



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

MARCIO CORRÊA DA SILVA

CARACTERIZAÇÃO GEOLOGICA E GEOTECNICA DO DEBRIS FLOW NA
BACIA DO CÓRREGO GUARGA MÃO (ITAOCA-SP) NO DESASTRE DE
JANEIRO/2014

CAMPINAS

2017

MARCIO CORRÊA DA SILVA

CARACTERIZAÇÃO GEOLOGICA E GEOTECNICA DO DEBRIS FLOW NA
BACIA DO CÓRREGO GUARGA MÃO (ITAOCA-SP) NO DESASTRE DE
JANEIRO/2014

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO INSTITUTO DE
GEOCIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
CAMPINAS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE
EM GEOCIÊNCIAS NA ÁREA DE GEOLOGIA E
RECURSOS NATURAIS

ORIENTADOR: JEFFERSON DE LIMA PICANÇO

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL
DA DISSERTAÇÃO DO ALUNO MARCIO CORRÊA DA
SILVA E ORIENTADO PELO PROF. DR. JEFFERSON DE
LIMA PICANÇO

CAMPINAS

2017

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): Não se aplica.

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

Si38g Silva, Marcio Corrêa, 1979-
Geological and Geotechnical Characterization os Debris Flow in the Guarda
Mão Stream Basin (Itaoca-SP) in the Disaster of January/2014. / Marcio Corrêa
da Silva. – Campinas, SP : [s.n.], 2017.

Orientador: Jefferson de Lima Picanço.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de
Geociências.

1. Detritos. 2. Escorregamentos (geologia). 3. Inundações - Itaoca (SP). I.
Picanço, Jefferson de Lima, 1963-. II. Universidade Estadual de Campinas.
Instituto de Geociências. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Caracterização Geológica e Geotécnica dos Debris Flow na Bacia do Córrego Guarda Mão (Itaoca-SP) no Desastre de Janeiro/2014.

Palavras-chave em inglês:

Debris Flow
Slags (geology)
Floods - Itaoca (SP)

Área de concentração: Geologia e Recursos Naturais

Titulação: Mestre em Geociências

Banca examinadora:

Jefferson de Lima Picanço [Orientador]
Ana Elisa Silva de Abreu
Claudio José Ferreira

Data de defesa: 25-08-2017

Programa de Pós-Graduação: Geociências



UNICAMP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

AUTOR: Marcio Corrêa da Silva

Caracterização geológica e geotécnica do Debris-Flow na Bacia do Córrego
Guarda Mão (Itaóca-SP) no desastre de Janeiro/2014

ORIENTADOR: Prof. Dr. Jefferson de Lima Picanço

Aprovado em: 25 / 08 / 2017

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Jefferson de Lima Picanço - Presidente

Dr. Claudio Jose Ferreira

Profa. Dra. Ana Elisa Silva de Abreu

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

Campinas, 25 de agosto de 2017.

SÚMULA CURRICULAR

Marcio Corrêa da Silva

Bacharel em Geologia em 2009 pela Universidade Federal do Paraná trabalhou entre 2009 a 2011 na GPR Geofísica Ltda. em levantamentos geofísicos para projetos de engenharia, ambiental e prospecção mineral. Nos anos de 2011 e 2013 iniciou atividades na indústria do petróleo como empregado da Geolog International. Entre os anos 2013 e 2016 trabalhou no Grupo GNT, como geólogo prospector de novos negócios na área de agregados. Em 2017 tornou-se sócio da Geométrodos Levantamentos Geofísicos. Iniciou as atividades no programa de pós-graduação em geociências da Unicamp em março de 2015.

AGRADECIMENTO

Registro meu agradecimento ao Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas, pela infraestrutura e oportunidade de realização deste estudo.

Sinceros agradecimentos ao Professor Dr. Jefferson Lima Picanço por sua atenção e orientação neste projeto.

Ao Laboratório de Mecânica de Solos da FEC-UNICAMP, em especial aos técnicos Jose Benedito Cipriano e Reinaldo Benedito Leite da Silva pela orientação e ajuda nas análises em laboratório.

Ao Dr. Claudio José Ferreira do Instituto Geológico de São Paulo pelo fornecimento das bases cartográficas para este estudo.

Aos professores Alfredo e Ana do IG-UNICAMP pelas críticas e sugestões em minha qualificação.

Ao amigo e tio Manoel Vitorino que me acompanhou e ajudou em etapas de campo, meus sinceros agradecimentos.

Finalmente aos meus familiares e amigos que incentivaram nos momentos difíceis de quase desistência, muito obrigado.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo mapear e caracterizar os debris flow ocorridos na bacia do córrego Guarda Mão, município de Itaoca (SP). Estes eventos ocorridos entre os dias 12 e 13 de janeiro de 2014 devido às intensas chuvas localizadas na bacia, foram responsáveis por prejuízos materiais e mortes de 23 pessoas no bairro do Guarda Mão. O trabalho teve como metodologia: levantamento bibliográfico da área de estudo, estado da arte sobre debris flow, trabalhos de campo, análises laboratoriais e desenvolvimento de relatórios para compreensão das características e dos processos desencadeadores do evento. Ao longo do perfil longitudinal do córrego Guarda Mão, amostras e perfis descritos para geração de mapas geológicos, geotécnico e feições morfológicas geradas pelos debris flow foram executados. Amostras coletas e analisadas no laboratório de mecânica dos solos da FEC-UNICAMP, utilizando ensaios de granulometria, sedimentação, Limites de Atterberg e cisalhamento direto com objetivo da caracterização geotécnica dos solos da região. A caracterização morfométrica da bacia o foi o principal fator na determinação para ocorrência de eventos de debris flow, foi realizada em ambiente GIS, usando o software ARCGIS ® para geração de mapas de declividade, modelo digital de elevação, mapa de densidade de drenagens, cálculo do índice de Melton e cálculos de fator forma, compacidade e conformação. A integração dos dados geológicos, geotécnicos e morfométricos foram à base para a caracterização dos eventos de movimentos de massa e a geração de um mapa de debris flow com as feições de erosão lateral, transporte e deposição do material. O trabalho atingiu o objetivo caracterizando as feições morfológicas e condicionantes principais deflagradoras que ocasionaram os eventos na área de estudo.

Palavras-chave: escorregamentos, fluxo de detritos, Itaoca.

ABSTRACT

The objective of this study was to map and characterize debris flow at stream Guarda Mão basin, in the city of Itaoca (SP). These events occurred between January 12th and 13th 2014, due to rainstorms in the basin area and were responsible for enormous material losses and 23 deaths in Guarda Mão's surrounding area. The study methodology contemplated: analysis of the literature of the area and state-of-the art in debris flow, field work, laboratorial analysis and development of reports to understand the characteristics and processes that triggered the event. The field work for geological and geotechnical characterization consisted in the basin mapping. Throughout Guarda Mão stream longitudinal profile, samples and profiles described for the generation on geological maps and structures generated by debris flow were executed. Samples were collected and analyzed at the soil mechanic laboratory from FEC-UNICAMP to perform grain size tests, sedimentation, Atterberg Limits and direct shear tests, with the purpose of geotechnical characterization of the region's soils. The morphometric characterization of the basin, the main factor in determining the occurrence of landslides events and mainly debris flow, was analyzed in GIS environment, using the software ARCGIS® to generate slope maps, digital elevation model, drainage density maps, Melton ratio calculation, besides form factor, compactness and shape index calculation. The integration of geological, geotechnical and morphometric data served as the basis for the characterization of landslide events and the preparation of a debris flow map with lateral erosion features, material's transportation and disposal. The work reached the objectives the determining triggers that caused the events of debris flow in the area.

Keywords: landslides, debris flow, Itaoca.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Etapas de trabalho.....	17
Figura 1.2 – Fases da 1º etapa de trabalho.....	18
Figura 1.3 – Fases da 2º etapa de trabalho.....	19
Figura 1.4 – Mapa de pontos e amostras coletadas.....	19
Figura 1.5 – Ensaio de sedimentação.....	21
Figura 1.6 – Ensaio de cisalhamento.....	23
Figura 2.1 – Croqui de localização da área de estudo.....	26
Figura 2.2 – Mapa planimétrico da bacia do Córrego do Guarda Mão.....	27
Figura 2.3 – Aspectos do relevo da Bacia do Guarda Mão.....	28
Figura 2.4 – Drenagens em Itaoca.....	29
Figura 2.5 – Média pluviométrica e temperatura do município de Itaoca.....	30
Figura 2.6 – Depósitos de blocos e matacões no Guarda Mão.....	32
Figura 2.7 – Tronco e árvores no bairro do Guarda Mão.....	32
Figura 3.1 – Perfil longitudinal das feições do debris flow.....	35
Figura 3.2 – Feições dos debris flow em três diferentes seções.....	36
Figura 3.3 – Perfil do debris flow.....	36
Figura 4.1 – Perfil de declividade do córrego Guarda Mão.....	44
Figura 4.2 – Mapa de declividade da bacia do Guarda Mão.....	44
Figura 4.3 – Mapa hipsométrico da bacia do Guarda Mão.....	47
Figura 4.4 – Análise da rede de drenagem pelo Método de Horton.....	48
Figura 4.5 – Sub bacias analisadas para cálculo do Índice de Melton.....	50
Figura 4.6 – Mapa geológico regional.....	53
Figura 4.7 – Exposição rocha granítica sob forma de laje no leito do córrego Guarda Mão.....	55
Figura 4.8 – Laje do Granito de coloração cinza.....	56
Figura 4.9 – Fácies porfírica do Maciço Itaoca.....	56
Figura 4.10 – Veio de quartzo deslocado.....	57
Figura 4.11 – Dique de composição gabroica.....	58
Figura 4.12 – Enclave máfico.....	58
Figura 4.13 – Depósitos aluvionares.....	59
Figura 4.14 – Exposição de solo coluvionar.....	60
Figura 4.15 – Solo eluvial.....	61
Figura 4.16 – Solo de alteração.....	61

Figura 4.17 – Intemperismo esferoidal em rochas graníticas.....	62
Figura 4.18 – Mapa de solos da bacia do Guarda Mão.....	63
Figura 4.19 – Localização dos perfis descritos na bacia do Guarda Mão.....	64
Figura 4.20 – Perfil 1 geológico-geotécnico.....	65
Figura 4.21 – Exudação da água na interface solo e rocha.....	66
Figura 4.22 – Perfil 2 geológico-geotécnico	67
Figura 4.23 – Perfil 3 geológico-geotécnico	68
Figura 4.24 – Material mal selecionado do debris flow sobre o bloco de monzogranito.....	69
Figura 4.25 – Perfil 4 geológico-geotécnico.....	70
Figura 4.26 – Erosão lateral ocasionado pelo debris flow.....	71
Figura 4.27 – Perfil 5 geológico-geotécnico.....	71
Figura 4.28 – Escorregamentos translacionais rasos em solo de colúvio.....	72
Figura 4.29 – Erosão lateral das margens, aprofundamento do canal e deposição de blocos..	72
Figura 4.30 – Perfil 6 geológico-geotécnico	73
Figura 4.31 – Perfil 7 geológico-geotécnico.....	74
Figura 4.32 – Início de deposição dos debris flow.....	74
Figura 4.33 – Depósitos associados ao evento de debris flow de janeiro/2014–Perfil 8.....	75
Figura 4.34 – Leque deposicional e o sentido do fluxo (N-S)-Ponto 30.....	76
Figura 4.35 – Depósitos associados ao evento de debris flow de janeiro/2014-Perfil 9.....	76
Figura 4.36 – Depósitos arenosos grosseiros com inversão granulométrica.....	77
Figura 4.37 – Intercalação de depósitos argilosos e arenosos.....	78
Figura 4.38 – Aspectos erosionais e deposicionais baseado nas observações de campo.....	79
Figura 4.39 – Mapa de feições morfológicas do debris flow.....	80
Figura 4.40 – Envoltório de resistência-Amostra indeformada do ponto 15.....	86
Figura 4.41 – Envoltório de resistência-Amostra indeformada do ponto 17.....	87
Figura 5.1 – Gráfico de chuvas acumuladas por tempo.....	91
Figura 5.2 – Mecanismo de ruptura por saturação pela base.....	93
Figura 5.3 – Mecanismo de ruptura por saturação pelo topo.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Normas utilizadas nos ensaios.....	21
Tabela 4.1 – Dados da bacia do Guarda Mão.....	43
Tabela 4.2 – Resultados obtidos.....	43
Tabela 4.3 – Cálculo do índice de Melton para as sub-bacias.....	51
Tabela 4.4 – Combinação de R e WL e suas associações.....	52
Tabela 4.5 – Resultados da análise de caracterização.....	82
Tabela 4.6 – Resultados índice de plasticidade.....	83
Tabela 4.7 – Resultados dos índices de consistência.....	84
Tabela 4.8 – Resultados dos índices físicos.....	84
Tabela 4.9 – Resultados ensaios de cisalhamento direto.....	85
Tabela 4.10 – Dados para calculo do fator de segurança.....	88
Tabela 4.11 – Resultados fatores de segurança.....	88

SUMÁRIO

CAPITULO 1 – APRESENTAÇÃO	14
1.1 – Introdução	14
1.2 Objetivos.....	16
1.3 Métodos e Materiais	17
CAPITULO 2 - ASPECTOS GERAIS DA ÁREA	26
2.1 - Localização da área de estudo	26
2.2 – Fisiografia Regional.....	28
2,3 – Uso e Ocupação	30
2.4 – Desastres hidrológicos na região de estudo.....	31
CAPITULO 3 – CARACTERIZAÇÃO DOS DEBRIS FLOW	33
3.1 Definição.....	33
3.2 Condicionantes Favoráveis a Ocorrência	37
3.3 Principais Características dos Debris Flow	37
CAPITULO 4 - FISIOGRAFIA DA BACIA DO CÓRREGO GUARDA-MÃO	41
4.1 Caracterização Morfométrica	41
4.1.1 Morfologia da Bacia	41
4.1.2 Declividade e Elevação.....	43
4.1.3 Rede de Drenagens	48
4.1.4 Índice de Melton	49
4.2 Caracterização Geológica	53
4.2.1 Geologia do Córrego Guarda Mão	55
4.2.2 Solos da Bacia do Guarda Mão	59
4.2.3 Morfologia dos Depósitos de Debris Flow	64
4.3 Caracterização Geotécnica.....	81
4.3.1 Resultados.....	81

CAPITULO 5 - INTEGRAÇÃO DOS DADOS	90
CAPITULO 6 - CONCLUSÕES	95
REFERENCIAS	97

CAPITULO 1 – APRESENTAÇÃO

1.1 – Introdução

Segundo o relatório publicado pelo *Disaster Database* (EM-DAT) do CRED (*Center of Research on the Epidemiology of Disasters*) em 2016, 46% dos desastres naturais foram ocasionados por enchentes e movimento de massas induzidos por chuva.

Os fenômenos relacionados à *debris flow* são cada vez mais frequentes e ocasionam graves impactos à sociedade e ao meio ambiente, principalmente em áreas onde ocorrem ocupações humanas. Isto ressalta a importância na compreensão dos mecanismos que deflagram os *debris flow* e na elaboração de medidas necessárias para reduzir os desastres relacionados a estes eventos.

Estes eventos no Brasil são alvos de estudos por universidade e órgãos públicos. A compreensão da dinâmica dos *debris flow* com definição de suas zonas de nucleação, escoamento e deposição dos sedimentos, é de fundamental importância para gerenciamento das áreas de riscos e obras de engenharia.

Segundo Fell et al., 2008, alguns critérios de análise, são fundamentais para os estudos dos fenômenos de *debris flow*. Entre os critérios a serem analisados: a) o caráter do evento (se contínuo ou episódico), b) a velocidade dos fenômenos, c) a amplitude regional, d) a forma de deslocamento, e) a distância percorrida, f) a forma pela qual o evento afeta o sistema de drenagem, g) a infraestrutura e os assentamentos humanos.

Em janeiro de 2014 o município de Itaoca e principalmente o bairro do Guarda Mão foi afetado por forte chuva que provocou enchentes e escorregamento nas áreas de cabeceiras do córrego do Guarda Mão. Estes intensos movimentos de massas resultaram em um processo de fluxo de detritos (*debris flow*).

Na bacia do córrego do Guarda Mão, a montante da área central do município de Itaoca houve a maior concentração de chuva intensa. Neste local, seis moradias foram

afetadas e arrastadas pela enxurrada, provocando perdas de vidas e materiais.

O estudo do evento de *debris flow* ocorrido em Janeiro de 2014 em Itaoca-SP, visa entender as condicionantes que deram origem a movimentação de massa no local. O entendimento de suas zonas de nucleação, escoamento e deposição.

A contribuição para o tema de estudo será estudar a ocorrência dos fatores deflagradores dos *debris flow*. Assim como um subsídio importante para o mapeamento de áreas que são suscetíveis a ocorrência de *debris flow* e que no futuro poderá servir nos estudos e planos de gerenciamento de risco de uma área. Neste intuito de promover um melhor entendimento dos trabalhos desenvolvidos nesta pesquisa realizada, o trabalho foi subdividido em seis capítulos.

O capítulo 1 é composto por esta introdução, objetivo principal da pesquisa e os materiais e métodos utilizados. O capítulo 2 descreve as características gerais da área de estudo, como sua localização, aspectos fisiográficos, uso e ocupação.

O capítulo 3 descreve as principais características relacionadas aos *debris flow*, como elemento introdutório para compreensão dos eventos. No capítulo 4 teremos as características fisiográficas da área, como a geologia, solos e morfometria da bacia do Guarda Mão, com objetivo de compreensão física dos materiais e formas envolvidas nos eventos de escorregamento.

O capítulo 5 tem como objetivo a integração dos dados e a possível compreensão dos eventos deflagradores e condições geradoras. Finalmente no capítulo 6 as conclusões finais sobre o trabalho de pesquisa.

1.2 Objetivos

O objetivo principal do trabalho é o estudo dos fatores predisponentes geológicos, geotécnicos e morfométricos e sua influência na ocorrência de *debris flow* na bacia hidrográfica do córrego do Guarda Mão, município de Itaoca-SP em Janeiro/2014.

O trabalho terá como objetivo quatro principais análises, descritas abaixo:

- (1) Analisar as feições morfológicas ao longo da área de estudo.
- (2) Analisar e caracterizar a geologia, geotecnia e morfometria da bacia do Córrego Guarda Mão, assim como sua influência na ocorrência do evento de *debris flow*.
- (3) Caracterizar os *debris flow* ocorridos e mapear suas feições físicas em campo.
- (4) Identificação dos mecanismos de movimentação dos materiais.

1.3 Métodos e Materiais

A metodologia usada para execução deste trabalho consistiu em quatro etapas principais: planejamento, trabalhos de campo, ensaios e análise dos dados (figura 1.1).



Figura 1.1 – Etapas de trabalho

1ºEtapa – Planejamento

Nesta etapa foi realizado o levantamento bibliográfico com foco na geologia local e o estado da arte nos estudos de debris flow em âmbito nacional e internacional. O uso de softwares como Google Earth® teve como objetivo o reconhecimento remoto de feições físicas do local. Início da elaboração de banco de dados disponíveis em ARCGIS®, shapes, imagens SRTM com 30 metros de resolução e Modelos Digitais de elevação (MDE) disponibilizados pelo Instituto Geológico de São Paulo e cartas topográficas em escala 1:50.000 para elaboração de carta de uso e ocupação e planejamento de atividades de campo. Figura 1.2 demonstra a sequencia de tarefas na 1º etapa do trabalho.



Figura 1.2 – Fases da 1º etapa de trabalho.

2º Etapa – Trabalhos de Campo

As atividades de campo foram realizadas em três fases. Na primeira fase reconheceram-se os aspectos gerais; na segunda fase foram realizados os mapeamentos geológico e geotécnico da área; na terceira e última fase desta etapa foram coletada as amostras para análise em laboratório (figura 1.3).

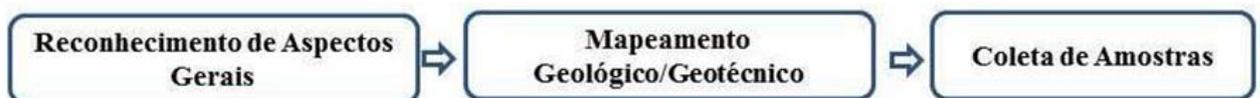


Figura 1.3 – Fases da 2º etapa de trabalho.

Os materiais usados em ambas às fases foram o GPS da marca Garmim Etrex 10 para marcação de pontos de amostragem, nível topográfico para tomada de medidas de altura e inclinações dos taludes, uso de mapas bases confeccionados na 1º etapa e coletores apropriados para amostras. Foram descritos 42 pontos, 9 perfis estratigráficos e coletado 18 amostras para ensaios geotécnicos. Na figura 1.4 é demonstrado o mapa de pontos descritos nas etapas de campo.

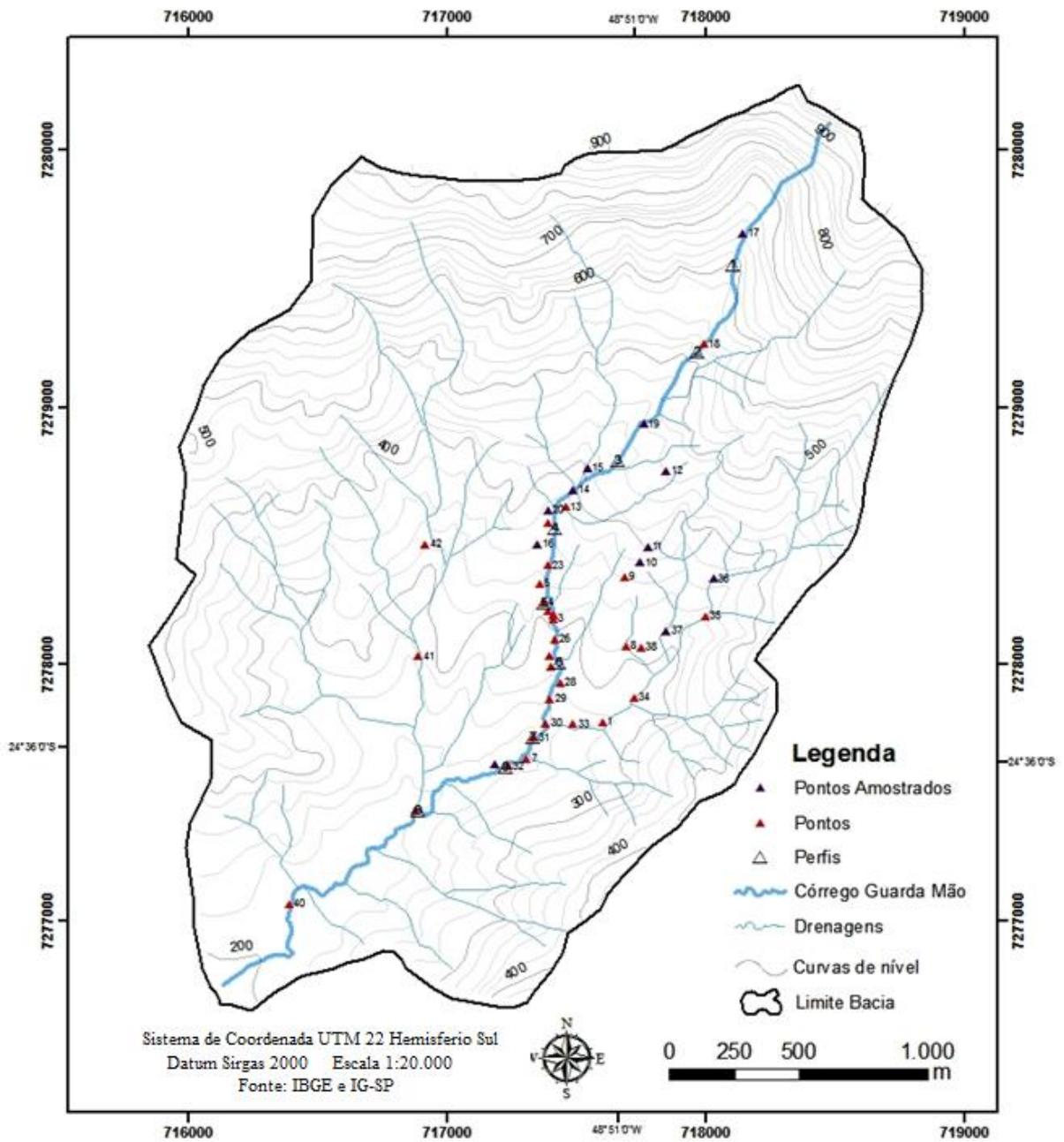


Figura 1.4 – Mapa de pontos e amostras coletadas

Os 9 perfis estratigráficos descritos ao longo do canal do córrego Guarda Mão têm como objetivo a caracterização geológica, geotécnica, a morfologia dos depósitos formados pelo *debris flow* e identificação dos mecanismos de movimentação dos solos. Os perfis foram realizados no sentido da montante para a jusante do córrego

3ª Etapa – Ensaios

Os ensaios de laboratório consistiram na caracterização dos solos através de análises de características geotécnicas com objetivo de classificá-los em uma categoria de comportamento geotécnico. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos da Faculdade de Engenharia Civil (FEC) – UNICAMP. Os Ensaios realizados foram:

- ✓ Ensaios de Classificação:
 - Análise Granulométrica;
 - Sedimentação
 - Limites de Atterberg

- ✓ Índices Físicos:
 - Massa específica (ρ)
 - Índice de vazios e porosidade
 - Teor de umidade (h)

- ✓ Ensaios de Cisalhamento
 - Coesão (c)
 - Ângulo de atrito interno (ϕ)

Ensaios de Classificação

Os ensaios de caracterização visam determinar a composição granulométrica dos solos e o comportamento dos solos em presença de água. Ao total foram 16 amostras analisadas, os ensaios obedeceram às normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), de acordo com a Tabela 1.1.

