

RODRIGO BRUM DUARTE

**MOVIMENTOS DE MASSA NO MUNICÍPIO DE BLUMENAU –
SANTA CATARINA: ESTUDO DE CASO NO BAIRRO
PROGRESSO, LOCALIDADE DE NOVA RÚSSIA**

Dissertação submetida ao Programa de
Pós-Graduação em Desastres Naturais
da Universidade Federal de Santa
Catarina, para obtenção do título de
Mestre em Desastres Naturais.
Orientador: Prof. Dr. Juan Antonio
Altamirano Flores

Florianópolis
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária
da UFSC.

Duarte, Rodrigo B.

Movimentos de Massa no município de Blumenau – Santa Catarina: Estudo
de Caso no Bairro Progresso, Localidade de Nova Rússia / Rodrigo B.

Duarte ; Orientador, Juan Antonio Altamirano Flores – SC, 2018.

90 p.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de
Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Desastres
Naturais, Florianópolis, 2018.

Inclui Referências.

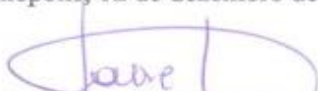
1. Desastres Naturais. 2. Movimentos de massa. 3. Nova Rússia. 4.
Áreas de Risco. I. Juan Antonio Altamirano Flores. II. Universidade Federal
de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Desastres Naturais. III.
Título

Rodrigo Brum Duarte

**“Movimentos de massa no município de Blumenau -
Santa Catarina: estudo de caso no bairro Progresso,
localidade de Nova Rússia”**

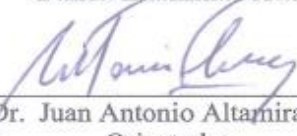
Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Desastres Naturais”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Desastres Naturais.

Florianópolis, 12 de dezembro de 2018.



Prof. Dra. Janete Josina de Abreu
Coordenadora do PPGDN/UFSC

Banca Examinadora:

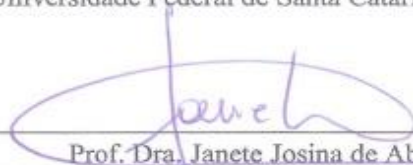


Prof. Dr. Juan Antonio Altamirano Flores
Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)



Prof. Dr. Roberto Sacks de Campos
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)



Prof. Dra. Janete Josina de Abreu
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Dedico este trabalho ao Professor Dr.
Joel Pellerin.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus que me sustentou até aqui e está presente em todos os dias da minha vida. Agradeço também aos meus pais Nicolau Antônio Duarte e Maria Eliza Brum Duarte, vocês são demais. A família é o alicerce fundamental na construção dos nossos sonhos, por isso quero agradecer à minha, Laís, Zion, Bilica, Dilma e Minnie.

Esta dissertação não teria sido elaborada sem o auxílio de pessoas que conheci na minha jornada acadêmica, por quem sinto profunda admiração e respeito. Primeiramente, agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Juan Antonio Altamirano Flores, pela oportunidade de trabalhar ao seu lado, pelas horas de dedicação e envolvimento com esta pesquisa e pelos seus ensinamentos, que vão além do conhecimento adquirido dentro da Universidade. Agradeço também aos Professores Dr. Joel Pellerin, Dr^a Janete Josina de Abreu e Dr. Roberto Sacks de Campos que me auxiliaram e enriqueceram esta dissertação com o seu conhecimento, por meio de suas sugestões e correções.

Igualmente importante a todos os demais aqui já citados, gostaria de agradecer aos meus amigos que me auxiliaram e me ensinaram muito, Esdras, Vitor e demais colegas da primeira turma do Programa de Pós-Graduação em Desastres Naturais.

Você nunca sabe que resultados virão da sua ação.
Mas se você não fizer nada, não existirão resultados.
(Mahatma Gandhi)

RESUMO

Na primavera do ano de 2015, entre o início de setembro e final de outubro, na porção sul do Município de Blumenau – Santa Catarina, foram registrados 793 mm de precipitação acumulada. Este volume elevado provocou um movimento de massa de grande proporção na região de Nova Rússia, alterando significativamente a morfologia da encosta e atingindo a população local. Este trabalho teve como objetivo mapear e caracterizar o deslizamento ocorrido, o qual soterrou cinco casas e alterou o traçado do Ribeirão Garcia, localizado na base da encosta. A metodologia consistiu em realizar o mapeamento da encosta por meio de caminhamento e delimitação da área de espraiamento, coleta de amostras e descrição da geologia local (litologia e solo). Com o intuito de gerar mapas de risco e susceptibilidade a deslizamentos, foi utilizado o Modelo Digital do Terreno – MDT anterior ao evento, agregado a dados de amostras indeformadas de solo trabalhadas em laboratório, por meio de ensaios de cisalhamento direto, utilizando o software SHALSTAB. Ao final, foi averiguado que as áreas suscetíveis a movimentos de massa correspondiam as regiões apontadas pelo programa, incluindo o ponto de ruptura do deslizamento na encosta.

Palavras-chave: Deslizamentos; Mapeamento de áreas suscetíveis; Nova Rússia.

ABSTRACT

In spring of 2015, between september and october, in southern portion of Blumenau Municipality, in Santa Catarina, 793 mm of accumulated precipitation were registered. This high volume caused a landslide in the Nova Russia region, significantly altering morphology of the slope and affecting local population. This work had the objective of mapping and characterizing this landslide, which buried five houses and altered the course of the Garcia River, located at base of the slope. The methodology consisted in performing the mapping of the slope by walking and delimitation of spreading area, sample collection and local geology description (lithology and soil). In order to generate risk and susceptibility maps to mudslides, was used the Digital Terrain Model - MDT prior to event, added to data from undisturbed soil samples worked in laboratory, using direct shear experiments in SHALSTAB software. In the end, areas susceptible to landslide corresponded to regions indicated by the program, including the point of rupture of the mudslide on the slope.

Keywords: Landslides; mapping of susceptible areas; Nova Rússia

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Figura 01: Mapa de localização da área de estudo, no canto superior esquerdo o Município de Blumenau dentro do Estado de SC, no canto inferior esquerdo a localização do local do deslizamento em relação ao Município e à direita a imagem Google Earth do movimento de massa. Fonte: Modificado do Google Earth.....	38
Figura 02: Figura 02: Esquema de queda de rochas. Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.....	44
Figura 03: Figura 03: Queda rochosa e deslizamento ocorrido em Clear Creek Canyon, Colorado, EUA, em 2005, fechando o trânsito no Canyon por várias semanas. A fotografia também mostra um exemplo de uma parede de pedras (cortina), um tipo de barreira comumente aplicado sobre faces rochosas de risco (centro e direita da foto). (Foto por Colorado Geological Survey). Fonte: Manual de Deslizamento – USGS,2008.....	44
Figura 04: Figura 04: Esquema de tombamento. Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.....	45
Figura 05: Fotografia de um bloco envergando em Fort St. John, British Columbia, Canadá. (Foto por G. Bianchi Fasani). Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.....	45
Figura 06: Esquema de escorregamento rotacional. Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.....	48
Figura 07: Fotografia de um escorregamento rotacional ocorrido na Nova Zelândia. A curva verde no centro, à esquerda é a escarpa (área onde o solo rompeu). O solo em pequenas elevações na parte inferior, à direita, é a ponta do deslizamento (linha vermelha). Este fenômeno é chamado escorregamento rotacional pela terra ter se movido da esquerda para a direita de modo curvo. A direção e o eixo da rotação também estão ilustrados. (Foto por Michael J. Crozier, Encyclopedia of New Zealand, atualizada em 21 de setembro de 2007). Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.....	48
Figura 08: Esquema de escorregamento translacional. Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.....	50

Figura 09: Imagem de um escorregamento translacional que ocorreu em 2001 no Vale do Rio Beaton, British Columbia, Canada. (Fotografia por Réjean Couture, Canada Geological Survey). Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008	51
Figura 10: Esquema de espalhamento lateral. Uma camada passível de liquefação está abaixo da camada superficial. Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008	52
Figura 11: Fotografia de um espalhamento lateral ocorrido em uma rodovia, como resultado do terremoto Loma Prieta, em 1989, na Califórnia, EUA. (Fotografia por Steve Ellen, U.S. Geological Survey). Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.	52
Figura 12: Esquema de fluxo de detritos. Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008	53
Figura 13: Danos causados por um fluxo de detritos na cidade de Caraballeda, na base da Cordilheira de La Costan, no litoral norte da Venezuela. Em dezembro de 1999, esta área foi atingida pelo pior desastre natural do século 20; muitos dias de chuva torrencial deflagraram o escoamento de lama, torrões de solo, água e árvores que mataram aproximadamente 30.000 pessoas. (Imagem por L. M. Smith, Waterways Experiment Station, U.S. Army Corps of Engineers). Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.	54
Figura 14: Esquema de um Lahar. Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.	55
Figura 15: Imagem de um “lahar” causado pela erupção de 1982 no Monte St. Helens em Washington, EUA. (Imagem por Tom Casadevall do U. S. Geological Survey). Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.	56
Figura 16: Esquema de avalanche de detritos. Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.	57
Figura 17: Uma avalanche que soterrou o vilarejo de Guinsaigon, ao sul de Leyte, Filipinas, em fevereiro de 2006. (Imagem da Equipe Geotécnica da Universidade de Tóquio). Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.	57
Figura 18: Esquema de um fluxo de terra. Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008	58
Figura 19: Fluxo de terra de Lemieux, 1993 — um rápido fluxo de terra ocorrido em argila marinha sensível, próximo a Ottawa, Canadá. O	

cume da escarpa regrediu 680 metros no nível do solo, passando por cima da margem do rio. Aproximadamente 2,8 milhões de toneladas de argila e silte liquifizeram e escorreram para o vale do rio South Nation, represando o rio (Imagem de G. R. Brooks do Geological Survey of Canada). Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.....	59
Figura 20: Esquema de um deslizamento lento de terra, geralmente chamado de rastejo. Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.....	60
Figura 21: Esta imagem mostra os efeitos do rastejo, em uma área próxima a East Sussex, no Reino Unido, chamada Chalk Grasslands. Taludes íngremes de depósitos de calcário marinho desenvolvem um padrão estriado, horizontal, com degraus, cobertos por gramado, de 0,3 a 0,6 metros (1 a 2 pés) de altura. Embora, posteriormente, se tornem mais distintos, devido a caminhos do gado ou ovelhas ao longo dessas formações, (comumente conhecidos por caminho de ovelhas), esses terrenos são formados pelo movimento de rastejo, lento e gradual do solo, morro abaixo. (Imagem de Ian Alexander). Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.....	60
Figura 22: Esquema de um escoamento regressivo no degelo. (Esquema por Jan Aylsworth, Geological Survey of Canada). Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.....	62
Figura 23: Imagem de um escoamento regressivo no degelo em território do noroeste do Canadá. Queimadas provavelmente contribuíram para o tamanho do deslizamento, ao danificar uma camada isolada de musgo, o que gerou um espessamento da camada ativa, a qual está degelando em uma área permanentemente congelada. (Imagem de Marten Geertsema, Ministry of Forests, British Columbia, Canadá). Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.....	63
Figura 24: Modelo esquemático mostrando a evolução tectônica da Bacia do Itajaí segundo Krebs et al. (1990). Fonte: Egas (2011).....	68
Figura 25: Mapa geológico nas imediações do deslizamento de Nova Rússia (modificado a partir do Mapa geológico de Santa Catarina pela CPRM). NP3ijga é a formação Gaspar da era Neo-Proterozóica e NP3ijgs é a formação Garcia da era Neo-Proterozóica. Ambas as formações pertencem ao Grupo Itajaí. Fonte: adaptado do relatório de investigação do movimento de massa de Nova Rússia Defesa Civil – Prefeitura de Blumenau, 2016.	74
Figura 26: Distribuição de lineamentos identificados nas imediações do deslizamento de Nova Rússia. Fonte: adaptado do relatório de	

investigação do movimento de massa de Nova Rússia Defesa Civil – Prefeitura de Blumenau, 2016.	76
Figura 27: Coleta de amostras indeformadas para realização de ensaios de cisalhamento direto em laboratório.	89
Figura 28: Coleta das amostras indeformadas para realização de ensaios de cisalhamento direto em laboratório.	90
Figura 29: Fluxograma do processamento das fotografias adquiridas pelo levantamento com drone. Fonte: adaptado de Müller V.S., Coutinho I., Flach M.K., Fornasa T.L., Espíndola M.S., Flores J.A. (2019) The Use of UAS in 3D Geotechnical Slope Stability Analysis. In: Shakoor A., Cato K. (eds) IAEG/AEG Annual Meeting Proceedings, San Francisco, California, 2018 - Volume 1. Springer, Cham.....	94
Figura 30: Mapa da área de estudo com a plotagem dos pontos de coleta das amostras de rocha.....	97
Figura 31: Foto da área de estudo, círculos em vermelho indicando os pontos de coleta das amostras de rocha.....	98
Figura 32: Amostra P-01 vista a olho desarmado.	99
Figura 33: Amostra P-02.	100
Figura 34: Amostra P-03.	101
Figura 35: Amostra P-04.	102
Figura 36: Amostra P-05.	103
Figura 37: N.C 25x - Presença de lítio sedimentar.....	104
Figura 38: N.C 10x - Plagioclásio (oligoclásio), quartzo monocristalino, extinção ondulante, lítio sedimentar e material argiloso.....	105
Figura 39: N.C. 25X - Plagioclásio microfraturado, feldspato alcalino, quartzo e material argiloso.....	107

Figura 40: N.C. 25X - Plagioclásio fraturado e microfraturado, quartzo, feldspato alcalino e material argiloso.....	107
Figura 41: N.C. 25X - Muscovita dobrada e fraturada, lítio metamórfico, quartzo mono e policristalino.....	109
Figura 42: N.C. 25X - Muscovita dobrada e fraturada, quartzo alongado e subarredondado e feldspato alcalino.....	109
Figura 43: N.C. 25X - Quartzo monocristalino com crescimento sob pressão, feldspato alcalino e material argiloso.....	111
Figura 44: L.N. 10X - Feldspato alcalino, quartzo, zircão e óxido de ferro.....	111
Figura 45: N.C. 25X - Muscovita dobrada, microfraturada com bordas alteradas, quartzo e material argiloso.....	112
Figura 46: N.C. 10X - Lítio metamórfico, quartzo, feldspato alcalino, muscovita dobrada e óxido de ferro.....	113
Figura 47: N.C. 10X - Quartzo, feldspato alcalino, plagioclásio, óxido de ferro e material argiloso.....	114
Figura 48: L.N. 4X - Lamito, lítio sedimentar, quartzo, feldspato e óxido de ferro.....	115
Figura 49: N.C. 10X - Lamito sedimentar, lítio ígneo, quartzo, muscovita e feldspato.....	115
Figura 50: N.C. 10X - Filete de lamito sedimentar, irregular, envolvendo grãos de quartzo.....	117
Figura 51: N.C. 10X - Lítio metamórfico, e quartzo de contornos irregulares.....	118
Figura 52: N.C. 10X - Fina camada de lamito sedimentar, lítio metamórfico e microdobrado.....	118
Figura 53: N.C. 10X - Muscovita microdobrada, lítio metamórfico e ígneo, e quartzo monocristalino.....	119
Figura 54: L.N. 10X - Grãos de quartzo e mica estirados na mesma direção e perpendicular ao lítio metamórfico.....	121

Figura 55: N.C. 40X - Quartzo e muscovita alongados na mesma direção, envolvidos por argila.	121
Figura 56: N.C. 10X - Muscovita, quartzo, lítio ígneo e metamórfico.	122
Figura 57: N.C. 10X - Massa de argila escura envolvendo grãos de quartzo, muscovita e plagioclásio.	123
Figura 58: N.C. 10X - Quartzo, muscovita e lítio metamórfico.	123
Figura 59: Foto do local do deslizamento, setas em vermelho indicando o local de coleta dos sedimentos.	124
Figura 60: Histograma de frequência simples das amostras de solo S-01 e S-02.	126
Figura 61: Gráfico da frequência acumulada retida das amostras de solo S-01 e S02.	127
Figura 62: Gráfico da frequência acumulada passante das amostras de solo S-01 e S-02.	128
Figura 63: Direções principais das fraturas encontradas em campo, processadas no software Shalstab. Direções principais NE-SW e destaque para estrutura NW-SE.	129
Figura 64: Foto com as famílias de fraturas medidas durante a etapa de campo.	131
Figura 65: Foto da encosta com os arenitos expostos, detalhe para o plano das camadas verticalizado na mesma direção do deslizamento.	135
Figura 66: Imagens sinóticas elaboradas entre os dias 21 e 23 de outubro de 2015. Os sistemas atmosféricos atuantes durante o período estão desenhados sobre a imagem de satélite GOES no canal do infravermelho, que realçam as nuvens com maior espessura vertical, associadas à precipitação mais intensa (tons de branco, verde e vermelho). Nome dos sistemas atmosféricos relacionados à precipitação: Linha com triângulos azuis □ frente fria; B □ centro de baixa pressão; Vetor vermelho □ jato subtropical; Vetor laranja □ jato de baixos níveis. (http://www.ciram.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=60&Itemid=199)	141
Figura 67: Mapa da área de estudo, polígonos em preto indicando as cicatrizes de antigos deslizamentos na encosta.	143

Figura 68: Modelo Digital do Terreno – MDT. Tons mais escuros indicam áreas mais planas (baixas). Tons mais claros indicam locais de maior altitude.....	144
Figura 69: Mapa da área de estudo com as curvas de nível de 1 (hum) metro.	145
Figura 70: Mapa da Declividade da área de estudo.	146
Figura 71: Mapa do Relevo Sombreado.....	147
Figura 72: Mapa de Risco de Deslizamento.....	148
Figura 73: Mapa de Susceptibilidade a deslizamento.....	150
Figura 74: Ortofoto da área de estudo realizada com Vant/Drone, linha em azul indicando antigo trajeto do curso d'água, círculo em vermelho indicando o local da casa do Sr Wille que foi destruída após a mudança do trajeto do rio.	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Amostras de rochas coletadas em campo e suas tipologias	96
Tabela 02: Amostra de solo S-01	125
Tabela 03: Amostra de solo S-02	126

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CPRM – Serviço Geológico Nacional

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

EPAGRI/CIRAM – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina / Centro Integrado de Informações Ambientais e de Hidrometeorologia

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

L.N – Luz Natural

MDE – Modelo Digital de Elevação

MDT – Modelo Digital do Terreno

N.C – Nicóis Cruzados

NW – Noroeste

NE – Nordeste

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SW – Sudoeste

SE – Sudeste

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration

SC – Santa Catarina

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1. Introdução.	33
1.1. Localização da área.	37
2. Referencial teórico.	39
2.1. Movimentos de massa: revisão conceitual	39
2.2. Classificação dos movimentos de massa 42	
2.2.1 Quedas	43
2.2.2 Tombamento.	45
2.2.3 Escorregamentos.	46
2.2.3.1 Escorregamento Rotacional 46	
2.2.3.2 Escorregamento Translacional	49
2.2.4 Espalhamento.	51
2.2.5 Escoamento.	53
2.2.6 Lahars.	54
2.2.7 Avalanche de Detritos.	56
2.2.8 Fluxo de Terra.	57
2.2.9 Fluxo Lento de Terra. 59	
2.2.10 Escoamentos em Subsolos Permanentemente Gelados 61	
3. Geologia.	63
3.1 Geologia Regional 63	
3.2 Geologia Local 73	
4. Modelos computacionais.	76
5. Justificativa	78
6. Objetivos.	79
6.1 Objetivo Geral 79	

6.2 Objetivos	
Específicos	79
7. Metodologia	81
7.1 Pré	
Campo. 81	
7.2 Etapa	de
Campo.....	84
7.3 Pós	
Campo. 85	
7.3.1 Análise Macroscópica das Amostras de	
Rochas 86	
7.3.2 Análise Microscópica das Amostras de	
Rochas 87	
7.3.3 Ensaios de Cisalhamento	
Direto. 88	
7.3.4 Modelagem Matemática.	
91	
7.3.5 Análise em	
SIG.....	93
7.3.6 Levantamento com	
Vant/Drone.....	93
8. Resultados.....	95
8.1 Resultados: Análise da Geologia Local e Descrição das	
Amostras Coletadas	95
8.1.2 Análise	
Macroscópica.....	96
a) Amostra P-	
01.....	98
b) Amostra P-	
02.....	99
c) Amostra P-	
03.....	100
d) Amostra P-	
04.....	101
e) Amostra P-	
05.....	102
8.1.3 Análise	
Microscópica.....	103
a) Amostra P-	
01.....	103

02.....	b)Amostra	P-	110
03.....	c)Amostra	P-	112
04.....	d)Amostra	P-	116
05.....	e)Amostra	P-	120
Solo.	8.2 Resultados: Amostras de		124
Lineamentos.	8.3 Resultados: Análise das Medidas Estruturais e		128
Ocorrido.	8.4 Resultados: Análises da Geotecnia, Padrões e Classificação do Movimento de Massa		132
Rússia.	8.5 Resultados: Análise das Condições Meteorológicas Associadas ao Deslizamento em Nova		138
SIG	8.6 Resultados: Análise em		142
Shalstab.	8.7 Resultados: Análises no		148
Vant/Drone.	8.8 Resultados: Análises com o Uso do		150
9. Considerações			
Finais.			151
	9.1 Conclusões.		152
	9.2 Recomendações.		155
10. Referências	Bibliográficas.		
			156

1. Introdução

O território do Estado de Santa Catarina (SC) tem sido palco de vários desastres naturais nas últimas décadas, que por sua vez acarretaram em perdas econômicas e humanas, como por exemplo as enchentes no Vale do Itajaí (Blumenau e Rio do Sul) em 1983 e 1984; Florianópolis e Timbé do Sul no ano de 1995 (PELLERIN et al., 1997; PELLERIN, et al. 2002); o desastre em novembro de 2008 que abrangeu principalmente o baixo e médio Vale do Rio Itajaí; e recentemente as chuvas intensas no Alto Vale do Itajaí que atingiram Mirim Doce, Taió e Rio do Campo no início do ano de 2011, provocando enxurradas, grandes deslizamentos e fluxos de detritos; e em setembro de 2011 grandes volumes de chuva, também no Vale do Itajaí, provocaram inundações e deslizamentos em diversos municípios, a exemplo de Rio do Sul e Blumenau (TOMAZZOLI, 2012).

