterização dos solos residuais de granito.....	72
Quadro 09 - Resultados dos ensaios de caracterização dos solos residuais de diabásio.....	72
Quadro 10 - Resumo dos índices de consistência obtidos por diferentes autores na região estudada.....	76
Quadro 11 - Distribuição granulométrica do solo residual de granito.....	77
Quadro 12 - Distribuição granulométrica do solo residual de diabásio.....	80
Quadro 13 - Resumo dos dados pluviométricos obtidos na UCAD e série histórica para Florianópolis (Fonte: EPAGRI/CIRAM).....	84
Quadro 14 - Índices pluviométricos da região estudada, obtidos na UCAD.....	85
Quadro 15 - Resultados obtidos no cálculo do peso específico saturado do solo residual de granito.....	99
Quadro 16 - Resultados obtidos no cálculo do peso específico saturado do solo residual de diabásio.....	99
Quadro 17 - Cálculo do peso específico do solo na condição de umidade natural.....	100

SÍMBOLOS

Alfabeto Latino

A	Área do permeâmetro.....	[m ²]
A	Grau de aeração do solo.....	[%]
C _{diab}	Coesão do solo residual de diabásio.....	[kN/m ²]
C _{est.nat}	Coesão do solo no seu estado natural.....	[kN/m ²]
C _{gran}	Coesão do solo residual de granito.....	[kN/m ²]
C _{inund}	Coesão do solo no estado saturado.....	[kN/m ²]
cc _{est.nat}	Índice de compressão do solo no seu estado natural.....	[%]
cc _{inund}	Índice de compressão do solo no seu estado saturado.....	[%]
cd _{est.nat}	Índice de descompressão do solo no seu estado natural.....	[%]
cd _{inund}	Índice de descompressão do solo no seu estado saturado.....	[%]
cr _{est.nat}	Índice de recompressão do solo no seu estado natural.....	[%]
cr _{inund}	Índice de recompressão do solo no seu estado saturado.....	[%]
e	Índice de vazios.....	[Adimensional]
g	Aceleração da gravidade.....	[m/s ²]
h	Sobrecarga piezométrica.....	[m]
h	Teor de umidade.....	[%]
h	Altura da coluna d'água que ascende por capilaridade.....	[m]
h _{total}	Energia total do fluido em um dado ponto z.....	[m]
i	Gradiente hidráulico.....	[Adimensional]
I _p	Índice de plasticidade.....	[%]
k	Coefficiente de permeabilidade.....	[cm/s]
L	Espessura da camada de material no permeâmetro.....	[m]
L _L	Limite de liquidez.....	[%]
L _p	Limite de plasticidade.....	[%]
n	Porosidade do solo.....	[%]
p	Pressão do fluido em um ponto estudado.....	[kN/m ²]
pa _{est.nat}	Pressão pré-adensamento do solo no seu estado natural.....	[kPa]
pa _{inund}	Pressão pré-adensamento do solo no seu estado saturado.....	[kPa]
Q	Vazão do fluido através do solo.....	[m ³ /s]

r	Raio do tubo de pequeno diâmetro.....[m]
R_s	Raio do menisco formado no tubo.....[m]
S	Grau de saturação.....[%]
T_s	Tensão superficial.....[N.m]
u_a	Poropressão do ar.....[kPa]
u_w	Poropressão da água (pressão neutra)[kPa]
v	Velocidade do fluido no ponto estudado.....[m/s]
x	Sucção medida pelo SMG.....[kPa]
z	Altura do ponto em relação à um plano horizontal fixo.....[m]

Alfabeto Grego

α	Ângulo entre o vetor tensão superficial e a vertical.....[°]
γ	Peso específico de um fluido.....[kN/m ³]
γ_d	Peso específico do solo na condição seca.....[kN/m ³]
γ_{nat}	Peso específico do solo no estado natural.....[kN/m ³]
γ_{sat}	Peso específico do solo na condição saturada.....[kN/m ³]
γ_s	Peso específico da fração sólida do solo.....[kN/m ³]
γ_w	Peso específico da água.....[kN/m ³]
ρ_w	Densidade da água.....[kg/m ³]
Φ	Diâmetro da perfuração/tubulação.....[mm]
ϕ_{diab}	Ângulo de atrito interno do solo residual de diabásio.....[°]
$\phi_{est.nat}$	Ângulo de atrito interno do solo na sua condição natural.....[°]
ϕ_{gran}	Ângulo de atrito interno do solo residual de granito.....[°]
ϕ_{inund}	Ângulo de atrito interno do solo no estado saturado.....[°]
Ψ	Sucção medida pelo tensiômetro de campo.....[kPa]

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA – Agência Nacional de Águas

CEPED – Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres

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

DPL – Penetrômetro Dinâmico Leve (sigla em inglês)

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

HRB – *Highway Research Board*

INA – Indicador de Nível de Água

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia do Ministério da Agricultura

LabGeoEng/UFSC – Laboratório de Geologia de Engenharia da Universidade Federal de Santa Catarina

LamGeo/UFSC – Laboratório de Mapeamento Geotécnico da Universidade Federal de Santa Catarina

LG' – Argilas lateríticas (classificação MCT)

MCT – Miniatura Compactada Tropical

MDT – Modelo Digital de Terreno

MH – Silte com alta compressibilidade (classificação SUCS)

NA – Nível d'água

NT – Nível do terreno

PVC – Policloreto de vinila

SC – Estado de Santa Catarina, Brasil

SIGSC – Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina

SMG – Sensor de Matriz Granular

SP – Estado de São Paulo, Brasil

SPT – Ensaio de Sondagem à Percussão (sigla em inglês)

SUCS – Sistema Unificado de Classificação de Solos

UCAD – Unidade de Conservação Ambiental Desterro

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVOS.....	3
1.1.1 Objetivo geral.....	3
1.1.2 Objetivos específicos.....	3
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1 SOLOS NÃO-SATURADOS.....	4
2.2 FLUXO SUBTERRÂNEO.....	9
2.3 ESTABILIDADE DE TALUDES – MÉTODO DAS FATIAS.....	17
2.4 INSTRUMENTAÇÃO DE CAMPO.....	21
2.4.1 Indicador de nível d’água.....	21
2.4.2 Sensor de matriz granular.....	23
2.5 TRABALHOS SIMILARES.....	26
2.5.1 Estabilidade de encostas associada a variação do nível de água subterrânea.....	26
2.5.2 Pesquisas realizadas no local de estudo.....	28
2.6 ASPECTOS CLIMÁTICOS E REGIME DE CHUVAS.....	36
3 MÉTODO.....	43
3.1 INSTALAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO DE CAMPO.....	45
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO.....	58
3.3 DETERMINAÇÃO DE FATORES DE SEGURANÇA.....	63
4 RESULTADOS E ANÁLISES.....	64
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA.....	64
4.2. CARACTERIZAÇÃO DO SOLO.....	70
4.3. ANÁLISE PLUVIOMÉTRICA.....	83
4.4. ANÁLISE DE NÍVEL D’ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	86
4.5. ANÁLISE VARIAÇÃO DE FATORES DE SEGURANÇA.....	96
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	107
5.1. LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	108
BIBLIOGRAFIA.....	109
ANEXOS.....	118
A. MONITORAMENTO DOS INDICADORES DE NÍVEL D’ÁGUA E SENSORES DE SUCÇÃO DE MEDIDA INDIRETA.....	119
B. FATORES DE SEGURANÇA CALCULADOS COM O <i>SOFTWARE SLIDE 6.0</i>	126

1. INTRODUÇÃO

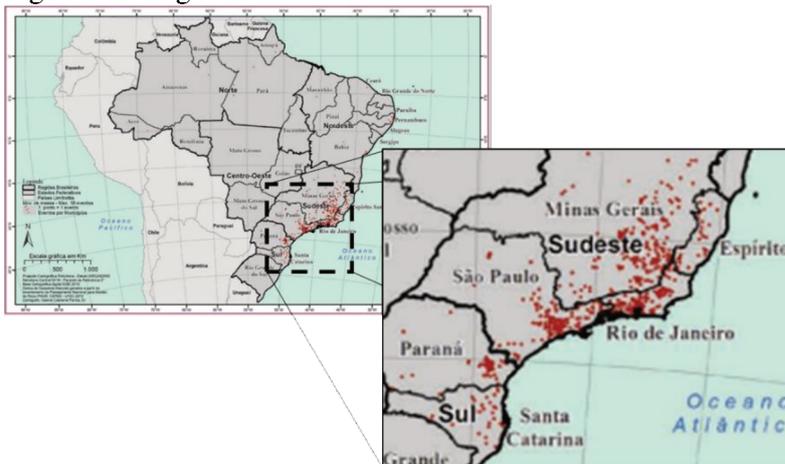
O fenômeno de crescimento urbano acelerado é uma realidade atualmente. Esse crescimento, associado à valorização do território urbano, tem levado a ocupação desordenada das cidades, gerando invasões em áreas protegidas ou não recomendadas para a urbanização, principalmente as encostas.

Além do prejuízo social que tais ocupações acarretam, devido à dificuldade de prestação de serviços básicos como rede viária, saneamento básico e coleta de lixo, as encostas muitas vezes não são localizações adequadas para a construção de edificações, não possuindo características técnicas para a execução de fundações. A sobrecarga imposta nessas encostas pode criar situações de instabilidade, aumentando significativamente o risco de deslizamentos e escorregamentos, com implicações catastróficas para as populações locais. De acordo com Kobiyama et al. (2006), tais escorregamentos em encostas urbanas vêm ocorrendo com uma frequência alarmante nos últimos anos, apontando como principal causa a ocupação desordenada de áreas com alta suscetibilidade a escorregamentos.

Os riscos não se limitam a ocupação efetiva das encostas. As intervenções necessárias para obras de infraestrutura (túneis, rodovias, ferrovias), se não bem planejadas, também contribuem com a fragilização do meio físico. Caseti (1991) aponta um aumento na probabilidade de escorregamentos ao apropriar-se de uma encosta através de desmatamentos, cortes e aterros.

Existem diversos relatos de escorregamentos e desastres urbanos em cidades brasileiras, podendo-se citar, com maior relevância recentemente: no estado de São Paulo os casos de Guarulhos (SATO et al., 2011), no estado do Rio de Janeiro o desastre na região serrana (DOURADO et al., 2012) e na região metropolitana da capital fluminense (JUNIOR e DORIGON, 2015), em Santa Catarina os deslizamentos no Vale do Itajaí (TOMAZZOLI, 2012) e na SC-401, em Florianópolis (OLIVEIRA et al., 2012). Em um levantamento de ocorrências no período de 1991 a 2012, CEPED-UFSC, 2013, observou que os movimentos de massa apresentam uma maior concentração nas mesorregiões próximas do litoral, de maneira mais clássica nas regiões Sudeste e Sul. Os estados mais afetados são Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná, Santa Catarina e Espírito Santo. A Figura 01 apresenta um registro dos movimentos de massa no Brasil nesse período.

Figura 01 - Registros de movimentos de massa no Brasil de 1991 a 2012.



Fonte: CEPED-UFSC (2013).

A região estudada nesse trabalho é a mesma referenciada em Zenatti e Sousa (2010) onde, em 2008, ocorreu um movimento de massa que interrompeu o tráfego na SC-401, principal acesso aos bairros do norte da ilha de Santa Catarina, nos dois sentidos, causando grandes transtornos. É recorrente na região a ocorrência de deslizamentos de solo e rocha, como pode ser visto nos trabalhos de Oliveira et al. (2012), Dias e Herrmann (2002), e Raimundo (1998). Nesse último trabalho, é possível encontrar uma relação de ocorrências relacionadas a deslizamentos na capital catarinense.

A região de estudo corresponde a um maciço de granito cortado por um dique de diabásio. O resfriamento rápido do magma diabásico no interior do dique resulta em um maciço rochoso muito fraturado. A característica de formação desses diques é favorável para a existência de intrincada rede de fluxo de água subterrânea, o que poderia explicar relatos de população local de artesianismo eventual em pontos antes secos nos dias seguintes a precipitação pluviométrica.

A variação de nível e pressão de água subterrânea é importante mecanismo de desencadeamento de escorregamentos e deslizamentos. Os principais fatores que influenciam a água subterrânea é a precipitação, degelo e acúmulo devido intervenções humanas (represas, barragens, canais) (HIGHLAND e BOBROWSKY, 2008). Segundo Menezes e Campos, 1992, a infiltração de água na camada superficial de solo e o aumento do nível do lençol freático, nas estações chuvosas, provoca instabilidade nas encostas. Pessoa Neto et al. (2005) reforça que a infiltração modifica a resistência do solo, influenciando nos valores relativos à coesão aparente, diminuindo a resistência e aumentando a instabilidade dos taludes.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa é verificar como as variações do nível de água subterrâneo, associadas ao regime de chuvas da região, alteram o fator de segurança ao escorregamento.

1.1.2 Objetivos específicos

De maneira a enriquecer o trabalho e atingir a proposta de objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram determinados :

1. Realizar a caracterização do solo coletado em 10 pontos de estudo, representativos da região de granito e de diabásio;
2. Obter gráficos de variação do nível de água subterrâneo ao longo do tempo em 10 pontos de investigação através de medidores de nível de água;
3. Correlacionar as variações do nível de água subterrâneo com os dados de chuva obtidos por um pluviômetro instalado na região.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

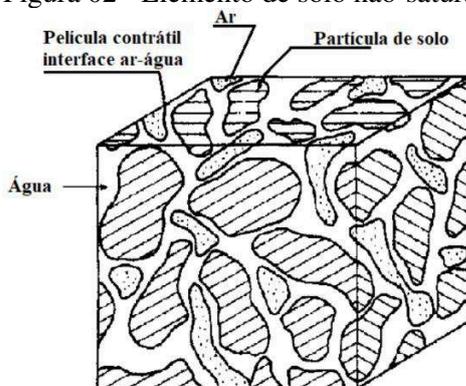
Esse capítulo tem como objetivo apresentar o referencial teórico que serve de suporte para os trabalhos realizados nesta dissertação. Inicia-se com uma revisão sobre solos não-saturados, princípios de sucção e fluxo subterrâneo. Após, uma passagem sobre aspectos importantes relacionando o nível d'água subterrâneo com a estabilidade de taludes, a instrumentação utilizada e sistemas de informações geográficas. Por fim, abordam-se resultados de pesquisas que já foram realizados na mesma área de estudo, caracterizando-se a região.

2.1 SOLOS NÃO-SATURADOS

Os estudos de solos podem ser divididos em dois ramos: os estudos de solos saturados, ou seja, com todos os vazios entre partículas preenchidos por água; e os estudos de solos não-saturados, onde coexistem na matriz estrutural do solo, os grãos propriamente ditos, uma parcela de água e uma parcela de ar. A mecânica dos solos clássica tem como base o solo na condição saturada. Porém, em muitas situações correntes, os solos não se apresentam nesse estado, se comportando de maneira diferenciada (CARVALHO et al., 2015).

Em um solo não-saturado, pode-se definir quatro fases: a fase sólida, constituída pelos grãos do solo, a fase líquida, composta pela água, a fase gasosa, formada pelo ar livre e vapor d'água e a quarta fase denominada película contrátil. Essa película é formada pela interação entre a fase gasosa e a fase líquida (FREDLUND e RAHARDJO, 1993). Na Figura 02 pode-se ver um esquema exemplificando um elemento de solo não-saturado e as suas quatro fases.

Figura 02 - Elemento de solo não-saturado e suas quatro fases



Fonte: Fredlund e Rahardjo (1993).

Um maciço terroso normalmente é composto por uma parcela de solo saturado, localizado abaixo do nível do lençol freático, e uma parcela não-saturada, localizada acima deste mesmo nível. O principal condicionante para isso é o nível do lençol freático. Em geral, tal nível é variável. A diferença entre a precipitação (regime de chuvas) e a evapotranspiração e evaporação é o que determina a variação do nível de água subterrâneo. A longo prazo, observa-se que regiões áridas ou semiáridas apresentam níveis de lençol freáticos cada vez mais profundos, enquanto que em regiões de clima úmido ou temperado o nível de água tende a chegar próximo da superfície do solo (FREDLUND, 1996).

Abaixo do nível do lençol freático, o solo encontra-se saturado, sendo a água confinada ou não. Nessa região, o fluxo de água acontece majoritariamente na direção horizontal, sendo chamado de percolação. Uma parcela menor de fluxo acontece também na vertical, devido às variações do nível do lençol freático. A região do solo localizada acima do lençol freático é denominada zona vadosa ou de aeração. Nessa região, a água apresenta pressão menor que a atmosférica, estando associada a um fenômeno chamado de sucção. Aqui, o fluxo de água acontece na vertical, recebendo o nome de infiltração. A zona vadosa divide-se em três partes: zona capilar, zona higroscópica e zona pelicular. A zona capilar se encontra imediatamente acima do nível do lençol freático, estando a água presente com uma pressão menor que a pressão atmosférica. Desta forma existe um valor de sucção que é função da altura de ascensão capilar. O solo está majoritariamente saturado nesta região, no entanto a água não está livre para percolar, interagindo com as partículas do solo através de forças de adesão. A medida que se aproxima do nível do terreno natural (zona higroscópica e pelicular), o solo passa a apresentar um predomínio da fase ar, com os níveis de saturação caindo e apresentando características não-saturadas. Na Figura 03 pode-se ver um esquema com as regiões do solo descritas.

Diversos estudos verificam que a perda da parcela da resistência ao cisalhamento relacionada à sucção na zona de aeração devido a saturação do solo tem sido a principal causa de escorregamentos. A intermitência entre estações chuvosas e secas, com grandes variações nos níveis de água subterrâneos, provoca grandes alterações nos perfis de sucção dos solos. Nas estações chuvosas, além da diminuição da sucção e, conseqüentemente, na resistência ao cisalhamento, ocorre o aumento do peso do solo.

Figura 03 - Zonas solo em relação à água subsuperficial

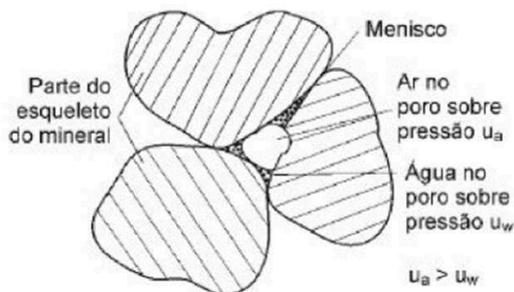
ZONA DE	ÁGUA	FASE	PRESSÃO	PROCESSO
AERAÇÃO OU VADOSA	HIGROSCÓPICA (SATURAÇÃO CAPILAR DESCONTÍNUA)	GASOSA	$P = \text{ATMOSFÉRICA}$	INFILTRAÇÃO ↓ FLUXO DESCENDENTE
	PELICULAR (SATURAÇÃO CAPILAR SEMICONTÍNUA)	LÍQUIDA	$P < \text{ATMOSFÉRICA}$	
	CAPILAR (SATURAÇÃO CAPILAR CONTÍNUA)	LÍQUIDA	$P < \text{ATMOSFÉRICA}$	
SATURAÇÃO	← NÍVEL D'ÁGUA → ÁGUA SUBTERRÂNEA (CONFINADA OU NÃO-CONFINADA)	LÍQUIDA	$P < \text{ATMOSFÉRICA}$ $P > \text{ATMOSFÉRICA}$	PERCOLAÇÃO ← FLUXO LATERAL →

Fonte: ICE (1976).

Um fenômeno fundamental para o entendimento do comportamento dos solos não-saturados é a sucção. Trata-se de uma variável de estado de tensão dada pela diferença entre a pressão do ar e da água presente no interior do solo. É uma grandeza inversamente proporcional a saturação do solo, ou seja, a medida que o solo saturado vai secando, a água passa a apresentar uma pressão menor que a atmosférica, aumentando a sucção.

No processo de secagem, a água que ainda se mantém no solo passa a formar meniscos. Esses meniscos são responsáveis por um aumento da resistência ao cisalhamento do solo, pois se comportam como uma membrana elástica tensionada, exercendo uma força de compressão entre as partículas do solo, aumentando as tensões efetivas (FREDLUND e MORGENSTERN, 1977). Na Figura 04 é possível ver como é a interação desses meniscos com o restante da estrutura do solo.

Figura 04 - Estrutura do solo não-saturado, com a formação de meniscos de água

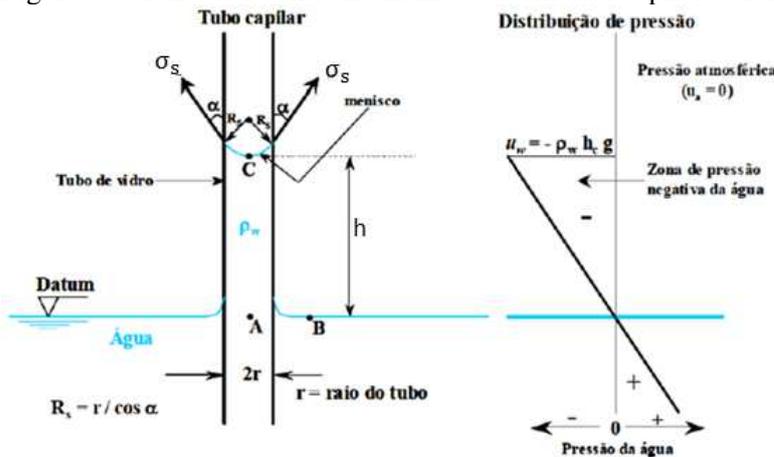


Fonte: Silveira (2006).

Além do aspecto de sucção, a ocorrência dos meniscos (tensão superficial) está associada a capilaridade da água no solo. Para esclarecer essa associação, pode-se recorrer a uma analogia de um tubo de vidro com diâmetro pequeno. Ao se mergulhar esse tubo em um recipiente contendo água, observa-se a ascensão no nível d'água em seu interior, contra a ação da

gravidade. Na Figura 05 é possível ver um esquema com essa analogia, onde σ_s representa a tensão superficial, r é o raio do tubo, h é a altura da coluna de água e g é a aceleração da gravidade. Na análise de distribuição de pressão, observa-se que a pressão da água no interior do capilar é negativa (em relação à pressão atmosférica). Esse valor corresponde à sucção matricial.

Figura 05 - Tensões atuantes no menisco de um tubo capilar e distribuição da pressão da água pelo tubo.



Fonte: Fredlund e Rahardjo (1993).

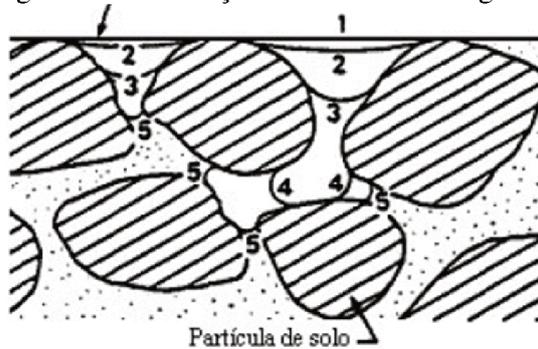
Uma importante característica do solo é a sua curva de retenção. Vanapalli (1994) afirma que a curva de retenção representa indiretamente o comportamento mecânico dos solos não saturados. A sua forma está correlacionada com o tipo de solo, umidade de moldagem, energia de compactação, história de tensões e ciclos de umedecimento e secagem. Segundo Oliveira (2004) a curva de retenção é importante ferramenta na mecânica dos solos não saturados, sendo utilizada para obtenção das propriedades de resistência ao cisalhamento e de fluxo. A curva de retenção de um solo é a relação entre a quantidade de água presente no solo e a sucção exercida por esse.

A medida que a sucção aumenta, é possível identificar a entrada de ar no interior do solo. Na Figura 06 pode-se ver esquematicamente a entrada do menisco de água no interior do solo para diferentes valores de sucção. Um solo na condição saturada é representado pela linha 1. Com o aumento da sucção, os meniscos formados pela interface ar-água passam a apresentar raios menores, indicados pelas linhas 2, 3, 4 e 5.

As curvas de sucção são geralmente plotadas em escala semi log, usando na ordenada o valor do grau de saturação e na abcissa a sucção. Fredlund e Xing (1994) apontam um procedimento gráfico para a determinação da sucção correspondente a entrada de ar na estrutura do solo e o seu valor de umidade residual. Tal ponto é definido como a intercessão entre a reta

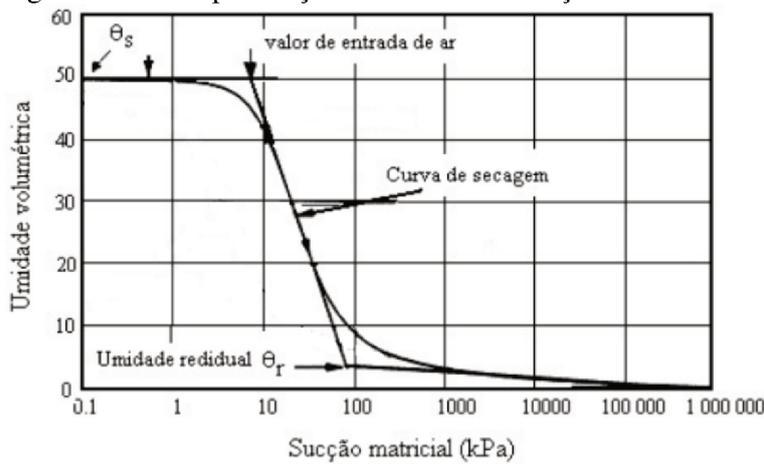
horizontal, que corresponde ao estado saturado, com a reta tangente que passa pelo ponto de inflexão da curva, conforme esquema visto na Figura 07.

Figura 06 - Penetração dos meniscos ar-água no interior do solo em função do aumento da sucção.



Fonte: Fredlund e Rahardjo (1993).

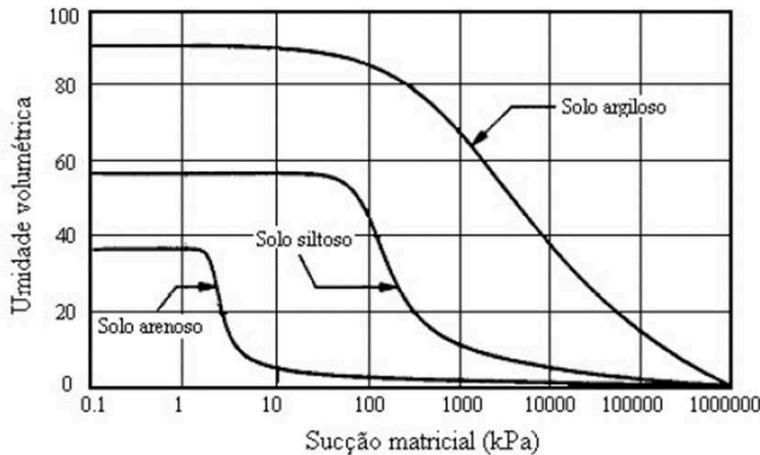
Figura 07 - Principais feições da curva de retenção.



Fonte: Adaptado de Fredlund e Xing (1994).

A inclinação da curva de retenção se refere ao trecho entre a sucção de entrada de ar e a sucção residual (MARINHO, 1994). Essa inclinação é diretamente influenciada pelo tipo de solo sendo estudado, bem como o valor de entrada de ar. Os solos arenosos apresentam pequena capacidade de retenção de água, com pequenos valores de sucção na entrada de ar e alta velocidade de dessaturação. Assim, a inclinação da curva de retenção tende a ser maior. Nos solos argilosos essas características são opostas, devido a maior capacidade de retenção de água. Na Figura 08 pode-se ver a influência do tipo de solo nas curvas de retenção.

Figura 08 - Exemplos de curvas de retenção para diferentes tipos de solo.



Fonte: Vanapalli (1994).

2.2 FLUXO SUBTERRÂNEO

O estudo de fluxo de água subterrâneo é de extrema importância para o estudo de aquíferos subterrâneos. Quando se trata do estudo desses reservatórios de água, existe uma confusão entre dois termos, infiltração e recarga. Infiltração é o movimento de água da superfície para dentro do subsolo, enquanto recarga é uma parcela dessa água, que realmente atinge os níveis do lençol freático (RUSHTON e WARD, 1979; LERNER et al., 1993). Nesse trabalho, por se tratar da porção superior do solo da encosta, trataremos principalmente do termo infiltração, porém muitos aspectos técnicos relacionados a recarga podem ser apropriados para se tratar de infiltração.

A utilização de medidores de nível d'água, piezômetros e poços de observação constituem importante indicativo para estudos de água subterrânea (MAZIERO, 2005). Diversos fenômenos podem ser responsáveis pelas alterações nos níveis de água, como precipitações, evapotranspiração, pressão atmosférica, variações na temperatura, bombeamento de poços e mudanças naturais ou induzidas na superfície freática. É comum mais de um desses fenômenos acontecer simultaneamente (FREEZE e CHERRY, 1979).

É importante também se considerar que a resposta do nível d'água às precipitações não é imediata, dependendo de diversos fatores hidrogeológicos. Nas camadas superficiais, os principais fatores são as características da chuva (intensidade e frequência) e a estrutura e textura do solo. As respostas do nível d'água podem ser distinguidas em rápidas (dentro de horas ou dias), intermediárias (um ou dois anos) e lenta (tempos superiores a dois anos) (XU e BEEKMAN, 2003).

Segundo Pinto (2006) o estudo de percolação de água nos solos é muito importante, pois intervém em um grande número de problemas práticos como cálculo de vazões (estimativa da quantidade de água que se infiltra em uma escavação, por exemplo), análise de recalques (diminuição do índice de vazios devido a expulsão da água desses) e estabilidade (devido a dependência da tensão efetiva da pressão neutra que, por sua vez, depende das tensões provocadas pela percolação da água).

O coeficiente de permeabilidade é a propriedade mais importante no que diz respeito aos fluxos de água subterrâneos, podendo ser definida como a maior ou menor facilidade com que a água pode fluir em um determinado solo através de seus vazios (MAZIERO, 2005). No Quadro 01 encontram-se alguns valores de referência para o coeficiente de permeabilidade para o solo em sua condição saturada.

Quadro 01 - Valores do coeficiente de permeabilidade para materiais não-consolidados e puros.

Material	Coeficiente de Permeabilidade (m/s)
Argilas	$< 10^{-9}$
Siltes	$10^{-9} - 10^{-6}$
Areias argilosas	10^{-7}
Areias finas	10^{-5}
Areias médias	10^{-4}
Areias grossas	10^{-3}
Areia bem graduada	$10^{-5} - 10^{-3}$
Pedregulho bem graduado	$10^{-2} - 10^0$

Fonte: Adaptado de Fetter (1994) e Pinto (2006).

O fluxo de água no solo acontece devido à presença de gradientes potenciais, sempre na direção da zona de maior potencial para a de menor potencial. Esse fluxo deve ser analisado em duas condições distintas: saturação e não-saturação. Na saturação, a condutividade hidráulica assume seu valor máximo, enquanto que na parcela não-saturada do solo, o fluxo varia em função de diversas variáveis, como teor de umidade, potencial hidráulico e condutividade hidráulica (FETTER, 1994).

Bernoulli propôs que a energia total em um ponto do fluido pode ser expressa em função de 3 parcelas, conforme pode-se ver na Equação 01. A primeira parcela é referente à energia potencial de posição, imaginando a altura do ponto estudado em relação a um plano de referência fixo. A segunda parcela é a energia potencial de pressão do fluido. Por fim, a terceira

parcela se trata da energia cinética do fluido. Para a maioria dos problemas envolvendo fluxo de água nos solos, a parcela referente à energia cinética pode ser desprezada.

$$h_{total} = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \quad (01)$$

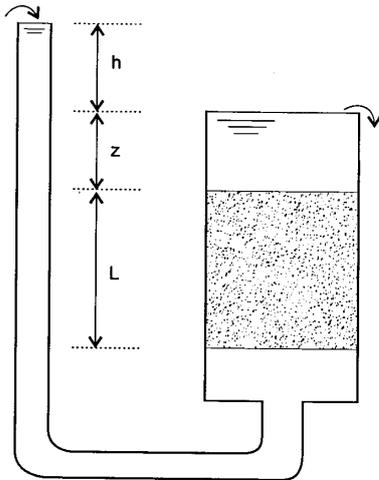
Onde: h_{total} é a energia total do fluido em um dado ponto, z é a altura do ponto em relação à um plano horizontal de referência fixo, p é a pressão do fluido no ponto estudado, γ é o peso específico do fluido, v é a velocidade do fluido no ponto estudado e g é a aceleração da gravidade.

Utilizando-se de um permeâmetro experimental e observando os fatores que influenciavam na vazão da água, Darcy apresentou a Equação 02. Nela é possível ver a relação entre o gradiente hidráulico e o coeficiente de permeabilidade com a vazão de água através do solo. Segundo Pinto (2006) a Lei de Darcy representa satisfatoriamente o fluxo através de solos em que o fluxo é laminar, com número de Reynolds menor do que 1. O número de Reynolds é um parâmetro adimensional, dado pela relação das forças de inércia com as forças de viscosidade, e indica se um escoamento é laminar ou turbulento. Isso quer dizer que em camadas de pedregulhos, e mesmo para algumas areias grossas, a velocidade de fluxo é muito elevada, e o fluxo se torna turbulento, invalidando a Lei de Darcy. Na Figura 09 pode-se ver um esquema do permeâmetro utilizado por Darcy com a indicação das variáveis da Equação 02.

$$Q = k \frac{h}{L} A ; \frac{h}{L} = i \quad (02)$$

Onde: Q é a vazão de água através do solo, A é a área do permeâmetro, L é a espessura de material contido no permeâmetro, h é a sobrecarga piezométrica, k é o coeficiente de permeabilidade e i é o gradiente hidráulico.

Figura 09 - Esquema de permeâmetro utilizado na dedução da Lei de Darcy.

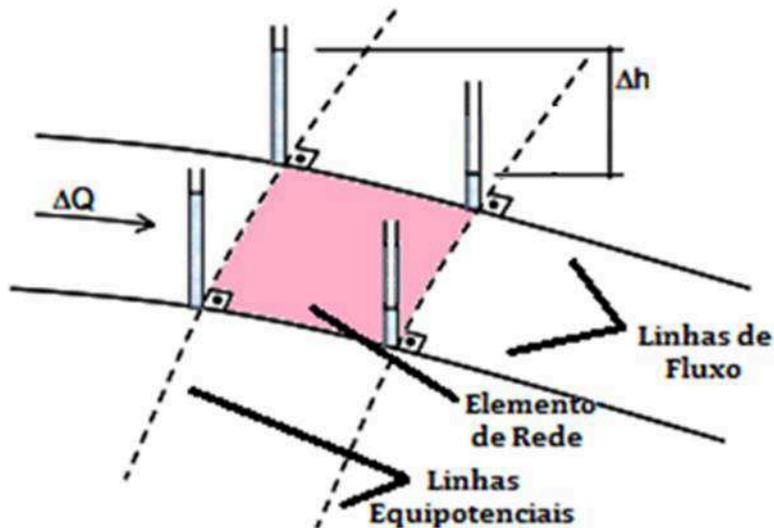


Fonte: Pinto (2006).

O fluxo pode ser representado uni, bi ou tridimensionalmente. Quando ele ocorre sempre na mesma direção, no caso do permeâmetro da Figura 09 ele é chamado de unidimensional. Quando se comporta em caminho não-retilíneos, porém contidos em planos paralelos, pode ser estudado como fluxo bidimensional. Já quando não existe limitação na direção do fluxo, denomina-se tridimensional.

O estudo de fluxo bidimensional é muito facilitado pela representação gráfica dos caminhos percorridos pela água e da correspondente dissipação de carga. Essa representação é denominada rede de fluxo. Chama-se de rede de fluxo a solução gráfica para a equação de Laplace, para fluxo bidimensional. Tal solução é representada por duas famílias de curvas (linhas equipotenciais e linhas de fluxo) que se interceptam ortogonalmente, conforme Figura 10.

Figura 10 - Esquema ilustrando as linhas de fluxo.



Fonte: Adaptado de Cavalcante (2006).

As regiões entre duas linhas de fluxo são denominadas “canais de fluxo”. Já as linhas equipotenciais representam pontos com a mesma energia potencial hidráulica. O fluido, ao atravessar duas linhas equipotenciais apresenta uma perda de energia Δh , fração da energia total h .

Quando o fluxo não é retilíneo, a rede se torna mais complexa, resultando em formas geométricas de difícil mensuração de área exata. Procura-se trabalhar o mais próximo possível de formas ortogonais, facilitando os cálculos. Os canais de fluxo devem apresentar vazões equivalente entre si, o que implica em uma proporcionalidade inversa entre a velocidade de escoamento e a área do elemento da rede, conforme a Equação 03.

$$Q = v \cdot A \quad (03)$$

Onde: Q é a vazão de fluxo, v é a velocidade do fluido e A é a área do elemento da rede.

Do estudo de redes de fluxo se depreendem as Equações 04 a 07, que podem ser entendidas com auxílio da Figura 11.

$$\Delta h = \frac{h}{N_d} \quad (04)$$

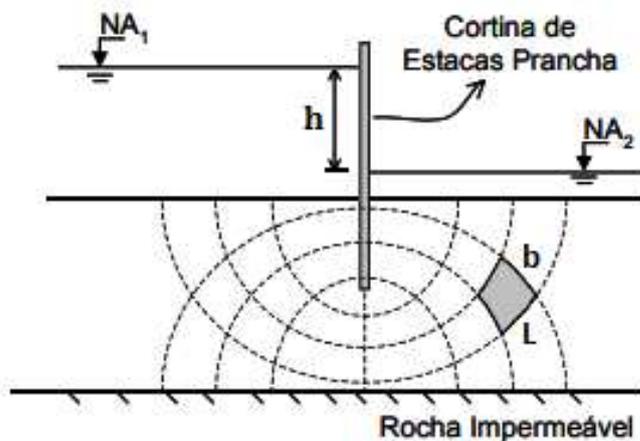
$$q = k \frac{\Delta h}{L} b \quad (05)$$

$$i = \frac{\Delta h}{L} \quad (06)$$

$$Q = k h \frac{N_F}{N_d} \quad (07)$$

Onde: N_F é o número de canais de fluxo, N_d é o número de faixas de perda de potencial, b é a distância entre as linhas de fluxo, L é a distância entre as linhas equipotenciais, h é o potencial hidráulico, Δh é a perda de potencial hidráulico por faixa, Q é a vazão total do sistema, q é a vazão de um canal de fluxo, k é o coeficiente de permeabilidade do solo e i é o gradiente hidráulico.

Figura 11 - Rede de fluxos de uma seção genérica de uma cortina de estacas prancha.



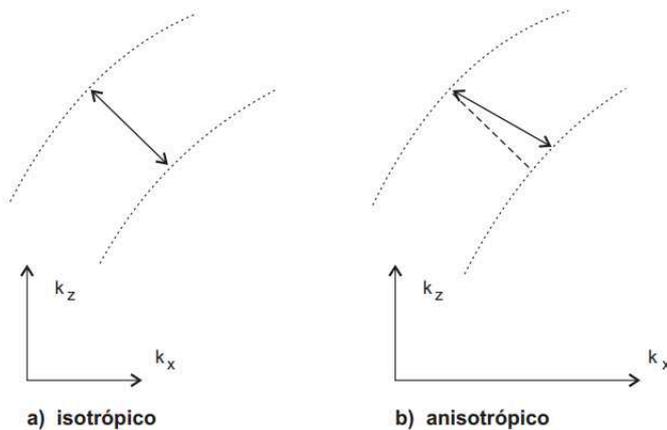
Fonte: Adaptado de Cavalcante (2006).

A vazão em cada canal de fluxo é a mesma, o que implica em diferentes velocidades de escoamento, maior nas proximidades da cortina, menor nas regiões mais distantes. Dentro de um canal de fluxo, existe uma perda de potencial hidráulica (h). Em cada faixa de perda de potencial, o fluxo perde em energia potencial o equivalente a Δh .

A condição de ortogonalidade entre as linhas de fluxo e as linhas equipotenciais só é verdadeira no caso de material isotrópico, ou seja, em que o coeficiente de permeabilidade em uma direção é igual à outra. Na maioria dos solos, o que se encontra é um coeficiente de permeabilidade na direção horizontal maior do que na direção vertical. Dessa maneira, a rede

de fluxo não seria formada por ângulos retos nas interseções das linhas, dificultando o tratamento do problema, conforme pode ser visto na Figura 12. Nesses casos se recorre a uma transformação, trabalhando-se com um coeficiente de permeabilidade equivalente, k_E . A Equação 08 demonstra como se calcula o k_E .

