



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DOUGLAS DA SILVA CABRAL

CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA E GEOTÉCNICA DE SOLOS SUSCETÍVEIS A
DESLIZAMENTOS NO MUNICÍPIO DE ITAÓCA, SP

CAMPINAS
2023

DOUGLAS DA SILVA CABRAL

CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA E GEOTÉCNICA DE SOLOS SUSCETÍVEIS A
DESLIZAMENTOS NO MUNICÍPIO DE ITAÓCA (SP)

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO INSTITUTO DE
GEOCIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
CAMPINAS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
MESTRE EM GEOGRAFIA NA ÁREA DE ANÁLISE
AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL

ORIENTADOR: PROF. DR. FRANCISCO SÉRGIO BERNARDES LADEIRA

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA
DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO DOUGLAS
DA SILVA CABRAL E ORIENTADO PELO PROF. DR.
FRANCISCO SÉRGIO BERNARDES LADEIRA.

CAMPINAS

2023

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca do Instituto de Geociências
Marta dos Santos - CRB 8/5892

C112c Cabral, Douglas da Silva, 1983-
Caracterização pedológica e geotécnica de solos suscetíveis a deslizamentos no município de Itaóca, SP / Douglas da Silva Cabral. – Campinas, SP : [s.n.], 2023.

Orientador: Francisco Sérgio Bernardes Ladeira.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Ciência do solo. 2. Engenharia geotécnica. 3. Solos. 4. Suscetibilidade. 5. Deslizamentos (Geologia). I. Ladeira, Francisco Sérgio Bernardes, 1965-. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociências. III. Título.

Informações Complementares

Título em outro idioma: Pedological and geotechnical characterization of soils susceptible to landslides in the municipality of Itaóca, SP

Palavras-chave em inglês:

Soil science

Geotechnical engineering

Soils

Susceptibility

Landslides

Área de concentração: Análise Ambiental e Dinâmica Territorial

Titulação: Mestre em Geografia

Banca examinadora:

Francisco Sérgio Bernardes Ladeira [Orientador]

Ana Elisa Silva de Abreu

Newton Moreira de Souza

Data de defesa: 25-09-2023

Programa de Pós-Graduação: Geografia

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0009-0009-3804-3667>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/0445150219903513>



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

AUTOR: Douglas da Silva Cabral

“Caracterização Pedológica e Geotécnica de Solos Suscetíveis a
Deslizamentos no Município de Itaóca, SP”

ORIENTADOR: Prof. Dr. Francisco Sérgio Bernardes Ladeira

Aprovado em 25 / 09 / 2023

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Francisco Sérgio Bernardes Ladeira - Presidente

Profa. Dra. Ana Elisa Silva de Abreu

Prof. Dr. Newton Moreira de Souza

**A Ata de Defesa assinada pelos membros da comissão Examinadora,
consta no processo de vida acadêmica do aluno.**

Campinas, 25 de setembro de 2023.

DEDICATÓRIA

Dedico àqueles
que me incentivaram e participaram de alguma forma desta etapa da minha vida!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a minha família, minhas irmãs e meus pais, que desde sempre me apoiam e me incentivam, fazendo com que obstáculos quase impossíveis sejam superados, sempre unidos. Em especial ofereço este trabalho a meu pai, que durante este período da minha pós-graduação enfrentou e venceu um grande desafio de saúde.

Em especial, agradeço minha esposa, Mirlane Cabral, que em todos os dias me ajudou e aguentou minhas lamentações e dificuldades. Muito obrigado!

Ao meu orientador, Francisco Ladeira, que viabilizou este trabalho e, sempre, esteve disponível para discutir e buscar melhorias no produto final. Agradeço também a Miriam Miguel, que de forma não oficial, me orientou em muitos momentos, apoiando, ensinando e tornando possível a realização deste estudo.

Aproveito para agradecer aos técnicos do Laboratório da Faculdade de Eng. Civil, Cipriano, Leonardo e Reinaldo, sempre muito prestativos e parte fundamental deste processo.

Agradeço também ao IG-Unicamp e ao Serviço Geológico do Brasil, podendo citar alguns nomes que foram importantes e contribuíram para o trabalho, como Diogo Rodrigues, Tiago Antonelli, Vanesca Medeiros, Anselmo Pedrazzi, Luiz Fernando dos Santos, Marcelo Dantas, Liliane Mafra, Ana Beatriz e Gabriela.

E, por fim, agradeço a minha doce e querida filha, Iara, razão pela qual faço tudo hoje em dia!

EPÍGRAFE

“Todo adulto criativo é uma criança que sobreviveu”

Autor desconhecido

RESUMO

Desastres naturais são ocorrências causadas por processos naturais que atingem áreas ou regiões habitadas pelo homem, causando-lhe danos. Nesse contexto, os municípios localizados na região geomorfológica denominada como Serra do Mar, entre os estados do Paraná, São Paulo e Rio de Janeiro, são cotidianamente afetados por desastres naturais. Estes eventos no Brasil tem sido fruto de estudos dirigidos por diferentes institutos de pesquisas, com o intuito de estabelecer metodologias capazes de identificar as áreas mais propensas a deslizamentos, precavendo a ocupação urbana e evitando tragédias. Dentre os vários trabalhos que tem sido realizado, destacam-se no Brasil, as Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações, desenvolvidas por órgãos como o Serviço Geológico do Brasil – SGB-CPRM e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), dentre outros, onde por meio de modelo digital de elevação e do cadastro de cicatrizes de deslizamentos, obtêm-se a modelagem com graus de suscetibilidade a deslizamentos de uma determinada área. A execução destas modelagens, muitas vezes, se depara com o desafio da falta de dados pedológicos, geomorfológicos, geológico-geotécnicos, hidrogeológicos e hidrológicos em escalas adequadas. Este fato faz com que essas informações sejam suprimidas das modelagens e poucos estudos existam avaliando sua influência. Desta forma, este trabalho busca, em escala de detalhe, caracterizar pedológica e geotecnicamente diferentes encostas no município de Itaóca (SP) e buscar determinar fatores que possam ter influenciado a ocorrência dos deslizamentos de forma não uniforme entre essas vertentes, correlacionando assim, com a suscetibilidade a movimentos gravitacionais. O estudo baseou-se na caracterização de solos através de análises táctil-visual de campo, químicas, micromorfológicas e ensaios de caracterização geotécnica, em laboratório. Por meio da análise de três pontos em duas encostas, obteve-se informações sobre a granulometria, mineralogia, coesão, ângulo de atrito e permeabilidade destes solos, indicando uma diferença grande entre um local que colapsou (Ponto P1) no evento chuvosos ocorrido em janeiro de 2014 e outros dois locais (trincheiras T1 e T2) que resistiram àquela chuva. No solo localizado na cicatriz do deslizamento (P1) os valores de ângulo de atrito e coesão foram muito baixos, principalmente quando saturado, coerente com a granulometria de areia ou areia franca deste local, enquanto os demais pontos (T1 e T2) possuem valores de coesão e ângulo de atritos superiores e granulometria franco arenosa. Destaca-se ainda a grande diminuição da coesão dos solos das trincheiras T1 e T2 quando saturados e a possível presença de argilominerais expansivos no solo da T1, além de uma piora da drenagem e leve tendência deste local a reter mais água que os demais, podendo indicar uma suscetibilidade à ocorrência de deslizamento desfavorável à trincheira T1, quando comparada a T2. O estudo indicou ainda que outros fatores devem influenciar a variabilidade do comportamento destes solos frente aos eventos chuvosos, não esgotando as possibilidades de análises, mas buscando trazer informações relevantes sobre o comportamento deles, por meio da caracterização pedológica e geotécnica.

Palavras-chave: Ciência do solo; Engenharia geotécnica; Solos; Suscetibilidade; Deslizamentos.

ABSTRACT

Natural disasters are occurrences caused by natural processes that affect areas or regions inhabited by man, causing damage. In this context, municipalities located in the geomorphological region known as Serra do Mar, between the states of Paraná, São Paulo and Rio de Janeiro, are daily affected by natural disasters. These events in Brazil have been the result of studies conducted by different research institutes, with the aim of establishing methodologies capable of identifying the zone most prone to landslides, preventing urban occupation and avoiding tragedies. Among the various works that have been carried out, the most notable in Brazil are the Susceptibility Charts to Gravitational Mass Movements and Floods, developed by bodies such as the Geological Survey of Brazil – SGB-CPRM and the Institute of Technological Research (IPT), among others, where through a digital elevation model and registration of landslide scars, modeling is obtained with degrees of susceptibility to landslides in a given area. The execution of these modeling often faces the challenge of a lack of pedological, geomorphological, geological-geotechnical, hydrogeological and hydrological data at appropriate scales. This fact means that this information is suppressed from modeling and few studies exist evaluating its influence. In this way, this work seeks, on a detailed scale, to characterize pedologically and geotechnically different slopes in the municipality of Itaóca (SP) and seek to determine factors that may have influenced the occurrence of landslides in a non-uniform way between these slopes, thus correlating with the susceptibility to gravitational movements. The study was based on the characterization of soils through tactile-visual field, chemical, micromorphological analyzes and geotechnical characterization tests in the laboratory. Through the analysis of three points on two slopes, information was obtained about the granulometry, mineralogy, cohesion, friction angle and permeability of these soils, indicating a large difference between a site that collapsed (Point P1) in the rainy event that occurred in January 2014 and two other locations (trenches T1 and T2) that resisted that rain. In the soil located in the landslide scar (P1), the values of friction angle and cohesion were very low, especially when saturated, consistent with the granulometry of sand or open sand in this location, while the other points (T1 and T2) have values of higher cohesion and friction angle and sandy loam grain size. It is also worth highlighting the great decrease in the cohesion of the soils in trenches T1 and T2 when saturated and the possible presence of expansive clay minerals in the soil of T1, in addition to a worsening of drainage and a slight tendency for this site to retain more water than the others, which could indicate an unfavorable susceptibility to the occurrence of landslides in trench T1, when compared to T2. The study also indicated that other factors must influence the variability of the behavior of these soils in the face of rainy events, not exhausting the possibilities for analysis, but seeking to provide relevant information about their behavior, through pedological and geotechnical characterization.

Keywords: Soil science; Geotechnical engineering; Soils; Susceptibility; Landslides.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização do Município de Itaóca – SP.....	23
Figura 2 - Relevo serrano no limite norte de Itaóca (Foto: Douglas Cabral, 2018).	24
Figura 3 - Corrida de detritos e cicatriz de escorregamento na bacia do Rio Guarda-Mão (Fonte: Folha de São Paulo, 2014).	25
Figura 4 - Inundação e enxurrada do Rio Palmital no centro de Itaóca (Fonte: Defesa Civil Estadual - SP, 2014 apud G1 (2014)).	25
Figura 5 - Mapa de localização das tradagens realizadas na primeira etapa de campo.....	26
Figura 6 - Localização dos pontos estudados.	27
Figura 7 - Mapa de declividade da área de estudo (classificação segundo Embrapa, 1979)....	28
Figura 8 - Bloco diagrama de deslizamento planar (Ribeiro, 2016).	32
Figura 9 - Bloco diagrama de deslizamento rotacional (Adaptado de TOMINAGA, 2012. Elaborado por Lana, 2016).	33
Figura 10 - Esquema para ocorrência de deslizamento em cunha (Adaptado de Infanti Jr <i>et al.</i> , 1998).	33
Figura 11 - Fluxo de detritos na zona rural de Santa Terezinha, SC (Foto: Douglas Cabral, 2018).	34
Figura 12 - Esquema indicando as zonas de cisalhamento e fraqueza (Leroueil, 2001).	35
Figura 13 - Distribuição da poropressão no solo, em função da profundidade e da saturação por água (Molina Junior (2017), adaptado de Lambe e Withman, 1979 e Gerscovich, 2011).	36
Figura 14 - Fotos mostrando as vertentes selecionadas para estudo: 1. Vertente NW com várias cicatrizes de deslizamentos; 2. Vertente SE sem presença de cicatrizes de deslizamentos.	40
Figura 15 - Abertura da trincheira e coleta de amostras indeformadas, com a utilização de parafina.	41
Figura 16 - Fluxograma das análises realizadas.	42
Figura 17 - Determinação da massa específica dos grãos, através do método do picnômetro.	43
Figura 18 - Ensaio de granulometria com sedimentação, segundo ABNT NBR 7181 (2016).	44
Figura 19 - Realização dos ensaios de LL e LP.	45
Figura 20 - Amostra indeformada sendo moldada para ensaios de cisalhamento direto e permeabilidade.....	48
Figura 21 - Corpos de prova em processo de saturação para ensaios de cisalhamento direto.	49

Figura 22 - Corpo de prova em preparação para ensaio de permeabilidade.....	50
Figura 23 - Amostra indeformada do horizonte Cr2 da cicatriz de deslizamento (P1), colapsada após a retirada do tubo de PVC.	51
Figura 24 - Perfil de intemperismo para regiões tropicais, Vaz (1996).	53
Figura 25 - Perfil de solo da cicatriz de deslizamento (P1).....	54
Figura 26 - Perfil de solo da Trincheira T1.	56
Figura 27 - Perfil de solo da Trincheira T2.	58
Figura 28 - Fotos da amostra de rocha: A) nicol cruzado e B) nicol descruzado.....	60
Figura 29 - Fotos da amostra da cicatriz de deslizamento (Ponto 1 – P1): nicol cruzado (A, C e E) e nicol descruzado (B, D e F).....	61
Figura 30 - Fotos da T1: nicol cruzado (A, C, E e G) e nicol descruzado (B, D, F e H).	62
Figura 31 - Fotos da T2: nicol cruzado (A, C, E, G e I) e nicol descruzado (B, D, F e H e J).	63
Figura 32 - Gráfico com a granulometria para cada horizonte do Ponto P1.	74
Figura 33 - Gráfico com a granulometria para cada horizonte da Trincheira T1.....	74
Figura 34 - Gráfico com a granulometria para cada horizonte da Trincheira T2.....	75
Figura 35 - Gráfico com a granulometria para cada horizonte ensaiado.....	79
Figura 36 - Gráficos com os triângulos texturais do ponto P1.....	80
Figura 37 - Gráficos com os triângulos texturais da trincheira T1.....	81
Figura 38 - Gráficos com os triângulos texturais da trincheira T2.....	82
Figura 39 - Diâmetro dos poros dos horizontes superiores e mais profundos das trincheiras T1 e T2.....	87
Figura 40 - Gráficos com a porcentagem total de mercúrio introduzido e o tamanho dos poros para os horizontes superiores e mais profundos das trincheiras T1 e T2.	88
Figura 41 - Resultado do ensaio de cisalhamento direto com umidade natural da P1-Cr2.....	92
Figura 42 - Resultado do ensaio de cisalhamento direto saturado drenado da P1-Cr2.	92
Figura 43 - Resultado do ensaio de cisalhamento direto saturado drenado da T1-Bi1.	94
Figura 44 - Resultado do ensaio de cisalhamento direto saturado não drenado da T1-Bi1.	94
Figura 45 - Resultado do ensaio de cisalhamento direto saturado drenado da T1-Bi2.	95
Figura 46 - Resultado do ensaio de cisalhamento direto saturado não drenado da T1-Bi2.	95
Figura 47 - Resultado do ensaio de cisalhamento direto com umidade natural da T1-Bi2.....	96
Figura 48 - Resultado do ensaio de cisalhamento direto saturado drenado da T2-Bi/A.	98
Figura 49 - Resultado do ensaio de cisalhamento direto saturado não drenado da T2-Bi/A.	98
Figura 50 - Resultado do ensaio de cisalhamento direto saturado drenado da T2-Bi.	99
Figura 51 - Resultado do ensaio de cisalhamento direto saturado não drenado da T2-Bi.	99

Figura 52 - Resultado do ensaio de cisalhamento direto com umidade natural da T2-Bi.....	100
Figura 53 - Gráfico com os resultados da coesão para os horizontes ensaiados.	102
Figura 54 - Gráfico com os resultados do ângulo de atrito para os horizontes ensaiados.....	103
Figura 55 - Gráfico do DRX para o horizonte P1-A	118
Figura 56 - Gráfico do DRX para o horizonte P1-C	118
Figura 57 - Gráfico do DRX para o horizonte P1-Cr1	119
Figura 58 - Gráfico do DRX para o horizonte P1-Cr2	119
Figura 59 - Gráfico do DRX para o horizonte T1-A	120
Figura 60 - Gráfico do DRX para o horizonte T1-Bi1	120
Figura 61 - Gráfico do DRX para o horizonte T1-C1	121
Figura 62 - Gráfico do DRX para o horizonte T1-C2	121
Figura 63 - Gráfico do DRX para o horizonte T2-A	122
Figura 64 - Gráfico do DRX para o horizonte T2-A/Bi	122
Figura 65 - Gráfico do DRX para o horizonte T2-Bi/A	123
Figura 66 - Gráfico do DRX para o horizonte T2-Bi	123
Figura 67 - Gráfico do DRX para o horizonte T2-C	124

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Localização das investigações a trado (Obtidas através de GPS modelo Garmin). 27	27
Tabela 2 - Localização dos pontos de estudo (Obtidas através de GPS modelo Garmin).28	28
Tabela 3 - Classificação de movimentos de massa (Adaptado de Augusto Filho, 1992)29	29
Tabela 4 - Coeficientes de permeabilidade de solos típicos (Baseado em Casagrande). 38	38
Tabela 5 - Quadro resumo dos ensaios de cisalhamento direto realizados.49	49
Tabela 6 - Descrição táctil-visual de campo da cicatriz P1 55	55
Tabela 7 - Descrição táctil-visual de campo da Trincheira T1.....57	57
Tabela 8 - Descrição táctil-visual de campo da Trincheira T2..... 59	59
Tabela 9 - Descrição das lâminas delgadas.64	64
Tabela 10 - Química de rotina realizada em amostras deformadas.67	67
Tabela 11 - Concentração de sódio nos horizontes amostrados e PST.69	69
Tabela 12 - Minerais identificados no ensaio de DRX..... 70	70
Tabela 13 - Granulometria através do método de granulometria pelo método da pipeta..... 73	73
Tabela 14 - Resultados dos ensaios de granulometria com e sem defloculante..... 77	77
Tabela 15 - Resultados dos índices físicos dos solos amostrados.84	84
Tabela 16 - Quadro resumo dos resultados dos ensaios de limites de consistência.85	85
Tabela 17 - Quadro resumo dos valores de condutividade hidráulica do fluxo vertical.89	89
Tabela 18 - Quadro resumo dos resultados dos ensaios de cisalhamento direto.....90	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

A – Área (m^2)

ABNT NBR - Associação Brasileira de Normas Técnicas: Normas Brasileiras

c – Coesão (kN/m^2)

CIIAGRO - Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas

CD – Com Defloculante

CTC – Capacidade de Troca Catiônica

DNER ME – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem: Método de Ensaio

DRX – Difração de Raio X

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FEC – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

IG – Instituto Geológico

IP – Índice de Plasticidade

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

K – Condutividade hidráulica

K_{nsat} – Condutividade hidráulica não saturada

K_{sat} – Condutividade hidráulica saturada (m/s)

L - Distância percorrida pela água (m)

LAMIN – Laboratório de Análises Minerais

LL – Limite de Liquidez

LP – Limite de Plasticidade

MIP – Ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio

NP – Não Plástico

NW – Noroeste

PST – Porcentagem de Sódio Trocável

PVC - Policloreto de vinilo (tipo de plástico)

Q - Vazão (m^3/s)

SD – Sem Defloculante

SE – Sudeste

SGB-CPRM – Serviço Geológico do Brasil

SiBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

t – Resistência ao cisalhamento

tan – tangente

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas

USP – Universidade de São Paulo

w – Teor de umidade natural do solo (%)

φ – Ângulo de atrito interno

σ – Tensão Normal (kN/m^2)

Δh - Variação da carga hidráulica (da maior cota para a menor) (m)

γ_s – Massa específica dos sólidos (g/cm^3)

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	18
2 – OBJETIVOS	21
2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3 - ÁREA DE ESTUDO	22
3.1 – LOCAIS ANALISADOS	26
4 – PROCESSOS ENVOLVIDOS NOS MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA	29
4.1 – QUEDA.....	30
4.2 – DESLIZAMENTOS	31
4.2.1 – DESLIZAMENTOS PLANARES	31
4.2.2 – DESLIZAMENTOS ROTACIONAIS.....	32
4.2.3 – DESLIZAMENTOS EM CUNHA.....	33
4.3 – FLUXO DE DETRITOS	34
4.4 – RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DOS SOLOS.....	35
4.5 – PERMEABILIDADE DOS SOLOS	37
5 – MATERIAL E MÉTODOS	39
5.1 - PROCEDIMENTOS DE CAMPO.....	40
5.2 - ENSAIOS DE LABORATÓRIO	41
5.2.1 - AMOSTRAS DEFORMADAS	43
5.2.1.1 – DENSIDADE REAL DOS GRÃOS	43
5.2.1.2 – GRANULOMETRIA E SEDIMENTAÇÃO	44
5.2.1.3 – LIMITES DE CONSISTÊNCIA (ATTERBERG).....	45
5.2.1.4 – ANÁLISES QUÍMICAS E GRANULOMETRIA PELO MÉTODO DA PIPETA ...	46
5.2.1.5 – DRX.....	46
5.2.2 - AMOSTRAS INDEFORMADAS	47
5.2.2.1 – CISALHAMENTO DIRETO	48
5.2.2.2 – PERMEABILIDADE	50
6 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
6.1 – CLASSIFICAÇÃO DOS HORIZONTES DE SOLOS.....	53
6.2 – TALUDE DA CICATRIZ: PONTO P1	54
6.3 – PERFIL DA TRINCHEIRA: T1	56
6.4 – PERFIL DA TRINCHEIRA: T2	58

6.5 – LÂMINAS DELGADAS	60
6.6 – QUÍMICA DE ROTINA	67
6.7 – DRX.....	70
6.8 – GRANULOMETRIA PELO MÉTODO DA PIPETA.....	73
6.9 – ENSAIO DE GRANULOMETRIA COM SEDIMENTAÇÃO.....	76
6.10 – MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS E UMIDADE NATURAL.....	83
6.11 – LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTERBERG).....	85
6.12 – ENSAIO DE POROSIMETRIA POR INTRUSÃO DE MERCÚRIO	86
6.13 – ENSAIO DE PERMEABILIDADE	88
6.14 – ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO.....	90
7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	104
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
APÊNDICE I.....	118

1 – INTRODUÇÃO

Movimentos de massa ocorrem de forma natural ou potencializados por fatores antrópicos. Oliveira (1998) afirma que os deslizamentos são caracterizados por movimentos rápidos e bruscos, onde o principal agente deflagrador do processo é a água, muitas vezes associado a desmatamentos, erosão e variação de temperatura. Para Highland e Borbrowsky (2008), outros fatores como a declividade, as atividades vulcânicas, os abalos sísmicos e as águas de degelo também são preponderantes para a ocorrência dos deslizamentos registrados no mundo. Nessa conjuntura, o Brasil com suas dimensões continentais e clima tropical, presenciou ao longo dos anos inúmeros eventos bastante destrutivos. Segundo Wolle e Carvalho (1989), escorregamentos rasos são os mais comuns no Brasil e representam um dos fenômenos naturais que mais produzem danos e vítimas no país, tendo a Serra do Mar, como um dos principais compartimentos geomorfológicos de ocorrência.

Dentre os principais e mais recentes eventos ocorridos no Brasil, destacam-se aqueles registrados entre os anos de 2008 e 2014, onde os movimentos gravitacionais foram o ator principal na caracterização de desastres naturais. Destacam-se os eventos ocorridos nos estados de Santa Catarina, Rio de Janeiro e São Paulo. Em Santa Catarina, no ano de 2008, chuvas torrenciais fizeram com que mais de 130 pessoas perdessem suas vidas, além de ter atingido um grande número de municípios, ocasionando milhares de desabrigados em grande parte do Estado.

Em 2011, na região serrana do Estado do Rio de Janeiro, os municípios de Nova Friburgo, Teresópolis e Petrópolis foram severamente afetados por movimentos gravitacionais, incluindo deslizamentos e corridas de massa, tornando-se esse o maior desastre natural da história do Brasil, com 918 mortes e cerca de 100 desaparecidos.

Por fim, merece destaque o desastre ocorrido no ano de 2014, quando a zona rural do município de Itaóca, sul do Estado de São Paulo, foi fortemente atingida por chuvas que ocasionaram a morte de 25 pessoas (Gramani e Mirandola, 2014), além de centenas de desabrigados e grandes prejuízos financeiros ao município. Estes eventos constituem-se desastres naturais, que segundo Tominaga (2012) são eventos geradores de grande número de atingidos e vítimas fatais, além dos prejuízos financeiros.

Segundo Caputo (1987), os escorregamentos (*Landslide*) são deslocamentos rápidos de uma massa de solo ou de rocha que, rompendo-se do maciço, deslizam verticalmente e horizontalmente, ao longo de uma superfície de deslizamento. Nesta conjuntura, a ocorrência dos deslizamentos está subordinada a uma série de fatores que determinam a suscetibilidade de

uma área à ocorrência destes eventos. Dentre estes fatores, a caracterização do solo e as condições geomorfológicas são preponderantes para determinar o grau de suscetibilidade de uma encosta a deslizamentos (Bitar *et al.*, 2014). Porém, estudos que versem sobre a relação conjunta entre a pedologia, a geomorfologia e os movimentos gravitacionais são incipientes, tanto no Brasil, como na literatura internacional. No Brasil, a escassez de mapas de solos em escalas adequadas ao estudo da suscetibilidade pode explicar, ao menos em parte, tal situação.

Na literatura internacional, tais fenômenos são mais bem estudados. Trabalhos como os de Larsen *et al.* (2010), Bogner *et al.* (2014), Sajinkumar *et al.* (2015), Nehren *et al.* (2016), Tudor *et al.* (2017), Chen *et al.* (2017), Gerber (2019), Karimian *et al.* (2019), Biali *et al.* (2019), relacionam os deslizamentos com características físicas e mineralógicas dos solos e a relação com os padrões geomorfológicos também são discutidos em muitos destes trabalhos. Porém, no Brasil, apesar de importantes trabalhos, onde podemos citar Fonseca *et al.* (2005 e 2017), Cardoso Junior (2006) Lacerda (2007), Coutinho (2019), dentre outros, a temática ainda carece de mais estudos. Em um país de dimensões continentais, com características particulares de clima, solo, geologia e demais fatores, faltam estudos pedológicos e geotécnicos, que possam embasar trabalhos que visem antever a ocorrência de movimentos de massa. Essa condição, muitas vezes, atrelada a falta de informação básica, dificulta a obtenção de dados confiáveis e sólidos para a elaboração de produtos assertivos na prevenção de desastres naturais.

Porém, a série de desastres naturais ocorridos num curto período de tempo e relatados anteriormente neste trabalho, levaram várias instituições de pesquisas nacionais a buscarem metodologias de mapeamento de áreas de risco e de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações que tornassem possível antever esses eventos e suas áreas de atingimento.

Ações governamentais foram criadas após a decretação da lei 12.608 (2012), como a Setorização de Risco Geológico e a confecção das Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações, pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM). Além disso, estudos de casos se tornaram abundantes, como os realizados no município de Itaóca (SP), a saber: Gramani e Arduim, 2015, Gramani e Martins, 2016, Brollo *et al.*, 2015, Carou, 2019, SGB-CPRM, 2019, Bonini *et al.*, 2020 e Coelho, 2020, são alguns exemplos.

Assim, apesar dos estudos relacionando às propriedades físicas dos solos e a dinâmica hidrológica dos solos na ocorrência de escorregamentos e os esforços empreendidos para a compreensão de casos como o ocorrido no município de Itaóca, a avaliação pedológica atrelada a condicionantes geotécnicos torna-se interessante na busca pelo entendimento dos processos deflagratórios do evento.

Nesta conjuntura, este estudo objetiva caracterizar pedologicamente e geotécnicamente solos onde foram registrados deslizamentos planares e, também, onde não foram caracterizadas cicatrizes de deslizamentos provenientes da chuva de 2014, mas que, devido à proximidade, é sabido que ambos os locais foram igualmente afetados pelo mesmo evento chuvoso.

Na região da Serra do Mar, algumas propriedades dos solos são relacionadas à ocorrência de escorregamentos rasos (Furian *et al.*, 1999; Furian *et al.*, 2002; Colângelo, 2012; Mendes *et al.*, 2008), não ficando apenas a cargo de condicionantes geomorfológicos, como a declividade. Para Sidle *et al.*, (1985), propriedades físicas dos solos podem exercer influência direta na dinâmica hidrológica do perfil de alteração.

Porém, há um entendimento que outros fatores também influenciam a suscetibilidade de uma encosta. Dentre os vários fatores, aqueles relacionados às propriedades dos solos são fundamentais. Segundo Lalitha *et al.* (2021), as propriedades físico-químicas do solo refletem as características de estabilidade e seu potencial associado para deslizamentos de terra. Para Sidle *et al.*, (1985), propriedades do solo, como tamanho de partícula e porosidade do solo, podem influenciar a estabilidade de uma encosta.

2 – OBJETIVOS

O trabalho tem por objetivo geral buscar estabelecer possíveis correlações pedológicas e geotécnicas com os escorregamentos ocorridos em janeiro de 2014 e estabelecer diferenças entre estes solos, indicando possíveis fatores que geraram ou potencializaram a maior ou menor resistência do solo aos movimentos gravitacionais de massa.

Segundo Carou, 2019, poucos trabalhos trazem uma correlação entre a gênese do solo (processos pedológicos) e a suscetibilidade a escorregamentos, sendo a maioria dos trabalhos voltados exclusivamente a detalhar a variação da umidade, resistência ao cisalhamento, como a coesão e o ângulo de atrito. Desta forma, este trabalho busca, com base na análise conjunta de dois locais diferentes, verificar as características físicas que podem ter influenciado à ocorrência desigual de deslizamentos. Trabalhando as características geotécnicas e, adicionalmente, correlacionando a pedologia nas análises.

Dito isso, o estudo busca comparar e caracterizar solos que evidenciaram um grande número de deslizamentos com outro que apresentem condições geológicas e geomorfológicas semelhantes, mas não apresentaram o mesmo comportamento com relação aos deslizamentos. Assim, elencando fatores que podem ter influenciado essa distribuição irregular nos escorregamentos, frente ao mesmo evento chuvoso.

2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para se chegar ao objetivo geral, alguns objetivos específicos foram definidos:

- Caracterizar geotecnicamente os solos das duas encostas através de ensaios de granulometria, resistência ao cisalhamento direto, permeabilidade e porosimetria;
- Caracterizar pedologicamente estes solos, através da análise química, macro e micromorfológica;
- Inferir sobre o comportamento da água como fator deflagrador dos escorregamentos e potencializador ao aumento da suscetibilidade natural dos solos à ocorrência de processos gravitacionais de massa;
- Objetiva relacionar a pedologia com a geotecnia na suscetibilidade a escorregamentos.

3 - ÁREA DE ESTUDO

O município de Itaóca está inserido no domínio da Serra do Mar, na região conhecida como Vale do Ribeira, no sul do Estado de São Paulo (Figura 1), sobre rochas graníticas do Maciço Itaóca e que segundo o mapeamento pedológico de Rossi (2017), no Maciço Itaóca predomina a subordem de Argissolos Vermelho-Amarelos.

Itaóca está inserida no contexto geológico regional do Cinturão Ribeira, composto pelo embasamento alóctone, granitoides intrusivos, rochas vulcanossedimentares, principalmente (Faleiros et al., 2012). Para Campanha e Sadowski (2002), a região do Vale do Ribeira se divide nos seguintes blocos: Andorinhas, Apiaí, Ribeira e por fim, Lajeado, onde está inserido os granitos Vargem Grande e Itaóca, estando a área de estudo totalmente inserida neste último.

O Granito Itaóca, segundo Campanha e Sadowski (2002), são rochas pouco deformadas, com exceção daquelas que se encontram próximas às zonas de cisalhamento. Para Mello (1995) e Salazar et al., (2008), o Granito Itaóca possui forma elipsoidal e área que supera os 200 km². Nessa conjuntura, o plúton Itaóca intrude uma sequência metamórfica de rochas de caráter oceânico do Subgrupo Lajeado. Possui composição cálcio alcalina, e idade aproximada de 623 milhões de anos, com sua gênese diretamente associada a evolução neoproterozóica da Província Mantiqueira Central.

Do aspecto pedológico, o mapeamento de Rossi (2017), indica o predomínio da subordem Argissolos Vermelho-Amarelos para o Maciço Itaóca.

Quanto ao clima, o município está classificado como clima subtropical úmido (Cfa), segundo a classificação Koppen-Geiger. Apresentando precipitação média anual de 115,6 mm, sendo o mês de janeiro o mais chuvoso, com média de 219,8 mm, segundo a série histórica 1970 – 2000 (DAEE, 2020).

Nessa conjuntura, em janeiro de 2014, na porção norte do município, junto ao limite com o município de Apiaí, fortes chuvas ocasionaram um grande número de movimentos gravitacionais de massa nas bacias dos rios Guarda-Mão e Gurutuba. Estas chuvas foram concentradas nesta área do município e aliado ao relevo serrano da região (Figura 2), grande destruição foi registrada. A principal tipologia de evento registrada foram os escorregamentos rasos, do tipo planar, que contribuíram para a ocorrência de eventos ainda mais destrutivos, as corridas de massa (Figura 3).

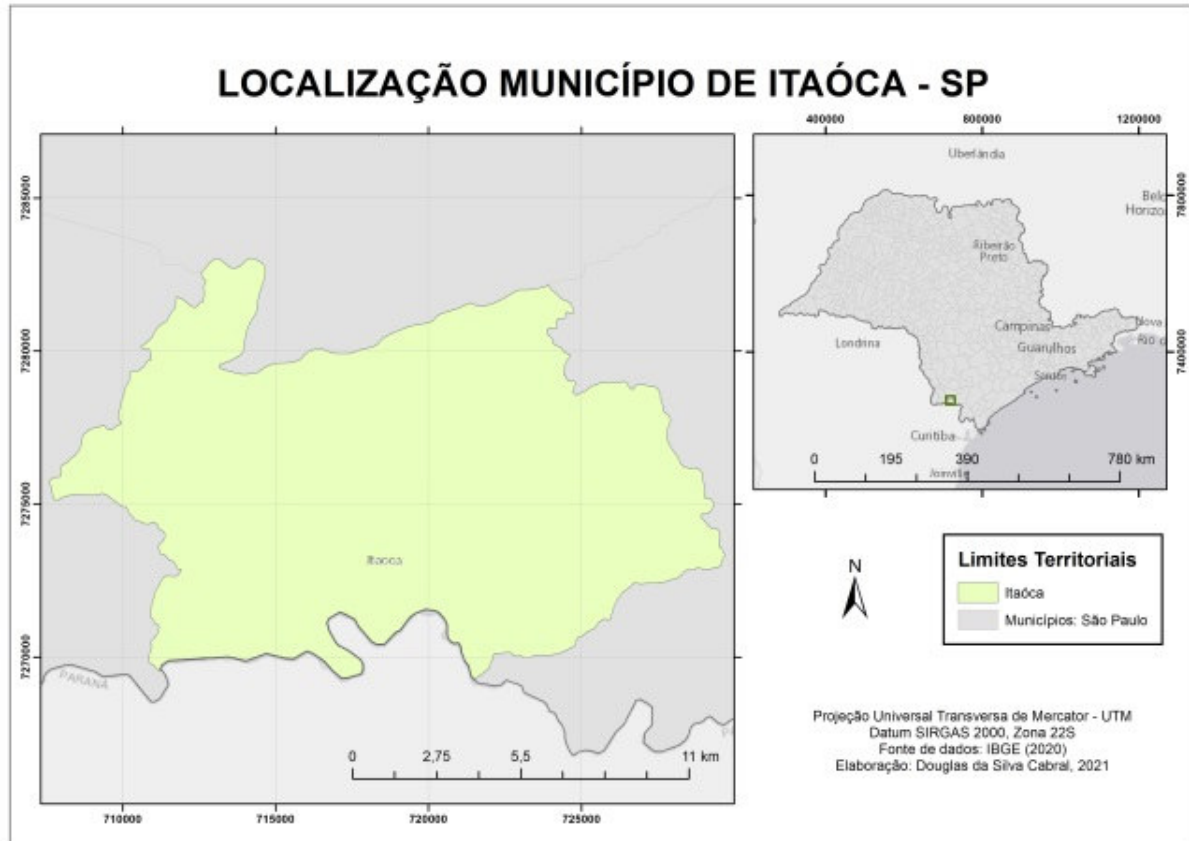


Figura 1 - Mapa de localização do Município de Itaóca – SP.

Especificamente na porção norte do município, diversos núcleos urbanos na zona rural e também a área central da cidade foram atingidos, ocasionando destruição de plantações, moradias, estradas, pontes, intensa mobilização vegetal e assoreamento de muitos pontos dos rios Palmital (Figura 4) e Funil (Brollo *et al.*, 2015; Gramani e Martins, 2016).

Segundo dados registrados pela estação meteorológica automática do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO), foram registrados entre às 7 horas do dia 12 de janeiro e às 7 horas do dia 13 de janeiro de 2014, precipitação acumulada de 81 mm, sendo 70 mm em apenas 40 minutos. Segundo a prefeitura municipal de Itaóca e estimativas realizadas pelo então Instituto Geológico (IG), mais de 130 mm de precipitação acumulada deve ter atingido a região serrana do município em apenas 1 hora. Em Apiaí e Ribeira, cidades vizinhas, também foram registrados acumulados acima de 100 mm no mesmo período. Importante ressaltar chuvas de menor volume já assolavam a região nos dias que antecederam o desastre e que as medições e previsões possivelmente não representam a chuva ocorrida na porção mais afetada, devido a inexistência de pluviômetros no local. Segundo

Gramani (2015) dados preliminares e estimativas geradas por radar, indicam que as chuvas na região, foram de cerca de 210 mm/2h.



Figura 2 - Relevo serrano no limite norte de Itaóca (Foto: autor, 2018).

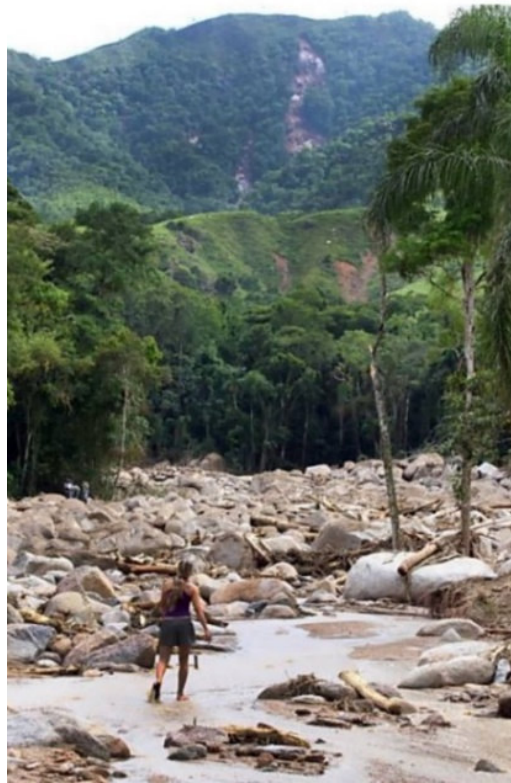


Figura 3 - Corrida de detritos e cicatriz de escorregamento na bacia do Rio Guarda-Mão (Fonte: Folha de São Paulo, 2014).



