

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA

IRAYDES TÁLITA DE SENA NOLA

**Avaliação de dados geológico-geotécnicos prévios para
elaboração de carta de eventos perigosos de movimentos
de massa gravitacionais por meio de redes neurais
artificiais e probabilidade**

São Carlos – SP
2015

IRAYDES TÁLITA DE SENA NOLA

**Avaliação de dados geológico-geotécnicos prévios para
elaboração de carta de eventos perigosos de movimentos
de massa gravitacionais por meio de redes neurais
artificiais e probabilidade**

VOLUME 1

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa de Pós-graduação em Geotecnia.

Versão Corrigida

Orientador:

Prof. Dr. Lázaro Valentin Zuquette

São Carlos - SP
2015

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

N786a Nola, Iraydes Tálita de Sena
Avaliação de dados geológico-geotécnicos prévios
para elaboração de carta de eventos perigosos de
movimentos de massa gravitacionais por meio de redes
neurais artificiais e probabilidade / Iraydes Tálita
de Sena Nola; orientador Lázaro Valentin Zuquette. São
Carlos, 2015.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
e Área de Concentração em Geotecnia -- Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2015.

1. movimentos de massa gravitacionais. 2. carta de
eventos perigosos. 3. redes neurais artificiais. 4.
probabilidade. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Geóloga **IRAYDES TÁLITA DE SENA NOLA**.

Título da dissertação: "Avaliação de dados geológico-geotécnicos prévios para elaboração de carta de eventos perigosos de movimentos de massa gravitacionais por meio de redes neurais artificiais e probabilidade".

Data da defesa: 20/08/2015

Comissão Julgadora:

Prof. Titular **Lázaro Valentin Zuquette (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Prof. Dr. **Edilson Pissato**
(Instituto de Geociências/IG-USP)

Prof. Dr. **Rogério Pinto Ribeiro**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia:
Prof. Dr. **Edmundo Rogério Esquivel**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Paulo César Lima Segantine**

Resultado:

Aprovada

Aprovada

Aprovada

À minha querida e amada
Vovó Tina (*in memoriam*),
pelo orgulho que sempre
teve de mim.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Lázaro Valentin Zuquette pela orientação tão dedicada, pela atenção, pelo apoio, carinho fraterno e pelos longos momentos de descontração.

À Universidade de São Paulo, pela oportunidade de realização do curso de mestrado. E ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa concedida.

Ao Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos, igualmente ao quadro de docentes e demais funcionários, pela infraestrutura e auxílios técnico-administrativos oferecidos, em especial ao Prof^a Valéria, Prof^a. Cristina, Prof. Osni, Prof. Bortolucci (Çula), Prof. Orêncio, ao Álvaro, Maristela, Neiva e Oscar.

Aos geólogos, Prof. Edézio Teixeira de Carvalho, Prof^a. Maria Giovana Parizzi, e Cláudia de Sanctis Viana, pelos ensinamentos geotécnicos, amizade e apoio na decisão de realizar o meu sonho de ser mestre.

Aos professores Ricardo Augusto Fernandes e Danilo Hernane Spatti pelas orientações e aprendizados em redes neurais.

Ao Instituto Geotécnico de Ouro Preto – IGEO – que, por meio do Engenheiro Geotécnico Michel Moreira Fontes e do Geólogo Bruno Novais, gentilmente cedeu-me os dados levantados por este instituto. E também a Coordenadoria Municipal de Defesa Civil através do seu coordenador Sr. Sebastião Bonifácio e do Geólogo Flávio Brandão.

Aos amigos da sala de mapeamento: Bianca Kancelkis, Bruno Medeiros, Camila Almeida, Cláudia Rotta, Diego Ruiz, Lucas Schettini, Maria Paula Oliveira e Moisés Failache. Aos demais colegas da Geotecnia, em especial a Amanda Almeida, Breno Rocha, Camila Eberle, Christopher Fonseca, Denis Watashi, Isabela Monici, João Manoel, João Parizotto, Jussara Michette, Katerin Guerrero, Larissa Vieira, Phillipe Almeida, Rafaela Machado e Thaise Morais.

Ao meu querido Roberto, por transformar os momentos escuros em claros como um dia ensolarado de verão. Seu apoio geotécnico, ideias, brincadeiras, carinho e atenção, fizeram toda a diferença.

Às meninas do “Apê 14”: Bruna Correia, Giovana Matos, Larissa Gabrielle e Letícia Duarte pela boa convivência, amizade e divertimento, e ao Homer (Tarcísio Marinelli) também pelos auxílios computacionais.

Aos queridos amigos: Ligia Sampaio, Chien Tseng e demais componentes do grupo de estudos do TAO, por me proporcionarem momentos de tranquilidade e por me darem a oportunidade de conhecer pessoas tão especiais.

Às amigadas tão valiosas de Minas, por não se esquecerem de mim e por me fazer não esquecer também: Alessandra Souza, Flávia Cristina, Flávia de Faria, Karin Voll, Rafael Avelino e Carlos Cunha.

A minha família Sena e Nola (tios, primos e agregados) pelo amor que vocês têm por mim e porque sei que as minhas realizações são também de cada um de vocês. Em especial à Tia Marli, Tio Zé Guilherme, Vanessa e Igor que me receberam em São Paulo de braços abertos.

E por fim, agradeço a Deus por este trabalho e pela magnífica família que ele me deu. Suporte e apoio nos momentos ruins (que não foram poucos), e, alegria, festa e diversão nos momentos felizes. Não me senti sozinha em nenhum dos dias que passei longe de vocês. Obrigada aos meus pais, Luiz Nola e Irayde Sena, aos meus irmãos Luiz Henrique, Luciana e Ana Paula e aos cunhados Cléria e Marcello!

“... A um quilômetro dali havia um morro com grande
desbarrancado — a “barreira”, como se dizia no sítio.
O Visconde levou-os para lá. Diante da barreira, parou e sorriu.
Os meninos entreolharam-se. Não compreendiam
que o Visconde encontrasse matéria para sorriso num
barranco feio como todos os mais.
— Que gosto é esse, Visconde? — perguntou Emília.
— Ah, o sorriso que tenho nos lábios é um sorriso geológico,
o sorriso de quem sabe, olha, vê e compreende.
Este barranco é para mim um livro aberto,
uma página da história da terra na
qual leio mil coisas interessantíssimas.”

O poço do Visconde
Monteiro Lobato

RESUMO

NOLA, I. T. S. Avaliação de dados geológico-geotécnicos prévios para elaboração de Carta de Eventos Perigosos de movimentos de massa gravitacionais por meio de redes neurais artificiais e probabilidade. 2015. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

Este trabalho contempla os estudos realizados para elaboração de uma carta de eventos perigosos (*hazard*) de uma área de aproximadamente 45km², no município de Ouro Preto/MG, a partir de dados geológicos e geotécnicos, gerados em trabalhos de mapeamento geotécnico, com o uso dos recursos de redes neurais artificiais e da probabilidade condicional. Os dados prévios foram tratados e um conjunto de 15 mapas e cartas elaborado, a saber: topográfico, de substrato rochoso, material inconsolidado, de uso e ocupação, de inventário dos movimentos de massa gravitacionais (escorregamentos translacionais, escorregamentos translacionais – tipo de material), de declividade, de rumo da inclinação das encostas, das unidades geológico-geotécnicas, das seções típicas das unidades geológico-geotécnicas, da resistência ao cisalhamento, do contraste de permeabilidade e da superfície potencial de ruptura, associado a uma tabela com as características das unidades geológico-geotécnicas. Os modelos de redes neurais artificiais e probabilidade condicional foram desenvolvidos para o uso em MATLAB utilizando um conjunto de 11 mapas e cartas dentre os citados anteriormente. A análise dos dados prévios frente aos modelos foi desenvolvida no sentido de avaliar a sua qualidade e a sua adequação ao modelo proposto. Concluiu-se sobre a necessidade de dados específicos que nem sempre são gerados em trabalhos rotineiros, como: levantamento da atividade, velocidade, volume e data de ocorrência, entre outros para caracterização das feições de movimentos de massa gravitacionais; estudo detalhado dos parâmetros de resistência dos materiais e das discontinuidades presentes no substrato rochoso; dados de estações pluviométricas para estudos da intensidade e distribuição da chuva na região, entre outras informações.

Palavras-chave: movimentos de massa gravitacionais, carta de eventos perigosos, redes neurais artificiais, probabilidade, Ouro Preto, Brasil.

ABSTRACT

NOLA, I. T. S. Assessment of the Previous Geological and Geotechnical data for elaboration of the landslides hazard map using artificial neural network and probability. 2015. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

This work shows the studies developed for elaboration of the landslide hazard map of the area of 45km², approximately, in the municipality of Ouro Preto, in the state of Minas Gerais, Brazil, from data generated in geotechnical mapping, with the use of artificial neural networks and conditional probability methods. The previous data were processed and was elaborated a set of 15 maps and charts: topographic, lithologies, unconsolidated material, land uses, inventory (landslides, translational slides, translational inventory - type of geological material, slope, slope inclination direction, geological - geotechnical units, typical topographic profile of the geological and geotechnical units, the shear strength categories, hydraulic conductivity contrasts, potential failure surfaces and a table with characteristic of the geological and geotechnical units. The procedures of the artificial neural networks and conditional probability were developed for use in MATLAB using a set of 11 maps among the 15 elaborated. A analysis of the previous data prepared and the data necessary for models was developed to evaluate its suitability. The main conclusion is that the routine mapping and inventories do not consider important attributes, such as activity, movement rate, volume, landslide date and others aspects of the features; detailed study about shear strength of geological materials and discontinuities and rainfall data.

Keywords: Landslides, hazard map, artificial neural network, probability, Ouro Preto, Brazil.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - QUEDA DE ROCHA POR QUEDA LIVRE (FONTE: USGS, 2004).	50
FIGURA 2 - EXEMPLO DE QUEDA DE BLOCOS DE ROCHA OCORRIDO EM STUPICA NA CROÁCIA.	51
FIGURA 3 - TOMBAMENTO (FONTE: GEODINÂMICA, 2001).	52
FIGURA 4 - EXEMPLO DE TOMBAMENTO DE ROCHA OCORRIDO EM ALBERTA/CANADÁ.	52
FIGURA 5 - ESCORREGAMENTO ROTACIONAL (FONTE: USGS, 2004).	53
FIGURA 6 - ESCORREGAMENTO ROTACIONAL DE GRANDES DIMENSÕES OCORRIDO EM LA CONCHITA, CALIFÓRNIA/EUA.....	54
FIGURA 7 - ESCORREGAMENTO TRANSLACIONAL (FONTE: USGS, 2004).	55
FIGURA 8 - ESCORREGAMENTO TRANSLACIONAL OCORRIDO EM 2008 NA CIDADE DE BLUMENAU, SANTA CATARINA.	55
FIGURA 9 - EXEMPLO DE FLUXO DE LAMA OCORRIDO EM BLUMENAU, SANTA CATARINA EM 2008.....	58
FIGURA 10 - ESPALHAMENTO LATERAL (FONTE: USGS, 2004).	60
FIGURA 11 - EXEMPLO DE ESPALHAMENTO LATERAL.....	61
FIGURA 12 - RASTEJO (FONTE: USGS, 2004).	62
FIGURA 13 - EXEMPLO DE RASTEJO EM ENCOSTA CUJOS INDÍCIOS SÃO VISTOS ATRAVÉS DOS TRONCOS CURVOS, BUSCANDO O CRESCIMENTO VERTICAL.	63
FIGURA 14 - TIPOS DE MOVIMENTOS DE VERTENTES DE MONTANHAS (MODIFICADO DE HUTCHINSON, 1988).	67
FIGURA 15 - DEFORMAÇÃO DA CRISTA DA MONTANHA EM FRATURAMENTO BILATERAL.	68
FIGURA 16 - ESCORREGAMENTOS ROTACIONAIS (MODIFICADO DE HUTCHINSON, 1988).	69
FIGURA 17 - ESCORREGAMENTOS TRANSLACIONAIS (MODIFICADO DE HUTCHINSON, 1988).	69
FIGURA 18 - TIPOS DE MOVIMENTOS DE DETRITOS EM FORMA DE FLUXO (MODIFICADO DE HUTCHINSON, 1988).	70
FIGURA 19 - TIPOS DE TOMBAMENTOS (MODIFICADO DE HUTCHINSON, 1988).	71
FIGURA 20 - TIPOS DE QUEDAS DE BLOCOS (MODIFICADO DE HUTCHINSON, 1988).	72
FIGURA 21 - ETAPAS DO MODELO DE AVALIAÇÃO DOS MOVIMENTOS DE MASSA DE UMA ÁREA, ORGANIZADOS EM ORDEM DE PESQUISA.	78
FIGURA 22 - MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DOS EVENTOS PERIGOSOS RELACIONADOS A MMG.....	85
FIGURA 23 - PARTE DO MAPA DE EVENTOS PERIGOSOS ELABORADO ATRAVÉS DA ANÁLISE.....	87
FIGURA 24 - CARTA DE EVENTOS PERIGOSOS DE NAMASIGUE, HONDURAS: A) ANTES DA ADIÇÃO DO RESULTADO DO FATOR USO E OCUPAÇÃO E, B) DEPOIS DA ADIÇÃO DE TODOS OS FATORES (PEROTTO-BALDIVIEZO <i>ET AL</i> , 2004).	89
FIGURA 25 - CARTA DE EVENTOS PERIGOSOS DE SELANGOR, MALÁSIA (PRADHAN, 2010).	91
FIGURA 26 - CARTAS DE EVENTOS PERIGOSOS DE VEL'KÁ ČAUSA, ESLOVÁQUIA,	93
FIGURA 27 - REPRESENTAÇÃO DE UM NEURÔNIO BIOLÓGICO.	96
FIGURA 28 - NEURÔNIO ARTIFICIAL SIMPLES.	97
FIGURA 29 - ALGUNS PESQUISADORES NO ESTUDO DAS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS. DA ESQUERDA PARA DIREITA: WARREN McCULLOCH, WALTER PITTS, DONALD HEBB, MARVIN MINSKY, BERNARD WIDROW, SEYMOUR PAPERT E JOHN HOPFIELD (ADAPTADO DE KRIESEL 2005).	102

FIGURA 30 - REDE UNIDIRECIONAL COM ÚNICA CAMADA DE NEURÔNIOS (MODIFICADO DE HAYKIN, 2001).	104
FIGURA 31 - REDE UNIDIRECIONAL COM MULTICAMADAS DE NEURÔNIOS (MODIFICADO DE HAYKIN, 2001).	104
FIGURA 32 - REDE RECORRENTE COM NEURÔNIOS OCULTOS (MODIFICADO DE HAYKIN, 2001).	105
FIGURA 33 - GRÁFICO ILUSTRANDO A FRONTEIRA DE SEPARAÇÃO ENTRE AS DUAS CLASSES DE SAÍDA (MODIFICADO DE SILVA, SPATTI E FLAUZINO, 2010).	109
FIGURA 34 - REPRESENTAÇÕES GRÁFICAS DA SEPARAÇÃO LINEAR DOS DADOS USANDO PERCEPTRON PARA: A) FUNÇÃO AND, B) FUNÇÃO OR E C) FUNÇÃO XOR.	111
FIGURA 35 - REPRESENTAÇÃO DE UMA REDE SIMPLES DO TIPO MLP COM CAMADAS INTERMEDIÁRIAS OU OCULTAS.	112
FIGURA 36 - REPRESENTAÇÃO DE UM NEURÔNIO (J) DA CAMADA (L) DE UMA REDE.	114
FIGURA 37 - REPRESENTAÇÃO GEOMÉTRICA DA OBTENÇÃO DO ERRO (ADAPTADA DE SILVA, SPATTI E FLAUZINO, 2010).	115
FIGURA 38 - FLUXOGRAMA DE ESTUDO.	119
FIGURA 39 - EVENTO A E SEU EVENTO COMPLEMENTAR \bar{A} NUM ESPAÇO AMOSTRAL Ω .	122
FIGURA 40 - DIAGRAMA DE VENN PARA $A \cup B$ NUM ESPAÇO AMOSTRAL Ω .	122
FIGURA 41 - DIAGRAMA DE VENN PARA EVENTOS MUTUAMENTE EXCLUSIVOS EM UM ESPAÇO AMOSTRAL Ω .	123
FIGURA 42 - DIAGRAMA DE VENN PARA OS EVENTOS A E B, CUJA INTERSEÇÃO,	124
FIGURA 43 - DIAGRAMA DA ÁRVORE PARA PROBABILIDADE CONDICIONAL.	132
FIGURA 44 - DIAGRAMA DE ÁRVORE COM AS POSSIBILIDADES EXISTENTES AO LANÇAR UM DADO E UMA MOEDA.	132
FIGURA 45 - REPRESENTAÇÃO DO ESPAÇO AMOSTRAL DO EVENTO $A \cap B$.	133
FIGURA 46 – CARTA DE SUSCEPTIBILIDADE AOS MOVIMENTOS DE.	138
FIGURA 47 - VIAS DE ACESSO À CIDADE DE OURO PRETO.	142
FIGURA 48 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.	142
FIGURA 49 - SERRA DE OURO PRETO (VISADA NNE). (GOOGLE EARTH, 2013).	144
FIGURA 50 - SERRA DE ITACOLOMI AO FUNDO E OCUPAÇÃO URBANA A DIREITA DA IMAGEM.	145
FIGURA 51 - CICATRIZES DE MOVIMENTAÇÃO DE MASSA EM ENCOSTA NA CIDADE DE OURO PRETO.	146
FIGURA 52 - CICATRIZ DE MOVIMENTAÇÃO DE MASSA PRÓXIMA AO MORRO.	147
FIGURA 53 - ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.	150
FIGURA 54 - LEGENDA UTILIZADA PARA GERAÇÃO DO CÓDIGO DAS FEIÇÕES.	157
FIGURA 55 - DETALHE DA PORÇÃO LESTE DO MAPA DE ÁREAS DE RISCO E REGISTROS.	179
FIGURA 56 - REPRODUÇÃO DE PARTE DA TABELA DE DADOS APRESENTADA POR FONTES(2011).	181
FIGURA 57 - PORÇÃO LESTE DO MAPA DE INVENTÁRIO DE OCORRÊNCIAS APRESENTADO POR FONTES(2011).	182
FIGURA 58 - EXEMPLO DE UMA DAS PLANILHAS DE DADOS CONCEDIDAS PELO IGEO.	184
FIGURA 59 - FREQUÊNCIA DAS OCORRÊNCIAS QUANTO AO TIPO DE MOVIMENTO, QUE SÃO: A) ESCORREGAMENTO ROTACIONAL; B) ESCORREGAMENTO E CORRIDA; C) ESCORREGAMENTO E EROSIÃO; D) CORRIDAS E ROLAMENTOS; E) ESCORREGAMENTO TRANSLACIONAL E CORRIDA; F) CORRIDAS; G) ÁREA DE MÚLTIPLAS FEIÇÕES; H) ESCORREGAMENTO; I) ESCORREGAMENTO TRANSLACIONAL; J) QUEDAS E ROLAMENTOS; K) COMPLEXO.	188
FIGURA 60 - ANÁLISE DAS FEIÇÕES INVENTARIADAS: A) TIPO DE MATERIAL; B) ATIVIDADE; C) PROFUNDIDADE DA SUPERFÍCIE DE RUPTURA.	189

FIGURA 61 - ANÁLISE DAS FEIÇÕES CLASSIFICADAS COMO ESCORREGAMENTO TRANSLACIONAL: A) TIPO DE MATERIAL; B) ATIVIDADE; C) PROFUNDIDADE DA SUPERFÍCIE DE RUPTURA.	191
FIGURA 62 - PARTE DA TABELA DE CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS.....	196
FIGURA 63 - FORÇAS ATUANTES EM UMA FATIA GENÉRICA, SEGUNDO O MÉTODO DE TALUDE INFINITO. (MODIFICADO DE GERSCOVICH, 2012).	206
FIGURA 64 - REPRESENTAÇÃO DA CONVERSÃO DAS CLASSES DE VETORIAIS PARA MATRICIAIS.	209
FIGURA 65 - <i>RASTER</i> DO ATRIBUTO DECLIVIDADE.	209
FIGURA 66 - FORMAÇÃO DA REDE NEURAL ARTIFICIAL.	212
FIGURA 67 - ARQUITETURA DA REDE NEURAL ARTIFICIAL.	214
FIGURA 68 - FORMA DE REPRESENTAÇÃO DA CARTA DE EVENTOS PERIGOSOS: A) MAPA DE VERTENTES, B) GRADE COM VALORES DE PROBABILIDADE SOBRE VERTENTE V1, C) DETALHE DOS VALORES DE PROBABILIDADE.	222
FIGURA 69 - DIAGRAMA DE VENN PARA O EVENTO “ <i>O</i> ”.	228
FIGURA 70 - EQUAÇÃO UTILIZADA PARA CÁLCULO DA PROBABILIDADE <i>P(O)</i>	229

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - TIPOS DE ESTADOS DE ATIVIDADE.	37
TABELA 2 - TIPOS DE DISTRIBUIÇÕES DA ATIVIDADE.	38
TABELA 3 - TIPOS DE ESTILOS DA ATIVIDADE.	38
TABELA 4 - CLASSES DE VELOCIDADE DO MOVIMENTO.	39
TABELA 5 - CONDIÇÕES DE UMIDADE DOS MATERIAIS DESLOCADOS POR MMG.	40
TABELA 6 - TIPOS DE SOLO E SUAS PROPRIEDADES.	42
TABELA 7 - CARACTERÍSTICAS DAS PRINCIPAIS CLASSIFICAÇÕES DE MMG.	45
TABELA 8 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS PRINCIPAIS CLASSIFICAÇÕES DOS MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS.	47
TABELA 9 - TIPOS DE MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS CLASSIFICADOS.	49
TABELA 10 - TIPOS DE MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS CLASSIFICADOS POR HUTCHINSON (1988).	66
TABELA 11 - LISTA DAS CAUSAS QUE GERAM MMG (CRUDEN E LAN, 2015).	74
TABELA 12 - DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS QUE COMPÕEM UM NEURÔNIO ARTIFICIAL.	98
TABELA 13 - FUNÇÕES DE ATIVAÇÃO EM REDES NEURAIS ARTIFICIAIS.	99
TABELA 14 - DADOS DE TREINAMENTO PARA DIAGNÓSTICO DE DOENÇAS.	106
TABELA 15 - ASPECTOS DOS PARÂMETROS DA REDE <i>PERCEPTRON</i>	109
TABELA 16 - VALORES DE ENTRADA E SAÍDA PARA REPRESENTAÇÃO DAS FUNÇÕES AND, OR E XOR.	110
TABELA 17 - TABELA DE INFORMAÇÕES DOS FUNCIONÁRIOS DE UMA EMPRESA.	126
TABELA 18 - RESULTADOS PARA LANÇAMENTO DE UMA MOEDA E UM DADO.	131
TABELA 19 - TABULAÇÃO DOS ATRIBUTOS E PARÂMETROS UTILIZADOS.	160
TABELA 20 - CLASSIFICAÇÃO PARA AS CLASSES DE RESISTÊNCIA.	162
TABELA 21 - CLASSIFICAÇÃO DOS GRAUS DE ALTERAÇÃO (ULUSAY E HUDSON, 2007).	163
TABELA 22 - INTERVALOS DE PERMEABILIDADE DOS MATERIAIS EXISTENTES NA ÁREA DE ESTUDO.	164
TABELA 23 - CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DAS UNIDADES DO SUBSTRATO ROCHOSO.	171
TABELA 24 - CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DAS UNIDADES DO MATERIAL INCONSOLIDADO.	173
TABELA 25 - UNIDADE DE USO E OCUPAÇÃO.	174
TABELA 26 - FEIÇÕES INVENTARIADAS POR SOUZA (1996).	176
TABELA 27 - FEIÇÕES INVENTARIADAS POR BONUCCELLI (1999).	177
TABELA 28 - FEIÇÕES INVENTARIADAS POR ZENÓBIO (2000).	178
TABELA 29 - FEIÇÕES INVENTARIADAS POR FONTES (2011).	180
TABELA 30 – NÚMERO TOTAL DE FEIÇÕES VÁLIDAS.	187
TABELA 31 - CLASSES DE DECLIVIDADE E SEUS INTERVALOS DE INCLINAÇÃO.	192
TABELA 32 - CLASSES DO RUMO DE INCLINAÇÃO DAS ENCOSTAS E SEUS INTERVALOS.	193
TABELA 33 - CLASSES DAS RESISTÊNCIAS DOS MATERIAIS.	198
TABELA 34 - CLASSES DOS CONTRASTES DE PERMEABILIDADE.	199

TABELA 35 - CLASSES DA SUPERFÍCIE POTENCIAL DE RUPTURA.....	201
TABELA 36 - CONDIÇÕES PARA OCORRÊNCIA DE ESCORREGAMENTO TRANSLACIONAL.	204
TABELA 37 - CONDIÇÕES PARA OCORRÊNCIA DE ESCORREGAMENTO TRANSLACIONAL.	204
TABELA 38 – VALORES DE PROBABILIDADE PARA AS CLASSES DO ATRIBUTO UNIDADE GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS.....	230

LISTA DE SIGLAS

APA	Área de Proteção Ambiental
ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
BGS	<i>British Geological Survey</i>
IAEG	<i>International Association for Engineering Geology and the Environment</i>
IGEO	Instituto Geotécnico
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISRM	<i>International Society of Rock Mechanics</i>
MDT	Modelo Digital de Terreno
MMG	Movimento de Massa Gravitacional
MPL	Multilayer <i>Perceptron</i>
RNA	Rede Neural Artificial
TIN	<i>Triangulated Irregular Network</i>
UNESCO	<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i>
UCS	<i>Uniaxial Compressive Strength</i>
URCS	<i>Unified Classification Rock System</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTM	Universal Transversa de Mercator
WP/WLI	<i>Working Party on World Landslides Inventory</i>
ZERMOS	<i>Zones Exposed to Risk of Soil Movements</i>

SUMÁRIO

VOLUME 1

1 INTRODUÇÃO	31
1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA	32
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	35
2.1 MOVIMENTO DE MASSA GRAVITACIONAL	35
2.1.1 Informações adicionais para descrição do MMG	36
2.1.1.1 Atividade do Movimento.....	36
2.1.1.2 Velocidade do movimento	39
2.1.1.3 Condições de umidade	39
2.1.1.4 Material geológico.....	41
2.1.2 Comparação entre as classificações.....	43
2.1.3 Principais classificações	48
2.1.3.1 Classificação de Varnes (1978)	48
2.1.3.2 Classificação de Hutchinson (1988).....	65
2.1.4 Fatores que influenciam o MMG	72
2.2 ESTUDO SOBRE MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS	76
2.2.1 Conceitos gerais	76
2.2.2 Tipos de mapas e cartas de movimentos de massa gravitacionais	77
2.2.2.1 Inventário	79
2.2.2.2 Predisposição	80
2.2.2.3 Suscetibilidade	81
2.2.2.4 Eventos Perigosos (Hazard).....	81
2.2.2.5 Risco.....	82
2.3 CARTA DE EVENTOS PERIGOSOS (HAZARD)	84
2.3.1 Métodos de elaboração	84
2.3.1.1 Métodos qualitativos	85
2.3.1.2 Métodos quantitativos	89
2.4 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS	95
2.4.1 Conceitos	95
2.4.2 Histórico	100

2.4.3	Arquitetura de RNA	102
2.4.4	Treinamento e aprendizagem	105
2.4.5	Tipos de redes.....	107
2.4.5.1	Perceptron.....	108
2.4.5.2	Perceptron de Multicamadas.....	111
2.4.6	Área de aplicação	116
2.4.7	Uso das redes neurais no estudo de MMG.....	118
2.5	ABORDAGEM PROBABILÍSTICA.....	121
2.5.1	Principais conceitos	121
2.5.2	Abordagens probabilísticas	125
2.5.2.1	Abordagem clássica.....	125
2.5.2.2	Abordagem frequentista.....	126
2.5.2.3	Abordagem subjetiva	127
2.5.3	Eventos dependentes e independentes	128
2.5.4	Eventos compostos	130
2.5.4.1	Lista.....	130
2.5.4.2	Tabela.....	131
2.5.4.3	Diagrama de Árvore.....	131
2.5.5	Probabilidade condicional.....	133
2.5.6	Teorema da Probabilidade Total.....	136
2.5.7	Teorema de Bayes	136
2.5.8	Uso de análise probabilística no estudo de MMG.....	137
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	141
3.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	141
3.1.1	Localização	141
3.2	ASPECTOS GERAIS.....	143
3.2.1	Geologia.....	143
3.2.2	Geomorfologia.....	144
3.2.3	Uso e ocupação	147
4	MATERIAIS E MÉTODOS	149
4.1	PRIMEIRA ETAPA	149

4.1.1	Documentos e dados prévios.....	151
4.1.1.1	Souza (1996)	151
4.1.1.2	Bonuccelli (1999).....	151
4.1.1.3	Zenóbio (2000).....	152
4.1.1.4	Castro (2006).....	152
4.1.1.5	Fontes (2011)	153
4.1.1.6	IGEO (2015)	153
4.1.2	Definição do mapa básico	154
4.2	SEGUNDA ETAPA	154
4.3	TERCEIRA ETAPA	155
4.3.1	Inventário	156
4.3.2	Elaboração do modelo e definição dos atributos.....	158
4.3.3	Dados prévios.....	158
4.3.4	Dados gerados.....	159
4.3.4.1	Tabulação dos atributos e parâmetros	159
4.4	QUARTA ETAPA	166
4.4.1	Aplicação em Redes Neurais Artificiais.....	166
4.4.2	Aplicação em Probabilidade	167
5	APRESENTAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS	169
5.1	DADOS PRÉVIOS	169
5.1.1	Mapa topográfico	169
5.1.2	Mapa de Substrato Rochoso.....	170
5.1.3	Mapa de Material Inconsolidado.....	172
5.1.4	Mapa de Uso de Ocupação	173
5.2	DADOS GERADOS.....	175
5.2.1	Mapa de Inventário dos Movimentos de Massa Gravitacionais.....	175
5.2.1.1	Completo	176
5.2.1.2	Válidos	185
5.2.1.3	Mapa de Inventário dos escorregamentos translacionais.....	190
5.2.2	Carta de Declividade.....	192
5.2.3	Carta de Rumo da Inclinação da Encosta.....	193

5.2.4	Carta Geotécnica – Unidades geológico-geotécnicas	194
5.2.5	Carta de Resistência ao Cisalhamento	197
5.2.6	Carta de Contraste de Permeabilidade.....	199
5.2.7	Carta de Superfície Potencial de Ruptura.....	200
5.2.8	Resultados ausentes	202

6 ANÁLISE CRÍTICA DOS DADOS PARA USO EM RNA E PROBABILIDADE..... 203

6.1	DEFINIÇÃO DO MODELO PARA ESTUDO DO MMG	203
6.1.1	Modelo conceitual adotado.....	203
6.1.2	Modelo físico e matemático adotado	206
6.2	CONDIÇÕES PARA USO DOS DADOS EM REDES NEURAIS ARTIFICIAIS	208
6.2.1	Organização dos dados.....	208
6.2.2	Implementação de um modelo de RNA	213
6.2.2.1	Estruturação da RNA	213
6.2.2.2	Arquitetura da RNA.....	214
6.2.2.3	Treinamento	215
6.2.2.4	Validação e execução final.....	220
6.2.3	Carta de Eventos Perigosos aplicando RNA	221
6.3	CONDIÇÕES PARA USO DOS DADOS EM PROBABILIDADE	224
6.3.1	Organização dos dados.....	224
6.3.2	Método probabilístico.....	225
6.3.2.1	Descrição do método.....	225
6.3.3	Implementação do método	227
6.3.3.1	Relação atributo x inventário	229
6.3.4	Carta de Eventos Perigosos aplicando probabilidade	231

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... 233

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 237

ANEXOS

ANEXO I – Ocorrências utilizadas para Análise de Correlação (Castro, 2006)

ANEXO II – Mapa com Zoneamento das Áreas de Risco (Castro, 2006)

ANEXO III – Lista das Ocorrências Mapeadas (Fontes, 2011)

ANEXO IV – Mapa de Inventário de Ocorrências (Fontes, 2011)

ANEXO V – Ficha de campo – STC4 (Fontes, 2011)

ANEXO VI – Parecer técnico - IG-1404-DEC-E-LT01-00 (IGEO, 2015)

APÊNDICES

APÊNDICE A – Tabela de dados cedidos pelo IGEO.

APÊNDICE B – Banco de dados do inventário de movimentos de massa gravitacionais.

VOLUME 2

APÊNDICE I – Mapa Topográfico

APÊNDICE II – Mapa de Substrato Rochoso

APÊNDICE III – Mapa de Material Inconsolidado

APÊNDICE IV – Mapa de Uso e Ocupação

APÊNDICE V – Mapa das Ocorrências Inventariadas

APÊNDICE VI – Mapa de Inventário dos Movimentos de Massa Gravitacionais

APÊNDICE VII – Mapa de Inventário dos Escorregamentos Translacionais

APÊNDICE VIII – Mapa de Inventário dos Escorregamentos Translacionais – Tipo de Material

APÊNDICE IX – Carta de declividade

APÊNDICE X – Carta do Rumo da Inclinação das Encostas

APÊNDICE XI – Tabela de Caracterização das Unidades Geológico-Geotécnicas

APÊNDICE XII – Carta das Unidades Geológico-Geotécnicas

APÊNDICE XIII – Mapa das Seções Típicas das Unidades Geológico-Geotécnicas

APÊNDICE XIV – Carta da Resistência ao Cisalhamento

APÊNDICE XV – Carta de Contraste de Permeabilidade

APÊNDICE XVI – Carta de Superfície Potencial de Ruptura

1 INTRODUÇÃO

Os movimentos de massa gravitacionais possuem grande relevância como evento natural juntamente com terremotos, erupções vulcânicas, inundações e furacões, como geradores de desastres. Apesar de serem menos catastróficos, eles vêm sendo reconhecidos pela população como causadores de várias perdas e danos.

A investigação deste processo ganhou mais destaque devido ao aumento dos investimentos dos países mais desenvolvidos em planejamento e gestão da ocupação, principalmente nos perímetros urbanos, e pelo despertar dos países menos desenvolvidos para a necessidade de investigar estes processos. Por isso, tornou-se fundamental a determinação e avaliação de áreas propícias à ocorrência de movimentos de massa gravitacionais no sentido de evitar desastres e elaborar um ordenamento territorial mais adequado.

No Brasil, muitas são as regiões atingidas por movimentos de massa gravitacionais gerando perdas econômicas e humanas, inclusive com centenas de vítimas fatais. Um caso brasileiro com destaque internacional aconteceu em janeiro de 2011, na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro, causando centenas de mortes e vários desaparecimentos.

Visando identificar, avaliar, minimizar ou solucionar os problemas relacionados à ocorrência dos movimentos de massa gravitacionais devem ser analisados os processos, fatores condicionantes e a relação entre eles, de maneira que seja possível caracterizar a área de forma integrada.

Os procedimentos de análise se iniciam a partir do levantamento das feições dos movimentos de massa gravitacionais, passando pela caracterização geológico-geotécnica da área, zoneamento das regiões mais predispostas à movimentação, a avaliação da suscetibilidade, as condições de eventos perigosos e o risco.

Sem os estudos dos movimentos de massa gravitacionais com mapas adequados, as estratégias de mitigação e prevenção de desastres podem não ser corretamente implementadas. Por isso, é necessário investir na aquisição de dados de alta qualidade, gerando bons resultados a fim de dar confiabilidade ao trabalho.

Diante deste panorama, buscou-se elaborar uma pesquisa que contribuísse para a compreensão da problemática dos movimentos de massa gravitacionais, a começar pela escolha da área de estudo que se encontrasse inserida no cenário brasileiro de desastres naturais.

A área escolhida corresponde a 45km² do território municipal de Ouro Preto e ocupa grande parte do perímetro urbano da cidade. As ocorrências de movimentos de massa gravitacionais são constantes na região, tanto na área urbana como na rural, principalmente nas estações chuvosas. Estes eventos geram perdas e danos à população, às edificações históricas da cidade e às atividades econômicas relacionadas, em especial, ao turismo.

Sob a perspectiva de que a região estudada é frequentemente atingida por movimentos de massa gravitacionais, procurou-se desenvolver este trabalho a partir de um conjunto de informações obtidas através de trabalhos anteriores e também elaboradas por este estudo. Estas informações compõem um banco de dados que foi analisado e avaliado quanto à sua utilização em redes neurais artificiais e probabilidade, a fim de gerar uma carta de eventos perigosos relacionada aos movimentos de massas gravitacionais.

1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA

Este trabalho tem como objetivo principal o levantamento de dados geológico-geotécnicos para análise crítica quanto às possibilidades de uso em métodos probabilísticos e redes neurais artificiais para elaboração de uma carta de eventos perigosos. Espera-se que o resultado responda às seguintes perguntas, a saber:

- Quais os atributos mais importantes para elaboração de uma carta de eventos perigosos?
- Qual o grau de detalhamento, precisão e confiabilidade destas informações?

- Quais mapas e cartas podem ser elaborados a partir das informações?
- De que modo e forma devem estar às informações para elaboração de um mapa de inventário?
- Quais os requisitos básicos para o desenvolvimento de um banco de dados destinado à aplicação em probabilidade e redes neurais artificiais com a finalidade de elaborar uma carta de eventos perigosos?
- Qual a metodologia para aplicação em probabilidade?
- Qual a metodologia para aplicação em redes neurais artificiais?
- Qual o grau de detalhamento satisfatório para um bom resultado a partir de redes neurais artificiais e probabilidade?

Para alcançar o objetivo principal e responder às perguntas que conduzem esta pesquisa, foram definidos objetivos específicos como:

- Elaboração de mapa de inventário da área estudada;
- Elaboração de cartas geotécnicas;
- Análise dos dados frente as condições para aplicação de métodos probabilísticos e redes neurais artificiais para elaboração de carta de eventos perigosos.
- Propor recomendações para realizar um trabalho satisfatório quando aplicado redes neurais artificiais e probabilidade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MOVIMENTO DE MASSA GRAVITACIONAL

O movimento de massa gravitacional (MMG) é definido como sendo o deslocamento dos materiais que formam as encostas, incluindo rocha, solo, preenchimento, ou quaisquer combinações destes, no sentido para baixo e para fora da encosta, sob influência da gravidade (Varnes, 1978). Os movimentos podem ser induzidos por meio de um agente deflagrador como a água, o gelo, a neve e o ar, tombando, deslizando, espalhando-se ou fluindo (Cruden e Varnes, 1996).

Segundo Hutchinson (1988) classificar os tipos de movimentos de massa gravitacionais é importante, em primeiro lugar, para definir e estruturar o campo de estudo, facilitando o intercâmbio de ideias em desenvolvimento e, na medida do possível, promover uma clara e consensual terminologia. Por isso é de fundamental importância a adoção de uma classificação que seja efetiva para a finalidade da pesquisa (Rodrigues, 1998).

Visto a necessidade de definir uma classificação de movimentos de massa gravitacionais a ser usada, apresenta-se uma breve comparação entre as classificações existentes (Seção 2.1.2) e em seguida, as principais classificações são exibidas de forma detalhada (Seção 2.1.3).

Antes disso, são apresentados alguns termos que fazem parte da classificação do tipo de movimento e que podem ser adicionadas à descrição, para que o resultado da pesquisa seja integralizado e, futuramente, de ampla utilização.

2.1.1 Informações adicionais para descrição do MMG

A caracterização dos movimentos de massa gravitacionais torna-se mais completa se consideradas todas as informações que descrevem o movimento. Estes termos são apresentados em diversos estudos relacionados à classificação de movimentos de massa como Varnes (1978), Cruden (1993), Cruden e Varnes (1996), Guthrie (2013), Hungr, Leroueuill e Picarelli (2014) e, Cruden e Lan (2015).

Sugere-se determinar a atividade do movimento, seu estado, estilo e distribuição, a velocidade do movimento, as condições de umidade e, principalmente, o tipo de material envolvido.

A sequência recomendada, segundo Cruden e Lan (2015), para nomear o movimento analisado é: atividade, velocidade do movimento, condições de umidade, material e tipo de movimento, respectivamente. Em seguida, tem-se uma breve explicação de cada um destes termos.

2.1.1.1 Atividade do Movimento

A atividade do movimento pode ser examinada durante o reconhecimento inicial do movimento de massa gravitacional e antes de determinar mais detalhadamente quais materiais foram deslocados (Cruden e Varnes, 1996 e Cruden e Lan, 2015). Os termos relativos à atividade foram inicialmente descritos por Varnes (1978) e estão agrupados em três categorias: atividade, distribuição e estilo da atividade. As expressões em português das tabelas 1, 2 e 3 foram traduzidas por Bonuccelli (1999).

A. Estado de atividade

Esta categoria descreve o que se sabe sobre o atual estado do movimento. Existem 4 tipos de estado de atividade conforme a Tabela 1. O estado inativo

significa que o movimento não ocorreu nos últimos 12 meses e, ele é subdividido em outros 4 estados: dormente, estabilizado naturalmente, estabilizado artificialmente e remanescente.

Tabela 1 - Tipos de estados de atividade.

Estado da atividade		Descrição
Inglês	Português	
<i>Active</i>	Ativo	O movimento está atualmente em movimento.
<i>Suspended</i>	Suspenso	O movimento ocorreu dentro dos últimos 12 meses, mas que não está se movendo no momento.
<i>Reactivated</i>	Reativado	O movimento estava inativo e se tornou ativo.
<i>Inactive</i>	<i>Dormant</i>	O movimento está inativo, mas pode ser reativado pela causa original ou outra qualquer.
	<i>Abandoned</i>	O movimento está inativo e não será reativado pela sua causa original.
	<i>Stabilized</i>	O movimento está inativo e foi protegido contra causas originais por medidas corretivas.
	<i>Relict</i>	O movimento ocorreu em condições climáticas e geomorfológicas diferentes das condições naturais.

*Inativo: O movimento não ocorreu nos últimos 12 meses. Adaptado de Cruden e Lan (2015).

B. Distribuição da atividade

Esta categoria descreve onde e como a feição está se movendo. A distribuição é setorizada em termos de alteração da superfície de ruptura com o tempo e da mudança de volume do material deslocado, também com o tempo. As classes desta categoria estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2 - Tipos de distribuições da atividade.

Distribuição da atividade		Descrição
Inglês	Português	
<i>Advancing</i>	Progressivo	A superfície de ruptura progride no mesmo sentido do movimento.
<i>Retrogressing</i>	Retrogressivo	A superfície de ruptura progride no sentido oposto ao movimento da massa deslocada.
<i>Enlarging</i>	Ampliado em várias direções	A superfície de ruptura progride em 2 ou mais direções.
<i>Widening</i>	Ampliado lateralmente	A superfície de ruptura se desloca para uma ou para as duas margens laterais.
<i>Confined</i>	Confinado	Possui uma escarpa, mas a superfície de ruptura não é visível no pé da massa deslocada.
<i>Diminishing</i>	Regressivo	O volume do material deslocado diminui.
<i>Moving</i>	Em movimento	A massa deslocada continua se movimentando sem alteração visível da superfície de ruptura ou do volume deslocado.

Adaptado de Cruden e Lan (2015).

C. Estilo da atividade

Esta categoria indica como movimentos diferentes contribuem para a ocorrência de movimentos de massa gravitacionais em geral. As classes desta categoria estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3 - Tipos de estilos da atividade.

Estilo da atividade		Descrição
Inglês	Português	
<i>Complex</i>	Complexo	Apresenta pelo menos dois tipos de movimentos em sequência.
<i>Composite</i>	Composto	Apresenta pelo menos dois tipos de movimentos simultâneos em partes diferentes da massa deslocada.
<i>Multiple</i>	Múltiplo	Apresenta repetição de um mesmo tipo de movimento.
<i>Successive</i>	Sucessivo	Movimento do mesmo tipo de outro ocorrido próximo a ele, porém sem compartilhar a mesma superfície de ruptura e massa deslocada.
<i>Single</i>	Simples	A massa deslocada resulta de um só tipo de movimento.

Adaptado de Cruden e Lan (2015).

2.1.1.2 Velocidade do movimento

A velocidade do movimento pode ser estimada por diferentes técnicas (Cruden e Lan, 2015): por sondagens repetidas em várias posições do objeto deslocado; por reconstrução das trajetórias da massa deslocada; por observações de testemunhas oculares, e por instrumentação.

O grupo de pesquisa Terrain (1995), propôs uma modificação dos intervalos de velocidade do movimento, anteriormente definidos por Varnes (1978). O objetivo desta alteração foi ajustar as divisões para aumentar em múltiplos de 100. Isto causou uma pequena elevação do limite superior da escala e diminuição do limite inferior. As classes de velocidade do movimento, propostas por Terrain (1995) estão expostas na Tabela 4.

Tabela 4 - Classes de velocidade do movimento.

Velocidade	Valores limites
Extremamente rápido	>5m/s
Muito rápido	3m/min
Rápido	1,8m/h
Moderadamente rápido	3m/semana
Lento	1,6m/ano
Muito lento	16mm/ano
Extremamente lento	<16mm/ano

Adaptado de Terrain (1995).

2.1.1.3 Condições de umidade

As condições de umidade foram descritas por Varnes (1978) sob o nome de teor de água (*Water Content*). Entretanto, para que esse nome tenha o real significado, a descrição deveria considerar os limites de Atterberg (limites de consistência) (Cruden e Lan, 2015). Assim, a opção sugerida por Hungr *et al.* (2001)

foi modificá-lo para condições de umidade, que se refere à caracterização do estado do material. As condições de umidade presentes no material estão descritas na Tabela 5.

Tabela 5 - Condições de umidade dos materiais deslocados por MMG.

Condições	Descrição
Seco	Nenhuma umidade visível.
Parcialmente úmido	Contém um pouco de água, mas não livre. O material pode se comportar como um sólido plástico, mas a água não flui livremente.
Úmido	Possui água o suficiente para se comportar como líquido. Parte da água pode fluir ou permanecer represada.
Muito úmido	Possui água o suficiente para fluir em baixo gradiente hidráulico.

Adaptado de Cruden e Lan (2015).

Outros dois termos foram propostos por (Cruden e Couture, 2010¹ *apud* Cruden e Lan, 2015), são eles:

- i. Congelado: a água presente no material está em forma de gelo. É geralmente usado para descrever movimentos de massa próximos às geleiras, em áreas com *permafrost*. Este solo é encontrado na região do Ártico, constituído por solo, rocha e gelo, estando permanentemente congelado.
- ii. Descongelado: a água presente no material origina-se do degelo. A instabilidade dos terrenos de *permafrost* é consequência direta da mudança de estado da água de sólida para líquida, por isso a importância de se adicionar a condição descongelada.

¹ CRUDEN, D M; COUTURE, R More comprehensive characterization of landslides: Review and addition. In **Geologically Active: Proceedings of the 11th IAEG Congress**. Auckland, New Zealand, 2010. p. 1033-1042.

2.1.1.4 Material geológico

A descrição do material é uma das categorias mais importantes para se conhecer o movimento e classificá-lo de forma certa, principalmente porque ele está diretamente ligado aos tipos de movimento de massa que podem ocorrer.

Varnes (1978) separa os materiais que podem se movimentar em substrato rochoso e solo. O substrato rochoso é o termo usado para designar uma rocha resistente ou firme, que estava intacta ou em seu lugar natural antes de iniciar o movimento. O solo é qualquer material inconsolidado ou agregado de partículas sólidas pobremente cimentado, que tenha sido transportado ou formado por intemperismo da rocha *in loco*. É geralmente constituído de minerais, rocha ou matéria orgânica, juntamente com qualquer gás ou líquido intersticial. Varnes (1978) denomina a sua descrição de solos como solo para a engenharia (*Engineering soil*), podendo ser divididos em:

- i. Detritos: solo superficial que contém uma significativa proporção de material grosso. Pode definir materiais que possuem entre 20 e 80% de fragmentos maiores que 2mm.
- ii. Terra: Solo com aproximadamente 80% ou mais de fragmentos menores que 2mm. Pode incluir materiais que variam de areias não plásticas a argilas altamente plásticas.

Segundo Cruden e Lan (2015), podem ser adicionadas mais algumas informações na classificação do material, levando em consideração a distinção de terra, solo orgânico e vulcânico, por exemplo. Camadas de partículas finas podem ser divididas em siltes e argilas observando sua plasticidade, dilatância e outras propriedades que caracterizam os materiais finos.

A descrição dos materiais foi modificada por Hungr, Leroueil e Picarelli (2014). Neste estudo o autor apresenta uma nova versão para a classificação de movimentos de massa gravitacionais. Esta nova divisão foi proposta tendo como

objetivo utilizar os avanços geotécnicos e geológicos relacionados à definição dos materiais.

Assim, são apresentados os seguintes tipos de materiais: rocha, argila, lama, silte, areia, cascalho, pedregulho, detrito, turfa e gelo. Hungr, Leroueil e Picarelli (2014) ainda adiciona termos complementares para ajudar na descrição do movimento, como por exemplo os termos: dura e branda para rocha; bem como parâmetros do solo para melhor definir qual o tipo de material (Tabela 6).

O mesmo autor sugere que se deve ter cuidado na escolha dos tipos de materiais, buscando seguir um critério (textura, composição, parâmetros físicos, entre outros) que leve a um bom resultado, visando um estudo mais abrangente dos movimentos de massa gravitacionais. Por exemplo, quando o solo apresentar um conjunto com vários materiais, como areia e argila, deve-se escolher para denominar o movimento aquele material que domina o mecanismo de ruptura. No caso do termo lama, só deve ser usado para solos argilosos amolgados cuja matriz seja plástica e que o índice de liquidez durante o movimento seja maior que 0,5 (Tabela 6).

Tabela 6 - Tipos de solo e suas propriedades.

Material		Termos complementares	Classificação Unificada	Índices
Inglês	Português			
<i>Rock</i>	Rocha	Dura Branda	-	UCS>25MPa 2<UCS<25MPa
<i>Clay</i>	Argila	Dura Mole Sensível	GC, SC, CL, MH, CH, OL e OH	$I_p > 0,05$
<i>Mud</i>	Lama	Líquido	CL, CH e CM	$I_p > 0,05$ e $I_L > 0,5$
<i>Silt, sand, gravel, boulders</i>	Silte, areia, cascalho, pedregulho	Seco Saturado Parcialmente saturado	ML SW, SP e SM GW, GP e GM	$I_p < 0,05$
<i>Debris</i>	Detritos	Seco Saturado Parcialmente saturado	SW-GW SM-GM CL, CH e CM	$I_p < 0,05$
<i>Peat</i>	Turfa	Orgânico	-	-
<i>Ice</i>	Gelo	Glacial	-	-

Adaptado de Hungr, Leroueil e Picarelli (2014).

Outras análises e recomendações podem ser vistas em Hungr, Lerouell e Picarelli (2014) e através da Tabela 6 que mostra os tipos de materiais e algumas propriedades de cada tipo.

2.1.2 Comparação entre as classificações

Rodrigues e Pejon (1998) apresentam uma comparação entre as classificações de MMG mais conhecidas até o ano de 1995, mostrando as principais características de cada uma delas e apontando vantagens e desvantagens da utilização de determinadas classificações.

Com o propósito de apresentar a classificação mais adequada, Rodrigues (1998) levou em consideração os seguintes aspectos:

1. Data em que a classificação foi proposta;
2. Tipos de materiais envolvidos na movimentação;
3. Atributos que são levados em consideração na classificação:
 - a) Processos geomorfológicos,
 - b) Velocidade;
 - c) Geometria;
 - d) Estruturas;
 - e) *Landform*;
 - f) Zona de transferência;
 - g) Superfície de ruptura;
4. Tipos de movimentos considerados;
5. Origem do movimento (natural ou induzido);
6. Detalhamento dos tipos de movimentos;
7. Subtipos e adaptações ou modificações posteriores;
8. Modificação desenvolvida para permitir aplicação em regiões específicas;

9. Instituições e/ou associações que elaborou estudos baseados nas mesmas;
10. Consideração de processos associados.

A Tabela 7 reúne as informações obtidas por Rodrigues (1998) a partir do *check-list* mencionado. Esta tabela foi modificada por Amaral Jr. (2007) e por este trabalho para adição das classificações existentes após 1995, seguindo o mesmo critério de análise.

As classificações mais recentes foram desenvolvidas para atualizar, principalmente, a classificação de Varnes (1978). Cruden e Varnes (1996) propõem modificações e acréscimos em alguns termos já considerados por Varnes (1978). E Hungr, Leroueill e Picarelli (2014) propõe a atualização da divisão dos materiais a partir de uma caracterização mais detalhada.

Tabela 7 - Características das principais classificações de MMG.

Autores	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sharpe	1938	Solo, rocha, gelo, mistura	a, b	6 básicos	Natural	Sim	Não	-	-	Sim
Terzaghi	1928	Solo, rocha	c, d, g	Escorregamento	Natural	Não	1950	Causas: internas, externas e intermediárias	-	Não
Magalhães Freire	1965	Solo, rocha, mistura	a, b, c	6 básicos	Natural	Sim	Não	-	IPT	Sim
Nemcok	1972	Solo, rocha	c, d	Quedas, fluxo, rastejo, escorregamento	Natural	Sim	Não	-	-	Não
Zaruba e Mencl	1976	Solo, rocha	c	-	Natural	Sim	-	-	-	-
Varnes	1978	Solo, rocha	c	6 básicos	Natural	Sim	1985 1996 2014	Velocidade Subtipos Detalhamento	WP/WLI	Não
Hasengawa	1985	Solo, rocha	a, e, f, g	Quedas, fluxo, rastejo, escorregamento	Natural	Sim	Não	-	-	Não
Sassa	1985	Solo, rocha	b, c, d	Quedas, fluxo, tombamento, solifluxão	Natural	Sim	-	-	-	Não
Hutchinson	1988	Solo, rocha, mistura	a, b, c, d	6 básicos + recuo e ruptura	Natural e induzido	Sim	-	-	-	Sim
Yagi	1993	Solo, rocha, mistura	e	Deslizamento, abatimento	Natural	Sim	Não	-	-	Sim
Augusto Filho	1994	Solo, rocha, mistura	a, b, d	Rastejo, escorregamento, quedas, corridas.	Natural	Sim	Não	-	IPT	Não
Lansheng	1995	Solo, rocha	d	Escorregamento, acamamento, fraturado, fluxo, plástico-fraturamento.	Natural	Sim	Não	-	-	Sim
Antoine & Giraud	1995	Solo, rocha		Esfoliação, tombamento, rolamento, escorregamento, escoamento, subsidência.	Natural	Sim	Não	-	Nainville-les roches	Não
Cruden e Varnes	1996	Solo e rocha	b, c	6 básicos	Natural	Sim	2014	Detalhamento dos materiais	WP/WLI	Não
Hungr, Leroueil e Picarelli	2014	Rocha, argila, lama, silte, areia, cascalho, pedregulho, detrito, turfa e gelo	a, b, d, g	5 básicos (exclusão do movimento complexo)	Natural	Sim	-	-	BGS*	Não

*Está analisando a receptividade da classificação. **Fonte** - Adaptada de Rodrigues (1998).

A Tabela 8 mostra as vantagens e desvantagens destas classificações e, também foi modificada de Rodrigues (1998) por Amaral Jr.(2007) e por este trabalho para adição de classificações mais recentes.

Rodrigues (1998) agrupa as classificações analisadas em 4 grupos:

- i. Classificações adaptadas: classificações que mantiveram a base de outras e se adequaram às situações particulares de cada região;
- ii. Classificações específicas: classificações que apresentam características para aplicação de condições especiais do meio físico;
- iii. Classificações básicas: classificações que foram desenvolvidas a partir de condições próprias e serviram de fonte para as modificações,
- iv. Classificações globais: classificações que apresentam como principal característica um conjunto de informações que podem ser aplicadas em praticamente todas as situações.

Por serem consideradas as classificações mais importantes e também por se tornarem mundialmente utilizadas por diversas organizações relacionadas ao estudo dos movimentos de massa gravitacionais, as classificações de Varnes (1978) e Hutchinson (1988) serão apresentadas de forma mais detalhada a seguir. Vale lembrar que a versão proposta por Hungr, Leroueuill e Picarelli (2014) é muito recente e, por esse motivo, pode ainda não ter alcançado notoriedade no meio científico. Apesar disso, ela foi adicionada à seção da classificação de Varnes (1978).

Tabela 8 - Vantagens e desvantagens das principais classificações dos movimentos de massa gravitacionais.

