

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

**ANÁLISE DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA DA MICROBACIA
DO CÓRREGO GEBIEN, BAIRRO VALPARAÍSO, BLUMENAU (SC)**

Luiz Felipe Poli Schramm

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

Orientador: Profa. Dr. Liliana Sayuri Osako

Coorientador: Prof. Dr Marivaldo dos Santos Nascimento

Florianópolis

2019

Schramm, Luiz Felipe Poli

Análise de suscetibilidade a movimentos de massa da microbacia do Córrego Gebien, bairro Valparaíso, Blumenau (SC) / Luiz Felipe Poli Schramm ; orientadora, Liliana Sayuri Osako, coorientador, Marivaldo dos Santos Nascimento, 2019.

97 p.

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

Inclui referências.

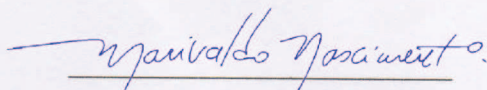
1. Geologia. 2. Geologia. 3. Movimentos de massa. I. Sayuri Osako, Liliana . II. dos Santos Nascimento, Marivaldo. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Geologia. IV. Título.

Luiz Felipe Poli Schramm

**ANÁLISE DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA DA MICROBACIA
DO CÓRREGO GEBIEN, BAIRRO VALPARAÍSO, BLUMENAU (SC)**

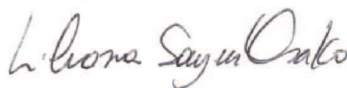
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Geologia e aprovado em sua forma final pelo Coordenador do Curso de Geologia.

Florianópolis, 12 de dezembro de 2019.




Prof. Dr. Marivaldo dos Santos Nascimento
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

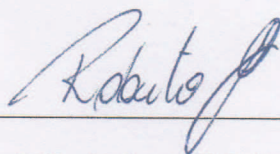


Prof.^a Dr.^a Liliana Sayuri Osako
Orientadora

Universidade Federal de Santa Catarina



Prof.^a Dr.^a Leila Cristina Perdoncini
Diretoria de Geologia da Prefeitura Municipal de Blumenau



Prof. Dr. Roberto Fabris Goerl
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família (mãe, pai, lary e raulzinho), por sempre terem me dado o suporte e estímulo necessários para o desenvolvimento dos meus estudos, além de serem as pessoas mais importantes da minha vida. Agradeço também aos meus melhores amigos Jeff, Bruna, Bia e Júlia (geoidosos) por todo o suporte durante a graduação, a vocês o meu muito obrigado pela companhia, pelas risadas, pelo desespero compartilhado nos momentos mais turbulentos e principalmente pela amizade que construímos. À Ale, por tudo que ela representa na minha vida, por toda a ajuda fornecida nesse trabalho e na minha vida, pela paciência, carinho e sabedoria, muito obrigado! Também agradeço à minha orientadora, professora Liliana, por todo o tempo, paciência e estudos investidos e por apesar de todas as adversidades enfrentadas, ter estado sempre disponível para me ajudar na elaboração deste trabalho. Ao meu coorientador, professor Marivaldo, e meu colega Victor Gualberto, pelo grande auxílio na elaboração do mapa geológico. À professora Luana Florisbal, por sempre ter me auxiliado e esclarecido dúvidas, mesmo sem obrigação. Por fim, deixo meu muito obrigado a todos os demais que de alguma forma ajudaram no desenvolvimento desta pesquisa.

Antes granito, agora gnaisse depois.
(Jéferson Drozczak, 2016)

RESUMO

O presente trabalho apresenta o resultado da análise de suscetibilidade a movimentos de massa da microbacia do Córrego Gebien, bairro Valparaíso, no município de Blumenau (SC). Na análise foram selecionados seis fatores condicionantes a movimentos de massa: litologia, uso e ocupação do solo, declividade, distância da área urbana, distância dos lineamentos e domínios estruturais. Esses fatores foram ponderados através do modelo de análise data-driven, pelo método da relação de frequência com base no inventário de 41 ocorrências de movimentos de massa pretéritos. Os fatores ponderados foram normalizados entre valores de 0 a 1 para a obtenção do fuzzy membership e integrados através da lógica fuzzy gamma, em ambiente SIG. Três mapas de suscetibilidade foram gerados com valores gamma 0.9, 0.8 e 0.75, e validados pelo método Receiver Operating Characteristic (ROC) e Area Under the Curve (AUC). Para obtenção dos dados litoestratigráficos foi realizado o mapeamento geológico em escala 1:10.000, que revelou a existência de rochas sedimentares neoproterozóicas e vulcânicas ácidas do Grupo Itajaí, além de rochas sienograníticas cambrianas associadas ao magmatismo tardio do Granito Subida. As rochas do Grupo Itajaí são representadas por arenitos finos, muito finos e finos a grossos da Formação Ribeirão Carvalho, siltitos da Formação Ribeirão do Bode e riolitos da Formação Apiúna. O magmatismo granítico é caracterizado por sienogranitos isotrópicos. A geologia estrutural é caracterizada por um padrão de estruturas orientadas a NE-SW que representam os planos de acamamento das rochas sedimentares, e NW-SE, que correspondem ao padrão de fraturamento e falhas que afetam as rochas do Grupo Itajaí. Foram identificados quatro domínios estruturais: rochas com mergulho entre 15° e 40°, entre 45° e 75°, isotrópicas e sedimentos inconsolidados, sendo que a ponderação revelou que a primeira classe é a mais suscetível. A análise de lineamentos mostrou que 58,52% da área de estudo se situa a menos de 50 metros de estruturas geológicas, onde foram identificados 37 movimentos de massa pretéritos. Os dados de uso e ocupação revelaram que as classes mais suscetíveis correspondem às formas de uso antrópico, solo exposto e área urbana, e a distância da área urbana mais crítica corresponde a 20 metros. A ponderação das classes de declividade evidenciou que a suscetibilidade aumenta gradativamente em terrenos com inclinação superior a 30%, onde foram mapeados 97,87% dos eventos pretéritos, com valores mais críticos nos intervalos entre 70 a 75% de declive. A validação dos três mapas de suscetibilidade revelou que o valor de gamma igual a 0,75 se ajustou melhor ao modelo de análise adotado e apresenta 77,8% de acurácia (AUC = 0,778). O mapa de suscetibilidade final com o Índice de Suscetibilidade a Movimentos de Massa (ISMM) foi dividido em cinco classes – muito baixa (7,29%), baixa (25,72%), média (42,75%), alta (17,53%) e muito alta (6,71%) – e evidenciou quatro regiões críticas quanto a probabilidade de ocorrência de movimentos de massa. Através da análise foi observado que em regiões urbanas localizadas sobre siltitos a suscetibilidade é muito alta, assim como em áreas afetadas por falhas sinistrais, no contato entre o riolito e arenito fino.

Palavras-chave: Movimentos de massa. SIG. Grupo Itajaí. Suscetibilidade. Geologia.

ABSTRACT

The following study presents the result of landslide susceptibility analysis of Córrego Gebien microbasin, located in Valparaíso neighborhood, in Blumenau (SC). In the analysis six landslide causative factors were selected: lithology, land use, slope, distance from urban areas, distance from lineaments and structural domains. These factors were weighted through data-driven analysis model, by the method of frequency ratio based on the inventory of 41 previous landslide occurrences. The weighted factors were normalized between 0 and 1 to obtain the fuzzy membership and were integrated through the fuzzy gamma logic, in GIS platform. Three maps of landslide susceptibility were generated, with gamma values of 0.9, 0.8 and 0.75, and were validated by the methods Receiver Operating Characteristic (ROC) and Area Under the Curve (AUC). To obtain the lithostratigraphic data, a geological mapping in the scale of 1:10.000 was performed, in which was revealed the existence of neoproterozoic sedimentary and acid volcanic rocks of the Itajai Group, in addition to cambrian granitic rocks associated to the late magmatism of the Subida Granite. The rocks from the Itajai Group are represented by fine, very fine and fine to thick sandstones from Ribeirão Carvalho Formation, siltites from Ribeirão do Bode Formation and rhyolite from Apiúna Formation. The granitic magmatism is represented by isotropic syenogranites. The structural geology is characterized by a pattern of NE-SW oriented structures, which represent the bedding plane of the sedimentary rocks, and NW-SE oriented ones, which correspond to the pattern of fracturing and faults that affect the rocks of the Itajai Group. Four structural domains were identified: rocks with 15° to 40° and 45° to 75° dip, isotropic rocks and unconsolidated sediments, in which was revealed that the first category was the most susceptible to landslide occurrence. The lineaments analysis showed that 58,52% of the study area is located less than 50 meters away from the geological structures, where 37 previous landslides were identified. The data of land use revealed that the most susceptible category corresponds to the anthropic use - expose soil and urban areas - and the most critic distance is 20 meters away from urban areas. The weighting of slope categories showed that the susceptibility to landslides increases gradually in areas with slope higher than 30%, where 97,87% of the previous landslides were mapped, with more critical values between 70 to 75% of dip. The validation of the three susceptibility maps revealed that the gamma value of 0,75 adjusted better to the approach method analysis and represents 77,8% of accuracy (AUC = 0,778). The final susceptibility map with Landslide Susceptibility Index (LSI) was divided in five categories, very low (7,29%), low (25,72%), medium (42,75%), high (17,53%) and very high (6,71%), and showed four critical regions to landslide occurrence. Through the analysis it was observed that in urban areas located on siltites the susceptibility to landslide occurrence is very high, as well as areas affected by sinistral faults, on the contact between rhyolite and fine sandstone.

Keywords: Landslide. GIS. Itajai Group. Susceptibility. Geology

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: (A) Mapa de localização da microbacia do Córrego Gebien. (B) Localização da área de estudo em Blumenau (SC).	4
Figura 2: (A) Desenho esquemático de um escorregamento rotacional (modificado de HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008). (B) Deslizamento rotacional em Holbeck Hall, Reino Unido (BRITISH GEOLOGICAL SURVEY, 2019).	6
Figura 3: Desenho esquemático de um escorregamento translacional. (B) Deslizamento translacional ocorrido em 2001 em Beaton River Valley, Canadá (modificado de HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).....	6
Figura 4: (A) Representação de um escorregamento em cunha. (modificado de Infanti & Fornasari Filho, 1998). (B) Deslizamento em cunha ocorrido sobre uma rodovia (modificado de MONTGOMERY, 1992).	7
Figura 5: (A) Desenho esquemático do rastejo (B) Rastejo em encosta com baixa declividade (modificado de HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).....	8
Figura 6: (A) Desenho esquemático de uma corrida de detritos. (B) Área afetada por esse tipo de movimento de massa em Caraballeda, Venezuela (modificado de HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).....	8
Figura 7: (A) Desenho esquemático de queda de blocos. (B) Área afetada em Clear Creek Canyon, EUA (modificado de HIGHLAND E BOBROWSKY, 2008).....	9
Figura 8: Representação do cálculo de declividade (adaptado de ESRI, 2019).....	11
Figura 9: Mapa de suscetibilidade de uma região em Koshima Town, Índia. Modificado de Sema, Guru & Veerappan (2017).	13
Figura 10: (A) Representação do modelo de dados vetoriais e seus elementos principais. (B) Desenho esquemático dos mapas e grades de pixels de um modelo de dados matriciais (modificado de BOHAM-CARTER, 1994).....	16
Figura 11: Representação de elementos vetoriais e matriciais expressos em um mapa (modificado de Hertfordshire County Council, 2019).....	16
Figura 12: Mapa das regiões hidrográficas de Santa Catarina e a da bacia do Rio Itajaí. Fonte: IMA/SC.....	17
Figura 13: Contexto geomorfológico de Santa Catarina. Em destaque as unidade geomorfológicas que.....	18
Figura 14: (A) Domínios estruturais do Brasil (modificado de ALMEIDA, 1977). (B)	

Domínios do	20
Figura 15: Mapa geológico de Blumenau e detalhe das unidades que ocorrem na área	21
Figura 16: Coluna estratigráfica do Grupo Itajaí (modificado de BASEI <i>et al.</i> 2011).	25
Figura 17: Direções preferenciais das estruturas mesoscópicas do Grupo Itajaí. A) Falhas transcorrentes dextrais; B) Falhas transcorrentes sinistras; C) Falhas sinistras e inversas; D) Fraturas e falhas inversas; E) Planos axiais de dobras (SCHROEDER, 2006). ..	26
Figura 18: Contato tectônico condicionado pelo sistema conjugado de falhas NNE e ENE,	28
Figura 19: Lineamentos com orientação NW que cortam a bacia do Itajaí, interpretados como falhas geradas durante o segundo evento de deformação (SCHROEDER, 2006).	29
Figura 20: Fluxograma das etapas e métodos utilizados na elaboração do trabalho. Fonte: Autor.	32
Figura 21: Fluxograma das etapas do mapeamento geológico. Fonte: Autor.	35
Figura 22: Mapa de afloramentos visitados e base cartográfica. Fonte: Autor	42
Figura 23: LitofÁCie arenito fino. (A) visão geral do afloramento PVP-1031; (B) detalhe do arenito fino com laminações onduladas assimétricas PVP-1020; (C) Detalhe das laminações assimétricas em amostra de mão PVP-1016. Fonte: Autor.....	44
Figura 24: : LitofÁCie arenito muito fino. (A) Visão do afloramento da litofÁCie em cachoeira do ponto 1015; (B) Detalhe do arenito muito fino de cor cinza escuro em afloramento de lajeado (ponto 1015); (C) Laminações plano-paralelas (1015). Fonte: Autor.	45
Figura 25: : LitofÁCie Arenito fino a grosso (ponto 1042). (A) Afloramento do tipo lajeado; (B) Camadas com	46
Figura 26: LitofÁCie Siltito. (A) Corte de estrada do ponto 1010; (B) Croqui mostrando a disposição das camadas, falha e corpo riolítico; (C) Detalhe de uma lente de arenito bordô em camadas de siltito (ponto 1032); (D) Detalhe de lente de arenito em siltito laminado. Fonte: Autor.	48
Figura 27: Riolito. (A) Afloramento de riolito em leito de rio (1002); (B) Amostra de mão do contato entre o riolito e o arenito fino, cinza (1026); (C) Detalhe em lupa da textura porfirítica do riolito. Fonte: Autor.	49
Figura 28: Sienogranito. (A) Afloramento corte em barranco (1035); (B) Amostra de mão do Sienogranito com textura inequigranular seriada. (C) Detalhe em lupa de cristal de	

feldspato tabular e lamelas de biotita.	50
Figura 29: Estereograma com as medidas estruturais de acamamento das litofácies de arenito (em marrom) e siltito (em verde) (A) Pólos dos planos de acamamento; (B) Diagrama de rosetas indicando as orientações preferenciais dos planos. Fonte: Autor.	51
Figura 30: (A) Pólos dos planos de fratura nas rochas sedimentares; (B) Diagrama de rosetas indicando as orientações preferenciais dos planos. Fonte: Autor.	52
Figura 31: (A) Pólos dos planos de fratura no riolito; (B) Diagrama de rosetas indicando as orientações preferenciais dos planos. Fonte: Autor.	52
Figura 32: (A) Pólos dos planos de falha nas rochas sedimentares; (B) Diagrama de rosetas indicando as orientações preferenciais dos planos. Fonte: Autor.	53
Figura 33: Detalhe de plano de falha com movimento dextral no contato entre as litofácies de arenito fino e arenito muito fino, ponto PVP - 1015. Fonte: Autor.	53
Figura 34: (A) Mapa de lineamentos da área de estudo. (B) Contato tectônico entre o riolito e o arenito fino. Fonte: Autor.	55
Figura 35: Estereogramas mostrando as orientações dos lineamentos locais. (A) Lineamentos positivos; (B) Lineamentos negativos; (C) Ambos. Fonte: Autor.	55
Figura 36: Mapa de lineamentos do entorno da área mapeada, em escala regional (1:50.000). Fonte: Autor.	56
Figura 37: : Estereogramas mostrando as orientações dos lineamentos regionais. (A) Lineamentos positivos; (B) Lineamentos negativos; (C) Ambos. Fonte: Autor.	56
Figura 38: Mapa geológico da microbacia do Córrego Gebien. Fonte: Autor.	57
Figura 39: Mapa de pontos do inventário de movimentos de massa da PMB e mapeados. Fonte: Autor.	58
Figura 40: (A) Escorregamento em cunha em arenito fino, próximo ao ponto PVP-1005. (B) Escorregamento translacional em siltito, no ponto PVP-1041. (C) Deslizamento em cunha em siltito, no ponto PVP-1008. Fonte: Autor.	59
Figura 41: Mapa de uso e ocupação do solo da área de estudo. Fonte: Autor.	60
Figura 42: Mapa de distância dos lineamentos. Fonte: Autor.	61
Figura 43: Mapa de declividade. Fonte: Autor.	62
Figura 44: Mapa de domínios estruturais. Fonte: Autor.	64
Figura 45: Mapa de distância da área urbana. Fonte: Autor.	65
Figura 46: Mapas de suscetibilidade a movimentos de massa gerados com diferentes valores de gamma. (A) gamma = 0,75. (B) gamma = 0,8. (C) gamma = 0,9. Fonte: Autor.	68
Figura 47: Porcentagem de área de cada classe dos três mapas de suscetibilidade a	

movimentos de massa. Fonte: Autor.....	69
Figura 48: Curva ROC e AUC geradas para os mapas gamma 0.75, 0.8 e 0.9. Fonte: Autor.....	69
Figura 49: (A) Mapa de suscetibilidade a movimentos de massa (gamma 0.75). (B) Região com alta a muito alta suscetibilidade na porção sudeste. (C) Região de alta suscetibilidade na porção nordeste. (D) Região com alta suscetibilidade na porção central. (E) Região com alta suscetibilidade na porção centro-sul. Fonte: Autor.....	70

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Relação dos fatores selecionados em diferentes trabalhos de análise de suscetibilidade. Fonte: Autor.	34
Quadro 2: Classes de uso e ocupação do solo segundo IBGE (2013). Fonte: Autor..	37
Quadro 3: Classificação do relevo de acordo com a declividade. Fonte: EMBRAPA (1979).	38
Quadro 4: Descrição das classes do mapa de domínios estruturais. Fonte: Autor.	38
Quadro 5: Características das litologias mapeadas na área de estudo. Fonte: Autor..	43
Quadro 6: Valores referentes à área, pontos do inventário e peso das classes de litologia. Fonte: Autor.....	58
Quadro 7: Valores de área, pontos do inventário e peso das classes de uso e ocupação do solo. Fonte: Autor.	60
Quadro 8: Valores de área, pontos do inventário e peso das classes de distância dos lineamentos. Fonte: Autor.....	61
Quadro 9: Valores de área, pontos do inventário e peso das classes de declividade. Fonte: Autor.	63
Quadro 10: Valores de área, pontos do inventário e peso das classes de domínios estruturais. Fonte: Autor.	64
Quadro 11: Valores de área, pontos do inventário e peso das classes de distância da área urbana. Fonte: Autor.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DBMS - Sistemas de Gerenciamento de Bancos de Dados

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ISSM - Índice de Suscetibilidade a Movimentos de Massa

PMB – Prefeitura Municipal de Blumenau

SDS/SC – Secretaria do Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável

SIG – Sistemas de Informações Geográficas

TDI - Trato Depositional I

TDII - Trato Depositional II

TDIII - Trato Depositional III

LISTA DE SÍMBOLOS

\prod - produto

% - percentual

μ_i – função *fuzzy membership*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVOS	2
1.1.1. Objetivo Geral	2
1.1.2. Objetivos Específicos	3
1.2. JUSTIFICATIVA	3
1.3. LOCALIZAÇÃO E ACESSO	4
2. REVISÃO CONCEITUAL	5
2.1. MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA.....	5
2.1.1. CLASSIFICAÇÃO DOS MOVIMENTOS DE MASSA	5
2.1.2. FATORES CONDICIONANTES A MOVIMENTOS DE MASSA	9
2.1.3. ESTUDOS DE PREVENÇÃO	12
2.2. ANÁLISES DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA	12
2.2.1. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	14
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	16
3.1. CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS E CLIMÁTICAS	16
3.2. CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO	17
3.3. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	18
3.4. CONTEXTO GEOLÓGICO	19
3.4.1. GRUPO ITAJAÍ	21
4. MATERIAIS E MÉTODOS	29
4.1. MATERIAIS	29
4.2. MÉTODOS	31
4.2.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	33
4.2.2. SELEÇÃO DOS FATORES CONDICIONANTES	33
4.2.3. ELABORAÇÃO DOS MAPAS TEMÁTICOS.....	34
4.2.4. PONDERAÇÃO DAS CLASSES.....	39
4.2.5. ELABORAÇÃO DO MAPA DE SUSCETIBILIDADE	39
4.2.6. VALIDAÇÃO	41
5. RESULTADOS	42
5.1. GEOLOGIA	42

5.1.1. Mapa de afloramentos visitados	42
5.1.2. Dados Litológicos.....	42
5.1.2.1. Formação Ribeirão Carvalho.....	43
5.1.3. Formação Ribeirão do Bode	47
5.1.4. Formação Apiúna.....	49
5.1.5. Sienogranito.....	50
5.1.6. Dados Estruturais.....	51
5.1.6.1. Dados de campo	51
5.1.6.2. Fotointerpretação de Lineamentos	54
5.1.7. Mapa Geológico	56
5.2. INVENTÁRIO DE MOVIMENTOS DE MASSA	58
5.3. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	59
5.4. DISTÂNCIA DOS LINEAMENTOS	61
5.5. DECLIVIDADE	62
5.6. DOMÍNIOS ESTRUTURAIS	63
5.7. DISTÂNCIA DA ÁREA URBANA.....	64
5.8. MAPA DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA	65
6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	71
7. CONCLUSÃO	73
8. REFERÊNCIAS	74
ANEXO	I
ANEXO	II
ANEXO	III

1. INTRODUÇÃO

Os movimentos de massa são fenômenos naturais definidos como o transporte de solo, rocha e/ou vegetação ao longo de uma vertente, sob a ação direta da gravidade (TOMINAGA *et al.* 2009). Segundo Augusto Filho (1992) e Augusto Filho (1994) os movimentos de massa podem ser classificados como: rastejo, fluxo de detritos, queda de blocos e escorregamentos, os quais são caracterizados através da quantidade e forma dos planos de ruptura, velocidade, material (rocha, solo, detritos e/ou água) e volume transportado. Fernandes e Amaral (1996) destacam que os escorregamentos representam a classe mais importante dentre as formas de movimentos de massa e são caracterizados como movimentos rápidos, de curta duração e com planos de ruptura bem definidos.

A ocorrência de movimentos de massa está relacionada tanto a fatores naturais (geologia, geomorfologia, aspectos climáticos, hidrológicos e vegetação) como por fatores antrópicos, como as formas de uso e ocupação do solo. Devido a isso, o estudo prévio dos condicionantes é fundamental para a redução do risco de desastres associados a movimentos de massa. Entre esses estudos, as análises de suscetibilidade representam a probabilidade espacial para a ocorrência de um processo com potencial de causar danos (TOMINAGA *et al.* 2009). Nesse tipo de análise são produzidos mapas que indicam o grau de suscetibilidade através da espacialização dessa probabilidade em uma determinada área. Entre os métodos utilizados para realizar essa análise, destaca-se o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), os quais são utilizados na determinação, processamento e ponderação dos fatores condicionantes. O objetivo da análise é realizar a combinação de informações do meio físico (como mapa geológico, declividade, uso e ocupação do solo, etc) e o inventário de escorregamentos pretéritos. Dessa forma, o produto gerado busca classificar a suscetibilidade em baixa, média ou alta. (TOMINAGA *et al.* 2009).

Entre os fatores considerados para a elaboração dessa análise, o mapa geológico consiste em uma informação de grande importância na caracterização física do meio. Os mapas geológicos são fundamentais para a caracterização lito-estrutural da área de estudo, o que contribui para a identificação de estruturas geológicas que condicionam a ocorrência de movimentos de massa, tais como falhas, fraturas, acamamentos, entre outras discontinuidades. Além disso, apesar de mapas geológicos não indicarem a presença de escorregamentos ou a suscetibilidade a esses eventos, essa informação pode ser extraída através da interpretação da caracterização geológica, geomorfológica, estratigráfica e topográfica contidas no mapa (VARNES, 1978).

O estado de Santa Catarina, situado na região sul do Brasil, é um dos estados mais afetados por desastres naturais, onde o município de Blumenau possui o maior número de casos de escorregamentos registrados pelo órgão estadual da Defesa Civil (SEVEGNANI & FRANK, 2009; KOBIYAMA *et al.* 2006). Este trabalho tem como área de estudo a microbacia do Córrego Gebien, bairro Valparaíso, com aproximadamente 3,4 km², situado na porção sul do município de Blumenau, mesorregião do Vale do Itajaí.

Quanto à caracterização geológica, a área de estudo está localizada dentro da Bacia Sedimentar do Itajaí, onde ocorrem rochas sedimentares neoproterozoicas e intrusivas ácidas do Grupo Itajaí. Segundo Basei *et al* (2008) o Grupo Itajaí é constituído da base para o topo pelas Formações Baú, Ribeirão Carvalho, Ribeirão Neisse e Ribeirão do Bode, além de rochas intrusivas da Formação Apiúna e Granito Subida. No entorno do bairro Valparaíso também afloram corpos graníticos da unidade Granito Morro do Parapente e rochas metamórficas do Complexo São Miguel, Ortognaisses Pomerode e do Complexo granulítico Luís Alves (Iglesias *et al*, 2011). Além disso, quanto às características estruturais, as rochas da bacia foram submetidas a dois eventos deformacionais responsáveis pela formação de sistemas conjugados de falhas orientadas a NE-SW e NW-SE (Schroeder, 2006; Basei *et al*, 2011).

Sendo assim, foi realizada neste trabalho a caracterização lito-estrutural de detalhe da microbacia do Córrego Gebien, como também a análise de suscetibilidade a movimentos de massa da área de estudo. Para isso, serão utilizadas metodologias baseadas em análises em campo e na identificação dos fatores condicionantes de escorregamentos, além de técnicas aplicadas em ambiente SIG para a elaboração dos dois principais produtos: o mapa geológico e o mapa de suscetibilidade, ambos em escala 1:10.000. O intuito desta pesquisa é contribuir para o conhecimento geológico e para a identificação das áreas com maior probabilidade à ocorrência de movimentos de massa na região sul de Blumenau, visto a alta incidência desses eventos no município.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

- Analisar a suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa da microbacia do Córrego Gebien, bairro Valparaíso, município de Blumenau (SC).

1.1.2. Objetivos Específicos

- Realizar a caracterização geológica de detalhe e elaborar um mapa geológico em escala 1:10.000 da área de estudo;
- Confeccionar um mapa de suscetibilidade a movimentos de massa em escala 1:10.000.
- Identificar as áreas mais críticas com relação à probabilidade de ocorrência de movimentos de massa.
- Identificar a influência dos fatores lito-estruturais na deflagração de movimentos de massa na área de estudo.

1.2. JUSTIFICATIVA

O município de Blumenau é constantemente atingido por desastres naturais associados aos movimentos gravitacionais de massa. Um desses desastres, ocorrido em novembro de 2008, registrou inúmeros casos de escorregamentos, corridas de detritos e inundações. Entre esses, os escorregamentos foram mais recorrentes e se intensificaram devido a um período prolongado de chuvas intensas (SEVEGNANI & FRANK, 2009). Em outro evento, ocorrido em janeiro de 2017, foram registrados 62 casos de movimentos de massa na região sul da cidade, onde se situa a microbacia do Córrego Gebien (JORNAL DE SANTA CATARINA, 2017).

Esses eventos são frequentes nessa região e ocorrem devido tanto às características lito-estruturais e geomorfológicas da área, como pelas formas de uso e ocupação do solo, associados a eventos de alta pluviosidade. A região sul de Blumenau é caracterizada por um relevo acidentado, com encostas íngremes, solo raso e o substrato rochoso composto por rochas sedimentares intensamente fraturadas, dobradas e inclinadas, o que favorece a ocorrência de desastres (SEVEGNANI & FRANK, 2009). Devido a isso, é imprescindível a realização de estudos prévios acerca da caracterização geológica e estrutural em escala de detalhe, a fim de identificar com maior precisão as áreas com maior suscetibilidade a movimentos de massa e contribuir para a redução de desastres naturais associados a esse tipo de evento no município.

1.3. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área de estudo compreende a microbacia hidrográfica do Córrego Gebien, situada no bairro Valparaíso, região sul do município de Blumenau (SC), na mesorregião do médio Vale do Itajaí (figura 1). O principal acesso à área se dá através da rua Antônio Zendron, que pode ser acessada pelas ruas Capinzal à leste (bairro Garcia), Hermann Huscher à norte (bairro Vila Formosa) e Emílio Tallmann à sul (bairro Progresso). A microbacia possui um total de 3,385 km² e é constituída por áreas residenciais à leste e ao longo das margens do córrego Gebien, além de grandes áreas de floresta nas porções noroeste e sudoeste.

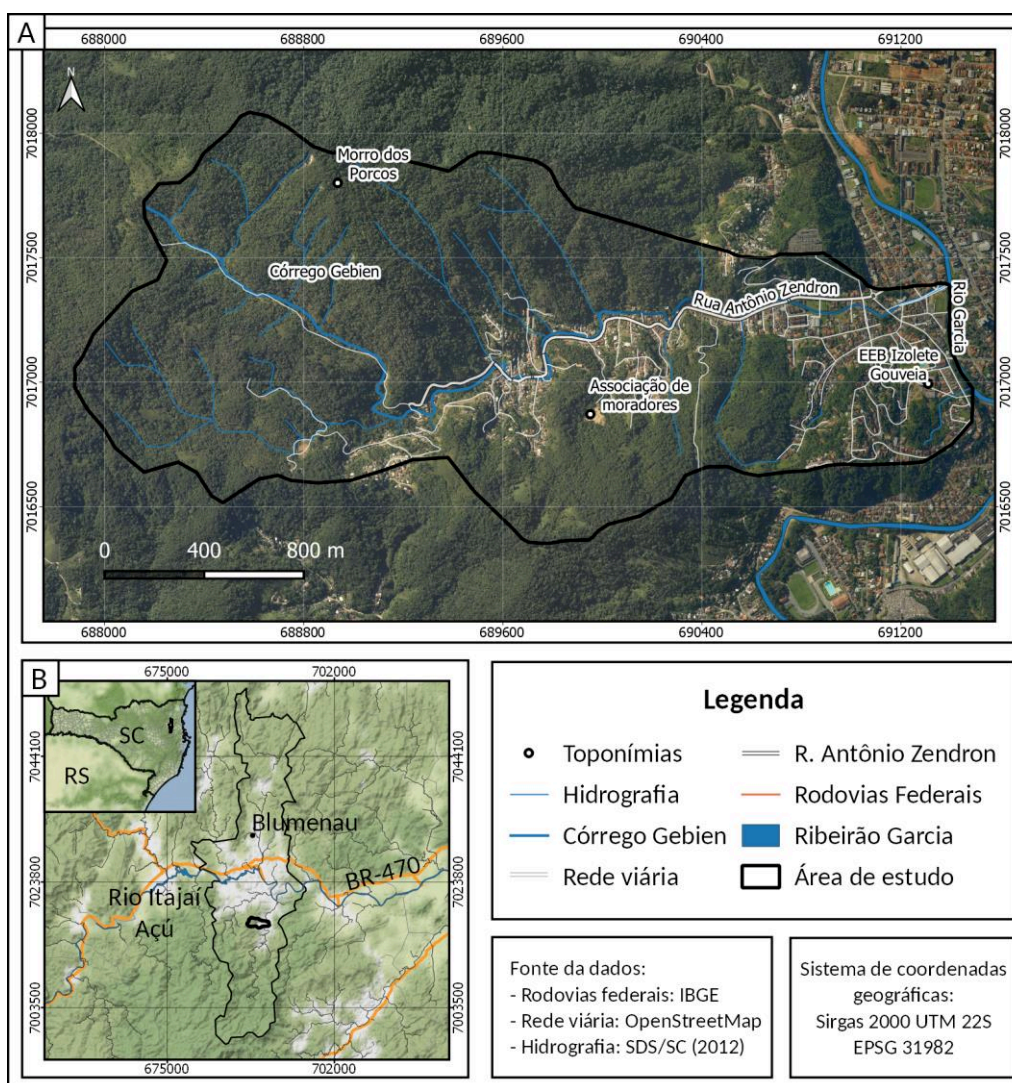


Figura 1: (A) Mapa de localização da microbacia do Córrego Gebien. (B) Localização da área de estudo em Blumenau (SC).

2. REVISÃO CONCEITUAL

2.1. MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

Os processos de movimentação de massa são considerados eventos naturais que atuam na dinâmica e evolução das vertentes, sendo um dos responsáveis pela modelagem e evolução do relevo. Esses eventos são definidos como a movimentação coletiva de material rochoso, solo e/ou matéria orgânica pela ação da gravidade, através de uma superfície de ruptura (TOMINAGA *et al.* 2009; KOBAYAMA, 2006; HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).

Segundo diversos trabalhos (AUGUSTO FILHO, 1992; AUGUSTO FILHO, 1994, CPRM & IPT, 2014), para a classificação dos movimentos de massa são consideradas características como o tipo de movimento, forma e número dos planos de ruptura, material transportado, velocidade e volume. Assim, de acordo com a classificação proposta por Augusto Filho (1992) existem quatro tipos básicos: deslizamentos, rastejo, corrida de detrito e queda de blocos.

A ocorrência desses fenômenos se dá predominantemente em regiões montanhosas com clima úmido e está diretamente ligada a uma série de causas que determinam a ruptura de uma encosta, denominados fatores condicionantes. Entre eles, destacam-se fatores tanto de origem natural como de origem antrópica (TOMINAGA *et al.* 2009; CPRM & IPT, 2014).

2.1.1. CLASSIFICAÇÃO DOS MOVIMENTOS DE MASSA

Deslizamentos

Deslizamentos, também denominados escorregamentos, são movimentos de solo e/ou rocha em terrenos de média a alta declividade, com curta duração, baixa a média velocidade e planos de ruptura bem definidos. Em geral podem ser classificados de acordo com a forma das superfícies de ruptura em: rotacionais, translacionais ou em cunha. O mecanismo responsável pela ruptura representa o momento no qual a força gravitacional supera o atrito interno entre as partículas e desestabiliza o terreno, deslocando o material encosta abaixo (FERNANDES E AMARAL, 1996; TOMINAGA *et al.* 2009; CPRM & IPT, 2014).