Figura 4 - Inundação e enxurrada do Rio Palmital no centro de Itaóca (Fonte: Defesa Civil Estadual - SP, 2014 apud G1 (2014)).

3.1 – LOCAIS ANALISADOS

O estudo buscou estabelecer a encosta que melhor caracterizasse os eventos ocorridos em 2014, buscando declividades semelhantes, com uma variação na ocorrência de escorregamentos heterogênea. Assim, primeiramente foram realizadas sondagens a trado com caracterização tátil visual do material. A localização destas investigações é apresentada na Figura 5 e na Tabela 1.

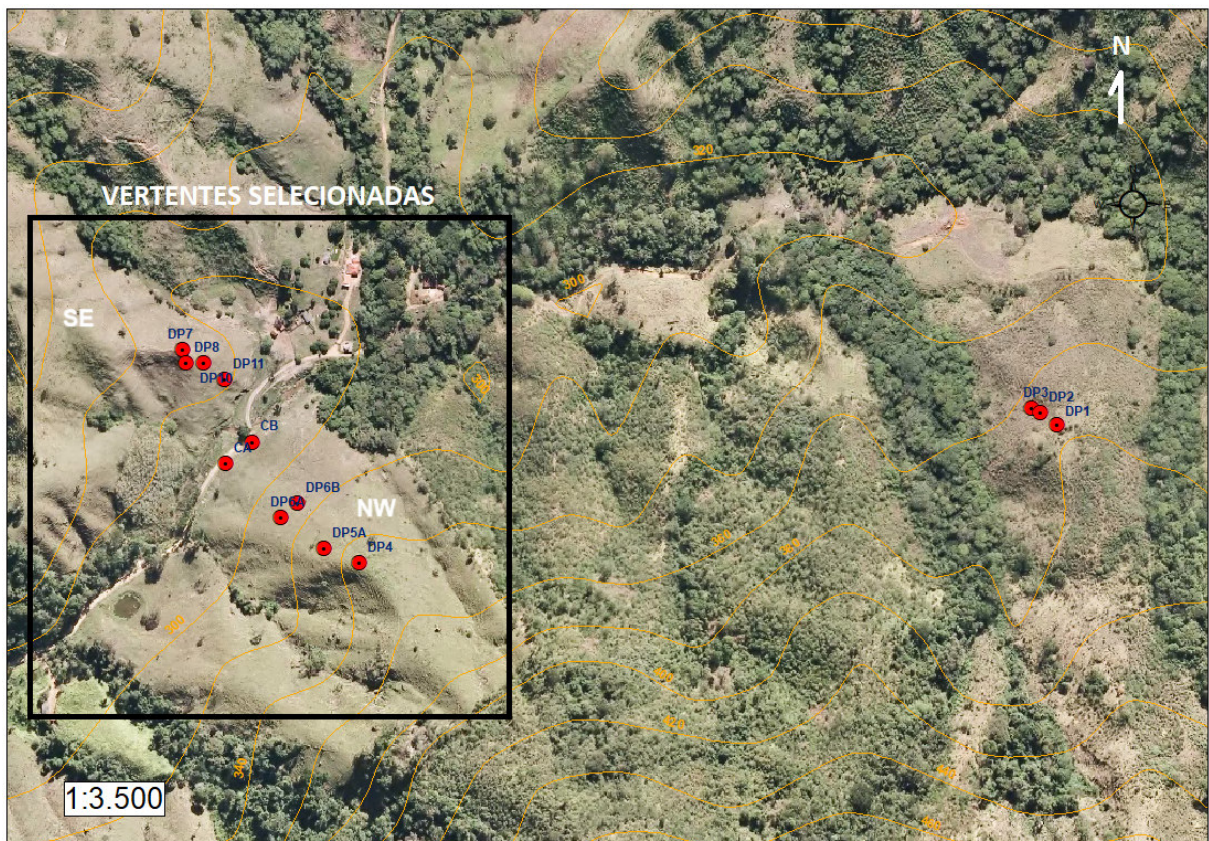


Figura 5 - Localização das tradagens realizadas na primeira etapa de campo.

Após a análise das investigações a trado foram definidas as vertentes a serem analisadas neste estudo, conforme Figura 5. Nestas vertentes foram analisadas uma cicatriz de escorregamento (P1) e foram executadas duas trincheiras, a saber: T1 e T2. A localização destas investigações é apresentada na Figura 6 e suas coordenadas e altitudes estão indicadas na Tabela 2.

Tabela 1 - Localização das investigações a trado (Obtidas com a utilização de GPS modelo Garmin).

Investigação (trado)	UTM - N	UTM- E	Elevação (m)
DP1	7278288	721196	368
DP2	7278298	721182	364
DP3	7278302	721174	362
DP4	7278172	720610	338
DP5	7278184	720580	327
DP6A	7278210	720544	314
DP6B	7278222	720558	315
DP7	7278351	720461	309
DP8	7278340	720464	307
DP10	7278340	720479	305
DP11	7278326	720497	302
CA	7278249	720509	303
CB	7278262	720525	303

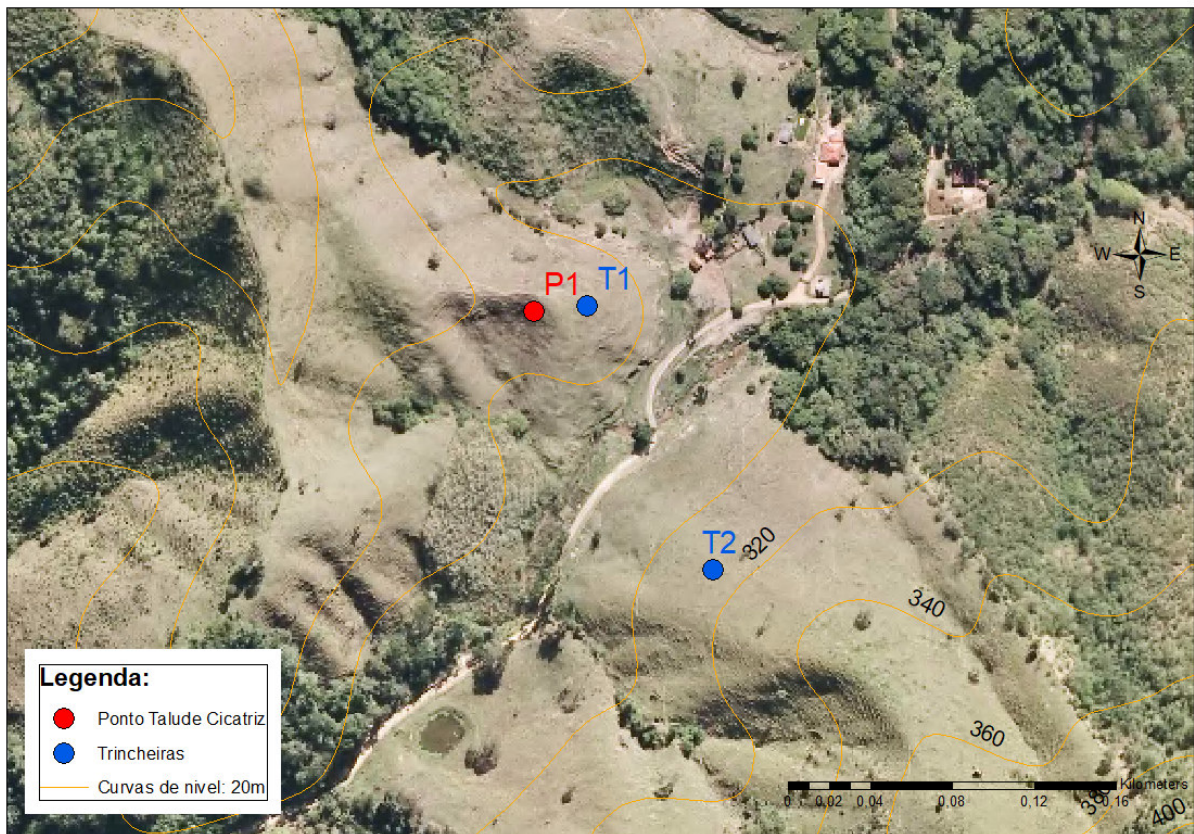


Figura 6 - Localização dos pontos estudados.

Tabela 2 - Localização dos pontos de estudo (Obtidas com a utilização de GPS modelo Garmin).

Investigação	UTM - N	UTM- E	Elevação (m)
P1	7278344	720458	309
T1	7278344	720484	305
T2	7278214	720548	314

A avaliação da área envolveu também a produção de um mapa de declividade por meio da utilização de um modelo digital de elevação (MDE Copernicus 30m), onde foi possível averiguar a similaridade da declividade do terreno. Para este mapa foi utilizada a classificação da Embrapa (1979), que apesar de apresentar intervalos relativamente grande de declividade, se mostra uma classificação conhecida e bastante aceita. Este mapa é apresentado na Figura 7, que se segue.

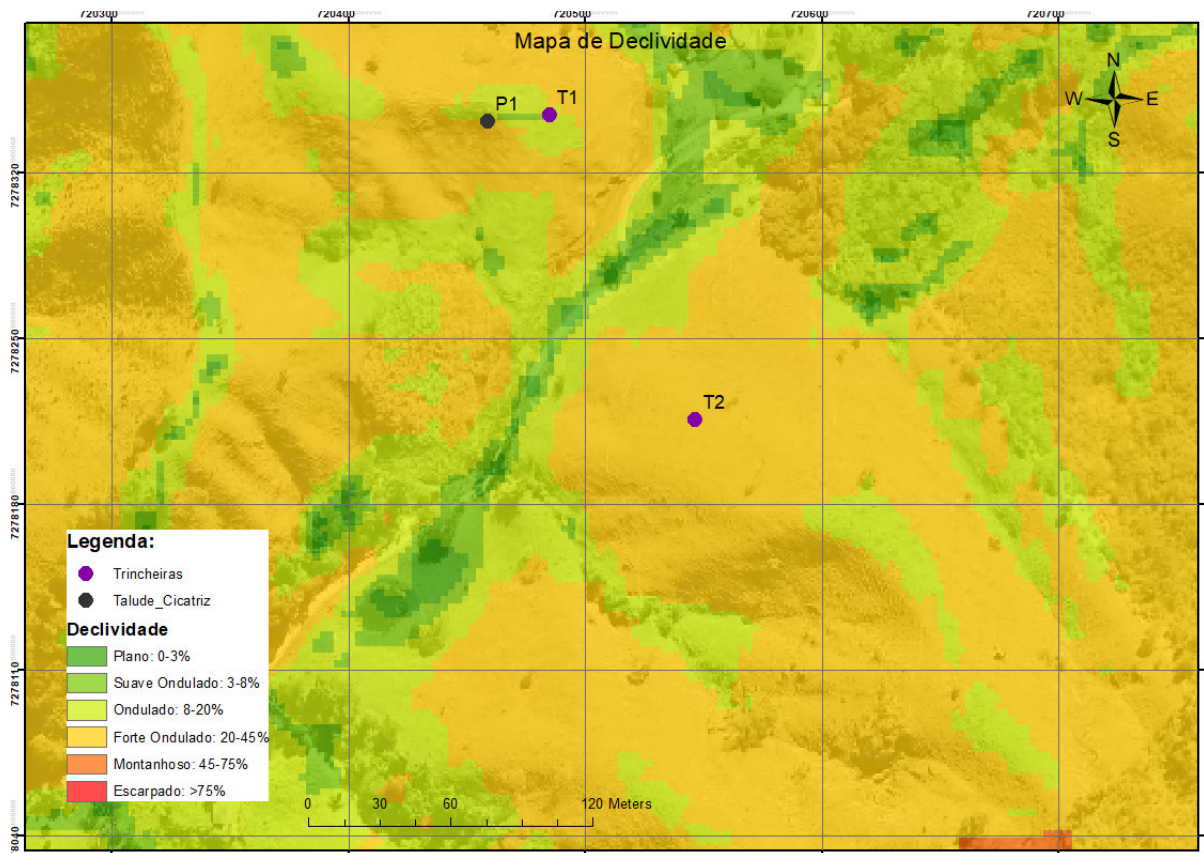


Figura 7 - Mapa de declividade da área de estudo (classificação segundo Embrapa, 1979) Mapa gerado a partir de MDE Copernicus 30m.

4 – PROCESSOS ENVOLVIDOS NOS MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

Para Highland; Bobrowsky (2008), os movimentos de massa formam rupturas complexas e que incluem mais de uma tipologia, como deslizamentos e quedas, por exemplo. Aqueles processos que geram instabilizações na paisagem são os que Cruden (1991) definiu genericamente como escorregamentos ou movimentos de massa. Augusto Filho (1992) propõem uma classificação para as principais tipologias de movimentos de massa na dinâmica ambiental brasileira, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação de movimentos de massa (Adaptado de Augusto Filho, 1992)

Processos	Geometria, Material e Dinâmica
Queda	<ul style="list-style-type: none"> • Sem planos de deslocamento. • Movimentos do tipo queda livre ou em plano inclinado. • Velocidades muito altas (vários m/s). • Material rochoso. • Pequenos a médios volumes. • Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc. Rolamento de matacão; Tombamento.
Deslizamentos	<ul style="list-style-type: none"> • Poucos planos de deslocamentos (externos). • Velocidades médias (m/h) a altas (m/s). • Pequenos a grandes volumes de materiais. • Geometria e matérias variáveis. • Planares: solos pouco espessos; solos e rochas com planos de fraqueza. • Rotacionais: solos espessos, homogêneos e rochas muito fraturadas.
Fluxo de Detritos	<ul style="list-style-type: none"> • Muitas superfícies de deslizamentos. • Movimentos semelhantes ao de um líquido viscoso. • Desenvolvimento ao longo das drenagens. • Velocidades médias a altas. • Mobilização de solo, rocha, detritos e água. • Grandes volumes de material.

Fonte: Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa (SGB - CPRM, 2018).

Bloom (1988) entende que as encostas mudam constantemente, tendendo ao equilíbrio. Segundo Gerscovich (2012), a instabilidade de encostas é consequência da própria dinâmica de evolução das encostas. Essa dinâmica está intimamente ligada a formação das vertentes, que em ambientes montanhosos são produtos de processos construtivos e destrutivos.

Segundo Janke e Price (2013), os terrenos montanhosos foram criados por forças terrestres internas e eventualmente são modificadas e destruídas por forças externas, ao longo do tempo geológico.

Os mecanismos básicos de ruptura (queda, deslizamento, fluxo de detritos, etc), combinados com os fatores constituintes da área, como litologia, estrutural, clima, vegetação, topografia e uso e ocupação do solo, produzem uma diversidade nos tipos de movimentos de massa (Lee e Jones, 2004).

No Brasil os desastres naturais são majoritariamente associados a movimentos gravitacionais de massa. A ocupação desordenada das cidades, através da construção em terrenos impróprios à ocupação faz com que os movimentos de massa estejam entre os mais letais no país. Segundo Macedo *et al.* (2022), entre 1988 e 2022, 4146 pessoas foram vitimadas por movimentos gravitacionais de massa no Brasil, sendo o deslizamento planar a principal tipologia.

Baseado na classificação de Augusto Filho (1992), apresentada na Tabela 3, pode-se definir três principais processos de movimentos gravitacionais de massa: queda, deslizamento e fluxo de detritos.

4.1 – QUEDA

As movimentações de blocos rochosos pelas forças da gravidade podem ser classificadas em queda de blocos, tombamento de blocos, rolamento de blocos e deslocamento. Brunsden e Prior (1984) definem a movimentação de blocos rochosos como todo movimento de material por meio de queda livre abrupta em encostas íngremes, em que o material é desprendido sob a forma de blocos.

Para Varnes (1984) trata-se de um dos movimentos de massa mais rápidos, o que para Frattini *et al.* (2008), essa alta mobilidade é a principal característica desse processo e a que principalmente a diferencia dos demais movimentos gravitacionais de massa. Outra característica dessa tipologia de movimento gravitacional é a não relação direta com eventos chuvosos.

4.2 – DESLIZAMENTOS

Dentre as tipologias dos movimentos de massa, os deslizamentos estão entre os mais comuns no país. Macedo *et al.*, (2022) diz que os deslizamentos é a tipologia que mais afeta os grandes municípios brasileiros, que tem muitas de suas áreas de alta suscetibilidade a deslizamentos ocupadas, devido à grande pressão ocupacional.

Tratando mais especificamente dos deslizamentos, Tominaga (2012) classifica os como movimentos rápidos, com volumes definidos, deflagrados em terrenos inclinados, onde através da gravidade ocorre o movimento descendente de solos, rocha e matéria orgânica.

Em função da geometria e da natureza dos materiais instabilizados, os deslizamentos são subdivididos em três tipos: planar, rotacional e em cunha. Destes processos o mais comum nas encostas brasileiras são os planares ou translacionais, enquanto os deslizamentos em cunha são pouco comuns e restritos às regiões que apresentam relevo fortemente controlado por estruturas geológicas (Tominaga, 2012).

4.2.1 – DESLIZAMENTOS PLANARES

Os deslizamentos planares ou translacionais caracterizam-se por ocorrerem em regiões com solos rasos (Figura 8). Segundo Gerscovich (2012), os deslizamentos planares ou translacionais caracterizam-se pelas descontinuidades ou planos de fraqueza. Geralmente estão associados a episódios chuvosos, tendo a água como principal agente deflagrador.

São os deslizamentos mais comumente registrados no Brasil e por possuírem poder de destruição normalmente grande, com variações em função do volume e material deslocado (Brasil, 2014; Tominaga, 2012), são geralmente associados aos desastres naturais registrados no país.

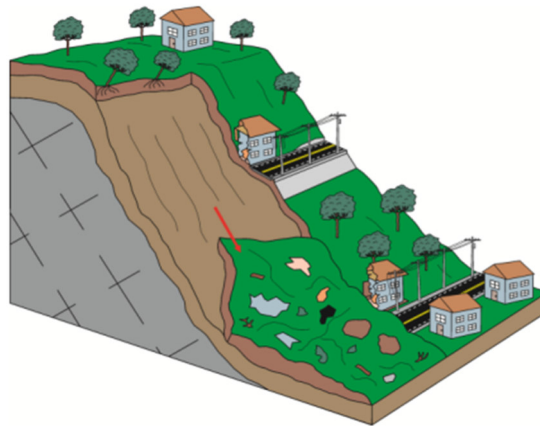


Figura 8 - Bloco diagrama de deslizamento planar (Ribeiro, 2016, *apud* Pimentel 2018).

Fonte: Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa (Pimentel, 2018).

4.2.2 – DESLIZAMENTOS ROTACIONAIS

Para Varnes (1978), os deslizamentos rotacionais são pequenos escorregamentos ao longo de uma superfície circular com concavidade voltada para cima. São mais lentos que os planares e ocorrem de maneira contínua ou intermitente, segundo uma ou mais superfícies de ruptura curvas, com concavidade voltada para cima (Figura 9). Nos deslizamentos rotacionais é comum a ocorrência de uma série de rupturas combinadas e sucessivas (Infanti Jr e Fornasari Filho, 1998).

Essa tipologia de deslizamento é mais comum em regiões montanhosas tropicais (Gerscovich, 2012), ocorrendo em encostas com espessos pacotes homogêneos de solo, rochas sedimentares ou maciços rochosos intensamente fraturados. Eles ocorrem desde deslizamentos individuais pequenos, como aqueles existentes ao longo das margens fluviais, até deslizamentos múltiplos e maciços, que afetam grandes áreas e podem causar prejuízos consideráveis e desastres naturais (Wicander e Monroe, 2009).

Os principais agentes deflagradores são a execução de cortes na base do talude para implantação de estradas e construção de edifícios, além da erosão fluvial no sopé da vertente (Fernandes e Amaral, 1996).

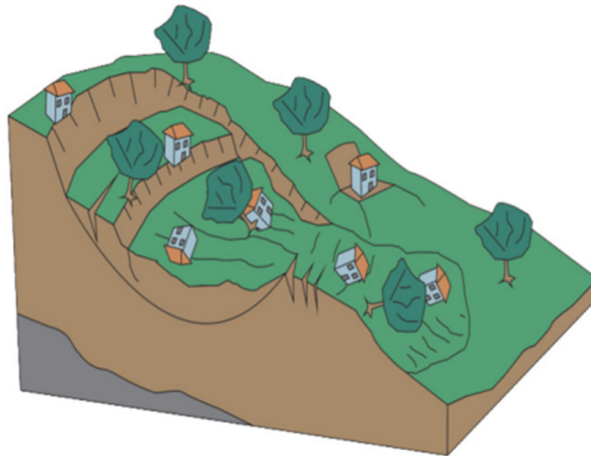


Figura 9 - Bloco diagrama de deslizamento rotacional (Adaptado de TOMINAGA, 2012. Elaborado por Lana, 2016, *apud* Pimentel, 2018).

4.2.3 – DESLIZAMENTOS EM CUNHA

Estes são os deslizamentos menos comuns de serem verificados, pois dependem de uma conjuntura estrutural propícia à sua ocorrência. Estão geralmente associados a existência de duas estruturas planares, desfavoráveis a estabilidade, e que condiciona o deslocamento de um prisma ao longo do eixo de intersecção destes planos (Infanti Jr *et al.*, 1998).

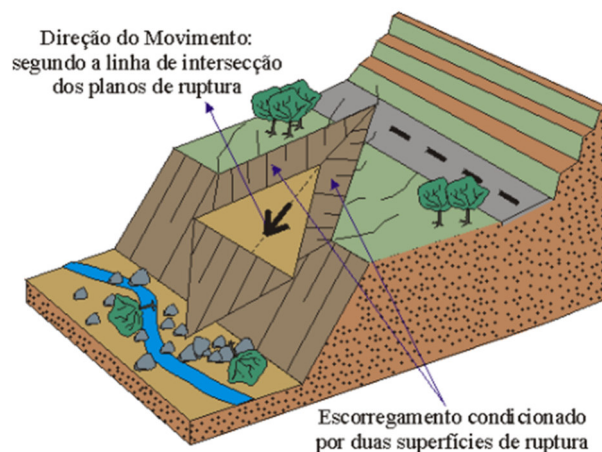


Figura 10 - Esquema para ocorrência de deslizamento em cunha (Adaptado de Infanti Jr *et al.*, 1998, *apud* Pimentel, 2018).

Retirado de: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09.html>

4.3 – FLUXO DE DETRITOS

Segundo Augusto Filho (1992) e Tominaga (2012) estes eventos são caracterizados por rápido deslocamento (m/s) de massa fluida de alta viscosidade, composta, principalmente, por solo, rocha, vegetação, detritos de origem antrópica e água (Figura 11).

São movimentos complexos de massa, resultado da combinação dos movimentos descritos anteriormente, com grandes dimensões, que se deslocam na forma de escoamento rápido. Caracterizam-se por movimentos múltiplos, ou complexos, e pela ação de vários agentes simultâneos ou sucessivos. Pode-se dizer que movimentos complexos de massa é um sinônimo a deslizamentos mistos da classificação de Freire (1973), ratificado por Guidicini e Nieble (1984).



Figura 11 - Fluxo de detritos na zona rural de Santa Terezinha, SC (Foto: autor, 2018).

4.4 – RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DOS SOLOS

A resistência ao cisalhamento do solo é definida como a tensão cisalhante que ocorre no plano de ruptura no momento da ruptura. Gerscovich (2012) ressalta que “a ruptura em si é caracterizada pela formação de uma superfície de cisalhamento contínua na massa de solo. Assim, pode-se dizer que existe uma camada de solo na região da superfície de cisalhamento que perde suas características durante o processo de ruptura, formando uma zona de fraqueza, ou zona de cisalhamento, conforme a Figura 12.

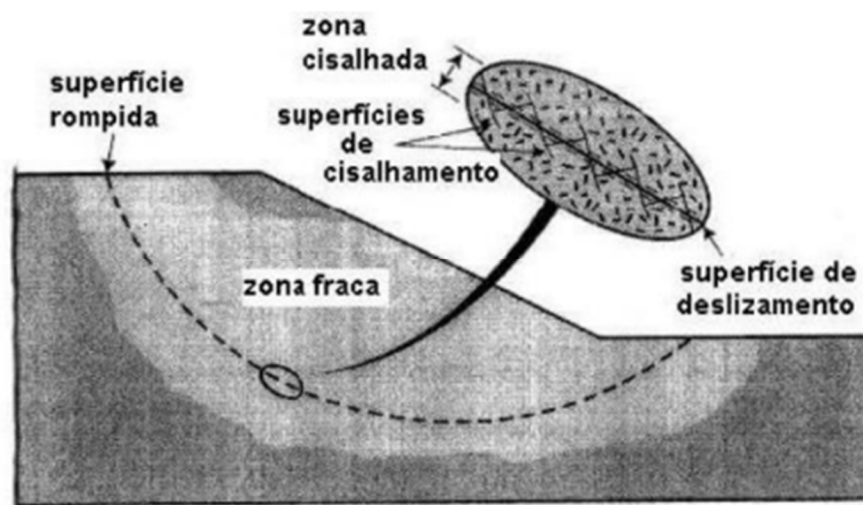


Figura 12 - Esquema indicando as zonas de cisalhamento e fraqueza (Leroueil, 2001).

Porém, é sabido que o comportamento dos solos vai ser fortemente influenciado pela presença de água. Solos não saturados fazem com que a ação da água adsorvida atue como uma “cola”, o que resulta em poropressão negativa causando a coesão aparente. Nos solos saturados, a tensão superficial provoca tensões positivas, conforme indicado na Figura 13. A coesão aparente possui esse nome pelo fato desta coesão desaparecer quando o solo se torna totalmente saturado ou totalmente seco.

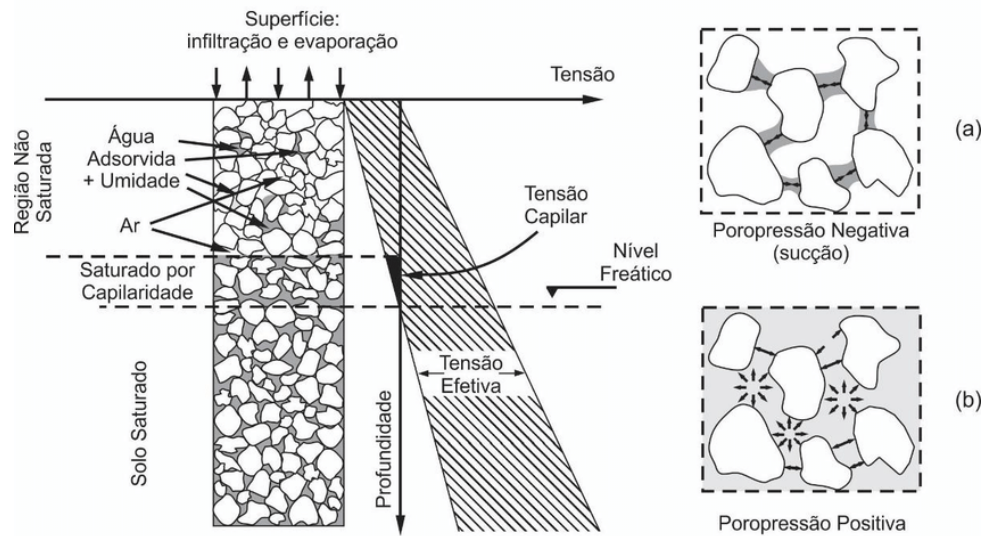


Figura 13 - Distribuição da poropressão no solo, em função da profundidade e da saturação por água (Molina Junior (2017), adaptado de Lambe e Withman, 1979 e Gerscovich, 2011).

A resistência interna de um solo ao cisalhamento é definida por dois parâmetros, o ângulo de atrito interno (ϕ), função do contato entre superfícies e a coesão (c), função da atração química entre partículas. Esses parâmetros são determinados em laboratórios.

O ângulo de atrito interno do solo trata das características físicas de contato entre as partículas do solo, indicando o ângulo máximo entre a força transmitida ao solo e a força normal à superfície de contato, sem que haja cisalhamento no plano de ruptura. O ângulo de atrito interno do solo depende de fatores como grau de compactação, percentagem e tipo de argila, tamanho e forma dos grãos de areia do solo (Pinto, 2000). Diferentes tipos de argila apresentam comportamentos diferentes em relação a absorção de água. As argilas expansivas, por exemplo, têm capacidade de absorver muito mais água e variam seu tamanho devido esta característica. Desta forma, o ângulo de atrito interno varia com o material e depende dos fatores que envolvem este material (densidade, rugosidade e forma entre outros), (Caputo, 1988; Pinto, 2006).

A coesão do solo pode ser tratada como a força de atração entre as superfícies de seus grãos, podendo ser de dois tipos, a saber: real ou aparente. A coesão real resulta do efeito de agentes cimentantes, como teor de óxidos e de argilas silicatadas, segundo Mullins *et al.*, 1990, bem como o resultado da atração entre partículas próximas por forças eletrostáticas (Mitchell, 1976). A coesão aparente, por sua vez, resulta da tensão superficial da água nos interstícios do solo, formando películas de água entre as partículas dos solos parcialmente saturados, que tendem a atraí-las entre si. A coesão aparente constitui uma parcela da resistência

ao cisalhamento de solos, quando parcialmente saturados (Fredlund e Rahardjo, 1993) e que desaparece com a saturação ou secagem total do solo.

Considerando a coesão, o ângulo de atrito interno e a tensão normal, a equação de Coulomb-Mohr (Selby, 1993; Pinto, 2006; Vargas, 1977) representa a resistência ao cisalhamento, conforme indicado na Equação 1

$$t = c + \sigma \cdot \tan \varphi \quad \text{Equação 1}$$

Onde: t – Resistência ao cisalhamento; c – Coesão (kN/m^2); σ – Tensão Normal (kN/m^2); φ – Ângulo de atrito interno.

4.5 – PERMEABILIDADE DOS SOLOS

O interior da Terra é composto de diferentes tipos de rochas que funcionam como um vasto reservatório subterrâneo para a acumulação e circulação das águas que nele se infiltram Chiossi (1979). Assim como a água se acumula nas rochas, ela também é encontrada em horizontes mais superficiais do subsolo. A água subterrânea é originada predominantemente das águas das chuvas pela infiltração vertical.

O conceito de permeabilidade está relacionado ao movimento da água nos interstícios do solo, no sentido vertical, quando a água está infiltrando no solo e na horizontal, quando relacionada a inclinação do terreno. O movimento da água no interior de um maciço de solo exerce em suas partículas sólidas forças que influenciam o estado de tensão do maciço, sendo fundamental para a estabilidade do talude.

A permeabilidade é a propriedade que o solo possui de permitir o escoamento da água através dele, sendo expresso numericamente pelo “coeficiente de permeabilidade” ou “condutividade hidráulica”, representado pela letra “K”. A determinação do coeficiente de permeabilidade se dá através da lei experimental de Darcy, proposta pelo Engenheiro francês de mesmo nome, Henry Darcy, em 1856, *apud* Maciel *et al.* (2017).

A condutividade hidráulica (K) pode ser não saturada, quando os poros do solo ainda têm capacidade de absorção da água (K_{nsat}) ou saturada, quando os vazios do solo estão preenchidos com água, esta é chamada de K_{sat} .

A condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) é o valor que indica a facilidade com que um solo saturado pode transmitir água através dos poros. É definido como o fator de proporcionalidade que relaciona o fluxo de água ao gradiente hidráulico na equação de Darcy (Equação 2).

$$Q = K_{sat} \cdot A \cdot (\Delta h) / L$$

Equação 2

Onde: Q - vazão (m^3/s); K_{sat} - condutividade hidráulica saturada (m/s); A - área (m^2); Δh - Variação da carga hidráulica (m); L - Distância percorrida pela água (m).

O valor da condutividade hidráulica é geralmente expresso como um produto de um número por uma potência negativa de 10. Na Tabela 4 é apresentado, segundo Casagrande, os intervalos de referência de variação de K para diferentes tipos de solos e suas características de escoamento.

Tabela 4 - Coeficientes de permeabilidade de solos típicos (Casagrande, 1936).

	K		Material	Características do escoamento
	cm/seg	m/dia		
10^{+2}	1 a 100	864 a 86400	Pedregulho limpo	Bom
10^{-3}	0,001 a 1	0,86 a 864	Areias limpas, misturas de areias limpas e pedregulhos.	
10^{-7}	10^{-7} a 10^{-3}	$8,64 \times 10^{-5}$ a 0,86	Areias muito finas; siltes; misturas de areia, silte e argila; argilas estratificadas.	Pobre
10^{-9}	10^{-9} a 10^{-7}	$8,64 \times 10^{-7}$ a $8,64 \times 10^{-5}$	Argilas não alteradas	Impermeável

5 – MATERIAL E MÉTODOS

O estudo aqui proposto se baseou em estabelecer ao menos dois locais onde o padrão de cicatrizes de deslizamentos fosse heterogêneo, mas estando localizados próximos, onde seria possível afirmar que a chuva os teria afetado na mesma proporção em termos de quantidade pluviométrica, naquele janeiro de 2014.

Para tal, foram executadas duas etapas de campo, sendo a primeira, no mês de outubro de 2021 e a seguinte, em março de 2022. Estas etapas de campo tiveram objetivos claros e particulares, ficando a cargo da primeira incursão, o reconhecimento da área e a escolha de locais que atendessem aos objetivos do trabalho. Assim, neste momento da pesquisa, foram executados caminhamentos pelas bacias dos rios Gurutuba e Guarda Mão e sondagens a trado foram realizadas na região do Rio Gurutuba, com intuito de melhor observar o solo em subsuperfície. Tais investigações a trado tiveram suas localizações apresentadas na Figura 5 e na Tabela 1.

Além da proximidade dos locais, outros fatores também foram fundamentais para a escolha das áreas de estudos. A inclinação da encosta, a curvatura das vertentes, a cobertura vegetal e o uso e ocupação do solo foram considerados como preponderantes para a definição dos locais a serem estudados. Estes condicionantes teriam que ter semelhança entre si para que pudessem ser totalmente ou parcialmente excluídos como fatores preponderantes na ocorrência dos deslizamentos, deixando assim, a cargo das características dos solos esse protagonismo.

Desta forma, foram escolhidas duas áreas que atendiam aos critérios previamente estabelecidos. Estas áreas apresentam declividades semelhantes e estão geograficamente localizadas muito próximas, uma de frente a outra (Figura 8). Possuem amplitudes do relevo semelhantes e a mesma vegetação de gramíneas, devido ao uso que as áreas apresentam para pastagem. Assim, estas vertentes passaram a ser chamadas de Vertente SE (voltada para SE) e Vertente NW (voltada para NW), conforme indicado nas figuras 5 e 14.

Após a definição das áreas a serem caracterizadas, através dos resultados obtidos nas tradagens, foram selecionados dois pontos para a execução de trincheiras para caracterização tátil visual e coleta de amostras deformadas e indeformadas (Figura 6). Essa etapa de coleta de amostras foi realizada na segunda etapa de campo e contou, além da abertura das duas trincheiras, da avaliação de uma cicatriz de deslizamento proveniente do evento ocorrido em 2014 e onde também foram coletadas amostras deformadas e indeformadas.



Figura 4 - Fotos mostrando as vertentes selecionadas para estudo: 1. Vertente voltada para SE com várias cicatrizes de deslizamentos; 2. Vertente voltada para NW sem presença de cicatrizes de deslizamentos (Fotos: autor, 2022).

Na Figura 14 é possível verificar algumas condições geomorfológicas semelhantes das duas encostas. Notadamente, é possível também confirmar a heterogeneidade na distribuição das cicatrizes de deslizamentos provenientes do evento de janeiro de 2014, onde a encosta localizada mais a leste (Vertente SE) foi seriamente afetada pelos escorregamentos, enquanto a outra nada sofreu, mesmo tendo declividades semelhantes.

5.1 - PROCEDIMENTOS DE CAMPO

A execução das trincheiras se deu escavando o solo até o material impenetrável ao enxadão (até aproximadamente 1 metro), obtendo assim, o perfil pedológico. Nestas trincheiras foram descritos e coletadas amostras deformadas de todos os horizontes de solos. Para as amostras indeformadas foram escolhidos os dois horizontes mais profundos e mais próximos ao limite com a rocha, objetivando caracterizar o contato solo/rocha, que é sabido ser o ponto de ruptura da maioria das cicatrizes de deslizamentos da região (Carou, 2019).

A abertura das trincheiras e a coleta de amostras indeformadas, no formato de cubo são mostradas na Figura 15 e seguiram o disposto na ABNT NBR 9820 (1997), ou seja, na trincheira foi escavado e moldado o bloco com 30 cm de aresta e depois de retirado, o mesmo foi envolvido por parafina e tecido de malha fina, de forma a evitar a perda da umidade natural. Esses blocos foram transportados até o laboratório em caixas com serragem de madeira, amenizando os riscos de serem danificados.

Além das duas trincheiras também foram coletadas amostras no talude formado pelo deslizamento ocorrido em uma cicatriz de deslizamento, na Vertente SE. Neste ponto os horizontes mais próximos à rocha encontravam-se bastante alterados e pouco coesos, não permitindo a coleta de amostras indeformadas no formato de cubo, conforme feito nas trincheiras. Por este motivo foram coletadas duas amostras com a ajuda do tubo de PVC de 150 mm. Para isto o tubo não foi cravado e sim, foi moldado no solo, permitindo que o tubo fosse, aos poucos, sendo fixado no solo e permitindo a coleta das amostras sem que suas bordas fossem deformadas.



Figura 15 - Abertura da trincheira e coleta de amostras indeformadas, com a utilização de parafina (Fotos: autor, 2022).

5.2 - ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Após a etapa de campo, as amostras indeformadas foram encaminhadas para o laboratório de mecânica de solos da Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp e as amostras deformadas foram levadas às dependências do Serviço Geológico do Brasil – SGB-CPRM, em Araraquara (SP), onde foram ensaiadas no laboratório do SGB-CPRM. Amostras indeformadas

também foram coletadas para a realização de seções delgadas para observação em microscópio. Amostras deformadas também foram utilizadas para a realização de análises “físicas” e “químicas” do solo, seguindo Camargo *et al.*, (2009). Na análise física do solo foi obtido a granulometria para todos os horizontes, onde os grossos acima de 2mm foram separados e o material passante na peneira de 2 mm foi sedimentado, obtendo assim a granulometria.

A Figura 16 apresenta um fluxograma indicando os ensaios que foram propostos e realizados para o referido estudo. Adicionalmente foram enviadas amostras indeformadas para o Instituto de Física da Escola de Engenharia de São Carlos (USP), para a realização do ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio.

Ademais, amostras deformadas foram encaminhadas ao laboratório Unithal (Laboratório Agrônomo), em Campinas, para análises físicas (Granulometria como método da pipeta) e químicas. Por fim, amostras indeformadas foram direcionadas para a produção de lâminas de solos. Estas por sua vez, foram analisadas no Instituto de Geociências da UNICAMP e no SGB-CPRM.