Tabela 1.1 – Normas utilizadas nos ensaios

Normatização dos Ensaio	
Ensaio	Norma
Análise Granulométrica	NBR 7181 (ABNT, 1984a)
Sedimentação	NBR 7184 (ABNT, 1984b)
Limite de Liquidez (LL)	NBR 6459 (ABNT, 1984c)
Limite de Plasticidade (LP)	NBR 7180 (ABNT 1984d)

➤ Análise Granulométrica

Foram realizados ensaios de peneiramento para caracterização dos materiais grossos cuja granulometria é maior que 6 mm abrangendo a fração areia e pedregulho, e ensaios de sedimentação para determinar a granulometria dos solos compostos de materiais finos com granulometria menor que 6 mm na fração argila e silte. Estes dois ensaios compõem a análise granulométrica dos solos (Figura 1.5).



Figura 1.5 – Ensaio de sedimentação e peneiramento. Laboratório de Mecânica dos Solos, FEC-UNICAMP.

➤ Limites Atterberg

Nestes ensaios são avaliados os limites de consistência dos solos em presença de umidade e seu comportamento na presença de água. Através destes ensaios é possível definir os limites de plasticidade, liquidez e contração dos solos. Estes índices são importantes nos cálculos e parâmetros de mecânica dos solos e caracterização geotécnica.

Índices Físicos

➤ Teor de Umidade

O Teor de Umidade é definido como a massa da água contida em uma amostra de solo. O cálculo é feito entre a razão do peso da água contida na massa do sólido e o peso dos sólidos que a compõe, é expresso em porcentagem. Desta forma temos a equação:

$$h = \frac{P - P_s}{P_s} \times 100 \text{ onde } P = \text{Peso da Amostra e } P_s = \text{Peso da amostra seca}$$

➤ Massa Específica

Este ensaio é realizado através da relação de pesagem do solo seco, solo com água e picnômetro, picnômetro e água, após a pesagem dos ensaios nestas configurações e calculado peso específicos dos grãos. Este ensaio é regido pela norma NBR 6508/1984.

➤ Outros Índices Físicos

A partir dos dados da massa específica (γ) e umidade (h), foram obtidos os índices físicos como porosidade e índice de vazios, através das relações matemáticas demonstradas nas equações:

$$\text{Índice de vazios (e)} = \frac{e}{\gamma_d} - 1 \quad \text{Porosidade (n)} = \frac{e}{1+e}$$

Ensaio de Cisalhamento Direto

Nos ensaios de cisalhamento direto obtemos os valores de coesão (c) e o ângulo de atrito interno (ϕ). De forma genérica, a coesão e o ângulo de atrito interno define a resistência ao cisalhamento de um solo (Figura 1.6). Das 4 amostras indeformadas coletadas, somente 2 foram analisadas, por causa da fragmentação da amostra na manipulação para o preparo do ensaio.



Figura 1.6 – Ensaio de cisalhamento direto - Laboratório de Mecânica dos Solos, FEC-UNICAMP.

4ª Etapa – Análise dos Dados

Nesta etapa ocorreu a integração dos dados de campo para geração dos mapas geológico, geotécnico e mapa de feições morfológicas do fluxo dos detritos no córrego Guarda Mão. Os ensaios geotécnicos serviram como base para classificação dos solos e o cálculo de fator de segurança.

As análises morfométricas foram realizadas em ambiente GIS, com o uso do software ArcGis 10.5 ®. As análises consistiram em obter as formas geométricas da bacia para cálculo de fatores como: fatores de capacidade da bacia a eventos (Fator Forma, Índice de Compacidade e Índice de Conformação), declividade, drenagem (Densidade da Drenagem) e cálculos para determinação da suscetibilidade da bacia para ocorrência de eventos como *debris flow* (Índice de Melton).

Fator Forma (Ff)

O fator forma (Ff) de uma bacia é índice para a tendência de enchentes em uma bacia. Uma bacia com um fato de forma baixo, indica que a bacia é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, porém com maior fator de forma.

O cálculo do fator é a relação entre a largura média B e o comprimento axial da bacia (L), de acordo com a fórmula abaixo:

$$Ff = \frac{B}{L}$$

Índice de Compacidade (Kc)

O índice de compacidade (Kc) é um número adimensional que varia com a forma da bacia. Quanto maior o índice, mais irregular a bacia hidrográfica. Um coeficiente mínimo igual à unidade corresponderia a uma bacia circular. Se os outros fatores forem iguais, a tendência para maiores enchentes é tanto mais acentuada quanto mais próximo da unidade for o valor desse coeficiente.

O índice de compacidade é obtido na relação entre o perímetro da bacia (P) e a área da bacia em km², segundo a fórmula abaixo:

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Índice de Conformação (Fc)

O índice de conformação (Fc) compara a área da bacia com a área do quadrado de lado igual o comprimento axial da bacia. Quanto mais o valor de Fc for próximo de 1, o formato da bacia se aproxima do quadrado do seu comprimento axial e maior a potencialidade de cheias. O índice é obtido pela seguinte fórmula, onde A é a área da bacia e L o comprimento axial da bacia:

$$Fc = \frac{A}{L^2}$$

Densidade da Drenagem

Para a classificação do sistema de rede de drenagens do córrego Guarda Mão foi usado o método de Horton, que consiste que a ordem do curso d'água é uma medida da ramificação dentro de uma bacia. Um curso d'água de primeira ordem é um tributário sem ramificações; um curso d'água de 2ª ordem é um tributário formado por dois ou mais cursos d'água de 1ª ordem; um de 3ª ordem é formado por dois ou mais cursos de 2ª ordem; e, genericamente, um curso d'água de ordem n é um tributário formado por dois ou mais cursos d'água de ordem $(n - 1)$ e outros de ordens inferiores (Tucci 1993).

A partir da classificação pelo método de Horton e a análise de drenagens presentes na bacia do Guarda Mão foi calculada a densidade de drenagem da área de estudo pela equação:

$$Ds = \frac{\sum L}{A}$$

Onde: (L) é o comprimento total dos cursos d'água e (A) é área da bacia de drenagem.

Índice de Melton

O índice de Melton (R) é um dado morfométrico que tem por finalidade fornecer parâmetros para uma bacia sujeita aos eventos relacionados aos *debris flow* (Welsh, 2007; Welsh e Davies, 2011; Wilford et al., 2004). O índice de Melton é dado pela equação abaixo:

$$\text{Índice de Melton (R)} = \frac{Hb}{\sqrt{Ab}}$$

Onde: (Hb) indica o gradiente de relevo da bacia (diferença entre o máximo e mínimo das elevações da bacia) e (Ab) a área total da bacia.

CAPITULO 2 - ASPECTOS GERAIS DA ÁREA

2.1 - Localização da área de estudo

A bacia do córrego Guarda Mão está localizado na porção norte do município de Itaoca, região do Vale do Ribeira, ao sul do estado de São Paulo. O município apresenta uma área total de 182.495 km² e sua população é de 3.228 habitantes segundo o censo do IBGE de 2010. Na figura 2.1 demonstra a localização da região de estudo e a figura 2.2 o mapa planimétrico da bacia do córrego Guarda Mão.

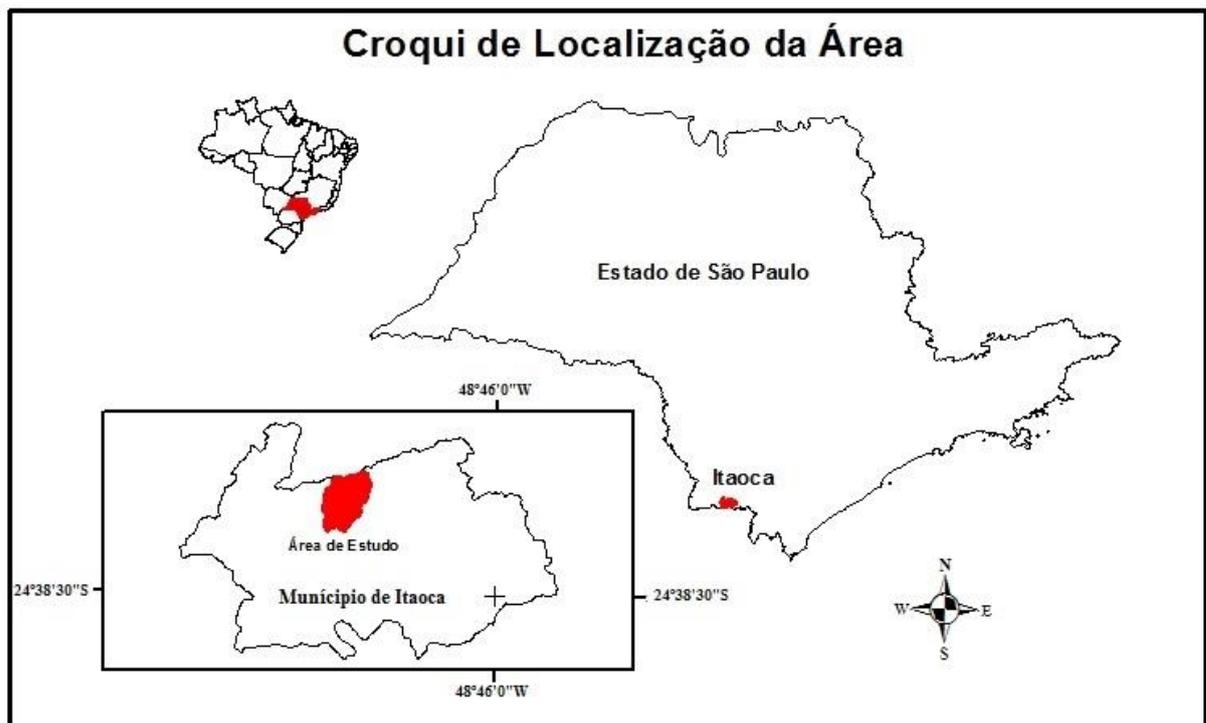
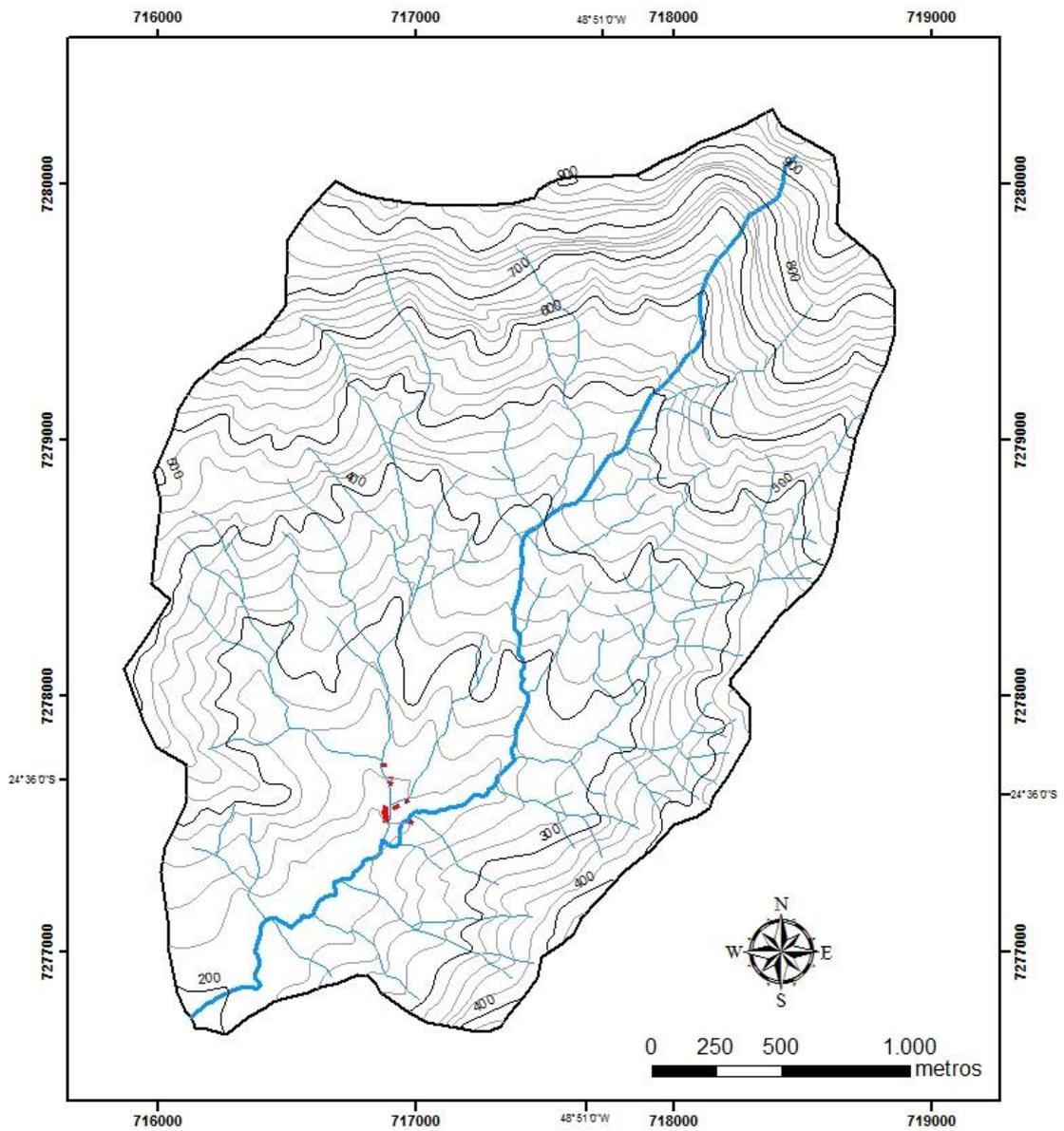


Figura 2.1 – Croqui de localização

Mapa Planimétrico da Bacia do Córrego Guarda Mão



Legenda

- Distrito_Guarda_Mão
- Córrego Guarda Mão
- ~ Drenagens
- ~ Curvas de nível

Sistema de Coordenadas UTM Zona 22 Hemisfério Sul
 Datum Sirgas 2000
 Escala 1:20.000
 Fonte de dados: IBGE
 Elaborado: Marcio Corrêa da Silva

Figura 2.2 – Mapa planimétrico da bacia do córrego do Guarda Mão

2.2 – Fisiografia Regional

A geomorfologia do município de Itaoca tem um predomínio de um relevo fortemente ondulado a montanhoso, com vertentes de formas convexo-côncavo-côncavas e retilíneas-côncavas, com amplitudes variando entre 100 a mais de 300m e declividades médias entre 20 a mais de 35%. (Theodorovicz & Theodorovicz, 2007). Na figura 2.3 esta demonstrada uma visão panorâmica da geomorfológica da bacia o Guarda Mão.

No município de Itaoca há o predomínio de substrato rochoso granítico, formando solos siltico-arenosos, bastante suscetíveis à erosão e aos escorregamentos, principalmente taludes expostos à concentração de águas pluviais (Ross 2002).



Figura 2.3 - Aspectos do relevo ondulado e montanhoso da bacia do Guarda Mão – Ponto 12
– Direção da montante a Jusante (NE/SW).

Itaoca encontra-se na bacia hidrográfica do rio Ribeira do Iguape, que apresenta alta densidade de drenagem, com vales estreitos e profundos e na maior parte desprovidos de planície de deposição (Figura 2.4).

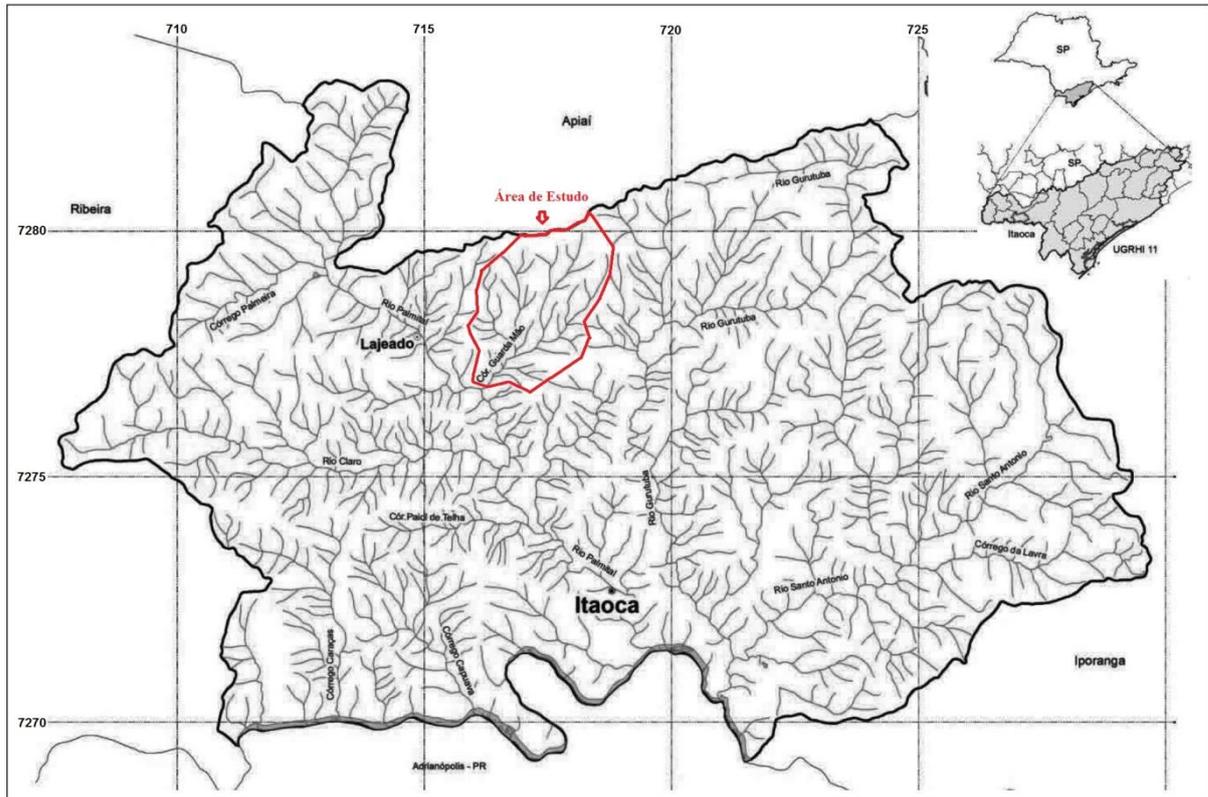


Figura 2.4 – Mapa das drenagens no município de Itaoca – Modificado Instituto geológico (2015)

O clima de Itaoca é classificado como Cfa (segundo a Classificação Climática de Koeppen: clima tropical, com verão quente, sem estação seca de inverno, onde a temperatura média do mês mais frio está entre 18°C e -3°C – mesotérmico). Segundo dados Climatempo (2015) verifica-se que a temperatura média anual máxima é de 23,3°C, mínima de 14,5°C e o índice pluviométrico anual médio estão em torno de 1.340,35mm, sendo que a média nos meses de verão é 182,75mm, período de maior incidência de chuvas. Na Figura 2.5, apresenta uma média das temperaturas e índice pluviométrico dos últimos 30 anos. Não há uma estação meteorológica nas proximidades para uma melhor aferição dos dados, sendo a média calculada por estações próximas e dados obtidos por radares meteorológicos.

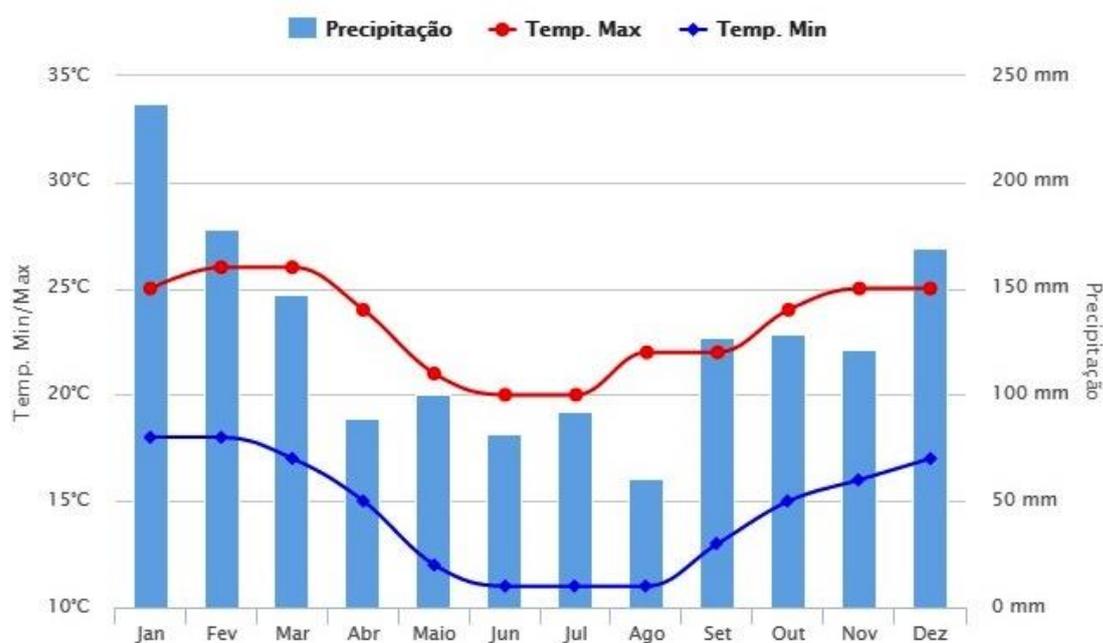


Figura 2.5 – Média pluviométrica e temperatura anual do município de Itaoca. Fonte: Climatempo (2017)

2,3 – Uso e Ocupação

A economia em Itaoca acompanha as características da região, apresentando baixos índices de desenvolvimento social e econômico. Região de baixo índice de industrialização e uma agropecuária destinada essencialmente à subsistência.