Em deslizamentos **rotacionais** o movimento se dá através de uma superfície circular, pela qual o material é transportado (figura 2). Em geral, esse tipo de escorregamento está relacionado aos materiais argilosos e homogêneos que constituem solos espessos. A velocidade do movimento pode variar de baixa (3 centímetros por ano) a alta (1,5 metros por

ano) e ocorre principalmente em encostas com declividade entre 20° e 40°. A ocorrência desse tipo de deslizamento está ligada às características intrínsecas do terreno e usualmente é deflagrado por altos índices pluviométricos acumulados e cortes na base das encostas (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008; TOMINAGA *et al.* 2009; CPRM & IPT, 2014).

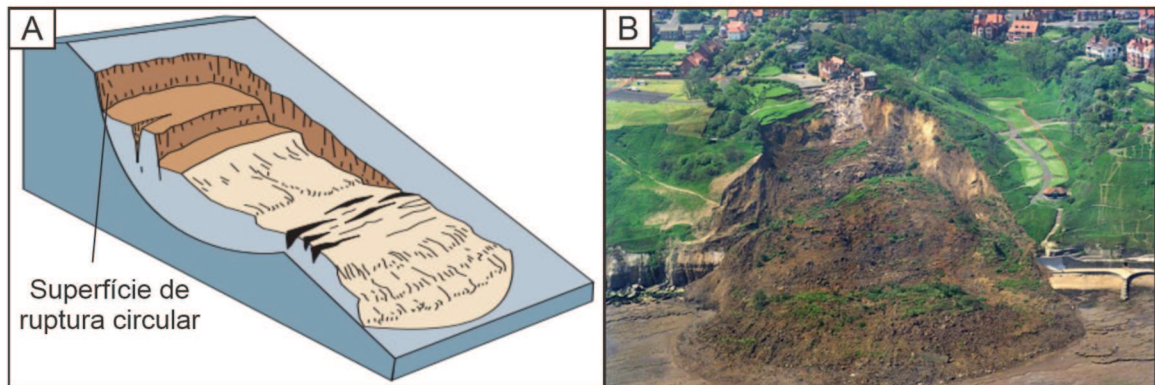


Figura 2: (A) Desenho esquemático de um escorregamento rotacional (modificado de HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008). (B) Deslizamento rotacional em Holbeck Hall, Reino Unido (BRITISH GEOLOGICAL SURVEY, 2019).

Os escorregamentos **translacionais** se desenvolvem sobre uma superfície planar e são considerados rasos, com planos de ruptura de 0,5 a 5 metros de profundidade (figura 3). Nesse tipo de deslizamento, o material - geralmente solo e/ou rocha - é transportado a alta velocidade em um curto período de tempo em terrenos de baixa a alta declividade. O movimento ocorre principalmente durante ou após chuvas intensas e através de discontinuidades mecânicas geradas por processos geológicos, geomorfológicos ou até hidrológicos, que muitas vezes coincidem com o plano entre o solo e o substrato rochoso (TOMINAGA *et al.* 2009; CPRM & IPT, 2014).

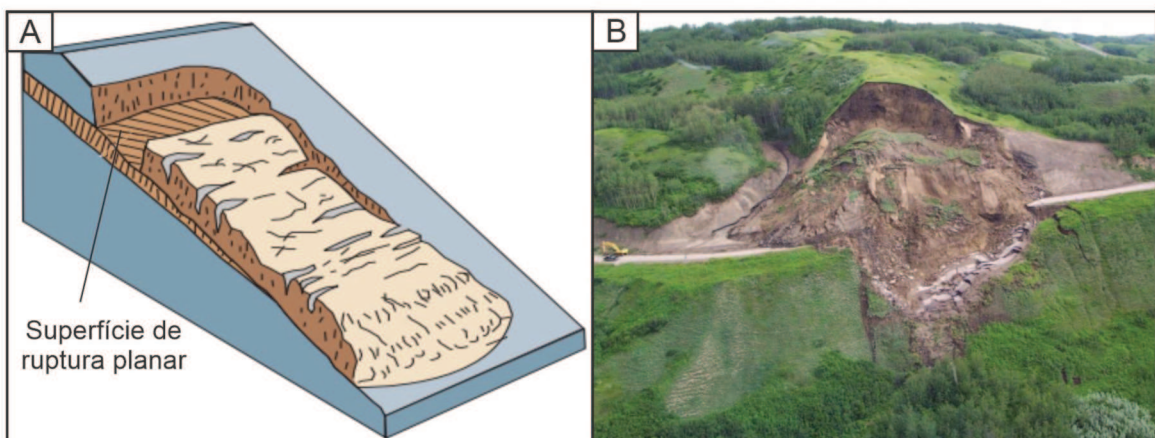


Figura 3: Desenho esquemático de um escorregamento translacional. (B) Deslizamento translacional ocorrido em 2001 em Beaton River Valley, Canadá (modificado de HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).

Deslizamentos **em cunha** são caracterizados por duas superfícies planares de ruptura e pela forma prismática que o material deslocado assume durante o movimento (figura 4). São mais comuns onde o relevo é condicionado principalmente por estruturas geológicas, onde a intersecção de dois planos de fragilidade estrutural, como fraturas, falhas e/ou acamamentos, desestabiliza o terreno (TOMINAGA *et al.* 2009; CPRM & IPT, 2014).

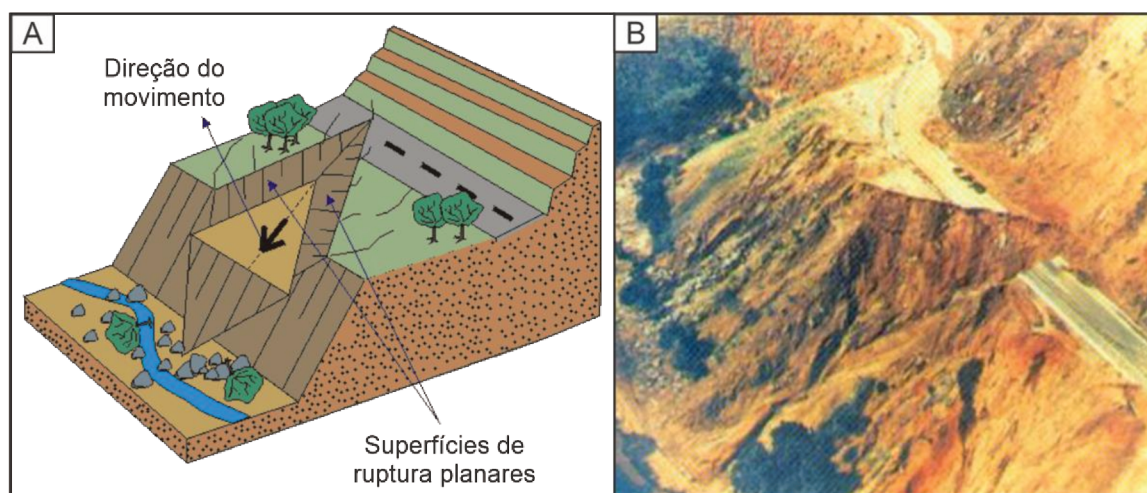


Figura 4: (A) Representação de um escorregamento em cunha. (modificado de Infanti & Fornasari Filho, 1998). (B) Deslizamento em cunha ocorrido sobre uma rodovia (modificado de MONTGOMERY, 1992).

Rastejo

O rastejo é um tipo de movimento de massa muito lento que desloca o solo através de superfícies de ruptura irregulares (figura 5). É muito comum em colúvios e depósitos de tálus onde o terreno apresenta baixa declividade e é causado por ação da gravidade somada a efeitos de variação térmica e de umidade, que provocam expansões e contrações do material deslocado. Esse tipo de movimento é de extrema importância na identificação de feições que podem vir a causar outros tipos de movimentos de massa, uma vez que expõe trincas, degraus de abatimento e insurgências de água no solo (TOMINAGA *et al.*, 2009; CPRM & IPT, 2014).

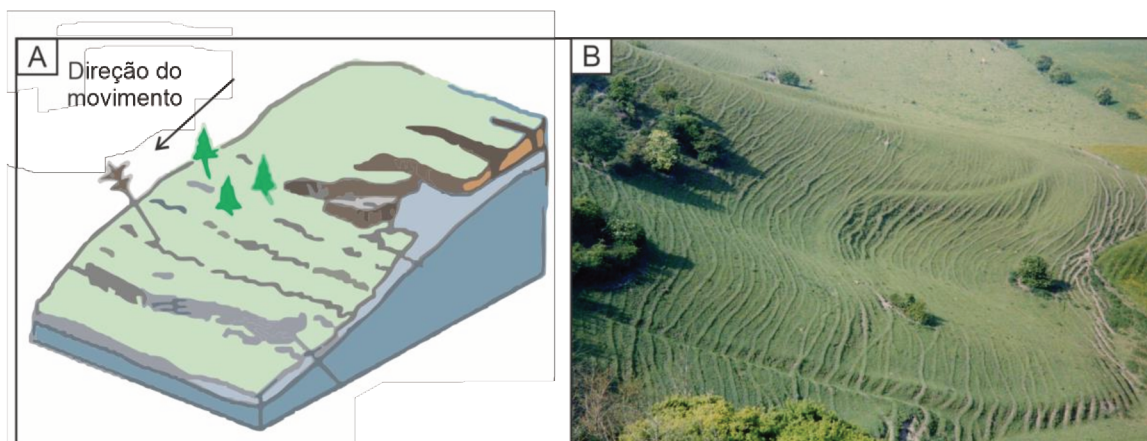


Figura 5: (A) Desenho esquemático do rastejo (B) Rastejo em encosta com baixa declividade (modificado de HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).

Fluxo de detritos

Os fluxos de detritos são caracterizadas por fluxos concentrados de alta energia que transportam diversos materiais como sedimentos, solo, rocha, e/ou vegetação ao longo de drenagens, formando uma massa viscosa e de alta densidade (figura 6). Esse tipo de movimento possui caráter hidrodinâmico e ocorre em eventos de chuvas intensas, que causam a perda do atrito interno das partículas devido ao excesso de água e formam fluxos de escoamento velozes e com alto poder destrutivo (GUIDICINI & NIEBLE, 1984; FERNANDES & AMARAL, 1996; LOPES, 2006; TOMINAGA *et al*, 2009; CPRM & IPT, 2014).

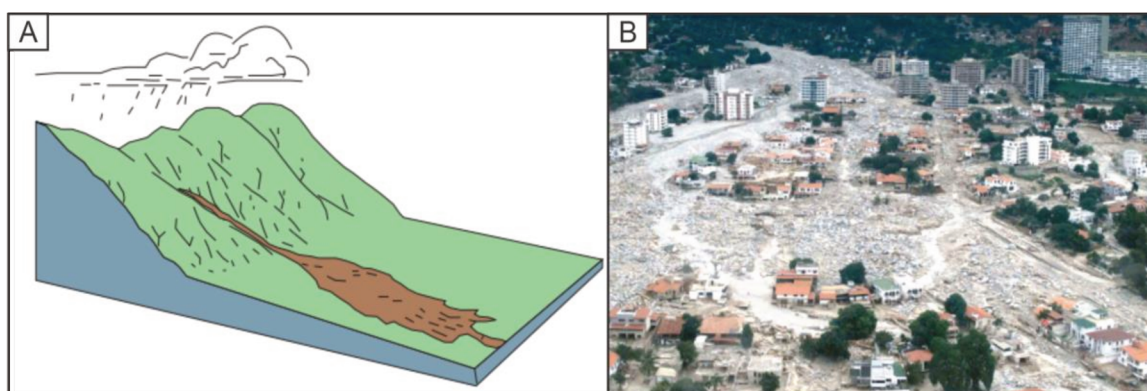


Figura 6: (A) Desenho esquemático de uma corrida de detritos. (B) Área afetada por esse tipo de movimento de massa em Caraballeda, Venezuela (modificado de HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).

Queda de blocos

As quedas de blocos são movimentos de massa abruptos de material rochoso, geralmente blocos e matacões que se desprendem de paredões, falésias e encostas muito

íngremes. As rochas deslocadas podem se quebrar e continuar em movimento ao atingir o solo, dependendo da declividade do terreno (figura 7). A principal causa são descontinuidades lito-estruturais associadas ao processo intempérico que afeta as rochas e grandes acumulados de chuva. Geralmente ocorrem em cortes de estradas e construções, nos quais ocorre exposição da rocha em taludes com alta declividade (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008; CPRM & IPT, 2014).

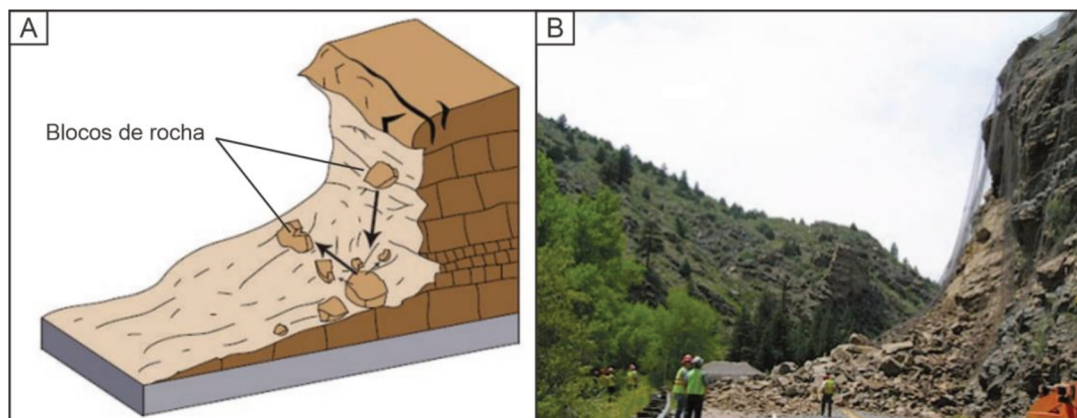


Figura 7: (A) Desenho esquemático de queda de blocos. (B) Área afetada em Clear Creek Canyon, EUA (modificado de HIGHLAND E BOBROWSKY, 2008).

2.1.2. FATORES CONDICIONANTES A MOVIMENTOS DE MASSA

Segundo diversos autores (GUIDICINI & NIEBLE, 1984; TOMINAGA *et al*, 2009; CARVALHO & GALVÃO, 2006) os fatores que causam a ocorrência de movimentos de massa podem ser classificados como de origem natural ou antrópica. De acordo com Guidicini & Nieble (1984), os fatores naturais são denominados agentes predisponentes e correspondem às características físicas do meio, tais como litologia, estruturas geológicas e declividade. Highland & Bobrowsky (2008) também citam que o histórico de movimentos de massa da região atua como um fator de origem natural para a ocorrência desses eventos.

Por outro lado, os fatores associados à ação do homem são denominados agentes efetivos e incluem as formas de uso e ocupação do solo. Carvalho & Galvão (2006) destacam que esses fatores também incluem ações como o adensamento da ocupação urbana, a construção de aterros e cortes de estrada, a remoção da vegetação e o descarte inadequado de lixo e entulho, principalmente em regiões com assentamentos precários.

Litologia

De acordo com Varnes (1978), as características litológicas que influenciam na ocorrência de movimentação de massa correspondem à composição mineralógica, textura, estrutura e geometria das rochas, além dos processos tectônicos, intempéricos e erosivos que as afetam. Crepani (2001) destaca que as características composicionais e texturais tornam os diferentes tipos de rochas mais ou menos propensos aos processos de intemperismo e erosão, os quais contribuem para a deflagração de movimentos de massa.

Varnes (1978) cita que a ação intempérica da água sobre as rochas produz minerais de alteração que reduzem a resistência do substrato, principalmente em rochas de origem sedimentar e constituídas por minerais argilosos. Além disso, o autor cita que as características texturais como grau de arredondamento e angulosidade dos grãos podem aumentar o grau de compressibilidade e fricção entre eles, diminuindo a resistência da rocha. Crepani *et al* (2001) também enfatiza que o grau de coesão e a permeabilidade das rochas sedimentares as tornam mais vulneráveis aos processos intempéricos e de movimentação gravitacional quando comparadas às rochas ígneas e metamórficas.

Estruturas geológicas

Segundo Soares & Fiori (1976) as estruturas geológicas são representadas no terreno na forma de lineamentos, os quais são elementos texturais do relevo que representam cristas (positivos) e vales (negativos). A origem desses elementos está ligada a processos tectônicos que resultam em diversas estruturas geológicas como fraturamentos, falhamentos, planos de acamamento, foliação e dobras. Tais estruturas agem como um agente predisponente e representam planos desfavoráveis à estabilidade do terreno, que muitas vezes coincidem com as superfícies de ruptura ao longo das quais os movimentos se desenvolvem (TOMINAGA *et al.* 2009).

Declividade

Em plataformas SIG a declividade pode ser calculada a partir de um arquivo matricial de elevação do terreno e é definida como a taxa de variação máxima entre o valor de elevação de uma célula e suas vizinhas. A declividade pode ser expressa pelo ângulo de inclinação, de 0° a 90°, ou em porcentagem, de 0 a 100% (ESRI, 2019). De acordo com Fernandes *et al* (2001) a declividade atua como um fator topográfico nos estudos de previsão de áreas de risco, tanto em terrenos com alta inclinação, como com baixa.

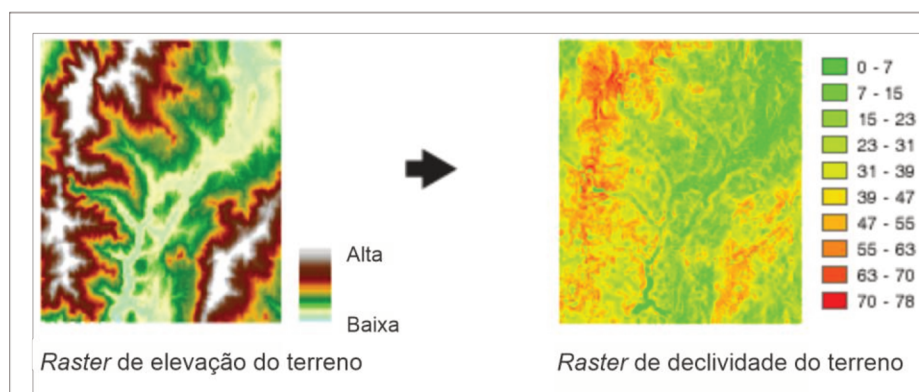


Figura 8: Representação do cálculo de declividade (adaptado de ESRI, 2019).

Movimentos de massa pretéritos

De acordo com Varnes (1978), a ocorrência de movimentos de massa recentes em um determinado local, não necessariamente significa que as condições de instabilidade cessaram. Segundo o autor, o material remanescente próximo à superfície de ruptura deve ser investigado devido a possibilidade de surgimento de fendas que indicam a possibilidade de um novo movimento vir a acontecer no mesmo local.

Segundo Guzzetti *et al.* (2012), os movimentos de massa pretéritos podem ser mapeados e suas informações – como tipo, superfícies de ruptura, extensão, entre outros - armazenadas em um banco de dados denominado inventário de movimentos de massa. Highland & Brobowski (2008) destacam que a elaboração de um mapa composto pelo inventário pode indicar a extensão da área de ocorrência dos movimentos de massa e destacar áreas que necessitam de estudos mais detalhados.

Uso e ocupação do solo

Quanto aos fatores efetivos, as formas de uso e ocupação do solo representam a maneira como o solo é manejado e os diferentes tipos de utilização da área em estudo, como agricultura, pecuária, cobertura florestal, áreas antropizadas, entre outros (IBGE, 2013). Segundo Tominaga *et al* (2009) em áreas urbanas, a remoção da cobertura vegetal pelo homem pode atuar como um fator desencadeador dos movimentos de massa devido a exposição do solo em encostas. Além disso, o autor destaca que a expansão de áreas urbanas de forma desregulada sobre áreas de vegetação causa a exposição excessiva do solo e acelera o processo de erosão do terreno. Esse fator, aliado à ação de chuvas e escoamento superficial, aumenta a vulnerabilidade das encostas aos movimentos gravitacionais de massa.

2.1.3. ESTUDOS DE PREVENÇÃO

No Brasil, a incidência de desastres naturais relacionados aos movimentos de massa é responsável por gerar inúmeras perdas econômicas e vítimas fatais, principalmente nos estados das regiões Sul, Sudeste e Nordeste. A prevenção desses eventos está diretamente ligada a estudos de gestão territorial, desenvolvidos por universidades e institutos de pesquisa, a fim de avaliar a suscetibilidade, vulnerabilidade, perigo e/ou risco de ocorrência desses eventos (TOMINAGA *et al.* 2009; CARVALHO & GALVÃO, 2006).

Nesse âmbito, a **suscetibilidade** a movimentos de massa corresponde à probabilidade espacial de ocorrência desses eventos, sem uma avaliação das suas consequências (CERRI & AMARAL, 1998). O **perigo** representa a possibilidade de ocorrência em um local e intervalo de tempo específicos. O **risco** corresponde à possibilidade desse tipo de evento causar consequências negativas, como perdas de vidas e impactos econômicos, sociais e ambientais (VARNES, 1984). Enquanto que a **vulnerabilidade** compreende um conjunto de aspectos sociais, políticos, ambientais e de infraestrutura que tornam uma comunidade mais suscetível aos impactos desses fenômenos (TOMINAGA, 2009).

2.2. ANÁLISES DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA

As análises de suscetibilidade a movimentos de massa buscam representar, através de um mapa, a probabilidade espacial de ocorrência desses eventos e classificar o terreno em graus de suscetibilidade (figura 9). Esse tipo de análise é imprescindível para o planejamento adequado do uso e ocupação do solo, a fim de prevenir danos causados pela ocorrência de movimentos de massa. Na elaboração do mapa são utilizados métodos baseados em observações em campo, sensoriamento remoto, ensaios geotécnicos ou em combinações de mapas, e podem ser divididos em três grupos: probabilísticos, determinísticos e empíricos (TOMINAGA, 2009).

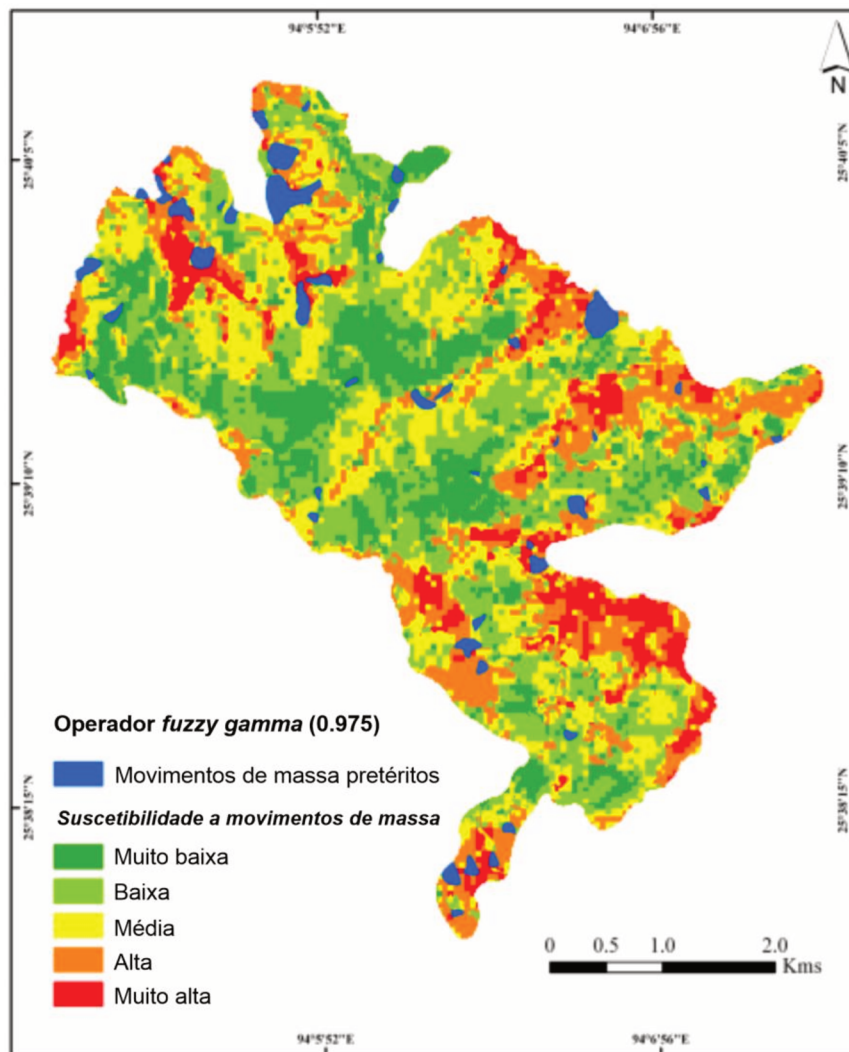


Figura 9: Mapa de suscetibilidade de uma região em Koshima Town, Índia. Modificado de Sema, Guru & Veerappan (2017).

Segundo Fernandes *et al.* (2001) e Tominaga (2009), os **métodos empíricos** consistem na análise e combinação de mapas referentes aos fatores condicionantes - aos quais são atribuídos pesos - e o mapa de inventário da área em estudo. Fernandes *et al.* (2001) destaca que a utilização dos métodos empíricos tem se tornado comum devido ao desenvolvimento e disseminação do SIG, porém a análise a partir desses procedimentos é muitas vezes limitada devido a subjetividade na atribuição de pesos e conhecimento dos fatores condicionantes. De acordo com Bonham-Carter (1994), a atribuição dos pesos de cada fator pode ser realizada através de dois tipos de análise: pelo conhecimento e experiência do pesquisador (*knowledge-driven*) ou por meio de cálculos estatísticos baseados na relação entre os fatores e o inventário (*data-driven*). Enquanto que a combinação consiste na integração dos

mapas ponderados e é elaborada através de modelos implementáveis em SIG, tais como a lógica *fuzzy*, probabilidade bayesiana, pesos de evidência e *index overlay*.

Por outro lado, os **métodos estatísticos** se baseiam em análises matemáticas para estabelecer uma relação entre os fatores condicionantes e os movimentos de massa (atuais e pretéritos) e foram desenvolvidos para tornar a atribuição de pesos mais objetivas e fornecer maior repetitividade às análises. Na análise estatística é considerado que os fatores que tornaram um determinado terreno suscetível no passado, serão responsáveis por causar movimentos de massa no futuro (VAN WESTERN, 1993; GUZZETTI *et al.* 1999; FERNANDES *et al.* 2001; TOMINAGA, 2009).

Os **métodos determinísticos** utilizam modelos matemáticos que descrevem processos e leis físicas associados à instabilidade de encostas. Nesses procedimentos são utilizados softwares de modelagem de fluxos hidrológicos sub-superficiais que consideram algumas variáveis físicas como o teor de umidade e a poro-pressão. A aplicação desse método ocorre através da análise de diversos de dados obtidos em campo e ensaios de laboratório. (VAN WESTERN, 1993; FERNANDES *et al.* 2001; TOMINAGA, 2009).

2.2.1. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Segundo Boham Carter (1994), o SIG corresponde a um sistema computacional utilizado no gerenciamento de dados espaciais e que permite a manipulação de mapas, imagens digitais e tabelas. Burrough & McDonnell (1997) define o SIG como um poderoso conjunto de ferramentas coletar, armazenar, acessar, transformar e exibir dados espaciais do mundo real. Longley *et al* (2013) destaca que o SIG também é uma importante ferramenta que controla atividades e eventos através da localização espacial de tais fenômenos.

Nesses sistemas, as características do meio físico - como os fatores condicionantes a movimentos de massa - são representadas na forma de **dados espaciais**. Esses dados representam características contínuas e descontínuas do mundo real, das quais podem ser obtidas informações. A representação desses dados é feita dentro de um SIG através de dois modelos que organizam e descrevem esses dados, denominados modelos vetorial e matricial (BOHAM CARTER, 1994).

O **modelo matricial** é definido por uma matriz de células ou pixels com valor numérico e é utilizado na representação de variáveis contínuas, tais como os intervalos de declividade do terreno. Na grade matricial, cada pixel contém o atributo, tamanho e

localização do elemento em um conjunto de linhas e colunas (figuras 10b e 11; BOHAM CARTER, 1994; LONGLEY *et al*, 2013). Por outro lado, o **modelo vetorial** busca representar as variáveis descontínuas do meio físico, tais como corpos rochosos, através de representações geométricas como pontos, linhas e polígonos (figura 11; BURROUGH, 1986). Nesse modelo, cada tipo de vetor representa um atributo localizado através de um par de coordenadas cartesianas (ponto) ou uma sequência de pares ordenados e conectados no espaço (linha e polígono), os quais podem ser visualizados com diferentes símbolos e cores (figura 10a; BOHAM CARTER, 1994).

Em ambos os modelos, as informações descritivas de cada objeto ou elemento espacial - em formato textual - são denominadas de **atributos**. Os atributos podem corresponder a características geométricas, como comprimento, área, forma e orientação dos dados, como também às informações de latitude e longitude, características litológicas, idade, entre outros. Essas informações são armazenadas em uma tabela de atributos, a qual consiste em linhas, nas quais estão listados os elementos em análise, e colunas, que representam os atributos.

Para o armazenamento, organização e gerenciamento de dados vetoriais, matriciais e seus atributos são utilizados sistemas de gerenciamento de bancos de dados (DBMS). Um **banco de dados** é definido como um conjunto integrado de informações sobre um mesmo assunto, enquanto que o DBMS consiste em um software projetado para armazenar e acessar esses dados de maneira eficiente (LONGLEY *et al*, 2013). Boham Carter (1994) destaca que esses sistemas são imprescindíveis em diversos projetos ambientados em SIG que exigem a manipulação de grandes arquivos de dados e atributos.

Em estudos de suscetibilidade, o SIG é responsável pelo armazenamento, organização, processamento e visualização de dados espaciais, além da geração de mapas temáticos. Nesse tipo de estudo os mapas temáticos representam os fatores condicionantes e o inventário de eventos pretéritos através da espacialização e gerenciamento dados do meio físico. Através de *softwares* ambientados em SIG, esses dados podem ser combinados com o auxílio de ferramentas de análise de dados para gerar um único mapa que represente a suscetibilidade do terreno (BONHAM-CARTER, 1994).

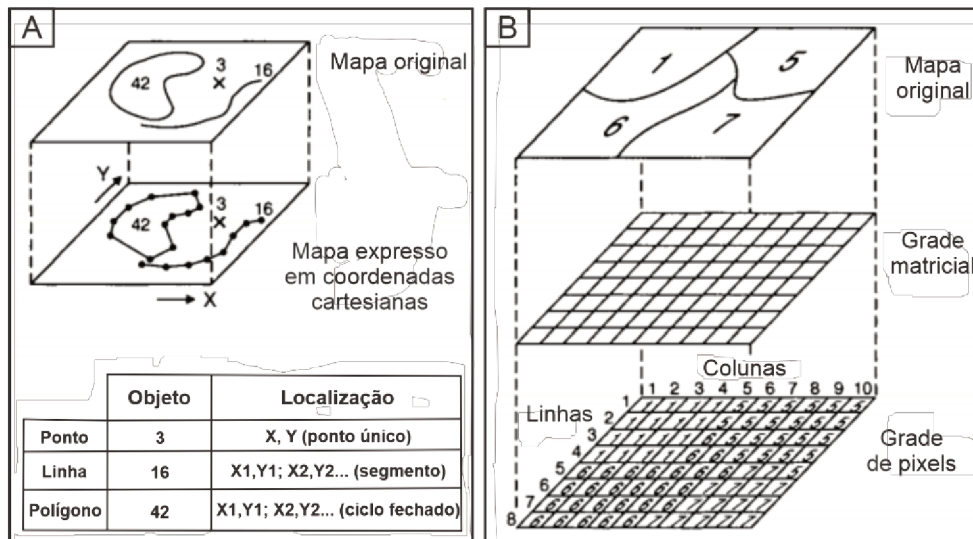


Figura 10: (A) Representação do modelo de dados vetoriais e seus elementos principais. (B) Desenho esquemático dos mapas e grades de pixels de um modelo de dados matriciais (modificado de BOHAM-CARTER, 1994).

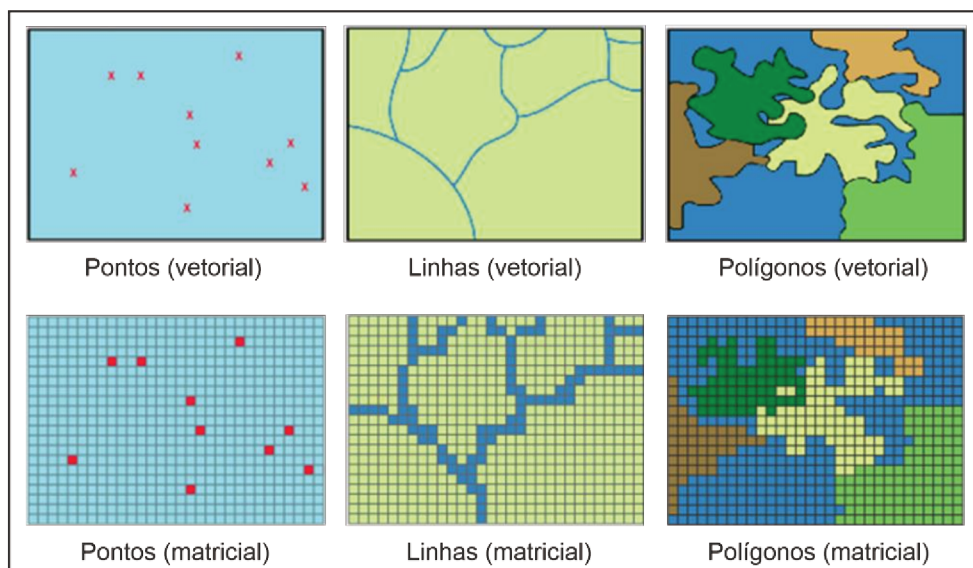


Figura 11: Representação de elementos vetoriais e matriciais expressos em um mapa (modificado de Hertfordshire County Council, 2019).