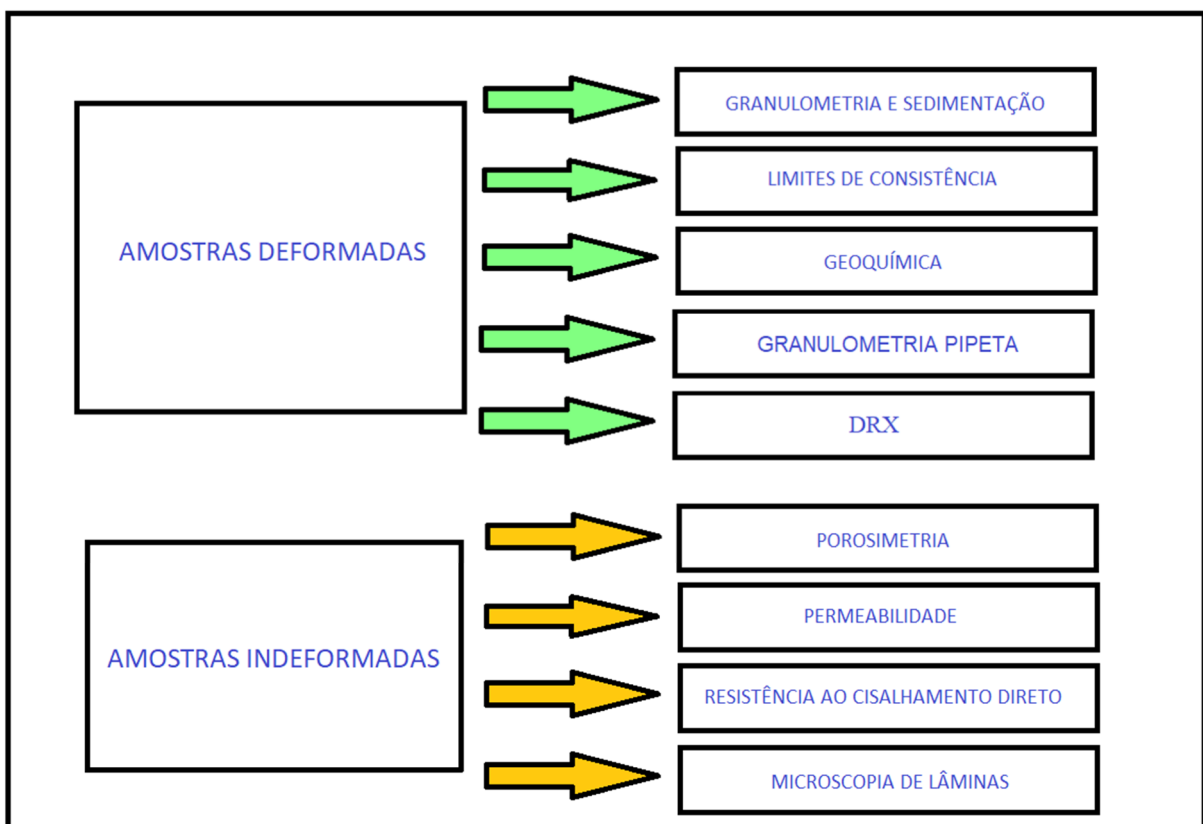


Figura 16 - Fluxograma das análises realizadas.

5.2.1 - AMOSTRAS DEFORMADAS

As amostras deformadas foram encaminhadas ao laboratório de mecânica dos solos do Serviço Geológico do Brasil, onde foram realizados ensaios de caracterização, como granulometria com sedimentação através da introdução de defloculante, conforme ABNT NBR 7181 (2016), ensaios de determinação da densidade dos grãos (DNER ME 093, 1994) e ensaios de limites de consistência (ABNT NBR 6459 e ABNT NBR 7180, de 2016), conforme ilustrados nas Figuras 17, 18 e 19.

5.2.1.1 – DENSIDADE REAL DOS GRÃOS

O ensaio de densidade real dos grãos foi realizado seguindo a norma DNER ME 093/1994, que equivale a NBR 6458. Onde foram ensaiadas 3 porções de amostra através do aquecimento dos picnômetros, permitindo assim que todo o ar contido na amostra fosse expulso e a densidade pudesse ser determinada a partir do valor médio, conforme a referida norma preconiza. Estes valores serão importantes para o transcorrer dos estudos, embasando a obtenção de outros parâmetros físicos dos solos.



Figura 17 - Determinação da densidade real grãos, através do método do picnômetro.

5.2.1.2 – GRANULOMETRIA E SEDIMENTAÇÃO

Para realizar os ensaios de caracterização básica, primeiramente o solo foi seco em temperatura ambiente e destorroado conforme a ABNT NBR 6457/2016a. O método utilizado para este ensaio seguiu a ABNT NBR 7181/2016, que compreende a granulometria tanto com o peneiramento quanto com a sedimentação. Nogueira (1995), explica que a caracterização do solo deverá seguir duas etapas, sendo que para as partículas maiores que 0,075mm, a separação dos grãos dos solos será dar por peneiramento, enquanto que para as partículas menores que 0,075mm, deverá ser usado o processo de sedimentação em água destilada (Figura 18).

Na etapa de sedimentação foi utilizado defloculante (Hexametáfosfato de sódio), com o objetivo de dispersar as partículas do solo, conforme a norma e, também, foi realizado sem a utilização do defloculante, com intuito de comparar o comportamento do material fino presente no solo.

Os ensaios de granulometria e sedimentação foram realizados e com isso, buscou verificar a correspondência entre os ensaios regidos pela ABNT NBR 7181/2016 e as análises físicas realizadas através da Granulometria pelo método da pipeta.



Figura 18 - Ensaio de granulometria com sedimentação, segundo ABNT NBR 7181 (2016).

A partir dos resultados foram traçadas as curvas granulométricas, em gráficos semi-logarítmicos, onde o eixo das ordenadas é representado por porcentagem e nas abscissas o diâmetro dos grãos (mm). Os gráficos foram feitos para horizontes mais próximos ao contato solo/rocha, pois nesse limiar solo/rocha é onde acredita-se, após observação de campo, que ocorreu a maioria dos colapsos que culminaram com os deslizamentos realizados na região em 2014.

5.2.1.3 – LIMITES DE CONSISTÊNCIA (ATTERBERG)

O teor de umidade do solo determinará características semelhantes às de um líquido ou de um sólido, onde entre estes dois estados limites, o solo passará ainda por outros dois estados, o plástico e o semissólido, sendo estes denominados estados de consistência dos solos. Assim, os valores de umidades que separam um estado de consistência do solo de outro são denominados limites de Atterberg, referindo-se ao limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) (ABNT NBR 6459 e ABNT NBR 7180, de 2016) e índice de plasticidade (IP).

Através da obtenção do LL e LP (Figura 19) é possível determinar o índice de plasticidade (IP), expresso em porcentagem e diz respeito a quantidade máxima de água que pode ser adicionada, a partir do LP, sem que o solo altere o seu estado de consistência plástico (Equação 3).

$$IP = LL - LP$$

Equação 3



Figura 19 - Realização dos ensaios de LL e LP.

5.2.1.4 – ANÁLISES QUÍMICAS E GRANULOMETRIA PELO MÉTODO DA PIPETA

As análises químicas e granulometria pelo método da pipeta foram realizadas no laboratório particular Unithal (Laboratório Agrônômico), em Campinas (SP). Estas análises permitiram definir a “química de rotina” dos solos e a granulometria das partículas de todos os horizontes encontrados nas trincheiras T1 e T2 e no ponto de investigação P1.

A análise química verificou as condições de pH, quantidades de Cálcio (Ca^{+2}), Sódio (Na^{+}), Potássio (K^{+}) e Magnésio (Mg^{+2}), além da Capacidade de Troca Catiônica (CTC), porcentagem de Carbono (C), Saturação por Alumínio e Saturação por Bases. Assim, possibilitando a taxonomização pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2006), além de permitirem fazer a relação com o material parental, possibilitando levantar hipóteses de movimentação de massa e presença de colúvio ao longo da vertente (Gobbi, 2017).

A análise granulométrica, através do método da pipeta, consiste na coleta da solução contendo a fração argila em suspensão por meio de uma pipeta, com profundidade e tempo pré-determinados em função da temperatura da água (Klein, 2008).

5.2.1.5 – DRX

A difração de raios X é resultado de um processo no qual o raio X são dispersos pelos elétrons dos átomos componentes de um material, sem mudança de comprimento de onda, sendo obedecidas certas condições geométricas (Silva, 2013). Quando estes raios X atingem um determinado grão, eles se espalham, sem perda de energia, pelos elétrons dos átomos (dispersão coerente ou de Bragg). Após essa colisão, os raios X são difratados, mudando sua direção de propagação, mas sem alterar o comprimento de onda da radiação incidente (Kaplan, 1978; Jenkins e Snyder, 1996).

Após a difração, esses raios X são coletados e a radiação difratada é processada, tendo os fótons contados. Terminada esta etapa, é realizada uma varredura angular do detector em 2θ , onde as possíveis interferências construtivas são detectadas por causa da orientação aleatória do material pulverizado (Perdomo, 2021), sendo possível identificar o mineral.

As análises de Difração de Raio X (DRX) dos horizontes de solo amostrados foram realizadas no Laboratório de Análises Mineraias (LAMIN), do Serviço Geológico do Brasil - CPRM, na cidade do Rio de Janeiro – RJ. O equipamento utilizado foi o Difrátômetro de raios-

x, modelo X'PERT PRO MPD (PW 3040/60), da PANalytical, com Goniômetro PW3050/60 (Theta/Theta) e com tubo de raios-x cerâmico de anodo de Cu ($K\alpha_1$ 1,5406 Å), modelo PW3373/00, foco fino longo, 2200W, 60kv. O detector utilizado é do tipo RTMS, Pixel/1D.

A aquisição de dados foi feita com o *software* X'Pert Data Collector, versão 2.1a, e o tratamento dos dados com o *software* X'Pert HighScore versão 3.0d, também da PANalytical.

Foram utilizadas as seguintes condições de análise: Voltagem (kV): 40; Corrente (mA): 40; *Scan range* ($^\circ 2\theta$): 5-70; *Step size* ($^\circ 2\theta$): 0,02; *Scan mode*: Continuous; *Counting time* (s): 50; *Divergence slit*: Slit Fixed $1/2^\circ$; *Mask Fixed* 10 mm; *Anti-scatter slit Name*: 5,7mm;

A identificação dos minerais foi feita através da comparação do difratograma obtido com padrões (fichas) do banco de dados do International Center for Diffraction Data – Powder Diffraction File (ICDD-PDF). As fichas são específicas para cada mineral, podendo haver diferentes fichas para o mesmo mineral, principalmente, quando há variações na composição química, soluções-sólidas, etc.

5.2.2 - AMOSTRAS INDEFORMADAS

As amostras indeformadas (Figura 20) foram direcionadas à realização de ensaios de cisalhamento direto e permeabilidade (Figura 21) com umidade natural (amostras coletadas no final do período chuvoso, março de 2022, em um período de aproximadamente sete dias sem chuva no local) e saturado drenado e não drenado, com intuito de caracterizar estes solos nas diferentes condições. Para isso foram utilizadas amostras dos horizontes mais profundos e que são aqueles diretamente relacionados aos processos deflagratórios (próximo ao contato solo/rocha). Estas amostras também foram submetidas a ensaios de permeabilidade, como mostrado na Figura 22, porosimetria por intrusão de mercúrio e a produção de lâminas para verificação da mineralogia.



Figura 20 - Amostra indeformada sendo moldada para ensaios de cisalhamento direto e permeabilidade.

5.2.2.1 – CISALHAMENTO DIRETO

O ensaio de Cisalhamento Direto é um ensaio de laboratório para a definição dos parâmetros de resistência do solo (ângulo de atrito interno e coesão). O ensaio é realizado através da imposição de um plano de ruptura em uma amostra prismática, buscando representar a condição de campo. Através da variação da umidade e da velocidade de realização do ensaio é possível determinar as coesões aparentes e real do solo.

Os ensaios de resistência ao cisalhamento direto foram realizados todos no Laboratório de Mecânica dos Solos, Topografia e Estradas da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC) da UNICAMP.

Para a realização dos ensaios foram utilizados os dois horizontes mais profundos das duas trincheiras e o horizonte Cr2 do ponto de investigação da cicatriz de deslizamentos (P1). Estas amostras foram obtidas, no caso das trincheiras através dos blocos coletados (Figura 20) e por meio de tubo PVC cravado no solo, no caso do Ponto P1. Foram moldados os anéis para serem ensaiados em condições saturada e não saturada e drenada e não drenada, conforme Figura 21 e Tabela 5.

Os ensaios foram realizados com variações de umidade e velocidades visando aferir as possíveis condições do solo no ambiente. Desta forma, é possível verificar a variação da coesão aparente com a saturação do solo, além de verificar o protagonismo do ângulo de atrito

e da coesão nas diferentes possibilidades. Foram utilizados três diferentes valores de tensão normal, sendo eles, 50kPa, 100kPa e 200kPa, com aplicação de força cisalhante na direção horizontal que atua crescentemente até a ruptura do material.



Figura 21 - Corpos de prova em processo de saturação para ensaios de cisalhamento direto.

As envoltórias de resistência podem ser expressas de forma simplificada e aproximada através da equação de Mohr - Coulomb (Equação 1).

Tabela 5 - Quadro resumo dos ensaios de cisalhamento direto realizados.

Identificação	Umidade		
	Saturado		Natural
	Drenado	Não drenado	Drenado
P1-Cr2	X	-	X
T1-Bi1	X	X	-
T1-Bi2	X	X	X
T2-Bi/A	X	X	-
T2-Bi	X	X	X

5.2.2.2 – PERMEABILIDADE

O ensaio de permeabilidade do solo, visando definir a condutividade hidráulica saturada, foi realizado no Laboratório de Mecânica dos Solos, Topografia e Estradas da FEC da UNICAMP. Para este ensaio foi seguido a ABNT NBR14545/2000.

O ensaio foi realizado para quatro amostras de solo, sendo duas de cada trincheira, correspondente as amostras T1-Bi1, T1-Bi2, T2-Bi/A e T2-Bi, sempre na direção vertical (Figura 22). Ressaltando que a amostra indeformada do Ponto P1 não foi possível ensaiar devido a amostra ser bastante arenosa e de baixa coesão, não tendo sido possível moldar o corpo de prova (Figura 23).



Figura 22 - Corpo de prova em preparação para ensaio de permeabilidade.

5.2.2.3 - POROSIMETRIA POR INTRUSÃO DE MERCÚRIO

O ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio (MIP) tem sido utilizado com sucesso no estudo de solos (Pedarla *et al.*, 2016). Este ensaio baseia-se na premissa de que um fluido não molhante, estando submetido à pressão externa, irá intrudir os poros de um material (Ibeiro, 2016). Desta forma é possível quantificar os poros do solo, fornecendo um dado importante para a caracterização do material, contribuindo para as interpretações referentes a permeabilidade dos solos estudados.

As amostras T1-Bi1, T1-Bi2, T2-Bi/A e T2-Bi foram encaminhadas ao Instituto de Física da Escola de Engenharia de São Carlos (USP), onde foram analisadas utilizando o equipamento Micromeritics Pore Sizer 9320 porosímetro.

A amostra coletada no tubo de PVC do horizonte Cr2 do Ponto P1 não foi possível ser ensaiada devido sua composição muito arenosa e de baixa coesão, fazendo com que a amostra direcionada a este ensaio se colapsasse (Figura 23).



Figura 23 - Amostra indeformada do horizonte Cr2 da cicatriz de deslizamento (P1), colapsada após a retirada do tubo de PVC.

5.2.2.4 – LÂMINAS DELGADAS

A análise microscópica dos solos corresponde a uma técnica de observação de material pedológico, previamente impregnado e laminado até atingir a espessura de 25 a 30 μ m.

Após essa etapa, o material é colado em lâminas de vidro, frequentemente similares às lâminas petrográficas (Filizola, 2006).

Para subsidiar a caracterização e classificação dos solos em estudo foram coletadas amostras indeformadas de todos os horizontes de solos investigados nas duas trincheiras e na cicatriz de deslizamento (P1), para produção de lâminas delgadas de solo.

Adicionalmente, foi também coletada uma amostra da rocha granítica geradora dos solos em questão, que também foi laminada para a caracterização da rocha sã, através de lâmina petrográfica.

6 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 – CLASSIFICAÇÃO DOS HORIZONTES DE SOLOS

A descrição dos solos foi elaborada de modo a permitir uma comparação entre ao menos duas classificações, buscando atender aos objetivos do trabalho, quando se propõem a caracterizar pedologicamente e geotécnicamente os solos do município de Itaóca.

Desta forma, compreendendo as diversas classificações de solos existentes, Vaz (1996) propõem uma classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rochas para ambientes tropicais (Figura 24) e que será utilizada como referência para a classificação geotécnica dos solos estudados.

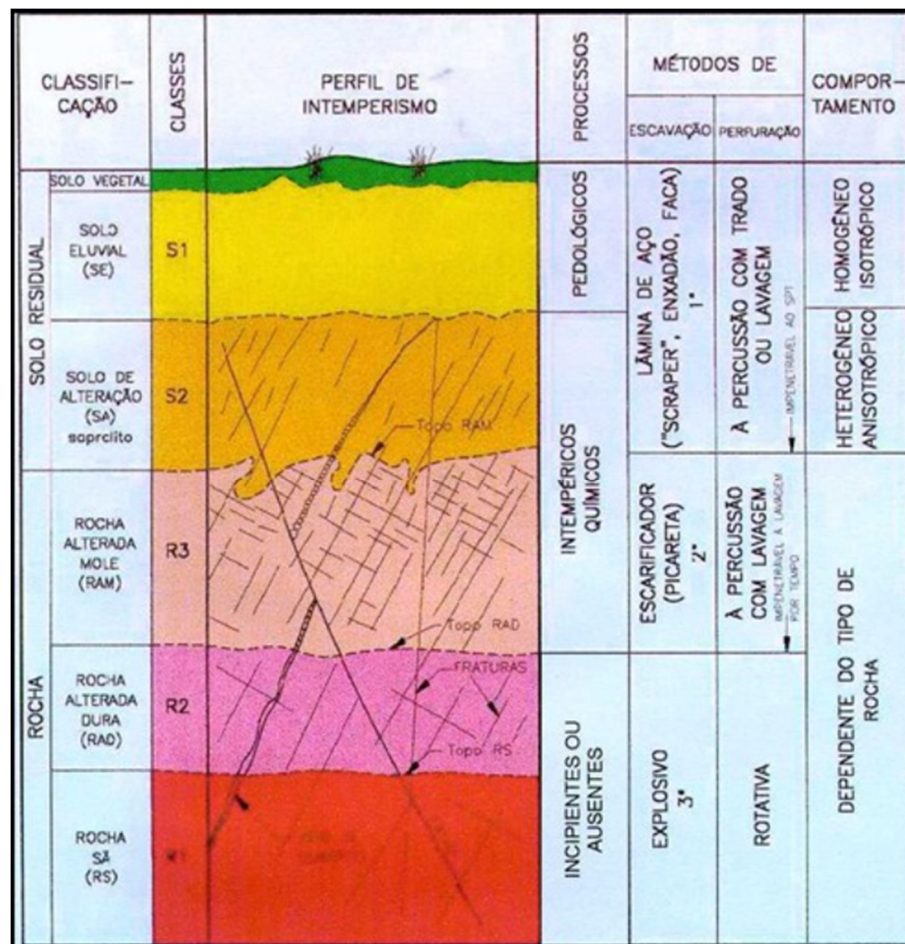


Figura 24 - Perfil de intemperismo para regiões tropicais, Vaz (1996).

Para a classificação pedológica foi utilizada a classificação proposta pela Embrapa no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Santos *et al.*, 2018).

6.2 – TALUDE DA CICATRIZ: PONTO P1

A análise do talude gerado por um escorregamento foi alvo deste estudo na busca por melhor caracterizar o local exato afetado pelas chuvas de 2014. Este ponto foi limpo e verticalizado, com o intuito de descrevê-lo e coletar amostras deformadas e indeformadas. Porém, no primeiro momento já foi possível notar a baixa coesão do material, o que dificultaria a coleta e realização de ensaios em amostras indeformadas. Também foi possível verificar que, ao menos neste caso, o contato solo/rocha foi o condicionante do deslizamento.

Este ponto foi descrito conforme representado na Figura 25 e representa o talude limpo, na Vertente SE, com maior número de cicatrizes de deslizamentos. O solo encontrava-se ligeiramente úmido em dia ensolarado e seus horizontes foram descritos em campo conforme indicado na Tabela 6.

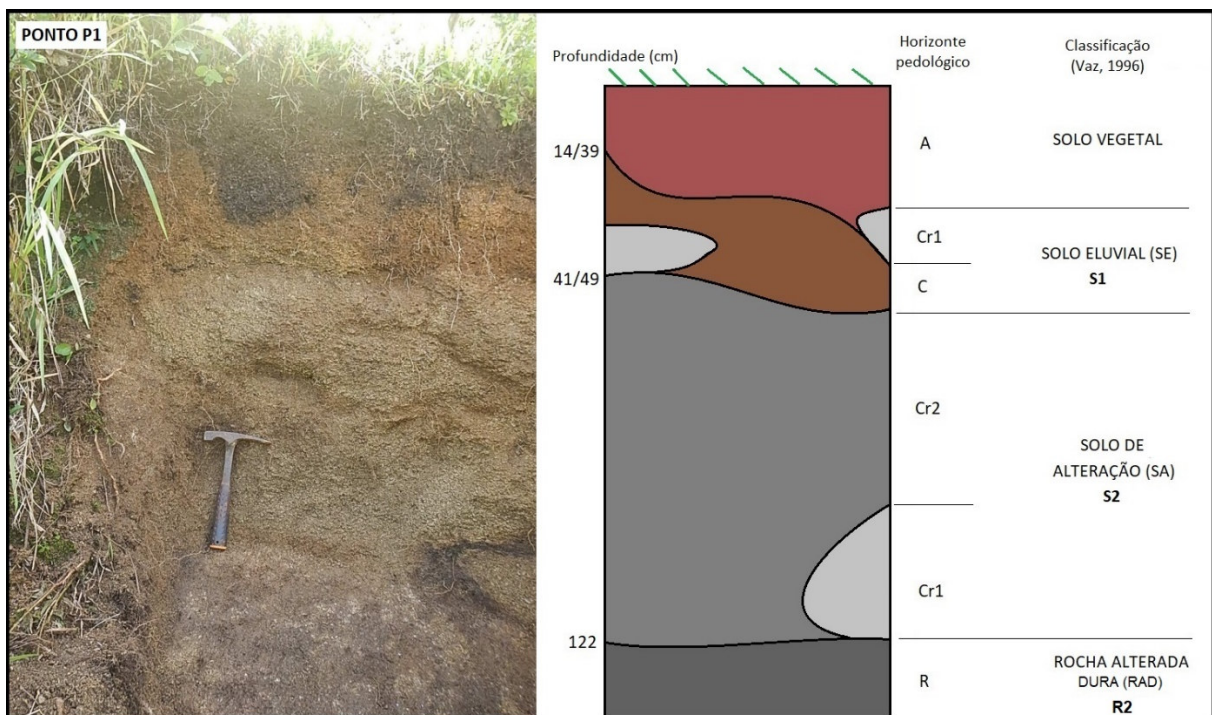


Figura 25 - Perfil de solo da cicatriz de deslizamento (P1).

Tabela 6 - Descrição tátil-visual de campo da cicatriz P1.

Características morfológicas da Cicatriz P1										
Horizontes	Profundidade (cm)	Cor	Textura	Estrutura	Consistência	Plasticidade	Pegajosidade	Raízes	Transição	Observações
A	0 a 14/39	10YR 2/1	Areno-argiloso	Granular pequeno a muito pequeno, forte.	Muito friável	Ligeiramente plástico	Ligeiramente pegajoso	Raízes de gramíneas abundantes e milimétricas	Ondulado e abrupto	Cascalhento.
C	14/39 a 41/49	10YR 3/1 e minerais se alterando: 10YR 7/8	Areno-argiloso	Maciça	Muito friável	Ligeiramente plástico	Ligeiramente pegajoso	Raízes de gramíneas comuns e milimétricas	Contato ondulado com CR2 e irregular com CR1 e abrupto	Cascalhento e abundância de micas.
Cr1	Vários pequenos horizontes	Cor variegada: 10YR 8/8, 10YR 2/1 e 10YR 5/8	Cascalho	Maciça	Friável	Não plástico	Não pegajoso	Raízes raras e milimétricas	Irregular e abrupto	Presença de grãos de quartzo.
Cr2	41/49 a 122	Cor variegada: 10YR 3/1, 10YR 5/8 e 5YR 6/6	Cascalho	Maciça	Friável	Não plástico	Não pegajoso	Raízes raras e milimétricas	Irregular e abrupto	Minerais primários se alterando.

6.3 – PERFIL DA TRINCHEIRA: T1

A trincheira foi escavada até o impenetrável ao enxadão e a classificação encontra-se ilustrada na Figura 26. A análise da trincheira T1 foi realizada nas mesmas condições do ponto P1, com solo ligeiramente úmido e em dia ensolarado. A descrição de campo da Trincheira T1 encontra-se na Tabela 7.

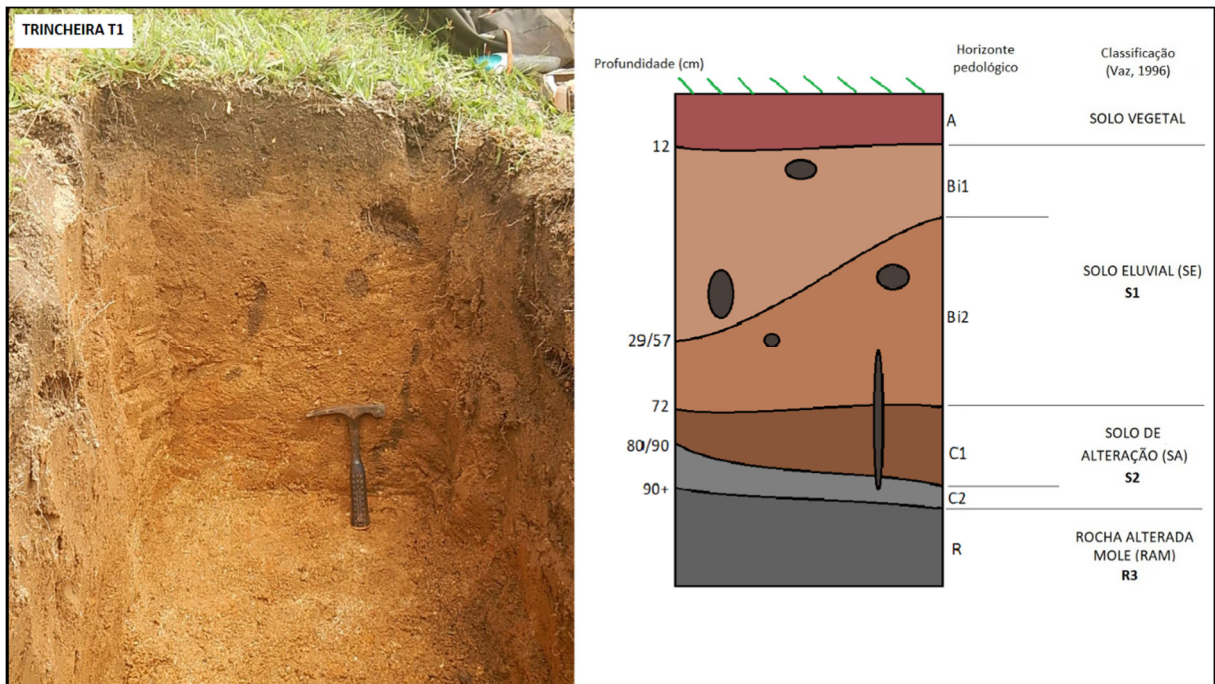


Figura 26 - Perfil de solo da Trincheira T1.

Na Figura 26 são visualizadas algumas cavidades biológicas preenchidas por solos oriundos do horizonte A, por isso a coloração escura. Essas cavidades podem ser provenientes de animais escavadores ou mesmo provocadas por raízes vegetais.

Tabela 7 - Descrição táctil-visual de campo da Trincheira T1.

Características morfológicas da Trincheira T1										
Horizontes	Profundidade (cm)	Cor	Textura	Estrutura	Consistência	Plasticidade	Pegajosidade	Raízes	Transição	Observações
A	0 a 12	10YR 3/1	Argilo-arenoso	Granular, muito pequena a pequena, forte.	Muito friável	Plástico	Pegajoso	Raízes de gramíneas milimétricas e abundantes	Plano e gradual	Pouco cascalho.
Bi1	12 a 29/57	10YR 5/4	Argilo-arenoso	Prismática, médio, fraca.	Friável	Plástico	Pegajoso	Raízes raras e milimétricas	Irregular e claro	Cerosidade fraca e pouca. Fragmentos de quartzo centimétricos e isolados.
Bi2	29/57 a 72	7,5YR 5/6	Argilo-arenoso	Blocos subangulares, médio, fraca.	Muito friável	Plástico	Ligeiramente pegajoso	Raízes raras e milimétricas	Plano e abrupto	Blocos subangulares médios e fragmentos de quartzo.
C1	72 a 80/90	Cor variegada: 10YR 8/8, 10YR 5/8, 2,5YR 6/8 e Branco	Silto-arenoso	Maciça	Muito friável	Ligeiramente plástico	Ligeiramente pegajoso	Raízes raras e milimétricas	Ondulado e abrupto	Maciço.
C2	80/90 a 90	Branco, 10YR 7/8, 2,5YR 4/8 e Preto	Silto-arenoso	Maciça	Friável	Ligeiramente plástico	Ligeiramente pegajoso	-	-	Profundidade abaixo dos 90 centímetros nota-se solo do tipo “grus”.

6.4 – PERFIL DA TRINCHEIRA: T2

A trincheira T2 foi escavada no mesmo dia da análise da P1 e da T1, porém no período da tarde. O solo encontrava-se ligeiramente menos úmido e o dia ensolarado. A descrição de campo da Trincheira T2 encontra-se na Tabela 8 e as classificações são apresentadas na Figura 27.

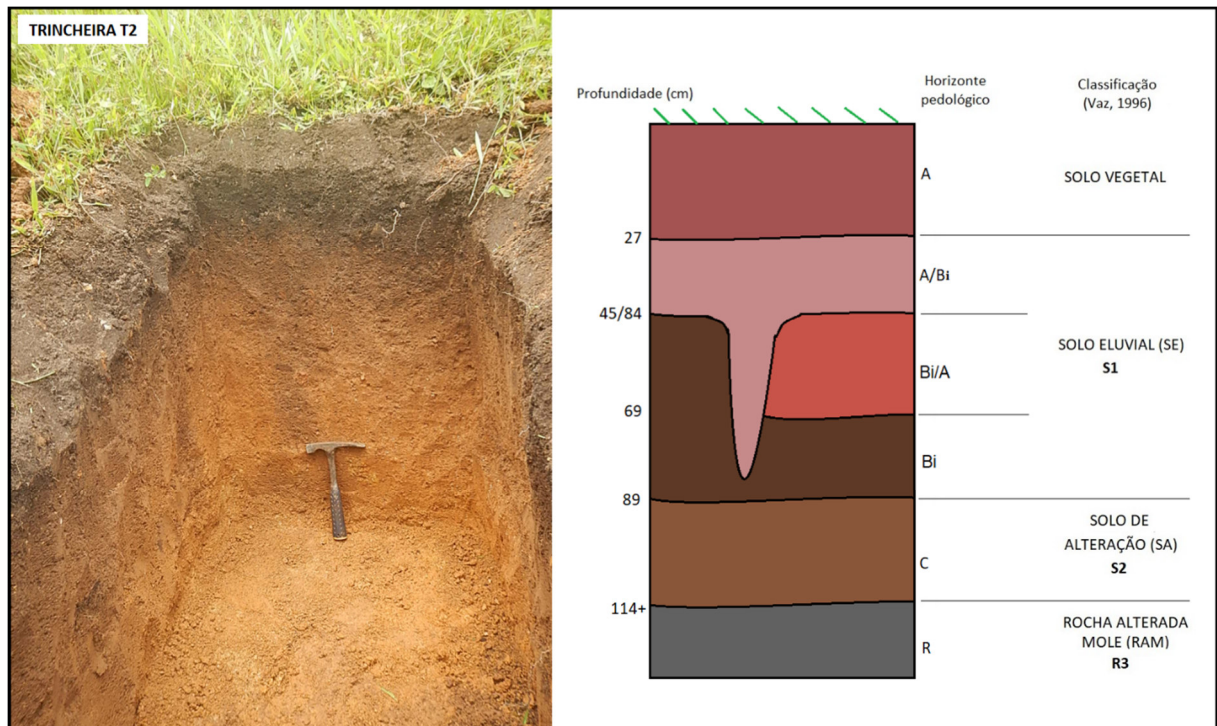


Figura 27 - Perfil de solo da Trincheira T2.

Tabela 8 - Descrição táctil-visual de campo da Trincheira T2.

Características morfológicas da Trincheira T2										
Horizontes	Profundidade (cm)	Cor	Textura	Estrutura	Consistência	Plasticidade	Pegajosidade	Raízes	Transição	Observações
A	0 a 27	7,5YR 2,5/1	Areno-argiloso	Granular, pequena a muito pequena e média a forte.	Muito friável	Ligeiramente plástico	Ligeiramente pegajoso	Raízes comuns e milimétricas	Gradual e plano	Clastos ou fragmentos centimétricos de quartzo e angulosos.
A/Bi	27 a 45/87	10YR 4/4	Areno-argiloso	Granular.	Muito friável	Ligeiramente plástico	Ligeiramente pegajoso	Raízes raras e milimétricas	Irregular e gradual	Muitos grânulos de quartzo e presença de carvões.
Bi/A	45 a 69	7,5YR 7/6	Areno-argiloso	Prismática, fraca e média.	Friável	Ligeiramente plástico	Ligeiramente pegajoso	Raízes comuns e milimétricas	Claro e plano	Presença de grânulos de quartzo.
Bi	45 a 89	7,5YT 5/6	Areno-argiloso	Prismática, médio e fraca.	Friável	Plástico	Pegajoso	Raízes raras e milimétricas	Claro e plano	Muitos grânulos de quartzo. Se desfaz em blocos médios e moderados. Cerosidade fraca.
C	89 a 114	Cores associadas a alteração de minerais primários: 10YR 7/8 e 2,5YR 4/6	Silto-arenoso	Maciça	Friável	Ligeiramente plástico	Ligeiramente pegajoso	-	-	Muitos grânulos de quartzo.

6.5 – LÂMINAS DELGADAS

Foram coletadas amostras de solos indeformadas de todos os horizontes para a confecção de lâminas delgadas pedológicas e também de uma amostra da rocha granítica formadora dos solos da região. Essas lâminas foram analisadas nos laboratórios de microscopias do Instituto de Geociências da UNICAMP e do SGB-CPRM, através de microscópios petrográficos. A descrição das lâminas seguiu o proposto por Bullock et al, 1985.

A descrição das lâminas encontra-se disposta na Tabela 9 e as fotos representativas destas amostras são apresentadas nas figuras de 28 a 31. Tendo sido todas as lâminas fotografadas com nicóis cruzados e descruzados.

Os horizontes de solos de cada lâmina indicada nas figuras 28, 29, 30 e 31 podem ser aferidos na Tabela 9, onde são descritas com mais detalhes cada lâmina de cada horizonte de solo.

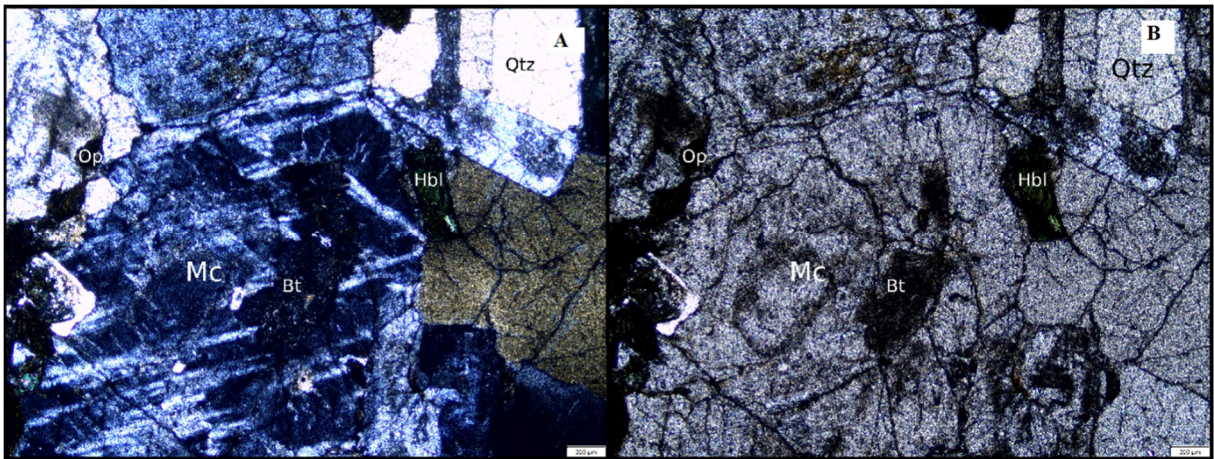


Figura 28 - Fotos da amostra de rocha: A) nicol cruzado e B) nicol descruzado (Qtz – quartzo, Hbl - hornblenda, Bt – biotita, Mc – Microclínio e Op – opacos).