Isto impacta na ocupação e uso do espaço físico na região, o não planejamento de ocupações humanas e o uso incorreto dos recursos naturais da região.

O espaço físico da região do Guarda Mão destina-se ao uso da pecuária extensiva, provocando a retirada da vegetação nativa para uso do solo como pasto. A retirada desta vegetação sem um planejamento terminou desprotegendo o solo e a margem do córrego Guarda Mão, ficando suscetível às águas pluviais e consequente erosão do solo. A vegetação de floresta da Mata Atlântica que é nativa da região é preservada somente nas regiões de maior declividade e altitude da bacia.

2.4 – Desastres hidrológicos na região de estudo.

Em janeiro de 2014 o município de Itaoca e principalmente o bairro do Guarda Mão foi afetado por forte chuva que provocou enchente e escorregamentos nas áreas de cabeceiras de drenagens na bacia do córrego do Guarda Mão. Estes intensos escorregamentos tiveram sua deflagração devido às intensas chuvas que tiveram início às 19h30min do dia 12 de janeiro de 2014, estendendo-se até o amanhecer do dia 13 de janeiro de 2014. Estima-se que o processo foi deflagrado pela ocorrência de até 150 mm de chuva em um período de 6 horas (Instituto Geológico 2015).

A chuva intensa ocorrida em curto espaço de tempo, associada aos escorregamentos que ocorreram nas encostas, resultou num processo de fluxo de detritos (*debris flow*), com grande aporte de materiais (sedimentos, blocos rochosos e tronco de árvores).

Na bacia do córrego do Guarda Mão, a montante da área central do município de Itaoca houve a maior concentração de chuva intensa. Neste local quase todas as moradias foram afetadas e arrastadas pela enxurrada, provocando a morte de 23 moradores (Instituto Geológico 2015).

O Instituto Geológico (2015) descreve outros eventos de escorregamentos e inundações na região, sendo os principais nos anos de 1997, 1998 e 2011. Porém nenhum destes eventos teve a magnitude quanto a material mobilizado, impacto na infraestrutura e vítimas em relação ao evento de janeiro de 2014 (Figuras 2.6 e 2.7).

Outras bacias da região, como a do córrego Gorotuba, tiveram a ocorrência de eventos de *debris flow*, mas devido a não ocorrência de vitimas fatais e baixa ocorrência de destruição de patrimônio material, estes locais não chamaram atenção das entidades governamentais e de pesquisa no objetivo de compreensão dos eventos nestes locais.



Figura 2.6 – Depósitos de blocos e matações no Guarda Mão – UOL (2015)



Figura 2.7 – Tronco de arvores no bairro Guarda Mão – Instituto Geológico (2015)

CAPITULO 3 – CARACTERIZAÇÃO DOS DEBRIS FLOW

3.1 Definição

Os *debris flow* são movimentos rápidos (m/s), onde os materiais terrosos se comportam como fluido viscoso de grande volume. Estão geralmente associados à concentração de águas superficiais relacionadas a precipitações anômalas, que deflagram em algum ponto da encosta um processo de fluxo contínuo do material terroso (Fernandes e Amaral 1996).

Takahashi (2007) define *debris flow* como um fluxo de sedimentos e água que acionado pela gravidade, podem ser transportados a grandes distâncias em um canal principal de drenagem.

Hungr et al., (2014) define os *debris flow* como fluxos de movimentos rápidos de massa, que são capazes de transportar grande quantidade de matéria sólida (solo, rocha e matéria orgânica) em meio a uma mistura fluida. Estes materiais escoam em encostas e vales e são transportados e depositados distantes do local de origem.

Jakob e Hungr (2005) estabelecem classificações dos tipos de materiais transportados, segundo sua composição e característica geotécnica. Os detritos podem ser compostos por uma mistura de materiais, como areia, rocha, blocos de rocha com distintas proporções de silte e lama, podendo haver ainda uma quantidade significativa de matéria orgânica. Desta forma classificam os fluxos de detritos como:

- ✓ Fluxo de detritos: movimento rápido a extremamente rápido de detritos saturados, não plásticos, em canais com índice de plasticidade menor do que 5% na fração do solo.
- ✓ Fluxo de lama: movimento rápido a extremamente rápido de lama em canais com alto teor de água e alta plasticidade, maior do que 5%, na fração do solo.
- ✓ Enxurrada de detritos: movimento confinado muito rápido e com grande quantidade de detritos.
- ✓ Avalanche de detritos: movimento muito rápido a extremamente rápido de material superficial e sem confinamento do canal.

Os fluxos de solo, água, blocos e matações de rochas soltas e material vegetal são causados essencialmente por precipitações intensas em áreas de encosta com inclinação suficiente para desencadear o fenômeno.

Após a mobilização do material, o fluxo de detritos se desenvolve preferencialmente em cursos de drenagem caracterizando-se por uma dinâmica híbrida regida pela mecânica dos solos e mecânica dos fluidos, tendo com as principais variáveis a granulometria das partículas e a concentração de material sólido carregado pelo fluxo. A deposição ocorre em regiões mais planas no canal de drenagem, formando grandes depósitos de material.

A partir de uma figura de Vandine (1985), Gramani (2015) descreve o modelo de geração, transporte e deposição dos *debris flow* (Figura 3.1). Gerados a partir das encostas (1), os materiais de solo, rocha e detritos vegetais saturados por água caem nos cursos d'água onde escoam com alto potencial energético e erosivo, retrabalhando depósitos na drenagem e nos taludes marginais, ganhando maior volume e energia de deslocamento (2). Durante seu percurso, drenagem abaixo, parte do material da corrida se deposita em alvéolos naturais de deposição situados em compartimentos morfológicos menos íngremes por perda de energia potencial (3). Atingindo os terrenos de baixada, a diferença brusca de declividade ocasiona a deposição em leques aluvionais com raios de alcance distintos em função dos materiais presentes no corpo do fluxo do processo de corrida (4). Os primeiros que se depositam são os grandes blocos na frente de choque, sendo o raio de alcance desses elementos relativamente limitado. Os materiais que vêm em seguida, num ambiente de enchente com alta concentração de material detrítico (restos vegetais, blocos menores e alta concentração de sedimentos granulares) se depositam nas extensas planícies fluviais ao extravasarem do canal de drenagem. Por último a dinâmica do fenômeno se finaliza sob a forma de uma inundação com sedimentos de diferentes granulometrias em suspensão.

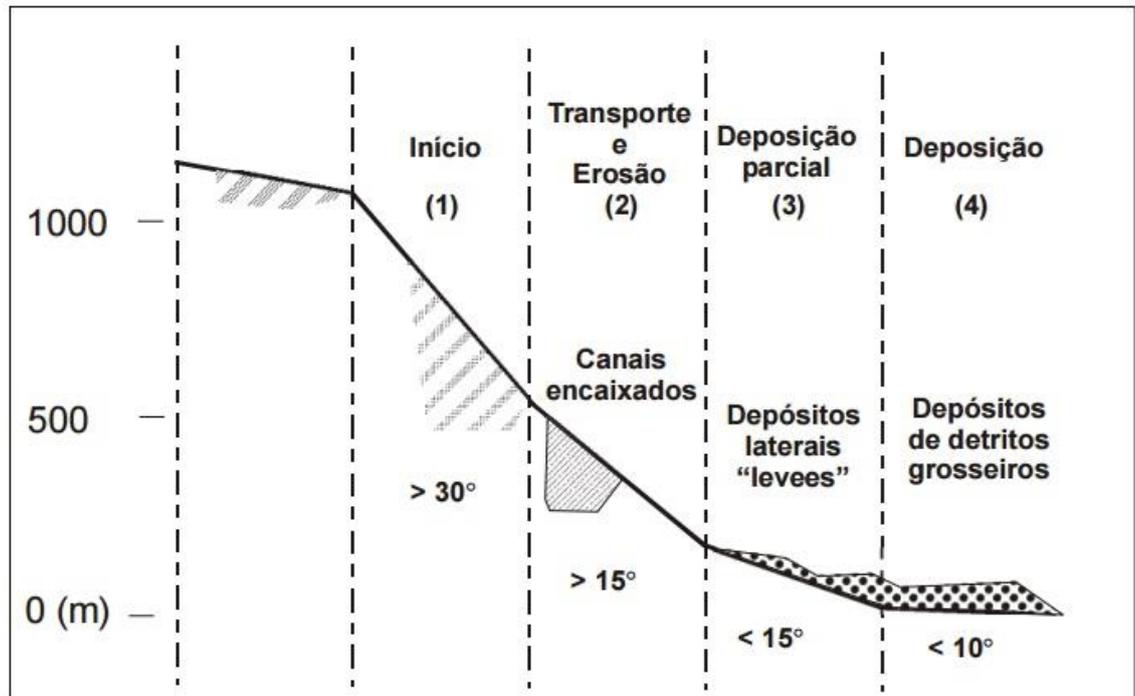


Figura 3.1 – Perfil longitudinal das feições dos *debris flow* (modificado de Vandine, 1985 em Gramanni 2015).

Os *Debris flow* possuem uma distribuição granulométrica complexa, devido à grande diversidade de materiais envolvidos no fenômeno e fonte geradora de material. As frações granulométricas ditarão o comportamento do fenômeno: quando há o predomínio de argila, silte e água tende a ocorrer o comportamento visco-elástico e, quando há predomínio de areia e água, o comportamento tende a ser colisional-friccional.

Figura 3.2 ilustra feições típicas geométricas dos *debris flow*, onde o fluxo da primeira onda segue preferencialmente os canais de drenagem, movimentando-se em forma de onda e pulsos de sedimentos. Em seção longitudinal, os sedimentos de maior granulométrica encontram-se na porção frontal dos pulsos de fluxo de detritos. Observando em planta, a frente dos pulsos de debris flow são mais largas. Em seção transversal, a frente do fluxo da onda é mais alta. Novos pulsos posteriores possuem menores dimensões e menor granulometria.

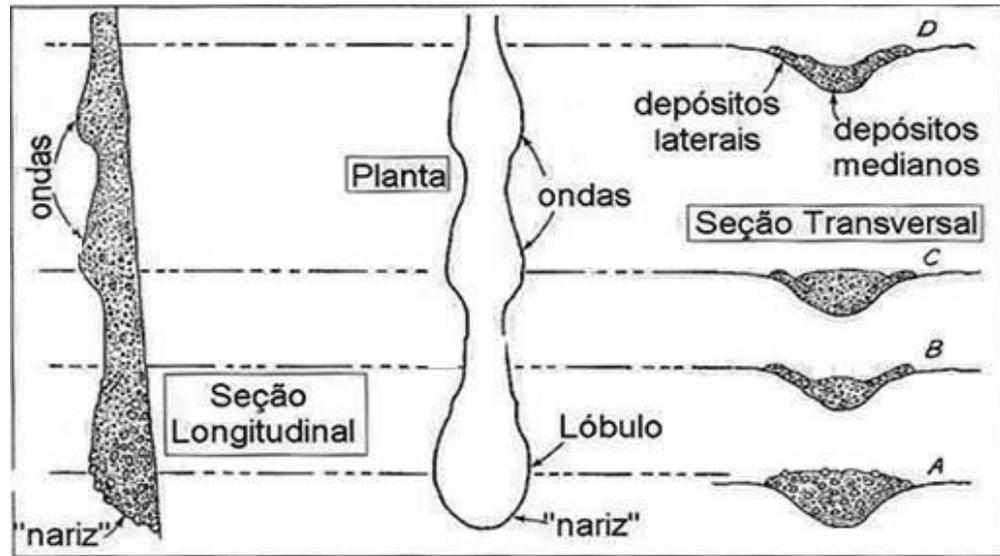


Figura 3.2 – Feições dos debris flow em três diferentes seções (Johnson 1970 modificado por Gramani 2001).

A figura 3.3 apresenta uma seção longitudinal de um depósito típico de *debris flow*, apresentando o arranjo dos materiais em uma “onda” e a distribuição granulométrica, predominantemente mais grosseira na porção frontal do primeiro pulso. É preciso reconhecer na paisagem, antes e após a ocorrência do fenômeno, esses arranjos, no sentido de melhor distinguir os diferentes processos que ocorrem nas bacias serranas. Essa sequência fenomenológica pode se dar em pulsos ou em um único evento (Gramani 2001).

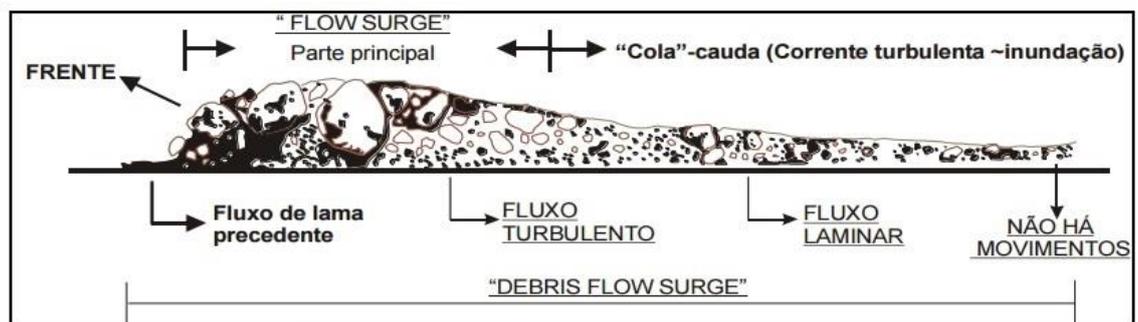


Figura 3.3 – Perfil do *debris flow* (Ujueta e Mojica 1985 modificado por Gramani 2015).

3.2 Condicionantes Favoráveis a Ocorrência

Um *debris flow* será produzido quando quantidade suficiente de água for fornecida a ponto de saturar os espaços vazios entre as partículas de solo e rocha, a ponto de iniciar a sua movimentação (TAKAHASHI, 2007).

Algumas condições são favoráveis para a ocorrência dos *debris flow*:

- Abundante fonte de partículas e detritos de solos e/ou rocha inconsolidados;
- Encostas íngremes;
- Fonte abundante de água atingindo os materiais suscetíveis a escorregamentos (chuvas, degelo, rompimento de tubulações / represamentos naturais ou artificiais);
- Vegetação esparsa.

A condicionante meteorológica tem fundamental importância nos eventos deflagradores em regiões tropicais e subtropicais. As intensas precipitações que ocorrem principalmente nas estações mais quentes do ano, são os eventos deflagradores mais comuns para ocorrência dos *debris flow*. Fatores como sismicidade, vulcanismo e ação antrópica também podem contribuir como agentes deflagradores.

3.3 Principais Características dos Debris Flow

As corridas de detritos possuem características diferenciadas de outros movimentos de massa. Em suas fases de mobilização, transporte e deposição, os *debris flow* podem se comportar de forma diferenciada de acordo com o material mobilizado e a geometria do canal de drenagem. As principais características dos *debris flow* são:

Velocidade

A velocidade do escoamento é condicionada às características granulométricas e composicionais dos materiais, geometria dos canais de drenagem como raio hidráulico e perfil longitudinal, grau de inclinação da superfície e a densidade do fluxo.

Jakob e Hungr (2005) descreve que a parte frontal do fluxo apresenta uma velocidade constante durante o movimento do fluxo, já aos movimentos referentes à “cauda” apresenta

um perfil decrescente de velocidade ao longo da seção transversal, sendo a maior velocidade junto à superfície, e a menor, junto ao leito do canal.

Takahashi (2007) apresenta que a velocidade dentro do perfil longitudinal sofre uma variação, ocasionando uma alteração na velocidade das partículas que encontram-se na superfície, onde o fluxo tende a se movimentar gradualmente para a parte frontal do movimento, e lá chegando, se depositam e dependendo da característica, formando barreiras e impedindo o movimento.

No trabalho de Gramani (2001) em uma compilação de dados sobre velocidade de debris flow, são observadas velocidades entre 5 e 20 m/s, sendo as velocidades mais comuns observadas entre 8 e 10 m/s.

Transporte e Erosão do Material

Os *debris flow* podem transportar grandes blocos de rochas por longas distâncias. Os fatores preponderantes para que isso ocorra são viscosidade e densidade do fluido intersticial, os quais poderão manter grandes blocos de rochas em suspensão.

As características físicas como distribuição granulometria dos grãos, forma geométrica, densidade, viscosidade dos materiais no escoamento influenciam no transporte, distância percorrida e deposição dos materiais.

Por apresentar grande capacidade de incorporar materiais durante o escoamento, os debris flow tem alto poder de erosão ao longo das margens dos canais em curto espaço de tempo. Os principais pontos afetados pela erosão localizam-se próximos às zonas de alta declividade dentro da drenagem.

Santos (2013) descreve que a capacidade dos *debris flow* em suportar e movimentar grandes e pesados blocos rochosos advém das forças dispersivas desenvolvidas pelas colisões destes blocos com muitas outras partículas pequenas, forças essas que estão sempre associadas à viscosidade e fluidez. A observação que teríamos é que os blocos rochosos estariam “surfando” na superfície do *debris flow*. Este fenômeno de “surf” ocorre até a região onde a declividade da encosta reduz ou então o fluxo se espalha. Ao se espalhar a camada liquefeita atinge uma espessura crítica e não consegue mais suportar os blocos rochosos.

Os eventos de transporte e erosão são de alta complexidade, pois as variáveis, como massa, geometria do fluxo, densidade do material, velocidade e vazão do fluxo variam rapidamente ao longo do transporte e erosão dos taludes marginais alterando a composição das partículas do fluido, intensidade das interações entre grãos, interações entre os grãos e o leito da calha e as interações entre grãos e fluido viscoso (Takahashi 2007).

O evento de *debris flow* provoca grandes mudanças no perfil topográfico da drenagem que sofre o transporte, não somente pela retirada do material devido à erosão, mas pela formação de depósitos marginais e leques de deposição no gradiente de menor energia da drenagem. (Welsh 2011).

Força de Impacto

Os *debris* de alta força de impacto, principalmente na frente dos pulsos, onde se concentram materiais rochosos. Podem chegar a forças de 400kN/m².

Jakob e Hungr (2005) descrevem que em feições geométricas de drenagens com maior declive e confinadas, a energia potencial do *debris flow* tem seus maiores valores, implicando em maior velocidade de transporte e erodibilidade conseqüentemente uma maior força de impacto.

A energia cinética tem sua diminuição em menores gradientes topográficos, com menor velocidade da massa há uma redução da força de impacto e maior espraiamento dos sedimentos em uma área menos confinada. A estimativa do cálculo do fator de impacto é de fundamental importância para projetos de retenção e controle de *debris flow*.

Depósitos Sedimentares

O processo de deposição dos sedimentos nos *debris flow* é responsável pela formação de depósitos com estruturas sedimentares distintas e com características particulares. A deposição pode ocorrer por pulsos únicos ou sucessivos, formando depósitos de gradação granulométrica invertida e com contato com o substrato bem definido.

Ao longo do transporte dos *debris flow*, cordões laterais de matações e blocos de rocha podem formar depósitos imbricados que podem reduzir ou até mesmo interromper o fluxo de sedimentos de menor granulometria, aumentando a energia potencial para novos eventos de escorregamento.

De acordo com os trabalhos de VanDine (1996) e Jakob e Hungr (2005), os fatores mais atuantes na deposição dos sedimentos dos *debris flow* são:

- ✓ Diminuição da declividade
- ✓ Aumento da viscosidade e atrito interno dos grãos
- ✓ Barreiras naturais ou artificiais
- ✓ O fluxo de sedimento deixa de ser canalizado.

Os volumes dos depósitos gerados pelos *debris flow* podem variar de intensidade, dependendo da quantidade de pulsos de escoamento de material. O conhecimento do volume mobilizado é de vital importância para o dimensionamento dos cálculos descritivos do fenômeno.

Os sedimentos de menor granulometria da fração areia, silte e argila tem sua deposição nas partes mais distais dos leques deposicionais. Com a queda da energia cinética, os materiais de maior granulometria depositam-se mais próximos aos canais, onde a energia de transporte é suficiente para o movimenta-los, ficando a fração mais fina no fluxo aquoso e transportado a distâncias maiores.

CAPITULO 4 - FISIOGRAFIA DA BACIA DO CÓRREGO GUARDA-MÃO

4.1 Caracterização Morfométrica

As características morfométricas de uma bacia são obtidas através de análises de mapas, fotografias aéreas e imagens de satélite. A integração das informações da bacia é feita em um ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

A importância na caracterização morfométrica reside no fato de que os dados são derivados automaticamente a partir dos SIG, com poucas influências subjetivas da fotointerpretação, sendo de fácil e rápida obtenção. Através destas avaliações os parâmetros morfológicos da bacia em conjunto com os dados geológicos e geotécnicos, pode se fazer análise quanto à estabilidade da região a escorregamentos e ocorrência dos eventos de *debris flow* em uma bacia.

A bacia do córrego do Guarda Mão tem uma área de 7,28 Km² e um perímetro de 11,83 Km, sob um substrato geológico de rochas graníticas e metassedimentares, em um relevo montanhoso onde os divisores de águas ultrapassam a 800m. Os principais analisados na bacia do Guarda Mão foram: morfologia, declividade, elevação e a drenagem.

4.1.1 Morfologia da Bacia

A morfologia da bacia influencia no escoamento superficial e conseqüentemente no comportamento hidrológico da bacia como vazões e transporte de sedimentos. A drenagem do córrego Guarda Mão apresenta um padrão ramificado, onde as drenagens convergem para um mesmo curso principal.

Neste caso, uma chuva uniforme em toda a bacia, origina cheia nas drenagens secundárias e não simultaneamente no curso principal. O escoamento superficial poderá provocar cheia na bacia à medida que forem se fazendo sentir as contribuições das diferentes drenagens dentro da bacia (Tucci 1993).

Análise da Morfologia da Bacia

Os índices do Fator Forma (Ff), Compacidade (Kc) e de Conformação (Fc) são utilizados para comparar bacias, dinâmica do escoamento superficial e correlações entre vazões e características físicas das bacias. Em Porto (1999) os valores para estes índices assumem os seguintes valores:

- ✓ O Fator de Forma (Ff) pode assumir os seguintes valores:

1,00 – 0,75: sujeito a enchentes

0,75 – 0,50: tendência mediana

< 0,50: menor tendência a enchentes

- ✓ Índice de Compacidade (Kc) os valores são:

1,00 – 1,25 = bacia com alta propensão a grandes enchentes

1,25 – 1,50 = bacia com tendência mediana a grandes enchentes

> 1,50 = bacia com menor propensão a grandes enchentes

- ✓ Os valores para o Índice de Conformação:

Mais próximo a 1, maior o potencial a cheias.

Analisando os dados obtidos da bacia do Guarda Mão em ambiente SIG, demonstrados na tabela 4.1, os resultados obtidos para os índices citados acima são de um índice de compacidade (Kc) em 1,01 e índice de conformação (Fc) de 0,400 e fator forma (Ff) de 0,418 conforme podemos ver também na tabela 4.2.