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS E CLIMÁTICAS

A área está inserida na região hidrográfica do Vale do Itajaí e faz parte da Bacia do Rio Itajaí-Açú, com cerca de 15.500 km² (figura 12). O principal rio da bacia é o Itajaí-Açú,

que corre de oeste para leste e é considerado um rio de planície na região do Baixo Vale do Itajaí e de planalto no Médio e Alto Vale. Além disso, o traçado dos rios que compõe a bacia é fortemente condicionado pelas características lito-estruturais da região. Na região do Alto Vale a drenagem está orientada de acordo com as camadas sedimentares que constituem a geologia local e por isso geralmente apresentam um traçado retilíneo. Por outro lado, na região do Médio Vale, onde se localiza a área de estudo, o traçado dos rios é sinuoso em função do alargamento da planície aluvial, conferindo menor energia ao sistema (PRATES *et al.*, 1986). Quanto aos aspectos climáticos, a mesorregião do Vale do Itajaí está situada no domínio Subtropical, caracterizado pela pluviosidade média anual entre 1300 e 1700 mm (ATLAS DE SANTA CATARINA, 1986).

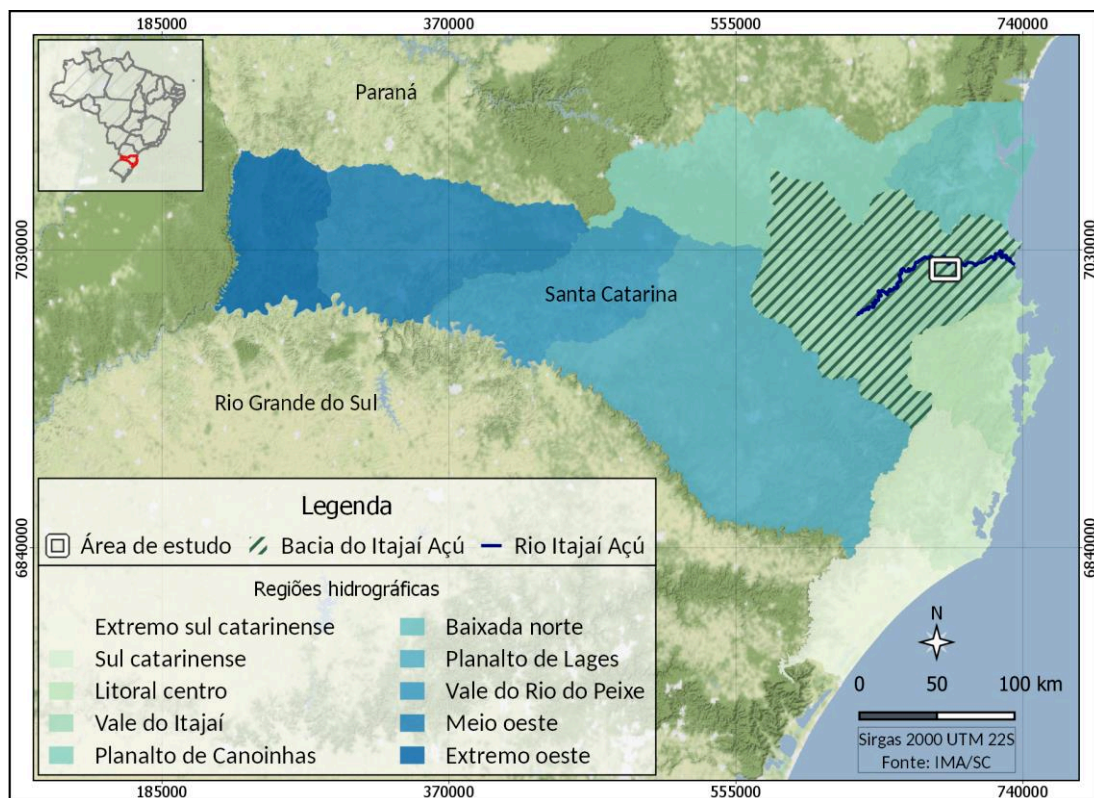


Figura 12: Mapa das regiões hidrográficas de Santa Catarina e a da bacia do Rio Itajaí. Fonte: IMA/SC

3.2. CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO

Segundo o Atlas de Santa Catarina (1986) e IBGE (2004), a área de estudo está inserida no domínio morfoestrutural de Embasamentos em Estilos Complexos e na Unidade Geomorfológica Serras do Leste Catarinense (figura 13). A geomorfologia da região é caracterizada por serras dispostas de forma subparalela e com orientação NE-SO, com relevo

intensamente dissecado composto por vales profundos, encostas íngremes e cristas bem marcadas. Essas características favorecem a atuação de processos erosivos, principalmente em encostas desmatadas, e conseqüentemente a ocorrência de movimentos de massa. De acordo com dados da Prefeitura Municipal de Blumenau (PMB), na área de estudo o relevo é mais acidentado a oeste, no vale do córrego Gebien, onde fica localizado o Morro dos Porcos, o qual possui aproximadamente 485 metros de altitude, alta declividade e crista bem definida. Enquanto que à leste, próximo ao ribeirão Garcia, o terreno é menos acidentado e apresenta morros de topo abaulado.

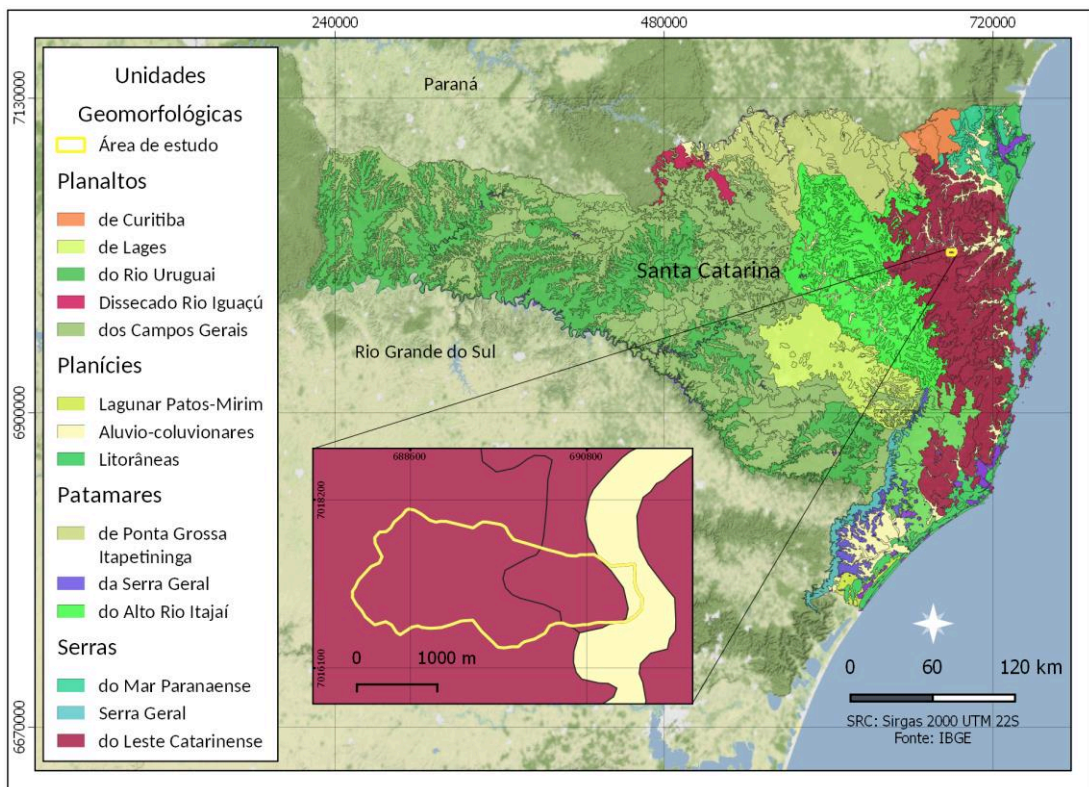


Figura 13: Contexto geomorfológico de Santa Catarina. Em destaque as unidade geomorfológicas que compõe a área de estudo. Fonte: IBGE.

3.3. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Segundo dados do Ministério do Meio Ambiente (2010), a área de estudo está inserida no bioma da Mata Atlântica, que corresponde a um conjunto de formações florestais, campos naturais, restingas, manguezais e outros tipos de vegetação, que se estendem desde o Rio Grande do Norte até o Rio Grande do Sul, ocupando cerca de 13% do território brasileiro.

As formas de uso e ocupação do solo que constituem a microbacia do Córrego Gebien compreendem áreas de florestas, infraestrutura urbana, além de uso agropecuário. As regiões naturais que cobrem boa parte da área de estudo, onde não há uso antrópico do solo, são caracterizadas pelo predomínio de florestas ombrófilas, estacionais e decíduais. A infraestrutura urbana representa áreas urbanizadas, com predomínio de superfícies não vegetadas, onde são encontradas estradas, vias e construções. As áreas voltadas ao uso agropecuário são definidas como regiões de uso misto, onde ocorre tanto a prática de pastagem como de agricultura. Enquanto que as superfícies não vegetadas constituem áreas de solo exposto ou impermeável, onde ocorreu a remoção da cobertura vegetal (MAPBIOMAS, 2018).

3.4. CONTEXTO GEOLÓGICO

A área de estudo está inserida na porção meridional da Província Mantiqueira. Essa unidade é caracterizada pela ocorrência de cinturões orogênicos móveis desde a região sudeste do Brasil até o Uruguai (figura 14a). Em Santa Catarina, ocorre o Cinturão Orogênico Dom Feliciano, que é subdividido nos domínios interno, intermediário e externo. O município de Blumenau está contido no Domínio Externo, que é constituído pela Microplaca Luís Alves, embasamento paleoproterozoico, rochas sedimentares do Grupo Itajaí, intrusivas ácidas e granitos cambrianos (Basei, 1985; Almeida, 1977; figura 14b). Segundo Basei *et al* (2011) o Grupo Itajaí é composto por rochas sedimentares das Formações Baú, Ribeirão Carvalho, Ribeirão do Bode, Ribeirão do Neisse e intrusivas da Formação Apiúna. De acordo com o mapa de Pozzobon (2013), as unidades que ocorrem na área de estudo pertencem às Formações Ribeirão Carvalho e Ribeirão do Bode, além de diques ácidos intrusivos (figura 15).

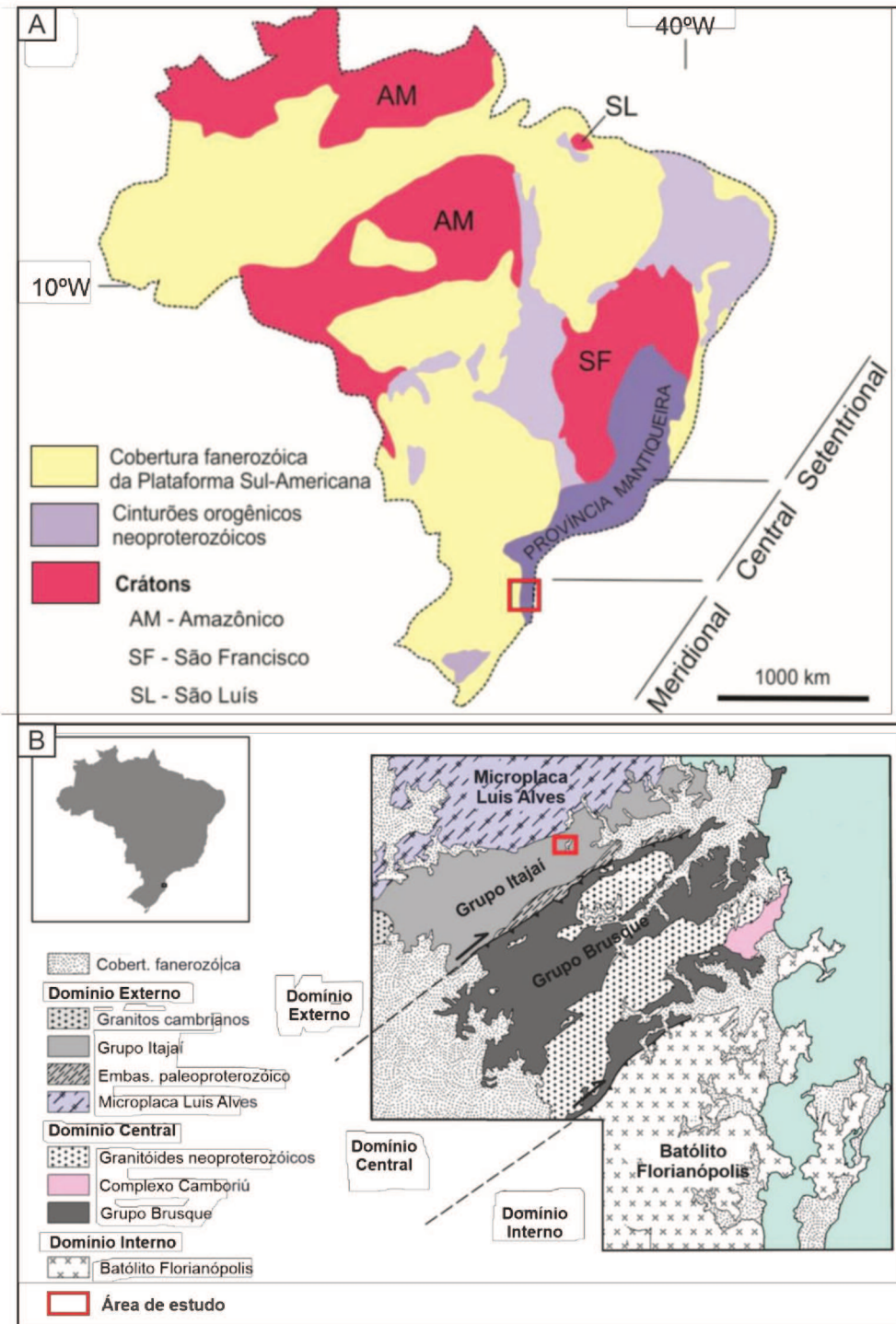


Figura 14: (A) Domínios estruturais do Brasil (modificado de ALMEIDA, 1977). (B) Domínios do Cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina (modificado de BASEI *et al.* 2011).

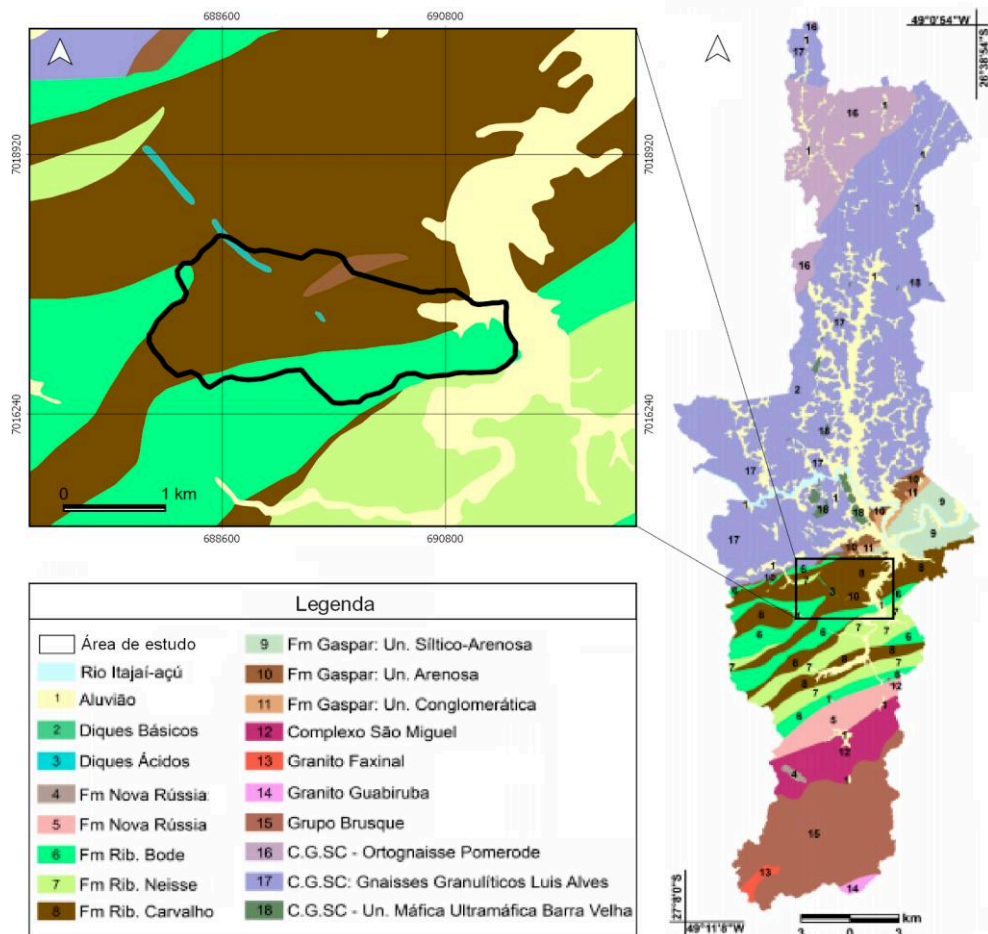


Figura 15: Mapa geológico de Blumenau e detalhe das unidades que ocorrem na área de estudo (modificado de POZZOBON, 2013).

3.4.1. GRUPO ITAJAÍ

A Bacia do Itajaí é caracterizada como uma bacia sedimentar do tipo *foreland*, orientada a N60E e situada na borda do Cinturão Dom Feliciano (Basei *et al.* 1985). A bacia possui forma assimétrica e é constituída por rochas sedimentares neoproterozoicas, depositadas entre 600 e 560 Ma, além de corpos intrusivos de rochas vulcânicas ácidas pertencentes ao Grupo Itajaí. As rochas da bacia ocorrem em contatos tectônicos e normais com gnaisses do Complexo Granulítico de Santa Catarina, ao norte, e em contatos predominantemente tectônicos, por falhamentos inversos, com o Complexo Metamórfico Brusque ao sul (Basei *et al.* 1985; Basei *et al.* 2011).

As rochas do Grupo Itajaí foram primeiramente descritas como folhelhos argilosos, e argilo-arenosos, além de arenitos e conglomerados arcoseanos, pertencentes à Série Itajaí

proposta por Dutra (1926). A unidade foi posteriormente subdividida por Maack (1947) nas Formações Ibirama (inferior) e Gaspar (superior), além da Formação Blumenau, a qual estaria acima da Série Itajaí. Mais tarde, Salamuni *et al.* (1961) propôs uma nova subdivisão para a Série, a qual seria composta na base pela Formação Garcia - representada por arenitos e folhelhos cinza-claros ou lilás, com lentes de conglomerado e vulcânicas - e no topo pela Formação Gaspar, caracterizada pela ocorrência de fácies mais grossas, como arcósios médio a grossos, arenitos conglomeráticos e conglomerados.

A então denominada Série Itajaí foi interpretada como Grupo Itajaí nos trabalhos de Schulz Jr *et al.* (1970), Kaul (1976) e Silva & Dias (1981). O último propôs a inversão dos estratos descritos em trabalhos anteriores, com a Formação Gaspar sendo interpretada como a unidade basal - composta por arenitos feldspáticos grossos e arenitos finos, bordô, com intercalações de tufos ácidos - e a Formação Campo Alegre, no topo, constituída por intercalações de siltitos e arenitos, além da ocorrência de rochas vulcânicas ácidas.

Em sequência, o trabalho de Basei *et al.* (1985) agrupou as rochas do Grupo na Unidade Arenítica Inferior na base (equivalente à Formação Gaspar) e na Unidade Síltica Superior no topo. A primeira seria caracterizada pelo predomínio de fácies mais grossas, como arenitos maciços, bordô, com lentes conglomeráticas e tufos vulcânicos associados. Enquanto que a última apresentaria um expressivo predomínio de fácies mais finas, com alternância entre pacotes de siltito e arenitos próximo à base, além de intercalações de siltitos e argilitos no topo. Os autores também destacam que as fácies mais finas da Unidade Arenítica Superior estariam relacionadas com depósitos turbidíticos proximais. Enquanto que a Unidade Síltica Superior estaria ligada a depósitos turbidíticos distais. Por outro lado, interpreta que grande parte da Unidade Basal (composta predominantemente por arenitos bordô e conglomerados) estaria ligada a um ambiente continental do tipo fluvial.

Mais tarde, Rostirolla *et al.* (1992) aplicaram métodos de estratigrafia de sequências para propor uma nova divisão das unidades que compõe o Grupo Itajaí. De acordo com os autores, o Grupo é constituído por quatro associações de fácies, classificadas da base para o topo como A, B, C e D. Além disso, a deposição dos sedimentos seria produto de ciclos transgressivos e regressivos de sedimentação, no contexto de uma bacia sedimentar do tipo *foreland*. A base da associação seria representada por sistemas aluviais, deltaicos e plataformais (A), cobertos por sistemas turbidíticos (B) que gradam para rochas pelíticas (C) e sistemas de leques deltaicos (D).

Posteriormente, Citroni (1993) identificou 4 associações através da análise de fácies e propôs que o Grupo seria constituído pelas Formações Gaspar, Baú, Ibirama e Ribeirão do Espinho. A Formação Baú estaria associada às Associações Continentais, que seriam compostas por leques aluviais rudíticos (Membro Ponta Aguda) e depósitos fluviais entrelaçados (Membro Blumenau). A Formação Gaspar corresponderia às Associações Transicionais, as quais representam arenitos de planície costeira e deltaicos (Membro Jordão), além de arenitos de águas rasas (Membro Garcia). A Formação Ibirama estaria relacionada às Associações Turbidíticas, compostas por turbiditos clássicos (Membro Kroberger) e turbiditos canalizadas mais grossos (Membro Ribeirão do Bugre). No topo da sequência, a Formação Ribeirão do Espinho representaria tanto as Associações Turbidíticas (turbiditos diluídos) como as Associações Baciais (hemipelagitos). Além disso, o autor descreve a ocorrência de magmatismo sin-sedimentar como tufos vulcânicos que intrudem as Formações Baú e Gaspar e como vulcânicas e sub-vulcânicas de composição riolítico-traquítica em forma de domos e derrames nas Formações Ibirama e Ribeirão do Espinho.

Mais tarde, Basei *et al.* (2011) estabeleceu uma nova divisão para o Grupo Itajaí a partir de relações litoestratigráficas e de distribuição espacial das unidades observadas em campo (figura 16). Nessa divisão, além das rochas sedimentares neoproterozoicas, ocorrem rochas graníticas cambrianas do Granito Subida que cortam as unidades sedimentares e representam o magmatismo mais tardio do Cinturão Dom Feliciano (BASEI *et al.* 2010). Segundo Basei *et al.* (2011), o Grupo Itajaí compreende, da base para o topo, as seguintes Formações:

- **Formação Baú:** Unidade que ocorre tanto na borda sul como norte da bacia e é composta em sua porção inferior por lentes de conglomerados clasto-suportados, polimíticos e com matriz areno-arcoseana e em sua porção superior por arenitos arcoseanos médios a grossos, por vezes conglomeráticos e bordô. Os níveis conglomeráticos apresentam clastos tanto imbricados como caóticos, enquanto que nos níveis arenosos são observadas gradações normais, estratificações plano paralelas, sigmoidais, cruzadas-tabulares e tangenciais. Segundo o autor, a Formação Baú representa a sequência inferior do Grupo e foi formada em um ambiente continental, variando de fácies areníticas e conglomeráticas de sistemas de fan-delta aluviais a depósitos cascalhosos e arenosos de planície deltaica, os quais gradam para depósitos de frente deltaica proximal e distal e prodelta.

- **Formação Ribeirão Carvalho:** Representada por dois litotipos principais: (1) corpos tabulares de ritmitos compostos por arenitos médios a finos intercalados com camadas de folhelhos, siltitos e arenitos médios; (2) corpos acanalados de ritmitos constituídos por arenitos gradacionais, médios a grossos, e finas camadas de arenito intercaladas com folhelho. Além disso, ambos os litotipos ocorrem intercalados com níveis de conglomerados polimíticos maciços e tufos vulcânicos. Segundo o autor, os ritmitos representam fácies turbidíticas proximais canalizadas e não-canalizadas, que constituem parte da sequência superior originada em ambiente marinho.
- **Formação Ribeirão Neisse:** Apresenta contato gradacional com a Formação Ribeirão Carvalho e é constituída por arenitos arcoseanos finos a médios, cinza e pobremente selecionados. São observadas estratificações plano-paralelas, cruzadas e cruzadas canalizadas de pequena e média escala, além de *climbing-ripples* e *slumps*.
- **Formação Ribeirão do Bode:** Constituída por siltitos verde-acinzentados, finamente laminados e intercalados com camadas siltico-argilosas que contém níveis siltico-arenosos. As principais estruturas são laminações plano-paralelas, *wavy*, *linsen*, estruturas *slump* e gradação. Subordinadamente ocorrem siltitos maciços. Tanto os siltitos como os arenitos da Formação Ribeirão Neisse são interpretados como depósitos turbidíticos distais que pertencem à sequência superior do Grupo.
- **Formação Apiúna:** Representada por rochas vulcânicas félsicas de composição riolítica, as quais cortam as rochas sedimentares das unidades citadas anteriormente.
- **Granito subida:** Constituído por sienogranitos de coloração cinza claro a rosa claro, com composição alaskítica, granulação média a fina e biotita como mineral máfico principal (KAUL, FERNANDES & SANTOS NETO, 2002; BASEI *et al* 2010).

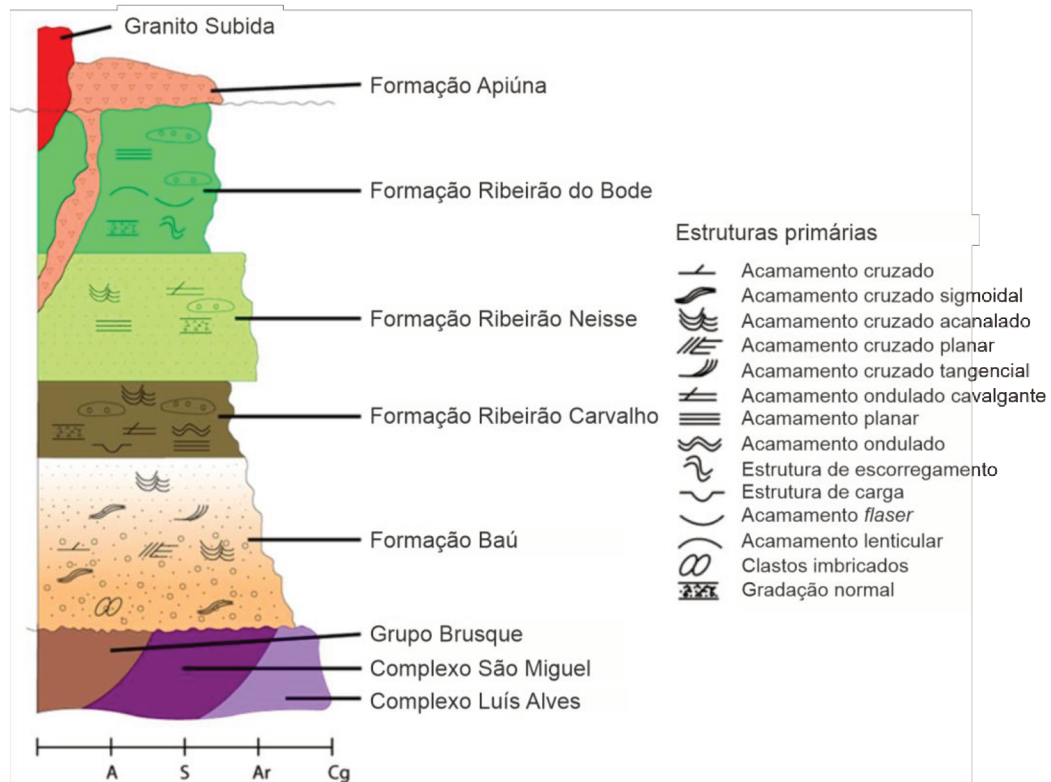


Figura 16: Coluna estratigráfica do Grupo Itajaí (modificado de BASEI *et al.* 2011).

Em sequência, o trabalho de Costa & Nascimento (2015) define três tratos deposicionais que compõe a arquitetura estratigráfica da Bacia do Itajaí e propõe a proveniência das sucessões analisadas. Segundo os autores, o Trato Depositional I (TDI) representa um sistema de leques submarinos, composto por depósitos turbidíticos (frontais e distais) e que indicaria a sedimentação inicial da bacia. O Trato Depositional II (TDII) inclui um sistema transicional marinho, o qual teria preenchido a bacia com sucessões deltaicas. Enquanto que o Trato Depositional III (TDIII) compreende sistemas continentais fluviais e de leques aluviais, os quais seriam responsáveis pela sedimentação final. Além disso, através de dados de paleocorrente com direções a sul-sudeste e norte-noroeste, os autores sugerem que a proveniência dos sedimentos do Grupo Itajaí está ligada ao Complexo Granulítico de Santa Catarina e ao Complexo Metamórfico Brusque.

Quanto a caracterização estrutural, diversos autores citam a contribuição de dois eventos de deformação que afetaram as rochas do Grupo e que seriam responsáveis pelas principais estruturas tectônicas observadas na bacia (BASEI *et al.* 1985; ROSTIROLLA, 1991; ROSTIROLLA *et al.* 1992; SCHROEDER, 2006). Basei *et al.* (1985) destaca que a principal feição estrutural observada no Grupo Itajaí seria uma expressiva monoclinal com

caimento para sudeste, na qual os pólos dos planos de acamamento (So) estariam orientados a N48E/25SE.

Schroeder (2006) identificou as principais estruturas do Grupo Itajaí através da análise de lineamentos e de feições estruturais mesoscópicas, associadas a litoestratigrafia da bacia. A principal estrutura identificada pelo autor é a Zona de Cisalhamento Itajaí-Perimbó, a qual estaria orientada a N55E-65E e cuja as estruturas a ela relacionadas seriam as mais expressivas na bacia. De acordo com o autor, as principais estruturas mesoscópicas observadas correspondem a planos de acamamento, dobras, fraturas e falhas. Os planos de acamamento primário (So) das unidades sedimentares mergulham em torno de 15° para sul-sudeste e pontualmente ocorrem mergulhos subverticais, enquanto que os planos axiais de dobras estão orientados principalmente a N30E e N60E, com caimento para SE. O padrão de fraturamento que afeta as rochas da bacia possui orientação preferencial entre N20E e N30W. O autor também destaca a ocorrência de falhas normais e inversas, além de transcorrentes sinistrais e dextrais, orientadas a NE e NW respectivamente (figura 17).

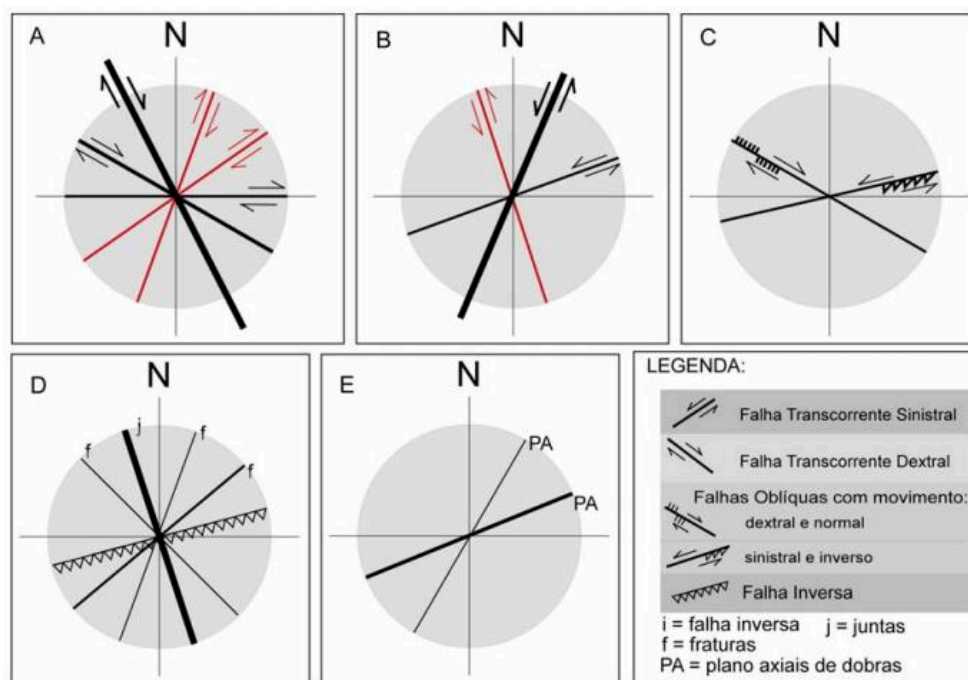


Figura 17: Direções preferenciais das estruturas mesoscópicas do Grupo Itajaí. A) Falhas transcorrentes dextrais; B) Falhas transcorrentes sinistrais; C) Falhas sinistrais e inversas; D) Fraturas e falhas inversas; E) Planos axiais de dobras (SCHROEDER, 2006).

Primeiro evento deformacional

De acordo com Basei *et al.* (1985), o primeiro evento deformacional seria o principal e responsável pela formação de dobramentos cilíndricos com orientação axial N74W/7° e dobras sanfonadas com plano axial vertical em siltitos laminados. Rostirolla (1991) e Rostirolla *et al.* (1992) reafirmam que a primeira fase seria a principal e a caracterizam como consequência de um evento tectônico compressivo, o qual gerou falhas reversas com orientação entre N60E e N70E, dobras assimétricas com vergência para NW e um sistema conjugado de falhas transcorrentes sinistrais (N10-20E) e dextrais (N80-90W).

Posteriormente, Schroeder (2006) corrobora a interpretação de que o primeiro evento seria o principal e o caracteriza como um evento de caráter transpressivo. Esse evento gerou um sistema conjugado de falhas sinistrais transcorrentes (orientadas a NNE) e inversas (orientadas a ENE) que afetou principalmente a estratigrafia das porções central e sul da bacia. Segundo o autor, nessas porções é observado um contato tectônico entre as unidades estratigráficas C (composta por pelitos) e D (constituída por arenitos e conglomerados) propostas por Rostirolla *et al.* (1992), condicionado pelo sistema conjugado de falhas NNE-ENE e que constitui um padrão geométrico na bacia (figura 18).