Figura 12 - Fluxo entre equipotenciais nos casos isotrópico e anisotrópico.



Fonte: Pinto (2006).

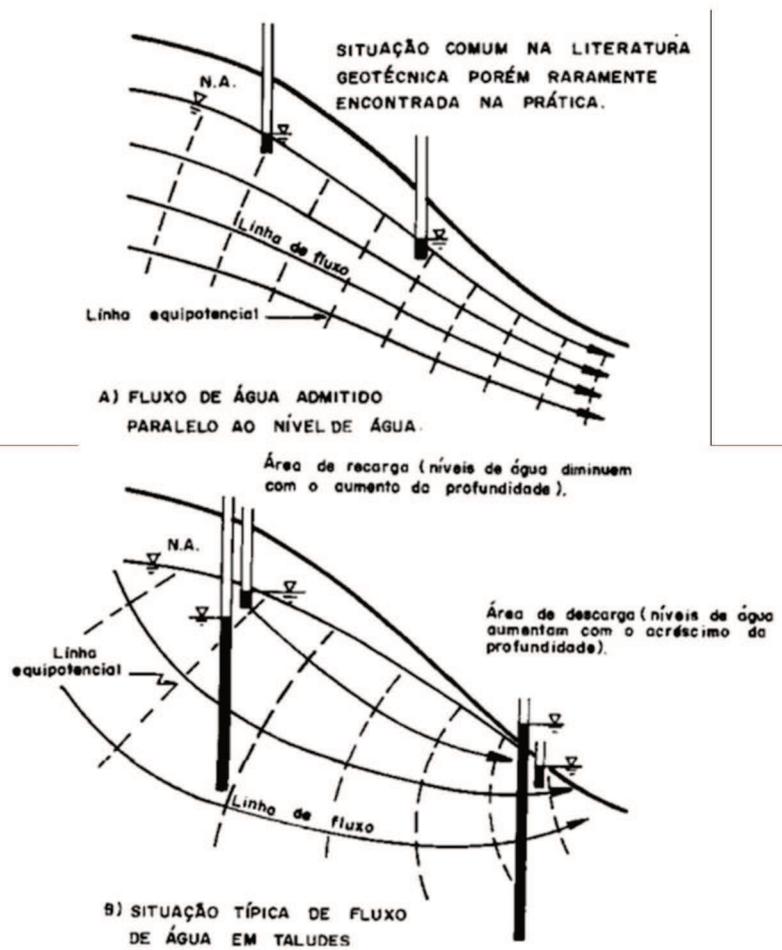
$$k_E = \sqrt{k_x k_z} \quad (08)$$

Onde: k_x e k_z são os coeficientes de permeabilidade nas direções vertical e horizontal, respectivamente.

Em encostas, Patton e Hendron Jr (1974), sugerem que o fluxo se dá, geralmente, de maneira descendente nas áreas mais elevadas do terreno (áreas de recarga) e ascendente nas regiões mais baixas (áreas de descarga). Assim, em aquíferos livres em encostas de permeabilidade homogênea e isotrópica, as linhas de fluxo convergem para o nível d'água na base da encosta, diferentemente da hipótese usual onde o fluxo ocorre paralelo ao nível d'água, conforme pode ser visto na Figura 13.

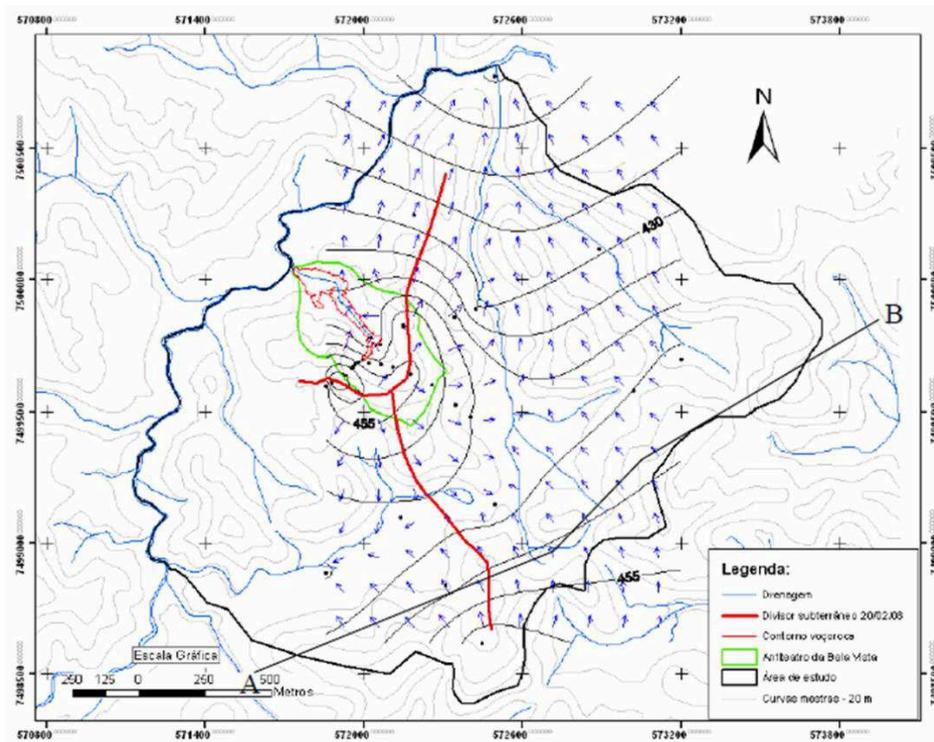
Em um estudo de fluxo de água subterrâneo, uma importante ferramenta para se determinar a direção do fluxo é se obter as linhas equipotenciais. Nessas linhas, a energia total do fluido é constante (Equação 01). O fluxo de fluido acontece sempre de maneira ortogonal, sendo possível se obter as direções de fluxo e os divisores de água subterrânea. Na Figura 14 pode-se ver um exemplo de resultado obtido para a direção de fluxo de água subterrânea através do estudo das linhas equipotenciais de uma região no estado de São Paulo.

Figura 13 - Diferentes esquemas de rede de fluxo em encostas.



Fonte: Adaptado de Patton e Hendron Jr (1974).

Figura 14 - Rede de fluxo em planta elaborada a partir da interpolação das cargas hidráulicas mensuradas em campo (equipotenciais).



Fonte: Leal et al. (2008).

2.3 ESTABILIDADE DE TALUDES – MÉTODO DAS FATIAS

A estabilidade de taludes é estudada definindo-se uma superfície de ruptura genérica, por onde a escorregamento irá ocorrer. Os métodos de cálculo de estabilidade definem aleatoriamente superfícies de ruptura, calculando o fator de segurança para cada uma delas. O talude é classificado pelo menor fator de segurança calculado, determinando-se assim a provável superfície de ruptura. Esse fator é a relação entre as forças de resistência ao cisalhamento e as forças cisalhantes mobilizadas no volume de solo do talude (Equação 09). Em um talude estável esse fator é superior a 1. Situações com o fator de segurança igual a 1 estão na iminência do colapso, enquanto situações onde o fator é inferior a 1 representam situações que o colapso.

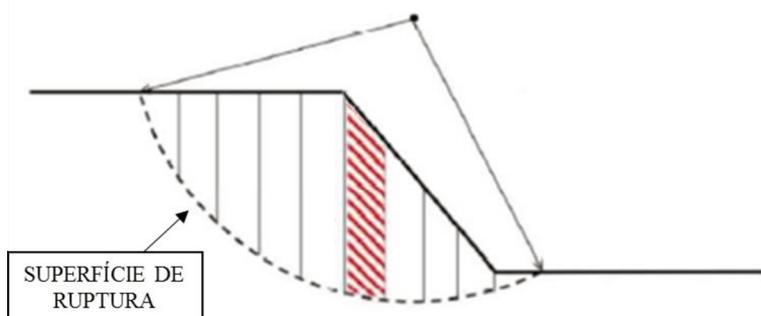
$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_{mob}} \quad (09)$$

Onde: FS é o fator de segurança, τ_f é a soma das forças resistentes ao cisalhamento na superfície de ruptura e τ_{mob} é a soma das forças cisalhantes mobilizadas na superfície de ruptura.

Para o cálculo de estabilidade de taludes, é muito empregado o método determinístico. Esses métodos se dividem em dois grupos: os que se baseiam em análise de deslocamentos e os que se baseiam em estado de equilíbrio limite. Para o cálculo com análise de deslocamentos se utilizam métodos de elementos finitos, com técnicas numéricas computacionais, levando-se em consideração as relações tensão-deformação dos diferentes materiais que compõem os taludes. O segundo grupo divide-se em três subgrupos: métodos que consideram a massa rompida como um corpo único, que dividem a massa rompida em cunhas e métodos que dividem a massa rompida em fatias (FABRÍCIO, 2006). No presente trabalho, utilizou-se o método das fatias.

O método das fatias consiste em determinar uma superfície de deslizamento e dividir a massa de solo acima dessa superfície em fatias (conforme Figura 15), utilizando equações da estática para determinar o equilíbrio da massa de solo. Existem diferentes maneiras de realizar o cálculo pelo método das fatias, diferindo as hipóteses simplificadoras, variando quais equações da estática são satisfeitas, nas forças entre fatias consideradas para o cálculo (normais e cisalhantes) e na distribuição das forças de interação (KRAHN, 2003). No presente trabalho, optou-se por utilizar os métodos de Fellenius, Bishop simplificado, Spencer e Morgenstern-Price.

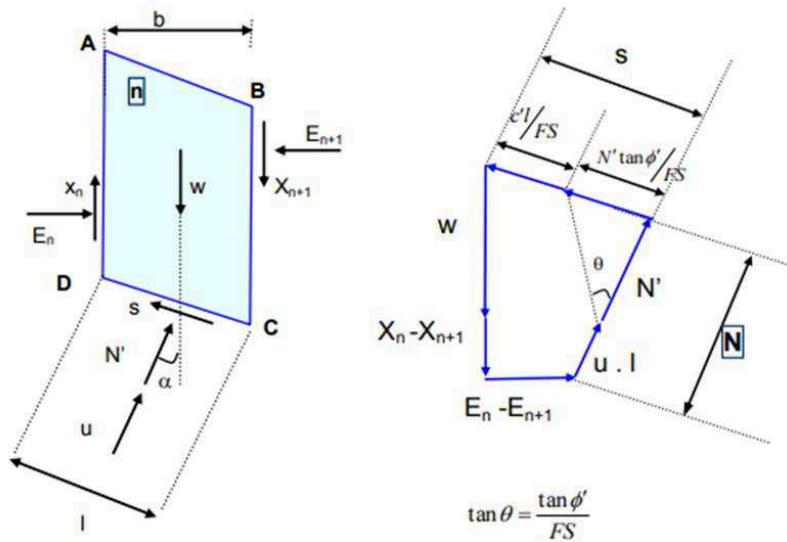
Figura 15 - Superfície de ruptura formando uma cunha de solo que escorregará dividida em fatias para os cálculos de estabilidade.



Fonte: Dutra (2013).

A superfície de ruptura de solo pode ser fatiada em quantas fatias forem desejadas. Para cada fatia serão estudadas as forças mobilizadas e a interação entre as fatias vizinhas. Na Figura 16 pode-se ver uma fatia genérica “ n ”, de largura “ b ”, base “ l ” e peso “ w ”. As forças “ X_n ” e “ X_{n+1} ” são as resultantes das tensões cisalhantes às laterais da fatia, enquanto “ E_n ” e “ E_{n+1} ” são as resultantes normais às laterais da fatia. A força “ u ” é a resultante da poropressão na base da fatia, “ N ” é a resultante das tensões efetivas normais à base da fatia e “ s ” é a resistência cisalhante mobilizada na base da fatia.

Figura 16 - Forças mobilizadas em uma fatia genérica e o polígono de forças e esforços.



Fonte: Gerscovich (2009).

As equações 10, 11 e 12 são estudadas e satisfeitas com diferentes hipóteses simplificadores, de acordo com o método utilizado.

$$\sum F_h = 0 \quad (10)$$

$$\sum F_v = 0 \quad (11)$$

$$\sum M_0 = 0 \quad (12)$$

Onde: F_h são as forças na direção horizontal incidentes na fatia estudada, F_v são as forças na direção vertical incidentes na fatia estudada e M_0 são os momentos resultantes em relação a um ponto qualquer.

O método de Fellenius admite uma superfície de ruptura circular e a estabilidade é calculada exclusivamente através do equilíbrio de momentos, desconsiderando-se as forças tangenciais e normais às paredes das fatias. É um método simples, porém muito conservador, não sendo recomendado em situações com círculos profundos e poropressões elevadas, chegando a erros de até 50% quando utilizado em análises de taludes suaves com poropressões elevadas.

O método de Bishop simplificado também considera a superfície de ruptura circular, tendo como hipótese que a resultante das forças entre as fatias é horizontal, impondo-se o equilíbrio entre as forças verticais. Tal método fornece resultados mais próximos aos métodos

mais rigorosos, em relação ao método de Fellenius (FABRÍCIO, 2006). Em situações nas quais a superfície de ruptura apresenta inclinação acentuada próxima ao pé do talude, com círculos profundos, existem registros de ocorrência de problema com esse método (WHITMAN e BAILEY, 1967, e WRIGHT, 1975).

O método de Spencer foi desenvolvido inicialmente para superfícies de ruptura de formas circulares, posteriormente adaptado para superfícies de deslizamento com formas irregulares. Tanto ele quanto o método de Morgenstern-Price são métodos rigorosos, atendendo todas as equações de equilíbrio de forças e de momentos, tendo como diferencial o fato de que em Spencer não são consideradas forças normais entre as fatias (FABRÍCIO, 2006).

No Quadro 02 pode-se ver um resumo dos métodos utilizados no presente trabalho.

Quadro 02 - Tabela comparativa entre diferentes métodos das fatias.

Método	Hipóteses	Comentários
Fellenius (1927)	Não considera forças entre fatias.	Superfície de ruptura circular.
Bishop simplificado (1955)	Resultante das forças entre fatias é horizontal.	Qualquer superfície de ruptura. Considera n hipóteses sobre o ponto de aplicação da força normal e (n-1) sobre a magnitude das forças tangenciais entre fatias. Fator de segurança determinado a partir da consideração de equilíbrio de momentos.
Morgenstern-Price (1965)	Direção da resultante das forças entre fatias definidas usando uma função arbitrária $f(x)$. A parcela de $f(x)$ necessária para satisfazer o equilíbrio de forças e de momentos é calculada.	Qualquer superfície de ruptura. Considera n hipóteses sobre o ponto de aplicação da força normal e (n-1) sobre a magnitude relativa das forças entre fatias. Uma incógnita λ é introduzida. Fatias são de espessura infinitesimal.
Spencer (1967)	Resultante das forças entre fatias têm inclinações constantes através da massa do solo.	Qualquer superfície de ruptura. Método semelhante ao de <i>Morgenstern-Price</i> , porém com $f(x) = 1$.

Fonte: Adaptado de Campos (1985).

2.4 INSTRUMENTAÇÃO DE CAMPO

Nessa pesquisa foram instalados dois tipos de instrumentos em campo: o indicador de nível d'água e o sensor de matriz granular.

Maior detalhamento quanto a instalação da instrumentação será feita no Capítulo 3, Metodologia.

2.4.1 Indicador de nível d'água

O indicador de nível d'água (INA) consiste em um tubo, podendo ser de PVC ou metálico, perfurado ou ranhurado ao longo do seu comprimento, ou então geomecânicos (tubos pré-fabricados com ranhuras específicas para tal finalidade), inserido em um furo de sondagem. É uma solução razoável para a medida do nível médio da água no solo, pois permite a comunicação vertical entre dois ou mais aquíferos. Possui como vantagens e desvantagens (CERQUEIRA, 2017):

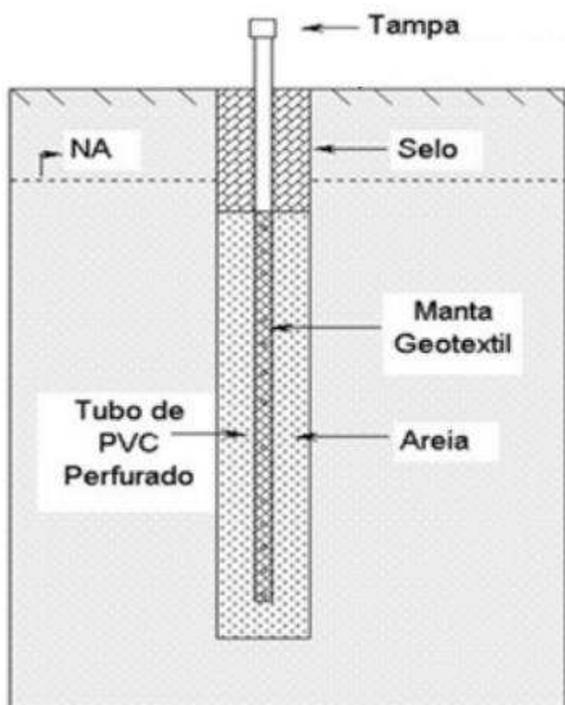
- Instalação simples e econômica;
- Instrumento sólido, robusto e durável, dispensando maiores cuidados de manutenção, quando executado corretamente;
- Não mede a poropressão ou carga piezométrica;
- O nível indicado é, geralmente, uma representação pobre do ambiente de águas subterrâneas, devido a conexão vertical indesejável criada entre as diferentes camadas de solo interceptadas.

Seu princípio de operação consiste na medição do nível de água que varia de acordo com a variação do nível de água das camadas saturadas que o furo de sondagem interceptou. Pode ser automatizado ou não. Bressani (2009) enfatiza as diferenças fundamentais entre um piezômetro e um INA: o piezômetro é um medidor de pressões pontuais, sendo necessário selar a área em que a medida é feita. Por outro lado, o INA determina um nível médio de água que chega a um equilíbrio dentro de um poço de pequeno diâmetro ou furo de sondagem com revestimento permeável.

Para a sua instalação, é necessário primeiro a realização de um furo de sondagem, com diâmetro maior que o diâmetro da tubulação a ser inserida no solo, até a profundidade desejada,

especificada em projeto ou plano de estudos. Após perfuração, deve-se inserir a tubulação, que deve ser pré-montada com a utilização de adesivos específicos (no caso de tubulação soldável) ou por meio de conexões (no caso de tubulação rosqueável). Os tubos devem ser perfurados ou ranhurados ao longo de todo o trecho correspondente a profundidade que se deseja estudar. O trecho perfurado deve ser protegido com tela geotêxtil de malha especificada em projeto, mitigando o assoreamento do instrumento. Após a inserção da coluna de tubulação, executa-se o pré-filtro, com o lançamento de areia com granulometria pré-determinada em projeto. Feito o pré-filtro na profundidade de interesse de estudo, é executado o selo de maneira a simular a permeabilidade e resistência a compressão da formação geológica adjacente, podendo ser executada com diferentes traços e materiais (CERQUEIRA, 2017). Um esquema de INA instalado pode ser visto na Figura 17.

Figura 17 - Esquema de montagem dos indicadores de nível d'água com tubo de PVC.



Fonte: Adaptado de Teixeira (2017).

Para possibilitar a leitura do nível d'água dentro dos INA instalados, existem diferentes alternativas no mercado. A alternativa comercial mais comum é a utilização de um medidor elétrico de nível d'água, que consiste em uma mangueira graduada conectada, em uma das extremidades, à uma bateria e, na outra extremidade, à um sensor elétrico. Na presença de água, esse sensor elétrico fecha um circuito e o sensor emite um alerta sonoro, sendo possível fazer a

leitura da profundidade no nível d'água através da graduação da mangueira. Na Figura 18 é possível ver um exemplo desse tipo de equipamento disponível no mercado.

Figura 18 - Esquema de montagem dos indicadores de nível d'água com tubo de PVC.



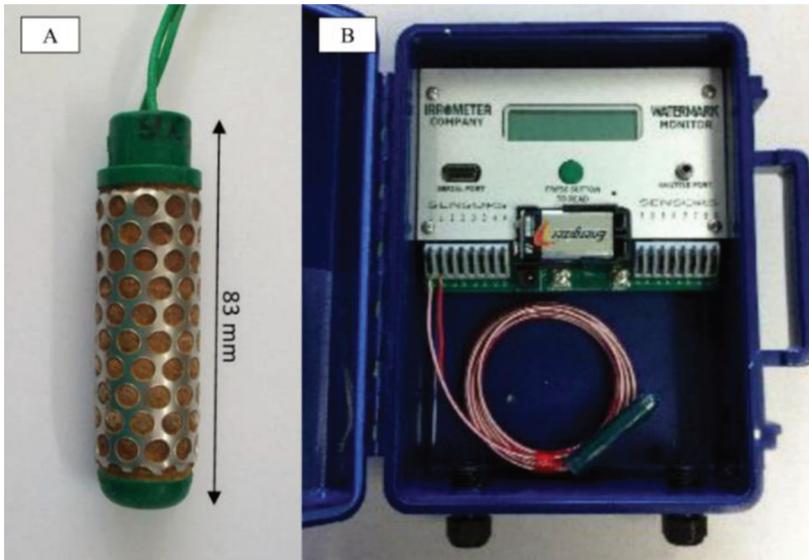
Fonte: Hidrosuprimentos (2016).

2.4.2 Sensor de matriz granular

O sensor de matriz granular (SMG) fornece uma medida da sucção do solo no local instalado através da condutividade elétrica de dois eletrodos, de maneira indireta. Ele é formado por uma matriz de gesso porosa (ou outro mineral poroso) envolta em um solo de matriz granular com dois eletrodos conectados a fios elétricos. Esse conjunto de elementos é protegido por uma malha de aço inoxidável. A medida que a umidade no local aumenta, também cresce a condutividade elétrica dos eletrodos, indicando diminuição da sucção no local. A leitura das informações fornecidas pelos sensores pode ser automatizada ou obtida de maneira instantânea em campo. Ambas as alternativas são realizadas com auxílio de equipamento *datalogger*.

Na presente pesquisa utilizou-se o equipamento *Watermark 900M*, da *Irrrometer Company, inc*. Tal equipamento consegue medir a sucção no solo no intervalo de 0 a 200 kPa. Esse tipo de sensor é muito utilizado no monitoramento de tensão de sucção para fins agrícolas, sendo comumente instalado em pequenas profundidades, perfurando-se o solo e instalado o sensor de maneira direta no furo. Na Figuras 19 podem ser vistos o SMG e o *datalogger* utilizado, enquanto na Figura 20 observa-se o SMG antes da instalação direta no solo. Cabe nota que no presente trabalho o SMG foi fixado na extremidade de um tubo de PVC rígido antes da fixação para facilitar a remoção do furo após o período de monitoramento, diferentemente do exposto na Figura 20.

Figura 19 - (A) Sensor de matriz granular (SMG); (B) *Datalogger* utilizado para leitura de sucção instantânea.



Fonte: Nunes (2017).

Figura 20 - SMG antes de ser instalado diretamente no solo.

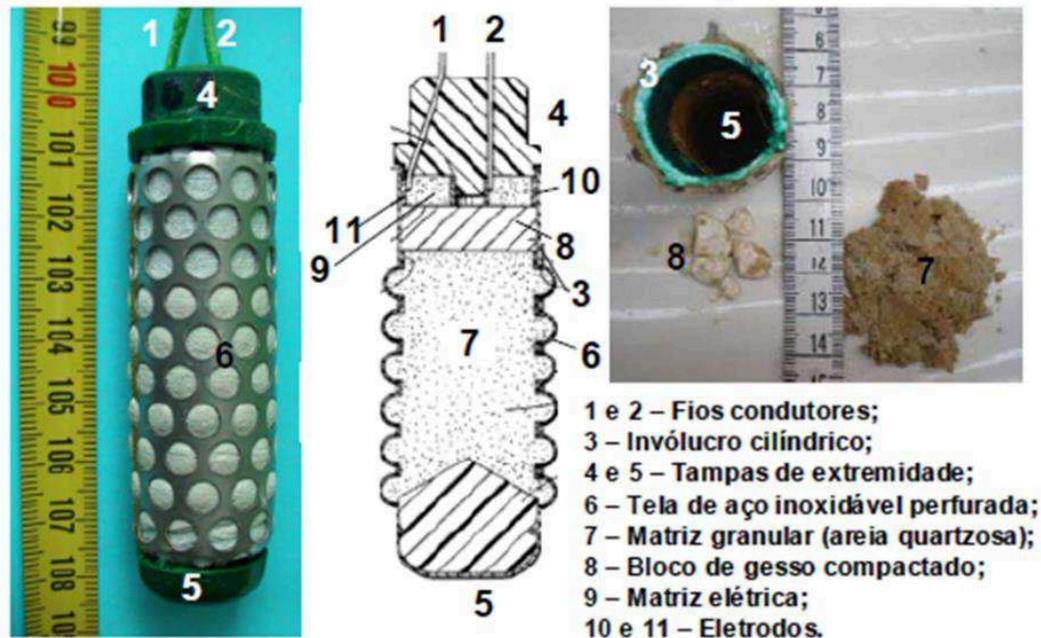


Fonte: Fazlina et al. (2018).

Quando o sensor entra em equilíbrio com o meio instalado, ele é capaz de determinar a sucção do solo através de uma calibração feita em laboratório (conforme detalhado no item 3.1 do presente trabalho). O conjunto de materiais do SMG entra em equilíbrio com o solo, ou seja, quando o mesmo perde umidade, o sensor acompanha essa perda. Ao saturar o solo, o sensor

também aponta essa umidificação (MENDES, 2008). Na Figura 21 pode-se ver um corte esquemático do SMG.

Figura 21 - Corte esquemático do SMG.



Fonte: Mendes (2008).

Esse tipo de sensor fornece um valor de sucção quando o mesmo estiver acima do nível do lençol freático. Nesta condição, supondo que o mesmo esteja na zona de ascensão capilar, o valor de sucção pode indicar indiretamente a profundidade do nível do lençol freático. A confirmação de que o nível d'água se encontra na profundidade indicada pelo sensor é obtida com a curva de retenção de água do solo.

Para a instalação do sensor de sucção de medida indireta é necessária a prévia perfuração do solo com trado manual. Maior detalhamento da instalação pode ser visto no Capítulo 3, Metodologia, do presente trabalho.

2.5 TRABALHOS SIMILARES

Esse item será dividido em dois subitens. Na primeira parte, serão trazidas pesquisas com abordagens similares ao presente trabalho, analisando aspectos de variação de nível d'água subterrânea e estabilidade de taludes. Na segunda parte, serão abordadas pesquisas realizadas na mesma região estudada nesse trabalho.

2.5.1 Estabilidade de encostas associada a variação do nível de água subterrânea

O monitoramento de lençóis freáticos através da observação de nível d'água é prática corrente, sendo comum a utilização dessa ferramenta para a determinação da profundidade do lençol freático de alguma área de interesse e as suas flutuações ao longo do ano. Cruciani (1987) constata que não existe uma regra determinada para a definição da densidade de pontos de observação, prevalecendo apenas o bom senso, devendo-se procurar harmonizar o máximo de informações sem trabalhos ou custos excessivos.

Em relação a monitoramento de nível d'água subterrâneo correlacionado com pluviometria, podem-se citar alguns trabalhos.

Niero (2011) construiu uma malha com 16 poços para medição de nível d'água na Fazenda Experimental da Ressacada, pertencente a Universidade Federal de Santa Catarina. Os poços instalados possuíam profundidade de 1,5 m, justificado pelo interesse da pesquisa e pelo elevado nível d'água na região, composta por banhados e trechos pantanosos. Foi realizado o monitoramento desses pontos por 45 dias, com resultados satisfatórios. Apesar do curto horizonte de tempo, foi possível identificar diferentes comportamentos no lençol freático da área. A manutenção dos levantamentos pode auxiliar na tomada de decisão em futuras intervenções e manuseio da drenagem local.

Lasta et al. (2016) realizou um trabalho similar, monitorando o nível d'água em 5 poços profundos na Universidade Federal de Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul. Tal monitoramento vem acontecendo desde 2010, sendo importante para estudar possíveis esgotamentos deste recurso natural e estimular seu uso sustentável.

Pessôa Neto et al. (2005) procurou estudar os motivos de deslizamento na cidade de Viçosa, estado de Minas Gerais. Foram realizados ensaios SPT em campo e, posteriormente, aproveitou-se os furos para a instalação de piezômetros e medidores de nível d'água. Concluiu-se que na região, a influência da variação do nível d'água reduziu os valores de coesão aparente do solo em mais da metade, sendo possível fator desencadeante das instabilidades.

Alberto (2005) utilizou-se de rede de poços de monitoramento para obter a variação do nível de água na cidade de São Carlos, estado de São Paulo. Com tais dados, foi possível a obtenção de um mapa potenciométrico e a distribuição das cargas hidráulicas com utilização de *softwares*. Os resultados foram satisfatórios, encontrando correlação acima de 90% entre os dados calculados e os observados em campo.

Bottura e Albuquerque Filho (1990) também se aproveitaram de dados obtidos em rede de monitoramento da bacia da Lagoa São Paulo, no município de São Epitácio – SP. A rede era composta de mais de 200 pontos de observação, de diversos dados hidrogeológicos, sendo que 25 desses pontos eram piezômetros simples. Dentre outras informações obtidas, foi possível a construção de mapa piezométrico, indicando as curvas de igual potencial hidráulico e permitindo a inferência dos caminhos percorridos pela água subterrânea.

Existem alguns trabalhos que relacionam fluxos de água subterrânea, e variação de nível d'água, com estabilidade de taludes. Diversos métodos podem ser utilizados para se determinar esses fluxos de água.

Santos (2014) realizou o monitoramento de um talude na cidade de Nova Friburgo, no Rio de Janeiro, após os eventos de movimentos de massa ocorridos em 2011. Foram realizados ensaios de campo, como sondagens à percussão e instalação de piezômetros para a determinação do perfil geológico-geotécnico. Na região existe a ocorrência de fluxo ascendente na parte baixa do terreno. Observou-se que a rede de fluxo é importante ferramenta na análise de estabilidade de taludes, especialmente quando o fluxo subterrâneo é complexo. Nota-se que a simplificação que considera a linha freática como uma linha piezométrica não é capaz de reproduzir adequadamente as poropressões na área, podendo gerar erros de projeto.

Yomura e Dyminski (2009) analisaram a estabilidade de uma encosta localizada na Serra do Mar, no estado do Paraná, comparando resultados obtidos em 4 situações distintas: parcialmente saturado com e sem percolação de água e totalmente saturado, com e sem percolação de água. Observou-se que a superfície crítica de ruptura é maior quando se considera a percolação de água, além da diminuição sensível dos FS no caso saturado. Torna-se indispensável para à segurança da encosta uma adequada manutenção do lençol freático, realizando-se monitoramento constante das estruturas de contenção e do sistema de drenagem, evitando condições próximas da saturação.

Rahardjo et al. (2010) estudou a influência da variação do nível de água subterrâneo em encostas de solo residual de granito e solos sedimentares, localizadas em Singapura. Observou-se maior amplitude nos FS entre os períodos secos e úmidos nas encostas de solo sedimentar, em relação às encostas de solo residual de granito. Em relação ao nível d'água, o que se observa

é que em solos mais permeáveis (residuais de granito) o fator de segurança diminui mais rapidamente que os solos menos permeáveis (sedimentares).

Lei et al. (2018) observou a influência do nível de água em um reservatório de água na estabilidade dos taludes adjacentes. Tal reservatório fica na região norte de Shaanxi, China. Percebe-se influência direta do nível d'água do reservatório com os FS calculados para as encostas, de maneira inversamente proporcional, ou seja, quanto maiores os NA observados, menores os FS obtidos.

Diferentes autores relacionam o aumento do nível de água subterrâneo com a diminuição de fatores de segurança nas encostas genéricas. Johansson (2014) estudou os fatores de segurança de uma encosta genérica após diversos ciclos de flutuação de nível d'água, com uma diminuição rápida do nível d'água. Observou-se diminuição no FS após a diminuição rápida, mas uma estabilização no FS após 10 ciclos de flutuação, alcançando valores superiores a condição original. Sazzad et al. (2016) comparou métodos de cálculo com elementos finitos e de equilíbrio limite. Os FS diminuem com o aumento do NA independentemente do método utilizado, porém de maneira mais incisiva quando se utilizam métodos de elementos finitos. O método de equilíbrio limite apresenta FS maiores que o de elementos finitos para os casos avaliados. Hopkins et al. (1975) conclui afirmando que a análise de casos históricos aponta que a presença de água e o excesso de poropressão associado a esse nível d'água é um fator importante relacionado a instabilidade de encostas.

2.5.2 Pesquisas realizadas no local de estudo

Em relação a região estudada no presente trabalho, diversos autores já estudaram o comportamento dos solos da mesma, entre eles Raimundo (1998), Bevilaqua (2004), Bim (2015), Pecapedra (2016), Nunes (2017) e Massocco (2017).

O estudo de Raimundo (1998), traz uma ampla revisão sobre estabilidade de taludes em regiões de contato entre granito e diabásio, tratando em maiores detalhes duas ocorrências em Florianópolis. Uma dessas ocorrências é na área estudada por esse trabalho, ocorrida em março de 1996, culminando no maior volume deslocado na região, estimado em torno de 7.000 m³. Tal escorregamento aconteceu na margem oposta da área estudada. Em seu trabalho, Raimundo (1998) reforça que a região possui um histórico de problemas de estabilidade e drenagem, e que tais problemas são justificados pelo intenso fraturamento do dique de diabásio na região. Foram realizados ensaios em amostras de origem granítica e diabásica, onde foram determinados parâmetros de resistência e índices físicos dos solos.

Bevilaqua (2004), dá ênfase ao comportamento dos solos residuais de granito de Florianópolis. A área analisada é próxima da área estudada em Raimundo (1998), nas jazidas de material de construção que existem na região. Observou-se grande espessura no horizonte C (cerca de 15 m na parte exposta do talude), bastante heterogênea. Uma análise mineralógica realizada revelou 30 a 35 % de quartzo, 35 a 40 % de feldspato potássio, 30 a 35 % de plagioclásio e menos de 2 % de biotita. Essa composição bem distribuída entre as parcelas justifica a granulometria do horizonte C apresentar uma parcela arenosa e outra silto-argilosa. Foram realizados ensaios para análise granulométrica, determinação de índices físicos, de resistência e de compressibilidade.

No estudo de Bim (2015) foi abordada a região denominada Microbacia do Ribeirão das Pedras, que engloba a área do UCAD. Foram amostrados diferentes pontos dentro da bacia, sendo o ponto denominado T3 o mais significativo para o presente trabalho. As amostras foram caracterizadas a fim de obter índices físicos, de resistência e composição granulométrica. Também foi realizado ensaio com o DPL (Penetrômetro Dinâmico Leve) para a obtenção de perfis de reconhecimento do solo através de toposequências e a espessura do horizonte C. No ponto em questão, o resultado do DPL apontou espessura aproximada de 5 m, quando se atingiu o impenetrável no ensaio. Bim sugere que o horizonte C da região é o principal influenciador das instabilidades na Microbacia do Ribeirão das Pedras.

Em seu estudo, Nunes (2017) trabalhou na mesma região do presente trabalho. Foram instalados sensores de medida indireta de sucção em diferentes profundidades em dois pontos do UCAD, um em solo residual de granito e outro em solo residual de diabásio. Desses pontos foram retiradas amostras de solo deformada e indeformada para análise laboratorial. Os solos ensaiados foram classificados como argilosos lateríticos. Quanto a distribuição granulométrica, observa-se que nas camadas superficiais a parcela arenosa é maior em relação as camadas restantes, indicativo de fenômeno de lixiviação dos argilominerais do horizonte A. Percebeu-se também que os sensores de sucção mais profundos (entre 1,5 a 2 metros de profundidade) muitas vezes não são influenciados pelas precipitações.

Massocco (2017) estudou os solos de dois pontos da Ilha de Santa Catarina, um de origem residual de granito e outro residual de diabásio. As amostras deformadas e indeformadas de solo residual de granito foram recolhidas na mesma área estudada no presente trabalho e no trabalho de Nunes (2017), na região do movimento de massa de 2008. Essas amostras foram ensaiadas a fim de se obter a caracterização física, curvas de retenção de água e a resistência ao cisalhamento direto em diferentes estados de sucção.

Os resultados dos trabalhos de Raimundo (1998), Bevilaqua (2004), Bim (2015), Nunes (2017), e Massocco (2017) podem ser vistos de maneira sintetizada nos Quadros 03 e 04. Os resultados expostos de Nunes (2017) e Massocco (2017) representam as médias dos valores obtidos, visto que os autores caracterizaram diferentes profundidades em cada ponto analisado. Alguns dados de alguns autores divergem dos restantes. Isso pode ser explicado pelos diferentes horizontes estudados, além do fato do solo ser jovem, ainda em ativo processo de intemperização, com alta heterogeneidade.

É importante ressaltar que a região estudada é problemática e que, recorrentemente, ocorrem eventos de movimentos de massa. Diversas intervenções já foram realizadas na região. Um breve histórico é apresentado a seguir.

SOTEPA (1996) relata que, já na implantação da rodovia, o intenso fraturamento do dique de diabásio atingido pela passagem da rodovia, provocava sérios problemas de drenagem na área. Foi necessária a execução de um colchão de areia para garantir a drenagem superficial e possibilitar a execução da pavimentação do segmento. Raimundo (1998) detalha o regime de chuvas de Florianópolis, destacando o ano de 1983 como um ano de regime pluvial superior à média histórica. Ressalta nesse ano a ocorrência de diversas enchentes em cidades catarinenses. Nesse ano ocorreu o primeiro registro de escorregamento na região quando, após chuvas intensas, parte do talude escorregou e bloqueou as duas faixas de tráfego. Implementou-se, à época, detalhado sistema de drenagem e retaludamento da seção, com geometria final apresentando três banquetas. Em 1989 foi realizado o projeto de duplicação da rodovia SC-401. Foi constatado que nas áreas de afloramento de diabásio existia surgência de água. Para contornar tal problema, foi executada contenção com enrocamento. Também foi utilizado uma porção do corte do Morro do Cacupé como área de empréstimo para os aterros, suavizando o talude e favorecendo a sua segurança. Concomitantemente a execução da duplicação, foi constatada a falta de manutenção no sistema de drenagem implementado anteriormente, sendo realizada a sua desobstrução. Em 1995, durante as obras de duplicação, foram constatados, novamente, entupimentos nas drenagens, que foram desobstruídas em dezembro de 1995. Em janeiro do ano seguinte, as fortes chuvas na região provocaram rompimentos nas canaletas de drenagem e abertura de fendas de erosão no solo. Em fevereiro, houve um escorregamento de solo e matacões, que ficou retido na primeira banqueta do talude, ocasionando juntas de cisalhamento da ordem de 30 cm e deslocamentos verticais de 3 m em alguns pontos. Com a frequência das fortes chuvas de fevereiro, no início de março houve novo deslizamento, com volume superior ao de fevereiro, impedindo o tráfego nas duas pistas da rodovia por diversos dias. Após esses eventos, novas obras de contenção foram realizadas, mas em 2008 as fortes

chuvas que assolaram o estado, provocando movimentações de massa e enchentes em toda Santa Catarina, provocaram novo deslizamento, dessa vez na outra margem da rodovia, que, novamente, interditou o tráfego das duas pistas. De acordo com Oliveira et al. (2012) a presença do dique de diabásio na região foi determinante para desencadear o escorregamento.

Quadro 03 - Síntese dos resultados obtidos por diferentes autores para solos residuais de granito na região estudada.