Os deslizamentos e inundações ocorridos na primavera de 2015 na região de Nova Rússia, Município de Blumenau, resultaram em soterramentos de casas, pessoas desabrigadas, prejuízos na economia local e inúmeras perdas materiais. Os movimentos de massa aconteceram durante as últimas semanas do mês de outubro,

desencadeados pela precipitação intensa nos meses de setembro e outubro, aproximadamente 793 mm na região do Vale do Itajaí (EPAGRI/CIRAM, 2015).

Em termos genéricos a palavra deslizamento ou escorregamento é o movimento de descida do solo, rochas e material orgânico, sob o efeito da gravidade, assim como a formação geológica resultante de tal movimento (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008), ou em outras definições o coletivo de massa e/ou material sólido encosta abaixo, como solos, rochas e vegetação, sob a influência direta da gravidade (SELBY, 1993). As classificações dos diferentes tipos de deslizamento estão vinculadas aos mecanismos específicos de falhas em encostas e às características e propriedades desses tipos de falhas geológicas (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008). Existem na literatura outros termos que são comumente utilizados a “deslizamento”, que incluem movimento de massa, rompimento de talude, tornando-se comum aplicá-los a todos os tipos e tamanhos de deslizamento. Esses movimentos podem ocorrer principalmente com elevados volumes de precipitação e/ou terremotos. Tanto chuvas intensas de curta duração quanto de longa duração (chuvas contínuas) fornecem condições propícias para a diminuição

da resistência do solo, atuando como um dos principais agentes deflagradores de movimentos de encostas em ambientes tropicais úmidos (GUIDICINI e IWASA, 1976). Os escorregamentos são classificados quanto à cinemática do movimento (velocidade e direção), o tipo de material (solo, rocha, detritos, etc.), a geometria (tamanho e forma das massas) e o conteúdo de água (CARSON e KIRKBY, 1975; CROZIER, 1986; SELBY, 1993; FERNANDES e AMARAL, 1996).

A área de estudo abrange uma geologia diversificada e complexa, característica do Escudo Catarinense envolvendo rochas pertencentes ao Complexo Granulítico de SC. Este Complexo Granulítico foi designado por Hartmann *et al.* (1979) e é constituído principalmente por gnaisses polifásicos de composição básica, podendo também ocorrer: rochas cálcio-silicatadas, piroxênitos, anortositos, anfíbolitos, quartzitos e silimanita gnaisses. Estas rochas alcançaram grau metamórfico de fácies Granulítico e possuem foliação metamórfica principal com mergulho subvertical e direção preferencial NE, conforme definido por Hartmann (1988), porém de acordo com Basei *et al.* (1992), o bandamento dessas rochas apresenta direção NW. Estas rochas encontram-se por muitas vezes capeadas por

um manto de intemperismo bastante espesso, atingindo profundidades muitas vezes superiores a 30 metros (TOMAZZOLI, 2012).

O Complexo Granulítico é cortado por abundantes falhas e zonas de cisalhamento, com destaque para o lineamento ou zona de cisalhamento Perimbó, com direção N55°E, que põe as rochas deste complexo em contato com as rochas dos grupos Brusque e Itajaí, respectivamente. Incidem também falhas e zonas de cisalhamento nos quadrantes N80°E, N20°E e N30°W. Estas estruturas controlam os vales fluviais profundos e retilíneos que proporcionam encostas com alta declividade, onde ocorrem grandes movimentos de massa condicionados pelo relevo acidentado anexo a grandes espessuras no manto de intemperismo (TOMAZZOLI, 2012). Estes vales, muitas vezes, são preenchidos por depósitos sedimentares aluvionares.

É necessário o aprofundamento dos estudos sobre as ocorrências de deslizamentos durante o evento climático de setembro e outubro de 2015, avaliando o potencial de riscos geológicos em áreas já ocupadas ou passíveis de expansão urbana na região de Nova Rússia. É importante lembrar que as diretrizes nacionais do Ministério das Cidades preveem o

mapeamento de riscos de desastres naturais na elaboração do plano diretor dos municípios, permitindo assim uma melhor adequação do uso do solo nas áreas suscetíveis a ocorrências de deslizamentos.

1.1. Localização da área

A área de estudo está localizada ao sul do Município de Blumenau, no Estado de SC, em uma região conhecida como Nova Rússia (Figura 1). As coordenadas geográficas do local no sistema de referência SIRGAS 2000 são 27° 0' 45.40" S e 49° 5' 57.89" O.

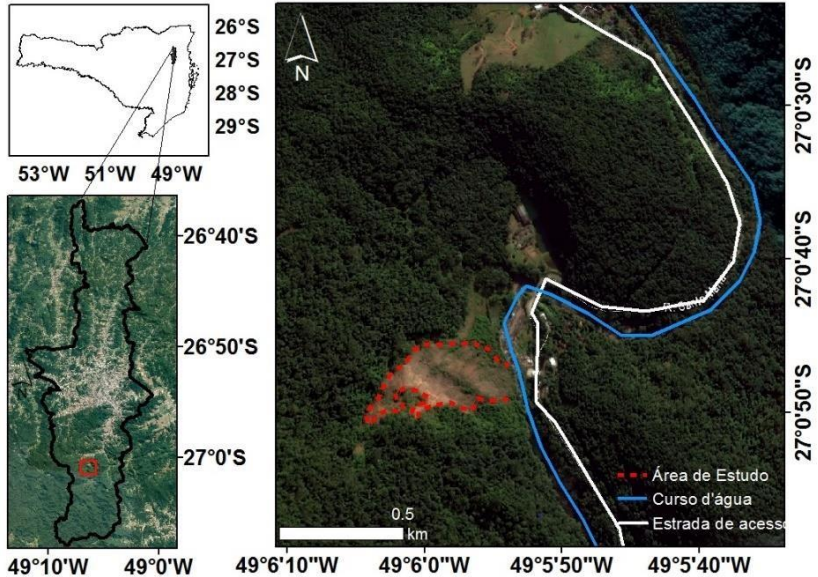


Figura 01: Mapa de localização da área de estudo, no canto superior esquerdo o município de Blumenau no Estado de SC, no canto inferior esquerdo (polígono em vermelho) a localização do local do deslizamento em relação ao Município e a direita a imagem Google Earth do movimento de massa. Fonte: Modificado do Google Earth, acessado em 17/05/2017.

Mais precisamente o deslizamento de 23 de outubro de 2015 está localizado em uma encosta íngreme natural, voltada para o leste ao longo do Rio Garcia, cerca de 2,5 km ao sul da comunidade de Nova Rússia. Na base da encosta em que ocorreu o deslizamento está a comunidade Rancho do Willy, a qual é composta por quatro famílias que possuem suas residências perto do Rio Garcia. Este

rio, um braço do Rio Itajaí, flui em uma direção geral nortesul, passando pelo deslizamento da encosta, volta-se para nordeste-sudoeste na comunidade Nova Rússia e, finalmente, se junta ao Rio Itajaí dentro da cidade de Blumenau. A Rua Santa Maria, único acesso às comunidades localizadas à montante, corre geralmente ao longo do Rio Garcia. Esta rua, é aproximadamente três a cinco metros mais elevada que o leito do rio na proximidade da encosta onde ocorreu o deslizamento (Relatório técnico da Defesa Civil/Prefeitura de Blumenau, 2016).

2. Referencial teórico

2.1 Movimentos de massa: Revisão Conceitual

Desde o início da civilização a sociedade de uma maneira geral é acometida de fenômenos naturais como enchentes e deslizamentos e, quando esses fenômenos atingem áreas ou regiões habitadas pelo homem, passam a ser chamados de desastres naturais. O conceito adotado pelo Escritório das Nações Unidas para a Redução do Risco de Desastres UM-ISDR (2009) considera desastre como uma grave perturbação do funcionamento de uma comunidade ou de uma sociedade e os impactos gerados

não são possíveis de recuperação pela comunidade afetada quanto a arcar com os prejuízos causados (TOMINAGA *et al.*, 2012). Estes fenômenos por vezes provocam verdadeiros desastres naturais com perdas irreparáveis, sobretudo quando se trata de vidas humanas ou perdas econômicas e ambientais.

Diante dos inúmeros fenômenos naturais como terremotos, tsunamis, enchentes, furacões, etc., esse trabalho foca em um deles, os movimentos de massa. Esse fenômeno é caracterizado por vários tipos de movimento encosta abaixo de massas de solo, rocha, lama ou outros materiais inconsolidados sob a ação da força da gravidade (PRESS *et al.*, 2006).

Deslizamento é basicamente um movimento de descida de rocha, solo, ou ambos, em declive, ocorrendo a ruptura de uma superfície, que pode ser uma ruptura curva, classificando-se em escorregamento rotacional, ou uma ruptura plana gerando um escorregamento translacional. A maior parte do material move-se como uma massa coerente ou semicoerente, com pequena deformação interna. É importante destacar que, em alguns casos, os deslizamentos podem envolver outros tipos de movimentos, seja no desencadeamento da ruptura ou posterior a ele, caso as

propriedades sejam alteradas durante o movimento do material (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008). Essas massas não são empurradas para baixo por ação de algum agente de erosão como a água, vento ou gelo de geleiras e, sim porque a força da gravidade supera a coesão (resistência à deformação) dos materiais da encosta (PRESS et al., 2006). Alguns fatores como terremotos, inundações, falhas geológicas podem colaborar para o desencadeamento de tais movimentos. Sob a forma de variadas combinações de queda, deslizamento ou fluxo, os movimentos de massa podem deslocar desde pequenas quantidades de solo, por vezes quase que imperceptíveis até imensos escorregamentos que descarregam toneladas de rocha e terra no fundo dos vales próximos a encosta íngremes das regiões montanhosas (PRESS et al., 2006). Pode-se salientar que não há prevenção para os movimentos de massa naturais, mas é possível controlar as construções e o uso do solo para minimizar perdas, porém nesse contexto é necessário a participação efetiva do poder público para fiscalizar e limitar ocupações indevidas e paralelamente um trabalho de conscientização com a população para que ajudem na fiscalização e tenham noção/informação do que são áreas de risco e como agir em situações de catástrofes. Para entender melhor como ocorre

os movimentos de massa é fundamental definir os tipos de movimentos de massa e as classificações utilizadas.

2.2 Classificação dos movimentos de massa

No seu contexto os movimentos de massa podem ser de diversos tipos, pois envolvem uma variedade de materiais e processos. Uma das classificações mais utilizadas no âmbito internacional, devido a sua simplicidade, é a proposta por Varnes (1978), este se baseia no tipo de material transportado e no tipo de movimento ocorrido (TOMINAGA et al., 2012). As classificações brasileiras foram inicialmente definidas por FREIRE, (1965), GUIDICINI & NIEBLE (1984) e de AUGUSTO FILHO (1992), segundo (TOMINAGA et al., 2012).

O tipo de movimento é que vai descrever a mecânica interna de como a massa é deslocada: queda, envergamento, escorregamento, espalhamento ou escoamento. Desta maneira, os deslizamentos são descritos pelo uso de dois termos que se referem respectivamente, ao tipo de movimento e ao material, ou seja, queda de rocha, de detritos, etc. Deslizamentos também podem formar uma ruptura complexa, que pode incluir mais de um tipo de

movimento, ou seja, deslizamento de rocha e fluxo de detritos (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).

Conforme o Manual de Deslizamento elaborado pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos - USGS, os diferentes tipos de deslizamento podem ser definidos como: quedas; tombamento; escorregamento rotacional ou translacional; espalhamento; escoamento; Lahars; avalanche de detritos; fluxo de terra; rastejos e escoamentos em solos permanentemente gelados. Estes deslizamentos estão descritos de maneira detalhada a seguir:

- 2.2.1** Quedas: as quedas se iniciam por meio da separação do solo ou da rocha, ou de ambos, de um talude íngreme, ao longo de sua superfície, na qual tenha ocorrido pouco ou nenhum deslocamento por cisalhamento. Em seguida, o material vem abaixo, principalmente por queda, salto ou rolamento. O volume de material em uma queda pode variar substancialmente, de rochas individuais ou torrões de solo a blocos maciços de milhares de metros cúbicos de volume (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008), figuras 02 e 03.

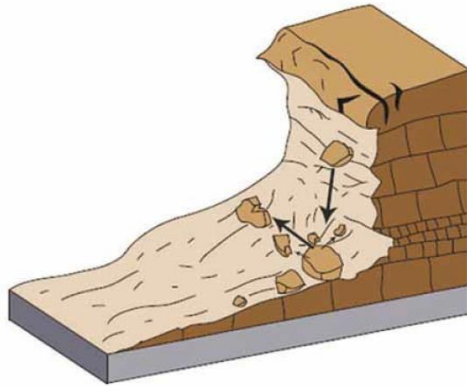


Figura 02: Esquema de queda de rochas. Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.



Figura 03: Queda rochosa e deslizamento ocorrido em Clear Creek Canyon, Colorado, EUA, em 2005, fechando o trânsito no canyon por várias semanas. A fotografia também mostra um exemplo de uma parede de pedras (cortina), um tipo de barreira comumente aplicado sobre faces rochosas de risco (centro e direita da foto). (Foto por Colorado Geological Survey). Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.

2.2.2 Tombamento: os tombamentos são identificados por uma rotação frontal de uma massa de solo ou rocha para fora do talude, em torno de um ponto, ou eixo, abaixo do centro de gravidade da massa deslocada. Por vezes são causados pela gravidade exercida sobre o peso do material na parte superior da massa deslocada (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008), figuras 04 e 05.

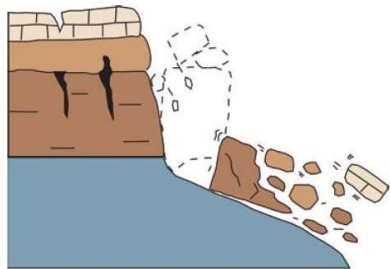


Figura 04: Esquema de tombamento. Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.



Figura 05: Fotografia de um bloco envergando em Fort St. John, British Columbia, Canadá. (Foto por G. Bianchi Fasani).
Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.

2.2.3 Escorregamentos: os escorregamentos são movimentos de uma massa de solo ou rocha, em declive, que ocorre sobre superfícies em ruptura ou sobre zonas relativamente finas com intensa deformação por cisalhamento. Neste caso o movimento não ocorre, inicialmente, de maneira simultânea, por toda área que vem a se tornar a superfície da ruptura, ou seja, o volume de material deslocado aumenta a partir de uma área no local da ruptura. Podem ser separados em dois tipos diferentes, rotacional ou translacional (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).

2.2.3.1 O escorregamento rotacional é um tipo de deslizamento em que a superfície da ruptura é curvada no sentido superior (em forma de colher) e o movimento da queda de barreira é mais ou menos rotatório em torno de um eixo paralelo ao contorno do talude. Neste caso a massa que é deslocada pode, sob certas circunstâncias, mover-se de maneira relativamente coerente, ao longo da superfície de ruptura e com pouca deformação interna. O topo do material deslocado pode mover-se quase que

verticalmente para baixo e a parte superior desse material pode inclinar-se para trás em direção ao talude. Caso o escorregamento seja rotacional e possua vários planos de movimento paralelos e curvos, então é chamado abaixamento (“*slump*”). Desenvolve-se em taludes que variam de 20 a 40 graus de inclinação e em solos cuja a superfície de ruptura possui geralmente uma relação de profundidade que varia de 0,3 a 0,1 metros. Sua velocidade varia de acordo com a profundidade do solo, podendo ser extremamente vagarosa (menos de 0,3 metros) a moderadamente rápida (1,5 metros), ou em alguns casos de maneira rápida. Os fatores que desencadeiam tal movimento podem ser chuva intensa ou contínua, rápido degelo que pode levar à saturação dos taludes e aumentar os níveis de água no interior do solo; escoamento rápido de rios após enchentes; também podem ocorrer pelo aumento de água subterrânea devido ao enchimento de represas ou o aumento no nível de ribeirões, lagos e rios, que venham a causar erosão na base dos taludes. Em alguns casos, podem ser induzidos por terremotos (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008), figuras 06 e 07.

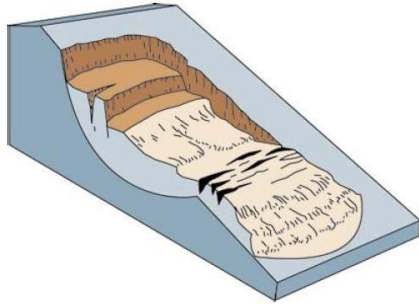


Figura 06: Esquema de escorregamento rotacional. Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.

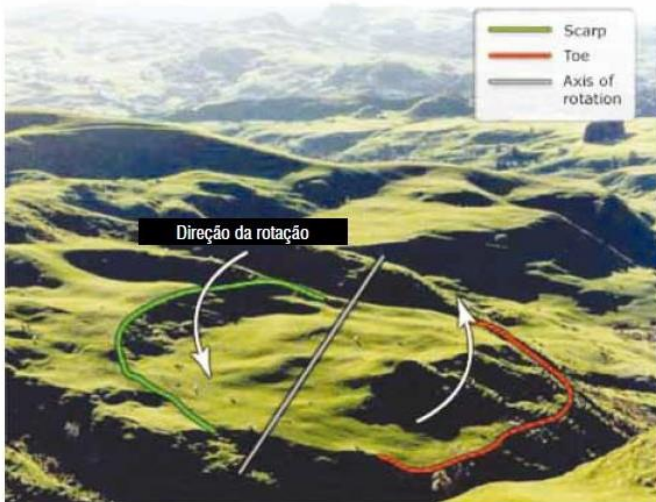


Figura 07: Fotografia de um escorregamento rotacional ocorrido na Nova Zelândia. A curva verde no centro, à esquerda é a escarpa (área onde o solo rompeu). O solo em pequenas elevações na parte inferior, à direita, é a ponta do deslizamento (linha vermelha). Este fenômeno é chamado escorregamento rotacional pela terra ter se movido da esquerda para a direita de modo curvo. A direção e o eixo da rotação

também estão ilustrados. (Foto por Michael J. Crozier, Encyclopedia of New Zealand, atualizada em 21 de setembro de 2007). Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.

2.2.3.2 O escorregamento translacional acontece quando a massa de um escorregamento se move para fora, ou para baixo e para fora, ao longo de uma superfície relativamente plana, com pequeno movimento rotacional ou inclinação para trás. Esse tipo de deslizamento pode progredir por distâncias consideráveis, se a superfície da ruptura estiver suficientemente inclinada, ao contrário dos escorregamentos rotacionais, que tendem a restaurar o equilíbrio do deslizamento. No translacional o material deslizado pode variar de solo solto e não adensado até grandes placas de rochas, ou ambos. Estes escorregamentos podem ocorrer comumente ao longo de descontinuidades geológicas tais como falhas, junções, superfícies, estratificações, ou o ponto de contato entre rocha e solo. No geral são mais rasos que os escorregamentos rotacionais. A superfície de ruptura possui razão entre a distância e a extensão de menos de 0,1 m e pode variar de pequena, como o tamanho de um lote residencial, a muito grande e regional, com quilômetros de extensão. O movimento pode ser

inicialmente vagaroso, ou em velocidade moderada, ou ainda extremamente rápido. Com o aumento da velocidade, a massa deslizante ou as rupturas translacionais podem ser desintegradas e transformadas em fluxo de detritos. Os mecanismos que desencadeiam os deslizamentos translacionais são variados, porém o principal é devido à chuva intensa, aumento do nível de volume de água no solo por precipitação, degelo, inundações, aumento do nível de água devido a irrigações, vazamentos de tubulações ou distúrbios relacionados à ação do antrópica, tais como erosão regressiva. Também podem vir a ocorrer pela ação de terremotos ou tremores de terra (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008), figuras 08 e 09.

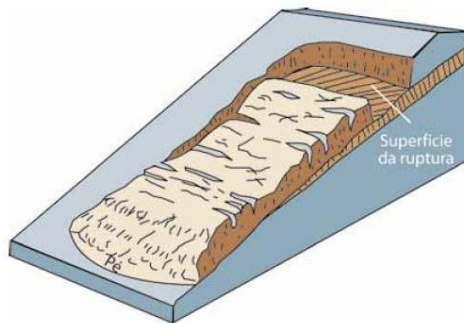


Figura 08: Esquema de escorregamento translacional. Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.



Figura 09: Imagem de um escorregamento translacional que ocorreu em 2001 no Vale do Rio Beaton, British Columbia, Canada. (Fotografia por Réjean Couture, Canada Geological Survey). Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.

2.2.4 Espalhamento: este é um deslizamento relacionado a extensão de uma massa coesiva, composta por solo ou rocha e que se combina a um generalizado afundamento da superfície da massa fraturada de material coesivo para uma camada inferior, de material menos rígido. Podendo ser o resultado de liquefação ou fluxo (extrusão) do material menos rígido. No geral ocorrem em taludes de baixa inclinação ou em terrenos planos, principalmente onde exista uma camada superior de rocha ou solo que ao aumentar sua extensão mova-se para cima de uma camada menos rígida e mais fraca

(HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008), figuras 10 e 11.