Mais tarde, o trabalho de Basei *et al.* (2011) complementa que a intensidade do primeiro evento foi maior na região sudeste da bacia, com planos axiais a NE-SW caracterizados por dobras de planos axiais verticais próximas à borda norte, que gradam para megadobras de flancos inversos, falhas inversas e cavalgamento na porção sudeste, com clara vergência tectônica para NW.

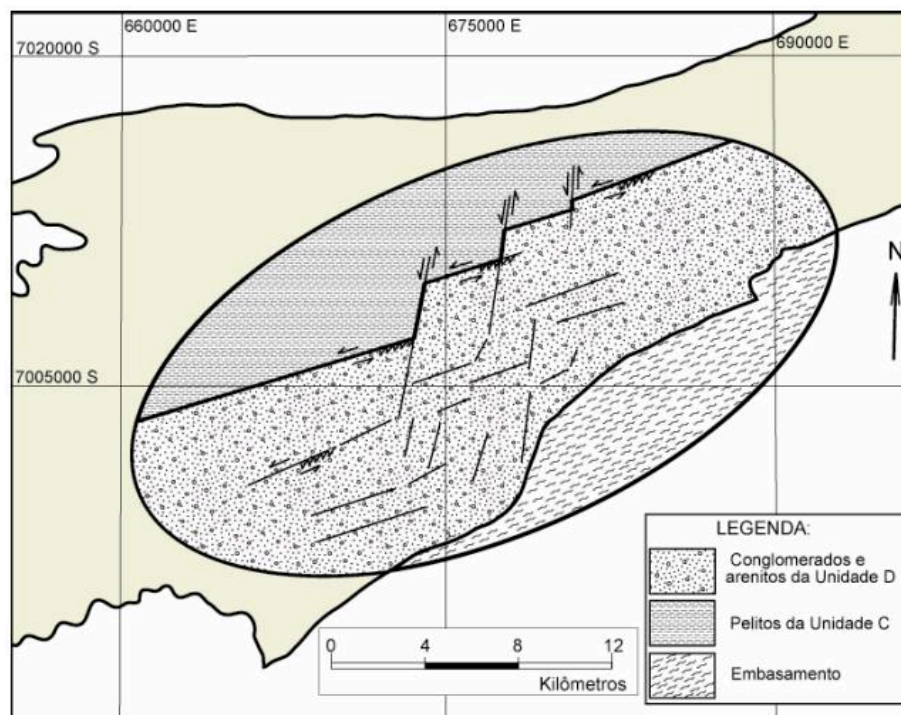


Figura 18: Contato tectônico condicionado pelo sistema conjugado de falhas NNE e ENE, na porção centro-sul da bacia (SCHROEDER, 2006).

Segundo evento deformacional

Segundo Basei *et al.* (1985) o segundo evento teria gerado estruturas com orientação NS, com caimento para sul e seria caracterizado por dobras descontínuas e isópacas, observadas em arenitos arcossianos. Rostirolla (1991) e Rostirolla *et al.* (1992) citam que o segundo evento seria caracterizado pela reativação distensiva das estruturas formadas durante a primeira fase e responsável por uma mudança nos movimentos do sistema conjugado de falhas, com falhas destrais a N10-20E e sinistrais a N80-90W. Mais tarde, Schroeder (2006) caracteriza esse evento como secundário e responsável principalmente pela geração de falhas NW que cortam toda a bacia, as quais se prolongam por quilômetros de maneira retilínea e deslocam os contatos norte e sul (figura 19). Além disso, o autor reafirma que esse evento também gerou a reativação de estruturas e inversão na cinemática de falhas geradas durante o primeiro evento. Basei *et al* (2011) complementa que a segunda fase é restrita a dobras descontínuas de grande comprimento de onda e com plano axial orientado a N-S.



Figura 19: Lineamentos com orientação NW que cortam a bacia do Itajaí, interpretados como falhas geradas durante o segundo evento de deformação (SCHROEDER, 2006).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. MATERIAIS

Para realização deste trabalho foram utilizadas referências bibliográficas disponíveis em periódicos e repositórios, dados espaciais e softwares aplicados em SIG, geologia estrutural e edição de imagens. Os dados vetoriais e matriciais utilizados foram disponibilizados pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS/SC), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), *OpenStreetMap* (OSM), Prefeitura Municipal de Blumenau (PMB) e gerenciados nos softwares QGIS 3.4 e ArcMap 10.1. Enquanto que os demais dados e imagens foram coletados em campo e manuseados nos softwares *StereonetWin* e *CorelDraw*.

Dados vetoriais

- Inventário de movimentos de massa: Elementos pontuais com a localização de movimentos de massa ocorridos no ano de 2008 no município de Blumenau e disponibilizados pela Prefeitura Municipal de Blumenau.

- Toponímias: Identificação de nomes de locais, estabelecimentos, rios, lagos, etc. Adquiridos através da identificação dos locais em imagens de satélite do software *Google Earth*.
- Hidrografia: Principais rios, ribeirões e córregos que constituem a rede de drenagem, disponibilizados pela SDS/SC na forma de linhas e polígonos.
- Curvas de nível: curvas de nível individualizadas a cada 10m. Foram extraídas através do software QGIS, na forma de linhas, pela função ‘extrair contornos’ sobre o MDT disponibilizado pela SDS/SC.
- Rede viária: Principais acessos, caminhos e trilhas. Foram produzidos pela vetorização dos acessos na plataforma colaborativa de SIG do *OpenStreetMap*.
- Afloramentos: Prováveis afloramentos rochosos como corte de estrada, blocos, corte em barranco, entre outros. Os dados foram obtidos pela fotointerpretação de fotografias aéreas digitais disponibilizadas pela SDS/SC e imagens de satélite do software *Google Earth*.

Dados matriciais

- Modelo Digital de Terreno (MDT): Dado *raster* que contém informações altimétricas e resolução espacial 1m por 1m, disponibilizadas pela SDS/SC.
- Ortofotos: Fotografias aéreas digitais coloridas de 2011, com resolução espacial 0,39 x 0,39m, disponibilizadas pelas SDS/SC.
- Sentinel 2A: Imagem de satélite de junho de 2019, com resolução espacial de 10m por 10m, disponibilizada pela Agência Espacial Europeia (ESA).

Softwares

- QGIS 3.4: Programa de código aberto e gratuito de SIG. Foram utilizadas ferramentas de processamento de dados vetoriais, *raster* e complementos como *Line Direction Histogram*.
- ArcMap 10.1: Programa ambientado em SIG (versão de teste). Foi utilizada a ferramenta de análise espacial de dados matriciais pela lógica *fuzzy (fuzzy overlay tool)*.
- CorelDraw: Utilizado na elaboração de seções colunares e edição de fotografias e croquis geológicos.

- *Stereonet Win*: Programa de livre acesso para a elaboração de estereogramas e diagramas de roseta.
- *OpenStreetMap*: Plataforma colaborativa, *online*, utilizada para a vetorização da rede viária (vias primárias, secundárias e trilhas).

4.2. MÉTODOS

Para a elaboração do trabalho foram utilizados métodos similares aos aplicados nos trabalhos de Correia *et al* (2015), Sema, Guru & Veerappan (2017) e Khan *et al* (2018). Esses métodos consistem na combinação de diferentes tipos de dados espaciais em ambiente SIG para estabelecer uma associação entre os fatores naturais e antrópicos, e o inventário de movimentos de massa da região, a fim de gerar um mapa de suscetibilidade (BONHAM CARTER, 1994).

A partir disso, a etapa inicial do trabalho consistiu no levantamento e revisão bibliográfica dos temas abordados, seguida da análise de suscetibilidade, que foi elaborada em cinco etapas (figura 20): **I**) seleção dos fatores condicionantes a movimentos de massa; **II**) elaboração de mapas temáticos; **III**) ponderação de classes por relação de frequência; **IV**) geração do mapa de suscetibilidade; **V**) validação.

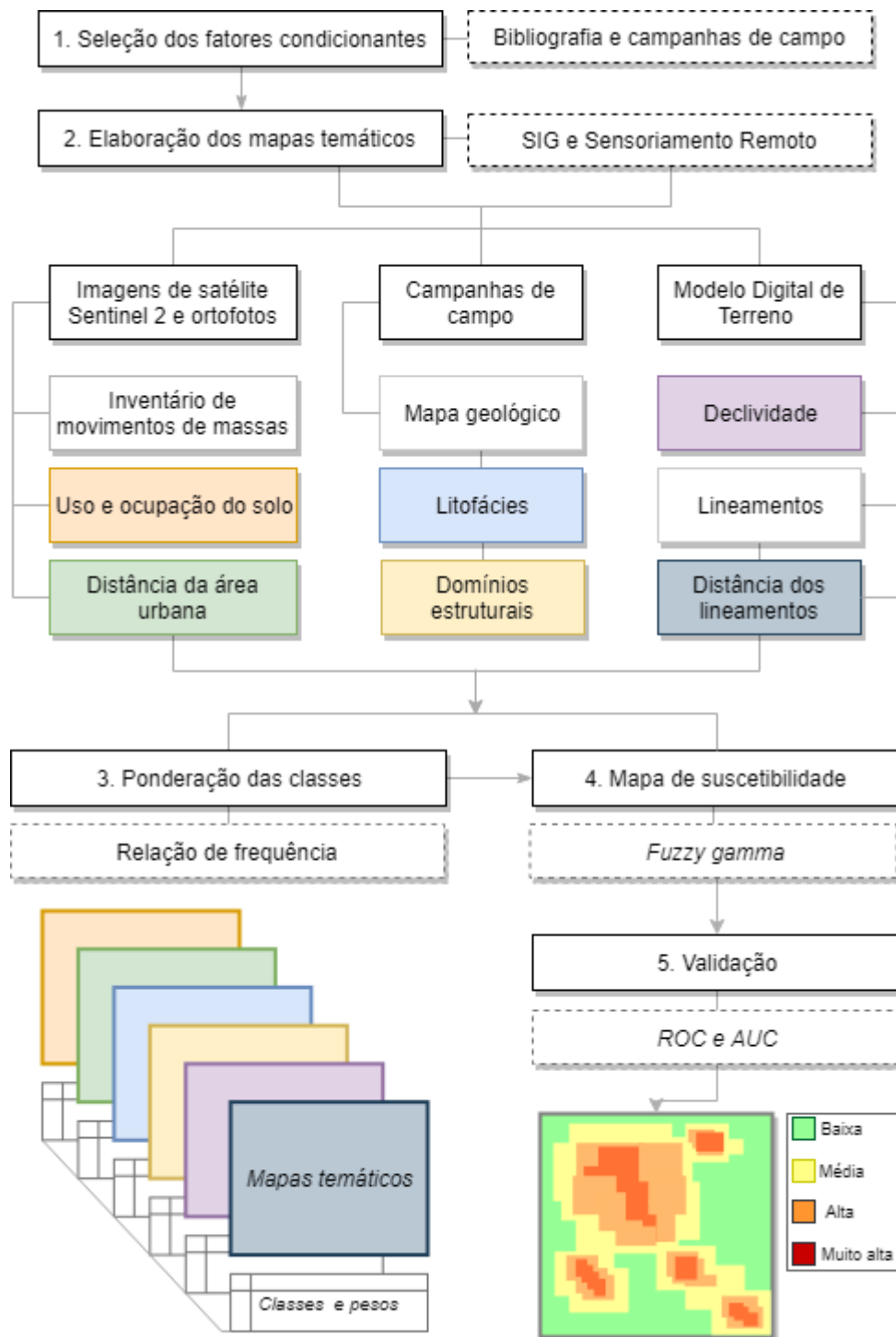


Figura 20: Fluxograma das etapas e métodos utilizados na elaboração do trabalho. Fonte: Autor.

4.2.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica consistiu no levantamento de livros, artigos, teses e dissertações sobre os principais conceitos associados a movimentos de massa, suscetibilidade e mapeamento geológico. Além de uma revisão sobre a Bacia do Itajaí e as unidades geológicas que a constituem, processamento de dados em ambiente SIG e histórico de movimentos de massa na região da área de estudo.

4.2.2. SELEÇÃO DOS FATORES CONDICIONANTES

Para elaboração da análise foram selecionados seis fatores: litologia, declividade, domínios estruturais e distância dos lineamentos (de origem natural), além do uso e ocupação do solo e distância da área urbana (de origem antrópica). A seleção foi realizada através do reconhecimento das características físicas da área de estudo em campo e baseada em diversos trabalhos de mapeamento de suscetibilidade, tais como Pozzobon *et al* (2015), Correia *et al* (2015), Sema, Guru & Veerappan (2017), Mallmann (2018) e Khan *et al* (2018).

Com exceção do fator domínios estruturais, a escolha dos demais se deu pela utilização desses fatores em diversas análises de suscetibilidade, como representado no quadro 1. Por outro lado, o fator domínios estruturais foi selecionado através de análises em campo e do mapa geológico obtido neste trabalho, a partir dos quais foi possível verificar que a atitude das camadas de rochas sedimentares e a estrutura primária das rochas ígneas representam um agente predisponente relacionado a cada litologia.

Quadro 1: Relação dos fatores selecionados em diferentes trabalhos de análise de suscetibilidade.

Fonte: Autor.

Fator	Pozzobon et al (2015)	Correia et al (2015)	Malmann (2018)	Khan et al (2018)	Este trabalho
Litologia	X	X	X	X	X
Declividade	X	X	X	X	X
Uso e cobertura	X	X	X	X	X
Dist. dos lineamentos	X	X		X	X
Dist. da área urbana			X		X
Dist. do curso d'água		X			
Domínios estruturais					X
Curvatura das vertentes			X		
Orientação das vertentes					
Índice de vegetação		X			
Rede de drenagem				X	
Rede viária				X	

4.2.3. ELABORAÇÃO DOS MAPAS TEMÁTICOS

Para elaboração dos mapas temáticos de cada um dos seis fatores naturais e antrópicos selecionados foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto e SIG. A partir disso, diversos dados vetoriais e matriciais foram adquiridos, processados e armazenados em um banco de dados no software QGIS 3.4 para geração dos mapas. Posteriormente, os produtos obtidos foram analisados e descritos quanto às suas principais características.

I) Inventário de movimentos de massa

O mapa de inventário de movimentos de massa foi elaborado a partir de pontos mapeados pela Prefeitura Municipal de Blumenau que representam movimentos de massa ocorridos no ano de 2008, além de movimentos recentes ou pretéritos identificados nas etapas de campo e por análise de fotografias aéreas e imagens de satélite. Em campo foram descritas as principais características físicas, como os tipos de movimento, superfície de ruptura, extensão e proximidade de áreas urbanas.

II) Litologias

O método adotado para identificar as litologias consistiu no mapeamento geológico em escala 1:10.000 e envolveu três etapas principais: fotointerpretação, coleta de dados em campo e a análise e interpretação dos dados (figura 21).

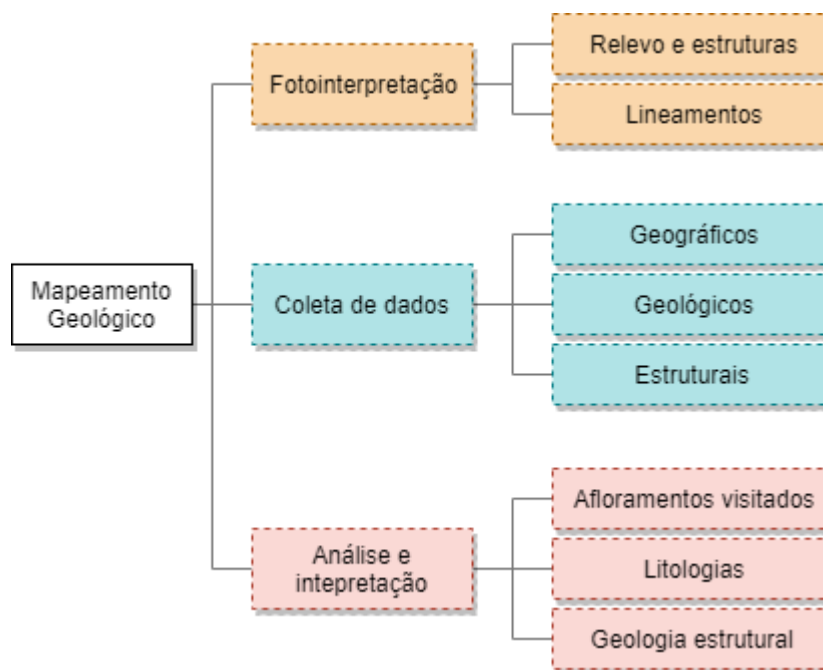


Figura 21: Fluxograma das etapas do mapeamento geológico. Fonte: Autor.

A) Fotointerpretação

A fotointerpretação consistiu no reconhecimento do relevo e principais estruturas da área de estudo e seu entorno e foi realizada por meio de fotografias aéreas e relevo. Nessa etapa foi gerado o **mapa de lineamentos**, elaborado a partir do MDT e processado para aplicação de sombreamento com azimute 280° e ângulo horizontal 60° . A partir disso, foram extraídos lineamentos positivos (cristas de morros) e negativos (vales) tanto em escala regional (1:50.000) como em escala de detalhe (1:5.000). Posteriormente, foram elaborados estereogramas com as direções preferenciais das estruturas através do complemento *line direction histogram*. Nessa etapa também foram fotointerpretados, a partir do MDT, os limites do depósito de sedimentos inconsolidados que compõe a geologia da área estudo.

B) Coleta de dados em campo

A coleta de dados em campo foi realizada durante quatro campanhas, nos períodos de 12 a 15 de dezembro de 2018, 2 e 4 de março, 26 de abril e 25 e 26 de maio de 2019. As **informações geográficas** de coordenadas e altitude dos afloramentos visitados foram obtidas através da utilização de um GPS (*Global Positioning System*). Os **dados geológicos** foram coletados em escala 1:10.000, através da análise de afloramentos a cada 100 metros

percorridos em campo. Nessa etapa foi utilizado o método proposto por Tucker (2011), no qual o autor define os principais aspectos a serem considerados no mapeamento geológico de rochas sedimentares. Foi realizada a coleta de amostras das litologias para identificação da composição mineralógica, elementos texturais (tamanho de grão, arredondamento, seleção, cor) e estruturas sedimentares, além da elaboração de seções colunares. Também foram observadas as feições geomorfológicas da área, a geometria das camadas sedimentares e a relação de contato entre as diferentes litologias. Os **elementos estruturais** foram adquiridos através da identificação e medidas de planos de acamamento, fraturas e falhas, com o auxílio de uma bússola. Todos os elementos descritivos coletados foram armazenados em uma caderneta de campo, assim como croquis e seções.

C) Análise e Interpretação de dados

Os diversos dados obtidos em campo foram analisados em laboratório para a elaboração do mapa de afloramentos visitados, refinamento das seções colunares, individualização das litofácies descritas e análise estrutural da área de estudo. O **mapa de afloramentos visitados** foi produzido através da compilação dos dados levantados e inseridos em uma base de dados em ambiente SIG. A partir disso, os afloramentos visitados foram espacializados, processados em dados pontuais e classificados de acordo com a litologia predominante que foi observada.

Para caracterizar as **unidades litoestratigráficas**, as amostras de rochas coletadas foram submetidas a análise petrográfica macro e mesoscópica, com o auxílio de uma lupa binocular, com o intuito de descrever os aspectos mineralógicos e texturais, além de agrupá-las de acordo com semelhanças petrológicas observadas. A **análise dos dados estruturais** se deu pela elaboração de estereogramas constituídos pelas medidas estruturais no software *StereonetWin* e pela identificação das direções preferenciais desses elementos.

II) *Uso e ocupação do solo*

O método utilizado na elaboração do mapa de uso e ocupação do solo consistiu em quatro etapas realizadas com o auxílio de técnicas de processamento digital de imagens e de ferramentas de vetorização em plataforma SIG. Na primeira etapa foram adquiridas imagens de satélite Sentinel 2 (bandas 8, 4 e 3) recentes, com baixa cobertura de nuvens e resolução espacial de 10 metros, além de imagens Landsat disponíveis no software Google Earth Pro e

fotografias aéreas digitais da SDS/SC, com resolução espacial de 0,39 x 0,39 metros. As imagens Sentinel 2 obtidas foram processadas no software *QGIS* para a aplicação de uma composição colorida RGB e ajustes de contraste. Na etapa seguinte foi realizada a fotointerpretação utilizando primeiramente as imagens Sentinel 2 e posteriormente as demais para refinamento dos polígonos extraídos. A categorização das diferentes classes teve como base o Manual Técnico de Uso e Cobertura da Terra (IBGE, 2013) que estabelece as formas de uso do solo descritas no quadro 2.

Quadro 2: Classes de uso e ocupação do solo segundo IBGE (2013). Fonte: Autor.

Classe	Descrição
Vegetação natural	Florestas e campos originais (primários) e alterados até formações arbustivas, herbáceas e/ou gramíneo-lenhosas.
Vegetação secundária	Formações florestais espontâneas secundárias, desenvolvidas após o abandono de áreas manejadas por uso antrópico.
Solo exposto	Área de exposição do solo, sem cobertura vegetal.
Área urbana	Áreas de uso intensivo, estruturadas por edificações e sistema viário, onde predominam as superfícies artificiais.

III) Distância dos lineamentos

O mapa de distância dos lineamentos foi elaborado a partir de lineamentos positivos e negativos extraídos de um MDT em escala 1:10.000. Para a análise de proximidade dos lineamentos foram geradas áreas de influência através da ferramenta *buffer* do software *QGIS*. No processamento e classificação dos dados foram selecionadas as seguintes classes: 50 por 50m, 100 por 100m, 150 por 150m e superiores a 150m.

IV) Declividade

A declividade da área de estudo foi obtida através da utilização da ferramenta *declividade* do software *QGIS* a partir de um MDT. Os valores foram obtidos em porcentagem e classificados em intervalos de 5% em 5%, como proposto no trabalho de Pozzobon (2013). Os dados também foram utilizados para distinguir as formas de relevo

segundo a classificação estabelecida pela EMBRAPA (1979; quadro 3). Além disso, para a determinação do valor crítico de declividade - que representa a maior suscetibilidade a movimentos de massa - foi utilizada como base a Lei Federal nº 9785 de 1999, a qual estabelece a proibição do parcelamento do solo em terrenos com declividade igual ou superior a 30%, devido ao risco de movimentação de massa.

Quadro 3: Classificação do relevo de acordo com a declividade. Fonte: EMBRAPA (1979).

Declividade	Relevo
0 - 3%	Plano
3 - 8%	Suavemente ondulado
8 - 20%	Ondulado
20 - 45%	Fortemente ondulado
45 - 75%	Montanhoso
superior a 75%	Escarpado

V) Domínios estruturais

Os domínios estruturais foram identificados a partir das observações em campo e extraídos do mapa geológico. A compartimentação foi elaborada através de duas características estruturais: o ângulo de mergulho das rochas sedimentares e a estrutura primária das rochas ígneas observadas. Ao todo foram identificados quatro domínios, que representam a influência das características estruturais das unidades litoestratigráficas na suscetibilidade a movimentos de massa da área de estudo, denominados Domínios 1, 2, 3 e 4.

Quadro 4: Descrição das classes do mapa de domínios estruturais. Fonte: Autor.

Classe	Descrição
Domínio 1	Rochas sedimentares com ângulo de mergulho entre 45° e 75°
Domínio 2	Rochas sedimentares com ângulo de mergulho entre 15° e 40°
Domínio 3	Riolitos e sienogranitos isotrópicos
Domínio 4	Sedimentos inconsolidados

VI) Distância da área urbana

O mapa que representa a distância da área urbana foi elaborado através do perímetro urbano (obtido no mapa de uso e ocupação do solo). Foram selecionadas cinco classes de distância - 0m, 10m, 20m, 30m e superior a 30m.

4.2.4. PONDERAÇÃO DAS CLASSES

Na etapa de ponderação das classes foi utilizado o modelo de análise de dados guiado pelos dados (*data-driven*), que fornece suporte na determinação de pesos para as classes de cada fator de forma objetiva e baseado em cálculos matemáticos. Na aplicação do modelo foi utilizado o método estatístico da relação de frequência, pelo qual os pesos são calculados através da correlação entre a frequência de ocorrência de movimentos de massa e a área de cobertura de cada classe (BOHAM CARTER, 1994; SEMA, GURU & VEERAPPAN, 2017)

O cálculo teve como base os trabalhos de Correia *et al.* (2015), Sema, Guru & Veerappan (2017) e Khan *et al.* (2018), que aplicam o método para determinar os pesos de um conjunto de fatores através da equação 1. Dessa forma, os valores maiores que 1 representam que a porcentagem de ocorrência de movimentos de massa é maior do que a porcentagem da área e indica um grau de importância alto, enquanto que os valores menores que 1 representam um grau de importância baixo (KHAN *et al* 2018).

$$\text{Relação de Frequência} = \frac{\text{Porcentagem de movimentos de massa da classe (\%)}}{\text{Porcentagem de área da classe (\%)}} \quad (\text{Eq.1})$$

4.2.5. ELABORAÇÃO DO MAPA DE SUSCETIBILIDADE

Para a elaboração do mapa de suscetibilidade foi utilizado o método de combinação de mapas através da lógica *fuzzy*. A partir desse método, diversos mapas podem ser combinados para geração de um único produto através da função *fuzzy*, que representa o peso de cada classe em uma série contínua, com valores entre 0 e 1, denominados *fuzzy membership* (BOHAM CARTER, 1994). Neste trabalho, esses valores foram calculados pela relação de frequência e normalizados em uma série contínua através da equação 2, na qual X_{fr} representa

a relação de frequência da classe, enquanto Max_{fr} e Min_{fr} correspondem aos valores máximos e mínimos, respectivamente. (SEMA, GURU & VEERAPPAN, 2017).

$$Fuzzy\ membership = (X_{fr} - Min_{fr}) / (Max_{fr} - Min_{fr}) \quad (Eq. 2)$$

A partir disso, os valores de *membership* obtidos foram assinalados para cada classe e armazenados na tabela de atributos de cada mapa temático no *software ArcMap 10.1*. Segundo Boham-Carter (1994), para a análise espacial dessas informações podem ser utilizados diversos operadores, denominados fuzzy AND, OR, soma algébrica, produto algébrico e fuzzy gamma. Nesta análise foi utilizado o operador *fuzzy gamma*, o qual é definido através da correlação entre o produto algébrico e a soma algébrica (equações 3 e 4) e foi calculado através da equação 5, nas quais μ_i é a função *membership* para o mapa i , n é o número de mapas a serem combinados e **gamma** é um parâmetro entre 0 e 1.

O resultado da função *fuzzy gamma* corresponde ao índice de suscetibilidade a movimentos de massa (ISMM), que é assinalado a cada pixel após a análise espacial dos mapas temáticos. Assim, valores altos indicam alta suscetibilidade a movimentos de massa, enquanto que valores baixos indicam o oposto. O valor de **gamma** equilibra a tendência da soma algébrica de gerar valores de ISMM muito altos e do produto algébrico em gerar valores muito baixos (BOHAM CARTER, 1994; SEMA, GURU & VEERAPPAN, 2017). Dessa forma, foram gerados três mapas de suscetibilidade a partir de três valores de gamma distintos – 0,75; 0,8 e 0,9 – a fim de avaliar qual mapa se ajustou melhor ao método adotado.

Em cada mapa elaborado, os valores do ISSM foram categorizados em cinco classes (muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto). Na categorização foi utilizado o método *natural breaks* da ferramenta *classify* do ArcGis 10.1, a qual realiza a classificação automática através do histograma de frequência dos valores de ISSM.

$$Soma\ algébrica = \prod_{i=1}^n \mu_i \quad (Eq. 3) \quad ; \quad Produto\ algébrico = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \quad (Eq. 4)$$

$$Fuzzy\ gamma = (soma\ algébrica)^{\gamma} \times (produto\ algébrico)^{\gamma-1} \quad (Eq. 5)$$

4.2.6. VALIDAÇÃO

A etapa de validação consiste na avaliação da acurácia do método adotado para a geração do mapa de suscetibilidade e constitui o passo mais importante em estudos de predição a movimentos de massa. Neste tipo de avaliação, a acurácia é obtida através do mapa de suscetibilidade e o mapa do inventário de movimentos de massa (SEMA, GURU & VEERAPPAN, 2017).

Nesta etapa foram utilizados os métodos *Receiver Operator Characteristic* (ROC) e *Area Under the Curve* (AUC). Segundo Beguería (2006), o método ROC é utilizado para gerar um gráfico composto pela sensibilidade/verdadeiro positivo, que representa os pontos de inventário corretamente classificados, e especificidade/falso positivo, correspondente às regiões sem pontos do inventário corretamente classificadas. Enquanto que a AUC representa a área sob a curva ROC e consiste em uma estatística de acurácia que varia entre 0,5 e 1, onde os valores próximos a 0,5 representam falha do modelo e valores próximos a 1 indicam sucesso do modelo adotado. Neste trabalho, a curva ROC e a AUC foram utilizadas para verificar a acurácia de cada um dos mapas de suscetibilidade gerados a partir do operador *fuzzy gamma* (0.75, 0.8 e 0.9). Dessa forma, o mapa com maior valor de AUC foi considerado o mais preciso e representa o produto final da análise.

5. RESULTADOS

5.1. GEOLOGIA

5.1.1. Mapa de afloramentos visitados

O mapa de afloramentos visitados elaborado apresenta a distribuição espacial e a litologia predominante dos 47 afloramentos visitados (figura 22). A maior densidade de pontos se situa nas porções central, leste e sudoeste da área, onde o acesso é facilitado pela presença de área urbana e trilhas. No nordeste e extremo oeste ocorre a menor concentração de pontos devido à vegetação densa e inexistência de trilhas.

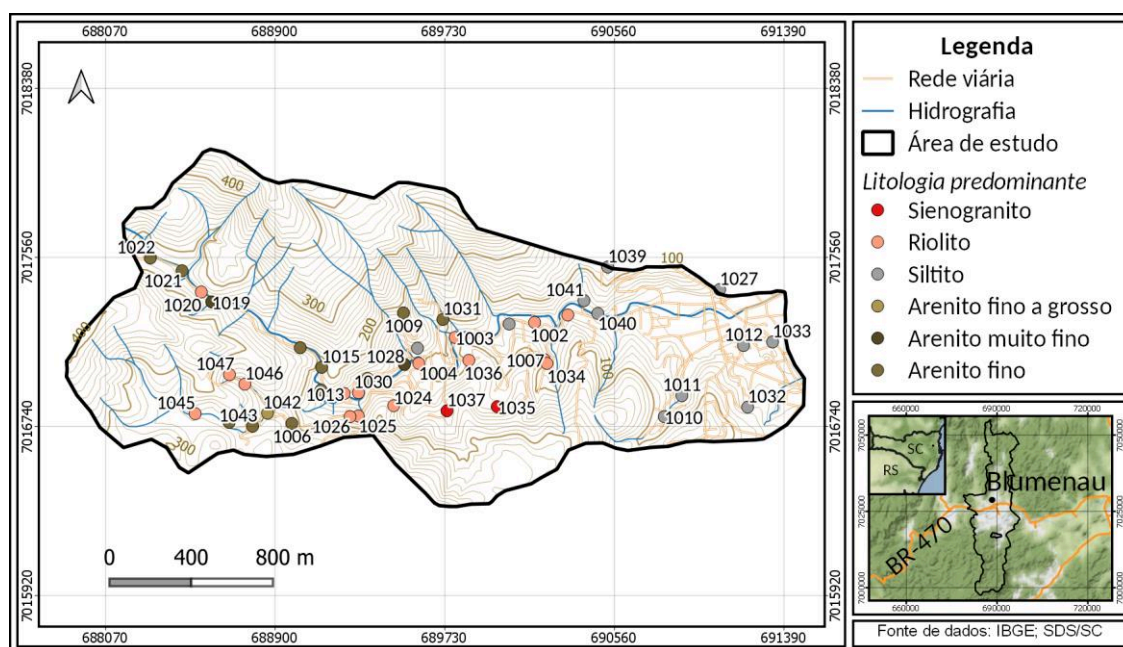


Figura 22: Mapa de afloramentos visitados e base cartográfica. Fonte: Autor

5.1.2. Dados Litológicos

A fotointerpretação do relevo e a análise dos dados litológicos permitiram a individualização de seis litologias e do depósito de sedimentos inconsolidados, que compõem o arcabouço geológico da microbacia do Córrego Gebien (quadro 5 e anexo II). As litofácies sedimentares são representadas por arenitos muito finos e finos correspondentes à Formação Ribeirão Carvalho e siltitos pertencentes à Formação Ribeirão Carvalho. Enquanto que as litologias ígneas intrusivas são constituídas por riolitos da Formação Apiúna e sienogranitos,

segundo a classificação proposta por Basei (2011). As litologias estão descritas na tabela e nas seções colunares (anexo III).

Quadro 5: Características das litologias mapeadas na área de estudo. Fonte: Autor.

Código	Descrição
Sg	Arenitos finos a grossos, cinzas a esbranquiçados, laminações plano-paralelas, gradação normal e laminações onduladas. Gradam da base para o topo de arenito grosso para arenito fino. Camadas tabulares com topo e base ondulados.
Sr	Arenitos finos, bege a cinza claro, com laminações onduladas assimétricas. Camadas tabulares, com topo e base retos ou ondulados.
Sh	Arenitos muito finos, cinza escuro, com laminações plano-paralelas como estrutura principal e onduladas assimétricas subordinadas. Geometria tabular com base e topo retos ou ondulados.
Fl	Siltito cinza, maciço, intercalado com arenito fino, bordô e maciço. Acamamento tipo wavy.
Gr	Sienogranitos com textura inequigranular seriada e isótipos.
Rt	Riolitos esbranquiçados, maciços e com textura porfirítica. Por vezes ocorrem sub-vulcânicas com textura alotriomórfica, equigranular fina, por vezes sacaróide ou porfirítica.