Parâmetro	Autor	Raimundo (1998)	Bevilaqua (2004)	Pecapedra (2016)	Nunes (2017)	Massocco (2017)
Análise granulométrica	% argila	45,6	15,29	45,76	47,32	47,61
	% silte	23	42,17	13,55	14,11	14,22
	% areia fina	14,6	11	9,03	2,58	2,35
	% areia média	15,8	14,87	10,37	10,36	10,36
	% areia grossa	0	14,39	21,29	14,29	14,29
	% ped	1	2,39	-	11,32	11,32
Limites de Atterberg	W_L (%)	75	-	68	75,2	75
	W_P (%)	45	-	37	49,8	50,21
	I_P (%)	30	-	31	25,4	25,09
Peso específico médio	γ natural (kN/m ³)	17,2	16,3	-	-	17,68
	γ seco (kN/m ³)	13,1	13	-	12,59	-
	γ sólidos (g/cm ³)	-	-	2,7089	2,6	2,63
Teor de umidade	w (%)	33	25	-	-	31,23
Grau de saturação	S_R (%)	-	64,3	-	-	-
Índice de vazios	e	-	1,05	-	1,106	0,932
Porosidade	n (%)	-	0,51	-	-	-
Parâmetros de resistência: coesão (C) e ângulo de atrito (ϕ)	$C_{\text{estado natural}}$ (kN/m ²)	28,9	18	-	-	-
	C_{inundado} (kN/m ²)	5,2	6	11,3	12	20,478
	$\Phi_{\text{estado natural}}$ (°)	35,9	37,1	-	-	-
	Φ_{inundado} (°)	35,9	35,2	31,7	28,3	29,04

Parâmetro	Autor	Raimundo (1998)	Bevilaqua (2004)	Pecapetra (2016)	Nunes (2017)	Massocco (2017)
Características de compressibilidade: índice de compressão (Cc), de recompressão (Cr), de descompressão (Cd) e pressão pré-adensamento (Pa)	$C_{r_{estado\ natural}}$	-	0,033	-	-	-
	$C_{c_{estado\ natural}}$	-	0,066	-	-	-
	$C_{d_{estado\ natural}}$	-	0,033	-	-	-
	$p_{a_{estado\ natural}}$ (kPa)	-	330	-	-	-
	$C_{c_{inundado}}$	-	0,13	-	-	-
	$C_{r_{inundado}}$	-	0,033	-	-	-
	$C_{d_{inundado}}$	-	0,033	-	-	-
	$p_{a_{inundado}}$ (kPa)	-	260	-	-	-
Classificação do solo	MCT	-	-	NG': Solos Argilosos não lateríticos	LG': Argilas lateríticas	LG': Argilas lateríticas

Compilação: O autor.

Quadro 04 - Síntese dos resultados obtidos por diferentes autores para solos residuais de diabásio na região estudada.

Parâmetro	Autor	Raimundo (1998)	Bim (2015)	Pecapetra (2016)	Nunes (2017)
Análise granulométrica	% argila	9,4	17	20,61	39,35
	% silte	55,9	16	34,83	15,88
	% areia fina	30,6	11	23,14	5,9
	% areia média	4,1	19	15,79	20,52
	% areia grossa	0	28	5,63	14,3
	% pedregulho	0	9	-	4,05
Limites de Atterberg	W_L (%)	44	55	59	68,5
	W_P (%)	35	32	39	42,8
	I_P (%)	9	23	20	25,7
Densidade real	Δ	3,09	2,67	-	-
Peso específico médio	γ_{nat} (kN/m ³)	16,1	17,7	-	-
	γ_d (kN/m ³)	11,4	-	-	15,47
	γ_{sat} (kN/m ³)	-	18,6	-	-
	γ_s (g/cm ³)	-	-	2,8673	2,6
Grau de saturação	S_R (%)	-	81,6	-	-
Teor de umidade	h (%)	41	26,33	-	-
Grau de aeração	A (%)	-	18,3	-	-
Índice de vazios	E	-	0,87	-	0,76
Porosidade	n (%)	-	46,38	-	-

Parâmetro	Autor	Raimundo (1998)	Bim (2015)	Pecapetra (2016)	Nunes (2017)
Parâmetros de resistência: coesão (C) e ângulo de atrito (ϕ)	$C_{\text{estado natural}}$ (kN/m ²)	26,5	-	-	-
	C_{inundado} (kN/m ²)	4,8	15,1	7	14,5
	$\Phi_{\text{estado natural}}$ (°)	30,9	-	-	-
	Φ_{inundado} (°)	35,9	34	34,8	30,5
Classificação do solo	S.U.C.S.	-	MH	-	-
	H.R.B.	-	A-7-5	-	-
	MCT	-	-	NG': Solos Argilosos não lateríticos	LG': Argilas lateríticas

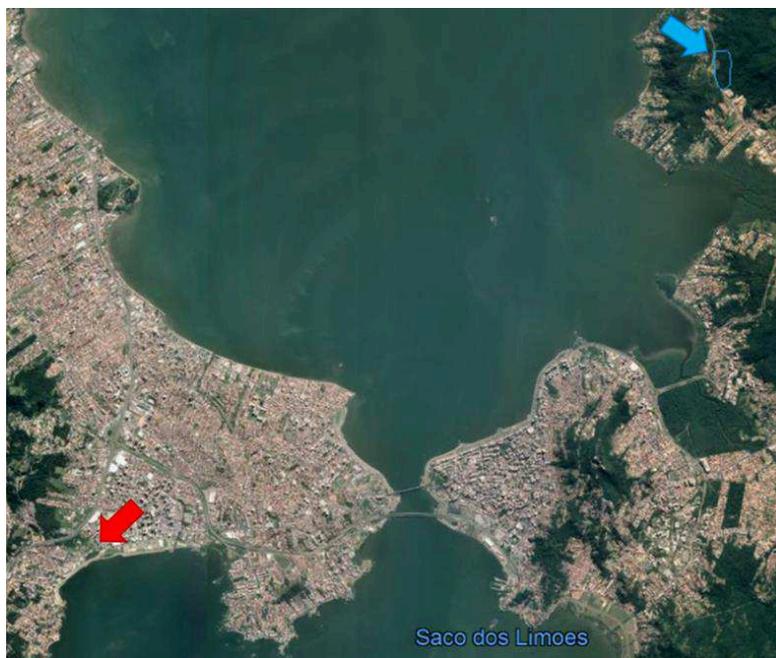
Compilação: O autor.

2.6 ASPECTOS CLIMÁTICOS E REGIME DE CHUVAS

A área estudada pode ser classificada, de acordo com o Sistema de Classificação Climática de Wladimir Köeppen, como clima do Grupo C - Mesotérmico, subtropical (com média de temperaturas mínimas entre 3 e 18°C), tipo úmido (tipo f), sem estação seca distinta (sem índice pluviométrico mensal inferior a 60 mm), subtipo a (de verão quente, com média dos meses mais quentes acima de 22°C). Assim, pode-se concluir que o clima na região de Florianópolis, segundo classificação de Wladimir Köeppen é subtropical, grupo C, tipo Cfa (RAIMUNDO, 1998).

Para a caracterização do comportamento pluviométrico de Florianópolis, foram coletados os dados da Estação Meteorológica de Florianópolis. Tal estação fica localizada no município de São José, latitude S 27° 36' 9,00", longitude W 48° 37' 13,08", altitude 1,8 m, operada pelo INMET – Instituto Nacional de Meteorologia do Ministério da Agricultura. A localização da estação em relação à área estudada pode ser vista na Figura 22. Os dados foram obtidos através do portal *HidroWEB*, da ANA – Agência Nacional de Águas, compreendendo um período de 1948 até 2018.

Figura 22 - Localização da Estação Meteorológica de Florianópolis (seta vermelha), no município de São José, região metropolitana de Florianópolis. Na figura também está indicada a localização do UCAD (seta azul).



Fonte: Google Earth.

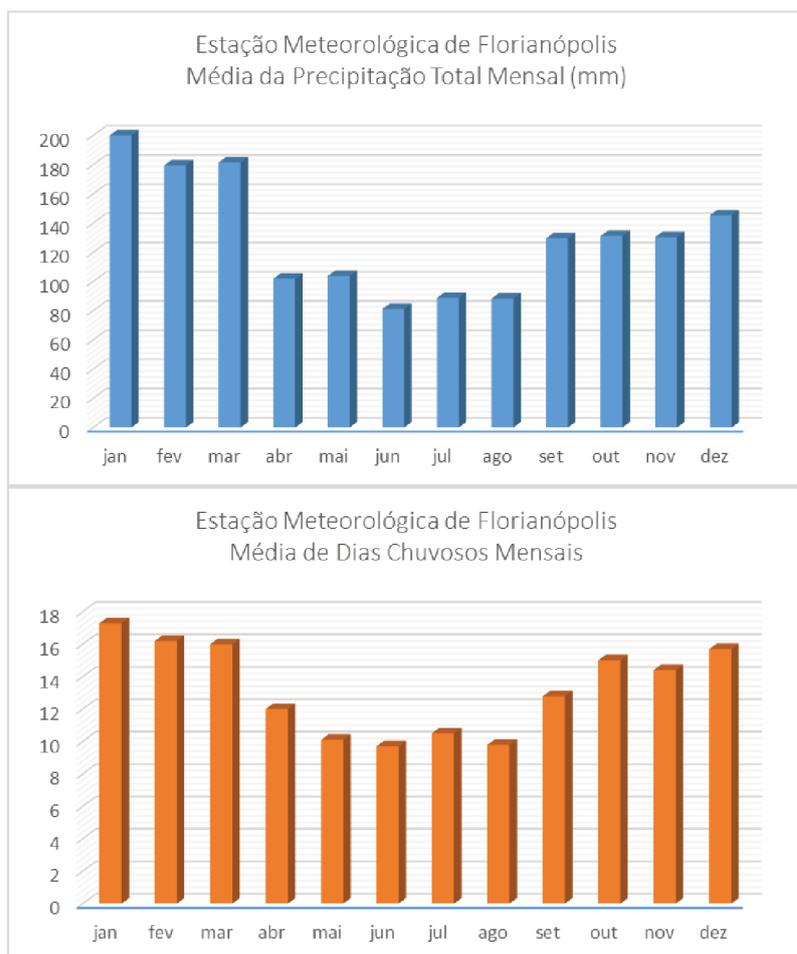
Um estudo da série histórica de valores de precipitação da estação de referência, resulta nos seguintes índices pluviométricos para Florianópolis, conforme Quadro 05. Os resultados também podem ser vistos em forma gráfica na Figura 23.

Quadro 05 - Índices pluviométricos para Florianópolis, no período de 1948-2018.

MÊS	PRECIP. TOTAL MÉDIA (mm)	MAIOR ÍNDICE PLUVIOM. REG. (mm)	MENOR ÍNDICE PLUVIOM. REG. (mm)	MÉDIA DE DIAS DE CHUVA
Jan	200,5	625,0 (1997)	28,5 (1964)	17,3
Fev	179,4	436,8 (2008)	31,7 (1952)	16,2
Mar	181,5	483,8 (1978)	28,3 (1953)	16,0
Abr	101,9	314,2 (2009)	14,1 (1978)	12,0
Mai	103,8	443,0 (2010)	3,4 (1968)	10,1
Jun	81,2	244,7 (2014)	0,0 (1948)	9,7
Jul	88,8	503,6 (1983)	0,8 (2013)	10,5
Ago	88,4	371,9 (2011)	3,8 (1951)	9,8
Set	129,6	307,1 (2005)	15,1 (1982)	12,8
Out	131,2	339,0 (1997)	36,1 (1992)	15,0
Nov	130,4	614,9 (2008)	11,9 (1998)	14,4
Dez	145,3	365,5 (1983)	25,6 (1971)	15,7

Fonte: ANA (2018).

Figura 23 - Médias de precipitação total mensal e dias de chuva mensais em Florianópolis.



Fonte: ANA (2018).

Da observação dos dados de precipitação mensais de Florianópolis é possível ressaltar os seguintes pontos:

- As médias de precipitação total mensal indicam 3 regimes de chuvas característicos na cidade de Florianópolis. Durante o verão, nos meses de janeiro a e março observa-se um regime de chuvas mais intenso com valores de precipitação próximos à 180 mm mensais. Os meses de abril a agosto são os meses menos chuvosos do ano, com valores precipitados variando de 80 a 100 mm mensais, enquanto o período de setembro a dezembro apresenta leve aumento nas chuvas, com valores próximos a 130 mm de precipitação por mês.

- O período de abril a agosto é o menos chuvoso, podendo-se destacar alguns eventos pontuais. Em 1983, por exemplo, no mês de junho observa-se índices de precipitações maiores que 500 mm por mês. No referido ano, foram registrados inúmeros eventos de enchentes em Santa Catarina (RAIMUNDO, 1998). Em junho de 1948 ocorreu o único evento na série

histórica de 1 mês totalmente sem precipitações. Percebe-se também o aumento de eventos de chuva extremas nos últimos 10 anos, com 4 meses registrando máximas na última década, e somente 1 mês com máxima mensal fora desse período, justamente o evento de 1983.

- Em novembro de 2008 observa-se volumoso índice de precipitação mensal. No referido mês choveu cerca de 230 mm em 15 dias (do dia 6 ao 20), seguidos de 3 eventos extremos diários (dia 21, 55,4 mm, dia 22, 92,3 mm e dia 22, 93,2 mm). Esses eventos desencadearam diversos eventos de deslizamentos e enchentes em Santa Catarina, incluindo o escorregamento com uma vítima fatal na região estudada.

No trabalho de Monteiro (1992) são apontados diversos fatores relacionando presença de massas de ar polar Atlântica e Tropical Atlântica, destacando: a influência de massas de ar polar por todo o continente sul-americano no inverno, resultando em elevação da pressão atmosférica, menor insolação e temperatura. Esses fatores refletem na menor quantidade de chuvas; no verão, por sua vez, existe a predominância de massas tropicais, caracterizadas pela maior evaporação dos oceanos ao redor da ilha. Essa evaporação, combinada com a entrada de massas polares atlânticas, as frentes frias, e fatores orográficos da região, geram precipitações do tipo “pancada”, conhecidas como chuvas de verão.

O acompanhamento pluviométrico realizado durante o período de estudo foi feito com os dados de estação pluviométrica instalada no UCAD, de responsabilidade do Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina – CIRAM, um dos centros especializados de pesquisa que compõe a estrutura da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI. A instalação deste pluviômetro foi feita por Bim (2015) durante a realização de sua dissertação de mestrado. As informações são disponibilizadas em tempo real no site da EPAGRI/CIRAM, disponíveis para o público geral. Na Figura 24 é possível ver uma foto do pluviômetro instalado.

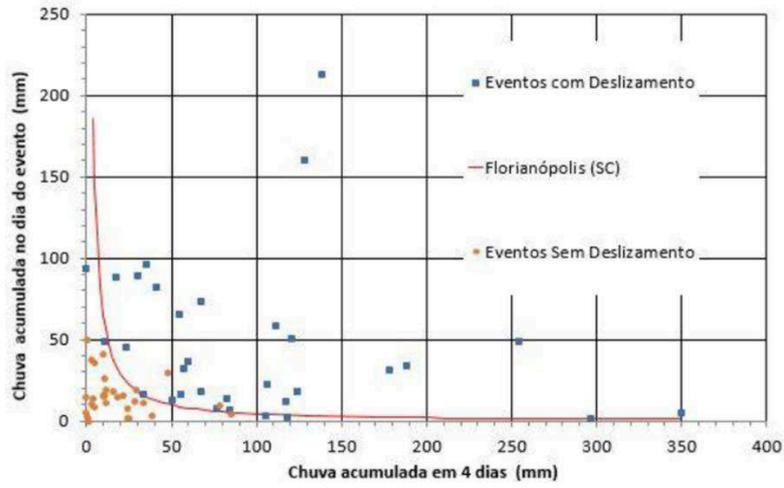
Figura 24 - Pluviômetro instalado no UCAD.



Fonte: Nunes (2017).

Um aspecto importante para a estabilidade dos taludes, além da precipitação imediata, é a condição de saturação da encosta. Dessa maneira, é importante estudar como a encosta se comporta frente às chuvas acumuladas de determinada região. Em seu estudo, Oliveira et al. (2017) correlacionou a ocorrência de eventos de movimento de massas no município de Florianópolis com a precipitação acumulada de 3 e 4 dias e a chuva acumulada no dia do evento. Dessa maneira, observou-se que a melhor correlação é obtida com o volume acumulado em 4 dias, que pode ser visto na Figura 25. No eixo das abcissas está representado o volume de chuva acumulada nos últimos 4 dias, enquanto o eixo das ordenadas representa o volume de chuva acumulado nas últimas 24 horas. A curva traçada divide o gráfico em duas áreas: na porção superior encontram-se situações com iminência de ocorrência de movimentos de massa.

Figura 25 - Correlação entre movimentos de massa e precipitação acumulada de 4 dias no município de Florianópolis.



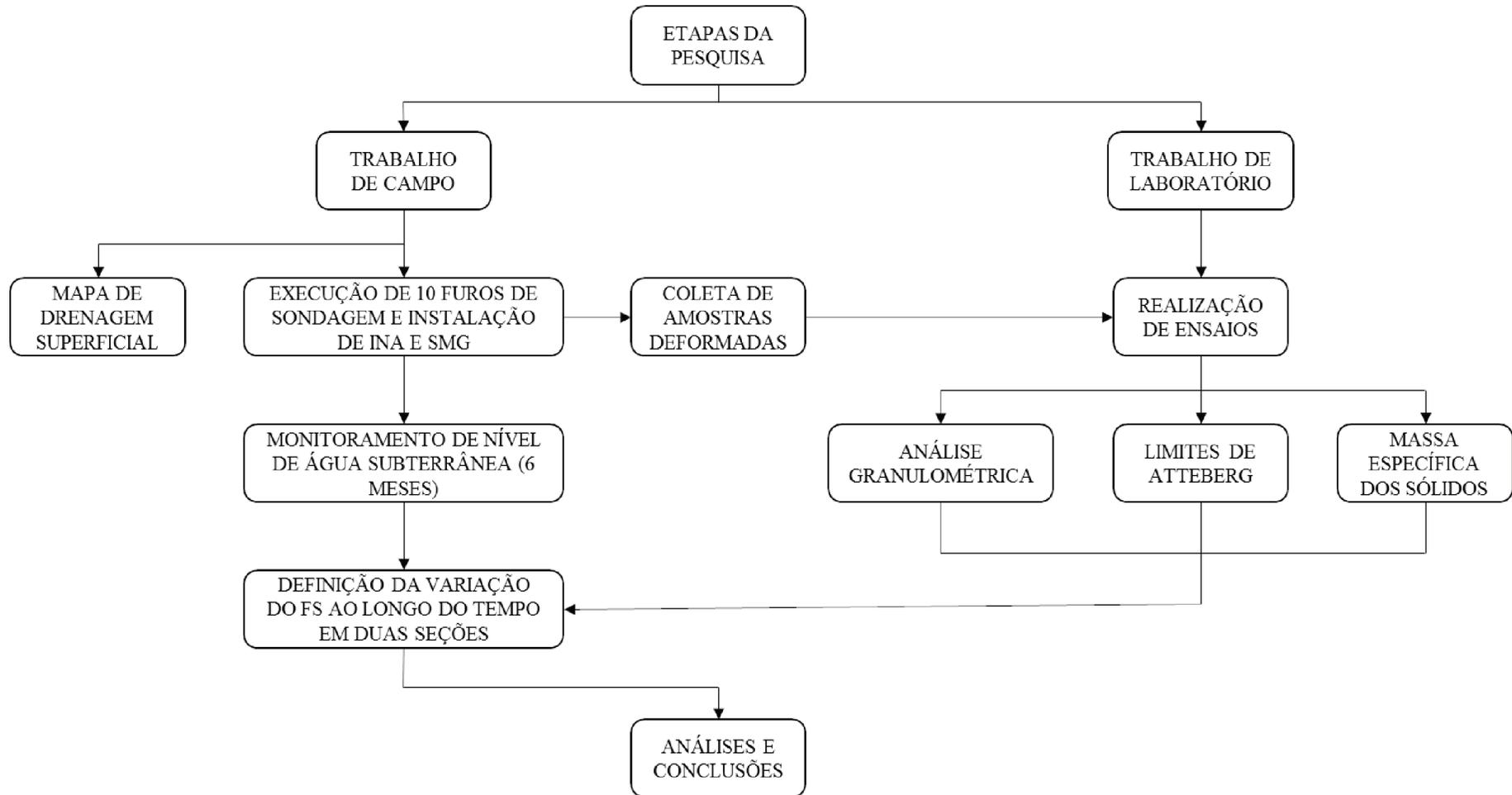
Fonte: Oliveira et al (2017).

3 MÉTODO

Nesse capítulo é apresentado o método aplicado para a realização dos trabalhos, desde a instalação da instrumentação, os ensaios de laboratório e os procedimentos de coleta de dado.

O diagrama de atividade proposto no presente trabalho pode ser visto na Figura 26, onde descreve-se resumidamente as etapas previstas no escopo do projeto.

Figura 26 - Diagrama de atividade propostas.



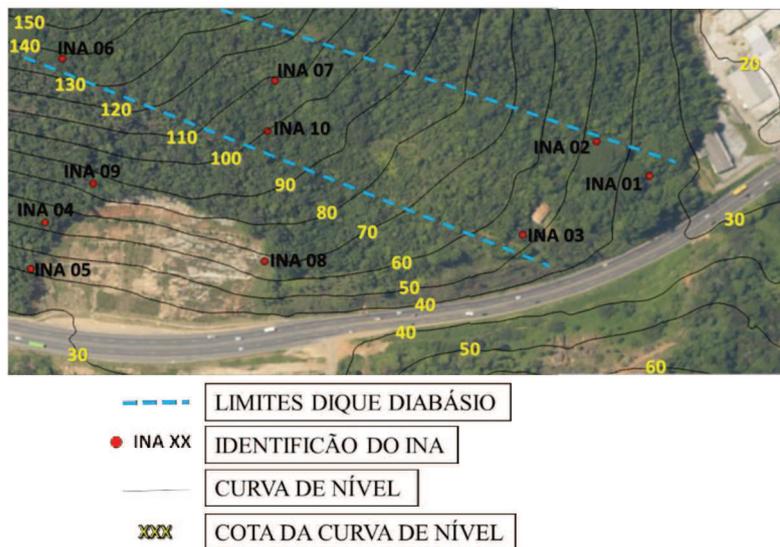
Fonte: O autor.

3.1 INSTALAÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO DE CAMPO

Na região estudada foi planejada a instalação de 10 indicadores de nível d'água (INA) para o monitoramento da variação do nível d'água no solo. Com auxílio de foto aérea e tomando como base a geologia da região, foram pré-determinados 10 pontos que, posteriormente, foram verificados em campo com auxílio de trado-sonda para averiguação da espessura de solo. A distribuição dos pontos onde foram instalados os INA na região de estudo pode ser vista na Figura 27. As coordenadas destes locais e outras informações relevantes estão indicadas no Quadro 06.

Nas primeiras semanas de monitoramento, não foi observada a presença do nível de água no interior de alguns INA instalados com profundidades de 3 m. Optou-se, então, pela instalação de 4 SMG na região adjacente aos INA que apresentavam ausência de água na maior parte do tempo, de maneira a se obter um indicativo indireto do nível do lençol freático. No Quadro 06 é possível ver quais INA receberam a instalação complementar do sensor de sucção de medida indireta.

Figura 27 - Croqui de localização dos indicadores de nível d'água instalados na área de estudo.



Fonte: Google Earth.

Quadro 06 - Detalhamento da localização dos indicadores de nível d'água.

INA	Coordenada UTM E (m)	Coordenada UTM S (m)	Cota (m)	Descrição	Sensor de sucção	Tipo de solo
1	745.693,00	6.952.151,00	33,17	Entrada do UCAD, no estacionamento, próximo ao início da trilha.	-	Residual de diabásio
2	745.720,00	6.952.193,00	44,21	Ao lado da trilha que dá acesso a instalação de apoio do UCAD.	X	Residual de diabásio
3	745.646,00	6.952.251,00	50,84	Ponto previamente estudado no trabalho de Nunes, 2017.	-	Residual de diabásio
4	745.655,00	6.952.628,00	65,08	Ponto previamente estudado no trabalho de Nunes, 2017.	-	Residual de granito
5	745.618,00	6.952.639,00	44,12	Na base da região onde houve escorregamento em 2008, próximo a escada de drenagem.	X	Residual de granito
6	745.785,00	6.952.614,00	138,72	Desviando da trilha existente no UCAD, ponto mais alto, próximo à um grande bloco rolado e uma figueira.	-	Residual de diabásio
7	745.768,00	6.952.446,00	109,36	Desviando da trilha existente no UCAD, próximo ao INA 10 e a drenagem superficial.	-	Residual de diabásio
8	745.624,00	6.952.454,00	70,07	Região à direita da área onde houve escorregamento em 2008.	X	Residual de granito
9	745.686,00	6.952.590,00	88,31	Região acima do deslizamento, próximo às obras de contenção realizadas.	X	Residual de granito
10	745.728,00	6.952.452,00	98,53	Ao longo da trilha existente no UCAD.	-	Residual de diabásio

Fonte: O autor.

Os indicadores de nível d'água foram montados no LabGeoEng/UFSC e são compostos por:

1. Tubos de PVC, incluindo conexões soldáveis, com diâmetro de 40 mm;
2. Geotêxtil tipo "bidim";
3. Areia lavada;
4. Argila.

Os tubos de PVC, com 3 m de comprimento e diâmetro de 40 mm, são previamente perfurados, de maneira a garantir passagem para circulação livre da água do maciço terroso. O geotêxtil reveste o tubo, impedindo a entrada de detritos e material granular presente em solução para dentro do medidor. A região entre o tubo e a parede da perfuração é preenchida com areia, permitindo a passagem de água. Na porção superior, é executado um selo de argila, de maneira a evitar que o nível medido não apresente interferência do escoamento superficial. Esse selo pode ser executado com o próprio material escavado, desde que se apresente argiloso. Ambas as extremidades do tubo são fechadas com um cap, impedindo a entrada de material estranho. Na porção superior do tubo, que fica acima no nível do terreno natural, foi executado um furo para a livre circulação de ar. Os materiais e ferramentas utilizados na confecção dos indicadores podem ser vistos nas Figuras 28 e 29.

Figura 28 - Materiais utilizados na confecção dos indicadores de nível d'água.



Fonte: Arquivo pessoal.

Na Figura 28 podem ser vistos: (A) Tubos de PVC com 3 m de comprimento e 40 mm de diâmetro; (B) CAP de PVC utilizados para tamponamento das extremidades do indicador; (C) Areia média ensacada, para o enchimento lateral da escavação; (D) Manta geotêxtil, tipo “bidim”; (E) Detalhe da extremidade superior do indicador, com furo de respiro; (F) Detalhe de tubulação perfurada.

Figura 29 - Detalhes da confecção do indicador de nível d'água.



Fonte: Arquivo pessoal.

Na Figura 29 podem ser vistos: (A) Detalhe dos tubos perfurados; (B) Tubo com porção perfurada envolta em geotêxtil tipo “bidim”; (C) Detalhe da fixação do geotêxtil com braçadeira plástica; (D) Execução da fixação com braçadeira plástica.

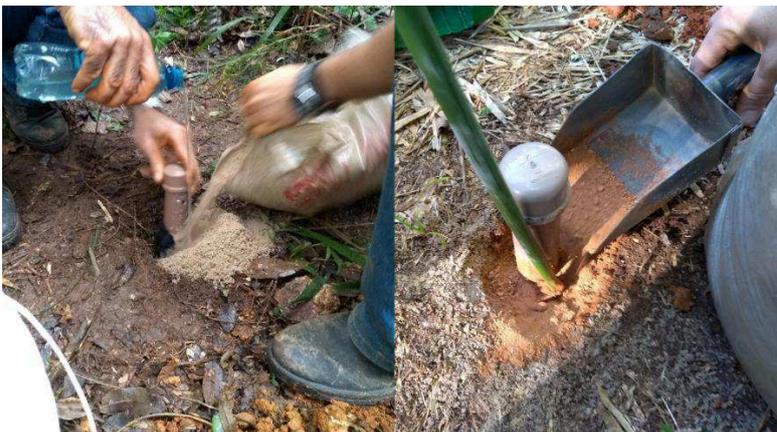
A etapa seguinte é o retorno para o campo, para a instalação dos INA confeccionados. Foi realizada a escavação manual com utilização de trado com 80 mm até a profundidade de 3 m. Algumas etapas da instalação dos indicadores de nível d'água podem ser vistas nas Figuras 30, 31 e 32.

Figura 30 - Procedimento de escavação com trado helicoidal.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 31 - Execução do filtro de areia (esquerda) e do selo argiloso (direita).



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 32 - Moldagem da porção superior do selo argiloso.



Fonte: Arquivo pessoal.

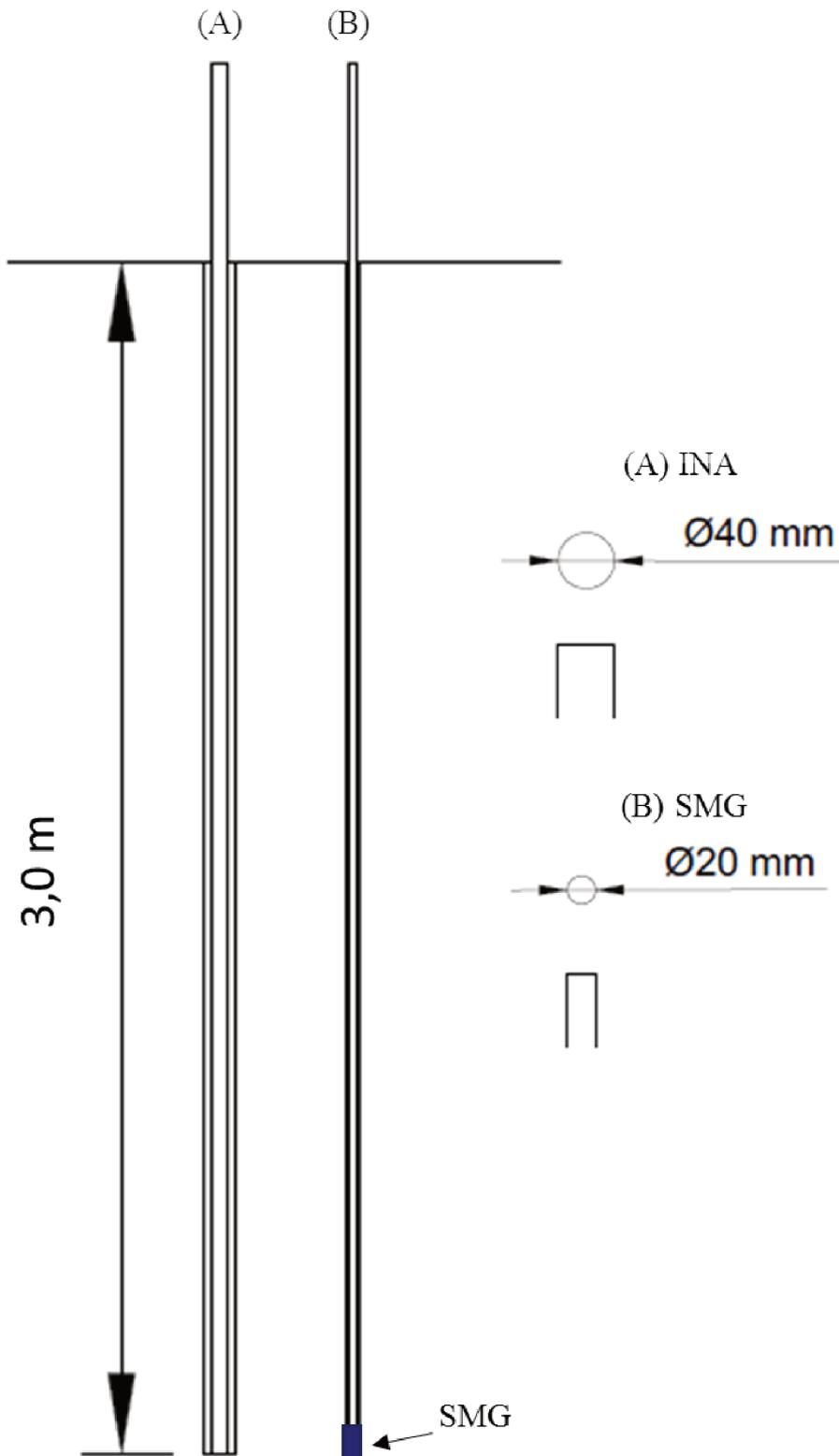
Para a execução do filtro e do selo ilustrado na Figura 31, utilizou-se diferentes técnicas de compactação, que melhor se adequavam para cada tipo de material. Para a execução do filtro de areia, foi utilizado um pouco de água para auxiliar no completo preenchimento do espaço entre o tubo e a parede do furo. Para a compactação do selo argiloso, foi adicionado um pouco de água para se obter consistência plástica e procedeu-se com a compactação com soquete de compactação.

Na parte do INA que fica exposta, ou seja, acima do nível do terreno natural, o selo argiloso é moldado com geometria que garanta elevação de nível em relação ao terreno, garantindo que não se acumule água e haja um favorecimento de infiltração na área, conforme pode ser visto na Figura 32.

Na Figura 33 pode-se ver esquema de instalação de um conjunto de INA e SMG, da maneira que foi executado para o presente trabalho. Na Figura 34 estão dispostos maiores detalhes da instalação da instrumentação.

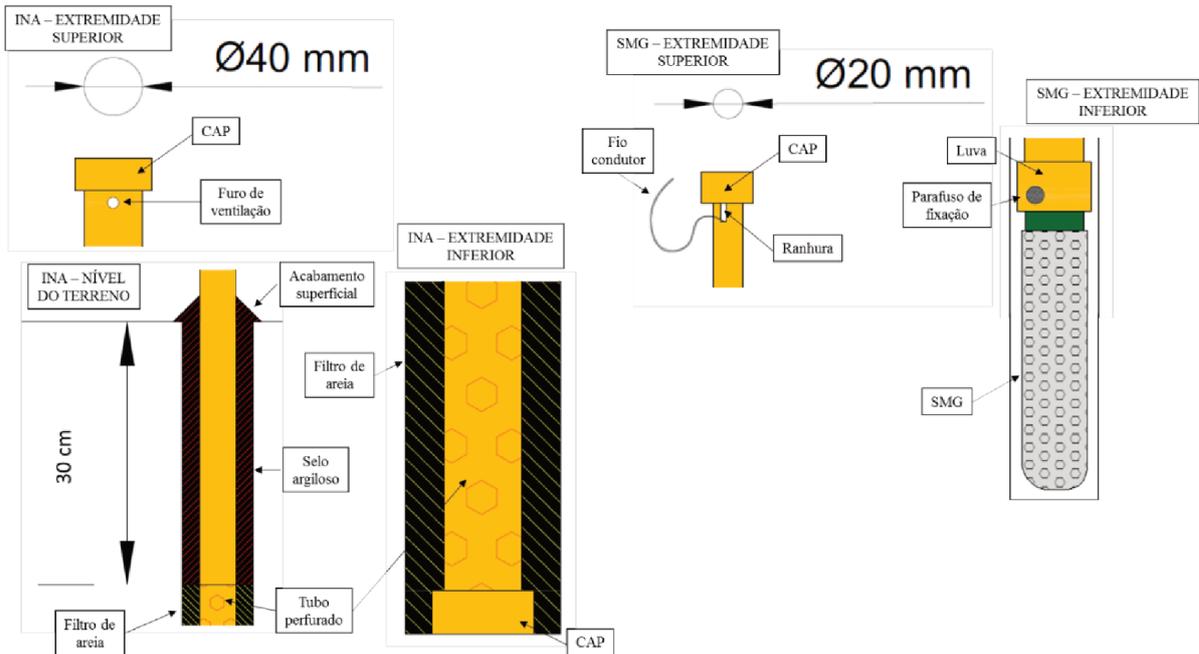
Para possibilitar a leitura do NA nos INA, optou-se por fabricar um dispositivo com esse fim. Tal dispositivo é composto por um tubo de PVC rígido com graduação, onde em uma das extremidades do tubo foi fixado um circuito elétrico alimentado por bateria, com um *buzzer* para emissão de sinal sonoro, enquanto na outra extremidade foram fixados os dois fios do circuito, desencapados. Ao entrar em contato com água, o circuito é fechado, acionando-se o *buzzer* e possibilitando a leitura do nível d'água. Nas Figuras 35 e 36 pode-se ver detalhes do dispositivo utilizado.

Figura 33 - Esquema de conjunto INA-SMG.



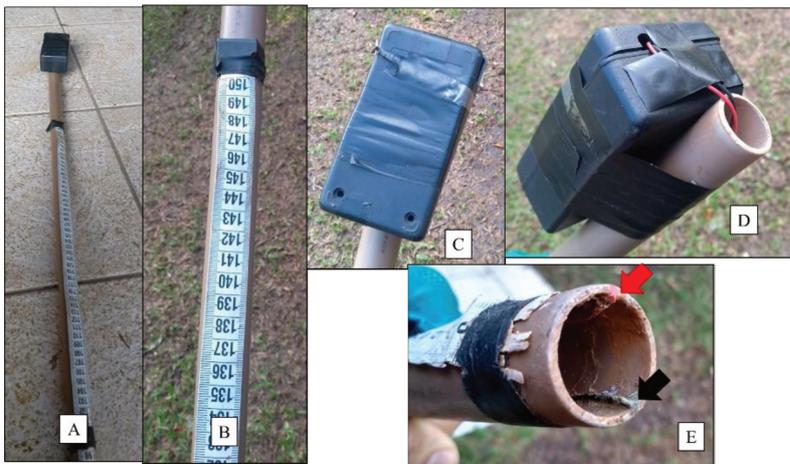
Fonte: O autor.

Figura 34 - Detalhes de instalação da instrumentação de campo.



Fonte: O autor.

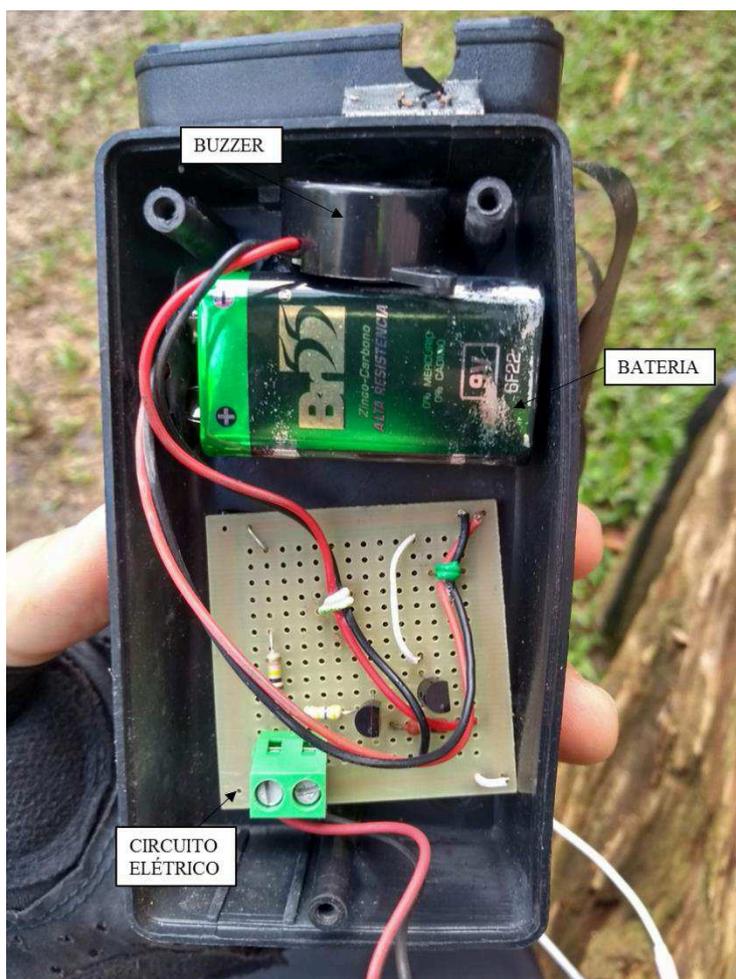
Figura 35 - Detalhes do dispositivo utilizado para leitura dos INA.



Fonte: Acervo próprio.

Na Figura 35 podem ser vistos: (A) Vista geral do dispositivo utilizado para medições de NA; (B) Detalhe da régua graduada fixa ao corpo do dispositivo; (C) Caixa de proteção do circuito elétrico fixado na extremidade superior do dispositivo; (D) Detalhe da fixação do circuito na extremidade superior do tubo de PVC; (E) Detalhe da extremidade inferior do tubo de PVC, com os 2 fios que compõem o circuito em aberto destacados. Na Figura 36 é possível ver a placa com os componentes elétricos utilizados, a bateria que alimenta o circuito e o *buzzer*, componente que emite som quando o circuito se fecha.

Figura 36 - Detalhes do circuito elétrico.



Fonte: Acervo próprio.