Tipo de classificação	Autores	Vantagens	Desvantagens
Básica	Sharpe	Número de processos; Associação velocidade/geologia	Difícil entendimento
Específica	Terzaghi	Detalhe de causas mecânicas de escorregamentos	Destaca fenômenos geológicos em termos meramente mecânicos
Adaptada	Magalhães Freire	Detalhada; Baseada em Sharpe e Varnes	Difícil entendimento
Específica	Nemcok	Modelos dos tipos	Não relaciona tipos e mecanismos
Básica	Zaruba e Mencl	Detalhada	Considera os tipos de movimentos basicamente em função do tipo de material, tornando-se restrita às condições locais semelhantes
Global	Varnes	Clareza; Subdivisões; Básica; Mais adotado mundialmente; Associação velocidade/ geologia	Não considera movimentos induzidos; Não apresenta correlações
Específica	Hasengawa	Atributos considerados	-
Adaptada	Sassa	Baseada em Varnes; Modelo dos mecanismos	Condições tectônicas e sísmicas diferentes do Brasil
Global	Hutchinson	Considera a origem natural ou induzida e processos correlatos; Mais completa	Classificação complexa
Específica	Yagi	Voltada para identificação e fotografia aérea	Baseada somente em <i>landforms</i>
Básica	Augusto Filho	Fácil entendimento; Fácil classificação em campo	Baseada em eventos ocorridos em uma região específica
Específica	Lansheng	Relações estruturais do maciço	Meio predominantemente rochoso
Específica	Antonie & Giraud	Detalhamento do terreno e litoestrutural	Não considera escorregamento em cunha
Global	Cruden e Varnes	Atualização dos conceitos relacionados a <i>landslides</i>	Não apresenta grande variações dos materiais
Global	Hungr, Lerouell e Picarelli	Subdivisões dos tipos de movimentos; Adição do material e da velocidade na descrição da classificação; Mais completa	Somente considera movimentos naturais

Fonte - Adaptada de Rodrigues (1998).

2.1.3 Principais classificações

2.1.3.1 Classificação de Varnes (1978)

A classificação de Varnes (1978) é uma das mais utilizadas e serve como base de vários estudos e instruções de organizações internacionais ligadas ao assunto, como a *United States Geological Survey* (USGS) e *International Association for Engineering Geology and the Environment* (IAEG).

Em 1996, Cruden e Varnes apresentaram mudanças e acréscimos ao vocabulário da classificação de Varnes (1978). Esta atualização passou a ser utilizada sem substituição à anterior. Atualmente, uma nova revisão da classificação de Varnes (1978) foi apresentada por Hungr, Leroueuill e Picarelli (2014). Ela está sendo divulgada pela *British Geological Survey* (BGS) a fim de ser avaliada pela comunidade científica da área.

Um dos objetivos desta nova versão é adequar a classificação quanto aos avanços recentes na compreensão dos movimentos de massa gravitacionais, principalmente no que diz respeito às definições geotécnicas e geológicas dos materiais envolvidos, solo e rocha. Podem-se destacar duas outras mudanças: a exclusão do movimento complexo como um dos tipos da classificação e a definição de 32 tipos de movimentos oriundos dos 5 movimentos principais já descritos por Varnes (1978) – quedas, tombamentos, escorregamentos, espalhamentos e fluxos.

Entre os atributos utilizados por Varnes (1978) como critérios para identificação e classificação dos MMG tem-se: tipos de movimentos, natureza do material, velocidades do movimento, geometria da área de ruptura e a área de deposição resultante, entre outros relacionados ao local de ocorrência, relações com a litologia, etc.

A Tabela 9 apresenta a classificação proposta por Hungr, Leroueuill e Picarelli (2014), subdividindo os movimentos pelo tipo de material envolvido: solo e rocha. Além dos já conhecidos, adicionou-se outro tipo de movimento denominado deformação da encosta.

A classificação do movimento é formada pelo tipo de processo juntamente com material envolvido. De acordo com Hungr, Leroueuill e Picarelli (2014) podem ser usados até dois tipos de materiais na formação do nome do movimento de massa.

Os tipos de movimento classificados por Varnes (1978) e também por Hungr, Leroueuill e Picarelli (2014) são descritos a seguir:

Tabela 9 - Tipos de movimentos de massa gravitacionais classificados (Modificada de Hungr, Leroueuill e Picarelli, 2014).

Tipo de movimento	Tipos de material	
	Rocha	Solo
Queda	Queda de rocha ou gelo	Queda de pedregulhos, detritos ou silte
Tombamento	Tombamento de blocos rochosos	Tombamento de cascalhos, areia ou silte
	Tombamento flexural de rocha	
Escorregamento	Escorregamento rotacional de rocha	Escorregamento rotacional de silte ou argila
	Escorregamento planar de rocha	Escorregamento planar de silte ou argila
	Escorregamento em cunha de rocha	Escorregamento de cascalhos, areia ou detritos
	Escorregamento composto de rocha	Escorregamento composto de silte ou argila
	Escorregamento irregular de rocha	
Espalhamento	Espalhamento de rocha	Espalhamento de areia ou silte por liquefação
		Espalhamento de argila sensível
Fluxo (escoamento)	Avalanche de rocha ou gelo	Fluxo de areia, silte ou detritos secos
		Fluxo de areia, silte ou detritos
		Fluxo de argila sensível
		Fluxo de detritos
		Fluxo de lama
		Inundação de detritos
		Avalanche de detritos
		Fluxo de terra
		Fluxo de turfa
Deformação da encosta	Deformação das encostas montanhosas	Deformação dos solos das encostas
	Deformação das encostas rochosas	Rastejo de solo
		Solifluxão

A. Quedas (*falls*)

São movimentos onde fragmentos de materiais de qualquer tamanho, geralmente rochosos, se desprendem de uma encosta íngreme sem ocorrer cisalhamento ao longo da superfície. O desprendimento do material pode ser incitado simplesmente por intemperismo da parede e, conseqüentemente perda de sustentação do maciço (Figura 1). Estes movimentos são sempre rápidos ou extremamente rápidos, deslocando os blocos por queda livre (Figura 2), saltamento ou rolamento, e podem ou não serem precedidos por movimentos menores que geram a separação progressiva da massa.

Quando o tipo de material envolvido é o gelo, o mecanismo é idêntico ao da rocha, com exceção à baixa resistência do bloco movimentado (Hungar, Leroueuill e Picarelli, 2014). Neste caso, pequenas quedas podem fragmentar o bloco transformando a queda em uma avalanche de gelo.

Para movimentos que envolvem solo, os fragmentos podem ser grandes blocos de depósitos de solo ou de solo coeso (cimentado e não saturado) e, assim como no gelo, os impactos podem reduzir o tamanho dos fragmentos devido a sua baixa resistência.

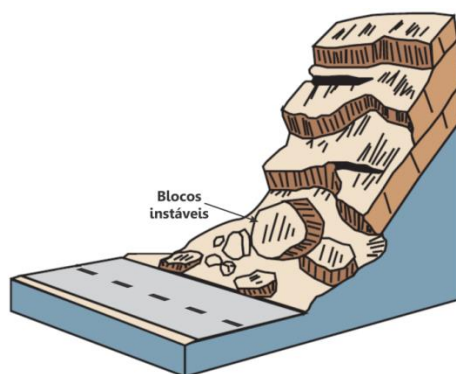


Figura 1 - Queda de rocha por queda livre (Fonte: USGS, 2004).



Figura 2 - Exemplo de queda de blocos de rocha ocorrido em Stupica na Croácia².

B. Tombamento (*topples*)

Caracteriza-se pela rotação do material (solo ou rocha) que se desloca para frente do declive a partir de um ponto de apoio, geralmente situado na base do bloco, abaixo do centro de gravidade da massa deslocada (Figura 3). Quando associados à rocha, esta deve ser relativamente maciça e a rotação ocorre em descontinuidades basais bem definidas (Hungar, Leroueuill e Picarelli, 2014).

O tombamento pode ocorrer pela ação da gravidade, por forças exercidas pelos blocos vizinhos ou pela presença de água ou gelo nas descontinuidades, e, a sua velocidade pode variar de extremamente lenta a extremamente rápida. Dependendo da geometria do material e, da orientação e extensão das descontinuidades, os tombamentos podem culminar em quedas de blocos e escorregamentos. A Figura 4 mostra um exemplo de tombamento de rocha.

Sendo a rocha branda e físsil, existe a possibilidade de as descontinuidades basais não serem bem definidas, de modo que a rotação dos estratos seja facilitada pela flexão (Hungar, Leroueuill e Picarelli, 2014). Neste caso, o maciço rochoso é

² Procedência da Figura 2: <<http://galleryhip.com/rock-fall.html>>.

caracterizado por descontinuidades pouco espaçadas e mergulho acentuado. Geralmente o movimento é lento e tende à auto estabilização.

O mecanismo de tombamento em solo é igual ao que acontece em rocha. O solo é geralmente coeso e separado por descontinuidades verticais, e não há a necessidade de descontinuidades horizontais, pois a fratura basal acontece como consequência dos esforços aplicados na coluna (Hung, Leroueil e Picarelli, 2014).

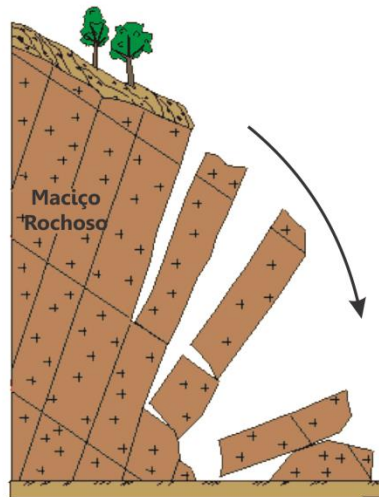


Figura 3 - Tombamento (Fonte: Geodinâmica, 2001).



Figura 4 - Exemplo de tombamento de rocha ocorrido em Alberta/Canadá³.

³Procedência da Figura 4: <http://landslides.usgs.gov/dysi/form.php?landslide_id=15>.

C. Escorregamentos (*slides*)

Abrange materiais rochosos e solos. É causado por uma deformação cisalhante que pode ocorrer ao longo de vários tipos de superfícies. Estas podem ser visíveis ou parcialmente visíveis. A massa deslocada pode deslizar por toda a extensão da superfície original de ruptura e acima da superfície do solo original formando um plano de separação. Muitas vezes, os primeiros sinais de movimentos no solo são fissuras em sua superfície.

Os escorregamentos são divididos em rotacionais e translacionais.

No subtipo rotacional, o material sofre pouca deformação e se desloca a partir de superfícies de ruptura internas (Figura 5). Este mecanismo gera degraus de abatimento na superfície apresentando rachaduras concêntricas ao longo do plano e côncavas ao longo da direção do movimento. Exibem uma superfície de escorregamento curva com a concavidade voltada para cima, embora ela raramente apresente uma curvatura uniforme. O escorregamento rotacional ocorre frequentemente em materiais homogêneos e, por esse motivo, é o movimento que comumente acontece em aterros.

A Figura 6 mostra uma superfície de ruptura característica do movimento rotacional. Ela é nitidamente côncava, voltada para cima, como em forma de uma colher.

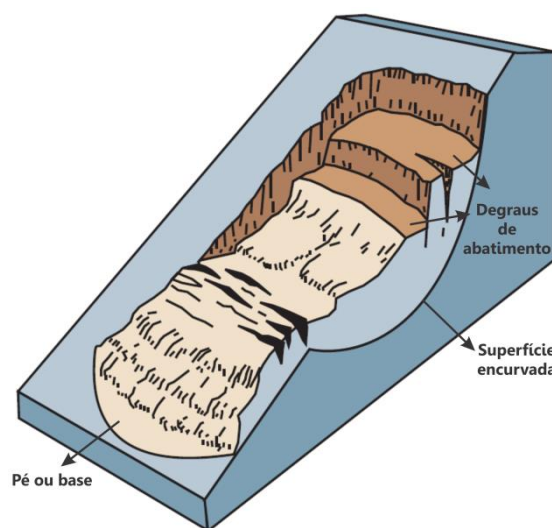


Figura 5 - Escorregamento rotacional (Fonte: USGS, 2004).



Figura 6 - Escorregamento rotacional de grandes dimensões ocorrido em La Conchita, Califórnia/EUA⁴.

Para o escorregamento rotacional, Hungr, Leroueuill e Picarelli (2014) segue os mesmos conceitos adotados por Varnes (1978) e adiciona informações complementares quanto ao material envolvido.

O escorregamento rotacional em rochas acontece somente naquelas de baixa resistência e muitas vezes devido a sobrecarga de uma camada de rocha mais resistente. Usualmente é lento ou moderadamente lento. O escorregamento rotacional em solo é lento a rápido, entretanto, pode ser extremamente rápido quando em solos colapsíveis.

Nos escorregamentos translacionais, a massa em movimento se deforma enquanto desliza no sentido para fora e para baixo, ao longo de uma superfície aproximadamente plana com pouca rotação ou inclinação para trás (Figura 7). É controlado por estruturas de fraqueza, por exemplo: falhas, juntas, planos de acamamento, variações na resistência ao cisalhamento entre os estratos e nas superfícies entre diferentes tipos de materiais geológicos. Geralmente os escorregamentos translacionais são relativamente mais rasos do que os rotacionais.

⁴Procedência da Figura 6: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09c.html>>.

A Figura 8 mostra um escorregamento translacional ocorrido em Blumenau/SC em 2008. A superfície de ruptura planar se formou paralela à encosta íngreme, em meio à vegetação.

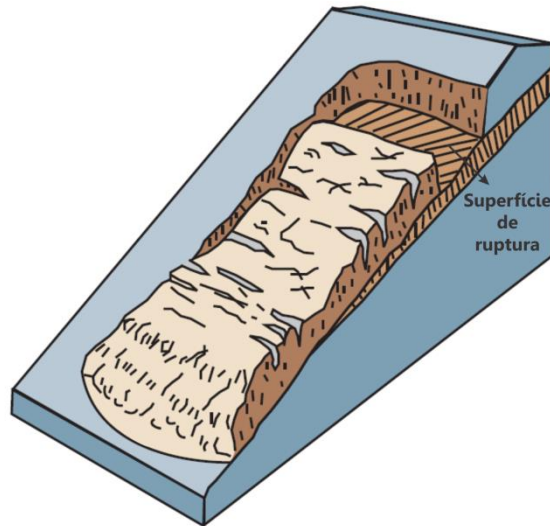


Figura 7 - Escorregamento translacional (Fonte: USGS, 2004).

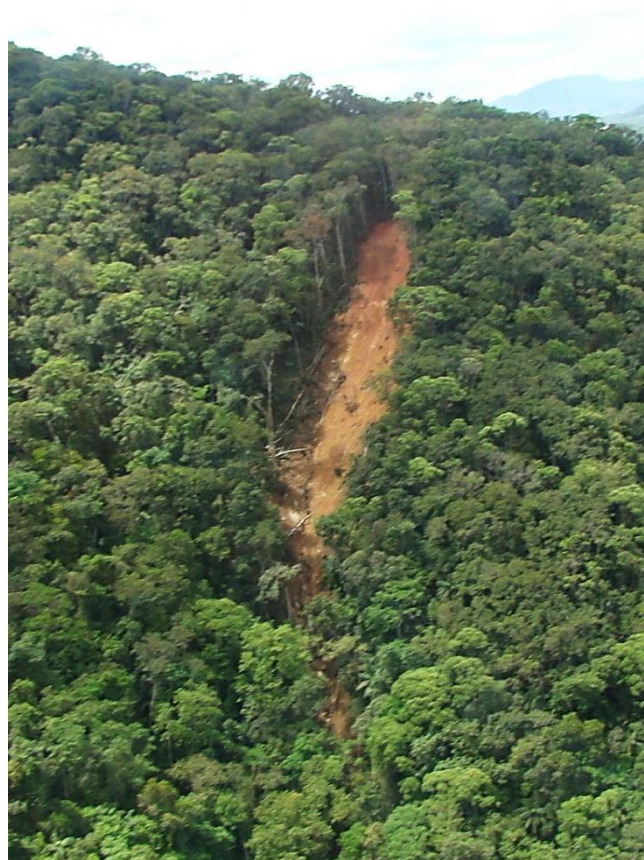


Figura 8 - Escorregamento translacional ocorrido em 2008 na cidade de Blumenau, Santa Catarina⁵.

⁵Procedência da Figura 8: Arquivo pessoal do Prof. Lázaro Valentin Zuquette.

A geometria do escorregamento rotacional apresenta a superfície de deslizamento inclinada para o interior da curva de ruptura, assim, o movimento alcança o equilíbrio na região do pé do talude (Figura 5). Esta estabilidade somente acontece no escorregamento translacional quando as forças atuantes na massa diminuem em relação à resistência.

Hungr, Leroueuill e Picarelli (2014) modifica a classificação de Varnes (1978) subdividindo os escorregamentos translacionais em planar, cunha e composto, como já posteriormente indicado por Cruden e Varnes (1996), e adiciona um novo tipo de movimento denominado irregular (somente para materiais rochosos).

Os escorregamentos planares em rochas e em solos ocorrem a partir de uma superfície de ruptura plana. São extremamente rápidos em rochas e, lentos ou rápidos em solos.

Hungr, Leroueuill e Picarelli (2014) conceitua o escorregamento de materiais granulares, denominado escorregamento de cascalho, areia ou detritos. Este possui superfície de ruptura rasa, planar e paralela à superfície do terreno. Geralmente, a massa em movimento se trata de colúvios, solos intemperizados e depósitos piroclásticos, secos e homogêneos. Em alguns casos pode se transformar em uma avalanche de detritos extremamente rápida.

Os escorregamentos em cunha são formados por dois planos de ruptura tendo a linha interseção destes planos paralela ao mergulho da encosta. Este movimento ocorre em grande maioria em rochas, não possui deformação interna e é extremamente rápido.

O escorregamento irregular é o movimento de material rochoso sob superfície de ruptura irregular formada a partir de diversas descontinuidades orientadas aleatoriamente e separadas por porções de rocha intacta. Hungr, Leroueuill e Picarelli (2014) comenta que esse mecanismo de ruptura é complexo e difícil de descrever, ocorrendo numa velocidade muito rápida a extremamente rápida.

D. Fluxo (*flows*)

Pode também ser denominado escoamento. É o movimento espacialmente contínuo de uma massa que se desloca semelhante a um líquido viscoso. Um escorregamento, principalmente de detritos, pode evoluir para fluxo dependendo da quantidade de água, da mobilidade e da evolução do movimento.

Varnes (1978) divide este tipo em dois grupos: O fluxo de substrato rochoso e o de materiais inconsolidados, sendo este subdividido em fluxo de detritos, fluxo de terra e avalanche de detritos. Segundo USGS (2004) existem cinco categorias de fluxo, são elas: fluxo de detritos (*debris flow*), avalanche de detritos (*debris avalanche*), fluxo de terra (*earthflow*), fluxo de lama (*mudflow*) e rastejo (*creep*). As principais diferenças entre os tipos são: o material envolvido e a velocidade de movimentação.

Hungr, Leroueuill e Picarelli (2014) apresenta 10 subdivisões para escoamento como mostrado na Tabela 9, sendo 9 específicos para solo. Nesta subdivisão foram considerados além da velocidade e do material, também a quantidade de água existente.

Abaixo segue a descrição sucinta dos tipos de fluxos e, para melhor detalhamento, indica-se a leitura do estudo de Hungr, Leroueuill e Picarelli (2014).

Fluxo de detritos (debris flow): fluxo muito rápido a extremamente rápido que mobiliza detritos saturados, arrastando pela encosta a água e outros materiais como resíduos orgânicos e material erodido ao longo do trajeto. Fluxos de detritos são geralmente causados por intenso escoamento superficial de água, devido à forte precipitação ou rápido degelo. As áreas onde são originados frequentemente associam-se a vertentes íngremes. Pode ser iniciado por escorregamentos, avalanche de detritos ou quedas de rocha.

Quando há um aumento significativo da quantidade de água na qual a vazão pode ser comparada a uma inundação, este movimento é denominado *inundação de detritos (debris flood)*. Ele percorre canais de drenagens de grandes bacias hidrográficas e é ampliado pela abundância de sedimentos acrescentados durante o caminho.

A *avalanche de detritos (debris avalanche)* é um tipo de fluxo muito rápido a extremamente rápido e movimenta detritos parcialmente ou totalmente saturados por um canal não confinado da encosta. Por muitas vezes, a avalanche de detritos se inicia dispersa, como um escorregamento de detritos, percorrendo um caminho qualquer pela encosta, em seguida se concentra e desestabiliza parte do canal percorrido, se transformando em um fluxo de detritos.

Fluxo de lama (mud flow): fluxo muito rápido a extremamente rápido constituído por material plástico que contém água suficiente para fluir devido ao rápido degelo ou a precipitação intensa. Arrasta grande quantidade de material juntamente com água em canais íngremes. Hungr, Leroueuill e Picarelli (2014) comenta que a interface entre fluxo de detritos e de lama é gradativo. O índice de plasticidade dos materiais, neste caso, pode servir como parâmetro de controle. A Figura 9 mostra uma região de Blumenau/SC, atingida por vários movimentos de fluxos que carrearam grande quantidade de material, este sendo depositado nas planícies mais próximas.



Figura 9 - Exemplo de fluxo de lama ocorrido em Blumenau, Santa Catarina em 2008. Observa-se que a lama atingiu várias casas no caminho da movimentação⁶.

⁶Procedência da Figura 9: Arquivo pessoal do Prof. Lázaro Valentin Zuquette.

Fluxo de terra (earthflow): fluxo rápido ou lento de solos plásticos, argilosos, fluindo ao longo de múltiplas superfícies de cisalhamento em encostas de baixa inclinação, por volta de 12°. Os materiais devem ser facilmente deformados e essencialmente dúcteis. Pode apresentar longos períodos de dormência alternando a deslocamentos repentinos.

Fluxo de areia, silte ou detritos (Sand/silt/debris flowslide): fluxo rápido ou extremamente rápido de materiais granulares saturados (areias fofas, aterros ou resíduos de mineração, loess e silte) devido ao excesso de pressão na água ou liquefação. Quando este material é seco, úmido ou subaquoso, o movimento é chamado de *fluxo seco (Sand/silt/debris dry flow)* e não existe o aumento da pressão na água.

Fluxo de argila sensível (sensitive clay flowslide): fluxo rápido a extremamente rápido de argila sensível. Acontece pela perda de resistência devido ao amolgamento da argila quando é submetida a uma tensão suficiente para ocorrer uma súbita mudança de fase de sólido para líquido. Este material também é chamado de "*quick clays*".

Fluxo de turfa (peat flow): fluxo rápido de matéria orgânica liquefeita, causada por cisalhamento não drenado.

Avalanche de rocha ou gelo (rock/ice avalanche): fluxo extremamente rápido que movimenta fragmentos de rocha a partir de um grande escorregamento ou queda. O material é predominantemente seco porque durante o movimento não existe possibilidade dos poros serem preenchidos por água devido ao curto tempo de movimento. A alta mobilidade do material possui muitas explicações propostas pela literatura, entretanto, nenhuma ganhou aceitação Hungr, Leroueuill e Picarelli, 2014).

E. Espalhamentos laterais (*lateral spreads*)

Este tipo de movimento geralmente acontece em encostas muito suaves ou em terreno plano. Ocorre através da expansão lateral do material acompanhada por fraturas de cisalhamento ou tração. Podem ser diferenciados em dois tipos:

i. Os que acontecem sem ter uma definição da superfície de cisalhamento ou da zona de plástica e ocorrem em formações rochosas espessas que se sobrepõem a material dúctil. Este tipo é chamado por Hungr, Lerouell e Picarelli (2014) por espalhamento de rocha. Segundo este autor, a deformação intensa do material subjacente de comportamento dúctil promove o estiramento da rocha rígida sobrejacente.

ii. Os que podem envolver fraturamento e expansão de materiais coesos, devido a liquefação do material basal (Figura 10). O material com mais alta coesão pode rotacionar, translacionar e desagregar.

De acordo com a atualização de Hungr, Lerouell e Picarelli (2014) o tipo (ii), descrito acima, é interpretado como dois movimentos distintos denominados: espalhamento de areia e silte por liquefação e de argila sensível.

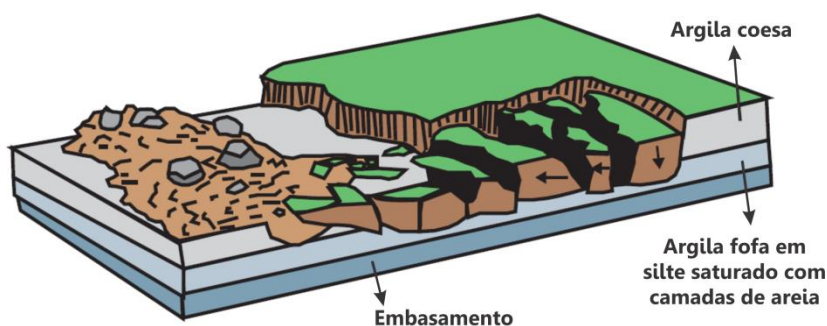


Figura 10 - Espalhamento lateral (Fonte: USGS, 2004).

O espalhamento por liquefação pode ser causado por terremotos ou espontaneamente, onde blocos de solo flutuam sobre material granular liquefeito caracterizando um movimento extremamente rápido. O espalhamento de argila

sensível resulta da propagação de uma zona de cisalhamento horizontal a partir de uma camada de argila sensível que se transforma em fluido (perde a resistência) quando amolgada. Blocos de argila coesa intactos são deslocados como que flutuando sobre esta camada amolgada formando bancos de *horst* e *grabens*. A Figura 11 mostra o espalhamento lateral produzido pela liquefação do material sotoposto, ocorrido às margens de um lago em Manzanillo/México. Observa-se que a movimentação provocou distorção e rachaduras no piso da calçada.



Figura 11 - Exemplo de espalhamento lateral.⁷

F. Deformação das encostas (*Slope deformation*)

Os subtipos de deformação das encostas descritos a seguir, fazem parte da revisão do sistema de classificação de Varnes (1978) criada por Hungr, Leroueil e Picarelli (2014). Este tipo de movimento não foi considerado por Varnes (1978) e Cruden e Varnes (1996). Hutchinson (1988) cita alguns dos mecanismos posteriormente utilizados por Hungr, Leroueil e Picarelli (2014) para descrever a deformação em encostas, entretanto, não há uniformidade nos nomes definidos

⁷ Procedência da Figura 11:< http://www.geerassociation.org/GEER_Post%20EQ%20Reports/Tecoman_2003/c-liq-a.jpg>

pelos autores. A principal diferença é a inclusão do rastejo como um tipo de deformação da encosta e não mais como fluxo, como sugerido por Varnes (1978).

Rastejo (soil creep): é um movimento extremamente lento do solo em encostas, causado pela tensão de cisalhamento suficiente para produzir uma deformação, mas insuficiente para produzir ruptura (Figura 12). Este tipo de movimento é observado em campo por troncos de árvores e cercas curvas e tortos ou muros e postes inclinados, e pequenas ondulações do solo ou sulcos (Figura 13).

O movimento normalmente possui 1m de profundidade e é o resultado da alteração volumétrica do solo devido a mudanças cíclicas do clima (úmido, seco e geada), ou atividades animal e vegetal (Hung, Leroueil e Picarelli, 2014).

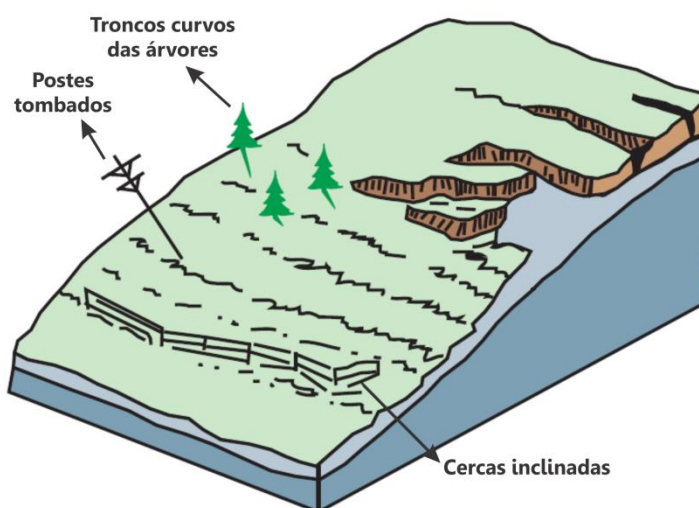


Figura 12 - Rastejo (Fonte: USGS, 2004).



Figura 13 - Exemplo de rastejo em encosta cujos indícios são vistos através dos troncos curvos, buscando o crescimento vertical.⁸

Deformação das encostas montanhosas (mountain slope deformation): movimento extremamente lento com velocidades não mensuráveis, gerado pela deformação em grande escala de encostas rochosas muito íngremes em regiões montanhosas. Manifesta-se por rachaduras, saliências e valas vistas na superfície topográfica. Neste caso, não é possível a identificação de uma superfície de ruptura totalmente definida, e a deformação muitas vezes pode ser confundida como resultado de falhas tectônicas.

Deformação das encostas rochosas (rock slope deformation): deformação de vales ou encostas rochosas gerando flacidez das cristas e desenvolvimento de fissuras ou falhas, sem apresentar superfície de ruptura bem definida. O movimento é extremamente lento.

⁸ Procedência da Figura 13: <http://www.geomika.com/blog/2011/08/13/creep/>

Deformação dos solos das encostas (Soil slope deformation): é um movimento lento a extremamente lento de vales e encostas formadas por solos coesivos e bastante presente em solos congelados de cristas (*permafrost*) com grande quantidade de gelo. Normalmente os deslocamentos são pequenos.

Solifluxão (solifluction): movimento muito lento, porém envolvendo intenso rastejo de solo congelado. Ocorre em regiões periglaciais como nos alpes e zonas polares. Com o degelo durante o verão, o solo fica saturado e, flui sobre material impermeável.

G. Complexos (*complex*)

Varnes (1978) define o movimento complexo como sendo a combinação de dois ou mais tipos principais. Eles podem ocorrer simultaneamente ou em diferentes estágios da evolução de um movimento. Cruden e Varnes (1996) reconhece o desuso deste termo como um tipo de movimento de massa gravitacional, sendo mantido para caracterizar o estilo da atividade de um movimento.

Hungr, Leroueuill e Picarelli (2014) ressalta que classificar um movimento como complexo não é útil pois, a maioria dos tipos de movimentos de massa possuem uma certa complexidade. Por outro lado, as vezes é necessário a utilização de dois nomes de tipos de movimento para descrever um evento no qual um só termo não retrataria. Isto define uma terminologia composta que deve ser decidida pelo pesquisador, e não um novo tipo de movimento.

Como exemplo, tem-se um movimento que ocorreu em Canton Valais, sul da Suíça, descrito como escorregamento irregular de rocha e escorregamento de detritos (*irregular rock slide-debris slide*) (Hungr, Leroueuill e Picarelli, 2014). Neste caso, o movimento se deu em dois estágios. Primeiro ocorreu um escorregamento irregular de rocha e o material se deslocou como uma avalanche de rocha recobrimdo parte da encosta íngreme onde existia um depósito de tálus. Após alguns minutos, o depósito de tálus começou a se movimentar como um escorregamento translacional devido ao aumento da pressão nos poros (sobrecarga), e atingiu alta velocidade.

2.1.3.2 Classificação de Hutchinson (1988)

A classificação de Hutchinson (1988) foi elaborada tendo como apoio os estudos anteriores do mesmo autor e o trabalho de Varnes (1978). A classificação se baseia, primeiramente, na morfologia do movimento da encosta, considerando também o mecanismo, o material e a taxa de movimentação. Aplica-se a movimentos que ocorrem nas áreas subsuperficiais da encosta, provocadas de forma natural ou pelo homem (Hutchinson, 1988). Para este autor a diversidade dos fatores interfere no processo, definindo uma variedade de tipos de movimento. Estes fatores são: litologia, estrutura geológica, hidrogeologia, topografia, clima, vegetação, sismicidade e erosão.

A descrição dos tipos de movimentos será apresentada a seguir, de forma reduzida. Para maiores detalhes, aconselha-se a leitura do trabalho de Hutchinson (1988) *in extenso*. Esta classificação está resumida na Tabela 10.

A. Recuo (*Rebound*)

O recuo acontece quando parte da superfície é desprendida seja por escavações antrópicas ou natural por erosões, o material responde a priori, elasticamente e depois por uma lenta expansão, com movimentos ascendentes e descendentes em sua base e nas laterais. Estes movimentos produzem fraturas e novas mudanças no material através do seu intemperismo acelerado.

Tabela 10 - Tipos de movimentos de massa gravitacionais classificados por Hutchinson (1988).

A Recuo	1. Movimentos associados a escavações antrópicas.
	2. Movimentos associados a vales naturalmente erodidos.
B Rastejo	1. Rastejo superficial.
	2. Rastejo profundamente assentado, contínuo e de massa.
	3. Rastejo de pré-ruptura e progressivo.
	4. Rastejo pós-ruptura.
C <i>Sagging of mountain slopes</i>	1. Fraturamento unilateral associado aos estágios iniciais de deslizamento.
	2. Fraturamento bilateral associado aos estágios iniciais de duplos deslizamentos, levando a propagação em direção à crista.
	3. Fraturamento associado à múltiplos colapsos.
D Escorregamentos	1. Rupturas confinadas.
	2. Rotacionais.
	3. Compostos.
	4. Translacionais.
E Movimentos de detritos em forma de fluxo	1. Fluxo de lama.
	2. Fluxo de lama periglacial.
	3. Fluxo de terra.
	4. Fluxo de detritos, fluxo extremamente rápido de detritos úmidos.
	5. <i>Sturzstrom</i> (avalanche de rocha), fluxo extremamente rápido de detritos secos.
F Tombamentos	1. Tombamento delimitado por descontinuidades pré-existentes.
	2. Tombamento desprendido por tensões de falha na parte traseira da massa.
G Quedas	1. Primárias
	2. Secundárias
H Movimentos complexos de vertentes	

Fonte - Modificada de Hutchinson (1988).

B. Rastejo (*Creep*)

É um tipo de movimento extremamente lento e imperceptível, a não ser que sejam feitas medidas por um longo período. Os rastejos superficiais ocorrem devido a mudanças no teor de água e temperatura, variando o volume do solo, por isso são

considerados predominantemente sazonais. O rastejo: ainda pode ser contínuo, profundos, de massa, pré-ruptura e pós-ruptura. O tipo superficial pode ser comparado ao rastejo descrito por Varnes (1978) e por Hungr, Leroueuill e Picarelli (2014), entretanto para Hutchinson (1988), ele forma um tipo de movimento de massa separado dos outros.

C. *Sagging of mountain slopes* (fraturamento de vertentes de montanhas)

São deformações exibidas nas cristas e nas encostas íngremes das montanhas, formando uma variedade de *horsts* e *grabens* muitas vezes associadas a cristas duplas e pequenos lagos (Mahr & Nemcok, 1977⁹ *apud* Hutchinson, 1988). Os deslocamentos em escarpas individuais geralmente variam de 1 a 2 metros e em casos mais severos pode chegar a dezenas de metros. Este tipo de movimento desenvolve-se melhor em rochas com forte anisotropia, principalmente em rochas metamórficas, como granulitos, xistos, gnaisses etc. e também são comuns em rochas ígneas, como em: granitos, dioritos e intrusões básicas. Possui baixa probabilidade de acontecer em rochas sedimentares.

A Figura 14 apresenta os tipos de movimentos de vertentes associados a movimento de fraturamento rotacional (a), fraturamento com superfície de ruptura lítrica (em forma de colher) (b) e fraturamento com escarpas múltiplas de deslizamentos biplanares (c).

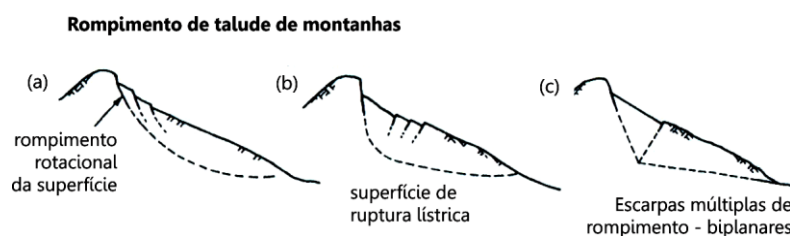


Figura 14 - Tipos de movimentos de vertentes de montanhas (Modificado de Hutchinson, 1988).

⁹ MAHR, T.& NEMCOK, A. 1977. **Deep-seated deformations in the crystalline cores of the Tatry Mountains.** Boletim International Assoc. Eng. Geol. v. 16, p 104 – 106.

Também podem acontecer movimentos em montanhas que causam a partição bilateral das encostas associados aos estágios iniciais de duplos deslizamentos, e deformações associadas à múltiplos colapsos.

Para ilustrar o subtipo C2 (Tabela 10), tem-se a Figura 15 que mostra o resultado do movimento bilateral das encostas com propagação em direção à crista em uma montanha do Canadá, chamada Mission Ridge.

Este movimento de massa se relaciona à deformação das encostas apresentado por Hungr, Leroueuill e Picarelli (2014).



Figura 15 - Deformação da crista da montanha em fraturamento bilateral.
Fonte: Hungr, Leroueuill e Picarelli (2014).

D. Escorregamentos (*slides*)

São movimentos relativamente rápidos de solos e rochas que geram uma ou mais superfícies de deslizamento discretas. O processo começa com o surgimento de fratura e é seguido pelo deslocamento da massa sendo o problema central da classificação definir qual é a importância que se deve dar a cada parte do movimento.

Existem os mais variados tipos de escorregamentos, por exemplo:

- i. Rupturas confinadas: surgem no estado inicial do processo de ruptura e podem acontecer em encostas naturais e em taludes artificiais;
- ii. Rotacionais: acontecem em encostas que consistem de materiais grosseiros e homogêneos. Podem ser divididos em simples (Figura 16a), sucessivos (Figura 16b) e múltiplos (Figura 16c);
- iii. Escorregamentos compostos: ocorrem entre rupturas translacionais e rotacionais e podem ser relacionados ao cisalhamento interno ou ao escorregamento progressivo;
- iv. Translacionais: envolve ruptura por cisalhamento, divididos aqui em 6 subtipos: em lâminas (Figura 17a), em fatia (Figura 17b), em turfas, em rocha (Figura 17c), de detritos (Figura 17d) e em forma de espalhamento por falhas (Figura 17e).

Escorregamento rotacional

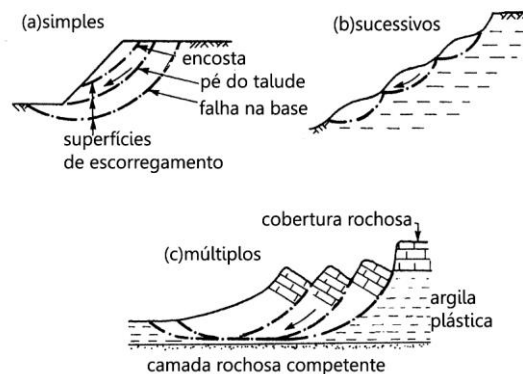


Figura 16 - Escorregamentos rotacionais (Modificado de Hutchinson, 1988).

Escorregamento translacional

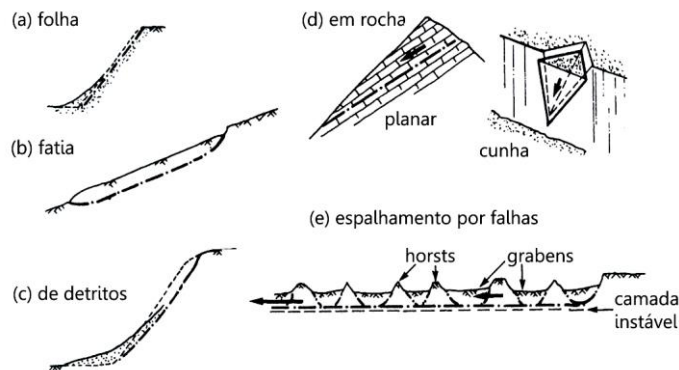


Figura 17 - Escorregamentos translacionais (Modificado de Hutchinson, 1988).

E. Movimento de detritos em forma de fluxo (*debris movements of flow-like form*)

Neste tipo de movimento a morfologia é o principal fator de classificação. O movimento de detritos em forma de fluxo pode ser dividido em: fluxo de lama, fluxo de lamas periglaciais, fluxo de terra, fluxo de detritos, avalanche de terra. Os fluxos de lama ocorrem em forma de lâminas e os fluxos de terra ocorrem em solos sem coesão e rochas de alta porosidade. Os fluxos possuem diferentes mecanismos: os de lama são movimentos que deslizam ao invés de fluir, sendo semelhante ao escorregamento translacional. O fluxo de lama e o fluxo de detritos (Figura 18a e Figura 18b) exibem variações entre o escorregamento e fluxo, respectivamente, enquanto a avalanche de terra é essencialmente fluxo (Figura 18c).

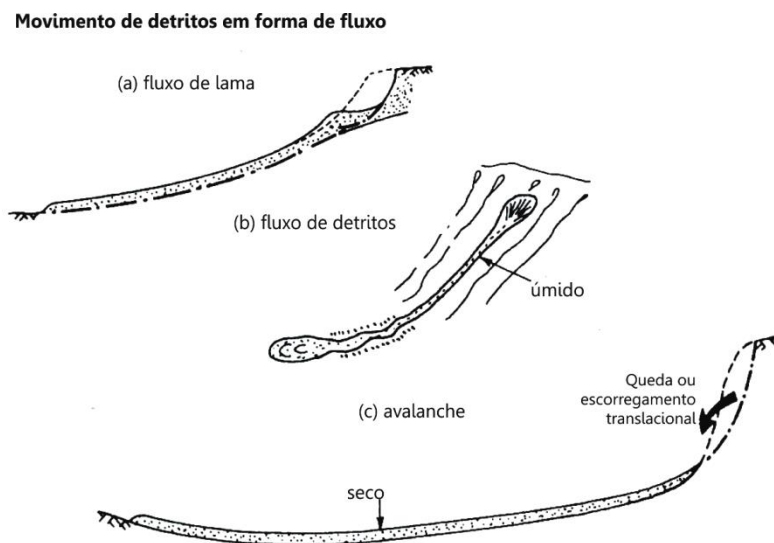


Figura 18 - Tipos de movimentos de detritos em forma de fluxo (Modificado de Hutchinson, 1988).

F. Tombamento (*topples*)

Este movimento ocorre quando o vetor resultante da força aplicada em um bloco rochoso provocando a queda do bloco a partir de um ponto de articulação na sua base. Isto é comum em maciços rochosos que apresentam descontinuidades quase verticais e pode envolver grandes volumes de material. Hutchinson (1988)

citando Varnes (1978) diz que tombamentos em solos também existem e que uma boa revisão sobre este assunto foi feita por Goodman e Bray (1976¹⁰ *apud* Hutchinson, 1988). O mesmo autor divide os tombamentos em dois: os que ocorrem a partir de descontinuidades pré-existentes, sendo simples (Figura 19a) ou múltiplos (Figura 19b); e os que ocorrem por ruptura de tensão.

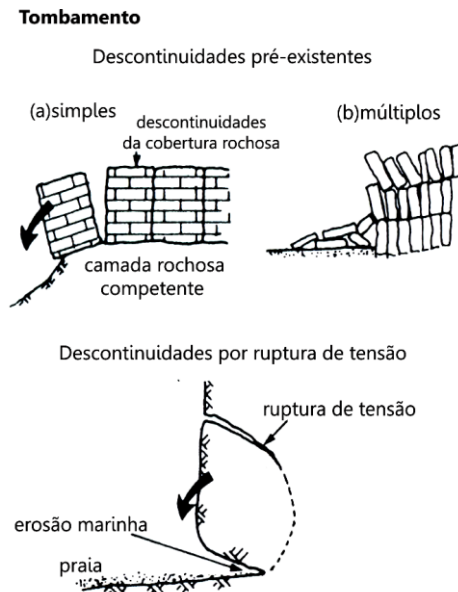


Figura 19 - Tipos de tombamentos (Modificado de Hutchinson, 1988).

G. Quedas (*falls*)

Compreende o rápido movimento descendente, em queda livre, de uma massa de solo ou rocha de qualquer tamanho que acontece em encostas muito íngremes ou em falésias. Elas podem se dividir em duas categorias:

- a) Primária: são quedas de blocos de rocha ou solo envolvendo o desprendimento de uma parte constituinte da massa como mostra a Figura 20a. O processo de separação é geralmente progressivo e prolongado.

¹⁰ GOODMAN, R.E. & BRAY, J.W., 1976. **Toppling of rock slopes**. In Rock Engineering for foundations and slope, Special Conference, ASCE. Boulder, Colorado, v. 2, p. 201-234.

- b) Secundária: envolve a queda de um bloco de rocha ou matacões fisicamente separado da massa constituinte, e comumente solto sobre a encosta (Figura 20b).

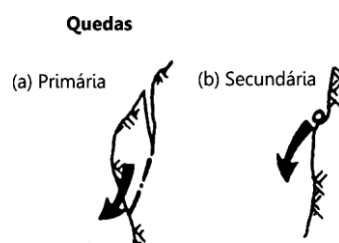


Figura 20 - Tipos de quedas de blocos (Modificado de Hutchinson, 1988).

H. Movimentos Complexos (*Complex slope movements*)

São movimentos originados pela combinação dois ou mais tipos de movimentos citados anteriormente. Os mais frequentes são: o soerguimento do fundo de vales; movimentos de encostas em blocos; encostas em material argiloso com alta declividade; escoamentos de lama ou fluxo na base das encostas, escorregamentos causados por erosão e escorregamentos de múltiplas camadas.

2.1.4 Fatores que influenciam o MMG

Os fatores que afetam a estabilidade de taludes são numerosos e variados e interagem entre si de formas complexas e muitas vezes sutis (Varnes, 1984). Muitos estudos são publicados com o intuito de definir, organizar e apresentar as principais causas, condicionantes e fatores deflagradores do movimento de massa gravitacional, são eles: Varnes (1984), Popescu (1994), Cruden e Varnes (1996), Sassa e Canuti (2009) e Cruden e Lan (2015).

Os fatores que produzem alterações desfavoráveis e podem levar ao movimento são chamados de condicionantes, sendo divididos em: predisponentes e

deflagradores. Os fatores deflagradores foram subdivididos por Popescu (1994) como preparatórios e desencadeadores (ou efetivos).

Os fatores predisponentes são aqueles que se referem ao conjunto de características intrínsecas do terreno no qual vai ocorrer o movimento, e os deflagradores são aqueles que, de fato, causam o movimento, estando diretamente ligados à instabilização da encosta.

Os fatores deflagradores efetivos podem ser naturais e antrópicos. Os fatores naturais mais conhecidos são: chuvas intensas, rápido degelo, mudança no nível d'água, erupções vulcânicas, terremotos e mudanças na geometria da encosta (Sassa e Canuti, 2009). As formas de intervenção antrópica nas encostas podem ser cortes e aterros, concentração de água pluvial, lançamento de água servida, etc.

De acordo com Varnes (1978) os movimentos de massa acontecem pelo aumento ou redução das tensões cisalhantes. Desta forma, a adição de água ou a remoção de material através de cortes na encosta, podem contribuir para mudanças nos estados das tensões e causar a ruptura do material.

Cruden e Lan (2015) reúnem as principais causas de ocorrência de movimentos de massa gravitacionais em forma de *check list* (Tabela 11). Esta tabela é uma atualização da apresentada por Popescu (1994) e Cruden e Varnes (1984).

As causas podem ser divididas em 4 grupos, são eles:

- i. Condições do material: são condições específicas do terreno no qual o movimento pode acontecer, relacionadas às propriedades do material, estrutura e discontinuidades presentes.
- ii. Processos geomorfológicos: são processos relacionados a mudanças morfológicas no terreno. Podem ser documentados por mapas geológicos e topográficos, interpretação de fotografias aéreas, trabalhos de campo e observações feitas pela população local.
- iii. Processos físicos: são mudanças no ambiente físico da encosta e podem ser documentadas por instrumentação como: pluviômetros, para estimativas de precipitação; sismógrafos, para registros de movimentação do terreno produzidos por terremotos, e piezômetros,

para medir alterações na pressão da água subterrânea ao longo do tempo.

- iv. Processos artificiais: estão relacionados à intervenção humana nas encostas. Podem ser documentados por meio de mapas, fotografias aéreas e registros de construções e escavações. Para este processo, Cruden e Lan (2015) sugerem que sejam identificados, separadamente dos naturais, os movimentos de massa induzidos artificialmente.

Tabela 11 - Lista das causas que geram MMG (Cruden e Lan, 2015).

Condições do material	Causas geomorfológicas
Materiais de baixa resistência	Soerguimento tectónico
Materiais sensíveis	Ajuste isostático glacial
Materiais intemperizados	Erosão fluvial da base da encosta
Materiais cisalhados	Erosão costeira da base da encosta
Materiais fraturados	Erosão glacial da base da encosta
Descontinuidade da rocha orientada negativamente (acamamento, xistosidade)	Erosão das margens laterais
Descontinuidade estrutural orientada negativamente (angular, falha e contato)	Erosão subterrânea (dissolução e <i>piping</i>)
Contraste de permeabilidade	Deposição de carga sobre a encosta ou crista
Contraste de rigidez	Remoção da vegetação (incêndios florestais, secas)
Causas físicas	Causas artificiais
Chuvas intensas	Escavação da encosta ou do pé da encosta
Rápido degelo	Carregando da encosta ou crista
Precipitação excepcional prolongada	Elevação de reservatórios
Elevação rápida de inundações e marés	Desmatamento
Terremoto	Irrigação
Represamento de gelo	Mineração
Descongelamento	Vibração artificial
Intemperismo por congelamento e degelo	Vazamento de água de serviços públicos
Intemperismo por contração e dilatação	Drenagem superficial com defeito
	Lançamento de materiais soltos

A partir da identificação das condições e processos que promovem a instabilidade, podem ser estimadas a sua contribuição para a ocorrência de

movimentos de massa. Para isso, são realizados estudos de susceptibilidade, perigo e risco do terreno com base nos dados levantados da área de pesquisa a depender do objetivo da sua avaliação.

A seguir, são apresentados os conceitos mais importantes relacionados ao estudo dos movimentos de massa gravitacionais e seus métodos de análise.

2.2 ESTUDO SOBRE MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS

2.2.1 Conceitos gerais

São apresentadas algumas definições relativas ao estudo dos movimentos de massa gravitacionais. Os termos usados neste estudo foram apresentados por Varnes (1984), Fell *et al.* (2008) e Crozier (2013).

Perigo (Hazard) - Ação com potencial de causar uma consequência indesejável. A descrição de perigo de movimento de massa deve incluir a localização, volume (ou área), classificação e a velocidade dos movimentos com potencial e/ou qualquer material desprendido resultante deste, e a probabilidade de sua ocorrência dentro de um determinado período de tempo.

Intensidade do movimento de massa - Um conjunto de parâmetros espacialmente distribuídos relacionadas ao poder destrutivo de um movimento de massa. Os parâmetros podem ser descritos quantitativa ou qualitativamente, podendo incluir a velocidade máxima do movimento, deslocamento total, deslocamento diferencial, a profundidade da massa em movimento, vazão de pico por unidade de largura, a energia cinética por unidade de área.

Elemento em risco - População, construções e obras de engenharia, atividades econômicas que, por exemplo, podem ser reduzidas devido à perda de uma estrada, equipamentos de serviços públicos, infraestrutura, além dos impactos ambientais na área que potencialmente pode ser afetada por movimentos de massa gravitacionais.

Risco - Medida da probabilidade e gravidade de um evento adverso à saúde, bens ou o ambiente. O risco é frequentemente estimado pelo produto da probabilidade do fenômeno pela magnitude das consequências. No entanto, uma interpretação mais geral de risco implica numa comparação da probabilidade e as consequências sem o uso do produto como aplicação. Para Fell *et al.* (2008) o risco é melhor definido como a probabilidade anual do elemento, seja ele uma pessoa ou uma propriedade em situação de risco, perder a vida ou sofrer algum dano, tendo

em conta o perigo de um movimento de massa gravitacional, a probabilidade temporal e espacial, e a sua vulnerabilidade.

Risco - análise qualitativa: Análise que usa forma de texto, escalas descritivas ou numéricas para descrever a magnitude das consequências potenciais e a probabilidade dessas consequências ocorrerem.

Risco – análise quantitativa: Análise baseada em valores numéricos de probabilidade, a vulnerabilidade e consequências, e que resulta em um valor numérico de risco.

Vulnerabilidade - Grau de perda esperado para um determinado elemento ou conjunto de elementos dentro da área afetada pelo evento. Ela é expressa numa escala de 0 (sem perdas) a 1 (perda total). Para uma propriedade, a perda será o valor da avaria em relação ao valor da propriedade; para pessoas, será a probabilidade de uma vida em particular (o elemento em risco) ser perdida, dado que a pessoa seja afetada pelo movimento de massa gravitacional.

Zoneamento - Parcelamento da terra em áreas homogêneas ou domínios, cuja classificação se dá de acordo com os graus de suscetibilidade real ou potencial do movimento, perigo ou risco.

Tendo em vista todos estes conceitos, a próxima etapa é conhecer as suas formas de representação (cartas e mapas) que auxiliam na avaliação dos movimentos de massa, e os processos de pesquisa e elaboração de cada uma delas.

2.2.2 Tipos de mapas e cartas de movimentos de massa gravitacionais

Os estudos dos movimentos de massa gravitacionais são importantes no planejamento do uso da terra, obras de engenharia, programas de redução de risco e planejamento urbano (Sassa e Canuti, 2009). Vários pesquisadores (Guzzetti *et al.*, 1999; Parise, 2001; Fell *et al.* 2008; Sassa e Canuti, 2009; Crozier, 2013) apresentam trabalhos sobre o modelo de representação e análise que podem ser feitos a partir da relação entre os movimentos de massa gravitacionais, os fatores predisponentes, os deflagradores e os elementos em risco.

O modelo de aplicação clássico está associado à avaliações que geram subsídios para um novo estágio de pesquisa. Amaral Jr. (2007) e Silva (2009) abordam este assunto através de uma hierarquização das etapas do modelo (Figura 21). Estas etapas devem ser conduzidas em ordem lógica para uma melhor investigação das informações envolvidas.

Primeiramente é necessário estudar o passado da região, a fim de entender o processo de movimentação a partir das feições de movimentos de massa que já ocorreram e também registrar as ocorrências atuais. Esta etapa é chamada de inventário. Da mesma forma, é preciso investigar os fatores predisponentes da região, mapeá-los e, com base na análise de todos os fatores em conjunto, realizar o zoneamento de predisposição.

INVENTÁRIO ➡ PREDISPOSIÇÃO ➡ SUSCETIBILIDADE ➡ EVENTOS PERIGOSOS ➡ RISCO

Figura 21 - Etapas do modelo de avaliação dos movimentos de massa de uma área, organizados em ordem de pesquisa.

As próximas etapas devem ser a elaboração da carta de suscetibilidade e de eventos perigosos (*hazard*). Ambas necessitam do diagnóstico do agente deflagrador, que de fato provocará a movimentação. A diferença entre as duas cartas supracitadas é o cálculo da probabilidade de ocorrência de um ou mais eventos perigosos que deve ser realizado para elaboração de uma carta de eventos perigosos. A carta de risco adiciona a este grupo de informações os elementos em risco, analisando o potencial de risco da população, das propriedades, da economia e da componente ambiental.

Em seguida serão detalhadas as etapas citadas no modelo de avaliação dos movimentos de massa gravitacionais.

2.2.2.1 Inventário

Um inventário é o registro da localização do evento e informações quanto ao tipo, data de ocorrência, atividade e velocidade (Guzzetti *et al.*, 2012). Ele pode ser elaborado por diferentes técnicas que dependem do objetivo do inventário, do tamanho da área, da escala do trabalho, entre outros fatores. As metodologias mais utilizadas se baseiam principalmente em mapeamento de campo e interpretação de fotografias aéreas ou imagens de satélites, em função da escala de trabalho e do tipo de mapeamento (Guzzetti, 2006). Geralmente, um mapa de inventário simples retrata diferentes tipos de movimentos de massa gravitacionais em uma área (Malamud *et al.*, 2004). Entretanto, um grupo de mapas pode ser desenvolvido para retratar cada um dos diferentes tipos de movimentos (Guzzetti *et al.*, 2012) ou diferenciá-los, por exemplo, em termos de materiais geológicos envolvidos, datas de ocorrência, entre outras características.

Um mapa de inventário pode ser classificado como inventário de registros e geomorfológico (Malamud *et al.*, 2004; Guzzetti, 2006; Guzzetti *et al.*, 2012).

O inventário de registros reúne as informações sobre os movimentos de massa gravitacionais a partir da literatura ou outros documentos como arquivos públicos ou privados, jornais, relatórios técnicos ou científicos e entrevistas (*e.g.*, Guzzetti, Cardinali e Reichenbach, 1994; Salvati *et al.*, 2003).