5.1.2.1. Formação Ribeirão Carvalho

Arenito fino

A litofácia de arenitos finos constitui a unidade inferior, com maior área mapeada (48,46%) e ocorre na porção noroeste da área de estudo. A litofácia é observada principalmente em afloramentos do tipo lajedo na região da trilha que liga os bairros Valparaíso e Velha e pontualmente em cortes de estrada e em barrancos (figura 23). As camadas são tabulares, com topo e base retos ou ondulados e em contato abrupto com as demais litologias. São constituídas por arenitos finos, bege a cinza claro, com composição quartzo-feldspática e laminações onduladas assimétricas como estrutura principal (figura 23B e C). Os grãos de quartzo e feldspato apresentam médio grau de arredondamento e esfericidade, além de moderado grau de seleção. Além disso, as camadas de arenito comumente ocorrem associadas a rochas de composição riolítica, tanto em contato intrusivo, como em corpos sin-sedimentares.



Figura 23: LitofÁCie arenito fino. (A) visÃO geral do afloramento PVP-1031; (B) detalhe do arenito fino com laminações onduladas assimétricas PVP-1020; (C) Detalhe das laminações assimétricas em amostra de mÃO PVP-1016. Fonte: Autor.

Arenito muito fino

A litofÁCie de arenitos muito finos ocorre intercalada à litofÁCie de arenitos finos, na porção noroeste e representa 10,41% da Área. É observada em afloramentos do tipo lajedo e corte de estrada e ocorre na forma de camadas tabulares, com topo e base retos ou ondulados e em contato abrupto com a litofÁCie descrita anteriormente (figura 24A e B). É constituída por arenitos muito finos, cinza escuro, composição predominantemente quartzosa, com laminações plano-paralelas como estrutura principal (Figura 24C) e onduladas assimétricas subordinadas. Os grãos apresentam alto grau de arredondamento e esfericidade, além de bem selecionados. Pontualmente são observados fragmentos líticos centimétricos de composição granítica sub-angulosos.

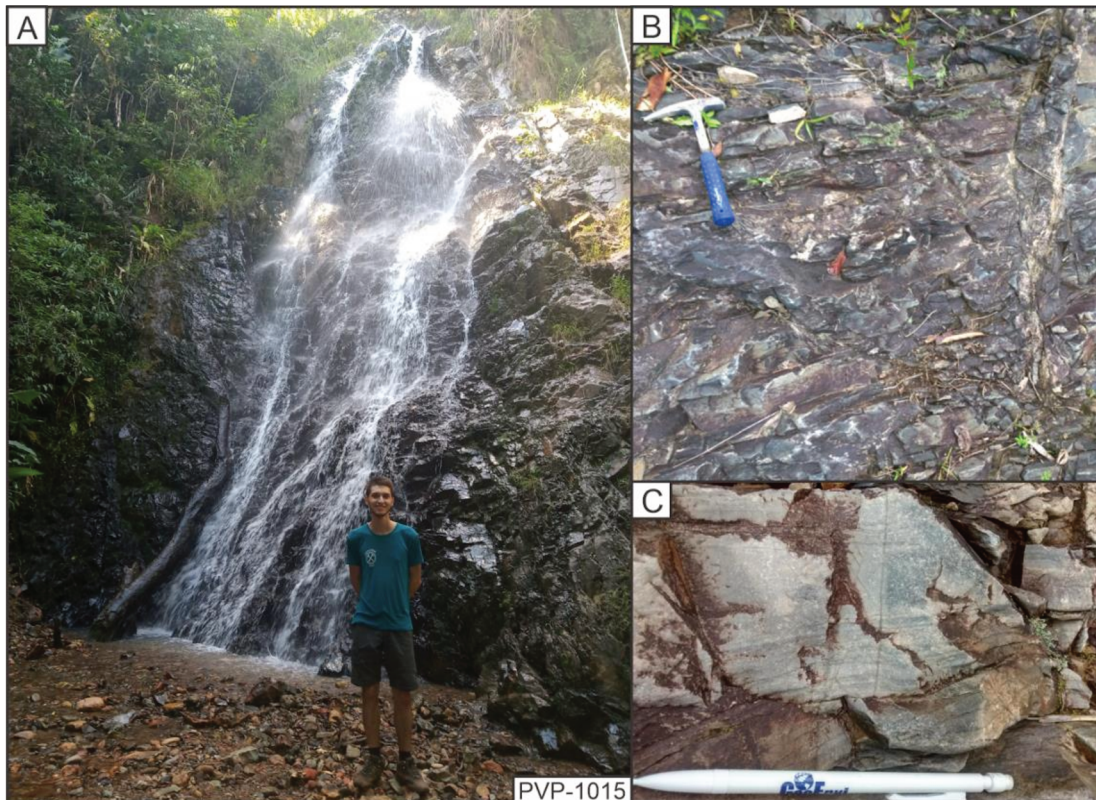


Figura 24: : LitofÁCie arenito muito fino. (A) VisÃO do afloramento da litofÁCie em cachoeira do ponto 1015; (B) Detalhe do arenito muito fino de cor cinza escuro em afloramento de lajeado (ponto 1015); (C) Laminações plano-paralelas (1015). Fonte: Autor.

Arenito fino a grosso

Abaixo dos arenitos muito finos e com ocorrência na região centro-oeste, aflora a litofÁCie de arenitos finos a grossos, que constitui 0,79% da Área total. A unidade mapeada pode ser observada em afloramentos do tipo lajeado e corte de estrada e comumente apresenta médio grau de alteração (figura 25A). É caracterizada por camadas tabulares, com topo e base ondulados. É constituída por arenitos finos a grossos, cinzas a esbranquiçados, com composição quartzo-feldspática e laminações plano-paralelas associadas a gradação normal e, ocasionalmente, laminações onduladas (figura 25B e C). Quando apresentam gradação normal, os arenitos são mal selecionados, gradando da base para o topo de arenito grosso para arenito fino, com grãos de feldspato milimétricos e sub-arredondados (figura 25D).



Figura 25: : Litofácie Arenito fino a grosso (ponto 1042). (A) Afloramento do tipo lajedo; (B) Camadas com topo e base sinuosos; (C) Detalhe do arenito grosso; (D) Detalhe do arenito gradacional. Fonte: Autor.

5.1.3. Formação Ribeirão do Bode

Siltito

Na porção leste da área mapeada e acima dos arenitos muito finos ocorre a litofácia de siltito, que cobre 15,31% da microbacia do Córrego Gebien. As camadas possuem geometria tabulares ou lenticulares, com topo e base ondulados e contato abrupto entre as litologias. São constituídas por intercalações rítmicas, centimétricas, de siltito e arenito fino (figura 26A e B). Os siltitos ocorrem como camadas tabulares e são caracterizados pela cor cinza ou avermelhada (quando o grau de alteração é maior), em geral maciços ou com laminações plano-paralelas e subordinadamente ocorrem laminações onduladas simétricas. Os pacotes mais grossos ocorrem tanto em lentes como em corpos tabulares e são constituídos por arenitos finos, bordô, maciços ou com laminação plano-paralela incipiente (figura 26C e D). As intercalações constituem um acamamento do tipo *wavy*, com proporções muito semelhantes entre as litologias. Raramente ocorrem hétérolitos compostos predominantemente por siltitos com lentes de arenito, intercalados com camadas de arenito fino, cinza e com laminações onduladas assimétricas. Pontualmente a litofácia está associada a rochas intrusivas de composição riolítica (figura 26B).

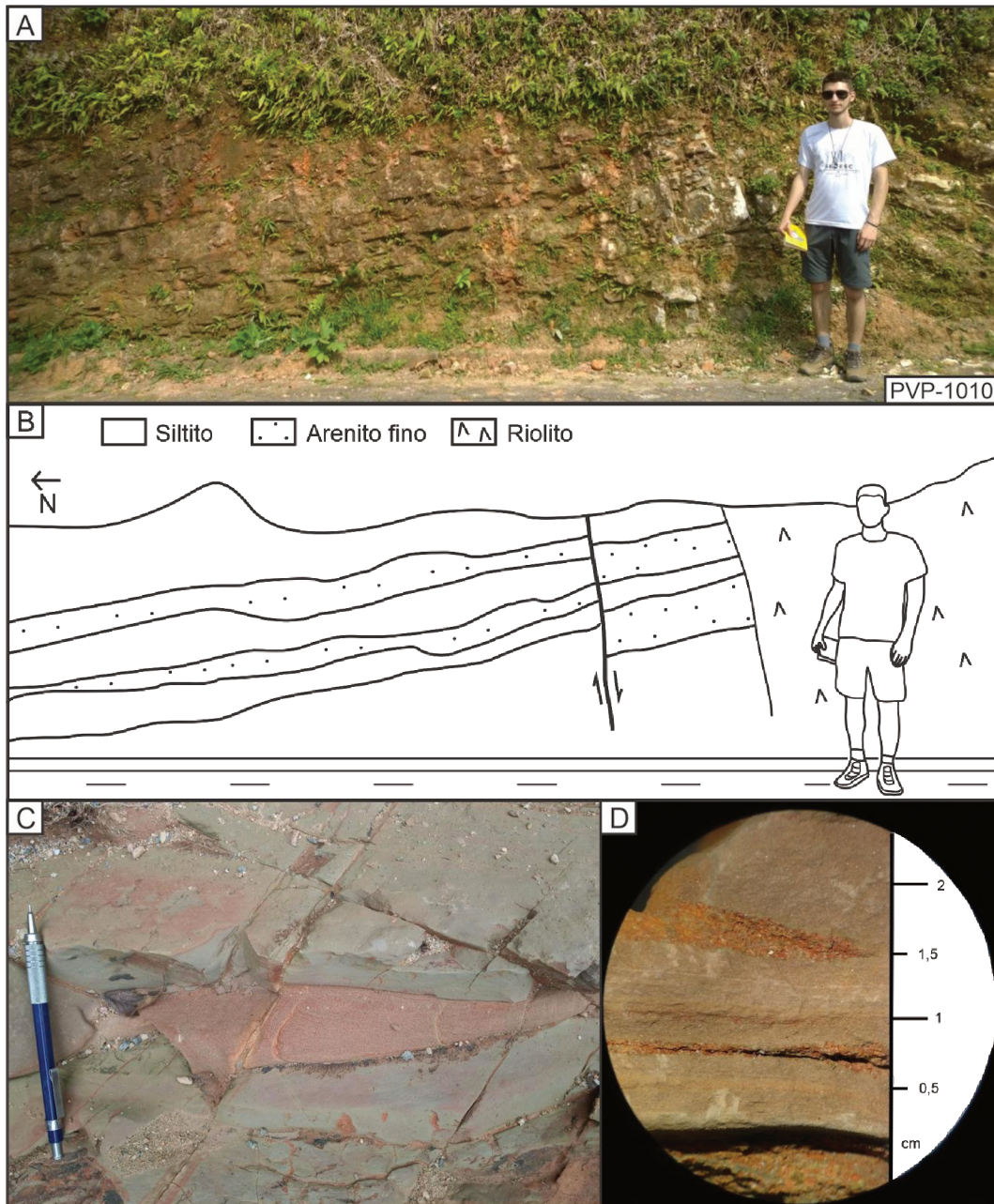


Figura 26: Litofácia Siltito. (A) Corte de estrada do ponto 1010; (B) Croqui mostrando a disposição das camadas, falha e corpo riolítico; (C) Detalhe de uma lente de arenito bordô em camadas de siltito (ponto 1032); (D) Detalhe de lente de arenito em siltito laminado. Fonte: Autor.

5.1.4. Formação Apiúna

Riolito

A região central da microbacia do Córrego Gebien é caracterizada pela ocorrência de rochas vulcânicas e sub-vulcânicas que ocorrem predominantemente em contato intrusivo com as camadas que constituem a litofácies de siltitos e representam 12,5% da área total (figura 27B). Ocorrem em afloramentos de corte de estrada, lajedo e leito de rio (figura 27A). As rochas vulcânicas são representadas por riolitos esbranquiçados, maciços e com textura porfirítica. São observados megacristais de quartzo e feldspato facetados, imersos em matriz afanítica, além de baixo teor de biotita (figura 27C). Secundariamente ocorrem rochas sub-vulcânicas com estrutura maciça, compostas por cristais de quartzo, K-feldspato e plagioclásio facetados, além de biotita em agregados lamelares e por vezes amoldando os demais minerais. Comumente apresentam textura alotriomórfica e equigranular fina e por vezes sacaróide ou porfirítica.



Figura 27: Riolito. (A) Afloramento de riolito em leito de rio (1002); (B) Amostra de mão do contato entre o riolito e o arenito fino, cinza (1026); (C) Detalhe em lupa da textura porfirítica do riolito. Fonte: Autor.

5.1.5. Sienogranito

A unidade granítica é observada na porção centro-sul da área mapeada, representa 8,28% do total e ocorre em afloramentos do tipo corte em barranco e corte de estrada (figura 28A). É constituída por sienogranitos com textura inequigranular seriada, isótipos, compostos por cristais tabulares de feldspato potássico, quartzo facetado e biotita em lamelas dispersas (figuras 28B e C).

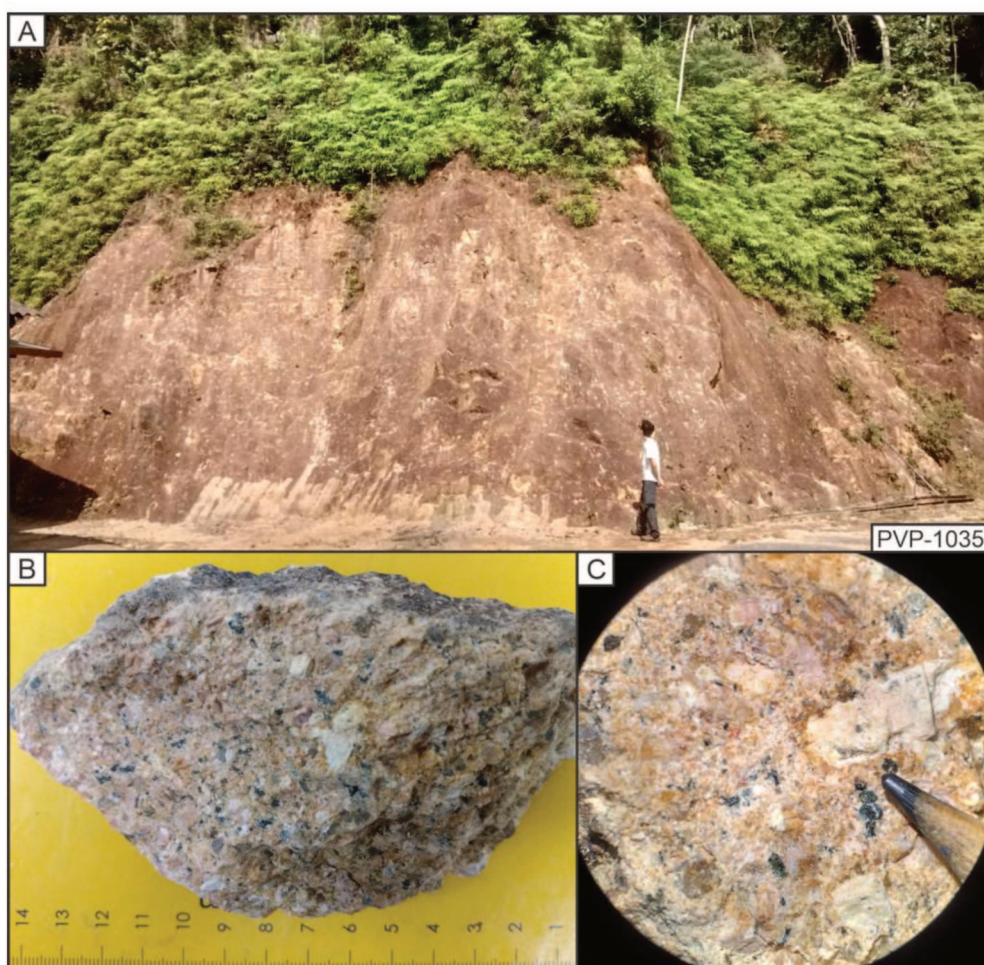


Figura 28: Sienogranito. (A) Afloramento corte em barranco (1035); (B) Amostra de mão do Sienogranito com textura inequigranular seriada. (C) Detalhe em lupa de cristal de feldspato tabular e lamelas de biotita. Fonte: Autor.

5.1.6. Dados Estruturais

5.1.6.1. Dados de campo

A análise dos dados coletados em campo evidenciou dois padrões estruturais distintos na área de estudo. As medidas de atitude dos planos de acamamento (So) revelou que nas litofácies de arenito os planos estão orientados principalmente entre N40E e N60E, mergulhando em média 60° para SE. Enquanto que na litofácia de siltito a maioria dos planos estão orientados entre N-S e N30E, mergulhando em média 30° para SE (figura 29).

Quanto aos padrões de fraturamento, a análise mostrou que as medidas dos planos de fratura que afetam as rochas sedimentares estão orientados a N35-80E e N10-80W, enquanto nos riolitos a N25-85E e N10-70W, com um componente N-S menos expressivo (figura 30 e 31). Além disso, foram coletadas medidas de falhas tanto nas litofácies de arenito como na de siltito. As falhas estão orientadas principalmente a NW-SE e secundariamente a E-W (figura 32). O movimento que desloca as camadas é tanto sinistral como dextral, com rejeitos centimétricos. A melhor exposição dessas estruturas pode ser observada no ponto PVP-1015, onde ocorre uma falha dextral no contato entre as litofácies de arenito fino e arenito muito fino (figura 33).

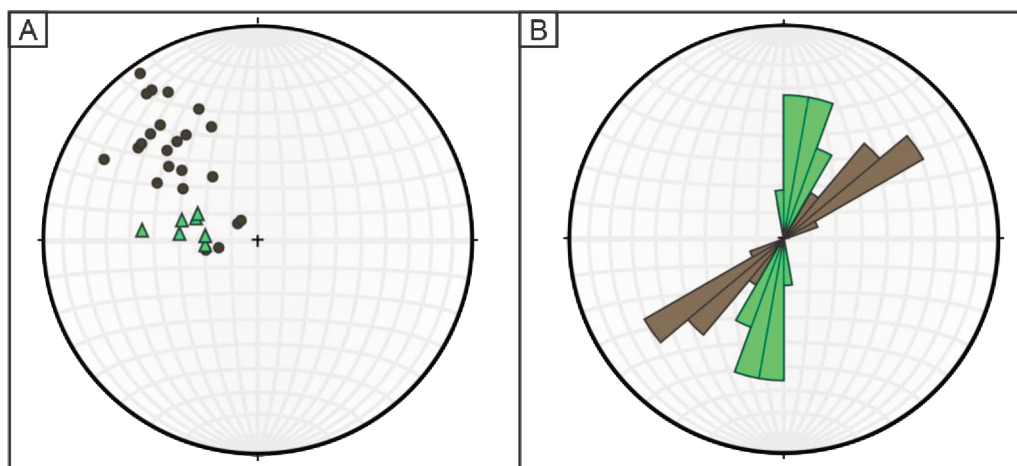


Figura 29: Estereograma com as medidas estruturais de acamamento das litofácies de arenito (em marrom) e siltito (em verde) (A) Pólos dos planos de acamamento; (B) Diagrama de rosetas indicando as orientações preferenciais dos planos. Fonte: Autor.

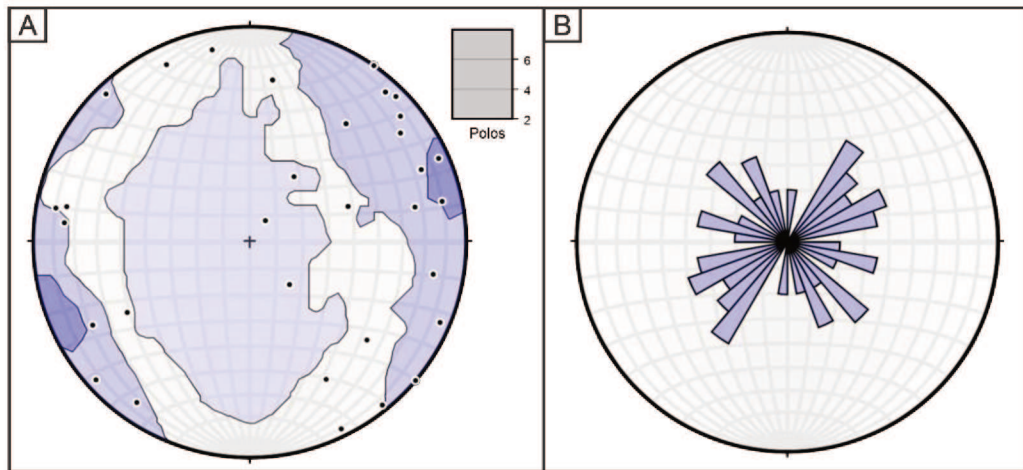


Figura 30: (A) Pólos dos planos de fratura nas rochas sedimentares; (B) Diagrama de rosetas indicando as orientações preferenciais dos planos. Fonte: Autor.

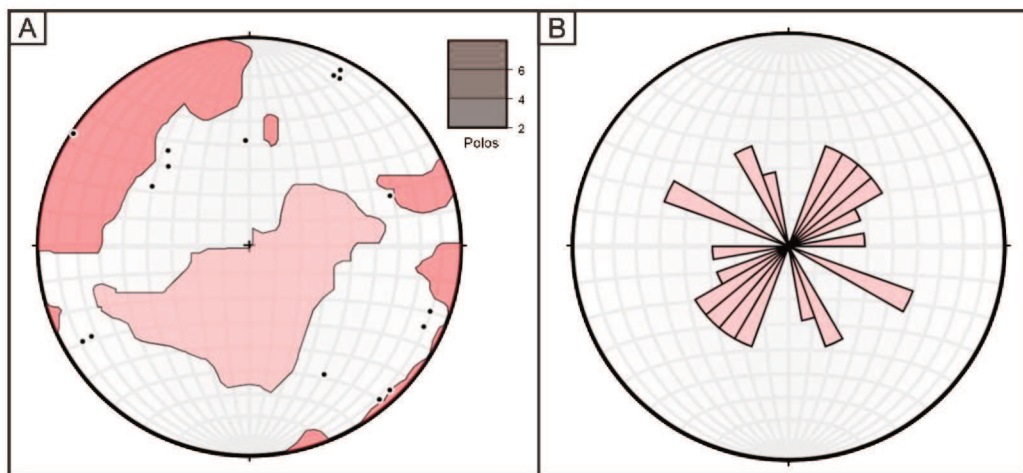


Figura 31: (A) Pólos dos planos de fratura no riolito; (B) Diagrama de rosetas indicando as orientações preferenciais dos planos. Fonte: Autor.

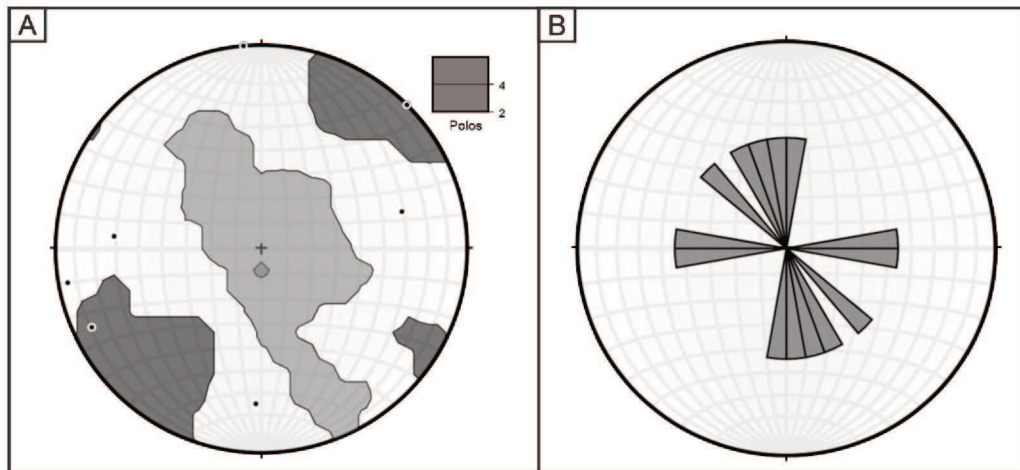


Figura 32: (A) Pólos dos planos de falha nas rochas sedimentares; (B) Diagrama de rosetas indicando as orientações preferenciais dos planos. Fonte: Autor.

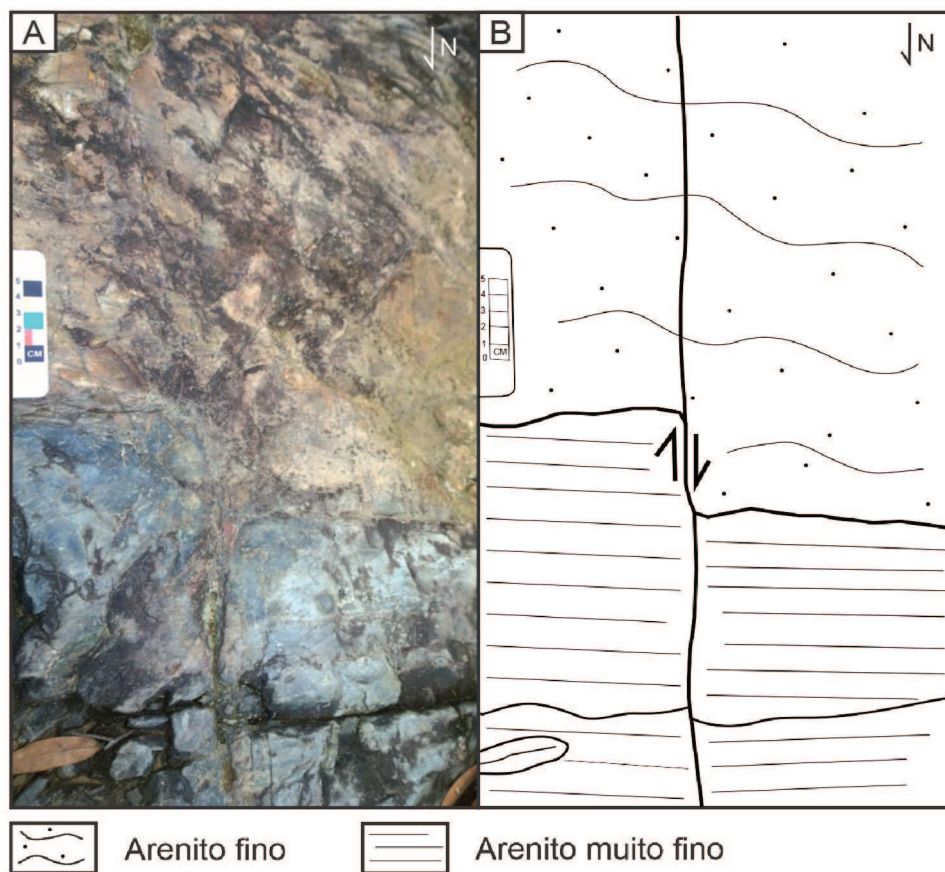


Figura 33: Detalhe de plano de falha com movimento dextral no contato entre as litofácies de arenito fino e arenito muito fino, ponto PVP - 1015. Fonte: Autor.

5.1.6.2. Fotointerpretação de Lineamentos

A análise dos mapas de lineamentos revelou os principais padrões estruturais da região sul do município de Blumenau e da área de estudo. Em escala de detalhe, os lineamentos extraídos apenas da área de estudo mostram que a orientação principal das estruturas é NO-SE (figuras 34 e 35), a qual é muito semelhante ao padrão de fraturamento e falhas observadas a partir dos dados de campo. Nas porções norte e noroeste da área mapeada as cristas são bem definidas e associadas a vales profundos, enquanto que nas regiões ao sul as cristas são menos proeminentes e os vales rasos. A área é cortada por um extenso lineamento negativo orientado a NE-SO com expressivos desvios abruptos orientados a NO-SE. Também foi observado que o contato entre a litofácies arenito fino e o riolito é de origem tectônica e controlado por um conjunto de falhas sinistrais orientadas a NW (figura 34b).

Em escala regional, o padrão observado é caracterizado por extensas cristas orientadas preferencialmente a NE-SO, que de acordo com os dados obtidos em campo correspondem aos acamamentos de rochas sedimentares, e vales profundos orientados principalmente a NO-SE (figuras 36 e 37). Por vezes são observados grandes lineamentos positivos seccionados e vales contínuos com desvios abruptos de direção.

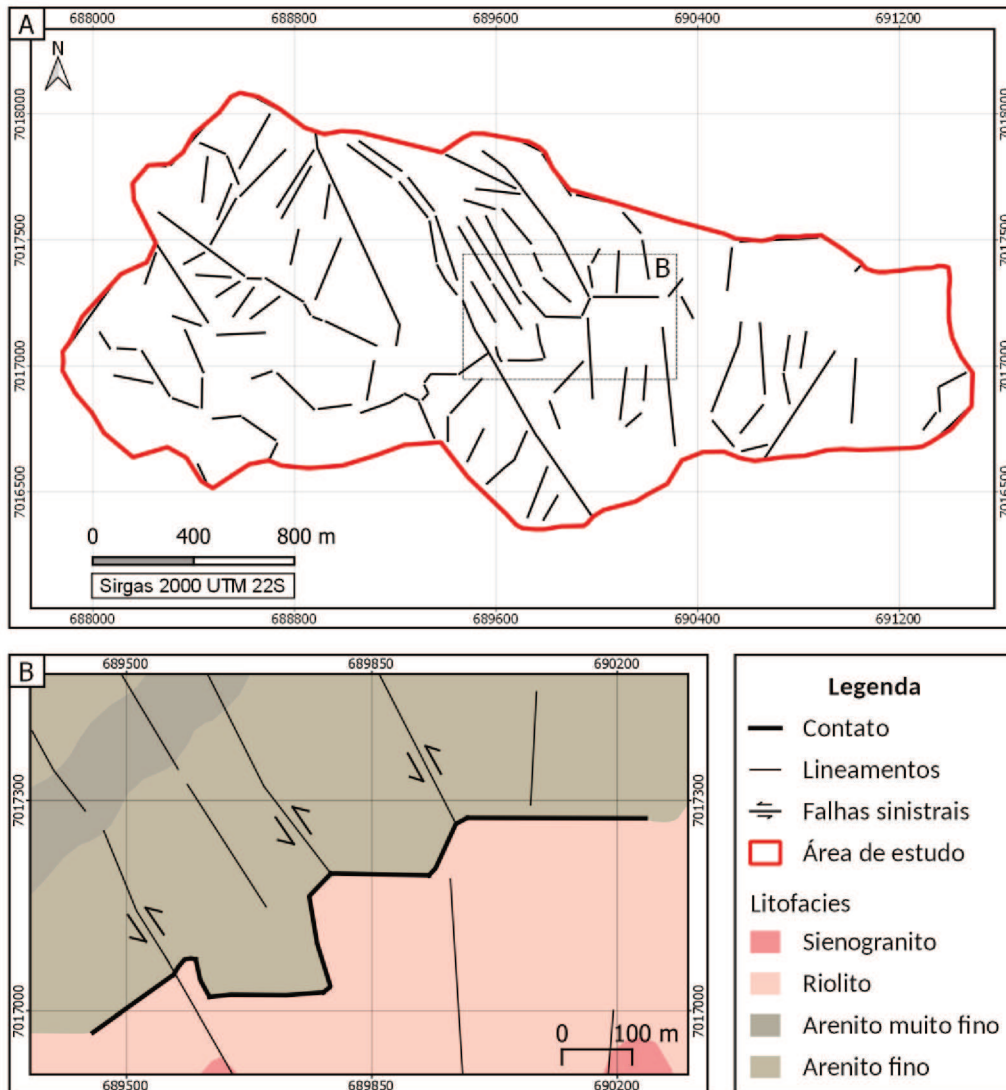


Figura 34: (A) Mapa de lineamentos da área de estudo. (B) Contato tectônico entre o riolito e o arenito fino. Fonte: Autor.

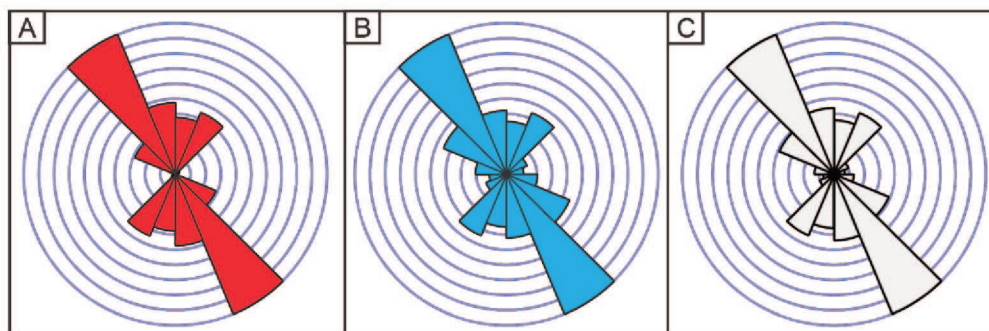


Figura 35: Estereogramas mostrando as orientações dos lineamentos locais. (A) Lineamentos positivos; (B) Lineamentos negativos; (C) Ambos. Fonte: Autor.

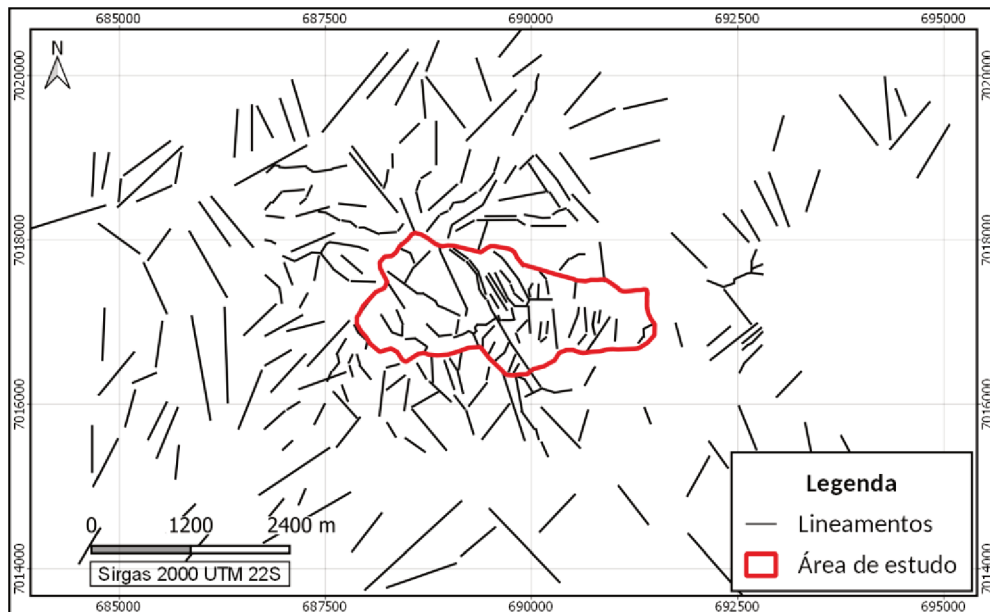


Figura 36: Mapa de lineamentos do entorno da área mapeada, em escala regional (1:50.000). Fonte:

Autor.