Tabela 4.1 – Dados da bacia do Guarda Mão

Dados da Bacia do Guarda Mão
Área (A) = 7,280 km ²
Perímetro (P) = 11, 823 km
Comprimento Axial da Bacia (L) 4,261 km
Largura Média (B) = 1,783 km

Tabela 4.2 – Resultados Obtidos

Resultados dos Índices
Fator Forma (Ff) = 0,418
Índice de Compacidade (Kc) = 1,101
Índice de Conformação (Fc) = 0,400

O Coeficiente de Compacidade (kc) expressa uma tendência a ocorrência de enchentes sem se ater à grandeza ou volume destas enchentes. Ao analisarmos a bacia do Guarda Mão com base no coeficiente de compacidade (kc), verificamos que a mesma apresenta alta tendência a enchentes. A análise em conjunto com o índice de conformação e fator forma (Ff) que expressa à dimensão da cheia na bacia, podemos interpretar a bacia com tendência mediana a enchentes. No caso de ocorrência, estas enchentes poderão ser de grande volume.

4.1.2 Declividade e Elevação

A geração do mapa de declividade é importante para a caracterização morfométrica da bacia, pois ela está diretamente associada ao tempo de escoamento superficial, taxa de infiltração, umidade do solo e a concentração da precipitação pluvial nas margens das drenagens.

Através da análise do perfil longitudinal do córrego Guarda Mão, podemos obter o gradiente de altitude da bacia Hb (diferença entre o máximo e o mínimo entre dois pontos na mesma bacia) para o cálculo do Índice de Melton, que será demonstrado mais adiante no capítulo. A partir perfil longitudinal do Córrego Guarda Mão é indicada as zonas de deslizamento, transporte e deposição dos *debris flow* com base nas observações de campo (Figura 4.1).

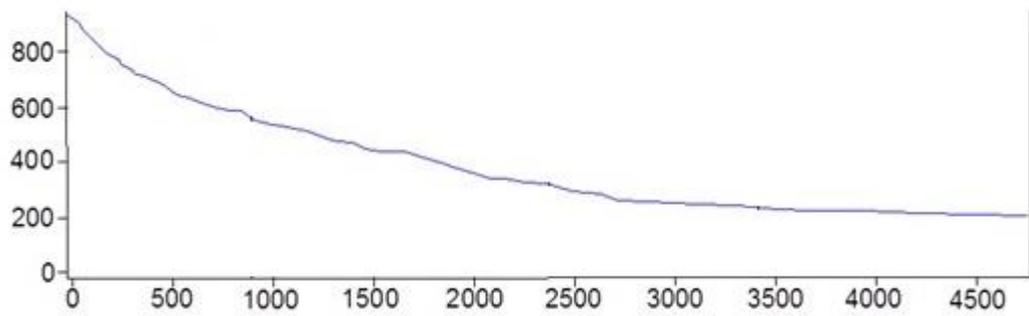


Figura 4.1 – Perfil de declividade do córrego do Guarda Mão.

A bacia do Guarda Mão possui uma declividade média entre 20 a 30% ao longo do plano axial do córrego principal. A montante do córrego Guarda Mão as declividades assumem valores superiores a 50% (Figura 4.2).

Mapa de Declividade da Bacia do Córrego Guarda Mão - Itaoca (SP)

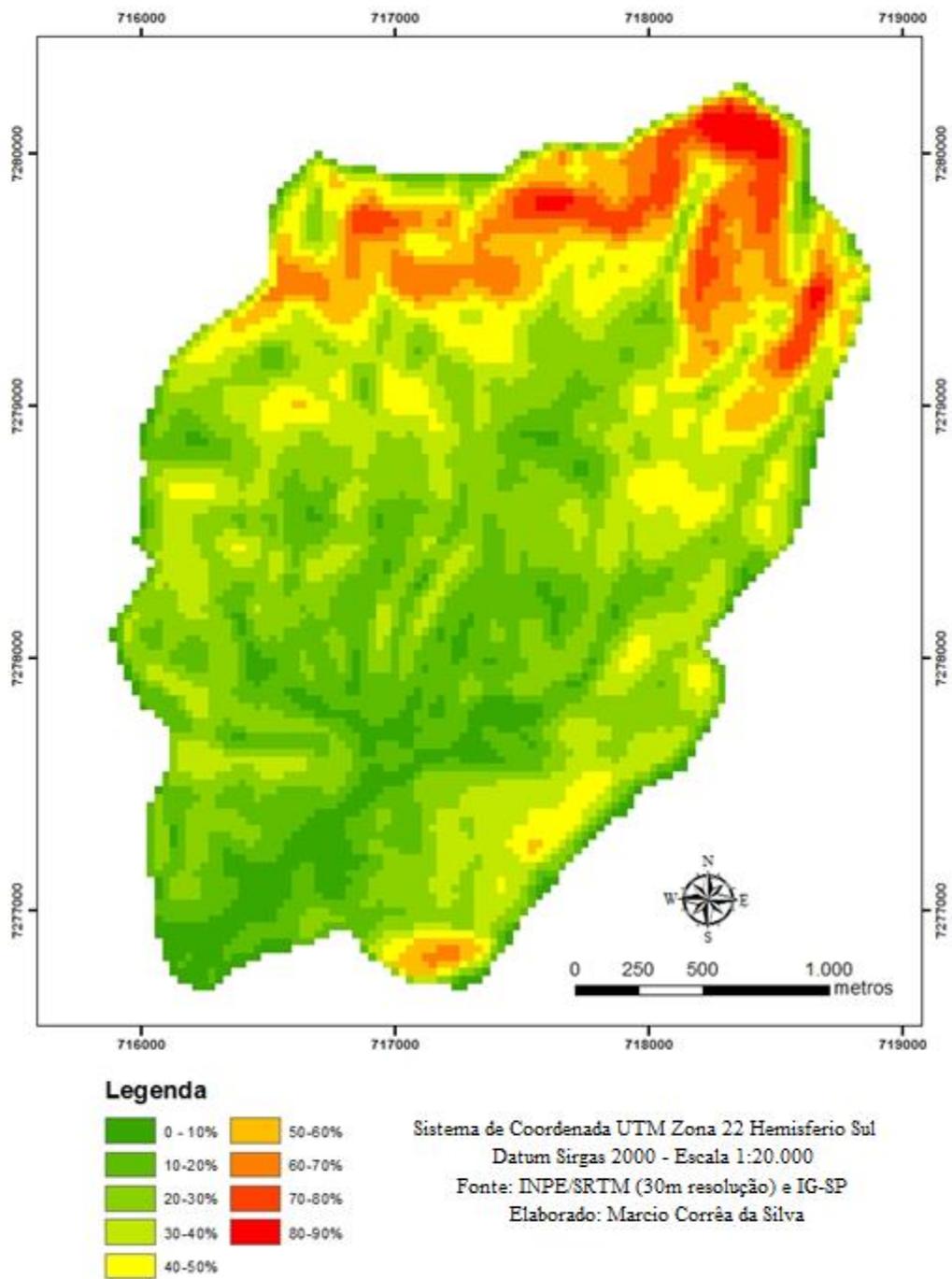


Figura 4.2 – Mapa de declividade da bacia do Córrego do Guarda Mão

A geração do modelo digital de elevação do terreno é fundamental a compreensão da elevação média, relevo e base necessária para cálculos da morfologia do terreno da bacia do córrego Guarda Mão. A bacia tem uma variação entre 700 metros aproximadamente, entre a jusante e montante do córrego Guarda Mão (Figura 4.3).

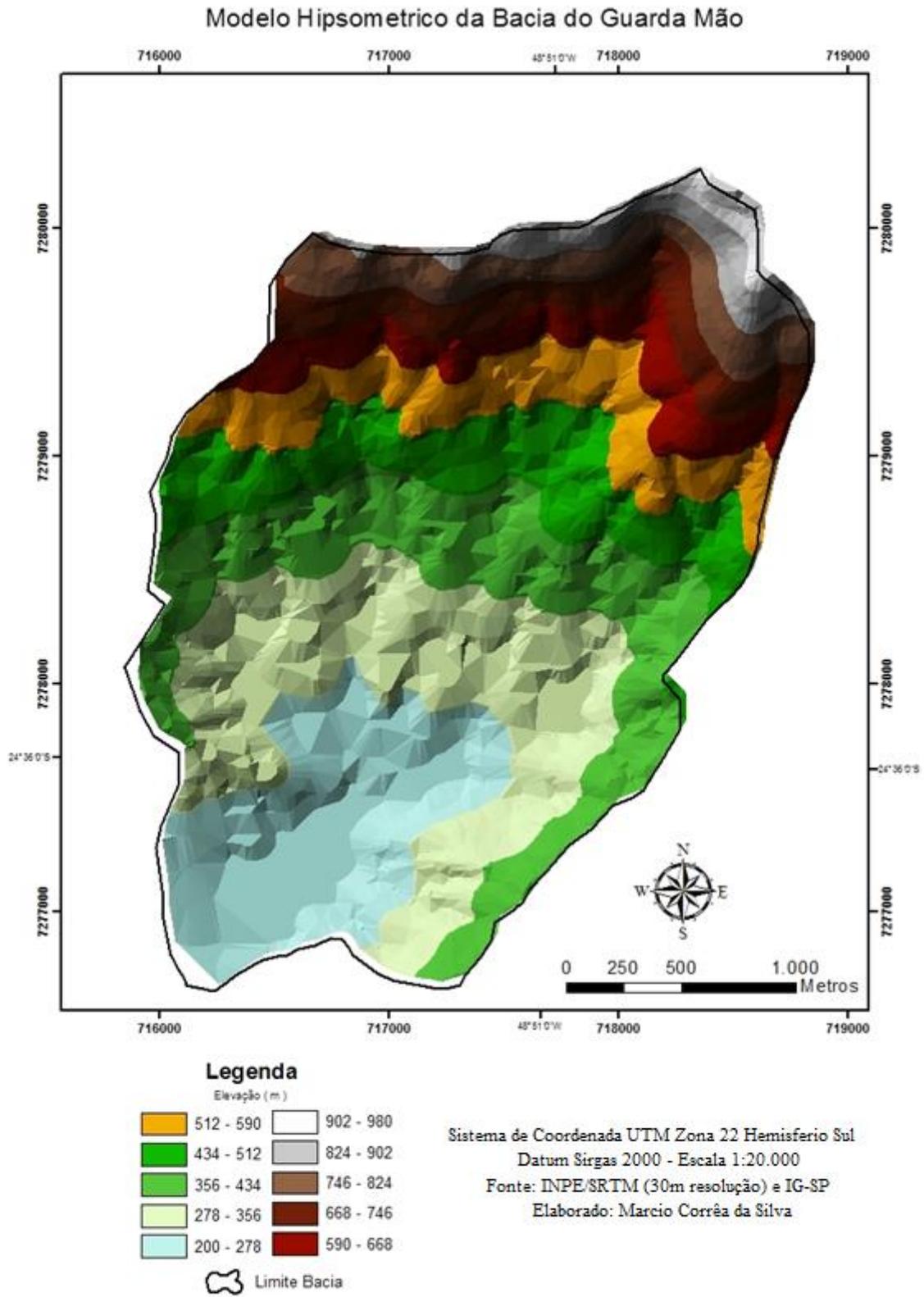


Figura 4.3 – Modelo hipsométrico da bacia do Guarda Mão.

4.1.3 Rede de Drenagens

A análise da bacia do córrego do Guarda Mão pelo método de Horton está demonstrada na figura 4.4. Esta análise possibilitou o cálculo do comprimento de todas as drenagens da bacia em 33,924 Km e o número de cursos d'água em 76.

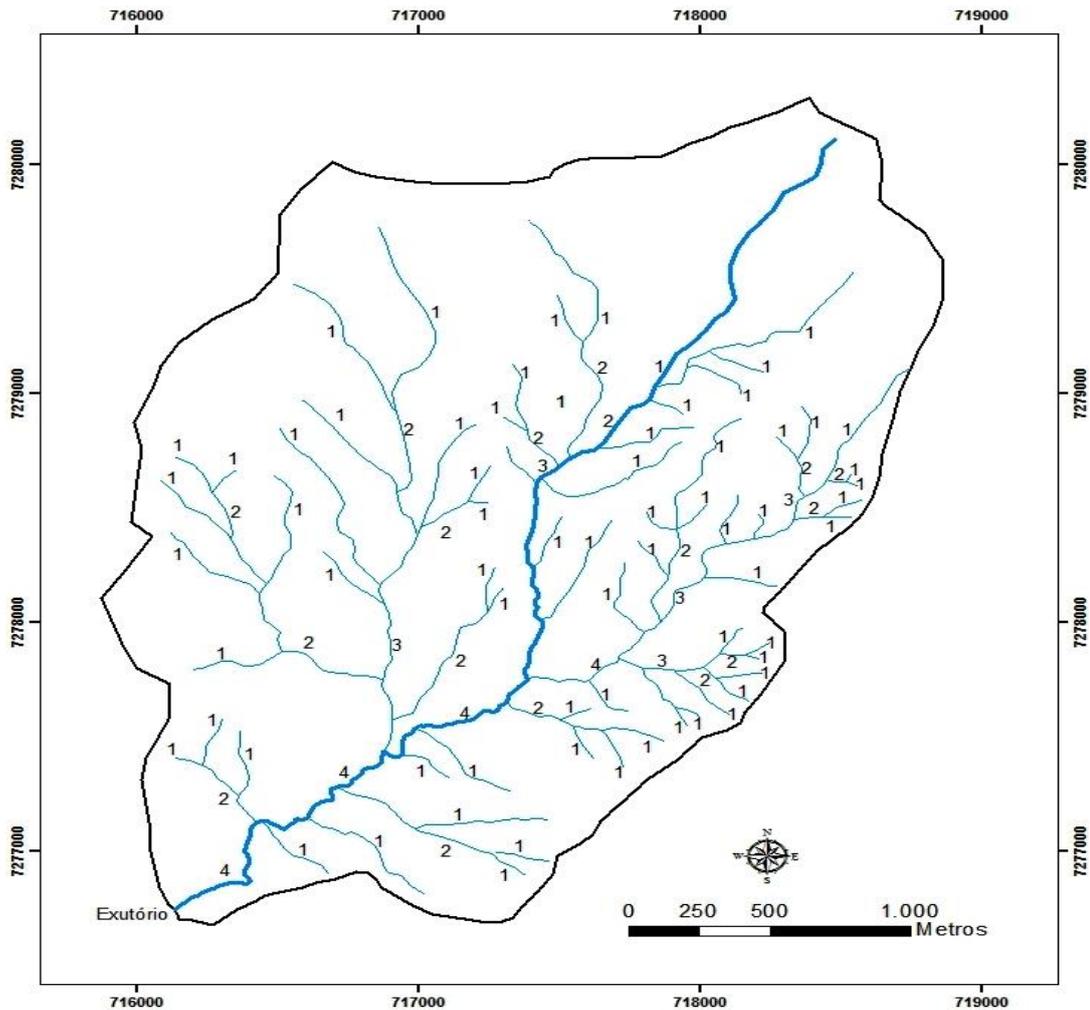


Figura 4.4 – Análise da rede de drenagem da bacia do Guarda Mão pelo método de Horton

O padrão de drenagem é um indicador das características de escoamento superficial de uma precipitação. Os parâmetros analisados na bacia do Guarda Mão foram a densidade das drenagens (Dd).

Densidade da Drenagem (Dd)

A densidade de drenagem é um indicativo da eficiência da drenagem na bacia. Quanto maior a densidade mais eficiente o sistema de escoamento superficial da bacia, aonde a água da chuva chegara mais rápido ao exutório da bacia (Porto 1999).

O resultado de 4,659 Km/Km² indica uma baixa densidade de drenagem. Os parâmetros utilizados indicam que < 5 km/km² ocorrem em bacias de baixa densidade de drenagem, entre 5-13 km/km² para bacias de média densidade > 13km/km² para as bacias de alta densidade (Porto 1999). Esta baixa densidade de drenagem é um indicativo de maior infiltração de água e conseqüente saturação do solo, provocando maior instabilidade.

4.1.4 Índice de Melton

Três áreas foram definidas para calculo do Índice de Melton. Duas áreas (Sub-Bacia 1 e 2) onde ocorrerem os eventos de debris flow em de janeiro de 2014, e a terceira área (Sub-bacia 3), onde não ocorreram eventos de movimentação de massa, mas que foi analisada para obtenção de parâmetros de controles sobre a bacia do Guarda Mão. O dimensionamento das sub-bacias é feito a partir do início da deposição do material em um ponto observado em campo. As sub-bacias estão demonstradas na figura 4.5.

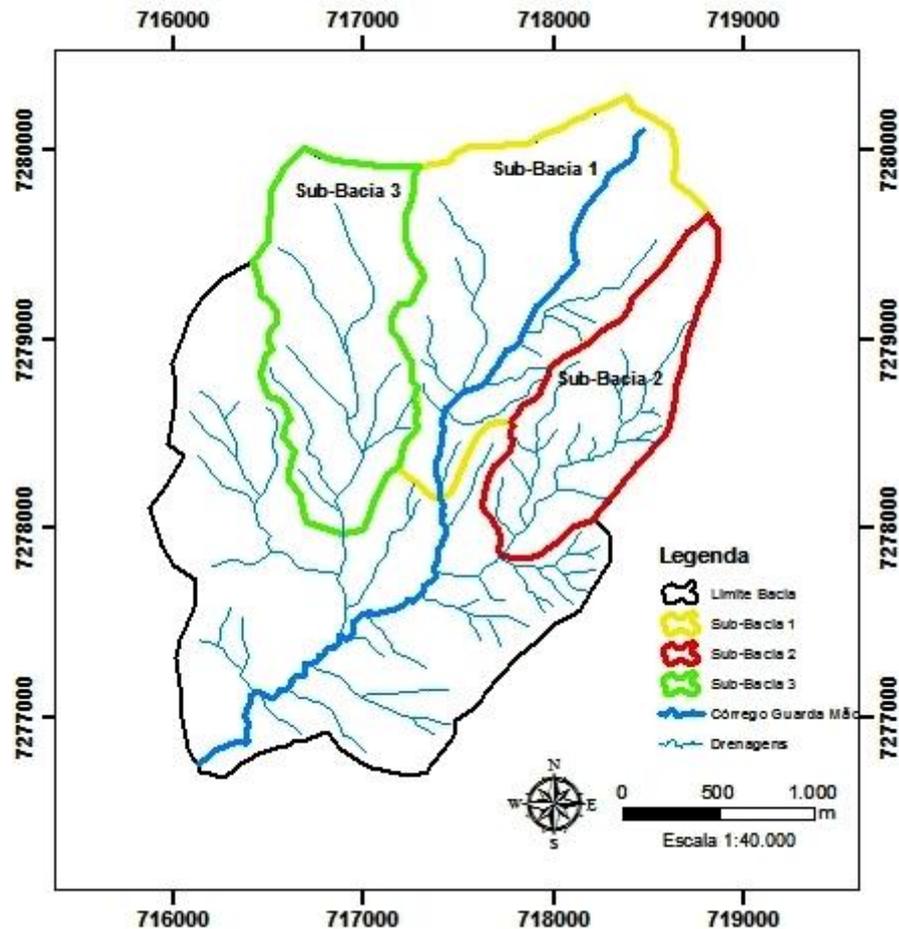


Figura 4.5 – Sub-bacias analisadas para cálculo do índice de Melton

Para a sub-bacia 1 encontrou-se a diferença de elevação de 657m e uma área total de 1,89 km², nesta sub-bacia encontra-se o córrego Guarda Mão. Para a sub-bacia 2, a diferença de elevação está em 655m para uma área total de 0,93 Km². A Sub-bacia 3, possui uma diferença de elevação de 570m para uma área total de 1,30 Km². Outro importante parâmetro obtido em GIS para análise foi o comprimento axial das sub-bacias. A sub-bacia 1 possui um comprimento de 2,4 km, sub-bacia 2 com comprimento de 1,76 km e a Sub-bacia 3 com comprimento axial de 2,31 km. A partir destes parâmetros obtidos em GIS foi possível o cálculo do índice de Melton, que se encontra na tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Cálculo do índice de Melton para as sub-bacias.

	Relevo da Sub-Bacia (m)	Área Total da Sub-Bacia (Km ²)	Índice de Melton
Sub-Bacia 1	657	1,89	0,48
Sub-Bacia 2	555	0,93	0,57
Sub-Bacia 3	570	1,3	0,49

A partir de modelo proposto por Wilford et al (2004), podemos classificar os valores obtidos anteriormente, como os valores do índice de Melton e o comprimento das sub-bacias, para determinação dos limiares de perigo (*hazards*) para risco de ocorrência para fluxo de detritos, detritos de inundação e fenômenos fluviais. Estas categorias encontram-se descritas a seguir:

- $R < 0,30$: limiar do qual os processos fluviais convencionais são geralmente o processos dominantes em uma bacia hidrográfica;
- $R 0,30-0,60$: limite para a bacia hidrográfica é propensa à ocorrência de *debris floods* e inundações;
- $R > 0,60$: limite acima do qual bacia a hidrográfica é propensa a debris flow;

Wilford et al. (2004) também definiu classes para os valores de comprimento das bacias hidrográficas (WL), com seguinte hierarquização:

- $WL \leq 2.7$ km, o fluxo de detritos pode ocorrer na bacia hidrográfica;
- $WL > 2.7$ km, processos e/ou detritos fluviais e inundações são os processos dominantes na bacia hidrográfica.

Através da associação do índice de Melton (R) e o comprimento da bacia (WL), Welsh (2007) hierarquizou a bacias em relação a risco de eventos de fluxo ou inundações em 6 categorias, demonstrada na tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Combinação de R e WL e sua associação. Modificado de Welsh (2007)

Categoria	Associação
A	R < 0,30 ; Comprimento > 2,7 km
B	R < 0,30 ; Comprimento < 2,7 km
C	R 0,30 - 0,60 ; Comprimento > 2,7 km
D	R 0,30 - 0,60 ; Comprimento < 2,7 km
E	R > 0,60 ; Comprimento > 2,7 km
F	R > 0,60 ; Comprimento < 2,7 km

Ao analisarmos os resultados dos índices de Melton e comprimento da bacia, podemos classificar as sub-bacias como categoria D, sendo uma categoria de bacias hidrográficas com média propensão a ocorrências de eventos de fluxo de materiais (*debris flow*) e inundações. O índice de Melton tem sua eficiência em analisar bacias de dimensões inferiores a 7 km². Por ser uma análise em ambiente GIS, os fatores geológicos e geotécnicos devem ser analisados em conjunto.

4.2 Caracterização Geológica

A área de estudo está localizada no Terreno Apiaí, compreendendo rochas supracrustais metamorfisadas e batólitos graníticos neoproterozóicos (Faleiros et al., 2011). O mapa geológico da região do córrego Guarda Mão esta apresentado na Figura 4.6.