O inventário geomorfológico pode ser:

- i. Histórico: Reúne informações em um determinado período de tempo, *e.g.*, Cardinali *et al.*, 2001 e Galli *et al.*, 2008;
- ii. de evento: Mostra feições ocorridas devido a um evento deflagrador, como um terremoto, *e.g.*, Guzzetti *et al.*, 2004 e Xu, 2014;
- iii. Sazonal: registra feições ocorridas a partir de um único evento ou múltiplos durante um período temporal, *e.g.*, Fiorucci *et al.*, 2011 e Bauzys, 2012;
- iv. Multitemporal: Reúne registros de ocorrências específicas em um longo período de tempo, *e.g.*, Chau *et al.*, 2004 e Duman *et al.*, 2005.

A partir do mapa de inventário, a maneira mais simples de obter a suscetibilidade é avaliar a porcentagem de área total de cada unidade geológica-geotécnica está ocupada por feições de movimento de massa e classificar as unidades por este princípio (Parise, 2001). Para tanto, primeiramente é necessário definir as unidades geológico-geotécnicas a partir de um zoneamento de predisposição que analise todos os fatores predisponentes da região. E, desta forma, as unidades formadas por este zoneamento serão a base de análise da avaliação de suscetibilidade.

2.2.2.2 Predisposição

O zoneamento de predisposição está voltado para a identificação das características geológico-geotécnicas que influenciam à ocorrência de movimento de massa gravitacionais (Amaral Jr, 2007). Para isso, os fatores predisponentes ligados a geologia, geomorfologia, vegetação, aspectos climáticos e hidrológicos devem ser analisados em toda área de estudo. Eles são atributos que condicionam uma unidade a ter uma tendência a desenvolver um movimento de massa gravitacional.

Os atributos podem ser: material inconsolidado, textura e espessura do material, declividade, litologia, curvatura, índice de vegetação, uso e ocupação, entre outros.

Este tipo de carta apresenta as unidades classificadas de acordo com a sua predisposição. As categorias vão de unidade mais predisposta a se iniciar um movimento de massa até a categoria menos predisposta.

2.2.2.3 Suscetibilidade

A suscetibilidade refere-se a propensão de uma área à ocorrência de movimentos de massa gravitacionais com base nas condições locais do terreno (Parise, 2001). Neste caso, a probabilidade de ocorrência não é considerada.

Fell *et al.* (2008) sugere que uma carta de suscetibilidade seja elaborada para cada tipo de movimento de massa, individualmente, e depois sejam combinadas para obter uma carta de suscetibilidade ao movimento de massa global. Isso também é válido para a carta de eventos perigosos.

Para elaboração de uma carta de suscetibilidade realiza-se um zoneamento que envolve a distribuição espacial e classificação das unidades de terreno de acordo com a sua predisposição ao evento (Fell *et al.*, 2008). Na sua avaliação, devem ser considerados até mesmo os movimentos de massa que podem atingir a área de estudo, mesmo não estando dentro dela. Similarmente devem ser analisados todos os processos e atributos para hierarquizar as áreas sujeitas à ocorrência dos fenômenos a serem estudados. Por isso, ela está diretamente ligada a alguns fatores predisponentes como a declividade, geologia, clima, vegetação, propriedades geotécnicas e fatores antrópicos, através da predisposição.

A principal diferença entre susceptibilidade e perigo é que a avaliação de perigo considera o fator temporal para estimar a probabilidade de o evento ocorrer dentro de um determinado período de tempo (Varnes, 1984). Portanto, estes termos não devem ser usados como sinônimos.

2.2.2.4 Eventos Perigosos (Hazard)

Uma carta de eventos perigosos registra as diferentes probabilidades existentes de ocorrência de um ou mais eventos em uma área, num determinado período de tempo e com certo nível de intensidade (Varnes, 1984). É essencial que a

carta de eventos perigosos apresente informações quanto à intensidade, probabilidade temporal e espacial (Zuquette e Gandolfi, 2004).

Os conceitos de magnitude, localização e recorrência estão diretamente relacionados à definição de carta de eventos perigosos (Guzzetti *et al.*, 1999). A magnitude refere-se a intensidade do fenômeno natural quanto ao seu comportamento e seu poder destrutivo (volume e velocidade). A localização diz respeito a identificação do lugar onde ocorre o evento. E a recorrência faz menção à frequência temporal do evento.

Segundo Zuquette (1993) podem ser elaboradas cartas de previsão temporal, em que a avaliação se dá em relação a quando ocorrerá o evento; de previsão espacial, que busca prever o possível local de ocorrência; de previsão tipo, em que é antevisto quais os tipos de eventos podem acontecer.

A carta de eventos perigosos (*hazard*) é utilizada no estudo da previsão de riscos e desastres naturais como: terremotos, vulcões, movimentos de massa, inundações e tsunamis. Também são empregadas no estudo de contaminação de águas subterrâneas e solos, e, até mesmo, em atividades antrópicas (Zuquette, 1993).

A avaliação de perigo deve ter informações, por exemplo, sobre tempo de recorrência dos movimentos e estes dados são muito difíceis de serem adquiridos. Por isso, alguns pesquisadores preferem lidar com a falta destas informações e acabam produzindo uma análise de susceptibilidade e não de perigo (Parise, 2001).

2.2.2.5 Risco

O risco de ocorrência de movimentos de massa gravitacionais refere-se a danos ou perdas, incluindo vítimas, danos à propriedade e infraestrutura, interrupção de serviços públicos e atividades econômicas (Sassa e Canuti, 2009; Fell, *et al.*, 2008) na área potencialmente afetada.

É recomendada a elaboração de um catálogo de informações sobre as consequências dos movimentos, a coleta de informações sobre a vulnerabilidade dos elementos; de dados de densidade populacional, localização das estruturas e áreas

ambientais protegidas, e, a valoração econômica a todos os elementos em risco (Guzzetti, 2002). Para tanto, necessita-se da ajuda de profissionais como economistas, tomadores de decisões, políticos, entre outros que possam em conjunto preparar estas informações.

Quantitativamente, o risco pode ser analisado a fim de estimar as probabilidades objetivas, tais como: probabilidade de perda de vida, probabilidade de danos nas estruturas, ambas devido a ocorrência de movimentos de massa gravitacionais (Sassa e Canuti, 2009).

A estimativa do risco envolve a avaliação do perigo, dos elementos em risco e sua vulnerabilidade. O valor do risco é gerado através da equação genérica adotada por Varnes (1984):

$$\textbf{RISCO} = \textbf{PERIGO} \times \textbf{ELEMENTOS EM RISCO} \times \textbf{VULNERABILIDADE}$$

Geralmente o perigo é dado em termos de probabilidade, os elementos em risco são expressos em termos da sua quantidade e custo, e a vulnerabilidade é expressa numa escala de 0 (ausência de danos) a 1 (perda total).

O zoneamento de risco é mais utilizado no planejamento urbano, onde os elementos em risco já existem ou está em fase de projeto, como por exemplo, estradas ou loteamento. Vale ressaltar que os elementos em risco muitas vezes variam com o tempo, de modo que o zoneamento precisa ser atualizado regularmente.

Como o objetivo deste trabalho é elaborar uma carta de eventos perigosos, dar-se-á maiores detalhes dos métodos para sua elaboração, além de exemplos para melhor entendimento da aplicação.

2.3 CARTA DE EVENTOS PERIGOSOS (HAZARD)

2.3.1 Métodos de elaboração

Os métodos utilizados para avaliação dos eventos perigosos relacionados a movimentos de massa gravitacionais podem ser classificados como: qualitativos e quantitativos. Vários pesquisadores estudam estes métodos para além de elaborarem uma carta de eventos perigosos, também testarem a eficiência de cada um deles e, apresentar suas vantagens e desvantagens. Contudo, a escolha de uma metodologia depende do tamanho da região de estudo, da disponibilidade de tempo para a realização do trabalho, da disponibilidade de dados existentes e na possibilidade de elaboração destes, além de recursos financeiros disponíveis (Ahrendt, 2009).

Dentre os trabalhos que caracterizam as metodologias empregadas no estudo dos movimentos de massa gravitacionais e elaboração de carta de eventos perigosos, destaca-se: Aleotti e Chowdhury (1999), Guzzetti *et al.* (1999), Van Westen (2004), Sassa e Canuti (2009) e Pardeshi, Autade e Pardeshi (2013).

Os métodos qualitativos e quantitativos podem ser subdivididos de acordo com as técnicas de aplicação, conforme o enquadramento da Figura 22.

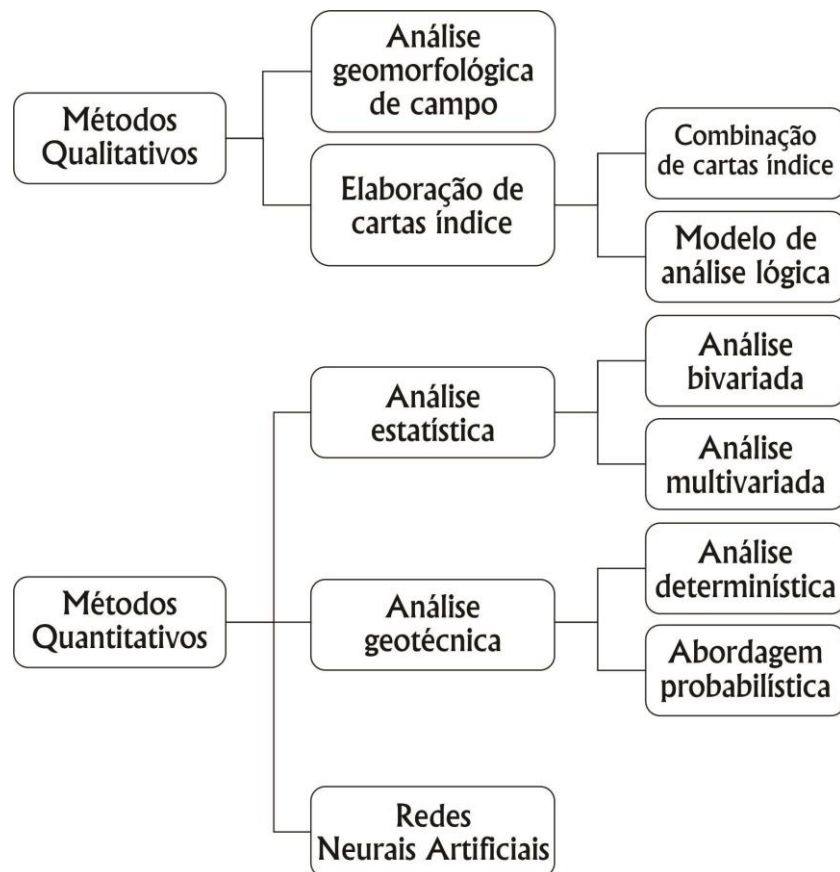


Figura 22 - Métodos de avaliação dos eventos perigosos relacionados a MMG. (Modificado de Aleotti e Chowdhury, 1999).

2.3.1.1 Métodos qualitativos

Os métodos qualitativos geralmente são baseados no julgamento/experiência do especialista que faz a avaliação. Essa avaliação é gerada a partir de trabalhos de campo e apoiado por interpretação de fotografias aéreas (Aleotti e Chowdhury, 1999). Podem ser divididos em análise geomorfológica de campo e combinação de mapas índice.

A. Análise geomorfológica de campo

Esta análise é a mais simples de ser aplicada dentre os métodos. É realizada através de trabalhos de campo onde a interpretação é baseada nas experiências dos

pesquisadores adquiridas em outras situações semelhantes (Aleotti e Chowdhury, 1999). Os procedimentos de análise são difíceis de estabelecer, pois suas formas variam de lugar para lugar, pesquisador para pesquisador (Fell *et al.*, 2008).

Historicamente, a técnica mais conhecida desta metodologia é a ZERMOS (*Zones Exposed to Risk of Soil Movements*) que foi bastante aplicada por vários pesquisadores na década de 70 (Varnes, 1984; Zuquette, 1993; Aleotti e Chowdhury, 1999). Este método combina a análise da configuração geomorfológica juntamente com os principais fatores predisponentes, a fim de avaliar o perigo. Posteriormente, a técnica pode ser extrapolada para áreas com condições geomorfológicas similares.

Uma das desvantagens da análise geomorfológica de campo é a subjetividade da avaliação dos fatores e elaboração da carta. Por este motivo, existe uma grande dificuldade em comparar cartas de eventos perigosos produzidas por diferentes pesquisadores. Além disso, a quantidade de especialistas envolvidos no projeto também pode alterar o resultado, apesar deste método ter a vantagem de ser de rápida elaboração (Aleotti e Chowdhury, 1999).

Um exemplo da utilização da análise geomorfológica de campo para produzir uma carta de eventos perigosos é dado pelo estudo de Hearn (1995). O autor elaborou uma carta de eventos perigosos relacionados a movimentos de massa gravitacionais e erosão da região de uma mina de cobre em Papua Nova Guiné. A área foi dividida em 245 zonas geomorfológicas e, em cada uma delas foi atribuído um valor de *hazard* a partir de dados de campo e interpretação de fotos aéreas. A caracterização de cada unidade foi feita por meio de fichas de campo na qual era cadastrado o mecanismo de ruptura, o tamanho, causa, o impacto atual, impacto potencial futuro e velocidade estimada de movimento. Sempre que possível, essas estimativas foram baseadas em investigação de solo, monitoramento e dados geológicos estruturais, embora na maioria dos casos, elas foram baseadas em evidências de superfície e inferência pessoal, e são, portanto, abertas à interpretação. O resultado do trabalho de Hearn (1995) é o mapa de eventos perigosos mostrado na Figura 23.

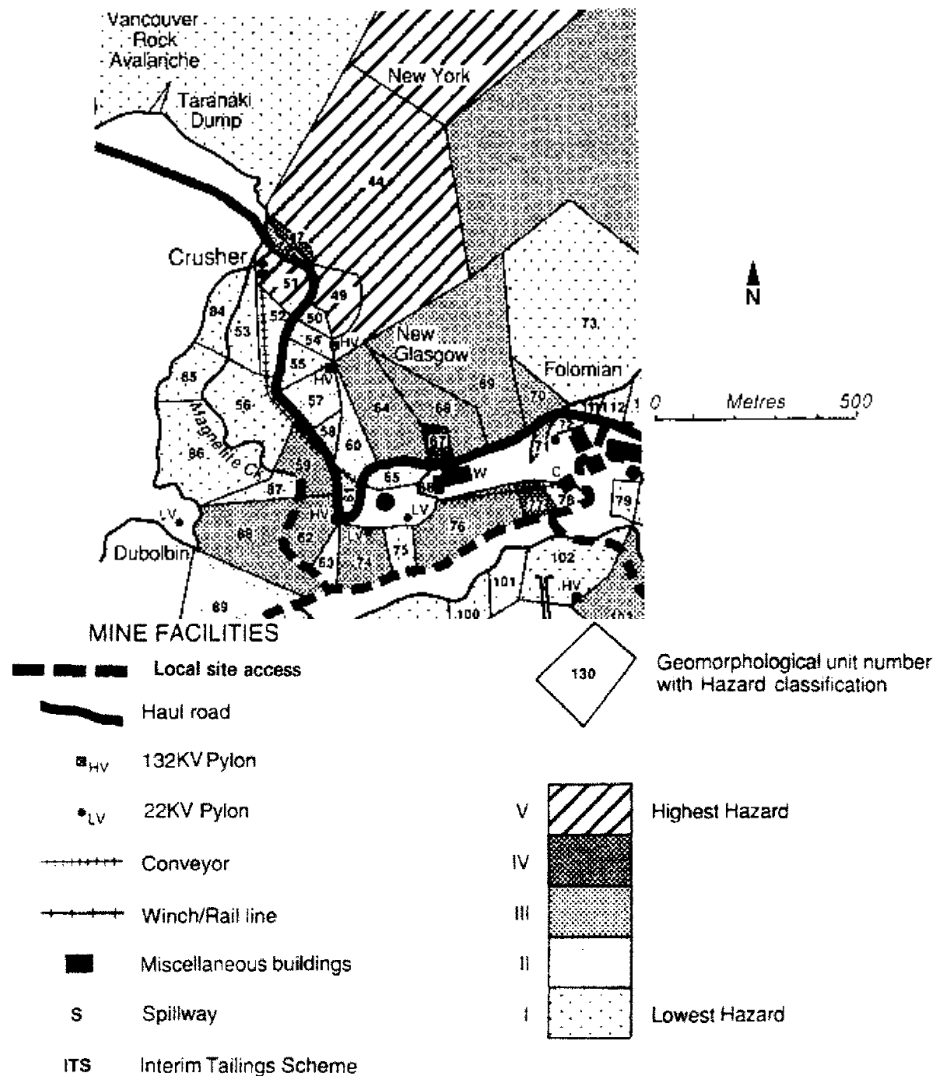


Figura 23 - Parte do mapa de eventos perigosos elaborado através da análise geomorfológica de campo (Hearn, 1995).

B. Elaboração de cartas índice

Nesta abordagem, a avaliação de eventos perigosos depende da investigação dos fatores que influenciam os movimentos de massa no local escolhido para o trabalho. Baseado na experiência dos próprios pesquisadores, esses fatores são selecionados e mapeados (mapa geológico, carta de declividade, mapa de material inconsolidado, entre outros). Em seguida, são atribuídos pesos de acordo

com a importância de cada fator, ou seja, o valor do peso é proporcional à contribuição relativa esperada na geração do movimento.

Os mapas podem ser combinados/sobrepostos um a um, ou em conjunto que é o resultado de um primeiro passo da avaliação e depois de unirá a outros mapas nas próximas fases. Por exemplo, em uma primeira fase, são sobrepostos e somados os mapas: litológico e de declividade. O resultado desta sobreposição é sobreposto ao mapa geomorfológico, e mais uma vez somado (Aleotti e Chowdhury, 1999).

Na análise lógica, o modelo de aplicação inicia-se pelo exame da relação entre os fatores e seleção dos pesos de cada fator, fundamentados na experiência do especialista. Usando essa relação é possível prever os locais de movimentação e, este pode se comparado a dados de monitoramento existentes para definição do grau de concordância. Se o grau de concordância for bom, a avaliação preliminar pode ser usada para classificar as áreas de ocorrência de eventos perigosos, senão, deve ser novamente ponderada (Aleotti e Chowdhury, 1999).

A vantagem deste método é a redução considerável do problema quanto a subjetividade da avaliação e a automação de todo o processo através de ferramentas GIS, entretanto, a subjetividade ainda existente faz com que exista uma dificuldade de extrapolação do modelo desenvolvido em uma área particular para outras regiões.

Para exemplificar o método de elaboração de cartas índice aplicado no estudo dos movimentos de massa gravitacionais de uma determinada área, tem-se o trabalho de Perotto-Baldiviezo *et al.* (2004). Primeiramente foram mapeados 4 fatores predisponentes: declividade, curvatura, uso e ocupação e proximidade da drenagem (que foi criado a partir de linhas de contorno ao redor da drenagem de 100m de distância). Com base na combinação de cada um dos fatores com o mapa de inventário, elaborou-se uma classificação de *hazard* decorrente da porcentagem de área afetada em cada uma das categorias dos fatores. Posteriormente, cada fator foi reclassificado e combinados entre si para formação da carta de eventos perigosos de uma região de Honduras. A Figura 24 mostra o resultado da análise de uma das regiões estudadas, Namasigue.

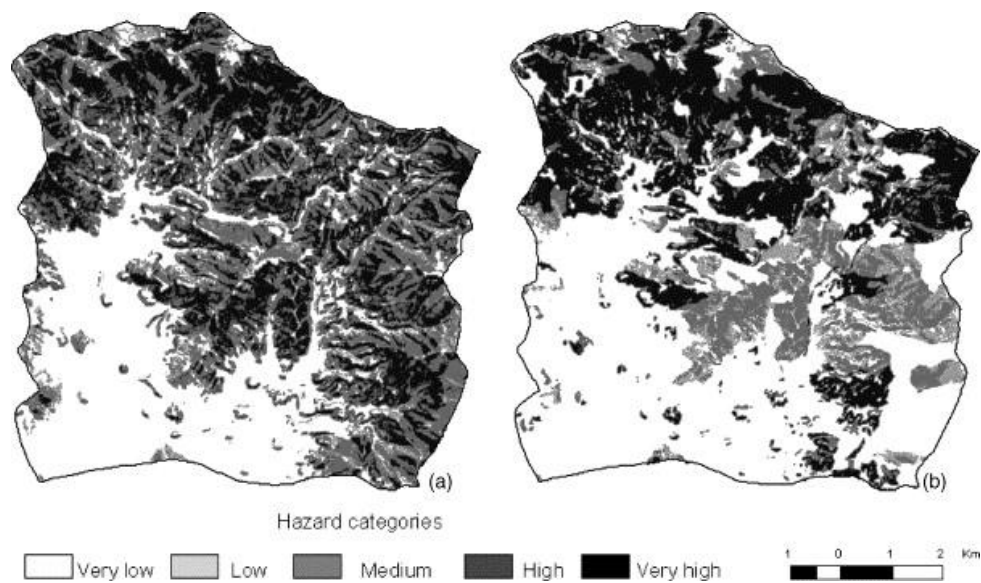


Figura 24 - Carta de eventos perigosos de Namasigue, Honduras: a) antes da adição do resultado do fator uso e ocupação e, b) depois da adição de todos os fatores (Perotto-Baldiviezo *et al.*, 2004).

2.3.1.2 Métodos quantitativos

Os métodos quantitativos: envolvem a análise e descrição de um fenômeno através de valores numéricos, caracterizando matematicamente a avaliação dos eventos perigosos. Este método é dividido em três formas de análise: estatística, geotécnica e por redes neurais artificiais.

A. Análise estatística

O mais importante na análise estatística, é entender, a partir do inventário de MMG, que os fatores do passado e do presente que levaram aquela área a instabilização são os mesmos que irão causar movimentação de massa no futuro (Guzzetti *et al.*, 1999).

Este tipo de método faz com que a subjetividade de se atribuir valores de pesos a fatores que governam a instabilidade, seja solucionada através da comparação entre a distribuição espacial dos movimentos de massa gravitacionais em relação aos parâmetros que estão sendo considerados. Uma das vantagens desse

método é que o investigador pode validar a importância de cada fator e decidir o resultado desta avaliação de forma mais interativa (Aleotti e Chowdhury, 1999).

A análise estatística pode ser bivariada ou multivariada.

A estatística bivariada considera cada fator individualmente e o compara ao mapa de inventário (Aleotti e Chowdhury, 1999). O valor do peso, usado para categorizar todos os fatores, é determinado com base na densidade dos movimentos de massa em cada classe, individualmente. Esta metodologia é empregada por diversos pesquisadores e pode utilizar diferentes fatores como: litologia, declividade, altura da encosta, uso e ocupação, distância das maiores estruturas, densidade da drenagem, relevo, entre outras.

A análise multivariada necessita de uma malha de divisões espaciais baseada em unidades morfométricas. Nos trabalhos pioneiros (Carrara *et al.*, 1978) sobre esta aplicação, as malhas eram quadradas de variados tamanhos, usualmente entre 100 e 200m. Após a construção desta malha, são identificados os fatores mais relevantes e feitos os mapas oriundos desta primeira interpretação.

O próximo passo é a identificação da porcentagem de áreas onde ocorrem os movimentos de massa em todas as unidades e a classificação da unidade como instável ou estável, juntamente com a determinação da presença ou ausência de MMG em cada unidade morfométrica. A representação do mapa gera uma classificação de classes de suscetibilidade, se a intenção é gerar uma carta de *hazard* deve-se transformar as contagens da função em probabilidades. As análises mais usadas são a discriminante para variáveis contínuas e a regressão linear para variáveis nominais (Aleotti e Chowdhury, 1999).

Um exemplo da aplicação de análise estatística para elaboração de uma carta de eventos perigosos é o estudo de Pradhan (2010) em três regiões na Malásia. O autor utilizou o método de regressão logística multivariada. Os fatores predisponentes empregados foram: declividade, orientação, curvatura, distância da drenagem, litologia, distância dos lineamentos, tipo de solo, uso e ocupação do solo, precipitação da chuva e índice de vegetação. O mapa de inventário também foi elaborado e possui 25 anos de registros de movimentos de massa gravitacionais. Para a análise foram estabelecidas as correlações espaciais entre a localização das feições e o fator predisponente relacionado. Os coeficientes de regressão foram calculados e

utilizados para criar a carta de eventos perigosos. Além disso, foi feita uma validação cruzada entre dados obtidos nas três áreas estudadas, pois possuem condições geográficas, geológicas e geomorfológicas semelhantes. Para ilustrar o resultado, uma das cartas criadas pode ser observada pela Figura 25.

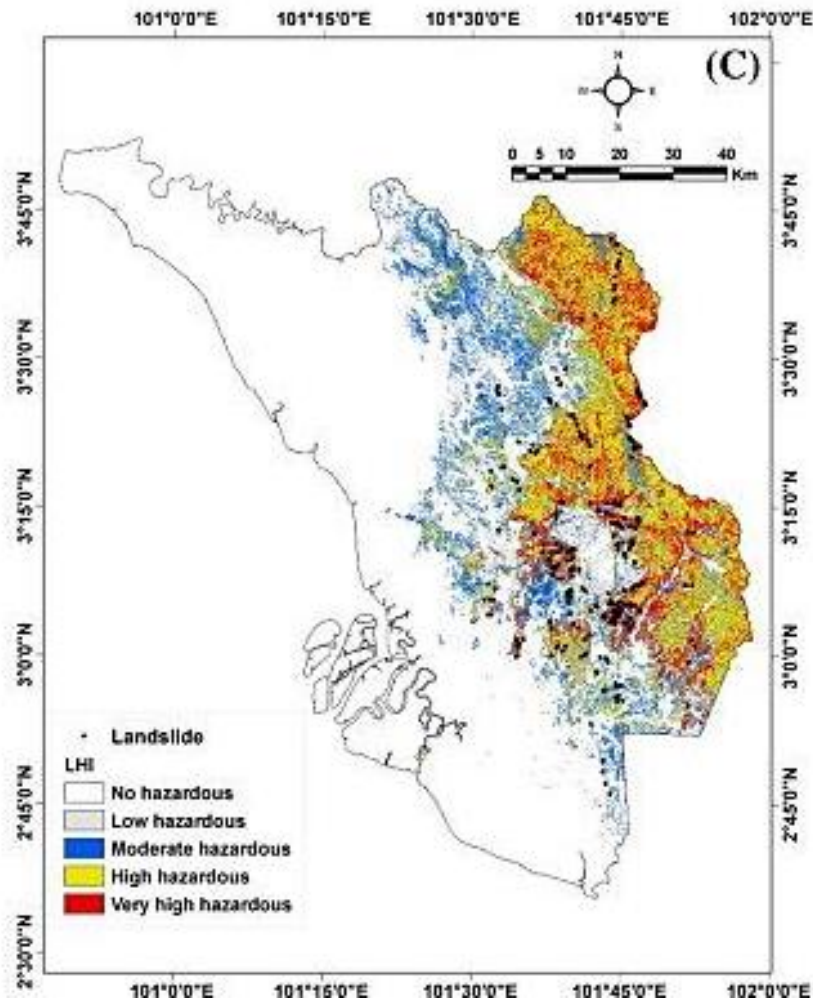


Figura 25 - Carta de eventos perigosos de Selangor, Malásia (Pradhan, 2010).

B. Análise geotécnica

O método de análise geotécnica é baseado nas leis da física que controlam a instabilidade da encosta e pode ser dividido em: determinística e a probabilística.

O método determinístico é comumente usado no estudo da estabilidade de taludes por meio do fator de segurança. Para o cálculo deste fator são necessários

dados geométricos, parâmetros de resistência ao cisalhamento e informações quanto a pressão na água do material.

A análise determinística é fundamentada em leis da física de conservação da massa, energia e momento, e os parâmetros necessários para este estudo podem ser determinados em campo ou em laboratório. Calcula-se geralmente o fator de segurança para estabilidade de taludes por duas formas: a) análise de tensões, utilizando elementos finitos para o estudo da relação tensão *versus* deformação do material deslocado e, b) estado de equilíbrio limite, que pode ser aplicado considerando a massa rompida como um corpo único e a superfície de ruptura de forma circular, planar, etc.

A análise probabilística permite determinar espacial e temporalmente a probabilidade de acontecer um evento relacionado a movimentos de massa gravitacionais. Segundo Pardeshi, Autade e Pardeshi (2013) eles possuem objetividade na atribuição dos pesos utilizando uma estrutura probabilística que pode ser: bayseana, função de favorabilidade, fator de segurança, entre outras. O valor da relação entre cada fator predisponente e a distribuição das feições do inventário, é posteriormente transformado em um valor baseado na função de distribuição de probabilidade.

Para exemplificar a metodologia de análise geotécnica, apresenta-se o trabalho de Jelínek e Wagner (2007) que aplicaram o método determinístico baseado em fator de segurança no estudo de uma encosta de Vel'ká Čausa, Eslováquia. Os parâmetros de entrada foram preparados como mapas temáticos, são eles: nível d'água, pressão na água, superfície de ruptura, ângulo de atrito, coesão, declividade, peso específico e modelo digital de elevação. O cálculo do fator de segurança foi realizado e o seu resultado foi dado para cada célula do mapa. Posteriormente os valores foram reclassificados para 5 intervalos de fator de segurança.

A carta de eventos perigosos (Figura 26) foi gerada para dois cenários. No cenário 1, o nível d'água foi considerado como o obtido entre março de 1995 e outubro de 1998, período entre a ativação do movimento e a sua remediação. No cenário 2, o nível de água foi considerado como o registrado entre novembro de 1998 a dezembro de 2004, o que corresponde a situação mais recente da feição.

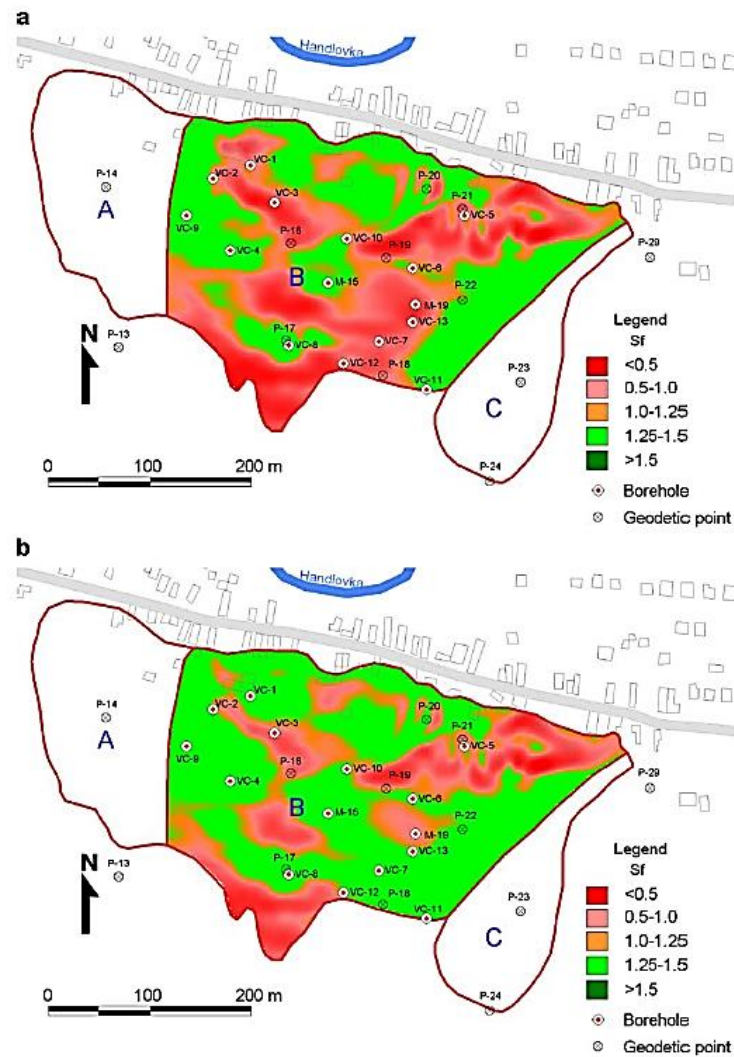


Figura 26 - Cartas de eventos perigosos de Vel'ká Čausa, Eslováquia, baseado em fator de segurança: a) cenário 1 e b) cenário 2 (Jelínek e Wagner, 2007).

C. Redes Neurais Artificiais

A rede neural artificial é um método que, a partir de um algoritmo de treinamento, é capaz de reagir e aprender com base em dados iniciais de entrada, formados pelos fatores predisponentes, que se alteram após o aprendizado.

A inter-relação entre os fatores e os movimentos de massa são naturalmente não-lineares e por isso, a aplicação deste modelo provou ser eficaz na avaliação dos movimentos de massa gravitacionais (Ercanglu, 2005). De acordo com Pardeshi,

Autade e Pardeshi (2013) uma das justificativas de se usar redes neurais artificiais é o fato de os fatores predisponentes serem interligados de forma complexa.

Os métodos probabilístico e redes neurais artificiais foram selecionados por este trabalho para serem os procedimentos de estudo e análise dos movimentos de massa através da carta de eventos perigosos. Por este motivo eles serão detalhados e exemplificados nas próximas seções 2.4 (Redes Neurais Artificiais) e 2.5 (Abordagem Probabilística), a fim de aprofundar o conhecimento destas metodologias e conhecer suas formas de aplicações.

2.4 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

2.4.1 Conceitos

A rede neural artificial (RNA) é um sistema computacional estruturado para receber informações, interpretá-las e tomar decisões apropriadas a partir de um treinamento. O estudo deste tema iniciou-se a partir da observação das atividades cerebrais humanas, onde as entidades básicas – neurônios, interconectados em redes permitem a troca de informação entre eles. A RNA é um modelo útil para a resolução de problemas de forma semelhante às características principais do cérebro humano do ponto de vista do processamento de informação.

Uma RNA possui a capacidade de adquirir, armazenar e administrar o conhecimento e é definida por Silva, Spatti e Flauzino (2010) como sendo “um conjunto de unidades de processamento, caracterizadas por neurônios artificiais, que são interligadas por sinapses artificiais”. Este sistema de interconexões é representado por vetores e matrizes de pesos sinápticos.

Silva, Spatti e Flauzino (2010) e Matssunaga (2012) apresentam algumas características da rede neural como: a adaptação por experiência; capacidade de aprendizado; habilidade de generalização; organização dos dados; tolerância a falhas (devido ao elevado número de interconexões), armazenamento distribuído (o processo é realizado de forma distribuída entre as diversas sinapses).

Os elementos computacionais ou unidades processadoras, denominadas neurônios artificiais, são modelos simplificados dos neurônios biológicos. Os neurônios biológicos agrupados formam o nosso sistema nervoso e são encarregados por metabolizar e transmitir o impulso que chega ao seu corpo celular. O axônio transmite estes impulsos e os dendritos recebem os impulsos provenientes dos axônios de outros neurônios levando-os até o corpo celular para a integração.

Um neurônio típico é apresentado na Figura 27 destacando o sentido do impulso nervoso. As ramificações terminais do axônio são conectadas aos dendritos

de outros neurônios através de neurotransmissores, onde ocorrem as sinapses nervosas (transmissão do impulso nervoso para os neurônios vizinhos).

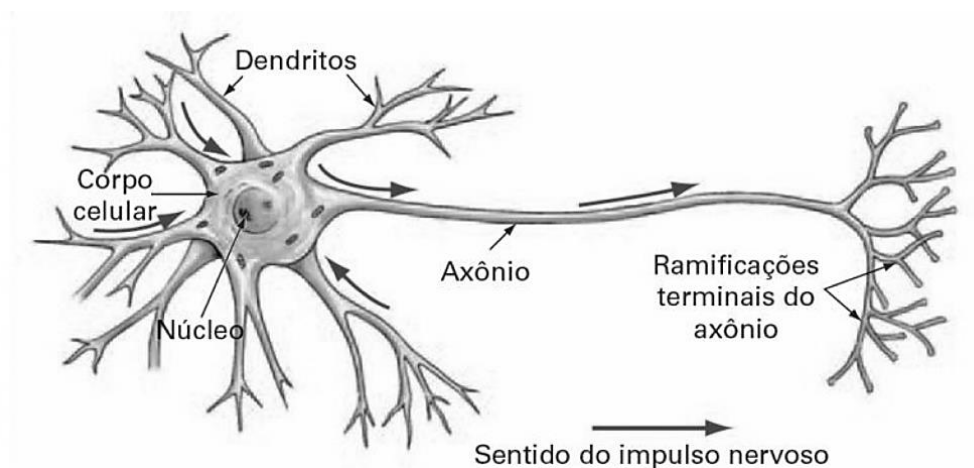


Figura 27 - Representação de um neurônio biológico.

O sistema nervoso controla as ações voluntárias e involuntárias do nosso corpo, como a nossa respiração, uma contração muscular, os batimentos cardíacos, o ato de comer, falar, etc. Uma das ações do cérebro de resposta a um estímulo (por mecanismo de defesa) é, por exemplo, quando nos engasgamos com algum alimento e automaticamente o cérebro codifica e responde a este estímulo com uma crise de tosse para expelir o que está impedindo a respiração.

Assim, a aprendizagem do cérebro humano é alcançada através do processo de mudança química em conexões sinápticas, e acontece a partir de restrições inatas e experiências adquiridas (Kasabov, 1998).

Uma rede neural é, portanto, uma técnica computacional que busca imitar o funcionamento do sistema nervoso do ser humano. Thomé (2003) ressalta que este tipo de sistema não é um programa onde o programador introduz e codifica a tática de solução do problema, ou seja, não possui uma sequência ordenada e definida de instruções; nem tão pouco que conduz o processo de resolução a partir de um conhecimento explicitamente armazenado, deve-se aprender a tarefa que será executada. A rede neural é dinâmica, não possui memória como arquivos de dados e a sua capacidade de aprender se faz com base na exposição de exemplos.

A Figura 28 representa um modelo de neurônio artificial simples cuja função deve ser “coletar os sinais existentes de entrada, agregá-los de acordo com uma função operacional e produzir uma resposta, levando em consideração sua função de ativação inerente” (Silva, Spatti e Flauzino, 2010).

Assim, os sinais de entrada ($X_1, X_2...X_n$) são ponderados por seus pesos sinápticos ($W_1, W_2...W_n$) dando a eles uma relevância por meio de multiplicações. A soma ponderada das entradas (Σ) se transforma na saída do corpo celular artificial (u) após a introdução do limiar de ativação (θ). A função de ativação (g) possui o objetivo de limitar a saída (y) dentro de um intervalo de valores a serem assumidos.

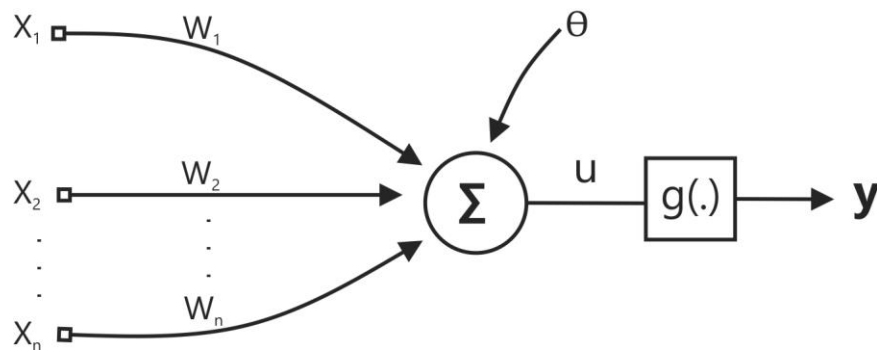


Figura 28 - Neurônio artificial simples.

A Tabela 12 apresenta a descrição, em resumo, dos elementos anteriormente citados que compõem um neurônio artificial.

Tabela 12 - Descrição dos elementos que compõem um neurônio artificial.

ELEMENTOS BÁSICOS DE UM NEURÔNIO ARTIFICIAL	
Sinais de entrada	São as variáveis assumidas para uma aplicação específica. Cada valor de entrada é um tipo de dado associado à amostra. Ex: X_1 =valor de declividade.
Pesos sinápticos	São valores associados a cada variável de entrada a fim de ponderá-las, permitindo quantificar as suas relevâncias. Os pesos se iniciam com valores aleatórios entre 0 e 1, e são ajustados durante o processo de cálculo da rede.
Combinador linear	Tem a função de agrupar os produtos dos sinais de entrada e pesos sinápticos.
Limiar de ativação	Determina um valor que deve ser atingido pelo combinador linear de forma a produzir um resultado pelo neurônio.
Potencial de ativação	É a diferença de valores entre o combinador linear e o limiar de ativação e determina o comportamento do neurônio (excitatório ou inibitório).
Função de ativação	Normaliza a saída do neurônio para valores que possam ser interpretados.
Sinal de saída	É o resultado final do processo de cálculo. Pode ser o produto final geral da análise, bem como ser utilizado por outros neurônios da rede.

Fonte - Modificado de Medeiros (2013).

Os pesos sinápticos são determinados primeiramente de forma randômica. A partir do início do processo, os pesos sofrem um ajuste de acordo com alguma regra visando o aprimoramento da rede neural na execução da sua tarefa. Mais adiante (Seção 2.4.5.2), será exemplificada uma das regras utilizadas na atualização dos valores dos pesos sinápticos, o algoritmo *backpropagation*.

A representação matemática de um neurônio artificial é definida pelas equações 1 e 2.

$$\begin{cases} u = \sum_{i=1}^n w_i \cdot X_i - \theta & \text{(Equação 1)} \\ y = g(u) & \text{(Equação 2)} \end{cases}$$

As funções de ativação podem ser parcialmente diferenciáveis, quando possuem pontos cujas derivadas de primeira ordem são inexistentes e, totalmente diferenciáveis, quando as derivadas de segunda ordem são válidas e conhecidas em todo o domínio da função (Silva, Spatti e Flauzino, 2010). A Tabela 13 exhibe os tipos de função de ativação aplicáveis em RNA.

Tabela 13 - Funções de ativação em Redes Neurais Artificiais.

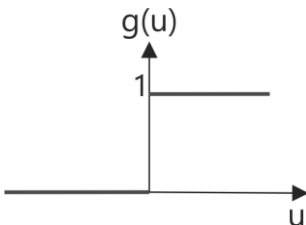
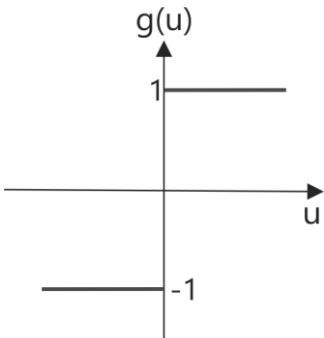
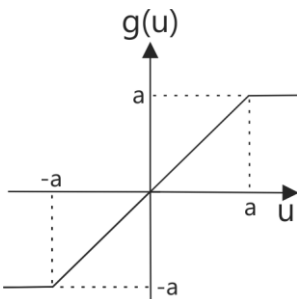
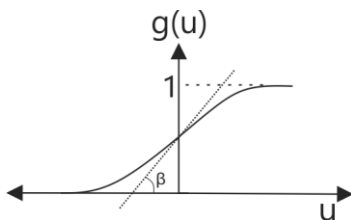
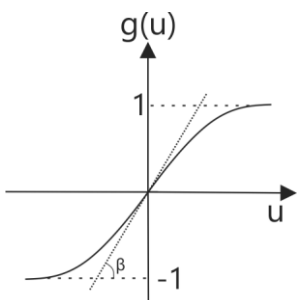
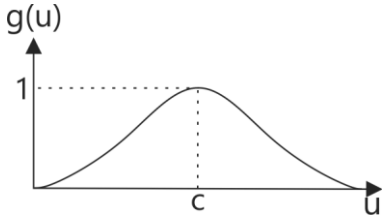
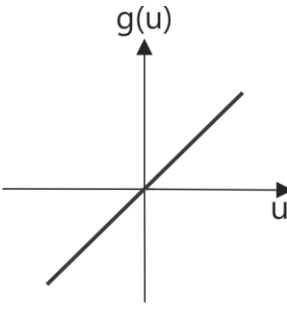
Funções	Domínio	Representação gráfica
Parcialmente deriváveis	Função Degrau $g(u) = \begin{cases} 1, & \text{se } u \geq 0 \\ 0, & \text{se } u < 0 \end{cases}$	
	Função Degrau Bipolar $g(u) = \begin{cases} 1, & \text{se } u > 0 \\ 0, & \text{se } u = 0 \\ -1, & \text{se } u < 0 \end{cases}$	
	Função Rampa Simétrica $g(u) = \begin{cases} a, & \text{se } u > a \\ u, & \text{se } -a \leq u \leq a \\ -a, & \text{se } u < -a \end{cases}$	
	Função Logística $g(u) = \frac{1}{1 + e^{-\beta \cdot u}}$	
	Função Tangente Hiperbólica $g(u) = \frac{1 - e^{-\beta \cdot u}}{1 + e^{-\beta \cdot u}}$	
Totalmente deriváveis		

Tabela 13 - Funções de ativação em Redes Neurais Artificiais (continuação).

Funções	Domínio	Representação gráfica
Função Gaussiana	$g(u) = e^{-\frac{(u-c)^2}{2\sigma^2}}$	
Totalmente deriváveis		
Função Linear	$g(u) = u$	

2.4.2 Histórico

Para desenvolver um sistema de rede neural artificial os pesquisadores buscaram alternativas para modelar o neurônio biológico, tanto na sua estrutura como na sua funcionalidade, na conectividade, na interatividade dos neurônios e, principalmente, na dinâmica operacional do sistema biológico (Thomé, 2003). Este tipo de rede que se espelha ao modelo biológico, necessita de arquiteturas paralelas, de algoritmos adequados na fase de aprendizado e alta capacidade de processamento.

Um histórico resumido sobre redes neurais artificiais se inicia com os pesquisadores McCulloch e Pitts que desenvolveram em 1943 um modelo matemático para o neurônio biológico, resultando numa primeira concepção de neurônio artificial (Kasabov, 1998). Neste momento os estudos estavam voltados

para entender o funcionamento do cérebro e as aplicações estavam restritas à medicina e à psicologia (Thomé, 2003).

Donald Hebb em 1949 propôs algo inédito: uma lei de aprendizagem específica para as sinapses dos neurônios. A regra implica que a conexão é reforçada entre dois neurônios quando ambos são ativados ao mesmo tempo, sendo que a alteração na força é proporcional ao produto das duas atividades (Kriesel, 2005). Este foi o primeiro método de treinamento da rede neural artificial sendo denominado: regra de aprendizado de Hebb.

As atividades nessa linha de pesquisa culminaram na concepção do *Perceptron* por Frank Rosenblatt em 1958 e em um modelo parecido, o *Adaline* (*Adaptive Linear Element*) por Widrow e Hoff em 1960. Rosenblatt, Wightman e outros pesquisadores ainda desenvolveram o primeiro neurocomputador chamado *Mark I Perceptron* (Kriesel, 2005). Rauber (1997) expõe que o surgimento desta máquina causou grande euforia em relação a imaginação das capacidades de futuros robôs inteligentes. A rede *Perceptron*, desenvolvida neste período, possuía como uma das suas características principais um algoritmo de aprendizagem capaz de adaptar os pesos internos do neurônio, para resolver o problema de classificação linear, no caso em que esta separação existia entre as classes (Rauber, 1997).

Nos anos 60 e principalmente na década de 70 poucas publicações e pesquisas foram feitas. Isso aconteceu, em parte, devido ao trabalho de Minsky & Papert que no ano de 1969 apresentaram as limitações das redes neurais artificiais constituídas por somente uma camada, como o *Perceptron* e *Adelaine*.

A partir deste trabalho, a popularidade e o investimento desta área de pesquisa diminuíram, pois o pensamento da época era que os modelos mais complexos poderiam mostrar exatamente os mesmos problemas apresentados por Minsky & Papert. Assim, a especulação de que uma investigação neste campo estaria propensa ao fracasso, resultou em uma queda dos fundos de pesquisa nos 15 anos que se seguiram (Kriesel, 2005).

Silva, Spatti e Flauzino (2010) e Kriesel (2005) mencionam que o campo das redes neurais somente regressou ao destaque que tinha anteriormente após as publicações do pesquisador Hopfield, em 1982 e 1985, sobre a Rede Hopfield que utiliza redes simétricas para otimização, além de Rumelhart, Hinton e Williams que,

em 1986, publicaram o método *backpropagation* e, desta forma, problemas não-linearmente separáveis poderiam ser resolvidos por *Perceptron* multicamadas.

O crescimento do estudo de redes neurais artificiais recentemente se dá através do desenvolvimento de novas aplicações em diferentes ramos do conhecimento e à proposição de aperfeiçoamentos de algoritmos e máquinas para incrementar a eficiência do processo de execução (Silva, Spatti e Flauzino, 2010). A Figura 29 retrata os principais pesquisadores na área.



Figura 29 - Alguns pesquisadores no estudo das redes neurais artificiais. Da esquerda para direita: Warren McCulloch, Walter Pitts, Donald Hebb, Marvin Minsky, Bernard Widrow, Seymour Papert e John Hopfield (Adaptado de Kriesel 2005).

2.4.3 Arquitetura de RNA

A arquitetura de uma rede neural artificial é a maneira pela qual os neurônios de uma rede neural estão estruturados. Esta estrutura está intimamente ligada ao algoritmo de aprendizagem a ser usado para treinar a rede (Haykin, 2001). Pode-se, em geral, classificar três tipos de arquiteturas de rede fundamentalmente diferentes, como descritos a seguir.

Nas *redes unidirecionais de uma única camada* todas as conexões entre neurônios diferentes seguem a direção entrada→saída. Neste caso, a rede neural é organizada na forma mais simples: uma camada de entrada que se projeta para uma única camada de saída de camadas (Figura 30). Este tipo de rede também pode ser denominada como alimentada adiante ou acíclica ou *feedforward* de camada simples (Haykin, 2001 e Silva, Spatti e Flauzino, 2010). A designação de camada única refere-se à quantidade de camadas de nós computacionais.

Ainda existem redes unidirecionais, ou seja, que seguem uma única direção, que possuem mais de uma camada de nós computacionais, são as chamadas *redes de múltiplas camadas*. As camadas são ocultas e a função dos neurônios ocultos é intervir entre a entrada externa e a saída da rede (Haykin, 2001). Os sinais de entrada (Figura 31) são inseridos nos neurônios da segunda camada (primeira camada oculta). Os sinais de saída desta camada são, então, utilizados como dados de entrada para a terceira camada e assim por diante até a finalização do processo.

Outro tipo de arquitetura é chamado de *rede recorrente*, que apresenta pelo menos uma realimentação durante o processo de execução da rede. A presença da realimentação tem um impacto significativo na capacidade de aprendizagem da rede e no seu desempenho (Matssunaga, 2012). Uma rede recorrente tem uma camada de entrada de neurônios que alimenta seu sinal de saída de volta para as entradas de todos os outros neurônios, podendo ter ou não auto-realimentação (Haykin, 2001). A Figura 32 apresenta uma rede com neurônios ocultos onde as conexões de realimentação se originam destes neurônios bem como dos neurônios de saída, e possuem uma memória de atraso, os operadores de atraso unitário, que operam sobre todas as entradas $x(n)$ produzindo uma versão atrasada (valores passados - p) da seguinte forma: $x(n-1), x(n-2), \dots, x(n-p)$.

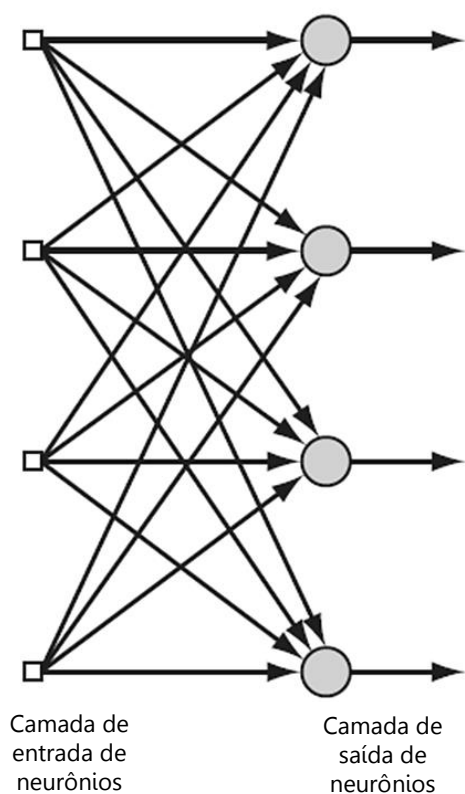


Figura 30 - Rede unidirecional com única camada de neurônios (Modificado de Haykin, 2001).

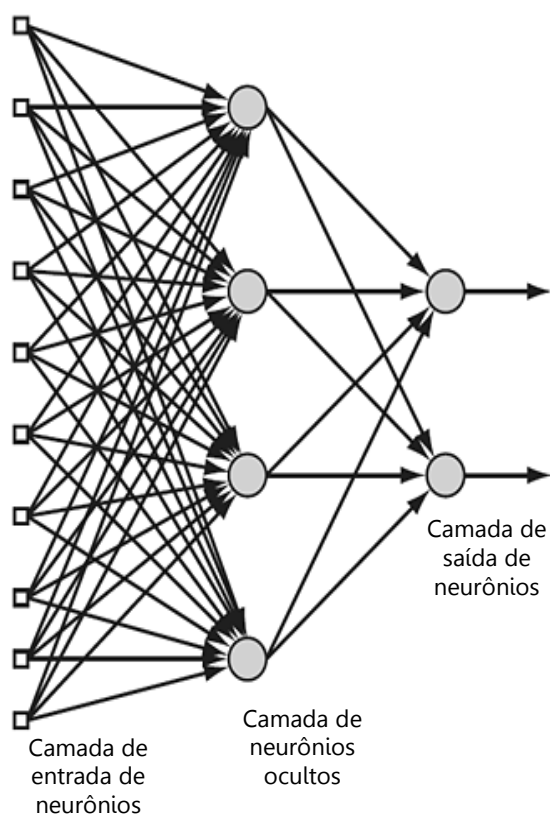


Figura 31 - Rede unidirecional com multicamadas de neurônios (Modificado de Haykin, 2001).

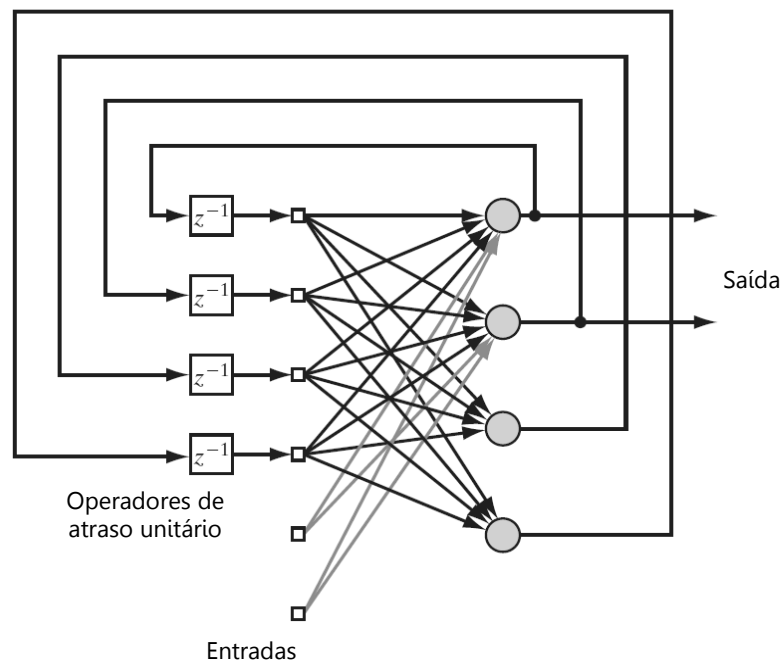


Figura 32 - Rede recorrente com neurônios ocultos (Modificado de Haykin, 2001).

2.4.4 Treinamento e aprendizagem

De acordo com Haykin (2001) uma RNA possui "a habilidade de aprender a partir de seu ambiente e de melhorar o seu desempenho através da aprendizagem". A definição de aprendizagem de Mendel e McClaren (1970¹¹ *apud* Haykin, 2001) no contexto de redes neurais é:

[...] um processo pelo qual os parâmetros livres de uma rede neural são adaptados através de um processo de estimulação pelo ambiente no qual a rede está inserida. O tipo de aprendizagem é determinado pela maneira pela qual a modificação dos parâmetros ocorre.

Silva, Spatti e Flauzino (2010) expõe que após a rede ter aprendido o relacionamento entre as entradas e saídas, ela é capaz de generalizar soluções

¹¹ MENDEL, L.M. e McLAREN, 1970. **Reinforcement-learning control and pattern recognition systems**. Adaptive, Learning and Pattern recognition Systems: Theory and Aplications. New York: Academic Press. V. 66., p.287 - 318.

produzindo uma saída próxima daquela esperada a partir de quaisquer sinais inseridos em suas entradas.