A instalação dos SMG tem procedimento similar, sendo necessário uma perfuração prévia com três metros de profundidade. Essa perfuração, porém, tem diâmetro reduzido, assim como a tubulação que é inserida (30 e 20 mm de diâmetro, respectivamente). Na porção inferior da tubulação é fixado o sensor de sucção de medida indireta, de maneira que os fios condutores da corrente elétrica passem pelo interior do tubo. O SMG deve ser recoberto por uma camada de lama antes da inserção, para garantir uma melhor continuidade hidráulica entre a água presente no interior do sensor com a água presente no solo. As medidas são realizadas pontualmente, nos mesmos eventos de medição dos INA, com a conexão do *datalogger* aos fios condutores. Optou-se pela não realização das leituras contínuas, pela indisponibilidade de equipamento para automatização. Na extremidade inferior do tubo é fixado o sensor de sucção de medida indireta, com auxílio de luvas de PVC de 20 mm de diâmetro e parafuso. A extremidade superior foi tampada com um cap. Também foi feita uma ranhura para possibilitar a passagem dos fios condutores. De maneira semelhante ao INA, foi feito um selo de argila na porção superior do

furo, com a moldagem de maneira a não permitir o acúmulo de água na região. Nas Figuras 37 e 38 é possível ver alguns detalhes da instalação do sensor de sucção de medida indireta. Na Figura 39 pode-se ver INA (esquerda) e um SMG (direita) instalados.

Figura 37 - Esquema de fixação do sensor aos tubos de PVC.



Fonte: Nunes (2017).

Figura 38 - Recobrimento do sensor de sucção de medida indireta com lama.



Fonte: Nunes (2017).

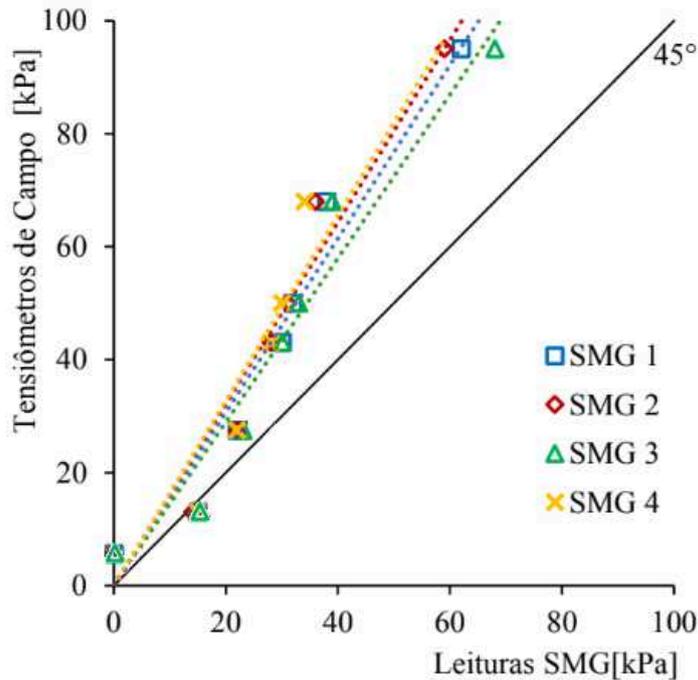
Figura 39 - Indicador de nível d'água e sensor de sucção de medida indireta instalado.



Fonte: Acervo próprio.

Foi observado por Nunes et al. (2018) que os sensores de sucção de matriz granular (SMG) apresentam uma dispersão nos valores de sucção medidos. Isto foi observado ao se instalar os sensores de sucção em um solo compactado no interior de dois moldes Proctor. Nestes mesmos moldes foram instalados tensiômetros de campo de medida direta cuja leituras de sucção eram maiores que os medidos pelos SMG. Desta forma optou-se pela obtenção de curvas de calibração para cada um dos SMG tomando como referência o valor da sucção medida pelo tensiômetro de campo de medida direta. Estes tensiômetros são mais confiáveis e fornecem uma medida direta de sucção, ou seja, não utilizam uma curva de calibração. Foram utilizados os sensores S1, S2, S3 e S4 do referido trabalho, sendo possível ver os resultados dos procedimentos de calibração na Figura 40 e no Quadro 07 é possível verificar as equações de ajuste dos valores dos sensores de sucção. Todos os dados de leitura obtidos através dos SMG foram corrigidos pelas equações do Quadro 07.

Figura 40 - Pontos experimentais da calibração dos sensores de sucção de medida indireta S1 a S4.



Fonte: Nunes et al. (2018).

Quadro 07 - Equações de calibração dos sensores de sucção de medida indireta.

SENSOR	$\psi = ax$	R^2
S1	$\psi = 1,5357x$	0,9536
S2	$\psi = 1,6098x$	0,9509
S3	$\psi = 1,4491x$	0,9508
S4	$\psi = 1,6388x$	0,8567

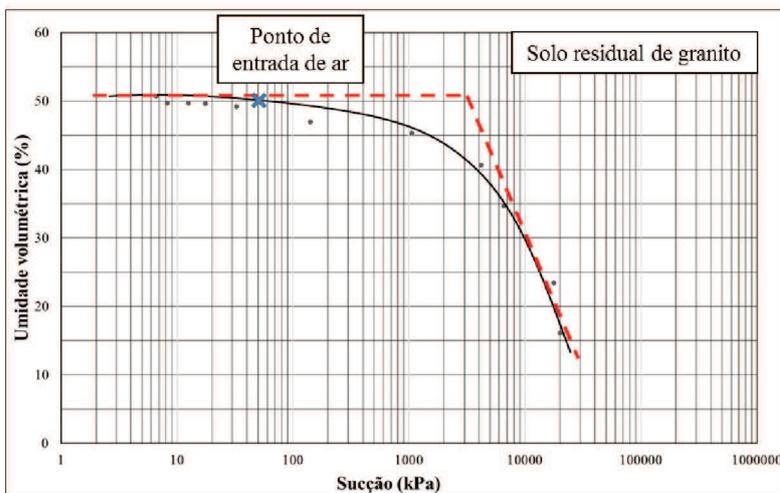
Fonte: NUNES et al. (2018).

Sendo x a sucção medida pelo SMG e ψ a sucção medida pelo tensiômetro de campo.

Os SMG são instrumentos indispensáveis nos trabalhos de campo que envolvem a região de aeração, permitindo de forma indireta a estimativa da profundidade do nível do lençol freático. Para isto, os valores de sucção obtidos pelos SMG devem ser analisados juntamente com a curva de retenção de água do solo, dada pela relação entre a quantidade de água presente na estrutura do solo e a correspondente sucção. Nunes (2017) obteve as curvas de retenção de água dos solos residuais de granito da região estudada, utilizando a técnica do papel filtro. Esta curva está apresentada na Figura 41. Para sucção igual a zero o solo está saturado e na medida em que se aumenta a sucção o ar começa a entrar em sua estrutura até o momento em que o mesmo se encontra praticamente seco. No entanto, no início da curva de retenção o solo consegue se manter saturado mesmo que apresente um determinado valor de sucção. A sucção

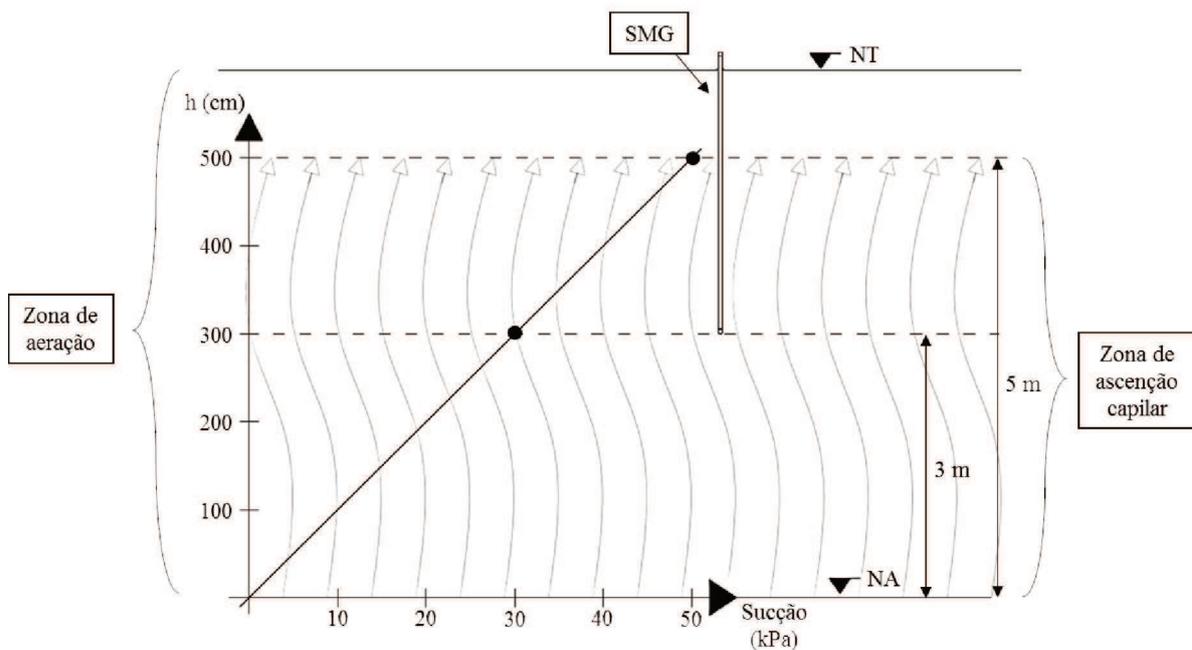
máxima deste trecho inicial, que é praticamente horizontal, pode ser correlacionada com a altura de ascensão capilar. De acordo com a Figura 41 temos que os valores de sucção de entrada de ar do solo residual de granito e de diabásio é da ordem de 50 kPa, ou seja, a água pode subir por capilaridade por uma altura de 5 m. Como exemplo temos que quando o SMG medir 30 kPa, isto indica que o nível do lençol freático está a 3 m abaixo de sua posição de instalação, conforme ilustrado na Figura 42.

Figura 41 - Pontos experimentais na curva de retenção de água obtidos nos solos estudados por Nunes, 2017.



Fonte: Adaptado de Nunes, 2017.

Figura 42 - Exemplo de ascensão capilar detectada por SMG.



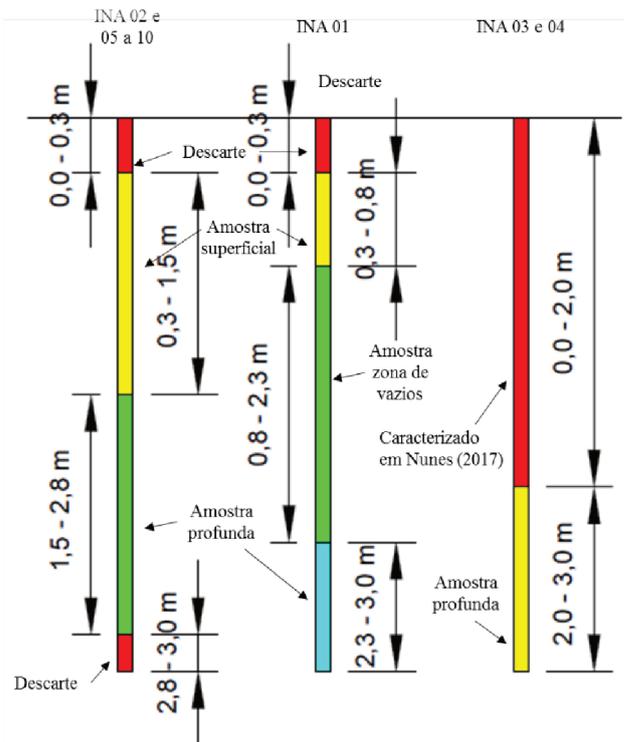
Fonte: O autor.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Das escavações de sondagem dos INA foram coletadas amostras de solo, na porção superior (de 0,30 a 1,50 m de profundidade) e da porção inferior (de 1,50 a 2,80). Optou-se por descartar os primeiros 30 cm escavados e os últimos 20 cm de cada INA.

Na escavação do INA 01, observou-se região com pouca recuperação de material no intervalo de 0,80 a 2,30 m, com expressiva diminuição no material recuperado. Assim, optou-se por caracterizar esse INA de maneira distinta dos demais, trabalhando-se com os intervalos de 0,30 a 0,80m, 0,80 a 2,30 m (o material que conseguiu se recuperar) e 2,30 a 3,00 m. Particularmente nos pontos INA 03 e 04, que já haviam sido estudados em Nunes, 2017, a amostra coletada compreendeu a profundidade de 2,00 a 3,00 m. Na Figura 43 pode-se ver um esquema indicando as regiões estudadas em cada INA.

Figura 43 - Regiões caracterizadas para cada INA.



Fonte: O autor.

O procedimento para a escavação e coleta de amostras foi dividido em duas etapas. Na etapa inicial, realizou-se sondagem com trado de diâmetro inferior (30 mm), para confirmação de profundidade do topo rochoso. Todo o material escavado nessa etapa foi descartado. Alcançando-se 3 m de profundidade, parte-se para a segunda etapa de escavação, com utilização

de trado helicoidal de diâmetro superior (80 mm). Os primeiros 30 cm de escavação eram descartados. Após essa profundidade, procedia com o preenchimento do trado, que era então esvaziado em um balde até alcançar 1,5 m de profundidade. Nesse momento, o material contido no balde era homogeneizado e acondicionado em sacos plásticos. Em seguida, prosseguia-se com a escavação até 2,8 m de profundidade, sempre se esvaziando o trado no balde. Nessa profundidade, repete-se o procedimento de homogeneização e acondicionamento da amostra. Conclui-se a perfuração dos últimos 20 cm, descartando-se o material.

As amostras deformadas foram acondicionadas em sacos plásticos e ensaiadas no Laboratório de Mecânica dos Solos da UFSC, a fim de caracterizá-las. Na Figura 44 é possível ver o acondicionamento de amostras coletadas.

Figura 44 - Amostras coletadas nas escavações de sondagens dos INA.



Fonte: Arquivo pessoal).

As amostras deformadas, obtidas durante a perfuração dos furos de sondagem, foram utilizadas para obtenção da umidade natural e realização de ensaios de caracterização. Foram realizados ensaios de análise granulométrica (ABNT, 2016a), massa específica dos sólidos (ABNT, 2016b), limite de liquidez (ABNT, 2016c) e limite de plasticidade (ABNT, 2016d). Algumas das etapas dos ensaios de caracterização estão ilustradas nas Figuras 45 a 51.

Figura 45 - Amostras secando ao ar, em preparação para a realização dos ensaios.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 46 - Análise granulométrica: ensaio de adensamento.



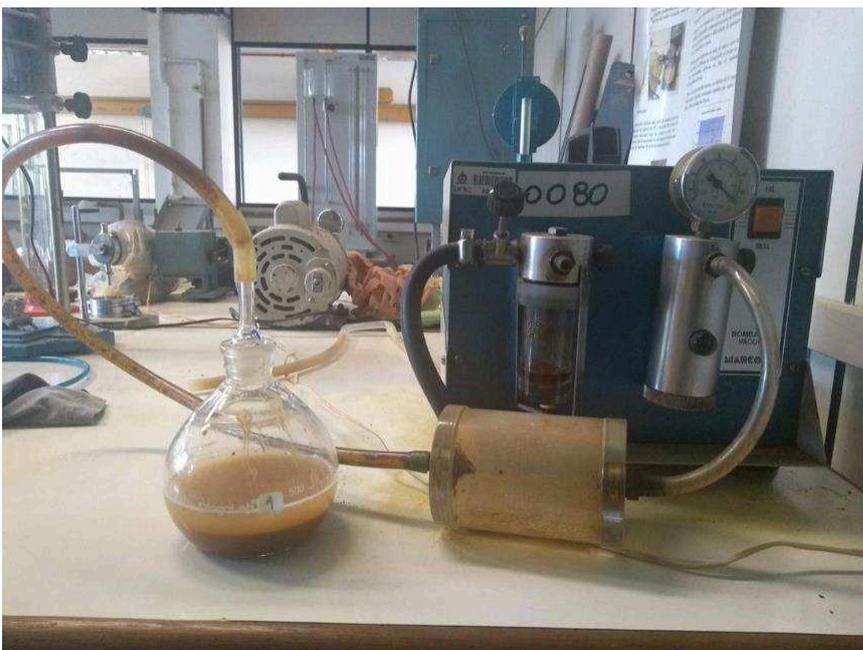
Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 47 - Análise granulométrica: peneiramento fino.



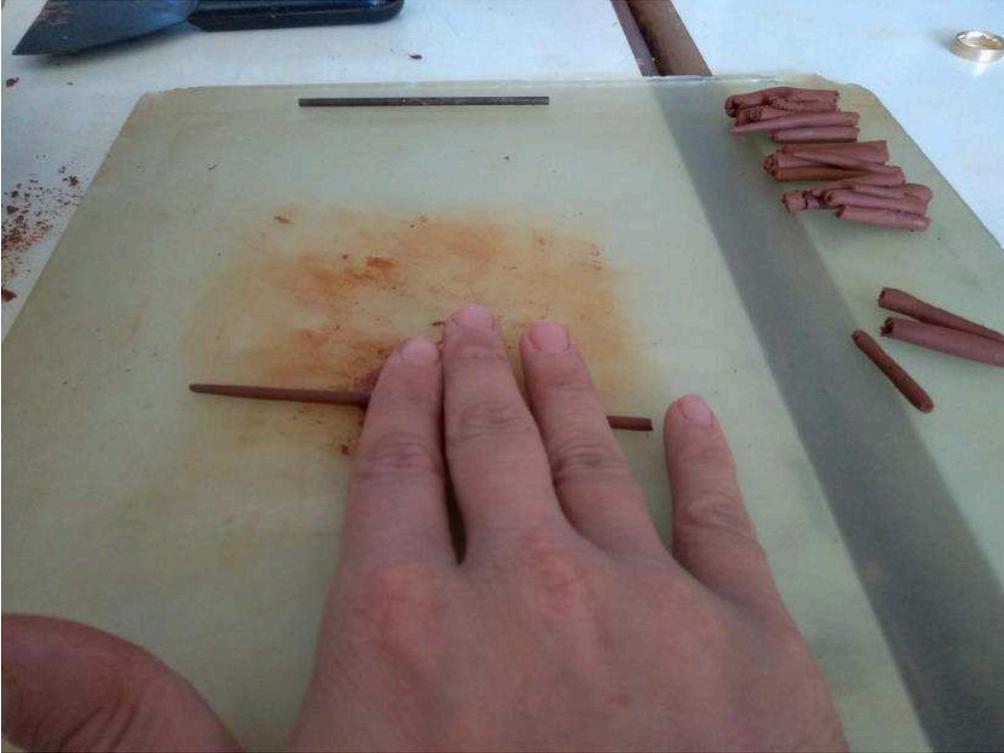
Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 48 - Obtenção da massa específica dos sólidos: aplicação de vácuo.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 49 - Ensaio de limite de plasticidade.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 50 - Ensaio de limite de liquidez.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 51 - Diferentes amostras acondicionadas para a secagem em estufa.



Fonte: Arquivo pessoal.

A opção pela realização de tais ensaios se fundamenta na literatura clássica de mecânica de solos, bem como na oportunidade de enriquecer o banco de dados e comparar os resultados obtidos com outros trabalhos realizados na mesma região. Todos os ensaios foram realizados conforme normas técnicas da ABNT vigentes no momento de realização dos trabalhos. Os resultados obtidos serão discorridos no Capítulo 4 desse trabalho.

3.3 DETERMINAÇÃO DE FATORES DE SEGURANÇA

Determinou-se 2 perfis paralelos para estudo detalhado da influência da variação do NA na estabilidade do talude. Com os resultados obtidos na caracterização do solo e no monitoramento realizado, utilizou-se o *software Slide 6.0* para a determinação dos fatores de segurança na estabilidade dos taludes selecionados, através dos métodos de Fellenius, Bishop simplificado, Spences e Morgenstern-Price.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de caracterização do solo, do monitoramento da instrumentação instalada, bem como análises dos dados, com superfícies de nível d'água subterrâneo e fatores de segurança ao deslizamento da encosta.

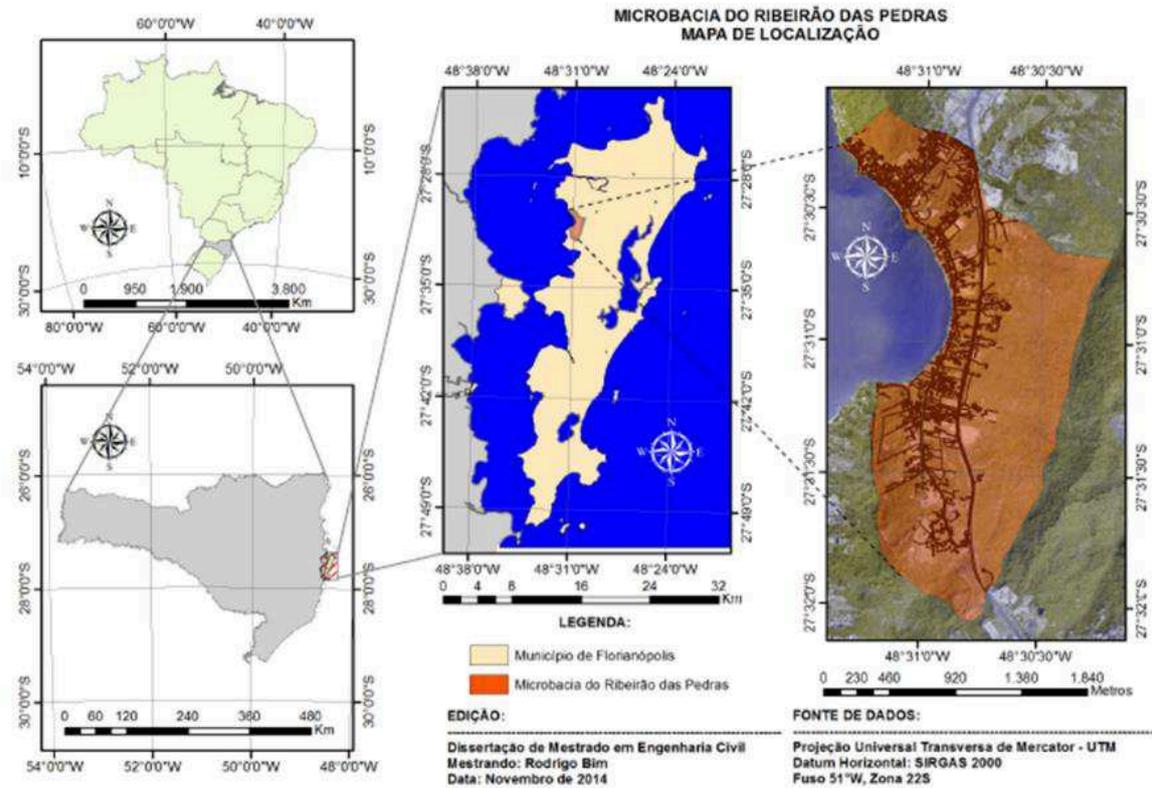
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A constituição geológica da Ilha de Santa Catarina é formada, basicamente, por granitos, que compõe os morros e pertencendo à Suíte Intrusiva Pedras Grandes, por diques de diabásio encaixados no granito, que pertencem à Formação Serra Geral, e por depósitos de origem marinha, eólica, lacustres e fluviais (OLIVEIRA et al., 2012).

A área estudada está contida na Unidade de Conservação Ambiental Desterro (UCAD), na microbacia do Ribeirão das Pedras, situada integralmente na ilha de Santa Catarina, pertencente ao município de Florianópolis, nos paralelos 27°32'/27°30' de latitude sul e entre os meridianos 48°31'/48°30' de longitude oeste de Greenwich (BIM, 2015). Na Figura 52 é possível ver a localização da microbacia do Ribeirão das Pedras.

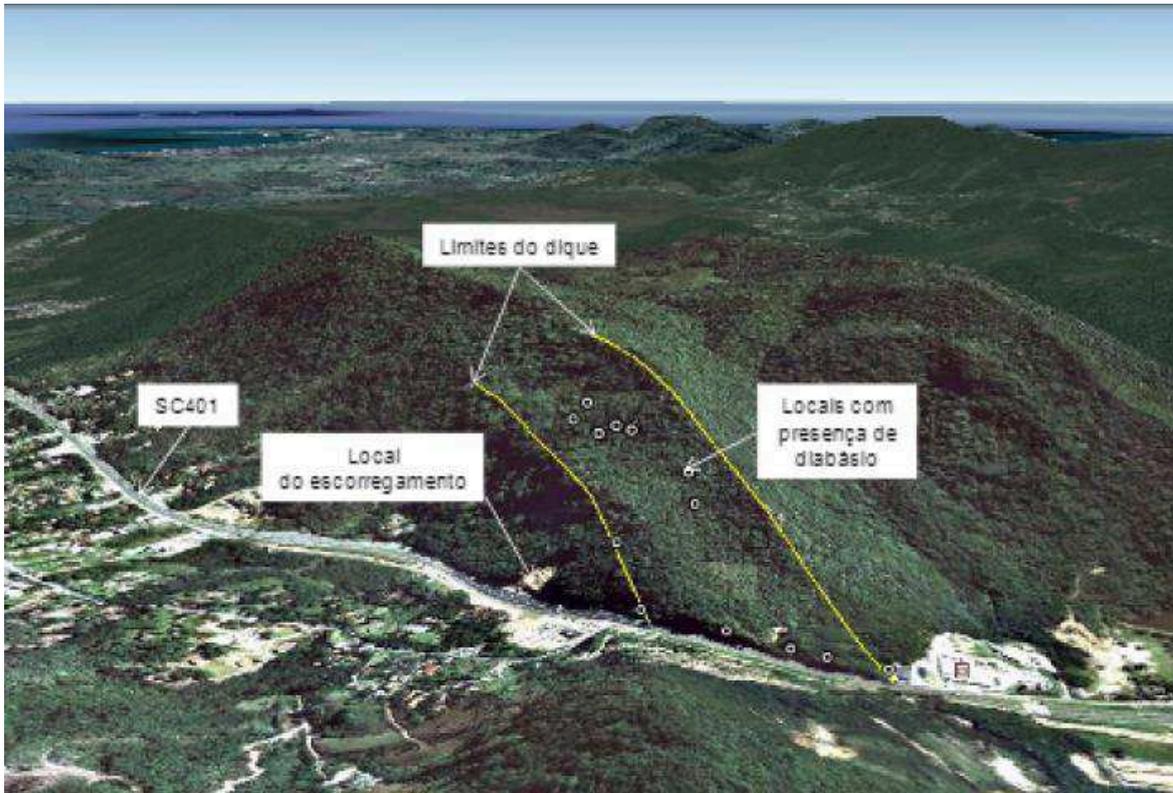
Através de observações em fotos aéreas e confirmação em campo, é possível afirmar a existência de um vale na região, indicando a presença de um dique de diabásio, conforme pode ser visto nas Figuras 53 e 54. Na Figura 53, os pontos indicados são locais onde foi constatado a presença de diabásio através de investigação de campo.

Figura 52 - Mapa de localização da microbacia do Ribeirão das Pedras.



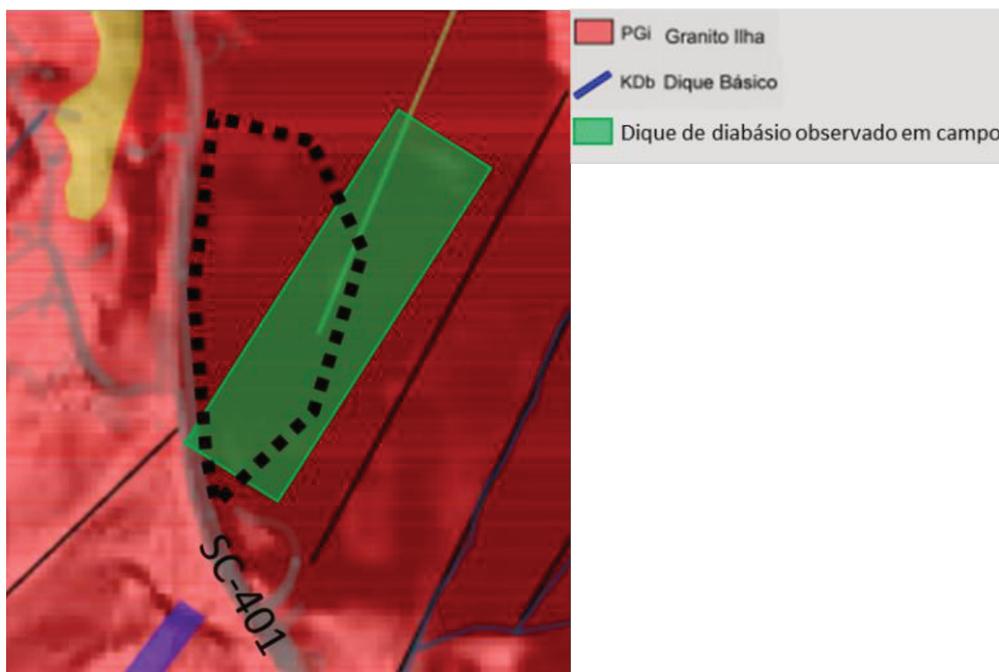
Fonte: Bim (2015).

Figura 53 - Indicação do dique de diabásio na área de estudo.



Fonte: Oliveira et al. (2012).

Figura 54 - Mapa geológico da região. Em destaque, a região estudada.



Fonte: Adaptado de Tomazzoli e Pellerim (2015).

Diques de diabásio são formados pelo resfriamento de magma básico que se encaixa nas discontinuidades do granito, dando origem a paredes verticais e subverticais. A característica de resfriamento desse magma faz com que o mesmo apresente faturamento pouco espaçado, preferencialmente na horizontal. Essa característica em combinação com a natureza do material (mineral ferromagnésico), contribuem para a maior velocidade de intemperização dessa formação, caracterizando o vale visto na Figura 53. A presença do dique na região, juntamente com o corte dado para a construção da rodovia SC401, foram os principais agentes predisponentes dos escorregamentos da região (OLIVEIRA et al., 2012).

Os solos encontrados na região estudada são de origem diabásica e granítica. Segundo Santos (1997), tais solos são classificados como solos Podzólico Vermelho-Amarelo.

Os solos de origem granítica são formados pela decomposição dos depósitos de Granito Ilha da região, conforme Figura 54. Segundo Santos (1997), o Granito Ilha apresenta cores mais claras em tonalidades de cinza e cores rosadas. Os solos dessa origem são bastante granulares, devido a textura grosseira da rocha de origem. São os de maior ocorrência na Ilha de Santa Catarina. Têm como perfil típico os horizontes A, B, C, RA e R. Quanto a espessura dos horizontes, o horizonte A geralmente apresenta espessuras inferiores a 80 cm, o horizonte B de pequena espessura e o horizonte C mais profundo, chegando a 25m em algumas localidades. Em geral são solos bem drenados, com facilidade à percolação d'água.

Os solos de origem diabásica, por sua vez, ocorrem, na Ilha de Santa Catarina, geralmente associados a presença de diques e com contribuição de solo de alteração de granito. Possuem características similares aos podzólicos de granito quanto ao gradiente textural, morfologia e cor dos horizontes, diferindo na textura, bem mais fina. Por terem como origem uma rocha mais escura, com maior teor de máficos e, conseqüentemente, mais facilmente intemperizável, contribuem para o descalçamento de grandes blocos, facilitando a ocorrência de deslizamentos. Apresentam características expansivas (SANTOS, 1997).

Na área estudada é possível encontrar uma extensa rede de drenagem, tanto artificial quanto natural. Não existe a presença de cursos da água perenes, sendo que tal rede de drenagem é intermitente, com fluxo de água por semanas após eventos de precipitação. Além do fluxo de água, em algumas regiões existe o acúmulo de água após eventos de precipitação extrema, transformando algumas áreas em banhados. Nas Figuras 55, 56 e 57 é possível observar alguns exemplos da surgência de água.

Figura 55 - Região alagada após período de chuva extrema.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 56 - Queda d'água intermitente existente na região. Tal queda d'água pode ser vista a partir da SC-401.



Fonte: Arquivo pessoal.

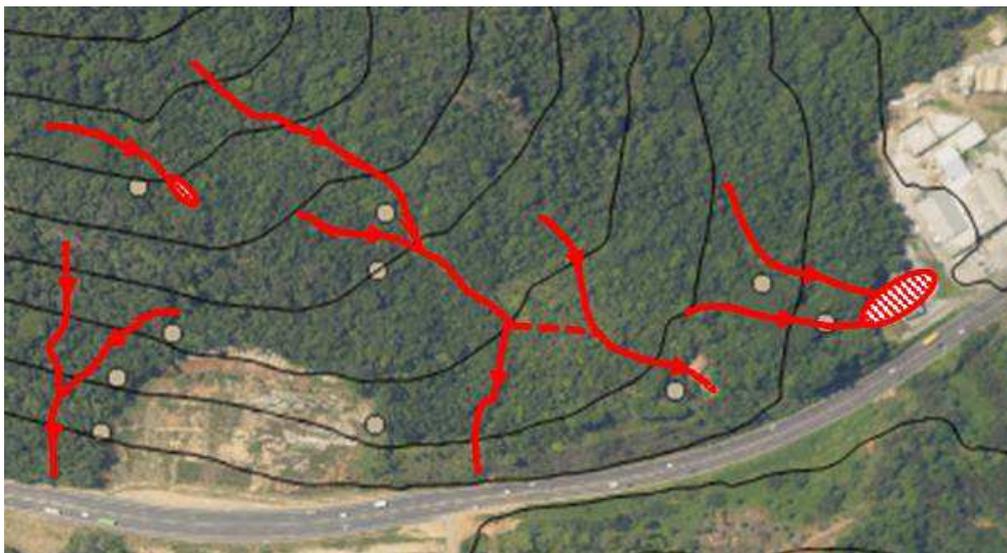
Figura 57 - Drenagem natural existente na região. O fluxo d'água é intermitente, sendo constante nas semanas posteriores à eventos de precipitação e interrompido em seguida.



Fonte: Arquivo pessoal.

Foram realizadas algumas expedições ao local de estudo para identificação de canais de drenagem, naturais e artificiais. Nessas expedições, foram percorridos e documentados a localização dessas drenagens, com auxílio de aparelhos GPS e tomada de pontos de referência. Essas informações foram compiladas e os canais de drenagem foram desenhados sobre foto aérea da região, conforme pode ser visto na Figura 58.

Figura 58 - Croqui da localização das drenagens superficiais da área de estudo.



Fonte: O autor.

Na Figura 58 observam-se duas regiões destacadas. Na porção superior esquerda da figura, a área indica região próxima ao INA 06 onde existe acúmulo de água nos dias posteriores à eventos volumosos. Essa água provavelmente é absorvida pelo solo e retorna a superfície a alguns metros de distância, através de canais subterrâneos. Na parte direita da figura está destacada região onde existe um sumidouro, com a presença de grandes blocos de rocha. Na região central, com a linha tracejada, está indicada drenagem que foi artificialmente bloqueada, para possibilitar a construção e manutenção de trilha utilizada para os trabalhos no UCAD. As curvas de nível da Figura 58 estão definidas a cada 20 m de altitude.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Os ensaios de caracterização dos solos obtidos nas escavações das sondagens foram realizados no laboratório de Mecânica dos Solos da UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina). Foram realizados os ensaios de análise granulométrica, peso específico dos sólidos, limite de liquidez, limite de plasticidade e determinação do teor de umidade natural. Para

contemplar as diferenças na origem dos materiais de formação dos solos, foram separados nas análises os solos de granitos dos de diabásio. Assim, o grupo de amostras de solos residuais de granito fica limitado aos furos INA 04, 05, 08 e 09, os mais próximos da região onde ocorreu o escorregamento. O grupo de amostras de solos residuais de diabásio contempla os furos INA 01, 02, 03, 06, 07 e 10. No Quadro 08 podem ser vistos os resultados obtidos para o peso específico dos sólidos e os limites de consistência dos solos residuais de granito, enquanto que no Quadro 09 os mesmos resultados são mostrados para os solos residuais de diabásio. Nas Figuras 59 e 60 os resultados estão plotados em função de sua respectiva profundidade. Nos pontos previamente estudados por Nunes (2017) são exibidos complementarmente os resultados obtidos pelo mesmo.

Nos solos residuais de granito o peso específico dos sólidos varia de 21,45 kN/m³ na camada profunda do INA 08 até 25,98 kN/m³ também na camada profunda, mas dessa vez no INA 05. Pode-se observar uma homogeneidade relativa bem maior nas amostras mais superficiais em relação às amostras mais profundas. Nos solos residuais de diabásio, a massa específica varia de 22,14 kN/m³ na amostra superficial do INA 10 e 25,35 kN/m³ na amostra superficial do INA 02. Observa-se maior homogeneidade nas massas específicas obtidas nesse tipo de solo em relação às obtidas nos solos residuais de granito.

Em termos de plasticidade, nos solos residuais de granito não se observou variações expressivas quando as amostras pertenciam ao mesmo furo de sondagem (com exceção do INA 08). O que foi possível observar é a ocorrência de regiões com alta plasticidade, enquanto outras regiões apresentavam baixos índices. O índice de plasticidade variou entre 16% e 34%. Nos solos de origem diabásica também se observou a ausência de variações expressivas nas amostras de mesmo furo (aqui também se observa exceção, no INA 02 e INA 10).

Quadro 08 - Resultados dos ensaios de caracterização dos solos residuais de granito.

PONTO	PROF. (cm)	γ_s (kN/m ³)	W_L (%)	W_P (%)	I_P (%)
INA 04	200 a 300	24,98	77,0	50,3	26,7
INA 05	30 a 150	23,36	60,5	44,2	16,3
	150 a 280	25,98	63,6	44,9	18,7
INA 08	30 a 150	23,34	53,8	31,5	22,2
	150 a 280	21,45	77,0	38,6	38,4
INA 09	30 a 150	24,17	84,9	51,0	33,9
	150 a 280	22,42	87,1	55,5	31,6

Onde: γ_s é o peso específico dos sólidos, W_L é o limite de liquidez, W_P é o limite de plasticidade, I_P é o índice de plasticidade

Fonte: O autor.

Quadro 09 - Resultados dos ensaios de caracterização dos solos residuais de diabásio.

PONTO	PROF. (cm)	γ_s (kN/m ³)	W_L (%)	W_P (%)	I_P (%)
INA 01	30 a 80	24,16	59,3	47,6	11,7
	80 a 230	24,03	62,4	43,1	19,3
	230 a 300	24,58	49,2	37,4	11,9
INA 02	30 a 150	25,35	96,7	50,9	45,8
	150 a 280	24,48	72,8	52,9	19,9
INA 03	200 a 300	25,13	77,0	53,8	23,3
INA 06	30 a 150	23,16	70,2	36,7	33,5
	150 a 280	22,47	70,9	36,2	34,8
INA 07	30 a 150	24,54	65,6	44,7	20,9
	150 a 280	24,06	85,4	58,6	26,8
INA 10	30 a 150	22,14	96,4	47,8	48,6
	150 a 280	25,04	83,0	65,3	17,8

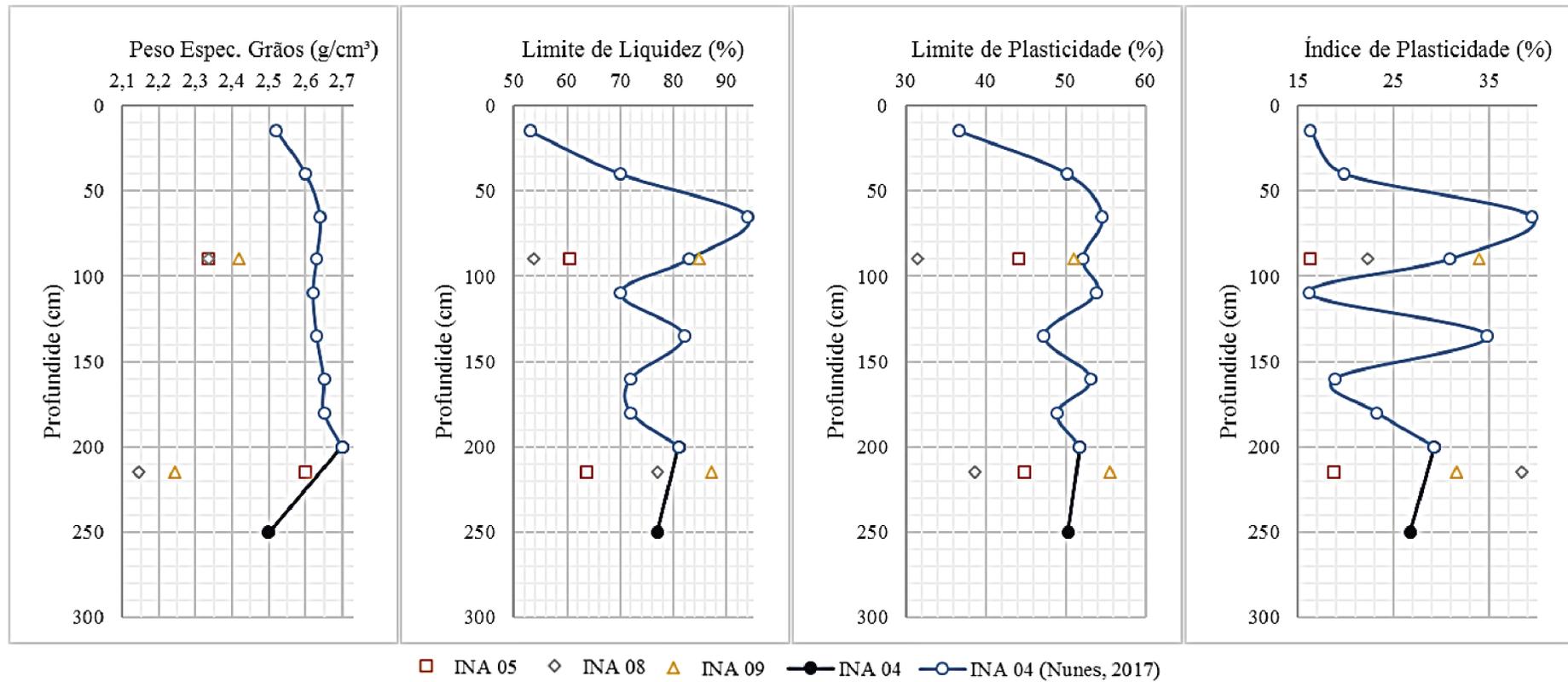
Onde: γ_s é o peso específico dos sólidos, W_L é o limite de liquidez, W_P é o limite de plasticidade, I_P é o índice de plasticidade

Fonte: O autor.