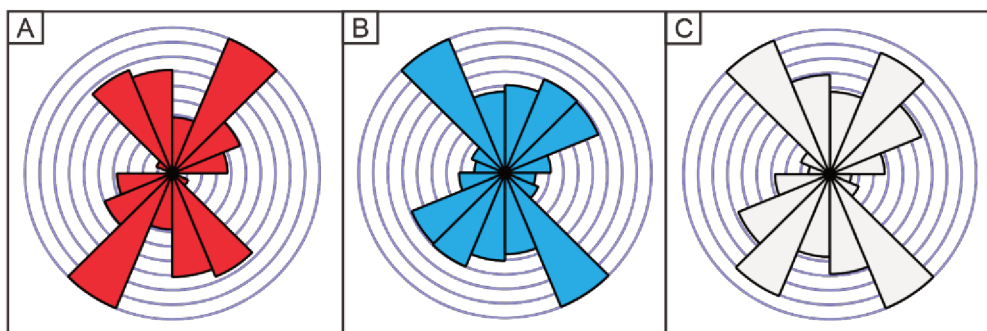


Figura 37: : Estereogramas mostrando as orientações dos lineamentos regionais. (A) Lineamentos positivos; (B) Lineamentos negativos; (C) Ambos. Fonte: Autor.

5.1.7. Mapa Geológico

Após a compilação e análise dos dados descritos anteriormente, foi elaborado o mapa geológico em escala 1:10.000 (figura 38). No mapa estão representadas as unidades litoestratigráficas mapeadas e a seção geológica esquemática que apresenta as relações de contato entre as unidades. Os pesos obtidos para o mapa geológico mostram que a classe com maior suscetibilidade a movimentos de massa (peso = 1,0) corresponde à litofácies de siltito, seguida pela litofácies de arenito muito fino (0,936), riolito (0,779) e arenito fino (0,632). As demais classes não apresentaram correlação (quadro 6).

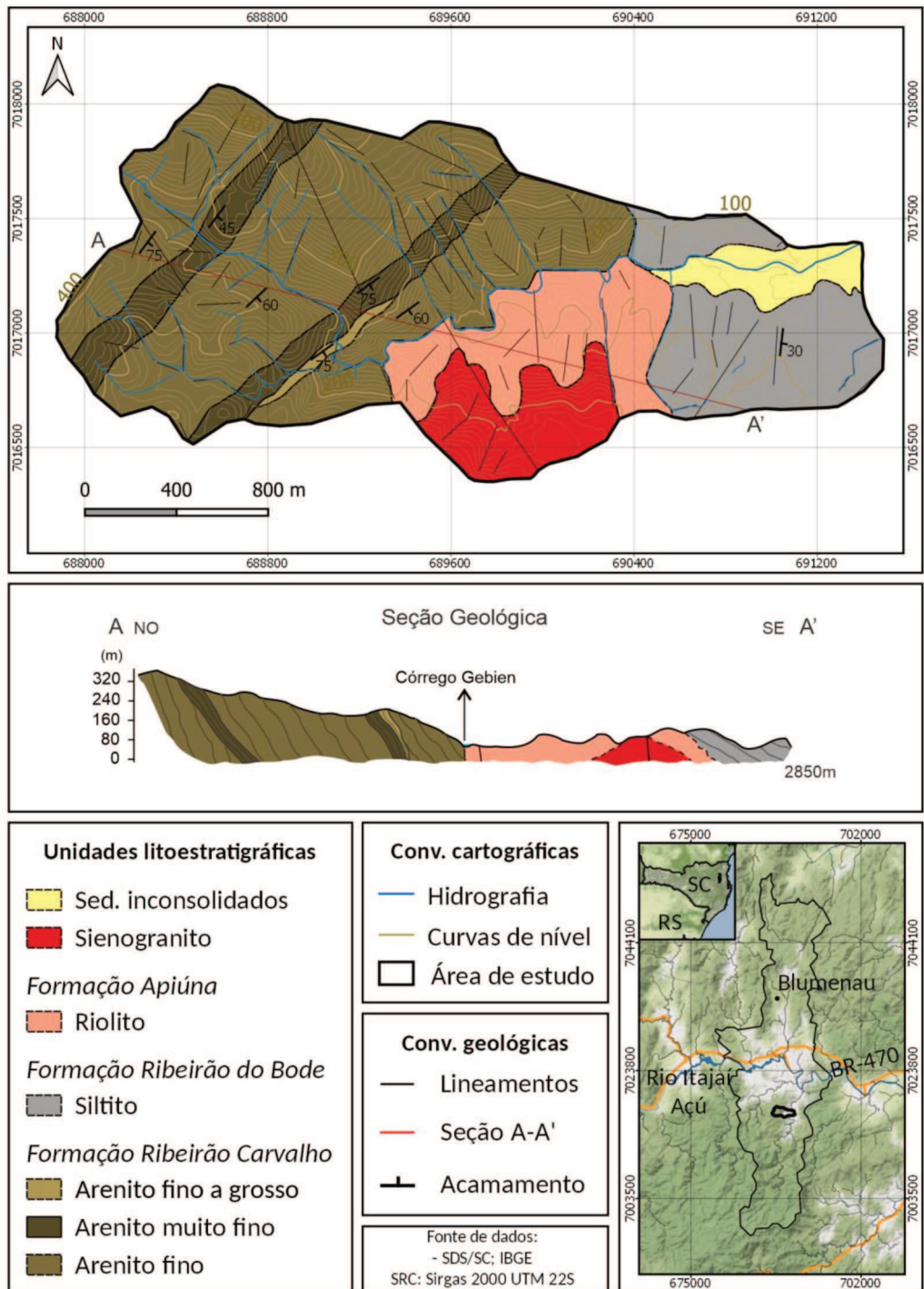


Figura 38: Mapa geológico da microbacia do Córrego Gebien. Fonte: Autor.

Quadro 6: Valores referentes à área, pontos do inventário e peso das classes de litologia. Fonte: Autor.

Fator Litologia						
Classes	Área (pixel)	Área (%)	Nº Movimentos de massa	Movimentos de massa (%)	Relação de frequência	Fuzzy membership
Sed. inconsolidados	162.873	4,25	0	0,00	0,000	0,0000
Sienogranito	317.517	8,28	0	0,00	0,000	0,0000
Riolito	479.570	12,50	7	14,89	1,191	0,7793
Siltito	587.255	15,31	11	23,40	1,528	1,0000
Arenito muito fino	399.257	10,41	7	14,89	1,431	0,9360
Arenito fino a grosso	30.189	0,79	0	0,00	0,000	0,0000
Arenito fino	1.858.503	48,46	22	46,81	0,966	0,6320
Total	3.835.164	100	47	100		

5.2. INVENTÁRIO DE MOVIMENTOS DE MASSA

O mapa de inventário revelou a existência de 41 pontos de movimentos de massa mapeados na área de estudo. Dentre eles, 37 foram mapeados pela Prefeitura Municipal de Blumenau, enquanto que outros 4 foram mapeados nas etapas de campo (figura 39). A análise dos pontos revelou que grande parte dos eventos ocorreram na porção central da área de estudo e em regiões próximas à área urbana. Dentre os pontos mapeados, foram identificados escorregamentos em cunha, com superfícies de ruptura que coincidiam com planos de fratura de siltitos e arenitos (figura 40 a, b, c), e translacionais.

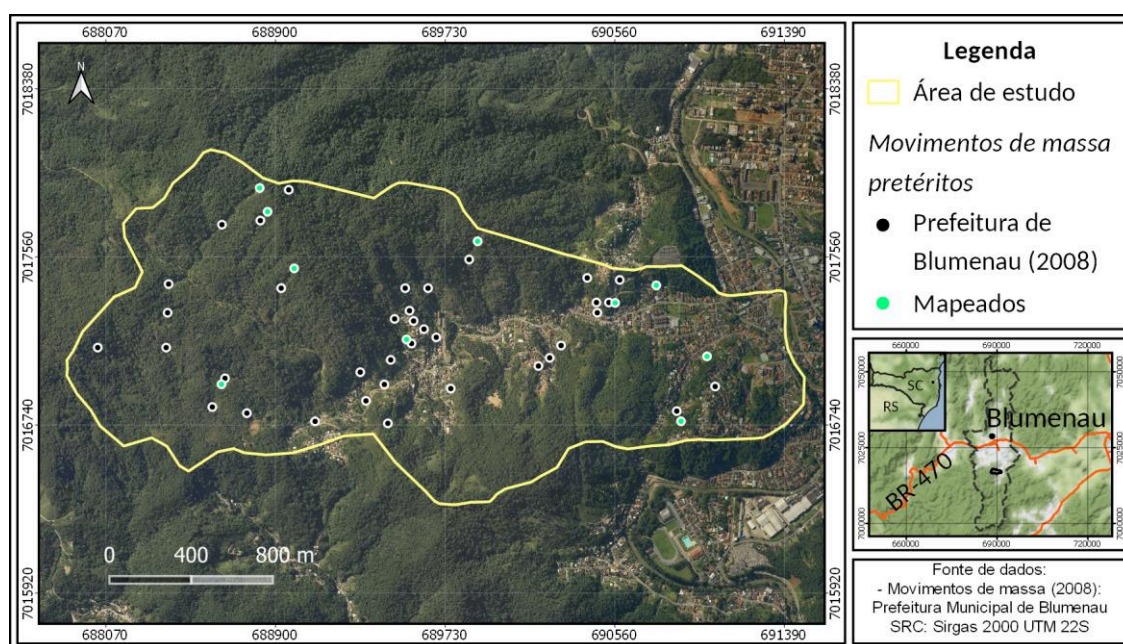


Figura 39: Mapa de pontos do inventário de movimentos de massa da PMB e mapeados. Fonte: Autor.

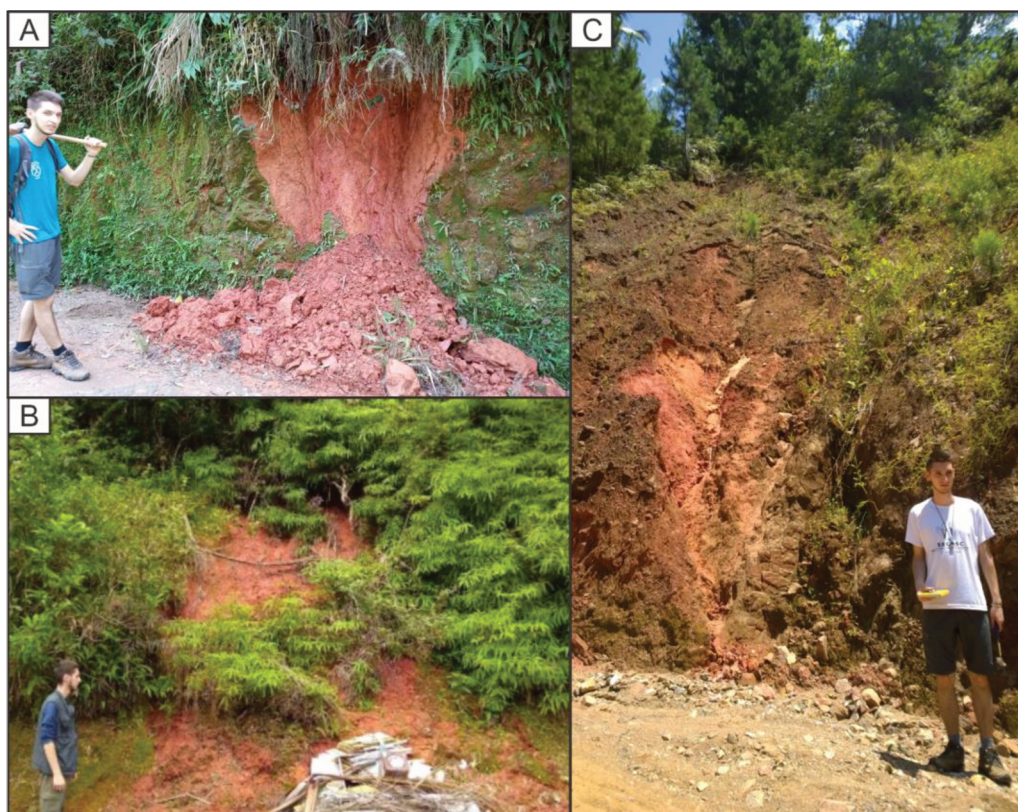


Figura 40: (A) Escorregamento em cunha em arenito fino, próximo ao ponto PVP-1005. (B) Escorregamento translacional em siltito, no ponto PVP-1041. (C) Deslizamento em cunha em siltito, no ponto PVP-1008. Fonte: Autor.

5.3. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Através do mapa de uso e ocupação do solo, foi observado que 76,78% da área de estudo corresponde à classe de vegetação natural, a qual cobre principalmente os setores oeste e centro-sul e é caracterizada pela vegetação densa, sem interferência antrópica. A área urbana representa 19,73% da área, se estende desde o setor leste até o central e corresponde às ocupações de origem antrópica, com predomínio de áreas residenciais. As áreas de vegetação secundária constituem 3,4% do total, ocorrem em todos os setores de forma dispersa e representam fitofisionomias em processo de regeneração. Esse processo regenerativo é identificado tanto após o uso antrópico da área (agricultura, pastagem, etc), como após processos de movimentação de massa, os quais resultam em cicatrizes na vegetação. As áreas de solo exposto somam 0,008% da área mapeada e representam regiões desmatadas com diferentes tipos de uso ou resultantes de movimentos de massa recentes que ocasionaram a perda da vegetação (figura 41).

As diferentes formas de uso e ocupação também foram observadas *in loco* durante as campanhas de campo. Nas áreas antropizadas que ocupam a porção centro-sul da área, foram observadas diversas ocupações em encostas íngremes e por vezes foram identificadas cicatrizes de deslizamentos em meio à vegetação e deslizamentos recentes. Foram identificados escorregamentos com superfície de ruptura em cunha relacionados à planos de fratura de siltitos e rastejo. Os pesos derivados do mapa mostram que a correlação máxima - igual a 1,0 - corresponde a classe de solo exposto. A classe de área urbana apresenta peso igual a 0,0178, enquanto que as classes de vegetação natural e secundária apresentam valores iguais a 0,0136 e 0, respectivamente (quadro 7).

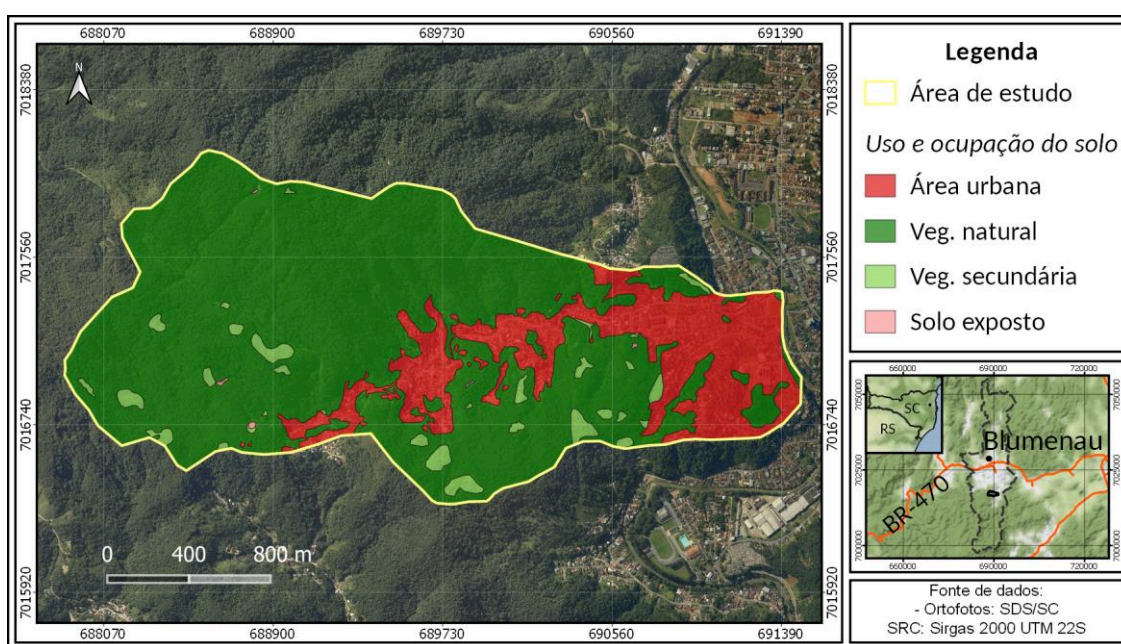


Figura 41: Mapa de uso e ocupação do solo da área de estudo. Fonte: Autor.

Quadro 7: Valores de área, pontos do inventário e peso das classes de uso e ocupação do solo. Fonte: Autor.

Fator Uso e ocupação do solo						
Classes	Área (pixel)	Área (%)	Nº Movimentos de massa	Movimentos de massa (%)	Relação de frequência	Fuzzy membership
Vegetação natural	2.944.796	76,78	35	74,47	0,970	0,0136
Vegetação secundária	130.556	3,40	1	2,13	0,625	0,0000
Solo exposto	3.130	0,08	1	2,13	26,070	1,0000
Área urbana	756.697	19,73	10	21,28	1,078	0,0178
Total	3.835.179	100	47	100		

5.4. DISTÂNCIA DOS LINEAMENTOS

O mapa elaborado a partir dos contornos de distâncias dos lineamentos mostra que 58,52% da área de estudo corresponde às classes de 50 metros, o que evidencia uma alta densidade e proximidade de lineamentos na microbacia do Córrego Gebien. Enquanto que os 41,48% restantes representam distâncias superiores a 50 metros (figura 42 e quadro 8).

Os valores obtidos no quadro 8 revelam que as classes com maior suscetibilidade correspondem às distâncias de 50 metros (peso igual a 1,0). As demais classes apresentam valores gradativamente menores à medida que aumentam as distâncias (100m com peso igual a 0,5208 e 150m igual a 0,1754). Além disso, foi verificado que para distâncias superiores a 150 metros o peso é nulo e portanto não apresentam influência na suscetibilidade a movimentos de massa.

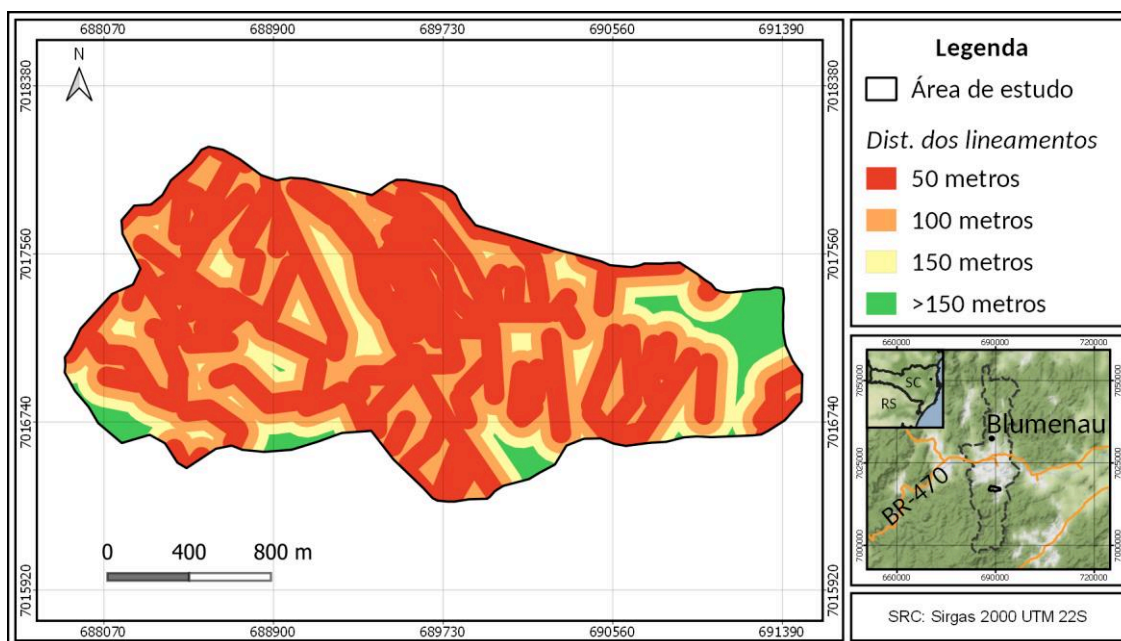


Figura 42: Mapa de distância dos lineamentos. Fonte: Autor.

Quadro 8: Valores de área, pontos do inventário e peso das classes de distância dos lineamentos. Fonte: Autor.

Fator Distância dos lineamentos						
Classes	Área (pixel)	Área (%)	Nº Movimentos de massa	Movimentos de massa (%)	Relação de frequência	Fuzzy membership
50m	2.244.303	58,52	37	78,72	1,35	1,0000
100m	1.048.292	27,33	9	19,15	0,70	0,5208
150m	345.810	9,02	1	2,13	0,24	0,1754
>150m	196.774	5,13	0	0,00	0,00	0,0000
Total	3.835.179	100	47			

5.5. DECLIVIDADE

A partir do mapa de declividade foram obtidas 16 classes, sendo que o intervalo de inclinação do terreno predominante é de 40 a 45%, o qual representa 9,92% da área total (figura 43). A microbacia do Córrego Gebien é caracterizada por valores de declividade mais acentuados nas regiões central e noroeste - onde ocorrem as rochas das litofácies de arenito fino, muito fino e riolito - que contrastam com valores menores na porção leste, onde predomina a litofácie de siltitos e o relevo é menos acidentado. Além disso, foi verificado que 70,91% da área de estudo correspondem a terrenos com declividade superior a 30% e estão situados em regiões consideradas de risco (Lei Federal nº 9785 de 1999). Pelos valores obtidos também foi possível determinar que o relevo que predomina é fortemente ondulado a montanhoso e corresponde às classes de declividade superiores a 20%.

Os pesos calculados para os intervalos de declividade mostram que terrenos com inclinação inferior a 30% não apresentam peso significativo com a ocorrência de movimentos de massa (quadro 9). Por outro lado, a suscetibilidade aumenta gradativamente em terrenos com inclinação superior a 30%, onde foram mapeados 97,87% das ocorrências de movimentos de massa, e alcança os valores mais críticos nos intervalos entre 70 a 75% (peso igual a 0,98) e superior a 75% (igual a 1,0).

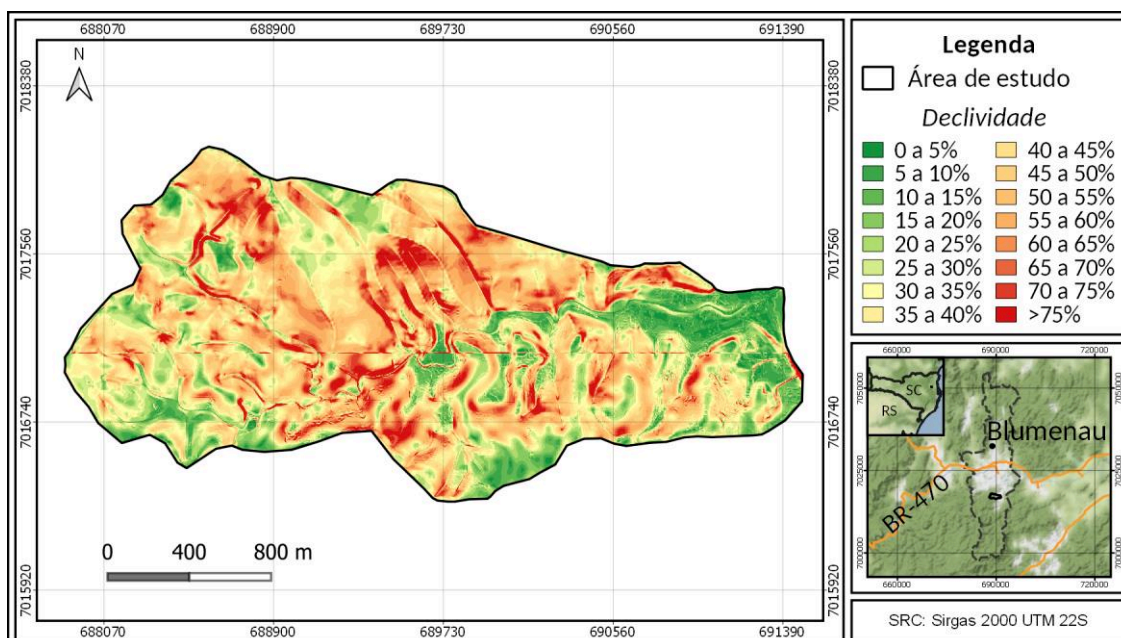


Figura 43: Mapa de declividade. Fonte: Autor.

Quadro 9: Valores de área, pontos do inventário e peso das classes de declividade. Fonte: Autor.

Fator Declividade						
Classes	Área (pixel)	Área (%)	Nº Movimentos de massa	Movimentos de massa (%)	Relação de frequência	Fuzzy membership
0 a 5%	56.859	1,48	0	0,00	0,00	0,0000
5 a 10%	151.179	3,94	0	0,00	0,00	0,0000
10 a 15%	177.418	4,63	1	2,13	0,46	0,0890
15 a 20%	200.940	5,24	0	0,00	0,00	0,0000
20 a 25%	241.371	6,29	0	0,00	0,00	0,0000
25 a 30%	286.382	7,47	0	0,00	0,00	0,0000
30 a 35%	327.914	8,55	1	2,13	0,25	0,0482
35 a 40%	353.265	9,21	1	2,13	0,23	0,0447
40 a 45%	380.559	9,92	6	12,77	1,29	0,2490
45 a 50%	365.132	9,52	5	10,64	1,12	0,2163
50 a 55%	363.416	9,48	7	14,89	1,57	0,3042
55 a 60%	305.215	7,96	1	2,13	0,27	0,0518
60 a 65%	218.398	5,69	6	12,77	2,24	0,4339
65 a 70%	152.125	3,97	3	6,38	1,61	0,3115
70 a 75%	97.067	2,53	6	12,77	5,04	0,9763
sup. 75%	157.952	4,12	10	21,28	5,17	1,0000
Total	3.835.192	100	47			

5.6. DOMÍNIOS ESTRUTURAIS

O mapa de domínios estruturais revelou a compartimentação da área de estudo quanto às suas características estruturais das diferentes unidades litoestratigráficas identificadas no mapa geológico. O Domínio 1 constitui 59,75% da área e foi delimitado por compreender rochas sedimentares com ângulo de mergulho entre 45° e 75°, pertencentes às litofácies de arenito fino, muito fino e fino a grosso. O Domínio 2 representa 15,28% da área e é constituído por rochas sedimentares com ângulo de mergulho entre 15° e 40°, da litofície de siltitos. O Domínio 3 representa 20,71% da área e compreende riolitos e sienogranitos isotrópicos. Enquanto que o Domínio 4 compreende 4,27% e representa o depósito quaternário (figura 44). Os pesos derivados das classes mostram que a suscetibilidade a movimentos de massa é maior (peso = 1) em rochas sedimentares com baixo a médio ângulo de mergulho (domínio 2), quando comparadas às rochas com médio a alto ângulo de mergulho (domínio 1, com peso = 0,632). O domínio 3 apresenta peso igual a 0,47, enquanto que o domínio 4 apresenta peso nulo (quadro 10).

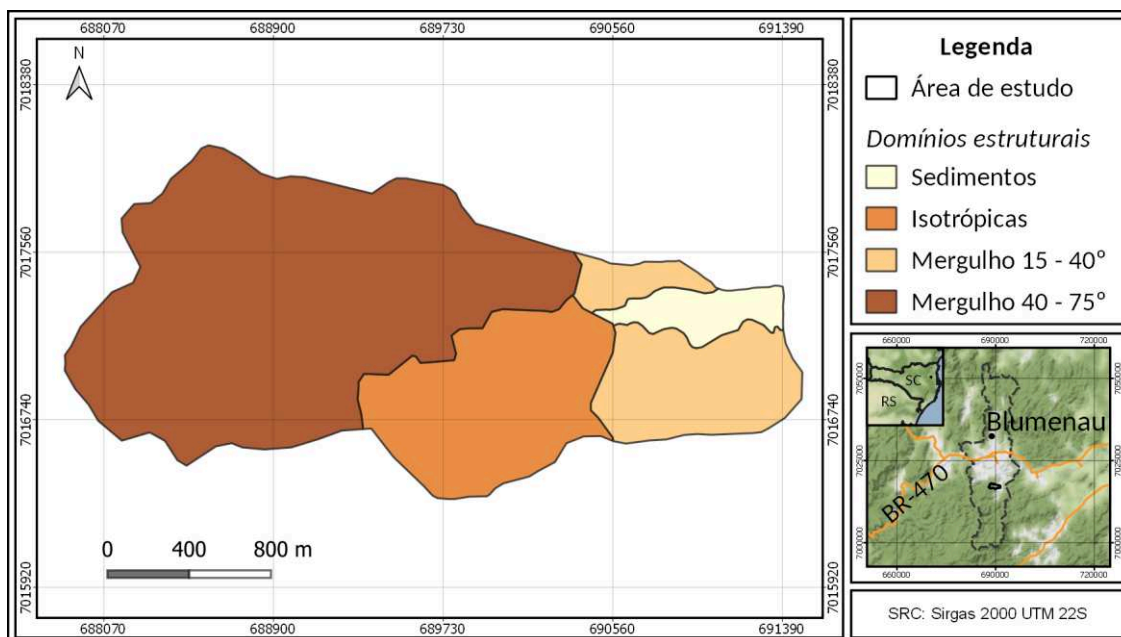


Figura 44: Mapa de domínios estruturais. Fonte: Autor.

Quadro 10: Valores de área, pontos do inventário e peso das classes de domínios estruturais. Fonte: Autor.

Fator Domínios estruturais						
Classes	Área (pixel)	Área (%)	Nº Movimentos de massa	Movimentos de massa (%)	Relação de frequência	Fuzzy membership
Mergulho entre 45° e 75°	2.291.351	59,75	29	61,70	0,968	0,6322
Mergulho entre 15° e 40°	585.997	15,28	11	23,40	1,532	1,0000
Isotrópicas	794.214	20,71	7	14,89	0,719	0,4695
Sed. inconsolidados	163.617	4,27	0	0	0	0
Total	3.835.179	100,00	47	100,00		

5.7. DISTÂNCIA DA ÁREA URBANA

O mapa de distância da área urbana mostra que a classe 0 metros constitui 8,31% em área e representa o perímetro da área urbana. As classes de 10, 20 e 30 metros representam o raio que compreende as respectivas distâncias a partir do limite do perímetro urbano e constituem 9,19%, 7,48% e 5,62% da área de estudo, respectivamente. Já a classe de distância superior a 30 metros compreende as demais regiões e representa 69,4% da área (figura 45).

Os dados apresentados no quadro 11 evidenciam que a maior parte das ocorrências de movimentos de massa (51,06%) estão situados entre as distâncias de 10 e 30 metros. Além disso, os pesos obtidos para as classes revelam que as distâncias de 10, 20 e 30 metros apresentam valores semelhantes. No entanto, foi observado que a distância que representa a maior suscetibilidade se dá a 20 metros da área urbana (peso = 1,0). Também foi evidenciado

que a distância de 30 metros apresenta peso igual a 0,8592 e é mais relevante quando comparada à distância de 10 metros, que possui peso igual a 0,7675. Os menores pesos correspondem às classes de 0 metros e superior a 30 metros, com valores iguais a 0 e 0,0643, respectivamente.

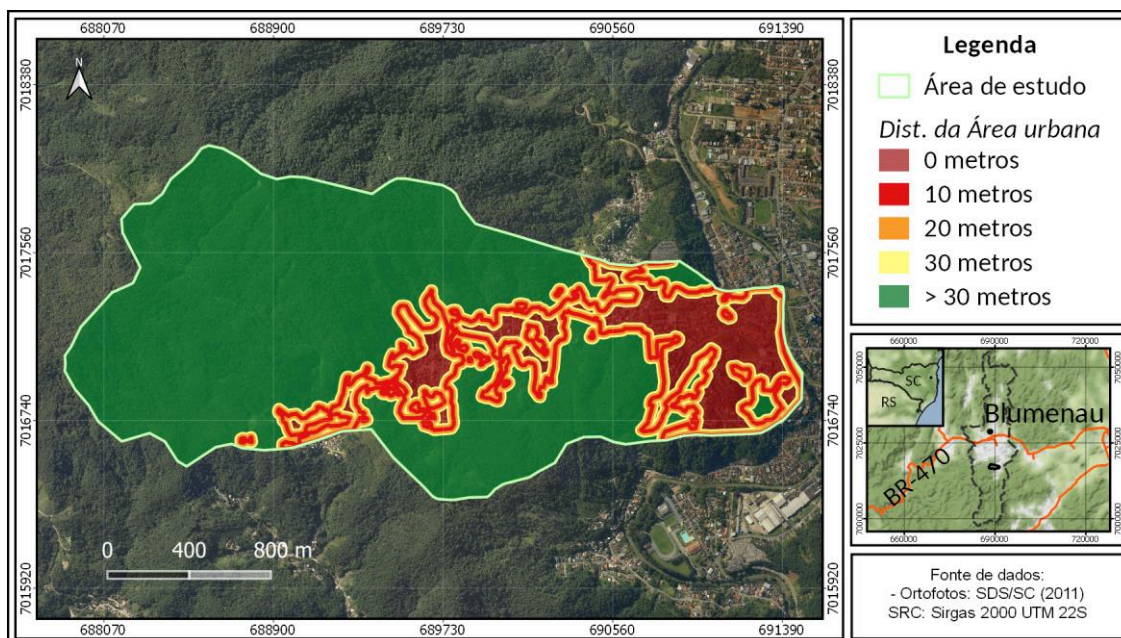


Figura 45: Mapa de distância da área urbana. Fonte: Autor.