Por exemplo, uma rede neural pode se tornar um sistema de auxílio no diagnóstico de doenças baseada nos conhecimentos prévios. Supondo que sejam introduzidos alguns dados de treinamento como os mostrados na Tabela 14. Estes dados foram obtidos através de pesquisa com pacientes passados com confirmação de diagnóstico por exames. Trata-se de 7 sintomas (dor de cabeça, febre, náuseas, etc) informados pelos pacientes através da resposta SIM ou NÃO, a fim de diagnosticar se eles estavam gripados ou com pneumonia. Após treinamento da rede com estes dados, ela estará preparada para presumir qual o diagnóstico dos próximos pacientes que possuem os sintomas (como exemplo):

- Paciente 1: S, N, S, N, S, N, S;
- Paciente 2: S, N, N, N, N, S, S.

Assim, a partir do treinamento, a rede neural aprende a relação entre os dados apresentados e a resposta esperada, e a partir deste momento ela é capaz de produzir uma saída satisfatória.

Tabela 14 - Dados de treinamento para diagnóstico de doenças.

Questionário							Diagnóstico
1	2	3	4	5	6	7	
S	S	S	S	S	S	N	Pneumonia
S	N	S	N	S	S	S	Pneumonia
S	N	N	N	S	N	S	Gripe
S	N	S	S	N	N	N	Gripe

O conjunto de passos ordenados visando o treinamento da rede é denominado de *algoritmo de aprendizagem* e não há um único algoritmo para todas as redes neurais (Haykin, 2001). Eles diferem entre si pela forma como é formulado o ajuste de um peso sináptico de um neurônio. A forma mais simples da adequação de um peso sináptico $w(k)$, no instante de tempo k , o ajuste $\Delta w(k)$ é aplicado gerando o valor corrigido $w(k + 1)$, na forma: $w(k + 1) = w(k) + \Delta w(k)$.

Os modelos de redes neurais artificiais que têm capacidade de aprendizagem dividem-se em modelos que usam aprendizagem supervisionada e não-supervisionada, dependendo se está disponível ou não a resposta desejada da rede (Rauber, 1997).

A aprendizagem supervisionada se baseia no erro entre a resposta desejada e a calculada pela rede para adaptar os pesos. Se os dados de saída gerados pela rede forem diferentes dos de saída desejado, o algoritmo de treinamento ajusta os pesos, segundo alguns critérios e, reduz o erro ocorrido (Thomé, 2003). Neste caso, o resultado dependerá do valor desejado, já conhecido *a priori*. Na aprendizagem não supervisionada a tarefa do aprendizado é descobrir correlações entre os exemplos dados para treinamento. Assim, a rede deve achar os atributos estatísticos que represente o conjunto de dados (Rauber, 1997).

2.4.5 Tipos de redes

Diversos são os modelos de rede propostos na literatura, cada qual advindo de uma linha de pesquisa diferente e visando um melhor desempenho na solução de um tipo específico de problema. Em seguida apresentar-se-á detalhadamente os três redes neurais artificiais mais conhecidos: *Perceptron*, que é o precursor do desenvolvimento de novas redes, e a *Perceptron* de Multicamadas que é a mais amplamente utilizada. Todavia, existem outros tipos de redes como: redes de função de base radial, *Adaline*, redes recorrentes de Hopfield, redes auto organizáveis de Kohonen, redes LVQ (*Learning Vector Quantization*) e *counter-propagation* e redes ART (*Adaptive Resonance Theory*).

2.4.5.1 *Perceptron*

A rede *Perceptron* é a forma mais simples de configuração de uma rede neural artificial por ser constituída apenas de uma camada neural, tendo também somente um neurônio artificial nesta camada. Apesar de ser simples, esta rede atraiu diversos pesquisadores que aspiravam por esta área de estudo na época em que foi desenvolvida, principalmente os que estudavam a inteligência artificial (Silva, Spatti e Flauzino, 2010).

Perceptron é representada pela arquitetura classificada como *feedforward*, pois o sentido que flui as informações é unidirecional da entrada para a saída. (Hykin, 2009).

Seguindo seu princípio de funcionamento, cada uma das entradas (X_i) é ponderada pelos pesos sinápticos (w_i) para quantificar a importância quanto ao objetivo funcional atribuído ao neurônio. O valor resultante adicionado do limiar de ativação (θ) é repassado como argumento da função de ativação ($g(\cdot)$) cujo resultado é a saída (y).

As funções de ativação normalmente usadas na rede *Perceptron* são a função degrau ou degrau bipolar, pelas quais existem duas possibilidades de saída: 0 ou 1 se utilizada a função degrau e 1 ou -1 se utilizada a função degrau bipolar.

Silva, Spatti e Flauzino (2010) apresenta uma tabela (Tabela 15) que reúne as características dos parâmetros importantes na dinâmica da rede.

Tabela 15 - Aspectos dos parâmetros da rede *Perceptron*.

Parâmetro	Tipo característico
Entradas	Reais ou binárias
Pesos sinápticos	Reais
Limiar	Real
Saída	Binária
Função de ativação	Degrau ou degrau bipolar
Processo de treinamento	Supervisionado
Regra de aprendizado	Regra de Hebb

Fonte - Modificado de Silva, Spatti e Flauzino 2010.

Este tipo de rede é usualmente empregado em problemas de reconhecimento de padrões com o objetivo de dividir as classes adotadas como sinais de entrada que sejam linearmente separáveis. Para um *Perceptron* constituído de duas entradas a separação entre as classes é dada por uma reta, que no caso de a função de ativação ser degrau bipolar, separará a classe cujo dado de saída é -1 (que estarão abaixo da reta) da classe cuja saída é 1, que estará acima (Figura 33). Quando há muitas camadas a fronteira de separação é representada por um hiperplano.

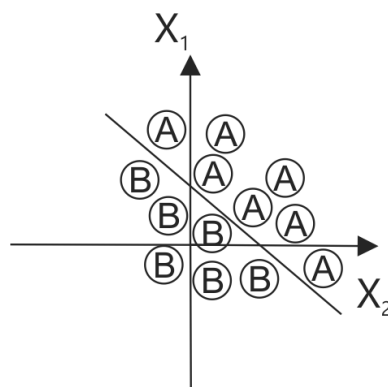


Figura 33 - Gráfico ilustrando a fronteira de separação entre as duas classes de saída (Modificado de Silva, Spatti e Flauzino, 2010).

O *Perceptron* é muito utilizado em problemas de classificação simples através de funções lineares. Um exemplo clássico que mostra o funcionamento desta

rede é a representação das funções lógicas AND, OR ou XOR (exclusivamente OU) (Kovács, 2006).

Sabendo que a saída (y_i) no neurônio para um vetor de dados (x_i) pode ser representada pela equação:

$$y_i = f(w * x_i + b) \quad (\text{Equação 3})$$

onde, para quaisquer valores de pesos sinápticos (w) e limiar de ativação (b) a função separa as entradas em duas regiões por uma reta, tem-se que as funções lógicas AND e OR (entradas e saídas são mostradas na Tabela 16) podem ser linearmente separáveis e a função XOR não pode ser separada por uma reta. A Figura 34 apresenta as representações gráficas desta aplicação para AND, OR e XOR respectivamente.

Tabela 16 - Valores de entrada e saída para representação das funções AND, OR e XOR.

Entradas		AND	OR	XOR
X_1	X_2	$X_1 \text{ e } X_2$	$X_1 \text{ ou } X_2$	$X_1 \text{ xor } X_2$
0	0	0	0	0
0	1	0	1	1
1	0	0	1	1
1	1	1	1	0

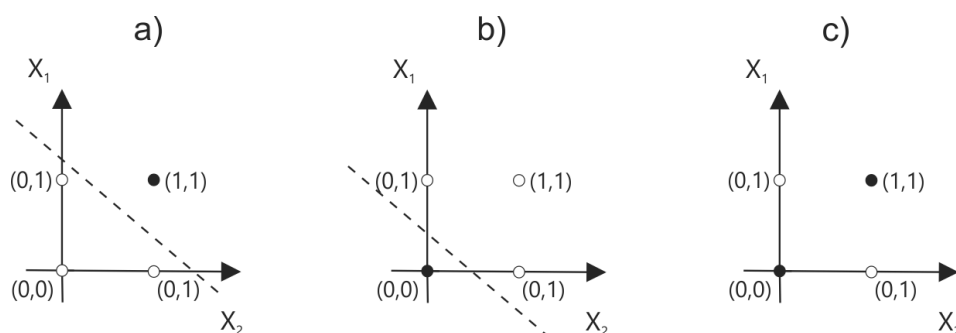


Figura 34 - Representações gráficas da separação linear dos dados usando Perceptron para: a) Função AND, b) Função OR e c) Função XOR.

O processo de treinamento ou aprendizagem pelo qual a rede deve passar é realizado por meio da regra de Hebb. Este aprendizado é o mais antigo e famoso de todas as regras e possui este nome em homenagem ao neuropsicólogo Hebb (1949¹² *apud* Hykin, 2001). Uma sinapse hebbiana é “um mecanismo dependente do tempo, altamente local e fortemente interativo para aumentar a eficiência sináptica como uma função da correlação entre as atividades pré-sinápticas e pós-sinápticas” (Hykin, 2009).

2.4.5.2 Perceptron de Multicamadas

As redes *Perceptron* de múltiplas camadas (*Multilayer Perceptron* – MLP) ou de retropropagação do erro (Kovács, 2006) possuem como característica principal ter no mínimo uma camada intermediária de neurônios. Outra característica importante em relação a sua aplicação é o leque de possibilidades que elas alcançam em diferentes áreas do conhecimento, por isso é considerada uma das mais versáteis quanto à aplicabilidade.

Silva, Spatti e Flauzino (2010) discute que as redes MLP ficaram conhecidas após a publicação do livro de Rumelhart, Hinton e Williams em 1986 chamado

¹² HEBB, D.O. 1949. **The Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory**. New York, Wiley.

Parallel Distributed Processing. Neste livro, os autores apresentam um algoritmo denominado *backpropagation*, fundamental no processo de aprendizagem da rede.

Este tipo de rede possui arquitetura de *feedforward* onde o sentido de seu funcionamento é entrada→saída. Os sinais são emitidos pela camada de entrada e as camadas intermediárias (Figura 35), por sua vez, extraem a maioria das informações referentes ao comportamento e as codificam por meio dos sinais sinápticos e os limiares de seus neurônios. A camada de saída recebe os sinais da última camada intermediária produzindo a resposta liberada pela rede.

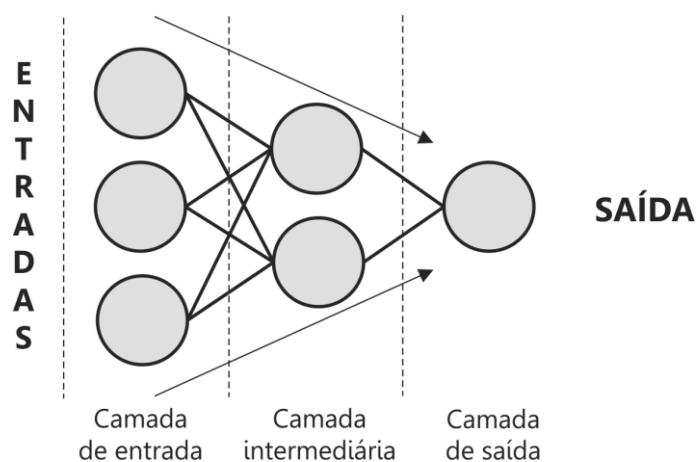


Figura 35 - Representação de uma rede simples do tipo MLP com camadas intermediárias ou ocultas.

Para treinar este tipo de rede é utilizada a regra Delta Generalizada (Duda, Hart e Stork, 2000), mais popularmente chamada de *backpropagation* ou algoritmo de retropropagação do erro através do treinamento de forma supervisionada (Haykin, 2001). O processo de treinamento é realizado por meio de duas fases bem específicas de aprendizado (Duda, Hart e Stork, 2000; Haykin, 2001; Silva, Spatti e Flauzino, 2010).

A primeira fase é denominada propagação adiante ou *forward*. Durante a sua execução os pesos sinápticos e os limiares dos seus neurônios permanecem inalterados, pois o objetivo é obter as respostas das redes levando em consideração os seus valores posteriormente modificados pelo processo de readequação. Assim,

um conjunto de amostras de treinamento é inserido nas camadas de entrada e seu efeito se propaga, camada por camada, até a saída.

Usando o treinamento supervisionado, as respostas da rede são comparadas com as respostas desejadas e os erros produzidos pelos desvios entre as diferentes saídas são calculados e posteriormente utilizados para ajustar os pesos e limiares de todos os neurônios. Assim, os pesos sinápticos são ajustados de acordo com a regra de correção do erro (Haykin, 2001), ou seja, a resposta real é subtraída da resposta desejada para produzir um sinal de erro.

A segunda fase é denominada propagação reversa ou retropropagação ou *backward*, onde o sinal de erro é propagado para trás através da rede. Assim, em função dos valores de erros produzidos na etapa anterior, são ajustados os pesos sinápticos. As aplicações sucessivas das duas fases fazem com que os pesos sinápticos sejam ajustados automaticamente em cada interação, consequentemente chegando a uma gradativa diminuição da soma dos erros produzidos pelas respostas a partir das desejadas. Em um sentido estatístico, os pesos sinápticos são ajustados para fazer com que a resposta real da rede se mova para mais perto da resposta desejada (Haykin, 2001).

Vale ressaltar que este sistema de interconexões é representado por vetores e matrizes de dados de entrada e pesos sinápticos e, geralmente as funções usadas no método *backpropagation* são a logística ou a tangente hiperbólica.

De maneira mais detalhada, tem-se um neurônio (j), reproduzido pela Figura 36, pertencente a uma camada (L), cuja função de ativação (g) deve ser contínua e diferenciável em torno do seu domínio. Os sinais de entrada são representados por ($X_1, X_2...X_n$) e os pesos sinápticos por ($W_1, W_2...W_n$), a soma ponderada das entradas (\sum) se transforma na saída do corpo celular artificial (u) após a introdução do limiar de ativação (θ).

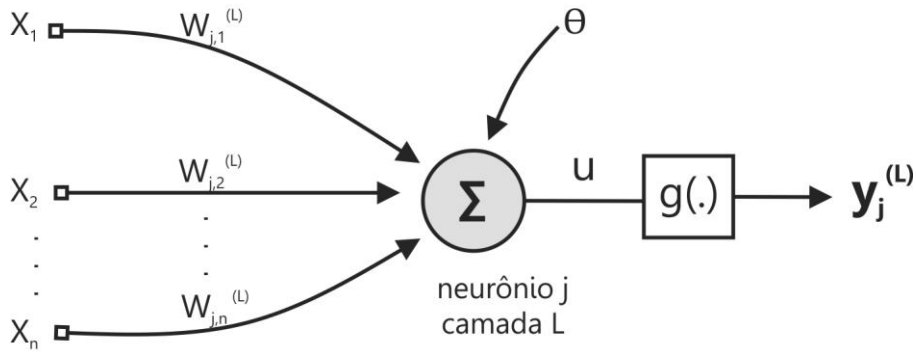


Figura 36 - Representação de um neurônio (j) da camada (L) de uma rede *Perceptron* multicamadas (Modificada de Silva, Spatti e Flauzino, 2010).

Se analisado somente um neurônio (j), representado pela Figura 36, a função representativa do erro de aproximação, cuja atribuição é medir o desvio entre o dado de saída e o valor desejado, é:

$$e_j(n) = d_j(n) - y_i(n) \quad (\text{Equação 4})$$

onde $d_j(n)$ é o respectivo valor desejado e n é a n -ésima interação. O erro total de todos os neurônios da camada de saída assume a função quadrática referida como:

$$E(n) = \frac{1}{2} \sum_{j \in \mathcal{C}}^{n_3} (d_j(n) - y_i(n))^2 \quad (\text{Equação 5})$$

A correção $\Delta w_j(n)$ a ser realizada ao peso sináptico $w_j(n)$, a partir do valor de saída daquela interação, deve ser proporcional à derivada parcial entre o erro total e o peso sináptico anteriormente usado:

$$\Delta w_j(n) = -\eta \frac{\partial E(n)}{\partial w_j(n)} \quad (\text{Equação 6})$$

onde η é o parâmetro da taxa de aprendizagem do algoritmo e o sinal negativo indica a descida do gradiente no espaço de pesos em busca do menor valor possível para o erro quadrático.

Silva, Spatti e Flauzino (2010) exemplifica a convergência para o menor erro possível (w^*) através de um gráfico (Figura 37) que corresponde a representação geométrica dos passos para atualização dos pesos rumo a otimização. Partindo de um valor w^0 , o valor de w^1 é obtido a partir da direção oposta do vetor gradiente em relação ao valor do peso anterior, neste caso, w^0 . Quando o processo se converge para w^* , o valor de E é o menor em relação a qualquer outro calculado nos passos anteriores, em um total de n interações.

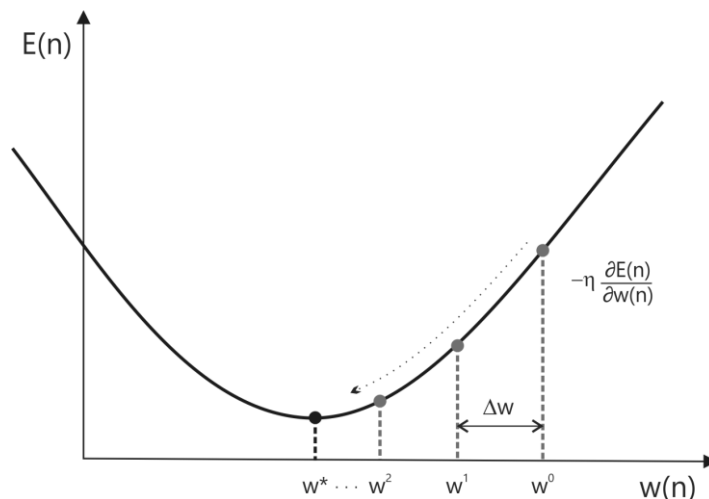


Figura 37 - Representação geométrica da obtenção do erro (Adaptada de Silva, Spatti e Flauzino, 2010).

No caso dos ajustes dos pesos para as camadas intermediárias, não existe uma forma de acessá-los diretamente, pois não se sabe *a priori* qual o valor desejado de saída para os neurônios destas camadas. Os ajustes, todavia, são feitos através dos erros de saída produzidos pelos neurônios da camada imediatamente posterior, que já foram ajustados. Assim, se faz necessário ter realizado o ajuste da camada de saída que servirá como estimativa de erro para a camada anterior, e daí por diante.

2.4.6 Área de aplicação

Na década de 90, a utilização das redes neurais artificiais começou a ganhar forma e abriu-se um leque de aplicações ainda não preenchido por completo. Atualmente, podem ser observadas aplicações no setor financeiro principalmente devido ao comportamento não-linear característico desta área (Silva, Spatti e Flauzino, 2010). O estudo de Wong & Selvi (1998), no qual encontra-se uma revisão das aplicações de RNA no setor financeiro, já elucidava uma crescente quantidade de esforços para se aplicar RNA entre os anos de 1990 e 1996.

Kalogirou (2000) apresentou várias aplicações no setor energético, entre elas: sistemas de aquecimento, ventilação e sistemas de ar condicionado, radiação solar, modelagem e controle de sistemas de geração de energia, previsão de carga e de refrigeração. Em um estudo sobre a previsão da performance de grandes sistemas solares, Kalogirou, Mathioulakis e Belessiotis (2014) descreveram as vantagens do método proposto como: a simplicidade na execução, mesmo quando as características dos componentes do sistema não são conhecidos, e o potencial para melhorar a capacidade da RNA para prever o desempenho do sistema de energia solar, através da adição contínua de novos dados recolhidos durante a operação do sistema.

Diversas são as áreas de aplicações, por exemplo, em controle, robótica, reconhecimento de padrões, previsão de eventos, energia, sistemas, fabricação, otimização, processamento de sinal e ciências sociais/psicologia (Kalogirou, 2000).

Silva, Spatti e Flauzino (2010) ainda incluiu nesta lista aplicações no ramo da biologia, ecologia, farmácia, acústica, no estudo da profundidade de poluentes (avaliação ambiental), na indústria de alimentos, no setor automotivo, entre outras. Além da área de medicina, que foi a precursora das aplicações. Nesta área pode-se exemplificar a aplicação em RNA com o trabalho de Lisboa & Taktak (2006) que fizeram uma revisão sistemática para avaliar o benefício de redes neurais artificiais como ferramentas de tomada de decisão na área de câncer, e o trabalho de Saritas, Ozkan e Sert (2010) que estudaram a partir de redes neurais o prognóstico do câncer de próstata.

Na área da Geotecnia também são utilizadas as redes neurais artificiais como forma de aplicação em diversos setores. Jeng, Cha e Blumenstein (2003) e Shahin, Jaksa e Majer (2008) citaram que esta técnica pode ser aplicada amplamente pois, ajuda a resolver problemas geotécnicos complexos e ainda não bem compreendidos, que por sua própria natureza apresentam grande variabilidade. Segundo Shahin *et al.* (2008), muitos modelos matemáticos não conseguem simular o comportamento complexo da maioria dos problemas de engenharia geotécnica e por isso a RNA pode ser um complemento para técnicas de computação convencionais. Contudo, ela ainda apresenta algumas deficiências quanto à transparência do processo, a extrapolação e as incertezas.

Propriedades geotécnicas do solo como a pressão de pré-adensamento (Çelik e Tan, 2005), a resistência ao cisalhamento (Kurup e Dudani, 2002) e a permeabilidade (Sinha e Wang, 2008), podem ser estimadas usando redes neurais. Das e Basudhar (2006) aplicaram redes neurais para estudar a capacidade lateral de estacas em argila. Na área ambiental, esta mesma técnica foi utilizada no mapeamento de solos ricos em sulfato ácido que constituem um problema ambiental grave (Beucher *et al.*, 2013). Sanchez (2009) aplicou redes neurais para modelagem de subpressões das fundações da barragem de Itaipu. Outro trabalho executado com dados desta barragem avaliou os níveis piezométricos para determinação de supressões que atuam no maciço de fundação de Itaipu, visando a segurança da estrutura (Medeiros, 2013).

Dentro da área geotécnica, as redes neurais artificiais também são aplicadas no estudo dos movimentos de massa gravitacionais, buscando avaliar a susceptibilidade de áreas sujeitas a MMG, análise de eventos perigosos (*hazard*), o reconhecimento dos movimentos a partir de imagens, para previsão e monitoramento, dentre outros objetivos. A próxima seção (Seção 2.4.7) apresenta uma resenha desta aplicação.

2.4.7 Uso das redes neurais no estudo de MMG

A abordagem de redes neurais artificiais na área de estudo de movimentos de massa, tem muitas vantagens quando comparado com métodos estatísticos. Como o método da rede neural artificial é independente da distribuição estatística dos dados, não há necessidade de variáveis estatísticas específicas. Redes neurais permitem que a integração de dados de sensoriamento remoto e dados GIS seja conveniente (Pradhan, Lee e Buchroithner, 2010).

Trabalhos relacionados à aplicação do método de redes neurais artificiais ao estudo de movimentos de massa gravitacionais para elaboração de carta de eventos perigosos foram investigados visando embasar esta pesquisa e examinar a resposta obtida pelos pesquisadores para uma correlação com o que é esperado após a execução do processo. Entre os pesquisados estão Arora, Das Gupta e Gupta (2004), Pradhan e Lee (2007), Wang e Sassa (2006), Pradhan e Lee (2011). Também foram pesquisados trabalhos que utilizaram RNA na elaboração de outras cartas que serviram de subsídio para o entendimento da técnica, destacam-se: Lee *et al.* (2004), Caniani *et al.* (2008), Choi, Joo Oh e Won. (2010), Ercanoglu (2005), Ermini, Catani e Casagli (2005), Melchiorre *et al.* (2008) e Pradhan e Lee (2010).

Em geral, os pesquisadores utilizam a rede neural artificial *Perceptron* de múltiplas camadas com camadas intermediárias de neurônios, de arquitetura *feedforward* e o treinamento supervisionado. O algoritmo mais utilizado é o *backpropagation*, embora alguns pesquisadores proponham algumas variações deste algoritmo (Chauhan *et al.*, 2010; Kia *et al.*, 2012; Gomez e Kavzoglu, 2005; Neaupane e Achet, 2004; Neaupane e Piantanakulchai, 2006; Yesilnacar e Topal, 2005).

As funções de transferência ou de ativação não são muito mencionadas, em alguns estudos cita-se que é sigmoideal, podendo ser hiperbólica ou logística (Lee *et al.*, 2003).

A Figura 38 apresenta um diagrama de fluxo geral que exemplifica a técnica de aplicação de redes neurais no estudo de movimentos de massa. Foram citados apenas os temas, parâmetros de entrada e configurações mais usados, cuja finalidade

é gerar uma carta de eventos perigosos dos movimentos de massa gravitacionais. Outros dados podem ser adicionados a este fluxograma dependendo do tipo e objetivo de estudo.

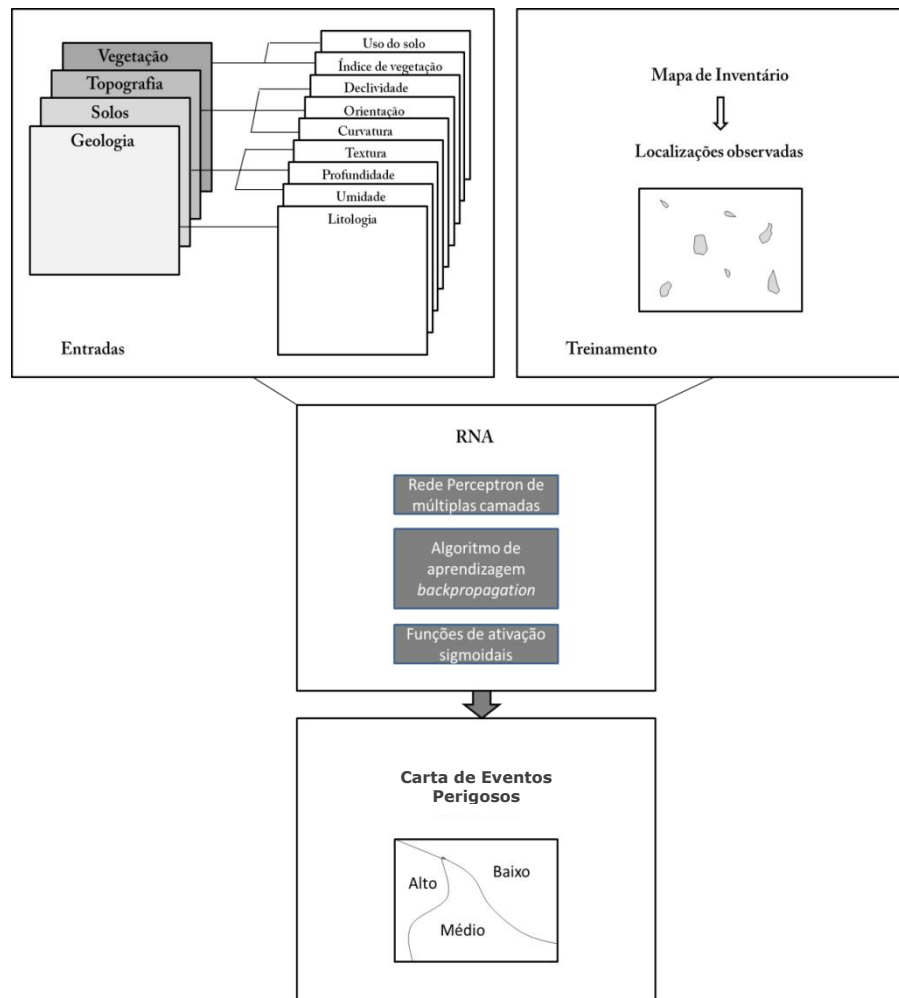


Figura 38 - Fluxograma de estudo.

Em relação à operação dos dados, habitualmente usa-se vetores e matrizes para a análise, sendo necessário um programa que execute as operações com esse tipo de formato. O software mais usado é o MATLAB, embora alguns pesquisadores prefiram utilizar, por exemplo, o *Trajan Software* (Ermini, Catani e Casagli, 2005).

Diversos são os fatores para a entrada de dados utilizados, e também a quantidade de elementos. A média de utilização é de 7 a 10 fatores, embora alguns estudos como Pradhan, Lee e Buchroithner (2010) que utilizaram 15 atributos para análise

Yesilnacar e Topal (2005) que utilizaram 19. Os mais empregados estão destacados na Figura 38. Ademais, existem autores que adicionam fatores como o diâmetro e as idades das árvores (Lee *et al.*, 2004) e Yesilnacar e Topal (2005) que adicionaram dados de hidrologia, como: densidade de drenagem, bacias e energia de fluxo.

Após a extração de fatores a partir de mapas elaborados através de ferramentas do GIS, estes são convertidos para uma grade do tamanho do pixel escolhido para análise, e então repassados para o sistema de dados ASCII para serem usados na rede neural (Lee *et al.*, 2003). Os valores de saída são novamente convertidos em gride para posterior elaboração da carta de eventos perigosos (Pradhan, Lee e Buchroithner, 2010). A geração da carta de eventos perigosos usualmente é feita por programas de sistemas de informações geográficas. O tamanho do pixel a ser analisado varia muito, encontram-se estudos que utilizam 10x10m, 25x25m e 30x30m, não ultrapassando este último valor.

O mapa de inventário é uma chave de grande importância nos processos de avaliação do perigo quanto aos movimentos de massa gravitacionais, pois avalia a frequência e a distribuição dos movimentos de massa na área mapeada. O inventário é a forma de obter os dados de treinamento mais usual.

O algoritmo de retropropagação treina a rede até atingir um valor mínimo de erro entre os valores de saída desejados e reais da rede. Uma vez que a aprendizagem é completa, a rede é utilizada como uma estrutura voltada para produzir o resultado a partir de outros dados (não mais de treinamento) com os pesos provenientes da etapa de aprendizagem.

Quase todos os trabalhos que exibem a adoção de valores para, por exemplo, a normalização, utilizam os dados de entrada normalizados para a escala de 0,1-0,9, a taxa de aprendizagem com ajuste para o valor de 0,01, e os pesos iniciais selecionados aleatoriamente. Os dados nominais e intervalo de grupos de classe são convertidos em valor contínuo entre 0,1 e 0,9 (Lee *et al.* 2004).

2.5 ABORDAGEM PROBABILÍSTICA

2.5.1 Principais conceitos

A probabilidade está sempre presente na vida e na conversação diária das pessoas. Geralmente usam-se expressões típicas como “provavelmente vai chover” sem perceber que isto se relaciona ao conceito de probabilidade de um evento ocorrer. O estudo da probabilidade vem da necessidade de, em certas situações, prever a possibilidade de ocorrência de determinados fatos. Esta previsão deve ser feita em experimentos que apresentem resultados diferentes a cada ocorrência ou na análise de várias ocorrências sucessivas, ou seja, não apresentam um padrão, e em um espaço amostral no qual o conjunto de todos os resultados seja possível em um experimento aleatório (que não podem ser previstos com certeza). Segundo Ang & Tang (2007), probabilidade pode ser considerada como sendo a possibilidade de ocorrência de um evento dentro de um espaço amostral composto por todos os possíveis acontecimentos.

A probabilidade possui propriedades e regras a serem seguidas. Estas propriedades são embasadas na teoria matemática de probabilidade. Algumas regras fundamentais, também chamadas axiomas, são (Pestana & Velosa (2006), Ang e Tang (2007), Walpole *et al.*(2011)):

$$\text{i. } P(A) \geq 0, \quad (\text{Equação 7})$$

para a probabilidade de um evento existir, o seu valor deve ser sempre maior que zero.

$$\text{ii. } P(\Omega) = 1, \quad (\text{Equação 8})$$

o espaço amostral (Ω), sempre é igual a 1(hum). Isso significa que o somatório de todas as probabilidades envolvidas deve ser igual a 1 (hum). O caso mais simples é a probabilidade do evento A acontecer, somado ao dele não

acontecer, \bar{A} (Figura 39). No cálculo da probabilidade de um ou mais eventos, o espaço amostral (Ω) é definido como sendo o conjunto completo de todas as possibilidades de um experimento. Por exemplo, no lançamento de um dado, o espaço amostral é: 1, 2, 3, 4, 5 e 6.

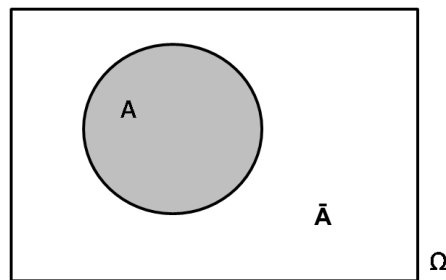


Figura 39 - Evento A e seu evento complementar \bar{A} num espaço amostral Ω .

$$\text{iii. } P(A \cup B) \leq P(A) + P(B), \quad (\text{Equação 9})$$

a probabilidade de A acontecer somado à probabilidade de B também ocorrer é maior que a união de eventos (Figura 40), pois, deve-se respeitar a regra da adição (Seção 0) de probabilidades.

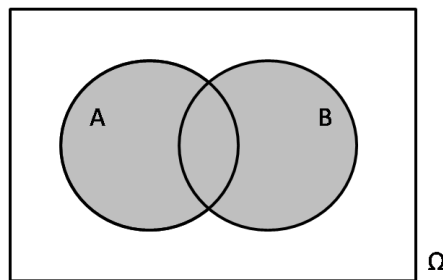


Figura 40 - Diagrama de Venn para $A \cup B$ num espaço amostral Ω .

Se os eventos forem mutuamente exclusivos, verifica-se a igualdade no axioma iii. Os eventos mutuamente exclusivos são aqueles que não podem acontecer juntos, ou seja, a probabilidade dos dois eventos ocorrerem ao mesmo tempo é zero (Ang e Tang, 2007).

Por exemplo, em um arremesso de uma moeda, não existe nenhuma chance de ocorrer cara e coroa numa mesma jogada, estes eventos são mutuamente exclusivos ou excludentes. Similarmente, três ou mais eventos são mutualmente exclusivos se a ocorrência de um evento impede a ocorrência de todos os outros eventos (Ang e Tang, 2007).

O diagrama de Venn ilustrado na Figura 41 representa os eventos A e B pertencentes ao mesmo espaço amostra (Ω), embora sejam mutualmente exclusivos. Conclui-se que não há interseção entre os dois eventos, entretanto a união pode ser calculada.

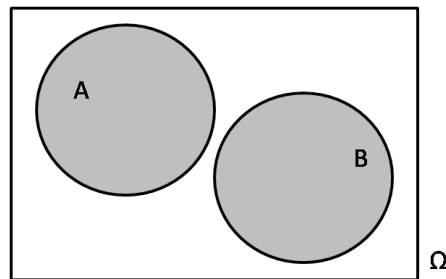


Figura 41 - Diagrama de Venn para eventos mutuamente exclusivos em um espaço amostral Ω .

Estes axiomas fazem parte da teoria da probabilidade e, por serem premissas essenciais, não podem ser violadas (Ang e Tang, 2007). Outras propriedades de probabilidade podem ser deduzidas a partir dos axiomas mostrados anteriormente.

Algumas regras são provenientes dos axiomas e também fazem parte das relações que fundamentam a teoria matemática da probabilidade, são elas: regra da adição e regra da multiplicação. A regra da adição será demonstrada na próxima sessão, entretanto, considerou-se mais pertinente apresentar a regra da multiplicação juntamente com a probabilidade condicional.

Regra da Adição

A regra da adição origina-se da Equação 9 do axioma iii, no qual diz que: para dois eventos A e B de um mesmo espaço amostral, a soma das probabilidades é sempre maior que a sua união. Isto porque os eventos que acontecem em A e B simultaneamente são repetidos.

Se o evento A e seu complementar \bar{A} são mutualmente exclusivos, com base na Equação 9, tem-se que:

$$P(A \cup \bar{A}) = P(A) + P(\bar{A}) \quad (\text{Equação 10})$$

Se os eventos A e \bar{A} representarem todo o espaço amostral, ou seja, $A \cup \bar{A} = \Omega$, a partir da Equação 9 pode-se afirmar que:

$$P(\bar{A}) = 1 - P(A) \quad (\text{Equação 11})$$

Entretanto, quando os eventos A e B não são mutualmente exclusivos, a regra da adição é proposta e válida, sendo:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \quad (\text{Equação 12})$$

A porção duplicada dos casos favoráveis a A e a B, simultaneamente, deve ser subtraída para se obter a probabilidade da união. Visualmente esta porção é representada pela área hachurada na Figura 42.

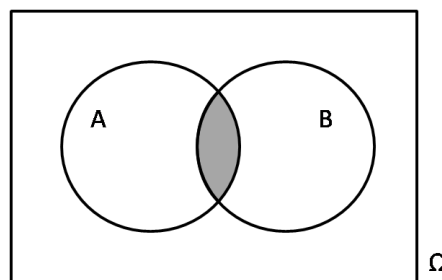


Figura 42 - Diagrama de Venn para os eventos A e B, cuja interseção, $A \cap B$, é representada pela área hachurada.

2.5.2 Abordagens probabilísticas

Existem muitas formas de interpretação da probabilidade, isto é, existem várias maneiras de obter a probabilidade de um ou mais eventos. As mais conhecidas são: a abordagem clássica, a frequentista e a subjetiva.

2.5.2.1 Abordagem clássica

A abordagem clássica, também denominada de probabilidade laplaciana em mérito ao seu autor, Pierre Simon Laplace, admite que os acontecimentos são equiprováveis e, está restringida a situações de equilíbrio perfeito (Pestana & Velosa, 2006). Esta abordagem só se ajusta a condições artificiais (moeda equilibrada, dados perfeitos e cartas bem embaralhadas) ou à modelação simplificada de situações reais (selecionar ao acaso uma pessoa do sexo masculino em uma sala de aula, por exemplo).

Apesar de sua aplicação ser simples e limitada às circunstâncias abstratas de equilíbrio usualmente empregadas em jogos de azar, a abordagem clássica é de grande importância teórica e prática quanto ao aprendizado da arte de enumerar acontecimentos favoráveis e possíveis (Pestana & Velosa, 2006).

Os princípios que devem conduzir ao cálculo da probabilidade definem que a probabilidade de um acontecimento é o quociente entre os números de casos que são favoráveis e o número de casos possíveis (Walpole *et al.* 2011). Assim, a probabilidade de ocorrer um evento A é:

$$P(A) = \frac{\text{número de casos favoráveis a } A}{\text{número de casos possíveis}} \quad (\text{Equação 13})$$

2.5.2.2 Abordagem frequentista

A abordagem frequentista avalia a probabilidade de um evento como a frequência relativa da sua ocorrência em n repetições independentes do experimento (James, 1996). A probabilidade relativa está baseada nos dados históricos acumulados, ou seja, naquilo que ocorreu no passado.

Observando as repetições do evento no qual a variável de interesse se encontra, podem-se levantar as informações de ocorrência dessa variável e para um número grande calcular a sua frequência relativa (Magalhães e Lima, 2002). A probabilidade avaliada pela frequência dos acontecimentos pode ser expressa pela Equação 14, genérica:

$$P(A) = \frac{\text{número de vezes que um evento ocorreu no passado}}{\text{número total de oportunidades para o evento ocorrer}} \quad (\text{Equação 14})$$

Esta abordagem pode ser analisada a partir de dados observados de um conjunto de amostras. Por exemplo, em uma empresa há 57 funcionários, divididos por grau de instrução de acordo com a Tabela 17. Para este caso, qual a probabilidade de, ao selecionar aleatoriamente um funcionário para ganhar uma promoção, ele tenha no mínimo o ensino superior incompleto (evento A)?

Tabela 17 - Tabela de informações dos funcionários de uma empresa.

Grau de Instrução	Número de profissionais
Ensino Médio Incompleto	7
Ensino Médio Completo	20
Técnicos	5
Ensino Superior Incompleto	15
Ensino Superior Completo	10
TOTAL	57

Os funcionários que possuem pelo menos o ensino superior incompleto são 15 com este grau de instrução e 10 que possuem ensino superior completo. O valor destas duas possibilidades juntas é chamado frequência relativa. O total de número de funcionários da empresa é a soma das frequências. Assim, utilizando os conceitos de probabilidade frequentista, tem-se que:

$$P(A) = \frac{\text{número de funcionários com no mínimo o ensino superior incompleto}}{\text{número total de funcionários}} \quad (\text{Equação 15})$$

$$P(A) = \frac{25}{57} \quad (\text{Equação 16})$$

$$P(A) \cong 0,44 \quad (\text{Equação 17})$$

2.5.2.3 Abordagem subjetiva

A probabilidade subjetiva é baseada na intuição, no julgamento pessoal, acúmulo de conhecimento e experiências (Walpole *et al.*, 2011). Existem algumas situações que podem ser analisadas em um sentido probabilístico, mas não podem apresentar uma probabilidade certa em termos matemáticos. Um exemplo disso é o uso diariamente do conceito de probabilidade para prever eventos cotidianos, somente com base de observação do passado.

Em alguns casos a probabilidade frequentista pode ser usada, mas deve-se lembrar de que existem situações pelas quais é contestável calcular com base na frequência dos eventos (Magalhaes e Lima, 2002). Por exemplo, calcular a probabilidade de um time ganhar o campeonato não depende somente de quantas vezes ele já ganhou este campeonato, e nem mesmo se ele ganhou as últimas rodadas, porque esta nova situação não é exatamente idêntica a anterior. A cada ano novos jogadores são convocados, muda-se o treinador, os árbitros são substituídos, entre outras alterações. As informações sobre o desempenho anterior do time é importante, mas outros fatores também podem influenciar o resultado.

Como foi dito anteriormente, a probabilidade frequentista pode ser usada para o cálculo da probabilidade subjetiva calculando-a a partir de experiências repetidas. Em muitas situações a probabilidade utilizando a frequência relativa não pode ser aplicada, como por exemplo, o cálculo da probabilidade de chover amanhã. Esta probabilidade pode ser diferente para cada pessoa.

Entretanto, uma abordagem bayseana tem sido empregada por esta se tratar de parâmetros aleatórios que regem o evento e por isso pode ser uma ferramenta para analisar a probabilidade subjetiva (Rychik e Rydén, 2006). O teorema de Bayes será apresentado na Sessão 2.5.7.

Para dar sequência à compreensão das regras e propriedades pelas quais é fundamentado o conceito de probabilidade, serão apresentados nas próximas sessões os tipos de eventos que podem compor o espaço amostral.

2.5.3 Eventos dependentes e independentes

Se a ocorrência ou não ocorrência de um evento não afetar a probabilidade de ocorrência de outro evento, os dois são estatisticamente independentes (Ang e Tang, 2007). Ou seja, a probabilidade de ocorrência de um evento não depende da ocorrência de outro.

Os eventos independentes e os mutualmente exclusivos podem erroneamente serem considerados iguais, entretanto, eles se diferem. Os eventos independentes podem acontecer simultaneamente, mas não podem afetar a probabilidade um do outro. Enquanto nos mutualmente exclusivos é impossível calcular a probabilidade deles ocorrerem juntos, pois a ocorrência de um evento A, impede a ocorrência do evento B.

Para os eventos independentes tem-se que:

$$P(A|B) = P(A) \text{ e } P(B|A) = P(B)$$

(Equação 18
e Equação
19)

Para eventos mutualmente exclusivos:

$$P(A|B) = 0 \quad (\text{Equação 20})$$

Por exemplo, como calcular a probabilidade do lançamento de um dado duas vezes, sabendo que o primeiro resultado foi ímpar (evento A) e o segundo foi o número 1 (evento B)? Os eventos são independentes, pois o segundo resultado não está vinculado ao acontecimento do primeiro.

$$P(A \cap B) = P\{(1,1), (3,1), (5,1)\} = 3/36 = 1/12 \quad (\text{Equação 21})$$

Se em um saco existem 5 bolas iguais, a não ser pela cor, pois há duas bolas vermelhas e três verdes, qual a probabilidade de retirar duas bolas verdes?

- Evento A: retirar uma bola verde;
- Evento B: retirar a segunda bola verde.

A probabilidade de retirar a primeira bola verde é :

$$P(A) = 3/5 \quad (\text{Equação 22})$$

Agora, a probabilidade de se retirar as duas verdes é:

$$P(A \cap B) = P(A) * P(B|A) \quad (\text{Equação 23})$$

$$P(A \cap B) = \frac{3}{5} * \frac{2}{4} = \frac{3}{10} \quad (\text{Equação 24})$$

Neste caso, A e B são dependentes, pois após retirar a primeira bola verde, há no saco somente duas bolas verdes. A probabilidade do evento B depende do evento A acontecer.

O conceito de independência pode ser aplicado em todas as áreas da estatística aplicada e por isso é muito importante o seu conhecimento no estudo de probabilidades (Walpole *et al.* (2011), Magalhães e Lima, (2002)).

2.5.4 Eventos compostos

Em probabilidade, um evento simples consiste em exatamente um resultado direto, sem equações complexas. Por exemplo, o cálculo da probabilidade de lançar um dado equilibrado e sair o número 6 é definido pela razão entre o número de resultados favoráveis (1) pelo número total de resultados possíveis (6), por meio da abordagem clássica da probabilidade. Um evento composto é a combinação de dois ou mais eventos simples.

Para organização do espaço amostral de um evento composto pode-se utilizar: uma lista, uma tabela, ou um diagrama de árvore.

2.5.4.1 Lista

O espaço amostral de um evento composto através de uma lista mostra todos os possíveis resultados como um *check list* (Pestana & Velosa, 2006). Por exemplo:

Exemplo 1: Ao lançar um dado e uma moeda, qual a probabilidade do resultado ser um número maior que 4 e ser coroa?

O esquema a seguir representa uma lista com todas as possibilidades de resultados deste exemplo.

✓ 1 e CARA	✓ 1 e COROA
✓ 2 e CARA	✓ 2 e COROA
✓ 3 e CARA	✓ 3 e COROA
✓ 4 e CARA	✓ 4 e COROA
✓ 5 e CARA	✓ 5 e COROA
✓ 6 e CARA	✓ 6 e COROA

Depois de feita a lista, para o cálculo da probabilidade aplica-se a abordagem clássica:

$$P(A) = 2/12 = 1/6 \quad (\text{Equação 25})$$

2.5.4.2 Tabela

A lista é a forma de organização mais utilizada quando existem poucos resultados possíveis. Entretanto, quando há uma maior quantidade de resultados que podem ocorrer, a melhor forma de organizá-los é por tabela.

Utilizando o Exemplo 1, a sua representação em forma de tabela pode ser ilustrada pela Tabela 18.

Tabela 18 - Resultados para lançamento de uma moeda e um dado.

	1	2	3	4	5	6
CARA	1-CARA	2-CARA	3-CARA	4-CARA	5-CARA	6-CARA
COROA	1-COROA	2-COROA	3-COROA	4-COROA	5-COROA	6-COROA

2.5.4.3 Diagrama de Árvore

Outra maneira de representar o espaço amostral é utilizando o diagrama de árvore. Esta representação é comumente usada quando o evento composto é

2.5.5 Probabilidade condicional

Existem ocasiões onde a probabilidade de um evento pode depender da ocorrência (ou não ocorrência) de outro acontecimento. Se esta dependência se comprova, a probabilidade é condicional (Ang e Tang, 2007).

Um exemplo desta análise é o cálculo da probabilidade de se retirar uma carta de número 3, sabendo que a carta sorteada é de ouros. O conjunto de cartas de baralho deve estar completo, com 52 cartas.

A certificação de que este exemplo se trata de um caso de probabilidade condicional é a informação de que o naipe retirado é de ouros. Isso restringe a quantidade de chances para retirada de uma carta de número 3.

Havendo os eventos A e B no espaço amostral Ω , a probabilidade de um evento A ocorrer (*e.g.* retirar uma carta de número 3) depende do evento B ocorrer (*e.g.* a carta ser de ouros) e pode ser expressa da seguinte forma:

$$P(A|B) \rightarrow \text{probabilidade de A, tal que B ocorra.}$$

A probabilidade condicional pertence aos pontos amostrados de A relativos aos de B, pois existe um conjunto de amostras de A que também pertence ao conjunto B (Ang e Tang, 2007), como mostra a Figura 45. A área hachurada da figura representa a interseção entre os dois conjuntos, ou seja, $A \cap B$.

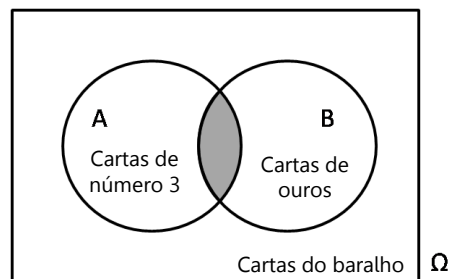


Figura 45 - Representação do espaço amostral do evento $A \cap B$.

Para o cálculo da probabilidade condicional dos dois eventos, a interseção deve ser normalizada em relação a B, o evento que condiciona (Magalhães e Lima, 2002). Portanto:

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \quad (\text{Equação 26})$$

Assim, a probabilidade de retirar uma carta de número 3 (evento A) tal que ela seja de ouros (evento B) é:

$$P(A|B) = \left(\frac{1/52}{13/52} \right) \rightarrow \frac{\text{a carta ser 3 e ser de ouros}}{\text{a carta ser de ouros}} = \frac{1}{13} \quad (\text{Equação 27})$$

Vale ressaltar que a $P(A|B)$ é diferente de $P(B|A)$ (Pestana & Velosa, 2006). Pode-se entender esta distinção através do exemplo já comentado. Neste caso, pretende-se calcular qual a probabilidade da carta ser de ouros sabendo que a carta retirada é um 3.

$$P(B|A) = \left(\frac{1/52}{4/52} \right) \rightarrow \frac{\text{a carta ser 3 e ser de ouros}}{\text{a carta ser um 3}} = \frac{1}{4} \quad (\text{Equação 28})$$

Nas situações práticas, observando uma situação global, a informação de que ocorreu um determinado evento pode influenciar nas possibilidades de ocorrências dos eventos futuros (Magalhães e Lima, 2002). Desta forma, deve-se recalculas as probabilidades de interesse a partir do que foi mudado.

Com base nas definições de probabilidade condicional, pode-se determinar a regra da multiplicação.

Regra da multiplicação

A regra da multiplicação define que a probabilidade de que dois eventos ocorram é igual a probabilidade de um deles ocorrer multiplicado pela probabilidade de que o outro evento aconteça tal que o primeiro ocorreu.

Sabendo que:

$$P(A \cap B) = P(B \cap A) \quad (\text{Equação 29})$$

e partir da Equação 26, pode-se concluir que:

$$P(A|B) * P(B) = P(B|A) * P(A) \quad (\text{Equação 30})$$

Para eventos independentes de acordo com as equações 18 e 19, a regra da multiplicação pode ser expressa da seguinte forma:

$$P(A \cap B) = P(A) * P(B) \quad (\text{Equação 31})$$

A grande importância do teorema da multiplicação é que ele permite determinar a probabilidade da intersecção de dois ou mais eventos. Assim, é possível determinar as probabilidades condicionais de maneira simples e usá-las para definir a probabilidade de outros eventos (Rifo, 2014).

No caso de três eventos A, B e C, a regra da multiplicação mostraria a seguinte combinação:

$$\begin{aligned} P(A \cap B \cap C) &= P(A|B \cap C) P(B \cap C) \\ &= P(A|B \cap C) P(B|C) P(C) \end{aligned} \quad (\text{Equação 32})$$

Para eventos independentes seria:

$$P(A \cap B \cap C) = P(A) * P(B) * P(C) \quad (\text{Equação 33})$$

Com esta explicação e todos os conceitos já estabelecidos a próxima sessão apresenta o Teorema da Probabilidade Total, também muito importante no estudo da probabilidade devido o seu alcance matemático.

2.5.6 Teorema da Probabilidade Total

Se a probabilidade do evento A não pode ser determinada diretamente, sua ocorrência ou não ocorrência depende de outros eventos e ainda depende de qual dos eventos ocorreu, a probabilidade de A pode ser calculada pela probabilidade condicional e ponderada por cada evento do qual ela depende (Ang e Tang, 2007). Esta solução é apresentada pelo Teorema da Probabilidade Total.

Se os eventos B_1, B_2, \dots, B_k constituem uma partição do espaço amostral Ω tal que $P(B_i) \neq 0$ para todo $i = 1, 2, \dots, k$, então, a probabilidade de qualquer evento A de Ω é:

$$P(A) = \sum_{i=1}^k P(B_i \cap A) = \sum_{i=1}^k P(B_i) P(A|B_i) \quad (\text{Equação 34})$$

2.5.7 Teorema de Bayes

O teorema de Bayes é utilizado quando se conhece a probabilidade de A_i para todo $i = 1, 2, \dots, k$ e a probabilidade condicional de B dado A_i , mas não se conhece a probabilidade direta de B (James, 1996).

Utilizando os conceitos da regra da multiplicação e a partir da Equação 35, tem-se que:

$$P(A_i|B)P(B) = P(B|A_i) P(A_i) \quad (\text{Equação 35})$$

O teorema de Bayes diz que:

“Se A_1, A_2, \dots, A_k são uma partição de Ω , ou seja, são mutualmente exclusivos e coletivamente exaustivos, e o evento B possui $P(B) > 0$.” Então,

$$P(A_i|B) = \frac{P(B|A_i) P(A_i)}{P(B)} = \frac{P(A_i \cap B)}{P(B)} \quad (\text{Equação 36})$$

A Equação 36 pode se expandida usando o teorema da probabilidade total, tornando-se a seguinte expressão:

$$P(A_i|B) = \frac{P(B|A_i) P(A_i)}{\sum_{j=1}^k P(B|A_j) P(A_j)} \quad (\text{Equação 37})$$

2.5.8 Uso de análise probabilística no estudo de MMG

Muitos trabalhos sobre análise probabilística são desenvolvidos a fim de calcular a possibilidade de ocorrência de movimentos de massa gravitacionais e gerar uma carta de eventos perigosos. Eles abordam o tema a partir de vários métodos dentro do amplo conjunto de análises probabilísticas. Nesta seção serão mostrados dois exemplos de utilização de probabilidade para o estudo dos movimentos de massa gravitacionais.

O primeiro exemplo se refere a aplicação da abordagem probabilística condicional que é baseada na observação da relação entre cada fator envolvido no processo e a ocorrência de movimentos de massa, assim como a relação entre os movimentos de massa gravitacionais do passado e do presente em uma determinada região. Assim a probabilidade condicional no estudo de movimentos de massa é dada pela probabilidade da ocorrência de um MMG, sabendo que outros eventos já ocorreram em um conjunto de atributos presente na região.

O estudo de Ozdemir (2009) mostra a aplicação da probabilidade condicional em uma área da cidade de Yaka na Turquia. O autor indicou alguns fatores condicionantes do movimento, sendo eles: litologia, declividade, aspecto, elevação, índice de umidade topográfica, índice de fluxo de energia. O teorema da probabilidade total foi então aplicado a partir da frequência dos movimentos de

massa gravitacionais relacionada a cada classe de cada fator condicionante. Vale ressaltar que o autor considerou os eventos de ocorrer determinada classe como mutuamente exclusivos para o evento total que é a ocorrência do movimento de massa gravitacional.

O resultado do trabalho é a carta mostrada na Figura 46 que indica a susceptibilidade alta, média e baixa de a área ser atingida por movimentos de massa na região.

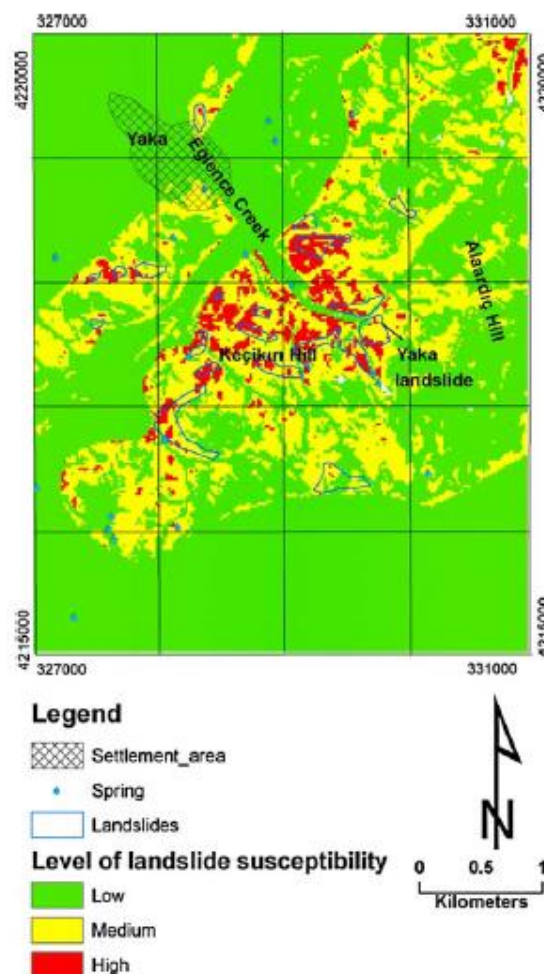


Figura 46 – Carta de susceptibilidade aos movimentos de massa gravitacionais (Ozdemir, 2009).