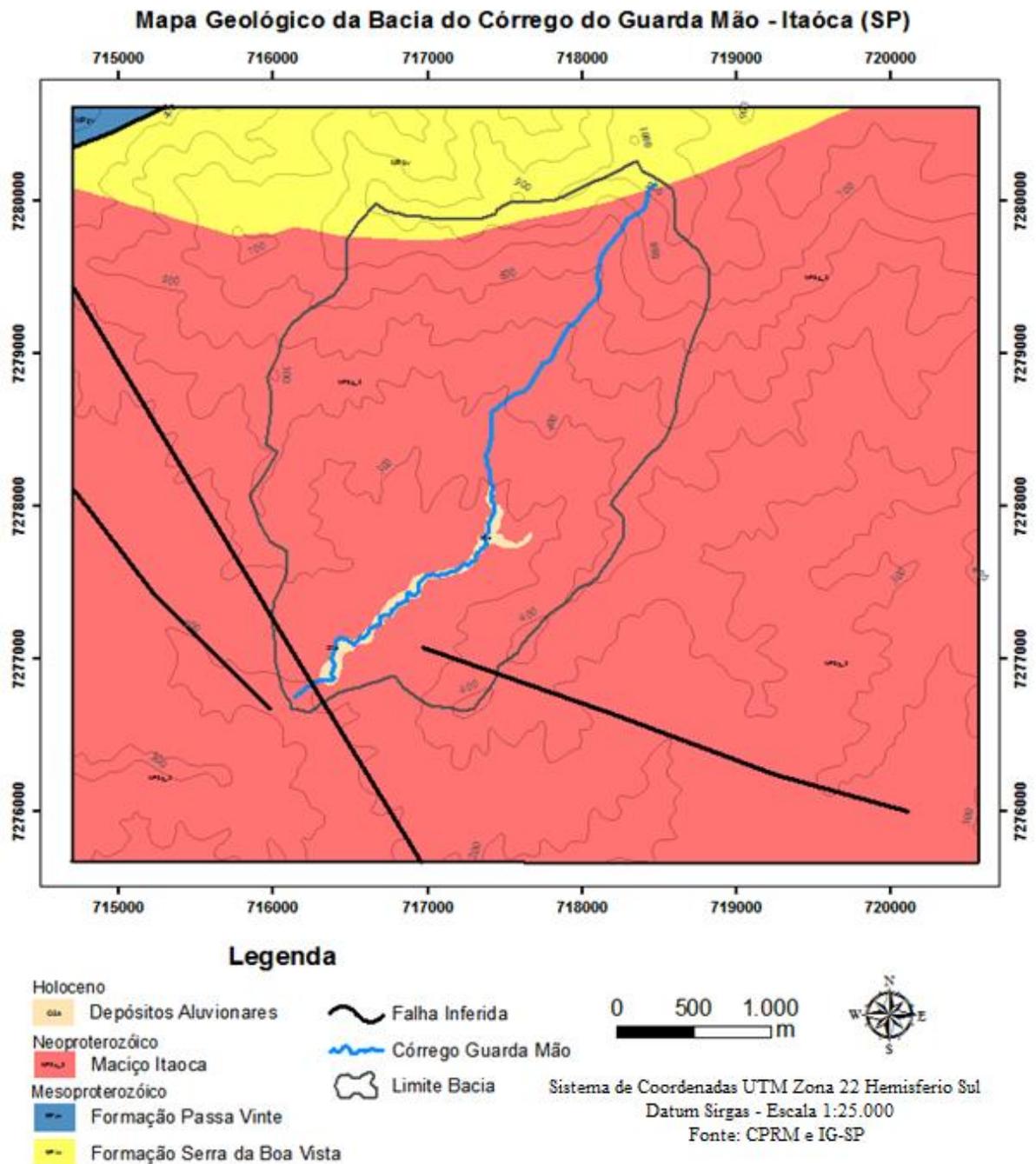


Figura 4.6 – Mapa geológico regional. Compilado dados CPRM e IG-SP

A Formação Serra da Boa Vista tem seu topo e base constituída principalmente por metarenitos bandados. A porção central da formação apresenta metarenitos, metassiltitos e filitos com estratificação plano paralela (Campanha e Sadowiski 1999).

A Formação Passa Vinte é constituída por metacalcários calcíticos e dolomíticos bandados. Ocorrem laminações cruzadas nos metacalcários. Subordinadamente ocorrem xistos, metarenitos e filitos (Campanha e Sadowiski 1999).

Entre as intrusões mais importantes no Terreno Apiaí está o Maciço Granítico Itaoca, onde esta localizada a bacia do córrego Guarda Mão, constituídos predominantemente por granodioritos a monzogranitos (Faleiros 2012).

O Maciço Itaoca se constitui em corpo intrusivo, que aflora em área superior a 200 km² sob a forma aproximadamente elipsoidal, mais alongada na direção leste-oeste. O Maciço Itaoca tem uma exposição restrita e balizada por falhas ou zonas de cisalhamento.

Mello (1995) descreve o Maciço Itaoca em três unidades. A Unidade Itaoca compreendendo as fácies cinza, a Unidade Saltinho compreende as fácies róseas e a Unidade Milonítica, compostas por granitos deformados por falhamentos. O córrego Guarda Mão esta inserido na Unidade Itaoca. Esta unidade corresponde a cerca de 70% do Maciço.

Em relação às rochas encaixantes, o maciço está discordante a parcialmente concordante, sendo que nessa última situação são quase sempre nítidos o arqueamento e o basculamento das unidades metassedimentares, em decorrência do mecanismo intrusivo. Esta característica, aliada ao desenvolvimento de auréola termo metamórfico mais ou menos evidente no contato do batólito com as encaixantes vizinhas, torna possível considerá-lo como um corpo granítico circunscrito (Mello 1995).

Esta unidade é interpretada por Mello (1995) como produto de autometassomatismo das fases intrusivas a partir de processos de alteração tardi a pós-magmático (fácies Itaoca e Saltinho) e uma fase de deformação na borda sul do batólito ocasionados pela ação transcorrente do Lineamento Ribeira sobre o maciço.

4.2.1 Geologia do Córrego Guarda Mão

Na região de estudos dos eventos de ocorrência dos *Debris flow* em janeiro de 2014, no córrego do Guarda Mão, as rochas granitoides estão expostas em matacões e blocos em meio à encosta e principalmente como lajes no talvegue e nos taludes marginais do córrego Guarda Mão. Esta morfologia é recente, devido à erosão lateral provocada pelos movimentos de massas e transporte de material ao longo do percurso dos *Debris flow* (Figura 4.7).

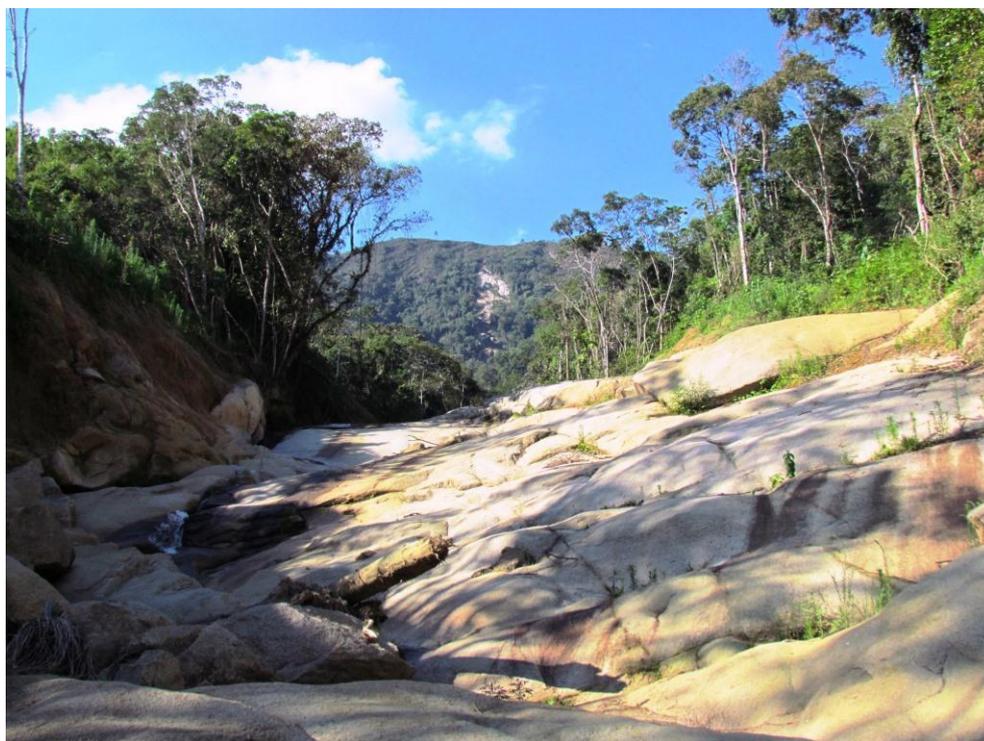


Figura 4.7 – Exposição rocha granítica sob forma de lajes no leito do córrego Guarda Mão.

Ponto 14.

Ao longo do canal, lajes de granito de coloração cinza com estrutura maciça e textura inequigranular constituem a formação de base do canal. Composta por feldspato potássico, plagioclásio, quartzo, biotita e anfibólio. Os granitoides são cortados por diques aplíticos e pegmatíticos com espessuras variáveis entre 5 cm a 20 cm (Figuras 4.8 e 4.9).



Figura 4.8 – Laje de granito de coloração cinza. Ponto 14

Variações faciológicas dos granitoides são encontradas a montante do córrego do Guarda Mão, granitoides de cor cinza avermelhado de textura porfiróides, exibem megacristais de feldspato potássico idiomórficos e hipidiomórficos em uma matriz de granulação média a grossa composta de plagioclásios, quartzo, biotita e anfibólios. Ocorrem veios milimétricos a centimétricos de quartzo e acúmulos de feldspato potássico (Figura 4.9).



Figura 4.9 – Fácies porfirítica do Maciço Itaoca, cortada por dique aplitico. Ponto 16

O mapeamento da variação faciológica verificada em campo no córrego Guarda Mão está fora do escopo do presente trabalho. Verifica-se, por outro lado, que não há alteração da composição e característica dos horizontes dos solos proveniente destas diferentes fácies granitoides. Consequentemente, não há alteração das características geotécnicas da região aflorante.

As rochas do córrego Guarda Mão são equivalentes a monzogranitos e quartzo monzonitos segundo a classificação de Streckeisen, Estruturalmente apresenta pequenas fraturas e falhas com ângulo de 53° a 82° e azimute 125° a 175° , ocasionando deslocamento dos veios de quartzo (Figura 4.10). Devido a grande quantidade de blocos movimentados, não foi possível observar um padrão de fraturas ou falhas na bacia do córrego Guarda Mão.



Figura 4.10 – Veio de quartzo deslocado, laje granítica. Ponto 15.

Corpos filonares são observados, que correspondem a diques de rochas subplutônicas máficas centimétrico a métricos que cortam os granitoides encaixantes segundo contatos retos e bem definidos, com ângulo de 62° e azimute 135° . A composição de mineralógica consiste de máficos de anfibólio, biotita e piroxênio (Figura 4.11).



Figura 4.11 - Dique de composição gabrítica. Ponto 26.

Enclaves de composição diorítica também estão presentes (Figura 4.12). Mello (1995) descreve estes enclaves como sinais de participação de material mantélico na gênese de granitoides.



Figura 4.12 – Enclave máfico. Ponto 26

Depósitos arenosos são encontrados a jusante do córrego Guarda Mão, associados a estes sedimentos, depósitos de blocos e matacões provenientes dos escorregamentos recentes e antigos na região depositaram se ao longo do canal do córrego, formando cordões laterais de blocos, matacões e seixos de rocha granítica (Figura 4.13).



Figura 4.13 – Depósitos aluvionares recente. Material depositado pelo evento de janeiro/2014. Ponto 32

4.2.2 Solos da Bacia do Guarda Mão.

Devido às características geológicas da bacia do Córrego do Guarda Mão, onde há um predomínio dos monzogranitos do Maciço Itaoca, os solos originados pelo intemperismo desta rocha, não possuem uma variação significativa quanto as suas características físicas e composicionais na região, formando solos de características homogêneas ao longo da bacia de estudo.

São identificáveis três tipos de solos ao longo da área da bacia do Guarda Mão, um nível de solo argiloso mal selecionado com matéria orgânica superficial (Colúvio), solo residual intermediário (Solo Eluvial) e um solo saprolítico (Solo de Alteração) de rocha granítica. Para o critério de classificação dos solos, foi usado o trabalho de Vaz (1996) de classificação genética dos solos e horizonte de alteração de rocha em regiões tropicais.

Colúvio (CO)

Solo presente nas áreas mais aplanadas, como planícies e topos de morro, com espessura entre 1 a 3 metros. Com cor marrom avermelhado de composição argilo siltoso, textura siltosa, comportamento plástico na presença de água. Sofre maior ação das águas superficiais. Maior concentração de argilominerais e matéria orgânica, presença de seixos e grânulos de quartzo e feldspato dispersos no solo (Figura 4.14).



Figura 4.14 – Exposição de Solo Coluvionar. Ponto 12

Solo Eluvial (SE)

Solo predominante na região, com espessuras entre 1 a 4 metros. Forma grande partes dos taludes marginais do córrego Guarda Mão e demais drenagens. Vegetação original retirada nas encostas em geral expõe estes materiais à ação de águas superficiais e à erosão. Possui coloração avermelhada, matriz de composição de silte e argila, com níveis mais arenosos e presença de seixos de quartzo e feldspatos. Solo bastante friável. Matações da rocha original estão dispostos em meio ao horizonte de alteração (Figura 4.15).



Figura 4.15 – Solo Eluvial. Ponto 23

Solo de Alteração (SA)

Solo sobreposto à rocha sã, com espessuras entre 1 a 3 metros. Exposto nos taludes ao longo da margem do córrego Guarda Mão. Solo de cor vermelha, textura arenosa e uma estrutura de uma orientação mineral incipiente ainda. Veios de quartzo milimétricos a centimétricos preservados. Presença de minerais de quartzo, feldspato e biotita não intemperizados (Figura 4.16). Observado intemperismo esferoidal (Figura 4.17) em blocos e matacões em meio horizonte do solo.



Figura 4.16 – Solo de alteração. Ponto 17



Figura 4.17 – Intemperismo esferoidal em rochas granítica. Ponto 19

A partir de dados descritos em campo e fotointerpretação, foi gerado um mapa de materiais inconsolidados solos da bacia do córrego Guarda Mão (Figura 4.18)

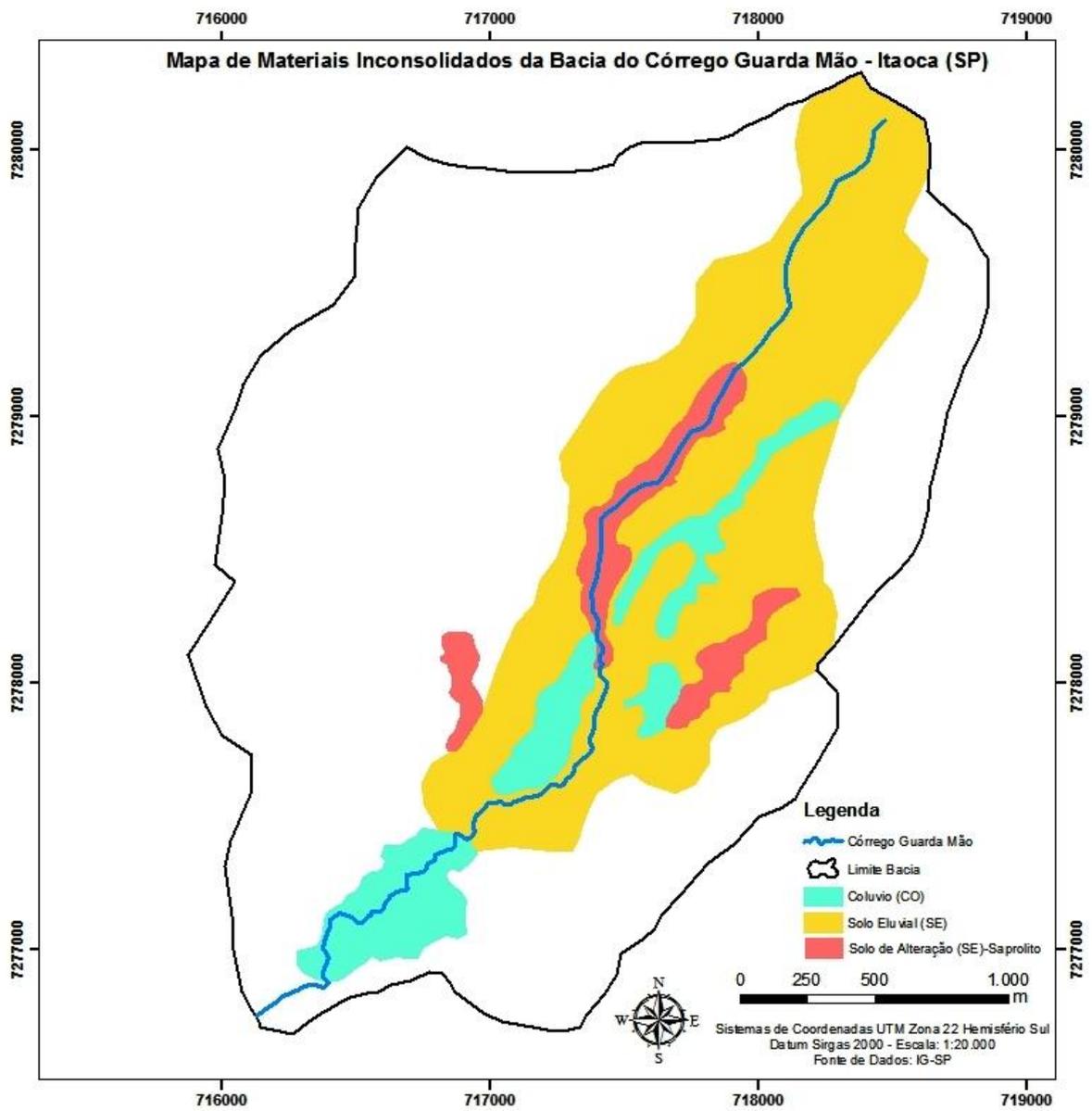


Figura 4.18 – Mapa de materiais inconsolidados da bacia do Guarda Mão.

4.2.3 Morfologia dos Depósitos de Debris Flow

A região do córrego Guarda Mão é geologicamente muito homogênea. Esta baixa complexidade geológica e geotécnica influi diretamente na ocorrência e descrição dos eventos de *debris flow*. Com o objetivo de integrar os dados geológicos, geotécnicos e morfométricos da bacia, foram descritos 9 perfis para compreensão das feições morfológicas ocasionadas pelo evento de *debris flow* de janeiro de 2014 (Figura 4.19).

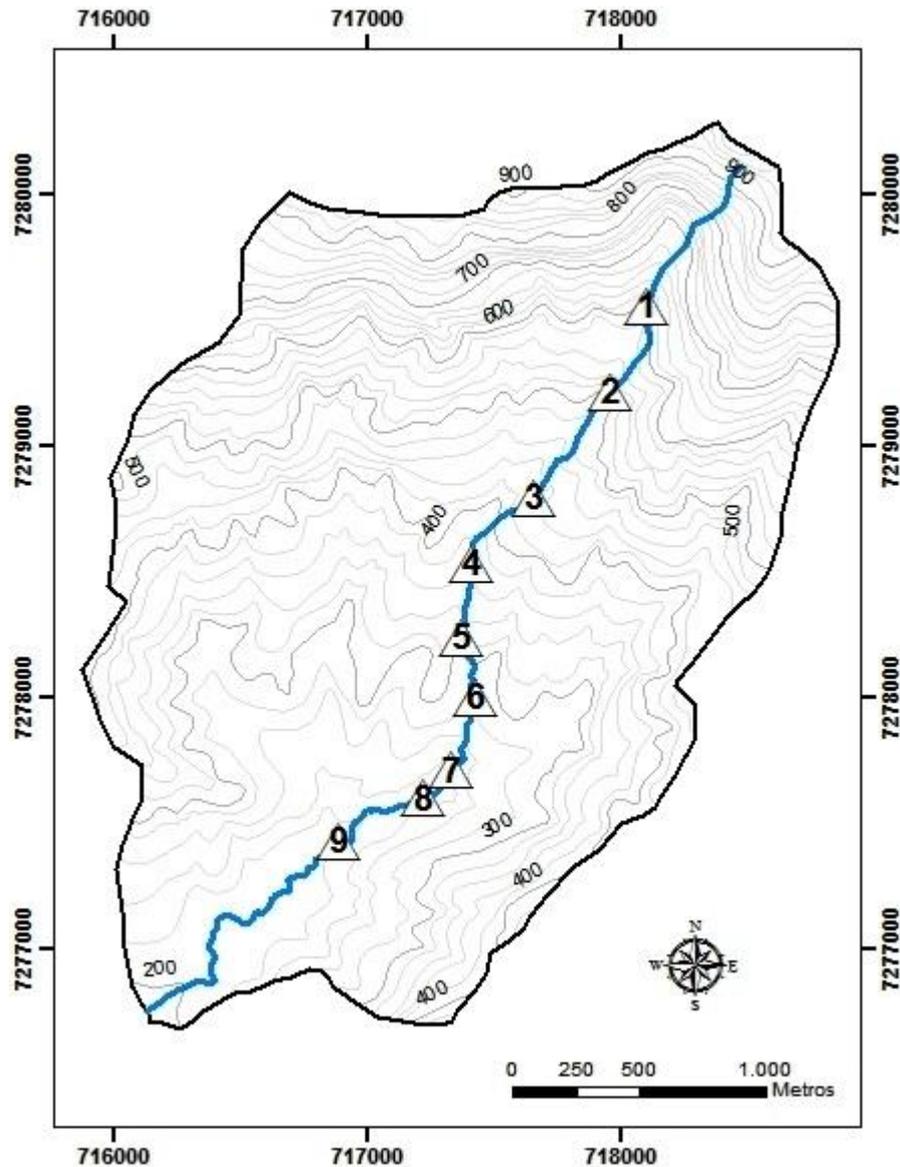


Figura 4.19 – Localização dos perfis descritos na bacia do Córrego Guarda Mão.

Perfil 1

Ponto de descrição mais a montante do córrego Guarda Mão. Os taludes marginais possuem inclinações superiores a 45%, onde predominam o processo de erosão do canal e formando depósitos de matacões graníticos e exposição do embasamento granítico sobreposto por um horizonte de solo com características saprolíticas.

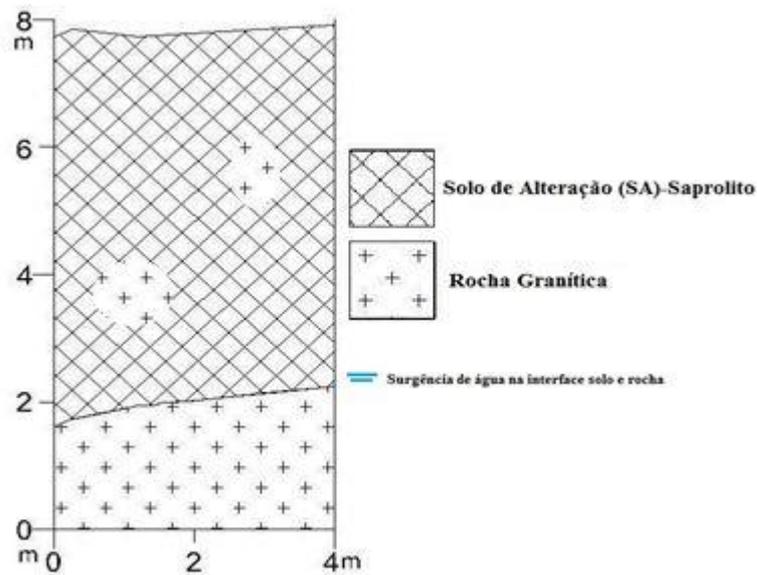


Figura 4.20 – Perfil 1 – Geológico/Geotécnico

As análise granulométrica do solo de alteração saprolítico apresenta uma composição de níveis de areia superiores a 60% em sua composição. Nos ensaios do Limite de Atterberg o solo apresentou um comportamento não plástico e com uma consistência de rija a dura. O contato do embasamento e o solo de alteração é bem definido. É observado na interface deste contato a surgência de água e um nível de saturação do solo com água acima da rocha (Figura 4.21).