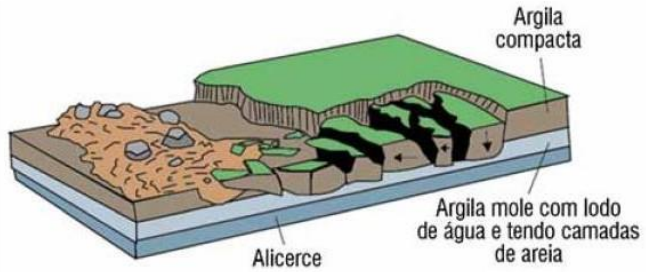


Figura 10: Esquema de espalhamento lateral. Uma camada passível de liquefação está abaixo da camada superficial.

Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.



Figura 11: Fotografia de um espalhamento lateral ocorrido em uma rodovia, como resultado do terremoto Loma Prieta, em 1989, na Califórnia, EUA. (Fotografia por Steve Ellen, U.S.

Geological Survey). Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.

2.2.5 Escoamento: os escoamentos são em geral movimentos espacialmente contínuos, no qual as superfícies de cisalhamento têm vida curta, espaço reduzido entre si e não são preservadas. Os componentes de velocidade na massa que se desloca em um escoamento são semelhantes às de um líquido viscoso. Fluxo de detritos: é uma forma rápida de movimento de massa, em que solo solto e rochas, e por vezes, material orgânico, se misturam à água e formam lama que escoam por talude abaixo (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008), figuras 12 e 13.

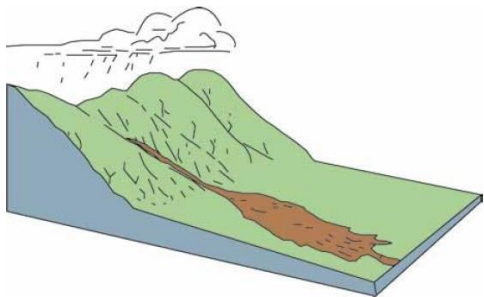


Figura 12: Esquema de fluxo de detritos. Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.

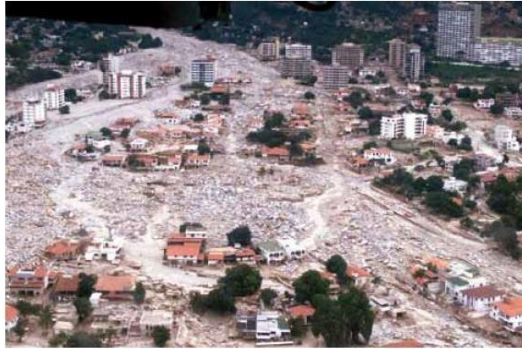


Figura 13: Danos causados por um fluxo de detritos na cidade de Caraballeda, na base da Cordilheira de La Costan, no litoral norte da Venezuela. Em dezembro de 1999, esta área foi atingida pelo pior desastre natural do século 20; muitos dias de chuva torrencial deflagraram o escoamento de lama, torrões de solo, água e árvores que mataram aproximadamente 30.000 pessoas. (Imagem por L. M. Smith, Waterways Experiment Station, U.S. Army Corps of Engineers). Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.

2.2.6 Lahars: a palavra “lahar” tem sua origem no idioma Indonésio que significa escoamento de lama vulcânica. Esse tipo de escoamento origina-se nos taludes de vulcões e é um tipo de fluxo de detritos. “Lahars” podem atingir uma área de centenas de milhas ou quilômetros quadrados e podem crescer com o aumento de velocidade e de acúmulo de fragmentos, conforme descem em seu percurso. Alguns dos maiores “lahars” e

mais letais originaram-se de erupções ou exalações vulcânicas que derreteram, de maneira repentina, a neve e o gelo presente ao redor da saída vulcânica e causaram liquefação rápida e um escoamento ao longo das paredes externas do vulcão, em velocidade catastrófica (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008), figuras 14 e 15.



Figura 14: Esquema de um Lahar. Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.



Figura 15: Imagem de um “lahar” causado pela erupção de 1982 no Monte St. Helens em Washington, EUA. (Imagem por Tom Casadevall do U. S. Geological Survey). Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.

2.2.7 **Avalanche de detritos:** as avalanches de detritos são essencialmente grandes, extremamente rápidas e frequentemente formam escoamentos em taludes abertos e são formadas quando uma encosta instável se rompe e os fragmentos resultantes são rapidamente transportados para longe. Em alguns casos, a neve e o gelo irão contribuir para o movimento, se houver água suficiente, e o deslizamento poderá tornar-se um fluxo de detritos e (ou) um “lahar” (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008), figuras 16 e 17.

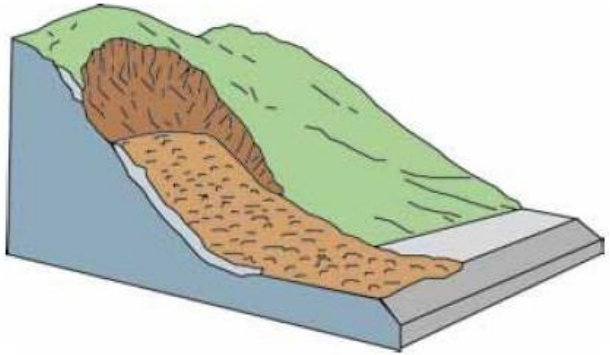


Figura 16: Esquema de avalanche de detritos. Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.



Figura 17: Uma avalanche que soterrou o vilarejo de Guinsaigon, ao sul de Leyte, Filipinas, em fevereiro de 2006. (Imagem da Equipe Geotécnica da Universidade de Tóquio). Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.

2.2.8 Fluxo de terra: os fluxos de terra ocorrem em inclinações suaves e moderadas, geralmente em solo de

granulação fina, como de argila ou silte, mas também em camada de rochas argilosas, sujeitas à ação do tempo. A massa em um fluxo de terra move-se como um fluido plástico e viscoso, com intensa deformação interna. Seu tamanho aumenta com frequência durante a regressão da escarpa. Escorregamentos e espalhamentos laterais também podem evoluir para fluxo de terra (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008), figuras 18 e 19.

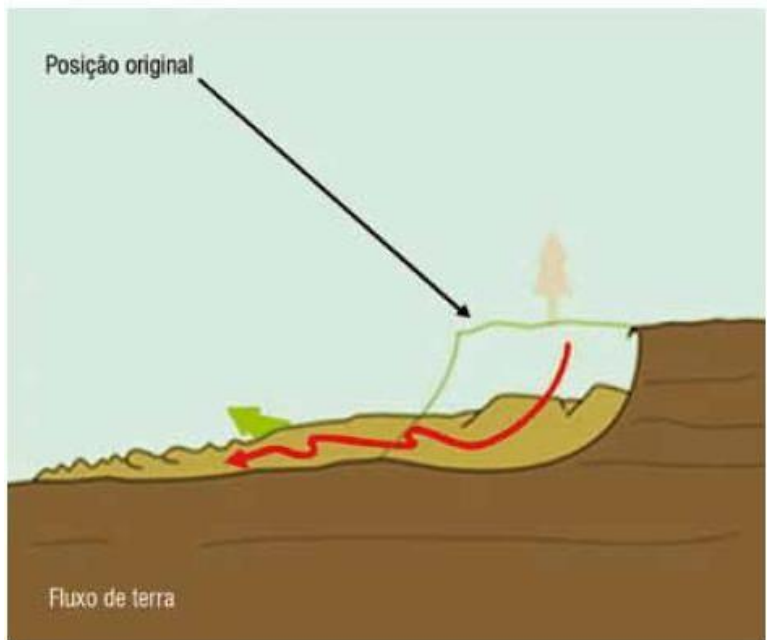


Figura 18: Esquema de um fluxo de terra. Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.



Figura 19: Fluxo de terra de Lemieux, 1993 — um rápido fluxo de terra ocorrido em argila marinha sensível, próximo a Ottawa, Canadá. O cume da escarpa regrediu 680 metros no nível do solo, passando por cima da margem do rio. Aproximadamente 2,8 milhões de toneladas de argila e silte liquifizeram e escorreram para o vale do rio South Nation, represando o rio (Imagem de G. R. Brooks do Geological Survey of Canada). Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.

2.2.9 Fluxo lento de terra: comumente chamado de rastejo (creep), consiste de um movimento vagaroso, imperceptível e contínuo, para baixo do solo que forma o talude. Esse tipo de deslocamento é causado por tensão de cisalhamento interna suficiente para causar deformação, mas insuficiente para causar rupturas

(HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008), figuras 20 e 21.

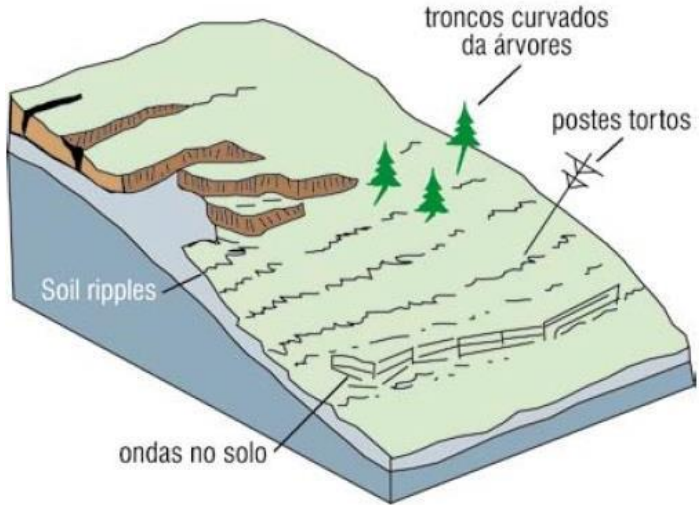


Figura 20: Esquema de um deslizamento lento de terra, geralmente chamado de rastejo. Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.



Figura 21: Esta imagem mostra os efeitos do rastejo, em uma área próxima a East Sussex, no Reino Unido, chamada Chalk Grasslands. Taludes íngremes de depósitos de calcário marinho desenvolvem um padrão estriado, horizontal, com degraus, cobertos por gramado, de 0,3 a 0,6 metros (1 a 2 pés) de altura. Embora, posteriormente, se tornem mais distintos, devido a caminhos do gado ou ovelhas ao longo dessas formações, (comumente conhecidos por caminho de ovelhas), esses terrenos são formados pelo movimento de rastejo, lento e gradual do solo, morro abaixo. (Imagem de Ian Alexander).
Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.

2.2.10 Escoamentos em subsolos permanentemente gelados: são basicamente rupturas em condições de subsolo permanentemente gelados, que envolvem movimentos de solos de granulação fina e anteriormente congelados, podendo ocorrer em inclinações suaves. O degelo sazonal do metro superior de um solo congelado derrete o gelo existente, enfraquecendo a força de cisalhamento e iniciando o escoamento (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008), figuras 22 e 23.

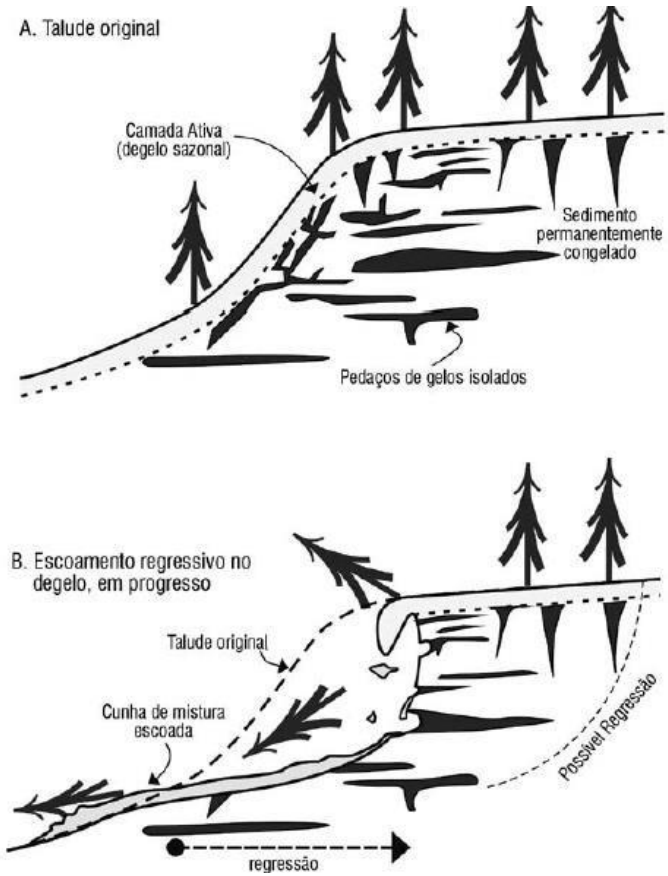


Figura 22: Esquema de um escoamento regressivo no degelo. (Esquema por Jan Aylsworth, Geological Survey of Canada).
 Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.



Figura 23: Imagem de um escoamento regressivo no degelo em território do noroeste do Canadá. Queimadas provavelmente contribuíram para o tamanho do deslizamento, ao danificar uma camada isolada de musgo, o que gerou um espessamento da camada ativa, a qual está degelando em uma área permanentemente congelada. (Imagem de Marten Geertsema, Ministry of Forests, British Columbia, Canadá).
Fonte: Manual de Deslizamento – USGS, 2008.

3 Geologia

3.1 Geologia Regional

De acordo com Scheibe (1986), é possível descrever a geologia de SC de uma maneira mais simples, ou seja, em quatro faixas na direção N-S: De leste para oeste, afloram na atualidade no território Catarinense os sedimentos recentes do litoral; uma faixa de rochas magmáticas e

metamórficas mais antigas; a sucessão das rochas sedimentares gondwânicas; e os derrames de lavas básicas, intermediárias e ácidas da “Serra Geral”.

A área de estudo, localiza-se sobre o contexto regional, na porção Central do estado, e se caracteriza pela presença de rochas pertencentes a Cobertura Vulcanosedimentares do Tipo Foreland, ou seja, localiza-se assentada na faixa do Escudo Cristalino, compreendendo a formação do Grupo Itajaí e Complexo Luiz Alves. Situa-se na Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí que tem aproximadamente 15.000 km². É limitada pela Serra Geral e Serra dos Espigões a Oeste, das Serras da Boa Vista, dos Faxinais e do Tijucas ao Sul e das Serras da Moema e Jaraguá ao Norte (AUMONDO et al, 2009). A base da sedimentação Foreland em Santa Catarina iniciou-se no Período Edicariano no começo da Era Neoproterozóica, cerca de 635 milhões de anos atrás, com deposição de conglomerados e posteriormente arenitos e siltitos da Formação Bateia.

Complexo Granulítico de Santa Catarina: A essa unidade são relatadas as rochas mais antigas do Estado, posicionadas no Arqueano/Proterozóico Inferior. A atuação de eventos como o Ciclo Transamazônico, por exemplo,

não apagou suas características arqueanas, não ocasionando, com isso, dúvida quanto a sua origem e evolução.

As litologias pertencentes a essa unidade são representadas por gnaisses calcissilicáticos, kinzigitos, anortositos, quartzitos, ultramafitos e formações ferríferas. Os gnaisses são as rochas dominantes, de características bandadas, composição quartzo-feldspática, piroxênio e horblenda como máficos principais. Estas rochas apresentam variações locais para tipos isotrópicos ou para migmatitos, ou ainda estruturas gnáissicas foliadas, bandadas, migmatíticas, miloníticas com forte transposição. Localmente ocorrem fenômenos de injeção granítica e blastese feldspática, além de retrometamorfismo.

Alguns enclaves de quartzitos e formações ferríferas são encontrados nos granulitos, além de anortositos, kinzigitos e ultramafitos. Estas litologias mostram origem a partir de seqüências vulcano-sedimentares e rochas da infra-estrutura, cujas idades não deixam dúvidas serem arqueanas. Os fenômenos anatéticos (migmatização) observados ocorrem anteriormente ou de forma sincrônica à granulitização. A tectônica rígida é evidenciada através de várias fases, sendo NE a preferencial, com falhas se

estendendo por alguns quilômetros, além de intensa cataclase e por vezes intrusões de corpos graníticos alcalinos e calco-alcalinos como ocorre a noroeste de Joinville; secundariamente, ocorre uma segunda fase de falhamentos E - W.

Complexo Luiz Alves: O Complexo Luiz Alves trata-se da fácies de uma assembleia petrotectônica de rochas metamórficas principalmente de fácies granulito, em sua maioria de composição quartzo-feldspáticas (metagranitos), geradas no Arqueano e Proterozóico Inferior. Para Basei (1985) citado de Biondi et al. (1992), todas as rochas do complexo granulítico teriam idade mínima de 2,8Ga.

Grupo Itajaí: O Grupo Itajaí localiza-se a leste do Estado de Santa Catarina compreendendo uma área de 1800 km². Incide em sedimentos siliclásticos terrígenos depositados no final do Proterozóico Superior, correspondendo a uma bacia molássica brasileira que descansa sobre os tratos granulíticos do Complexo Luiz Alves (ROSTIROLLA et al., 1992)

O magmatismo ocorreu no final do preenchimento da bacia, aflorando em meio as rochas das unidades superiores (Formação Campo Alegre ou Seqüência Garcia ou unidade

C, conforme o autor). Após o fim do magmatismo ($\pm 541 \pm 26$ Ma) toda a região passou por metamorfismo de grau incipiente (anquimetamorfismo) que permitiu a aparição de sericita em algumas rochas (534 ± 4 Ma) (BIONDI et al., 1992).

A evolução tectônica da bacia, segundo Krebs et al. (1990), ocorreu da seguinte maneira: primeiro uma fase de implantação; depois uma fase de inversão; e citam ainda, uma deformação tardia relacionada com a intrusão de granitóides (Figura 24). A fase de implantação da bacia é apresentada como fruto de “reativação das falhas transcorrentes verticais do sistema N50-60E (Lineamento Perimbó) ” gerando um possível “choque oblíquo continente-continente”.

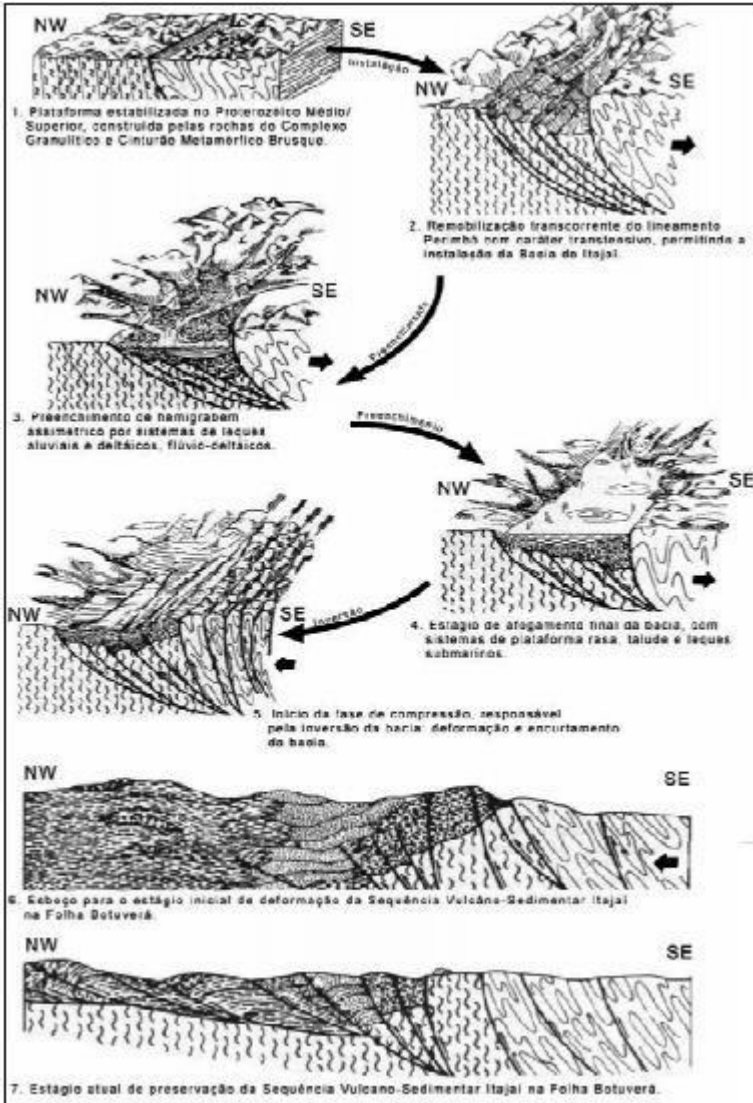


Figura 24: Modelo esquemático mostrando a evolução tectônica da Bacia do Itajaí segundo Krebs *et al.* (1990). Fonte: Egas (2011).

A Bacia do Itajaí (Grupo Itajaí), de acordo Schroeder (2006), é combinada da base para o topo de: conglomerado e arenitos de leques aluviais, pacotes onde predominam arenitos com geometria sigmoidal de frente deltaica, depósitos de conglomerados e arenitos com estratificações festonadas de origem fluvial, ritmitos turbidíticos e pelitos marinho profundo. Muitas camadas de tufos estão interdigitas com os sedimentos da bacia. Granitos e riolitos hipabissais cortam toda a sequência.

A classificação adotada pelo DNPM (SANTA CATARINA, 1986) e descrita por Scheibe (1986) descreve duas formações do Grupo Itajaí: Formação Gaspar: Arenitos lito-feldpáticos médios e grosseiros, de coloração bordô predominante, com eventuais intercalações de ortoconglomerados petromíticos com abundantes clastos subangulosos a subarredondados em matriz arenítica lito-feldspática bordô, principalmente na porção média; intercalações de paraconglomerados com clastos angulosos de composição variada e matriz argilosa bordô, próximo à base; eventuais intercalações de tufos de riolacitos, na porção superior. (SCHEIBE, 1986).