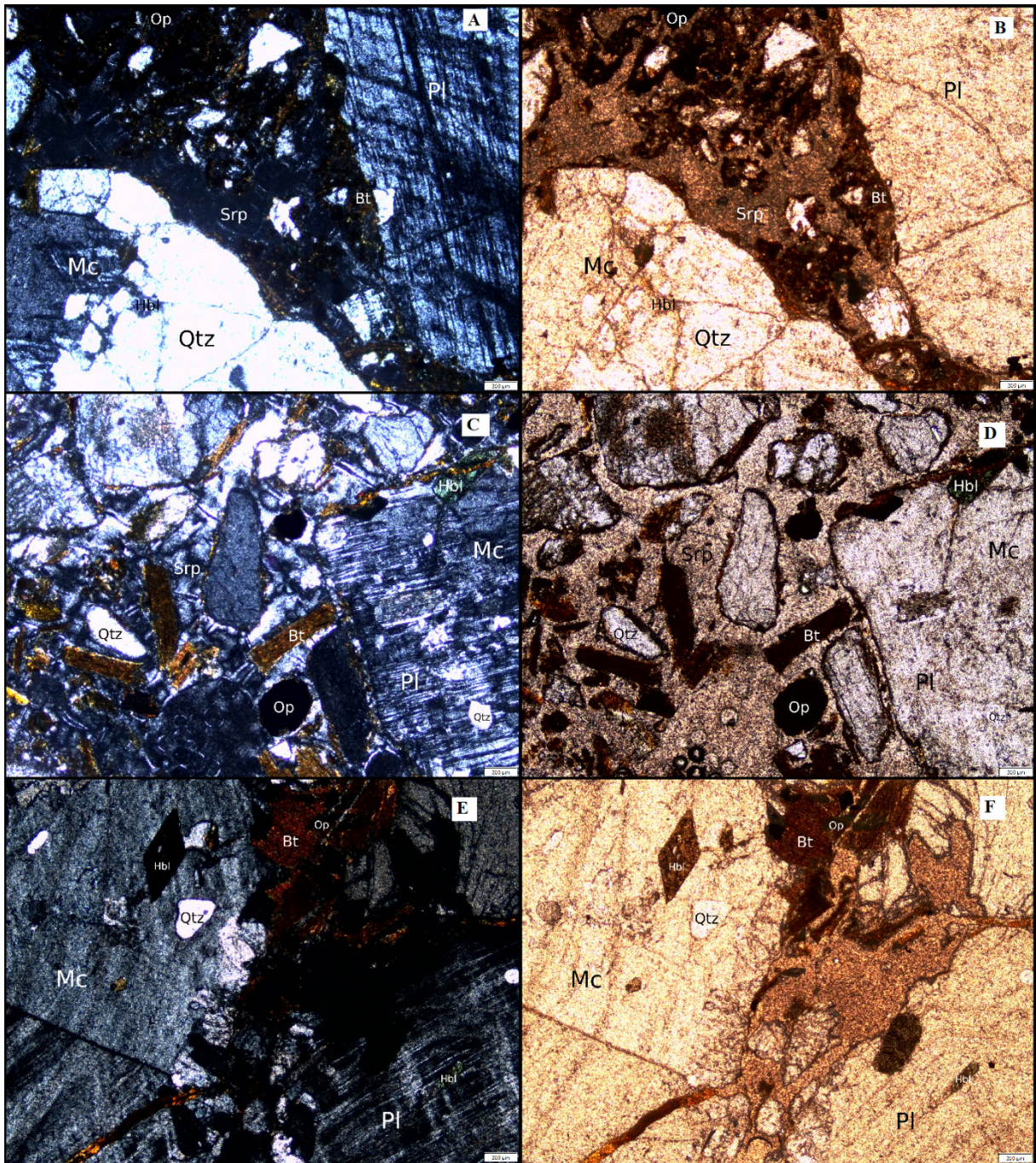


Figura 29 - Fotos da amostra da cicatriz de deslizamento (Ponto 1 – P1): nicol cruzado (A, C e E) e nicol descruzado (B, D e F) (Qtz – quartzo, Hbl - hornblenda, Bt – biotita, Mc – Microclínio, Pl – plagioclásio, Srp - Serpentina e Op – opacos).

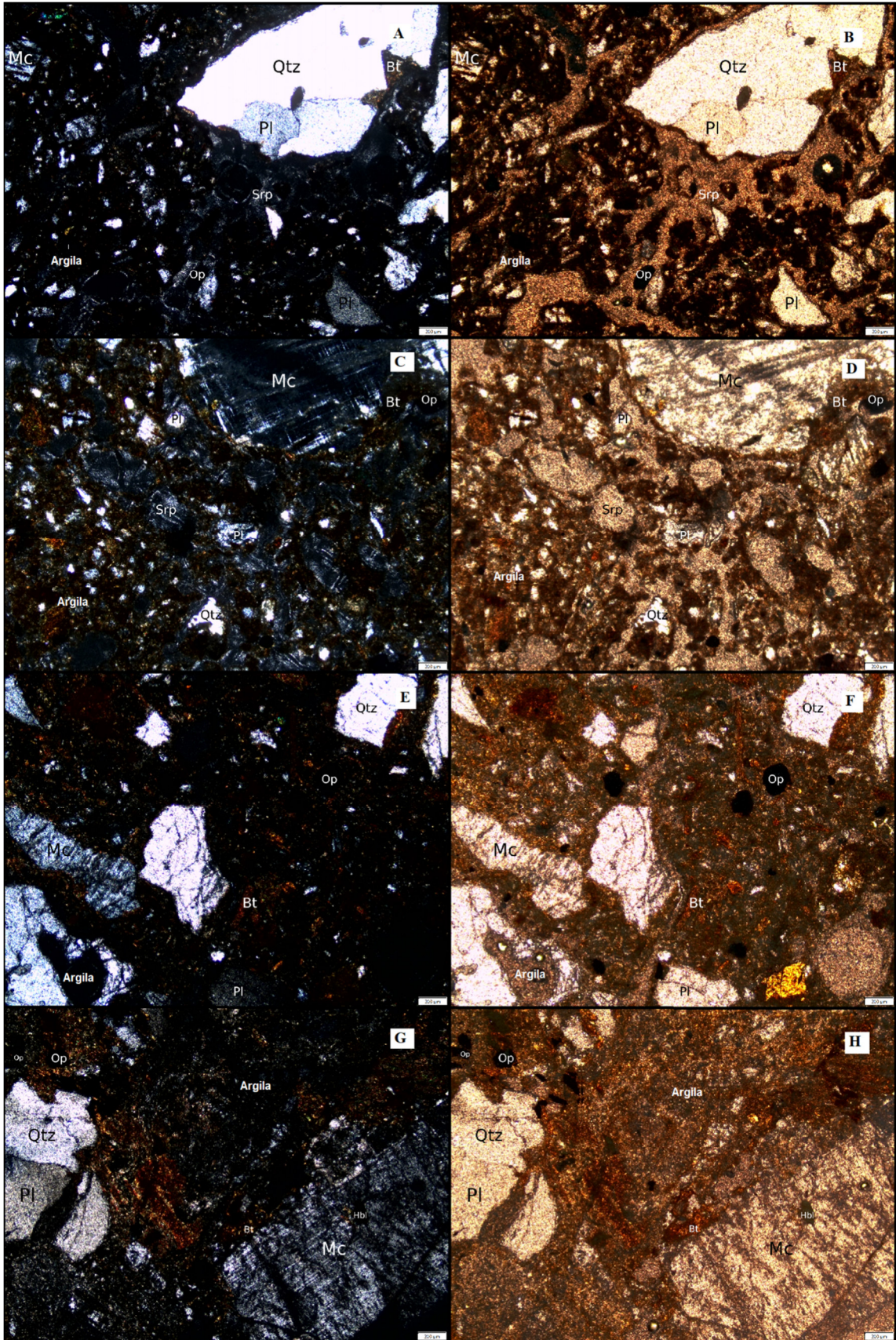


Figura 30 - Fotos da T1: nicol cruzado (A, C, E e G) e nicol descruzado (B, D, F e H) (Qtz – quartzo, Hbl - hornblenda, Bt – biotita, Mc – Microclínio, Pl – plagioclásio, Srp - Serpentina e Op – opacos).

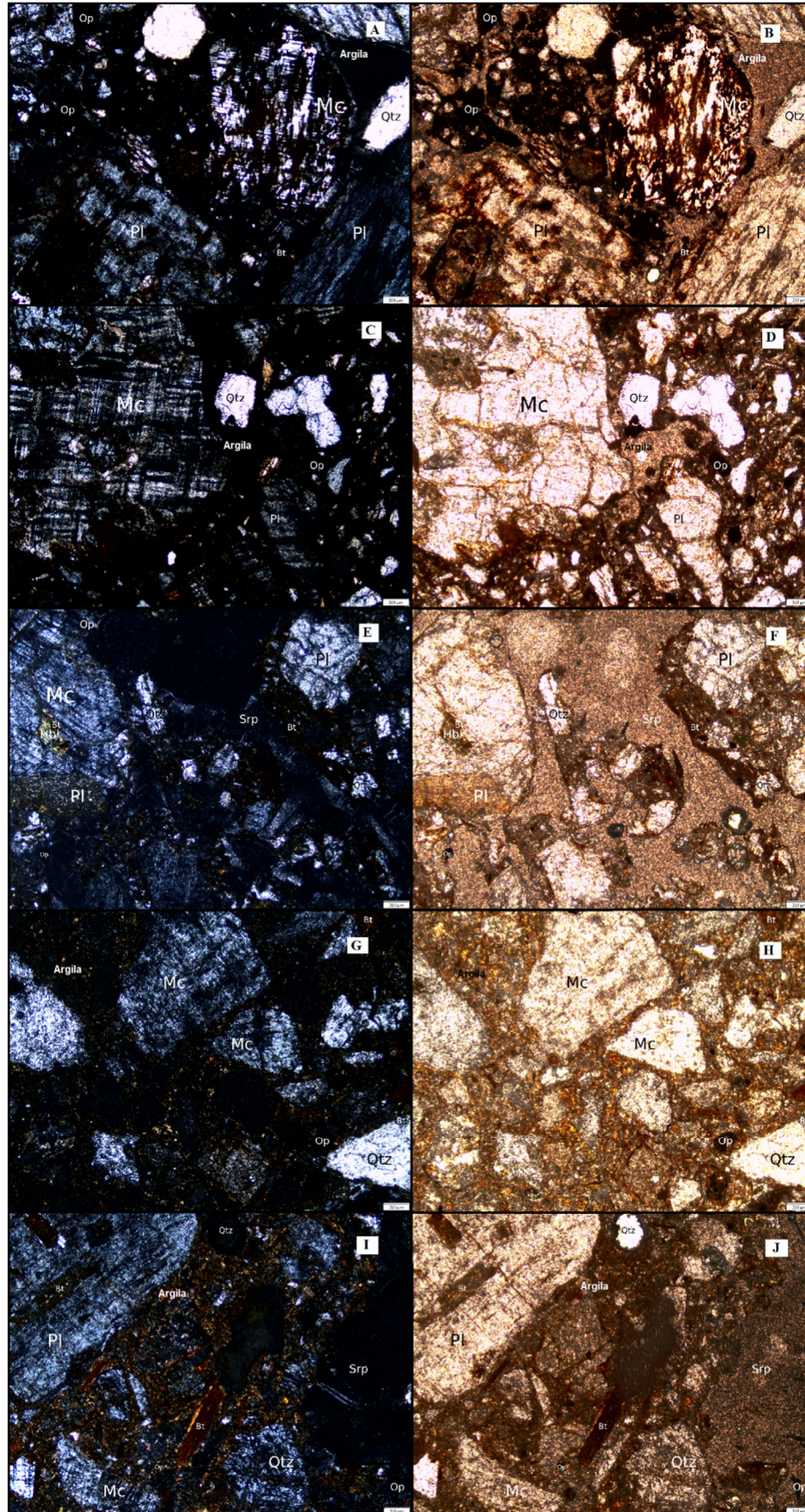


Figura 31 - Fotos da T2: nicol cruzado (A, C, E, G e I) e nicol descruzado (B, D, F e H e J) (Qtz – quartzo, Hbl - hornblenda, Bt – biotita, Mc – Microclínio, Pl – plagioclásio e Op – opacos).

Tabela 9 - Descrição das lâminas delgadas.

Amostra (Figura)	Granulação	Textura	Alteração	Composição Mineralógica (%)	Descrição
Rocha Granítica (28A e 28B)	Fina a média	Fanerítica inequigranular média	Pervasiva	Quartzo (38%) Microclínio (30%) Biotita (18%) Hornblenda (10%) Opacos (4%)	Microclínio com inclusões de quartzo e muito alterado, pequenos grãos de minerais opacos entre grãos. Todos os minerais estão subédricos a anédricos com contatos levemente lobados a retos. Hornblenda verde muito alterada entre os grãos de feldspato. Biotita inclusa no microclínio.
P1-A (29A e 29B)	Matriz fina com fenocristais de microclínio e feldspato.	Fanerítica inequigranular de matriz fina com fenocristais anédricos a subédricos	Seletiva e argilização.	Microclínio (25%) Plagioclásio (23%) Serpentina (17%) Biotita (16%) Quartzo (10%) Hornblenda (4%) Opacos (5%)	Microclínio apresenta inclusões de quartzo, e está incluso em grãos maiores de plagioclásio (albita). Biotita disposta entre grãos, principalmente associado a matriz alterada. Grãos de opacos na matriz tendendo a cúbicos. Plagioclásio muito alterado indicando argilização.
P1-C (29C e 29D)	Matriz fina com fenocristais de microclínio e feldspato.	Fanerítica inequigranular de matriz fina com fenocristais anédricos a subédricos	Seletiva e argilização.	Quartzo (12%) Plagioclásio (20%) Biotita (16%) Microclínio (25%) Serpentina (15%) Hornblenda (10%) Opacos (2%)	Serpentina na matriz, quartzo com inclusões de hornblenda. Biotitas dispostas entre grãos, bem como alguns grãos de minerais opacos. Plagioclásios em tons amarelados indicando início de argilização.
P1-Cr2 (29E e 29F)	Média a grossa	Fanerítica inequigranular média a grossa subdiomórfica.	Seletiva	Quartzo (28%) Microclínio (23%) Biotita (18%) Hornblenda (16%) Plagioclásio (10%) Opacos (5%)	Biotita em grãos grandes com inclusões de minerais opacos e de hornblenda e com clivagem bem marcada. Os grãos de hornblenda estão entre grãos e inclusos no microclínio, alguns são vistos em sua forma euédrica. Feldspatos muito alterados e quartzo com contatos lobados.

T1-A-B (30A e 30B)	Fina a média	Matriz muito fina, granoblástica inequigranular média com fenocristais de microclínio, grãos anédricos a subédricos.	Seletiva e argilização.	Cimento (22%) Plagioclásio (20%) Microclínio (18%) Serpentina (15%) Quartzo (10%) Biotita (10%) Opacos (5%)	Microclínio apresenta inclusões de biotita e de cimento, o plagioclásio é visto muito alterado e a serpentina compõe a matriz da amostra juntamente do cimento. Minerais opacos estão inclusos na matriz.
T1-Bi1 (30C e 30D)	Média a grossa	Matriz argilosa e grãos inequigranulares subédricos médios a grossos.	Seletiva e argilização.	Serpentina (20%) Cimento (18%) Quartzo (18%) Plagioclásio (15%) Microclínio (13%) Biotita (12%) Opacos (4%)	Biotita inclusa nos fenocristais de microclínio. Plagioclásios intensamente argilizados. Minerais opacos alongados e cúbicos na matriz argilosa.
T1-Bi2 (30E e 30F)	Média a grossa	Matriz argilosa e com porções de biotita muito fina. Minerais granoblásticos inequigranulares de médio a grossos, sendo os grãos de microclínios maiores. Grãos subédricos a anédricos.	Pervasiva	Feldspato (25%) Biotita (22%) Cimento (18%) Microclínio (17%) Quartzo (15%) Opacos (3%)	Biotita muito alterada complementa a matriz argilosa. Plagioclásio muito alterado, microclínio em forma de fenocristais subédricos. Os minerais opacos encontram-se dispostos na matriz.
T1-C1/C2 (30G e 30H)	Média a grossa	Matriz argilosa, grãos faneríticos subédricos inequigranulares médios a grossos.	Pervasiva	Cimento (27%) Microclínio (20%) Biotita (16%) Quartzo (15%) Plagioclásio (13%) Opacos (7%) Hornblenda (2%)	Biotita inclusa nos grãos maiores de microclínio, minerais opacos associados a matriz argilosa da amostra, o quartzo está disposto em aglomerados de grãos médios, sem inclusões. Plagioclásios muito alterados. Hornblenda como acessório em grãos muito pequenos e inclusos no microclínio.
T2-A (31A e 31B)	Matriz muito fina com fenocristais	Matriz muito fina, granoblástica inequigranular média a grossa e grãos anédricos.	Pervasiva	Microclínio (23%) Plagioclásio (26%) Quartzo (20%) Cimento (18%)	Plagioclásio alterado com inclusões de quartzo e início de argilização, poucos grãos de biotita levemente orientadas em certas porções da

	de microclínio e feldspato.			Opacos (8%) Biotita (5%)	amostra. Possui uma matriz argilosa com uma quantidade considerável de minerais opacos.
T2-A/Bi (31C e 31D)	Fina a média	Matriz argilosa, grãos anédricos faneríticos finos a médios com fenocristais de microclínio.	Pervasiva	Microclínio (30%) Quartzo (25%) Cimento (20%) Plagioclásio (15%) Opacos (10%)	O quartzo está disposto em pequenos grãos juntos da matriz argilosa e também em grãos maiores. Microclínio em forma de fenocristais, muito alterado. Plagioclásio muito alterado e anédrico em matriz com minerais opacos anédricos dispostos pela matriz.
T2-Bi/A (31E e 31F0)	Fina a grossa	Fanerítica fina a média com fenocristais de microclínio, subdiomórfica inequigranular.	Pervasiva	Plagioclásio (25%) Microclínio (23%) Serpentina (18%) Quartzo (15%) Biotita (10%) Hornblenda (6%) Opacos (3%)	Grande quantidade de plagioclásio em grãos alterados (argilizados), a hornblenda encontra-se opacizada e inclusa em fenocristais de microclínio em sua forma subédrica, bem como a biotita. A serpentina encontra-se entre grãos.
T2-Bi (31G e 31H)	Fina a média	Matriz argilosa, grãos subédricos a anédricos de quartzo e feldspato faneríticos médios.	Seletiva	Microclínio (35%) Quartzo (26%) Cimento (23%) Biotita (9%) Opacos (7%)	Microclínio muito alterado e sem inclusões, o quartzo possui algumas inclusões de biotita e minerais opacos. Os opacos são vistos em suas formas anédricas a subédricas cúbicas, tudo em uma matriz argilosa e afanítica.
T2-C (31I e 31J)	Fina a média	Matriz argilosa, grãos faneríticos inequigranulares finos a médios, subédricos e anédricos. Opacos subédricos cúbicos e aciculares, fenocristais de plagioclásio.	Pervasiva	Plagioclásio (23%) Cimento (18%) Serpentina (18%) Biotita (15%) Quartzo (13%) Microclínio (8%) Opacos (5%)	Fenocristais muito alterados de plagioclásio com inclusões de biotita, matriz argilosa e alterada, quartzo e microclínio em grãos pequenos. Opacos associados a matriz.

6.6 – QUÍMICA DE ROTINA

As amostras deformadas coletadas em campo foram encaminhadas para a realização de ensaios de química de rotina e os resultados são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Química de rotina realizada em amostras deformadas.

Horizonte		pH (KCl)	pH (H ₂ O)	H+Al	Al	Ca	Mg	K	Na	P (Mel)	P (Res)	C	SB	CTC	V	m	R C	T
				cmolc/kg							ppm	ppm	%	cmolc/kg		%	%	cmol/100g Argila
P1	A	4,7	5,3	2,2	0,7	1,6	0,9	0,02	1,51	9,0	12,0	3,2	4,03	6,23	64,69	14,80	21,50	28,32
P1	C	5,0	5,6	3,8	0,1	4,6	1,7	0,08	1,37	10,0	14,0	0,7	7,75	11,55	67,10	1,27	39,25	57,75
P1	Cr1	5,0	5,5	1,8	0,3	2,3	0,7	0,04	2,25	78,0	98,0	0,6	5,29	7,09	74,61	5,37	50,82	64,45
P1	Cr2	5,0	5,5	1,3	0,3	2,1	1,1	0,06	2,57	80,0	108,0	0,2	5,83	7,13	81,77	4,89	153,25	178,25
T1	A	4,8	5,4	3,8	0,1	4,7	1,3	0,06	1,27	11,0	13,0	2,5	7,33	11,13	65,86	1,35	43,71	65,47
T1	Bi1	5,0	5,6	2,4	0,3	3,6	0,8	0,02	1,27	3,0	5,0	0,8	5,69	8,09	70,33	5,01	29,95	40,45
T1	Bi2	4,3	4,8	6,4	4,4	3,3	1,3	0,03	2,16	3,0	4,0	0,4	6,79	13,19	51,48	39,32	53,29	62,81
T1	C1	4,1	4,6	13,5	6,3	0,9	1,8	0,02	4,10	3,0	5,0	0,3	6,82	20,32	33,56	48,02	65,60	101,60
T1	C2	4,0	4,6	8,8	4,5	0,9	1,6	0,03	3,91	3,0	3,0	0,2	6,44	15,24	42,26	41,13	72,93	101,60
T2	A	4,7	5,3	4,2	0,0	5,4	0,6	0,03	1,33	3,0	3,0	2,5	7,36	11,56	63,67	0,00	61,33	96,33
T2	A/Bi	5,1	5,7	1,8	0,0	2,8	0,5	0,02	1,47	4,0	3,0	0,7	4,79	6,59	72,69	0,00	47,90	65,90
T2	Bi/A	5,0	5,6	1,6	0,0	2,3	0,7	0,02	1,59	11,0	15,0	0,2	4,61	6,21	74,24	0,00	41,91	56,45
T2	Bi	4,7	5,3	2,0	0,5	3,7	1,4	0,03	2,36	16,0	20,0	0,2	7,49	9,49	78,93	6,26	53,27	63,27
T2	C	4,6	5,2	2,8	1,0	4,5	2,4	0,04	3,42	15,0	21,0	0,2	10,36	13,16	78,72	8,80	71,00	82,25

A análise das informações obtidas através da química de rotina permite dizer que os valores de CTC (capacidade de troca catiônica) são baixos, sendo o maior encontrado o da amostra T1-C1 (20,32 cmol_c/kg). Esta informação faz sentido quando se analisa a granulometria arenosa das amostras, pois os solos mais argilosos possuem a CTC maior que solos arenosos, pois areia não apresenta carga.

Essa relação da CTC com a ocorrência de argilas no solo pode também ser estendida para o entendimento da possibilidade de ocorrência de argilominerais expansivos. Estudos realizados por Christofolletti *et al.* (1999) em argilas da Formação Corumbataí indicaram três grupos de acordo com a ocorrência de CTC. O primeiro desses grupos seriam os valores inferiores a 14 cmol_c/kg, indicando baixos teores de montmorilonita e quantidades médias de illita (caulinita contribui pouco nos valores do CTC); os valores de CTC entre 14 e 21 cmol_c/kg representaria o segundo grupo, apresentando maiores quantidades de montmorilonita e somente o grupo acima de 21 cmol_c/kg indicariam maiores teores de montmorilonita e quantidades razoáveis de illita, podendo ser considerados solos mais expansivos.

Com base em Christofolletti *et al.* (1999), apenas os horizontes C1 e C2 da trincheira T1 teria uma quantidade mais considerável de argila expansiva. Essa condição é coerente com a alta atividade da argila (T) nesses horizontes. O horizonte P1Cr2 apresenta alta atividade da argila, mas com valor de CTC baixo.

Segundo a Embrapa (1999), que estabelece atributos diagnósticos aos solos tropicais, a concentração de sódio no solo é um desses atributos. Podendo assim, caracterizar o solo como solódico quando horizontes ou camadas apresentam saturação por sódio ($100Na^+/T$) variando de 6% a menos do que 15% e sódico quando for superior a 15%. Baseado nesta classificação, todos os horizontes amostrados apresentam caráter sódico, com valores bastante elevados, conforme mostrado na Tabela 11.

Esse caráter ganha importância devido a relação existente entre a quantidade de sódio no solo e a condutividade hidráulica. Quirk e Schofield (1955) pela primeira vez explicam o mecanismo de diminuição da permeabilidade do solo pela adição de sódio. Eles sugeriram que a expansão das partículas de argila (que aumentam com o aumento da sodicidade do solo) pode resultar num bloqueio parcial ou total dos poros condutores. Eles também citam que outros fatores, como a defloculação, dispersão e movimento da argila poderiam causar o entupimento dos poros condutores.

Tabela 11 - Concentração de sódio nos horizontes amostrados e PST.

Horizonte	100Na ⁺ /T (%)	PST (%)
P1-A	53,32	24,24
P1-C	23,72	11,86
P1-Cr1	34,91	31,73
P1-Cr2	14,42	36,04
T1-A	19,40	11,41
T1-Bi1	31,40	15,70
T1-Bi2	34,39	16,38
T1-C1	40,35	20,18
T1-C2	38,48	25,66
T2-A	13,81	11,51
T2-A/Bi	22,31	22,31
T2-Bi/A	28,17	25,60
T2-Bi	37,30	24,87
T2-C	41,58	25,99

A permeabilidade de um horizonte de solo depende da porcentagem de sódio trocável (PST), equação 4, e da relação de adsorção de sódio (RAS), segundo Mcneal e Coleman (1966). Com o intuito de descrever a relação entre composição de sódio no solo e a condutividade hidráulica, Quirk *et al.* (1955) desenvolveram o conceito de “limite crítico de concentração”, onde o valor de PST provoca uma redução de 10 a 15% na permeabilidade do solo. Assim, um valor de PST de 15% pode ser considerado como limite, pois acima deste valor o solo pode ser afetado em suas características físicas, segundo Mcintire (1979).

Desta forma, os resultados obtidos indicam uma forte influência da concentração de sódio, pois quase todos os horizontes apresentam PSTs acima de 15%, podendo estar interferindo na diminuição da permeabilidade destes solos.

$$\text{PST} = \text{NA}^+(\text{adsorvido})/\text{CTC} \times 100$$

Equação 4

Ainda com relação a química dos solos é possível notar a maior concentração de C nos horizontes “A”, indicando a esperada maior concentração de matéria orgânica nesses horizontes. Por fim, os solos mostram-se propícios ao cultivo, pois apresentam, no geral, valores de saturação por bases superiores a 50%.

6.7 – DRX

Na sequência (Tabela 12), seguem os principais minerais identificados no ensaio de DRX para os demais horizontes.

Os gráficos resultantes dos ensaios de DRX são apresentados no Apêndice 1, onde é possível notar os picos que determinaram a interpretação dos minerais apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Minerais identificados no ensaio de DRX.

Horizonte	Minerais identificados*
P1-A	Microclínio; Anortoclásio; Quartzo; Albita; Vermiculita; Hornblenda
P1-C	Anortoclásio; Quartzo; Albita; Microclínio, Vermiculita; Hornblenda
P1-Cr1	Quartzo; Anortoclásio, Albita; Microclínio; Hornblenda
P1-Cr2	Anortoclásio; Quartzo; Microclínio; Albita; Hornblenda
T1-A	Quartzo; Anortoclásio; Microclínio; Albita; Flogopita; Aerinita
T1-Bi1	Microclínio; Quartzo; Albita; Flogopita; Vermiculita; Ilita; Montmorilonita
T1-C1	Quartzo; Anortoclásio; Microclínio; Albita; Flogopita; Vermiculita; Ilita; Montmorilonita
T1-C2	Quartzo; Anortoclásio; Microclínio; Albita, Vermiculita; Ilita-Montmorilonita; Flogopita
T2-A	Anortoclásio; Quartzo; Microclínio, Albita; Hornblenda
T2-A/Bi	Microclínio; Anortoclásio; Quartzo; Albita; Hornblenda
T2-Bi/A	Anortoclásio; Quartzo; Microclínio; Albita; Hornblenda
T2-Bi	Microclínio; Quartzo; Anortoclásio; Albita; Flogopita; Aerinita
T2-C	Anortoclásio; Microclínio; Quartzo; Albita; Flogopita; Aerinita; Ilita; Montmorilonita

* Ordem na tabela indicando os minerais mais representativos até os menos representativos.

Os resultados para a mineralogia realizada com o DRX das amostras estão dentro do esperado para solos oriundos da alteração de rocha granítica e coerentes com as análises realizadas nas lâminas delgadas (Tabela 9). Foram identificados minerais primários como o quartzo, minerais máficos (olivina e hornblenda) e minerais do grupo dos feldspatos, como o microclínio, anortoclásio, oligoclásio e albita. Além destes, alguns minerais secundários também foram detectados como a ilita e flogopita (Grupo das Micas) e vermiculita e montmorilonita (Grupo das Esmectitas).

Carou (2019) também chegou a resultados semelhantes ao analisar a mineralogia dos solos da Bacia do Gurutuba, associando estes solos a Fácies 1, da Unidade Itaóca, descrita por Mello (1995). A principal diferença com relação aos resultados apresentados na Tabela 12 foi a não identificação de magnetita, que Mello (1995) identificou em quantidades consideráveis em seu estudo.

Além desses minerais, a análise interpretou a presença de Aerinita, que parece estar equivocada e fora do contexto geológico de solos de alteração de granitos e por isso, esta informação foi desconsiderada na avaliação final.

Primeiramente, a presença de albita sugere uma resposta ao caráter sódico verificado nos estudos da química dos solos. Sendo a albita uma série isomorfa dos feldspatos sódicos-cálcicos e representando o extremo sódico da série dos plagioclásicos confere aos granitos e a seus produtos de alteração caráter sódico semelhante ao verificado nas amostras de solos aqui estudadas.

Em P1, apenas nos horizontes mais superficiais são encontradas vermiculitas (horizontes A e C), o que corrobora com o verificado em campo, onde os horizontes Cr1 e Cr2 se mostraram bastante arenosos, com baixa presença de argilominerais. Esses argilominerais encontrados nos horizontes superiores advêm da alteração de minerais do grupo das micas. Segundo Carou (2019), essa situação indica que as micas começaram a passar por processos de alteração química mais intenso, causando nos horizontes mais superficiais, e que pedogeneticamente estão em estágios mais avançados, a presença de maiores quantidades de argilominerais (vermiculitas, por exemplo).

Já a análise das trincheiras T1 e T2 indicaram a presença de minerais micáceos e menos intemperizados em maiores quantidades que no ponto P1, indicando um grau de alteração inferior a P1. Tanto em T1 quanto em T2 há presença de flogopita e illita nos horizontes mais profundos. A presença da illita nos horizontes mais profundos está associada ao intemperismo dos feldspatos.

Nessas trincheiras também foi encontrada em quantidades pequenas a montmorilonita. Em todos os horizontes que foi identificada, apresentou pequena relevância em quantidade nas amostras. A montmorilonita está associada a solos expansivos, ou seja, solos que quando saturados, tendem a aumentar de tamanho. A presença de montmorilonita não é comum em solos tropicais (Perdomo, 2021), porém, indica um estágio não tão avançado do processo pedogenético destes solos.

Quando o solo se apresenta seco, os argilominerais como a montmorilonita diminuem de tamanho (Brady e Weil, 2013) e esta variação de volume tende a diminuir a coesão destes solos. Essa condição impõem uma possibilidade de redução de coesão entre os horizontes Bi e C da T2, já que nesta trincheira apenas o horizonte C apresentou montmorilonita. Por sua vez, na T1, a presença de montmorilonita nos horizontes Bi1, C1 e C2 pode indicar uma menor coesão deste solo com relação aos solos da T2, ao menos quando em condições úmidas.

Afonso e Picanço (2015) colocam as chuvas como principal fator deflagrador dos deslizamentos ocorridos em janeiro de 2014 em Itaóca, mas chamam a atenção para outros fatores como as grandes declividades das vertentes, as diversas famílias de fratura nas rochas e a ocorrência de solo arenoso/pedregoso com presença de argila expansiva. Essas considerações são coerentes com o observado no DRX ao apontar a presença de montmorilonita na T1, estando a trincheira T1 na vertente que mais sofreu com os deslizamentos, mesmo tendo declividade semelhante a vertente da T2.

Os valores encontrados de CTC e dispostos na Tabela 10 estão de acordo com o mostrado pelo DRX, onde os maiores valores coincidem com os horizontes onde foram encontrados montmorilonita na trincheira T1 e no horizonte C da T2. Os valores de CTC indicados para os minerais variam bastante de autor, mas muitos indicam aumento de valores para a montmorilonita (Pichler (1957), Buckman e Brady (1968), Grim (1962) e Junior *et al.* (2011)).

Carou (2019) também relaciona a suscetibilidade dos solos do município de Itaóca a ocorrência de deslizamentos ao estágio de alteração dos solos e a presença de minerais laminares (micas e argilominerais). A presença desses minerais laminares é relacionada a uma diminuição do ângulo de atrito e, conseqüentemente, diminuição da resistência do solo a processos gravitacionais de massa.

Por fim, foram identificadas algumas inconsistências entre a análise de DRX e as leituras das lâminas, como, por exemplo, a possível presença de argilas expansivas, que não foram possíveis de serem detectadas nas lâminas. Também foram indicados minerais, como a aerinita, que não foi possível de ser validado nas lâminas e pode se tratar de algum problema na interpretação do DRX. Porém, mesmo com possíveis deficiências o ensaio de DRX nos indica o grupo de minerais. Foram identificadas flogopitas no DRX, que devem se tratar, ao menos em parte, a minerais micáceos, como a biotita, por exemplo. Desta forma, é preciso avaliar com cautela esses resultados, sendo mais uma ferramenta para a caracterização dos solos.

6.8 – GRANULOMETRIA PELO MÉTODO DA PIPETA

A seguir, na Tabela 12, são apresentados os resultados da granulometria pelo método da pipeta, executada em todas as amostras, onde fica evidente o caráter mais arenoso dos horizontes de solos ensaiados. Essa característica é ainda mais nítida em P1, local de registro de uma cicatriz de deslizamento.

Nesta análise não foi possível caracterizar os cascalhos e por esse motivo os valores informados na Tabela 13 não estão considerando os grãos com diâmetro superior a 2 mm.

Tabela 13 - Granulometria através do método da pipeta.

Horizonte	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
	%			
P1-A	49,4	13,4	15,2	22,0
P1-C	54,1	16,0	9,9	20,0
P1-Cr1	60,5	15,5	11,0	13,0
P1-Cr2	82,3	8,5	4,0	5,2
T1-A	44,5	13,8	24,7	17,0
T1-Bi1	46,4	13,8	19,8	20,0
T1-Bi2	42,5	13,2	23,3	21,0
T1-C1	42,3	13,9	23,8	20,0
T1-C2	45,1	14,5	25,4	15,0
T2-A	56,7	13,6	17,7	12,0
T2-A/Bi	61,1	13,8	10,0	15,1
T2-Bi/A	51,7	15,9	21,4	11,0
T2-Bi	52,3	15,5	17,2	15,0
T2-C	52,1	14,0	17,9	16,0

A análise da granulometria permitiu construir gráficos comparativos entre as profundidades e os horizontes para cada ponto de amostragem. Esses gráficos são apresentados a seguir, nas figuras 32, 33 e 34.

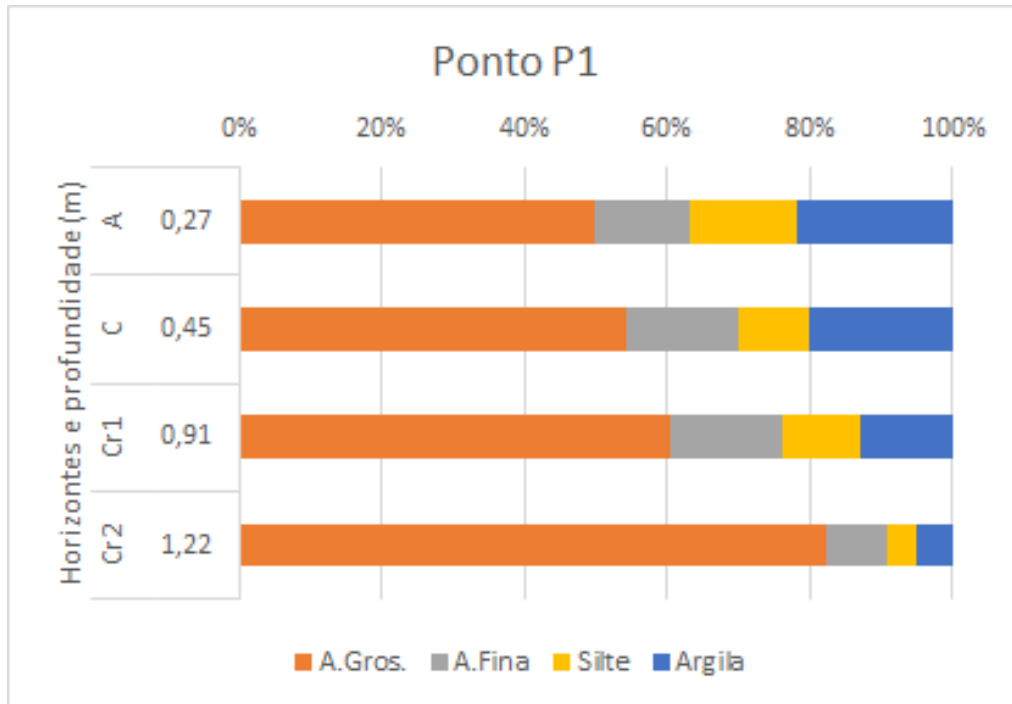


Figura 32 - Gráfico com a granulometria para cada horizonte do Ponto P1.

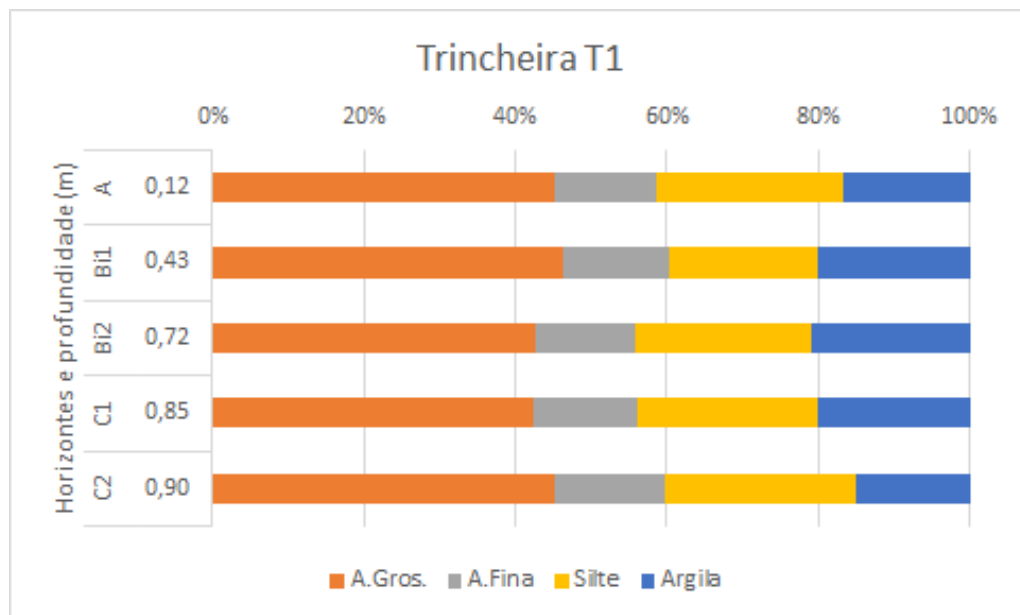


Figura 33 - Gráfico com a granulometria para cada horizonte da Trincheira T1.