O estudo de Tongzhen, Shunan e Huiming (1997) utiliza Poisson e binomial para estudar a previsão de movimentos de massa gravitacionais em uma determinada região. Seu estudo se baseia em separar a área em células de mesmo tamanho e identificar quantos movimentos ocorreram em cada célula e, neste caso,

não é necessário que a feição completa esteja representada dentro na célula. Desta maneira, a probabilidade é calculada a partir da probabilidade de Poisson tendo um λ que representa xf/f onde xf é o número de células com movimento de massa gravitacional e f é o número total de células.

Outros trabalhos também podem ser citados por realizarem o estudo dos movimentos de massa gravitacionais por meio de análise probabilística, a saber: Chung e Fabbri (1999), Jibson, Harp e Michael (2000), Guzzetti *et al.* (2005), Lee e Pradhan (2006), Lee, Choi e Min (2004) relacionados à elaboração de carta de eventos perigosos (*hazard*); Lee e Talib (2005) relacionado à elaboração de carta de susceptibilidade aos movimentos de massa gravitacionais, e Crovelli e Coe (2009) relacionado ao estudo do risco associado aos movimentos.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O sítio de aplicação deste estudo corresponde à área urbana de Ouro Preto/MG já contemplada por vários estudos referentes aos movimentos de massa gravitacionais, como os trabalhos de Souza (1996), Bonuccelli (1999), Zenóbio (2000), Carvalho (2001), Dias (2002), Rodrigues (2002), Castro (2006) e Fontes (2011).

A cidade de Ouro Preto situa-se no estado de Minas Gerais, numa região importante historicamente pelo Ciclo do Ouro, período em que a extração e exportação de ouro dominavam a economia do Brasil-Colônia. Isso ocorreu nos primeiros 60 anos do século XVIII e, atualmente, sua economia baseia-se na produção de minério de ferro e alumínio, indústrias metalúrgicas e no turismo.

A área de interesse foi considerada por Rodrigues (2002) como sendo palco de acidentes geológico-geotécnicos que coloca em risco a população da cidade e seu patrimônio histórico. Bonuccelli & Zuquette (1999) ressaltam que os processos de movimentos de massa gravitacionais têm sido observados desde o início do povoamento da cidade, com a implantação de minerações e garimpos de ouro, e nas últimas décadas está mais concentrado na zona urbana. Sua importância, então, é justificada pelo desenvolvimento de diversas pesquisas, as quais geraram uma gama de informações que permitiram a composição do banco de dados necessário neste estudo.

3.1.1 Localização

Ouro Preto se distancia da capital mineira, Belo Horizonte, cerca de 90km e possui como cidades limítrofes outros municípios importantes da região, como

Congonhas, Mariana, Catas Altas e Itabirito. O acesso se dá, partindo de Belo Horizonte, pela rodovia BR-040 (Figura 47), sentido Rio de Janeiro, por aproximadamente 20km. Entrando em seguida no trevo que dá acesso a BR-356 (Rodovia dos Inconfidentes) chegando à zona urbana de Ouro Preto após passar por Itabirito, Amarantina e Cachoeira do Campo (nesta ordem).

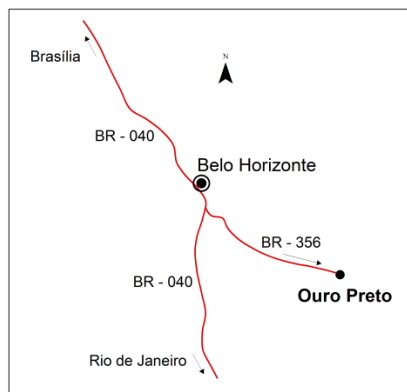


Figura 47 - Vias de acesso à cidade de Ouro Preto.

Selecionou-se, neste município, um campo de trabalho de 45km², englobando a zona urbana de Ouro Preto e parte da região limítrofe (o mesmo usado por Souza (1996) e Bonuccelli (1999)). As coordenadas dos vértices da área são UTM/23S: E654700/N7748000, E661000/N7748000, E661000/N7742000, E653000/N7742000, E653000/N7746400 e E654700/N7746400. A Figura 48 ilustra a localização da área escolhida em escala estadual e municipal.



Figura 48 - Localização da área de estudo.

3.2 ASPECTOS GERAIS

O clima do município de Ouro Preto é considerado tropical de altitude – mesotérmico úmido com inverno seco e verão brando. Rodrigues (2002) utiliza a classificação de Kopen que indica para este tipo de clima a sigla Cwb. A temperatura em época mais quente é de 21,2 °C (em janeiro) e a menor é de 15,5 °C (em julho). A média anual gera em torno dos 18 °C.

O rio do Carmo ou ribeirão do Funil, como é chamado no município, é a principal drenagem da área e atravessa grande parte do centro urbano. Este rio é um dos tributários da bacia do rio Doce. O seu leito é principalmente rochoso, o que dificulta a infiltração rápida das águas pluviais, predominando o escoamento superficial e a retenção de água nas camadas superficiais (Rodrigues, 2002). A ocorrência de águas subterrâneas, quando acontece, está restrita ao sistema de fraturas (Zenóbio, 2000).

O alto índice pluviométrico é uma característica marcante da cidade. O período chuvoso se estende de outubro a março e a altitude elevada (entre 1070 a 1420m) é considerada um dos fatores responsáveis pelos máximos de precipitação (Rodrigues, 2002). Segundo IGA (1995 *apud* Rodrigues, 2002), existe uma relação entre a topografia elevada e os altos índices de umidade relativa, induzindo precipitações isoladas ou intensificando as chuvas já previstas.

3.2.1 Geologia

No que diz respeito ao contexto geológico local, Ouro Preto se insere no Quadrilátero Ferrífero, região com arcabouço litológico complexo e ocorrências minerais significantes, como por exemplo, o ouro e o minério de ferro. O embasamento geológico é composto por rochas arqueanas como os mica-xistos do Grupo Nova Lima (Supergrupo Rio das Velhas). Filitos, quartzitos e xistos, itabiritos e formações ferríferas bandadas formam o substrato paleoproterozóico, onde inclui-se

o Grupo Itabira, o Grupo Caraça, a formação Cercadinho e o Grupo Sabará. É comum a ocorrência de crosta laterítica (cangas) nos topos de morro e vertentes. Estas unidades litológicas estão descritas no Mapa Geológico de Ouro Preto e Mariana (Lobato *et al.*, 2005).

3.2.2 Geomorfologia

A geomorfologia mostra dependência direta com a geologia local, caracterizando a área em altas montanhas, áreas aplainadas com altitudes diversas e vales alongados e por muitas vezes encaixados.

As atividades mineradoras antigas, da época do Ciclo do Ouro, alteraram a morfologia das escarpas com o acréscimo de materiais tecnógenos que foram abandonados de forma desordenada com o esgotamento dos veios auríferos seguido pelo fechamento das lavras.

As zonas escarpadas são comuns em toda área urbana (Gomes *et al.* 1998). Um exemplo é a Serra de Ouro Preto, limite norte da área urbana (Figura 49). Esta serra é um divisor de águas entre as bacias do Rio das Velhas e do Rio Doce e geologicamente representa o flanco sul do Anticlinal Mariana de direção aproximadamente leste-oeste e mergulho para sul na ordem de 30°.

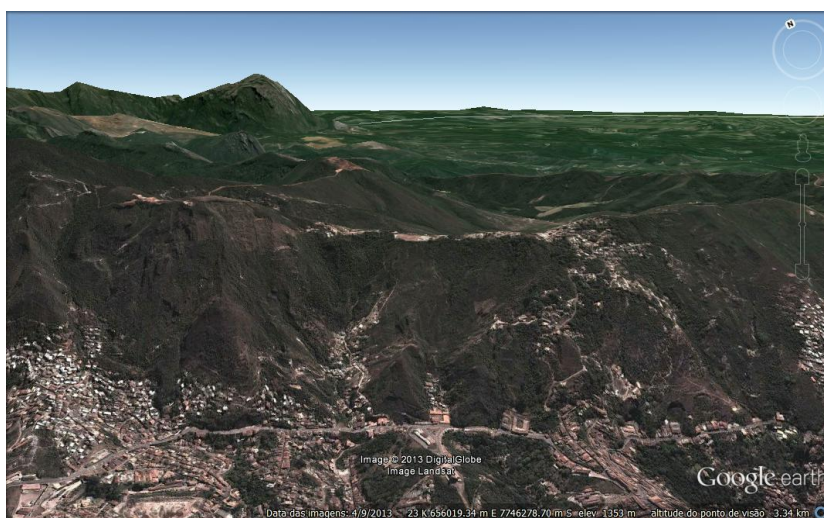


Figura 49 - Serra de Ouro Preto (visada NNE). (Google Earth, 2013).

Fontes (2011) utiliza trabalhos de campos, fotointerpretações e um modelo digital de terreno (MDT) produzido por ele, para caracterizar cinco unidades morfológicas principais que formam o relevo da cidade de Ouro Preto:

➤ Relevo de serra: regiões com altitudes superiores a 1400m e encostas com declividades acentuadas (maiores que 100%) formando cristas que se destacam na paisagem como a serra de Ouro Preto e a Serra do Itacolomi (Figura 50).

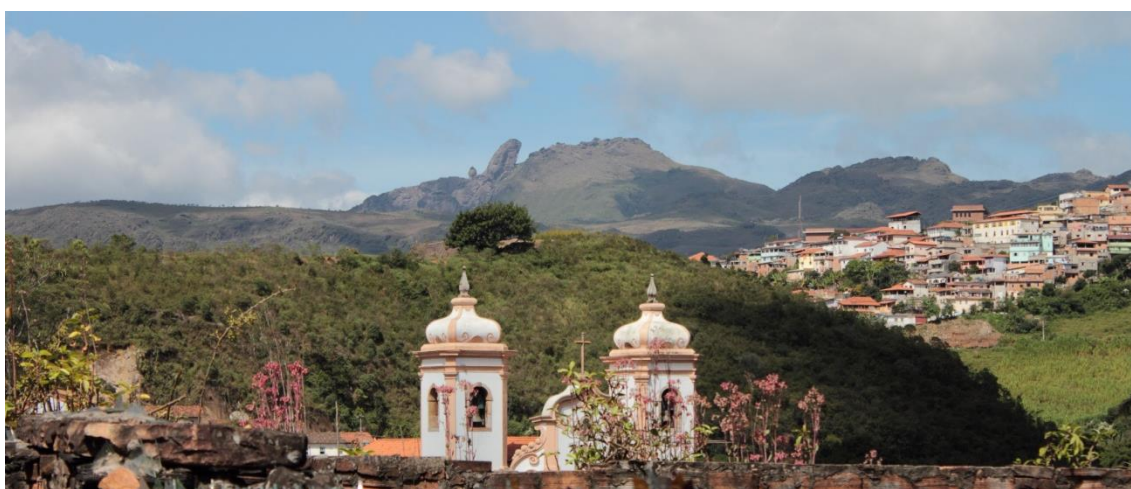


Figura 50 - Serra de Itacolomi ao fundo e ocupação urbana a direita da imagem.

➤ Relevo escarpado a montanhoso: regiões com altitudes entre 1400 e 1200m, com desníveis dos topos para os fundos de vale entre 200 e 300m, caracterizada por elevações alongadas com vertentes íngremes.

➤ Relevo ondulado: regiões com desníveis menores que os registrados no relevo escarpado com declividade entre 20 e 40% tomando valores menores em direção ao topo. Esta unidade morfológica é a mais representativa no território urbano da cidade.

➤ Relevo suave-ondulado: conjunções de morros com vertentes mais suaves que as anteriormente citadas, refletindo as elevações típicas de um planalto dissecado. Predominam declives inferiores a 20% consequência de um desnivelamento entre o topo e os vales produzido pela erosão.

➤ **Relevo de planalto:** regiões de altitudes variadas e declividades inferiores a 10%. Um exemplo desta unidade é o Morro do Cruzeiro que forma um platô com bordas suaves como resultado da exposição de rochas mais resistentes aos processos erosivos (chapadas de cangas).

O contexto geomorfológico da cidade é marcado por várias cicatrizes geradas por movimento de massa gravitacional. A Figura 51 e a Figura 52 mostram ocorrências de movimentação no terreno, ainda ativas. Ambas foram fotografadas em janeiro de 2015, sendo o deslizamento registrado em 2012. Desde 1975 estes movimentos são estudados (Castro, 2006) e existem relatos de movimentação a datar de 1814, quando um escorregamento matou o proprietário de uma lavra e todos os seus escravos em sua mina de ouro (Fontes, 2011). Em 1979, altos índices pluviométricos levaram a deflagração de MMG em muitas encostas da cidade afetando áreas habitadas, provocando grandes perdas materiais, obstruções de ruas e danos parciais ao patrimônio artístico e cultural da cidade. Dez anos depois, houve novamente movimentação de massa com 80% de reincidência dos casos anteriormente catalogados. Outros eventos foram registrados entre 1996 e 1997 com 13 perdas humanas e em 2006 houve 312 ocorrências, o maior número apontado até o ano de 2011 (Fontes, 2011).



Figura 51 - Cicatrizes de movimentação de massa em encosta na cidade de Ouro Preto.



Figura 52 - Cicatriz de movimentação de massa próxima ao Morro do Cruzeiro na cidade de Ouro Preto.

3.2.3 Uso e ocupação

A ocupação urbana está inserida num vale limitado pelas serras de Ouro Preto e de Itacolomi, em relevo acidentado ocupando vertentes e encostas gerando cenários propícios a eventos geotécnicos críticos. Apresenta ocupação urbana com diferentes densidades, áreas habitadas por indústrias, centros acadêmicos, áreas de preservação ambiental, áreas de mineração ativa e inativa, e áreas vegetadas (Rodrigues, 2002).

A vegetação apresenta uma transição entre florestas de planalto e campos de planaltos, todavia estas áreas se encontram bastante degradadas pela ação antrópica existente desde meados no século XVIII (Bonuccelli, 1999).

A cidade se desenvolveu a partir de arraiais surgidos na época da mineração de ouro. Estes arraiais se formavam ao redor das áreas de extração de ouro que eram feitas nos vales, através do ouro aluvionar, e, posteriormente nas serras, neste caso, utilizando escavação das encostas e construção de túneis. Desta forma, os

garimpeiros eram forçados a construir suas moradias próximas das minas a que tinham direito de explorar, o que deu origem às ruas tortuosas e as ladeiras íngremes que caracterizam a ocupação do centro histórico da cidade de Ouro Preto.

Fontes (2011) cita que no final da década de 40, o desenvolvimento da cidade concentrava-se à volta da estação ferroviária. Nesta fase, o crescimento urbano foi reacendido a partir da recuperação do potencial mineral com a extração de alumínio em escala industrial. Este crescimento se estendeu até a década de 90 devido à implantação dos centros acadêmicos (técnico e superior) e da extração de ferro pela Companhia Vale do Rio Doce.

A expansão urbana da cidade está condicionada em terra pelas áreas de proteção ambiental, como: o Parque do Tripuí, o Parque do Itacolomi e a Área de Proteção Ambiental (APA) das Andorinhas. Outro fator que condiciona este processo é a garantia da manutenção das características arquitetônicas da cidade, visto que esta foi tombada pela UNESCO como Patrimônio Histórico e Cultural da Humanidade em 1982. Entretanto, o crescimento populacional gerado pela industrialização, potencialidade ao turismo e a expansão dos centros acadêmicos aumentou a ocupação das áreas periférica se transformou este processo em um cenário totalmente desordenado, ocupando encostas com edificações de baixos padrões construtivos (Castro, 2006).

As condições descritas acima, aliadas a outras complexidades da cidade como a ação antrópica (ocupação urbana desordenada), propiciam ao terreno grandes problemas geológico-geotécnicos, e a situação já existente se agrava em condições naturais adversas, surgindo várias situações de risco geológico-geotécnicos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Qualquer estudo que envolva a investigação e a caracterização dos movimentos de massa gravitacionais requer o levantamento de muitas informações que são intrínsecas à área estudada e também ao processo de movimentação. Devido à complexidade do processo de análise de todas as informações, elaborou-se um procedimento que se tornou um roteiro funcional de atividades para amparar a fase de interpretação e obtenção dos resultados. Para uma melhor visualização da organização desta dissertação, apresenta-se o fluxograma ilustrado na Figura 53.

Os procedimentos de análise vistos neste fluxograma podem ser agrupados em quatro conjuntos de atividades: os relacionados à fase inicial da pesquisa, à revisão bibliográfica, aos procedimentos de análise das informações e à aplicação nos métodos de RNA e abordagem probabilística. Este ordenamento gráfico serve como orientação e otimização das ações desenvolvidas para realização deste trabalho.

4.1 PRIMEIRA ETAPA

A primeira etapa da pesquisa se relaciona à definição da problemática a qual se pretende estudar, os objetivos e a justificativa da pesquisa. Inclui também o processo de busca por trabalhos anteriores realizados na região escolhida, a avaliação dos primeiros dados levantados e a definição do mapa básico que constitui um documento padrão para a elaboração dos resultados deste trabalho.

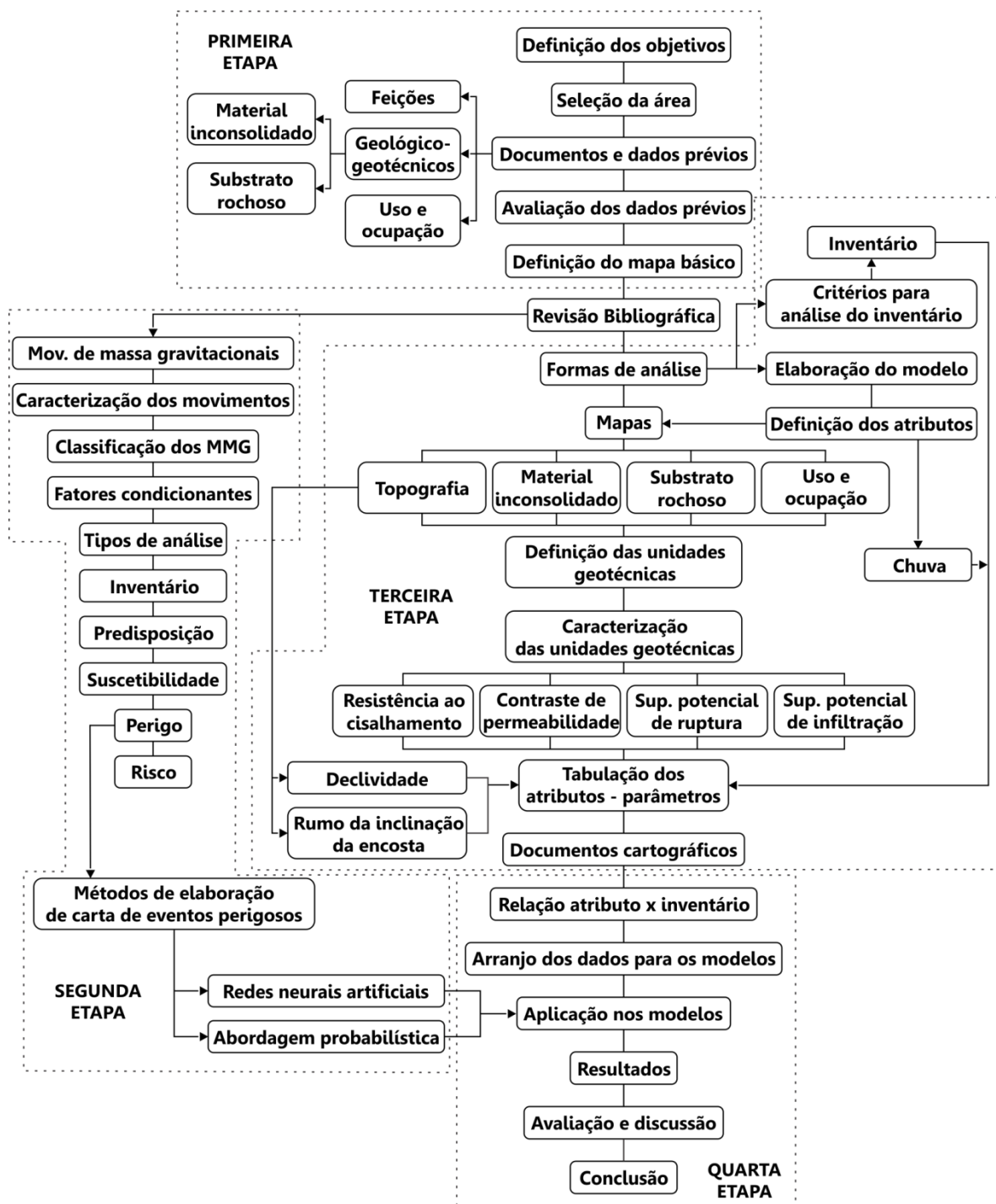


Figura 53 - Organização da dissertação.

4.1.1 Documentos e dados prévios

Os trabalhos anteriores realizados na área de abrangência deste estudo forneceram subsídios para o levantamento das feições de ocorrências de MMG dos últimos anos, além de outros dados como: informações geológica-geotécnicas (substrato rochoso e material inconsolidado), e de uso e ocupação da área superficial. Estes dados foram selecionados dos trabalhos acadêmicos de:

4.1.1.1 Souza (1996)

O trabalho de Souza (1996) apresenta o mapeamento geotécnico de Ouro Preto/MG mostrando as áreas com suscetibilidade de ocorrência de movimentos de massa gravitacionais e processos correlatos. Entre os mapas e cartas apresentados por Souza (1996), foram selecionados:

- i. Mapa das Feições dos Movimentos de Massa e Processos Correlatos;
- ii. Mapa de Substrato Rochoso,
- iii. Mapa dos Materiais Inconsolidados.

4.1.1.2 Bonuccelli (1999)

Bonuccelli (1999) estudou os movimentos de massa gravitacionais e processos correlatos na área urbana de Ouro Preto/MG, a partir do levantamento e discussão dos tipos de processos e atributos que influenciam na ocorrência dos movimentos. Entre os mapas e cartas apresentados por este trabalho foram selecionados:

- i. Mapa dos Movimentos de Massa Gravitacionais e Processos Correlatos; tipos de processos;
- ii. Mapa de Substrato Rochoso;
- iii. Mapa dos Materiais Inconsolidados,
- iv. Mapa de Uso e Ocupação do Solo.

Dados do inventário de feições de movimentos de massa gravitacionais como: profundidade das feições, tipos de materiais e estado da atividade foram também utilizados deste trabalho.

4.1.1.3 Zenóbio (2000)

Zenóbio (2000) desenvolveu um estudo de caracterização dos maciços rochosos em encostas naturais na área urbana de Ouro Preto/MG, a partir do levantamento e da análise das descontinuidades presentes nos maciços, gerando cartas de zoneamento para cada sistema de classificação geomecânica. Deste trabalho foi selecionado para compor o banco de dados de feições, o Mapa de Feições dos Movimentos de Massa Gravitacionais e Processos Correlatos.

4.1.1.4 Castro (2006)

Castro (2006) estudou as correlações entre os movimentos de massa gravitacionais e a precipitação na cidade de Ouro Preto/MG, além de apresentar um zoneamento das áreas críticas de acordo com o número de registros de cada região. Deste trabalho foram coletados os dados relacionados às ocorrências de movimentos de massa gravitacionais levantados principalmente após 1998. Os documentos relacionados às ocorrências de movimentos de massa gravitacionais são:

- i. Mapa com Zoneamento das Áreas de Risco,
- ii. Ocorrências Utilizadas para Análise de Correlação (tabela de dados).

4.1.1.5 Fontes (2011)

Fontes (2011) desenvolveu um trabalho de caracterização dos riscos geotécnicos relacionados aos movimentos de massa gravitacionais na área urbana do município de Ouro Preto/MG, a partir da investigação do solo e do mapeamento geológico-geotécnico das encostas. Deste trabalho foram selecionados para análise os documentos relacionados às ocorrências de movimentos de massa gravitacionais, são eles:

- i. Mapa de Inventário de Ocorrências;
- ii. Lista de Ocorrências Mapeadas,
- iii. Fichas de campo.

4.1.1.6 IGEO (2015)

O Instituto Geotécnico (IGEO) promove a gestão de risco associado a processos de movimentação de massa gravitacional no município de Ouro Preto/MG a partir de uma iniciativa público-privada. Este instituto juntamente com a Coordenadoria Municipal de Defesa Civil de Ouro Preto cedeu um banco de dados de ocorrências cadastradas entre os anos de 2009 a 2013 e pareceres técnicos elaborados pela IGEO.

O banco de dados de feições, resultante deste levantamento, foi organizado em uma planilha eletrônica e as informações de cada trabalho foram avaliadas separadamente. Os documentos cartográficos geológico-geotécnicos e de uso e ocupação foram adaptados para o *layout* deste trabalho.

4.1.2 Definição do mapa básico

O mapa básico constitui uma representação espacial de uma área de 45km² do município de Ouro Preto, ocupando na sua grande maioria a área urbana da cidade.

Os dados cartográficos que compõem este mapa básico, como a topografia e hidrografia, foram obtidos de Bonuccelli (1999). Conservou-se a escala 1:10.000, dos produtos cartográficos de Souza (1996) e Bonuccelli (1999), na elaboração dos mapas e das cartas. Na existência de dados em outras escalas, estes foram adaptados.

A projeção cartográfica utilizada para georeferenciamento dos dados, mapas e cartas deste trabalho corresponde ao sistema de coordenadas cartesianas: Universal Transversa de Mercator (UTM), zona 23S. O *datum* horizontal usado foi o Córrego Alegre. Os dados que estavam em sistema de coordenadas e *datum* diferentes foram reposicionados.

O arranjo dos dados de caracterização da área e, a confecção de novos dados, mapas e cartas foram realizados por meio do *software ArcGIS®* na versão 10.2. *ArcGIS®* e *ArcMap™* são de propriedade intelectual da ESRI e foram usados neste trabalho sob licença. Também utilizou-se o *software AutoCAD Civil®* produzido pela *AutoDesk* na versão 2013. Como editor de planilhas utilizou-se o *software Microsoft Office Excel®* produzido pela *Microsoft* na versão 12.0 de 2007. Desta mesma versão, fez-se uso do *software Microsoft Office Word®* como processador de texto.

4.2 SEGUNDA ETAPA

Esta etapa representa a revisão bibliográfica da pesquisa. Constituiu-se na reunião de trabalhos clássicos, acadêmicos e artigos sobre os assuntos que envolvem os temas:

- i. Movimentos de massa gravitacionais: caracterização, classificações, fatores condicionantes e tipos de análise;
- ii. Métodos para elaboração de carta de eventos perigosos: redes neurais artificiais e abordagem probabilística.

Abordou-se os principais conceitos e técnicas adotados nos dois temas principais supracitados, além de uma pesquisa bibliográfica sobre os métodos de aplicação de RNA e abordagem probabilística no estudo dos movimentos de massa gravitacionais. Houve também pesquisa específica da área de estudo para o entendimento de como acontecem os movimentos de massa na região de Ouro Preto, os fatores envolvidos e as condições de ocorrência.

4.3 TERCEIRA ETAPA

Nesta etapa realizou-se a análise dos dados levantados, armazenamento, adequação e avaliação, visando gerar uma análise crítica quanto a viabilidade de aplicação das informações. Esta etapa pode ser dividida em algumas fases internas que culminaram na elaboração dos resultados preliminares desta pesquisa. Algumas fases que se destacam, são: a análise do inventário; elaboração do modelo e definição dos atributos; análise dos dados prévios; elaboração dos demais dados a partir dos dados prévios e tabulação dos atributos.

Os resultados oriundos desta etapa foram agrupados no apêndice desta dissertação de duas formas. O primeiro grupo são os resultados em formato de tabelas que foram nomeados por letras maiúsculas desta forma: Apêndice A, Apêndice B, Apêndice C e assim por diante. O segundo grupo é formado pelos mapas e cartas e foram nomeados por números romanos, assim: Apêndice I, Apêndice II, Apêndice III, etc.

4.3.1 Inventário

Os trabalhos anteriores contendo dados sobre as feições foram levantados e as informações transferidas para um único documento cartográfico para o qual foi desenvolvido um sistema de identificação na forma de um código alfanumérico. Os dados existentes passaram por uma avaliação em termos da qualidade e do potencial de uso futuro da informação.

Os critérios para análise do inventário se basearam na averiguação da qualidade original das informações e, em vista disso, também foram analisados os seguintes aspectos:

- i. quanto a forma que os dados foram obtidos: se existem mapas e tabelas que os apresentam;
- ii. quanto ao formato de representação: se os dados são representados por pontos ou polígonos;
- iii. quanto aos tipos e a sistemática de classificação;
- iv. quanto às características registradas como localização, material envolvido, atividade, velocidade, volume, etc.;
- v. quanto à distribuição espacial.

Considerados estes critérios, elaborou-se um mapa de inventário ligado ao banco de dados de registros de todas as informações pré e pós-análise.

Os dados válidos após a análise foram recodificados para um código alfanumérico criado especificamente por este trabalho. Este código foi desenvolvido do ponto de vista de reunir as principais informações de cada feição, assim como ter possibilidade de sofrer modificações no sentido de incrementar informações novas, conforme dados apresentados na Figura 54. O mesmo é composto de 3 informações, a saber:

- i. autor de onde obteve as informações;

- ii. tipos de movimentos de massa envolvidos, que pode ser até 3, visto que acima deste número o mesmo é classificado como complexo;
- iii. número da feição no banco de dados e no mapa de inventário.

Na condição de o movimento envolver mais de um processo, a letra do segundo tipo de movimento é simplesmente adicionada. Como não há simbologias duplicadas, o código mesmo que com uma letra a mais é facilmente decifrado. Por exemplo, o código BEC314 representa uma feição cadastrada por Bonuccelli (1999), cujo movimento de massa é do tipo escorregamento e corrida de material, e a numeração da feição é 314.

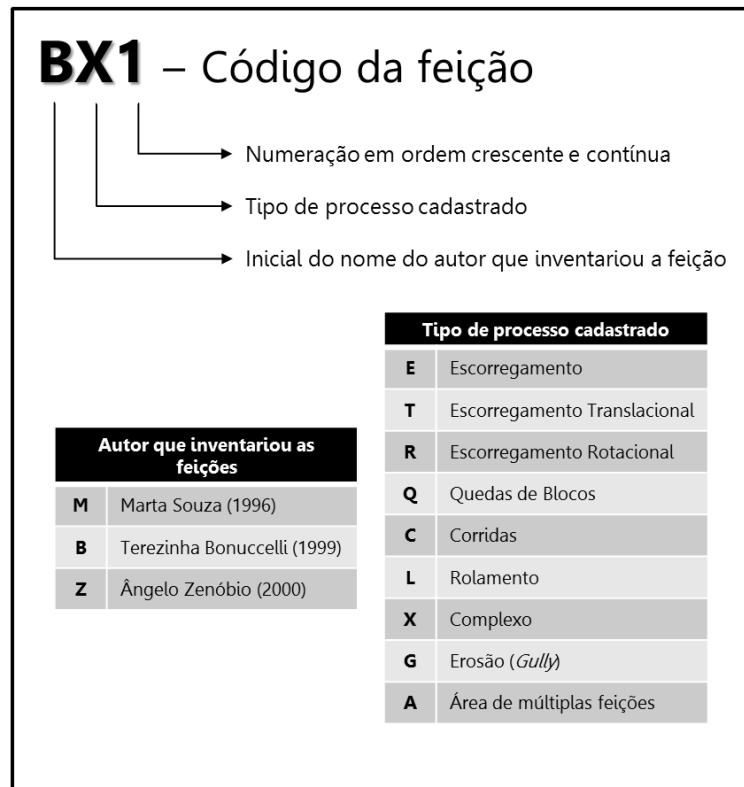


Figura 54 - Legenda utilizada para geração do código das feições.

4.3.2 Elaboração do modelo e definição dos atributos

A proposta de um modelo físico e matemático teve como finalidade discriminar os fatores que interferem na estabilidade das encostas. Tendo em vista o método de aplicação, alguns fatores foram assumidos como ocorrentes impreterivelmente e outros foram dispensados.

Como cada tipo de movimento tem seu próprio modelo conceitual, físico e matemático de ocorrência, optou-se por representar neste trabalho somente o modelo do escorregamento translacional. O escorregamento translacional é o tipo de movimento mais comum que ocorre na área estudada. A confirmação desta informação foi feita por meio das conclusões obtidas por Souza (1996), Bonuccelli (1999) e Dias (2002) em seus trabalhos.

A partir da definição do tipo de movimento a ser estudado e da elaboração do modelo, listou-se os atributos que devem ser verificados por ocasião dos movimentos de massa gravitacionais e que fazem parte da análise deste trabalho.

Esta fase auxiliou a análise dos dados prévios e à escolha das novas informações que deveriam ser geradas para aplicação do método proposto.

4.3.3 Dados prévios

Os dados prévios obtidos a partir do levantamento citado na Sessão 4.1.1. foram apresentados, são eles: os mapas de substrato rochoso, de material inconsolidado, uso e ocupação. Estes mapas foram reproduzidos sem alteração, sendo adaptados somente o *layout* de cada um deles.

O mapa topográfico foi elaborado a partir da topografia apresentada no trabalho de Bonuccelli (1999) a partir de curvas de nível com 10m de equidistância.

4.3.4 Dados gerados

Os dados gerados foram elaborados com o auxílio dos documentos previamente levantados. As unidades geotécnicas foram definidas a partir dos mapas de substrato rochoso e material inconsolidado. Estas unidades com o apoio dos dados prévios formaram a base para interpretação das outras informações, a saber: domínios estruturais, resistência ao cisalhamento, contraste de permeabilidade, superfície potencial de ruptura e superfície potencial de infiltração. O mapa topográfico subsidiou a elaboração dos mapas de declividade e de rumo a inclinação da encosta.

4.3.4.1 Tabulação dos atributos e parâmetros

A determinação das classes a serem utilizadas para representação dos atributos constitui uma parte importante do trabalho. Realizou-se um levantamento tendo em consideração a análise da resistência, permeabilidade, estruturas geológicas e principalmente pela caracterização do perfil de alteração das unidades geológica-geotécnicas, através de trabalhos de campo e trabalhos anteriores que descrevem a região geológica e geotecnicamente. Nesta seção é apresentada a tabulação dos atributos que foram utilizados.

Para definição das classes representativas de cada atributo utilizou-se uma tabulação compilada de várias referências. Os trabalhos de Souza (1996) e Bonuccelli (1999) foram utilizados para determinar as classes dos atributos: declividade, rumo da inclinação da encosta e uso e ocupação que podem ser observadas na Tabela 19. Para os demais atributos, a definição das classes apresentou-se mais detalhada e é mostrada a seguir.

Tabela 19 - Tabulação dos atributos e parâmetros utilizados.

	Definição	Classes
Declividade	-	<3°
	-	3 - 6°
	-	6 - 11°
	-	11 - 16°
	-	16 - 24°
	-	24 -36°
	-	>36°
Rumo da inclinação da encosta	Plano	-1°
	Norte	0 – 22,5°
	Nordeste	22,5 – 67,5°
	Leste	67,5 – 112,5°
	Sudeste	112,5 – 157,5°
	Sul	157,5 – 202,5°
	Sudoeste	202,5 – 247,5°
	Oeste	247,5 – 292,5°
	Noroeste	292,5 – 337,5°
	Norte	337,5 – 360,0°
Uso e Ocupação	Urbana com baixa densidade	-
	Urbana com alta densidade	-
	Urbana com média densidade	-
	Mineração ativa	-
	Mineração inativa	-
	Preservação ambiental	-
	Disposição de resíduos	-
	Vegetação	-
	Ocupação industrial	-
	Ocupação escolar	-
	Urbana alta com mineração inativa	-

A. Domínios Estruturais

As estruturas geológicas de um maciço rochoso necessitam ser pesquisadas de forma a caracterizar todo o arranjo espacial do substrato. Deve-se procurar obter informações através de análise de literatura preexistente, fotointerpretação e trabalhos de campo. Qualquer estrutura geológica pode se tornar uma superfície potencial de ruptura se tratando de escorregamento translacional, desde que se caracterize de acordo com as orientações apresentadas no modelo conceitual e matemático do movimento.

Assim sendo, o levantamento deve descrever todas as estruturas tectônicas como: dobras, zonas de cisalhamento, foliações e lineações, diaclases; ou atectônicas, como: juntas de alívio e junta-falha, que ocorrerem na área de estudo.

O indicado para a caracterização das descontinuidades é a obtenção da maior quantidade possível de dados quanto as suas propriedades, tais como: orientação espacial (direção e mergulho), espaçamento, persistência, preenchimento, abertura, rugosidade e conectividade das descontinuidades. Este levantamento pode seguir os procedimentos sugeridos por Ulusay e Hudson, 2007.

Sugere-se que as classes do atributo domínios estruturais sejam definidas através de um mapeamento das estruturas geológicas, dividindo a região em setores que representam as variações do estilo estrutural da região, como azimuth e mergulho das descontinuidades.

B. Resistência ao Cisalhamento

Geralmente são necessários parâmetros de resistência ao cisalhamento: coesão e atrito, para classificar o material. Entretanto, existem formas indiretas de classificações mundialmente usadas: a classificação Brow (1983) e a URCS (*Unified Classification Rock System*) de Williamson & Kuhn (1988). Estas avaliam a resistência em campo sem a necessidade de análises laboratoriais. Outro fator que influencia diretamente a resistência do material e, conseqüentemente na ocorrência de movimentos de massa, é o grau de alteração da rocha que também pode ser extraído pelas classificações supracitadas.

A resistência ao cisalhamento dos materiais foi definida a partir da escala apresentada por Matula (1981) para classificação das rochas em função da resistência à compressão simples (ou uniaxial) do material. Esta foi associada às classes de resistência apresentadas por Ulusay e Hudson (2007) e também à escala de graus de alteração do mesmo estudo. Os valores, correlações e características principais das classes podem ser vistas na Tabela 20.

Tabela 20 - Classificação para as classes de resistência.

Classificação (IAEG)	Identificação em campo	Resistência à compressão uniaxial (Matula, 1981)	Classe de resistência (Ulusay e Hudson, 2007)	Grau de alteração (Ulusay e Hudson, 2007)
Rocha Branda	Pode ser raspada por canivete com dificuldade. Pode ser marcada por firme pancada com a ponta do martelo.	1,5-15,0MPa	R1 e R2	A5/A4
Rocha Moderadamente Dura	Não pode ser raspada por canivete. Podem ser fraturadas com um único golpe do martelo de geólogo.	15,0 – 50,0MPa	R3	A4/A3
Rocha Dura	Amostras requerem mais de um golpe de martelo para fraturar-se.	50,0 – 120MPa	R4	A3/A2
Rocha Muito Dura	Amostras requerem muitos golpes de martelo de geólogo para fraturar-se. Amostras podem ser somente lascadas pelo martelo.	120 - 230MPa	R5	A2/A1

A classificação de rocha branda abrange também a classe R1 (rocha muito branda) apresentada por Ulusay e Hudson (2007). A rocha muito branda pode ser facilmente marcada pela unha, esmigalha quando sofre impacto da ponta do martelo de geólogo e raspada pelo canivete.

Os valores de compressão uniaxial para as classes de resistência apresentadas pela Ulusay e Hudson (2007) são semelhantes aos valores do Matula (1981), salvo uma leve diferença dos limites superior e inferior de cada classe, e também à união das classes R1 e R2.

O estudo de Matula (1981) ainda apresenta uma outra classe denominada extremamente dura (classe R6 para o Ulusay e Hudson, 2007), entretanto, esta não foi utilizada neste trabalho.

A descrição dos graus de alteração para apresentada por Ulusay e Hudson (2007) pode ser vista na Tabela 21.

Tabela 21 - Classificação dos graus de alteração (Ulusay e Hudson, 2007).

Classe	Grau de alteração	Descrição da alteração
A5	Completamente alterada	Todo o material rochoso está decomposto para solo. As estruturas e texturas estão em grande parte preservadas.
A4	Intensamente alterada	Mais da metade do material rochoso está decomposto para solo. Fragmentos de rocha fresca ou descolorida podem estar presentes, como uma estrutura descontínua.
A3	Moderadamente alterada	Pouco menos da metade do material rochoso está decomposto para solo. Fragmentos de rocha fresca ou descolorida podem estar presentes, como estrutura contínua.
A2	Levemente alterada	Intemperismo penetrado através de muitas discontinuidades e somente um leve intemperismo no material rochoso.
A1	Rocha sã	Não são visíveis sinais de alteração no material rochoso, intemperismo limitado nas superfícies das maiores discontinuidades.

Neste caso, como a finalidade é a reprodução em mapa desta propriedade, o conjunto de unidades geológico-geotécnicas que apresentar semelhança quanto ao resultado do perfil podem ser unificadas, analogamente à setorização sugerida para representar o atributo domínios estruturais.

Para captação destes dados, realizou-se uma busca em trabalhos já existentes que classificaram as rochas e os solos da região. Quando não existem estas informações ou não estarem completas, pode haver a necessidade de trabalhos de campo para coletas de amostras (caso seja prevista a análise laboratorial) ou para descrição tátil visual do substrato rochoso e do material inconsolidado.

C. Contraste de Permeabilidade

A permeabilidade de um material é o que indica maior ou menor dificuldade com que a água percola pelos seus poros. Nos materiais granulares não coesivos como as areias, por exemplo, a alta porosidade facilita o fluxo de água através do solo, enquanto que nos materiais finos e coesivos, como as argilas, ocorre o inverso, o que torna este tipo pouco permeável.

Os dados sobre contraste de permeabilidade para a área de estudo foram construídos a começar pela elaboração de croquis que representam o perfil de alteração solo/rocha nos diversos contextos existentes na região. Este levantamento

foi concebido a partir dos dados de material inconsolidado e de substrato rochoso elaborados por Souza (1996) e Bonuccelli (1999). Posteriormente, fez-se uma avaliação quanto ao material que apresentava menor permeabilidade ou maior, segundo o intervalo apresentado na Tabela 22.

Tabela 22 - Intervalos de permeabilidade dos materiais existentes na área de estudo.

Materiais	Permeabilidade
Aluvião/ Colúvio/ Materiais tecnógenos	$<10^{-2}$ m/s
Solo residual/ Saprólito de quartzito	10^{-2} a 10^{-4} m/s
Saprólito	10^{-4} a 10^{-7} m/s
Rocha	$>10^{-7}$ m/s

Assim, elabora-se uma carta que apresente todos os conjuntos de unidades geológico-geotécnicas que se comportam de forma análogas quanto ao perfil apresentado para caracterizar a permeabilidade dos materiais.

D. Superfície Potencial de Infiltração

A água é o principal agente deflagrador do movimento de massa. O modo mais comum com que a ela chega à superfície é pela chuva, mas existem outros meios como lançamento de água servida ou o rompimento de uma tubulação, por exemplo. A chuva quando chega à superfície do solo pode infiltrar, escoar superficialmente e uma parcela desta água evapora. Ela pode se acumular no solo ou na rocha de duas formas: por saturação pelo topo ou saturação pela base (quando a água infiltrada em outro lugar, topograficamente mais alto, chega até uma região de menor altitude e aumenta o nível freático daquele local). A variação da saturação do meio pode reduzir a resistência ao cisalhamento, aumentar o peso do maciço e reduzir as condições de sucção.

Uma carta de superfície potencial de infiltração pode ser elaborada a partir das unidades geológico-geotécnicas distinguindo, por exemplo, a profundidade de

um possível difrator hídrico gerando uma acumulação de água na camada mais permeável e provocando um aumento na pressão neutra deixando o solo instável.

E. Superfície Potencial de Ruptura

A superfície de ruptura pode ser representada por meio de um valor estimado para sua profundidade, que pode ser exposta através de intervalos, como por exemplo, até 2m, de 2 a 10m, e acima de 10m. Vale ressaltar que esta medida é apenas uma aproximação do valor, devido a dificuldade de se definir com precisão qual plano de ruptura está mais susceptível.

Neste trabalho, optou-se por apresentar possibilidades de superfície potencial de ruptura de todo o conjunto de materiais inconsolidados e substratos rochosos que formam as unidades geológico-geotécnicas. Pretendeu-se considerar como uma superfície potencial de ruptura o contato entre diferentes materiais como solo/rocha ou aterro/solo e os planos de descontinuidades que caracterizam alguns grupo de rochas, levando também em consideração à possibilidade de ocorrência destas superfícies em qualquer profundidade principalmente em solos com maior espessura.

F. Chuva

A chuva pode ser considerada um fator deflagrador do movimento de massa gravitacional, pois a quantidade de água precipitada e a sua distribuição na região possui relação direta com a instabilização das encostas, devido às mudanças nos parâmetros de resistência dos materiais e ao avanço da saturação provocando aumento nas pressões neutras.

Os movimentos de massa gravitacionais podem estar associados às chuvas acumuladas de vários dias ou de chuvas intensas de curta duração. Os dados de precipitação utilizados para analisar este fator devem ser levantados de estações pluviométricas locadas na região de estudo a partir da medição da altura da coluna de água precipitada.

A representação deste atributo pode ser realizada através de medidas de intensidade pluviométrica, por exemplo, da chuva imediata de 3 dias ou acumulada de 15 dias, da precipitação média anual ou a precipitação média em períodos chuvosos. A escolha de qual representação utilizar dependerá do objetivo da carta de eventos perigosos. Se, a título de exemplo, pretende-se estudar a probabilidade de ocorrência de movimentos de massa gravitacionais em um período chuvoso, deve-se utilizar dados pluviométricos que representem este período.

4.4 QUARTA ETAPA

Esta etapa constitui a preparação, análise e apresentação dos resultados da avaliação crítica quanto ao emprego dos dados elaborados nos métodos probabilísticos e redes neurais artificiais para elaboração de uma carta de eventos perigosos. Para cada uma das aplicações elaborou-se um roteiro que propõe um arranjo e também uma forma de uso dos dados nos modelos em análise.

Este roteiro foi elaborado visando desenvolver um passo a passo da aplicação a partir dos princípios básicos dos métodos probabilísticos e redes neurais artificiais. Para ambos, é necessário que as informações amostrais sejam representativas de todo o conjunto e que a aplicação de cada método esteja adequada para gerar resultados de boa qualidade.

4.4.1 Aplicação em Redes Neurais Artificiais

Para aplicação em RNA um tipo de rede é escolhido, neste trabalho a rede *Perceptron* de múltiplas camadas. Posteriormente, um conjunto de arquiteturas é sugerido para ser analisado. Antes da aplicação da rede em toda a área, esta é treinada e validada, se preciso por várias vezes para certificação. Este processo irá depender da escolha dos dados de entrada, pesos e funções utilizados na elaboração

da rede. Um resultado insatisfatório pode ocorrer devido à escolha errada do tipo de rede e, como a escolha da arquitetura e das funções é subjetiva, talvez seja necessário a modificação destes parâmetros para se obter um resultado satisfatório.

Na presente pesquisa utilizou-se o *software* MATLAB® para mostrar os estágios da aplicação do método. Este é um *software* interativo voltado para o cálculo numérico que possui entre outras extensões de trabalho, a extensão *Neural Network Toolbox*. Esta extensão é destinada a fornecer funções e aplicativos para a modelagem de sistemas complexos não-lineares, com o objetivo de criar, formar, visualizar e simular redes neurais artificiais.

4.4.2 Aplicação em Probabilidade

Para aplicação em probabilidade foi utilizada a abordagem frequentista que avalia a possibilidade do evento ocorrência de movimento de massa gravitacional (Evento O) como a frequência relativa dos atributos independentes, ou seja, a relação entre as feições e os atributos mapeados como fatores predisponentes.

Os fatores que propiciam o movimento são os mesmos que levaram à instabilização das encostas no passado e que podem instabilizar também no futuro. Por isso, os estudos de movimentação de massa são apoiados na interpretação do que aconteceu no passado, assim como para a probabilidade relativa.

A probabilidade condicional foi utilizada para montar esta aplicação a partir da teoria de probabilidade total. Para definição da probabilidade dos eventos com os quais o Evento O é dependente, foi utilizada a área correspondente a cada atributo e também a área das feições de movimentos de massa gravitacionais.

Estas probabilidades foram calculados usando o *software* ArcMap™ e também o *software* Microsoft Office Excel®. O banco de dados de feições, resultante deste levantamento, foi organizado em uma planilha eletrônica.

5 APRESENTAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

Neste capítulo são exibidos os dados necessários para a aplicação da metodologia anteriormente comentada. As seções que compõem este capítulo foram divididas em dados prévios e dados gerados.

5.1 DADOS PRÉVIOS

Os dados prévios são aqueles obtidos a partir de trabalhos anteriores. Eles formam um conjunto de mapas básicos fundamentais para a aplicação e também para obtenção dos dados gerados. Fazem parte deste grupo os mapas: topográfico, de substrato rochoso, de material inconsolidado e de uso e ocupação.

5.1.1 Mapa topográfico

A base de dados cartográficos através da qual elaborou-se o mapa topográfico deste estudo pertence ao trabalho de Bonuccelli (1999). A autora digitalizou as curvas de nível com 10m de equidistância em escala 1:10000. A delimitação das estradas principais e a drenagem também foram selecionadas a partir do trabalho de Bonuccelli (1999).

Do mapa geológico de Ouro Preto em escala 1:50000 (Lobato *et al.*, 2005) obteve-se a mancha urbana. Esta se configurou a base mais recente obtida da delimitação do limite urbano, por este motivo e também por se tratar de um dado somente de cunho informativo, não foi considerada obrigatória a semelhança entre as escalas para sobreposição dos dados.

O mapa topográfico representa adequadamente as variações no relevo na região de Ouro Preto mapeada. Ele encontra-se adequado para a escala deste trabalho, sendo empregado no mapa de inventário e também sendo a base da elaboração do mapa de declividade e rumo da inclinação da encosta.

O mapa topográfico pode ser visualizado no Apêndice I.

5.1.2 Mapa de Substrato Rochoso

Para representar o mapa de substrato rochoso avaliou-se os mapas de Souza (1996) e Bonuccelli (1999). Optou-se por apresentar o mapa de Bonuccelli (1999) por este ter melhor detalhamento quanto a descrição das unidades litológicas.

A elaboração do mapa foi realizada a partir de dados obtidos por meio de trabalhos de campo, fotointerpretação e, avaliação e uso de informações já existentes. A autora se baseou principalmente no mapa de substrato rochoso elaborado por Souza (1996), com alterações e subdivisões adicionais. Estas modificações foram feitas a partir da coleta de um maior número de informações de campo e fotointerpretação, fundamentadas na análise das litologias, grau de alteração da rocha e sua resistência.

Souza (1996) observa que mesmo que as litologias da região de Ouro Preto estejam geneticamente associadas, elas possuem comportamentos diferentes em um mesmo perfil apresentando os mais variados graus de alteração.

Para formar as 21 unidades descritas, primeiramente, as rochas foram separadas quanto a sua resistência em dois grupos: rochas brandas e rochas duras, utilizando as sugestões de Franklin e Dusseault (1989 *apud* Bonuccelli, 1999). Depois, separou-se por grau de alteração: rocha sã ou fracamente alterada, rocha levemente alterada, moderadamente alterada, e intensamente alterada, de acordo com a proposta da Brow (1983).

A Tabela 23 resume as descrições das unidades litológicas e suas principais características. Para mais informações sugere-se a leitura do trabalho de Bonuccelli (1999).

O Mapa de Substrato Rochoso encontra-se no Apêndice II.

Tabela 23 - Características principais das unidades do substrato rochoso.

Código	Litologia	Grau de alteração
r1	Xistos sericíticos e quartzosos brandos	Intensamente alterados
r2	Xistos sericíticos e quartzitos duros	Levemente a moderadamente alterados
r3	Filitos e xistos brandos associados a duros	Intensamente alterados
r3D	Xistos duros	Levemente a moderadamente alterados
r4	Quartzitos e quartzitos sericíticos duros	Levemente a moderadamente alterados
r5	Quartzitos e quartzo-sericita-xistos, brandos e duros intercalados	Levemente a moderadamente alterados ou intensamente alterados quando friáveis
r6	Quartzitos silicosos duros, quartzitos micáceos brandos, xistos sericíticos brandos, ora intercalados ora associados	Intensamente alterados
r7	Itabiritos intensamente alterados com canga e materiais lateríticos	Intensamente alterados
r8	Itabiritos e itabiritos dolomíticos duros e brandos intercalados; presença de canga e materiais lateríticos associados	Moderadamente alterados
r9	Dolomitos e itabiritos dolomíticos duros ora intercalados e ora associados com filitos e itabiritos dolomíticos brandos	Levemente a moderadamente alterados
r10	Filitos brandos intercalados a quartzitos brandos; presença em associação de quartzitos duros intercalados com filitos sericíticos brandos.	Intensamente alterados
r11	Quartzitos e filitos duros	Levemente a moderadamente alterados
r12	Quartzitos friáveis e filitos grafitosos brandos intercalados; quartzitos brandos e duros intercalados com filitos sericíticos brandos. Níveis ferruginosos e manganésíferos.	Intensamente alterados
r13	Quartzitos e filitos ferruginosos, brandos, intercalados	Intensamente completamente a alterados
r14	Filitos e xistos brandos, intercalados com filitos grafitosos	Intensamente completamente a alterados
r15	Filitos e xistos brandos associados a filitos e xistos duros	Intensamente alterados
r16	Filitos, xistos e quartzitos brandos, ferruginosos e manganésíferos	Intensamente alterados
r17	Filitos grafitosos/sericíticos e quartzitos brandos	Intensamente completamente a alterados
r18	Filitos e xistos duros	Levemente a moderadamente alterados
r19	Quartzitos brandos	Levemente a moderadamente alterados
r20	Quartzitos brandos, friáveis	Intensamente completamente a alterados

Fonte - Adaptada de Bonuccelli (1999).

5.1.3 Mapa de Material Inconsolidado

Optou-se pela utilização do mapa de material inconsolidado elaborado por Bonuccelli (1999), por este apresentar as mesmas características do mapa de substrato rochoso contido no trabalho, como: detalhamento na elaboração e descrição dos materiais levantados pelo mapeamento.

O mapa de material inconsolidado de Bonuccelli (1999) foi elaborado com dados obtidos por meio de trabalhos de campo, fotointerpretação e, referência bibliográfica de trabalhos já executados na região. A autora, assim como o mapa de substrato rochoso, se baseou principalmente no trabalho de Souza (1996), com alterações e subdivisões adicionais. Em consequência da grande diversidade litológica e a influência antrópica, os materiais foram analisados quanto a sua gênese, espessura das camadas, textura e perfil de alteração, para representar com clareza a heterogeneidade dos materiais.

Para este mapa, foram adotados os graus de alteração: completamente alterada e solo residual. Além destes, também foram incluídos na descrição: colúvio, aluvião, aterros não compactados, depósitos de rejeitos e resíduos.

Assim, o mapa de material inconsolidado apresenta 19 unidades levando em conta 3 classes relacionadas às espessuras do material: até 2m, entre 2 e 10m e, acima de 10m.

A Tabela 24 resume as descrições das unidades de material inconsolidado e suas principais características. Para mais informações sugere-se a leitura do trabalho de Bonuccelli (1999).

O Mapa de Material Inconsolidado encontra-se no Apêndice III.

Tabela 24 - Características principais das unidades do material inconsolidado.

Código	Material inconsolidado	Espessura do perfil de solo
i1	Ausência de material inconsolidado	-
i2	Colúvio sobre rocha branda ou dura	<2m
i2A	Colúvio sobre rocha branda	< 0,5m
i2B	Colúvio associado a blocos de rocha e canga	< 2m
i3	Aterros não compactados e resíduos	Entre 2 e 10m, podendo maiores que 10m
i4	Aluvião	<2m
i5	Colúvio, residuais de xistos/filitos, saprólitos xistos/filitos	2 a 10m
i6	Colúvio, residuais de xistos/filitos, saprólitos xistos/filitos, presença de material laterítico	2 a 10m
i7	Colúvios e saprólitos xistos/filitos	2 a 10m
i8	Colúvios e saprólitos xistos/filitos	<2m
i8B	Colúvios e saprólitos associados, blocos de rocha	<2m
i9	Residuais filitos/quartzitos, saprólitos filitos/quartzitos	2 a 10m
i10	Colúvios e saprólitos filitos/quartzitos	2 a 10m
i11	Colúvios, saprólitos quartzitos	2 a 10m
i12	Canga e material laterítico	2 a 10m
i12A	Concreções e material laterítico poroso	2 a 10m
i13	Endurecido, saprólito de quartzitos/xistos ferruginosos friáveis	2 a 10m
i14	Residuais e saprólito de quartzitos/xistos/filitos ferruginosos friáveis	2 a 10m
i15	Colúvios, residuais filitos/xistos, saprólito de filito/xistos, material laterítico	>10m

Fonte - Adaptada de Bonuccelli (1999).