Formação Campo Alegre: Da base para o topo: sequência de rochas efusivas básicas e intermediárias com

pequenas participações de vulcanitos ácidos e rochas sedimentares epivulcanoclásticas; seqüência rítmica de arenitos finos e pelitos de coloração verde e cinza com intercalações de tufos e derrames básicos e intermediários, cortada por diques de mesma composição; seqüência de vulcânicas e piroclásticas ácidas, principalmente traquitos e riolitos e subordinadamente felsitos, tranquiandesitos, dacitos e meláfiros com raras intercalações de folhelhos e siltitos avermelhados; sequencia rítmica de folhelhos e siltitos esverdeados com intercalações de tufos. (SCHEIBE, 1986).

As rochas da Formação Gaspar estão limitadas à porção basal, aflorando especialmente nas bordas da Bacia do Itajaí e da Bacia de Campo Alegre, no centro norte e no extremo norte do Escudo Catarinense. As da Formação Campo Alegre ocorrem nas porções centrais (superiores) dessas bacias. (SCHEIBE, 1986).

São frequentes os arenitos, siltitos e argilitos intercalados uns com outros, falhados. Muitos blocos rochosos inclinados no setor oeste dos afloramentos apresentam-se em formas escarpadas na lateral da rodovia SC-470. Esta situação dos corpos de rochas sedimentares, incluindo os conglomerados e arenitos conglomeráticos,

tem significados para as águas naquele vale, tanto física como quimicamente. Elas são fontes de sedimentos de granulometria variada que podem interferir no escoamento das águas nos períodos de cheias e inundações.

Quaternário: os depósitos do Quaternário em Santa Catarina reúnem uma gama bem diversificada de recursos minerais, destacando-se argilas, turfas, conchas calcárias, diatomitos, areias quartzosas, etc. A característica marcante do litoral catarinense é o contraste existente entre amplas planícies costeiras, interrompidas pela presença de rochas cristalinas pré-cambrianas, próximo à linha de costa. Este contraste entre rochas cristalinas e as planícies mostra-se repetitivo ao longo de todo o litoral, destacando-se no Sul, as feições sedimentares que circundam os sistemas lagunares do Mirim, Imaruí e Santo Antônio e, no Norte, a Baía de São Francisco ou Babitonga e a planície do rio Itapocu.

Depósitos quaternários Pleistocênicos: os sedimentos quaternários pleistocênicos são representados por terraços arenosos em cores branca, acastanhados, pretos em profundidade. As cores escuras são devidas a presença de matéria orgânica. Em alguns locais são encontrados vestígios de artrópodes marinhos. Esses terraços, no setor

norte da costa catarinense, atingem cerca de 20 quilômetros de largura e em sua superfície podem ser vistos vestígios de alinhamentos de antigas cristas praias. Próximo à linha de costa, a espessura chega a 2,5 metros e mais de 10 metros nas porções mais internas das planícies costeiras.

Em alguns locais da planície costeira ocorrem remanescentes de antigos depósitos de cascalho marinhos, evidenciando que os níveis marinhos eram mais altos que os atuais, além de serem anteriores ao Holoceno. Estas ocorrências podem ser vistas a norte do morro de Itajubá, entre Piçarras e Barra Velha, além de outros no litoral sul do estado.

Depósitos quaternários Holocênicos: os sedimentos holocênicos, representados por terraços marinhos arenosos, entram as porções mais baixas e pantanosas e contém conchas de moluscos. Ao contrário dos sedimentos pleistocênicos, esses depósitos não apresentam impregnações de matéria orgânica secundária. No setor norte do litoral catarinense esses depósitos são menos desenvolvidos que os pleistocênicos, possuindo de 2 a 3 km de largura, ou às vezes ausentes como na região de Piçarras. Os sedimentos holocênicos areno-argilosos sobrevivem nas porções elevadas, desenvolvidos durante os

níveis marinhos altos contendo conchas de moluscos. Os depósitos aluviais na região são representados por sedimentos arenosos e síltico-argilosos, que compõem o retrabalhamento dos terraços marinhos arenosos. Também ocorrem sedimentos turfosos, representando antigos lagos ou lagoas, assentados sobre os terraços marinhos. Localmente surgem sedimentos coluvionares continentais, integrados aos sopés dos morros.

3.2 Geologia local

Do ponto de vista geológico, a encosta onde ocorreu o deslizamento está situada na fronteira sul da Bacia do Itajaí. A bacia é assimétrica, alongada aproximadamente na direção N60E. A Bacia do Itajaí representa uma bacia do tipo Foreland do Cinturão Dom Feliciano depositada no final do Neoproterozóico, entre 600 e 560 Ma, e compreende uma espessa camada de rochas sedimentares com uma marcante contribuição turbidítica.

O contato da fronteira sul da Bacia do Itajaí é predominantemente tectônico, com as unidades basais sendo cavalgadas por faixas de gnaisses tonalíticos-granodioríticos do Complexo de São Miguel e pelas rochas sedimentares-metavulcânicas do Grupo Brusque. A encosta onde ocorreu o deslizamento está localizada dentro das

pela CPRM). NP3ijga é a formação Gaspar da era Neo-Proterozóica e NP3ijgs é a formação Garcia da era Neo-Proterozóica. Ambas as formações pertencem ao Grupo Itajaí. Fonte: adaptado do relatório de investigação do movimento de massa de Nova Rússia Defesa Civil – Prefeitura de Blumenau, 2016.

Além disso, outros quatro sistemas de falhas estão presentes, são eles: 1) falha NE-SW, falha NNE-SSW, falha NW-SE e falha NNE-SSW. Interpretação de imagens do satélite LANDSAT 7 (figura 26) também mostra que três lineamentos preferenciais são claramente visíveis nas imediações do deslizamento de Nova Rússia, ou seja, 1) NE-SW, 2) N-S, 3) NNW-SSE. Estas estruturas geológicas contribuem em grande parte para o cisalhamento, o faturamento e intemperismo das rochas sedimentares, gerando um ambiente geológico favorável à criação de uma profunda instabilidade das encostas.

Nenhum mapa geológico de detalhe está disponível nas imediações do deslizamento. No entanto, de acordo com a observação do local, deslizamentos pretéritos e depósitos de tálus abundantes, cobriram amplamente e densamente a encosta onde ocorreu o deslizamento com uma espessura estimada de 2 a 5m; isso indica, evidentemente, que a região, incluindo a encosta onde ocorreu o deslizamento, é geologicamente ativa.

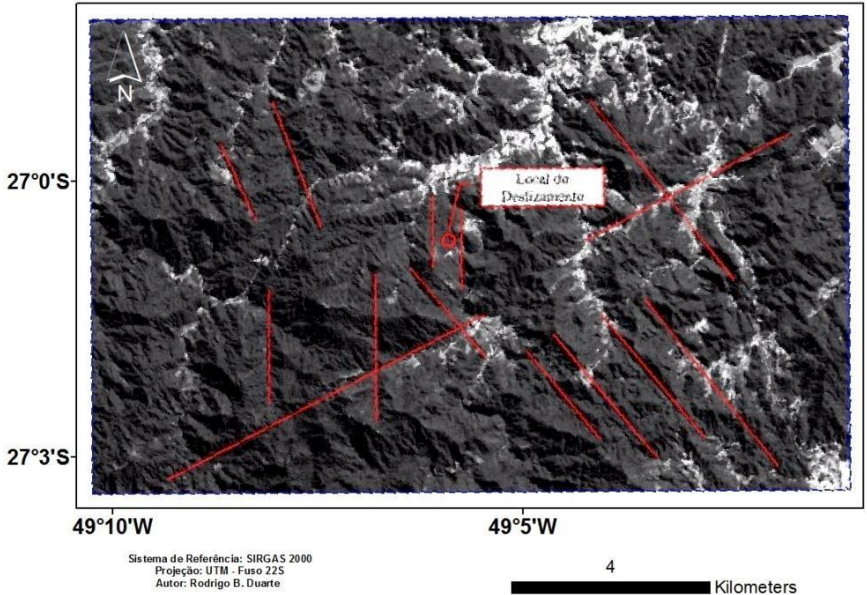


Figura 26: Distribuição de lineamentos identificados nas imediações do deslizamento de Nova Rússia. Fonte: adaptado do relatório de investigação do movimento de massa de Nova Rússia Defesa Civil – Prefeitura de Blumenau, 2016.

4 Modelos computacionais

Os modelos computacionais vêm sendo muito utilizados para elaboração de mapas de susceptibilidade de deslizamentos. Neste cenário é destacado o software Shalstab para tais fins, o qual foi utilizado neste trabalho para elaboração dos mapas de risco. Este modelo computacional SHALSTAB é um modelo determinístico utilizado na identificação de áreas susceptíveis a ocorrência de deslizamentos translacionais rasos. A

modelagem por SHALSTAB foi desenvolvida a partir de estudos realizados em regiões de clima temperado (DIETRICH; MONTGOMERY, 1998). Entretanto, este tem sido usado em diversas regiões de clima tropical no Brasil (GUIMARAES, 2000; GOMES, 2006; MICHEL, 2011; e REGINATTO, 2013).

O uso desse software incorpora em suas análises os parâmetros topográficos da declividade, relaciona o equilíbrio entre escoamento superficial e infiltração da água no solo e a área de contribuição da bacia. A partir desses dados relaciona-se à influência das porções côncavas do relevo nos caminhos que a água percorre (como locais potenciais de saturação) com os parâmetros do solo, como coesão, ângulo de atrito, massa específica natural das partículas sólidas e espessura do solo. A fundamentação matemática do SHALSTAB é composta por dois módulos: (1) O módulo de estabilidade de encosta infinita combina parâmetros geotécnicos e topográficos. Estes parâmetros são usados a fim de simular o grau de estabilidade de uma determinada porção do solo, localizada sobre o afloramento rochoso. (2) O módulo hidrológico de estado uniforme utiliza parâmetros geomorfológicos e hidrológicos para estimar o grau de saturação do terreno.

5 Justificativa

Faz-se necessário investigar mais profundamente os movimentos de massa que ocorrem em Santa Catarina, mais precisamente no Vale do Itajaí, região castigada por desastres naturais. Em sua maioria estes eventos causam muitas perdas econômicas, sociais e inclusive humanas. Além disso, a proposta deste trabalho consiste em um mapeamento de detalhe e caracterização do deslizamento ocorrido na região de Nova Rússia, em Blumenau/SC, durante a primavera de 2015 (mais precisamente no mês de outubro) associado a uma análise geoambiental visando a determinação do grau de favorabilidade das áreas mapeadas a diversos usos do solo e também a delimitação de áreas de risco, através da elaboração de mapas e cartas de susceptibilidade. Estas investigações ainda colaboram para aumentar a capacidade da previsão de movimentos de massa em SC.

6 Objetivos

6.1 Objetivo Geral:

O presente trabalho tem como principal objetivo caracterizar e analisar o movimento de massa ocorrido na primavera de 2015 na região de Nova Rússia, município de Blumenau/SC.

6.2 Objetivos Específicos:

(1). Determinar os padrões e a classificação do movimento de massa ocorrido em outubro de 2015;

(2). Determinar as causas e os fatores que desencadearam o escorregamento;

(3). Determinar a litologia presente na encosta, assim como possíveis falhas geológicas que possam ter colaborado para a ocorrência do deslizamento;

(4). Elaborar por meio do Software Shalstab (utilizando o Modelo Digital do Terreno – MDT de 2012 – anterior ao movimento de massa) uma classificação de susceptibilidade da encosta;

(5). Elaborar mapa de susceptibilidade do deslizamento.

A partir do estudo proposto poderão ser instituídas estratégias de planejamento e de ocupação das áreas atualmente

atingidas, buscando a prevenção ou a diminuição das consequências dos eventos futuros.

7 Metodologia

A metodologia deste trabalho compreenderá tres etapas principais: pré-campo, campo e pós campo.

7.1 Pré Campo

A primeira etapa deste trabalho consistiu em um levantamento bibliográfico dos trabalhos pré existentes que abrangem a área de estudo para uma melhor contextualização geológica da região. Em seguida, foi realizado uma pesquisa dos mapas geológicos e geotécnicos pré existentes cedidos pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil (CPRM) integrado com outras bibliografias, cartas topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para realização de interpretação e averiguação aerofotogeológica das estruturas definidas através das cristas e dos vales (estes dados foram interpretados no ArcGis através de análise de lineamentos e sombreamento, sendo utilizado o modelo digital do terreno - MDT disponibilizado no Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina – SIGSC por meio da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e Sustentável de Santa Catarina – SDS/SC . Para tanto foram utilizados livros, periódicos, dissertações, teses, monografias, memoriais e anais de

congressos, assim como seminários e simpósios. Estes dados foram analisados e trabalhados em ambiente SIG com o software ArcGis® versão 10.1 com a finalidade de preparar uma base cartográfica para auxiliar nos trabalhos de campo. Para levantamento, aquisição e preparação das bases cartográficas o material cartográfico foi obtido de forma digital, conforme disponibilidade, visto que o mesmo configura elemento base para a representação do relevo. Foram adquiridas as seguintes bases cartográficas:

(1) Mapa geológico em escala 1:100.000, disponibilizado pela EPAGRI/CIRAM, pelo Projeto Gerenciamento Costeiro - GERCO desenvolvido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, com projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Zona 22 Sul, Datum de referência South American Datum de 1969 (SAD69);

(2) Mapa pedológico em escala 1:100.000, disponibilizado pela EPAGRI/CIRAM, pelo Projeto Gerenciamento Costeiro - GERCO desenvolvido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, com projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Zona 22 Sul, Datum de referência South American Datum de 1969 (SAD69);

(3) Modelo Digital do Terreno do município de Blumenau, obtido junto à Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina – SDS com tamanho de pixel de 1m.

(4) Fotografias Aéreas do município de Blumenau, obtido junto à Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina – SDS com resolução espectral de 39cm.

Primeiramente, as bases digitais foram estruturadas em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica), com a utilização do software ArcGis 10.1, visando as etapas de geoprocessamento e cartografia digital. Tanto as bases cartográficas em meio digital quanto as fotos aéreas que foram referenciadas no Sistema de Referência SIRGAS 2000 com Projeção Universal Transversa de Mercador – UTM Fuso 22S. Ainda no ambiente SIG, foram elaborados mapas topográficos e de lineamentos. Cabe ressaltar que o modelo digital do terreno (MDT) foi gerado entre os anos de 2010 e 2012, extraído do Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina – SIGSC (disponível para acesso em <http://sigsc.sds.sc.gov.br>), sendo que o deslizamento estudado ocorreu posteriormente em 2015. A partir do MDT (2012) é que foram obtidos valores de altitude e declividade. Por meio do levantamento com o VANT/Drone foi possível gerar um

modelo digital de elevação (MDE) pós evento (2017), bem como a ortofoto da área de estudo.

7.2 Etapa de Campo

Na etapa de campo foi realizado mapeamento geológico/geotécnico sistemático do deslizamento através de caminhamentos na área identificando os principais litotipos/litosolos, bem como coleta de amostras representativas e descrição de afloramentos. Essa etapa ocorreu em diferentes datas, dividindo-se em cinco etapas, a fim de realizar um levantamento temporal, assim como realizar análises diferenciadas ao longo de cada saída de campo. A primeira etapa consistiu em um levantamento preliminar do evento, por meio de amostragem in loco do deslizamento, delimitação da área de espriamento do material deslizado, registro de fotografias, amostragem da geologia local e captação de informações com moradores. Na segunda etapa objetivou-se o caminhamento por toda a área de abrangência do deslizamento; coleta de amostras de rocha e solo para análises em laboratório, a fim de classificar a tipologia das rochas e a granulometria dos sedimentos; medições estruturais da encosta; registro fotográfico e mapeamento da encosta. A terceira etapa consistiu em coletar amostras de solo

indeformadas para a realização dos ensaios de cisalhamento direto em laboratório, registro fotográfico e acompanhamento temporal do deslizamento. Na quarta etapa foi realizada nova campanha de medições estruturais e coleta de amostras de rochas, além de marcação de pontos/coordenadas estratégicas para posterior alimentação dos softwares, acompanhamento temporal do deslizamento e novo registro fotográfico. A quinta e última etapa ocorreu com o intuito de realizar um levantamento com Vant/Drone, ferramenta que possibilitou que fossem gerados novos produtos, como o Modelo Digital de Elevação – MDE e mosaico de fotos aéreas. Para obtenção das medições e dos dados obtidos nestas fases foram necessários o uso de GPS portátil da marca Garmim modelo etrex 10, bússola da marca brunton, caderneta de campo para anotações e elaboração de croqui esquemático, martelo geológico para coleta de amostras de rocha e solo, lupa para análise preliminar, retângulo metálico tipo hilf, embalagem para armazenamento e identificação das amostras, espátula, faca, papel filme, fita adesiva, base cartográfica com geologia preliminar, informações topográficas e vias de acesso.

7.3 Pós Campo

A etapa de pós-campo consistiu no processamento dos dados obtidos na etapa de campo, bem como elaboração dos

mapas por meio de plataforma ArcGis, Shalstab, integração e análise da geologia e geotécnia e elaboração do relatório final, além de confecção, processamento e análise de amostras de rocha e de solo representativas, por meio de microscópio petrográfico e lupa. Também foram realizados ensaios de cisalhamento direto em laboratório com o intuito de obter dados para alimentar o Shalstab.

As análises petrográficas foram descritas de acordo com a NBR 12768. Os laudos foram elaborados individualmente e constituídos de análise macroscópica e microscópica.

7.3.1 Análise Macroscópica das amostras de rocha

Na descrição macroscópica das amostras foram analisadas as estruturas e texturas visíveis a olho desarmado e através do estereoscópio com aumento de até 200 vezes. Na análise macroscópica foi efetuada a caracterização dos minerais e sua distribuição na amostra, descrição da cor da rocha fresca e das porções alteradas, da granulação dos minerais ou dos agregados minerais e determinação das dimensões dos elementos estruturais como bandas, lentes e “boudins”. Para esta análise foram utilizados os seguintes equipamentos: Microscópio estereoscópio trinocular com aumento de até 200x; Máquina fotográfica.

7.3.2 Análise Microscópica das amostras de rocha

Para cada lâmina, foram efetuadas análises de 50 (cinquenta) pontos. Os diferentes componentes detríticos foram classificados em diferentes classes mineralógicas e texturais, seguindo os critérios de Dinckinson, et al. (1970) e modificados por Zuffa, G.G. (1980). Nos grãos de plagioclásio, foram realizadas medidas de extinção sobre a platina universal para determinar a composição mineralógica das mesmas, seguindo o método de dupla macla Michel-Lévy. Foram descritos detalhadamente os diversos minerais que apresentam importância para o estudo petrológico da rocha, destacando os aspectos mineralógicos, textura, fábrica e composição detrítica. O equipamento utilizado foi um microscópio petrográfico (luz transmitida) com as seguintes características: Aumento: 50X a 780X; Tubo: binocular com ajuste interpupilar de 55mm a 75mm; Ajuste de dioptria porta ocular, inclinação de 30°, rotação de 360° com pino de trava, saída trino; Revolver: Dispositivo para centralização de objetiva. Movimento giratório por rolamento; Platina: Platina rotativa escalonada, rotação de 360°, graduação; Estrutura de foco: Botões Bilaterais com ajuste de tensão e trava automática; Micrométrico com 0.002mm por divisão; Macrométrico e

micrométrico conjugado e bilateral; Condensador: Abbe 1.25 NA com diafragma de íris, porta filtro e movimento por pinhão e cremalheira; Polarização: 0° com saída de óptica. Analisador: $0^\circ - 90^\circ$ regulável. Revolver condensador Oculares: 2 Oculares WF 10x18mm 1 ocular focalizável 10x/11, com retículo em cruz não graduado 1 Ocular focalizável de 10x/11, para colocação de retículos 2 tubetes com retículo tipo “grade” para uso na ocular focalizável. 4 Objetivas 4x, 10x, 40x e 60x Filtros de polarização superior e inferior, para uso em sistemas de Polarização de 0° a 90° ajustável e compensador Compensador: Gyps 1, Mica e $\frac{1}{4}$, Quartz Wedge com inclinação de 45° . Filtro de polarização. Tensão de entrada: 220V-60Hz.

7.3.3 Ensaios de cisalhamento direto

Foram coletadas amostras de solo indeformadas (figuras 27 e 28) nos locais definidos como o início do deslizamento (superfície de ruptura), envolvendo o horizonte C, para a caracterização e realização de ensaios de resistência dos solos. As amostras indeformadas foram extraídas por meio de anéis metálicos, molde quadrado de 10,2 cm de largura por 2 cm de altura e molde circular com 7 cm de diâmetro e 2 cm de altura, que foram utilizados nos ensaios de cisalhamento direto e de compressão confinada, respectivamente. As amostras coletadas

foram submetidas, no Laboratório de Mecânica dos Solos - LMS do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, aos seguintes ensaios de caracterização física: Ensaio para determinação do teor de umidade do solo [%]: conforme a NBR6457/1986; Ensaio para determinação da massa específica [g/cm^3].



Figura 27: Coleta de amostras indeformadas para realização de ensaios de cisalhamento direto em laboratório.



Figura 28: Coleta das amostras indeformadas para realização de ensaios de cisalhamento direto em laboratório.

Para a determinação do coeficiente de permeabilidade do solo (k), foi realizado o ensaio de compressão confinada com base na norma MB3336/1990. O ensaio foi realizado, na condição inundada. Primeiramente, foi aplicado o estágio de carregamento que funciona como uma carga de ajuste, ou pré-carga, de 2,5kPa. Zerando-se o leitor de deformações verticais, foram aplicadas as tensões σ nos estágios de carregamento 5, 10, 20, 40, 80, 160, 320 e 640kPa, registrando-se em intervalos predefinidos as leituras de deformação vertical do leitor. Estas tensões foram mantidas constantes por 24 horas, até que a pressão da água desenvolvida no corpo de prova tenha sido dissipada. Este fato se constata quando a amostra não apresenta mais variação de volume para a aplicação de um determinado σ e é função do coeficiente de permeabilidade do solo. Além da sequência de carregamentos foram realizados três estágios de descarregamento, reduzindo as tensões σ na proporção inversa do carregamento, e realizadas as medições das deformações inicial e final. Após a realização do ensaio, foi definido o coeficiente de adensamento (C_v) e os parâmetros de compressibilidade por meio do método de Taylor, assim, foi possível determinar o coeficiente de permeabilidade (k).