Figura 4.21 – Exudação de água na interface entre rocha alterada e rocha sã – Ponto 18

Neste ponto de maior inclinação do perfil longitudinal (declividades superiores a 35%) do córrego Guarda Mão, a lâmina d'água possui menor profundidade e maior velocidade de escoamento superficial da água, aumento da energia potencial dos escorregamentos e a erosão dos taludes marginais. Processos erosivos são observados ao longo da margem e nos taludes, com transporte de blocos e matacões de rocha e depósitos arenosos em forma de barras nas margens do córrego.

Perfil 2 e Perfil 3

Os perfis 1 e 2 (Figuras 4.22 e 4.23 respectivamente), apresentam características semelhantes, com três horizontes geológico-geotécnicos definidos, tendo na base o solo de alteração saprolítico, com comportamento não plástico e consistência dura. O solo preserva características estruturais da rocha pretérita, com seixos e matacões preservados dispersos em meia a matriz do solo.

No nível intermediário ocorre o solo eluvial, composto por areia e silte essencialmente, com comportamento não plástico e de consistência dura. Este solo ainda preserva algumas características mineralógicas da rocha original, com seixos de quartzo e feldspatos dispersos na matriz do solo. O ensaio de cisalhamento direto (c) da amostra do ponto 15 (perfil 2), apresentou uma coesão baixa de 16 KPa e ângulo de atrito interno (ϕ) de 32°.

No topo ocorre o solo de colúvio, com maior presença de argilominerais e matéria orgânica. Possui uma coloração avermelhado e comportamento moderadamente plástico nos ensaios de Limites de Atterberg e um índice de consistência rijo a duro. Ensaios de cisalhamento direto apresentaram maior valor de coesão (c) 41,5 KPa e o ângulo de atrito interno (ϕ) de 31,1°, ensaio realizado no Ponto 17 (perfil 3).

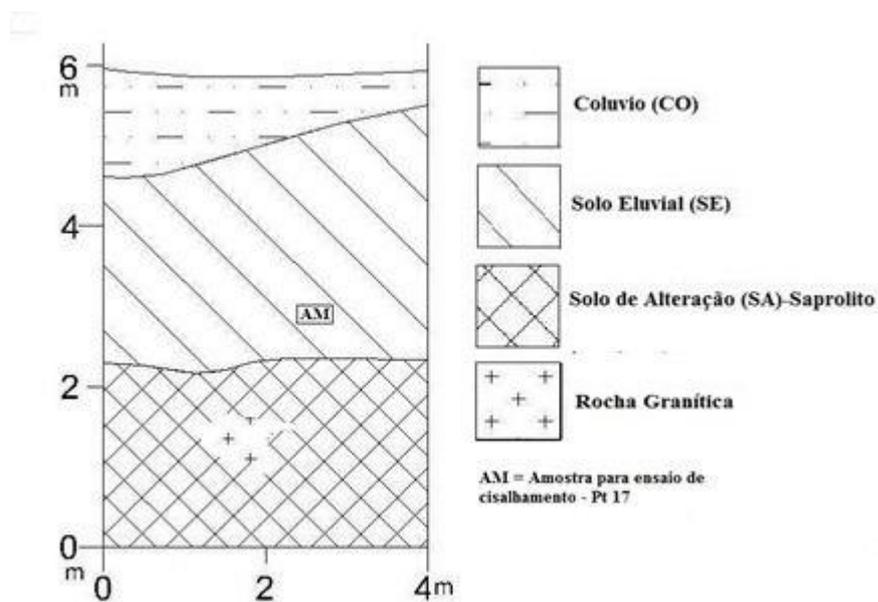


Figura 4.22 – Perfil 2 – Geológico/Geotécnico

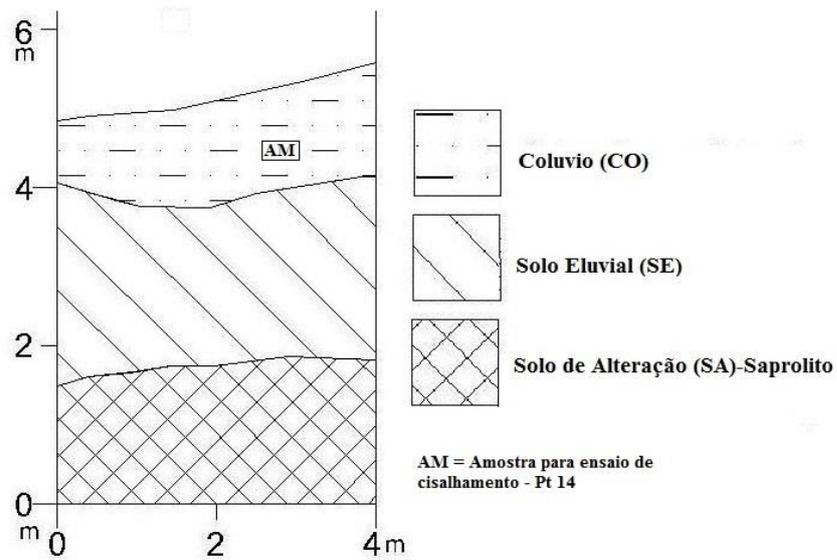


Figura 4.23 – Perfil 3 – Geológico/Geotécnico

Feições de erosão superficial são observadas neste nível, na forma de pequenas ravinas nos topos dos morros nos horizontes dos solos eluviais e colúvios, e na intensa erosão lateral nos níveis de solos de alteração saprolítico. A característica morfométrica do canal é tipicamente de formato em “U”, com trechos onde o fluxo pode ter características de confinamento, mas devido à intensidade dos fluxos dos escorregamentos, materiais de menor granulometria, foram depositados sobre blocos e matacões nas margens e topos dos taludes, sendo indicativo do transbordamento de material no canal (Figura 4.24).



Figura 4.24 – Material mal selecionado do debris flow depositado sobre bloco de monzogranitos – Ponto 15.

Perfil 4

O monzogranito porfirítico de cor vermelha é substituído pelo monzogranito e granodioritos de coloração cinza com granulação mais fina e maior presença de minerais máficos. A intercalação destas duas fácies destes granitos é característico ao longo da bacia.

O solo de alteração saprolítico composto por areia e silte constituem os taludes marginais do córrego, com presença de blocos e seixos em meio a matriz. Composto essencialmente por areia, o solo tem comportamento não plástico e consistência dura. Não há variação lateral nas características dos solos e níveis mais argilosos é observado nos topos dos taludes (Figura 4.25).

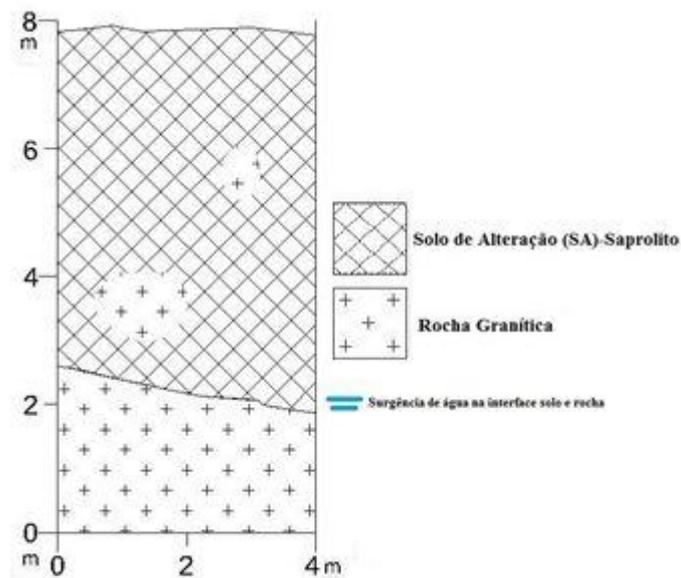


Figura 4.25 – Perfil 4 – Geológico/Geotécnico

A declividade do canal da bacia neste ponto está a cerca de 25% e o formato do canal começa a ter maior abertura, diminuindo a característica de confinamento. Os taludes das margens sofrem menor inflexão em seu ângulo junto à drenagem.

Neste ponto da bacia ocorrem os maiores evidências dos processos erosivos laterais e transporte de material nas margens e nos taludes do córrego Guarda Mão. Ao longo da drenagem, formam se depósitos de blocos e matações de rochas, depósitos arenosos com espessura centimétrica em forma de cordões e barras (Figura 4.26).



Figura 4.26 – Erosão lateral ocasionada pelo debris flow – Ponto 20.

Perfil 5

Os Solos Eluviais deste ponto apresentam um comportamento mais plástico e menos rijo. Presença de argila e matéria orgânica diferencia em relação ao Solo de Alteração granítica, mais arenoso e coeso, comportamento não plástico e com composição mais arenosa (Figura 4.27).

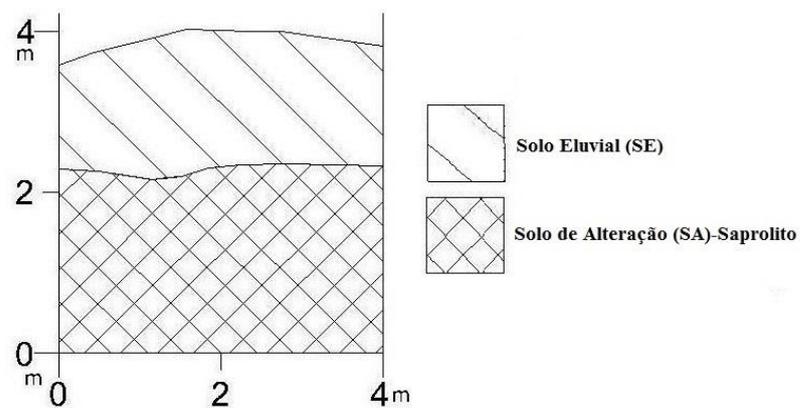


Figura 4.27 – Perfil 5 – Geológico/Geotécnico

A erosão lateral nos taludes do córrego é observada nos solos de alteração, enquanto nos solos eluviais as erosões apresentam em forma de pequenas ravinas e escorregamentos translacionais (Figura 4.27). Devido a erosão, a largura do canal é maior que nos trechos anteriores (Figura 4.28).



Figura 4.28 – Escorregamentos translacionais rasos em solo de colúvio. – Ponto 5



Figura 4.29 – Erosão lateral das margens, aprofundamento do canal e deposição de blocos no talvegue do córrego Guarda Mão – Ponto 4

Perfil 6 e 7

Os Solos Eluviais das regiões onde foram descritos os perfis 6 e 7 (Figuras 4.30 e 4.31) são mais desenvolvidos pedologicamente, com maior presença de matéria orgânica e maior espessura. Possuem coloração vermelha escuro, maior composição de argila, 20% na composição, intercalados em níveis arenosos. Nas análises geotécnicas os solos apresentaram características levemente plásticas e consistência rija.

Os Solos de Alteração destes perfis acompanham as características gerais da área: são solos não plásticos, com consistência dura e que preservam a estrutura original da rocha pretérita, com minerais de quartzo, feldspatos preservados. A base do perfil é o monzogranito de estrutura maciça e textura equigranular, no qual formam lajes ao leito do córrego Guarda Mão.

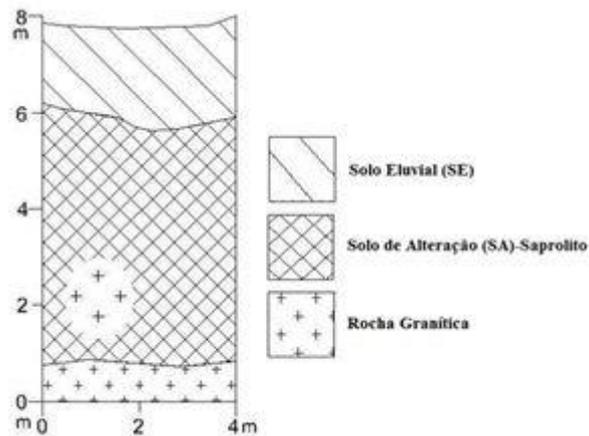


Figura 4.30 – Perfil 6 – Geológico/Geotécnico

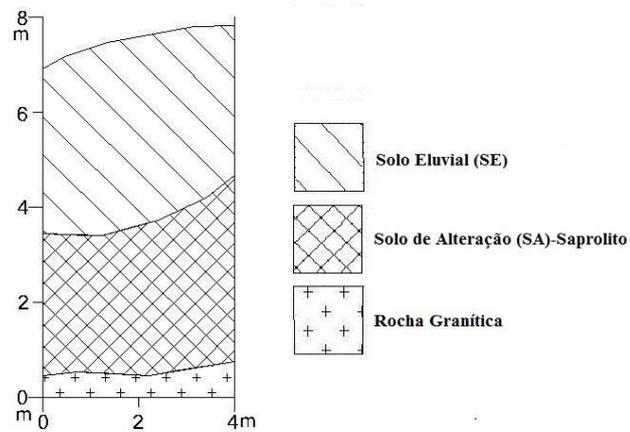


Figura 4.31 – Perfil 7 – Geológico/Geotécnico

Os perfis 6 e 7 marcam o início do leque deposicional do debris flow, o canal sofreu remodelamento pela passagem do fluxo, aumentando a largura da seção do córrego. Com a diminuição do gradiente altimétrico há predomínio da deposição dos matacões e blocos de rochas graníticas, troncos de árvores e a remobilização do solo residual do trecho (Figura 4.32).



Figura 4.32 – Início da deposição do debris flow – Ponto 28.

Perfil 8

Neste ponto há formação do leque deposicional do *debris flow*, blocos e matacões de rocha estão espalhados ao longo do leque deposicional, os matacões de altura e diâmetro médio de 2 m, mas ocorrendo blocos maiores que 5 metros de altura, encontram-se fraturados, estrias que evidenciam transporte e impacto.

Em meio aos blocos e matacões, há uma matriz de cascalhos e níveis de deposição de areia mais grossa. Nestes depósitos arenosos, ocorre uma inversão granulométrica, com areia média a fina depositada mais a base e areia grossa no topo do estrato sedimentar. O Solo eluvial encontra-se na base do perfil, porém pode ser produto de remobilização anterior e outros fluxos anteriores (Figura 4.33).

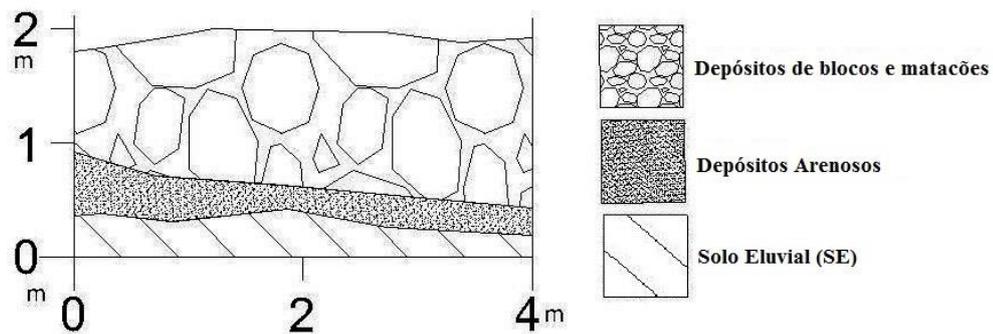


Figura 4.33 – Depósitos associados ao evento de debris flow de janeiro de 2014. Perfil 8 – Geológico/Geotécnico

Nos topos de alguns blocos é identificada deposição de areia grossa com seixos e matacões, evidenciando a altura alcançada pelo fluxo. As características sedimentológicas destes depósitos são os imbricamentos dos matacões, inversão granulométrica e predomínio dos matacões de maiores dimensões na porção frontal do debris flow. Figura 4.34 mostra o leque deposicional e o sentido do fluxo.



Figura 4.34 – Leque deposicional e o sentido do fluxo (N-S) – Ponto 30.

Perfil 9

A região de análise do perfil 9 encontra-se na porção mais a jusante do córrego Guarda Mão. Neste ponto, a característica principal é a redução da ocorrência de blocos e matações e a redução da erosão lateral. Há o predomínio da deposição de cascalho e areia grossa (Figura 4.35).

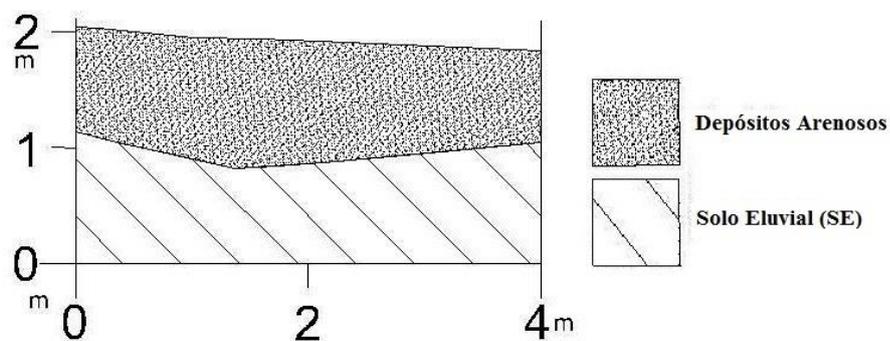


Figura 4.35 – Depósitos associados ao evento de debris flow de janeiro de 2014 - Perfil 9 – Geológico/Geotécnico

A bacia do Guarda Mão neste ponto possui a menor declividade, em torno de 10 a 15%, formando uma planície. O canal do córrego nesta porção adquire forma de meandros em meio a bancos de areia. No substrato há predomínio dos Solos Eluviais, sobrepostos por depósitos argilosos e arenosos intercalados, evidenciando inversão granulométrica e sucessivos fluxos de deposição (Figura 4.36 e Figura 4.37).



Figura 4.36 – Depósitos arenosos grosseiros com inversão granulométrica. Ponto 31.

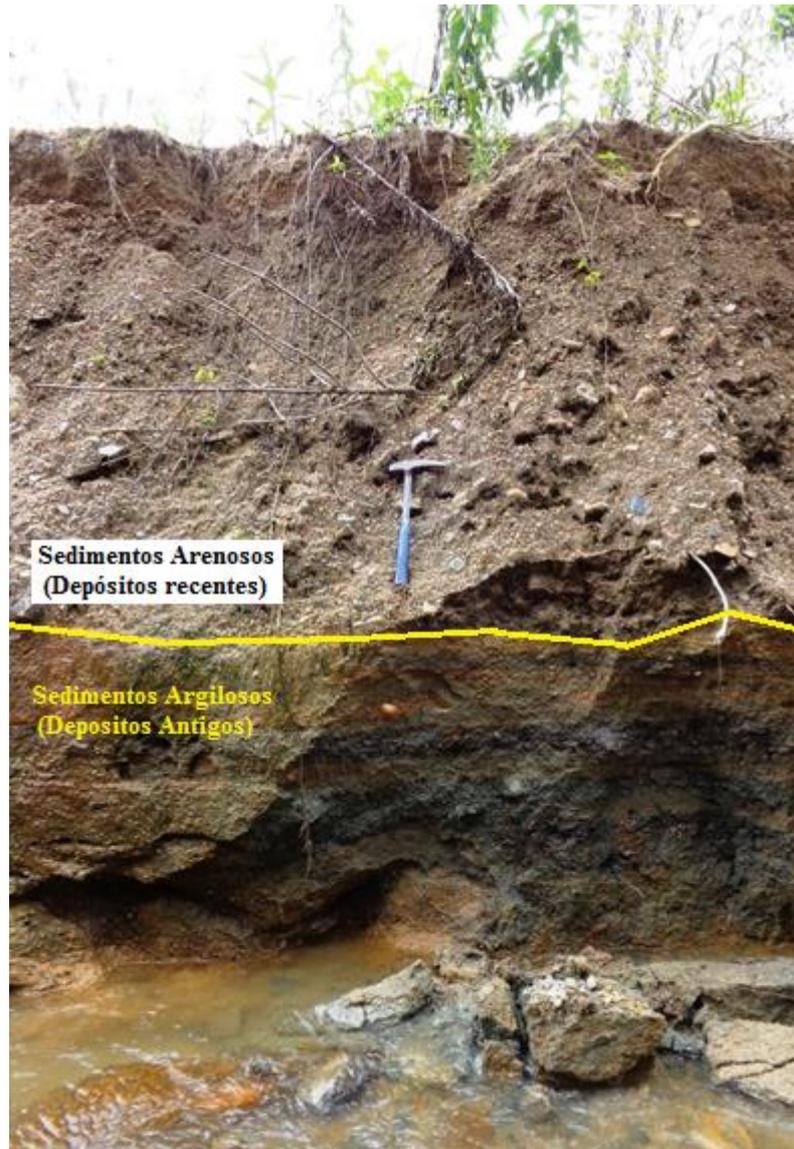


Figura 4.37 – Intercalação de depósitos argilosos e arenosos. Ponto 39

Em um primeiro trecho ocorreu o deslizamento e movimento de blocos rochosos; posteriormente no segundo trecho ocorreu o transporte dos produtos dos escorregamentos, erosão lateral dos taludes marginais e remobilização do material residual; em um terceiro trecho, inicia-se a deposição dos materiais de maior granulometria, formando depósitos de blocos, matacões, cascalho e areias mais grossas; na parte mais a jusante do córrego, ocorreu à deposição dos materiais mais finos, os sedimentos argilosos e arenosos do *debris flow* (Figura 4.38).