Na Figura 61 pode-se ver os valores do limite de Atteberg, ou limites de consistência, das amostras plotados na carta de plasticidade de Casagrande. Foram plotados os pontos estudados no presente trabalho, a média obtida para as diferentes origens das amostras, além de dados de outros autores que estudaram a mesma região. No Quadro 10 podem ser vistos os dados

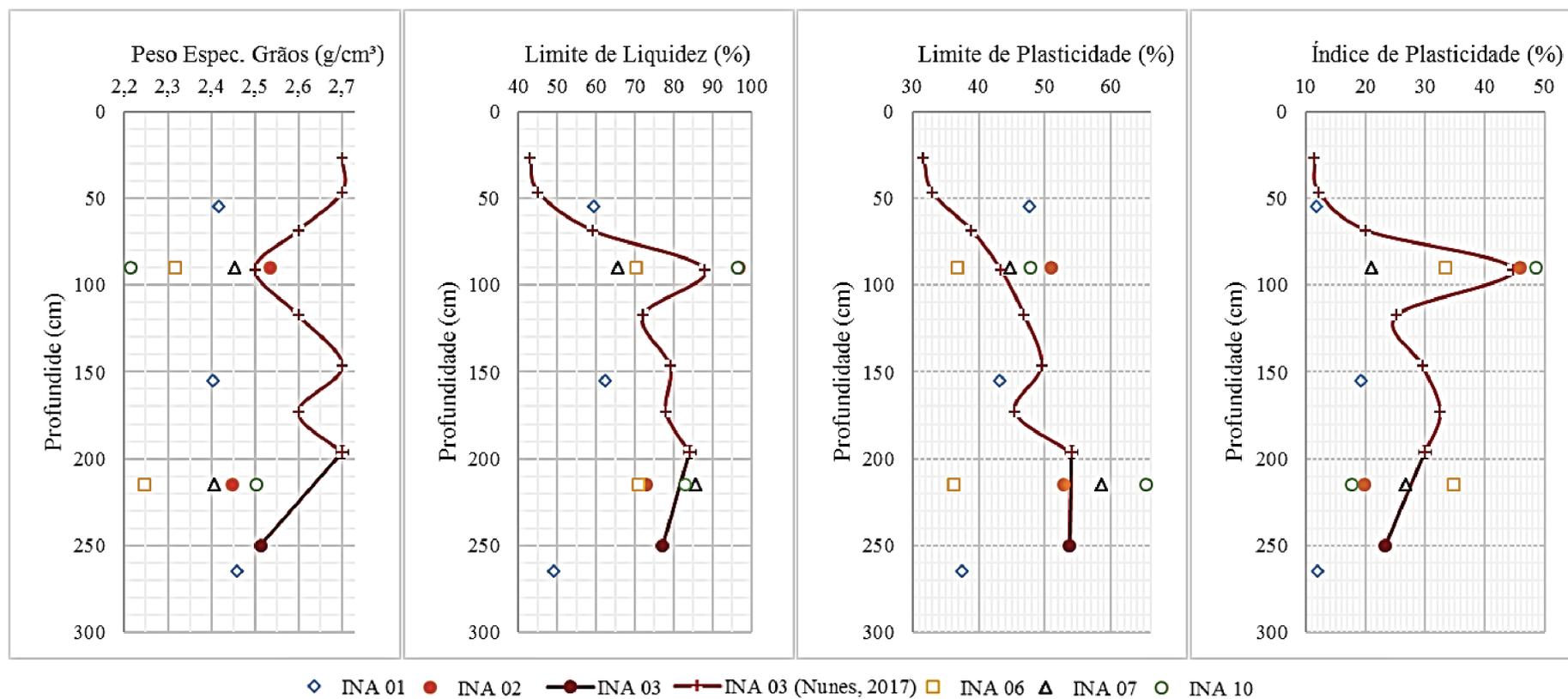
plotados na Figura 61. Percebe-se que em termos de consistência, as médias obtidas na análise dos solos residuais de granito e diabásio do presente trabalho se assemelham. Dentre todas as amostras estudadas, somente uma não se classifica como um silte de alta compressibilidade, estando no limite entre o silte com alta compressibilidade e o com baixa compressibilidade. A média obtida para os solos de origem granítica apresentam coerência com os resultados obtidos por Nunes (2017), Raimundo (1998), e Massocco (2017). Os resultados obtidos para os solos diabásicos, por sua vez, se assemelham com os obtidos por Nunes (2017), se distanciando um pouco mais dos obtidos por Raimundo (1998) e Bim (2015).

Figura 59 - Variação do peso específico dos grãos e dos limites de consistência ao longo da profundidade do solo residual de granito.



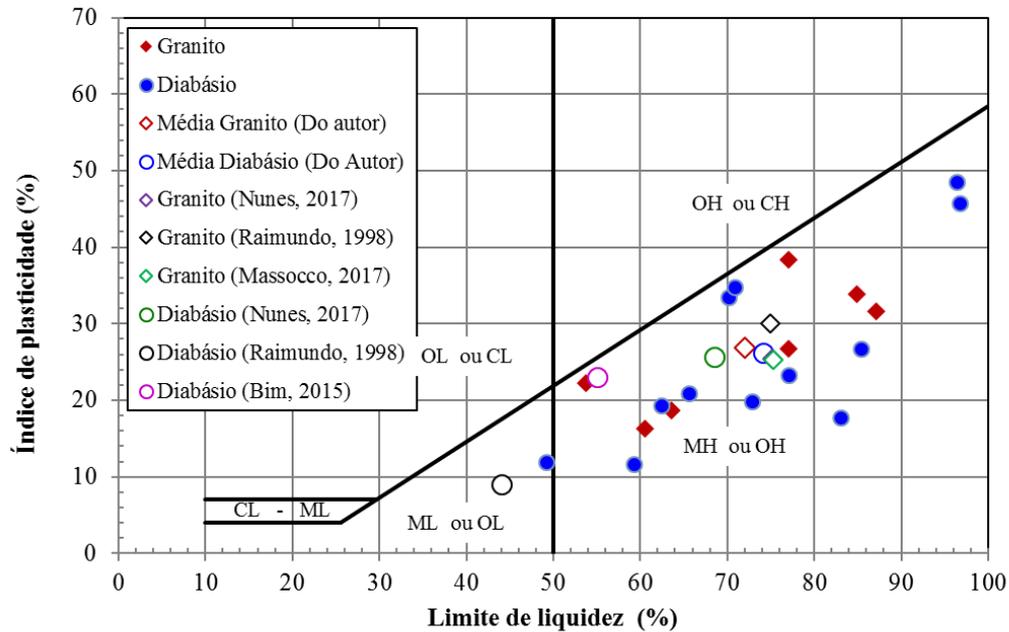
Fonte: O autor.

Figura 60 - Variação do peso específico dos grãos e dos limites de consistência ao longo da profundidade do solo residual de diabásio.



Fonte: O autor.

Figura 61 - Carta de plasticidade de Casagrande para as amostras analisadas e outros estudos da região.



Fonte: O autor.

Quadro 10 - Resumo dos índices de consistência obtidos por diferentes autores na região estudada.

Autor	Origem do solo	W_L (%)	W_P (%)	I_P (%)
Do autor (média)	Granito	72,0	45,1	26,8
Nunes, 2017	Granito	75,2	49,9	25,4
Raimundo, 1998	Granito	75,0	45,0	30,0
Massocco, 2017	Granito	75,3	50,2	25,3
Do autor (média)	Diabásio	74,1	47,9	26,2
Nunes, 2017	Diabásio	68,5	42,8	25,7
Raimundo, 1998	Diabásio	44,0	35,0	9,0
Bim, 2015	Diabásio	55,0	32,0	23,0

Compilação: O autor.

Os dados referentes a distribuição das frações granulométricas ao longo da profundidade para os solos residuais de granito podem ser vistos no Quadro 11. As amostras marcadas com asterisco (*) são resultados obtidos por Nunes, 2017.

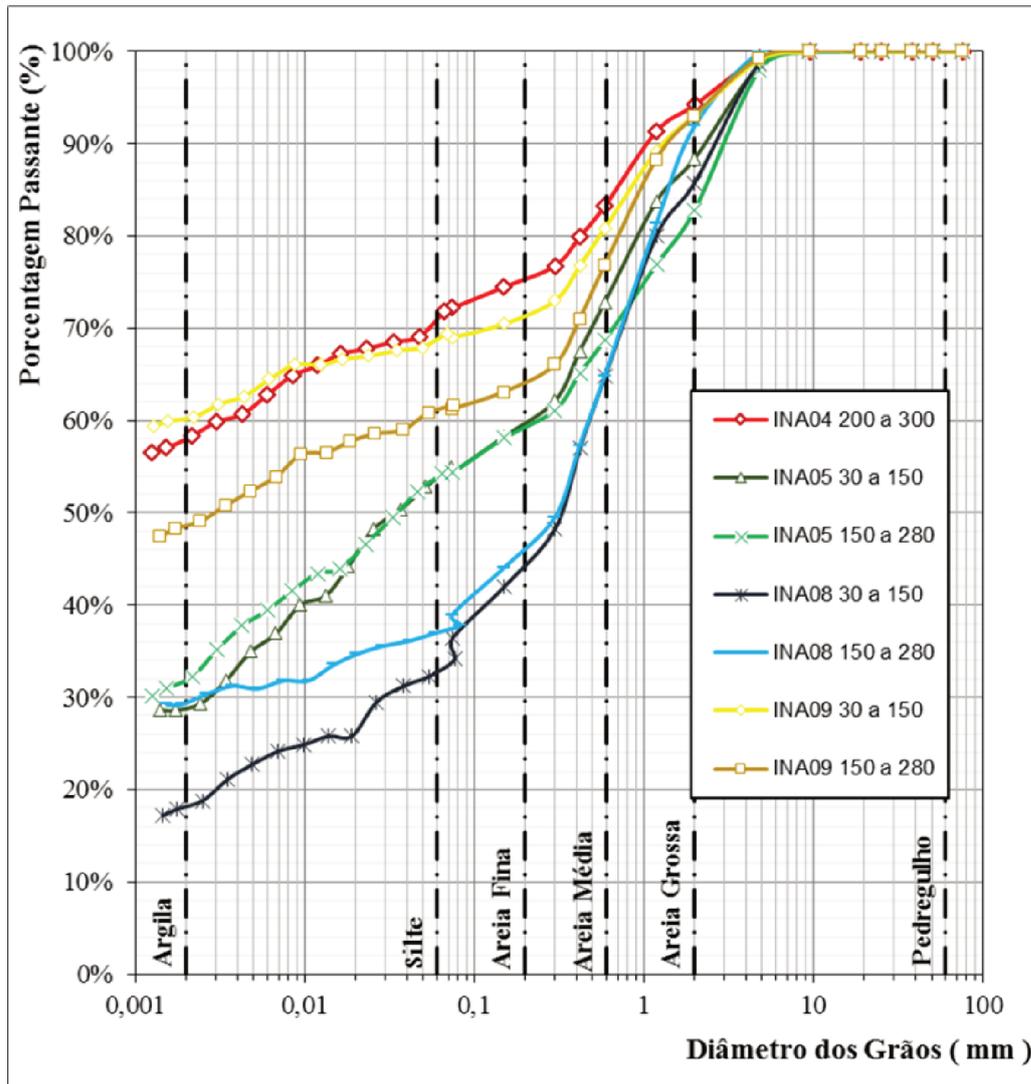
Quadro 11 - Distribuição granulométrica do solo residual de granito.

Amostra (INA)	Prof. (cm)	Frações distribuídas por profundidade (%)					
		Argila	Silte	Areia Fina	Areia Méd.	Areia Gr.	Pedreg.
04	* 0 a 30	12,2	18,7	2,0	15,1	30,2	21,8
	* 30 a 50	38,1	26,4	1,2	11,0	13,8	9,5
	* 50 a 80	62,7	5,1	1,8	9,9	11,4	9,1
	* 80 a 100	55,5	11,8	2,2	9,4	13,6	7,5
	* 100 a 120	55,5	9,7	2,6	9,6	11,4	11,2
	* 120 a 150	50,6	12,5	2,8	10,3	12,8	11,1
	* 150 a 170	45,6	17,8	2,1	9,5	11,7	13,2
	* 170 a 190	40,8	15,8	6,5	12,0	12,8	12,0
	* 190 a 210	65,0	9,3	2,0	6,5	10,9	6,3
	200 a 300	58,3	13,5	2,6	8,8	10,9	5,8
05	30 a 150	29,4	25,5	3,4	14,5	15,6	11,6
	150 a 280	32,3	21,9	3,9	10,6	14,1	17,2
08	30 a 150	18,8	15,3	7,9	22,8	21,0	14,2
	150 a 280	30,4	7,5	6,2	20,8	27,1	8,0
09	30 a 150	60,4	9,1	1,0	10,4	12,3	6,9
	150 a 280	49,1	12,5	1,5	13,7	16,2	7,0
Valor médio (somente do autor)		39,8	15,1	3,8	14,5	16,7	10,1

Fonte: O autor e Nunes (2017).

Pode-se perceber que as amostras apresentam heterogeneidade em relação a distribuição granulométrica. As amostras do INA 04, 05 e 09 apresentam predominância das frações finas (argila e silte), enquanto o INA 08 é predominantemente arenoso. Apesar da condição de predominância argilosa no INA 05, o mesmo apresentou maior fração de pedregulho. Os resultados estão apresentados de maneira gráfica nas Figuras 62, 63 e 64. Na Figura 63 os dados referentes ao INA04 foram complementados com os obtidos no trabalho de Nunes, 2017, que podem ser vistos no Quadro 11, indicados com o asterisco (*).

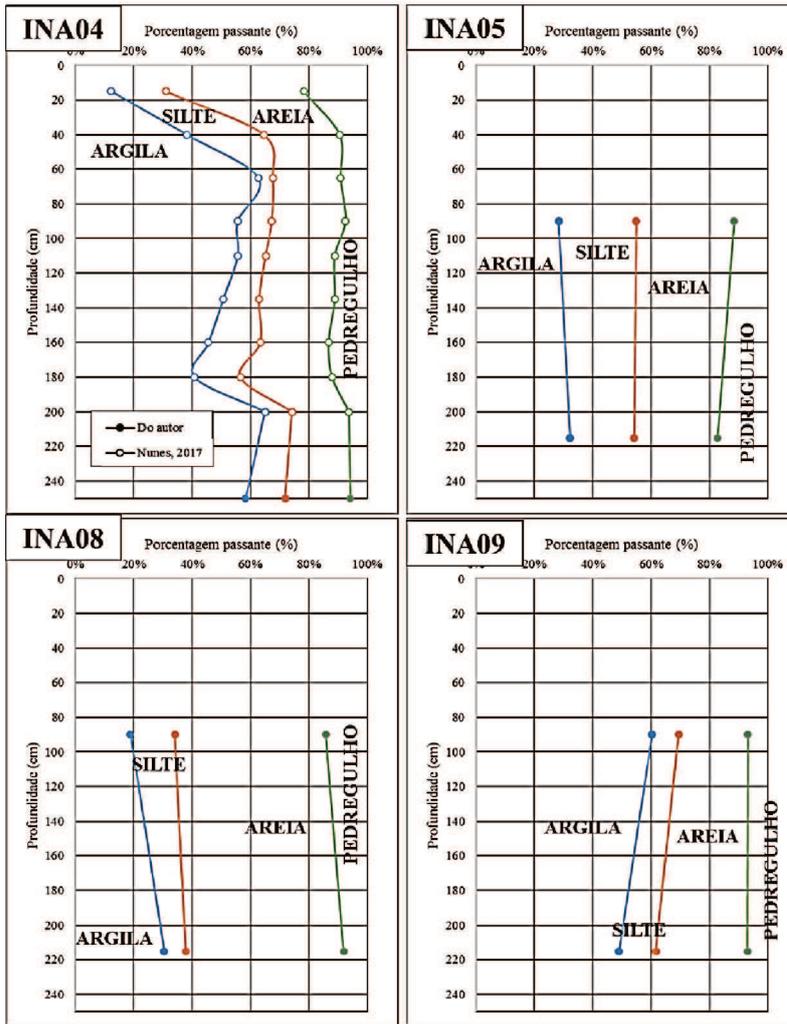
Figura 62 - Análise granulométrica do solo residual de granito.



Fonte: O autor.

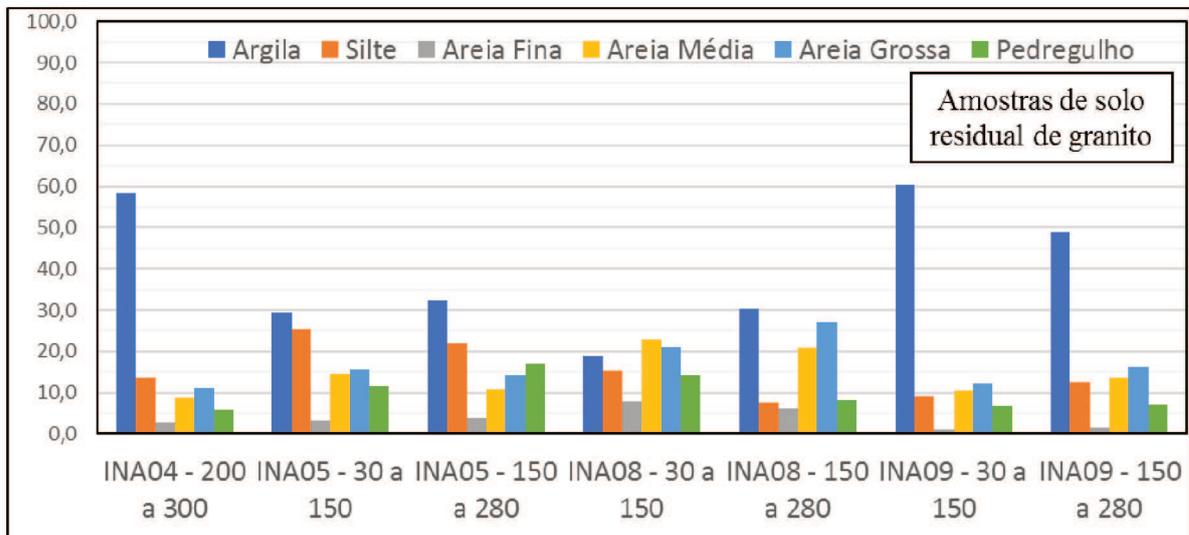
Nota-se um amplo espectro de variação nas distribuições granulométricas, confirmando a heterogeneidade das amostras. Apesar disso, nota-se semelhança em alguns pares de curvas, destacando-se as duas amostras no INA 05 e a curva do INA 04 e da camada superficial do INA 09, sendo as duas primeiras mais grosseiras (menos finos e maiores índices de material arenoso), enquanto as duas últimas mais argilosas.

Figura 63 - Distribuição granulométrica das amostras do solo residual de granito.



Fonte: O autor.

Figura 64 - Distribuição granulométrica detalhada por amostra do solo residual de granito.



Fonte: O autor.

Percebe-se que no INA 04 o perfil passa a ser predominantemente argiloso a partir da profundidade aproximada de 70 centímetros. A partir de 200 cm, o perfil não sofre alterações significativas. O perfil do INA 05 se mantém praticamente idêntico nas duas profundidades estudadas. No INA 08 nota-se o aumento do teor argiloso com o aumento da profundidade, enquanto no INA 09 ocorre o contrário, com a diminuição dos percentuais argilosos.

Os dados referentes as análises granulométricas dos solos residuais de diabásio podem ser encontrados, por sua vez, no Quadro 12. As amostras marcadas com asterisco (*) são resultados obtidos por Nunes, 2017.

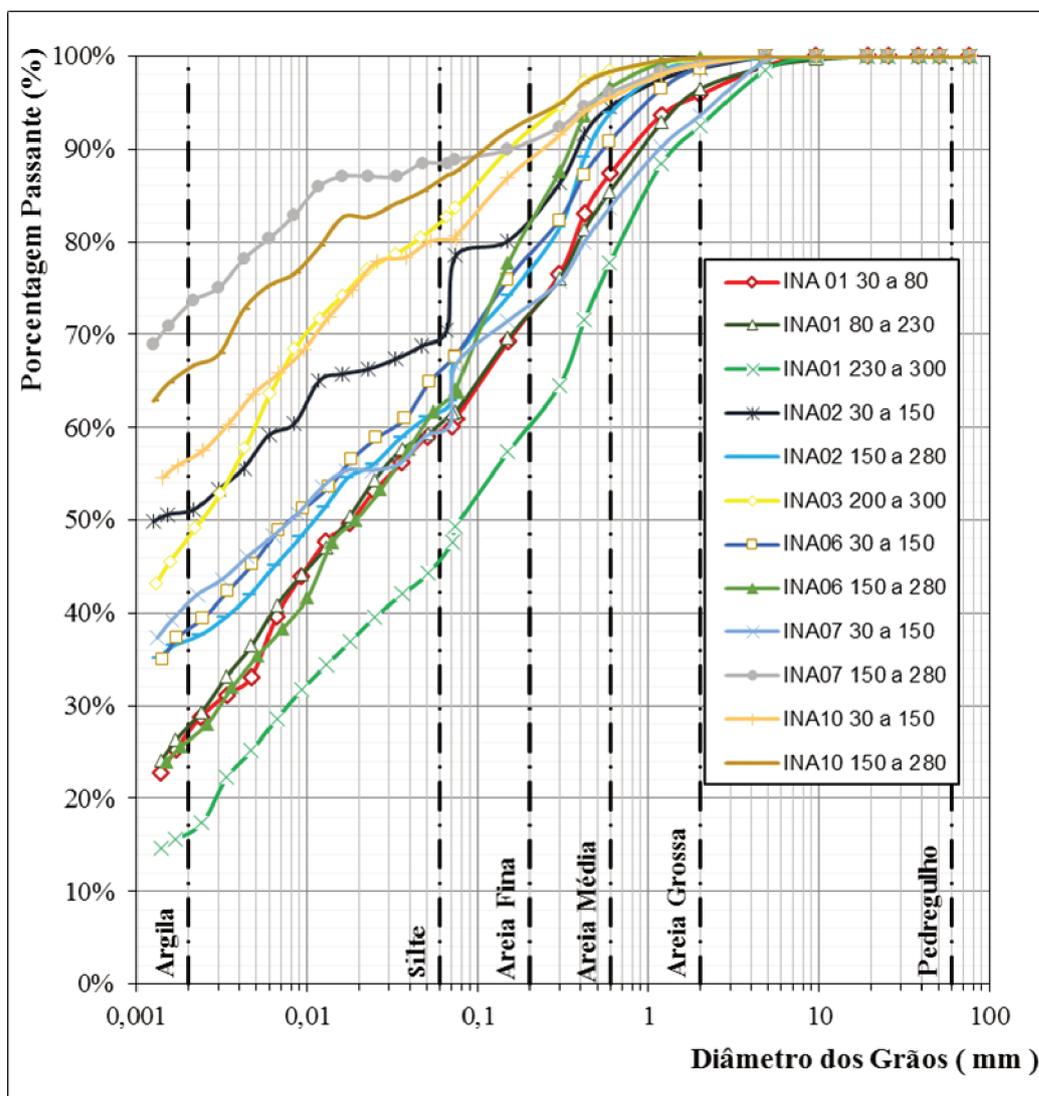
Quadro 12 - Distribuição granulométrica do solo residual de diabásio.

Amostra (INA)	Prof. (cm)	Frações distribuídas por profundidade (%)					
		Argila	Silte	Areia Fina	Areia Méd.	Areia Gr.	Pedreg.
1	30 a 80	28,8	31,3	9,2	18,1	8,5	4,1
	80 a 230	29,3	32,3	8	15,8	11,1	3,4
	230 a 300	17,4	30,3	9,7	20,4	14,7	7,5
2	30 a 150	51,1	19,3	9,7	14,5	4,1	1,3
	150 a 280	37,6	25,2	11,4	19,7	5,4	0,7
3	* 15 a 38	11,3	27,2	13,4	23,1	19,1	5,9
	* 38 a 55	26	21,4	7,7	22,3	16,5	6
	* 55 a 82	43,1	16,7	7,6	15	11,9	5,7
	* 82 a 100	58,4	10,8	3,5	12,1	11	4,2
	* 100 a 135	26,1	5,8	3	51	11,8	2,3
	* 135 a 158	50,1	15,9	6,5	13,7	11,7	2,1
	* 158 a 188	53,9	13,1	4,1	14,3	10,4	4,2
	* 188 a 205	45,9	16	1,5	12,5	22	2,1
	200 a 300	49,1	33,6	7,3	8,4	1,3	0,3
6	30 a 150	39,4	28,1	8,4	14,8	7,8	1,3
	150 a 280	28	35,8	13,9	18,9	3,2	0,2
7	30 a 150	41,9	18,4	11,1	12,2	9,9	6,4
	150 a 280	73,7	14,8	1,5	6,1	3,3	0,7
10	30 a 150	57,4	22,8	6,7	8,6	3,6	0,9
	150 a 280	66,7	20,5	4,7	6,4	1,5	0,1
Valor médio (do autor)		43,4	26	8,5	13,7	6,2	2,3

Fonte: O autor.

Percebe-se grande predominância das frações argilosas nas amostras dos solos residuais de diabásio, alcançando índices de quase 75% em uma amostra. Em quase todas as amostras encontrou-se mais de 50% de finos (argila e silte), com exceção da camada profunda do INA 01, onde existe alto índice de areia. Nota-se também baixos índices de pedregulhos. Isso era o esperado, visto que o diabásio é uma rocha onde se espera maior grau de alteração. Nas Figuras 65, 66 e 67 podem-se ver os resultados de maneira gráfica, com complementação dos dados do INA03, previamente estudado em Nunes (2017), indicados no Quadro 12 com um asterisco (*).

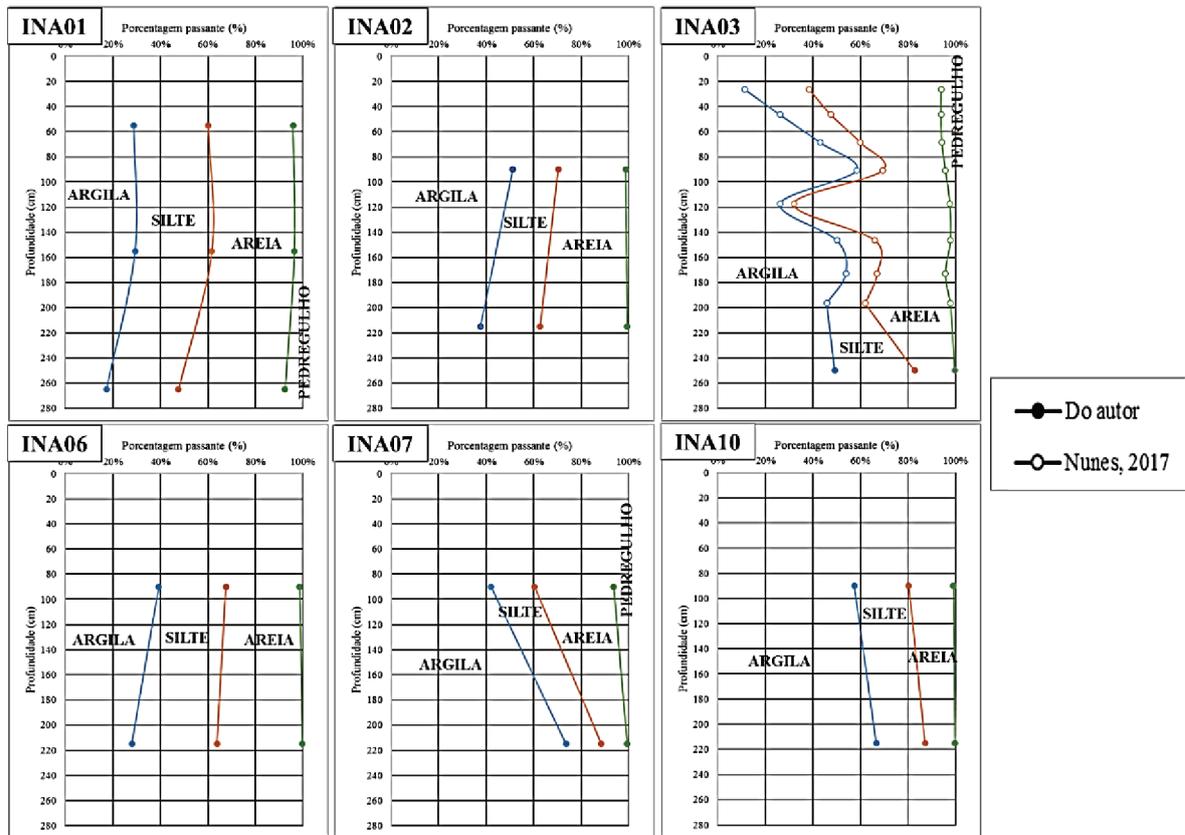
Figura 65 - Análise granulométrica dos solos residuais de diabásio.



Fonte: O autor.

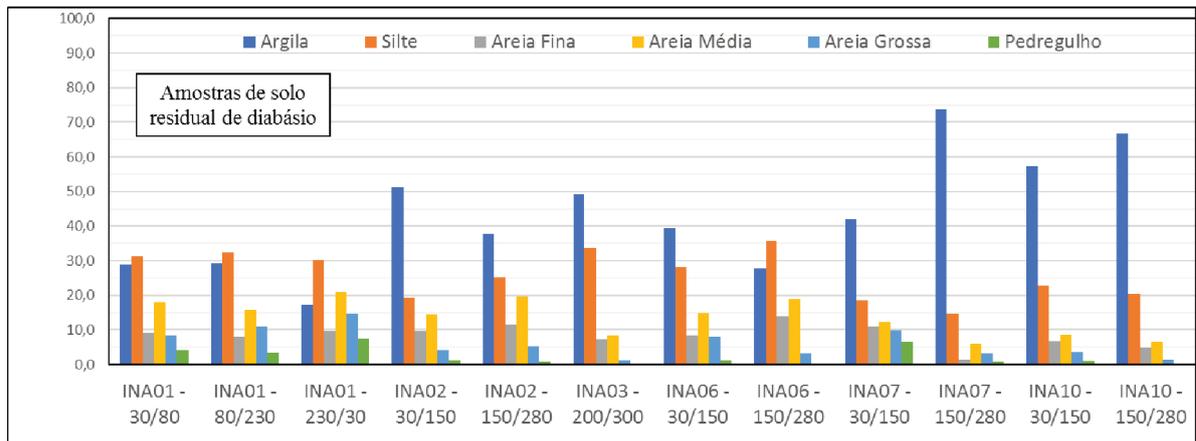
No solo residual de diabásio também é possível observar um amplo espectro de variação nas curvas granulométricas. Pode-se destacar a semelhança de distribuição das amostras superficial e intermediária do INA 01 e da amostra profunda do INA 06.

Figura 66 - Distribuição granulométrica das amostras de solo residual de diabásio



Fonte: O autor.

Figura 67 - Distribuição granulométrica detalhada por amostra do solo residual de diabásio.

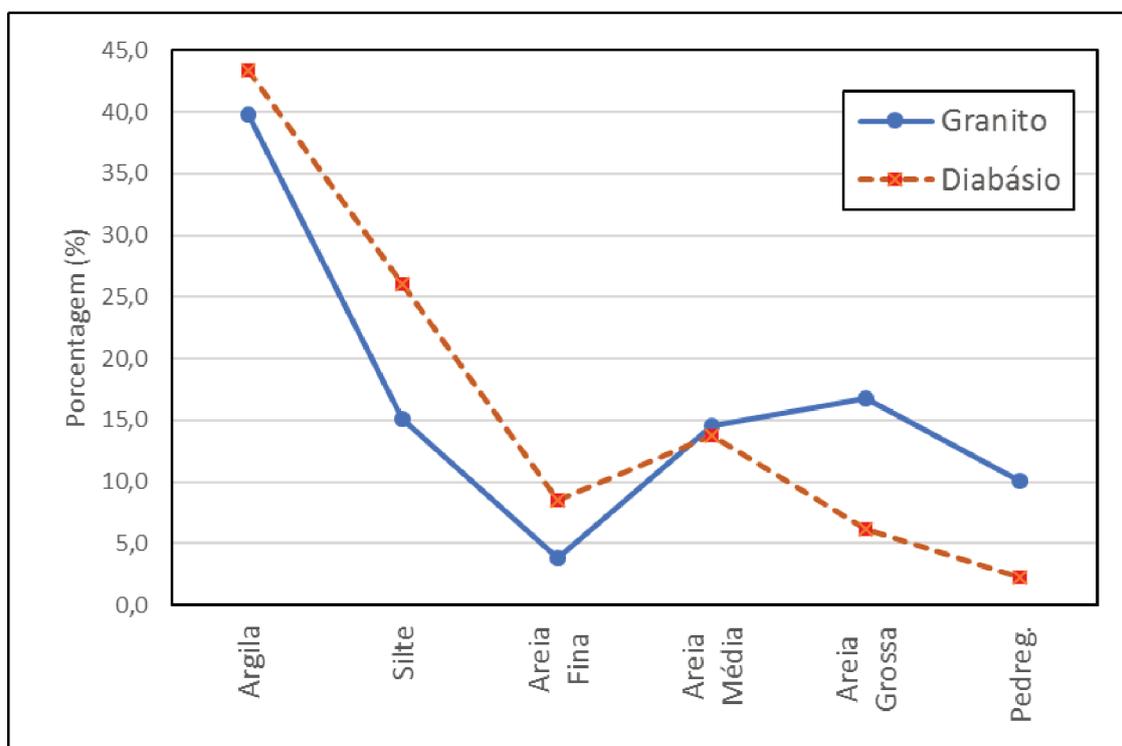


Fonte: O autor.

Nos perfis de distribuição dos solos é possível verificar que nos INA 01, 02 e 06 houve diminuição dos percentuais argilosos com o aumento da profundidade. Os INA 03, 07 e 10 apresentaram aumento desses índices com a profundidade, sendo um aumento considerável no INA 07. Analisando-se os dados de Nunes (2017), nota-se uma variação nos índices arenosos, indicando uma camada predominantemente arenosa por volta de 120 cm de profundidade.

Comparando-se os valores médios das frações granulométricas, correspondente à última linha dos Quadros 11 e 12, pode-se concluir que o solo de origem diabásica apresenta maior parcela fina que os solos de granito. As parcelas de argila, silte e areia fina são mais predominantes nesse tipo de solo, enquanto que as frações mais grosseiras, correspondentes a areia grossa e pedregulho, predominam no solo residual de granito. Este fato está relacionado à presença do quartzo no granito, que apresenta alta resistência ao intemperismo, não se transformando em partículas de menor diâmetro, permanecendo como a fração grosseira do solo. Na Figura 68 pode-se ver as comparações entre as frações dos solos.

Figura 68 - Comparação entre as frações granulométricas dos solos residuais de granito e diabásio.



Fonte: O autor.

4.3. ANÁLISE PLUVIOMÉTRICA

Durante o período de estudo, os índices pluviométricos da região foram monitorados através de pluviômetro instalado na UCAD, sob responsabilidade do EPAGRI/CIRAM. O período de monitoramento foi de seis meses (julho a dezembro de 2018).

O evento com maior volume de chuva aconteceu no dia 03 de setembro, com um volume de 73,80 mm em 24 horas, seguido do dia 25 de julho, quando choveram 65,00 mm em 24 horas. O mês mais chuvoso no estudo foi setembro, com um índice de chuva acumulado de 196,8 mm e somente 6 dias sem registros de precipitação. O mês de agosto, por sua vez,

registrou o menor volume de precipitação, com 82,6 mm de precipitação acumulado e 15 dias com registros zerados. Um resumo dos dados obtidos com base mensal pode ser visto no Quadro 13. Para fins de comparação estão indicados, nas últimas duas colunas do Quadro 13, os valores máximos das chuvas acumuladas mensais e do número máximo de dias sem chuva corresponde a uma série histórica que vai de 1948 a 2018. A quantidade de chuva diária, medida em mm no pluviômetro instalado na UCAD, podem ser visualizados no Quadro 14. Os dados do Quadro 14 podem ser visualizados em forma de gráfico na Figura 69.

O levantamento de dados se deu de maneira ininterrupta, com exceção aos eventos de chuva dos dias 20 a 24 de dezembro. Nesses dias houve chuva acumulada de 100,00 mm, concentrada em temporais rápidos e intensos, associados a rajadas de vento severas, provocando diversos transtornos na região. Não foi possível a realização de coletas nesses dias devido interdição do acesso ao UCAD por queda de árvore.

Quadro 13 - Resumo dos dados pluviométricos obtidos na UCAD e série histórica para Florianópolis (Fonte: EPAGRI/CIRAM).