7.3.4 Modelagem Matemática

A etapa final trata-se da modelagem com o SHALSTAB para a criação de cenários de instabilidade na área de estudo e da calibração/validação do modelo. Neste software foram inseridos os dados Topográficos e Pedológicos obtidos nos ensaios geotécnicos.

Para a realização da modelagem utilizou-se o ArcGis 10.1. Primeiramente, foi gerado um mapa em formato raster para cada dado de entrada do modelo. A espacialização dos parâmetros do solo no local do deslizamento foi feita com base nos polígonos das unidades geotécnicas mapeadas, utilizando o algoritmo desenvolvido por Michel (2013). Por meio da ferramenta Raster Calculation resolveu-se a equação do SHALSTAB em função de dois parâmetros hidrológicos, q e T .

Foram determinadas classes de estabilidade para cada pixel em função de $\text{Log}q/T$. Originalmente, o SHALSTAB gera sete classes de estabilidade: incondicionalmente instável, incondicionalmente estável e outras cinco classes que são determinadas em função de intervalos de valores de $\text{Log}q/T$. Essas classes de estabilidade geradas expressam uma probabilidade de ocorrência de deslizamento, sendo que quanto menor o valor de q/T maior a probabilidade de ruptura da encosta.

7.3.5 Análise em SIG

Os mapas confeccionados neste trabalho foram gerados no software Arcgis 10.1, utilizando bases já disponíveis, realizando o georeferenciamento destas no sistema de referenciamento SIRGAS 2000 e projeção UTM – Fuso 22S. Para a realização do georeferenciamento das imagens, utilização do MDT para extração das curvas de nível, geração da declividade/inclinação, confecção do mapa de susceptibilidade, utilização do MDE e demais confecções foram utilizadas ferramentas do software como: georeferencing, slope, contour, rectify, aspect entre outras.

7.3.6 Levantamento com Vant/Drone

O levantamento com o Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT, popularmente chamado de Drone, ocorreu com o intuito de realizar fotografias aéreas de diferentes ângulos do deslizamento, bem como promover o mosaico destas a fim de que fossem processadas em software para a elaboração de um Modelo Digital de Elevação do local. O voo foi realizado dentro das normas estabelecidas pela Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC. O modelo digital de superfície foi gerado a partir do processamento de imagens adquiridas por aeronave remotamente pilotada (RPA). A aeronave utilizada foi um DJI Phantom 4, em sua configuração padrão de fábrica,

em voo manual com altura de 100 metros a partir do ponto de decolagem e as imagens foram capturadas com sobreposição frontal e lateral de 80%. O processamento deu-se pelo software Agisoft Photoscan, com o algoritmo Structure from Motion (SfM), e o fluxograma (figura 29) de processamento foi semelhante ao aplicado por Müller e colaboradores (2018).

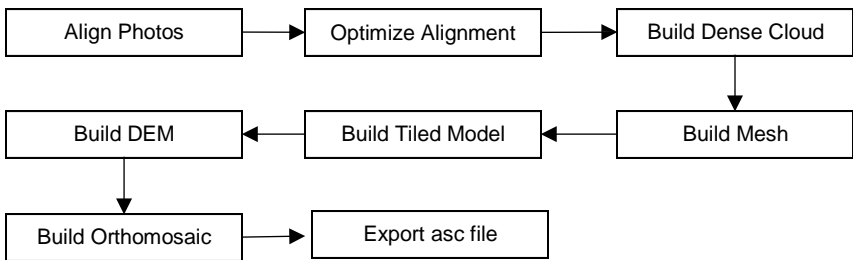


Figura 29: Fluxograma do processamento das fotografias adquiridas pelo levantamento com drone. Fonte: adaptado de Müller V.S., Coutinho I., Flach M.K., Fornasa T.L., Espíndola M.S., Flores J.A. (2019) The Use of UAS in 3D Geotechnical Slope Stability Analysis. In: Shakoor A., Cato K. (eds) IAEG/AEG Annual Meeting Proceedings, San Francisco, California, 2018 - Volume 1. Springer, Cham

8 Resultados

As informações obtidas através dos levantamentos da etapa de pré-campo, como geologia regional e local das bibliografias e relatórios já existentes, bem como investigações dos mapas geológicos, geotécnicos e topográficos serviram de relevante importância para elaboração de mapas, elaborado em software ArcGis para orientação/caracterização durante a etapa de campo e elucidação dos fatos e contexto geológico/geomorfológico da região, assim como a análise e interpretação dos fatos que desencadearam o movimento de massa ocorrido.

Conforme já mencionado foram realizadas cinco etapas de campo no local do deslizamento para coleta de informações, amostras de rocha e solo, registro fotográfico, medidas estruturais, investigação de pontos relevantes na encosta, levantamento de dados com o uso de drone e pré-análise de possíveis obras geotécnicas para contenção/sustentação do talude.

8.1 Resultados: Análises da geologia local e descrição das amostras coletadas

As amostras de rocha e solo coletadas nos pontos mapeados da encosta foram encaminhadas para o Laboratório S&A Geologia localizado no município de Tijucas/SC para confecção das

lâminas petrográficas e classificação dos sedimentos. Foram coletadas cinco amostras de rochas (Tabela 01) em diferentes pontos do talude e duas de solo também em pontos distintos. Após recebimento das lâminas iniciou-se análises em microscópio petrográfico no laboratório de laminação da UFSC a fim de analisar a mineralogia presente.

Amostra	Tipo de Rocha
P-01	Arenito
P-02	Pelito
P-03	Arenito
P-04	Arenito
P-05	Arenito

Tabela 01: Amostras de rochas coletadas em campo e suas tipologias.

8.1.2 Análise Macroscópica

Vistas a olho desarmado foram identificadas duas litologias distintas, sendo realizado estudo petrológico em 05 (cinco) amostras de rochas, onde 04 (quatro) das amostras são variações de um arenito, com granulação média a muito fina e, uma (01) amostra de rocha de coloração verde que foi definida como pelito. Uma das amostras de arenito apresentava

granulação fina, bem consolidado, de coloração cinza claro e por vezes conglomerático. De acordo com a literatura encontrada sobre a área, pode-se confirmar esses tipos de rocha no local, sendo descritas como arenitos e conglomerados de composição mineral dominada por quartzo policristalinos e líticos metassedimentares que sugerem proveniência metamórfica (LOPES, 2014).

As amostras selecionadas em campo foram coletadas em diferentes pontos da encosta (figuras 30 e 31).

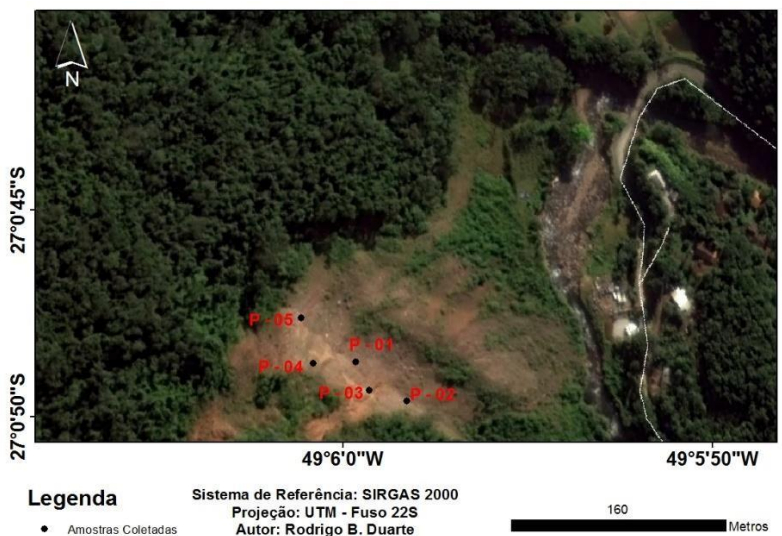


Figura 30: Mapa da área de estudo com a plotagem dos pontos de coleta das amostras de rocha.



Figura 31: Foto da área de estudo, círculos em vermelho indicando os pontos de coleta das amostras de rocha.

a) Amostra P-01: Arenito

Amostra de mão - a rocha apresenta coloração cinza-esbranquiçado, maciça, figura 32. Utilizando-se a lupa com aumento de 30X, observa-se a predominância do mineral quartzo, seguido dos minerais micáceos. Níveis milimétricos de minerais pelíticos podem ser observados na lupa com aumento de 100X.



Figura 32: Amostra P-01 vista a olho desarmado.

b) Amostra P-02: Pelito

Rocha de coloração esverdeada, microcristalina, maciça. Na parte superior esquerda, observa-se uma microfratura preenchida por argila e/ou óxido de ferro, também, verifica-se a formação de dentrites (figura 33).



Figura 33: Amostra P-02.

c) Amostra P-03: Arenito

A rocha apresenta-se com tons violeta, maciça, observam-se microfraturas com preenchimento de óxido de ferro. Filetes arenosos de coloração

amarronzada e níveis de sedimentos com tons mais fortes, da cor violeta, figura 34.

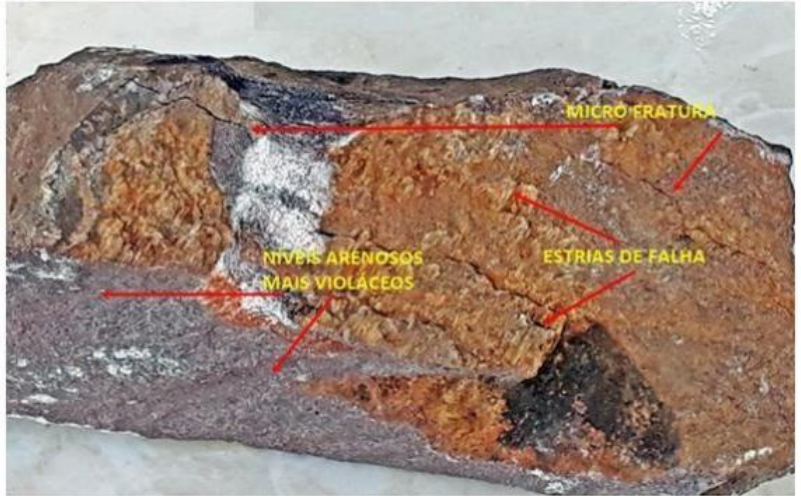


Figura 34: Amostra P-03.

d) Amostra P-04: Arenito

A rocha apresenta-se maciça, coloração cinza-violáceo, intercalado com níveis mais escuros (A), níveis em tons de vinho (B) com espessura variável de 0,2mm a 20mm, respectivamente, estes níveis apresentam estratificação plano-paralela, figura 35.

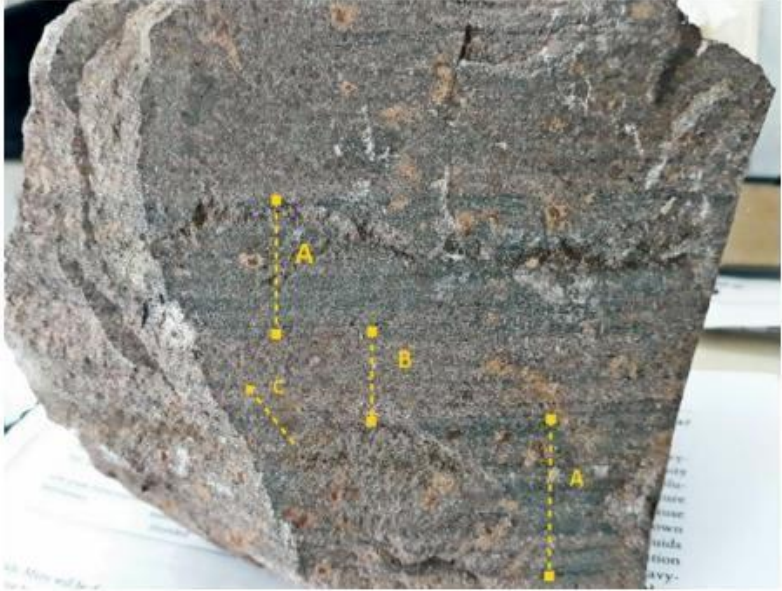


Figura 35: Amostra P-04.

e) Amostra P-05: Arenito

A rocha apresenta-se maciça, os minerais micáceos importa à rocha uma incipiente clivagem ardosiana, figura 36.



Figura 36: Amostra P-05.

8.1.3 Análise Microscópica

a) Amostra P-01: Arenito

Constitui o arcabouço principal da rocha, estando integrado por uma gama limitada de variedades de classes mineralógicas e materiais líticos, figura 37.

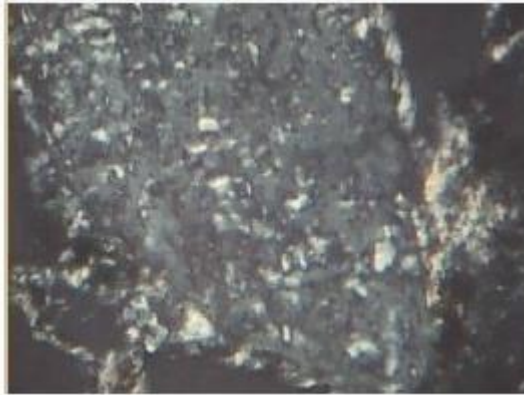


Figura 37: N.C 25x - Presença de lítio sedimentar.

Quartzo: é o componente majoritário, com percentual de 70%. Dentro dessa classe mineralógica, são distinguidos o quartzo monocristalino e o policristalino, com predominância do primeiro. Os grãos de quartzo monocristalino (figura 38) apresentam-se de forma anédrica angulosa a subangulosa, tendo extinção ondulante a reta.

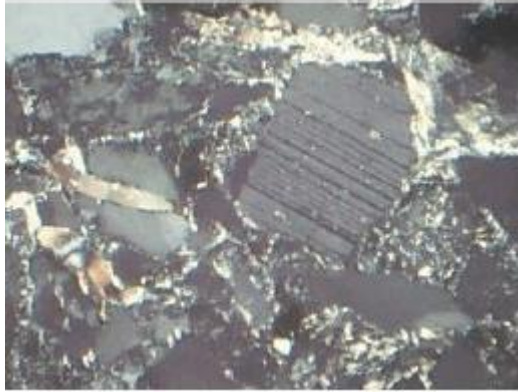


Figura 38: N.C 10x - Plagioclásio (oligoclásio), quartzo monocristalino, extinção ondulante, lítio sedimentar e material argiloso.

O quartzo policristalino apresenta-se com esfericidade moderada e formas anédricas, subangulosas a subarredondadas; o tamanho dos grãos varia de 0,04mm a 0,0875mm, cercados por finas camadas de illita. A extinção é ondulante e límpida; não há microfraturas; os contatos observados foram suturados, são retos, pontuais e flutuantes. Processo de lascagem e fraturamento transgranular foram observados. Solução por pressão no contato entre os grãos, favorecendo o crescimento dos mesmos. Grãos alongados de quartzo emprestam à rocha uma foliação. O processo de cimentação é sílica, argilominerais e ferro.

Feldspatos: o feldspato alcalino está representado pelo ortoclásio e microclínio; a determinação do plagioclásio foi definida pelo método Michel-Lévy e, portanto, trata-se da albita. O percentual desta classe mineral é de 14%. Feldspato alcalino apresenta grãos preservados e outros minerais aparecem alterados para caulinita e epidoto. Alguns minerais apresentam-se com pertitas na forma de agulhas, manchas e veios. Apresentam-se na forma anédrica subarredondados com esfericidade baixa. Os plagioclásios apresentam-se poucos alterados, outros estão desenvolvendo o processo de albitização com inclusões de illita-clorita. Os contatos observados nessa classe mineral são similares aos contatos observados no quartzo. Os grãos de plagioclásio (Pl) mostram formas anédricas, subarredondadas, com esfericidade média e macla polissintética, figuras 39 e 40.

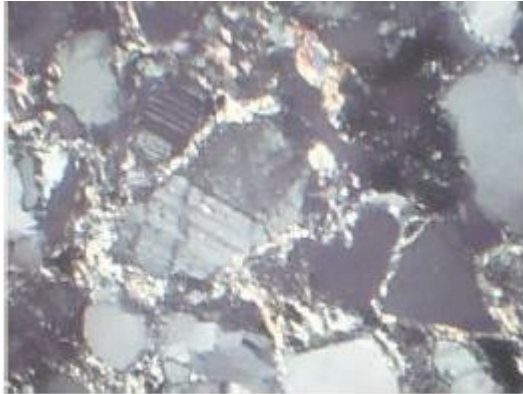


Figura 39: N.C. 25X - Plagioclásio microfraturado, feldspato alcalino, quartzo e material argiloso

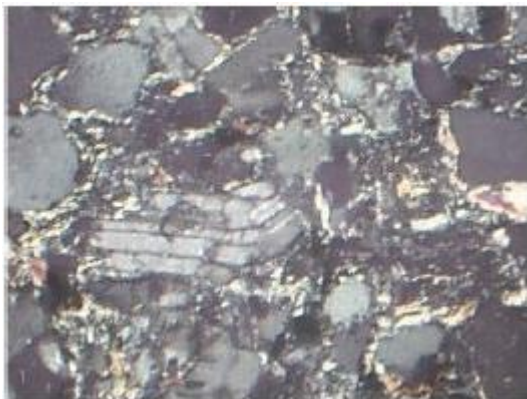


Figura 40: N.C. 25X - Plagioclásio fraturado e microfraturado, quartzo, feldspato alcalino e material argiloso.

Fragmentos de Rocha: são poucos abundantes (2%). Foram identificados fragmentos de rocha sedimentar (quartzo arenito), fragmentos de rochas

metamórficas, rochas ígneas com textura média, cujos componentes fundamentais são quartzo, feldspato e plagioclásio.

Micas: a mica, nesta lâmina, está com percentual de 2%. A muscovita, “mica branca”, apresenta-se com uma forma mais ou menos de sigmoide. As ocorrências das diferentes morfologias deste mineral são porque se comporta como um porfiroclasto ativo durante os esforços aplicados, desenvolvendo sombras de pressão e microestruturas originadas por deformação intracristalina (figura 41). O traço de clivagem é oblíquo à superfície de cisalhamento e por kink bands. Neste mineral, verifica-se os mecanismos de deformação dútil e os mecanismos de difusão e de dissolução. A muscovita altera-se para caulinita e illita (figura 42).

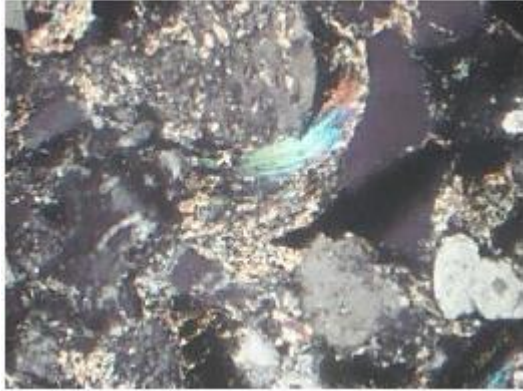


Figura 41: N.C. 25X - Muscovita dobrada e fraturada, lítio metamórfico, quartzo mono e policristalino.

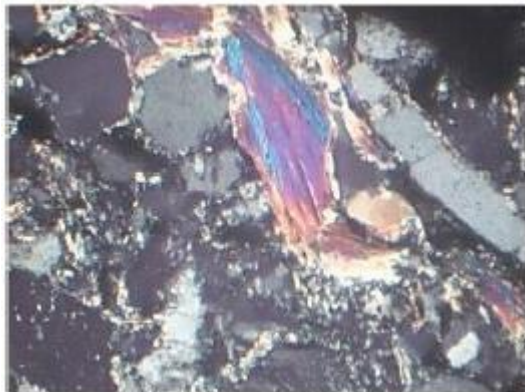


Figura 42: N.C. 25X - Muscovita dobrada e fraturada, quartzo alongado e subarredondado e feldspato alcalino.

A matriz corresponde a 12% da lâmina; é constituída por minerais do tipo caulinita e ilita, que facilitaram os deslizamentos dos grãos (deslizamento

friccional por rolamento). Os minerais argilosos misturaram-se com os minerais granulares, ao passo que as micas, de granulação mais grosseira, alinharam-se para formar uma trama, em decorrência do cisalhamento.

Óxido de Ferro: é proveniente da alteração da biotita.

b) Amostra P-02: Pelito

A rocha é constituída por argilominerais 90%, quartzo 5%, feldspato 3%, muscovita 1% e óxido de ferro e outros 1%.

Argilominerais: massa argilosa apresenta variadas cores cinza esverdeado, amarelo e amarelo azulado.

Quartzo: o quartzo apresenta-se com formas variadas, anédrico, alongado e na forma de cunha. Apresenta-se límpido, extinção ondulante e monocristalino. Bordos de reação com material argiloso. Os grãos de quartzo são angulosos a subangulosos e baixa esfericidade (figura 43).



Figura 43: N.C. 25X - Quartzo monocristalino com crescimento sob pressão, feldspato alcalino e material argiloso.

Feldspato: o feldspato potássico (ortoclásio) e o plagioclásio (albita) apresentam-se na forma euédrica a subédrica. Alguns minerais acham-se parcialmente alterados, outros, como o plagioclásio, apresentam-se alterados para epidoto junto aos planos de macla e bordos alterados para argila (figura 44).



Figura 44: L.N. 10X - Feldspato alcalino, quartzo, zircão e óxido de ferro.