Quadro 11: Valores de área, pontos do inventário e peso das classes de distância da área urbana. Fonte: Autor.

Fator Distância da área urbana						
Classes	Área (pixel)	Área (%)	Nº Movimentos de massa	Movimentos de massa (%)	Relação de frequência	Fuzzy membership
0 metros	318.616	8,31	2	4,26	0,512	0,0000
10 metros	352.471	9,19	9	19,15	2,084	0,7675
20 metros	286.913	7,48	9	19,15	2,560	1,0000
30 metros	215.553	5,62	6	12,77	2,271	0,8592
>30 metros	2.661.626	69,40	21	44,68	0,644	0,0643
Total	3.835.179	100	47	100		

5.8. MAPA DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA

Três mapas de suscetibilidade a movimentos de massa - com valores de γ 0.75, 0.8 e 0.9 - foram gerados com o índice de suscetibilidade a movimentos de massa (ISSM) e

divididos em cinco classes de probabilidade a ocorrência de tais eventos: muito baixa, baixa, média, alta. Foi observado que a área classificada como muita baixa suscetibilidade é pouco expressiva em todos os mapas elaborados e representa 9,77% (*gamma* 0.75), 11,86% (*gamma* 0.8) e 3,48% (*gamma* 0.9) da microbacia do Córrego Gebien. As regiões de baixa suscetibilidade são mais expressivas quando *gamma* = 0.8 e representam 54,41% do total, enquanto que nos demais mapas correspondem a 44,55% (*gamma* 0.75) e 16,84% (*gamma* 0.9). A classe de média suscetibilidade é predominante quando *gamma* = 0.9, com 49,6% do total, enquanto que nos demais mapas representa 29,25% (*gamma* 0.75) e 17,18% (*gamma* 0.8). As áreas de alta suscetibilidade ocorrem em maior número quando *gamma* = 0.9, no qual correspondem a 21,72% do total, ao passo que nos outros mapas elaborados representam 11,22% (*gamma* 0.75) e 10,16% (*gamma* 0.8). A classe mais crítica, correspondente a muito alta suscetibilidade, constitui uma pequena fração da área de estudo e é mais abundante quando *gamma* = 0.9, onde representa 8,36%, enquanto que nos demais mapas constitui 5,21% (*gamma* 0.75) e 6,39% (*gamma* 0.8).

A etapa de validação revelou que o mapa que melhor se ajustou ao modelo de análise corresponde ao valor *gamma* = 0.75 e apresenta AUC = 0.729, que representa uma acurácia de 72.9% do método aplicado na elaboração do mapa. Os demais valores de *gamma*, 0.8 e 0.9, possuem acurácia inferior e igual a 72,5% e 67,2%, respectivamente (figura 48). O mapa de suscetibilidade elaborado com *gamma* = 0.75 mostra que as áreas de suscetibilidade muito baixa se distribuem principalmente nas regiões dos extremos leste e sul (figura 49). As regiões de baixa suscetibilidade predominam e estão distribuídas nas porções centro-sul e oeste. Os terrenos com média suscetibilidade se estendem principalmente pelas regiões norte e oeste. As regiões categorizadas como alta suscetibilidade estão situadas em maior número nas porções central e leste. Enquanto que as áreas como muito alta suscetibilidade a movimentos de massa constituem as regiões com maior probabilidade de ocorrência de movimentos de massa e estão concentradas em quatro setores das porções central e leste (figura 49).

A partir desse mapa foram identificadas quatro regiões críticas, onde se concentram a maior parte das áreas de alta e muito alta suscetibilidade a movimentos de massa. A primeira região se localiza na porção sudeste da microbacia do Córrego Gebien, onde foi observado que as ruas Vilmar Neves, Francisco Stiehler, Guanabara, Cedro Alto, Josephina Zendron e Manoel Claudino da Costa se situam em uma expressiva região de muito alta suscetibilidade (figura 49b). A segunda região identificada está situada no extremo sudoeste da microbacia, onde se localizam as ruas Centenário, Palmares, Manoel Salvador e Capitão Corrêa de Lima

(figura 49c). A terceira região está localizada na porção central da área de estudo e compreende as ruas Blandina M. Compiani, Valéria Hostins, Antônio Zendron, Antônio Lopes e Oscar Burger (figura 49d). A quarta e última região crítica identificada compreende uma pequena área da porção nordeste da microbacia do Córrego Gebien, onde estão localizadas as ruas Raulino Naumann, Bento Reginaldo Leite, José T. do Prado, Cidade de Gramado e Marcirio Rauen (figura 49e).

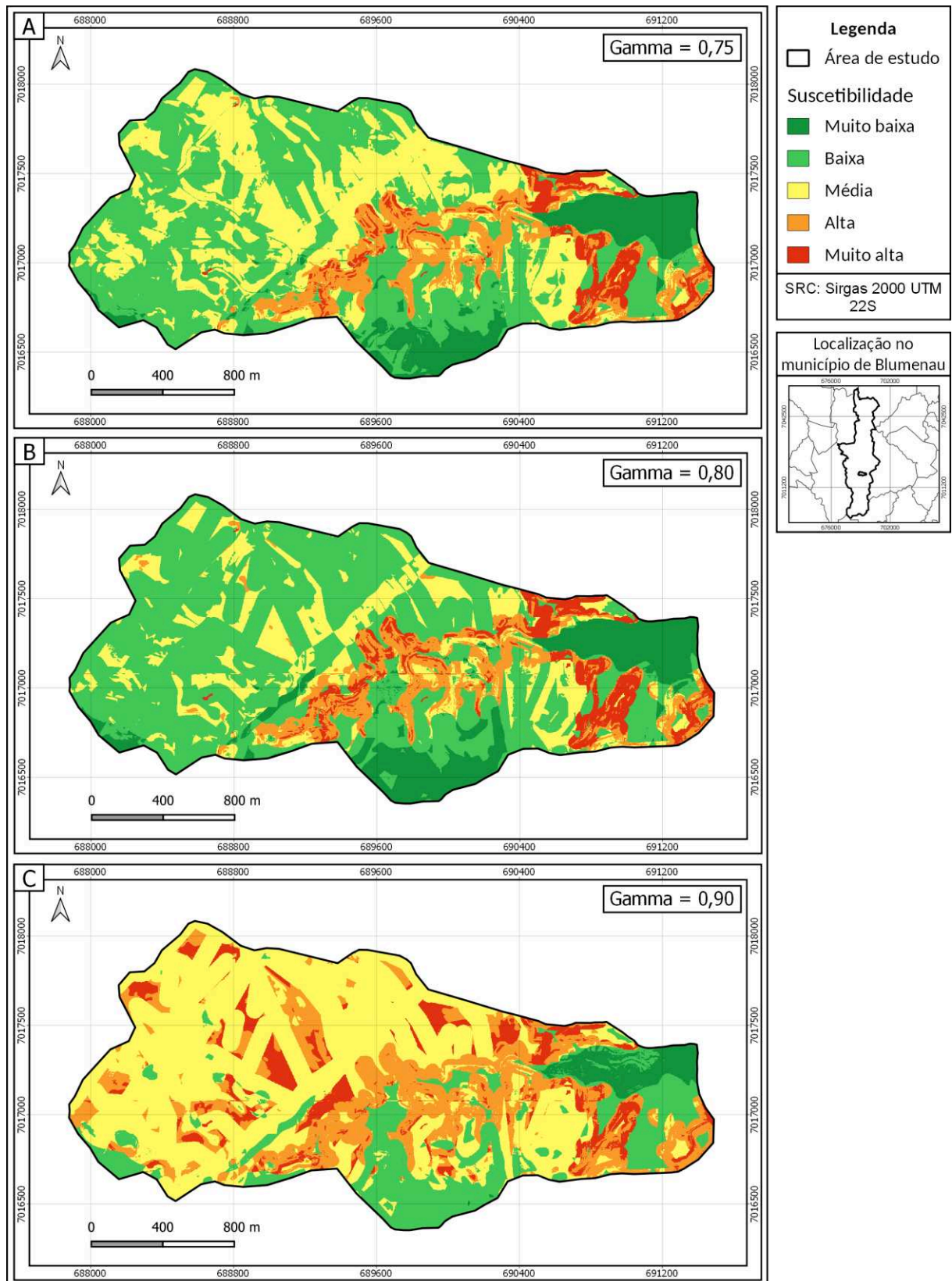


Figura 46: Mapas de suscetibilidade a movimentos de massa gerados com diferentes valores de gamma. (A) gamma = 0,75. (B) gamma = 0,8. (C) gamma = 0,9. Fonte: Autor.

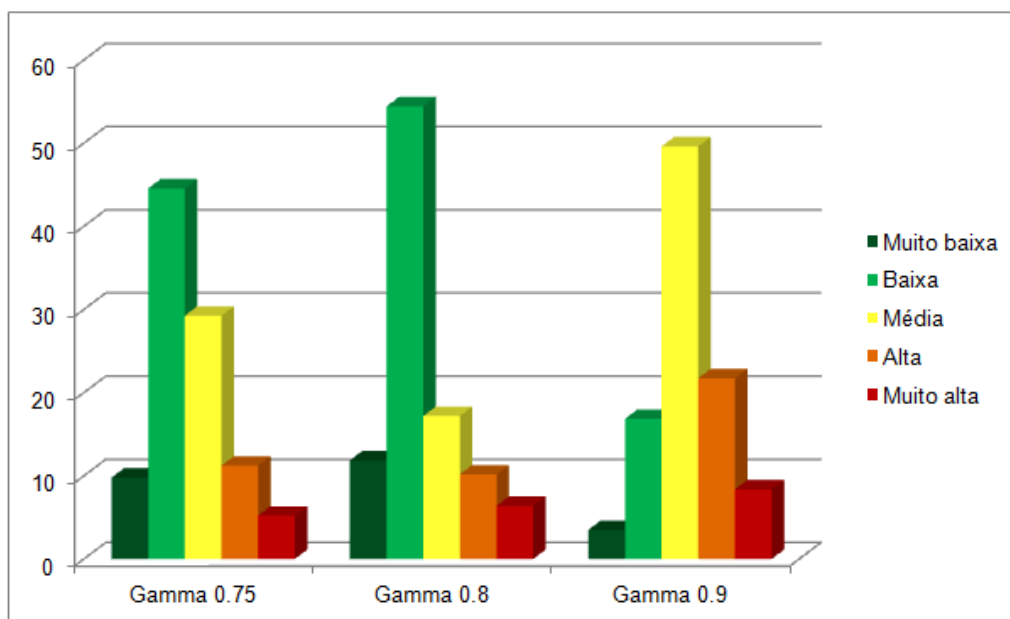


Figura 47: Porcentagem de área de cada classe dos três mapas de suscetibilidade a movimentos de massa.

Fonte: Autor.

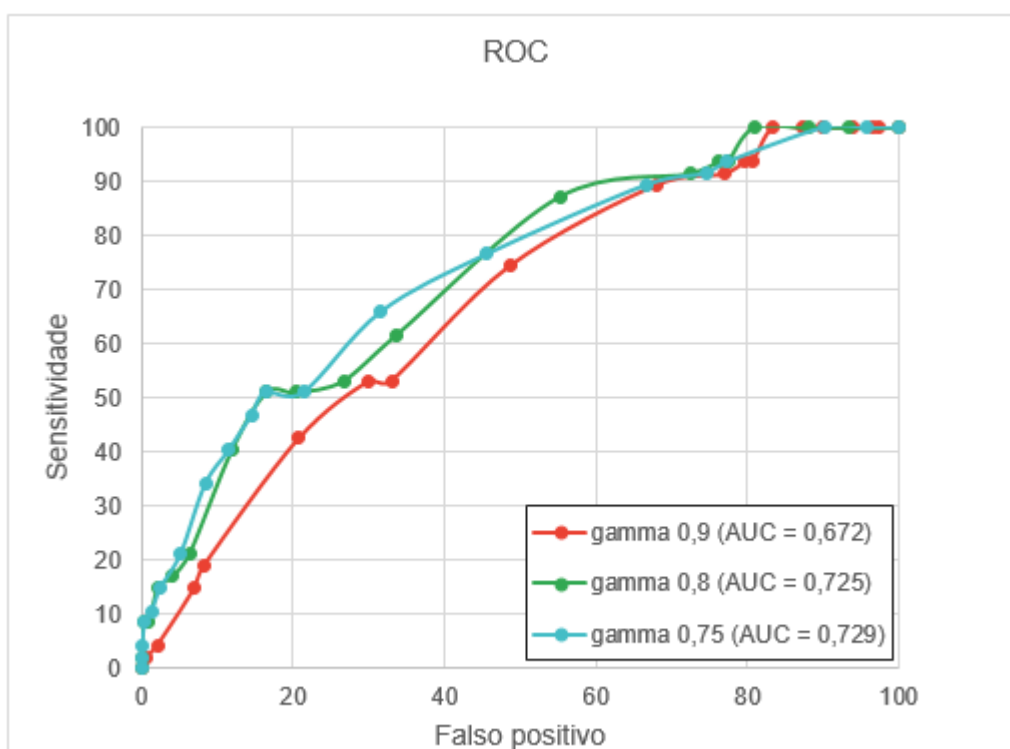


Figura 48: Curva ROC e AUC geradas para os mapas gamma 0.75, 0.8 e 0.9. Fonte: Autor.

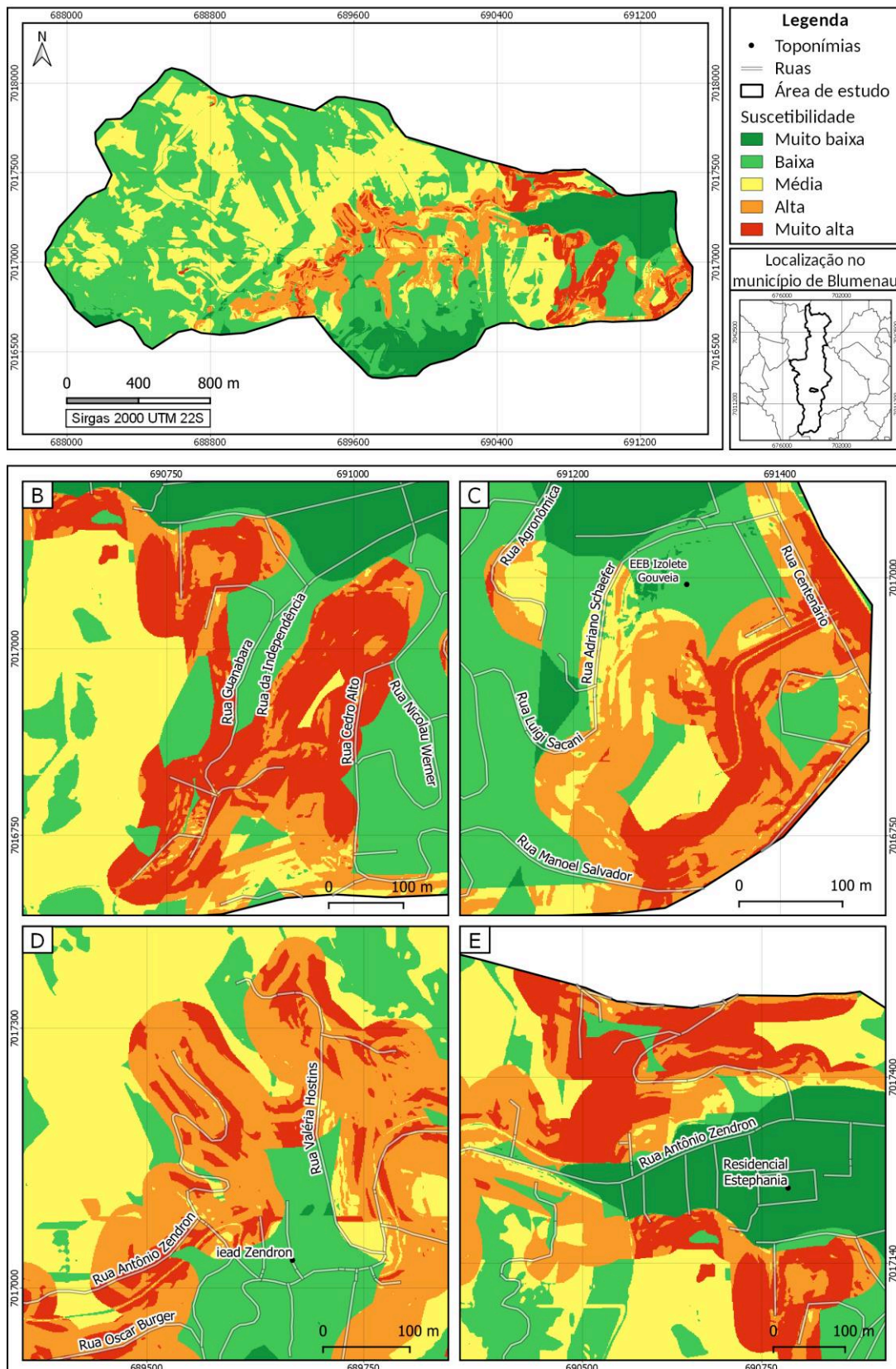


Figura 49: (A) Mapa de suscetibilidade a movimentos de massa (gamma 0.75). (B) Região com alta a muito alta suscetibilidade na porção sudeste. (C) Região de alta suscetibilidade na porção nordeste. (D) Região com alta suscetibilidade na porção central. (E) Região com alta suscetibilidade na porção centro-sul. Fonte: Autor.

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os dados litológicos, obtidos em escala de detalhe para o fator litologia, confirmam a ocorrência de rochas sedimentares das Formações Ribeirão do Bode e Ribeirão Carvalho e revelam a existência de um expressivo corpo riolítico (Formação Apiúna) e sienogranítico, antes não mapeados na região da área de estudo, de acordo com o mapa de Pozzobon (2013; figura 15). As características petrográficas do sienogranito sugerem que essa litologia está associada ao magmatismo cambriano tardio do Granito Subida, que afetou as rochas neoproterozoicas sedimentares. Além disso, a ponderação das classes que compõe o mapa geológico indica que as unidades litoestratigráficas com maior suscetibilidade a movimentos de massa correspondem às rochas sedimentares das Formações Ribeirão do Bode e Ribeirão Carvalho e possuem menor granulometria quando comparadas às menos suscetíveis.

A partir dos pesos obtidos para o mapa geológico, foi observado que o riolito apresenta um peso expressivo e maior do que a litofÁCIE de arenito fino, para a qual era esperado um valor maior. Isso sugere que o produto de alteração das rochas riolíticas - cuja composição é predominantemente argilosa devido ao alto grau de intemperismo observado - torna essa litologia suscetível à movimentação de massa. Além disso, o valor obtido para o sienogranito comprova que o aumento da granulometria e o tipo de rocha está relacionado à diminuição da suscetibilidade, uma vez que o peso calculado é nulo.

Quanto aos dados estruturais obtidos, as orientações preferenciais dos planos de acamamento (NW-SE), fraturamento (NE-SW e NW-SE) e falhas (NW-SE) que afetam as litologias descritas, é concordante com os trabalhos de Basei (1985), Rostirolla (1991) e Schroeder (2006). O padrão de planos de acamamento com alto ângulo de mergulho observado nas litofÁCIES arenito fino, muito fino e fino a grosso, confirma um forte controle estrutural sobre as rochas das Formações Ribeirão do Bode e Ribeirão Carvalho e comprova a influência desse fator na análise de suscetibilidade a movimentos de massa.

A ponderação dos domínios estruturais indica que os fatores litologia e uso e ocupação do solo atuam em conjunto a ele para que o Domínio 2 tenha o maior peso, uma vez que o valor esperado para o Domínio 1 era máximo, devido ao alto ângulo de mergulho das rochas que o compõe. Além disso, o peso calculado para riolitos e sienogranitos demonstrou que a ausência de deformação nessas rochas as torna menos suscetível aos processos de movimentação de massa quando comparadas às rochas sedimentares.

Além disso, a análise dos lineamentos traçados revelou que o padrão geométrico de falhas sinistrais orientadas a NW, que marca o contato entre as litofÁCIES arenito fino e riolito,

na região central da microbacia, é muito semelhante ao observado por Schroeder (2006; figura 18) e coincide com uma área de alta e muito alta suscetibilidade na região central da microbacia do Córrego Gebien, identificada na figura 49d. Isso, somado ao fato do mapa de distância dos lineamentos mostrar a relação direta entre proximidade das estruturas e aumento da suscetibilidade, comprova a influência dos fatores estruturais como condicionantes a movimentos de massa na área de estudo.

Quanto às características de uso e ocupação do solo, foi analisado que a suscetibilidade é maior em locais onde houve remoção da cobertura vegetal, seja por origem antrópica (área urbana) e/ou por movimentos de massa recentes (solo exposto). Além disso, as regiões de vegetação secundária apresentam peso menor em relação à vegetação natural, onde era esperada o menor peso. Isso indica que, apesar da vegetação secundária representar cicatrizes de movimentos de massa pretéritos e formações vegetais em regeneração, existem outros fatores condicionantes que tornam a vegetação natural mais suscetível aos movimentos de massa.

O mapa de suscetibilidade final, gerado a partir de $\gamma = 0.75$, mostra que as quatro regiões críticas identificadas se situam em áreas urbanizadas, onde importantes vias residenciais estão localizadas. Esse fato evidencia que a ação antrópica, conjuntamente aos demais fatores em análise, contribui diretamente no aumento da probabilidade de ocorrência dos movimentos de massa nessas regiões. O mapa também evidencia que as regiões com muita alta suscetibilidade são caracterizadas pela ocorrência de siltitos, riolitos e arenitos finos, principalmente em áreas urbanas ou entorno, com alta declividade e próximas de estruturas geológicas. O método utilizado na análise de suscetibilidade a movimentos de massa se mostrou eficiente e buscou tornar o estudo mais objetivo, evitando a subjetividade dos demais métodos. Além disso, a acurácia obtida através da validação sugere que outros fatores condicionantes podem ser agregados à análise para que o modelo seja aperfeiçoado.

7. CONCLUSÃO

O arcabouço geológico da microbacia do Córrego Gebien é caracterizado por diversas unidades pertencentes ao Grupo Itajaí e compreende, da base para o topo, rochas sedimentares neoproterozoicas das Formações Ribeirão Carvalho (litofácies arenito fino, muito fino e fino a grosso) e Ribeirão do Bode (litofácie siltito), sucedidas por rochas riolíticas intrusivas da Formação Apiúna e sienogranitos cambrianos, associados ao magmatismo tardio do Granito Subida. As características estruturais das unidades litoestratigráficas mapeadas são representadas por um padrão de estruturas orientadas a NE-SW, que representam os planos de acamamento das rochas sedimentares e NW-SE, que correspondem ao padrão de fraturamento e falhas que afetam as rochas do Grupo Itajaí.

Na análise de suscetibilidade a movimentos de massa, foi evidenciado que os dados lito-estruturais apresentam grande contribuição como condicionantes naturais a esses processos na área de estudo, assim como descreve a ocorrência de riolitos e sienogranitos antes não mapeados na região. Esses fatores mostram que em áreas afetadas por falhas sinistrais, no contato entre o riolito e arenito fino, e áreas urbanas situadas sobre rochas sedimentares, a probabilidade de ocorrência de movimentos de massa é maior.

Também foi evidenciado que a alta suscetibilidade está diretamente relacionada a altas declividades, grande proximidade de estruturas geológicas e à remoção da cobertura vegetal. Através da integração e análise dos fatores naturais e antrópicos considerados, foi observado que as quatro regiões identificadas com maior probabilidade de ocorrência de movimentos de massa, coincidem com áreas antropizadas e com importantes vias residenciais, o que gera um alerta aos órgãos públicos para ações de prevenção nessas localidades. Além disso, o método adotado se mostrou confiável e eficiente para evidenciar a contribuição do arcabouço geológico e dos demais fatores naturais e antrópicos na deflagração de movimentos de massa.

8. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M et al. Províncias Estruturais Brasileiras. In: SBG, SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8., 1977, Campina Grande. **Anais...** . [s.l.]: Sbg, 1977. p. 363 - 391.

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1., 1992, Rio de Janeiro. **Anais...** . Rio de Janeiro: Abms/abge/pucrj, 1992. v. 2, p. 721 - 733.

AUGUSTO FILHO, O. **Cartas de risco de escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela, SP.** 1994. 162 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

BASEI, M. A. S. **O Cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina.** 1985. 190 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geologia, Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985.

BASEI, M. A. S.; DRUKAS, C. O.; SANTOS, P. R. dos; OSAKO, L; ARCARO, N. P. Estratigrafia, idade e proveniência dos sedimentos da bacia do Itajaí, SC, Brasil. **Anais..** Curitiba: SBG, 2008.

BASEI, M. A. S, et al. Contribution of SHRIMP U–Pb zircon geochronology to unravelling the evolution of Brazilian Neoproterozoic fold belts. **Precambrian Research**, 2010, vol. 183, no 1, p. 112-144.

BASEI, M. A. S et al. The Itajaí foreland basin: a tectono-sedimentary record of the Ediacaran period, Southern Brazil. **International Journal Of Earth Sciences.** [s.l.], p. 543-569. abr. 2011.

BLUMENAU. DIRETORIA MUNICIPAL DE GEOLOGIA, ANÁLISE E RISCOS NATURAIS. 2008b. Banco de dados espaciais: inventário de movimentos gravitacionais de massa. **Não publicado.**

BONHAM-CARTER, Graeme F.. **Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS.** Ontario: Pergamon, 1994. 416 p.

BRITISH GEOLOGICAL SURVEY 2019. Disponível em <https://www.bgs.ac.uk/discoveringGeology/hazards/landslides/rotationalSlides.html>. Acesso em 21/10/2019.

CARVALHO, C. S. e GALVÃO, T. 2006. Ação de Apoio à Prevenção e Erradicação de Riscos em Assentamentos Precários. In: BRASIL. CARVALHO, C. S. e GALVÃO, T.

(orgs.). **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais**. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006, p. 10-17.

CERRI, L. E. S. & AMARAL, C. P. 1998. Riscos Geológicos. In: BRITO, S. N. A.; OLIVEIRA, A. M. S. **Geologia de Engenharia**. ABGE, São Paulo, 1998. p. 301-310.

CITRONI, S. B. **Ambientes deposicionais e significado geotectônico da sedimentação do Grupo Itajaí-SC**. 1993. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

COSTA, M; NASCIMENTO, M. S. Tratos deposicionais e arquitetura estratigráfica de sucessões sedimentares da Bacia do Itajaí (Neoproterozoico), nordeste de Santa Catarina,, Brasil. **Revista do Ig/usp: Geol. USP, Sér. cient**, São Paulo, v. 15, n. 2, p.111-134, jan. 2015.

CPRM & IPT (2014). **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000** (livro eletrônico): nota técnica explicativa. Coordenação Omar Yazbek.

Crepani, E., Medeiros, J. D., Hernandez Filho, P., Florenzano, T. G., Duarte, V., & Barbosa, C. C. F. (2001). **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial** (p. 124). São José dos Campos: Inpe.

DUTRA, E. B. **Reconhecimento topográfico e geológico no Estado de Santa Catarina, Brasil**. DNPM/SGM. Boletim, v.21, p.31-56. 1926.

ESRI. **How slope works**. 2020. Disponível em: <<https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-slope-works.htm>>. Acesso em: 15 dez. 2019.

FERREIRA, C.J. (coordenador). 2008. **Diretrizes para a regeneração sócio-ambiental de áreas degradadas por mineração de saibro** (caixas de empréstimo), Ubatuba, SP. Relatório final, 4. Processo FAPESP 03/07182-5.

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

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. 2001. **Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis**. Revista brasileira de Geomorfologia, UGB, 2001. Vol. 2, Nº 1. p 51-71.

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

GUZZETTI, F.; CARRARA, A.; CARDINALI, M.; REICHENBACH, P. 1999. **Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy**. Geomorphology, 31: 181-216.

GUZZETTI, Fausto et al. Landslide inventory maps: New tools for an old problem. **Earth-science Reviews**, [s.l.], v. 112, n. 1-2, p.42-66, abr. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.02.001>.

HERTFORDSHIRE COUNTY COUNCIL. 2019 disponível em <https://gisinfo.hertfordshire.gov.uk/GISdata/vectorraster.htm>. Acesso em 18/10/2019.

HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY, P. **The landslide handbook – A guide to understanding landslides**. Virginia, 2008. United States Geological Survey Circular 1325, 129.

IGLESIAS, C. M. F.; ZERFASS, H.; SILVA, M. A. S.; KLEIN, C. Carta Geológica. Folha SG. 22-Z-B-JOINVILLE, escala 1:250.000, CPRM, 2011.

INFANTI JUNIOR, N. & FORNASARI FILHO, N. Processos de Dinâmica Superficial. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (Eds.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998. cap. 9, p.131-152.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de Geomorfologia. Folha Joinville – SG.22-Z-B**. Escala: 1:250.000, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico de Uso da Terra**. Manuais Técnicos em Geociências número 7 - 3ª Edição. Rio de Janeiro, 2013.

JORNAL DE SANTA CATARINA. **Defesa Civil registra 62 ocorrências de deslizamentos após temporal em Blumenau**. Disponível em: <<http://jornaldesantacatarina.clicrbs.com.br/sc/geral/noticia/2017/01/defesa-civil-registra-62-ocorrencias-de-deslizamentos-apos-temporal-em-blumenau-9109740.html>> Acesso em outubro de 2018.

KAUL, P. F. T. Projeto Brusque Serra do Tabuleiro. Porto Alegre: DNPM/CPRM, 1976_ 165 p. Relatório interno.

KAUL, Pedro Francisco Teixeira; FERNANDES, Edgard; SANTOS NETO, Adelino dos. **Projeto Gerenciamento Costeiro - GERCO (3ª fase)**: Geologia. Florianópolis: Ibge, 2002. 68 p.

KHAN, Hawas et al. Landslide susceptibility assessment using Frequency Ratio, a case study of northern Pakistan. **The Egyptian Journal Of Remote Sensing And Space Science**, [s.l.], v. 22, n. 1, p.11-24, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.03.004>.

KOBIYAMA, M et al. **Prevenção de Desastres Naturais: Conceitos Básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006.

LONGLEY, Paul A; et al. **Sistemas e ciência da informação geográfica**. 3 Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. Tradução: André Schneider...et al.; Revisão técnica: Heinrich Hasenack; Eliseu José Weber.

LOPES, E. S. S. 2006. **Modelagem espacial dinâmica em Sistema de Informação Geográfica – uma aplicação ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do Mar paulista**. Tese de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente. Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP (IGCE/UNESP), Rio Claro, 2006. 314p.

MAACK, Reinhard. Breves Notícias Sobre a Geologia dos Estados do Paraná e Santa Catarina. **Brazilian Archives Of Biology And Technology**, [s.l.], v. , p.169-288, dez. 2001.

MACEDO, M. H. F et al. Dados geocronológicos referentes às rochas metassedimentares do Grupo Itajaí (SC). **Revista Brasileira de Geociências**, [s.l.], v. 14, n. 1, p.30-34, mar. 1984.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Mata Atlântica: Manual de adequação ambiental**. 2010. 96p. Brasília.

MONTGOMERY, C.W. **Environmental geology**. 3^a ed. Dubuque: Wm. C. Brown Publishers, 1992. 465p.

POZZOBON, Maurício. **Análise da suscetibilidade a deslizamentos no município de Blumenau, SC: uma abordagem probabilística através da aplicação da técnica pesos de evidência**. 2013. 137 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Florestal, Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

PRATES, Arlene M. M.; MANZOLLI, Judite I.; MIRA, Marli A. F. B. Hidrografia de Santa Catarina. **Geosul**, [s.l.], n. 1, p.69-76, 1986.

PROJETO MAPBIOMAS ALERTA. 2018. Sistema de Validação e Refinamento de Alertas de Desmatamento com Imagens de Alta Resolução. Disponível em <http://mapbiomas.org>. Acessado em 15/10/2019.

ROSTIROLLA, S. P. **Tectônica e sedimentação da Bacia de Itajaí**. 1991. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1991.

ROSTIROLLA, S. P; ALKMIM, F. F; SOARES, P. C. O Grupo Itajaí, Estado de Santa Catarina, Brasil: exemplo de sedimentação em uma bacia flexural de ante-país. **B Geoci Petrobras**, [s.l.], v. 6, p.109-122, 1992.

SALAMUNI, R., BIGARELLA, J. J., TAKEDA, F. K. **Considerações sobre estratigrafia e tectônica da Série Itajaí**. Boletim Paranaense de Geografia, [s. 1.], v. 4/5, p. 1B8-201, 1961.

SANTA CATARINA. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. **Atlas de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, 1986. 173 p

SCHULZ Jr., A., ALBUQUERQUE, L. F.F., RODRIGUES, C.S. **Geologia da quadrícula de Florianópolis, SC**. Porto Alegre: Departamento Nacional da Produção Mineral, 1970. 75 p.

SCHROEDER, G. S. **Análise tectônica da Bacia do Itajaí**. 2006. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

SEMA, Hinotoli V.; GURU, Balamurugan; VEERAPPAN, Ramesh. Fuzzy gamma operator model for preparing landslide susceptibility zonation mapping in parts of Kohima Town, Nagaland, India. **Modeling Earth Systems And Environment**, [s.l.], v. 3, n. 2, p.499-514, 17 maio 2017. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s40808-017-0317-9>.

SEVEGNANI, Lucia; FRANK, Beate. **Desastre de 2008 no Vale do Itajaí: água, gente e política**. Blumenau: Fundação Agência de Água do Vale do Itajaí (SC), 2009. 191p. ISBN 9788561460051.

SILVA, L.C. & DIAS, A.A. 1981. Projeto Timbó-Barra Velha, Brasil Porto Alegre, Conv. DNPM/CPRM. 282 p. (Rel. Inéd.)