5.1.4 Mapa de Uso de Ocupação

O mapa de uso e ocupação foi reproduzido do trabalho de Bonuccelli (1999). Utilizou-se interpretação de fotos aéreas e ortofotos, trabalhos de campo e dados censitários do IBGE para sua elaboração. Para determinação das áreas vegetadas, quanto ao seu tipo, foi utilizado pela autora o trabalho de Silva & Gontijo (1999 *apud*

Bonuccelli, 1999). Este mapa, também produzido em escala 1:10000, recobre toda a área deste estudo com 11 unidades de uso e ocupação.

O mapa não foi atualizado, assumindo que as recentes mudanças ocorridas não são tão significativas e que as informações necessárias para influenciar o resultado deste estudo não foram ainda mapeadas. Tais modificações podem ser: inclusão de áreas de corte e aterro de estradas e encostas, estilo de ocupação em relação ao usufruto da área ocupada, disposição das fossas e destinação da água servida, por exemplo.

A Tabela 25 apresenta as unidades de uso e ocupação. Para as unidades cuja descrição é urbana, foram consideradas áreas de alta densidade aquelas que possuem 1 domicílio para áreas abaixo de 500m²; urbana de média densidade possuem 1 domicílio para áreas entre 500 e 1500m²; e urbana de baixa densidade foram classificadas como 1 domicílio para áreas acima de 1500m².

Para mais informações sugere-se a leitura do trabalho de Bonuccelli (1999). O Mapa de Uso e Ocupação encontra-se no Apêndice IV.

Tabela 25 - Unidade de uso e ocupação.

Código	Litologia
u1	Urbana com baixa densidade
u2	Urbana com alta densidade
u3	Urbana com média densidade
u4	Mineração ativa
u5	Mineração inativa
u6	Preservação ambiental
u7	Disposição de resíduos
u8	Vegetação
u9	Ocupação industrial
u10	Ocupação escolar
u11	Urbana alta com mineração inativa

Fonte - Adaptada de Bonuccelli (1999).

5.2 DADOS GERADOS

Os dados gerados foram formados a partir dos mapas prévios e da análise das informações de trabalhos anteriores. Eles também constituem um conjunto de cartas fundamentais para a aplicação e, fazem parte deste conjunto de dados os seguintes mapas e cartas: de inventário, de declividade, rumo da inclinação da encosta, carta geotécnica, mapa de domínios estruturais, de resistência ao cisalhamento, de contraste de permeabilidade, de superfície potencial de ruptura e de potencial de infiltração.

5.2.1 Mapa de Inventário dos Movimentos de Massa Gravitacionais

Os inventários desenvolvidos na região de Ouro Preto reúnem as feições presentes nos terrenos, produzidas por algum evento que nos últimos anos envolveu o movimento de massa gravitacional de forma natural, sem a ação antrópica como agente deflagrador. Neste caso, mesmo que retirada a ação antrópica, fez-se necessário a interpretação dos movimentos que envolvessem os materiais tecnógenos, pois estes se fazem presentes na área desde o século XVII e, além de já fazerem parte do contexto geomorfológico da cidade, são de difícil identificação.

Assim, foram consideradas as ocorrências inventariadas por diversos autores, são eles: Souza (1996), Bonuccelli (1999), Zenóbio (2000), Castro (2006), Fontes (2011). Além destes trabalhos, também foram analisados os dados obtidos do Instituto Geotécnico (IGEO) de Ouro Preto.

A seção denominada *Completo* (Seção 5.2.1.1) apresenta todos os dados elaborados pelos autores supracitados e a análise de viabilidade de aplicação das informações na elaboração do mapa de inventário dos movimentos de massa gravitacionais. A Seção 5.2.1.2 mostra os dados que foram considerados válidos para a elaboração do mapa pretendido e a análise detalhada de suas informações.

5.2.1.1 Completo

Esta seção apresenta todos os dados de inventário elaborados por cada autor separadamente e a análise de sua aplicabilidade na formação do inventário de movimentos de massa gravitacionais.

A. Trabalho de Souza (1996)

Foram cadastrados 319 feições na mesma área de abrangência deste estudo. Retirados os processos correlatos como erosão, assoreamento, etc., os tipos de materiais envolvidos no MMG variam de rocha, detritos e solo. Adicionou-se outra categoria denominada Área de múltiplas feições que, como o próprio nome diz, representa uma região onde não é possível a individualização de um único movimento. Este grupo foi formado a partir de feições registradas como movimentos complexos.

Os tipos de movimentos de massa inventariados com suas respectivas quantidades de feições por processo estão apresentados na Tabela 26.

Souza (1996) inventariou estas feições com trabalhos de campo a partir de fichas de cadastramento e de interpretação de fotos aéreas na escala 1:10000 do ano de 1969, eventualmente com o apoio de aerofotos de 1:8000 (1978).

Tabela 26 - Feições inventariadas por Souza (1996).

Processos	Quantidade de feições
Escorregamento rotacional	1
Escorregamento translacional	52
Quedas	64
Corridas	33
Complexo	125
Área de múltiplas feições	44

B. Trabalho de Bonuccelli (1999)

Foram consideradas 335 feições, já retirados os processos correlatos como erosão, assoreamento, etc. O cadastramento foi realizado pela autora com base em verificações de campo e em fotointerpretação de fotos aéreas na escala de 1:10000 e 1:8000, dos anos de 1969 e 1978, respectivamente. Quanto ao tipo de material envolvido, os processos foram separados nas classes: blocos de rocha, detritos, solo, mistura de detritos e solo, mistura de detritos e rocha, e, mistura de rocha, detritos e solo. Ademais, a autora também mostra informações quanto a profundidade, área da feição e o seu estado de atividade. Assim como o cadastramento de Souza (1996), uma nova categoria chamada Área de múltiplas feições foi adicionada a partir de feições registradas como movimentos complexos. Elas representam regiões onde não é possível a individualização de um único movimento.

As quantidades de feições para cada processo levantadas por Bonuccelli (1999) podem ser observadas na Tabela 27.

Tabela 27 - Feições inventariadas por Bonuccelli (1999).

Processos	Quantidade de feições
Escorregamento	79
Escorregamento translacional	55
Quedas e rolamentos	78
Escoamentos rápidos ou corridas	10
Complexo	24
Escorregamento e corrida	12
Escorregamento e erosão	14
Escorregamento translacional e corrida	31
Corridas e rolamentos	25
Área de múltiplas feições	7

C. Trabalho de Zenóbio (2000)

Foram registrados 64 feições e os tipos de materiais são rocha ou solo. O trabalho foi realizado em escala 1:5000 utilizando fotografias aéreas na escala 1:8000 de 1978. Para complementação, fez-se levantamento de campo e registro fotográfico das feições inventariadas. Das 64 feições cadastradas pelo autor, 39 foram utilizadas neste inventário por possuírem uma área definida para a feição.

As quantidades de feições cadastradas por Zenóbio (2000) para cada processo estão listadas na Tabela 28.

Tabela 28 - Feições inventariadas por Zenóbio (2000).

Processos	Quantidade de feições
Complexo	1
Escorregamento translacional	36
Quedas	2

D. Trabalho de Castro (2006)

O trabalho conta com o levantamento de 417 feições entre os anos de 1989 a 2003, entretanto somente 270 foram realmente utilizadas. Este número corresponde a quantidade total de movimentos de massa cadastrados do tipo escorregamento. Segundo Castro (2006) esta separação foi necessária, pois os escorregamentos sofrem maior influência da precipitação no seu desencadeamento, sendo este o objetivo do seu estudo.

Todos os dados apresentados na tabela denominada Ocorrências Utilizadas para Análise de Correlação (Anexo I), possuem informação quanto a data de ocorrência, tipo de processo e dados de pluviosidade, mas não existe informação quanto ao material envolvido. Os dados de localização se resumem ao logradouro e bairro, não possuindo coordenadas geográficas da feição em sua tabela.

As ocorrências até 1998 foram obtidas através da tese de Bonuccelli (1999). A partir deste ano o cadastramento foi realizado por Castro (2006) a partir do levantamento das ocorrências atendidas pelo Corpo de Bombeiros de Ouro Preto, selecionando apenas aquelas relacionadas a movimentos de massa gravitacionais e erosões.

No mapa apresentado por Castro (2006) – Mapa com Zoneamento das Áreas de Risco – reproduzido em detalhe na Figura 55, há todos os escorregamentos analisados, entretanto não há nenhuma codificação através da qual exista a possibilidade de fazer uma associação destes pontos com a tabela apresentada em seu trabalho. O mapa original pode ser visualizado no Anexo II.

Desta forma, viu-se impossibilitada a utilização destes dados na composição do banco de dados deste trabalho. Além de se tratarem de registros pontuais, visto que a prioridade seria de registros com representação espacial, ou seja, possuísem a representação da área de ocorrência por meio de um polígono.

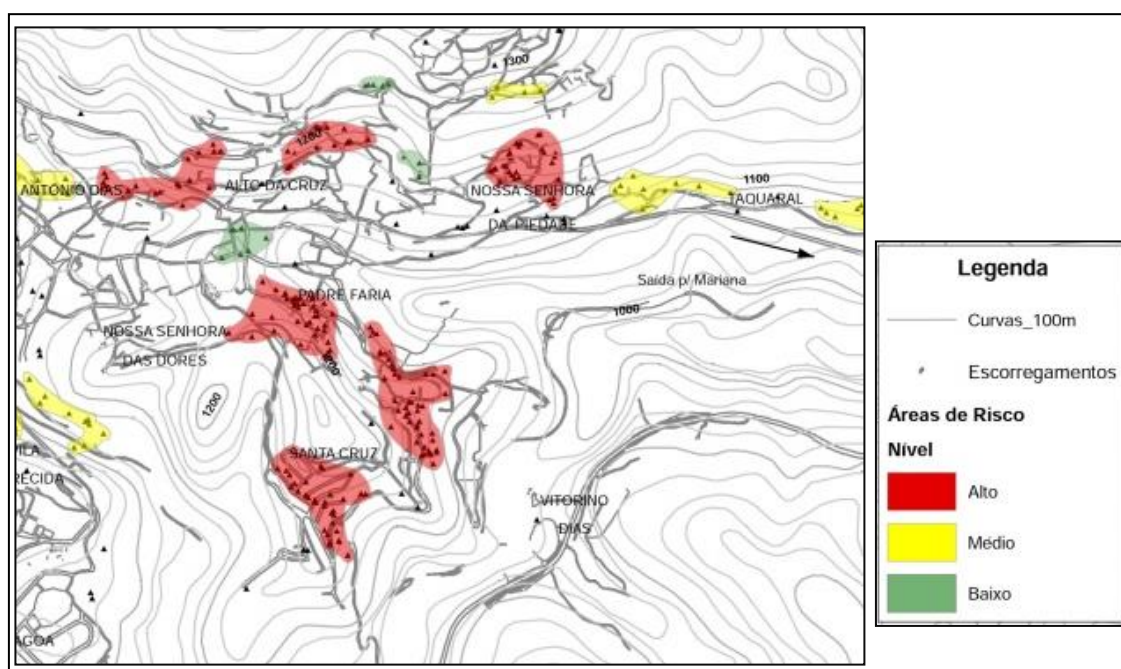


Figura 55 - Detalhe da porção leste do Mapa de Áreas de Risco e Registros de Escorregamento apresentado por Castro (2006).

E. Trabalho de Fontes (2011)

Os dados de Fontes (2011) foram obtidos através das tabelas de dados contidos em sua dissertação e do mapa de ocorrências. Este autor também utiliza as ocorrências cadastradas por Castro (2006). A catalogação englobou 1029 ocorrências registradas entre os anos de 1988 a 2009.

Além do material técnico bibliográfico houve agrupamento de dados de relatórios do Arquivo Municipal, Cadastro de Registro da Prefeitura Municipal de Ouro Preto, Corpo de Bombeiros e Defesa Civil. De acordo com Fontes (2011) “as ocorrências foram sistematizadas, tomando-se como referência apenas o conjunto de eventos passíveis de contextualização completa, sendo descartadas àquelas que apresentavam dados insuficientes e/ou incompletos para uma caracterização plena”.

Assim, das 1029 ocorrências somente 254 foram efetivamente listadas e correlacionadas com a natureza correspondente do evento geotécnico. Os tipos de movimentos de massa inventariados por Fontes (2011) estão apresentadas na Tabela 29.

Tabela 29 - Feições inventariadas por Fontes (2011).

Processos	Quantidade de feições
Escorregamento rotacional	82
Escorregamento translacional	89
Quedas e rolamentos	31
Escoamentos rápidos ou corridas	8
Complexo	17

O autor apresenta o seu banco de dados de duas formas:

- i. através de uma tabela reproduzida no Anexo III denominada Lista de Ocorrências Mapeadas, na qual o autor mostra as ocorrências nomeadas por dois códigos. Um deles se inicia em E1 e finaliza em E254, número correspondente à quantidade de movimentos citados pelo autor como efetivamente utilizados. E outro código numérico que

não possui uma sequência definida. Além destas informações, ela apresenta as coordenadas geográficas dos pontos, alguns possuem data de ocorrência e raramente alguma informação adicional. A Figura 56 ilustra uma parte desta tabela.

Ponto	Código da Ocorrência	Coordenada X	Coordenada Y	Data da Ocorrência	Eventos Geotécnicos Observados
E1	290	657289	7744134	04/11/1990	
E2	291	657164	7744133		
E3	292	657251	7744225	03/01/1997	Demais ocorrências: 23/12/1996.
E4	293	657259	7744214		
E5	294	657245	7744221		
E6	295	657295	7744175	25/10/1993	
E7	296	657529	7744161		
E8	297	657353	7744003	21/11/1996	
E9	298	657376	7743948	06/02/1998	
E10	299	657422	7743916		

Figura 56 - Reprodução de parte da tabela de dados apresentada por Fontes(2011).

- ii. Outro documento contido em uma separata denominada Fichas de Campo. Nesta base, o autor apresenta as fichas de campos de 160 pontos vistoriados. Entretanto, apesar de terem maior quantidade de informações sobre o ponto cadastrado, algumas fichas de campo não dispõem de coordenadas geográficas e a importância do cadastro está voltada para a avaliação das condições de risco do que à caracterização do movimento.

No mapa apresentado pelo autor – Mapa de Inventário de Ocorrências–reproduzido em detalhe na Figura 57, há todos os movimentos de massa gravitacionais e processos correlatos analisados, entretanto não há nenhuma codificação através da qual exista a possibilidade de fazer uma associação destes pontos com as tabelas e fichas de campo apresentadas em seu trabalho. O mapa de inventário completo pode ser visto no Anexo IV desta dissertação.

Contudo, houve a tentativa de associação através do georreferenciamento deste mapa com as tabelas apresentadas por Fontes (2011) por meio das

coordenadas geográficas. Entretanto, outros problemas foram diagnosticados, tais como:

- Há pontos sem correlação de posicionamento geográfico, ou seja, não há na tabela pontos que tenham o mesmo conjunto de coordenadas encontradas pelo georreferenciamento do Mapa de Inventário de Ocorrências;
- Existem pontos nas tabelas e fichas de campo que não possuem representação no mapa;
- Alguns pontos foram correlacionados, mas não correspondem ao mesmo tipo de movimento ou processo correlato cadastrado. Como exemplo: tem-se o ponto STC24 (E:657289,659/N:7744134,307) na ficha de campo diz ser escorregamento translacional e no mapa está representado como escorregamento rotacional. O ponto STC4 (E:657295,33/N:7744175,537) na ficha de campo é descrito como inundação e assoreamento e no mapa está representado como escorregamento rotacional. A ficha de campo do ponto STC4 está, como exemplo, reproduzida no Anexo V.

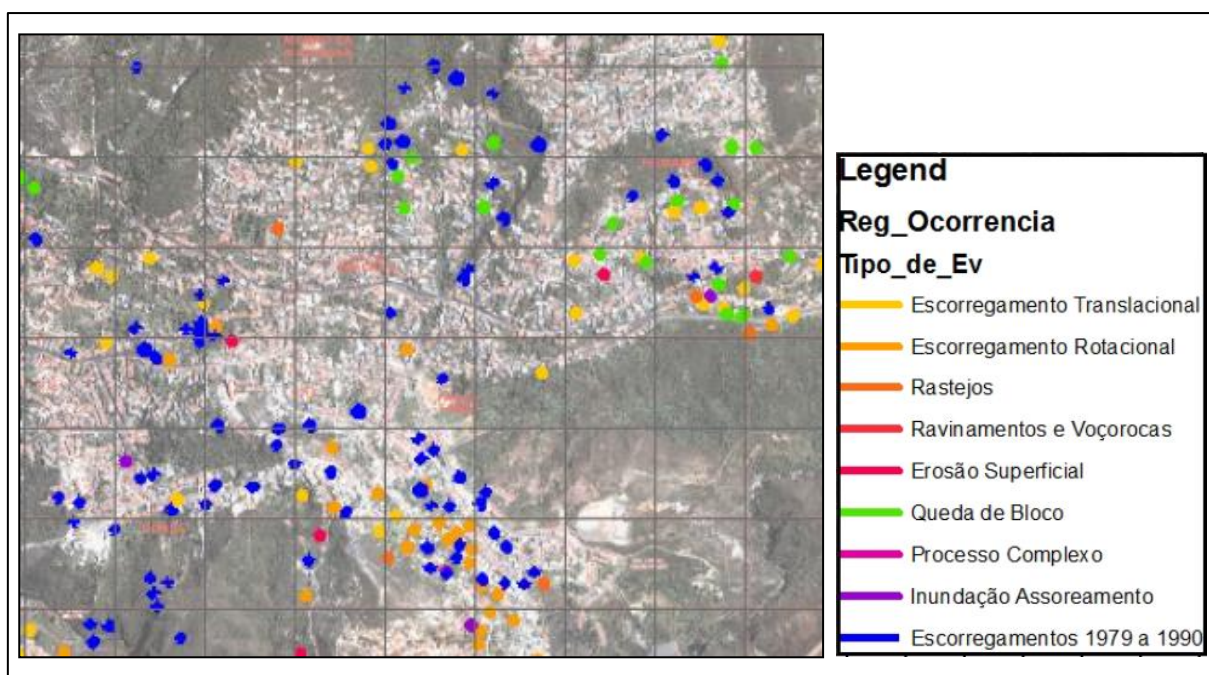


Figura 57 - Porção leste do Mapa de Inventário de Ocorrências apresentado por Fontes(2011).

Desta forma, devido a incompatibilidade existente entre as bases de dados apresentadas e também às incertezas de se utilizar uma das bases partindo do pressuposto dela estar correta, chegou-se a conclusão de que não há possibilidade de utilizar estes dados na composição do banco de dados deste trabalho. Além de se tratarem de registros pontuais, assim como os dados de Castro (2006).

F. Trabalhos de IGEO (2008-2014)

Os dados cedidos pelo IGEO também foram analisados para posterior adição ao banco de dados deste trabalho. Estes documentos se tratam de algumas tabelas separadas por ano de ocorrência com pontos cadastrados a partir do que foi registrado pela Defesa Civil, Corpo de Bombeiros, população, etc.. Estes pontos são posteriormente inspecionados pelo instituto gerando um relatório técnico que é usado para avaliar geotecnica a ocorrência.

A Figura 58 apresenta parte da planilha de dados do ano de 2009, e foi aqui ilustrada a fim de representar a forma de cadastramento do instituto para os pontos oriundos das fontes anteriormente citadas.

Para o melhor aproveitamento destes documentos foram retirados os pontos cuja ocorrência não foi encontrada pela equipe de trabalho do IGEO. Da mesma forma, pontos que continham como descrição do tipo de movimento expressões como trincas, desabamento, queda de muro, entre outros também foram removidos.

Assim, a seleção se fez a partir do apresentado como deslizamento, queda de bloco, escorregamento rotacional e muro gabião, e o resultado final pode ser visualizado no Apêndice A. A tabela contida nesse apêndice contempla os anos de 2009 a 2013 com um total de 92 pontos armazenados. O ano com o maior número de ocorrências foi 2012 com 42 pontos inspecionados.

Arquivo Página Inicial Inserir Layout da Página Fórmulas Dados Revisão Exibição Desenvolvedor								
M33								
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	REGISTRO	ANO	CÓDIGO	BAIRRO	TIPO	X	Y	ENDEREÇO
2	39/2009 - Moacélia da Silva	2009	IG 01/09	São Cristóvão	Deslizamento	655119,70 m E	7745884,95 m S	Rua Olímpia Scott, 187, São Cristóvão
3	11/2009 - República Patotinha	2009	IG 02/09	Antônio Dias	Deslizamento	656324,28 m E	7744755,83 m S	Rua Felipe dos Santos, 212, Antônio Dias
4	09/2009 - Aneir	2009	IG 03/09	São Cristóvão	Deslizamento	655859,10 m E	7746278,01 m S	Rua Vereador Miguel Alves Perreira, 5
5	08/2009 - Alessandra Ramos	2009	IG 04/09	São Cristóvão	Deslizamento	644821,13 m E	7746068,09 m S	Rua Manganês, 191, São Cristóvão
6	01/2009 - KTM	2009	IG 05/09	São Cristóvão	Deslizamento	654345,23 m E	7745813,65 m S	Rua Padre Rolim, 2008, São Cristóvão
7	87/2009 - Alessandra	2009	IG 06/09	Morro Santana	Deslizamento	656865,58 m E	7745209,76 m S	Rua Quinze de agosto, 140, Morro Santana
8	2199/2009 - Vilma Borges	2009	IG 06/09	Morro Santana	Deslizamento	656865,58 m E	7745209,76 m S	Rua Quinze de agosto, 140, Morro Santana

Figura 58 - Exemplo de uma das planilhas de dados concedidas pelo IGEO.

Os pareceres técnicos cedidos pelo IGEO não representam os pontos apresentados no Apêndice A. Ao todo são 15 relatórios datados de 2014 que foram analisados a fim de responder as seguintes questões:

- i. É possível identificar qual o tipo de movimento?
- ii. O movimento ocorreu por ação natural ou antrópica?
- iii. Qual o tipo de material envolvido no movimento?
- iv. Qual a atividade do movimento?

Ao fim da análise, constata-se que dificilmente é possível extrair dos pareceres técnicos as informações necessárias para elaboração do banco de dados de inventário de movimentos de massa gravitacionais.

Somente pela leitura dos relatórios, não há resposta para a maioria das questões levantadas na análise. Em alguns pareceres, é possível ter a informação do tipo de movimento, mas não há informação de que ele ocorreu naturalmente ou por interferência antrópica. O que dificulta ainda mais a sua utilização é a localização das ocorrências uma vez que elas estão sempre associadas à danificação de uma ocupação ou infraestrutura da cidade como: muros de pedra, ruas, casas e escolas.

Outro ponto importante a se discutir é a falta de uma delimitação da área em movimentação ou movimentada, pois, todos os relatórios avaliam uma região ou uma encosta como um todo e não se detêm à caracterização do movimento, mas sim à identificação do risco, avaliação das consequências e propostas de mitigação.

Para ilustrar os documentos cedidos pelo IGEO, consta no Anexo VI uma das cópias dos pareceres técnicos. Este parecer aborda a investigação geológico-geotécnica executada por membros do instituto para avaliação e remediação da

instabilização da encosta situada na Rua Diogo de Vasconcelos, nº 345 na cidade de Ouro Preto.

Vale aqui ressaltar que as informações que constam nos relatórios foram coletadas para fins específicos, não cabendo aqui qualquer análise correspondente a sua aplicabilidade, mas sim a possibilidade de incorporação destes na presente pesquisa.

Para representar espacialmente todos os dados elaborados por cada autor e a distribuição deles na área de estudo, apresenta-se, no Apêndice V, o Mapa Prévio dos Movimentos de Massa Gravitacionais. Este possui todos os dados catalogados sem nenhuma verificação de duplicação, incompatibilidade ou falta/insuficiência de informações, inclusive com os dados não validados neste estudo.

Tendo em vista as incertezas de identificação dos movimentos de massa quanto a sua origem: naturais ou relacionados a ação antrópica, as feições cadastradas por Castro(2006), Fontes (2011) e IGEO(2015) não foram consideradas em condições de serem utilizadas. Isto devido às dificuldades de validar o registro visto que são oriundos de defesa civil e, assim, não fazem parte do banco de dados deste estudo.

A partir dos resultados da análise dos trabalhos anteriores foi possível selecionar os dados que efetivamente podem ser incorporados à base deste trabalho, com a finalidade de elaborar um inventário dos movimentos de massa gravitacionais da área de estudo. Estes dados são tratados como válidos e serão melhor detalhados na próxima seção.

5.2.1.2 Válidos

Dentre todas as literaturas examinadas, foram escolhidos como válidos os conjuntos de informações inventariadas por Souza (1996), Bonuccelli (1999) e Zenóbio (2000), devido a estes levantamentos apresentarem melhor compatibilidade de dados. No Apêndice B encontra-se a tabela denominada Banco de dados do

inventário de movimentos de massa gravitacionais, com todos os dados válidos para as feições levantadas a partir da pesquisa mencionada anteriormente.

A partir da reunião destes dados para formação da base do inventário, elaborou-se o Mapa de Inventário dos Movimentos de Massa Gravitacionais, contido no Apêndice VI, que reúne todos os movimentos de massa gravitacionais cadastrados.

A. Análise dos dados quanto às informações disponíveis

Durante a pesquisa para o levantamento de dados, notou-se que algumas informações importantes para a caracterização dos movimentos de massa gravitacionais não foram relatadas pelos autores da literatura analisada.

Souza (1996) possui um mapa de documentação onde apresenta os pontos avaliados durante o seu trabalho de campo, entretanto, apesar de apresentar o levantamento das informações básicas quanto ao tipo de movimento e material envolvido, não existem dados quanto a atividade do movimento.

Zenóbio (2000), assim como Souza (1999), não apresenta informações mais sobre as feições, enquanto Bonuccelli (1999) contempla além da área, localização, classificação do tipo, dados sobre atividade e a profundidade da superfície de ruptura, em um banco de dados com todas as ocorrências cadastradas.

As informações mencionadas pelas referências mundiais como relevantes para a realização de um inventário, como: data da ocorrência, volume do material deslocado e velocidade – não foram obtidos pelos autores relacionados.

B. Análise dos dados quanto às características das feições

O banco de dados em sua base contempla as seguintes informações (Apêndice B): autoria, data do trabalho, código da ocorrência, código do processo, tipos, materiais geológicos envolvidos, coordenadas geográficas do centro geométrico das feições, área, atividade e profundidade da superfície de ruptura.

Ao todo, reuniu-se um total de 693 registros inventariados ilustrando 11 tipos de movimentos distintos (ou agrupamentos) de acordo com a classificação de

Hutchinson (1988) e Cruden (1993). A distribuição de feições pode ser visualizada através da Tabela 30. A área total das feições registradas no mapa de inventário é de 2,23km², o que corresponde a aproximadamente 5% da área total

Tabela 30 – Número total de feições válidas.

Processos	Quantidade de feições
Escorregamento rotacional	1
Escorregamento translacional	143
Corridas	43
Complexo	150
Escorregamento*	79
Quedas e rolamentos	144
Escorregamento e corrida	12
Escorregamento e erosão	14
Escorregamento translacional e corrida	31
Corridas e rolamentos	25
Área de múltiplas feições	51

*Não apresenta classificação quanto ao tipo de escorregamento.

As feições cadastradas não possuem padrão morfológico aparente. Nota-se que elas podem ser alongadas segundo a direção da encosta e, em sua grande maioria, alongadas no sentido da inclinação da encosta (Apêndice VI). As feições cadastradas como área de múltiplas feições podem ocorrer em topos de morro, encostas e vales.

Cerca de 45 feições ocupam área maior que 10.000m². A maior delas, com 74.942m², é classificada como área de múltiplas feições. 175 feições possuem área menor que 500m² e a menor ocupa 33,3m² da área total representando um escorregamento translacional.

C. Análise dos dados quanto à frequência das feições

Para uma melhor visualização da distribuição de feições elaborou-se um gráfico de barras que exhibe a frequência dos registros por tipo de movimento, conforme Figura 60. As feições classificadas como quedas e como quedas e rolamentos foram agrupadas. Os autores classificaram várias feições como do tipo complexo, porém não se encontram descrições dos subtipos envolvidos, e grande parte destas podem ser enquadradas como áreas de múltiplas feições. Estas correspondem a regiões onde não há como individualizar as feições existentes.

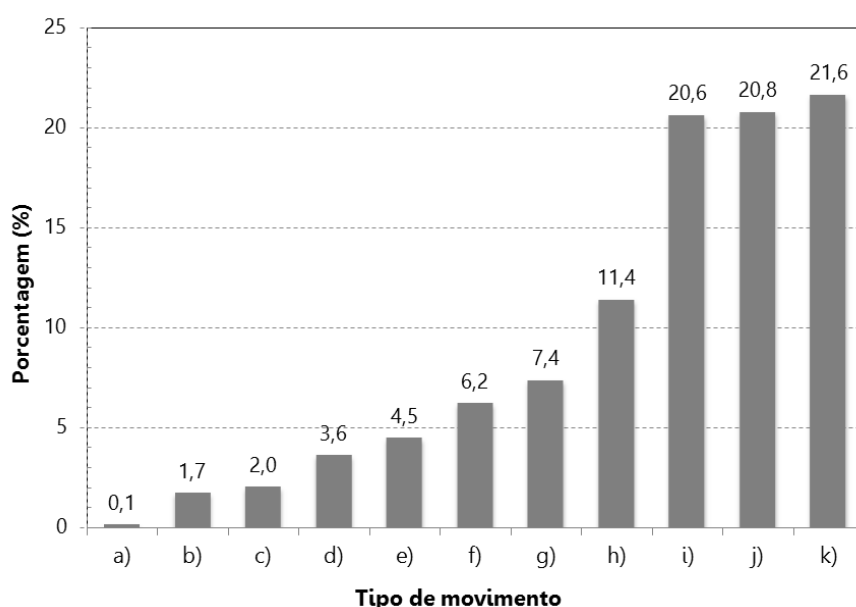


Figura 59 - Frequência das ocorrências quanto ao tipo de movimento, que são: a) Escorregamento rotacional; b) Escorregamento e corrida; c) Escorregamento e erosão; d) Corridas e rolamentos; e) Escorregamento translacional e corrida; f) Corridas; g) Área de múltiplas feições; h) Escorregamento; i) Escorregamento translacional; j) Quedas e rolamentos; k) Complexo.

Dentre todos os tipos de processos classificados e apresentados no Banco de dados do inventário de movimentos de massa gravitacionais (Apêndice B), pode-se observar que o tipo de movimento que mais ocorre na região estudada é o movimento complexo (150 feições), seguido de quedas e rolamentos (144 feições), escorregamento translacional (143 feições) e escorregamento (79 feições). Demais tipos de processos somam 25,5% do total de feições inventariadas.

D. Análise quanto às informações do banco de dados

Devido à ausência de informações nos diversos trabalhos não há condições de uma análise geral e comparativa em termos estatísticos. Entretanto, informações quanto à atividade, profundidade da superfície de ruptura e material geológico envolvido puderam ser analisados estatisticamente (Figura 60).

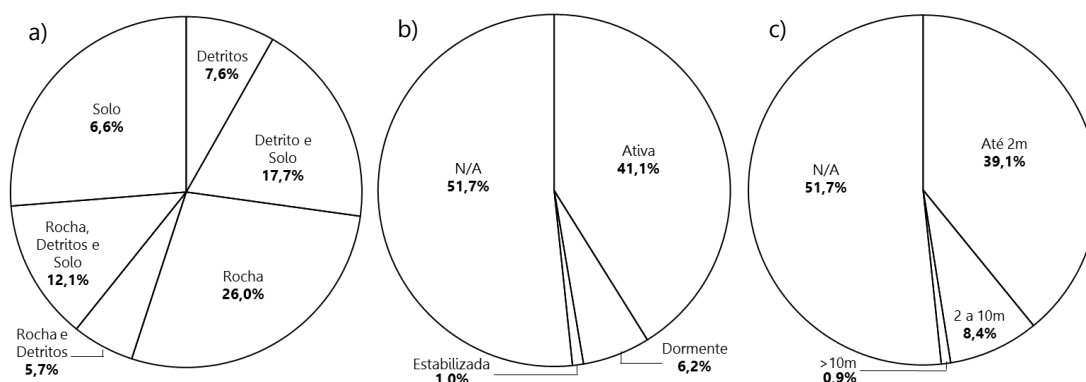


Figura 60 - Análise das feições inventariadas:
a) Tipo de material; b) Atividade; c) Profundidade da superfície de ruptura.

Observou-se que as feições cadastradas movimentam mais materiais rochosos quando comparado aos outros tipos citados no banco de dados (26,0%), seguido da mistura detritos e solo com 17,7% (Figura 60a). Como já referido, a classificação quanto à atividade e profundidade da ruptura do movimento não foi descrita por Souza (1996) e Zenóbio (2000) por isso, cerca de 52 % dos dados inventariados não possuem estas informações (Figura 60b e Figura 60c), nomeado nos gráficos como N/A (*Not Available*). Em 1999, 41,1% dos registros inventariados estavam ativos e somente 1,0% estabilizados. Quanto a profundidade da superfície de ruptura, 39% dos dados mostram que a superfície de ruptura dos movimentos se forma em até 2m de profundidade. Profundidades maiores que 10m foram constatadas em 0,9% dos registros.

5.2.1.3 Mapa de Inventário dos escorregamentos translacionais

Os movimentos de massa gravitacionais do tipo complexo são os que mais ocorrem na área de estudo. Este movimento é considerado composto por ser originado pela combinação de mais de um dos tipos de movimentos de massa. O movimento de queda não possui um simples entendimento e modelamento do processo que compreende a movimentação de massa neste contexto. Devido ao elucidado, o escorregamento translacional, que possui também grande ocorrência, foi selecionado para ser o movimento base do modelo de aplicação adotado neste trabalho.

Portanto, do banco de dados geral foram selecionadas as ocorrências do tipo escorregamento translacional formando um inventário específico para este movimento.

Do banco de dados elaborado por Bonuccelli (1999) foram adicionados os movimentos classificados como escorregamento translacional e corrida. Ao todo, 174 ocorrências formaram um novo banco de dados para avaliação específica deste tipo de processo.

O mapa de inventário dos escorregamentos translacionais produzido apenas apresenta os dados inventariados por Souza (1996), Bonuccelli (1999) e Zenóbio (2000) e pode ser visto no Apêndice VII.

A. Análise dos dados quanto à sobreposição

Após obtenção dos dados, observou-se que algumas feições se encontram sobrepostas, são elas:

- ✓ BTC493 + ZT661
- ✓ BTC524 + ZT667
- ✓ BTC513 + ZT673
- ✓ BT514 + MT560 + ZT674 + ZT675
- ✓ BT507 + MT170 + ZT681

- ✓ BTC518 + MT69
- ✓ BT443 + MT102

Estas sobreposições podem ser parciais ou completas e foram mantidas por significarem uma possível reativação do movimento observada em anos distintos.

B. Análise quanto às informações do banco de dados

Quanto ao material movimentado no escorregamento translacional, verifica-se que 28,2% envolveram rocha, seguido de detritos e solo com 21,8% e somente solo (20,1%). A classificação quanto à atividade e profundidade de ruptura do escorregamento translacional, realizada por Bonuccelli (1999), mostra que 44,3% das ocorrências estavam ativas em 1999 e somente uma feição estava estabilizada. Quanto a profundidade da superfície de ruptura, 40,8% dos dados mostram que a superfície de ruptura dos movimentos se forma em até 2m de profundidade. Profundidades maiores que 10m não foram registradas em escorregamentos translacionais. De todos os escorregamentos cadastrados, 50,6% não possuem estas informações.

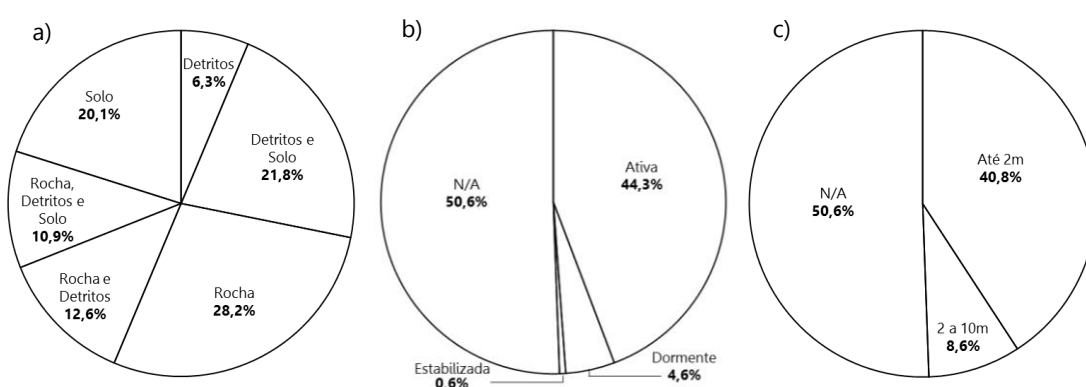


Figura 61 - Análise das feições classificadas como escorregamento translacional:
a)Tipo de material; b)Atividade; c)Profundidade da superfície de ruptura.

Para representar espacialmente os escorregamentos translacionais a partir dos materiais envolvidos na movimentação foi elaborado um mapa de inventário dos

escorregamentos translacionais representando o tipo de material envolvido, que pode ser visto no Apêndice VIII.

5.2.2 Carta de Declividade

A carta de declividade (Apêndice IX) foi produzida a partir da base topográfica em formato digital, com curvas de nível espaçadas de 10m de equidistância, utilizando uma rotina de geoprocessamento do *ArcGIS®*.

A declividade é a inclinação da uma encosta medida no alinhamento de seu máximo declive. Para este estudo, foram utilizados os intervalos em graus adotados por Souza (1996) como pode ser visualizado na Tabela 31. A porcentagem da área ocupada por cada classe em relação à área total foi também apresentada nesta tabela.

Tabela 31 - Classes de declividade e seus intervalos de inclinação

Classes	Inclinações (°)	Área (%)
1	<3	3,61
2	3 - 6	5,51
3	6 - 11	14,15
4	11 - 16	20,19
5	16 - 24	33,45
6	24 - 36	20,78
7	>36	2,31

Observa-se que a classe com declividades entre 16 e 24° é a mais representativa, ocupando 33,45% da área total. Declividades maiores que 36° somente acontece em 2,31% da área, cerca de 6,48km². Ao todo, predominam declividades entre 6 e 36°, o que indica uma grande variação no relevo.

5.2.3 Carta de Rumo da Inclinação da Encosta

A partir do mesmo raster criado para o atributo declividade, gerou-se a carta de rumo da inclinação da encosta usando a ferramenta *Aspecto* que está disponível no *Arctoolbox™* do *ArcGIS®*. A carta elaborada encontra-se no Apêndice X.

Este procedimento fornece o sentido da inclinação da encosta e está diretamente associada à declividade. Por exemplo, se uma determinada encosta possui sentido de inclinação para Leste ($67,5^{\circ}$ - $112,5^{\circ}$) e a mesma região foi mapeada como tendo declividade maior que $<45^{\circ}$ isto significa que esta parte da encosta mergulha mais que 45° para leste.

As classes utilizadas estão apresentadas na Tabela 32 com seus respectivos intervalos de valores e com a porcentagem da área ocupada por cada uma em relação à área total.

Tabela 32 - Classes do rumo de inclinação das encostas e seus intervalos.

Classes	Rumos (°)	Área (%)
Plano	-1	0
Norte	0 – 22,5	7,63
Nordeste	22,5 – 67,5	15,62
Leste	67,5 – 112,5	12,64
Sudeste	112,5 – 157,5	13,04
Sul	157,5 – 202,5	16,29
Sudoeste	202,5 – 247,5	10,38
Oeste	247,5 – 292,5	8,96
Noroeste	292,5 – 337,5	8,96
Norte	337,5 – 360,0	6,48

A classe que possui rumo da inclinação para Sul (entre $157,5$ e $202,5^{\circ}$) é a que ocupa maior extensão, 16,29% da área total. Entretanto, ressalta-se que os rumos

para Nordeste e Norte também possuem valores próximos ao mencionado anteriormente, sendo que o rumo da inclinação das encostas para Norte possui dois intervalos que somados chegam ao valor de 14,11% da área total ocupada.

As classes menos representativas são das encostas de inclinação para Noroeste e Oeste, ambas acontecem em 8,96% da área. Não houve representatividade da classe plana (sem inclinação). No geral, as encostas da região estudada estão voltadas para leste, entre os sentidos norte e sul.

5.2.4 Carta Geotécnica – Unidades geológico-geotécnicas

As unidades geológico-geotécnicas foram formadas pela sobreposição dos mapas de material inconsolidado e de substrato rochoso. Optou-se por individualizar cada conjunto formado da união das duas unidades sobrepostas e estabelecer outra unidade com características geotécnicas que remetesse a um perfil de caracterização do solo. Por exemplo, a unidade i2 do mapa de material inconsolidado está, dentre outras unidades do substrato rochoso, sobre a unidade denominada r2. As duas juntas compõem a unidade geológico-geotécnicas IR3 (Ver Figura 62).

Desta forma, elaborou-se a Carta de Unidades Geológico-Geotécnicas que se encontra no Apêndice XII. Foram formadas 51 unidades que se distribuem por toda a região estudada. Cerca de 25 unidades ocupam, individualmente, menos que 1% da área total e somadas representam somente 4,5% da área de estudo. As duas unidades mais representativas são: IR2 e IR29 com 10,9% e 11,1% da área total, respectivamente. A unidade IR2 está localizada no extremo sudeste da área, na região da serra do Itacolomi, e caracteriza-se por afloramentos de quartzitos, quartzitos sericíticos e quartzo-sericita-xistos, sem material inconsolidado. A unidade IR29 trata-se de colúvio sobre solo residual e saprolito de xistos sericíticos e quartzosos, e está localizada na porção norte da área, escarpa sul da serra de Ouro Preto.

A unidade que mais possui subunidades distribuídas pela região é a IR17. Ao todo são 10 regiões representadas por alguns aterros não compactados, depósitos

de entulhos e resíduos urbanos e de mineração que estão dispostos sobre filitos intercalados a quartzitos.

As informações passíveis de serem extraídas das características geológico-geotécnicas de cada unidade deram subsídio para a elaboração da Tabela de Caracterização das Unidades Geológico-Geotécnicas (Apêndice XI). Esta tabela descreve cada unidade separadamente e compreende a caracterização geral da maioria dos atributos utilizados neste trabalho. Uma parte deste apêndice pode ser observada através da Figura 62, onde são apresentados os seguintes dados:

- Código da unidade geológico-geotécnica;
- Material inconsolidado e substrato rochoso que compõem a unidade;
- Perfil de alteração;
- Contraste de permeabilidade;
- Relevo respectivo da unidade;
- Perfil topográfico típico da unidade;
- Superfície potencial de ruptura;
- Resistência ao cisalhamento;
- Presença de matacões.

A representação espacial de todas as unidades pode ser visualizada através do Apêndice XII – Carta de Unidades Geológico-Geotécnicas. Os perfis topográficos exibidos na Tabela de Caracterização das Unidades Geológico-Geotécnicas foram locados sobre a carta geotécnica em um mapa à parte, denominado Mapa das Seções Típicas das Unidades Geológico-geotécnicas, e pode ser consultado no Apêndice XIII desta dissertação.

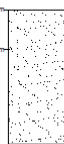
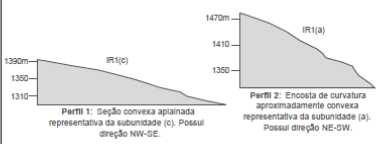
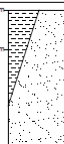
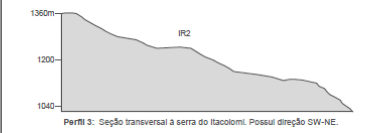
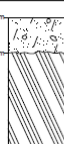
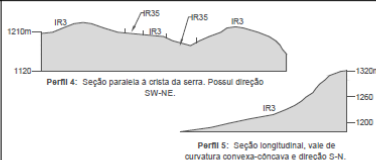
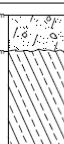
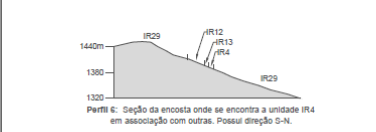
Material Inconsolidado		Substrato Rochoso	Unidade	Perfil de alteração	Contraste de Permeabilidade	Relevo	Perfil topográfico típico da unidade	Superfície potencial de ruptura	Resistência ao cisalhamento	Matacões		
i 1	Ausência de material inconsolidado.	r 4	Quartzitos, quartzitos sericiticos, quartzo-sericitita-xisto duros, levemente a moderadamente alterados. Apresentam-se fraturados e as descontinuidades formam placas e blocos de rocha métricos.	IR1		Rocha aflorante Quartzitos e quartzitos sericiticos duros	$<10^{-7} \text{ m/s}$	Encostas de inclinação aproximadamente 10° representam as subunidades (b) e (c). As encostas das subunidades (a) e (d) são mais inclinadas de superfície convexa, entre 25° a 30°.		Pode romper nos planos de descontinuidades presentes na rocha.	Rocha Dura	PRESEÇA EM ROCHA
		r 19	Quartzitos duros, levemente a moderadamente alterados. Filitos (duros e brandos) ocorrem em alguns locais. As descontinuidades formam placas e blocos de rocha métricos.	IR2		Rocha aflorante Quartzitos duros e filitos isoladamente	$<10^{-7} \text{ m/s}$	Representado pela Serra do Itacolomi. O relevo possui declividades acentuadas com inclinações maiores que 30° formando cristas alongadas de direção E-W.		Pode romper nos planos de descontinuidades presentes nas rochas ou no contato entre as litologias.	Rocha Dura	PRESEÇA EM ROCHA
i 2	Colúvio de textura arenosa, silteosa, argilosa ou mistura de diferentes frações, em contato abrupto com rochas duras ou brandas. Possui espessura de até 2m.	r 2	Xistos, xistos quartzosos, sericitita-xistos, duros, levemente a moderadamente alterados. Em alguns locais apresentam-se intensamente alterados e brandos. Possui sistema de descontinuidades formando placas rochosas métricas.	IR3		Colúvio Xistos sericiticos e quartzosos brandos	$>10^{-2} \text{ m/s}$ $<10^{-7} \text{ m/s}$	Porção da escarpa NE da Serra de Ouro Preto. Encosta irregular com ondulações e reentrâncias no relevo formando vales secundários com curvatura convexa-côncava. Inclinação varia de 50° próximo ao topo e 20° na base.		Pode romper no contato entre o colúvio e a rocha, a uma profundidade <2m. Também pode romper nos planos de descontinuidade da rocha.	Solo Firme Rocha Dura	PRESEÇA EM ROCHA
		r 3D	Xistos duros levemente a moderadamente alterados, intercalados ou associados a filitos e xistos brandos.	IR4		Colúvio Xistos duros e filitos brandos	$>10^{-2} \text{ m/s}$ $<10^{-7} \text{ m/s}$	Área restrita à uma porção fileitada ao norte do mapa. Faz parte da escarpa voltada para norte da serra de Ouro Preto.		Pode romper no contato entre o colúvio e a rocha a uma profundidade <2m.	Solo Firme Rocha Dura	AUSÊNCIA

Figura 62 - Parte da Tabela de Caracterização das Unidades Geológico-Geotécnicas.

5.2.5 Carta de Resistência ao Cisalhamento

A resistência de um solo em um plano aleatório é a tensão de cisalhamento máxima que pode ser aplicada à estrutura do solo naquela direção. Quando este máximo é atingido, o solo não resiste e rompe. Em rochas pode-se pensar analogamente ao que acontece nos solos, salvo que, neste caso, pode-se tratar também da resistência à compressão uniaxial e puntiforme.

Analizou-se a resistência dos materiais inconsolidados e dos substratos rochosos ocorrentes na área, individualmente, e com estes dados foi produzido um perfil com a sequência das resistências dos materiais que constituem cada unidade geológico-geotécnica, segundo consta na metodologia.

Após a caracterização das unidades quanto à resistência dos materiais, elaborou-se a Carta de Resistência ao Cisalhamento que pode ser visualizada no Apêndice XIV. Foram formadas 93 regiões que representam as 28 classes de acordo com a Tabela 33.

A classe do conjunto de resistências que ocupa maior porção da área total é a RC13 com 15,3%, seguida pela classe RC1 que ocupa 12,0%. A classe RC13 representa o conjunto de resistências que variam, em profundidade, de Solo Firme → Firme/Rígido → Muito Branda → Rocha Moderadamente Dura. A classe RC1 representa rochas consideradas duras, sem a presença de material inconsolidado.

Separadamente, as classes RC6, RC7, RC8, RC9, RC10, RC11, RC12, RC19, RC26, RC27 e RC28 ocupam menos que 1% da área total e somadas representam aproximadamente 1,2% da área de estudo.

Tabela 33 - Classes das resistências dos materiais.

Classes	Descrição
RC1	Rocha Dura
RC2	Solo Firme→Rocha Dura
RC3	Solo Firme→Rocha Branda+Moderadamente Dura
RC4	Solo Firme→Rocha Muito Dura+Moderadamente Dura
RC5	Solo Firme→Rocha Moderadamente Dura
RC6	Material Fofo→Rocha Moderadamente Dura
RC7	Material Fofo→Rocha Dura
RC8	Material Fofo→Rocha Muito Dura + Branda
RC9	Material Fofo→Rocha Dura + Branda
RC10	Material Fofo→Rocha Muito Dura + Moderadamente Dura
RC11	Material Fofo→Rocha Branda + Moderadamente Dura
RC12	Solo Firme→Rocha Branda
RC13	Solo Firme→Firme/Rígido→Muito Branda→Rocha Moderadamente Dura
RC14	Muito Rígido→Firme→Firme/Rígido→Muito Branda→Rocha Dura + Moderadamente Dura
RC15	Muito Rígido→Firme→Firme/Rígido→Muito Branda→Rocha Branda
RC16	Solo Firme→Muito Branda→Rocha Branda + Moderadamente Dura
RC17	Solo Firme→Muito Branda→Rocha Dura + Moderadamente Dura
RC18	Solo Firme→Muito Branda→Rocha Muito Dura + Branda
RC19	Solo Firme→Muito Branda→Rocha Branda
RC20	Solo Firme/Rígido→Muito Branda→Rocha Branda + Moderadamente Dura
RC21	Solo Firme→Muito Branda→Rocha Moderadamente Dura
RC22	Muito Rígido→Firme/Rígido→Rocha Moderadamente Dura
RC23	Muito Rígido→Firme/Rígido→Rocha Dura + Moderadamente Dura
RC24	Firme/Rígido→Muito Branda→Rocha Moderadamente Dura
RC25	Solo Firme→Firme/Rígido→Muito Branda→Rocha Branda + Moderadamente Dura
RC26	Solo Firme→Firme/Rígido→Muito Branda→Rocha Dura + Moderadamente Dura
RC27	Material Fofo→Rocha Dura + Moderadamente Dura
RC28	Solo Firme→Rocha Dura + Moderadamente Dura

5.2.6 Carta de Contraste de Permeabilidade

A permeabilidade de um material é o que indica maior ou menor dificuldade com que a água percola pelos seus poros. Nos materiais granulares não coesivos como as areias, por exemplo, a alta porosidade facilita o fluxo de água através do solo, enquanto que nos materiais finos e coesivos, como as argilas, ocorre o inverso, o que torna este tipo pouco permeável.

A partir da análise do que foi exposto nos perfis de alteração solo/rocha e utilizando as classes definidas pela metodologia proposta (Tabela 34), foi elaborada a Carta de Contraste de Permeabilidade que pode ser visualizada no Apêndice XV. Foram formadas 60 regiões distribuídas por toda a área que representam as 6 classes propostas. Destas 60 regiões, 30 representam somente a classe K2 e ocupam aproximadamente 16,8% da área total.

A classe com maior extensão territorial é a K4 que descreve o conjunto de contraste de permeabilidade equivalente a Aluvião/Colúvio/Materiais tecnógenos sobre saprolitos e substratos rochosos variados. A classe K4 ocupa 26,5% da área total, seguida pela classe K3 com 22,3%. As outras classes ocupam em média cerca de 11,5% da área total de estudo.

Tabela 34 - Classes dos contrastes de permeabilidade.

Classes	Descrição
K1	$<10^{-7}$ m/s
K2	$>10^{-2}$ m/s \rightarrow $<10^{-7}$ m/s
K3	$>10^{-2}$ m/s \rightarrow 10^{-2} a 10^{-4} m/s \rightarrow 10^{-4} a 10^{-7} m/s \rightarrow $<10^{-7}$ m/s
K4	$>10^{-2}$ m/s \rightarrow 10^{-4} a 10^{-7} m/s \rightarrow $<10^{-7}$ m/s
K5	10^{-2} a 10^{-4} m/s \rightarrow 10^{-4} a 10^{-7} m/s \rightarrow $<10^{-7}$ m/s
K6	10^{-2} a 10^{-4} m/s \rightarrow $<10^{-7}$ m/s

A classe de contraste de permeabilidade de cada unidade geológico-geotécnica pode ser observada através da Tabela de Caracterização das Unidades Geológico-Geotécnicas (Apêndice XI).

5.2.7 Carta de Superfície Potencial de Ruptura

A superfície potencial de ruptura representa a localização de um possível plano de fraqueza na rocha, no solo ou no conjunto solo/rocha. Para o escorregamento translacional, a superfície potencial de ruptura deve ser planar podendo ser uma descontinuidade existente no maciço, ou um contato solo-rocha, um plano entre contraste de resistência ou entre contraste de permeabilidade e até mesmo camadas litológicas que se comportam como descontinuidades.

Tendo realizado as análises e abordadas na metodologia deste trabalho, foi elaborada a Carta de Superfície Potencial de Ruptura. Esta carta pode ser vista no Apêndice XVI.

Foram formadas 75 regiões que representam as 11 classes descritas na Tabela 35. A classe SR6 possui maior extensão territorial com 23,5% da área total do mapa. Ela representa a superfície de ruptura que pode ocorrer entre o colúvio e o solo residual quando em profundidade próxima a 2m. Esta seria a superfície mais provável, entretanto, podem surgir outras superfícies em espessuras maiores (próximas a 10m) que acontecerá nos materiais inconsolidados sotopostos de forma indefinida.

Outra classe que se destaca é a SR8 com 18,0% da área de estudo. As classes SR4 e SR11 ocupam menos de 1% cada.

Através da Tabela de Caracterização das Unidades Geológico-Geotécnicas (Apêndice XI) podem ser observadas as descrições da superfície potencial de ruptura para cada unidade geológico-geotécnica.

Tabela 35 - Classes da superfície potencial de ruptura.

Classes	Descrição
SR1	Pode romper nos planos de descontinuidades presentes na rocha. Quando existem intercalações entre litologias, a ruptura pode ocorrer também no contato entre elas.
SR2	Pode romper no contato entre o colúvio e a rocha, a uma profundidade <2m. Também pode romper nos planos mais superficiais de descontinuidade da rocha, ou no contato entre as litologias em unidades que possuem estas intercalações.
SR3	Pode romper no contato entre o colúvio e a rocha a uma profundidade <0,5m. Pode também romper no contato entre as litologias ou nas descontinuidades presentes nas rochas, quando ambas ocorrerem próximas à superfície.
SR4	Pode romper no contato entre os materiais tecnógenos e a rocha ou solo sotoposto a uma profundidade próxima a 2m. E também nos planos de descontinuidade presentes nas rochas quando estas estiverem próximas à superfície. Quando em espessuras maiores (próximas a 10m) a superfície de ruptura será definida por outros fatores.
SR5	Pode romper no contato entre o aluvião e a rocha a uma profundidade <2m.
SR6	Pode romper no contato entre o colúvio e o solo residual quando em profundidade próxima a 2m. Quando em espessuras maiores (próximas a 10m) a superfície de ruptura será mais profunda e acontecerá nos materiais inconsolidados sotopostos de forma indefinida.
SR7	Pode romper no contato entre o colúvio e o saprolito quando em profundidade próxima a 2m. Quando em espessuras maiores (próximas a 10m) a superfície de ruptura será mais profunda e acontecerá de forma indefinida no saprolito. Pode também romper nas descontinuidades presentes nas rochas/saprolitos, quando ocorrerem próximas à superfície.
SR8	Pode romper no contato entre o colúvio e o saprolito, a uma profundidade <2m. Também pode romper no plano de descontinuidade da rocha.
SR9	Pode romper no contato entre o solo residual e o saprolito quando em profundidade próxima a 2m, ou em descontinuidades da rocha/saprolito. Quando em profundidades maiores (próximas a 10m) a superfície de ruptura será mais profunda e acontecerá nos materiais inconsolidados sotopostos de forma indefinida.
SR10	Pode romper no contato entre o solo laterítico e a rocha a uma profundidade próxima a 2m. Quando em espessuras maiores (próximas a 10m) a superfície de ruptura será mais profunda e acontecerá de forma indefinida no solo laterítico. Pode também romper nas descontinuidades presentes nas rochas, quando ocorrerem próximas à superfície.
SR11	Pode romper no saprolito a uma profundidade de ruptura de 2 a 10m.