MÊS	DADOS OBTIDOS (2018)			SÉRIE HISTÓRICA (1948-2018)	
	PLUV. (mm)	MÁXIMO 24h (mm)	DIAS SEM CHUVA	PLUV. (mm)	DIAS SEM CHUVA
Julho	135,40	65,0 (25/07)	15	88,8	21,1
Agosto	82,60	18,2 (21/08)	15	88,4	9,8
Setembro	196,80	73,8 (03/09)	6	129,6	12,8
Outubro	129,80	32,6 (26/10)	7	131,2	15
Novembro	133,40	33,8 (30/11)	9	130,4	14,4
Dezembro	125,60	45,6 (20/12)	15	145,3	15,7

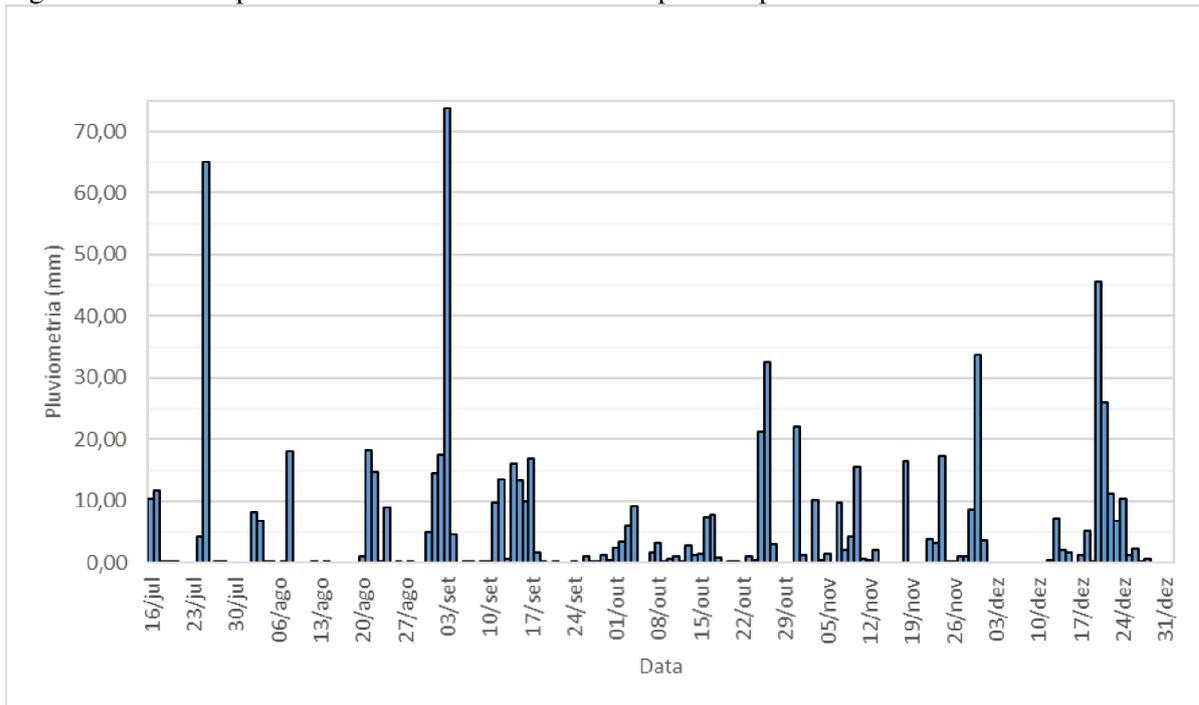
Fonte: EPAGRI/CIRAM.

Quadro 14 - Índices pluviométricos da região estudada, obtidos na UCAD.

Data	Pluv. (mm)																
16/jul	10,4	04/ago	0,2	23/ago	0,2	11/set	9,8	30/set	0,4	19/out	0	07/nov	9,8	26/nov	0,2	15/dez	1,6
17/jul	11,8	05/ago	0,2	24/ago	9	12/set	13,6	01/out	2,4	20/out	0,2	08/nov	2	27/nov	1	16/dez	0
18/jul	0,2	06/ago	0	25/ago	0	13/set	0,6	02/out	3,4	21/out	0,2	09/nov	4,2	28/nov	1	17/dez	1,2
19/jul	0,2	07/ago	0,2	26/ago	0,2	14/set	16,2	03/out	6	22/out	0	10/nov	15,6	29/nov	8,6	18/dez	5,2
20/jul	0,2	08/ago	18	27/ago	0	15/set	13,4	04/out	9,2	23/out	1	11/nov	0,6	30/nov	33,8	19/dez	0,2
21/jul	0	09/ago	0	28/ago	0,2	16/set	10	05/out	0	24/out	0,4	12/nov	0,4	01/dez	3,6	20/dez	45,6
22/jul	0	10/ago	0	29/ago	0	17/set	16,8	06/out	0	25/out	21,2	13/nov	2	02/dez	0	21/dez	26
23/jul	0	11/ago	0	30/ago	0	18/set	1,6	07/out	1,6	26/out	32,6	14/nov	0	03/dez	0	22/dez	11,2
24/jul	4,2	12/ago	0,2	31/ago	5	19/set	0,2	08/out	3,2	27/out	3	15/nov	0	04/dez	0	23/dez	6,8
25/jul	65	13/ago	0	01/set	14,6	20/set	0	09/out	0,2	28/out	0	16/nov	0	05/dez	0	24/dez	10,4
26/jul	0	14/ago	0,2	02/set	17,4	21/set	0,2	10/out	0,6	29/out	0	17/nov	0	06/dez	0	25/dez	1,2
27/jul	0,2	15/ago	0	03/set	73,8	22/set	0	11/out	1	30/out	0	18/nov	16,6	07/dez	0	26/dez	2,2
28/jul	0,2	16/ago	0	04/set	4,6	23/set	0	12/out	0,2	31/out	22	19/nov	0	08/dez	0	27/dez	0,2
29/jul	0	17/ago	0	05/set	0	24/set	0,2	13/out	2,8	01/nov	1,2	20/nov	0	09/dez	0	28/dez	0,6
30/jul	0	18/ago	0	06/set	0,2	25/set	0	14/out	1,2	02/nov	0	21/nov	0	10/dez	0	29/dez	0
31/jul	0	19/ago	0	07/set	0,2	26/set	1	15/out	1,4	03/nov	10,2	22/nov	3,8	11/dez	0	30/dez	0
01/ago	0	20/ago	1	08/set	0	27/set	0,2	16/out	7,4	04/nov	0,4	23/nov	3,2	12/dez	0,4	31/dez	0
02/ago	8,2	21/ago	18,2	09/set	0,2	28/set	0,2	17/out	7,8	05/nov	1,4	24/nov	17,2	13/dez	7,2	01/jan	0
03/ago	6,8	22/ago	14,8	10/set	0,2	29/set	1,2	18/out	0,8	06/nov	0	25/nov	0,2	14/dez	2		

Fonte: EPAGRI/CIRAM.

Figura 69 - Índices pluviométricos mensais de Florianópolis no período de monitoramento.



Fonte: EPAGRI/CIRAM

No Quadro 13 nota-se que todos os meses estudados foram típicos, similares a série histórica, com exceção de julho e setembro, onde houve um acréscimo de mais de 50% no total precipitado. Percebe-se que a quantidade de dias sem precipitação também foi expressivamente inferior nesses meses em 2018. Nos meses de outubro e novembro, apesar do acumulado de chuva ser semelhante à série histórica, o número de dias sem chuva é notavelmente menor, indicando eventos menos extremos nesses meses em 2018. No mês de agosto de 2018 ocorre o inverso, com precipitações semelhantes à série histórica, porém com um aumento dos dias sem chuva, o que aponta para eventos diários mais volumosos.

4.4. ANÁLISE DE NÍVEL D'ÁGUA SUBTERRÂNEA

Em paralelo ao acompanhamento da pluviometria na região, foi feito o monitoramento do nível de água nos dez indicadores de nível d'água (INA) instalados no UCAD. Nos primeiros meses de monitoramento, existiam somente os INA, porém a partir da segunda quinzena de outubro foram instalados quatro sensores de matriz granular (SMG), disponibilizados pelo Laboratório de Mapeamento Geotécnico (LamGeo/UFSC). Estes SMG foram colocados aos lados dos INA 02, 05, 08 e 09, que apresentavam maiores intervalos de tempo sem leitura.

Nas Figuras 70 a 79 podem ser vistos os resultados do monitoramento do nível do lençol freático obtidos de maneira direta com os INA e indiretamente pelos SMG, juntamente com os

dados diários de pluviometria. O monitoramento foi executado entre os meses de julho e dezembro de 2018. Nas figuras está indicado a profundidade de 3,0 e 5,0 m com uma reta cada. Essas são as limitações da instrumentação utilizada. Para os INA, existe a limitação física de leitura. Os INA foram instalados com 3,0 m de profundidade. Nos INA 02, 05, 08 e 09, as leituras abaixo desse nível foram inferidas através dos SMG. Esses sensores foram instalados a 3,0 m de profundidade, tendo suas leituras corrigidas pelas equações de calibração obtidas por Nunes (2017) e apresentadas no Quadro 07, no item 3.1 do presente trabalho. Nunes (2017) realizou ensaios de curva de retenção nos solos residuais de granito e diabásio da região, de onde se pode inferir a altura de ascensão capilar da água nesses dois tipos de solo. Conforme apresentado no item 3.1 do presente trabalho, para os solos residuais da região, a altura de ascensão capilar é de 5 m. Leituras superiores a 50 kPa, para os dois tipos de solo, apresentam muitas distorções, não sendo indicadores confiáveis do NA. Assim, é importante se destacar a limitação dos SMG nos gráficos, com a reta nos 5,0 m de profundidade. Os dados de leitura da instrumentação em função do tempo estão disponíveis nos Anexos do presente trabalho.

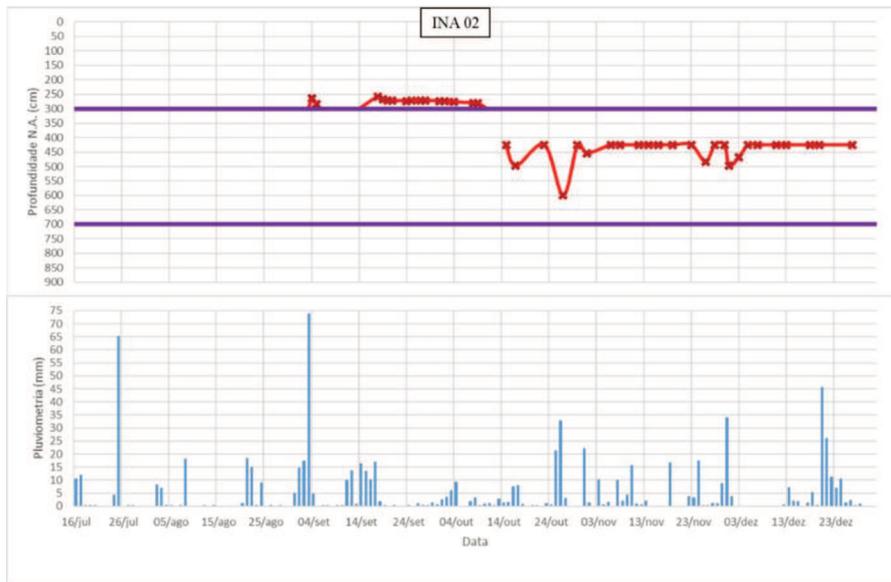
Nas Figuras 70 a 79 foram indicados através de linhas verticais nos gráficos os eventos em que foram simulados o cálculo de estabilidade de taludes. Maiores detalhamentos referentes a esse assunto podem ser vistos no item 4.5, Análise de Variação de Fatores de Segurança.

Figura 70 - Leituras de nível da água obtidas no INA 01 (solo residual de diabásio).



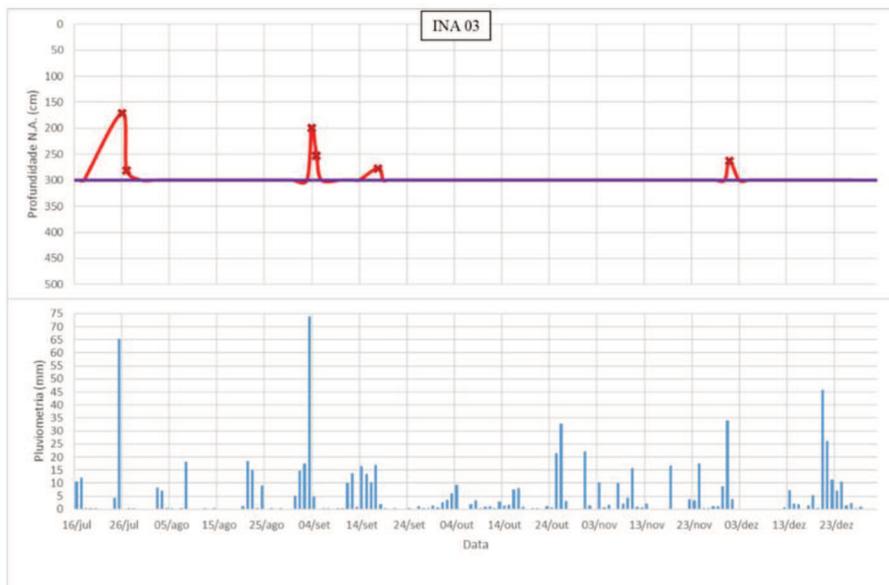
Fonte: O autor.

Figura 71 - Leituras de nível da água obtidas no INA 02 e sensor de sucção de medida indireta S3 (solo residual de diabásio).



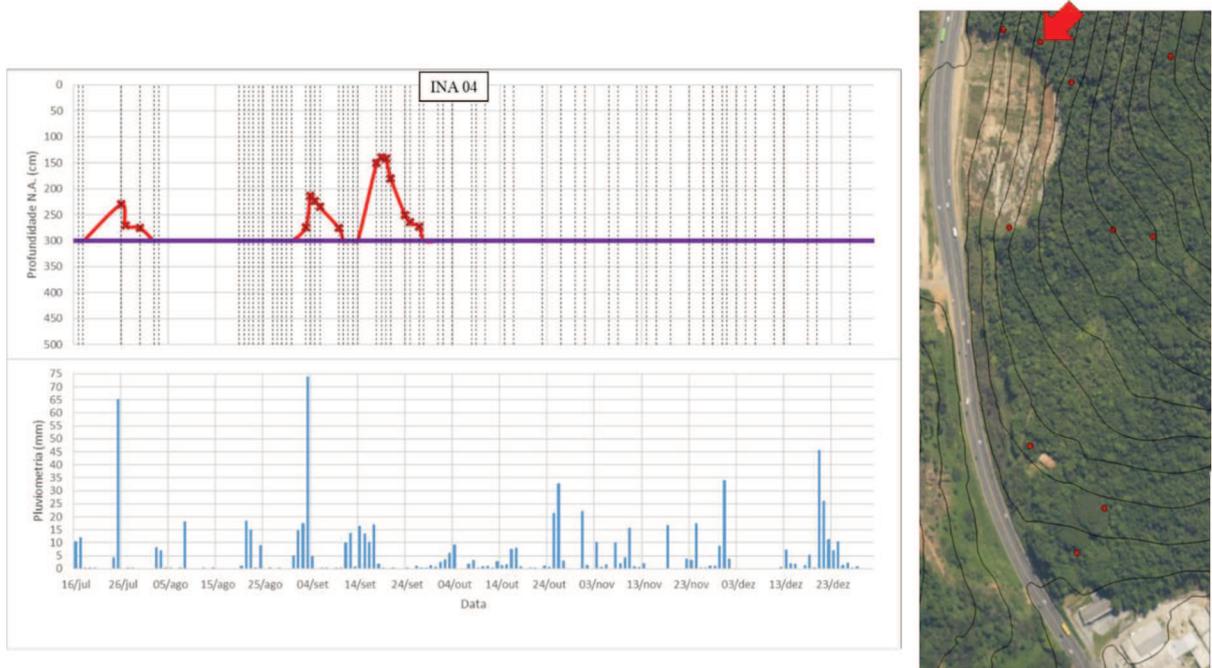
Fonte: O autor.

Figura 72 - Leituras de nível da água obtidas no INA 03 (solo residual de diabásio).



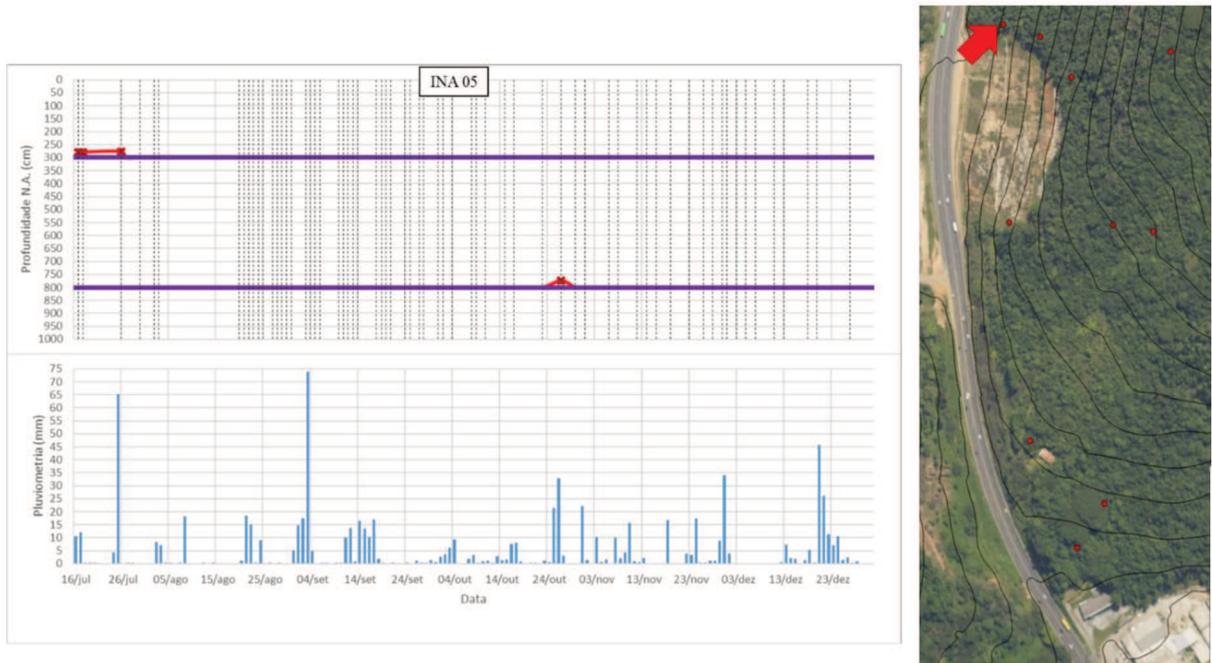
Fonte: O autor.

Figura 73 - Leituras de nível da água obtidas no INA 04 (solo residual de granito).



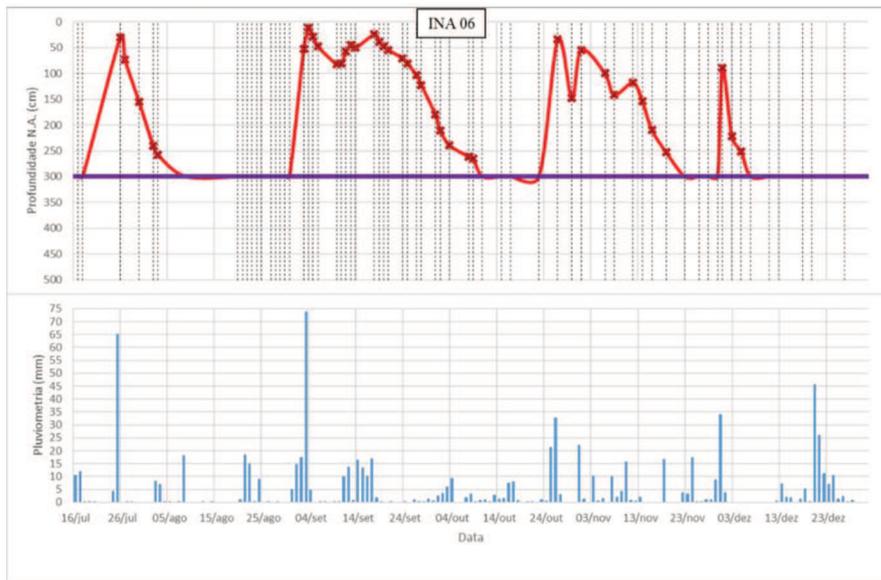
Fonte: O autor.

Figura 74 - Leituras de nível da água obtidas no INA 05 e sensor de sucção de medida indireta S4 (solo residual de granito).



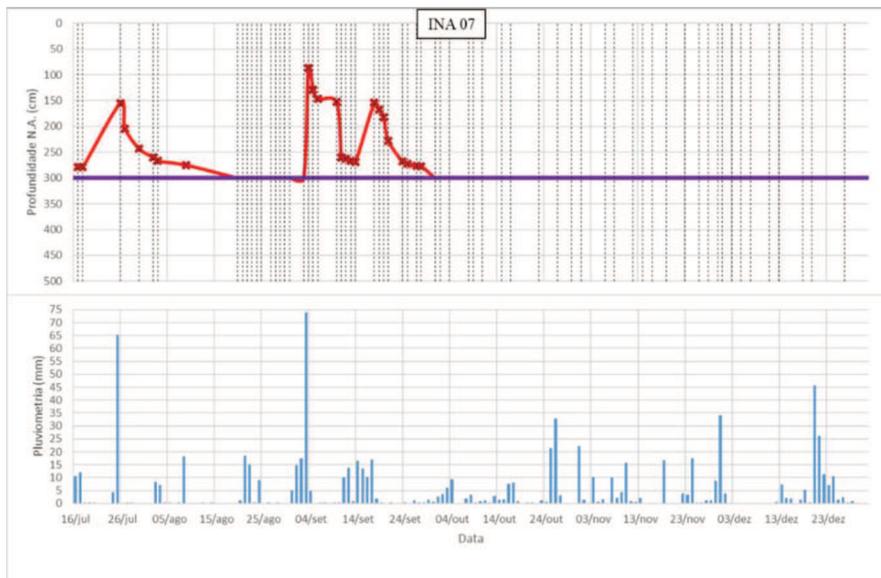
Fonte: O autor.

Figura 75 - Leituras de nível da água obtidas no INA 06 (solo residual de diabásio).



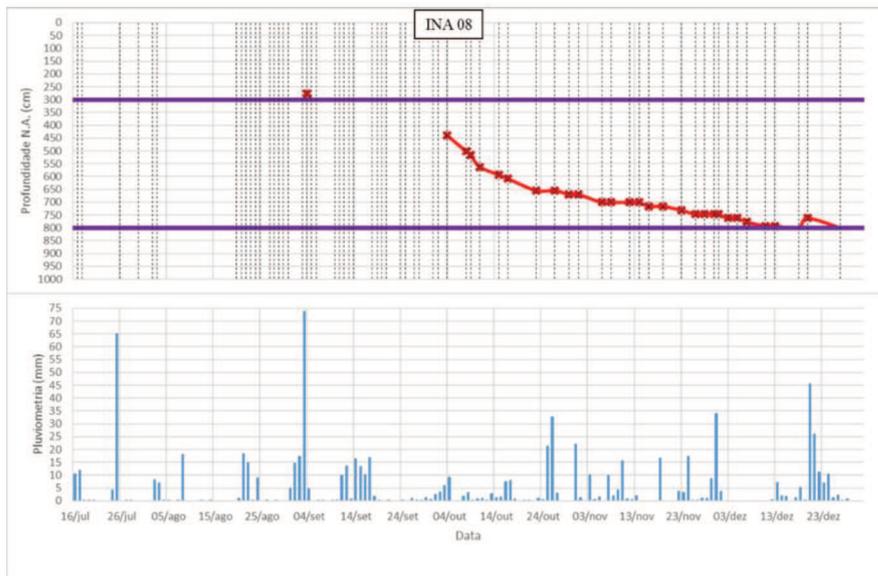
Fonte: O autor.

Figura 76 - Leituras de nível da água obtidas no INA 07 (solo residual de diabásio).



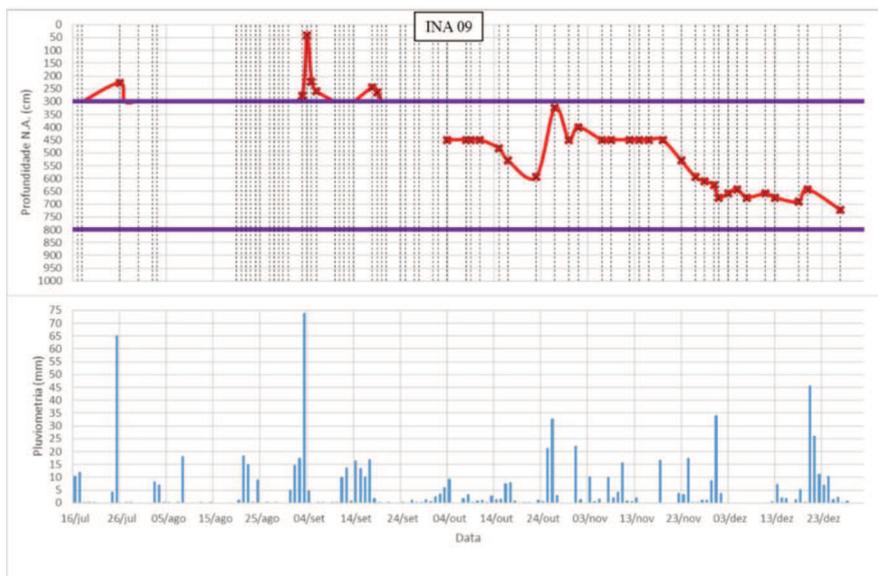
Fonte: O autor.

Figura 77 - Leituras de nível da água obtidas no INA 08 e sensor de sucção de medida indireta S1 (solo residual de granito).



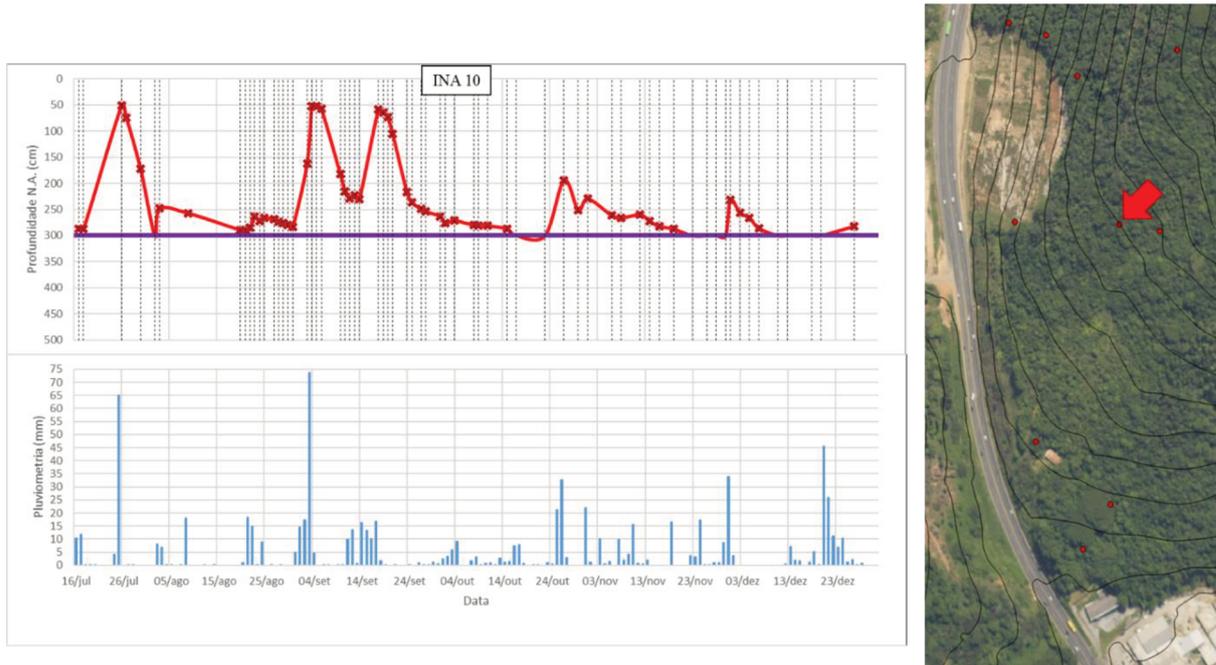
Fonte: O autor.

Figura 78 - Leituras de nível da água obtidas no INA 09 e sensor de sucção de medida indireta S2 (solo residual de granito).



Fonte: O autor.

Figura 79 - Leituras de nível da água obtidas no INA 10 (solo residual de diabásio).



Fonte: O autor.

O INA 01 foi instalado em uma região de cota menor, próximo ao estacionamento do UCAD (ver Figura 27). Na sua escavação percebeu-se a baixa recuperação de material durante a escavação do trecho compreendido entre 0,8 a 2,3 m de profundidade. Nessa região foi observado no interior da massa de solo a presença de blocos de rocha e de vazios entre os mesmos, caracterizando um sumidouro de água natural, com buracos abertos à céu aberto com profundidades de até 2 metros. Isto foi observado posteriormente à instalação do INA 01 e pode ser visualizado na Figura 80. Percebe-se que, mesmo nos eventos críticos de chuva, a profundidade do nível d'água nunca foi menor que 2,5 m, o que é justificável pela presença do canal de drenagem natural.

Figura 80 - Drenagem subterrânea observada no local de instalação do INA 01.



Fonte: Acervo próprio.

Os INA 02, 03, 05, 08 e 09 somente apresentaram alterações nos eventos extremos de precipitação, sendo insensíveis por praticamente todo o período de monitoramento (ver Figuras 71, 72, 74, 77 e 78).

Nos INA 06, 07 e 10 foi possível perceber as maiores variações de leitura na ocorrência de precipitações (Figuras 75, 76 e 79). O INA 06 apresentou maior flutuação de nível d'água, chegando a apresentar lâmina de água à 11 cm de profundidade do nível do terreno após o evento crítico do dia 03 de setembro. Além disso, apresentou alta retenção de água, sendo possível acompanhar a descarga desse potencial hidráulico por quase 40 dias, até o dia 12 de outubro. O INA 10 também apresentou comportamento semelhante.

A maior profundidade de lençol freático encontrada foi no INA 05. Isso pode ser justificado pela localização do ponto, na região onde foram executadas obras para estabilidade do talude que sofreu escorregamento em 2008. Tais obras foram executadas com sistema de drenagem superficial e profunda, o que pode explicar o baixo nível de água nessa área e atestar a eficiência dos dispositivos instalados.

No evento de precipitação do dia 03 de setembro, com chuva de 78,3 mm e acumulado de 30 mm nos três dias anteriores, pôde ser observado leitura em todos os INA, sendo única ocasião em que isso ocorreu em todo o período de monitoramento.

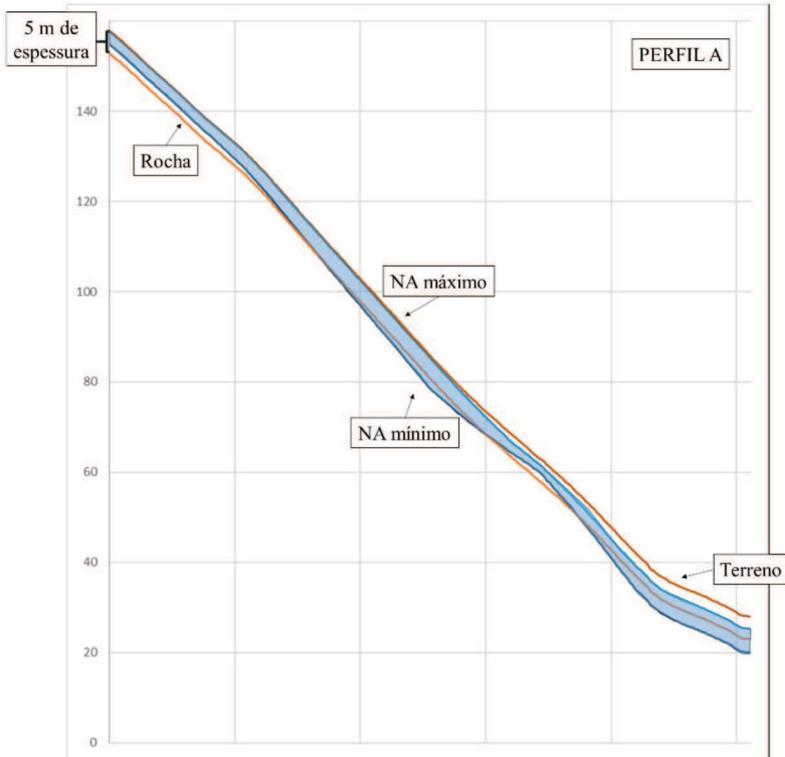
Em relação ao solo da região onde os INA foram instalados, percebe-se que os medidores instalados no solo residual de diabásio apresentam, em geral, maior sensibilidade aos eventos de precipitação. Os INA 06, 07 e 10, com maiores variações de leitura estão todos instalados na região do dique de diabásio.

Os INA instalados no solo residual de granito não apresentaram leituras na maior parte do período de monitoramento. Porém isso não é característica exclusiva do solo residual de granito, uma vez que os INA 02 e 03 também passaram boa parte do estudo sem leituras e estão localizados na região do dique de diabásio.

Em relação ao tempo de resposta às precipitações, não se observou diferenças significativas entre os 2 tipos de solo. Em geral, observa-se uma resposta rápida, sendo sensível a mudança no nível d'água nas horas seguintes aos eventos de precipitação mais intensos. O que se percebeu é que chuvas isoladas não alteraram os níveis d'água, como no exemplo das chuvas ocorridas por volta de 20 de agosto. Para as chuvas incorrerem em alterações nas leituras, é necessário um grande volume de precipitação em um evento único ou o acúmulo de chuvas em período antecessor à data de leitura. Como exemplo dessa condição, pode-se observar as chuvas das semanas de 21 a 24 de agosto e 11 a 17 de setembro. Nas duas semanas, observou-se volumes diários semelhantes, porém no primeiro caso não ocorreu alterações nas leituras. No caso de setembro, a alteração se tornou sensível a partir do sétimo dia de chuva consecutiva, totalizando um volume acumulado de 80,4 mm.

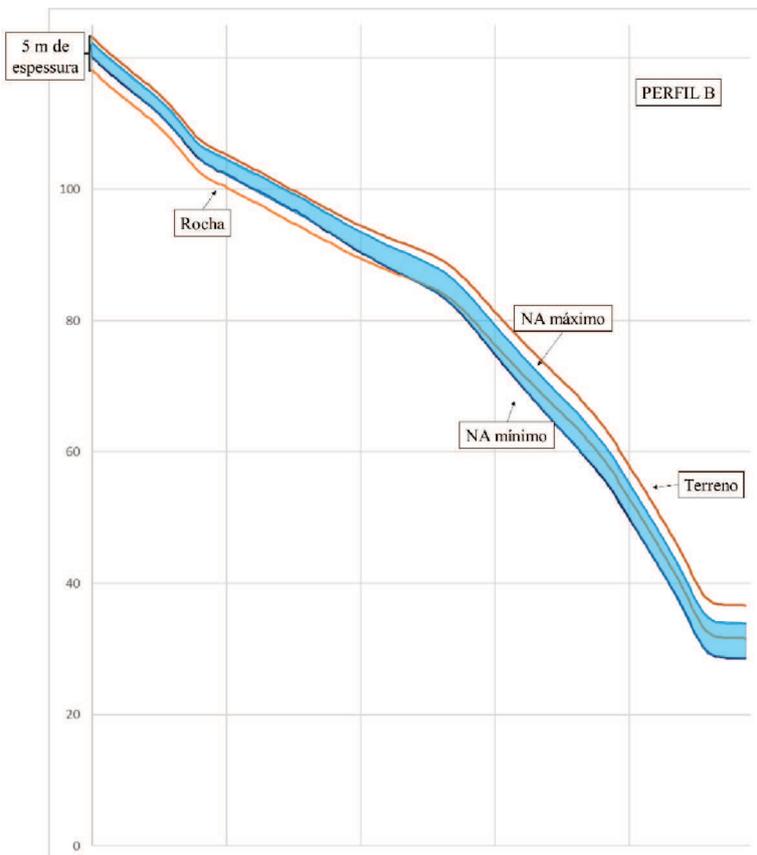
Nas Figuras 81 e 82 estão plotados as faixas de oscilação do NA para cada um dos perfis estudados, conforme o detectado pela instrumentação de campo.

Figura 81 - Variação do NA no Perfil A.



Fonte: O autor.

Figura 82 - Variação do NA no Perfil B.

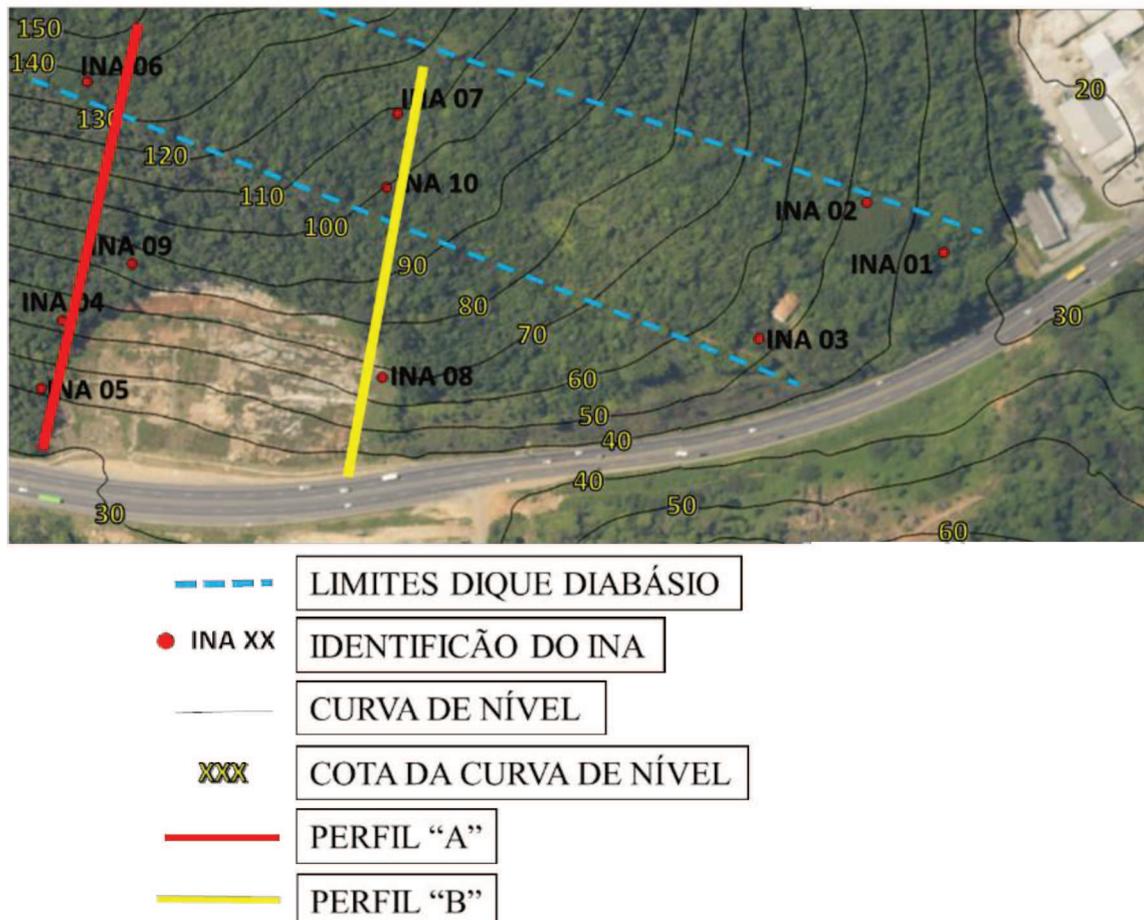


Fonte: O autor.

4.5. ANÁLISE VARIAÇÃO DE FATORES DE SEGURANÇA

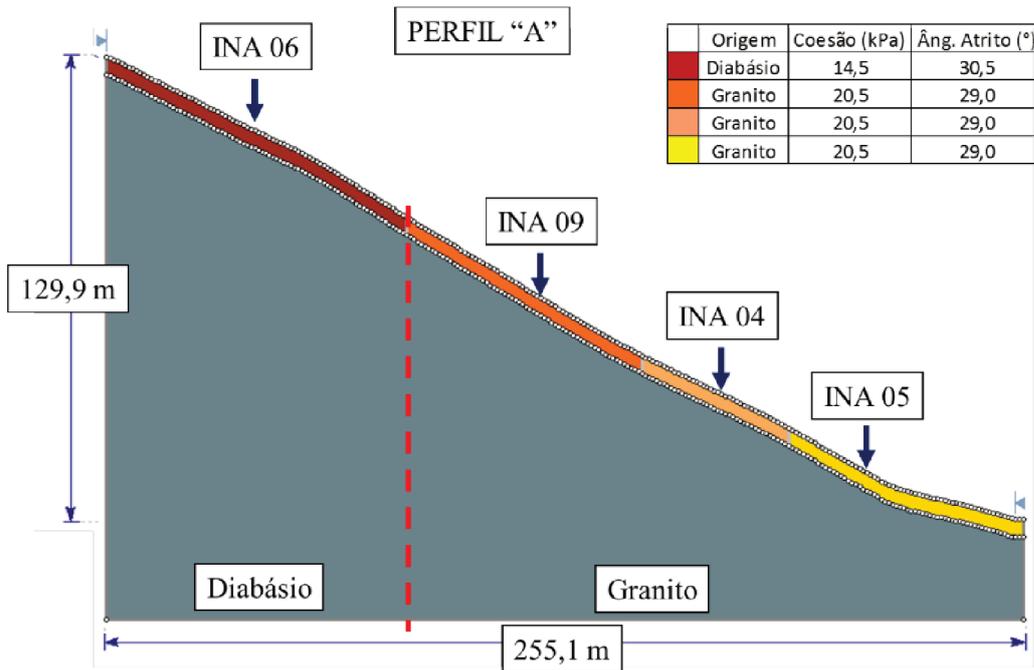
Com as variações do nível do lençol freático foi possível obter as variações do fator de segurança à movimento de massa ao longo do tempo. Dessa maneira, foram selecionados dois perfis da região estudada, aproximadamente ortogonais ao eixo da rodovia SC-401 e paralelos entre si, em cada uma das laterais das obras de contenção realizadas após o movimento de massa de 2008. A localização dos perfis estudados pode ser vista na Figura 83. O perfil “A” foi posicionado no alinhamento dos INA 04, 05, 06 e 09, enquanto o perfil “B” está no alinhamento dos INA 07, 08 e 10. Os perfis podem ser vistos nas Figuras 84 e 85 assim como os limites do dique de diabásio existente. Nos perfis mostrados nas Figuras 84 e 85 a camada de solo está dividida em zonas de influência para cada INA, que serão mais detalhadas nos próximos parágrafos.