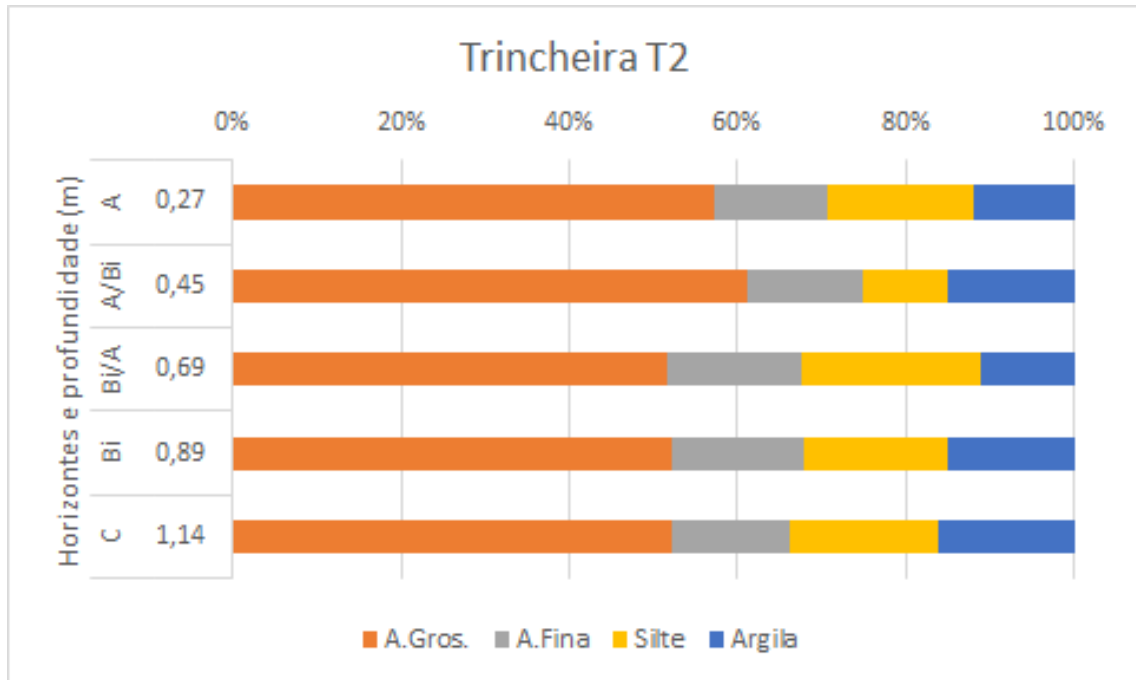


Figura 34 - Gráfico com a granulometria para cada horizonte da Trincheira T2.

Baseado na descrição e análise de campo, nos dados granulométricos (Tabela 13) e, também, nos morfológicos (Tabela 6 e Figura 25) é possível sugerir que a cobertura pedológica do Ponto P1 trata-se de um Neossolo Regolítico (Santos *et al.*, 2018). Essa classificação diferencia do proposto por Rossi (2017), o que pode ser explicado pela diferença de escala de ambos os trabalhos, onde o mapa pedológico de Rossi tem escala muito menor que a apresentada neste trabalho.

Através da granulometria e da química de rotina torna possível melhor interpretar a morfologia dos solos verificados em campo. Ou seja, com estes resultados algumas aferições de campo puderam ser melhor qualificadas, como a classificação dos solos, pois em campo, aparentemente, a trincheira T2 apresentava um solo com horizonte B textural, o que classificaria este solo como um Argissolo. Porém, esta análise táctil-visual não se sustentou após os resultados apresentado na Tabela 13, reclassificando o solo da Trincheira T2 como um Cambissolo Háplico, segundo SiBCS (Santos *et al.*, 2018). Esse Cambissolo apresenta o horizonte Bi, conforme indicado na Figura 27, e semelhante ao, também, Cambissolo da trincheira T1.

Mesmo se tratando de Cambissolos Háplicos em ambas as trincheiras (T1 e T2), a análise do solo da trincheira T2 indica pequenas diferenças com relação ao solo da trincheira T1, mas que não devem ser ignoradas. Essa condição fica mais bem evidenciada quando se

avalia as quantidades de argilas indicadas na Tabela 13 e na comparação entre os gráficos das figuras 33 e 34, onde o horizonte Bi da trincheira T1 tem um incremento de argila do horizonte A para Bi indo de 17% para 20%, enquanto na T2, esse incremento é maior, indo de 10% no horizonte de transição A/Bi para 15% no horizonte Bi, ou seja, um aumento de 50%, bem superior ao aumento da verificado na trincheira T1. Essa condição coloca diferenças entre esses Cambissolos das trincheiras T1 e T2.

As figuras 32, 33 e 34 quando analisadas comparativamente indicam uma grande variabilidade do perfil de alteração, revelando um intemperismo não uniforme, mesmo quando analisados pontos geograficamente localizados muito próximos, como é o caso aqui estudado. Assim, os solos provavelmente responderão de maneira heterogênea com relação a percolação e infiltração de água em períodos chuvosos.

6.9 – ENSAIO DE GRANULOMETRIA COM SEDIMENTAÇÃO

Ainda com as amostras deformadas foram programados e executados ensaios de granulometria com sedimentação e utilização de defloculante (CD), conforme ABNT NBR 7181 (2016) e com a metodologia modificada, ou seja, sem a utilização de defloculante (SD), para as amostras dos horizontes mais profundos. Os horizontes “A” não foram ensaiados devido a menor relevância deles nos processos e por haver essas informações da granulometria (Tabela 13). Assim, os resultados das amostras dos horizontes ensaiados são apresentados na Tabela 14 e as curvas granulométricas na Figura 35.

A análise comparativa entre os ensaios com e sem defloculante deixam claro que a porcentagem de finos (argila e silte) é a que mais sofreu impacto. No geral, os solos analisados apresentam pequena concentração de argila, porém, quando analisados sem defloculante, na maioria dos casos, o resultado foi nulo para a argila.

No ponto P1, horizonte Cr2 acontece uma das poucas exceções, onde mesmo com defloculante, o valor já se apresentou nulo. Em contrapartida, no horizonte C, diretamente acima, a concentração de argila decaiu de aproximadamente 12% para zero, com um aumento da fração areia fina de 13% para 22,6%.

Essa condição se repete em todos os horizontes ensaiados das trincheiras T1 e T2, onde a fração argila decaiu de valores próximos a 10% (em média) para nulo. Essa condição

apenas variou no horizonte T1Bi1, onde a argila se mostrou presente mesmo sem defloculante, mas com valores ínfimos, em torno de 1%.

Tabela 14 - Resultados dos ensaios de granulometria com defloculante (CD) e sem defloculante (SD).

		Ponto P1					
		P1-C		P1-Cr2			
%	Diâmetro dos grãos (mm)	CD	SD	CD	SD		
Cascalho	2-60	21,3	22	45,1	43,8		
A. Grossa	0,6-2	24,8	25,2	23,7	23,5		
A. Média	0,2-0,6	19,8	20,1	17,7	17,9		
A. Fina	0,06-0,2	13	22,6	3,7	4,9		
Silte	0,002-0,06	8,9	10,1	9,8	9,9		
Argila	<0,002	12,2	0	0	0		
		Trincheira T1					
		T1-Bi1		T1-Bi2		T1-C1	
%	Diâmetro dos grãos (mm)	CD	SD	CD	SD	CD	SD
Cascalho	2-60	11,7	12,2	14,5	13,6	14,6	12,3
A. Grossa	0,6-2	27,9	25,3	21,2	23,5	24,2	25,6
A. Média	0,2-0,6	17,2	18,7	16,2	16,6	18,6	19,2
A. Fina	0,06-0,2	2,9	17,4	3,3	14,7	3,9	18,6
Silte	0,002-0,06	26,6	25,3	33,8	31,6	28,9	24,3
Argila	<0,002	13,7	1,1	11	0	9,8	0
		Trincheira T2					
		T2-A/Bi		T2-Bi		T2-C	
%	Diâmetro dos grãos (mm)	CD	SD	CD	SD	CD	SD
Cascalho	2-60	20,5	18,7	15,5	13,2	13,3	14,6
A. Grossa	0,6-2	25,7	26,9	26,9	28,4	27,6	26,8
A. Média	0,2-0,6	17,5	19,5	15,8	16,3	21,3	22,6
A. Fina	0,06-0,2	7,4	16,3	3,6	17,4	6,3	17,5
Silte	0,002-0,06	21,5	18,6	27,7	24,7	21,3	18,5
Argila	<0,002	7,4	0	10,5	0	10,2	0

Esta condição é explicada por Cozzolino e Nogami (1993) e por Fookes (1997), onde a atuação do intemperismo físico e principalmente químico, através da lixiviação de partículas, dá origem a solos com estrutura mais estável e porosidade mais elevada, formando grumos. A argila nessa condição de grumos acaba por assumir o comportamento hidrológico de partículas de silte e até mesmo de areia fina (Leal, 2009), explicando a diminuição dos valores de argila e aumento da concentração de areia fina, quando da realização do ensaio sem defloculante.

Assim exposto já é possível notar com clareza a diferença entre o local de estudo P1 e as trincheiras T1 e T2 com relação à granulometria. Na Figura 35, fica evidente como as curvas do ponto P1 se distanciam das demais, mostrando solos mais arenosos. Sendo a P1 o local onde foi registrado um deslizamento e apresentando uma quantidade muito superior de grossos, inclusive com presença de clastos, se aproximando dos 50% de sua constituição, no caso dos horizontes Cr1 e Cr2, conforme indicado no gráfico da Figura 35. Estes resultados foram confirmados tanto na granulometria pelo método da pipeta (Tabela 13) quanto na granulometria com sedimentação (pelo método da ABNT) da amostra do horizonte Cr2 (Tabela 14).

A Figura 35 também evidencia uma leve tendência a maior proporção de finos nas amostras da trincheira T1. Essa condição é aferida quando se compara os números da granulometria dos horizontes da T1 com os da T2, onde em profundidades semelhantes, a T1 sempre tem valores do somatório argila mais silte levemente superiores aos da trincheira T2 (Tabela 14).

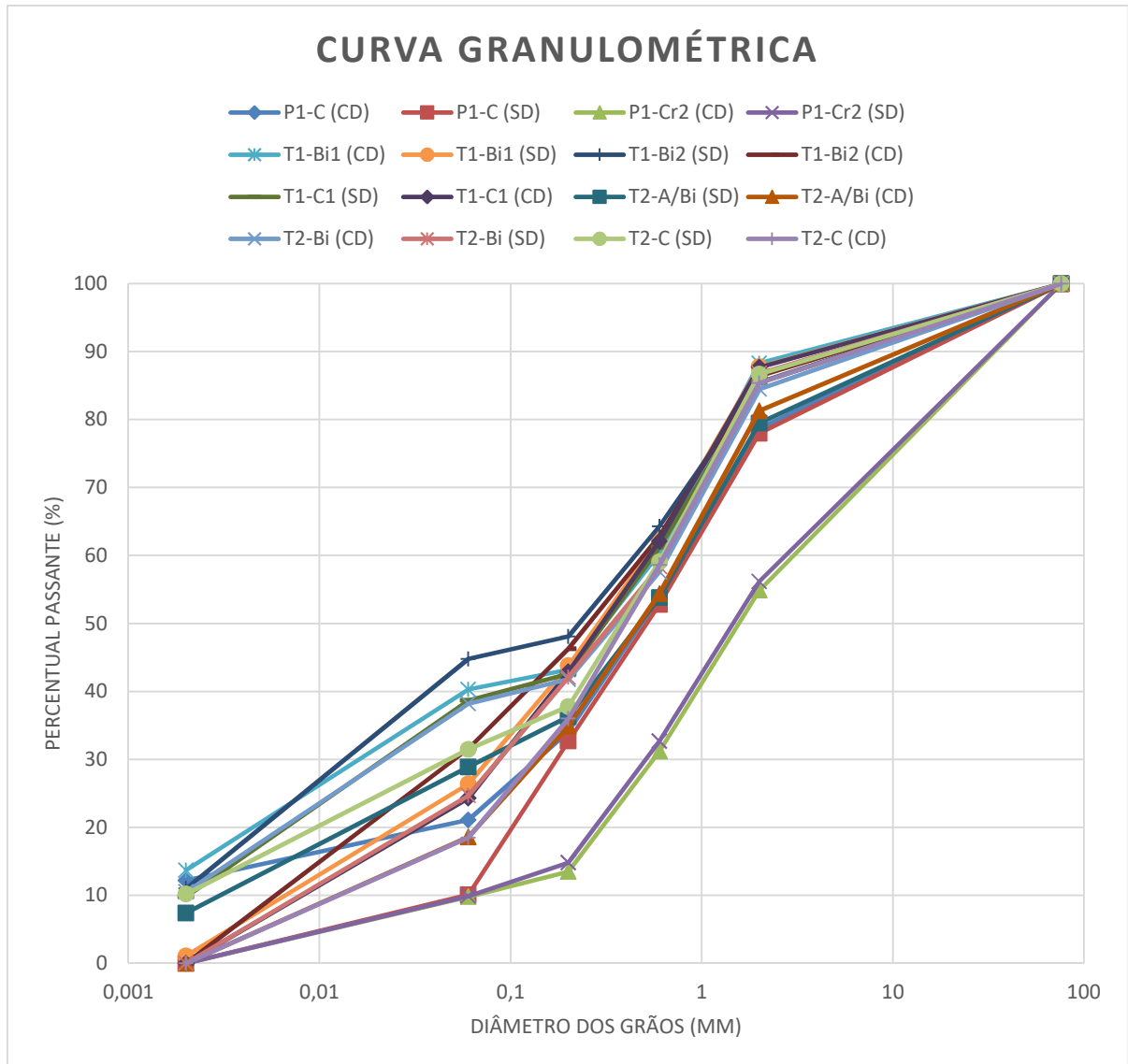


Figura 35 - Gráfico com a granulometria para cada horizonte ensaiado.

Na sequência são apresentados os triângulos texturais (figuras 36, 37 e 38) dos solos das amostras ensaiadas da P1, T1 e T2. Nos triângulos texturais é possível comparar para cada horizonte ensaiado a variação de classificação devido a utilização ou não do defloculante.

Segundo a classificação feita pelo triângulo textural, proposto por Lemos e Santos (1996), os horizontes de solos ensaiados com defloculante (CD) foram classificados, de uma maneira geral, como franco arenosos. A exceção se deu no horizonte Cr2 do ponto P1, onde mesmo sem defloculante a amostra já se mostrou como uma areia. Enquanto os solos ensaiados sem defloculante (SD) foram classificados, em sua maioria, como areia ou areia franca (figuras 36, 37 e 38).

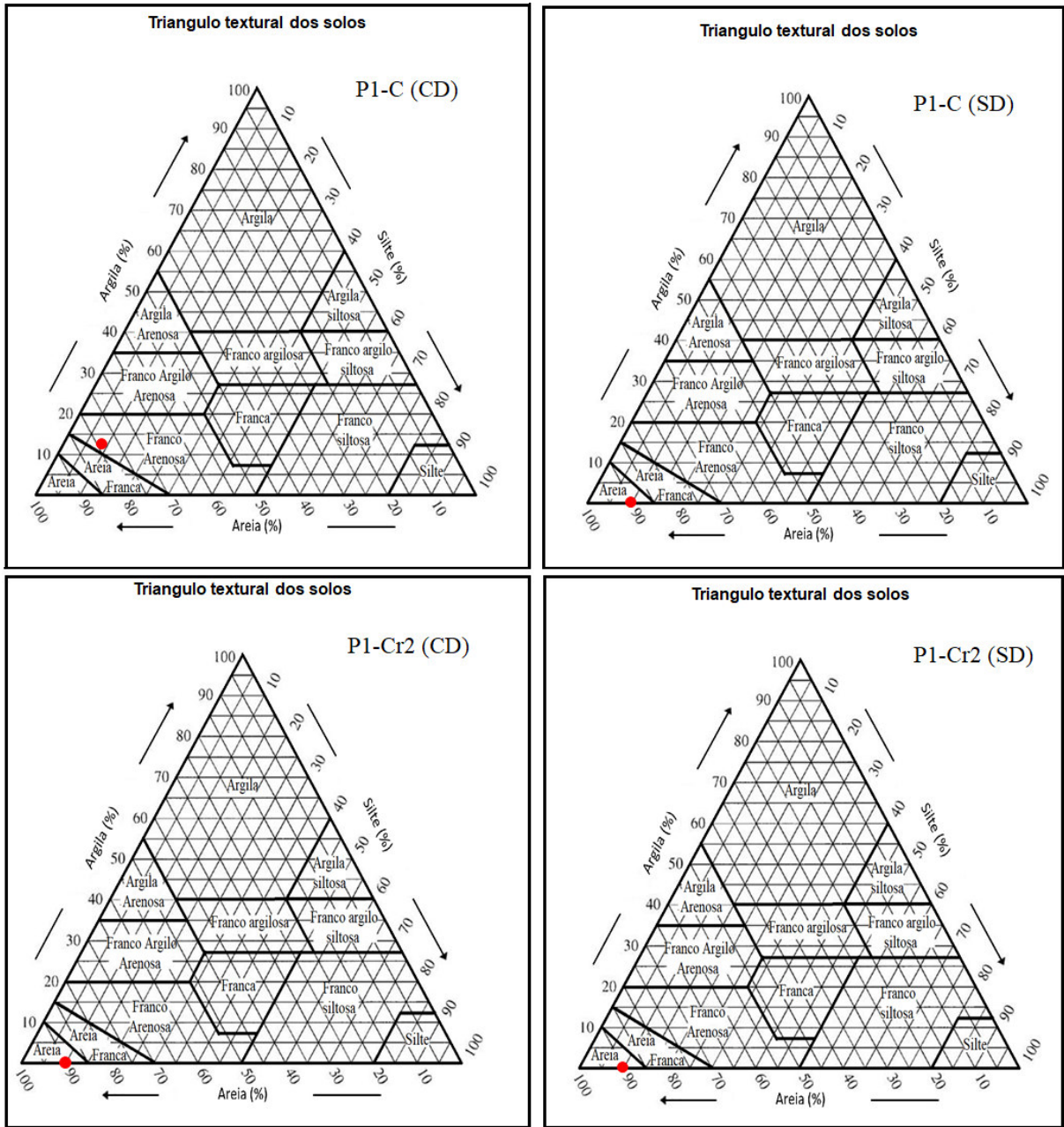


Figura 36 - Gráficos com os triângulos texturais do ponto P1.

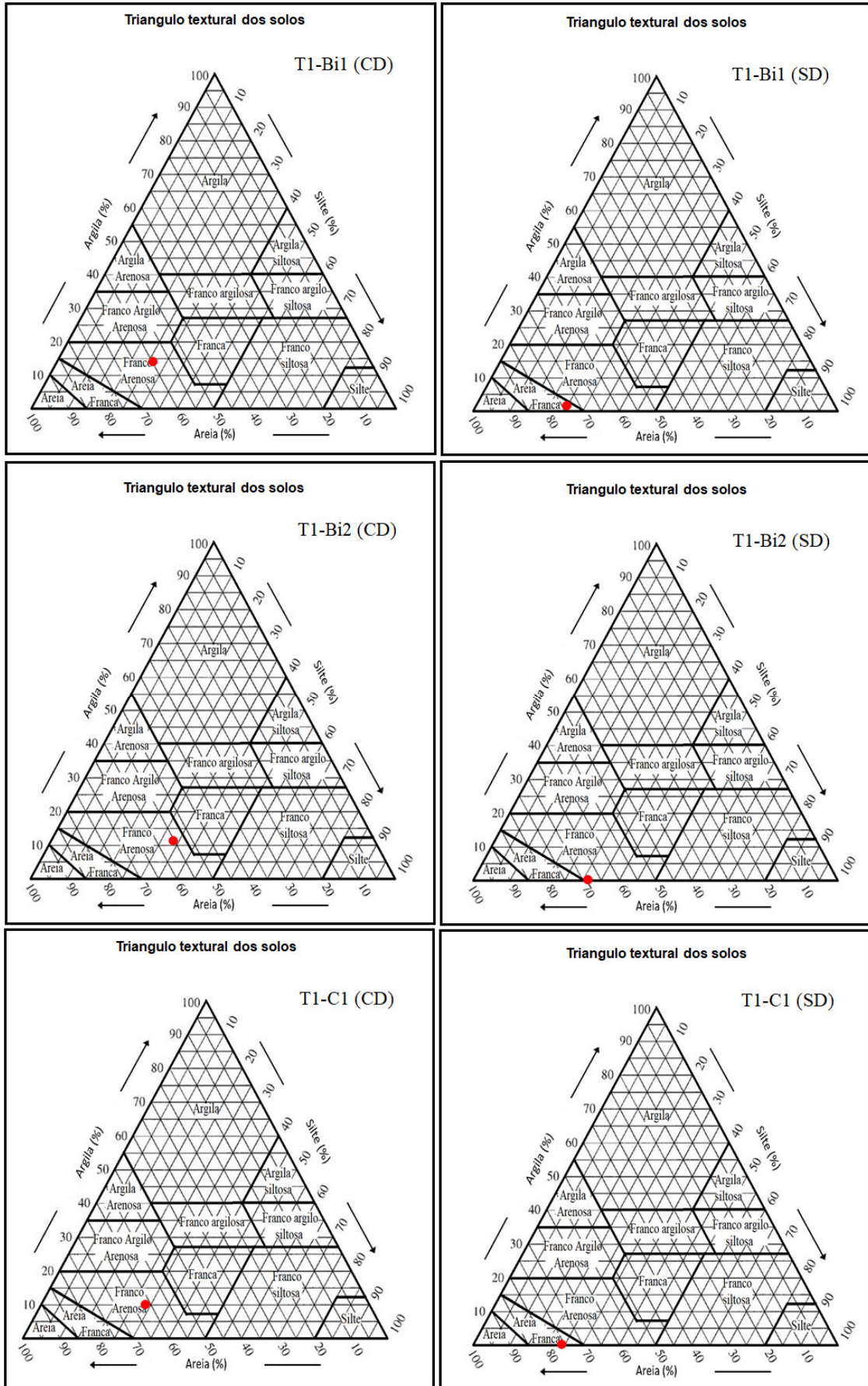


Figura 37 - Gráficos com os triângulos texturais da trincheira T1.

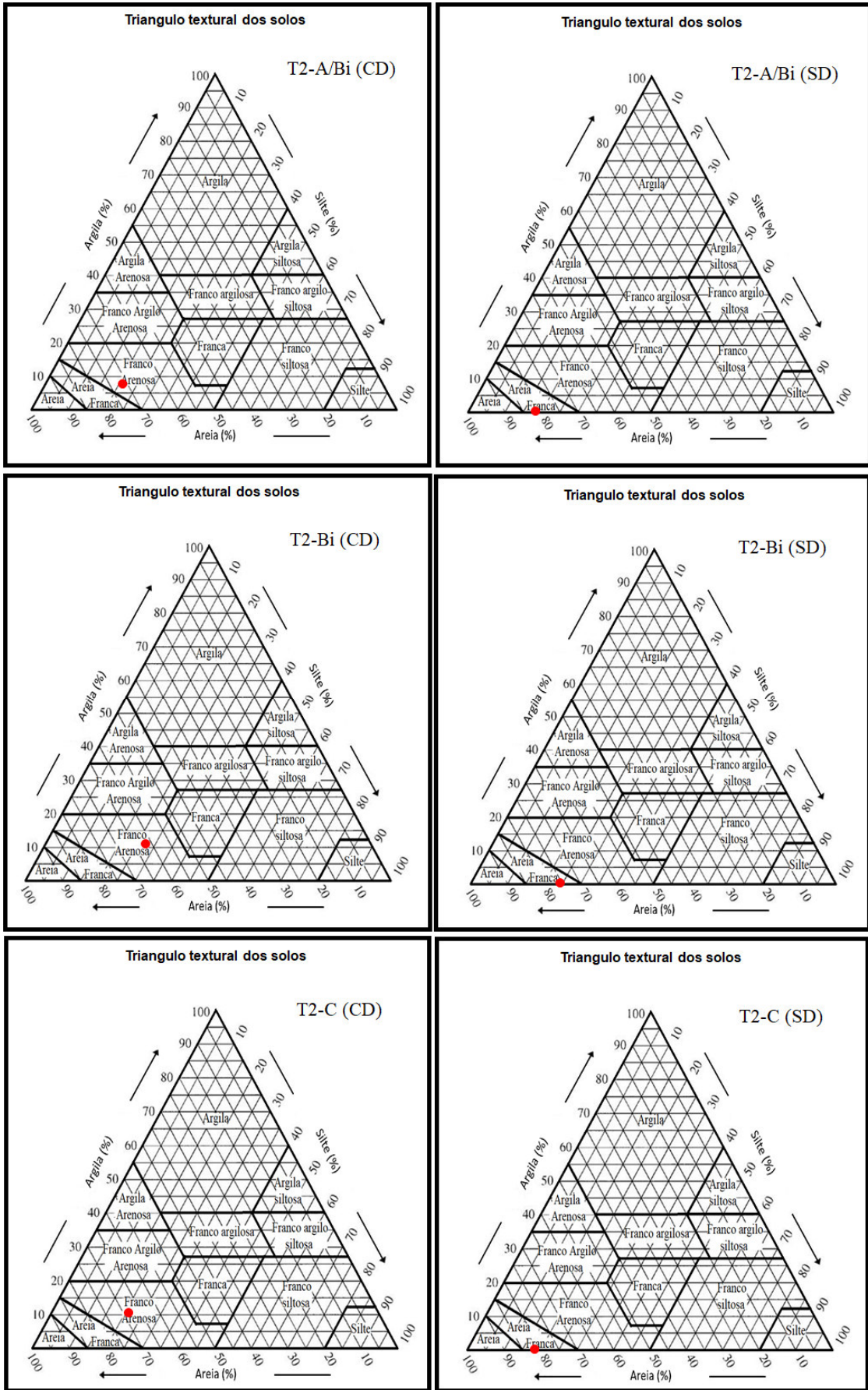


Figura 38 - Gráficos com os triângulos texturais da trincheira T2.

A quantidade de finos se mostrou bastante pequena nas amostras da P1, o que ajuda a explicar a baixa coesão conferida ainda em campo para estas amostras e que viriam a se confirmar nas análises laboratoriais de cisalhamento direto.

Colângelo (1995) apontou grandes descontinuidades texturais entre os horizontes “B” e “C”, onde os horizontes “C” se apresentam mais arenosos e siltosos e bem menos argilosos que os horizontes “B”. Essa situação pode não ser tão nítida nas duas trincheiras, onde essa descontinuidade entre solos menos arenosos nos horizontes “B” em relação aos horizontes “C” é pequena. Porém, essa correlação pode ser refletida para o ponto P1, onde não há horizonte “B”, mas a porcentagem de finos decai com a profundidade, sendo inferior no horizonte Cr2 quando comparado ao horizonte C. Assim, caracterizando uma descontinuidade e indicando uma menor coesão e maior suscetibilidade a instabilidades desse solo.

Importante realçar que foram constatadas diferenças nos resultados entre o método da pipeta e a granulometria tradicional com a utilização do densímetro. Essas diferenças de resultados já são fruto de estudos comparativos entre elas, mas que ainda carecem de mais estudos e poderão ser alvo de análises futuras.

Fica evidente que a comparação das amostras indica um somatório de finos bem próximos entre os ensaios realizados com o densímetro e o método da pipeta, ou seja, quando somados argila e silte tem-se um valor próximo ao obtido na química. Porém, a análise individual das concentrações de argila indica sempre uma quantidade menor com o uso do densímetro do que com o método da pipeta. Esta situação pode estar relacionada a não desagregação completa do material pela adição do hexametáfosfato, como indica a norma ABNT NBR 7181 (2016), alguma outra deficiência do método ou falha da execução do ensaio. Essa condição potencializa a possibilidade desse solo de formar grumos, pois os valores obtidos pelo método da pipeta para argila são ainda maiores.

6.10 – MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS E UMIDADE NATURAL

A determinação da massa específica dos grãos (γ_s) e do teor de umidade natural do solo (w) é fundamental para a análise em conjunto com os demais ensaios. Desta forma, os valores obtidos para estes índices físicos dos solos são apresentados na Tabela 15.

Os valores de massa específica de todos os horizontes analisados se assemelham bastante, havendo pequena disparidade apenas nos horizontes “A”, onde a maior concentração de matéria orgânica explica essa menor densidade.

Tabela 15 - Resultados de umidade natural e massa específica dos grãos dos solos amostrados.

Horizonte	w (%)	γ_s (g/cm³)
P1-A	23,13	2,51
P1-C	14,27	2,56
P1-Cr1	5,52	2,58
P1-Cr2	1,06	2,68
T1-A	20,63	2,52
T1-Bi1	17,62	2,59
T1-Bi2	17,54	2,60
T1-C1	18,73	2,69
T1-C2	14,99	2,72
T2-A	22,45	2,53
T2-A/Bi	18,86	2,58
T2-Bi/A	14,56	2,60
T2-Bi	12,82	2,63
T2-C	12,50	2,69

Os valores estão, na sua grande maioria, na faixa entre 2,5 e 2,7 g/cm³, o que é coerente com os minerais detectados no estudo das lâminas (Tabela 9), onde o quartzo se apresenta sempre com um dos principais minerais em quantidade, seguido dos feldspatos. Para Das (2007), espera-se para solos arenosos oriundos da alteração do granito e quartzosos uma massa específica em torno de 2,65 g/cm³, o que é coerente com o resultado encontrado nas amostras ensaiadas. Ainda segundo Das (2007), os feldspatos potássicos e os feldspatos sódicos e cálcicos apresentam uma massa específica de 2,57 g/cm³ e de 2,62 a 2,76 g/cm³, respectivamente e que também está coerente com os resultados obtidos.

6.11 – LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTERBERG)

Os ensaios de limites de consistência foram realizados em todos os horizontes e estão dispostos na Tabela 16. Assim, seguem os resultados para os limites de plasticidade (LP), limites de liquidez (LL) e índice de plasticidade (IP).

Tabela 16 - Quadro resumo dos resultados dos ensaios de limites de consistência.

Horizonte	LP (%)	LL (%)	IP (%)
P1-A	23	43	20
P1-C	NP	NP	NP
P1-Cr1	NP	NP	NP
P1-Cr2	NP	NP	NP
T1-A	26	41	15
T1-Bi1	15	47	32
T1-Bi2	21	59	38
T1-C1	13	55	42
T1-C2	NP	NP	NP
T2-A	NP	NP	NP
T2-A/Bi	17	46	29
T2-Bi/A	16	46	30
T2-Bi	13	45	32
T2-C	NP	NP	NP

A primeira constatação que se chega ao analisar os resultados expostos na Tabela 16 diz respeito ao fato dos horizontes “A” da P1 e da T1 terem apresentados valores superiores aos demais horizontes, ao passo que o horizonte A da T2 deu dado NP (não plástico). Segundo Silva e Miranda (2016), a matéria orgânica influi nos limites de liquidez e plasticidade dos solos, podendo aumentar seu índice de plasticidade. Para Hemmat *et al.* (2010), os limites de Atterberg são influenciados por muitas propriedades intrínsecas do solo, mas principalmente pelo conteúdo de argila e matéria orgânica. Desta forma, a matéria orgânica deve explicar esse aumento da plasticidade nesses horizontes “A”. Essa condição não ocorreu no horizonte A da T2, provavelmente devido a maior quantidade de areia e, principalmente, a queda na quantidade de finos com relação a P1 e T1.

Outro ponto que se destaca foi a dificuldade da realização do ensaio no Ponto P1, onde, com exceção do horizonte A. Todos os demais horizontes se mostraram não plástico. Evidentemente, que ao analisar esses resultados com a granulometria (Tabela 13) fica claro que

a maior quantidade de areia nessas amostras deve ter determinado esse caráter não plástico. Silva (2017) ao analisar solos do município de Itaóca também chegou a resultados parecidos ao descrever as análises geotécnicas com predominância de solos não plásticos, índice de consistência dura e composto por alta porcentagem de areia (maiores que 50%), concluindo que estes solos apresentam alta erodibilidade.

Lalitha *et al.* (2021), em estudos em terrenos montanhosos no sul da Índia, concluiu que horizontes de solos arenosos com baixos valores para os índices de Atterberg, sustentado por horizontes mais argilosos e com valores mais altos de LL e LP, geram condições favoráveis à ocorrência de deslizamentos. Essa situação se dá pela entrada de água no perfil de solo, ultrapassando facilmente as camadas mais arenosas e que possuem mais vazios intergranulares. Quando a saturação da água do solo da camada arenosa ultrapassa o limite crítico durante chuvas fortes, a pressão dos poros reduz a resistência ao cisalhamento e a massa do solo se torna instável.

Essa condição é levemente notada na T1, onde há um incremento, mesmo que pequeno, dos limites de consistência entre os horizontes Bi1 e Bi2, podendo indicar um aumento da suscetibilidade a deslizamentos. Na T2, os valores se mantêm parecidos entre os horizontes mais superficiais, caindo no horizonte C, onde resultou em não plástico. Na T2 essa condição ocorre quando analisamos o horizonte a, que não possui plasticidade, mas em profundidade não há aumento da plasticidade entre os horizontes B e C.

Outro fator importante a ser avaliado é a comparação entre a umidade natural e o limite de plasticidade. Nessa conjuntura, os valores de umidade natural obtidos estão sempre próximos ou abaixo dos limites de plasticidade (Tabela 16), indicando uma boa drenagem e baixa retenção de água em períodos chuvosos. Essa condição apenas variou no horizonte Bi2 da T1, onde o LP foi levemente superior a umidade, podendo indicar um leve aumento na suscetibilidade dessa área à ocorrência de desestabilização do terreno em períodos chuvosos.

6.12 – ENSAIO DE POROSIMETRIA POR INTRUSÃO DE MERCÚRIO

Os ensaios de porosimetria foram realizados nas duas trincheiras, nos mesmos horizontes onde se realizaram os ensaios de permeabilidade e cisalhamento direto (T1-Bi1, T1-Bi2, T2-Bi/A e T2-Bi). Para melhor compreensão e comparação dos resultados, os gráficos serão apresentados com os resultados em conjuntos para os horizontes superiores (T1-Bi1 e T2-

Bi/A) e mais profundos (T1-Bi2 e T2-Bi) (figuras 39 e 40), buscando assim, fazer uma correlação com a profundidade.

Nestes gráficos é possível observar a ocorrência de dois principais picos, um entre $0,01\mu\text{m}$ e $0,1\mu\text{m}$, representando os microporos e outro pico, próximo a $10\mu\text{m}$, representando os macroporos.

A análise da Figura 39 indica pequenas diferenças entre as trincheiras T1 e T2, ao passo que a T1 apresenta uma quantidade superior de microporos, tanto para o horizonte Bi1 quanto para Bi2. Essa situação não se repete na T2, onde se sobressaem os macroporos, tendo no horizonte mais profundo (Bi) uma superioridade ainda maior dos macroporos.

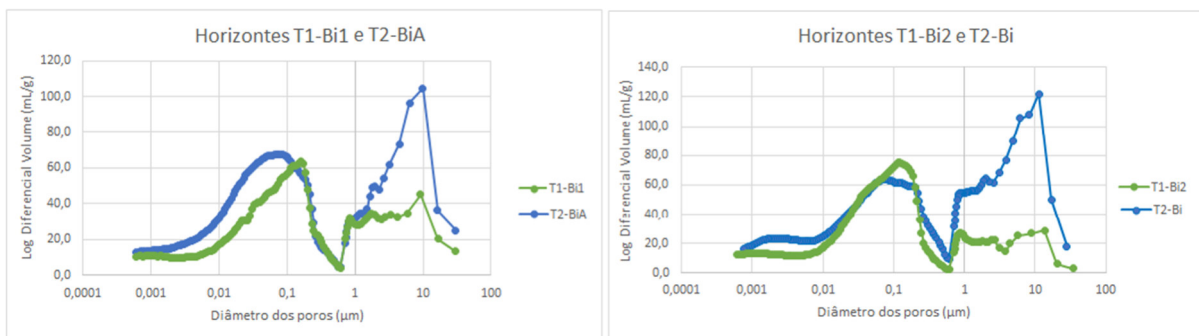


Figura 397 - Diâmetro dos poros dos horizontes superiores e mais profundos das trincheiras T1 e T2.

Apesar de se sobrepor os microporos na T1, a análise indica uma boa quantidade de macroporos em ambos os horizontes, podendo ser explicado pela quantidade não tão grande de argila nessa amostra. Contudo, quando analisados os resultados em conjunto com a granulometria, faz sentido os horizontes da T1 apresentarem um número mais significativo de microporos em detrimento da T2, onde predominam os macroporos, pois a T2 possui valores levemente inferiores para a fração argila e menores para o somatório silte/argila.

O horizonte T1-Bi1 apresenta um leve deslocamento com relação ao horizonte T2-Bi/A no tamanho dos macroporos. Esse deslocamento indica macroporos um pouco maiores para o horizonte mais superficial da trincheira T1, quando comparado a T2.

A capacidade de drenagem de um solo é determinada pelo volume dos macroporos, sendo que os microporos são os responsáveis por reter a água, ou seja, está relacionado a umidade do solo. Assim, solos com mais macroporos (arenosos) possuem maior capacidade de

drenagem e aeração, mas com mais baixa umidade natural. Essa condição indica que os solos da T2 devem apresentar melhor drenagem que os solos da T1, apesar dos valores serem relativamente próximos. Tal afirmação é corroborada pela umidade natural aferida e mostrada na Tabela 15, onde a T1 apresentou valores de umidade natural maiores, apesar das amostras terem sido coletadas em condições climáticas semelhantes.

A umidade natural do solo é uma condição importante pois interfere diretamente na condutividade hidráulica. Brady (1989) descreve que quando o solo se encontra próximo à saturação e com os macroporos preenchidos, o fluxo é relativamente rápido, porém quando o teor de umidade diminui, os microporos retêm água, tornando a condutividade hidráulica menor.

A indicação de maior quantidade de macroporos na trincheira T2 é também validada quando se analisa o gráfico que relaciona a porcentagem de intrusão de mercúrio com o diâmetro dos poros (Figura 40), onde os horizontes T2-Bi/A e T2-Bi mostram poros maiores que na T1. No horizonte mais profundo (T2-Bi) essa diferença é ainda maior, estando a curva da T2-Bi ainda mais distante da curva do horizonte T1-Bi2.

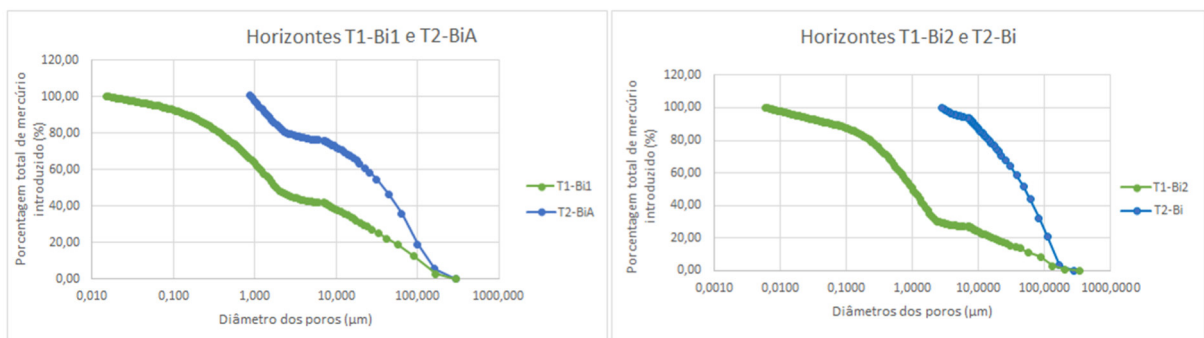


Figura 40 - Gráficos com a porcentagem total de mercúrio introduzido e o tamanho dos poros para os horizontes superiores e mais profundos das trincheiras T1 e T2.

6.13 – ENSAIO DE PERMEABILIDADE

Os valores do coeficiente de permeabilidade obtidos para o fluxo vertical para os horizontes T1-Bi1, T1-Bi2, T2-Bi/A e T2-Bi são apresentados na Tabela 17. A cicatriz de deslizamento (Ponto P1) não teve nenhum horizonte ensaiado devido à baixa coesão do material que inviabilizou a amostra de ser moldada para o ensaio de permeabilidade (Figura 23).