5.2.8 Resultados ausentes

A elaboração das cartas de domínios estruturais, superfície potencial de infiltração e chuva não foram concluídas pelas seguintes causas:

- i. Para representar os domínios estruturais foram pesquisados principalmente dados de orientação espacial (direção e mergulho) das descontinuidades presentes nas rochas, como: atitudes de contatos entre litologias, xistosidade, juntas de alívio entre outras estruturas. Todavia as informações obtidas não abrangem toda a área de estudo e/ou não são suficientes para a caracterização prevista das descontinuidades a fim de formar setores de domínios estruturais.
- ii. Para representar as superfícies potenciais de infiltração faltaram informações que caracterizassem os materiais para formação de classes distintas. Outro aspecto foi a elaboração da carta de superfície potencial de ruptura e a carta de contraste de permeabilidade, que de alguma forma, poderiam ser semelhantes ao resultado da análise das superfícies potenciais de infiltração, e, neste caso, não iria agregar informação adicional à aplicação das redes neurais artificiais. Também não foi possível uma interpretação em conjunto com os dados de uso e ocupação do solo.
- iii. Na área de estudo, os registros disponíveis de chuva são oriundos de somente uma estação pluviométrica localizada na indústria NOVELIS. Para representar a intensidade e distribuição da chuva de forma a registrar a variação espacial deste atributo seriam necessárias outras estações pluviométricas que abrangessem toda a área de estudo. Entretanto, sabe-se que recentemente foram instaladas outras estações pluviométricas, iniciando a coleta de um banco de dados espacialmente mais amplo.

6 ANÁLISE CRÍTICA DOS DADOS PARA USO EM RNA E PROBABILIDADE

6.1 DEFINIÇÃO DO MODELO PARA ESTUDO DO MMG

6.1.1 Modelo conceitual adotado

Em estudo feito para análise da previsão de movimentos de massa na Serra de Ouro Preto, Dias (2002) elabora um modelo conceitual para caracterizar diversos tipos de movimentos de massa. Segundo o mesmo autor, os movimentos mais comuns na região de Ouro Preto são os escorregamentos translacionais rasos, em rochas e em material inconsolidado. Por este motivo e confirmando esta afirmativa através da quantidade de feições deste tipo levantadas pelo mapa de inventário (143 feições), definiu-se o escorregamento translacional como sendo o movimento de massa a ser ilustrado e examinado nesta pesquisa.

Dias (2002) propõe uma abordagem de caráter geral, utilizando trabalhos clássicos sobre movimentos de massa, e outra como base em alguns trabalhos realizados em regiões montanhosas. As referências utilizadas para reunião dos condicionantes de cada um dos processos de movimentação de massa pode ser consultadas através da dissertação de Dias (2002).

Para cada tipo de movimento estudado, o autor considera na sua contextualização a definição no movimento, o tipo de material envolvido e as condições estabelecidas em cada processo para gerar os condicionantes para os processos de MMG.

Para o movimento de massa do tipo escorregamento translacional em rocha ou em material inconsolidado, Dias (2002) apresenta a seguinte definição retirada de (Hutchinson, 1988): *Ruptura cisalhante numa superfície uniformemente planar em que a relação d/L (relação entre a espessura e o comprimento da camada) seja tipicamente 0,1 ou menor, sem rotação da superfície de descontinuidade.*

Existe uma diferenciação, mostrada através da Tabela 36, quanto às condições levantadas pelas referências analisadas por Dias (2002) quando se trata do escorregamento translacional em material inconsolidado e em rocha.

Tabela 36 - Condições para ocorrência de escorregamento translacional.

ESCORREGAMENTO TRANSLACIONAL	
em material inconsolidado	em rocha
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Superfície de descontinuidade/junta bem definida; ✓ Descontinuidades persistentes (acamamento. Junta, clivagem, ou plano de foliação); ✓ Direção aproximadamente paralela (por volta de 20°) com o contorno da superfície do terreno; ✓ Material inconsolidado com contraste de permeabilidade. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Superfície de descontinuidade/junta ou linha de intersecção entre dois planos bem definida; ✓ Descontinuidades persistentes (acamamento. Junta, clivagem, ou plano de foliação); ✓ Direção aproximadamente paralela (por volta de 20°) com o contorno da superfície do terreno; ✓ A inclinação da descontinuidade deve ser suficiente para promover o escorregamento.

A Tabela 37 apresenta as condições para cada classe gerada a partir do tipo de material geológico envolvido.

Tabela 37 - Condições para ocorrência de escorregamento translacional.

Tipo de material envolvido		Condições de cada processo
ESCORREGAMENTO TRANSLACIONAL EM MATERIAL INCONSOLIDADO		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Baixos ângulos (8-30°); ✓ Pouco espesso (>0,5m e <2m); ✓ Não coesivos;
	Em lajes	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Taludes essencialmente secos; ✓ O mergulho do plano de ruptura deve ser maior que o ângulo de atrito; ✓ Desencadeado por chuva intensa e prolongada (se a infiltração for rápida) e chuva moderada e longa duração (se a infiltração for lenta).

Tipo de material envolvido	Condições de cada processo
ESCORREGAMENTO TRANSLACIONAL EM MATERIAL INCONSOLIDADO	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Altos ângulos (30-45°); ✓ Pouco espesso (<0,5m); ✓ Coesivos; ✓ Taludes essencialmente secos; ✓ O mergulho do plano de ruptura deve ser maior que o ângulo de atrito; ✓ Desencadeado por chuva intensa e prolongada (se a infiltração for rápida) e chuva moderada e longa duração (se a infiltração for lenta).
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Afeta o manto de detritos; ✓ Massa de material de baixa coesão que tende a sofrer considerável distorção e partição durante o movimento; ✓ Velocidade aumenta com a declividade e diminui com a quantidade de argila; ✓ Declividade de 25 a 45°; ✓ Baixa relação entre a espessura e o comprimento da camada deve ser menor que 0,05 (d/L); ✓ Desencadeado por chuva intensa e prolongada (se a infiltração for rápida) e chuva moderada e longa duração (se a infiltração for lenta); ✓ Majorado com a destruição de vegetação.
ESCORREGAMENTO TRANSLACIONAL EM ROCHA	<ul style="list-style-type: none"> ✓ O mergulho do plano de ruptura deve ser menor que o mergulho da face do talude; ✓ O mergulho do plano de ruptura deve ser maior que o ângulo de atrito; ✓ Liberação das margens laterais de blocos; ✓ Desencadeado por chuva forte e prolongada.
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ O escorregamento é direcionado ao longo da linha de intersecção de dois planos de descontinuidade; ✓ Mínimo de duas famílias de descontinuidades contínuas e não paralelas; ✓ Desencadeado por chuva forte e prolongada.
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Descontinuidade/fratura/junta sem persistência e que formam uma superfície de escorregamento contínua; ✓ Ângulo de superfície de ruptura é maior que da descontinuidade e menor que a face do talude; ✓ Duas ou mais famílias de descontinuidades não paralelas aproximadamente perpendiculares entre si; ✓ Desencadeado por chuva forte e prolongada.

6.1.2 Modelo físico e matemático adotado

Para estudar o escorregamento translacional a partir de seu modelo matemático, utilizou-se o método de estabilidade de Talude Infinito empregado para os casos nos quais o escorregamento é translacional e paralelo à face do talude.

Este modelo, desenvolvido por Taylor (1948), como outros que também estudam a estabilidade de taludes, procuram encontrar o valor do Fator de Segurança (FS) que consiste na relação entre as forças de resistência ao cisalhamento existente no solo e as tensões cisalhantes que atuam sobre ele. O método de Talude Infinito despreza os efeitos das extremidades e pode ser melhor visualizado através da Figura 63.

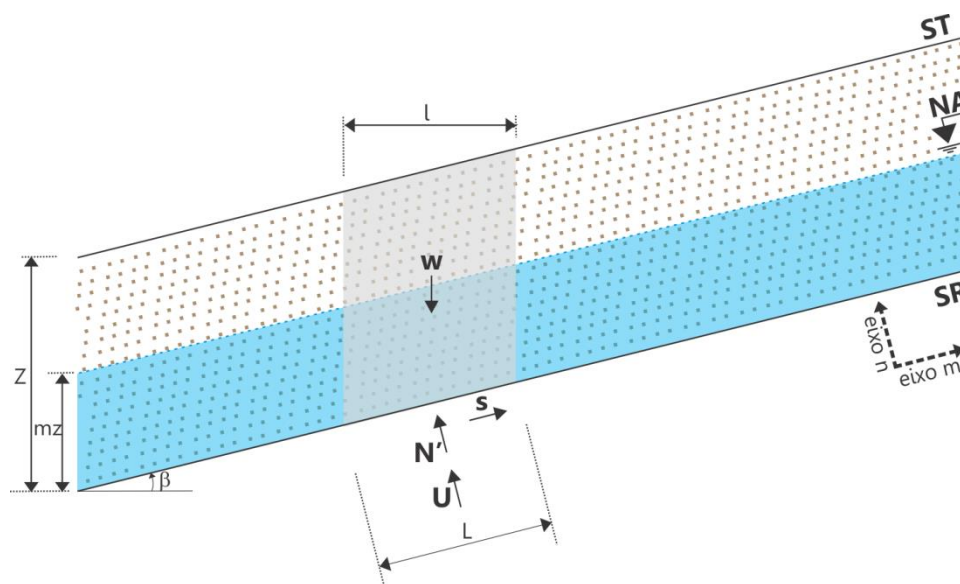


Figura 63 - Forças atuantes em uma fatia genérica, segundo o método de Talude Infinito. (Modificado de Gerscovich, 2012).

Nestas condições, existem as seguintes relações entre as variáveis:

$$b = l \cos \beta \quad (\text{Equação 38})$$

$$U = ul \quad (\text{Equação 39})$$

$$W = bh\gamma \quad (\text{Equação 40})$$

$$s = \frac{c'l}{FS} + N' \frac{tg\varphi'}{FS} \quad (\text{Equação 41})$$

Ao assumir que as forças que atuam na fatia estão em equilíbrio nas direções paralela (eixo m) e perpendicular (eixo n) à superfície do talude, obtém-se as seguintes relações matemáticas:

$$\sum F_m = 0 \quad W \sin \beta = s \rightarrow W \sin \beta = \frac{c'l}{FS} + N' \frac{tg\varphi'}{FS} \quad (\text{Equação 42})$$

$$\sum F_n = 0 \quad W \cos \beta = N' + ul \rightarrow N' = W \cos \beta - ul \quad (\text{Equação 43})$$

O cálculo do Fator de Segurança (FS), independente da dimensão da fatia, pode ser exposto em termos de tensões efetivas (Equação 44) e totais (Equação 45).

$$FS = \frac{c' + (\gamma h \cos^2 \beta - u) tg\varphi'}{\gamma h \sin \beta \cos \beta} \quad (\text{Equação 44})$$

$$FS = \frac{s_u l}{\gamma h \sin \beta \cos \beta} \quad (\text{Equação 45})$$

A condição de estabilidade do talude é indicada pelo valor de $FS > 1$ e se o valor for $FS < 1$ indica que o talude está instável, ou fisicamente já tenha rompido. O valor de $FS = 1$ é o limite entre a estabilidade e a instabilidade.

Levando em consideração esta explanação sobre o modelo conceitual, físico e matemático do escorregamento translacional definiu-se, dentre as condições para ocorrência do processo, os atributos que mais contribuem na instabilidade através dos quais se dará a elaboração da carta de eventos perigosos, a saber: unidades geológico-geotécnicas, declividade, rumo da inclinação da encosta, contraste de permeabilidade, resistência ao cisalhamento, superfície potencial de ruptura, uso e ocupação, domínios estruturais, superfície potencial de infiltração e chuva.

As próximas seções apresentarão a aplicação dos métodos redes neurais artificiais e probabilidade para elaboração de uma carta de eventos perigosos.

6.2 CONDIÇÕES PARA USO DOS DADOS EM REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Após obtenção de todos os mapas e cartas que representam os fatores predisponentes à ocorrência de movimentos de massa gravitacionais, o próximo passo é a aplicação destes dados em redes neurais artificiais. Desta forma, são mostrados todos os procedimentos para chegar ao resultado esperado.

6.2.1 Organização dos dados

Esta fase se inicia pela transformação dos mapas e cartas em uma base de dados numérica para se tornarem elementos de entrada possíveis de serem lidos pelo programa utilizado para aplicação das redes neurais artificiais.

Foram produzidos dois formatos de dados espaciais, os matriciais em *raster* (declividade, por exemplo) e os vetoriais (resistência ao cisalhamento, por exemplo). Para os arquivos em formato *raster* usou-se, na sua criação, uma malha (grade ou *grid*) de células a partir de uma estrutura que abrangesse toda a área de estudo.

Cada mapa/carta foi dividido em células ou *pixels* de dimensão igual a 20x20m. Este tamanho foi escolhido a partir da literatura estudada sabendo que ele deve representar o mais próximo do real possível àquela área, sem tampouco criar uma grande quantidade de dados que poderia dificultar e/ou interferir no resultado. Assim, chegou-se a uma malha com 116.000 *pixels*.

Para os dados em formato *raster* as células estão sempre associadas ao valor que representa uma das classes do atributo. Para os dados vetoriais foi necessário a sua conversão para matricial. Isto se deu através do software *ArcMap™* utilizando a ferramenta *feature to raster*. Esta ferramenta executa a transformação dos dados a partir das linhas vetoriais que separam as classes dos atributos. A escolha de qual classe representa a célula é definida como sendo a classe que possui maior representação dentro do *pixel*, como mostra a Figura 64.

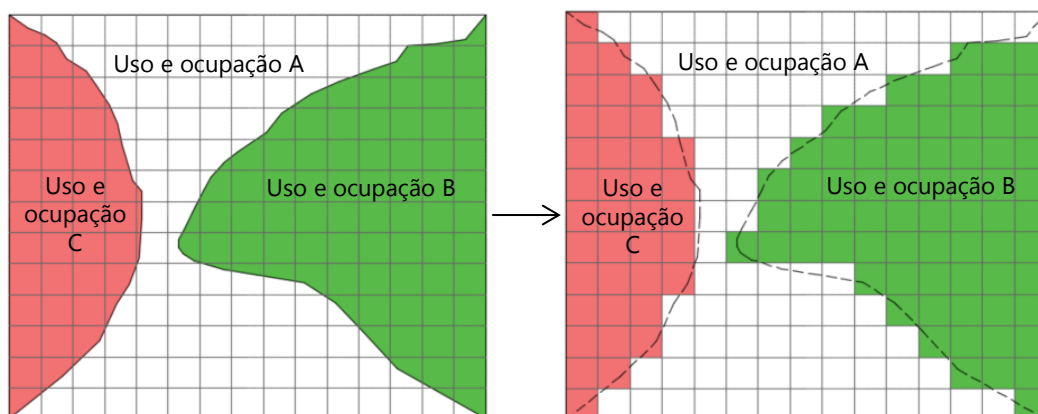


Figura 64 - Representação da conversão das classes de vetoriais para matriciais.

Ao final desta etapa, todos os mapas/cartas foram exportados como imagem e, optou-se por utilizar o próprio programa de execução da rede neural para esta transformação dos *rasters* em matrizes numéricas, o *software* MATLAB®. Este procedimento também serve para tornar os dados não numéricos, como uso e ocupação, em dados numéricos.

Como exemplo é demonstrada a transformação da carta de declividade (Figura 65) a partir do algoritmo desenvolvido para executar as seguintes tarefas: entrada da imagem; transformação da imagem em tons de cinza utilizando o sistema de cores RGB; seleção da primeira matriz de cor; normalização dos dados da matriz para valores numéricos inteiros, e saída da matriz.

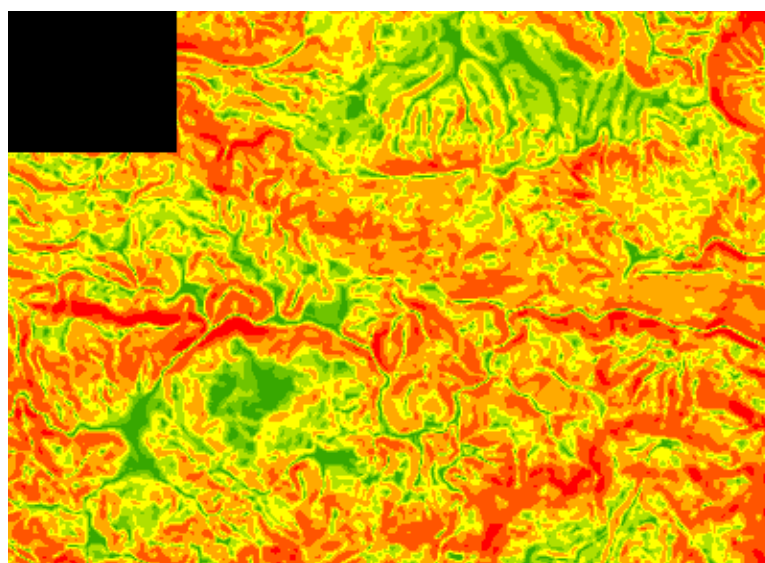


Figura 65 - *Raster* do atributo declividade.

Para que não faltasse dados na matriz numérica, a porção da área de estudo que não possui informação, e por isso não completa o retângulo, foi colorida de preto, como pode ser visto na Figura 65. Ela será desconsiderada na fase da aplicação da rede.

O algoritmo proposto para execução das tarefas anteriormente mencionadas, ainda em fase de implantação na plataforma MATLAB®, é:

```

1  function matriz_num = matriz_categoria (pasta,mapas)
2  matriz_3D = imread( [char(pasta) '\\' char(mapas)] );
3  n_lin      = size(matriz_3D,1);
4  n_col      = size(matriz_3D,2);
5  vermelho   = im2double(matriz_3D(:,:,1))*255;
6  verde      = im2double(matriz_3D(:,:,2))*255;
7  azul       = im2double(matriz_3D(:,:,3))*255;
8  all        = 1e6*vermelho + 1e3*verde + 1*azul;
9  tons       = unique(all); tons = sort(tons)';
10 n_tons     = length(tons);
11 categoria   = (0:n_tons - 1)/n_tons;
12 matriz_num  = zeros(n_lin,n_col);
13 for ii = 1:n_lin
14 for jj = 1:n_col
15 ind = find(all(ii,jj) == tons);
16 matriz_num(ii,jj)      = categoria(ind);
17 end
18 end

```

Os comandos mostrados no algoritmo podem ser explicados pelos passos a seguir:

1º Define algumas variáveis

- 1 Define a variável que será o resultado do algoritmo, neste caso, `matriz_num`
- 2 Busca a imagem e a define como `matriz_3D`
- 3 Mostra o número de linhas da `matriz_3D` e define este valor como `n_lin`
- 4 Mostra o número de linhas da `matriz_3D` e define este valor como `n_col`

2º Muda os valores do RGB da imagem para que eles não se repitam

- 5 Obtém a componente de cor vermelha do RGB e a define como a variável `vermelho`
- 6 Obtém a componente de cor verde do RGB e a define como a variável `verde`
- 7 Obtém a componente de cor azul do RGB e a define como a variável `azul`
- 8 Modifica os valores de RGB para que não se repitam em componentes diferentes, ou seja, cada combinação de RGB levará um valor único de `all`
- 9 Define como `tons` as diferentes cores da figura e coloca os valores em ordem crescente
- 10 Define como `n_tons` a quantidade de cores diferentes que tem a figura

3º Construindo a `matriz_num`

- 11 Define a variável `categoria` como um vetor formado por `n_tons` normalizado entre os valores `[0,1[`
- 12 Define que a `matriz_num` deve ter a mesma quantidade de linhas e colunas da `matriz_3D`
- 13 Varre o número de linhas da `matriz_num`
- 14 Varre o número de colunas da `matriz_num`
- 15 Define como `ind` a posição do elemento `ii` e `jj` da matriz `all` dentro do vetor `tons`
- 16 Substitui o elemento `ii jj` da `matriz_num` pelo elemento `ind` do vetor `categoria`
- 17 Fim
- 18 Fim

Depois da execução deste algoritmo cada mapa/carta, que representam os fatores predisponentes, são agora matrizes numéricas que possuem 290 linhas e 400 colunas, que juntas formam o conjunto de entradas na rede neural artificial de acordo com a Figura 66. Os elementos `ij` da mesma posição da malha formam um vetor de dados de entrada da rede neural. A execução deste algoritmo é feita em conjunto com o algoritmo de aplicação da rede neural.

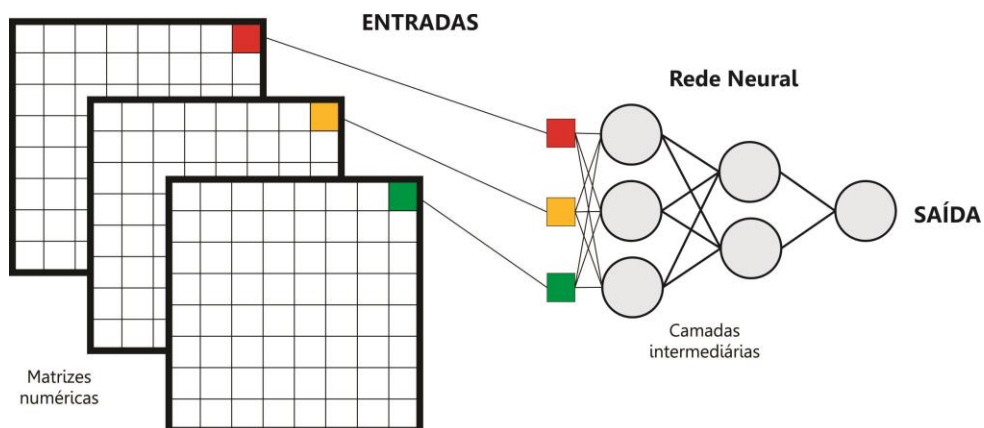


Figura 66 - Formação da rede neural artificial.

Esta fase da organização dos dados não foi executada para todos os mapas/cartas, pois, existem representações de alguns atributos que não foram elaborados. Os dados existentes para esta aplicação são:

- Unidades geológico-geotécnicas
- Declividade
- Rumo da inclinação da encosta
- Contraste de permeabilidade
- Resistência ao cisalhamento
- Superfície potencial de ruptura
- Uso e ocupação

E os dados ausentes, são:

- Domínios estruturais
- Superfície potencial de infiltração
- Chuva

Somente os dados existentes produziram um total de 123 classes diferentes, todavia a metodologia para a estruturação da RNA e seu treinamento foi elaborada levando em consideração os 10 fatores predisponentes, visto que se trata de uma avaliação da utilização dos dados e orientação para futuras aplicações.

6.2.2 Implementação de um modelo de RNA

Nesta seção são apresentadas as principais características da rede neural proposta para aplicação dos dados deste trabalho. Desse modo são determinados: os parâmetros da rede, sua estrutura, arquitetura, treinamento e validação. Vale lembrar que esta aplicação não foi efetivamente executada, sendo apenas uma proposta de aplicação de redes neurais com base na literatura. Quando aplicado, este modelo poderá sofrer alterações baseadas na busca pela melhoria dos resultados.

6.2.2.1 Estruturação da RNA

Propõe-se que a rede neural artificial seja construída segundo a topologia *Perceptron* multicamadas, rede neural que possui camadas intermediárias de neurônios de arquitetura *feedforward*. As características da rede proposta são:

- **Algoritmo de treinamento:** Retro-propagação do erro (*backpropagation*);
- **Função de ativação:** Função logística;
- **Camada de entrada:** 10 neurônios na camada de entrada;
- **Camadas intermediárias:** 2 camadas ocultas;
- **Camada de saída:** 1 camada de saída.

A escolha dos parâmetros de uma rede neural é sempre subjetiva. Na maioria das vezes leva-se em consideração o problema em questão para determinar um arranjo e iniciar o processo de aplicação. Depois, algumas estruturas dentro do primeiro arranjo proposto podem ser alteradas se a rede não gerar resultados satisfatórios.

A topologia e o algoritmo de aprendizagem foram escolhidos com base no que é usual na literatura consultada. A função de ativação é dependente do valor

esperado e da aplicação, por isso, sugere-se a função logística por apresentar valores de saída entre 0 e 1. A quantidade de dados de entrada determinou-se pela quantidade de fatores condicionantes a serem analisados. Para as camadas intermediárias optou-se por utilizar duas camadas, pode-se, nestes casos, treinar a rede com um ou mais camadas intermediárias e escolher para validação a arquitetura que mostrou melhor desempenho.

6.2.2.2 Arquitetura da RNA

A arquitetura da rede proposta é definida como sendo unidirecional de múltiplas camadas, esta escolha está ligada diretamente ao algoritmo de aprendizagem a ser usado. Definiu-se utilizar duas camadas intermediárias e a arquitetura de treinamento pode ser representada da seguinte forma: $10 \times [7-21] \times [7-21] \times 1$ de acordo com a Figura 67. Os valores entre colchetes indicam que as camadas intermediárias são treinadas para variar entre 7 e 21 neurônios no intuito de testar o desempenho das redes neurais e escolher a melhor.

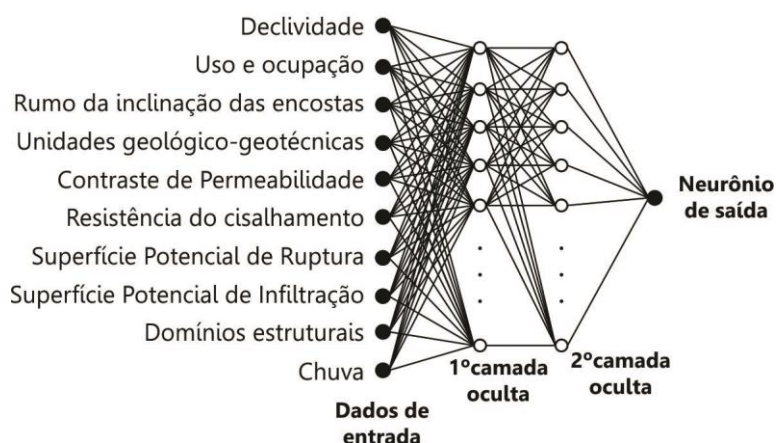


Figura 67 - Arquitetura da rede neural artificial.

6.2.2.3 Treinamento

Do conjunto de dados existentes para treinamento, ou seja, dados que possuem o valor esperado, sugere-se separar aproximadamente 60% para a etapa de treinamento da rede e, 40% para validação da rede escolhida. O grupo de dados para cada etapa deve ser representativo de todo o conjunto.

O treinamento da rede no ambiente MATLAB® pode ser realizado de duas formas: através da interface denominada NNTool ou por meio de linhas de comando. Optou-se, neste trabalho, em mostrar a aplicação em redes neurais através da utilização de linhas de comando para melhor visualizar as etapas e procedimentos a realizar. As etapas de entrada dos dados, definição da estrutura e arquitetura da rede, retirada da área sem informação (células que não possuem informação e foram substituídas pelo valor 0 no algoritmo de elaboração das matrizes numéricas), treinamento e validação formam a linguagem geral das linhas de comando.

Algumas funções básicas de criação que servem para aplicação de redes neurais utilizando MATLAB® são mostradas no algoritmo proposto para execução da rede neural e podem ser descritas como:

- **newff**: cria uma rede MPL do tipo *forward*;
- **logsig**: função de transferência logística;
- **traingdx**: função de treinamento *backpropagation*;
- **learnngd**: aprendizado supervisionado para ajustes dos pesos;
- **train**: aplica o treinamento na rede neural;
- **sim**: simula uma rede neural.

O algoritmo elaborado para aplicação do método de redes neurais é:

```

1  clear all
2  close all
3  clc
4  pasta = {'C:\Users\Tálita Nola\Desktop\RNA'};
5  mapas = {'mapa1.png' , 'mapa2.png' , 'mapa3.png'};
6  cd(char(pasta))
7  N_epoca      = 100;
```

```

8  aprendizado = 'traingd';
9  erro        = 1e-7;
10 funcao       = {'logsig' 'logsig' 'logsig'};
11 n_out        = 1;
12 neo.c1       = 7:21;
13 neo.c2       = 7:21;
14 n_sub        = 2;
15 n_arq        = length(neo.c1)*length(neo.c2);
16 arquitetura  = zeros(n_arq,n_sub + 1);
17 count        = 0;
18 for c2 = 1:length(neo.c2)
19     for c1 = 1:length(neo.c1)
20         count = count + 1;
21         arquitetura(count,:) = [neo.c1(c1)    neo.c2(c2)    n_out];
22     end
23 end
24 declividade   = matriz_categoria(pasta,mapas(1));
25 rumo_inclinacao = matriz_categoria(pasta,mapas(2));
26 contraste_perm = matriz_categoria(pasta,mapas(3));
27 n_lin         = size(declividade,1);
28 n_col         = size(declividade,2);
29 declividade_1D = zeros(1,n_lin*n_col);
30 rumo_inclinacao_1D = zeros(1,n_lin*n_col);
31 contraste_perm_1D = zeros(1,n_lin*n_col);
32 for ii = 1:n_lin
33     for jj = 1:n_col
34         declividade_1D (1,jj + n_col*(ii - 1)) = declividade(ii,jj);
35         rumo_inclinacao_1D(1,jj + n_col*(ii - 1)) = rumo_inclinacao (ii,jj);
36         contraste_perm_1D (1,jj + n_col*(ii - 1)) = contraste_perm (ii,jj);
37     end
38 end
39 PB = [declividade_1D; rumo_inclinacao_1D; contraste_perm_1D];
40 PP = PB;
41 for nl = 1:size(PP,1)
42     ind = find(PP(nl,:) <= 0.00001);
43     PP(:,ind) = [];
44 end
45 TT = load('valores_esperados.mat');
46 TV = load('valores_esperados_val.mat');
47 PT = load('valores_treinamento.mat');
48 PV = load('valores_validacao.mat');
49 PP = load('valores_totais.mat');
50 for aa = 1:n_arq
51     net = newff(minmax(PT),arquitetura(aa,:),funcao,aprendizado);
52     net.trainParam.epochs = N_epoca;
53     net.trainParam.goal    = erro;
54     net                    = train(net,PT,TT);
55     eval(char(['net_arq.a' num2str(aa) ' = net;']))
56     simulacao = sim(net_arq.a8,PV);
57 end
58 saida = sim(net_arq.a8,PP);

```

Os comandos mostrados no algoritmo podem ser explicados pelos passos a seguir:

1º Limpa o ambiente e busca os arquivos

- 1 Limpa a memória
- 2 Fecha todas as figuras
- 3 Limpa a janela de comandos
- 4 Define o local onde estão os dados
- 5 Define o nome dos dados que devem ser lidos
- 6 Define o local onde o MATLAB deve trabalhar

2º Define as variáveis da aplicação

- 7 Define o número de épocas
- 8 Define o método de aprendizado
- 9 Define o valor do erro máximo a ser atingido
- 10 Define as funções de transferência
- 11 Define o número de neurônios na camada de saída
- 12 Define como será a variação do número de neurônios da primeira camada intermediária
- 13 Define como será a variação do número de neurônios da segunda camada intermediária
- 14 Define o número de camadas intermediárias
- 15 Define como `n_arq` as várias arquiteturas que serão treinadas

3º Construindo a arquitetura da rede neural

- 16 Define a dimensão da variável `arquitetura`
- 17 Define que `count` será um contador
- 18 Varre todos os elementos da variável `neo.c2`
- 19 Varre todos os elementos da variável `neo.c1`
- 20 A cada combinação de `c1` e `c2`, `count` aumenta uma unidade
- 21 Define quais os dados que formam a variável `arquitetura`
- 22 Fim

23 Fim

4º Executando o algoritmo para construção da matriz numérica de cada atributo

24 Define como `declividade` a matriz numérica gerada a partir do mapa 1

25 Define como `rumo_inclinação` a matriz numérica gerada a partir do mapa 2

26 Define como `contraste_perm` a matriz numérica gerada a partir do mapa 3

5º Obtendo o número de linhas e colunas da matriz numérica

27 Define `n_lin` como o número de linhas da matriz numérica

28 Define `n_col` como o número de linhas da matriz numérica

6º Transformando as matrizes numéricas em vetores

29 Define que a matriz `declividade_1D` deve ter a mesma quantidade de colunas que a matriz `declividade`

30 Define que a matriz `rumo_inclinação_1D` deve ter a mesma quantidade de colunas que a matriz `declividade`

31 Define que a matriz `contraste_perm_1D` deve ter a mesma quantidade de colunas que a matriz `declividade`

32 Varre o número de linhas das matrizes numéricas

33 Varre o número de colunas das matrizes numéricas

34 Transformando a matriz `declividade` em vetor

35 Transformando a matriz `rumo_inclinação` em vetor

36 Transformando a matriz `contraste_perm` em vetor

37 Fim

38 Fim

7º Retirando a parte da área sem informação

- 39 Matriz PB é formada pelos vetores dos atributos
- 40 Define como PP a saída desta etapa
- 41 Varre todos os vetores
- 42 Procura todos os elementos i, j definidos como 0
- 43 Retira todos estes elementos
- 44 Fim

8º Treinamento e validação da rede

- 45 Busca o vetor TT dos resultados esperados para treinamento
- 46 Busca o vetor TV dos resultados esperados para validação
- 47 Busca a matriz PT dos dados de entrada referentes aos resultados esperados para treinamento
- 48 Busca a matriz PV dos dados de entrada referentes aos resultados esperados para validação
- 49 Busca a matriz PP dos dados de entrada da área total de estudo
- 50 Requer que o treinamento e validação sejam feitos para todas as arquiteturas previstas
- 51 Define a rede neural net
- 52 Entra com o parâmetro época
- 53 Entra com o parâmetro erro
- 54 Treina a rede neural e armazena o resultado na variável net
- 55 A variável net_arq armazena a rede neural net criada para cada arquitetura testada
- 56 Simula a rede neural com a melhor arquitetura usando PV como entrada
- 57 Fim
- 58 Simula a rede neural com a melhor arquitetura usando PP como entrada

OBSERVAÇÕES

- i. Na primeira etapa deve ser incluído o local específico dos dados em análise e todos eles devem ser também incluídos na leitura.
- ii. A quarta, sexta e sétima etapas devem ser realizadas para todos os dados de entrada.
- iii. A quinta, sexta e sétima etapas são necessárias apenas para retirada das células sem informação da área de estudo deste trabalho. Para entrada no algoritmo a imagem deve ser um polígono regular de 4 lados. No caso de a imagem ser retangular ou quadrada com todas as células preenchidas por informações, estas etapas podem ser excluídas do algoritmo.
- iv. A quinta etapa é realizada para saber qual o número de linhas e colunas da matriz numérica. Como todas as matrizes são iguais, este procedimento pode ser realizado somente para uma das matrizes.
- v. A simulação tanto da linha 56 quanto da linha 58 só deve ser feita depois de definida qual a arquitetura apresenta o melhor desempenho.
- vi. Os critérios para parar o treinamento foram definidos como sendo a quantidade de épocas ou o erro máximo atingido.
- vii. Este algoritmo encontra-se em fase de implantação na plataforma MATLAB®.

6.2.2.4 Validação e execução final

Após o treinamento da rede neural e a definição de qual arquitetura usar, a fase de validação envolve testar a rede escolhida ocultando os resultados esperados. Desta forma as respostas apresentadas podem ser analisadas e comparadas aos valores reais. Este procedimento serve para confirmar a escolha da estrutura da rede neural, seus pesos e funções.

Nesta fase são inseridos no algoritmo da rede neural os 40% restantes dos dados de treinamento, no ambiente MATLAB® esta etapa é denominada simulação.

O resultado apresentado é uma tabela com os todos os valores obtidos. Faz-se, então, a avaliação dos erros apresentados entre os valores obtidos e os valores esperados. O cálculo do erro absoluto e do erro relativo pode ser feito diretamente no ambiente MATLAB® ou em uma planilha do *Microsoft Excel*®.

Na análise dos erros busca-se verificar se estes foram baixos o suficiente para comprovar a efetividade da rede neural escolhida e declará-la especialista nesta aplicação. Um procedimento para comprovação visual que pode ser realizado é comparar os dados obtidos (simulados) e os valores esperados por meio de um gráfico de sobreposição, que também pode ser feito facilmente no ambiente MATLAB®.

Por fim, a execução final é a etapa na qual são inseridos todos dos dados disponíveis para análise, ou seja, os dados que não possuem resposta e também os que possuem. Este conjunto de dados é inserido no mesmo algoritmo, e assim, são gerados os resultados para cada célula do mapa.

6.2.3 Carta de Eventos Perigosos aplicando RNA

A resposta da rede neural é um banco de dados com a quantidade total de células da área estudada, neste trabalho são 116.000 dados. Os valores do neurônio de saída foram projetados para estarem dentro de um intervalo entre 0 e 1 e podem ser posteriormente classificados de várias formas.

Levando em consideração o que é apresentado na literatura sobre esta aplicação, os dados de saída consistem, neste caso, nas diferentes representações das classes do zoneamento de eventos perigosos que podem ser interpretadas como um intervalo de valores dentro dos dados de saída da rede.

Por exemplo, valores de saída entre 0 e 0,2 podem representar um baixa probabilidade de ocorrência de eventos perigosos. Em torno de 3 a 5 classes são sugeridas pela literatura, a saber: zona de perigo muito baixo, zona de perigo baixo, zona de perigo moderado, zona de perigo alto e zona de perigo muito alto.

Para que o vetor de dados de saída se transforme em uma representação espacial, o conjunto de resultados da rede neural artificial pode ser introduzido no *software ArcMap™* sendo elaborada a carta de eventos perigosos a partir da reclassificação dos intervalos de valores utilizando o mesmo programa.

Entretanto, sugere-se que a elaboração da carta de eventos perigosos não oculte os valores de probabilidade em classificações de intervalos. A proposta aqui apresentada é representar a probabilidade como sendo um valor representativo para uma determinada área que pode ser uma unidade geológico-geotécnica, um *landform* ou uma vertente.

Por exemplo, tendo como base um mapa de vertentes, como mostrado na Figura 68, existirão "*n*" *pixels* que possuem "*n*" valores de probabilidade que estão representados em uma mesma vertente (Figura 68b). Pode-se, então, adotar um valor de probabilidade representativa daquela área.

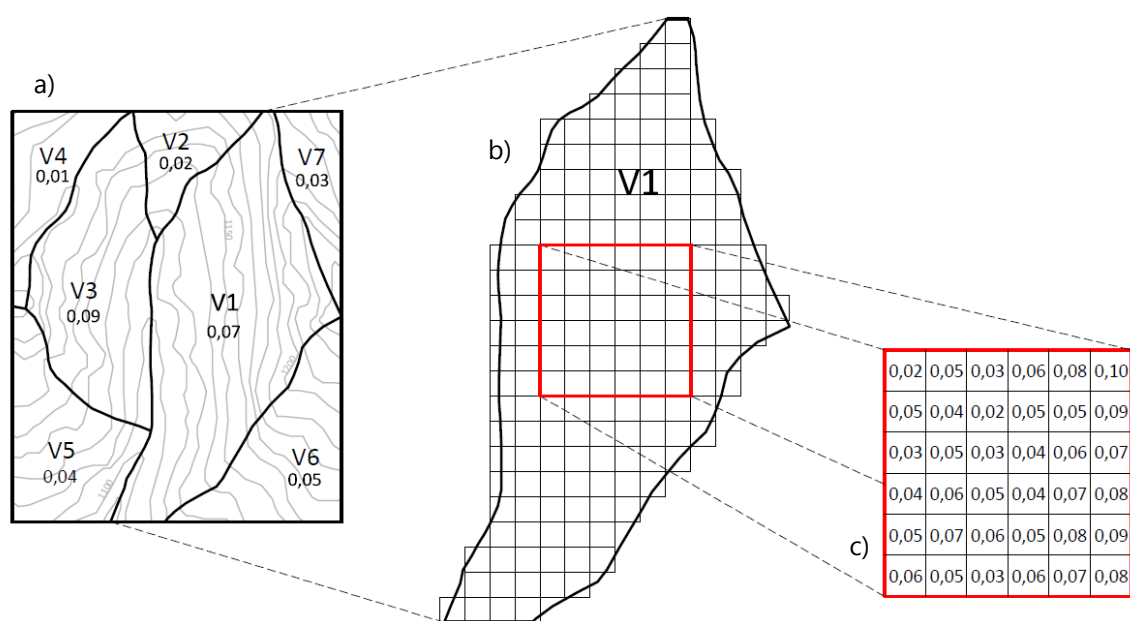


Figura 68 - Forma de representação da carta de eventos perigosos: a) mapa de vertentes, b) grade com valores de probabilidade sobre vertente V1, c) detalhe dos valores de probabilidade.

O valor de probabilidade, representado na Figura 68a, pode ser tomado como: a média dos valores que ocupam a vertente e seu desvio padrão; o menor ou o maior valor encontrado, e até mesmo o valor mais frequente. A Figura 68c mostra um detalhe dos resultados de probabilidades de parte dos *pixels* utilizados para definir o valor de probabilidade representativo da vertente V1.

Representar a carta de eventos perigosos desta maneira é uma forma mais simples de mostrar o seu significado e utilizá-la para outras aplicações.

6.3 CONDIÇÕES PARA USO DOS DADOS EM PROBABILIDADE

Nesta seção, outro método de aplicação será testado, a abordagem probabilística dos dados para elaboração da carta de eventos perigosos. Da mesma forma com que foi descrito para seção 6.2, onde foi demonstrada a aplicação em redes neurais artificiais, esta fase ocorre após a obtenção de todos os mapas e cartas que representam os fatores predisponentes à ocorrência de movimentos de massa gravitacionais. Os procedimentos da aplicação serão descritos a seguir.

6.3.1 Organização dos dados

A organização dos dados para aplicação da abordagem probabilística utiliza, em partes, o que foi executado para aplicação em redes neurais artificiais. Também para este método é necessário que os mapas e cartas estejam em formato *raster* para facilitar a sua execução. Isto porque, para cada célula será calculado uma probabilidade de ocorrência de movimentos de massa gravitacionais a partir do conjunto de fatores condicionantes que ela apresenta.

Assim, esta fase se inicia pela transformação dos mapas e cartas em *raster* e reclassificação da imagem para uma forma única de representação, a partir de suas classes. Os mapas matriciais produzidos, cartas de declividade e rumo da inclinação da encosta já estão no formato desejado e, portanto são separados deste processo. Os mapas/cartas vetoriais foram transformados em matriciais com uma malha de células de dimensão igual a 20x20m. Todo o procedimento para esta modificação pode ser consultado na seção 6.2.1.

Após esta etapa, os mapas e cartas estão prontos para a fase de reclassificação para os valores de probabilidade e execução do método.

6.3.2 Método probabilístico

A abordagem probabilística escolhida para calcular a possibilidade de ocorrência de movimentos de massa gravitacionais na região de Ouro Preto é a Probabilidade Condicional, que se baseia na observação da relação entre cada fator envolvido no processo e a ocorrência de movimentos de massa gravitacionais, assim como a relação entre os movimentos de massa gravitacionais do passado e do presente em uma determinada região.

6.3.2.1 Descrição do método

A probabilidade condicional diz que, assumindo o evento "O" como sendo a ocorrência de movimentos de massa gravitacionais e o evento "A" como a ocorrência de um dos atributos que estão envolvidos no processo que desencadeia o movimento, a probabilidade do evento "O" ocorrer dado que "A" ocorreu é:

$$P(O|A) = \frac{P(O \cap A)}{P(A)} \quad (\text{Equação 46})$$

Como,

$$P(O \cap A) = P(A \cap O), \quad (\text{Equação 47})$$

$$P(O \cap A) = P(O|A)P(A), \quad (\text{Equação 48})$$

$$P(A \cap O) = P(A|O)P(O), \quad (\text{Equação 49})$$

tem-se que,

$$P(O|A)P(A) = P(A|O)P(O) \quad (\text{Equação 50})$$

$$\therefore P(A \cap O) = P(O|A)P(A) \quad (\text{Equação 51})$$

Se o evento " O " é dependente de um número n de eventos mutualmente exclusivos " $A_1, A_2, A_3 \dots A_n$." que formam um espaço amostral, Ω , a probabilidade de ocorrência do evento " O " pode ser calculado pelo Teorema da Probabilidade Total.

Por exemplo, o atributo declividade pode possuir 4 classes, a saber:

- Classe 1: 0-15°;
- Classe 2: 16 - 30°;
- Classe 3: 31 a 45°,
- Classe 4: <45°.

Estas classes são mutualmente exclusivas, pois, quando acontece a classe 1 em uma determinada região de estudo não ocorre a classe 4, assim como quando ocorre a classe 2 não ocorre a 3, e, juntas elas formam o espaço amostral do atributo declividade. Cada uma das classes é um evento " A_n " dos quais o evento " O " é dependente. Se for analisado qualquer outro atributo, as classes que formam este grupo serão também mutualmente exclusivas entre si e serão representadas por um conjunto " $A_1, A_2, A_3 \dots A_n$ " de eventos (o numero n é definido pela quantidade de classes que o atributo possui).

Desta forma, utilizando o Teorema da Probabilidade Total, tem-se que:

$$P(O) = P(A_1 \cap O) + P(A_2 \cap O) + \dots + P(A_n \cap O) = \sum_{i=1}^n P(A_i) P(O|A_i) \quad (\text{Equação 52})$$

Ou seja, a probabilidade do evento " O " ocorrer é igual ao somatório da probabilidade da intersecção dos eventos " O " e " A_n ".

Após a definição de qual abordagem probabilística utilizar e a descrição do método, a próxima fase é a implantação deste método com os dados deste trabalho a partir dos procedimentos citados a seguir.

6.3.3 Implementação do método

No caso do estudo dos movimentos de massa gravitacionais, para a implantação deste método são necessários serem definidos os fatores predisponentes ao movimento. Estes fatores serão a base para o cálculo da probabilidade condicional.

A probabilidade condicional se baseia nos dados de frequência, como a área de movimentos de massa gravitacionais em relação à área total. Pode ser realizada por meio da área de cada variável ou pelo número de *pixels* que elas representam.

De acordo com o modelo definido na seção 6.1, os fatores que condicionam o escorregamento translacional foram selecionados, sendo:

- A. Unidades geológico-geotécnicas
- B. Declividade
- C. Rumo da inclinação da encosta
- D. Contraste de permeabilidade
- E. Resistência ao Cisalhamento
- F. Superfície Potencial de Ruptura
- G. Uso e ocupação
- H. Domínios estruturais
- I. Superfície Potencial de infiltração
- J. Chuva

Cada atributo de A - J corresponde ao evento do qual o evento "O" é dependente. Assim, por exemplo, sendo o evento "G" o atributo uso e ocupação do solo, independente do número de classes que este fator possui (neste caso, 11 classes) a probabilidade condicional entre ele e o evento "O" é:

$$P(O \cap G_1) = P(O|G_1)P(G_1) \quad (\text{Equação 53})$$

$$P(O \cap G_2) = P(O|G_2)P(G_2) \quad (\text{Equação 54})$$

$$P(O \cap G_n) = P(O|G_n)P(G_n) \quad (\text{Equação 55})$$

Pode se observar pelas equações 53, 54 e 55 que existe uma probabilidade condicional para classe de cada atributo, sendo:

$$P(O|G_1) = \frac{\text{área das feições que se encontram sobre a classe } G_1}{\text{área total da classe } G_1} \text{ e} \quad (\text{Equação 56})$$

$$P(G_1) = \frac{\text{área total da classe } G_1}{\text{área total da área de estudo}} \quad (\text{Equação 57})$$

Todos os atributos juntos devem formar o espaço amostral no qual o evento "O" ocorre. O diagrama de Venn para este espaço amostral está demonstrado na Figura 69. Este diagrama representa um *pixel* da área estudada e cada atributo de A a J representa somente uma das suas classes.

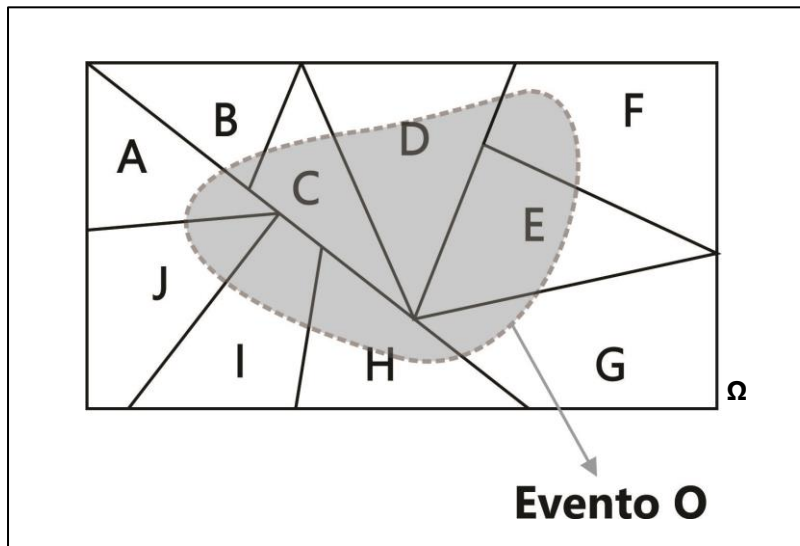


Figura 69 - Diagrama de Venn para o evento "O".

A probabilidade $P(O)$ de um determinado *pixel* é extraída do Teorema da Probabilidade Total gerando a equação representada na Figura 70. A probabilidade de cada atributo simula a probabilidade da classe manifestada no *pixel*.

$$P(O) = P(A)*P(O|A) + P(B)*P(O|B) + P(C)*P(O|C) + P(D)*P(O|D) + P(E)*P(O|E) + P(F)*P(O|F) + P(G)*P(O|G) + P(H)*P(O|H) + P(I)*P(O|I) + P(J)*P(O|J)$$

Figura 70 - Equação utilizada para cálculo da probabilidade $P(O)$.

Para o cálculo das probabilidades condicionais é necessário o levantamento das frequências absolutas dos atributos em relação à área total de estudo e também a frequência absoluta dos movimentos de massa gravitacionais em relação à área de cada classe do atributo, como foi mostrado pelas equações 56 e 57. Esta análise será esclarecida na seção 6.3.3.1

6.3.3.1 Relação atributo x inventário

A análise da relação entre cada atributo e inventário dos movimentos de massa gravitacionais é realizada neste trabalho a partir da distribuição espacial de cada classe. Ou seja, obteve-se a frequência absoluta que é dada pela área do conjunto de feições em função da área da classe a qual ela ocupa. Também foi calculada a frequência absoluta de cada classe do atributo em relação à área total estudada. Ambos os valores são necessários para o cálculo da probabilidade condicional.

Os valores das áreas foram obtidos através da ferramenta *calculate geometry* do *software ArcMap™* para todos os atributos e feições. As frequências foram calculadas utilizando o *software Microsoft Office Excel®*. Como exemplo, pode ser observado através da Tabela 38 o conjunto de valores calculados para o atributo unidades geológico-geotécnicas em relação à ocorrência de escorregamento translacional.

Tabela 38 – Valores de probabilidade para as classes do atributo unidade geológico-geotécnicas.

Unidade geológico-geotécnica	Área da Unidade (km²)	Área da Feição (km²)	P(A)	P(O A)	P(A)*P(O A)
IR1	0,461199	0,004949	0,010526798	0,010730726	0,00011296
IR2	4,802600	-	0,10961862	-	-
IR3	0,644336	-	0,014706872	-	-
IR4	0,029735	-	0,000678697	-	-
IR5	0,086520	-	0,001974806	-	-
IR6	0,974162	0,023477	0,022235101	0,024099688	0,000535859
IR7	1,087369	0,011292	0,024819033	0,010384699	0,000257738
IR8	0,168923	-	0,003855642	-	-
IR9	1,651697	0,020332	0,037699735	0,012309764	0,000464075
IR10	0,617113	0,008145	0,014085511	0,013198555	0,000185908
IR11	0,561086	-	0,012806703	-	-
IR12	0,026737	-	0,000610268	-	-
IR13	0,006250	-	0,000142655	-	-
IR14	0,001977	-	4,51247E-05	-	-
IR15	0,012786	-	0,000291839	-	-
IR16	0,002137	-	4,87767E-05	-	-
IR17	0,125720	0,004628	0,00286954	0,036811963	0,000105633
IR18	0,029829	-	0,000680842	-	-
IR19	0,008075	-	0,000184311	-	-
IR20	0,000789	-	1,80088E-05	-	-
IR21	0,078290	-	0,001786957	-	-
IR22	0,426946	-	0,009744987	-	-
IR23	0,021857	-	0,000498883	-	-
IR24	0,057684	-	0,001316629	-	-
IR25	0,009168	-	0,000209258	-	-
IR26	0,041511	-	0,000947482	-	-
IR27	0,039282	-	0,000896606	-	-
IR28	0,002183	-	4,98266E-05	-	-
IR29	4,885670	0,013276	0,11151468	0,002717335	0,000303023
IR30	2,289792	-	0,052264157	-	-
IR31	1,346746	0,007371	0,030739274	0,005473192	0,000168242
IR32	0,490005	0,001805	0,01118429	0,003683636	4,11989E-05
IR33	1,473015	0,007104	0,033621345	0,004822761	0,000162148
IR34	1,905298	0,004036	0,043488139	0,002118304	9,21211E-05
IR35	1,496370	0,002004	0,034154419	0,001339241	4,5741E-05
IR36	0,977244	0,032275	0,022305447	0,033026552	0,000736672
IR37	1,548042	0,019464	0,035333825	0,012573302	0,000444263
IR38	0,117803	0,000277	0,002688836	0,002351383	6,32248E-06
IR39	0,839573	0,000793	0,019163127	0,000944528	1,81001E-05
IR40	0,747640	0,001479	0,01706477	0,001978225	3,3758E-05
IR41	2,659160	0,069892	0,060694925	0,026283488	0,001595274
IR42	0,215669	-	0,004922612	-	-
IR43	0,176188	0,006298	0,004021464	0,035745908	0,000143751

Unidade geológico-geotécnica	Área da Unidade (km ²)	Área da Feição (km ²)	P(A)	P(O A)	P(A)*P(O A)
IR44	2,606070	0,027694	0,059483154	0,010626729	0,000632111
IR45	1,549270	0,000126	0,035361854	8,13286E-05	2,87593E-06
IR46	0,750951	-	0,017140343	-	-
IR47	0,330891	0,002747	0,007552537	0,008301827	6,26999E-05
IR48	0,516296	0,000555	0,011784378	0,001074965	1,26678E-05
IR49	2,635422	0,00991	0,060153109	0,003760309	0,000226194
IR50	1,253890	0,000634	0,02861985	0,000505626	1,4471E-05
IR51	0,017587	-	0,000401421	-	-

Alguns valores de probabilidade não foram calculados devido à falta de feições de escorregamento translacional sobre certas classes do atributo unidades geológico-geotécnicas.

Os resultados são valores das probabilidades de cada pixel que devem ser armazenados e utilizados, posteriormente para elaboração da carta de eventos perigosos, como mostra a seção 6.3.4.

6.3.4 Carta de Eventos Perigosos aplicando probabilidade

Com todas as frequências calculadas o próximo passo é a elaboração da carta de eventos perigosos é a execução da equação mostrada na Figura 70.

Tanto o cálculo das frequências quanto a rotina completa para resolução da expressão da Figura 70 pode ser facilmente programada em planilhas eletrônicas como no *software Microsoft Office Excel®* ou em linguagem MATLAB, a depender do programador. A resposta é um valor de probabilidade representativo de cada pixel.

Da mesma forma com que foi abordada a elaboração da carta de eventos perigosos através da aplicação de redes neurais artificiais, o que é apresentado na literatura sobre a aplicação por meio de probabilidade também considera intervalos dos valores para formação das classes do zoneamento de eventos perigosos.