Figura 83 - Localização dos perfis para estudo de estabilidade de talude e limites do dique de diabásio.



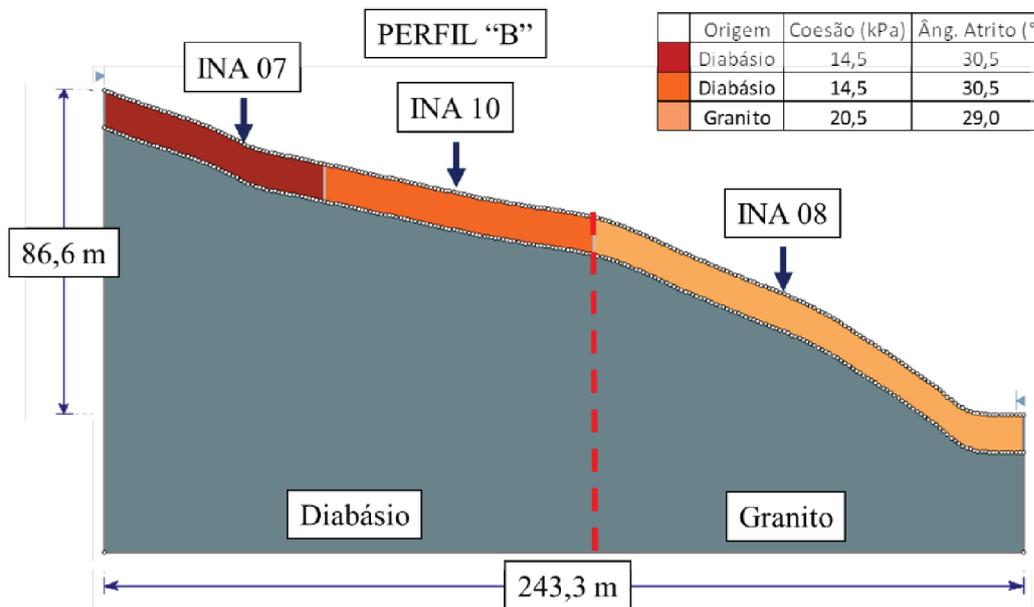
Fonte: Google Earth.

Figura 84 - Geometria do perfil "A", na hipótese de 5 metros de espessura de camada de solo.



Fonte: Desenho: O autor; Dados: Nunes (2017).

Figura 85 - Geometria do perfil "B", na hipótese de 10 metros de espessura de camada de solo.



Fonte: Desenho: O autor; Dados: Nunes (2017).

Para o cálculo dos fatores de segurança de estabilidade de taludes, foi utilizado o *software SLIDE 6.0*, da *RocScience*. A obtenção dos perfis, apresentados nas Figuras 84 e 85 foi possível com a utilização do *software QGis* e MDT (modelos digitais de terreno) disponibilizados pelo SIGSC.

Os trabalhos de campo permitiram identificar que os INA 04, 05, 08 e 09 são de solo residual de granito e os INA 06, 07 e 10 de solo residual de diabásio, conforme pode ser visto na Figura 27. Para determinação da espessura da camada de solo residual, trabalhou-se com duas hipóteses: 5 e 10 metros de espessura. Para a determinação desses valores, levou-se em consideração informações obtidas nos estudos de Raimundo (1998) (6,5 metros, em média), Bevilaqua (2004) (mais de 15 metros), Oliveira et al. (2012) (7,25 metros, em média), Nunes (2017) (cinco metros), e Oliveira et al. (2018) (2,6 metros, em média).

Os parâmetros de resistência do solo residual de granito utilizados nas simulações foram obtidos em Massocco (2017), através de ensaios de cisalhamento direto na condição inundada. Utilizou-se valores de ângulo de atrito interno ϕ_{gran} de $29,04^\circ$ e coesão C_{gran} de 20,478 kPa. Para o solo residual de diabásio, os dados foram obtidos de Nunes (2017), adotando-se ângulo de atrito interno ϕ_{diab} de $30,5^\circ$ e coesão C_{diab} de 14,48 kPa.

Para o cálculo do peso específico saturado dos solos residuais de granito foram utilizadas informações obtidas dos resultados de Massocco (2017). Em seu estudo, Massocco obteve dados de sucção e índices físicos de diferentes moldes de cisalhamento. Selecionou-se os dados referentes aos moldes na condição inundada, ou seja, com sucção nula. Desses moldes, obteve-se o índice de vazios e , com a utilização das relações entre os índices físicos, conforme visto na Equação 13, obteve-se o peso específico saturado. Para tais cálculos, adotou-se como peso específicos dos grãos a média dos resultados obtidos nos ensaios de caracterização física apresentadas no item 4.2, Caracterização do Solo. Adotou-se como peso específico saturado para os solos residuais de granito a média dos valores calculados. No Quadro 15 pode-se ver os resultados obtidos.

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_s + e \cdot \gamma_w}{1 + e} \quad (13)$$

Onde: γ_{sat} é o peso específico do solo na condição saturada, γ_s é o peso específicos dos grãos de solo (adotado como $26,3 \text{ kN/m}^3$), e é o índice de vazios e γ_w é o peso específico da água (adotado como 10 kN/m^3).

De maneira análoga, foram calculados os pesos específicos dos solos residuais de diabásio. Para esse tipo de solo, foram utilizadas informações dos moldes de cisalhamento obtidas em Nunes (2017). Os resultados podem ser vistos no Quadro 16.

Quadro 15 - Resultados obtidos no cálculo do peso específico saturado do solo residual de granito.

Massocco (2017)			Do autor	
Amostra	<i>e</i>	γ_d (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)
2	0,74	14,9	23,7	17,9
4	0,70	15,2	23,7	18,0
8	1,16	12,0	23,7	16,3
10	1,14	12,1	23,7	16,4
12	0,92	13,5	23,7	17,1
Média:		13,5	Média:	17,2

Fonte: O autor e Massocco (2017).

Quadro 16 - Resultados obtidos no cálculo do peso específico saturado do solo residual de diabásio.

Nunes (2017)			Do autor	
Amostra	<i>e</i>	γ_d (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)
1	1,19	11,8	24,1	16,4
2	0,69	16,0	24,1	18,3
3	0,65	16,4	24,1	18,5
4	0,58	17,1	24,1	18,9
5	0,69	16,0	24,1	18,3
Média:		15,5	Média:	18,1

Fonte: O autor e Nunes (2017).

Para melhor caracterização dos perfis, foi delimitado região de influência de cada INA. Os limites entre as regiões foram delimitados no ponto médio de distância entre cada INA. Para cada região de influência, foi calculado o valor do peso específico do solo nas condições naturais, utilizando-se da Equação 14. Adotam-se para o peso específico seco dos solos residuais de granito a média dos valores obtidos em Massocco (2017), e para o diabásio os valores médios obtidos por Nunes (2017), que podem ser vistos nos Quadros 03 e 04. Foram utilizados os valores médios de teor de umidade obtidos das amostras deformadas retiradas dos 10 furos de sondagem da presente pesquisa. No Quadro 17 podem ser vistos os valores de teor de umidade obtidos e os pesos específicos naturais de cada região de influência.

$$\gamma_{nat} = \gamma_d * (1 + w) \quad (14)$$

Onde: γ_{nat} é o peso específico do solo nas condições de umidade naturais, γ_d é o peso específico do solo seco e w é o teor de umidade.

Quadro 17 - Cálculo do peso específico do solo na condição de umidade natural.

Perfil	Amostra	Solo	h (%)	γ_d (kN/m ³)	γ_{nat} (kN/m ³)
A	INA04 - 2,0/3,0	Res. gran.	17,0	13,5	15,8
	INA05 - 0,3/1,5	Res. gran.	9,9		
	INA05 - 1,5/2,8		9,6		
	INA05 - Média		9,8	13,5	14,9
	INA06 - 0,3/1,5	Res. diab.	14,6		
	INA06 - 1,5/2,8		16,4		
	INA06 - Média		15,5	15,5	17,9
	INA09 - 0,3/1,5	Res. gran.	19,3		
	INA09 - 1,5/2,8		19,6		
	INA09 - Média		19,4	13,5	16,2
B	INA07 - 0,3/1,5	Res. diab.	7,9		
	INA07 - 1,5/2,8		14,4		
	INA07 - Média		11,2	15,5	17,2
	INA08 - 0,3/1,5	Res. gran.	8,2		
	INA08 - 1,5/2,8		16,4		
	INA08 - Média		19,4	13,5	15,2
	INA10 - 0,3/1,5	Res. diab.	11,4		
	INA10 - 1,5/2,8		19,6		
	INA10 - Média		15,5	15,5	17,9

Fonte: O autor.

Os parâmetros de resistência da rocha foram obtidos em Nunes (2017). Adotou-se o valor de 27 kN/m³ para o peso específico da rocha, independente da condição de umidade da mesma. Para os parâmetros de resistência, utilizou-se ângulo de atrito interno igual a 48,72° e coesão 25.000 kPa.

Foram simulados estados de ruptura circular e não-circular, através dos métodos de *Bishop* simplificado, *Morgenstern-Price*, *Spencer* e *Fellenius*. Observou-se assim a variação dos fatores de segurança ao longo do tempo, para cada perfil e espessura de camada de solo e acompanhando a variação do nível de água subterrâneo. Nos pontos onde não se obteve nível d'água, simulou-se a condição mais crítica, ou seja, adotou-se como nível d'água a limitação do medidor (3 metros de profundidade para os INA e 8 metros de profundidade para o SMG), uma vez que o NA, na realidade, está indeterminado, porém abaixo desse nível.

O que se observou é que os resultados obtidos através dos métodos de Bishop simplificado, Spencer e Morgenstern-Price não variam de maneira significativa. Para facilitar a visualização e as análises, optou-se por trabalhar com o valor médios desses 3 resultados, comparando-o com os obtidos pelo método de Fellenius. Nas Figuras 86 a 89 podem-se ver a comparação dos FS calculados para os 2 perfis, na hipótese de espessura de camada de solo de 5 metros, na condição de ruptura circular e não-circular, e na hipótese de espessura de solo de 10 metros, nas mesmas condições anteriores. Conforme exposto no item 2.3, Estabilidade de Taludes – Método das Fatias, o método Fellenius não é adequado para o cálculo de estabilidade na condição de superfície de ruptura não circular. Assim, em cada uma das figuras citadas anteriormente estão plotadas 3 curvas, sendo o FS calculado com o método Fellenius para a condição de superfície de ruptura circular, a média dos métodos Bishop simplificado, Spencer e Morgenstern-Price para a condição de superfície de ruptura circular e a mesma média para condição de superfície não circular. Nos Anexos do presente trabalho estão dispostos todos os resultados obtidos, descriminalizados por perfil, espessura de solo e método de cálculo.

Cabe ressaltar que a ocorrência de valores similares entre os métodos de Bishop simplificado, Spencer e Morgenstern-Price é uma particularidade das condições estudadas no presente trabalho, e não se configuram em realidade em outras situações.

Nas Figuras 90 e 91 podem ser vistos as superfícies críticas de ruptura para cada método, ou seja, o menor valor encontrado para cada método de cálculo em cada uma das situações estudadas.

De maneira geral, observando as Figuras 86 a 89 conclui-se que os fatores de segurança para rupturas não-circulares são sempre inferiores aos de rupturas circulares, mas, em geral, apresentam o mesmo comportamento. Também se observa, conforme esperado, menores valores de fator de segurança para maiores espessuras de solo residual.

Pode-se notar nas Figuras 86 e 87 que o perfil “A” apresenta alta sensibilidade às chuvas, apresentando queda expressiva no fator de segurança da estabilidade de taludes no dia seguinte aos eventos de chuva. O fator de segurança mínimo aconteceu no dia 04 de setembro, dia seguinte ao evento crítico de precipitação e chuva acumulada nas últimas 72 horas (73,8 e 105,8 mm, respectivamente). A única exceção observada foi nas chuvas dos dias 20 a 24 de dezembro. Houve interrupção na leitura dos níveis d’água subterrânea nesses dias devido interdição do acesso à região, com retomada somente no dia 27 de dezembro. É provável que houve a queda do fator de segurança, porém ela não foi registrada nesse período.

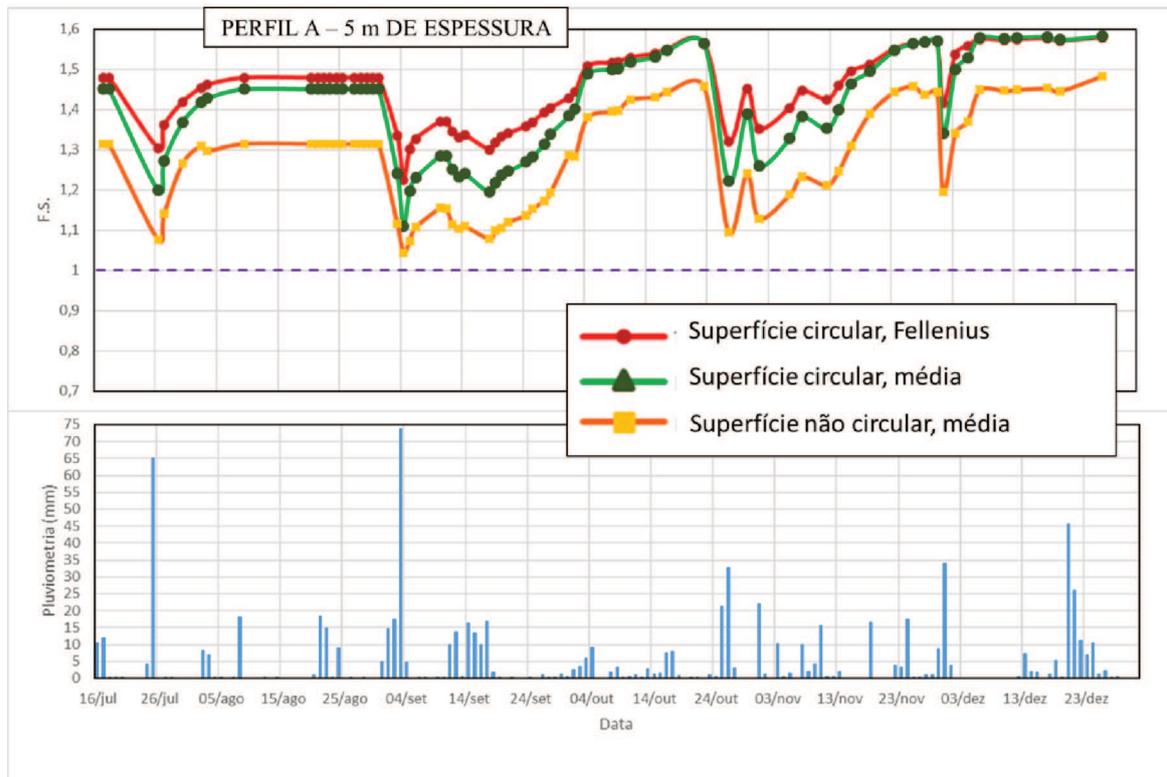
Quanto a profundidade da camada de solo residual, observou-se nas simulações com 10 metros de profundidade fatores de segurança muitos baixos, menores que 1. Fatores inferiores

à unidade significam a ruptura do talude, o que, felizmente, não aconteceu na região. Conclui-se que a espessura da camada de solo na região não pode ser da ordem de grandeza de 10 metros. Os valores encontrados para a condição de 5 metros de profundidade são mais coerentes, o que provavelmente indica uma maior semelhança com a situação real.

Quanto ao perfil “B”, nas Figuras 88 e 89 observa-se menor sensibilidade aos eventos de chuva, com FS mais estáveis. Nas simulações foi possível observar que o nível d’água medido nos INA 07 e 10 não influenciava a estabilidade do talude, sendo o fator determinante no cálculo a variação do nível no INA 08. Na primeira metade do período de leitura, sem a instalação do SMG, observa-se constância do fator calculado, com exceção do evento extremo de chuva do dia 04 de setembro. Após a instalação do SMG no INA 08, na segunda metade do período de leitura, observou-se variação do fator de segurança. Na simulação com 5 metros de espessura de solo não se observou mudança significativa nos fatores calculados. Uma explicação razoável para esse evento é o fato de que o NA detectado pelo SMG sempre apontou cota inferior a cota da rocha sã. Quanto a simulação com espessura de 10 metros de solo, nota-se que, mesmo com eventos de chuva, o fator de segurança tem tendência a aumentar, o que significa que esses volumes de chuva não influenciaram a estabilidade do talude. Na simulação com 10 metros de espessura de camada de solo, os fatores de segurança calculados para a ruptura não-circular se apresentam em vários eventos menores que 1, o que significaria o colapso do talude. Similar ao perfil “A”, isso leva ao entendimento que a espessura de solo na região é mais próxima de 5 metros do que de 10. Nota-se, porém, valores menos extremos que no perfil “A”, o que pode significar maiores espessuras na região em relação ao seu par.

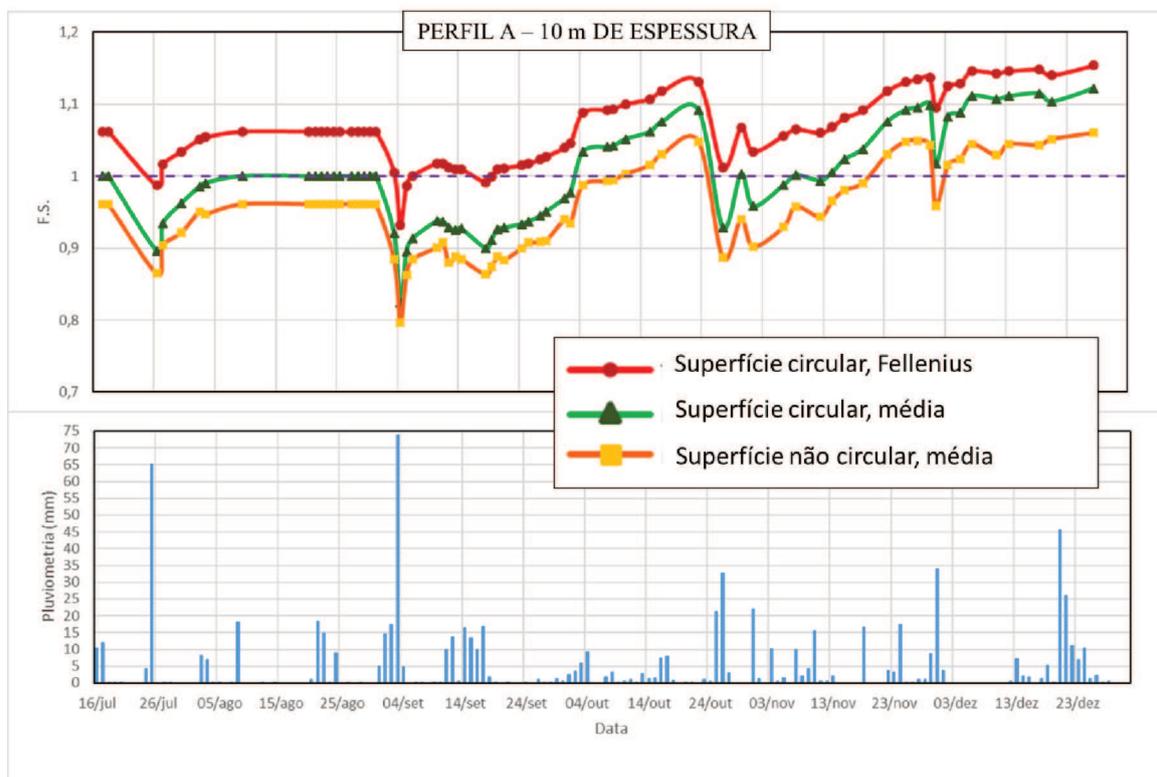
Os FS obtidos com o método de *Fellenius* são maiores que os obtidos pelos outros métodos. Conforme exposto no item 2.3, Estabilidade de Taludes – Método das Fatias, tal método é menos rigoroso que os demais. Apesar disso, observou-se que no Perfil B, considerando-se a hipótese de 10 m de espessura de camada de solo, condição de ruptura circular, ele apresentou FS menores que os obtidos pelos outros métodos, ditos mais rigorosos. Nos Anexos do presente trabalho podem-se ver todos os resultados calculados.

Figura 86 - Variação do fator de segurança no perfil “A”, hipótese de 5 m de espessura de solo.



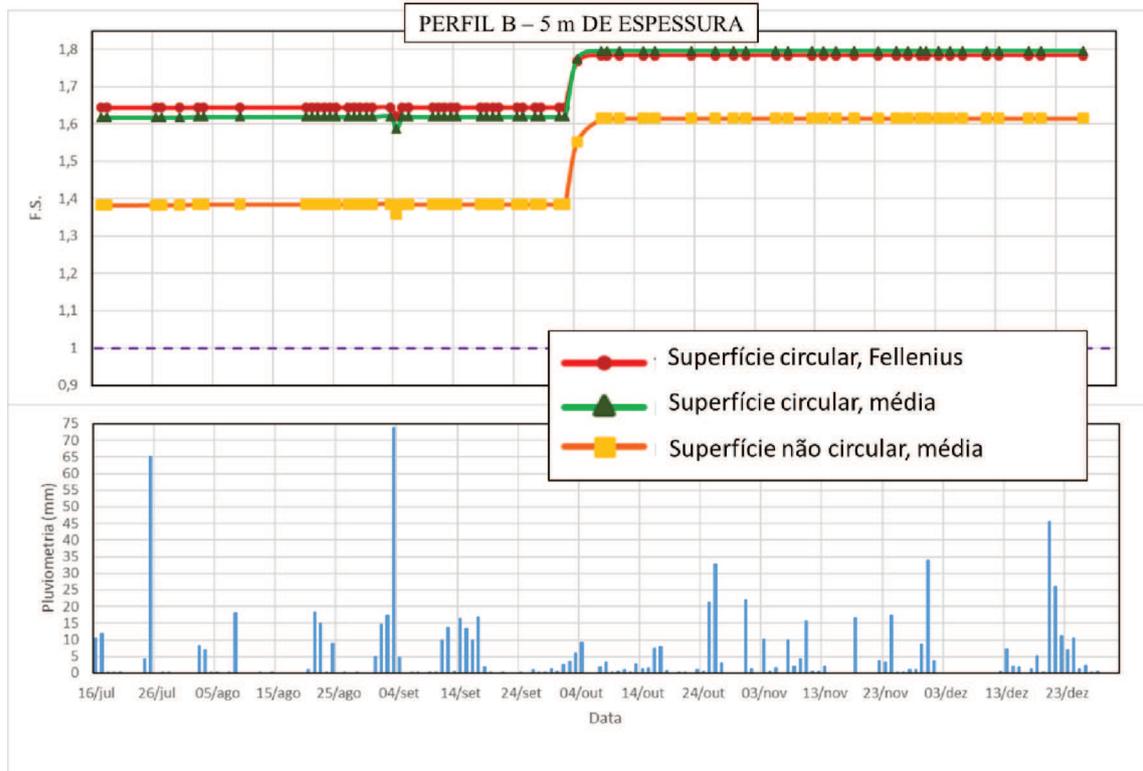
Fonte: O autor.

Figura 87 - Variação do fator de segurança no perfil “A”, hipótese de 10 m de espessura de solo.



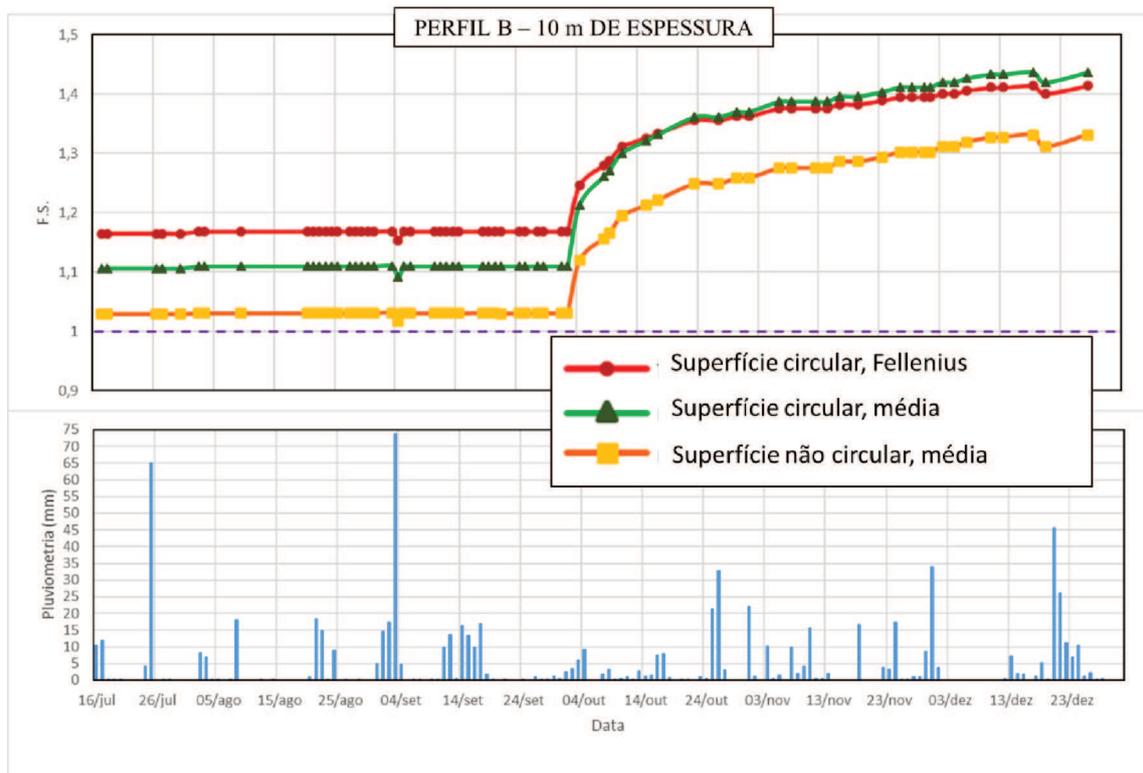
Fonte: O autor.

Figura 88 - Variação do fator de segurança no perfil “B”, hipótese de 5 m de espessura de solo.



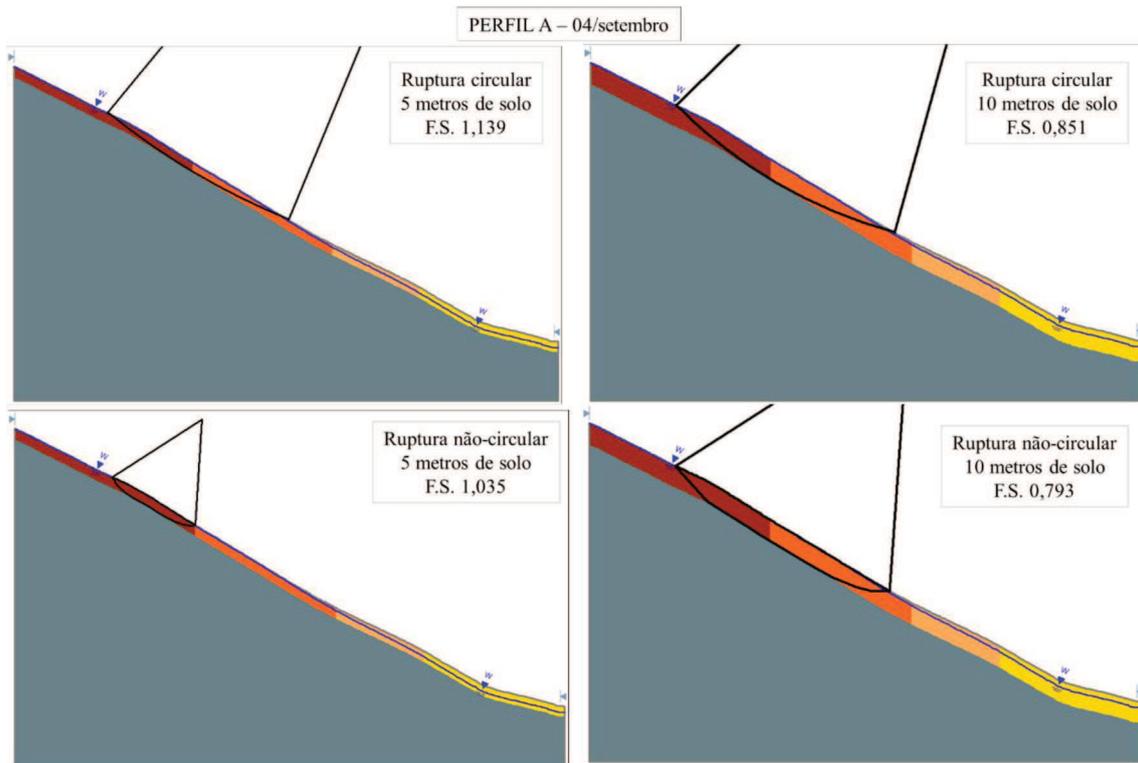
Fonte: O autor.

Figura 89 - Variação do fator de segurança no perfil “B”, hipótese de 10 m de espessura de solo.



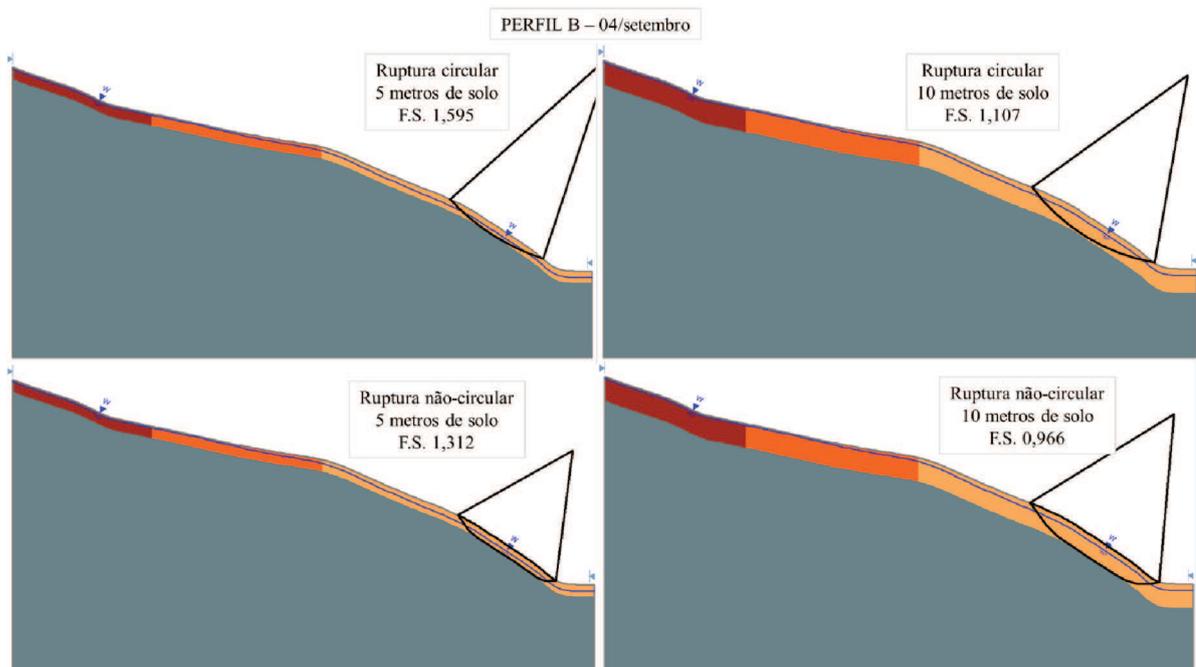
Fonte: O autor.

Figura 90 - Superfícies de rupturas críticas nas diferentes simulações do perfil “A”.



Fonte: O autor.

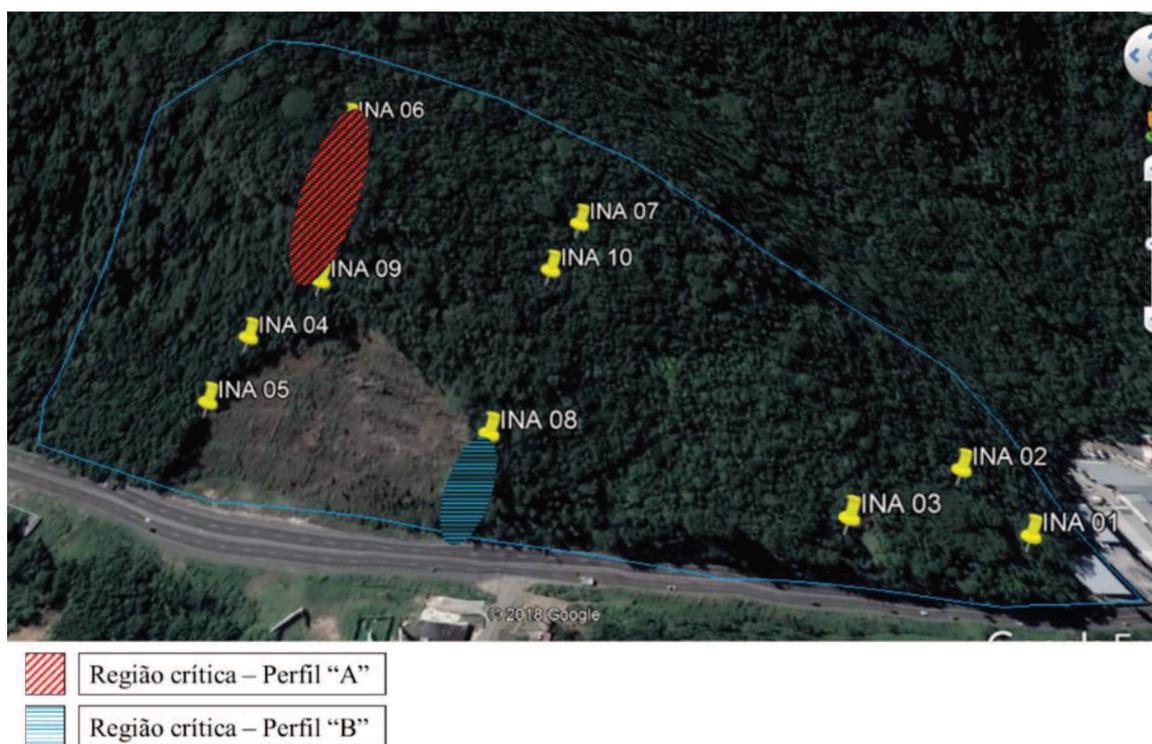
Figura 91 - Superfícies de rupturas críticas nas diferentes simulações do perfil “B”



Fonte: O autor.

Quanto às superfícies de ruptura, o que se observa é que, tanto nas rupturas circulares e não-circulares, tanto com 5 ou 10 metros de espessura de solo, elas acontecem na mesma região, em ambos os perfis. No perfil A, essa região se localiza entre os INA 06 e 09, apresentando mata natural, estando localizada na região mais alta da intervenção realizada na época do deslizamento de 2008, com grande desnível onde é possível se encontrar diversos blocos rolados e redes de drenagem natural. Já no perfil B, a região das superfícies de ruptura se localiza na parte mais próxima a rodovia SC-401, na região abaixo do INA 08. Tal área apresenta maior declividade, em região limítrofe da área onde houve obras de contenção após o deslizamento de 2008. Na Figura 92 é possível ver em destaque as regiões críticas de ambos os perfis.

Figura 92 - Regiões críticas de ambos os perfis estudados.



Fonte: Google Earth.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com o estudo de caracterização dos solos da região da UCAD/UFSC, foram obtidas mais evidências da existência de um dique de diabásio, fator fundamental para a ocorrência de diversos eventos de instabilidade e movimentação de massa. Os solos residuais de diabásio da região estudada apresentam maior fração fina em relação aos solos residuais de granito da mesma região. Em termos de consistência, as amostras de ambas as origens não apresentaram resultados distintos.

A região estudada possui drenagem superficial complexa, com diversos trechos de drenagem natural e artificial, sempre intermitentes. Além disso, apresenta, em alguns trechos, sumidouros e canais subterrâneos.

A instrumentação instalada possibilitou o monitoramento do nível de água subterrâneo que, em conjunto com a caracterização do solo, possibilitou o cálculo de fatores de segurança de estabilidade de taludes para a região. A instrumentação instalada é de baixo custo de instalação manual, podendo ser replicada em diversas situações semelhantes, possibilitando o monitoramento de encostas com risco de deslizamento.

Foi observado diferentes sensibilidades e tempos de respostas aos eventos de pluviometria observados. Não foi possível apontar a condição que caracteriza essas diferenças, sendo fatores importantes a origem do solo e a condição topográfica do ponto estudado. Observou-se tendências que apontam para o observado por Oliveira (2017), que indicam que chuvas acumuladas nos 4 dias anteriores influenciam de maneira determinante nos eventos de escorregamento. No presente trabalho observou-se que eventos de chuva isolados com volumes intermediários não resultavam em aumentos do nível de água subterrânea, mas que eventos com volumes semelhantes antecidos de chuvas nos 4 dias anteriores influenciavam nas leituras.

Nas simulações de estabilidade de taludes foram simuladas duas condições: com 5 e 10 metros de espessura de camada de solo residual. Observou-se que os fatores obtidos para os cenários com 10 metros de espessura foram muito baixos (menores que 1). Nas simulações com 5 metros, os fatores de segurança calculados apresentaram valores coerentes. Como toda a instrumentação foi instalada a 3 metros de profundidade, pode-se estimar que a espessura da camada de solo na região esteja entre 3 e 5 metros. Os fatores de segurança obtidos foram menores que os obtidos por Nunes (2017) em condições similares. Isso é coerente, pois Nunes estudou a influência da sucção no comportamento do solo, enquanto o presente trabalho ignorou a influência da coesão aparente nos cálculos.

5.1. LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Das observações de campo do presente trabalho, pode-se apontar as seguintes limitações e recomendações para trabalhos futuros:

- a) Instrumentação: aprofundar a instrumentação instalada. No presente trabalho se trabalhou com sensores e medidores instalados à 3 metros de profundidade. Recomenda-se trabalho com instrumentação à 5 metros de profundidade. A possibilidade de se automatizar a leitura da instrumentação pode ampliar os resultados obtidos;
- b) Ampliar a rede de INA instalados. Manter a periodicidade de leituras do presente trabalho e se estudar o período de outono e inverno, não contemplado no presente trabalho;
- c) Investigar a espessura da camada de solo residual, de maneira a aumentar a precisão dos cálculos de estabilidade de taludes;
- d) Considerar a influência da sucção nos cálculos de estabilidade de talude, obtendo-se resultados mais próximos aos obtidos por Nunes (2017).

BIBLIOGRAFIA

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo: Análise Granulométrica**. NBR 7181:2016. Rio de Janeiro, 2016a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm – determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água**. NBR 6458:2016. Rio de Janeiro, 2016b.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo: Determinação do Limite de Liquidez**. NBR 6459:2016. Rio de Janeiro, 2016c.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo: Determinação do Limite de Plasticidade**. NBR 7180:2016. Rio de Janeiro, 2016d.

ALBERTO, M. C. **Fluxo da água subterrânea em sistema de encosta-rio, município de Paulínia (SP): caracterização hidrogeológica e simulação numérica**. Dissertação (mestrado) – Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). **Hidroweb**: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>>. Acesso em: 04 de fevereiro de 2019.

BEVILAQUA, F. Z; **Estudo do comportamento geomecânico de solos residuais de granito de Florianópolis**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis. 2004.