Mica: a mica (muscovita) apresenta-se na forma de palheta, pleocroísmo e ângulo de extinção característico. Apresenta deformação rúptil-ductil, intracristalina (kink bands e micro fraturado). Observa-se um alargamento nas clivagens com preenchimento de mineral de óxido de ferro (figura 45).

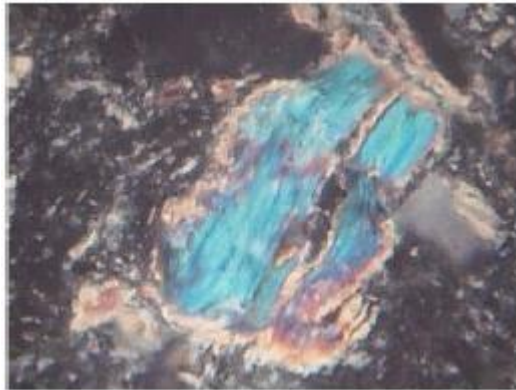


Figura 45: N.C. 25X - Muscovita dobrada, microfraturada com bordas alteradas, quartzo e material argiloso.

Os minerais de óxido de ferro apresentam-se de forma irregulares, sua gênese está ligada ao processo de alteração da mica.

c) Amostra P-03: Arenito

Os minerais desta amostra apresentam o mesmo arcabouço mineralógico da Amostra P01-01, contudo, é perceptível a presença de pequenos níveis de sedimentos de granulação mais fina (granocrescência). O contato entre os sedimentos de granulometria mais grosseira com os sedimentos mais finos ocorre por meio de um filete de espessura de (0,075mm) de óxido de ferro, com contorno irregular e apresenta uma configuração anastomosada (figura 46).

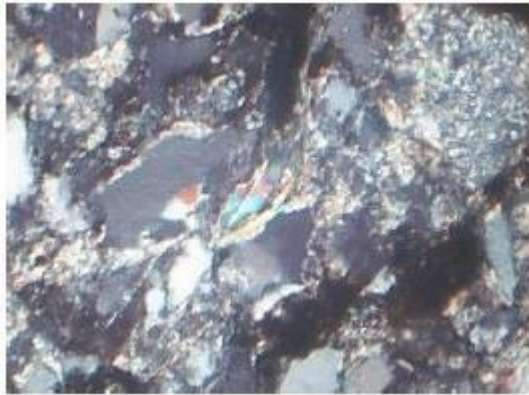


Figura 46: N.C. 10X - Lítio metamórfico, quartzo, feldspato alcalino, muscovita dobrada e óxido de ferro.

Influência do Tamanho na Composição: com relação à análise dos fragmentos da rocha, verificou-se que existe diminuição do tamanho dos grãos maiores e dos sedimentos em relação aos fragmentos de rochas

metamórficas. Esta variação é decorrente do tamanho dos minerais constituintes dos fragmentos de rochas do tipo xisto, outra situação observada é que, nos sedimentos mais finos, os minerais são monominerálicos. Estas diferenças da composição entre as distintas granulometrias não devem estar relacionadas com a troca de litologias das áreas, mas com a ruptura dos sedimentos durante o transporte (figuras 47 e 48).

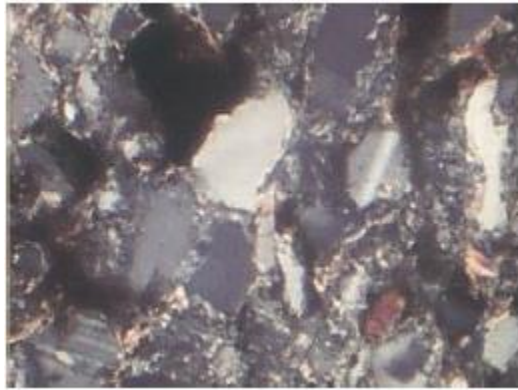


Figura 47: N.C. 10X - Quartzo, feldspato alcalino, plagioclásio, óxido de ferro e material argiloso.



Figura 48: L.N. 4X - Lamito, lítio sedimentar, quartzo, feldspato e óxido de ferro.

As micas apresentam variações em relação ao tamanho dos grãos; em sedimentos mais grosseiros, este mineral apresenta maiores tamanhos e, nos sedimentos mais finos, apresenta-se em menores tamanhos (figura 49).



Figura 49: N.C. 10X -Lamito sedimentar, lítio ígneo, quartzo, muscovita e feldspato.

d) Amostra P-04: Arenito

Os grãos de quartzo apresentam-se de duas formas: monocristalino e policristalino. i) Quartzo monocristalino: a granulometria varia de fina a média, 0,16 a 0,4 mm de diâmetro, apresenta-se com baixa esfericidade, as formas predominantes são: anédricas, subarredondadas, a extinção é ondulante. ii) Quartzo policristalino - apresenta granulometria variável de média a grossa, 0,4 a 1,3 mm de diâmetro, a esfericidade varia de baixa a média, com predomínio da primeira; com relação às formas, observa-se, também, uma variação: anédricas, subangulosas a subarredondadas; a extinção é ondulante. O contato entre os subgrãos são geralmente suturados (figura 50).



Figura 50: N.C. 10X - Filete de lamito sedimentar, irregular, envolvendo grãos de quartzo.

Feldspato: os minerais feldspáticos apresentam granulometria variável de média a grossa, de 0,3mm a 1,2 mm de diâmetro, a esfericidade, também, varia de moderada a alta; com relação às formas, observa-se que são anédricas e geralmente subarredondadas. Exibem maclas em xadrez, típicas do microclínio, pertitas e maclas polissintéticas (plagioclásio).

Com relação aos elementos considerados líticos, observou-se a presença de líticos metamórficos, vulcânicos e sedimentares (figura 51).

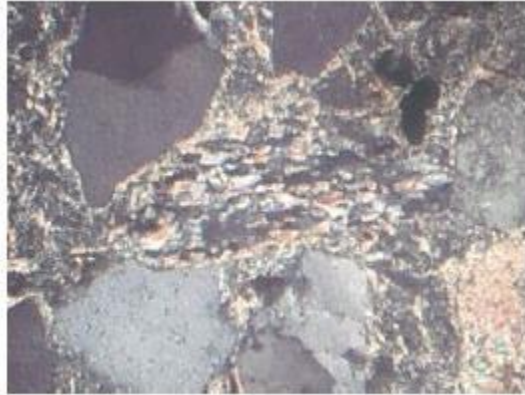


Figura 51: N.C. 10X - Lítio metamórfico, e quartzo de contornos irregulares.

Líticos Metamórficos: nesta classe foram definidas a presença de clastos xistosos e quartzitos. A granulometria variou de média a grossa, esfericidade de baixa a média, com predomínio da primeira; no que se refere à forma dos grãos, predomina a subarredondada (figura 52).



Figura 52: N.C. 10X - Fina camada de lamito sedimentar, lítio metamórfico e microdobrado.

Líticos Ígneos: fragmentos de rochas ígneas indicaram a presença de rochas plutônicas, policristalino (quartzo/feldspato/epidoto), a granulometria varia de fina a média, esfericidade baixa e forma subarredondada.

Líticos Sedimentares: os líticos sedimentares são compostos predominantemente por arenitos, com baixo percentual de sedimentos sílticos. A granulometria é média, esfericidade baixa a média e, com relação à forma, destaca-se a subarredondada. Os arenitos são compostos por quartzo e feldspato (figura 53).

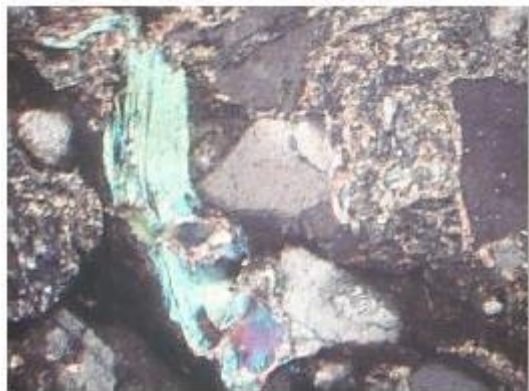


Figura 53: N.C. 10X - Muscovita microdobrada, lítio metamórfico e ígneo, e quartzo monocristalino.

Com relação aos constituintes diagenéticos apresentam um percentual aproximadamente de 1% do arcabouço; com relação ao cimento, é constituído por argilomineiras composto por caulinita e illita, e quartzo autigênico.

e) Amostra P-05: Arenito

A rocha é constituída por quartzo, mica branca, clorita, feldspato e materiais líticos: metamórfico e sedimentar.

Quartzo: o quartzo é anédrico, subanguloso a subarredondado, o contato com os demais minerais é reto, lobulado e pontual. O formato alongado é paralelo à orientação da mica (branca). A extinção ondulante é reta. Os grãos policristalinos apresentam-se, predominantemente, na forma semicircular. O tamanho varia de 0,0125mm a 0,08mm. Observa-se processo de reação do quartzo com a matriz, que é constituída por caulinita e illita. O percentual de quartzo na amostra é de 30%. A xistosidade na lâmina apresenta um caráter anastomosado (figuras 54 e 55).



Figura 54: L.N. 10X - Grãos de quartzo e mica estirados na mesma direção e perpendicular ao lítio metamórfico.

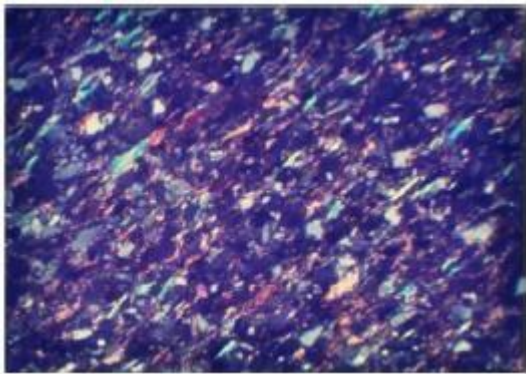


Figura 55: N.C. 40X - Quartzo e muscovita alongados na mesma direção, envolvidos por argila.

Mica: a Mica constitui cerca de 30% da rocha. A mica branca apresenta-se com forma alongada, presença de “kink bands”, e a clivagem exibe leve inclinação (figura 56).

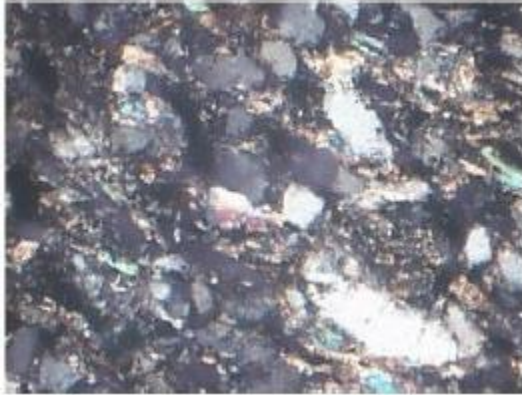


Figura 56: N.C. 10X - Muscovita, quartzo, lítio ígneo e metamórfico.

Matriz: é constituída por argilominerais, caulinita e illita. O percentual da matriz na rocha é de 40%. O feldspato potássico apresenta-se com - 0,5%, nos minerais identificados, observa-se a presença de pertita do tipo mancha. O óxido de ferro, também, apresenta-se como cimento do arcabouço mineralógico da rocha (figura 57).

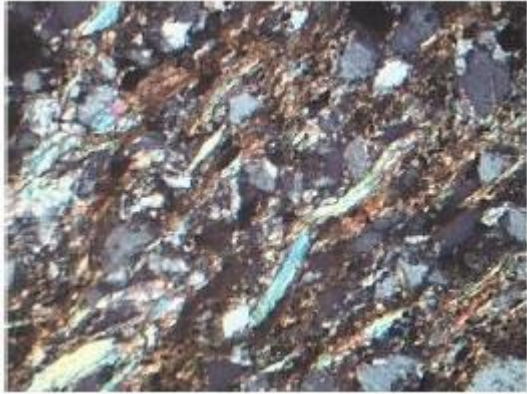


Figura 57: N.C. 10X - Massa de argila escura envolvendo grãos de quartzo, muscovita e plagioclásio.

Materiais líticos: foram identificados dois tipos de líticos: metamórfico e sedimentar; contudo, são ocorrências muito restritas (figura 58).

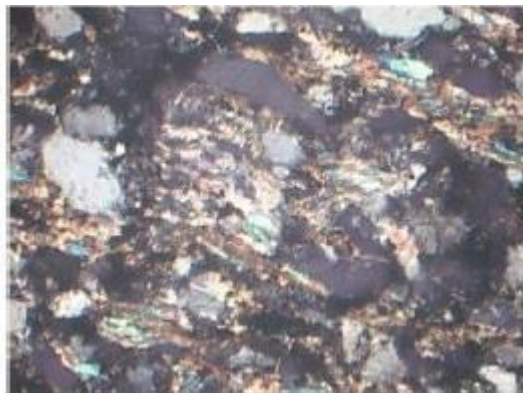


Figura 58: N.C. 10X - Quartzo, muscovita e lítio metamórfico.

8.2 Resultados: Amostras de solo

Durante o trabalho de campo foram coletadas duas amostras de sedimento para análises granulométricas, classificação e determinação da constituição do material coletado no local do deslizamento (figura 59). As amostras de solo coletadas no local do deslizamento foram trabalhadas e analisadas no laboratório S&A Geologia, localizado em Tijucas/SC.



Figura 59: Foto do local do deslizamento, setas em vermelho indicando o local de coleta dos sedimentos.

Das amostras analisadas uma foi descrita como argila e outra como argila-arenosa (lama) devido as suas composições predominantemente de grãos de argila e areia, como pode ser observado nas tabelas 02 e 03. A granulometria foi determinada com a amostra úmida. A classificação foi realizada por meio do diagrama de Shepard. As figuras 60, 61 e 62 a seguir mostram a classificação do material e as frequências presentes.

Argila 01					
Classificação do Material	Abertura (mm)	Malha	Frequência Simples (%)	Frequência Acumulada Retida (%)	Frequência Acumulada Passante (%)
Granulo	2,000	#10	0,14	0,14	99,86
Areia Muito Grossa	1,180	#16	0,22	0,35	99,65
Areia Grossa	0,600	#30	0,24	0,59	99,41
Areia Média	0,300	#50	1,67	2,26	97,74
Areia Fina	0,150	#100	2,36	4,62	95,38
Areia Muito Fina	0,075	#200	5,80	10,42	89,58
Silte Grosso	0,053	#270	1,75	12,17	87,83
Silte Médio	0,038	#400	4,95	17,13	82,87
Silte Fino	0,025	#500	4,74	21,86	78,14
Silte Muito Fino	0,020	#635	2,62	24,48	75,52
Argila	>0,020	Passante	75,52	100,00	0,00

Tabela 02: Amostra de solo S-01.

Argila 02					
Classificação do Material	Abertura (mm)	Malha	Frequência Simples (%)	Frequência Acumulada Retida (%)	Frequência Acumulada Passante (%)
Granulo	2,000	#10	0,00	0,00	100,00
Areia Muito Grossa	1,180	#16	0,23	0,23	99,77
Areia Grossa	0,600	#30	1,01	1,25	98,75
Areia Média	0,300	#50	3,36	4,61	95,39
Areia Fina	0,150	#100	11,05	15,65	84,35
Areia Muito Fina	0,075	#200	22,99	38,64	61,36
Silte Grosso	0,053	#270	5,00	43,64	56,36
Silte Médio	0,038	#400	8,82	52,46	47,54
Silte Fino	0,025	#500	4,06	56,52	43,48
Silte Muito Fino	0,020	#635	2,19	58,70	41,30
Argila	>0,020	Passante	41,30	100,00	0,00

Tabela 03: Amostra de solo S-02.

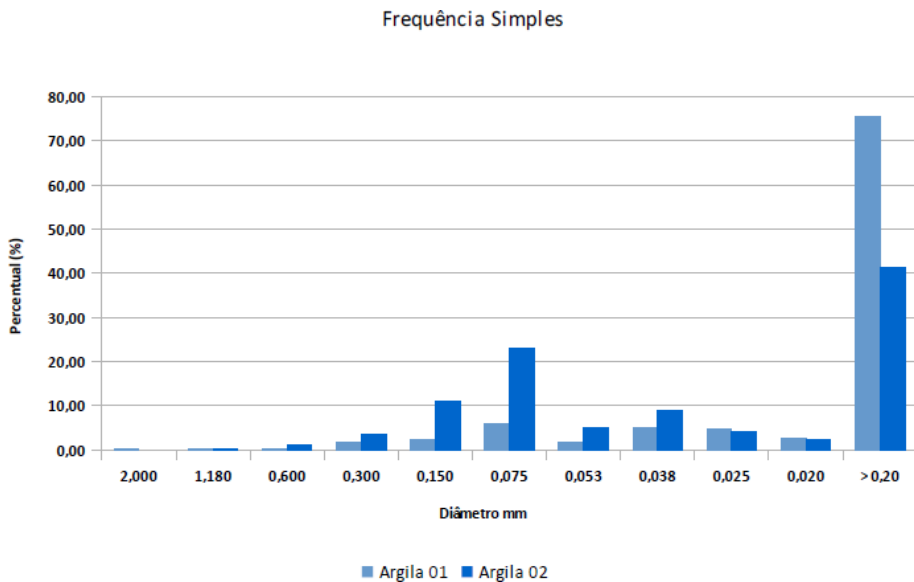


Figura 60: Histograma de frequência simples das amostras de solo S-01 e S-02.

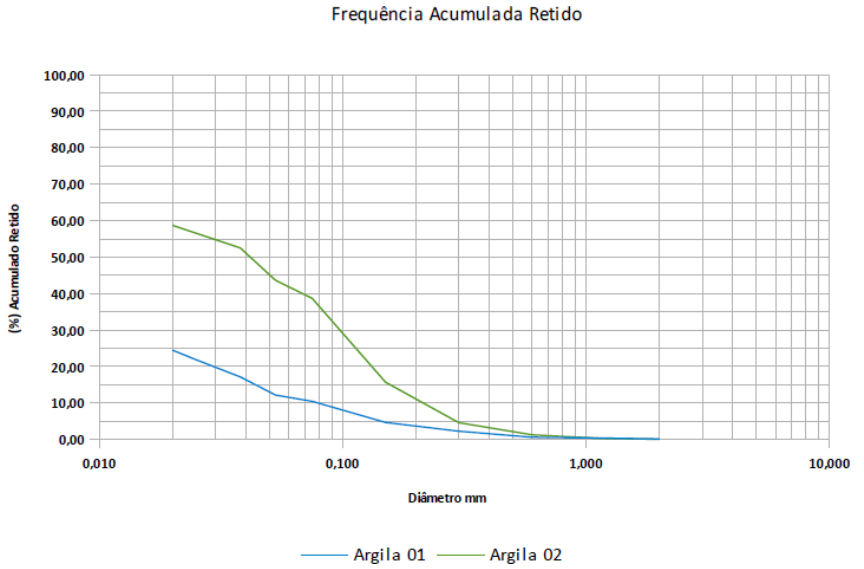


Figura 61: Gráfico da frequência acumulada retida das amostras de solo S-01 e S02.

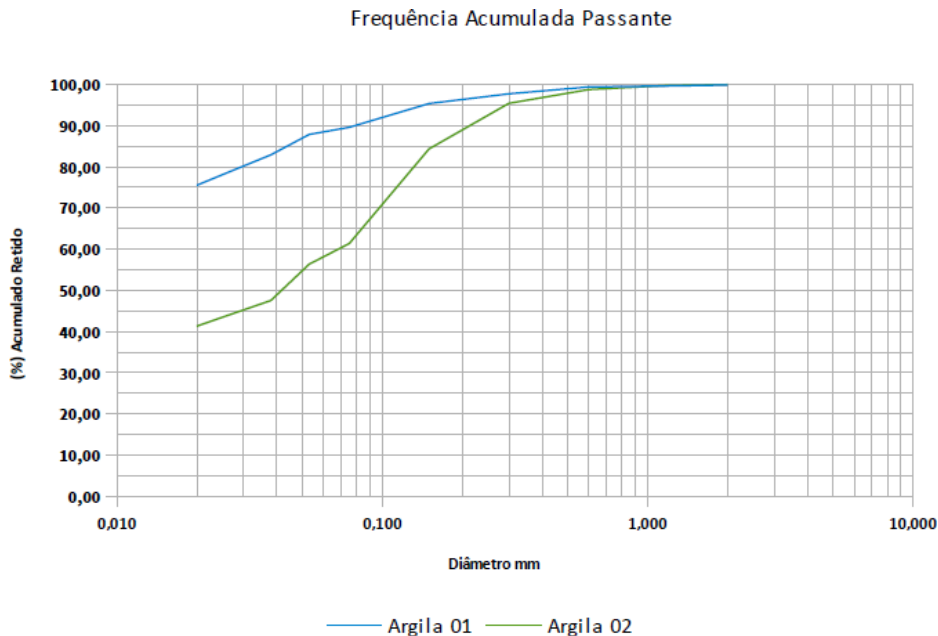


Figura 62: Gráfico da frequência acumulada passante das amostras de solo S-01 e S-02.

8.3 Resultados: Análise das medidas estruturais e lineamentos

As medidas estruturais dos afloramentos rochosos foram feitas com o auxílio de bússula e posteriormente alimentaram o programa Stereonet para tratamento estatístico dos dados coletados (figura 63). Através deste foi possível determinar as direções principais das fraturas da falha geológica.