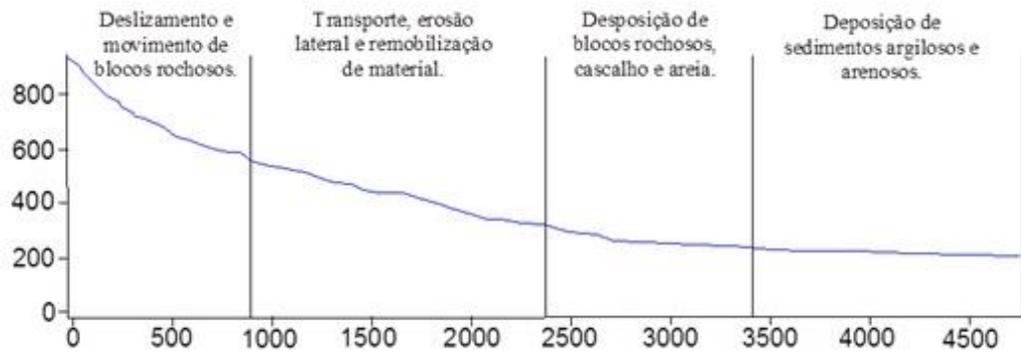
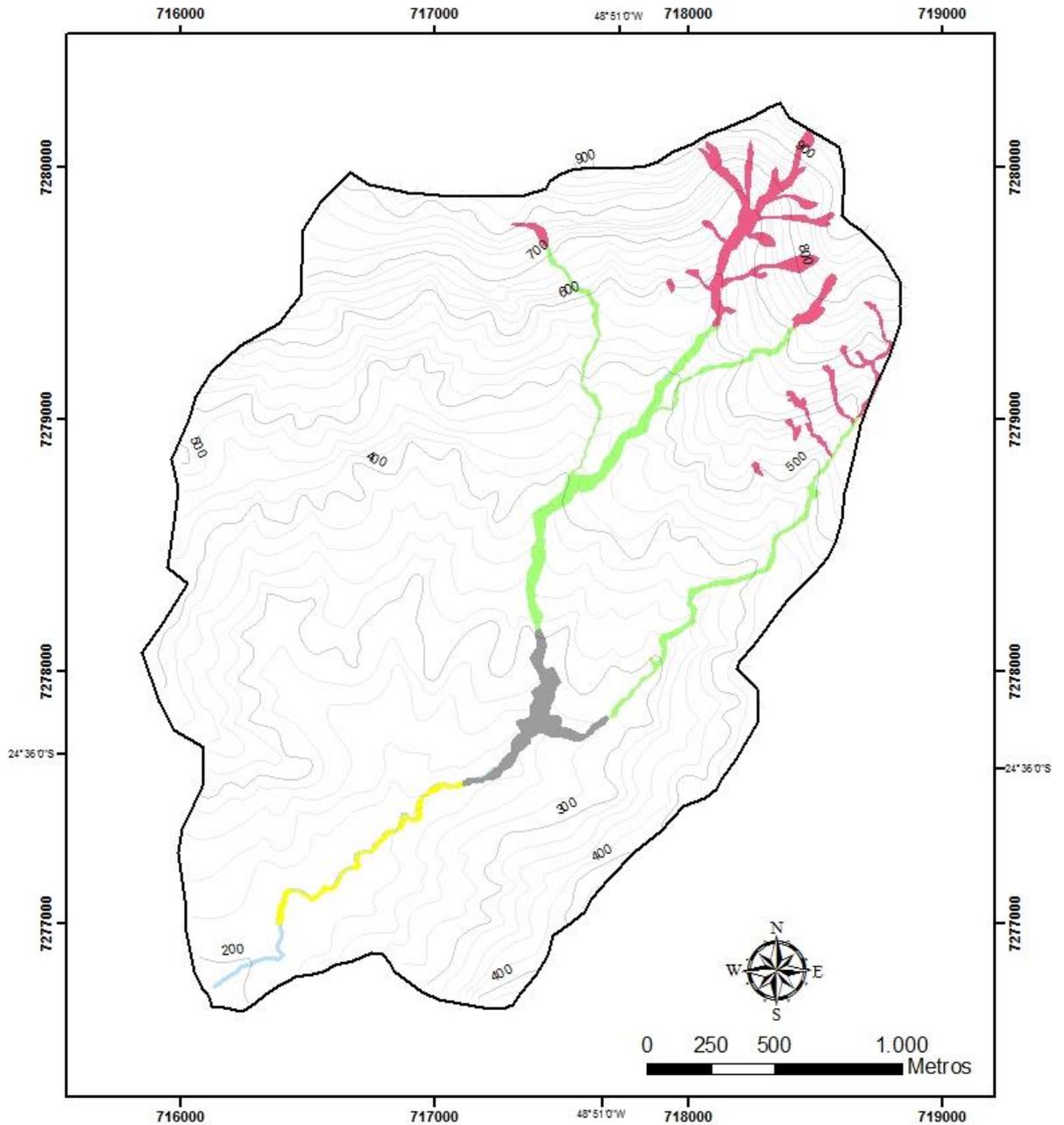


Figura 4.38 - Aspectos erosionais e deposicionais baseado nas observações de campo

A partir das caracterizações geológicas, geotécnicas e morfométricas, foi possível a integração e geração de um mapa das feições do debris flow, conforme Figura 4.38. Neste mapa, são apresentadas as feições geradas pela movimentação do debris flow ao longo do córrego Guarda Mão.

**Mapa de Feições Morfológicas do evento de Debris Flow em Janeiro 2014
Bacia do Córrego Guarda Mão, Itaoca (SP)**



Legenda

- | | | | |
|---|--|---|--------------------|
|  | Deslizamento e movimento de blocos rochosos |  | Córrego Guarda Mão |
|  | Transporte, erosão lateral e remobilização de material |  | Limite Bacia |
|  | Deposição de blocos rochosos, cascalho e areia | | |
|  | Deposição de sedimentos argilosos e arenosos | | |

Escala 1:20.000
Datum Sirgas 2000 - UTM 22S
Elaborado: Marcio Corrêa da Silva

Figura 4.39 – Mapa de feições morfológicas do debris flow

4.3 Caracterização Geotécnica

Para determinar o comportamento geotécnico dos solos da área, foram realizados estudos iniciais de reconhecimento tátil-visual in situ dos solos e ensaios de laboratório com amostras de solos coletados na área.

Foram realizados três grupos de ensaios. O primeiro de classificação como: análise granulométrica, sedimentação e Limites de Atterberg. No segundo grupo de ensaios, foram realizados ensaios para determinação de índices físicos. No terceiro grupo de ensaios, foram realizados os ensaios de cisalhamento.

4.3.1 Resultados

Análise Granulométrica

De acordo com os resultados dos ensaios de sedimentação demonstrados na tabela 4.5, os solos são basicamente arenosos (granulometria > 6 mm). Os solos coluviais possuem em sua composição materiais mais finos (partículas $< 0,6$ mm) em torno de 40%, já os solos eluviais têm, em sua composição, materiais mais grossos (partículas $> 0,6$ mm) como areia e pedregulho superiores a 60%.

Nos Solos de Alteração (AS) os ensaios de sedimentação não foram possíveis, pela elevada composição de materiais mais grossos (areia e pedregulhos), foi realizado apenas peneiramento dos materiais retidos na peneira de número 10.

Tabela 4.5 – Resultados análise de caracterização

Amostra	Solo	Granulometria (%)				Limites Atterberg			
		Argila < 2µm	Silte 2µm-0,6mm	Areia 0,6mm-2mm	Pedregulho >2mm	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IC
01-P10	Solo Euvial	15,6	22,6	52,3	9,5	39,4	27,1	12,4	0,837
02-P10	Saprolito	0	0	59,8	40,2	NP	NP	NP	NP
03-P11	Solo Eluvial	4,1	12	36,6	47,3	NP	NP	NP	NP
04-P11	Saprolito	3,5	10,3	40,3	45,9	NP	NP	NP	NP
05-P12	Solo Euvial	4,8	16,9	47,2	31,1	NP	NP	NP	NP
06-P12	Coluvio	19,1	9,6	34,8	36,5	44,1	26,6	17,5	0,713
07-P12	Saprolito	3,7	5,7	23,9	66,7	NP	NP	NP	NP
08-P36	Coluvio	26	27	47	0	NP	NP	NP	NP
09-P17	Solo Eluvial	6,3	18,6	62,4	12,6	NP	NP	NP	NP
10-P19	Solo Eluvial	6,7	22,5	60	10,8	NP	NP	NP	NP
11-P15	Solo Eluvial	18,9	19,6	43,5	18,1	40,9	27,7	13,2	0,772
12-P16	Saprolito	0	0	50,5	49,5	NP	NP	NP	NP
13-P14	Saprolito	0	0	57,7	42,3	NP	NP	NP	NP
14-P20	Coluvio	20,3	18	44,6	17,2	42,7	28,3	14,4	2,072
15-P21	Solo Eluvial	3,5	25,9	48,8	21,8	NP	NP	NP	NP
16-P37	Solo Eluvial	15,4	25,4	45,8	13,4	38,7	25,6	13,1	1,887

Limites de Atterberg

Com os resultados das análises de Limites de Liquidez (LL) e Plasticidade (LP) é possível calcular o Índice de Plasticidade (IP) que fornece informações acerca da amplitude da faixa da plasticidade de um solo. Quanto maior for o (IP), maior será a plasticidade do solo. O valor do IP é calculado pela equação:

$$IP = LL - LP$$

Na maioria dos solos amostrados não foi possível à determinação dos limites de Atterberg, devido ao seu comportamento não plástico. Isto deve se a maior presença de sedimentos arenosos como composição principal e favorecendo o transporte dos solos por movimentos de massa.

Nas amostras possíveis de análise, o comportamento foi de solos moderadamente plásticos a plásticos (amostra 06-P12), conforme tabela 4.6. São amostras com maior percentual de sedimentos argilosos e silticos.

Tabela 4.6 – Resultados Índice de Plasticidade (IAEG, 1979).

Índice de Plasticidade - IP		
Índice de Plasticidade	Amostra	Classificação
IP < 1	02-P10;03-P11;04-P11;05-P12;07-P12;08-P36;09-P17;10-P19;12-P16;13-P14;15-P21	Não Plástico
1 < IP < 7	–	Levemente Plástico
7 < IP < 17	01-P10 ; 11-P15 ; 14-P20 ; 16-P37	Moderadamente Plástico
17 < IP < 35	06-P12	Altamente Plástico
IP > 35	–	Extremamente Plástico

O Índice de Consistência (IC) é outro parâmetro que pode ser obtidos através dos ensaios de Limites de liquidez (LL) e Plasticidade (LP) em conjunto com o teor de umidade calculado. O Índice de Consistência procura fornecer a consistência de um solo em função do teor de umidade. O valor do IC é cálculo pela equação:

$$IC = \frac{LL - h}{LL - LP}$$

Os solos da bacia do Guarda Mão tem uma consistência predominantemente de solos duros, principalmente devido à predominância de horizontes de Solos Eluviais (SE) e Solos de Alteração (AS) na região. A Tabela 4.7 demonstra os resultados de índice de consistências calculado.

Tabela 4.7 – Resultados dos índices de consistência (ABNT/NBR 6502)

Índice de Consistência - IC		
Índice de Consistência	Amostra	Classificação
IC < 0,5	–	Muito Mole
0,5 < IC < 0,65	–	Mole
0,65 < IC < 0,85	01-P10 ; 06-P12 ; 11-P15	Médio
0,85 < IC < 1,00		Rijo
IC > 1,00	02-P10 ; 03-P11 ; 04-P11 ; 05-P12 ; 07-P12 ; 08-P36 ; 09-P17 ; 10-P19 ; 12-P16 ; 13-P14 ; 14-	Duro

Índices Físicos

Conforme a Tabela 4.8, os solos analisados da bacia do Guarda Mão possuem massa específica entre 2,437 a 2,752 g/cm³. Os solos de alteração saprolíticos e colúvionares analisados possuem maiores valores de massa específica em relação aos solos eluviais. Os teores de umidade para as amostras apresentaram teores acima de 15% de umidade, sendo nos Solos Eluviais mais saturados, com valores em algumas amostras superiores a 25%. Em duas amostras de solos saprolíticos não foram possíveis os ensaios para determinação dos índices físicos, caracterizando somente a determinação dos teores de umidade das amostras.

Tabela 4.8 – Resultados dos índices físicos

Amostra	Solo	ρ (g/cm ³)	w (%)	e	n (%)
01-P10	Solo Eluvial	2,679	29,1	0,728	42,1
02-P10	Saprolito	2,701	17,4	0,786	61,3
03-P11	Solo Eluvial	2,768	15,6	0,601	37,5
04-P11	Saprolito	2,604	19,4	0,554	35,6
05-P12	Solo Eluvial	2,652	28,2	0,715	41,1
06-P12	Coluvio	2,673	23,8	0,655	39,5
07-P12	Saprolito	2,701	17,6	0,588	37
08-P36	Coluvio	2,752	25,6	0,729	42,2
09-P17	Solo Eluvial	2,566	26,7	0,626	38,5
10-P19	Solo Eluvial	2,652	24,4	0,651	61,1
11-P15	Solo Eluvial	2,486	30,7	0,624	38,4
12-P16	Saprolito	NR	15,3	NR	NR
13-P14	Saprolito	NR	14,9	NR	NR
14-P20	Coluvio	2,586	12,85	0,458	0,314
15-P21	Solo Eluvial	2,548	14,4	0,457	31,3
16-P37	Solo Eluvial	2,437	13,98	0,388	27,9

Ensaio de Cisalhamento Direto

Os ensaios de cisalhamento direto (coesão e ângulo de atrito interno) e a obtenção de peso específico seco e peso específico natural, são fundamentais para obtenção de índices físicos e cálculos de estabilidade dos taludes da região.

Os valores obtidos dos ensaios de cisalhamento direto e determinação dos pesos específicos estão determinados na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Resultados ensaios de cisalhamento direto.

Ensaio de Cisalhamento Direto			
Amostra	Solo	c (kPa)	ϕ (°)
Ponto 15	Coluvio	16,7	32
Ponto 17	Solo Eluvial	41,5	31,1

Os baixos valores de coesão (c) e ângulo de atrito interno da amostra no ponto 15 são consequência de uma maior concentração de sedimentos inconsolidados e por ser uma amostra de material insaturado. A amostra ponto 17 apresentou maior valor de coesão, porem com mesmo valor de ângulo de cisalhamento interno e composição granulométrica semelhante.

As envoltórias de resistências para as amostras analisadas estão ilustradas na Figura 4.40 e Figura 4.41 abaixo:

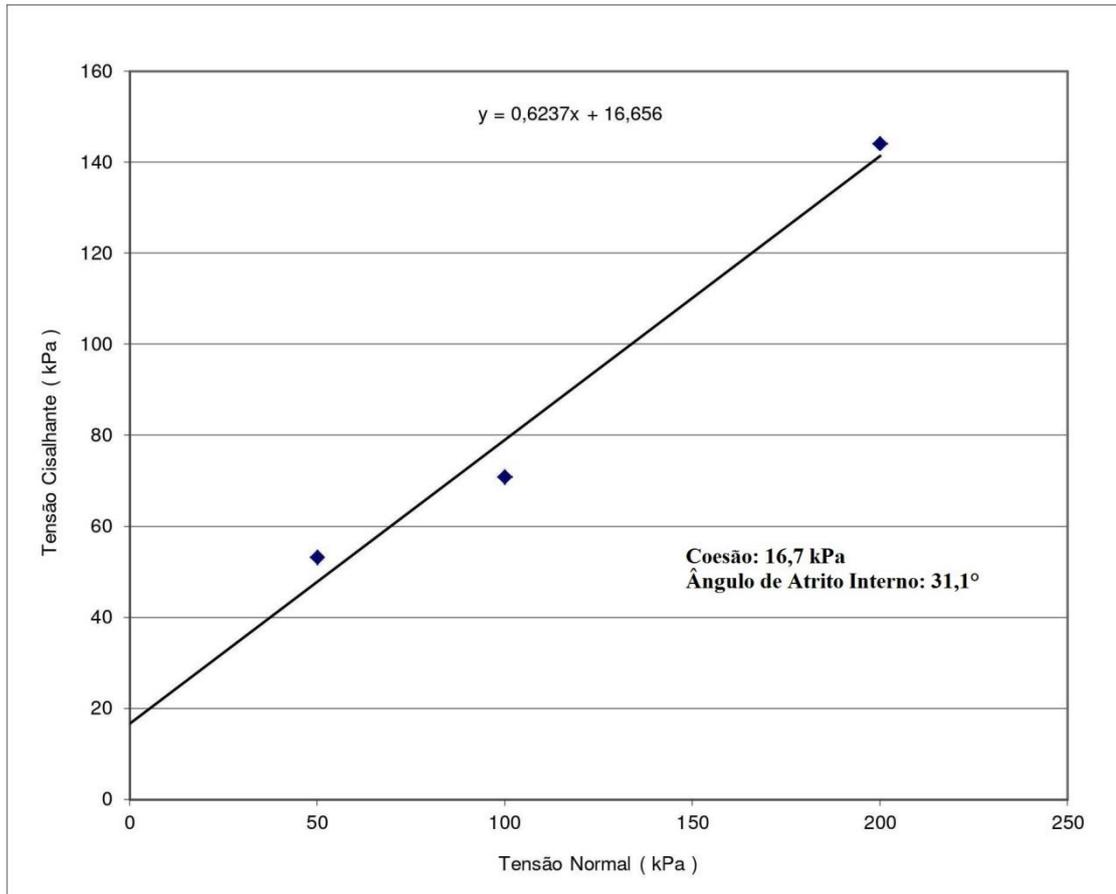


Figura 4.40 – Envoltório de resistência – Amostra Indeformada do Ponto 15

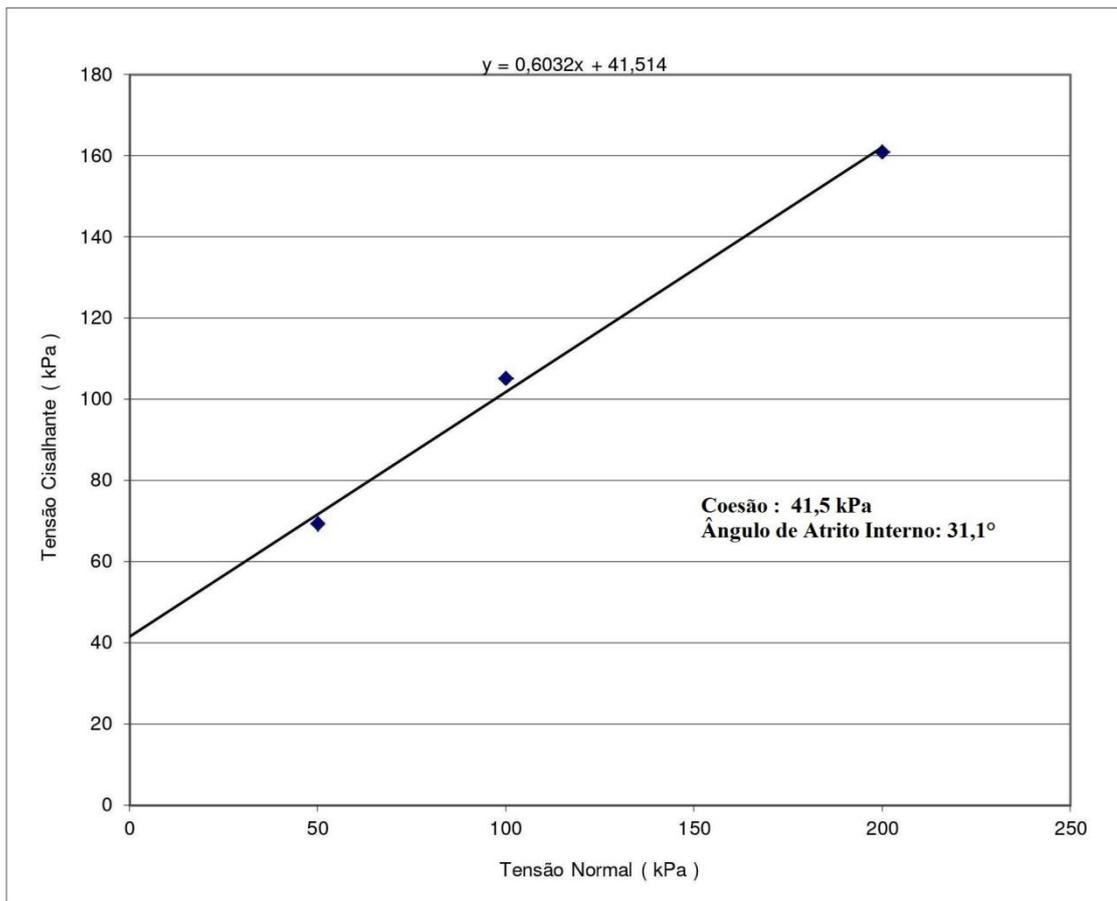


Figura 4.41 – Envolvimento de resistência – Amostra Indeformada do Ponto 17

Cálculo do Fator de Segurança

Segundo Massad (2003) o fator de segurança (FS) entende-se o valor numérico das relações estabelecidas entre as resistências ao cisalhamento dos solos para garantir o equilíbrio do corpo deslizando ($s = c' + (\sigma - u) \operatorname{tg}\phi'$) e a tensão de cisalhamento mobilizada (s_m), sob o efeito dos esforços atuantes.

$$FS = \frac{\text{Forças resistentes (resistência ao cisalhamento disponível)}}{\text{Forças atuantes (resistência mobilizada)}} \quad FS = S/S_m$$

$$FS = \frac{c + \gamma' x h x \cos^2 i x \operatorname{tg}\phi}{\gamma_{sat} x h x \operatorname{sen} i x \cos i}$$

onde, c =coesão γ' =peso específico submerso h =altura do talude i =ângulo de inclinação do talude
 $\operatorname{tg}\phi$ = ângulo de atrito interno γ_{sat} =peso específico saturado

O conceito e o significado do fator de segurança teria um significado mais amplo e adequado se fosse definido em termos probabilístico, em que se teriam condições de definir os períodos de recorrência e um intervalo de confiança para o cálculo. Uma vez que o fator de segurança pode variar com o tempo, suas condições de estabilidade podem ser alteradas.

Após avaliações de campo e análise laboratoriais, o cálculo do fator de segurança visa compreensão da estabilidade dos taludes em condições naturais não saturadas, sem o processo de percolação de água e alterações nos coeficientes de coesão devido à atuação no nível freático e diminuição da sucção. .

Os taludes ao longo do córrego do Guarda Mão possuem inclinações entre 35° a 58°, com ângulos de menor inclinação a sua jusante, e inclinações superiores a 45° a montante do córrego. Com dados das análises de campo e ensaios, os pontos bases e dados para cálculo dos fatores de segurança estão descritos na tabela 4.10.

Tabela 4.10 – Dados para calculo fator de segurança

Parâmetros	Ponto 15	Ponto 17
Coesão (kPa)	16,7	41,5
Ângulo atrito interno (°)	32°	31,1
Ângulo Inclinação talude (°)	58°	38
Peso específico submerso (kN/m ³)	10,87	10,35
Peso específico saturado (kN/m ³)	20,87	20,35
Altura do talude (m)	8	8

Com os dados descritos na Tabela 4.10 e usando a equação do Fator de Segurança, os resultados para fator de estabilidade dos taludes do córrego Guarda Mão, para pontos 15 e 17 estão representados na Tabela 4.11.

Tabela 4.11 – Resultados fatores de segurança (FS)

	Fator de Segurança (FS)	Tipo de Solo
Ponto 15	2,432	Coluvio (CO)
Ponto 17	5,653	Solo Eluvial (SE)

O ponto 15 apresentou o menor valor do fator de segurança, devido ao menor valor de coesão e ângulo de inclinação de talude maior neste ponto e região do córrego (montante da bacia). O ponto 17 apresentou um maior valor no fator de segurança, por se encontrar a jusante da bacia do Guarda Mão onde os taludes possuem menores inclinações e o ensaio de cisalhamento apresentou um valor de coesão interna maior.

CAPITULO 5 - INTEGRAÇÃO DOS DADOS

Geologicamente a bacia do córrego do Guarda Mão é constituída por monzogranitos cinza e monzogranito róseo. As rochas graníticas estão pouco fraturadas e muito intemperizadas, com grande quantidade de blocos e matacões arredondados depositados nas drenagens e nos perfis de alteração dos solos.

A homogeneidade geológica produziu solos com características semelhantes quanto a sua composição e comportamento reológico. Composto por partículas arenosas - com mais de 50% em sua composição – os solos da região possuem espessura media superior a 5 metros, onde seu contato com a rocha sã na região é abrupto, sem um perfil de alteração com variação granulométrica e graus intermediários de intemperismo entre rocha e solo. Da mesma forma, o intemperismo destes granitos homogêneos gera uma grande quantidade de blocos originados por intemperismo esferoidal. Estes blocos ficam em meio a solo menos coeso, podendo ser facilmente remobilizado em escorregamentos e em fluxos. Estes materiais proporcionam quantidade suficiente de material livre a ser mobilizados e transportados por erosão e fluxos de detritos respectivamente.