Os horizontes Bi1 e Bi2 da trincheira T1 apresentou valores de permeabilidade muito próximos, sendo levemente inferior no horizonte Bi2. Essa condição não surpreende devido as características desses horizontes não se diferenciarem muito nos ensaios anteriormente apresentados. Em termos granulométricos e mineralógicos eles possuem grande semelhança, além de possuírem massa específica praticamente igual (Tabela 15).

Para a trincheira T2 tem-se uma condição um pouco diferente, onde a variação da permeabilidade entre os horizontes ensaiados se difere, sendo a velocidade de infiltração da água levemente superior no horizonte mais profundo (Bi), quando comparado ao horizonte Bi/A.

Todas as amostras ensaiadas apresentaram uma velocidade de saturação parecida e relativamente rápida. Essa condição pode ser explicada pela baixa concentração de argila nestes solos, indicado nos ensaios de granulometria e mostrado nos gráficos das figuras 33 e 34.

Tabela 17 - Quadro resumo dos valores de condutividade hidráulica do fluxo vertical.

Trincheira	Horizonte	Condutividade hidráulica vertical (m/s)
T1	Bi1	$7,03 \times 10^{-05}$
	Bi2	$6,69 \times 10^{-05}$
T2	Bi/A	$5,01 \times 10^{-05}$
	Bi	$2,55 \times 10^{-04}$

Ao analisar comparativamente a condutividade hidráulica da trincheira T1 com a trincheira T2 percebe-se que elas apresentam valores parecidos, com destaque para o horizonte T2-Bi que possui a maior condutividade entre os horizontes avaliados. Tal condição é coerente com a porosimetria e a granulometria desse horizonte, que apresentou maior macroporosidade, o que o torna um horizonte com maior predisposição a ter maiores condutividades hidráulicas. Em contrapartida, a trincheira T1 possui maior quantidade de microporos e maior quantidade de material fino, conferindo uma menor condutividade hidráulica quando comparada a T2-Bi.

Souza (2013) ao estudar Latossolos provenientes da alteração de rocha granítica chegou a valores da mesma ordem de grandeza (10^{-05}) que os obtidos aqui. Valores que o autor considerou relativamente mais altos que os encontrados nos Argissolos, podendo ser mais próximos aos Cambissolos. Tal análise é interessante para validar os valores expressos na Tabela 17, onde os Cambissolos aqui analisados indicaram condutividade hidráulica igual ou superior às encontradas por Souza (2013) em seus Latossolos graníticos.

Outros fatores importantes para a determinação da infiltração de água no solo são a declividade e a forma da vertente (Bogaart *et al.*, 2006; Passarela *et al.*, 2008 e Nery, 2009). Os locais analisados apresentam declividades semelhantes, estando a T1 numa condição relativamente menos declivosa, conforme indicado na Figura 7. Quanto a forma da vertente, é esperado que nas vertentes côncavas haja uma maior infiltração de água, o que pode gerar uma maior suscetibilidade a deslizamentos.

Dos locais analisados, as trincheiras T1 e T2 estão em terrenos convexos, enquanto apenas o ponto P1 se localiza numa vertente côncava. Segundo estudo realizado por Mikosik *et al.* (2010) na Serra do Mar, região de Morretes (PR), vertentes com curvatura plana convergente e de perfil côncavo, apresentaram maior suscetibilidade aos escorregamentos, independentemente da posição da cicatriz na vertente. Essa situação é coerente com o fato do ponto P1 ter sido o único dos locais analisados a deslizar.

6.14 – ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO

As características de cisalhamento do solo são representadas pela coesão do solo, pelo ângulo de atrito interno e pela resistência do solo ao cisalhamento (Ortigão, 1995). Para esta caracterização, foram realizadas análises nas amostras indeformadas nos horizontes logo acima da rocha alterada, tendo sido feito os ensaios de cisalhamento direto com velocidades e saturação variados, com intuito de se obter as várias condições possíveis de saturação para o maciço. Assim, sendo possível aferir as coesões real e aparente e ângulos de atrito, tanto para solos mais ou menos argilosos.

Algumas observações com relação aos ensaios de cisalhamento direto cabem aqui e podem começar a levantar hipóteses sobre as características dos solos em análises. Na Tabela 18 é apresentado um resumo dos resultados de coesão e ângulos de atritos obtidos nas variadas condições de saturação e velocidade do ensaio.

Tabela 18 - Quadro resumo dos resultados dos ensaios de cisalhamento direto.

Horizonte	Ensaio	ϕ' (°)	c'
P1-Cr2	Umidade natural	41,2	17,2
	Saturado drenado	4,6	15,7
T1-Bi1	Saturado drenado	30,2	12,4
	Saturado não drenado	24,3	23,3
T1-Bi2	Umidade natural	15,6	42,6*

	Saturado drenado	29,0	19,1
	Saturado não drenado	30,0	7,7
T2-Bi/A	Saturado drenado	35,2	11,7
	Saturado não drenado	42,3	9,0
T2-Bi	Umidade natural	26,3	53,2*
	Saturado drenado	40,1	5,2
	Saturado não drenado	37,7	17,7

* Coesão aparente.

Quanto à tentativa de obter as variadas coesões e ângulos de atritos internos, com a variação da velocidade e da saturação na realização dos ensaios de cisalhamento, se dá pela busca de interpretar as possíveis condições ambientais, onde se almeja determinar estas condições geotécnicas para o solo saturado ou não, obtendo as coesões reais e aparentes destes horizontes ensaiados. Assim, foram aplicados três diferentes valores de tensão normal, sendo eles, a saber: 50 kPa, 100 kPa e 200 kPa, com aplicação de força cisalhante na direção horizontal, atuando de forma crescentemente até a ruptura do material.

Na sequência são apresentadas as figuras 41 e 42, referentes às amostras da cicatriz de deslizamento (Ponto P1), onde são apresentadas as envoltórias de resistência ao cisalhamento, nos gráficos “tensão cisalhante X tensão normal”, “tensão cisalhante X deslocamento horizontal” e de “deslocamento vertical X deslocamento horizontal”. Estes gráficos foram produzidos para todos os horizontes ensaiados.

Como já mencionado anteriormente, este ponto de coleta é fruto de um deslizamento pretérito e o solo mostrava-se bastante arenoso e pouco coeso na descrição tátil-visual, dificultando a coleta de amostra indeformada (Figura 22). Essa condição se confirmou quando se avalia os resultados do ensaio de cisalhamento direto, onde mesmo com umidade natural se obteve valores baixos para coesão, indicando que a estabilidade desses solos é regida primordialmente pelo ângulo de atrito. Esses valores de coesão irão se mostrar ainda mais tímidos quando comparados aos horizontes ensaiados nas trincheiras T1 e T2, conforme Tabela 18.

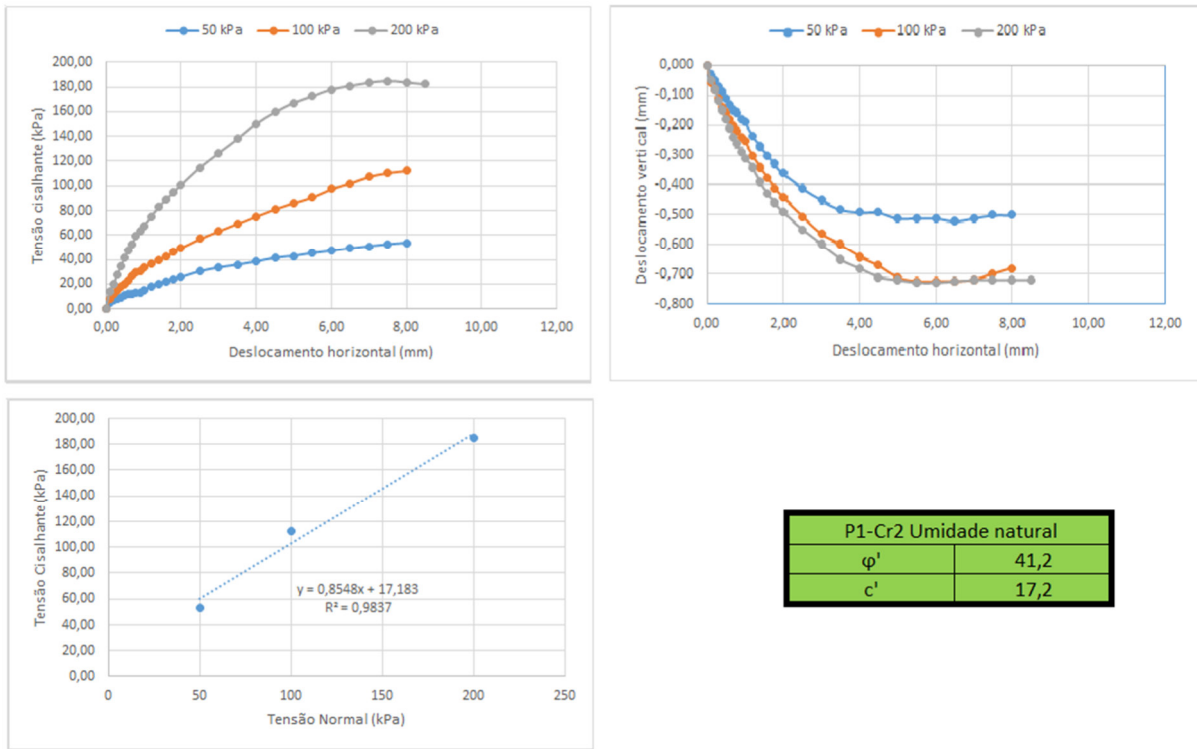


Figura 8 - Resultado do ensaio de cisalhamento direto com umidade natural da P1-Cr2.

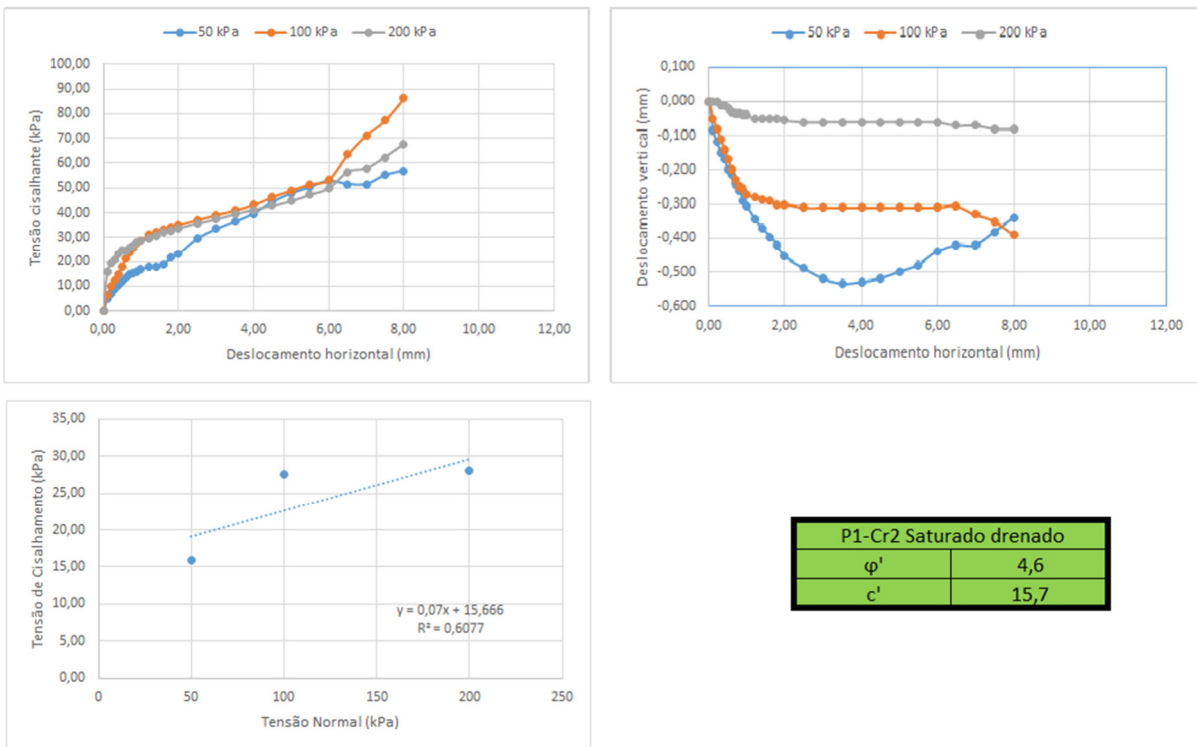


Figura 9 - Resultado do ensaio de cisalhamento direto saturado drenado da P1-Cr2.

O que mais destaca na análise dos resultados do horizonte P1Cr2 é a grande diminuição do ângulo de atrito com a saturação do solo (Tabela 18). O valor decaiu para uma décima parte daquele aferido com umidade natural, tornando a resistência desse solo extremamente diminuída quando na condição úmida.

Segundo Barata (1984), o tamanho das partículas tem pequena influência na resistência das areias. Já Rodrigues (2015), descreve que a resistência de solos arenosos se dá, principalmente, pela maior resistência das partículas que constituem esses solos. Para o autor, embora o processo de corte da areia seja um processo na sua maioria de escorregamento e rolagem dos grãos entre si, caso os grãos não resistam às forças as quais estão submetidos e se quebrem, o comportamento geral da areia será diferente. Rodrigues (2015) diz ainda que, normalmente o ângulo de atrito presente numa areia saturada é aproximadamente igual ao da areia em condições de baixa umidade, ou ligeiramente menor. Porém, como exceção à regra, tem-se os casos onde as areias possuem grãos fissurados e muito irregulares, fazendo com que a água, nessas condições, reduza a resistência dos cantos da partícula e conseqüentemente diminua o ângulo de atrito em condições saturadas.

A grande queda aferida pelo ângulo de atrito na amostra P1-Cr2 pode estar atrelada a algum problema na realização do ensaio, pois o valor de R^2 no gráfico de “tensão de cisalhamento X tensão normal” foi muito baixo (0,6077). Mas, talvez, possa ser (parcialmente) explicada pela condição dos grãos de areia. Essa condição pode ser correlacionada ao colocado por Rodrigues (2015), devido tratar-se de um solo muito arenoso e com muito baixa concentração de finos. Conforme indicado no ensaio de granulometria, que conferiu valores inferiores a 10% para silte e nulo para argila, tanto com defloculante quanto sem (Tabela 14), esse solo pode ter comportamento próximo ao de areias.

O valor da coesão também apresentou uma leve redução, sendo essa redução pequena, devido à baixa quantidade de finos. Uma vez que a coesão é regida pelas ligações existente entre as argilas, e a diminuição da coesão quando a amostra está úmida, se dá pela diminuição da distância das ligações entre as argilas. Dessa forma, solos arenosos sofrem menor influência nos valores da coesão quando saturados, mas mesmo que pequena, a queda da coesão aparente com a saturação, também contribui para a diminuição da resistência deste solo e o respectivo aumento da suscetibilidade a deslizamentos em períodos chuvosos.

A seguir, nas figuras 43 a 47, são apresentados os resultados dos ensaios de cisalhamento direto da trincheira T1.

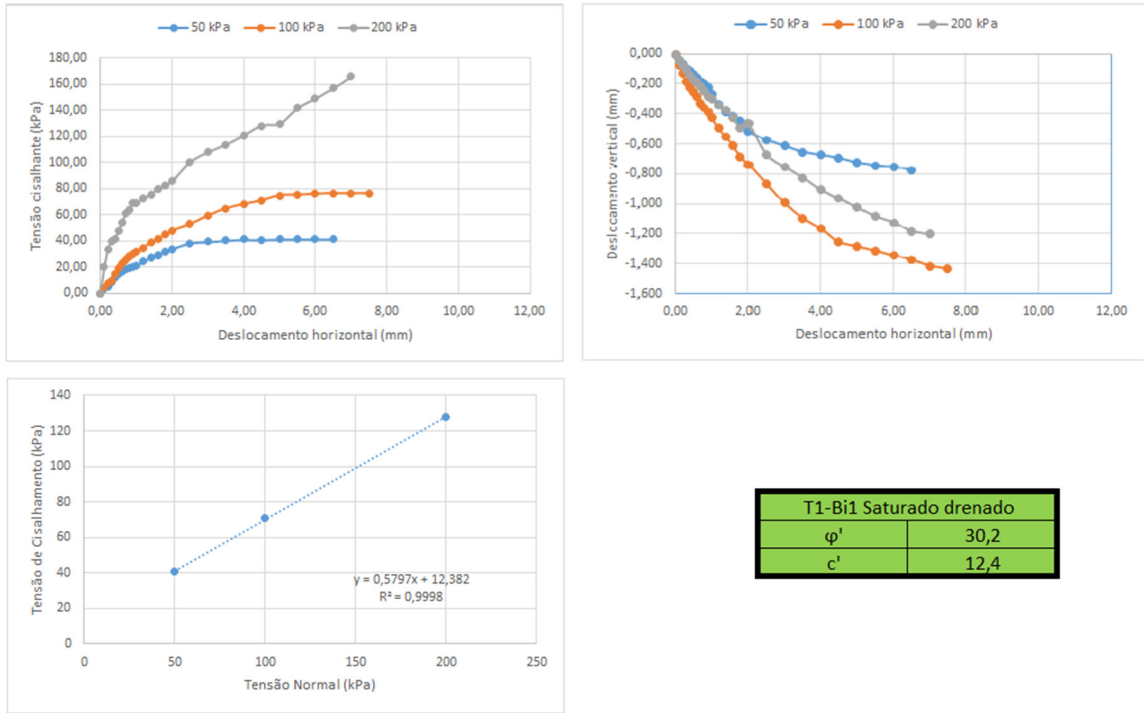


Figura 10 - Resultado do ensaio de cisalhamento direto saturado drenado da T1-Bi1.

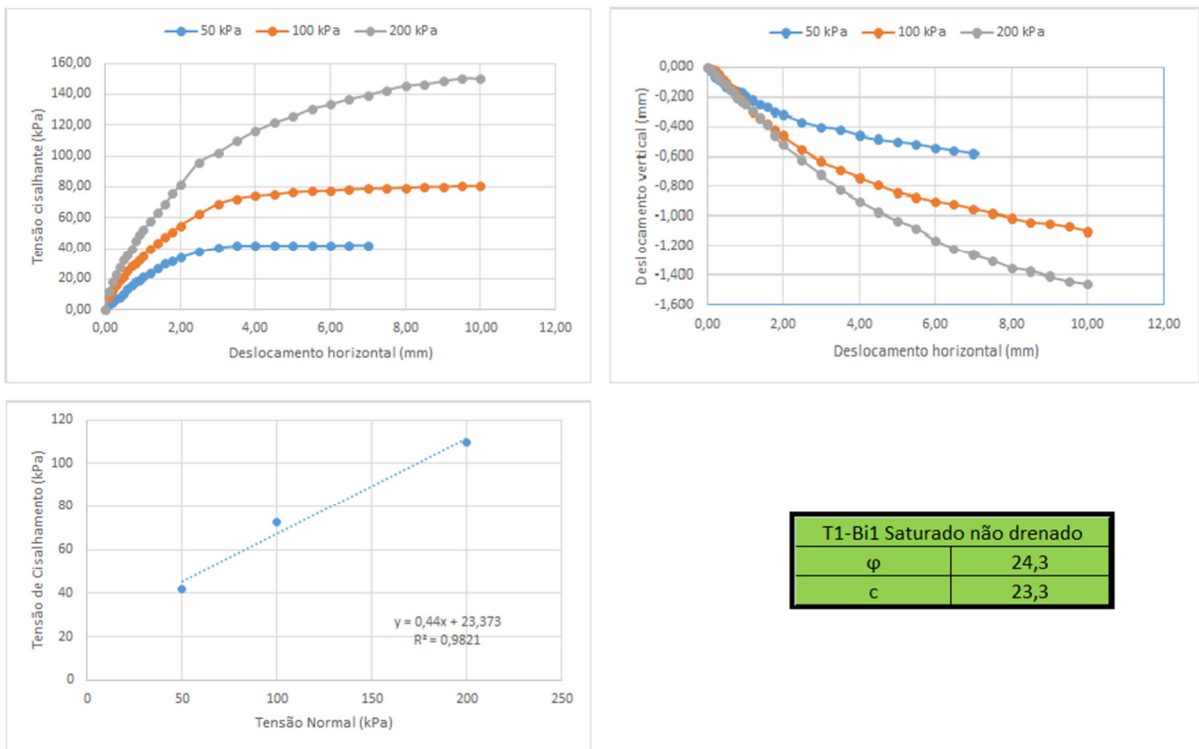


Figura 11 - Resultado do ensaio de cisalhamento direto saturado não drenado da T1-Bi1.

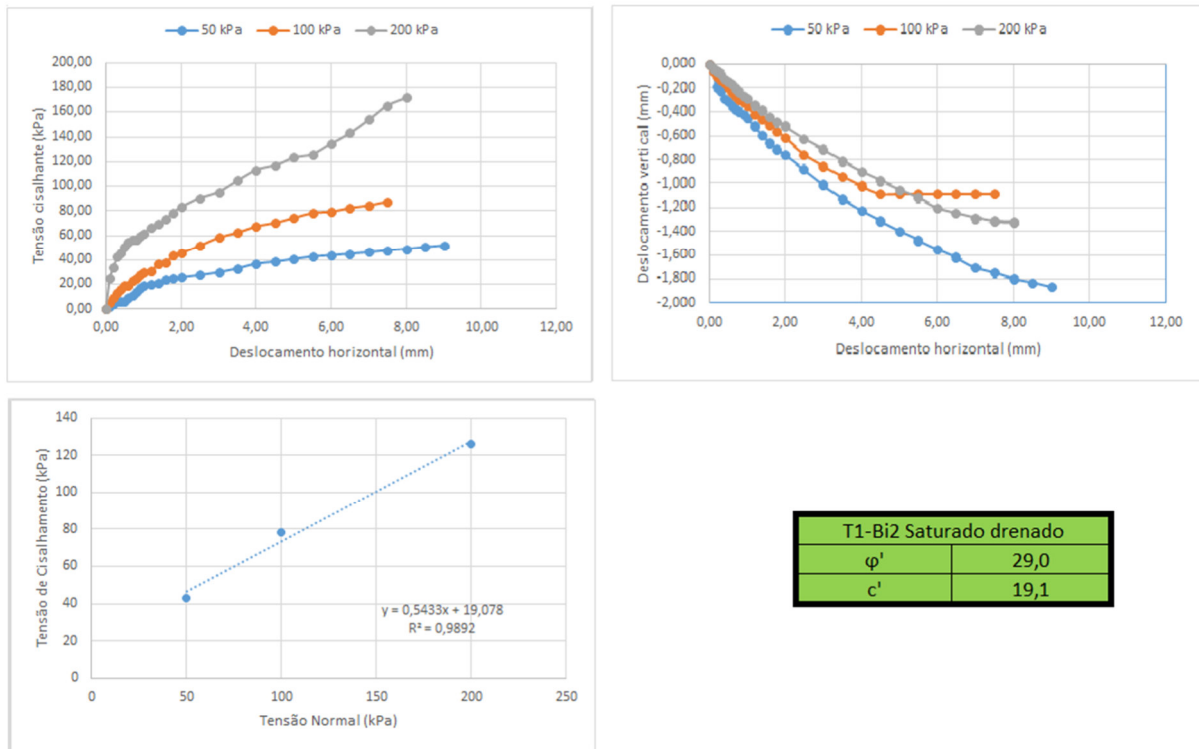


Figura 12 - Resultado do ensaio de cisalhamento direto saturado drenado da T1-Bi2.

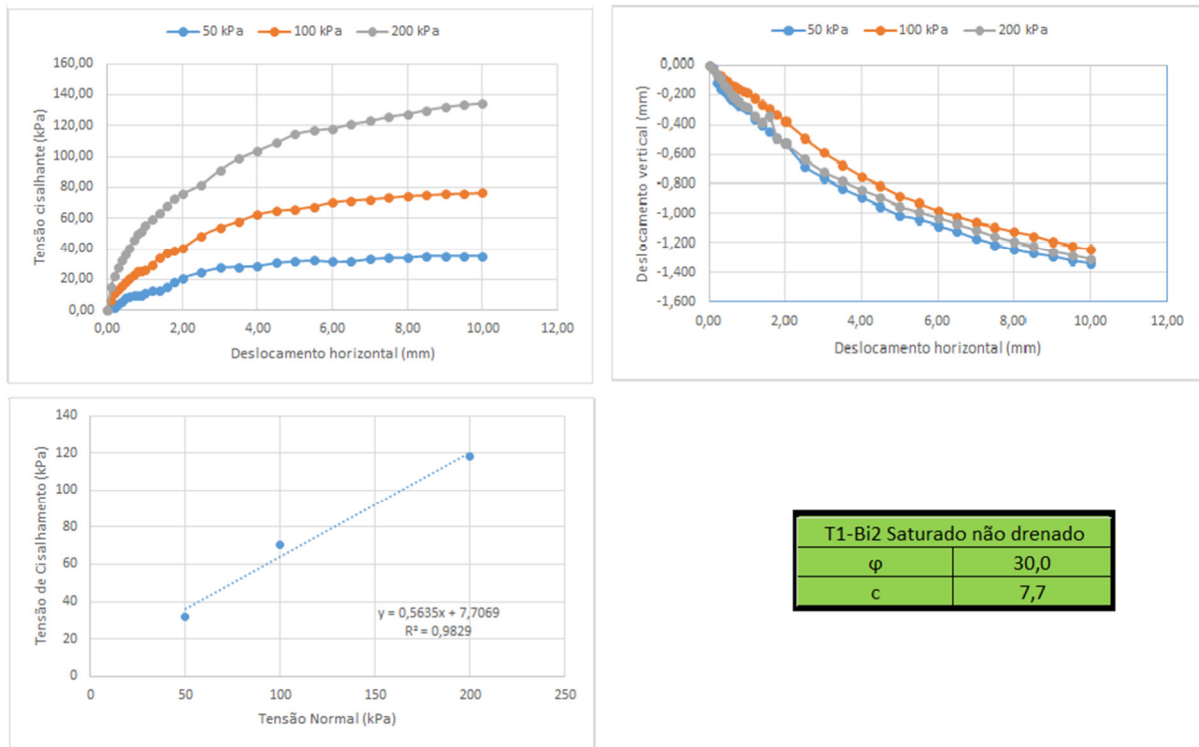


Figura 13 - Resultado do ensaio de cisalhamento direto saturado não drenado da T1-Bi2.

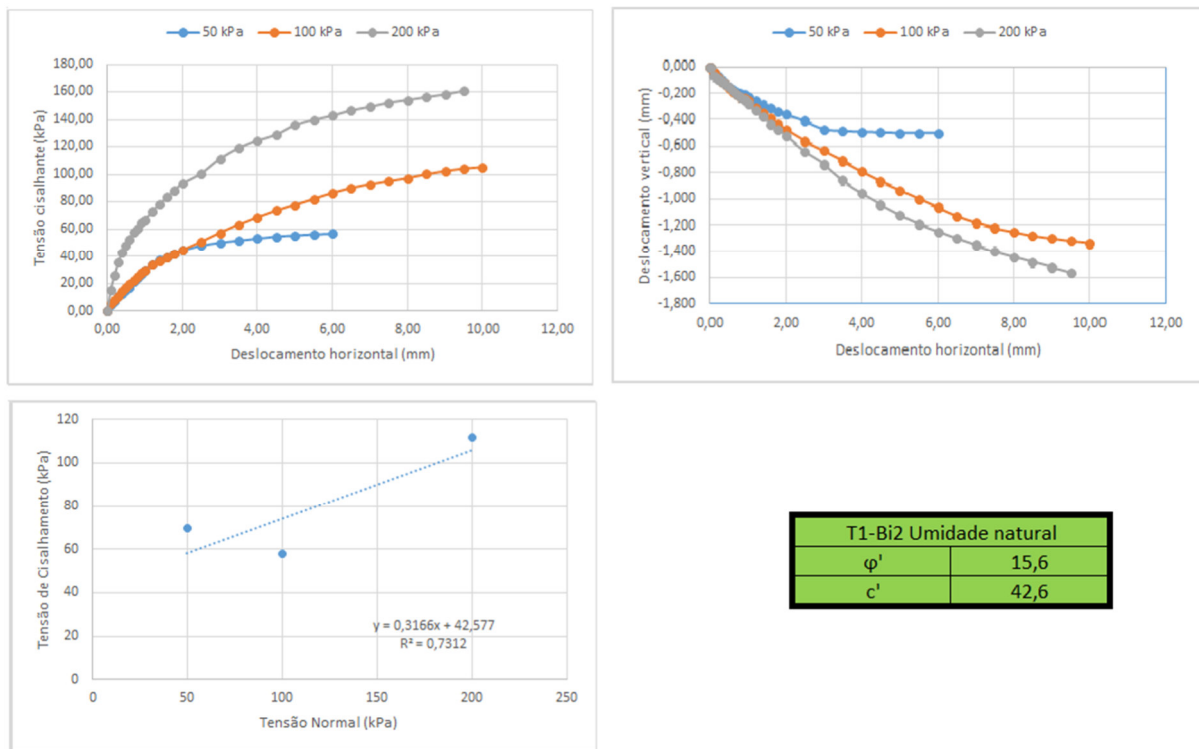


Figura 14 - Resultado do ensaio de cisalhamento direto com umidade natural da T1-Bi2.

Para a trincheira T1 foram executados os ensaios de cisalhamento direto para os horizontes Bi1 e Bi2, considerando estes os horizontes mais representativos desse perfil de solo e que, possivelmente, mais devem influenciar o comportamento deste maciço. Os horizontes C1 e C2 apresentavam pequena espessura, dificultando a coleta do bloco indeformado e por isso não foram avaliados. O ensaio com umidade natural foi realizado somente para o horizonte mais profundo (Bi2), além do ensaio com amostra saturada, drenada e não drenada, os quais também foram realizados para o horizonte Bi1.

O ensaio foi feito com variações de velocidades nas amostras saturadas, de modo a medir a resistência ao cisalhamento na condição habitual, ou seja, ensaio drenado. Nessa condição o ensaio não permite a mobilização de poropressão durante a execução, isto é, a velocidade deve ser tão lenta que permita a geração e dissipação da poropressão com o incremento da carga exercida e antes que o corpo de prova se rompa. Adicionalmente, foi realizado o ensaio não drenado, pois no momento da execução deste ensaio não se conhecia os valores da granulometria e permeabilidade. Assim, com o incremento da velocidade se objetiva medir sua resistência ao cisalhamento (coesão e ângulo de atrito) mesmo se tratando de solos mais permeáveis, digam-se arenosos.

A principal diferença das areias para as argilas é a alta permeabilidade das areias, razão esta que confere grande importância ao conhecimento da resistência para as argilas, tanto em termos de carregamento drenado como de carregamento não drenado (Pinto, 2006). Para as areias, os ensaios são feitos sempre de forma a permitir que as pressões neutras se dissipem, e os resultados são considerados em termos de tensões efetivas, ou seja, para solos arenosos são realizados ensaios não drenados que permitem a variação da pressão através da variação da carga exercida.

Desta forma, analisando os gráficos de “tensão cisalhante X deslocamento horizontal” percebe-se que nenhuma das amostras avaliadas, tanto nas condições naturais ou saturadas drenadas e não drenadas, apresentaram picos definidos para as tensões de 50, 100 e 200 kPa. Esse é um comportamento característico de materiais que possuem rupturas plásticas ou elasto-plástico. O caso mais corriqueiro é quando o solo se comporta de forma elástica até um determinado valor de tensão, a partir do qual toda deformação plástica permanece (Almeida, 2016). Essa condição aferida indica uma possibilidade de que as rupturas ocorrerão com velocidades mais lentas num possível movimento de massa, devido as tensões cisalhantes crescerem ao longo dos deslocamentos até atingirem valores constantes, após certos níveis de deslocamentos.

O que também se destaca na análise da trincheira T1 é a variação da coesão aparente, sendo relativamente superior à coesão real (Tabela 18). No horizonte Bi2 da T1 a coesão aparente variou de 42,6 kPa para 19,1 kPa e 7,7 kPa, saturado drenado e não drenado, respectivamente. Essa condição é explicada, como já dito no caso do ponto P1, porque a argila diminui sua coesão quando a amostra é saturada, devido a diminuição da distância das ligações entre as argilas. Aqui o aumento da coesão é bem mais significativo que na P1 devido a maior quantidade de argila nesse horizonte. Também há importante variação no ângulo de atrito, dobrando de valor, indo de 15 ° para algo em torno de 30 °, quando saturado. Esse aumento do ângulo de atrito com a saturação do solo, geralmente, não é esperado, porém, pode conferir alguma resistência que ajude a compensar a perda de coesão nesta condição.

Por fim, os valores de coesão e ângulo de atrito entre os horizontes Bi1 e Bi2 desta trincheira, quando saturados, foram parecidos, não havendo grande variação entre os valores aferidos nesses horizontes. Tal condição não surpreende devido as características pedológicas e granulométricas semelhantes entre esses horizontes.

A seguir, nas figuras 48 a 52, são apresentados os resultados dos ensaios de cisalhamento direto da trincheira T2.

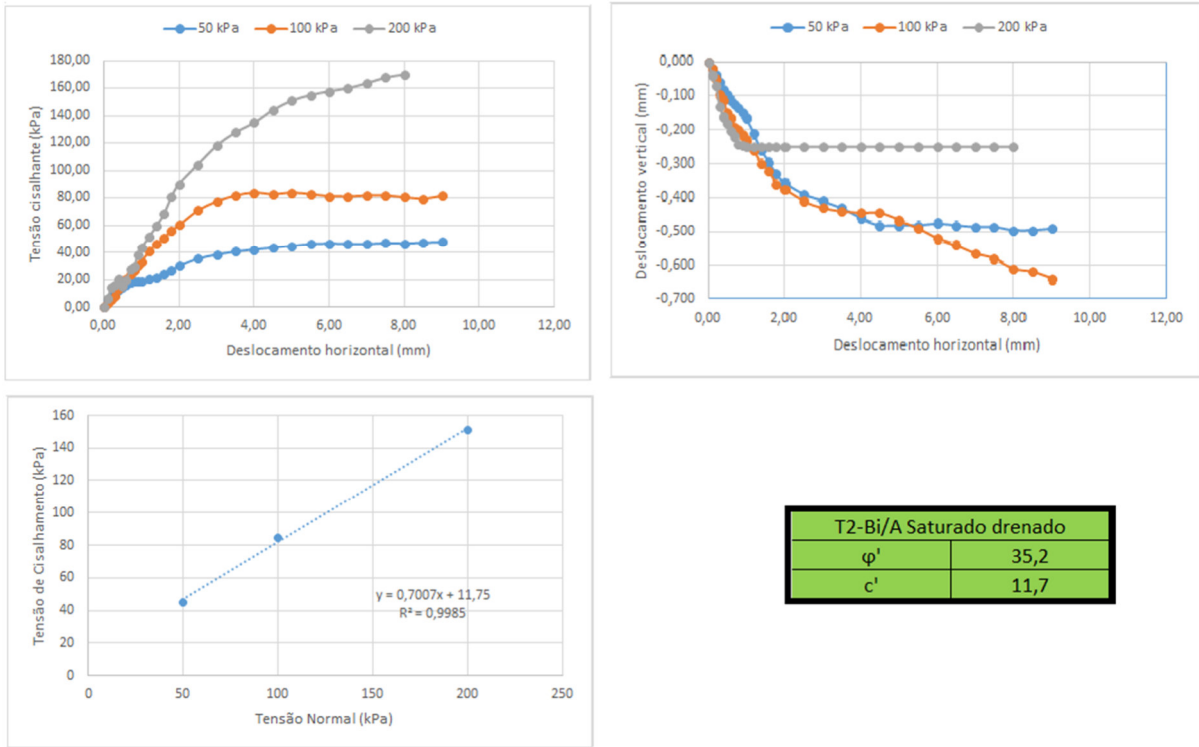


Figura 15 - Resultado do ensaio de cisalhamento direto saturado drenado da T2-Bi/A.

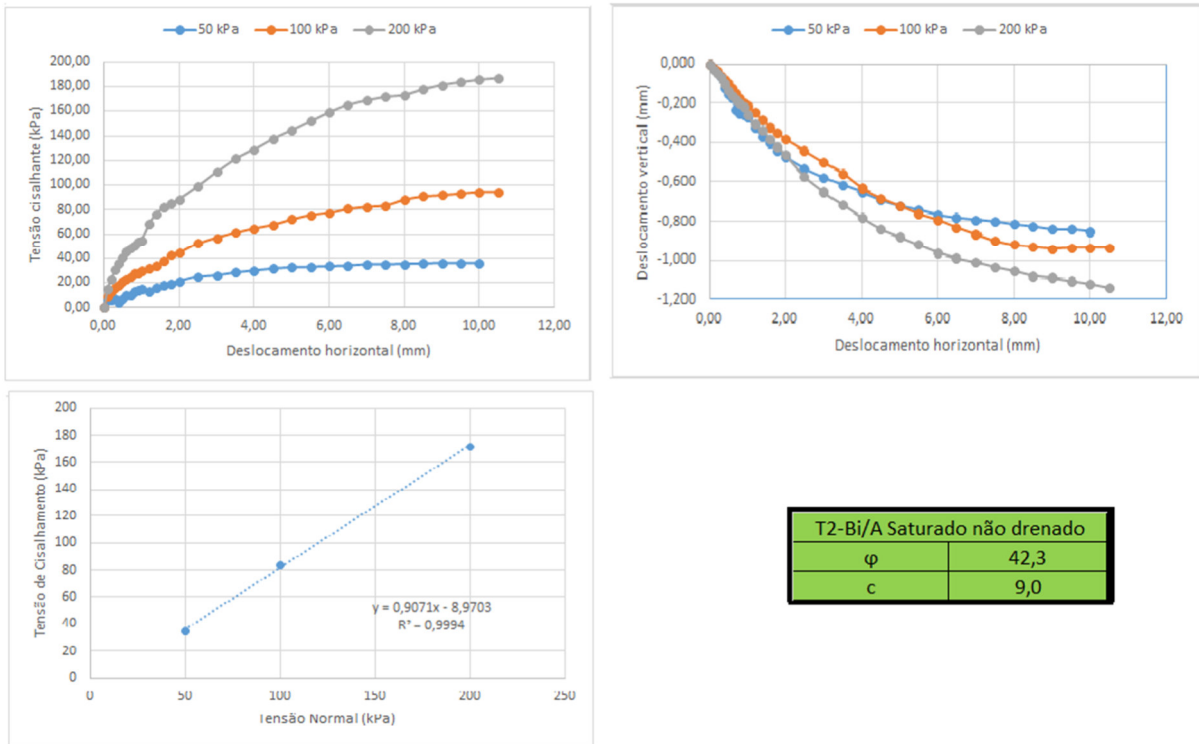


Figura 16 - Resultado do ensaio de cisalhamento direto saturado não drenado da T2-Bi/A.