N = 4

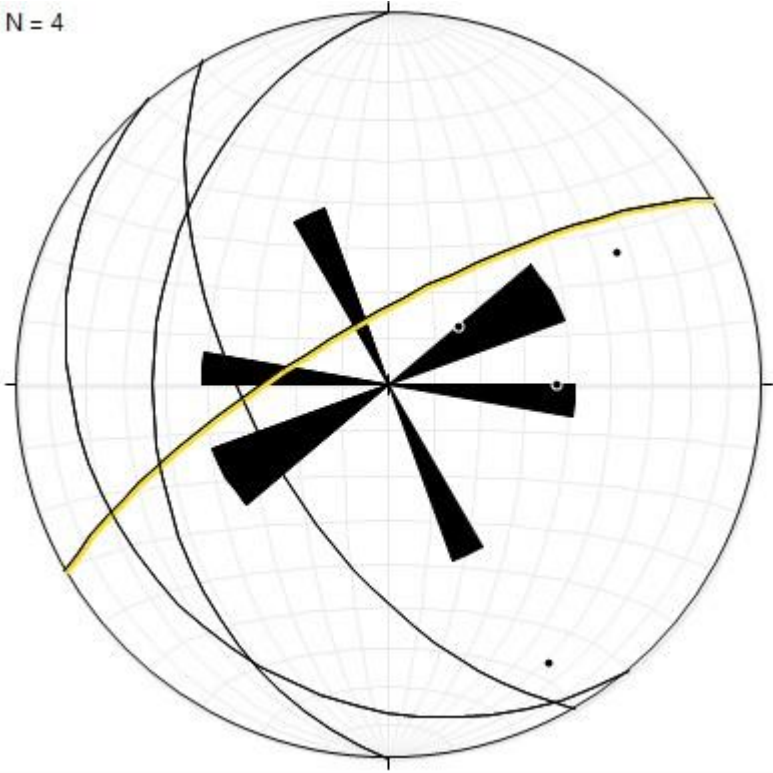


Figura 63: Direções principais das fraturas encontradas em campo, processadas no software Shalstab. Direções principais NE-SW e destaque para estrutura NW-SE.

As fraturas (figura 64) medidas no arenitos, bem como a junta de alívio, possuem as direções de seus planos para NE-SW preferencialmente e mergulho de 60° , outra família de fraturas (figura 64) tinham direção dos planos para NE-SW e mergulho de 37° e uma terceira família de fraturas (figura 64) continham seus planos na direção NW-SE e mergulho de 75° .

Essas medidas condizem com as bibliografias existentes, conforme já descrito por Tomazzoli (2012) incidem nesta região falhas e zonas de cisalhamento nos quadrantes N80°E, N20°E e N30°W, sendo que, estas estruturas controlam os vales fluviais profundos e retilíneos que proporcionam encostas com alta declividade, onde ocorrem grandes movimentos de massa condicionados pelo relevo acidentado anexo a grandes espessuras no manto de intemperismo (casos em que o manto de intemperismo atinge até 30 metros, acarretando em alta susceptibilidade de escorregamento).

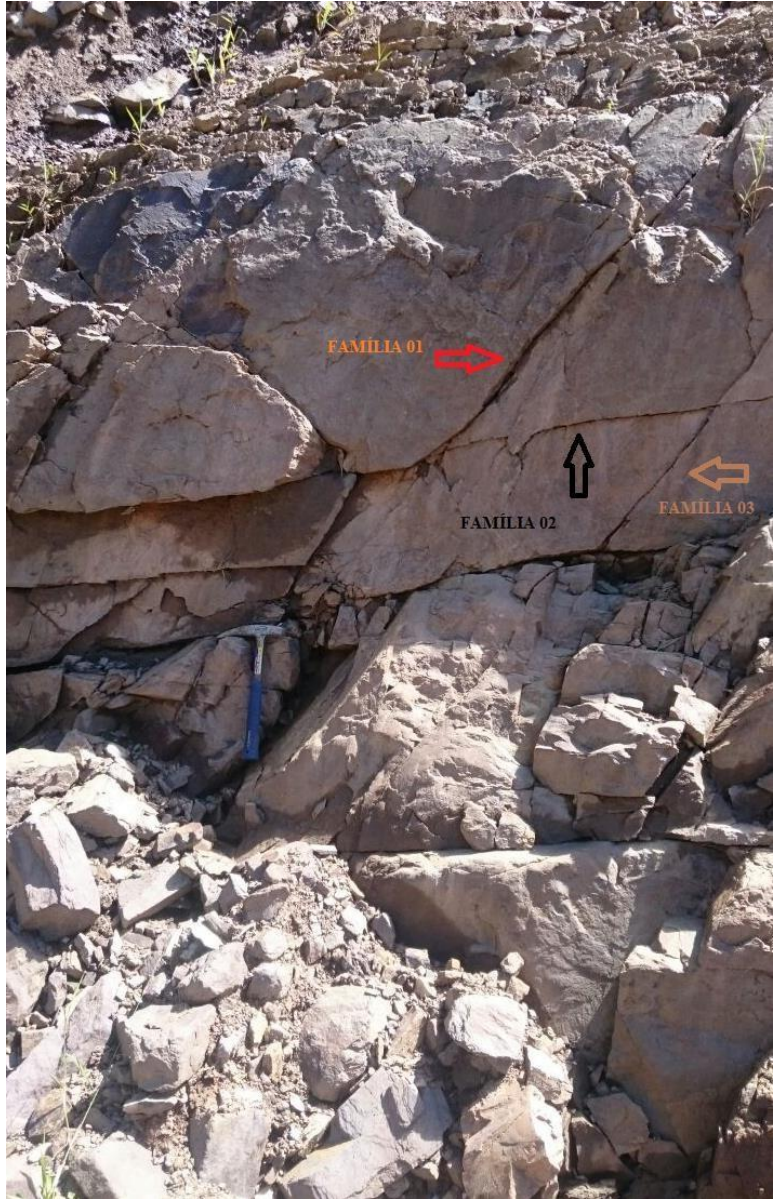


Figura 64: Foto com as fraturas medidas durante a etapa de campo.

Fonte: mestrando Rodrigo.

No local determinado como plano de ruptura do deslizamento foi realizada medida estrutural, que apresentou a direção N46W/83°. A estimativa da quantidade de solo sobre a camada de rocha é de aproximadamente 2 (dois) metros. Também foi encontrado um dique de rocha hipabissal (diabásio) com aproximadamente 40 (quarenta) centímetros de largura, encaixado no plano de acamamento do arenito. O dique possui direção N60W, evidenciando o domínio do lineamento NW na região.

Também no arenito foi observado estrias de atrito, caracteriscas de falha geológica com direção de plano NE-SW e mergulho de 20°. Esta direção também é descrita na literatura, estando relacionada ao lineamento ou zona de cisalhamento Perimbó, que possui direção preferencial NE-SW.

8.4 Resultados: Análises da geotecnia, padrões e classificação do movimento de massa ocorrido

Para análise da geotecnia foram processados os dados estruturais o qual resultaram em diagramas no programa Stereonet, conforme figura 63 e posteriormente foram realizados modelos de simulação de estabilidade da encosta através do programa Shalstab, para esta etapa também foram utilizadas as bases de dados da Epagri e Secretaria de Estado

do Desenvolvimento Sustentável (curvas de nível, modelo digital do terreno e modelo digital de elevação). Após a confecção dos mapas foi possível determinar a magnitude do deslizamento bem como a sua área de abrangência.

O movimento de massa ocorrido em Nova Rússia o qual soterrou quatro casas e interrompeu o curso do Ribeirão Garcia fazendo com que o mesmo alterasse seu trajeto devido a grande quantidade de material que se depositou em sua calha, ocasionando instantaneamente uma pequena represa a qual vem sendo monitorada constantemente pelos técnicos da Defesa Civil de Blumenau e que atribui bastante preocupação pois já encontra-se com cerca de seis metros de profundidade e sabe-se que um elevado volume de precipitação pode acarretar em seu rompimento ocasionando uma enxurrada a jusante podendo causar danos e destruição ao longo do caminho que percorrer. Este deslizamento foi classificado como sendo um escorregamento planar, caracterizado por ocorrerem em poucos planos de deslocamentos (externos), com velocidades médias (m/h) a altas (m/s), movimentando pequenos a grandes volumes de material e geometria e materiais variados (planares – solos pouco espessos, solos e rochas com plano de fraqueza), neste caso específico ocorreu com uma velocidade alta, movimentando uma grande quantidade de material em um local

onde a geologia das rochas existentes colaboram para que ocorram deslizamentos pois as camadas de areitos inclinadas na direção do movimento servem como planos de fraqueza (figura 65).



Figura 65: Foto da encosta com os arenitos expostos, detalhe para o plano das camadas verticalizado na mesma direção do deslizamento.

De acordo com os mapas gerados em Shalstab e devido ao deslizamento já ter ocorrido e o solo deslizado encontrar-se em repouso na porção inferior da encosta, estima-se que não devem ocorrer novos deslizamentos no local, pois a camada de solo que existia já deslizou, deixando apenas o talude exposto com suas rochas, no caso arenito na parte superior e pelito na base. Apenas podem ocorrer quedas de blocos de arenito, bastante comum nestes casos, fato observado durante a etapa de campo, pois na ocasião foi visto a queda de pequenos blocos de arenitos, visto que a encosta encontra-se com as rochas totalmente expostas e muito fraturadas, aliado a grande quantidade de água que escorre do alto do morro em direção ao Ribeirão Garcia que passa na base do talude onde ocorreu o movimento de massa. Essas quedas de blocos não apresentam riscos efetivos a população que mora no local, pois como são pequenos blocos estes não conseguem atingir grandes distâncias, ficando sempre muito próximos a base da encosta, distante das residências que estão instaladas do outro lado do ribeirão.

Para uma eventual obra de contenção dos blocos sugere-se que seja feita uma barreira dinâmica contra queda de blocos de rochas, esta barreira é utilizada para complemento na contenção de deslizamentos em morros e quedas de blocos de

rochas e demais materiais alterados, instáveis ou envoltos em capa de solo que no período de grandes chuvas podem ser lavados fazendo com que estes blocos venham se desprender do maciço rochoso, deslizar e rolar. A barreira dinâmica é uma técnica largamente utilizada e consiste na utilização de uma malha de aço de alta resistência, projetada para atuar como uma rede perpendicular a região da encosta, onde é projetado uma barreira metálica para a finalidade de conter a queda de eventuais blocos desprendidos do talude conseguindo de maneira eficiente absorver e minimizar o impacto deste bloco. Esta é uma técnica viável pois não apresenta custos elevados e é de rápida e fácil instalação e manutenção, visto que, a área é pouco habitada (cerca de cinco famílias) e que para o poder público realizar altos investimentos de obras de contenção fica difícil pois o número de pessoas a beneficiar não é expressivo mediante outras obras de maior relevância. Além disso em virtude do deslizamento já ter acontecido e o material estar em repouso, não há necessidade de investir em obras complexas de engenharia. Uma preocupação que fica é para as áreas adjacentes ao deslizamento, principalmente a montante do Ribeirão Garcia, pois assim como na localidade do Rancho do Wille há locais com alta susceptibilidade a deslizamentos pois possuem as mesmas condições geológicas/geotectônicas. Neste

sentido deve-se realizar/ampliar estudos de mapeamento de áreas de risco para toda Bacia Hidrográfica do Ribeirão Garcia.

8.5 Resultados: Análises das condições meteorológicas associadas ao deslizamento em Nova Rússia

De maneira consistente a meteorologia/condições climáticas associadas a eventos extremos esta intimamente relacionada aos movimentos de massa, sendo uma das causas e fatores que contribuem para que os mesmos ocorram. A primavera de 2015 apresentou elevados índices de precipitação na região do Vale do Itajaí. A principal causa associada a este fato foi a atuação do fenômeno El Niño-Oscilação Sul durante este mesmo período. As anomalias positivas de temperatura da superfície do mar na região do Pacífico Equatorial ultrapassaram 2,0°C, caracterizando um episódio intenso de El Niño, como pode ser verificado no monitoramento feito pelo National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) no link http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml. Estes episódios de El Niño estão relacionados à ocorrência de chuvas intensas no Sul do Brasil (GRIMM et al., 1998; GRIMM & TEDESCHI, 2009) que nos piores casos, ocasionam inundações e deslizamentos de terra como, por exemplo, a enchente em julho de 1983, também no Município de Blumenau. Neste mesmo ano, a cota do nível do

rio Itajaí ultrapassou 15,34 metros no dia 08 de julho, e em 2015, alcançou 10,03 metros no dia 23 de outubro, exatamente quando aconteceu o deslizamento de terra na região de Nova Rússia. As cotas do nível do rio podem ser visualizadas no registro do Sistema de Monitoramento e Alerta de Eventos Extremos de Blumenau (ALERTABLU), disponível em <http://alertablu.cob.sc.gov.br/p/enchentes>.

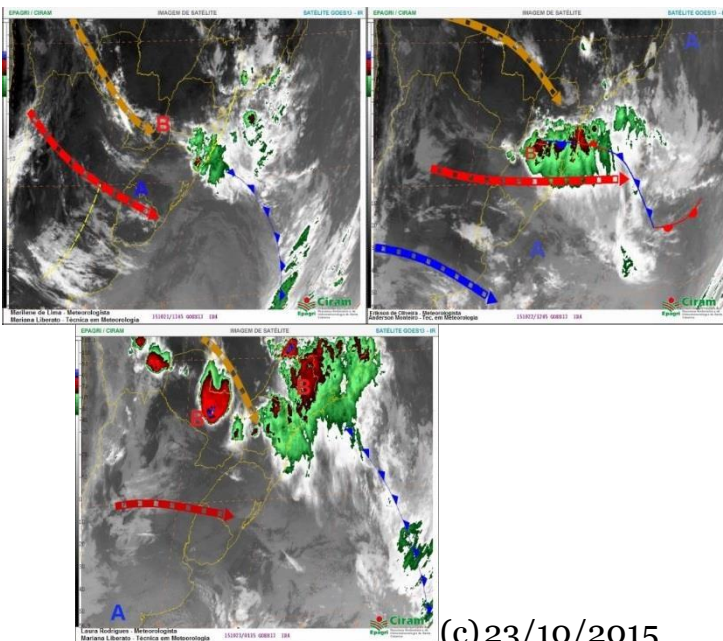
Entre os dias 01 de setembro e 24 de outubro de 2015, a precipitação foi intensa em SC, incluindo a região do Vale do Itajaí e o Município de Blumenau. Neste período, a chuva acumulada ultrapassou 700 mm na maioria das regiões de SC, chegando próximo a 800 mm na região do Vale, devido à frequente passagem de frentes frias pelo Sul do Brasil e à formação de centros de baixa pressão no continente entre o oeste da região Sul e o Paraguai. Nos altos níveis da atmosfera, o forte escoamento dos ventos de oeste que intensifica as correntes de jato favoreceu a formação das frentes e dos ciclones que causam a precipitação. Esta caracterização da atmosfera e os elevados índices pluviométricos durante a primavera de 2015, foram extraídos das notas meteorológicas emitidas pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina

(EPAGRI/CIRAM), disponibilizadas na época do deslizamento em Nova Rússia.

Nos dias 21 e 22 de outubro de 2015, período que antecedeu o deslizamento de terra – objeto de investigação deste estudo, a passagem de uma frente fria em SC ocasionou um evento extremo de precipitação no Município de Blumenau, mais especificamente entre a tarde do dia 21 de outubro e a madrugada do dia 22. Neste episódio, a chuva acumulada ultrapassou 200 mm em apenas 48 horas na região do Vale do Itajaí. As imagens sinóticas elaboradas pela EPAGRI/CIRAM (figura 66) mostram que a frente fria se aproximou de SC no dia 21, em deslocamento pelo oceano, associada a um centro de baixa pressão configurado entre o Oeste de SC e o Paraguai. No dia 22, ainda no período da manhã, a frente fria se intensifica e estaciona sobre SC e o sistema de baixa pressão se desloca para leste, em direção à SC. O jato de baixos níveis favorece o fluxo de umidade na região do centro de baixa pressão, enquanto que o jato subtropical intensifica a divergência no topo da atmosfera fortalecendo a convecção e consequentemente, a precipitação associada à frente fria. No dia 23/10, os sistemas atmosféricos se deslocam para o Sudeste do Brasil, assumindo sua trajetória sinótica clássica, em direção ao Oceano Atlântico.

(a) 21/10/2015

(b) 22/10/2015



(c) 23/10/2015

Figura 66: Imagens sinóticas elaboradas entre os dias 21 e 23 de outubro de 2015. Os sistemas atmosféricos atuantes durante o período estão desenhados sobre a imagem de satélite GOES no canal do infravermelho, que realçam as nuvens com maior espessura vertical, associadas à precipitação mais intensa (tons de branco, verde e vermelho). Nome dos sistemas atmosféricos relacionados à precipitação: Linha com triângulos azuis → frente fria; B → centro de baixa pressão; Vetor vermelho → jato subtropical; Vetor laranja → jato de baixos níveis. (http://www.ciram.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=60&Itemid=199).

Portanto, o movimento de massa na região de Nova Rússia aconteceu associado a um episódio de evento extremo de precipitação na região do Vale do Itajaí devido à atuação de uma intensa frente fria entre os dias 21 e 22 de outubro de 2015, já em um contexto de uma primavera bastante chuvosa desde o início de setembro de 2015, sendo que este padrão na precipitação, acima da média climatológica, está relacionado à atuação do fenômeno El Niño entre a primavera de 2015 e o verão de 2016. Cabe destacar a umidade antecedente no solo promovida pela precipitação ao longo dos dois meses (setembro e outubro) como um papel relevante para o desencadeamento do movimento de massa.

8.6 Resultados: Análise em SIG

Na confecção dos mapas em ambiente SIG inicialmente trabalhou-se com os dados de MDT e Ortofoto do ano de 2012, ou seja, anterior ao deslizamento. Nestas imagens é possível identificar que já haviam ao menos duas cicatrizes de antigos deslizamentos (figura 67), provavelmente ocorridos no ano de 2008, quando após um período de longa chuva durante toda a primavera ocorreram diversos movimentos de massa em todo Vale do Itajaí, principalmente no município de Blumenau.

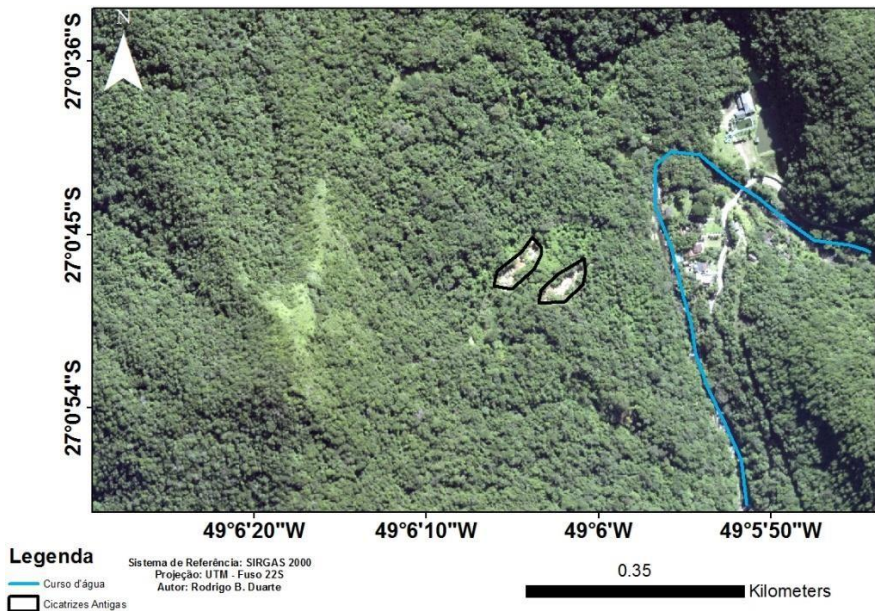


Figura 67: Mapa da área de estudo, polígonos em preto indicando as cicatrizes de antigos deslizamentos na encosta.

Primeiramente foi extraído e georreferenciado o Modelo Digital do Terreno (figura 68), o qual varia em tons de cinza. A tonalidade mais escura (preta) representa áreas mais planas, assim como a tonalidade mais clara (branca) sugere locais de maior altitude. A partir deste modelo foi gerado o mapa de contorno das curvas de nível (figura 69) de 1 (hum) em 1 (hum) metro. O mapa das curvas de nível indicam que havia na área um pequeno talvegue por onde as águas pluviais deviam correr, visto que, não havia curso d'água mapeado na

área, sugerindo que o mesmo seria efêmero, só ocorrendo após precipitação.

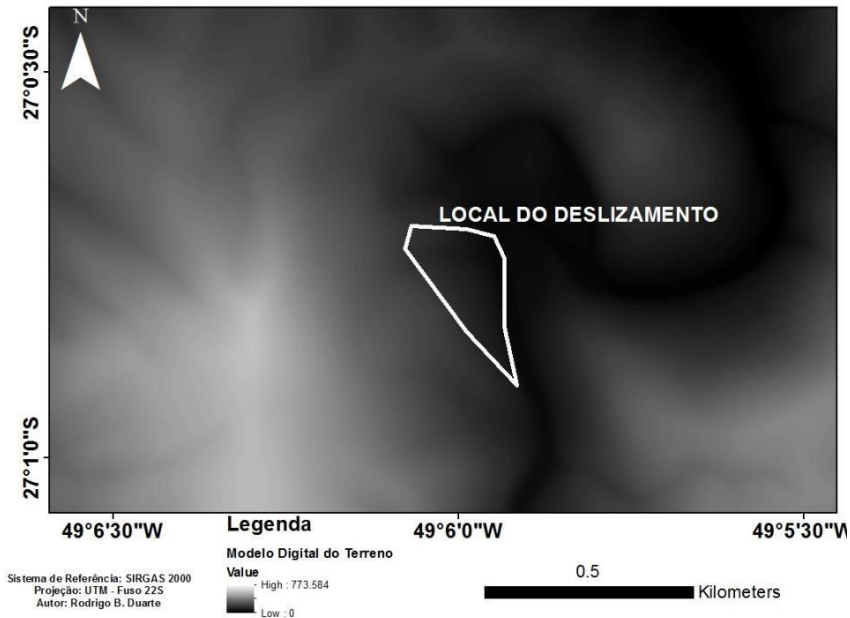


Figura 68: Modelo Digital do Terreno – MDT. Tons mais escuros indicam áreas mais planas (baixas). Tons mais claros indicam locais de maior altitude.