Entre os principais fatores analisados para compreensão da ocorrência de *debris flow* dentro da bacia do Guarda Mão, foi o estudo das características morfométricas da bacia. Segundo o trabalho de Wilford et al., (2004), bacias com índice de Melton $> 0,3$ e comprimento (L) de bacia menor que 2,7 são os mais propensos a ocorrência de *debris flow*. Ao analisarmos as duas sub-bacias onde ocorreram escorregamentos e *debris flow*, o índice de Melton de 0,48 e 0,57 indicaram bacias com propensão a ocorrências de *debris flow*. Outros importantes índices de análise de bacias hidrográficas com coeficiente de compactidade (kc), fator forma (Ff) e densidade de drenagem indica uma bacia com tendência a ocorrência de enchentes e eventos associados.

As análises de estabilidades de taludes não trouxeram uma resposta mais conclusiva em relação aos escorregamentos e aporte de material a ser transportado. O cálculo do fator de segurança atribui fatores elevados (2,432 e 5,653), mesmo considerando valores de coesão igual a zero, os valores dos fatores de segurança não sofreriam grande alteração, os valores seriam corrigidos para 2,23 e 5,26.

O principal evento deflagrador do *debris flow* no Guarda Mão foram as chuvas intensas e concentradas que atingiram a bacia, provocando os deslizamentos e inundações na bacia. Segundo Gramani (2015) dados preliminares e estimativas geradas por radar, indicam que as chuvas na região, foram de cerca de 210 mm/2h.

Na Figura 5.1 mostra a correlação entre chuvas acumuladas (mm) e tempo (h) para geração de fluxos de massas e ocorrências destes eventos no Brasil e casos internacionais. Esta figura modificada por Gramani (2015), a linha TL (*triggering limit*) indica as condições para ocorrências dos fluxos, já a linha GL (*generalized landslides*) representa as condições limites entre a ocorrência e a probabilidade de ocorrência dos fluxos de massa e a linha CE (*catastrophic events*) indica a ocorrência do evento de fluxo de massa, Ao interpolar a quantidade de chuva estimada na bacia do Guarda Mão, as chuvas do local estão inseridas acima da linha CE.

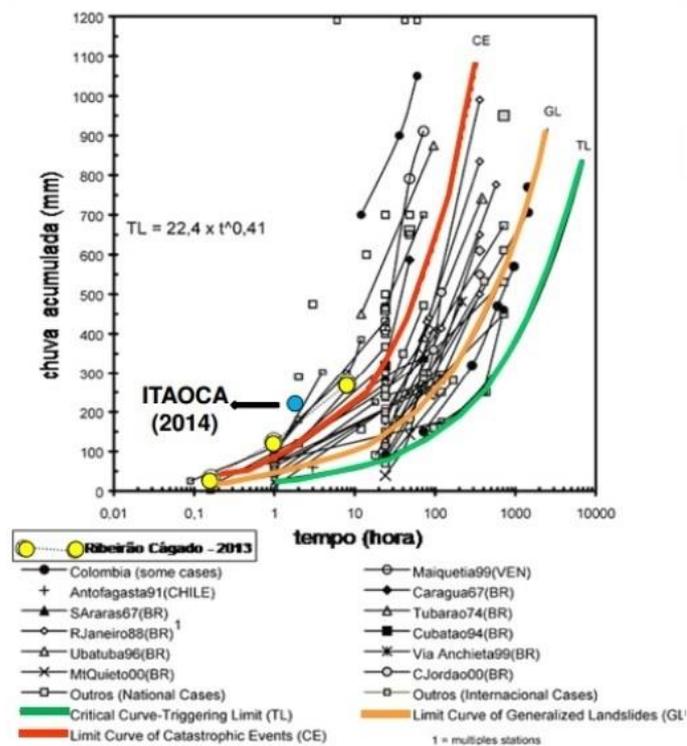


Figura 5.1 – Gráfico de chuva acumulada por tempo (mm x h). Fonte: Gramani (2015) modificado de Kanji (1997).

Analisando os resultados das análises geotécnicas, a predominância de solos não plásticos, índice de consistência dura e composto por alta porcentagem de areia (maiores que 50%), os solos da região apresentam uma característica de alta erodibilidade.

Os fatores de segurança calculado a partir de dados dos ensaios de cisalhamento direto apresentaram fatores 2,432 para os Solos Eluviais e 5,653 para os taludes de colúvios. Os Solos Eluviais perfazem a maior porcentagem dos taludes marginais do córrego do Guarda Mão.

Aceitando que fatores de segurança maiores que 2,0 podem ser visto como aceitáveis para segurança de taludes naturais e escavados (Guidicini 1983), os taludes do córrego Guarda Mão possuem índice de estabilidade bastante razoável. No entanto, observa-se que os ensaios de cisalhamento ocorreram com amostras insaturadas que podem alterar (elevar) valores para coesão e ângulo de atrito interno.

Estas desestabilizações dos taludes e consequentes escorregamentos de massa podem estar relacionados a partir de dois tipos de mecanismos ocasionados por infiltração da água da chuva:

Saturação pela base ou ascendente

Ocorre quando em um talude, dois tipos de materiais sobrepostos e com propriedades hidrogeológicas diferentes, de modo que exista uma barreira para movimentação descendente contínua da água dentro do maciço (Figura 5.2). Como por exemplo, solos mais permeáveis sobrepostos a solos menos permeáveis, ou a presença de substrato rochoso próximo à superfície. Isto ocasiona que após um determinado tempo uma elevação do nível de água, causando a elevação da pressão neutra e consequente ruptura do maciço (Ahrendt 2005).

Segundo Enoke et al. (1999) citado por Ahrendt (2005) a sequência sistemática para este mecanismo pode ser descrita em três etapas:

- 1) a infiltração da água na superfície e consequente descida da frente de saturação;
- 2) após a chegada da frente de saturação a uma superfície de descontinuidade tem início à formação de uma superfície freática que se eleva continuamente, enquanto houver uma fonte de água;
- 3) a superfície freática se eleva até um ponto em que ocorre a perda de resistência ao cisalhamento do solo, ocorrendo à ruptura.

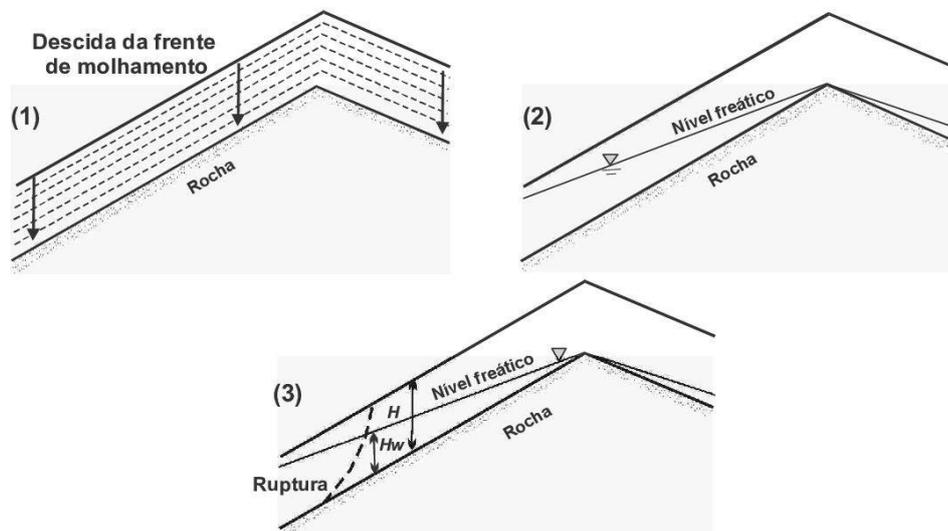


Figura 5.2 – Mecanismo de ruptura por saturação pela base. Enoke et al., (1999) citado por Ahrendt (2005)

Saturação pelo topo ou descendente

Neste mecanismo a perda de resistência ao cisalhamento ocorre pela diminuição da sucção existente em solos não saturados. A infiltração contínua da água, a qual eleva a umidade do solo até a diminuição significativa da sucção após a saturação total do maciço ou até mesmo antes, dependendo das características de capacidade de retenção do solo (Ahrendt 2005).

Escorregamento por este mecanismo está associado à encosta muito íngreme, onde a estabilidade do maciço depende principalmente da coesão do solo e pelas forças de sucção

dos mesmos que garantem a estabilidade do talude. Os eventos de escorregamento podem ocorrer durante ou logo após o período da chuva (Figura 5.3).

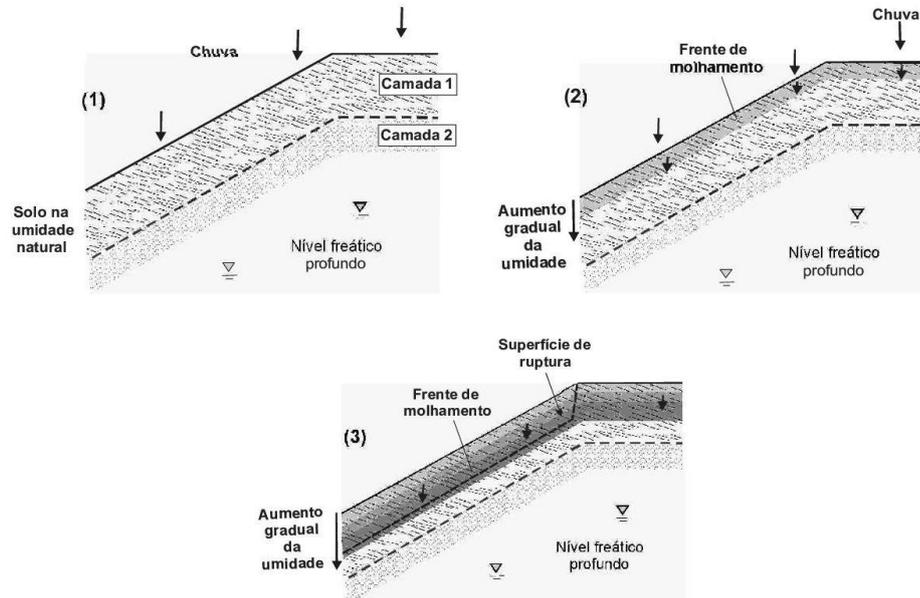


Figura 5.3 – Mecanismo de ruptura por saturação pelo topo. Fonte: Ahrendt (2005)

Com as características dos perfis descritos ao longo do córrego Guarda Mão, onde o rompimento dos taludes ocorreu principalmente nos horizontes dos solos de alteração, o mecanismo de saturação pela base responderia melhor os escorregamentos e a desestabilização dos taludes marginais ao longo da margem do córrego Guarda Mão. Corroboraria com esta hipótese o nível de água aflorando na interface rocha alterada e rocha sã verificado em campo, e a maior ocorrência de feições erosivas em solos de alteração em relação aos solos sobrepostos como o solo eluvial e o colúvio.

As hipóteses descritas acima não podem, no entanto, ser verificadas neste trabalho, tendo em vista a baixa amostragem dos ensaios de cisalhamento e as grandes diferenças verificadas nos valores de fatores de segurança. Apesar do caráter interpretativo e das limitações quanto à precisão dos limites das estabilidades dos taludes e sua influência na ocorrência dos *debris flow*, estes dados são importantes como elementos para o aprofundamento das pesquisas relacionadas à área.

CAPITULO 6 - CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou dados originais de pesquisa realizada com o objetivo na caracterização geológica e geotécnica dos *debris flow* na bacia do córrego Guarda Mão, município de Itaoca-SP no desastre de janeiro de 2014. O trabalho teve como base as análises geológicas, geotécnicas e morfométricas da bacia para caracterização das feições dos *debris flow*, depósitos sedimentares recentes e a compreensão dos agentes deflagradores.

O substrato rochoso da bacia está quase totalmente inserido no Maciço Granítico Itaoca, que produzem perfis de intemperismo espessos, com a formação de blocos em meio a um solo arenoso, que associados a grandes declividades (20 a 45°), desestabilizam mais facilmente na presença de água. Estas condições geológicas proporcionaram grande geração de material disponível para escorregamentos e transporte como *debris flow*.

Os solos eluviais e solos de alteração, com maior presença da fração arenosa, tem perfis mais espessos e característicos de ambientes com padrões de declividades elevados e forma os taludes marginais do talvegue do córrego Guarda Mão. O contato solo-rocha torna-se mais próximo à superfície, de modo que favorece o encharcamento. Uma vez saturados, estes solos configurando em interfaces suscetíveis a rompimento devido à mudança das características do meio. Quando rompidos, estes solos arenosos são facilmente transportados e fornecem material para os *debris flow*.

Os colúvios apresentam características mais plásticas determinadas por ensaios geotécnicos. Estes solos apresentam características menos suscetível ao rompimento de taludes em relação aos solos eluviais e os solos de alteração.

Os movimentos de massa de grande porte identificados em campo tiveram seu rompimento na interface solo e rocha, onde há uma desconformidade dos materiais e hidrológica e entre os solos eluviais e solos de alteração. A presença de muitas ravinas nas encostas ao longo de toda bacia do Guarda Mão, principalmente nos perfis de alteração dos solos eluviais, evidenciam a suscetibilidade destes solos a erosão, por sua característica arenosa.

A geomorfologia da bacia do Guarda Mão teve um papel importante na ocorrência dos escorregamentos e *debris flow*. Áreas de alta declividade, principalmente a margem do córrego Guarda Mão, configuram-se como zonas suscetíveis a deslizamento, movimentação

de blocos e erosão lateral de taludes, onde a declividade pode ser superior a 35°. A configuração dos canais em forma de “V” pode ter produzidos confinamento de material de eventos de escorregamentos anteriores, que podem ter sido remobilizados e transportados pelo evento de janeiro de 2014.

Apesar da maior necessidade de amostragem para ensaios de cisalhamento e análise de estabilidade de taludes, não há histórico de grandes escorregamentos na bacia (Instituto Geológico, 2015) e as ravinas e escorregamentos identificados são identificativos de único evento temporal, caracterizando uma região relativamente estável.

Não foi possível identificar um mecanismo de movimentação para os escorregamentos dos taludes, mesmo que alguns pontos, a saturação pela base, pode ser identificado. No perfil 1 do capítulo 5, descritos ao longo da margem do córrego do Guarda Mão, foi observado uma superfície de exudação de água perceptível no solo de alteração próximo a interface com rocha granítica. Ao longo do perfil longitudinal do córrego são identificados taludes rompidos principalmente na interface solo/rocha com níveis de saturação freática aflorantes principalmente no solo de alteração saprolítico.

De acordo com os dados apresentados ao longo de todo o trabalho, o principal agente deflagrador do evento na bacia do córrego Guarda Mão no município de Itaoca, foi o alto índice pluviométrico em um curto intervalo de tempo ocorrido no dia 12 de janeiro de 2014. Esta grande quantidade de água infiltrada rapidamente no solo provocou a saturação de um solo já encharcado por chuvas em dias anteriores, isto facilitou rompimento da estabilidade dos solos e conseqüentemente movimentação gravitacional de massa em uma região de alta declividade.

O trabalho atingiu seus objetivos na descrição e mapeamento geológico, geotécnico e morfométrico da bacia, assim como sua influência na ocorrência dos *debris flow*. O mapeamento das feições morfológicas e os depósitos formados pelos *debris flow* também teve seu objetivo alcançado neste trabalho, servido de base para avanços futuros de estudos na área.

Para a continuidade dos estudos é recomendável que além do dimensionamento dos eventos meteorológicos, uma maior amostragem para ensaios de cisalhamento e ensaios de infiltração para compreensão e distribuição das propriedades hidráulicas e resistência dos solos e a influência da vegetação na estabilidade dos taludes.

REFERENCIAS

- ABNT (1984a). Associação Brasileira de Normas Técnicas. Solo - **Análise Granulométrica** - NBR-7181.
- ABNT (1984b). Associação Brasileira de Normas Técnicas. Solo - **Ensaio de Sedimentação** - NBR-7184.
- ABNT (1984c). Associação Brasileira de Normas Técnicas. Solo - **Determinação do Limite de Liquidez** - NBR-6459.
- ABNT (1984d). Associação Brasileira de Normas Técnicas. Solo - **Determinação do Limite de Plasticidade** - NBR-7180.
- ABNT (1986). Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Ensaio de caracterização de solos**. NBR-6457.
- AHRENDR, A. **Movimento de massa gravitacionais-Proposta de um sistema de previsão: Aplicação nas áreas urbanas de Campos do Jordão-SP**. Tese de doutoramento. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2005.
- AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J. C. Geologia de Engenharia – Cap. 15 – **Estabilidade de Taludes**, São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998, 26p.
- CAMPANHA, G.A.C. **Tectônica proterozóica no Alto e Médio Vale do Ribeira, Estados de São Paulo e Paraná**. São Paulo. Tese de doutoramento. Instituto de Geociências Universidade de São Paulo, 1991. 296 p, anexos.
- CAMPANHA G.A.C. & SADOWSKI G.R. **Tectonics of the Southern Portion of the Ribeira Belt (Apiáí Domain)**. Precambrian Research, 1999. 98 (1): 31-51.
- CAMPANHA G.A.C. & SADOWSKI G.R. **Determinações da deformação finita em rochas metassedimentares da Faixa Ribeira na região de Iporanga e Apiáí, SP**. Revista Brasileira de Geociências, 32: 639-650. 2002
- CLIMATEMPO. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/climatalogia/2354/itaoca-sp>. Acesso em: 14 jan. 2017.
- CRUDEN, D. M.; VARNES, D. J. **Landslide types and processes**. Transportation Research Board, US National Research Council, 1996.
- EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2º edição. Rio de Janeiro. Embrapa-SPI, 2006.
- FALEIROS, F. M. **Evolução de Terrenos Tecno-Metamorficos da Serrania do Ribeira e Planalto Alto Turvo (SP, PR)**. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo, 2008. 318 p.

FALEIROS, F. M. et al., **Geoquímica e petrogênese de metabasitos do grupo Votuverava (Terreno Apiaí, Cinturão Ribeira Meridional): evidências de uma bacia retroarco calimiana**. Geologia USP - Serie Científica, 11: 135-155. 2011.

FALEIROS, F. M.; MORAIS, S. M.; COSTA, V. S. **Geologia e Recursos Minerais da Folha Apiaí - SG.22-X-B-V - Estados de São Paulo e Paraná, escala 1: 100.000**. 2012. 1. Ed. : Programa Geologia do Brasil, CPRM-Serviço Geológico do Brasil, v. 1: 107 p.

FELL, R. et al., **Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning**. Engineering Geology, v.102, p.85-98, Dec. 2008

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. **Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica**. In GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. (org.) Geomorfologia e Meio Ambiente. Bertrand, Rio de Janeiro, 1996 : 123- 194.

FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes**. UFPR, 2. Ed. Curitiba, 2009.

GRAMANI, M. F. **Caracterização Geológico-Geotécnica das Corridas de Detritos ("debris-flows") no Brasil e Comparação Com Alguns Casos Internacionais**. Tese Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EP-USP). São Paulo. 2001.

GRAMANI, M.F. **A Corrida de Massa no córrego Guarda-Mão, Município De Itaoca (SP): Impacto e Observações de Campo**. 15º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2015.10p.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia Ambiental**, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

GUIDICINI G e NIEBLE, CM. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo, Edgard Blucher, 1984, 194 p.

GUHA-SAPER D, V. F. B. R. **Annual Disaster Statical Review 2011: The Nynbers and Trends Brussels**. CRED - Centre of Research on the Epidemiology of Disasters. 2011.

HUNGR, O; JAKOB, M. (2005). **Debris Flow Hazard and Related Phenomena**. Chichester, UK. Praxis Publishing Ltd

HUNGR, O. et al., **The Varnes classification of landslide types, an update**. Landslides. 2014 - 11:167–194.

IBGE. Cidades. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/v3/cidades/municipio/3522158>>. Acesso em: 15 jan. 2017.

IAEG (1979). **Classification of rocks and soils engineering geological mapping**. Bull. IAEG, vol.1, nº.19, p.364-371.

INSTITUO GEOLOGICO, (SP). **Mapeamento de riscos associados a escorregamentos, inundações e corridas de massa – Município de Itaoca,SP** – Relatório Técnico/Maria Jose Brollo (Coordenação). São Paulo: IG/SMA, 2015, 3 volumes (Boletim do Instituto Geológico nº 64).

JAKOB, M. **A size classification for debris flow**. Engineering Geology 79:151-161. 2005

KANJI, M. A.; CRUZ, P. T; MASSAD, F; **Basic and Commons Characteristics of Debris flow. Second Pan-American Syposium of Landslides**, Rio de Janeiro, 1997.

MARANGON, M. **Apostila de Estabilidade de taludes**. Disponível em: <http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/togot_Unid04EstabilidadeTaludes01.pdf>. Acessado em: 20 dez. 2016.

MASSAD, F. **Obras de Terra, Curso Básico de Geotécnica**. Editora Oficina do Texto. 2003

MELLO, I. S. C. **Geologia e Estudo Metalogenético do Maciço Itaoca, Vale do Rio Ribeira, SP e PR**. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo, 1995. 188 p.

Pinto, N. L. S. et al. **Hidrologia Básica**. Editor Edgard Blucher, 1973

PINTO, C.S.; **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. Editora Oficina de Textos, São Paulo, 3ªed., 356p. 2006

PORTO, R. L; ZAHED FILHO, K.; SILVA, P. M. **Apostila de bacias hidrográficas**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. 1999.

ROSS, J. L. S. 2002. **A morfogênese da bacia do rio Ribeira do Iguape e os sistemas ambientais**. GEOUSP – espaço e tempo nº 12. São Paulo. 2002. p 21- 26.

SANTOS, G. A. **Uso de barreiras flexíveis para controle de fluxo de detritos**. Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica. 2013

TAKAHASHI, T. **Debris Flow - Mechanics, Prediction and Countermeasures**. London: Taylor & Frances, 2007.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo : Instituto Geológico, 2007. 196 p.

THEODOROVICZ, A.; THEODOROVICZ, A. M. de G. **Atlas geoambiental: Subsídios ao planejamento territorial e à gestão ambiental da bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape**. São Paulo, Brasil. 2007. CPRM. 2ª ed.rev. 91p.

TUCCI, C.E.M., org. (1993). **Hidrologia. Ciência e Aplicação**. Ed. da Universidade - UFRGS / Ed. da Universidade de São Paulo – EDUSP / Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH.

UOL. Itaoca destruída por enxurrada ainda aguarda verba para reconstrução. Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2015/01/12/itaoca-sp-destruida-por-enxurrada-ainda-aguarda-verba-para-reconstrucao.htm>>. Acesso em: 15 jan. 2017.

VANDINE, D.F. **Debris flow and debris torrents in the Southern Canadian Cordillera**. Canadian Geotechnical Journal, 22, 1985. 44-68.

VANDINE, D. F. **Debris flow control structures for forest engineering**. Res. Br., B.C. Min.For., Victoria, B.C., Work. Pap. 08. 1996

VAZ, L. F. **Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rocha em regiões tropicais**. Solos e Rochas, 19 (2): 117-136, Ago., 1996.

WELSH, A, J. **Delineating debris flow hazards on alluvial fans in the Coromandel and Kaimai regions, New Zealand, using Gis**. Thesis for the degree of Master of Science in Environmental Science. University of Canterbury, New Zealand, 2007. 203p.

WELSH, A & DAVIES, T. **Identification of alluvial fans susceptible to debris-flow hazards**. Landslides. 2011, V.8 (jan.), p.183 -194.

WILFORD D. J. et al., **Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometric**. Landslides 1:61–66. 2004

ZUQUETE, Lazaro V.; Gandolfi, Nilson. **Cartografia Geotécnica**. São Paulo, Oficina dos textos, 2004.