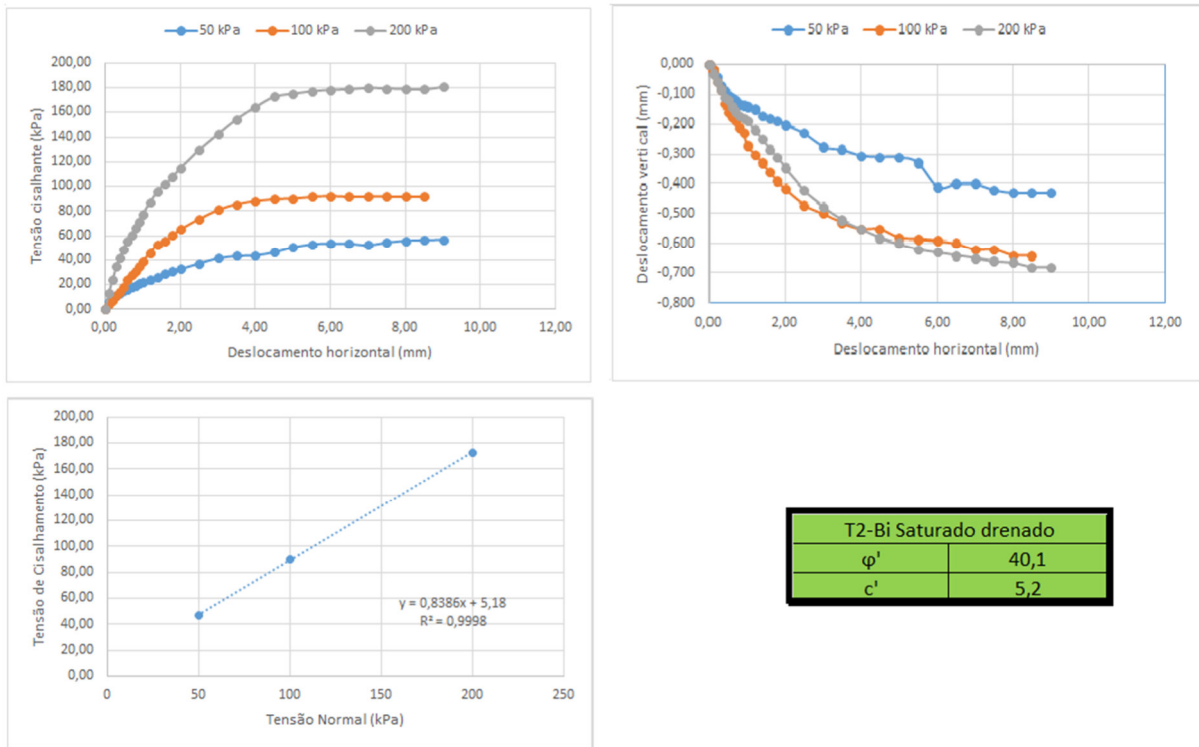


Figura 17 - Resultado do ensaio de cisalhamento direto saturado drenado da T2-Bi.

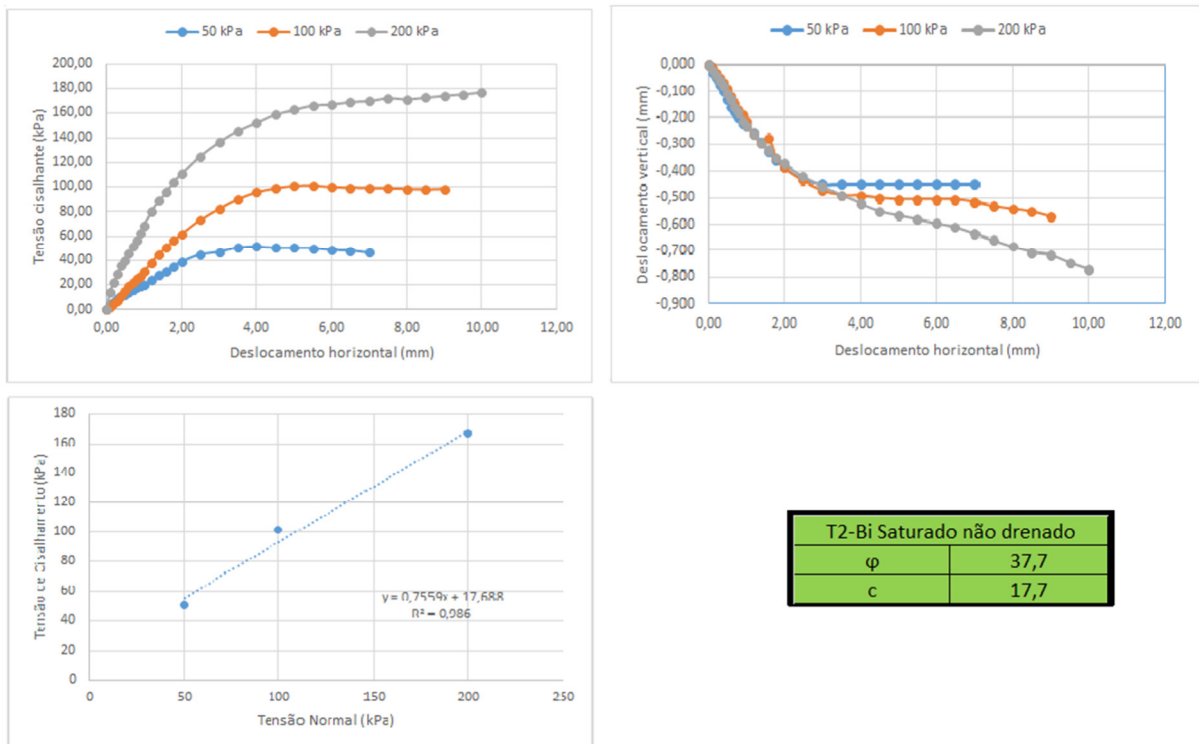


Figura 18 - Resultado do ensaio de cisalhamento direto saturado não drenado da T2-Bi.

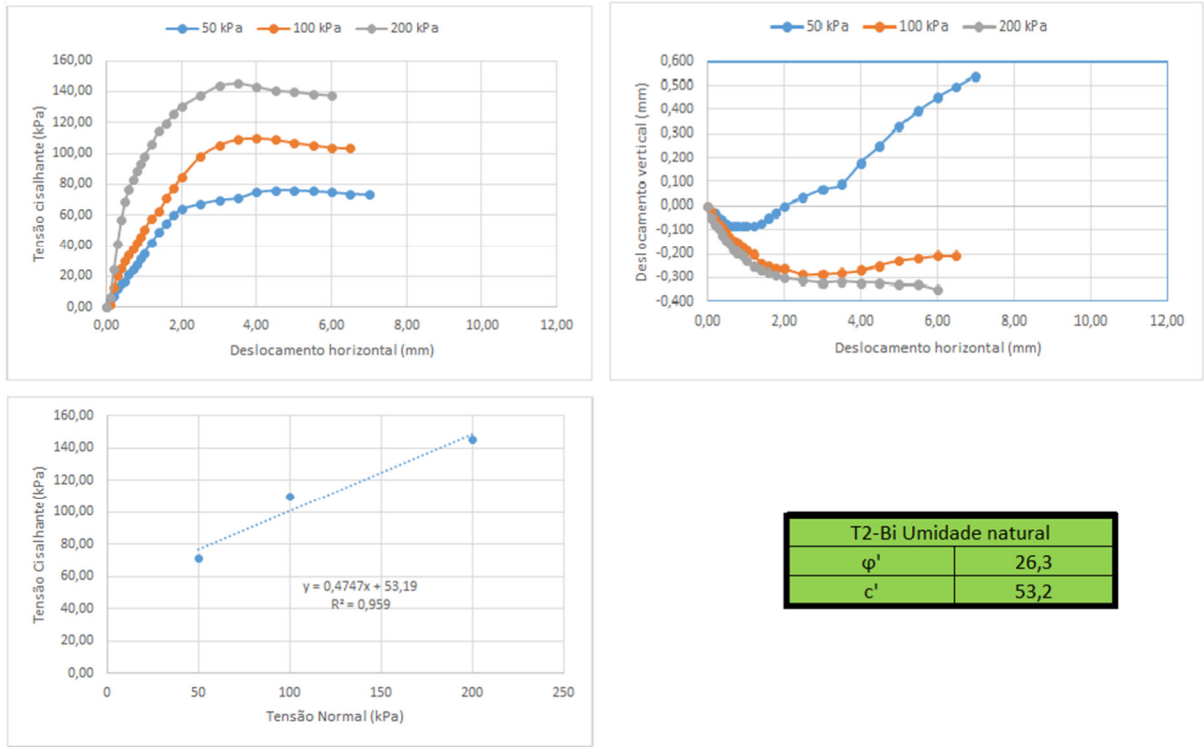


Figura 19 - Resultado do ensaio de cisalhamento direto com umidade natural da T2-Bi.

Considerando a saturação dos ensaios executados buscou-se a confirmação da presença de coesão aparente nos solos estudados e isto, aparentemente, fica evidente na amostra do horizonte Bi da trincheira T2. Neste horizonte o ensaio com umidade natural apresenta uma coesão bem superior àquela encontrada após a saturação do mesmo, com queda de 53,2 kPa para 5,2 kPa, quando drenado e 17,7, não drenado. Apesar desse horizonte apresentar quantidade argila similar ao horizonte T1-Bi2, aqui houve um decréscimo da coesão aparente maior que na T1. Outro ponto que chama a atenção são os valores do ângulo de atrito, que assim como na T1-Bi1, aqui também aumentam consideravelmente, mas na T2-Bi, os valores são sempre levemente superiores aos da T1-Bi1, tanto em umidade natural quanto em condição saturada. Esses índices de coesão e ângulo de atrito indicam uma maior resistência deste solo e, conseqüentemente, menor suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa.

Na amostra T2-Bi, quando submetido a carga de 50 kPa com umidade natural, o solo mostrou expansibilidade. Essa situação poderia refletir a presença de argilominerais expansivos se fosse em condição saturada, ao passo que quando comprimido, os argilominerais perderiam umidade e forçariam a retração o que poderia ocasionar uma diminuição do espaço

poroso e aumentou da tensão capilar (sucção matricial), causando expansão (Perdomo, 2021), mas esta situação não deveria acontecer no corpo de prova em umidade natural e o ensaio de DRX não indicou argilominerais neste horizonte, o que leva a crer ter sido uma falha do ensaio. Adicionalmente, este fato não se deu com as cargas de 100 e 200 kPa, corroborando para a não existência de argilominerais expansivos neste horizonte.

Os ensaios de porosimetria e permeabilidade indicaram uma maior quantidade de macroporos e melhor drenagem dos solos da trincheira T2. Esta condição pode ajudar a explicar os valores de ângulo de atrito relativamente mais altos na T2. O efeito da tensão de água sobre o ângulo de atrito está diretamente associado ao efeito de lubrificante que a água exerce ao recobrir as partículas sólidas. Desta forma, à medida que a tensão aplicada sobre a água do solo cresce, os filmes de água existentes sobre as partículas vão diminuindo, fazendo com que seu efeito lubrificante também diminua e, portanto, potencializando o atrito entre as mesmas (Braidá *et al.*, 2007). Assim, é possível supor que a melhor drenagem do solo da T2 permita uma melhor “expulsão” da água e com conseqüente aumento do ângulo de atrito.

Segundo Rodrigues (2015), a maior correlação entre o ângulo de atrito e a coesão se dá com as variáveis granulométricas do material. Esta afirmação é reconhecida nos solos aqui avaliadas, pois o ponto P1, com horizontes de solos muito arenosos e de baixíssima concentração de argila mostraram valores de ângulo de atrito e coesão muito baixos e que sofreram pouca influência quando saturados. Já as trincheiras T1 e T2 que apresentam características pedológicas e granulométricas semelhantes também mostraram valores de coesão e ângulo de atritos próximos. Mas neste caso, houve relativo aumento da coesão e diminuição do ângulo de atrito quando analisados os corpos de prova com umidade natural. Ressaltando ainda que, a trincheira T2 mostra números de coesão e ângulo de atrito levemente superiores aos das amostras da T1, podendo indicar uma menor suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa, tanto em condições seca quanto saturada.

Outro fator que pode influenciar a coesão é a presença de minerais micáceos. Segundo Ferreira *et al.* (1999), o ajuste face a face das placas das micas favorece o desenvolvimento de estrutura em blocos, podendo aumentar a coesão do solo em relação a solos não micáceos, que apresentam predomínio de estrutura granular. A análise da mineralogia (tabelas 9 e 12) indicam alguns horizontes com maior concentração de micas (biotita/flogopita), sendo o horizonte T1Bi2 o que, segundo as lamina delgadas, o que teria a maior concentração desse tipo de mineral e sendo este horizonte o que apresenta a maior coesão quando analisado o ensaio drenado (19,1 kPa).

A seguir são mostrados gráficos comparativos com as coesões (Figura 53) e ângulos de atrito (Figura 54), onde é possível visualizar o significativo aumento da coesão aparente nas amostras com umidade natural, principalmente na T1 e T2. Também fica evidente o acréscimo no valor do ângulo de atrito com a saturação dos corpos de provas nas trincheiras T1 e T2, fato que não ocorre na P1, onde o ângulo de atrito decai drasticamente com a saturação do solo.

Por fim, é notório que os valores de coesão são sempre baixos para todos os horizontes avaliados, indicando que estes solos são sensíveis e de baixa resistência, principalmente quando úmidos, ajudando a explicar o grande número de deslizamentos ocorrido em janeiro de 2014 nessa região.

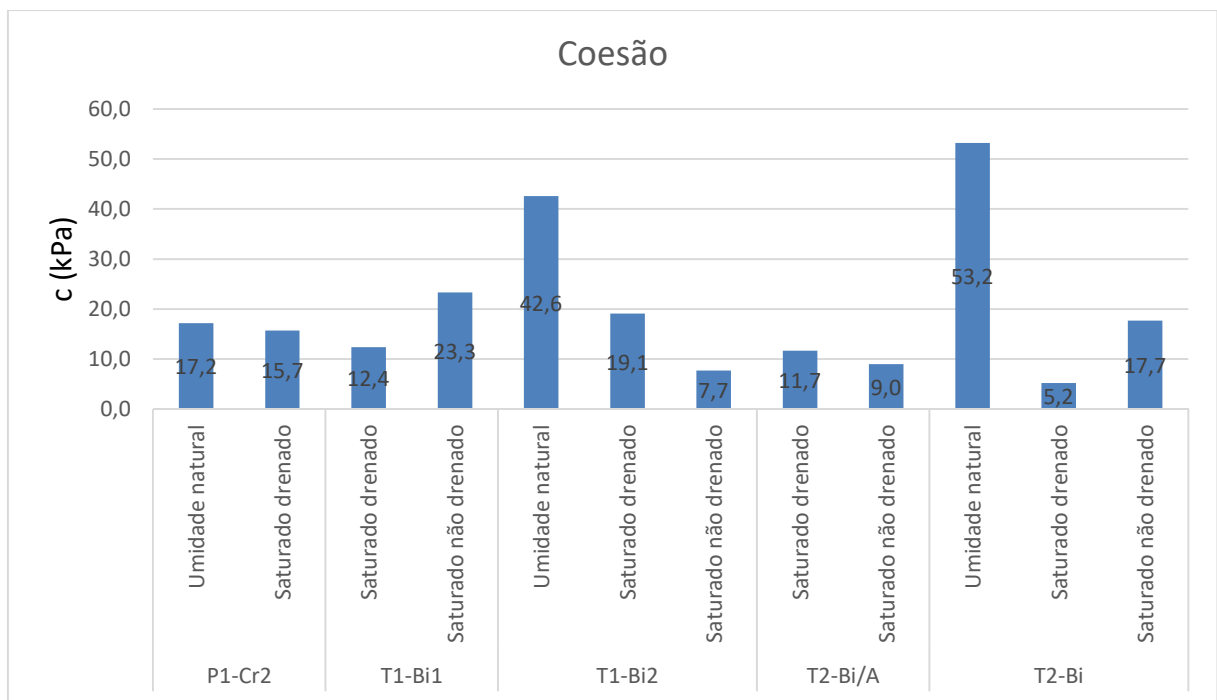


Figura 20 - Gráfico com os resultados da coesão para os horizontes ensaiados.

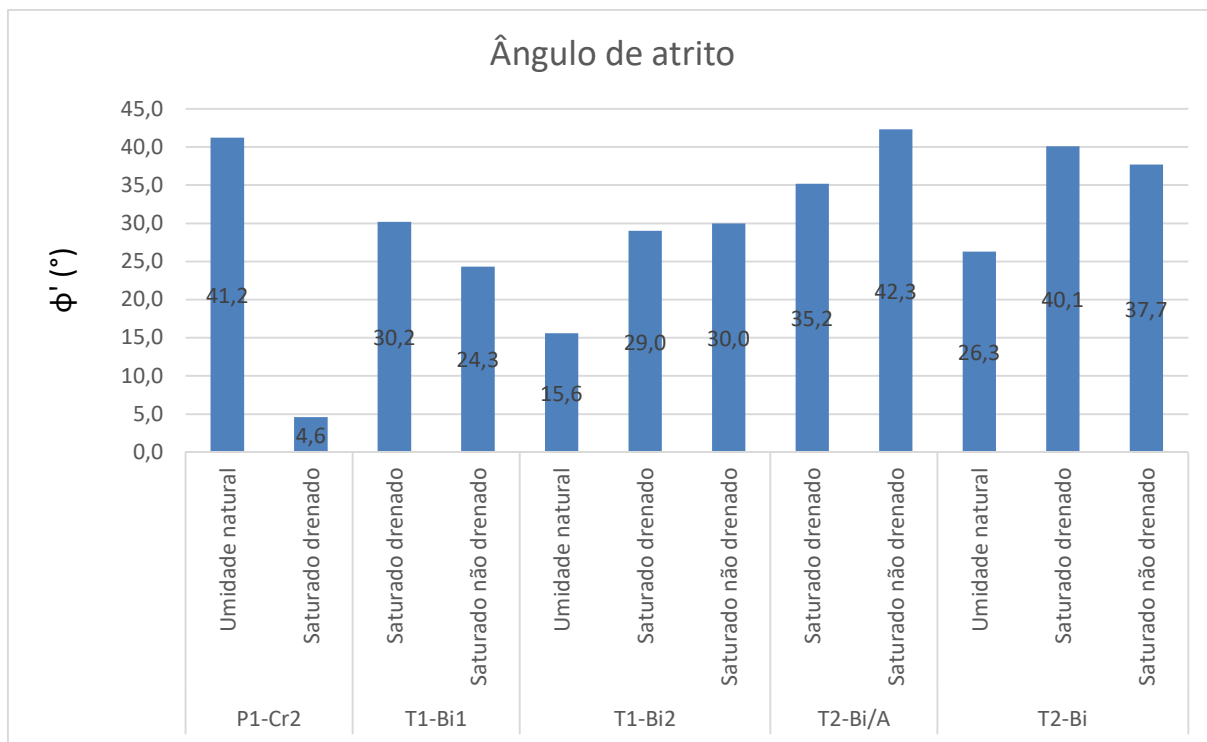


Figura 21 - Gráfico com os resultados do ângulo de atrito para os horizontes ensaiados.

7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de solos é algo complexo por englobar inúmeras variáveis que atuam na formação da camada pedológica e por isso, esta pesquisa não tem o intuito de desenvolver todas as possibilidades de análises destes solos. Assim, foram definidas algumas ferramentas de pesquisas para a melhor caracterização possível que pudesse dar luz à ocorrência dos deslizamentos registrados na área em questão no evento ocorrido em janeiro de 2014, no município de Itaóca, SP.

Através da análise tátil-visual, realizada ainda durante a fase inicial das tradagens, foi possível estabelecer locais que caracterizassem pontos com solos que se comportaram de maneira heterogênea frente ao evento chuvoso. Desta forma, esses solos foram avaliados em campo e laboratório, o que permitiu aferir características que devem ter agido para aumentar a suscetibilidade aos movimentos gravitacionais de massa.

A caracterização pedológica sugere-se dois tipos de solos para os locais analisados, sendo um Neossolo Regolítico (ponto P1), local amostrado onde ocorreu um deslizamento e para os demais locais, Cambissolos Háplicos (trincheiras T1 e T2). Nessa conjuntura chama a atenção o fato de muito próximo ao Neossolo haver um Cambissolo e que se comportaram de maneira distinta ao não deslizar. Desta forma, fica evidente que a baixa pedogênese do Neossolo foi fator preponderante para a maior suscetibilidade deste solo à ocorrência de deslizamentos, mesmo estando ele em condições de declividade similar aos demais.

As análises dos variados ensaios realizados somente vieram a corroborar com a caracterização pedológica, indicando outros fatores, que relacionados, potencializam este Neossolo à ocorrência de deslizamentos. O Neossolo apresentou valores de coesão, ângulo de atrito, limite de liquides e plasticidade consideravelmente inferiores aos demais solos, o que coincide com sua granulometria e mineralogia característica de solos franco arenosos a arenosos.

Quanto aos demais pontos avaliados, ambos apresentaram características semelhantes, mas não idênticas. Essa semelhança faz crer que o comportamento também seja semelhante, porém, é possível através das análises realizadas inferir que a o solo da trincheira T2 tenha uma suscetibilidade um pouco inferior à ocorrência de deslizamentos por ser um solo mais bem drenado e apresentar valores de ângulos de atrito levemente superior a T1. Pesando contra o solo da trincheira T1 está o fato da mineralogia ter indicado a possibilidade de

argilominerais expansivos, como a montmorilonita, o que confere a ela mais um ponto de atenção quanto a suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa.

Por fim, conclui-se que a análise da suscetibilidade à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa é dificultada por apresentar grande variação numa mesma encosta. Locais muito próximos e com declividades, litologia e uso e ocupação do solo semelhantes, se comportam de maneira tão distinta frente a ocorrência de eventos chuvosos catastróficos. Essa condição parece estar ligada a uma série de outros fatores que podem não ter sido abordados por completo neste estudo, como diferenças mineralógicas da rocha fonte, características geológico-estruturais e, principalmente, as formas e orientação da encosta.

Para trabalhos futuros, a avaliação de temas não abordados aqui podem ser somados e permitir a melhor compreensão do desastre natural ocorrido em Itaóca, em janeiro de 2014, onde dezenas de vidas humanas foram ceifadas e outras tantas foram profundamente afetadas. Desta forma, podendo contribuir para que situações como esta sejam evitadas ou mitigadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas – Rochas e Solos. NBR 6502. 1995.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Coleta de Amostras Indeformadas de Solos de Baixa Consistência em Furos de Sondagem - Procedimento. NBR 9820. 1997.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas - Determinação da Massa Específica dos Grãos. NBR 6458. 2016a.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas - Análise Granulométrica. NBR 7181. 2016b.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas - Determinação do Limite de Liquidez. NBR 6459. 2016c.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas - Determinação do Limite de Plasticidade. NBR 7180. 2016d.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas - Determinação do Limite de Contração. NBR 7183. 2016e.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas - Amostras de Solos - Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização. NBR 6457. 2016f.
- Afonso, F. K., Picanço, J. L. (2015). *Caracterização dos movimentos de massa na bacia do Ribeirão Guarda-Mão (Itaoca, SP)*. Campinas, SP: XXIII Congresso de Iniciação Científica da Unicamp.
- Almeida, R. O. (2016). *Estudo geotécnico e análise de estabilidade da encosta Bela Vista no município de Ipojuca - PE*. Recife, Pernambuco: Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco.
- Augusto Filho, O. (1992). *Cartas de risco de escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilha Bela, SP*. São Paulo, SP: Dissertação de Mestrado em Engenharia. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo – SP, 162.
- Barata, F. F. (1984) *Propriedades mecânicas do solo: uma introdução ao projeto de fundações*. Rio de Janeiro, RJ: Livros Técnicos e Científicos. 152.

Biali, G., Vasiliniuc, I., Patriche., C. V. (2019). *Quantitative evaluation of landslide susceptibility in the Bârlad basin*. Environmental Engineering and Management Journal, v. 14, 2229-2236.

Bitar, O. Y. (2014). *Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000*. São Paulo, SP: IPT.

Bloom, A. I., Petri, S., Ellert, R. (1988). *Superfície da Terra*. São Paulo, SP: Edgard Blucher / Edusp. 184.

Bogaart, P. W., Troch, P. A. (2006). *Curvature distribution within hillslopes and catchments and its effect on the hydrological response*. Göttingen: Hydrology and Earth System Sciences. v. 10. 925-936.

Bogner, C., Bauer, F., Widemann, B. T., Viñan, P., Balcazar, L., Huwe, B. (2014). *Quantifying the morphology of flow patterns in landslide-affected and unaffected soils*. Journal of Hydrology, 511, 460-473.

Bonini, J. E., Bateira, C. V. M., Dias, V. C., Martins, T. D., Vieira, B. C. (2020). *Suscetibilidade a escorregamentos rasos a partir de parâmetros morfométricos e dos modelos SHALSTAB e do Valor Informativo*. Journals open edition, n. 46.

Brady, N. C. (1989). *Natureza e propriedades dos solos*. 7.ed. Trad. Antônio B. N. Figueiredo Filho. Rio de Janeiro, RJ: Freitas Bastos. 898.

Brady, N. C., Weil, R. R. (2013). *Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos*. 3. ed. Porto Alegre, RS: Bookman Editora LTDA. 685 p.

Braida, J. A., Reichert, J. M., Reinert, D. J., Soares, J. M. D. (2007). *Coesão e atrito interno associados aos teores de carbono orgânico e de água de um solo franco arenoso*. Ciência Rural, Santa Maria, RS: v.37, n.6, 1646-1653, nov-dez.

Brasil. Lei nº 12.608 (10 de abril de 2012). *Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC*; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil – CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as leis nos 12.340, de 1o de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências.

Brasil. Ministério das Cidades. (2014). *Capacitação em mapeamento e gerenciamento de risco*. Brasília, DF.

Brollo, M. J., Santoro, J., Penteado, D. R., Fernandes Ad Silva, P. C., Ribeiro, R. R. (2015). *Itaóca (SP): Histórico de acidentes e desastres relacionados a perigos geológicos*. 14º Simpósio de Geologia do Sudeste, Geosudeste, 6.

Brunsdon, D., Prior, D. B. (1984). *Slope Instability*. Wiltshire: John Wiley e Sons. 619.

Buckman, H. O. e Brady, N. C. (1968). *Natureza e Propriedades dos Solos 2. ed.* Rio de Janeiro, RJ: Livraria Freitas Bastos.

Bullock, P., Federoff, N., Jongerius, A. (1985). Handbook for soil thin section description. Albrington, United Kingdom: Waine Research. 152 p.

Camargo, O. A., Moniz, A. C., Jorge, J. A., Valadares, J. M. A. S. (2009). *Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do instituto agrônomo de Campinas*. Campinas, SP: Instituto Agrônomo. Boletim técnico 106. 77.

Campanha, G. A. C., Sadowski, G. R., 2002. *Determinação das formações finitas em rochas metassedimentares da faixa ribeira na região de Iporanga e Apiaí, SP*. Revista Brasileira de Geociências. 32(1), p. 107-118.

Caputo, H. P. (1987). *Mecânica dos solos e suas aplicações: Mecânica das rochas – Fundações – Obras de terra. 6ª ed.* Rio de Janeiro, RJ: LCT.

Caputo, H. P. (1988). *Mecânica dos Solos e suas aplicações. Fundamentos. 6ª ed.* Rio de Janeiro, RJ: Livros Técnicos e Científicos Editora.

Caputo, H. P. (1996). *Mecânica dos solos e suas aplicações. 4ª ed.* Rio de Janeiro, RJ: LTC.

Casagrande, A. (1936). *The determination of the pre-consolidation load its practical significance*. In: Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Cambridge. Proceedings. Cambridge, Harvard University. v.3. p.60-64.

Chiossi, N. J. (1979). *Geologia Aplicada à Engenharia*. São Paulo, SP: Ed. Grêmio Politécnico da USP.

Christofolletti, S. R., Moreno, M. M. T., Valarelli, J. V., Souza, P. E. C. (1999). *A variação da capacidade de troca catiônica (CTC) em função da mineralogia das argilas*. Anais do 43º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Florianópolis, SC. 23801 - 23806.

Cardoso Junior, C. R. (2006). *Estudo do comportamento de um solo residual de gnaisse não saturado para avaliar a influência da infiltração na estabilidade de taludes*. Master's Dissertation. São Paulo, SP: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

Carou, C. B. (2019). *Mineralogia do Granito Itaóca e sua relação com a suscetibilidade a escorregamentos rasos na bacia do Rio Gurutuba*. São Paulo, SP: Universidade de São Paulo. 165.

Chen, C. W., Saito, H., Oguchi, T. (2017). *Analyzing rainfall-induced mass movements in Taiwan using the soil water index*. *Landslides*, 14(3), 1031-1041.

CIIAGRO - Centro Integrado de Informações Meteorológicas.
<http://www.ciiagro.org.br/>

Coelho, R. D. (2020). *Caracterização das propriedades físicas do solo e a instabilidade das encostas na Serra do Mar (Itaóca - SP)*. Master's Dissertation. São Paulo, SP: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

Colangelo, A. C. (1995). *Os Mecanismos de Compensação e o Equilíbrio de Forças na Dinâmica dos Materiais de Vertente*. São Paulo, SP: Revista do Departamento de Geografia, n. 9, FFLCH-USP.

Colangelo, A. C. (2012). *Os parâmetros de resistência ao cisalhamento e a estabilidade das encostas no Planalto de Paraibuna e Serra de Caraguatatuba*. São Paulo, SP: Revista do Departamento de Geografia, Volume especial 30 anos, 112-129.

Coutinho, R. Q., Silva, M. M., Santos, A. N., Lacerda, W. A. (2019). *Geotechnical Characterization and Failure Mechanism of Landslide in Granite Residual Soil*. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. v. 145, 05019004.

Cozzolino, V. M. N., Nogami, J. S. (1993). *Classificação geotécnica MCT para solos tropicais*. *Solos e Rochas*, v.16, n.2, 77-91.

Cruden, D.M., 1991. *A Simple Definition of a Landslide*. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, No. 43. 27-29.

Darcy, H. (1856). *Les fontaines publiques de la ville de dijon*. Paris: Dalmont.

Das, B. M. (2007). *Fundamentos de Engenharia Geotécnica*. São Paulo, SP: Thomson.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Norma Rodoviária: Método de Ensino. Solos - Determinação da Densidade Real. DNER - ME 093/94. 1994.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1979. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. (1999). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília: Embrapa - SPI; Rio de Janeiro: Embrapa Solos.

Fernandes, N. F., Amaral, C. P. (1996). *Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica*. Rio de Janeiro, RJ: In Guerra, A.J.T. e Cunha, S.B. (org.) Geomorfologia e Meio Ambiente. Bertrand. 123-194.

Ferreira, M. M., Fernandes, B., Curi, N. (1999). *Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos da região Sudeste do Brasil*. Viçosa, MG: Revista Brasileira de Ciência do Solo. v. 23, n. 3, 515-524, jul./set.

Filizola, H. F., Gomes, M. A. F. (2006). *Introdução à Descrição micromorfológica de lâminas delgadas de solos Parte I*. Jaguariúna, SP: Comunicado técnico 41. EMBRAPA.

Fonseca, A. P., Lacerda, W. A., Futai, M. M., Aguiar, (2005). *Influência do teor de mica na resistência ao cisalhamento residual em taludes de solos saprolíticos de gnaiss*. Salvador, BA: IV COBRAE – Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas. 205-212.

Fonseca, L. A. M., Lani, J. L., Fernandes Filho, I., Santos, G. R., Ferreira, W. P. M., Santos, A. M. R. T. (2017). *Variability in soil physical properties in landslide-prone areas*. Maringá, PR: Acta Scientiarum. Agronomy. v. 39, n. 1, 109-118.

Fookes, P. G. (1997). *Tropical residual soils*. Edited by Geological Society Professional Handbooks.

Frattoni, P., Crosta, G., Carrara, A., Agliardi, F. (2008). *Assessment of rockfall susceptibility by integrating statistical and physically-based approaches*. Geomorphology, v. 94, n. 3-4. 419-437.

Fredlund, D. G., Rahardjo, H. (1993). *Soil mechanics for unsaturated soils*. Wiley-Interscience Publications.

Furian, S., Barbiéro, L., Boulet, R. (1999). *Organization of the soil mantle in tropical southeastern Brazil (Serra do Mar) in relation to landslides processes*. Catena. v. 38, 65 – 83.

Furian, S., Barbiéro, L., Boulet, R., Curmi, P., Grimaldi, M., Grimaldi, C. (2002). *Distribution and dynamics of gibbsite and kaolinite in an oxi sol of Serra do Mar, southeastern Brazil*. Geoderma, v. 106, n. 1-2, 83-100.

Gerber, W. (2019). *Combination of Decisive Properties of Soil in Science and Geotechnics*. In *Recent Advances in Geotechnical Research*. Springer, Cham. 45 – 56.

Gerscovich, D. M. D. (2012). *Estabilidade de Taludes*. São Paulo, SP: Oficina de Textos, Universidade de São Paulo. 166.

Gobbi, E. S. (2017). *Variação do manto intempérico nas encostas dos morros residuais de Santos, SP*. Campinas, SP: Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências/Unicamp.

Gramani, M. F., Mirandola, F. A. A. (2014). *Corrida de massa no córrego Guarda-Mão- Município de Itaóca - SP: Impacto e observações de campo*. São Paulo, SP. In: Desastres de 2014 Na região Sudeste do Brasil. ABGE p.28- 36.

Gramani, M. F., Arduin, D.H. (2015). *Morfologia da drenagem dos depósitos de debris flow em Itaoca, São Paulo*. Bento Gonçalves, RS: 15º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental.

Gramani, M. F., Martins, V.T.S. (2016). *Debris flows occurrence by intense rains on january 13, 2014 at Itaoca city, São Paulo, Brazil*. CRC Press, v. 2, 1011-1019.

Grim, R. E. (1962). *Applied Clay Mineralogy*. Nova York, NY, USA: Mc-Graw - Hill.

Guidicini, G., Nieble, C. M. (1984). *Estabilidade de taludes naturais e de escavação*. São Paulo, SP: Editora da USP. 216.

Hemmat, A., Aghilianategh, N., Rezainejad, Y., Sadeghi, M. (2010). *Long-term impacts of municipal solid waste compost, sewage sludge and farmyard manure application on organic carbon, bulk density and consistency limits of a calcareous soil in central Iran*: Soil & Tillage Research 108. 43–50.

Highland, L. M. Bobrowsky, P. (2008). *The Landslide Handbook, A Guide to Understanding Landslides*. Reston, Geological Survey Circular 1325, 129.

Ibeiro, L. S. (2016) *Estudo da distribuição dimensional de poros e da condutividade hidráulica de solos arenosos compactados tratados com cal e cimento*. Porto Alegre, RS: Tese em engenharia civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Infanti Jr., N., Fornasari Filho, N. (1998). *Processos de dinâmica superficial: Capítulo 9*. São Paulo, SP: In: Geologia de Engenharia. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE. 131-152.

Janke JR., Price L. W. (2013). *Mountain Landforms and Geomorphic Processes*. In: Price MF, Byers AC, Friend DA, Kohler T, Price LW (Eds.) Berkeley. Mountain Geography: Physical and Human Dimensions, University of California Press. 127-166.

Jenkins, R., Snyder, R. L. (1996). *Introduction to X-Ray Powder Diffractometry*. New York: John Wiley & Sons.

Junior, L. G. L., Frederico, C. W., Fernandes, M. V. S., Loiola, A. R., Andrade, J. C. R. A., Moura, C. P., Mattos, I. C., Neto, J. A. N., Silva, L. R. D. (2011). *Caracterização Geoquímica, Mineralógica, Termogravimétrica, e por Espectometria de Infravermelho de Argilominerais Representativos da Porção Central da Província Borborema*. Ouro Preto, MG. *Geochimica Brasiliensis*. 25 (1). 7-16.

Kaplan, I. (1978). *Física Nuclear*. 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara. 727 p.

Karimian, H., Barlow, P., Blackwell, C., Campbell, C. (2019). *Finite Element Modelling of a Series of Ground Displacement Episodes and Stress Relief Procedures*. In: ASME International Pipeline Geotechnical Conference. American Society of Mechanical Engineers. v. 59117, V001T02A007.

Klein, V. A., 2008. *Física do Solo*. Passo Fundo, RS. UPF Editora. 212 p.

Lacerda, W. A. (2007). *Landslide initiation in saprolite and colluvium in southern Brazil: Field and laboratory observations*. *Geomorphology*, 87(3), 104-119.

Lambe, T. W., Whitman, R.V. (1979). *Soil Mechanics, SI Version*. New York: John Wiley e Sons. 553.

Lalitha, M., Anil Kumar, K. S., Nair., K. M., Dharumarajan, S., Koyal, A., Shivanand, K., Kaliraj, S., Hegde., R. (2021). *Evaluating pedogenesis and soil Atterberg limits*

for inducing landslides in the Western Ghats, Idukki District of Kerala, South India. Natural Hazards. v.106, 487–507.

Larsen, I. J., Montgomery, D. R., Korup, O. (2010). *Landslide erosion controlled by 297 hillslope material.* Nature Geoscience, v. 3, 247–251.

Leal P. J. V. (2009). *Crescimento de redes de canais e pirataria de água subterrânea em vales de cabeceira de drenagem.* Rio de Janeiro, RJ. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 213.

Lee E. M. and Jones D. K. (2004). *Background to landslide Assessment.* London, Uk. Thomas Telford Ltd.

Lemos, R. C., Santos, R. D. (1996). *Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo.* Campinas-SP. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 3ª Ed., p. 83.

Leroueil, S. (2001). *Natural Slops and Cuts: Movement and Failure Mechanisms.* Géotechnique 51. No 3. 107 – 243.

Macedo, E. S., Sandre, L. H. (2022). *Mortes por deslizamentos no Brasil: 1988 a 2022.* São Paulo, SP: Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE), v.12, n.1, 110-117.

Maciel, H. E., Silva, F. T., Câmara, L. D. T. (2017). *Modelo de Forchheimer para cálculos de permeabilidade global de meios porosos não consolidados.* Revista de Engenharia e Tecnologia. V. 9. N. 118 – 134.

McIntyre, D. S. (1979). *Exchangeable sodium, subplasticity and hydraulic conductivity of some Australian soils.* Collingwood: Australian Journal of Soil Research, v.17, 115-120.

Meneal, B. L., Coleman, N. T. (1966). *Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity.* Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.30, 308-312.

Mello, I. S. C. (1995). *Geologia e Aspectos Metalogenéticos do Maciço Itaoca, Vale do Ribeira, SP e PR.* São Paulo, SP. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 167.

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

Mikosik, A. P. M., Paula, E.V., Santos, L.J.C. (2010). *Influência da curvatura das vertentes na ocorrência de Escorregamentos translacionais na sub-bacia do rio sagrado (Morretes/PR)*. Recife, PE: In: VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia – VIII SINAGEO. Anais do VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia. 1-11.

Mitchell, J. K. (1976). *Fundamentals of soil behavior*. 2^o ed. New York. Ed. John Wiley & Sons, Inc.

Molina J., Walter F. (2017). *Comportamento mecânico do solo em operações agrícolas*. Piracicaba, SP: ESALQ/USP. 223.

Mullins, C. E., Macleod, D. A., Northcote, K. H., Tisdall, J. M., Young, I. M. (1990). *Hardsetting soils: Behavior, Occurrence and Management*. Adv. Soil Science, 11:37-108.