SOARES, P.C. & FIORI, A.P. **Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia**. Notícia Geomorfológica, Campinas, **16(32):71-104**, 1976.

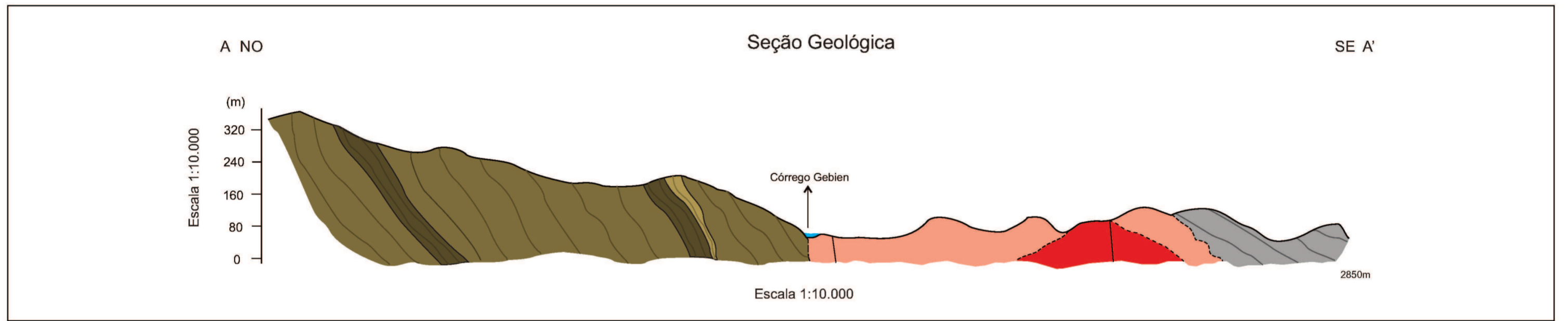
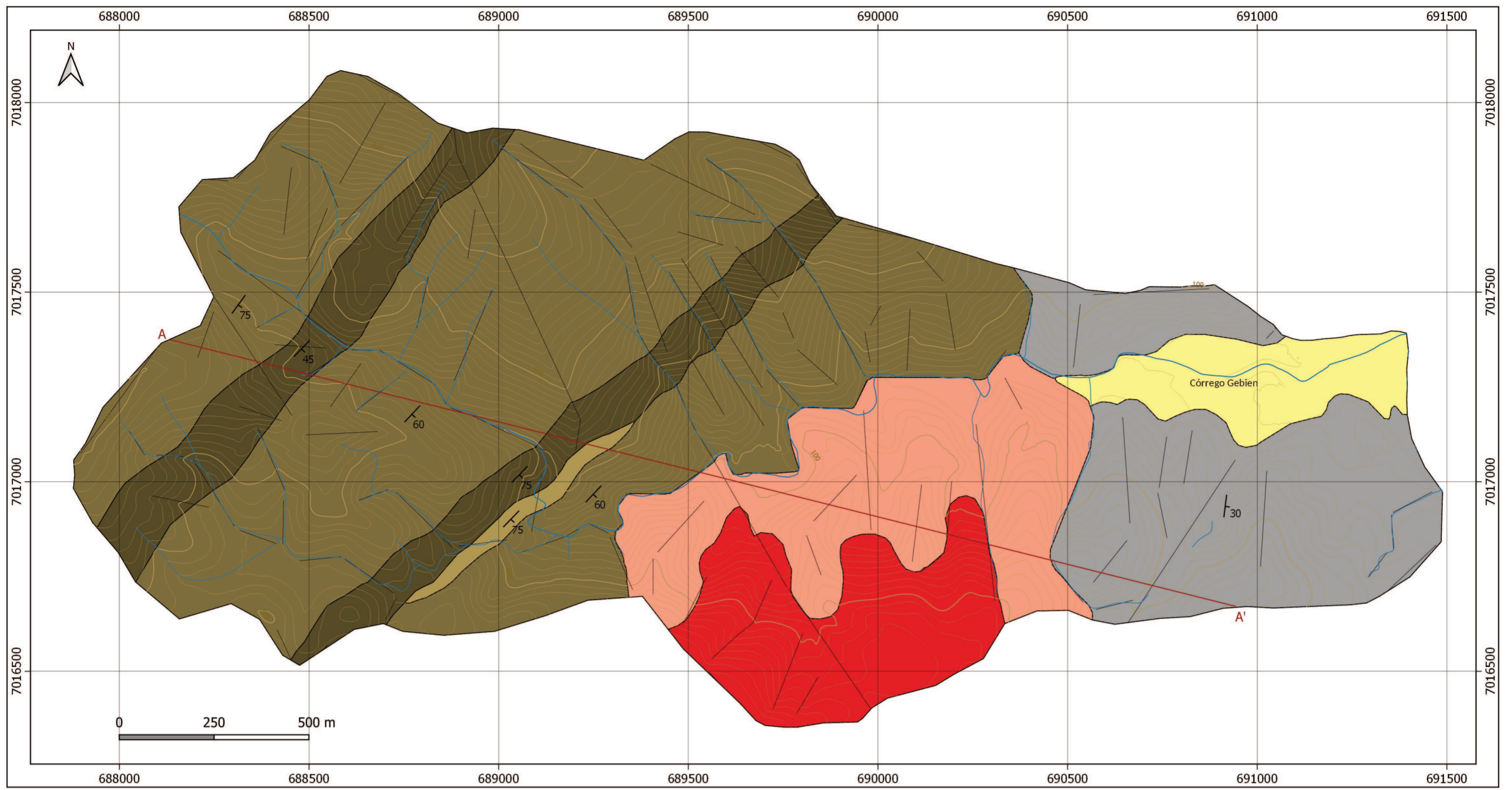
TOMINAGA, Lúcia K; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosângela do. **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 197 p.

TUCKER, Maurice E. **Sedimentary rocks in the field: a practical guide**. 4. ed. [s.l.]: Chichester: Wiley-blackwell, 2011. 275 p. (ISBN 9780470689165).

VAN WESTEN, C. J. 1993. **Application of geographic information system to landslide hazard zonation**. ITC Publication, Enschede, The Netherlands, 15: 245p.

VARNES, D.J. (1978) Slope Movement Types and Processes. In: Schuster, R.L. and Krizek, R.J., Eds., **Landslides: Analysis and Control**. Transportation Research Board, Special Report No. 176, National Academy of Sciences, 11-33.

VARNES, D.J. 1984. **Landslide Hazard Zonation: Review of Principles and Practice**. UNESCO Press, Paris. 56 p.



MAPA GEOLÓGICO - ANEXO I

Escala 1:10.000

COLUNA ESTRATIGRÁFICA

	UNIDADE LITO-ESTRATIGRÁFICA	LITOLÓGIAS
Quaternário	Cobertura fanerozóica	Sedimentos inconsolidados
Cambriano	Granito Subida	Sienogranito: textura inequigranular seriada, isotrópico, composto por cristais tabulares de feldspato potássico, quartzo facetado e biotita em lamelas dispersas.
Neoproterozoico	Form. Apiúna	Riolito: riolitos esbranquiçados, maciços e com textura porfírica. Megacristais de quartzo e feldspato facetados, imersos em matriz afanítica, além de baixo teor de biotita. Secundariamente ocorrem rochas sub vulcânicas maciças, compostas por quartzo, K-feldspato e plagioclásio facetados e biotita em agregados lamelares ou amoldando os demais minerais. Comumente apresentam textura alotriomórfica e equigranular fina, sacaróide ou porfírica.
	Form. Ribeirão do Bode	Siltito: Siltitos cor cinza ou avermelhada, em geral maciços ou com laminações plano-paralelas e subordinadamente com laminações onduladas simétricas; intercalados com arenitos finos, bordô, maciços ou com laminação plano-paralela incipiente. Acamamento do tipo wavy.
	Form. Ribeirão Carvalho	Arenito fino a grosso: arenitos finos a grossos, cinzas a esbranquiçados, com composição quartzo-feldspática e laminações plano-paralelas associadas a gradação normal e, ocasionalmente, laminações onduladas. Quando apresentam gradação normal, os arenitos são mal selecionados, gradando da base para o topo de arenito grosso para arenito fino, com grãos de feldspato milimétricos e sub-arredondados. Arenito muito fino: arenitos muito finos, cinza escuro, composição predominantemente quartzosa, com laminações plano-paralelas como estrutura principal e onduladas assimétricas subordinadas. Os grãos apresentam alto grau de arredondamento e esfericidade, além de bem selecionados. Pontualmente são observados fragmentos líticos centimétricos de composição granítica sub-angulosos. Arenito fino: arenitos finos, bege a cinza claro, com composição quartzo-feldspática e laminações onduladas assimétricas como estrutura principal. Os grãos de quartzo e feldspato apresentam médio grau de arredondamento e esfericidade, além de moderado grau de seleção.

LEGENDA

Convenções cartográficas

- Hidrografia
- Curvas de nível
- Área de estudo

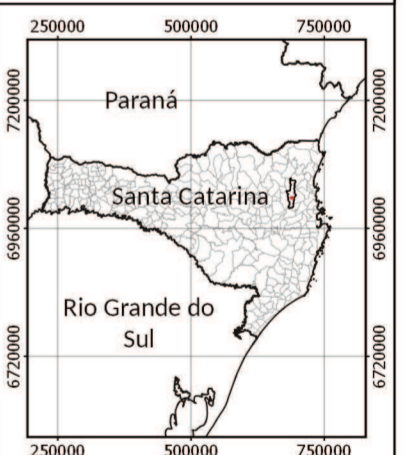
Convenções geológicas

- Lineamentos
- Seção geológica A-A'
- Plano de acamamento

Localização no município

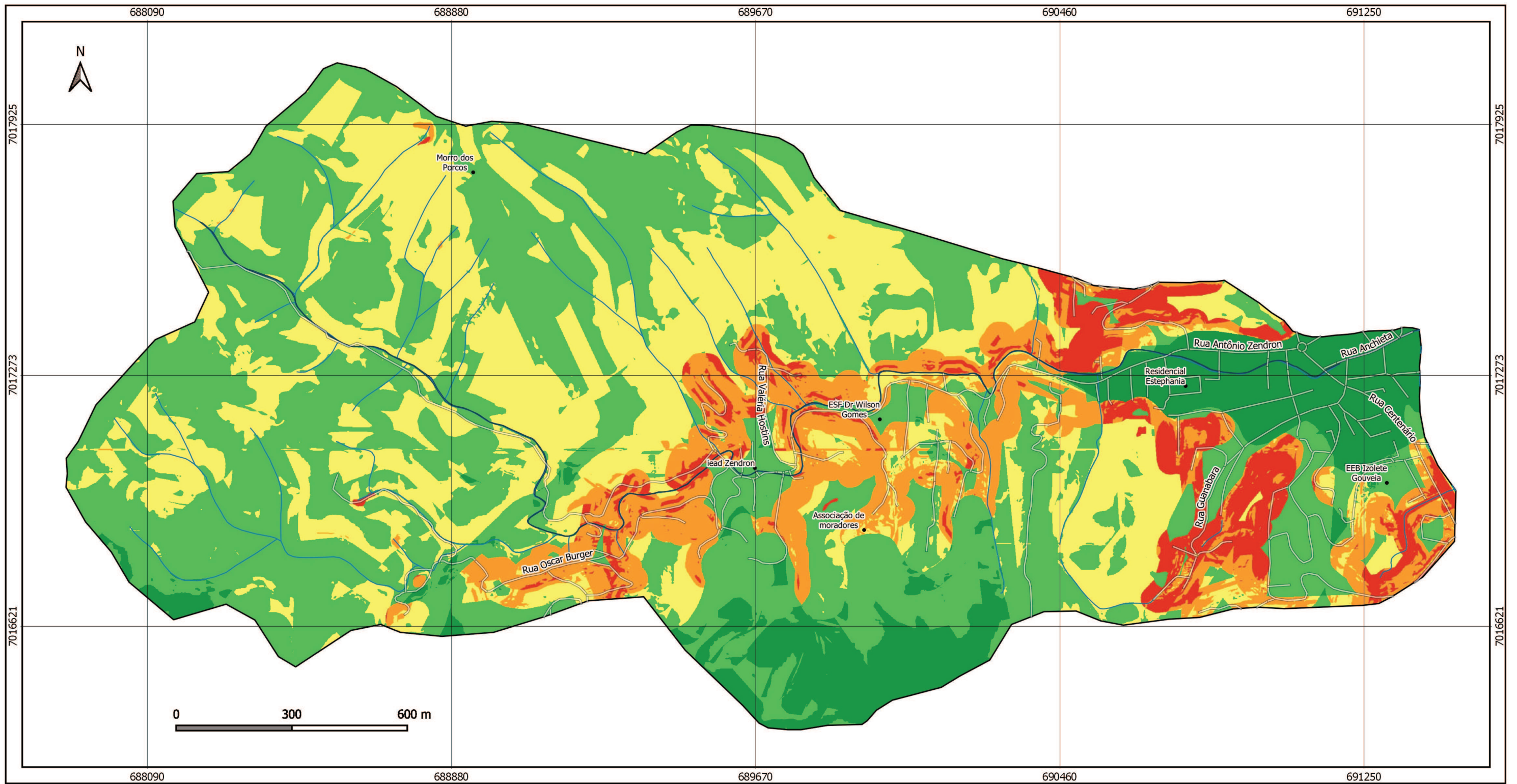


Local. na Unidade da Federação



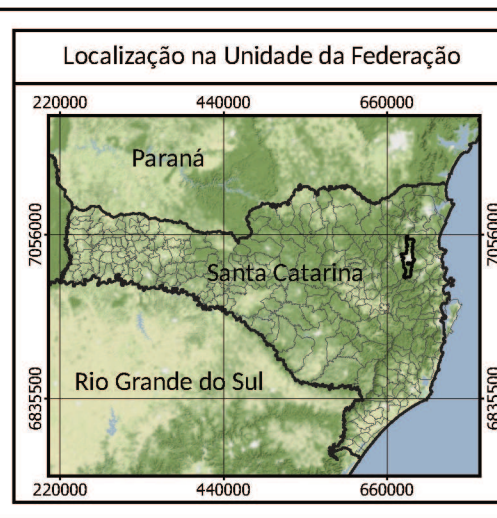
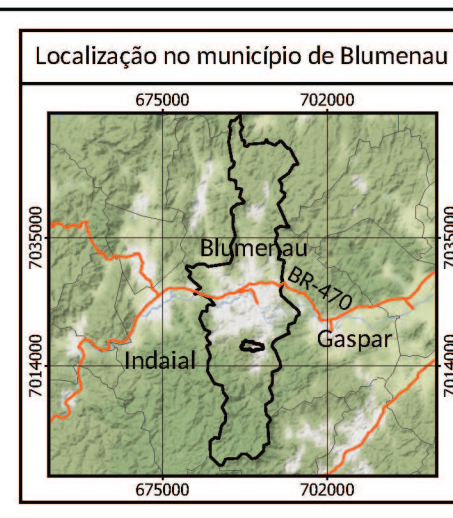
SRC: SIRGAS 2000 UTM 22S
Fonte de dados: SDS/SC; IBGE
Escala 1:10.000

Análise de suscetibilidade a movimentos de massa da microbacia do Córrego Gebien, bairro Valparaíso, Blumenau (SC).
Luiz Felipe Poli Schramm; Liliana Sayuri Osako (orientadora)



LEGENDA

Convenções cartográficas	Grau de suscetibilidade (Fuzzy gamma = 0.75)
• Toponímias	Muito baixa
— Hidrografia	Baixa
— Ruas	Média
□ Área de estudo	Alta
■ Corpo d'água	Muito alta



MAPA DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA

Anexo II

Escala 1:10.000

<p>Fonte de dados:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hidrografia e Corpos d'água - SDS/SC (2012) - Limites municipais, estaduais e federais - IBGE - Ruas - OpenStreetMap 	<p>UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA</p> <p>Centro de Filosofia e Ciências Humanas</p> <p>Departamento de Geologia</p> <p>Curso de Graduação em Geologia</p>
<p>Sistema de Coordenadas Geográficas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sirgas 2000 UTM zona 22S - EPSG 31982 	<p>Trabalho de Conclusão de Curso</p> <p>"Análise de suscetibilidade a movimentos de massa da microbacia do Córrego Gebien, bairro Valparaíso, Blumenau (SC)"</p>

ANEXO III – SEÇÕES COLUNARES

COLUNA ESTRATIGRÁFICA

SEÇÃO/UNIDADE:

NOMES:

2º Campo

ALGUMAS ESTRUTURAS GERADAS POR PROCESSOS HIDRODINÂMICOS OU DEFORMACIONAIS

- M Maciço
- ≡ Lam. Plano Paralela
- ↗↘ Lam. Cruz. de ripples
- ↗↘ Ripples assimétricas
- ↗↘ Ripples simétricas
- ≡ E. Cruz. Baixo Ângulo
- ⋈ E. Cruzada Planar
- ⋈ E. Cruz. Tangencial
- ⋈ E. Cruz. Acanalada
- ⋈ Lam. Ondulada Truncada
- ⋈ Estrutura de Carga
- ⋈ Estrutura em Chama
- ⊥ Fluidização
- ~ Lam. Convoluta
- ∞ Escorregamento

ALGUMAS ESTRUTURAS GERADAS POR PROCESSOS EÓLICOS

- ⋈ Estratificação horizontal
- ⋈ Estratificação cruzada de baixo ângulo
- ⋈ Estratificação cruzada planar
- ⋈ Estratificação cruzada tangencial
- ⋈ Estratificação cruzada acanalada
- ⋈ Estruturas de adesão

Ponto: **1005**

Coord. UTM
E:
N:

Data:

Escala:

Área
Bl Sx Gr Mg G M F Mf S Ag

Cód. Fácies
Paleocorrente Estruturas
Fotos Amostras
Assoc. de fácies

DESCRIÇÃO LITOLÓGICA

5,5m

mAm

Siltito maciço, marrom claro e intensamente fraturado (fraturas preenchidas).

8,2m

Fm

Arenito fino, borda, maciço. Corpo intrusivo de xistito.

COLUNA ESTRATIGRÁFICA

SEÇÃO/UNIDADE:

NOMES:

ALGUMAS ESTRUTURAS GERADAS POR PROCESSOS HIDRODINÂMICOS OU DEFORMACIONAIS

M Maciço		E. Cruzada Planar		Fluidização
		E. Cruz. Tangencial		Lam. Convoluta
		E. Cruz. Acanalada		Escorregamento
		Lam. Ondulada Truncada		Estrutura de Carga
		Estrutura em Chama		

ALGUMAS ESTRUTURAS GERADAS POR PROCESSOS EÓLICOS

	Estratificação horizontal
	Estratificação cruzada de baixo ângulo
	Estratificação cruzada planar
	Estratificação cruzada tangencial
	Estratificação cruzada acanalada
	Estruturas de adesão

Ponto: **1008**
 Coord. UTM
 E:
 N:
 Data:
 Escala: **1:200**

Área		Cód. Fácies	Paleocorrente Estruturas	Fotos Amostras	Assoc. de fácies	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA			
Bl	Sx						Gr	Mg	G
1m						Arenito fino, bege, maciço			
5m						Arenito muito fino, cinza, com laminações onduladas assimétricas e lentes de arenito fino, bege			
4,1m						Siltito cinza, maciço			
5,1m						Riolito			
5m						Arenito muito fino, cinza, com laminações onduladas assimétricas e lentes de arenito fino, bege			
1,8m						Siltito cinza, maciço			
2,2m						Arenito fino, bege, maciço			

COLUNA ESTRATIGRÁFICA

SEÇÃO/UNIDADE: L

NOMES:

ALGUMAS ESTRUTURAS GERADAS POR PROCESSOS HIDRODINÂMICOS OU DEFORMACIONAIS

- M Maciço
- Lam. Plano Paralela
- Lam. Cruz. de ripples
- Ripples assimétricas
- Ripples simétricas
- E. Cruz. Baixo Ângulo
- E. Cruzada Planar
- E. Cruz. Tangencial
- E. Cruz. Acanalada
- Lam. Ondulada Truncada
- Estrutura de Carga
- Estrutura em Chama
- Fluidização
- Lam. Convoluta
- Escorregamento

ALGUMAS ESTRUTURAS GERADAS POR PROCESSOS EÓLICOS

- Estratificação horizontal
- Estratificação cruzada de baixo ângulo
- Estratificação cruzada planar
- Estratificação cruzada tangencial
- Estratificação cruzada acanalada
- Estruturas de adesão

Ponto: 1013

Coord. UTM

E:

N:

Data:

Escala: 1:200

Areia

Bl Sx Gr Mg G M F Mf S Ag

Cód. Fácies

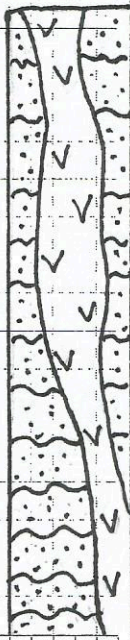
Paleocorrente Estruturas

Fotos Amostras

Assoc. de fácies

DESCRIÇÃO LITOLÓGICA

15m



FAo

So:
140/50°

Arenito fino, amarelo-avermelhado e estratificações onduladas assimétricas.

* A 70m também é observado estratificação ondulada, assimétrica e cruzada.

Corpo intrusivo de riolito bege e porfírico.

COLUNA ESTRATIGRÁFICA

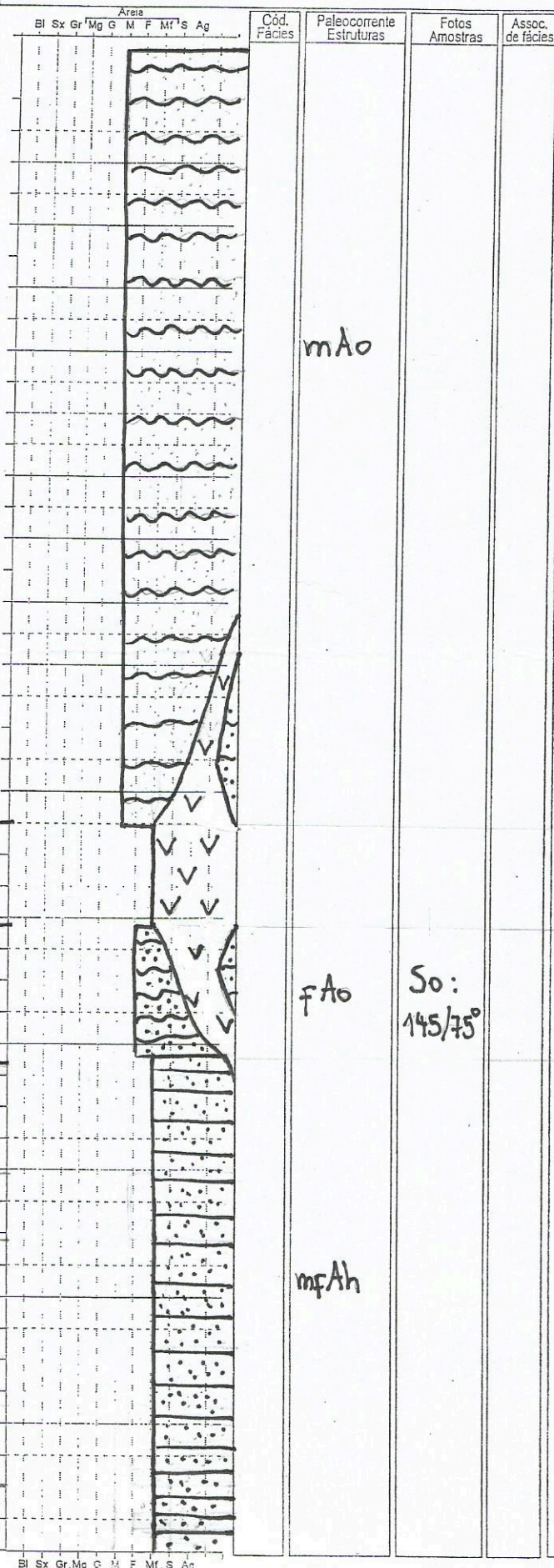
SEÇÃO/UNIDADE:

NOMES:

- ALGUMAS ESTRUTURAS GERADAS POR PROCESSOS HIDRODINÂMICOS OU DEFORMACIONAIS
- M Maciço
 - Lam. Plano Paralela
 - Lam. Cruz. de ripples
 - Ripples assimétricas
 - Ripples simétricas
 - E. Cruz. Baixo Ângulo
 - E. Cruzada Planar
 - E. Cruz. Tangencial
 - E. Cruz. Acanalada
 - Lam. Ondulada Truncada
 - Estrutura de Carga
 - Estrutura em Chama
 - Fluidização
 - Lam. Convoluta
 - Escorregamento

- ALGUMAS ESTRUTURAS GERADAS POR PROCESSOS EÓLICOS
- Estratificação horizontal
 - Estratificação cruzada de baixo ângulo
 - Estratificação cruzada planar
 - Estratificação cruzada tangencial
 - Estratificação cruzada acanalada
 - Estruturas de adesão

Ponto: **1015**
 Coord. UTM
 E:
 N:
 Data: 04/03/19
 Escala: 1:20



DESCRIÇÃO LITOLÓGICA

24m

mAo

Arenito fino a médio, cinza, com laminações onduladas assimétricas.

3m

fAo

So: 145/75°

Subvulcânica com textura alótrio-mórfica (sin-sedimentar)

4m

mfAh

Arenito fino, bege, com laminações onduladas assimétricas.

15m

Arenito muito fino, cinza escuro, com laminações plano-paralelas. Apresenta metamorfismo de baixo grau.

COLUNA ESTRATIGRÁFICA

SEÇÃO/UNIDADE:

NOMES:

ALGUMAS ESTRUTURAS GERADAS POR PROCESSOS HIDRODINÂMICOS OU DEFORMACIONAIS

- | | | |
|-----------------------|------------------------|----------------|
| M Maciço | E. Cruzada Planar | Fluidização |
| Lam. Plano Paralela | E. Cruz. Tangencial | Lam. Convoluta |
| Lam. Cruz. de ripples | E. Cruz. Acanalada | Escorregamento |
| Ripples assimétricas | Lam. Ondulada Truncada | |
| Ripples simétricas | Estrutura de Carga | |
| E. Cruz. Baixo Ângulo | Estrutura em Chama | |

ALGUMAS ESTRUTURAS GERADAS POR PROCESSOS EÓLICOS

- Estratificação horizontal
- Estratificação cruzada de baixo ângulo
- Estratificação cruzada planar
- Estratificação cruzada tangencial
- Estratificação cruzada acanalada
- Estruturas de adesão

Ponto: 1028A

Coord. UTM
E: 0689532 49m

N: 7017041

Data: 2/03/19

Escala: 1:200

Medidas

Areia
Bl Sx Gr Mg G M F M' S Ag

Cód. Fácies Paleocorrente Estruturas Fotos Amostras Assoc. de fácies

DESCRIÇÃO LITOLÓGICA

10m

8m

14m

1,1m

1,7m

Riolito, aparentemente sin-sedimentar. Não foram observadas estruturas, textura porfirítica com cristais eudríticos de quartzo e feldspato.

arenito muito fino, cor escura, com plano paralela e núcleis centimétricos de arenito fino bege.

arenito muito fino, cor escura e maciço. Aparece melanogênese de baixo grau.

argilito maciço de cor marrom claro

arenito fino com estratificação ondulada e cor cinza média.

Bl Sx Gr Mg G M F M' S Ag

COLUNA ESTRATIGRÁFICA

SEÇÃO/UNIDADE:

NOMES:

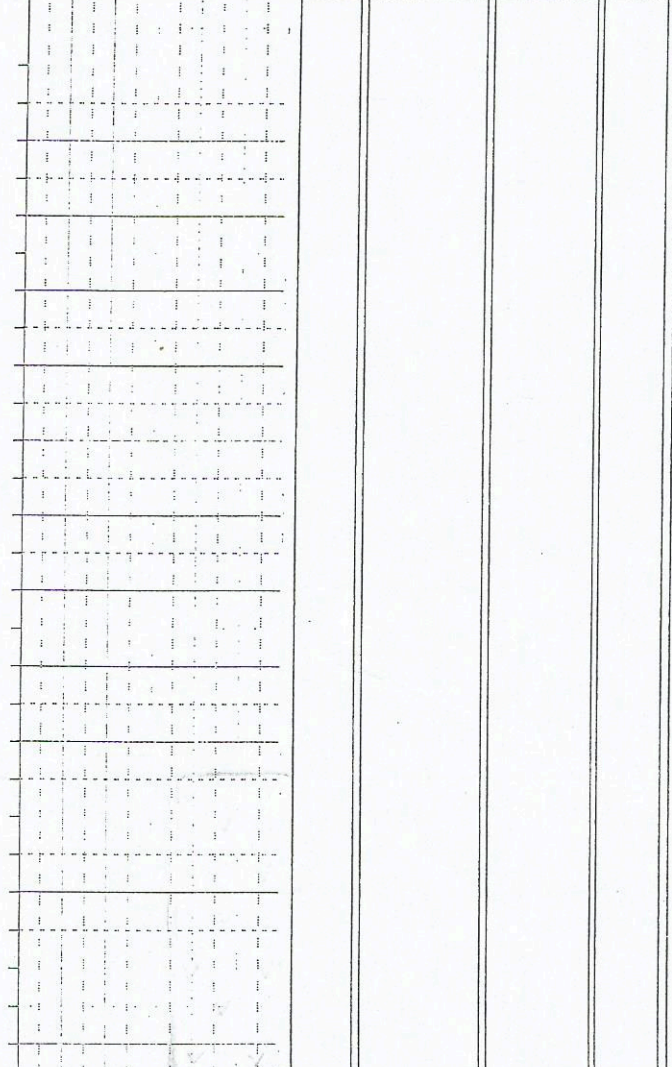
- ALGUMAS ESTRUTURAS GERADAS POR PROCESSOS HIDRODINÂMICOS OU DEFORMACIONAIS
- M Maciço
 - ≡ Lam. Plano Paralela
 - ~ Lam. Cruz. de ripples
 - ~ Ripples assimétricas
 - ~ Ripples simétricas
 - ~ E. Cruz. Baixo Ângulo
 - ≡ E. Cruzada Planar
 - ≡ E. Cruz. Tangencial
 - ≡ E. Cruz. Acanalada
 - ~ Lam. Ondulada Truncada
 - U Estrutura de Carga
 - ~ Estrutura em Chama
 - ∩ Fluidização
 - ~ Lam. Convoluta
 - Z Escorregamento

- ALGUMAS ESTRUTURAS GERADAS POR PROCESSOS EÓLICOS
- ⋮ Estratificação horizontal
 - ~ Estratificação cruzada de baixo ângulo
 - ~ Estratificação cruzada planar
 - ~ Estratificação cruzada tangencial
 - ~ Estratificação cruzada acanalada
 - ~ Estruturas de adesão

Ponto: **1028B**
 Coord. UTM
 E:
 N:
 Data: 02/03/14
 Escala: 1:200

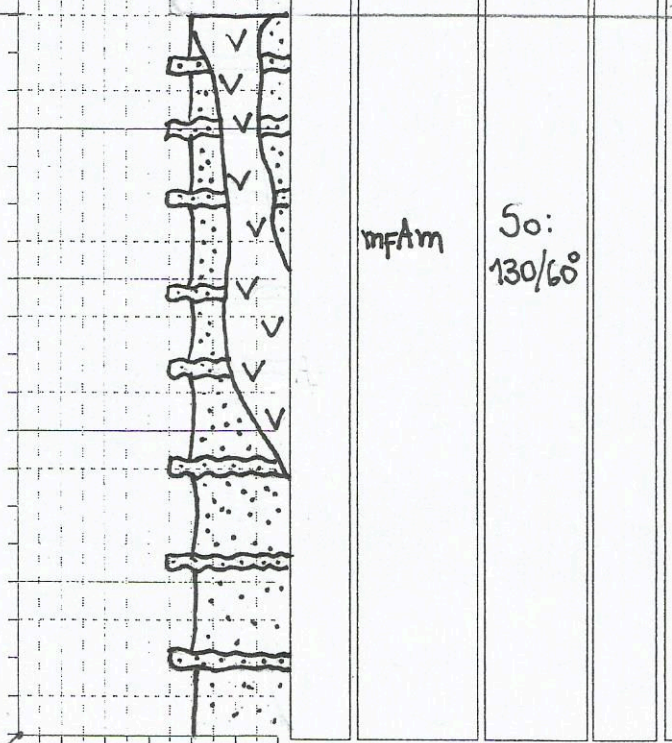
Areia
 Bl Sx Gr Mg G M F M' S Ag
 Cód. Fácies
 Paleocorrente Estruturas
 Fotos Amostras
 Assoc. de fácies

DESCRIÇÃO LITOLÓGICA



29m
 0689447
 2016959

24m



mfAm
 So:
 130/60

Arenito muito fino, macio, cinza claro, com níveis centimétricos de arenito fino com cor bege.

Corpo intrusivo de riolito porfirítico, com cristais bem formados de quartzo e feldspato em matriz afanítica.

Bl Sx Gr Mg G M F M' S Ag

COLUNA ESTRATIGRÁFICA

SEÇÃO/UNIDADE:

NOMES:

ALGUMAS ESTRUTURAS GERADAS POR PROCESSOS HIDRODINÂMICOS OU DEFORMACIONAIS

M Maciço E. Cruzada Planar Fluidização
 Lam. Pleno Paralela E. Cruz. Tangencial Lam. Convoluta
 Lam. Cruz. de ripples E. Cruz. Acanalada Escorregamento
 Ripples assimétricas Lam. Ondulada Truncada
 Ripples simétricas Estrutura de Carga
 E. Cruz. Baixo Ângulo Estrutura em Chama

ALGUMAS ESTRUTURAS GERADAS POR PROCESSOS EÓLICOS

Estratificação horizontal
 Estratificação cruzada de baixo ângulo
 Estratificação cruzada planar
 Estratificação cruzada tangencial
 Estratificação cruzada acanalada
 Estruturas de adesão

Ponto: 1032

Coord. UTM

E:

N:

Data:

Escala: 1:20

DESCRIÇÃO LITOLÓGICA