BIM, R; **Mapa de susceptibilidade a movimento de massa da microbacia do Ribeirão das Pedras/SC determinado com ênfase na variação pluviométrica**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis. 2015.

BOTTURA, J. A; ALBUQUERQUE FILHO, J. L. **Hidrogeologia da Lagoa São Paulo, Presidente Epitácio, SP.** In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 6, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ABAS, 1990.

BRESSANI, L. A. **Instrumentação em obras geotécnicas – taludes e escavações.** Departamento de Engenharia Civil, UFRGS, P. Alegre, RS, Brasil, 2009.

CAMPOS, T. M. P. **Análise de estabilidade: métodos, parâmetros e pressões neutras.** Relatório técnico, Departamento de Engenharia Civil, PUC/RJ, Rio de Janeiro, 1985.

CARVALHO, J. C; GITIRANA JUNIOR, G. F. N; MACHADO, S. L; MARCARENHA, M. M. A; SILVA FILHO, F. C; **Solos não saturados no contexto geotécnico.** 1. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, v. 1, 2015.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo.** São Paulo, SP, Ed. Contexto, 1991, 136 p.

CAVALCANTE, E. H. **Mecânica dos Solos II – Notas de Aula.** Universidade Federal de Sergipe, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Aracaju, 2006.

CEPED-UFSC, Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012.** 2. ed. rev. ampl. – Florianópolis: CEPED UFSC, 2013.

CERQUEIRA, H. **Critérios de projeto para instrumentação piezométrica de diversas estruturas geotécnicas em mineração.** Dissertação (Mestrado), Ouro Preto – MG, Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Núcleo de Geotecnia, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, 2017.

CRUCIANI, D. E. **A drenagem na agricultura.** 4ª Edição. São Paulo: Nobel, 1987.

DIAS, F. P; HERRMANN, M. L. P. **Susceptibilidade a deslizamentos: estudo de caso no bairro Saco Grande, Florianópolis – SC.** Uberlândia, Instituto de Geografia, UFU. Caminhos de Geografia 3(6), jun/2002.

DOURADO, F; ARRAES, T. C; SILVA, M. F. S. **O megadesastre da região serrana do Rio de Janeiro – as causas do evento, os mecanismos dos movimentos de massa e a distribuição espacial dos investimentos de reconstrução no pós-desastre.** Rio de Janeiro, RJ, Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, vol. 35-2, p. 43-54, 2012.

DUTRA, V. A. S. **Projeto de estabilização de taludes e estruturas de contenção englobando dimensionamento geotécnico e estrutural.** Projeto de graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2013.

FABRÍCIO, J. V. F. **Análises probabilísticas da estabilidade de taludes e contenções.** Dissertação de mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2006.

FAZLINA, M. I. S; AZHAR, A. T. S; ABDULLAH, M. E; SUNAR, N. M; EMBONG, Z; AZIMAN, M. **Effect of rainfall patterns on concentration of CO₂, soil temperature and matric suction for acidic barren soil.** International Postgraduate Conference on Applied Science & Physics 2017, IPO Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1049 (2018) 012089, 2018.

FETTER, C. W. **Applied Hydrogeology.** Macmillan: New York, 3^a ed., 691 pp., 1994.

FREDLUND, D. G. **The emergence of unsaturated soil mechanics.** The Fourth Spencer J. Buchanan Lecture, College Station, p. 39, novembro, 1996.

FREDLUND, D. G; MORGENSTERN, N. R. **Stress state variables for unsaturated soils.** ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division. GT5. Vol. 103 pp. 447-465, 1977.

FREDLUND, D. G; RAHARDJO, H. **Soil mechanics for unsaturated soils.** John Wiley & Sons, INC, New York, 1993.

FREDLUND, D. G; XING, A. **Equations for the soil-water characteristic curve.** Canadian Geotechnical Journal, Vol. 31, pp. 521-532, 1994.

FREEZE, R. A; CHERRY, J. A. **Groundwater**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 604p., 1979.

GERSCOVICH, D. M. S. **Apostila estabilidade de taludes**. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Departamento de Estruturas e Fundações, Faculdade de Engenharia, Rio de Janeiro, 2009.

HIDROSUPRIMENTOS, 2016. **Medidor elétrico de nível d'água**. Disponível em: <http://www.hidrosuprimentos.com.br/upload/pdf_produtos/medidor_de_nivel_dagua.pdf>. Acesso em 30 de abril de 1990.

HIGHLAND, L. M; BOBROWSKY, P. **O manual de deslizamento – um guia para a compreensão de deslizamentos**. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia: 2008.

HOPKINS, T. C; ALLEN, D. L; DEEN, R. C. **Effects of water on slope stability**. Kentucky Transportation Center Research Report, University of Kentucky, Kentucky, 1975.

ICE. **Manual applied geology for engineers**. London, 378p. 1976.

JOHANSSON, J. **Impact of water-level variations on slope stability**. Luleå University of Technology, Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering, Division of Mining and Geotechnical Engineering, 2014.

JUNIOR, F. A. C; DORIGON, L. P. **Análise dos deslizamentos de massa no “Morro do Bumba” através de imagens de satélite**. XI Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 11, n. 5, pp. 108-117, 2015.

KOBIYAMA, M; MENDONÇA, M; MORENO, D. A; MARCELINO, I. P. V. O; MARCELINO. E. V; GONÇALVES, E. F; BRAZETTI, L. L. P; GOERL, R. F; MOLLERI, G. S. F; RUDORFF, F. M. **Prevenção de desastres naturais – Conceitos básicos**. Curitiba, PR, Ed. Organic Trading, 2006.

KRAHN, J. **The 2001 R.M. hardy lecture: the limits of limit equilibrium analyses**. Canadian Geotechnical Journal, vol. 40, pp. 643-660, 2003.

LASTA, L; LÖBLER, C. A; BORBA, W. F; DA SILVA, J. L. S; SCABURI, G. R. **Análise da variação do nível da água em poços tubulares no campus da UFSM, RS.** Foz do Iguaçu – PR, Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, CONTECC, 2016.

LEAL, P. J. V; MULATO, T. A; AVELAR, A. S; COELHO NETTO, A. L. **Deslocamento de redes de fluxos de água subterrânea: análise comparativa entre a interpolação de cargas hidráulicas e a modelagem de fluxos de água subterrânea.** In: VII Simpósio Nacional de Geomorfologia / II Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, 2008, Belo Horizonte. Anais do VII Simpósio Nacional de Geomorfologia / II Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, 2008.

LEI, G; LI, J; WEI, Y. **Study on the influence of water level change on the stability of the back surface of soil slope.** IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 392, 2018.

LERNER, D. N; BURSTON, M. W; BISHOP, P. K. *Hydrogeology of the Coventry region (UK): an urbanized, multi-layer dual-porosity aquifer system.* Journal of Hydrology, 149, p. 111-135, 1993.

MARINHO, F. A. M. **Shrinkage behavior of some plastic clays.** PhD thesis, Imperial College, University of London, 1994.

MASSOCCO, N. S; **Determinação dos parâmetros geotécnicos de solos residuais com ênfase na mecânica dos solos não saturados.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis. 2017.

MAZIERO, T. A. **Monitoramento de água subterrânea em área urbana: aspectos quantitativos.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 2005.

MENDES, R. M. **Estudo das propriedades geotécnicas de solos residuais não saturadas de Ubatuba (SP).** Tese de doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica, São Paulo, 2008.

MENEZES, M. S. S; CAMPOS, L. E. P. **Estabilização de taludes em solos residuais tropicais**. 1º COBRAE Rio de Janeiro, 1992, volume I, 101-110 pp.

MONTEIRO, M. A. **Avaliação das condições atmosféricas de Florianópolis para controle da qualidade do ar**. Florianópolis – SC, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Curso de Graduação em Geografia, 1992.

NIERO, R. Z. **Acompanhamento do nível freático e determinação da condutividade hídrica do solo na Fazenda Experimental da Ressacada, CCA – UFSC**. Florianópolis – SC, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Graduação em Agronomia, 2011.

NUNES, G. B. **Estudo da influência das variações sazonais do perfil de sucção no fator de segurança ao deslizamento de uma encosta de solo residual de granito e diabásio**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis. 2017.

NUNES, G. B; OLIVEIRA, O. M; HIGASHI, R. A. R; BERNARDI, C; MASSOCCO, N. S; MULLER, V. S; FUTAI, M. M. **Determinação das equações de calibração dos valores de sucção medidos com sensores de matriz granular**. In: XIX COBRAMSEG, 2018, Salvador/BA. XIX COBRAMSEG, 2018.

OLIVEIRA, M. C. G; HIGASHI, R. A. R; OLIVEIRA, O. M. **Correlação entre movimentos de massa e pluviometria do município de Florianópolis, SC**. In: XII COBRAE, 2017, Florianópolis/SC. XII COBRAE, 2017.

OLIVEIRA, O. M; **Estudo sobre a resistência ao cisalhamento de um solo residual compactado não saturado**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, São Paulo, 2004.

OLIVEIRA, O. M; BIM, R; ESPINDOLA, M. S. **Aspectos geotécnicos do escorregamento de encosta da rodovia SC-401/Florianópolis**. In: XVI COBRAMSEG, 2012, Recife/PE. XVI COBRAMSEG, 2012.

OLIVEIRA, O. M; BIM, R; NUNES, G. B; HIGASHI, R. A. R. **Obtenção da topossequência de uma encosta de solo residual de granito com o uso de penetrômetro dinâmico leve – DPL.** In: XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica - COBRAMSEG, 2018, Salvador/BA. XIX COBRAMSEG, 2018.

PATTON, F. D; HENDRON JR, A. J. **General report on mass movements.** In: 2nd International Congress of the International Association of Engineering Geology v. 5, pp. 1-57, São Paulo, 1974.

PECAPEDRA, L. L. **Estudo da resistência ao cisalhamento não saturada de solos residuais de granito e diabásio de Florianópolis/SC.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, SC, 2016.

PESSÔA NETO, D. P; MINETTE, E; AZEVEDO, R. F; LIMA, D. C. **Análise de escorregamentos de encosta na circunvizinhança da cidade de Viçosa – MG.** Salvador – BA, IV COBRAE – Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 2005.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas/3ª Edição.** São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

RAHARDJO, H; NIO, A. S; LEONG, E. C; SONG, N. Y. **Effects of groundwater table position and soil properties on stability of slope during rainfall.** Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, novembro, 2010.

RAIMUNDO, H. A. **Aspectos geotécnicos e pluviométricos associados a instabilidade de encostas em Florianópolis – SC.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1998

RUSHTON, K; WARD, R. C. **The estimation of groundwater recharge.** Journal of Hydrology, 41, p. 345-362, 1979.

SANTOS, G. T. **Integração de informações pedológicas, geológicas e geotécnicas aplicadas ao uso do solo urbano em obras de engenharia**. Porto Alegre. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – PPGEM/UFRGS, 1997.

SANTOS, R. B; **Estudo da influência da rede de fluxo na análise de estabilidade de talude em Nova Friburgo – RJ**. Projeto de graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2014.

SATO, S. E; OLIVEIRA, A. M. S; SAWAYA, S. B; HERLING, T. B. R; MORETTI, R. S; GOMES, G. L. C. C. **Estudo de urbanização em áreas de risco a escorregamentos nos loteamentos do Recreio São Jorge e Novo Recreio, região do Cabuçu, Guarulhos (SP), Brasil**. São Paulo, SP, Paisagem Ambiente: Ensaio, n. 29, p. 57-82, 2011.

SAZZAD, M; RAHMAN, F. I; MAMUN, A. A. **Effects of water-level variation on the stability of slope by LEM and FEM**. Proceedings of the 3rd International Conference on Civil Engineering for Sustainable Development, 12-14 fevereiro, 2016, KUET, Khulna, Bangladesh, 2016.

SILVEIRA, J. F. A. **Instrumentação e segurança de barragens de terra e enrocamento**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SOTEP. **Projeto de estabilização do corte de Cacupé**. Vol. único: caderno de textos e plantas. Florianópolis, 1996.

SOUZA, C. D. **Simulação computacional do fluxo hídrico subterrâneo na região do Cariri e calibração utilizando gradiente das cargas hidráulicas**. Dissertação (mestrado) – UFC / Centro de Tecnologia, Mestrado em Recursos Hídricos, 2007.

TEIXEIRA, S. H. C. **Curso de capacitação em estruturas de barragens: terra, enrocamento e rejeitos – Instrumentação e análise de desempenho**. Curitiba-PR, Universidade Federal do Paraná, 2017.

TOMAZZOLI, E. R. Caracterização geológico-geomorfológica dos movimentos de massa ocorridos no Vale do Itajaí (estado de Santa Catarina) – Brasil – em novembro de 2008.

Departamento de Ciências da Terra e do Museu Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra, v. especial, p. 1-20, 2012.

TOMAZZOLI, E. R; PELLERIN, J. M. Unidades do mapa geotécnica da Ilha de Santa Catarina: as rochas. Geosul, Florianópolis, v. 30, p. 225-247, julho, 2015.

VANAPALLI, S. K. Simple procedures and their interpretation in evaluating the shear strength an unsaturated soil. PhD thesis, University of Saskatchewan, Canada, 1994.

WHITMAN, R. V; BAILEY, W. A. Use of computers for slope stability analysis. Journal of Soil Mechanics & Foundations Div, vol. 93, 1967.

WRIGHT, S. G. Evaluation of slope stability analysis procedures. ASCE National Convention, Meeting Preprint 2616, Denver, Colorado, nov. 3-7, 1975, 1-29, 1975.

XU, Y; BEEKMAN, H. E. (Eds). *Groundwater recharge estimation in Southern Africa.* UNESCO IHP Series nº 64, UNESCO, Paris, 2003.

YOMURA, D. M.; DYMINSKI, A. S. Análise da estabilidade de talude coluvionar da Serra do Mar do Paraná considerando diferentes condições de fluxo no subsolo. In: IX COBRAE, 2009, São Paulo/SP. IX COBRAE, 2009.

ZENATTI, A. P. A; SOUSA, S. Y. U. Comunicação em desastres: a atuação da imprensa e o papel da assessoria governamental. Florianópolis – Governo do Estado de SC – SJC/DEDC – UFSC/CEPED, 2010.

ANEXOS

A. MONITORAMENTO DOS INDICADORES DE NÍVEL D'ÁGUA E SENSORES DE SUCÇÃO DE MEDIDA INDIRETA

No quadro seguinte estão expostos os dados de leitura obtidos no período de monitoramento. No quadro, “I” indica leituras realizadas através de INA e “S”, através do SMG.

B. FATORES DE SEGURANÇA CALCULADOS COM O SOFTWARE SLIDE 6.0

Nos quadros a seguir podem ser vistos os resultados dos fatores de segurança para o cálculo de estabilidade de taludes do presente trabalho. Para melhor formatação da planilha, abreviou-se os nomes dos métodos, sendo o que se segue: “Fell” é o método *Fellenius*, “Bish” o método de *Bishop*, “Spen” o método de *Spencer* e, finalmente, “Morg” o método de *Morgenstern-Price*.

Data	Perfil A – Espessura de solo residual: 5 metros								
	Ruptura circular					Ruptura não circular			
	Fell	Bish	Spen	Morg	Média	Bish	Spen	Morg	Média
17/jul	1,478	1,453	1,450	1,450	1,451	1,322	1,323	1,299	1,315
18/jul	1,478	1,453	1,450	1,450	1,451	1,322	1,323	1,299	1,315
26/jul	1,304	1,200	1,200	1,200	1,200	1,088	1,075	1,067	1,077
27/jul	1,361	1,273	1,273	1,273	1,273	1,152	1,139	1,132	1,141
30/jul	1,418	1,371	1,367	1,368	1,369	1,265	1,273	1,258	1,265
02/ago	1,454	1,421	1,417	1,417	1,418	1,310	1,323	1,295	1,309
03/ago	1,461	1,431	1,427	1,427	1,428	1,308	1,300	1,282	1,297
09/ago	1,478	1,453	1,450	1,450	1,451	1,322	1,323	1,299	1,315
20/ago	1,478	1,453	1,450	1,450	1,451	1,322	1,323	1,299	1,315
21/ago	1,478	1,453	1,450	1,450	1,451	1,322	1,323	1,299	1,315
22/ago	1,478	1,453	1,450	1,450	1,451	1,322	1,323	1,299	1,315
23/ago	1,478	1,453	1,450	1,450	1,451	1,322	1,323	1,299	1,315
24/ago	1,478	1,453	1,450	1,450	1,451	1,322	1,323	1,299	1,315
25/ago	1,478	1,453	1,450	1,450	1,451	1,322	1,323	1,299	1,315
27/ago	1,478	1,453	1,450	1,450	1,451	1,322	1,323	1,299	1,315
28/ago	1,478	1,453	1,450	1,450	1,451	1,322	1,323	1,299	1,315
29/ago	1,478	1,453	1,450	1,450	1,451	1,322	1,323	1,299	1,315
30/ago	1,478	1,453	1,450	1,450	1,451	1,322	1,323	1,299	1,315
31/ago	1,478	1,453	1,450	1,450	1,451	1,322	1,323	1,299	1,315
03/set	1,335	1,240	1,240	1,240	1,240	1,124	1,122	1,104	1,117
04/set	1,224	1,112	1,109	1,110	1,110	1,044	1,051	1,035	1,043
05/set	1,302	1,197	1,197	1,197	1,197	1,084	1,071	1,061	1,072
06/set	1,327	1,230	1,230	1,230	1,230	1,115	1,111	1,094	1,107
10/set	1,370	1,286	1,285	1,284	1,285	1,163	1,159	1,143	1,155

Data	Perfil A – Espessura de solo residual: 5 metros								
	Ruptura circular					Ruptura não circular			
	Fell	Bish	Spem	Morg	Média	Bish	Spem	Morg	Média
11/set	1,369	1,284	1,284	1,283	1,284	1,162	1,158	1,142	1,154
12/set	1,344	1,251	1,250	1,251	1,251	1,124	1,117	1,103	1,115
13/set	1,330	1,234	1,233	1,233	1,233	1,116	1,103	1,094	1,104
14/set	1,336	1,241	1,240	1,241	1,241	1,119	1,111	1,097	1,109
18/set	1,300	1,195	1,194	1,195	1,195	1,087	1,083	1,067	1,079
19/set	1,318	1,218	1,218	1,218	1,218	1,109	1,102	1,089	1,100
20/set	1,333	1,237	1,236	1,236	1,236	1,117	1,107	1,095	1,106
21/set	1,340	1,247	1,246	1,246	1,246	1,131	1,117	1,110	1,119
24/set	1,358	1,269	1,269	1,269	1,269	1,147	1,136	1,127	1,137
25/set	1,368	1,283	1,283	1,282	1,283	1,161	1,156	1,141	1,153
27/set	1,393	1,315	1,314	1,313	1,314	1,182	1,175	1,162	1,173
28/set	1,404	1,340	1,339	1,339	1,339	1,202	1,195	1,183	1,193
01/out	1,429	1,386	1,382	1,383	1,384	1,286	1,295	1,279	1,287
02/out	1,442	1,403	1,400	1,400	1,401	1,283	1,297	1,270	1,283
04/out	1,507	1,491	1,486	1,487	1,488	1,381	1,386	1,371	1,379
08/out	1,515	1,502	1,498	1,498	1,499	1,393	1,403	1,386	1,394
09/out	1,517	1,504	1,500	1,500	1,501	1,395	1,406	1,389	1,397
11/out	1,529	1,521	1,517	1,518	1,519	1,425	1,432	1,416	1,424
15/out	1,538	1,533	1,529	1,529	1,530	1,435	1,434	1,424	1,431
17/out	1,550	1,549	1,545	1,545	1,546	1,444	1,451	1,434	1,443
23/out	1,563	1,566	1,562	1,562	1,563	1,459	1,465	1,446	1,457
27/out	1,321	1,222	1,221	1,221	1,221	1,107	1,096	1,085	1,096
30/out	1,452	1,390	1,390	1,389	1,390	1,253	1,242	1,229	1,241
01/nov	1,352	1,261	1,260	1,260	1,260	1,139	1,131	1,117	1,129
06/nov	1,404	1,329	1,328	1,327	1,328	1,198	1,190	1,177	1,188
08/nov	1,446	1,382	1,382	1,381	1,382	1,243	1,235	1,220	1,233
12/nov	1,424	1,354	1,353	1,352	1,353	1,223	1,212	1,199	1,211
14/nov	1,459	1,399	1,399	1,398	1,399	1,258	1,250	1,235	1,248
16/nov	1,495	1,465	1,465	1,464	1,465	1,322	1,309	1,300	1,310
19/nov	1,512	1,497	1,493	1,494	1,495	1,388	1,399	1,379	1,389
23/nov	1,550	1,549	1,545	1,545	1,546	1,444	1,451	1,434	1,443
26/nov	1,563	1,566	1,562	1,562	1,563	1,459	1,465	1,446	1,457

Data	Perfil A – Espessura de solo residual: 5 metros								
	Ruptura circular					Ruptura não circular			
	Fell	Bish	Spem	Morg	Média	Bish	Spem	Morg	Média
28/nov	1,565	1,570	1,566	1,566	1,567	1,443	1,439	1,428	1,437
30/nov	1,568	1,573	1,569	1,569	1,570	1,450	1,444	1,433	1,442
01/dez	1,415	1,341	1,340	1,339	1,340	1,208	1,193	1,183	1,195
03/dez	1,537	1,499	1,499	1,498	1,499	1,353	1,339	1,329	1,340
05/dez	1,557	1,529	1,529	1,528	1,529	1,384	1,367	1,359	1,370
07/dez	1,574	1,581	1,578	1,578	1,579	1,452	1,455	1,439	1,449
11/dez	1,572	1,579	1,575	1,575	1,576	1,448	1,452	1,438	1,446
13/dez	1,574	1,581	1,578	1,578	1,579	1,452	1,455	1,439	1,449
18/dez	1,576	1,582	1,581	1,580	1,581	1,459	1,458	1,440	1,452
20/dez	1,570	1,576	1,572	1,572	1,573	1,453	1,446	1,436	1,445
27/dez	1,579	1,583	1,583	1,582	1,583	1,485	1,492	1,473	1,483

Data	Perfil A – Espessura de solo residual: 10 metros								
	Ruptura circular					Ruptura não circular			
	Fell	Bish	Spem	Morg	Média	Bish	Spem	Morg	Média
17/jul	1,062	1,002	0,997	1,000	1,000	0,969	0,962	0,952	0,961
18/jul	1,062	1,002	0,997	1,000	1,000	0,969	0,962	0,952	0,961
26/jul	0,987	0,899	0,896	0,894	0,896	0,868	0,870	0,856	0,865
27/jul	1,016	0,937	0,934	0,932	0,934	0,912	0,904	0,895	0,904
30/jul	1,034	0,964	0,962	0,959	0,962	0,927	0,927	0,910	0,921
02/ago	1,051	0,988	0,985	0,983	0,985	0,953	0,954	0,945	0,951
03/ago	1,054	0,993	0,990	0,988	0,990	0,953	0,952	0,937	0,947
09/ago	1,062	1,002	0,997	1,000	1,000	0,969	0,962	0,952	0,961
20/ago	1,062	1,002	0,997	1,000	1,000	0,969	0,962	0,952	0,961
21/ago	1,062	1,002	0,997	1,000	1,000	0,969	0,962	0,952	0,961
22/ago	1,062	1,002	0,997	1,000	1,000	0,969	0,962	0,952	0,961
23/ago	1,062	1,002	0,997	1,000	1,000	0,969	0,962	0,952	0,961
24/ago	1,062	1,002	0,997	1,000	1,000	0,969	0,962	0,952	0,961
25/ago	1,062	1,002	0,997	1,000	1,000	0,969	0,962	0,952	0,961
27/ago	1,062	1,002	0,997	1,000	1,000	0,969	0,962	0,952	0,961
28/ago	1,062	1,002	0,997	1,000	1,000	0,969	0,962	0,952	0,961
29/ago	1,062	1,002	0,997	1,000	1,000	0,969	0,962	0,952	0,961

Data	Perfil A – Espessura de solo residual: 10 metros								
	Ruptura circular					Ruptura não circular			
	Fell	Bish	Spem	Morg	Média	Bish	Spem	Morg	Média
30/ago	1,062	1,002	0,997	1,000	1,000	0,969	0,962	0,952	0,961
31/ago	1,062	1,002	0,997	1,000	1,000	0,969	0,962	0,952	0,961
03/set	1,005	0,923	0,920	0,917	0,920	0,885	0,895	0,872	0,884
04/set	0,932	0,827	0,824	0,822	0,824	0,803	0,801	0,786	0,797
05/set	0,986	0,897	0,894	0,892	0,894	0,866	0,867	0,854	0,862
06/set	1,000	0,916	0,913	0,910	0,913	0,886	0,891	0,877	0,885
10/set	1,018	0,940	0,937	0,935	0,937	0,900	0,913	0,889	0,901
11/set	1,018	0,940	0,937	0,934	0,937	0,909	0,915	0,900	0,908
12/set	1,012	0,932	0,929	0,926	0,929	0,882	0,891	0,867	0,880
13/set	1,009	0,928	0,925	0,922	0,925	0,895	0,893	0,875	0,888
14/set	1,010	0,930	0,927	0,924	0,927	0,891	0,891	0,873	0,885
18/set	0,991	0,903	0,900	0,897	0,900	0,864	0,876	0,851	0,864
19/set	0,999	0,914	0,912	0,909	0,912	0,878	0,881	0,863	0,874
20/set	1,010	0,929	0,926	0,923	0,926	0,894	0,891	0,879	0,888
21/set	1,011	0,931	0,928	0,925	0,928	0,889	0,893	0,869	0,884
24/set	1,015	0,936	0,933	0,931	0,933	0,905	0,902	0,893	0,900
25/set	1,017	0,939	0,937	0,934	0,937	0,908	0,915	0,899	0,907
27/set	1,023	0,947	0,944	0,942	0,944	0,912	0,912	0,901	0,908
28/set	1,027	0,953	0,951	0,948	0,951	0,911	0,921	0,899	0,910
01/out	1,039	0,971	0,969	0,966	0,969	0,946	0,941	0,932	0,940
02/out	1,045	0,980	0,977	0,975	0,977	0,936	0,943	0,925	0,935
04/out	1,088	1,036	1,033	1,031	1,033	0,993	0,988	0,981	0,987
08/out	1,092	1,043	1,040	1,038	1,040	0,999	0,998	0,981	0,993
09/out	1,093	1,044	1,041	1,039	1,041	1,001	0,999	0,983	0,994
11/out	1,100	1,053	1,051	1,049	1,051	1,011	1,003	0,994	1,003
15/out	1,107	1,063	1,061	1,059	1,061	1,018	1,022	1,005	1,015
17/out	1,118	1,078	1,075	1,072	1,075	1,033	1,033	1,024	1,030
23/out	1,131	1,094	1,091	1,089	1,091	1,050	1,056	1,038	1,048
27/out	1,012	0,932	0,928	0,926	0,929	0,893	0,890	0,877	0,887
30/out	1,067	1,005	1,003	1,001	1,003	0,944	0,951	0,926	0,940
01/nov	1,034	0,961	0,958	0,955	0,958	0,910	0,904	0,893	0,902
06/nov	1,056	0,991	0,987	0,984	0,987	0,937	0,934	0,918	0,930

Data	Perfil A – Espessura de solo residual: 10 metros								
	Ruptura circular					Ruptura não circular			
	Fell	Bish	Spem	Morg	Média	Bish	Spem	Morg	Média
08/nov	1,065	1,003	1,001	0,999	1,001	0,963	0,964	0,946	0,958
12/nov	1,060	0,997	0,993	0,991	0,994	0,949	0,952	0,930	0,944
14/nov	1,068	1,008	1,005	1,003	1,005	0,969	0,974	0,954	0,966
16/nov	1,081	1,025	1,023	1,021	1,023	0,986	0,982	0,973	0,980
19/nov	1,091	1,040	1,038	1,035	1,038	1,000	0,989	0,982	0,990
23/nov	1,118	1,078	1,075	1,072	1,075	1,033	1,033	1,024	1,030
26/nov	1,131	1,094	1,091	1,089	1,091	1,050	1,056	1,038	1,048
28/nov	1,134	1,098	1,095	1,092	1,095	1,053	1,053	1,042	1,049
30/nov	1,137	1,102	1,099	1,096	1,099	1,043	1,054	1,032	1,043
01/dez	1,095	1,014	1,018	1,019	1,017	0,968	0,961	0,947	0,959
03/dez	1,125	1,086	1,082	1,079	1,082	1,026	1,018	1,003	1,016
05/dez	1,129	1,091	1,087	1,085	1,088	1,023	1,037	1,011	1,024
07/dez	1,146	1,114	1,110	1,108	1,111	1,054	1,047	1,032	1,044
11/dez	1,143	1,110	1,106	1,104	1,107	1,034	1,037	1,015	1,029
13/dez	1,146	1,114	1,110	1,108	1,111	1,054	1,047	1,032	1,044
18/dez	1,148	1,118	1,114	1,112	1,115	1,049	1,050	1,030	1,043
20/dez	1,140	1,106	1,103	1,100	1,103	1,053	1,060	1,040	1,051
27/dez	1,154	1,125	1,121	1,119	1,122	1,065	1,067	1,048	1,060

Data	Perfil B – Espessura de solo residual: 5 metros								
	Ruptura circular					Ruptura não circular			
	Fell	Bish	Spem	Morg	Média	Bish	Spem	Morg	Média
17/jul	1,644	1,618	1,617	1,617	1,617	1,378	1,395	1,375	1,383
18/jul	1,644	1,618	1,617	1,617	1,617	1,378	1,395	1,375	1,383
26/jul	1,644	1,618	1,617	1,617	1,617	1,379	1,396	1,376	1,384
27/jul	1,644	1,618	1,617	1,617	1,617	1,379	1,396	1,376	1,384
30/jul	1,644	1,618	1,617	1,617	1,617	1,379	1,396	1,376	1,384
02/ago	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,381	1,397	1,378	1,385
03/ago	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,381	1,397	1,378	1,385
09/ago	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,381	1,397	1,378	1,385
20/ago	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,381	1,397	1,378	1,385
21/ago	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,381	1,397	1,378	1,385

Data	Perfil B – Espessura de solo residual: 5 metros								
	Ruptura circular					Ruptura não circular			
	Fell	Bish	Spem	Morg	Média	Bish	Spem	Morg	Média
22/ago	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,381	1,397	1,378	1,385
23/ago	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,381	1,397	1,378	1,385
24/ago	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,381	1,397	1,378	1,385
25/ago	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,381	1,397	1,378	1,385
27/ago	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,381	1,397	1,378	1,385
28/ago	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,381	1,397	1,378	1,385
29/ago	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,381	1,397	1,378	1,385
30/ago	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,381	1,397	1,378	1,385
31/ago	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,381	1,397	1,378	1,385
03/set	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,381	1,397	1,378	1,385
04/set	1,620	1,587	1,586	1,587	1,587	1,356	1,369	1,351	1,359
05/set	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,379	1,398	1,378	1,385
06/set	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,379	1,398	1,378	1,385
10/set	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,379	1,398	1,378	1,385
11/set	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,381	1,397	1,378	1,385
12/set	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,381	1,397	1,378	1,385
13/set	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,381	1,397	1,378	1,385
14/set	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,381	1,397	1,378	1,385
18/set	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,379	1,398	1,378	1,385
19/set	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,379	1,398	1,378	1,385
20/set	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,379	1,398	1,378	1,385
21/set	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,379	1,398	1,378	1,385
24/set	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,381	1,397	1,378	1,385
25/set	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,381	1,397	1,378	1,385
27/set	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,381	1,397	1,378	1,385
28/set	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,381	1,397	1,378	1,385
01/out	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,381	1,397	1,378	1,385
02/out	1,645	1,620	1,619	1,619	1,619	1,381	1,397	1,378	1,385
04/out	1,767	1,776	1,774	1,774	1,775	1,548	1,564	1,543	1,552
08/out	1,784	1,798	1,796	1,796	1,797	1,613	1,625	1,607	1,615
09/out	1,784	1,798	1,796	1,796	1,797	1,613	1,625	1,607	1,615
11/out	1,784	1,798	1,796	1,796	1,797	1,613	1,625	1,607	1,615

Data	Perfil B – Espessura de solo residual: 5 metros								
	Ruptura circular					Ruptura não circular			
	Fell	Bish	Spem	Morg	Média	Bish	Spem	Morg	Média
15/out	1,784	1,798	1,796	1,796	1,797	1,613	1,625	1,607	1,615
17/out	1,784	1,798	1,796	1,796	1,797	1,613	1,625	1,607	1,615
23/out	1,784	1,798	1,796	1,796	1,797	1,613	1,625	1,607	1,615
27/out	1,784	1,798	1,796	1,796	1,797	1,613	1,625	1,607	1,615
30/out	1,784	1,798	1,796	1,796	1,797	1,613	1,625	1,607	1,615
01/nov	1,784	1,798	1,796	1,796	1,797	1,613	1,625	1,607	1,615
06/nov	1,784	1,798	1,796	1,796	1,797	1,613	1,625	1,607	1,615
08/nov	1,784	1,798	1,796	1,796	1,797	1,613	1,625	1,607	1,615
12/nov	1,784	1,798	1,796	1,796	1,797	1,613	1,625	1,607	1,615
14/nov	1,784	1,798	1,796	1,796	1,797	1,613	1,625	1,607	1,615
16/nov	1,784	1,798	1,796	1,796	1,797	1,613	1,625	1,607	1,615
19/nov	1,784	1,798	1,796	1,796	1,797	1,613	1,625	1,607	1,615
23/nov	1,784	1,798	1,796	1,796	1,797	1,613	1,625	1,607	1,615
26/nov	1,784	1,798	1,796	1,796	1,797	1,613	1,625	1,607	1,615
28/nov	1,784	1,798	1,796	1,796	1,797	1,613	1,625	1,607	1,615
30/nov	1,784	1,798	1,796	1,796	1,797	1,613	1,625	1,607	1,615
01/dez	1,784	1,798	1,796	1,796	1,797	1,613	1,625	1,607	1,615
03/dez	1,784	1,798	1,796	1,796	1,797	1,613	1,625	1,607	1,615
05/dez	1,784	1,798	1,796	1,796	1,797	1,613	1,625	1,607	1,615
07/dez	1,784	1,798	1,796	1,796	1,797	1,613	1,625	1,607	1,615
11/dez	1,784	1,798	1,796	1,796	1,797	1,613	1,625	1,607	1,615
13/dez	1,784	1,798	1,796	1,796	1,797	1,613	1,625	1,607	1,615
18/dez	1,784	1,798	1,796	1,796	1,797	1,613	1,625	1,607	1,615
20/dez	1,784	1,798	1,796	1,796	1,797	1,613	1,625	1,607	1,615
27/dez	1,784	1,798	1,796	1,796	1,797	1,613	1,625	1,607	1,615

Data	Perfil B – Espessura de solo residual: 10 metros								
	Ruptura circular					Ruptura não circular			
	Fell	Bish	Spem	Morg	Média	Bish	Spem	Morg	Média
17/jul	1,165	1,108	1,106	1,105	1,106	1,017	1,045	1,027	1,030
18/jul	1,165	1,108	1,106	1,105	1,106	1,017	1,045	1,027	1,030
26/jul	1,165	1,108	1,106	1,105	1,106	1,017	1,045	1,027	1,030

Data	Perfil B – Espessura de solo residual: 10 metros								
	Ruptura circular					Ruptura não circular			
	Fell	Bish	Spem	Morg	Média	Bish	Spem	Morg	Média
27/jul	1,165	1,108	1,106	1,105	1,106	1,017	1,045	1,027	1,030
30/jul	1,165	1,108	1,106	1,105	1,106	1,017	1,045	1,027	1,030
02/ago	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,024	1,045	1,024	1,031
03/ago	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,024	1,045	1,024	1,031
09/ago	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,024	1,045	1,024	1,031
20/ago	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,024	1,045	1,024	1,031
21/ago	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,024	1,045	1,024	1,031
22/ago	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,024	1,045	1,024	1,031
23/ago	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,024	1,045	1,024	1,031
24/ago	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,024	1,045	1,024	1,031
25/ago	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,024	1,045	1,024	1,031
27/ago	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,024	1,045	1,024	1,031
28/ago	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,024	1,045	1,024	1,031
29/ago	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,024	1,045	1,024	1,031
30/ago	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,024	1,045	1,024	1,031
31/ago	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,024	1,045	1,024	1,031
03/set	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,024	1,045	1,026	1,032
04/set	1,154	1,094	1,091	1,090	1,092	1,010	1,029	1,012	1,017
05/set	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,023	1,045	1,026	1,031
06/set	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,023	1,045	1,026	1,031
10/set	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,024	1,045	1,023	1,031
11/set	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,024	1,045	1,024	1,031
12/set	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,024	1,045	1,024	1,031
13/set	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,024	1,045	1,024	1,031
14/set	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,024	1,045	1,024	1,031
18/set	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,023	1,045	1,026	1,031
19/set	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,023	1,045	1,026	1,031
20/set	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,023	1,045	1,026	1,031
21/set	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,023	1,045	1,023	1,030
24/set	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,024	1,045	1,024	1,031
25/set	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,024	1,045	1,024	1,031
27/set	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,024	1,045	1,024	1,031

Data	Perfil B – Espessura de solo residual: 10 metros								
	Ruptura circular					Ruptura não circular			
	Fell	Bish	Spem	Morg	Média	Bish	Spem	Morg	Média
28/set	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,024	1,045	1,024	1,031
01/out	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,024	1,045	1,024	1,031
02/out	1,168	1,112	1,109	1,109	1,110	1,024	1,045	1,024	1,031
04/out	1,246	1,216	1,213	1,212	1,214	1,110	1,131	1,120	1,120
08/out	1,280	1,260	1,262	1,261	1,261	1,148	1,170	1,152	1,157
09/out	1,288	1,271	1,273	1,272	1,272	1,157	1,181	1,158	1,165
11/out	1,311	1,302	1,298	1,302	1,301	1,184	1,210	1,190	1,195
15/out	1,326	1,323	1,318	1,323	1,321	1,202	1,227	1,209	1,213
17/out	1,334	1,332	1,332	1,332	1,332	1,212	1,236	1,218	1,222
23/out	1,356	1,361	1,362	1,361	1,361	1,236	1,265	1,245	1,249
27/out	1,356	1,361	1,362	1,361	1,361	1,236	1,265	1,245	1,249
30/out	1,363	1,370	1,371	1,370	1,370	1,247	1,274	1,255	1,259
01/nov	1,363	1,370	1,371	1,370	1,370	1,247	1,274	1,255	1,259
06/nov	1,376	1,387	1,388	1,387	1,387	1,263	1,291	1,272	1,275
08/nov	1,376	1,387	1,388	1,387	1,387	1,263	1,291	1,272	1,275
12/nov	1,376	1,387	1,388	1,387	1,387	1,263	1,291	1,272	1,275
14/nov	1,376	1,387	1,388	1,387	1,387	1,263	1,291	1,272	1,275
16/nov	1,383	1,396	1,397	1,395	1,396	1,275	1,301	1,282	1,286
19/nov	1,383	1,396	1,397	1,395	1,396	1,275	1,301	1,282	1,286
23/nov	1,389	1,404	1,404	1,403	1,404	1,282	1,309	1,290	1,294
26/nov	1,395	1,412	1,412	1,411	1,412	1,292	1,317	1,298	1,302
28/nov	1,395	1,412	1,412	1,411	1,412	1,292	1,317	1,298	1,302
30/nov	1,395	1,412	1,412	1,411	1,412	1,292	1,317	1,298	1,302
01/dez	1,395	1,412	1,412	1,411	1,412	1,292	1,317	1,298	1,302
03/dez	1,401	1,420	1,420	1,419	1,420	1,300	1,326	1,307	1,311
05/dez	1,401	1,420	1,420	1,419	1,420	1,300	1,326	1,307	1,311
07/dez	1,406	1,427	1,427	1,426	1,427	1,307	1,334	1,315	1,319
11/dez	1,411	1,434	1,434	1,432	1,433	1,316	1,342	1,323	1,327
13/dez	1,411	1,434	1,434	1,432	1,433	1,316	1,342	1,323	1,327
18/dez	1,414	1,437	1,437	1,436	1,437	1,320	1,346	1,328	1,331
20/dez	1,401	1,420	1,420	1,419	1,420	1,300	1,326	1,307	1,311
27/dez	1,414	1,437	1,437	1,436	1,437	1,320	1,346	1,328	1,331