Nehren, U., Ho Dac Thai, H., Marfai, A., Raedig, C., Alfonso de Nehren, S., Sartohadi, J., Castro, C. (2016). *Assessing ecosystem services and degradation status of coastal dune systems for Eco - DRR and EbA: Case studies from Vietnam, Indonesia, and Chile*. In Ecosystem - based Disaster Risk Reduction and Adaptation in Practice, ed. F. Renaud, K. Sudmeier - Rieux, series: Advances in Natural and Technological Hazards Research.

Nery, T. D. Vieira, B. C. (2009). *O Papel dos Condicionantes Geomorfológicos na Deflagração dos Escorregamentos Translacionais Rasos na Serra do Mar (SP)*. São Paulo, SP. COBRAE, 5 Conferencia Brasileira de Estabilidade de Encostas.

Nogueira, J. B. (1995). *Mecânica de Solos – Ensaio de Laboratório*. São Carlos, SP. Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos (EESC). Universidade de São Paulo (USP). 248.

Oliveira, L. M. (1998). *Minerais do Paraná S.A. Guia de prevenção de acidentes geológicos urbanos*. Curitiba, PR: MINEROPAR. Organização Pan-Americana da Saúde. Desastres Naturais e Saúde no Brasil. Fundação Oswaldo Cruz – Ministério da Saúde. Brasília.

Ortigão, J. A. R. (1995). *Soil mechanics in the light of critical state theories*. Rotterdam: An Introduction. A. A. Balkema.

Passarela, S. M., Machado, F. B., Riedel, P. S., Lopes, E. S. S., Ferreira, M. V., Moreira, M. R., Azzi, A. A. (2008). *Análise da Relação entre Escorregamento e Formas de Vertentes no Município de Cubatão (SP) e seus Arredores*. Rio Claro, SP. *Geociências*, v 27, n.1, p 7-20, UNESP.

Perdomo, C. V. (2021). *Caracterização de solos de uma encosta da Serra do Mar visando à suscetibilidade ao escorregamento*. Campinas, SP: Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

Pedarla, A., Puppala, A. J., Hoyos, L. R., Chittoori, B. (2016). *Evaluation of Swell Behavior of Expansive Clays from Internal Specific Surface and Pore Size Distribution*. England. *J. Geotech. Geoenviron.* 142(2). 1-10.

Pichler, E. (1957). *Aspectos geológicos dos escorregamentos de Santos*. São Paulo, SP. In: *Bol. SBG*, 6 (2): 69-77.

Pimentel, J., Santos, T. D., Peixoto, D. D., Silva, D. R., Lana, J. C., Menezes, I. P., Silva, L. F. M., Lopes, N. D., Pfaltzgraff, P. A. S., Araújo, R. S., Ribeiro, R. S. (2018). *Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa*. Rio de Janeiro, RJ. CPRM.

Pinto, C. S. (2000). *Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas/Carlos de Sousa Pinto*. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 02-15.

Quirk, J. P., Schofield, R. K. (1955). *The effect of electrolyte concentration on soil permeability*. *Journal of Soil Science*, v. 6, 163-178.

Rodrigues, N. G. L. (2015). *Estudos sobre o ângulo de atrito dos solos graníticos residuais*. Covilhã, Portugal: Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior.

Rossi, M. (2017). *Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado*. São Paulo, SP: Instituto florestal, v. 1. 118.

Sajinkumar, K. S., Anbazhagan, S. (2015). *Geomorphic appraisal of landslides on the windward slope of Western Ghats, southern Índia*. *Natural Hazards*, v.75, 953-973.

Salazar, C. A., Archanjo, C. J., Babinski, M., Liu, D., 2008. *Magnetic fabric and zircon U-Pb geochronology of the Itaoca pluton: implications for the Brasiliano deformation of the southern Ribeira Belt (SE Brazil)*. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 26, n. 3, p. 286-299. DOI: 10.1016/j.jsames.2008.08.007

Santos, H. G. dos; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C. dos; Oliveira, V. A. de; Lumbreras, J. F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A. de; Araujo Filho, J. C. de; Oliveira, J. B. de; Cunha, T. J. F. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, DF: 5.ed., rev. e ampl. Embrapa. 356.

SGB - CPRM – Serviço Geológico do Brasil. (2019). *Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações do Município de Itaóca – SP*. Rigeo – CPRM.

Sidle, R. C., Pearce, A. J., O’Loughlin, C. L. (1985). *Hillslope stability and land use*. Washington, D.C.: American Geophysical Union’s Water Resources, 2. ed.

Silva, A. L. (2013). *Caracterização mineralógica por difração de raios x e determinação de terras raras por icp-ms de rochas da região Sul da Bahia*. Belo Horizonte, MG: Dissertação de mestrado em Ciências e Técnicas Nucleares, Universidade Federal de Minas Gerais.

Silva, M. C. (2017). *Caracterização geológico e geotécnica do debris flow na bacia do córrego Guarda-Mão (Itaóca-SP) no desastre de janeiro de 2014*. Campinas, SP: Dissertação de mestrado – Instituto de Geociências – Unicamp.

Silva, M. F., Miranda, J. B. (2016). *A matéria orgânica e sua influência nas frações granulométricas do solo e nos limites de Atterberg*. I Congresso Internacional das Ciências Agrárias – COINTER – PDVAGro2016.

Sousa, F. A. (2013). *A contribuição dos solos originados sobre granitos e rochas alcalinas na condutividade hidráulica, na recarga do lençol freático e na suscetibilidade erosiva - Um estudo de caso na alta bacia hidrográfica do Rio dos Bois em Iporá-GO*. Uberlândia, MG: Dissertação de Mestrado em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia.

Tominaga, L. K., Santoro, J., Amaral, R. (2012). *Análise e mapeamento de risco. Desastres naturais: Conhecer para prevenir*. São Paulo, SP: Instituto Geológico, 147-160.

Tudor, V., Grozav, Avarnes., Rogobete, G. (2017). *Landslide: Mineralogical and Physical Investigation*. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing. v. 245, No. 3. 032041.

Vargas, M. (1978). *Introdução a Mecânica dos Solos*. Editora McGRAW-HILL do Brasil.

Varnes, D. J. (1978). *Chapter 2: Slope movement types and processes*. Washington, D.C.: In *Landslides - Analysis and control*: National Research Council. Transportation Research Board, Special Report 176. 11-33.

Varnes, D. J. (1984). *Landslide Hazard Zonation: a Review of Principles and Practice*. International Association of Engineering Geology Commission on Landslides and Other Mass Movements on Slopes. Int Assoc Eng Geol, UNESCO Natural Hazards Series no. 3, 63p.

Vaz, L. F. (1996). *Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rocha em regiões tropicais*. Revista Solos e Rochas. N.19. v.2. 117-13.

Wicander R., Monroe, J. S. (2009). *Fundamentos de Geologia*. São Paulo, SP: Cengage Learning. 508.

Wolle, C. M., Carvalho, C. S. (1989). *Deslizamentos em encostas na Serra do Mar - Brasil*. Revista Solos e Rochas, v. 12, n. único. 27-36.

APÊNDICE I

Os gráficos a seguir (figuras X a Y) apresentam os gráficos gerados no ensaio de DRX, indicando os minerais prováveis para cada horizonte amostrado.

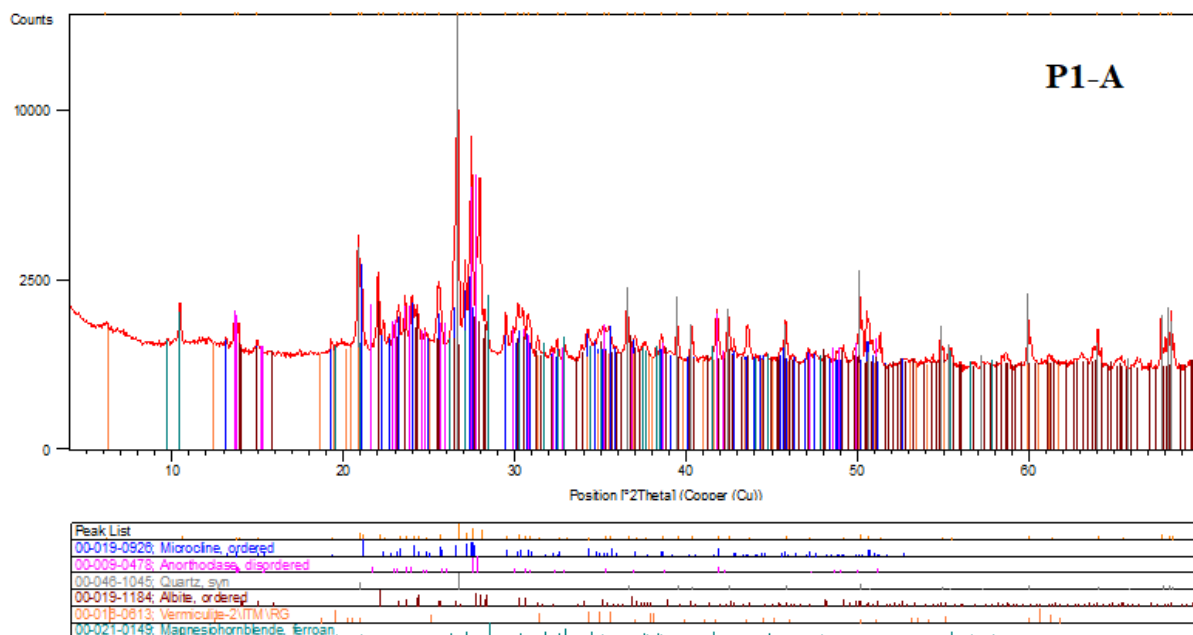


Figura 22 - Gráfico do DRX para o horizonte P1-A

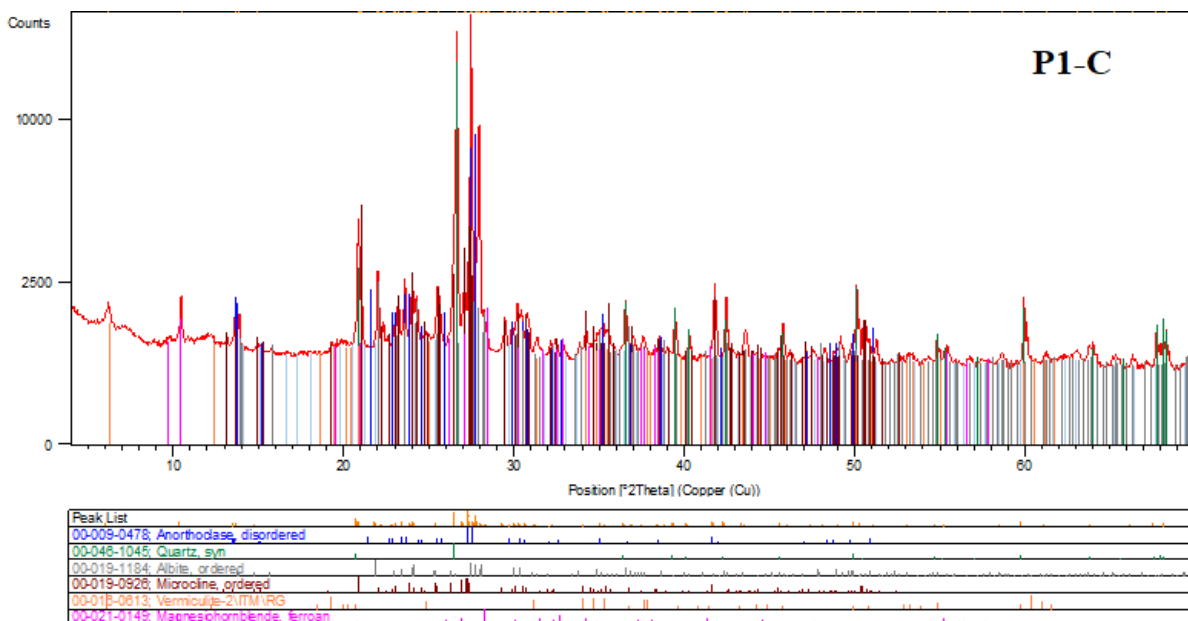


Figura 23 - Gráfico do DRX para o horizonte P1-C

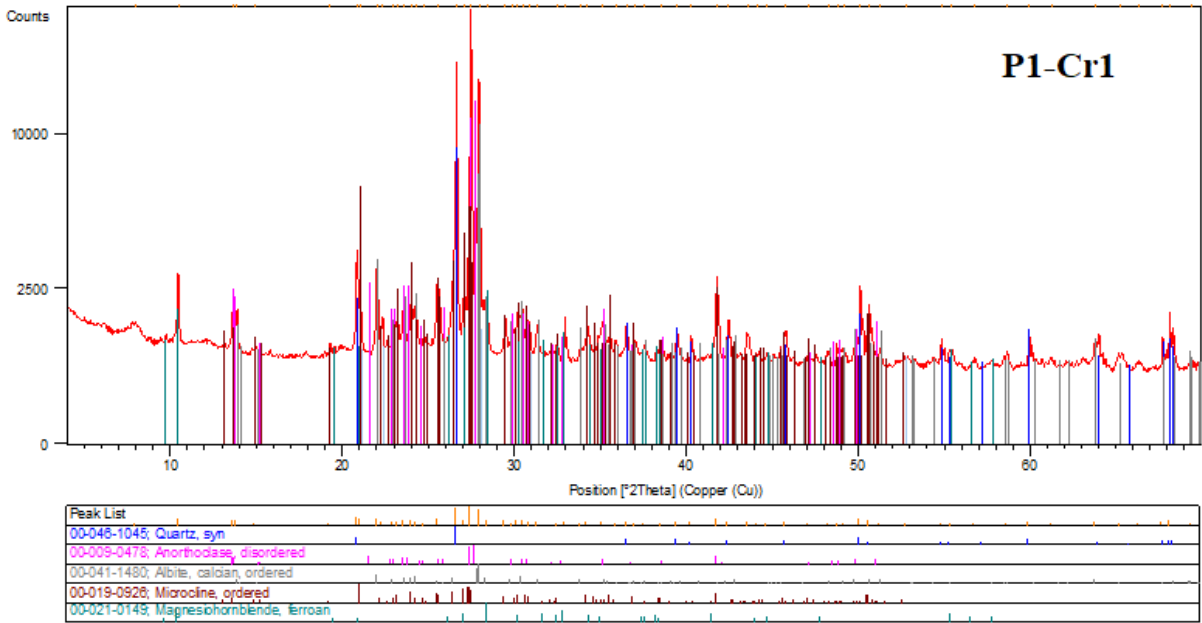


Figura 24 - Gráfico do DRX para o horizonte P1-Cr1

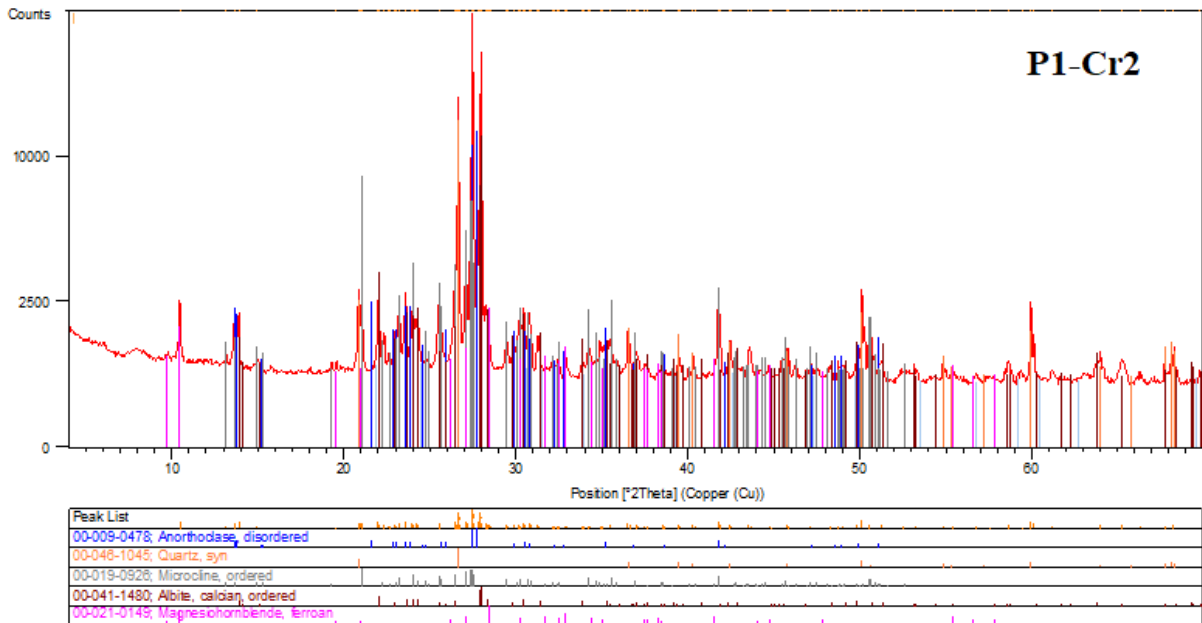


Figura 25 - Gráfico do DRX para o horizonte P1-Cr2

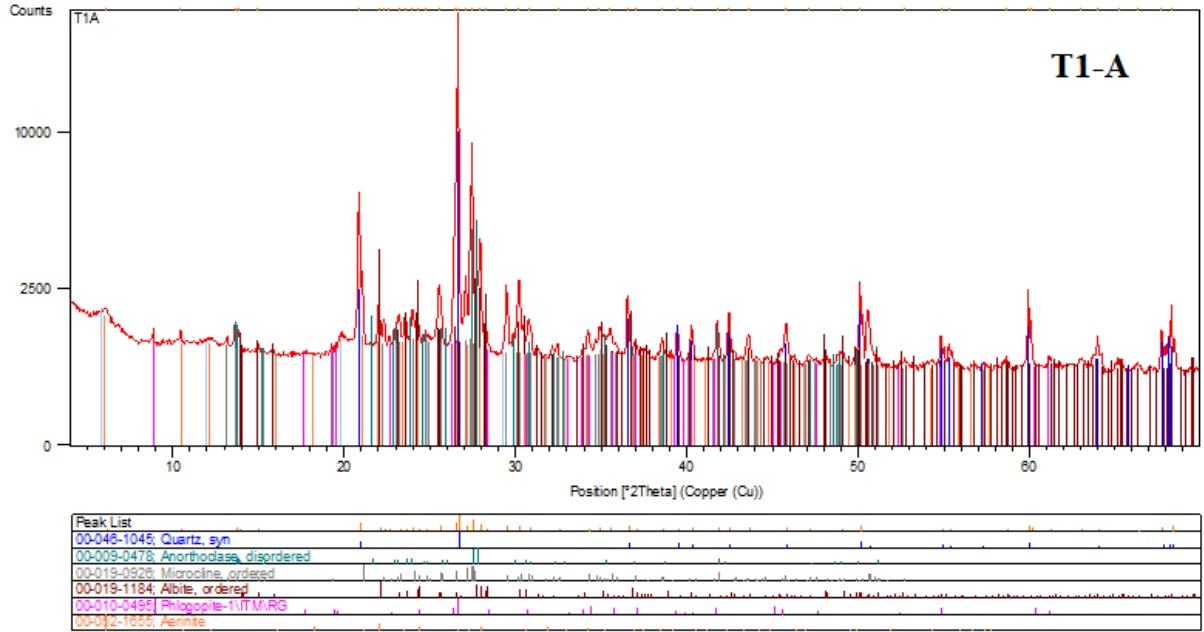


Figura 26 - Gráfico do DRX para o horizonte T1-A

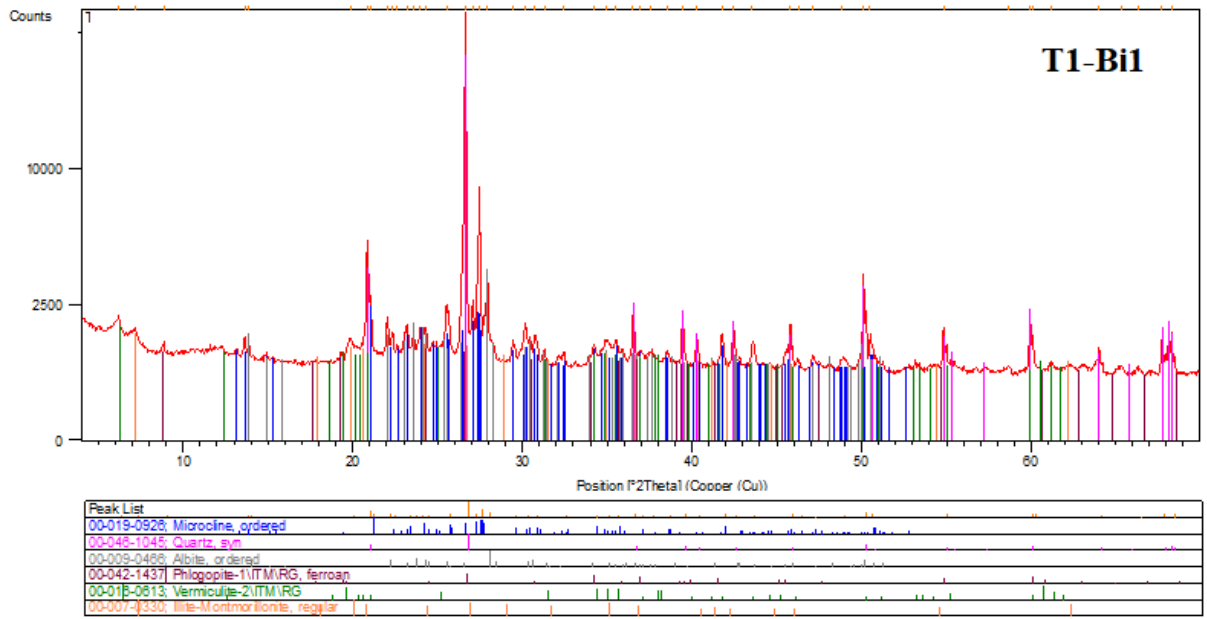


Figura 27 - Gráfico do DRX para o horizonte T1-Bi1

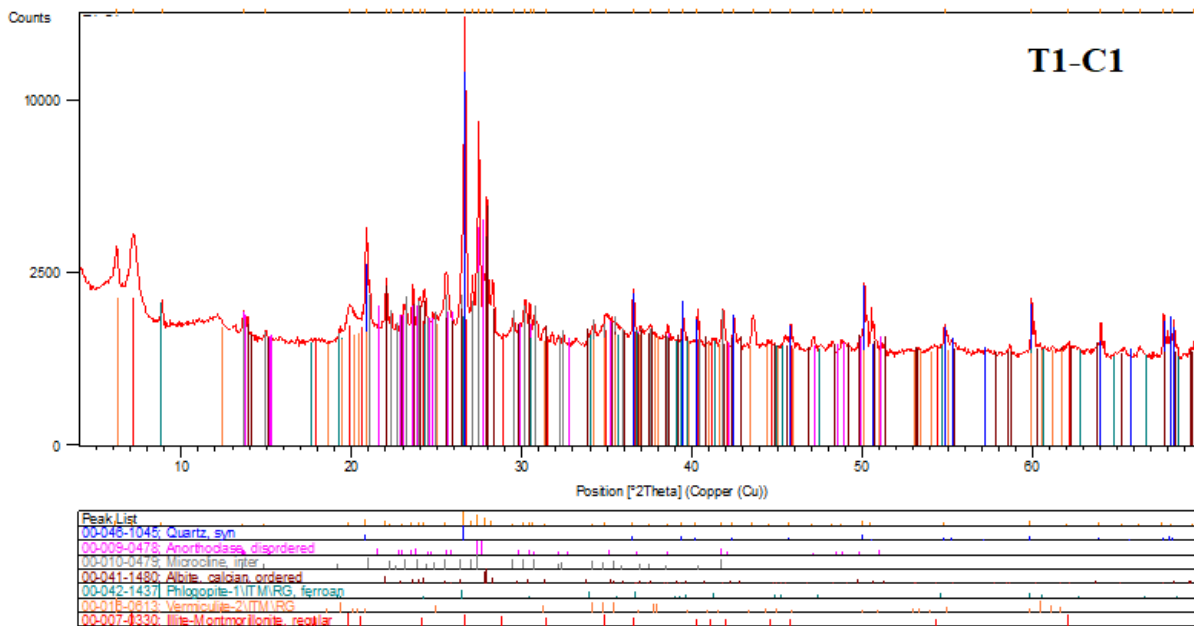


Figura 28 - Gráfico do DRX para o horizonte T1-C1

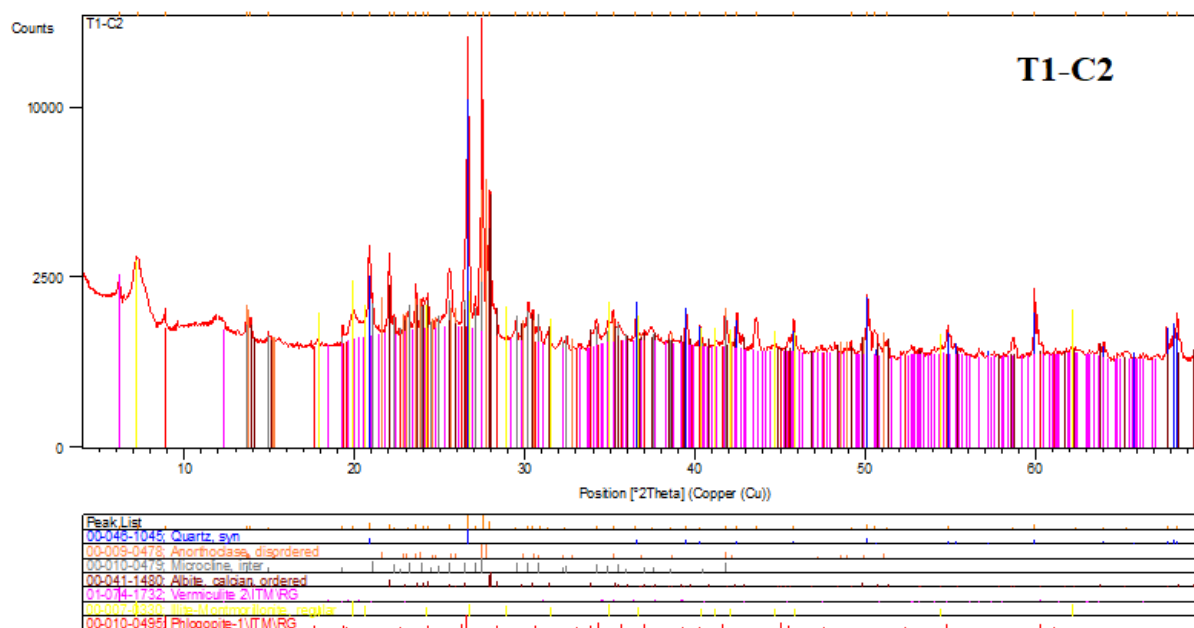


Figura 29 - Gráfico do DRX para o horizonte T1-C2

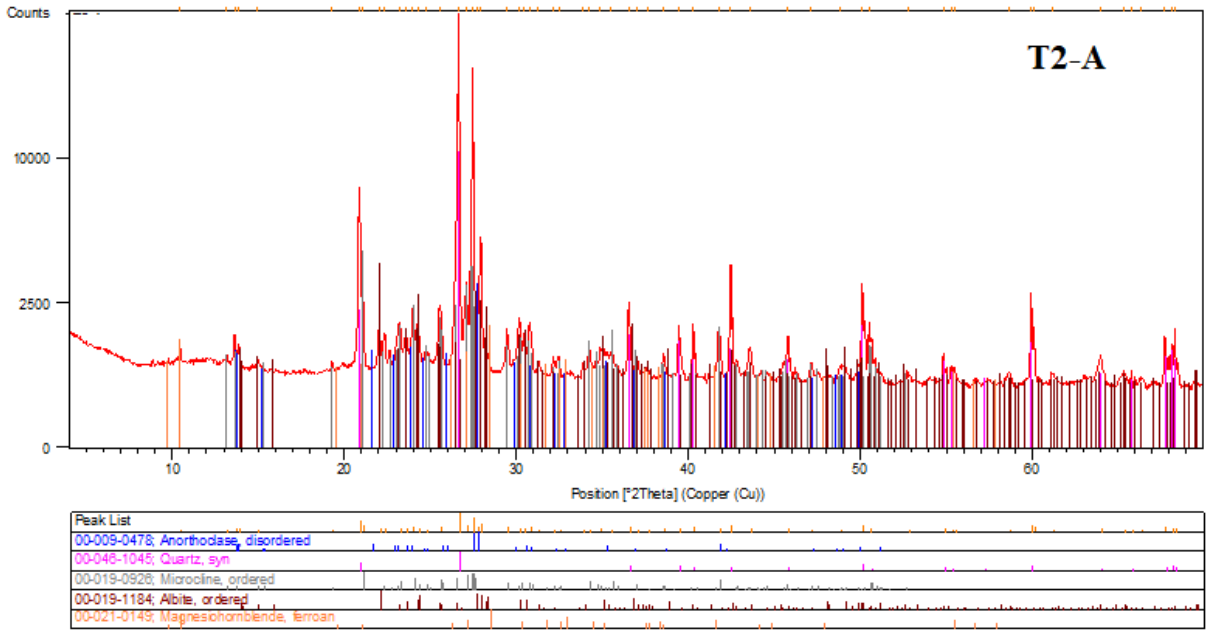


Figura 30 - Gráfico do DRX para o horizonte T2-A

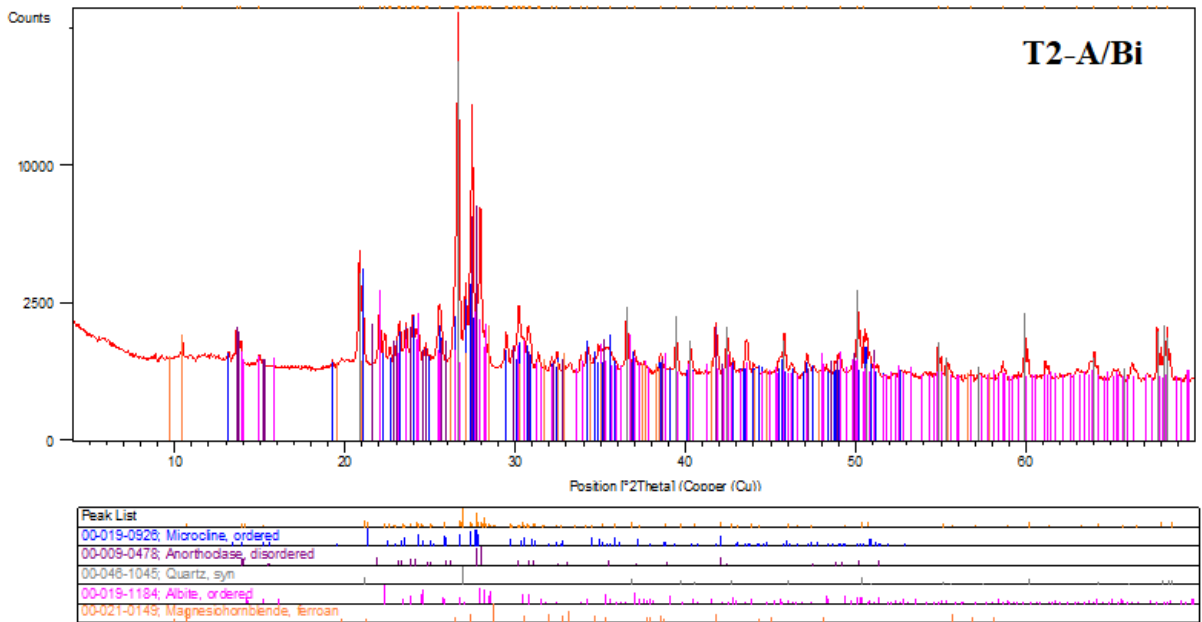


Figura 31 - Gráfico do DRX para o horizonte T2-A/Bi

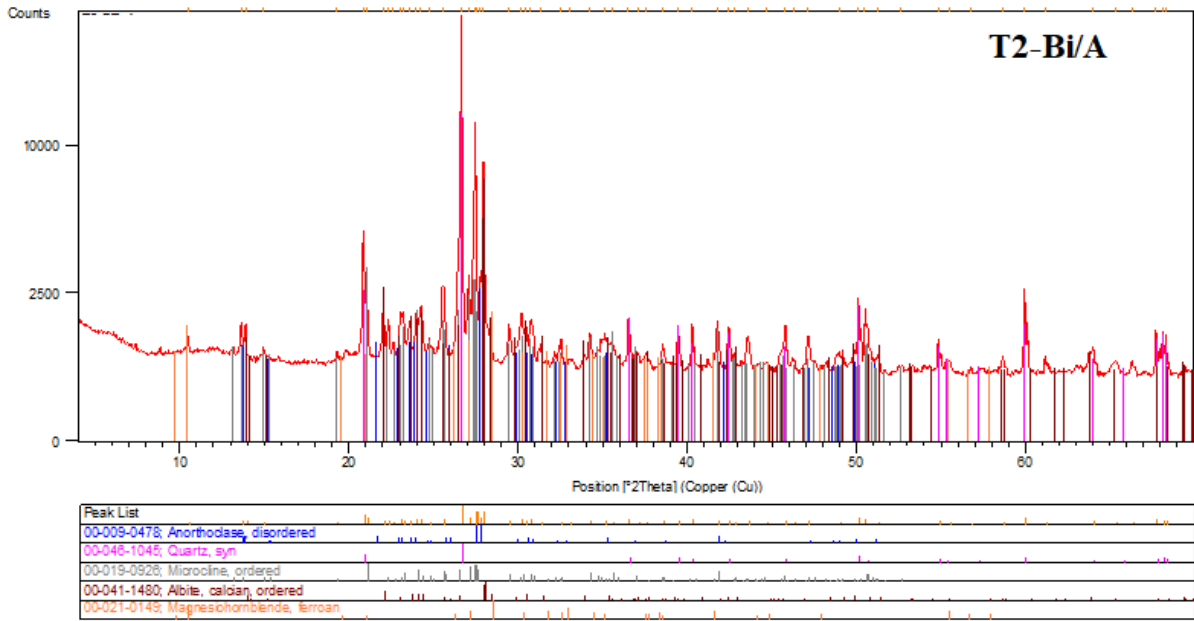


Figura 32 - Gráfico do DRX para o horizonte T2-Bi/A

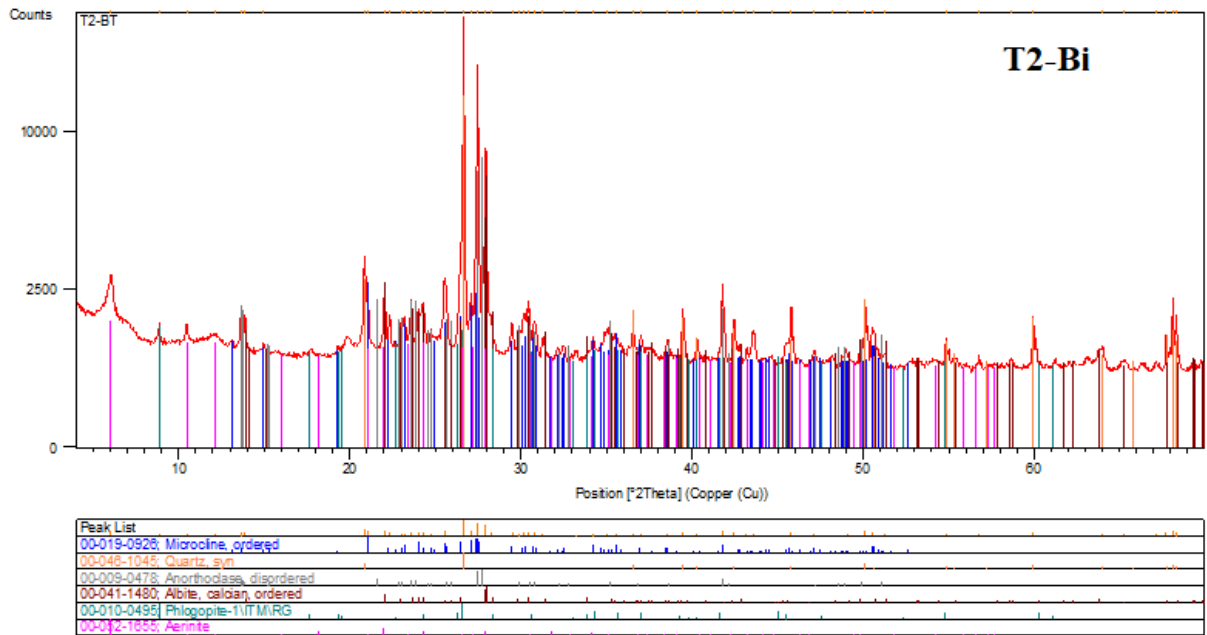


Figura 33 - Gráfico do DRX para o horizonte T2-Bi

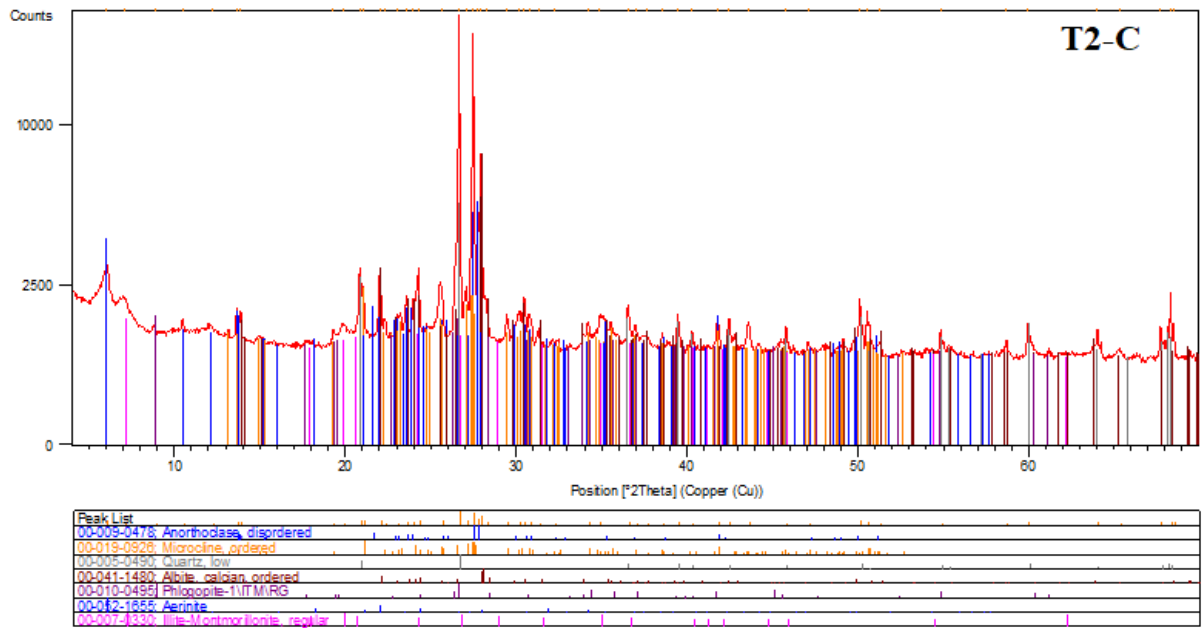


Figura 34 - Gráfico do DRX para o horizonte T2-C