Figura 69: Mapa da área de estudo com as curvas de nível de 1 (hum) metro.

Após este foi elaborado o mapa de inclinação (figura 70) com indicação das áreas em porcentagem, ou seja, as áreas de maior declividade encontram-se na tonalidade vermelha. Neste é possível verificar que a área do deslizamento possui alta inclinação, variando de 30% até 89%, conforme demonstrado na figura.

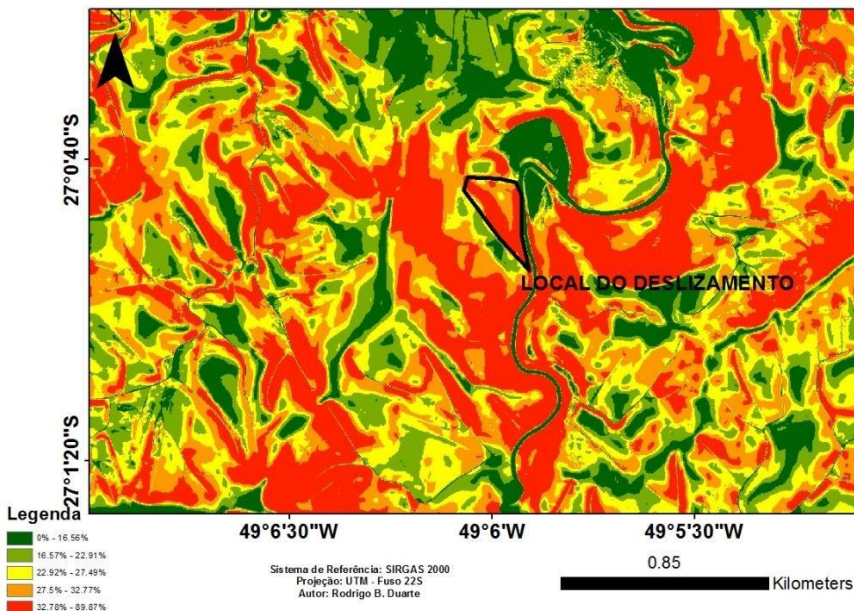


Figura 70: Mapa da Declividade da área de estudo.

Em seguida foi gerado o mapa do relevo sombreado (figura 71) onde promoveu-se o exagero vertical por meio do MDT, para verificar as encostas da área, talwegues e cristas de morros. Posteriormente confeccionou-se o mapa de risco do local, utilizando-se dos mapas já elaborados neste roteiro, como MDT, relevo sombreado e declividade.

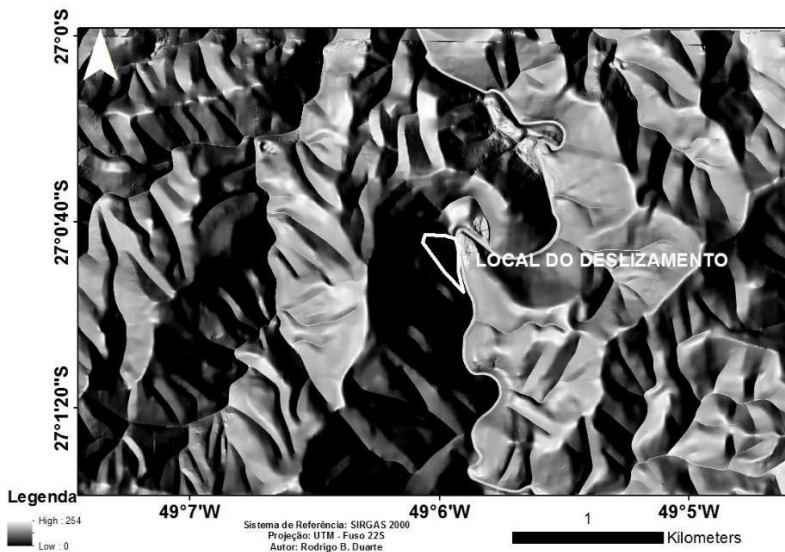


Figura 71: Mapa do Relevo Sombreado.

No mapa de risco (figura 72) percebe-se que a área que veio a deslizar já aparece como sendo de risco conforme a coloração avermelhada do mapa, assim como seu entorno, com cores laranja e amarela, somente a cor verde representa muito baixo risco de deslizamento.

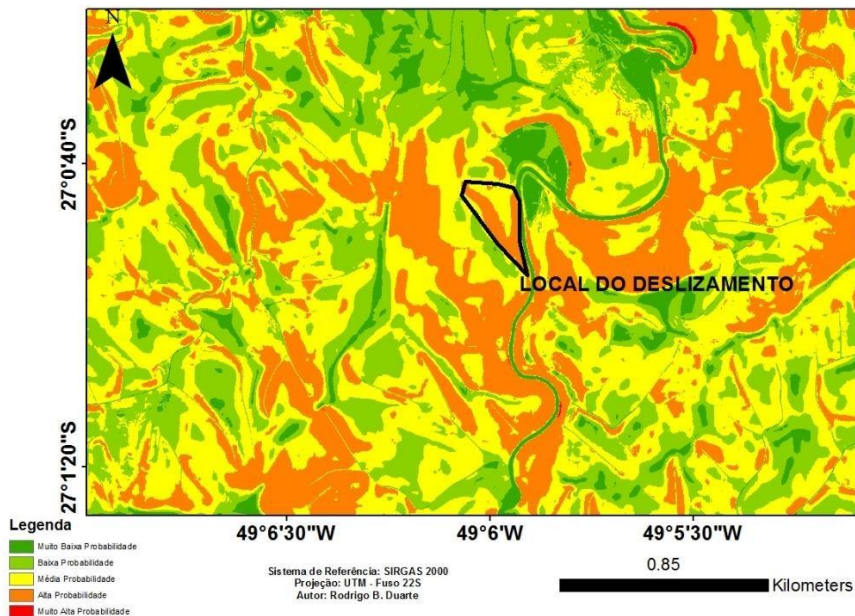


Figura 72: Mapa de Risco de Deslizamento.

8.7 Resultados: Análise no Shalstab

Para a confecção do mapa em Shalstab (susceptibilidade a deslizamento) foram necessários os cruzamentos de características e informações de solo, relevo e climáticas. Com os dados obtidos por meio das amostras de solo coletadas em campo e trabalhadas em laboratório, onde foram realizados os ensaios de cisalhamento direto, foi possível obter informações como ângulo de atrito interno, coesão, peso específico, tensão normal, tensão cisalhante entre outros. De posse destes dados

partiu-se para a confecção do mapa de susceptibilidade. Foi gerada ainda uma classe intermediária entre estável e instável, relacionada à média suscetibilidade a ocorrência de deslizamentos do talude. No mapa de susceptibilidade (figura 73) é possível verificar que ocorreu a separação das áreas em classes, sendo a mais instável a classe 1 (hum), intermediária a 2 (dois) e a mais estável a classe 3.

O mapa da figura 70 demonstra na classe 1 (hum) em vermelho o local propício para a ruptura do talude, onde de fato ocorreu, dando início ao deslizamento. Com isso o modelo Shalstab se mostrou qualificado para as análises proposta, visto que, o mesmo indicou corretamente o provável local de ruptura onde se deu início o movimento de massa.

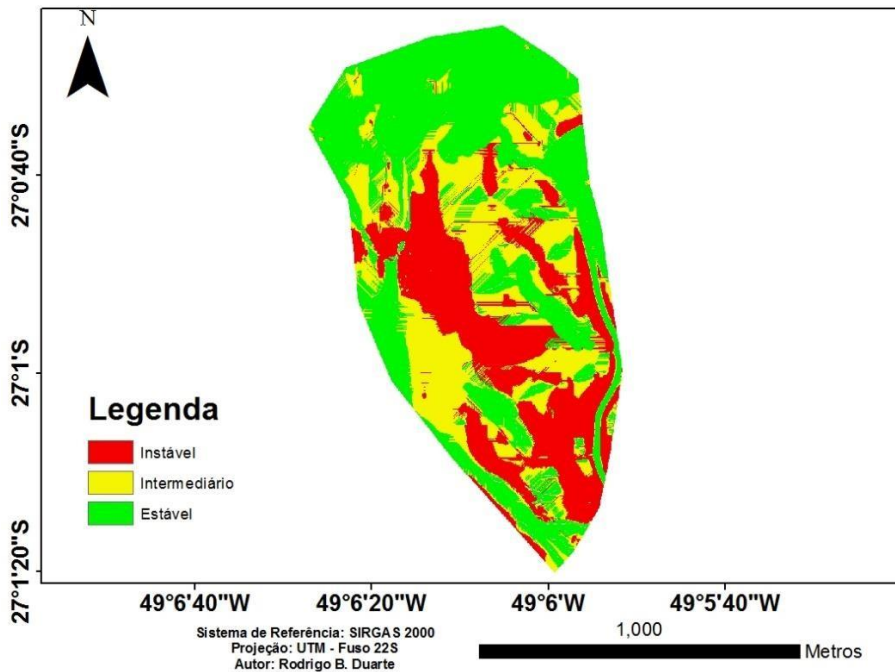


Figura 73: Mapa de Susceptibilidade a deslizamento.

8.8 Resultados: Análise com o uso do Vant/Drone

A ortofoto obtida por meio do levantamento com o Vant/Drone (figura 74) demonstra a área de espraiamento do deslizamento (esquada da foto), dando uma ideia da dimensão do mesmo. Pode-se observar na imagem que antes do movimento de massa ocorrer, o rio tinha o seu trajeto diferentemente do trajeto atual, ou seja, antes de suceder o deslizamento o Ribeirão Garcia que encontra-se encaixado no vale, mais precisamente na

base da encosta, seguia seu curso formando uma curva acentuada e, após o deslizamento o material escorregado bloqueou o curso d'água, fazendo com que este passasse a seguir em nova direção. Essa mudança de trajeto do rio foi o que atingiu a residência do Sr. Wille, ocasionando o desmoronamento da casa que já havia sido parcialmente soterrada.



Figura 74: Ortofoto da área de estudo realizada com Vant/Drone, linha em azul indicando antigo trajeto do curso d'água, círculo em vermelho indicando o local da casa do Sr Wille que foi destruída após a mudança do trajeto do rio.

9 Considerações finais

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões obtidas por este trabalho e também recomendações para trabalhos futuros, de modo a complementar esta pesquisa.

9.1 Conclusões

A partir dos resultados obtidos foi possível concluir que, o movimento de massa ocorrido em outubro de 2015 na localidade de Nova Rússia, município de Blumenau/SC, foi classificado como sendo um deslizamento translacional raso, devido a suas características de ruptura, tamanho, velocidade e mecanismos de desencadeamento.

As amostras de rocha analisadas indicaram a existência de duas litologias predominantes na área de estudo. Das cinco amostras enviadas para laminação, quatro delas tratam-se de um arenito que apresenta estrutura variando de maciça a estratificada e por vezes com microfraturas preenchidas por óxido de ferro, fragmentos líticos e material argiloso. Em uma das amostras de arenito pôde-se observar estrias de falha, fato que corrobora com a falha tectônica observada na encosta do deslizamento com direção de plano NE-SW e mergulho de 20°, além da presença de minerais de mica com indicação de mecanismos de deformação dútil com sombras de pressão e microestruturas originadas por deformação intracristalina, bem como grãos de quartzo com contatos suturados. Estes arenitos, foram

coletados em diferentes pontos da encosta, ocorrendo desta maneira uma distinção entre os mesmos, ou seja, as amostras indicam que a rocha arenítica passou por um processo de metamorfismo dinâmico, pois verificou-se que as características analisadas macroscopicamente diferenciam-se entre as quatro amostras. Esta diferenciação se deve ao tectonismo presente na área, o qual promoveu deformações dúctil e rúptil, em escalas macro e micro das rochas amostradas. Dentre as amostras, apenas uma foi classificada como um pelito, com coloração esverdeada e composta basicamente por argilominerais. Nesta amostra os grãos de plagioclásio apresentam-se alterados para epidoto junto aos planos de macla, assim como os minerais de mica apresentam deformação rúptil-dúctil, intracristalina (kink bands e microfraturados). O dique de rocha vulcânica encaixado no acamamento do arenito com direção N60W indica que ocorreu uma incipiente alteração localizada, tanto no arenito (camada sobreposta ao pelito) quanto no pelito. Ambas as rochas possuem variados graus de foliação tectônica. O tipo de estrutura observada conduz a um relevo de alta inclinação.

O evento ocorrido, precedeu de um conjunto de fatores associados, os quais pode-se incluir o elevado índice de precipitação durante o início de setembro até o dia vinte e

quatro de outubro, chegando próximo a 800 mm na região do Vale. Esta precipitação elevada ocorreu devido à frequente passagem de frentes frias pelo Sul do Brasil associada à formação de centros de baixa pressão no continente entre o oeste da região Sul e o Paraguai e que conseqüentemente promoveu o encharcamento do solo. Entretanto o fato que praticamente desencadeou o deslizamento foi a intensa precipitação ocorrida entre os dias 21 e 22 de outubro de 2015, mais especificamente entre a tarde do dia 21 de outubro e a madrugada do dia 22. Neste episódio, a chuva acumulada ultrapassou 200 mm em apenas 48 horas na região do Vale do Itajaí.

Os mapas gerados neste trabalho demonstram que a área é suscetível a deslizamentos, principalmente por tratar-se de um vale onde os acamadamentos das rochas condiz com a direção dos taludes. O mapa de risco gerado no ArcGis indica que a área possui alto risco a movimentos de massa, principalmente no local que ocorreu o deslizamento quanto a montante da área, que possui as mesmas características de inclinação e possível litologia semelhante com a encontrada. O mapa de susceptibilidade gerado no Shalstab aponta que o local de ruptura do deslizamento condiz com o encontrado em campo,

indicando que a área onde ocorreu o movimento de massa já apresentava-se relativamente instável.

9.2 Recomendações

- Mapear as áreas adjacentes e a montante do Ribeirão Garcia a fim de verificar possíveis locais de risco a deslizamento, visto que, ao longo do rio há diversas famílias instaladas;

- Determinar e utilizar as variáveis permeabilidade do solo e chuva crítica para calibrar o modelo SHALSTAB;

- Realizar a análise de sensibilidade do modelo SHALSTAB;

- Verificar e caracterizar em campo as áreas identificadas como instáveis pelo SHALSTAB pelos mapas de suscetibilidade e de risco;

- Monitorar o barramento que formou a “pequena represa” e que já encontra-se com profundidade de 6 (seis) metros, visto que, caso a mesma chegue a se romper pode ocasionar danos a jusante, principalmente na ponte que atravessa o curso d’água, podendo isolar a comunidade a montante do rio.

10 Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.
MB 3336: Ensaio de Adensamento Unidimensional. Rio de Janeiro, 1990.

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

AUGUSTO FILHO, O. 1992. Caracterização geológico-geotécnica voltada a estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 1, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PUCRJ, 1992, v. 2, p.721-733.

AUMOND, J. J.; SEVEGNANI, L.; TACHINI, M.; BACCA, L. E. Condições Naturais que tornam o vale do Itajaí sujeito aos desastres(Cap2). In.: FRANK, B.; SEVEGNANI, L. (orgs.). Desastre no vale do Itajaí. Água, gente e política. Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí, 2009. 192p.

BASEI, M. A. S., SIGA, Jr., O., MACHIAVELLI, A. e
MANCINI, F. 1992. Evolução tectônica dos terrenos entre os
Cinturões Ribeira e Dom Feliciano (PR-SC). Revista Brasileira
de Geociências, 22(2): 216-221.

BIONDI, J. C.; SCFFICKET, G.; BUGALHO, A.
PROCESSOS MINERALIZADORES EM BACIAS TARDI-
OROGÊNICAS 1. INFLUÊNCIA DAS ESTRUTURAS
RÍGIDAS NA GERAÇÃO DOS DEPÓSITOS DA
MINEPAR E DO RIBEIRÃO DA PRATA, GRUPO ITAJAÍ
(SC). In: Revista Brasileira de Geociências. 22(3):275-288,
setembro de 1992. Departamento de Geologia. Universidade
Federal do Paraná. Curitiba. 1992.

CARSON, M. A.; KIRKBY, M. J. Hillslope form and process.
London: Cambridge University Press, 1975. 475 p.

CROZIER, M. J. Landslides: causes, consequences &
environment. Dover: Croom Helm, 1986. 252 p

DIETRICH, W. E.; MONTGOMERY, D. R. SHALSTAB: A
Digital Terrain Model for Mapping Shallow Landslide
Potential. National Council for Air and Stream Improvement.
1998. 26p.

EPAGRI/CIRAM. Disponível em http://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=2384:mare-pode-provocar-alagamentos-no-litoral-de-sc&catid=26:notasmeteorologicas&Itemid=10199999.

Acessado em 03/11/2015.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: Guerra, A. J. T.; Cunha, S. B. Geomorfologia e meio ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. Cap. 3, p. 123-194.

FREIRE, E. S. M. 1965. Movimentos coletivos de solos e rochas e sua moderna sistemática. Construção, Rio de Janeiro, n. 8, p. 10-18.

GRIMM, A. M. et al. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, v.11, p. 2863-2880, 1998.

GRIMM, A. M.; TEDESCHI, R. G. ENSO and Extreme Rainfall Events in South America. *Journal of Climate*, v.22, p.1589-1609, 2009.

GOMES, R. A. T. Modelagem de previsão de movimentos de massa a partir da combinação de modelos de escorregamentos

e corridas de massa. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2006. 180p.

GUIDICINI, G. & NIEBLE, C. M. 1984. Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação. São Paulo: 2ª ed. Edgard Blucher., 194p.

GUIDICINI, G.; IWASA, O. Y. Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, 1976. 48 p. (Relatório n. 1080).

GUIMARÃES, R. F. Utilização de um modelo de previsão de áreas susceptíveis a escorregamentos rasos com controle topográfico: adequação e calibração em duas bacias de drenagem. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2000. 150p.

HARTMANN, L. A.; 1988. Geoquímica de terras raras e geotermobarometria de granulitos de Dom Pedrito e Luís Alves no extremo sul do Brasil. Geoch. Bros., 2(1): 1-4.

HARTMANN, L.A.; SILVA, L.C.; ORLANDI F. V. O Complexo Granulítico de Santa Catarina: Descrição e

Implicações Genéticas. Acta Geológica Leopoldensia. São Leopoldo (RS). 3(6): 93-112. 1979.

HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY, P. The landslide handbook – A guide to understanding landslides: Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 2008. 129p.

KREBS, A. S. J.; SILVA, M. A.; DIAS, A.A.; CAMOZZATO, E.; LOPES, R. C. Modelo geométrico-cinemático e relações com o Cinturão Granulítico e Cinturão Metavulcano – Sedimentar Brusque:instalação, preenchimento e inversão da bacia. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36, Natal, 1990. Anais, Natal, SBG, v.6., p.2966-2975.

MICHEL, G. P. Estudo de escorregamentos na Bacia do Rio Cunha, Rio dos Cedros/SC, com os modelos SHALSTAB e SINMAP. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2011. 84p.

MICHEL, G. P. Modelagem de estabilidade de encostas com consideração do efeito da vegetação. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2013. 139p.

PRESS, Frank [et al]; tradução Rualdo Menegat... Para entender a Terra. 4. Ed. – Porto Alegre: Bookman, 2006. 656 p. : il. ; 28cm.

PELLERIN, J. et al. . Les crues et laves torrentielles catastrophiques du 23 Décembre 1995 dans l Etat de Santa Catarina (Brésil subtropical). Geomorphologie: Reliefs Processus Environment, Paris, n. 1, p. 51-60, 2002.

PELLERIN, J. et al. Timbé do Sul – Jacinto Machado: avaliação preliminar da extensão da catástrofe de 23-24/12/95. Geosul, Florianópolis, v.23, p.71-86, 1997.

REGINATTO, G. M. P. Aplicação do modelo Shalstab para identificação de áreas suscetíveis a escorregamentos translacionais na bacia do rio Cunha, Rio dos Cedros – SC. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2013

ROSTIROLLA, A. P.; SOARES, P. C.; ALKMIM, F. F. de. Análise estrutural da tectônica deformadora da Bacia de Itajaí, estado de Santa Catarina. Geociências. PETROBRÁS, Rio de Janeiro, V. 6(3/4):123-147, jul./dez. 1992.

SELBY, M.J. Hillslope materials and processes. 2ed. Oxford: Oxford Univ. Press, 1993. 451p

SCHEIBE. L. F.; A Geologia de Santa Catarina – Sinótese Provisória. In: Geosul Nº1. Ano 1.p. 7-38. Primeiro Semestre de 1986. Departamento de Geociências. Editora da UFSC. Florianópolis 1986.

SCHORODER, G. S. Análise tectônica da Bacia do Itajaí. 2006. 109 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

TOMAZZOLI, Edison Ramos. Caracterização geológico-geomorfológica dos movimentos de massa ocorridos no vale do Itajaí (estado de Santa Catarina)-Brasil-em novembro de 2008. Memórias e Notícias (Nova Série) - Publicação do Departamento de Ciências da Terra e do Museu Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra, v. Especial, p. 1-20, 2012.

TOMINAGA, Lídia Keiko; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosangela do (Orgs). Desastres naturais: conhecer para prevenir / Organizadores Lídia Keiko Tominaga, Jair Santoro, Rosangela do Amaral – 2ª ed. – São Paulo: Instituto Geológico, 2012. – 196 p. : il. ; 24.

VARNES, D. J. 1978. Slope movement types and processes. In: SCHUSTER & KRIZEK (eds.). Landslides: analysis and control. Transportation Research Board Special Report 176, National Academy of Sciences, Washington DC. P. 11-33.