Contudo, também para a elaboração de uma carta de eventos perigosos por meio de probabilidade condicional, pode ser utilizada a mesma proposta descrita na

aplicação de redes neurais artificiais, onde o resultado é um valor de probabilidade para, por exemplo, cada vertente (Ver seção 6.2.3).

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esta pesquisa foi realizada em área urbanizada do município de Ouro Preto, no estado de Minas Gerais, e apresenta o estudo dos movimentos de massa gravitacionais através de dados preexistentes e gerados, que foram avaliados quanto a sua aplicabilidade nos métodos de redes neurais artificiais e probabilidade condicional para elaboração de uma carta de eventos perigosos.

Os dados prévios se mostraram insuficientes para execução de ambos os métodos e também para gerar outros produtos de importância na elaboração da carta de eventos perigosos como, por exemplo, a carta de domínios estruturais.

Utilizando os mapas de material inconsolidado e de substrato rochoso, assim como as descrições de suas unidades, foi possível elaborar uma carta geotécnica apresentando as unidades geológico-geotécnicas que caracterizam a área. Esta carta deu origem à outros dados como: cartas de resistência ao cisalhamento, contraste de permeabilidade e superfície potencial de ruptura. Com o mapa topográfico foram geradas as cartas de declividade e rumo da inclinação da encosta e, o mapa de uso e ocupação do solo não foi alterado. Todas estas cartas e mapas encontram-se adequadas para a área.

Os atributos foram escolhidos para análise a partir do modelo físico, conceitual e matemático adotado. Optou-se por estudar os movimentos do tipo escorregamento translacional e para tal foram pesquisadas as condições para ocorrência deste movimento. Os 10 atributos selecionados foram aqueles que mostraram as diferentes condições para ocorrência do escorregamento translacional. Por exemplo, o atributo domínios estruturais apresenta as condições referentes aos padrões das discontinuidades que desempenham papel importante na geometria do movimento e, na infiltração e circulação da água.

Em relação aos atributos oriundos a partir dos dados preexistentes, notou-se que ainda faltam informações que possam, com maior clareza, caracterizar geotecnicamente os materiais, como determinar os parâmetros de resistência ao cisalhamento dos materiais inconsolidados e do substrato rochoso, pois a definição indireta deste atributo é apenas um indicativo do seu comportamento em campo.

Isto vale também para a determinação da superfície potencial de ruptura, que deve ser associada à descrição das espessuras dos materiais, do contato entre litologias e das descontinuidades presentes nas rochas.

Quando avaliadas as condições geológico-geotécnicas em campo, a descrição dos materiais, solo e rocha, devem ser realizadas buscando descrever todas as informações que podem levar ao entendimento da interferência dos atributos na estabilidade do material. Entretanto, sabe-se que o levantamento ideal é oneroso, requer tempo e, as vezes instrumentos de análise que não estão disponíveis, promovendo a insuficiência de dados e prejudicando a realização de estudos secundários, como a elaboração de uma carta de suscetibilidade ou de eventos perigosos dos movimentos de massa gravitacionais.

As informações coletadas para formação do inventário de movimentos de massa gravitacionais permitiram a elaboração de um mapa de inventário com um total de 693 feições classificadas em 11 tipos de processos diferentes. Ressalta-se que pode existir um erro na classificação como complexos e que estas feições sejam na realidade áreas com múltiplas feições e não combinação de 3 tipos como preconizam as classificações.

Apesar da existência de inventários de diversos períodos, os trabalhos consultados apresentam registros com ausência de informações. Também existem diferenças quanto ao modo e forma dos registros procedentes dos trabalhos anteriores. Três deles, Souza (1996), Bonucceli(1999) e Zenóbio (2000), apresentaram feições poligonais representando a área de ocorrência enquanto os demais representam a ocorrência como pontos. Todavia, para aplicação de ambos os modelos propostos, o inventário de movimentos de massa gravitacionais deve apresentar feições representadas por uma área, o que dificultou a utilização dos dados de Castro (2006), Fontes (2011) e do IGEO. Outro empecilho foi a incompatibilidade dos dados apresentados por estes autores e a ausência de informações básicas (tipo de movimento, material geológico envolvido, coordenadas geográficas, entre outras) para caracterização dos movimentos de massa gravitacionais.

Mesmo para os dados considerados válidos, no geral, não existem dados quanto à velocidade, volume, condição de umidade e data de ocorrência dos

movimentos de massa gravitacionais, sendo estas informações de grande relevância na elaboração de um mapa de inventário dos movimentos gravitacionais de massa.

Os inventários de movimentos de massa gravitacionais devem fazer parte de um programa contínuo e com obtenção de informações completas (localização, área, profundidade da superfície de ruptura e geometria, materiais geológicos envolvidos, data de ocorrências, atividade, velocidade, volume do material deslocado, etc). Sugere-se para pesquisas futuras que a elaboração dos mapas de inventário leve em consideração o que é esperado para um levantamento de inventário de feições resultantes de movimentos de massa gravitacionais.

Quanto à aplicação do método de redes neurais artificiais, conclui-se que seriam necessários maiores estudos para elaboração dos dados ausentes no sentido de compor o modelo escolhido para análise, assim como a definição dos valores esperados para saída, isto porque os dados obtidos não foram suficientes para execução do método.

A programação elaborada em linguagem MATLAB apresenta as principais funções de aplicação e, mesmo que em fase inicial, abrange os diversos processos envolvidos no método, desde a organização dos dados à execução da rede proposta. Devido à subjetividade envolvida na escolha da topologia, arquitetura e opções de parada, a análise ainda pode ser otimizada quando o algoritmo for implantado em ambiente MATLAB®. A depender do objetivo da pesquisa, as linhas de comando do algoritmo devem ser revistas ou adaptadas. Espera-se que quando implementado, os ajustes necessários para validação do algoritmo sejam para aperfeiçoamento da técnica.

Quanto à aplicação da probabilidade condicional para elaboração da carta de eventos perigosos, conclui-se que este método é de fácil execução desde que já obtidos todos os dados que levam ao cálculo das probabilidades condicionais das quais a ocorrência de movimentos gravitacionais de massa é dependente. A teoria da probabilidade total empregada nesta área de estudo, ajudou a entender, de maneira simples, a relação entre os fatores predisponentes e as feições de ocorrência de movimentos de massa gravitacionais através da frequência absoluta. No entanto, por mais que a equação seja matematicamente simples, a mesma necessita de recursos

computacionais para sua execução devido à quantidade de dados processados durante o seu cálculo.

Vale ressaltar que além dos dados obtidos não serem suficientes para aplicação deste método, conforme foi observado, para algumas classes não foi possível a obtenção de um valor de probabilidade devido à ausência de feições de movimentos de massa gravitacionais sobre elas. Portanto, para estudos futuros, é indicado definir qual o valor mais adequado de probabilidade nestes casos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHRENDT, A. **Movimentos de massa gravitacionais - proposta de um sistema de previsão**: aplicação na área urbana de Campos do Jordão – SP. 2005. 390p. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

ALEOTTI, P.; CHOWDHURY, R. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v.58, n.1, p.21-44, 1999.

AMARAL JR., A.F. **Mapeamento geotécnico aplicado a análise de processos de movimentos de massa gravitacionais**: Costa Verde - RJ - escala 1:10.000. 2007. 210p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

ANG, A.H.S.; TANG, W.H. **Probability concepts in engineering**: emphasis on applications to civil and environmental engineering. 2nded. New York: Wiley, 2007.

ARORA, M.K.; DAS GUPTA, A.S.; GUPTA, R.P. An Artificial neural network approach for landslide hazard zonation in the Bhagirathi (Ganga) Valley, Himalayas. **International, Journal Remote Sensing**, v.25, n.3, p.559–572, Feb. 2004.

BAUZYS, F. Mapa de inventário dos movimentos de massa ocorridos no alto da bacia do Ribeirão Belchior, Gaspar, Santa Catarina. **Revista Geonorte**, v.1, n.4, Edição Especial, p.788–799, 2012.

BEUCHER, A. et al. Artificial neural network for acid sulfate soil mapping: application to the Sirppujoki River catchment area, south-western Finland. **Journal of Geochemical Exploration**, v.125, p.46–55, Feb. 2013.

BONUCCELLI, T.J. **Estudo dos movimentos de massa gravitacionais e processos erosivos em aplicação na área urbana de Ouro Preto (MG) – escala 1:10000**. 1999. 208p. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

BONUCCELLI, T.; ZUQUETTE, L.V. Movimentos gravitacionais de massa e erosões na cidade histórica de Ouro Preto, Brasil. **Revista Portuguesa de Geotecnia**, v.85, p.59-80, 1999.

BROW, E.T. (Ed.). **Suggested method for rock characterization testing and monitoring**. Oxford: Pergamon Press, 1983.

CANIANI, D. et al. Neural networks and landslide susceptibility: a case study of the urban area of Potenza - Italy. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v.45, p.55-72, Apr. 2008.

CARDINALI, M. et al. **Photo geological and landslide inventory map for the Upper Tiber River basin**. Perugia: CNR, Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, 2001. (Publication nº 2116. Escala 1:100.000).

CARRARA, A. et al. Digital terrain analysis for land evaluation. **Geologia Applicata e Idrogeologia**, v.13, p.69-127, 1978.

CARVALHO, A. **Hierarquização de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa e processos erosivos no bairro Santa Cruz, em Ouro Preto – MG, na escala 1:2000**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2001.

CASTRO, J.M.G. **Pluviosidade e movimentos de massa nas encostas de Ouro Preto**. 2006. 110p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006.

ÇELİK, S.; TAN, Ö. Determination of preconsolidation pressure with artificial neural network. **Civil Engineering and Environmental Systems**, v.22, n.4, p.217-231, 2005.

CHAU, K.T. et al. Landslide hazard analysis for Hong Kong using landslide inventory and GIS. **Computers & Geosciences**, v.30, p.9-443, 2004.

CHAUHAN, S. et al. Landslide susceptibility zonation through ratings derived from artificial neural network. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.12, p.340-350, Apr. 2010.

CHOI, J.; JOO OH, H.; WON, J.S. Validation of an artificial neural network model for landslide susceptibility mapping. **Environmental Earth Sciences**, v.60, p.473–483, Apr. 2010.

CHUNG, C.F.; FABBRI, A.G. Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.65, n.12, p.1389–1399, 1999.

CROVELLI, R.A.; COE, J.A. Probabilistic estimation of numbers and costs of future landslides in the San Francisco Bay region. **Georisk**, v.3, n.4, p.206–223, 2009.

CROZIER, M. Mass-movement hazards and risks. In: SHRODER, J. et al. **Treatise on Geomorphology**. San Diego: Academic Press, 2013. v.7, p.249–258.

CRUDEN, D. M. **The multilingual landslide glossary**. The International Geotechnical Societies UNESCO Working Party for World Landslide Inventory, Richmond: Bitech, v.5, 1993.

CRUDEN, D. M.; LAN, H.X. Using the working classification of landslides to assess the danger from a natural slope. In: LOLLINO, G. et al. (Ed.). **Engineering geology for society and territory: landslide processes**. Berlin: Springer International, 2015. v.2, p.3–12.

CRUDEN, D.M.; VARNES, D.J. Landslide types and processes. Landslides, Investigation and mitigation. **Transportation Research Board**, special report 247, p.36–75, 1996.

DAS, S.K.; BASUDHAR, P.K. Undrained lateral load capacity of piles in clay using artificial neural network. **Computers and Geotechnics**, v.33, n.8, p.454–459, 2006.

DIAS, E.C. **Previsão de movimentos gravitacionais de massa na Serra de Ouro Preto com base em árvore de eventos**. 2002. 191p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

DUDA, R.O.; HART, P.E.; STORK, D.G. **Pattern classification**. New York: Stork-John Wiley, 2001.

DUMAN, T.Y. et al. Landslide inventory of northwestern Anatolia, Turkey. **Engineering Geology**, v.77, p.99-114, 2005.

ERCANOGLU, M. Landslide susceptibility assessment of SE Bartın (West Black Sea region, Turkey) by artificial neural networks. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v.5, p.979-992, Dec. 2005.

ERMINI, L.; CATANI, F.; CASAGLI, N. Artificial Neural Networks applied to landslide susceptibility assessment. **Geomorphology**, v.66, p.327-343, 2005.

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

FIORUCCI, F. et al. Seasonal landslides mapping and estimation of landslide mobilization rates using aerial and satellite images. **Geomorphology**, v.129, p.59-70, 2011.

FONTES, M.M.M. **Contribuição para o desenvolvimento da metodologia de análise, gestão e controle de riscos geotécnicos para a área urbana da cidade de Ouro Preto**. 2011. 188p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

GALLI, M. et al. Comparing landslide inventory maps. **Geomorphology**, v.94, p.268-289, 2008.

GEODINÂMICA externa – movimentos de massa: tombamento de blocos. Rio Claro: UNESP, 2001. Curso de Geologia ambiental Via Internet. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter09f.html>>. Acesso em: 13 out. 2014.

GERSCOVICH, D.M.S. **Estabilidade de taludes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

GOMES, R.C. et al. Condicionantes geotécnicos do espaço urbano de Ouro Preto/MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 11., 1998, Brasília. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 1998. p.363-370.

GOMEZ, H.; KAVZOGLU, T. Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela. **Engineering Geology**, v.78, p.11–27, 2005.

GUTHRIE, R.H. Mass-movement: style, activity state and distribution. In: SHRODER, J. et al. **Treatise on geomorphology**. San Diego: Academic Press, 2013. v.7, p.230–238.

GUZZETTI, F. **Landslide hazard and risk assessment**. 2006. 389p. Thesis (Ph.D.) - Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, University of Bonn, Bonn, Germany, 2006. Disponível em: <<http://geomorphology.irpi.cnr.it/Members/fausto/PhD-dissertation>>. Acesso em: 19 Jan. 2015.

_____. Landslide hazard assessment and risk evaluation: limits and prospectives. In: EGS PLINIUS CONFERENCE HELD AT MALLORCA, 4., Spain. 2002. **Proceedings...** Spain: European Geophysical Society, 2012. Session 3.

GUZZETTI, F.; CARDINALI, M.; REICHENBACH, P. The AVI project: a bibliographical and archive inventory of landslides and floods in Italy. **Environmental Management**, v.18, n.4, p.623–633, 1994.

GUZZETTI, F. et al. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. **Geomorphology**, v.31, n.1, p.181–216, 1999.

_____. Landslides triggered by the 23 November 2000 rainfall event in the Imperia Province, Western Liguria, Italy. **Engineering Geology**, v.73, n.2, p.229–245, 2004.

_____. Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. **Geomorphology**, v.72, n.1, p.272–299, 2005.

_____. Landslide inventory maps: new tools for and old problem. **Earth-Science Reviews**, v.112, p.42–66, 2012.

HAYKIN, S. **Neural networks** – a comprehensive foundation. 2nded. Hamilton: Prentice Hall, 2001.

HEARN, G.J. Landslide and erosion hazard mapping at Ok Tedi copper mine, Papua New Guinea. **Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology**, v.28, n.1, p.47-60, 1995.

HUNGR, O. et al. A Review of the classification of the flow type. **Environmental & Engineering Geoscience**, v.7, n.3, p.221-238, 2001.

HUNGR, O.; LEROUEILL, S.; PICARELLI, L. The Varnes classification of landslide types, an update. **Landslides**, v.11, n.2, p.167-194, 2014.

HUTCHINSON, J.N. General report: morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LANDSLIDES, 5., 1988, Rotterdam. **Proceedings...** Rotterdam: Bonnard C, 1988. p.3-35.

JAMES, B.R. **Probabilidade**: um curso em nível intermediário. Rio de Janeiro: LTC, 2009. (Coleção Projeto Euclides).

JELÍNEK, R.; WAGNER, P. Landslide hazard zonation by deterministic analysis (Veľká Čausa landslide area, Slovakia). **Landslides**, v.4, n.4, p.339-350, 2007.

JENG, D.S.; CHA, D.H.; BLUMENSTEIN, M. Application of neural network in civil engineering problems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN THE INTERNET, 2003. **Proceedings...** 2003.

JIBSON, R.W.; HARP, E.L.; MICHAEL, J.A. A Method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps. **Engineering Geology**, v.58, n.3, p.271-289, 2000.

KALOGIROU, S.A. Applications of artificial neural-networks for energy systems. **Applied Energy**, v.67, p.17-35, Sept. 2000.

KALOGIROU, S.A.; MATHIOULAKIS, E.; BELESSIOTIS, V. Artificial neural networks for the performance prediction of large solar systems. **Renewable Energy**, v.63, p.90-97, Mar. 2014.

KASABOV, N.K. **Foundation of neural networks, fuzzy systems and knowledge engineering**. 2nd ed. Massachusetts: The MIT Press, 1998.

KIA, M.B. et al. An Artificial neural network model for flood simulation using GIS: Johor River Basin, Malaysia. **Environmental Earth Science**, v.67, p.251–264, 2012.

KOVÁCS, Z.L. **Redes neurais artificiais**: fundamentos e aplicações. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

KRIESEL, D. **A Brief introduction to neural networks**. University of Bonn in Germany, 2005. Disponível em: <www.dkriesel.com>. Acesso em: 29 Mar. 2014.

KURUP, P.U.; DUDANI, N.K. Neural networks for profiling stress history of clays from PCPT data. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v.128, n.7, p.569-579, 2002.

LEE, S.; PRADHAN, B. Probabilistic landslide hazards and risk mapping on Penang Island, Malaysia. **Journal of Earth System Science**, v.115, n.6, p.661-672, 2006.

LEE, S.; TALIB, J.A. Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis. **Environmental Geology**, v.47, n.7, p.982-990, 2005.

LEE, S.; CHOI, J.; MIN, K. Probabilistic landslide hazard mapping using GIS and remote sensing data at Boun, Korea. **International Journal of Remote Sensing**, v.25, n.11, p.2037-2052, 2004.

LEE, S. et al. Landslide susceptibility analysis using GIS and artificial neural network. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.28, n.12, p.1361–1376, Nov. 2003.

_____. Determination and application of the weights for landslide susceptibility mapping using an artificial neural network. **Engineering Geology**, v.71, p.289–302, Feb. 2004.

LISBOA, P.J.; TAKTAK, A.F.G. The Use of artificial neural networks in decision support in cancer: a systematic review. **Neural Networks**, v.19, p.408-415, May 2006.

LOBATO, L.M. et al. **Mapa geológico de Ouro Preto na escala 1:50.000**. Belo Horizonte: CODEMIG, 2005. Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero: Integração e Correção Cartográfica em SIG com nota explicativa.

MAGALHÃES, M.N.; LIMA, A.C.P. **Noções de probabilidade e estatística**. São Paulo: EDUSP, 2002.

MALAMUD, B.D. et al. Landslide inventories and their statistical properties. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.29, n.6, p.687-711, 2004.

MATSSUNAGA, V.Y. **Curso de redes neurais utilizando o MATLAB**. Belém, 2012. Apostila. Disponível em: <http://paginas.uepa.br/engprod/index.php?option=com_rokdownloads&view=file&task=download&id=132%3Aapostilaredesneurais&Itemid=67>. Acesso em: 20 jan. 2014.

MATULA, M. et al. Rock and soil description and classification for engineering geological mapping report by the IAEG Commission on Engineering Geological Mapping. **Bulletin of the International Association of Engineering Geology = Bulletin de l' Association Internationale de Geologie de L' Ingenieur**, v.24, n.1, p.235-274, 1981.

MEDEIROS, B. **Análise por meio de redes neurais artificiais dos dados de monitoramento dos piezômetros da barragem de concreto de Itaipu**. 2013. 165p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

MELCHIORRE, C. et al. Artificial neural networks and cluster analysis in landslide susceptibility zonation. **Geomorphology**, v.94, p.379–400, 2008.

NEAUPANE, K.M.; ACHET, S.H. Use of backpropagation neural network for landslide monitoring: a case study in the higher Himalaya. **Engineering Geology**, v.74, p.213–226, 2004.

NEAUPANE, K.M.; PIANTANAKULCHAI, M. Analytic network process model for landslide hazard zonation. **Engineering Geology**, v.85, p.281–294, 2006.

OZDEMIR, A. Landslide susceptibility mapping of vicinity of Yaka Landslide (Gelendost, Turkey) using conditional probability approach in GIS. **Environmental Geology**, v.57, n.7, p.1675–1686, 2009.

PARDESHI, S.D.; AUTADE, S.E.; PARDESHI, S.S. Landslide hazard assessment: recent trends and techniques. **SpringerPlus**, v.2, n.1, p.523, 2013.

PARISE, M. Landslide mapping techniques and their use in the assessment of the landslide hazard. **Physics and Chemistry of the Earth, Part C: Solar, Terrestrial & Planetary Science**, v.26, n.9, p.697-703, 2001.

PEROTTO-BALDIVIEZO, H.L. et al. GIS-based spatial analysis and modeling for landslide hazard assessment in steeplands, southern Honduras. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.103, n.1, p.165-176, 2004.

PESTANA, D.; VELOSA, S. **Introdução à probabilidade e estatística**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2006.

POPESCU, M. E. A suggested method for reporting landslide causes. Bulletin of the International **Association of Engineering Geology = Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur**, v.50, n.1, p.71-74, 1994.

PRADHAN, B. Remote sensing and GIS-based landslide hazard analysis and cross-validation using multivariate logistic regression model on three test areas in Malaysia. **Advances in Space Research**, v. 45, n. 10, p. 1244-1256, 2010.

PRADHAN, B.; LEE, S. Utilization of optical remote sensing data and GIS tools for regional landslide hazard analysis using an artificial neural network model. **Earth Science Frontiers**, v.14, n.6, p.143-151, 2007.

_____. Landslide risk analysis using artificial neural network model focusing on different training sites. **International Journal of Physical Sciences**, v.3, p.1-15, 2009.

_____. Regional landslide susceptibility analysis using back-propagation neural network model at Cameron Highland, Malaysia. **Landslides**, v.7, p.13-30, 2010.

_____. Delineation of landslide hazard areas on Penang Island, Malaysia, by using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models. **Environmental Earth Sciences**, v.60, n.5, p.1037-1054, 2011.

PRADHAN, B.; LEE, S.; BUCHROITHNER, M.F. A GIS-based back-propagation neural network model and its cross application and validation for landslide susceptibility analyses. **Computers Environment and Urban Systems**, v.34, p.216-235, 2010.

RAUBER, T.W. **Redes neurais artificiais**. Vitória, 1997. Apostila. Disponível em: <http://www.inf.ufes.br/~thomas/html/disc_rn.html>. Acesso em: 20 jan. 2014.

RIFO, L.L.R. **Análise combinatória, probabilidade noções de estatística**. [S.l]: UNESP, 2014. Apostila.

RODRIGUES, B.B. **Inventário e análise de susceptibilidade aos movimentos de massa gravitacionais e erosões na região de Águas de Lindóia/SP – Escala 1:10000**. 1998. 142p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

RODRIGUES, B.B. **Proposta de sistemática para tomada de decisão relativa a movimentos de massa gravitacionais: aplicação em Ouro Preto (MG)**. 2002. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2002.

RODRIGUES, B.B.; PEJON, O.J. Inventário e análise de susceptibilidade aos movimentos de massa gravitacionais: aplicação em Águas de Lindóia/SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, 1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABMS, 1998. p.1-9.

RYCHLIK, I.; RYDÉN, J. **Probability and risk analysis**: an introduction for engineers. New York: Springer, 2006.

SALVATI, P. et al. **Map of landslides and floods with human consequences in Italy**. Perugia: CNR, Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, 2003. (Publication nº 2822, Escala 1:1.200.000).

SANCHEZ, P.F. **Mapeamento espaço-temporal e previsão de pressões piezométricas em maciços rochosos de fundações de grandes barragens** – estudo de caso de Itaipu. 2009. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

SARITAS, I.; OZKAN, I.A.; SERT, I.U. Prognosis of prostate cancer by artificial neural networks. **Expert Systems with Applications**, v.37, p.6646-6650, Sept. 2010.

SASSA, K.; CANUTI, P. **Landslides** – disaster risk reduction. Berlin: Springer, 2009.

SHAHIN, M.A.; JAKSA, M.B.; MAIER, H.R. State of the art of artificial neural networks in geotechnical engineering. **Electronic Journal of Geotechnical Engineering**, v.8, p.1-26, 2008.

SILVA, A.F. **Estudo de previsão de escorregamento a partir do fator de segurança 3D**: Campos do Jordão-SP. 2009. 353p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

SILVA, I.N.; SPATTI D.; FLAUZINO, R. **Redes neurais artificiais para engenharia e ciências aplicadas**: curso prático. São Paulo: Artliber, 2010.

SINHA, S.K.; WANG, M.C. Artificial neural network prediction models for soil compaction and permeability. **Geotechnical Engineering Journal**, v.26, n.1, p.47-64, 2008.

SOUZA, M.L. **Mapeamento geotécnico da cidade de Ouro Preto-MG (Escala 1:10000)** - susceptibilidade aos movimentos de massa e processos correlatos. 1996. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

TAYLOR, D.W. Fundamentals of soil mechanics. **Soil Science**, v.66, n.2, p.161, 1948.

TERRAIN, D. E. A suggested method for describing the rate of movement of a landslide. Bulletin of the International **Association of Engineering Geology = Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur**, v.52, n.1, p.75-78, Oct. 1995.

THOMÉ, A.C.G. **Redes neurais** – uma ferramenta para KDD e data mining. Rio de Janeiro, 2003. Apostila. Disponível em: <http://equipe.nce.ufrj.br/thome/grad/nn/mat_didatico/apostila_kdd_mbi.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2014.

TONGZHEN, Y.; SHUNAN, Y.; HUIMING, T. "Easy sliding theory" and prognosis with poisson or binomial distribution of landslides. In: MARINOS, P.G. et al. (Ed.). **Engineering Geology and the Environment**. Rotterdam: A.A.Balkema, 1997. p.1137-1142.

ULUSAY, R.; HUDSON, J.A. (Ed.). Suggested method for rock characterization testing and monitoring. In: _____. **The Complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring**: 1974-2006. Ankara: ISRM Turkish National Group, 2007.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Landslide types and processes**. Reston: U.S. Department of the Interior, 2004. Ficha informativa.

VAN WESTEN, C.J. Geo-information tools for landslide risk assessment: an overview of recent developments. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LANDSLIDES, 9., 2004, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rotterdam: A.A.Balkema, 2004. p.39-56.

VARNES, D.J. Slope movement types and process. Landslides - analysis and control. **Transportation Research Board**, Special Report 176, p.11-13, 1978.

_____. **Landslide hazard zonation**: review of principle and practice. Paris: UNESCO, 1984.

WALPOLE, R.E. et al. **Probabilidade e estatística para engenharia e ciências**. Tradução de Luciane F. Pauleti Vianna. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

WANG, H.B.; SASSA, K. Rainfall-induced landslide hazard assessment using artificial neural networks. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.31, n.2, p.235-247, 2006.

WILLIAMSON, D.A.; KUHN, C.R. **The Unified classification system**. Rock engineering systems for engineering purposes. Philadelphia: American Society for Testing Materials, 1988. p.7-16. (ASTM STP 984).

WONG, B.K.; SELVI, Y. Neural network applications in finance: a review and analysis of literature (1990-1996). **Information & Management**, v.34, p.129-139, Oct. 1998.

XU, C. Preparation of earthquake-triggered landslide inventory maps using remote sensing and GIS technologies: Principles and case studies. **Geoscience Frontiers**, v.30, p.1-12, 2014.

YESILNACAR, E.; TOPAL, T. Landslide susceptibility mapping: a comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey). **Engineering Geology**, v.79, p.251–266, 2005.

ZENÓBIO, A.A. **Análise geológica-geotécnica de encostas naturais rochosas**: área urbana de Ouro Preto (MG) - escala 1:50.000. 2000. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

ZUQUETTE, L.V. Algumas propostas metodológicas para elaboração de cartas de riscos e de hazards. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 7., 1993, Poços de Caldas. **Anais...** São Paulo: ABGE, 1993. v.3, p.75-88.

ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N. **Cartografia geotécnica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

ANEXO I

Ocorrências utilizadas para Análise de Correlação (Castro, 2006)

Data	chuva (mm)	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6	AC7	Bairro	Logradouro	Nome	Tipo Processo
13-out-89	9,5	29,6	29,6	46,3	46,3	62,3	62,3	Piedade	Ladeira da Piedade, 170	Terezinha Zacarias de Oliveira	Escorregamento
17-out-89	18,5	18,5	18,5	18,5	28,0	48,1	48,1	Padre Faria	Desidério de Matos, 248 (alto da cruz)	João Pádua	Início de escorregamento
13-nov-89	32,6	44,4	62,8	64,1	64,1	64,1	65,2	Padre Faria	Padre Martins, 43 (santa efigênia)	Avelino Augusto da Silva	Escorregamento
14-nov-89	12,0	44,6	56,4	74,8	76,1	76,1	76,1	Santana	15 de Agosto, 60 (logradouro)	Geralda Martinha Barbosa	Escorregamento
23-nov-89	19,6	30,6	34,4	36,6	53,4	55,6	55,6	Padre Faria	Desidério de Matos, 355 (alto da cruz)	João Cláudio Nonato	Início de escorregamento
30-nov-89	16,8	17,5	37,7	37,7	37,7	73,1	73,1	Alto da Cruz	Francisco Isaac, 68-A	Antônio Francisco	Escorregamento e erosão
11-dez-89	24,4	24,4	24,4	24,4	29,5	29,5	29,5	Padre Faria	Padre Martins, 142	Maria de Lourdes Pereira	Início de escorregamento
11-dez-89	24,4	24,4	24,4	24,4	29,5	29,5	29,5	Taquaral	Águas Férreas, 889	Marta Celeste da Silva	Início de escorregamento
13-dez-89	49,0	84,0	108,4	108,4	108,4	108,4	113,5	Alto da Cruz	Francisco Isaac, 328	Beatriz Ferreira Vieira	Escorregamento
13-dez-89	49,0	84,0	108,4	108,4	108,4	108,4	113,5	Alto da Cruz	Francisco Isaac, 44	Maria do Rosário da Costa Estevan	Escorregamento
13-dez-89	49,0	84,0	108,4	108,4	108,4	108,4	113,5	Alto da Cruz	Francisco Isaac, 58	Efigênia Lucia Anastácia da Paixão	Escorregamento
14-dez-89	78,5	127,5	162,5	186,9	186,9	186,9	186,9	Centro	Salvador Trópia, 210	José Luís da Cunha	Escorregamento
14-dez-89	78,5	127,5	162,5	186,9	186,9	186,9	186,9	São Cristóvão	Candeias, 15D	Rodney Bráulio das Candeias	Escorregamento
14-dez-89	78,5	127,5	162,5	186,9	186,9	186,9	186,9	São Cristóvão	Manganês, 1079	Antônio José Lourenço	Escorregamento
14-dez-89	78,5	127,5	162,5	186,9	186,9	186,9	186,9	São Cristóvão	Pirita, 5	Maria Auxiliadora dos Santos Silva	Escorregamento
14-dez-89	78,5	127,5	162,5	186,9	186,9	186,9	186,9	São Cristóvão	Professor Alberto Barbosa, 84	Maria Margarida Dias	Início de escorregamento
14-dez-89	78,5	127,5	162,5	186,9	186,9	186,9	186,9	Taquaral	Águas Férreas, 182	Edioclésio Gerônimo da Silva	Escorregamento
16-dez-89	46,0	124,5	203,0	252,0	287,0	311,4	311,4	Alto da Cruz	Francisco Isaac, s/n	Amílcar Cirino de Vieira	Escorregamento
16-dez-89	46,0	124,5	203,0	252,0	287,0	311,4	311,4	Padre Faria	Desidério de Matos, 750 (alto da cruz)	Ana Francisca Carneiro	Início de escorregamento
16-dez-89	46,0	124,5	203,0	252,0	287,0	311,4	311,4	Padre Faria	Desidério de Matos, ao lado 750 (alto da cruz)	Geraldo Gomes	Início de escorregamento
12-jan-91	50,4	86,3	97,0	97,2	102,9	103,6	125,6	Piedade	Ladeira da Piedade, 174	Maria Pinto Duarte	Início de escorregamento
14-jan-91	15,8	36,2	86,6	122,5	133,2	133,4	139,1	Vila Aparecida	Rodrigo Silva, 410	Raimundo Nonato Toledo	Escorregamento
15-jan-91	50,7	66,5	86,9	137,3	173,2	183,9	184,1	Cabeças	Alvarenga, 219	Roque Liberato Nolasco	Escorregamento
15-jan-91	50,7	66,5	86,9	137,3	173,2	183,9	184,1	Padre Faria	Desiderio de Matos, 668	Ester de Paula Borges	Início de escorregamento
15-jan-91	50,7	66,5	86,9	137,3	173,2	183,9	184,1	Piedade	Abolição, 369 e 384	Joaquim de Paula Moreira	Escorregamento
16-jan-91	20,5	71,2	87,0	107,4	157,8	193,7	204,4	Santa Cruz	Rua 07, 115 (Santa Efigênia)	Maria de Lourdes Ramalho Alves	Escorregamento
17-jan-91	16,2	36,7	87,4	103,2	123,6	174,0	209,9	Alto da Cruz	Francisco Isaac, 383	Geuza Ribeiro Miriana	Escorregamento
17-jan-91	16,2	36,7	87,4	103,2	123,6	174,0	209,9	Antônio Dias	Carlos Tomás, 120	Sebastião Eustáquio Gonçalves	Escorregamento
17-jan-91	16,2	36,7	87,4	103,2	123,6	174,0	209,9	Antônio Dias	Conselheiro Quintiliano, 760 (Alto da Cruz)	Celso Alves Moreira	Escorregamento
17-jan-91	16,2	36,7	87,4	103,2	123,6	174,0	209,9	Centro	Padre Rolim, s/n, próximo ao Educandário	Antônio Dimas Mendes	Escorregamento
17-jan-91	16,2	36,7	87,4	103,2	123,6	174,0	209,9	Santa Cruz	Rua Projetada Três, 221 (Santa Efigênia)	José Claro Ségala	Escorregamento
17-jan-91	16,2	36,7	87,4	103,2	123,6	174,0	209,9	Santa Cruz	Rua Projetada Três, 251 (Santa Efigênia)	Augusta Mesquita Silva	Escorregamento
17-jan-91	16,2	36,7	87,4	103,2	123,6	174,0	209,9	São Cristóvão	São Miguel Arcanjo, 320	Dulcineia Delfina Amâncio Pires	Escorregamento
17-jan-91	16,2	36,7	87,4	103,2	123,6	174,0	209,9	Volta do Córrego	Padre Rolim, 58 (Logradouro, 236)	Geralda Hilária da Silva	Escorregamento
18-jan-91	115,2	131,4	151,9	202,6	218,4	238,8	289,2	Alto da Cruz	Doutor João Veloso, 249	Raimundo da Silva Filho	Escorregamento
18-jan-91	115,2	131,4	151,9	202,6	218,4	238,8	289,2	Alto da Cruz	Logradouro, 198	Francisco Araújo de Souza	Escorregamento
18-jan-91	115,2	131,4	151,9	202,6	218,4	238,8	289,2	Padre Faria	Padre Faria, 274	Reginaldo Cardoso Alves	Escorregamento
18-jan-91	115,2	131,4	151,9	202,6	218,4	238,8	289,2	Padre Faria	Vereador José Teixeira, 312 e 314 (santa efigênia)	Maria das Graças Peres	Escorregamento
18-jan-91	115,2	131,4	151,9	202,6	218,4	238,8	289,2	Santana	José Moreira Junior, 532	Geraldo Ferreira da Silva	Início de escorregamento
18-jan-91	115,2	131,4	151,9	202,6	218,4	238,8	289,2	Santana	São Pedro, 151	Djalma dos Reis	Escorregamento
19-jan-91	8,2	123,4	139,6	160,1	210,8	226,6	247,0	Rosário	Getúlio Vargas, s/n	Nila Maria Almeida Oliveira Costa	Escorregamento
19-jan-91	8,2	123,4	139,6	160,1	210,8	226,6	247,0	Vila Aparecida	Rodrigo Silva, 373	Maria da Conceição Duarte	Escorregamento
04-jan-92	25,0	26,4	33,4	79,4	79,4	79,7	121,7	Volta do Córrego	Padre Rolim, s/n	Terezinha de Jesus Santos	Escorregamento
10-jan-92	35,5	39,3	39,3	39,3	71,3	99,5	124,5	Padre Faria	Desiderio de Matos, 670-A	Manoel Victorino	Escorregamento

Data	chuva (mm)	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6	AC7	Bairro	Logradouro	Nome	Tipo Processo
15-jan-92	6,6	48,8	79,3	79,3	79,3	114,8	118,6	Santana	Travessa Santa Rita, 65-A	Maria Ângela de Azevedo	Escorregamento
16-jan-92	18,6	25,2	67,4	97,9	97,9	97,9	133,4	Saramenha	Américo René Gianetti, 1877	Silmara Maria Mendes	Início de escorregamento
20-jan-92	81,0	90,1	98,2	132,0	150,6	157,2	199,4	São Cristóvão	Platina, 116	José Luzia de Oliveira	Escorregamento
21-jan-92	19,8	100,8	109,9	118,0	151,8	170,4	177,0	Água Limpa	Professor Antônio de Paula Ribas, 282	Regina Celly de Carvalho	Escorregamento
22-jan-92	19,6	39,4	120,4	129,5	137,6	171,4	190,0	Água Limpa	Augusto Correia de Magalhães, 143	Geraldo Isaac	Início de escorregamento
23-jan-92	56,5	76,1	95,9	176,9	186,0	194,1	227,9	Água Limpa	Elisa Gramigna Ferrari (São Cristóvão)	Marialva da Cruz Ramos	Início de escorregamento
23-jan-92	56,5	76,1	95,9	176,9	186,0	194,1	227,9	Alto da Cruz	Francisco Isaac, 1	Célia Maria dos Anjos	Escorregamento
23-jan-92	56,5	76,1	95,9	176,9	186,0	194,1	227,9	Antônio Dias	Travessa das Lajes, 173	Antônio Roberto Rodrigues	Escorregamento
23-jan-92	56,5	76,1	95,9	176,9	186,0	194,1	227,9	Cabeças	Franklin Amâncio dos Santos, 120	Anésia da Silva Nascimento	Escorregamento
23-jan-92	56,5	76,1	95,9	176,9	186,0	194,1	227,9	Padre Faria	Desiderio de Matos, 668 (caminho da fábrica)	Pedro Divino	Escorregamento
23-jan-92	56,5	76,1	95,9	176,9	186,0	194,1	227,9	Padre Faria	Pe Martins, 151 (caminho da fábrica)	Maria de Fátima Ferrar Guimaraes	Escorregamento
23-jan-92	56,5	76,1	95,9	176,9	186,0	194,1	227,9	Piedade	Abolição, 177	Jorge de Paula Mendes	Início de escorregamento
23-jan-92	56,5	76,1	95,9	176,9	186,0	194,1	227,9	Piedade	Ladeira da Piedade, 136	Edna da Conceição Ramalho,	Escorregamento
23-jan-92	56,5	76,1	95,9	176,9	186,0	194,1	227,9	Santana	15 de Agosto, 608	Quitéria Julia Alves	Escorregamento
23-jan-92	56,5	76,1	95,9	176,9	186,0	194,1	227,9	Taquaral	Águas Férreas, 1029	Irene Rosa Martins e Maria Luísa de Jesus	Escorregamento
23-jan-92	56,5	76,1	95,9	176,9	186,0	194,1	227,9	Taquaral	Águas Férreas, 74	Antônio Rodrigues de Sá	Início de escorregamento
23-jan-92	56,5	76,1	95,9	176,9	186,0	194,1	227,9	Taquaral	Logradouro 06-85, 120; Águas Férreas	Carlos Alberto Cardoso Alves	Escorregamento
23-jan-92	56,5	76,1	95,9	176,9	186,0	194,1	227,9	Tombadouro	Geraldo Jesus Gonçalves, 155 (caminho da Fábrica)	Osmar Pinto de Souza	Escorregamento
23-jan-92	56,5	76,1	95,9	176,9	186,0	194,1	227,9	Volta do Córrego	Padre Rolim, s/n	PM de Ouro Preto	Escorregamento
24-jan-92	106,8	163,3	182,9	202,7	283,7	292,8	300,9	Bauxita	Perimetral, 464	Maria de Jesus Carvalho Gomes	Escorregamento
24-jan-92	106,8	163,3	182,9	202,7	283,7	292,8	300,9	N. Sra. do Carmo	Rua 4, 163	José Roberto Camilo de Moura	Escorregamento
24-jan-92	106,8	163,3	182,9	202,7	283,7	292,8	300,9	Pilar	Rua do Pilar, 86 B	Ronaldo Guilherme Rodrigues Peret	Início de escorregamento
24-jan-92	106,8	163,3	182,9	202,7	283,7	292,8	300,9	São Cristóvão	Platina, 110	Bento Teixeira do Nascimento	Escorregamento
24-jan-92	106,8	163,3	182,9	202,7	283,7	292,8	300,9	Saramenha	Lima Júnior, 1542	Clorides Catarina Pinto	Escorregamento
25-jan-92	13,7	120,5	177,0	196,6	216,4	297,4	306,5	Rosário	Gabriel Santos, 200	Maria Raimunda dos Santos Xavier	Início de escorregamento
25-jan-92	13,7	120,5	177,0	196,6	216,4	297,4	306,5	Santa Cruz	Rua Projetada 3, 270 (Alto da Cruz)	Carlos Alberto da Silva	Escorregamento
29-jan-92	8,5	8,7	15,5	16,8	30,5	137,3	193,8	N. Sra. do Carmo	04 de Maio, 60	Izabel Cristina dos Santos	Início de escorregamento
02-fev-92	11,2	46,6	91,8	98,8	107,3	107,5	114,3	Antônio Dias	Chico Rei, 214	Ivair Fabiano Silva	Escorregamento
02-fev-92	11,2	46,6	91,8	98,8	107,3	107,5	114,3	Centro	Padre Rolim, s/n, igreja das Mercês de cima	Sargento Waldecir	Escorregamento
02-fev-92	11,2	46,6	91,8	98,8	107,3	107,5	114,3	Volta do Córrego	Volta do Córrego, s/n	Rogério de Sales	Escorregamento
03-fev-92	60,0	71,2	106,6	151,8	158,8	167,3	167,5	Água Limpa	Joaquim Fortes, 80	Sinval Rodrigues de Irineu	Escorregamento
03-fev-92	60,0	71,2	106,6	151,8	158,8	167,3	167,5	Centro	Praça Tiradentes, s/n, beco do Pilão, prox CAEM	Alberto Carlos Rietberg	Escorregamento
03-fev-92	60,0	71,2	106,6	151,8	158,8	167,3	167,5	Padre Faria	Desiderio de Matos, 980	Sebastião Francisco de Jesus	Escorregamento
03-fev-92	60,0	71,2	106,6	151,8	158,8	167,3	167,5	Santana	15 de Agosto, 17, logradouro 5877	Maria Sônia de Oliveira	Escorregamento
05-fev-92	27,6	53,0	113,0	124,2	159,6	204,8	211,8	Alto da Cruz	13 de Maio, 827	José Conrado da Silva	Escorregamento
05-fev-92	27,6	53,0	113,0	124,2	159,6	204,8	211,8	Taquaral	Rodovia dos Inconfidentes, Motel Sunny-day	Jarbas Soares Júnior (promotor)	Escorregamento
06-fev-92	42,3	69,9	95,3	155,3	166,5	201,9	247,1	Alto da Cruz	13 de Maio, 757	João da Silva	Escorregamento e queda bloco
06-fev-92	42,3	69,9	95,3	155,3	166,5	201,9	247,1	Piedade	José Anastácio	Nadir das Graças Lima Lopes	Escorregamento e queda de blocos
06-fev-92	42,3	69,9	95,3	155,3	166,5	201,9	247,1	Piedade	Taquaral, s/n	Alfredo Ferreira Guimarães	Escorregamento
07-fev-92	8,0	50,3	77,9	103,3	163,3	174,5	209,9	Santa Cruz	Rua Projetada, s/n (Santa Efigênia)	Maria do Socorro da Silva	Escorregamento
08-fev-92	18,3	26,3	68,6	96,2	121,6	181,6	192,8	Vila São José	Doutor Albino Sartori, 265	Vicente Heleno dos Anjos	Início de escorregamento
04-dez-95	11,6	11,6	19,1	32,5	35,3	35,3	35,3	Padre Faria	Santa Rita, 820	José Humberto Ibrahim	Escorregamento
04-dez-95	11,6	11,6	19,1	32,5	35,3	35,3	35,3	Vila Aparecida	Amarantina, 160	Luciana Corrêia Magalhães, república 100 juízo	Escorregamento
14-dez-95	97,9	127,4	127,4	127,4	127,4	128,0	138,5	Alto da Cruz	Doutor João Veloso, 118 e Santa Efigênia, 309	Fernando Casagrande e Walter Marques Meira	Escorregamento

Data	chuva (mm)	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6	AC7	Bairro	Logradouro	Nome	Tipo Processo
14-dez-95	97,9	127,4	127,4	127,4	127,4	128,0	138,5	Alto da Cruz	Francisco Isaac, 293	Danilo Vidigal	Escorregamento
14-dez-95	97,9	127,4	127,4	127,4	127,4	128,0	138,5	Barra	Beco da Mãe Chica, s/n	Odilson (ou Adilson) dos Santos Neves	Início de escorregamento
14-dez-95	97,9	127,4	127,4	127,4	127,4	128,0	138,5	Santa Cruz	das Orquídeas, s/n, a 100m da rua dos Girassois	Francisco Rosa, proximidades	Escorregamento
14-dez-95	97,9	127,4	127,4	127,4	127,4	128,0	138,5	Santa Cruz	dos Girassóis, s/n	Francisco Rosa	Escorregamento
14-dez-95	97,9	127,4	127,4	127,4	127,4	128,0	138,5	Santana	José Moreira Junior, 750	José Morato	Escorregamento
14-dez-95	97,9	127,4	127,4	127,4	127,4	128,0	138,5	São Cristóvão	Padre Rolim, 06	Tereza Canuta dos Santos	Escorregamento
14-dez-95	97,9	127,4	127,4	127,4	127,4	128,0	138,5	Tombadouro	Geraldo Jesus Gonçalves, 748 (Alto da Cruz)	Rosemary Maria Silva	Escorregamento
15-dez-95	7,0	104,9	134,4	134,4	134,4	134,4	135,0	Antônio Dias	José Diogo dos Santos, 58	Orelina Alves de A. Silva	Escorregamento
15-dez-95	7,0	104,9	134,4	134,4	134,4	134,4	135,0	Dores	Doutor Antonio Ibrahim, 55	José Aparecido da C. Gomes	Escorregamento
15-dez-95	7,0	104,9	134,4	134,4	134,4	134,4	135,0	Padre Faria	Desidério de Matos, 668	Ester de Paula	Escorregamento
15-dez-95	7,0	104,9	134,4	134,4	134,4	134,4	135,0	Santa Cruz	das Orquídeas, s/n	Rogério Afonso Ferreira da Silva	Escorregamento
15-dez-95	7,0	104,9	134,4	134,4	134,4	134,4	135,0	Santana	24 de Junho, 519	Otacílio Dias	Escorregamento
15-dez-95	7,0	104,9	134,4	134,4	134,4	134,4	135,0	Santana	24 de Junho, 596	Amanda Neves	Escorregamento
15-dez-95	7,0	104,9	134,4	134,4	134,4	134,4	135,0	Taquaral	Águas Férreas, 48	Jandira dos Anjos Corrêia	Escorregamento
25-dez-95	37,1	70,8	75,2	99,7	116,2	123,1	135,9	Alto da Cruz	Francisco Isaac, 68-A	Antonio Francisco	Escorregamento
25-dez-95	37,1	70,8	75,2	99,7	116,2	123,1	135,9	Alto da Cruz	Francisco Isaac, 68-B	Maria Pereira da Silva	Escorregamento
25-dez-95	37,1	70,8	75,2	99,7	116,2	123,1	135,9	Tombadouro	Anacleto Faria, 22 (Santa Efigênia)	Jadir dos Reis Filho	Escorregamento
25-dez-95	37,1	70,8	75,2	99,7	116,2	123,1	135,9	Tombadouro	Anacleto Farias, 24 (Santa Efigênia)	José Fernandes da Costa	Escorregamento
26-dez-95	78,5	115,6	149,3	153,7	178,2	194,7	201,6	Alto da Cruz	Francisco Isaac, 240	Maria das Graças Santos	Escorregamento
26-dez-95	78,5	115,6	149,3	153,7	178,2	194,7	201,6	Barra	Beco da Mãe Chica, s/n	Marlene Júlia Neves	Início de escorregamento
26-dez-95	78,5	115,6	149,3	153,7	178,2	194,7	201,6	Bauxita	Perimetral, 464	César Augusto de Carvalho	Escorregamento
26-dez-95	78,5	115,6	149,3	153,7	178,2	194,7	201,6	Centro	Valentin Policarpo de Lima, 136	José Pedro Nogueira	Início de escorregamento
26-dez-95	78,5	115,6	149,3	153,7	178,2	194,7	201,6	Padre Faria	Padre Martins, 51 (alto da cruz)	Otacílio Juliano Pereira	Escorregamento
26-dez-95	78,5	115,6	149,3	153,7	178,2	194,7	201,6	Padre Faria	Santa Rita, 236 (Alto da Cruz)	Maria Eugênia Silva	Escorregamento
26-dez-95	78,5	115,6	149,3	153,7	178,2	194,7	201,6	Santana	15 de Agosto, 608	Marcos Antonio da Costa	Escorregamento
26-dez-95	78,5	115,6	149,3	153,7	178,2	194,7	201,6	São Cristóvão	Padre Rolim, 47	Rubens Silvestre	Escorregamento
26-dez-95	78,5	115,6	149,3	153,7	178,2	194,7	201,6	Saramenha	Américo René Gianetti, 1846	Maurício da Silva Mendes	Escorregamento
26-dez-95	78,5	115,6	149,3	153,7	178,2	194,7	201,6	Tombadouro	Anacleto Faria, 23 (Alto da Cruz)	Nádia Aparecida Santos	Escorregamento
27-dez-95	15,8	94,3	131,4	165,1	169,5	194,0	210,5	Antônio Dias	Travessa das Lajes, 154	José Aurélio de Paula	Escorregamento
27-dez-95	15,8	94,3	131,4	165,1	169,5	194,0	210,5	Rosário	Gabriel Santos, 60	Ieda Maria Reis Lima	Escorregamento
28-dez-95	13,0	28,8	107,3	144,4	178,1	182,5	207,0	São Cristóvão	Abelardo Braga, 256	Marilene Aparecida Novaes	Início de escorregamento
30-dez-95	8,4	24,8	37,8	53,6	132,1	169,2	202,9	Água Limpa	Professor Antonio de Paula Ribas, 161-B	Nair Alves	Escorregamento
03-nov-96	18,0	44,5	66,0	66,0	66,0	66,6	107,3	Padre Faria	Padre Martins, 151 (tombadouro)	Maria de Fátima F. Guimarães	Escorregamento
18-nov-96	72,3	80,1	87,5	101,1	101,1	101,1	103,9	Santa Cruz	Rua 1 (das Orquídeas), 23 (Alto da Cruz)	Francisco Pinheiro da Cruz	Escorregamento
19-nov-96	49,1	121,4	129,2	136,6	150,2	150,2	150,2	Bauxita	Acesso campus UFOP, 461 (morro do cruzeiro)	Eustáquio M. Bento	Escorregamento
19-nov-96	49,1	121,4	129,2	136,6	150,2	150,2	150,2	Piedade	Abolição, 383 e Logradouro 14174, n. 37	Mauro César Goes e Raimundo S. Noé	Escorregamento e queda de bloco
19-nov-96	49,1	121,4	129,2	136,6	150,2	150,2	150,2	Tombadouro	Anacleto Farias, 22 (caminho da Fábrica)	Dina Amélia dos Reis	Escorregamento
20-nov-96	11,8	60,9	133,2	141,0	148,4	162,0	162,0	São Cristóvão	José Feliciano de Meira, 236	João do Espírito Santo Fernandes	Escorregamento
21-nov-96	50,4	62,2	111,3	183,6	191,4	198,8	212,4	Alto da Cruz	Francisco Isaac, 1	Cristiano Rocha	Escorregamento
21-nov-96	50,4	62,2	111,3	183,6	191,4	198,8	212,4	Antônio Dias	Chico Rei, 286B (Alto da Cruz)	Aparecida Damasia	Escorregamento
21-nov-96	50,4	62,2	111,3	183,6	191,4	198,8	212,4	Padre Faria	Cristo Operário, 41 (Alto da Cruz)	Sérgio Luís Moreira	Escorregamento e corrida de detritos
21-nov-96	50,4	62,2	111,3	183,6	191,4	198,8	212,4	Padre Faria	Padre Martins, 143	Maria Barbosa da Mota Correia	Escorregamento
21-nov-96	50,4	62,2	111,3	183,6	191,4	198,8	212,4	Padre Faria	Padre Martins, 155	Dulcinea Sabino Cesário	Início de escorregamento
21-nov-96	50,4	62,2	111,3	183,6	191,4	198,8	212,4	Santa Cruz	dos Girassóis, 120	Raimundo Diniz Dionisio	Escorregamento

Data	chuva (mm)	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6	AC7	Bairro	Logradouro	Nome	Tipo Processo
21-nov-96	50,4	62,2	111,3	183,6	191,4	198,8	212,4	Santa Cruz	dos Ipês, 50	José Celestino de Paula	Escorregamento
21-nov-96	50,4	62,2	111,3	183,6	191,4	198,8	212,4	Tombadouro	Geraldo Jesus Gonçalves, 43	Avelino Augusto Silva	Escorregamento
22-nov-96	54,2	104,6	116,4	165,5	237,8	245,6	253,0	Bauxita	Lagoa do Gambá, s/n próximo n. 1070	Donizete D. Dias	Escorregamento
22-nov-96	54,2	104,6	116,4	165,5	237,8	245,6	253,0	Cabeças	Alvarenga, 58	Jadi Pascoal Cota	Escorregamento
22-nov-96	54,2	104,6	116,4	165,5	237,8	245,6	253,0	Centro	Teixeira Amaral, 24 (restaurante)	Rubens Viana de Oliveira	Escorregamento
22-nov-96	54,2	104,6	116,4	165,5	237,8	245,6	253,0	Padre Faria	Padre Martins, 151 (caminho da fábrica)	Maria de Fátima F. Guimarães	Escorregamento
22-nov-96	54,2	104,6	116,4	165,5	237,8	245,6	253,0	Santa Cruz	dos Ipês, 94	Aparecida L. Rodrigues	Início de escorregamento
24-nov-96	3,6	39,0	93,2	143,6	155,4	204,5	276,8	Barra	Beco da Mãe Chica, s/n	Marlene Julio Santos	Escorregamento
24-nov-96	3,6	39,0	93,2	143,6	155,4	204,5	276,8	Tombadouro	José Moreira Dias, 173 (caminho da fábrica)	José Mauro da Silva	Escorregamento e erosão
12-dez-96	21,2	21,2	21,2	36,1	51,4	53,1	53,1	Alto da Cruz	do Cruzeiro, 64	Afrânio Gregório	Escorregamento
23-dez-96	15,8	35,8	61,7	109,5	110,9	117,9	131,5	Santa Cruz	das Flores, 141	Milton Vitorino Silva	Início de escorregamento
30-dez-96	3,3	3,3	11,0	14,8	80,0	90,0	126,0	Saramenha	José da Silva Mendes, 91	José Gonçalves dos Santos	Escorregamento
02-jan-97	89,6	109,8	109,8	113,1	113,1	120,8	124,6	Alto da Cruz	Francisco Isaac, 315	Antonio Correa	Escorregamento
02-jan-97	89,6	109,8	109,8	113,1	113,1	120,8	124,6	Alto da Cruz	Francisco Isaac, 80	Carlos Virgílio	Escorregamento
02-jan-97	89,6	109,8	109,8	113,1	113,1	120,8	124,6	Barra	Argemiro Sana, 122	Fernando Antonio	Escorregamento
02-jan-97	89,6	109,8	109,8	113,1	113,1	120,8	124,6	Bauxita	Perimetral, 464, proximidades	Marcio Vaz	Escorregamento
02-jan-97	89,6	109,8	109,8	113,1	113,1	120,8	124,6	Dores	Doutor Antônio Ibrahim, 55	Rogério dos Santos	Escorregamento
02-jan-97	89,6	109,8	109,8	113,1	113,1	120,8	124,6	Dores	Doutor Antônio Ibrahim, 66	Maria Martins	Escorregamento
02-jan-97	89,6	109,8	109,8	113,1	113,1	120,8	124,6	N. Sra. do Carmo	Rua 4, 163	Maria Aparecida Silva	Escorregamento
02-jan-97	89,6	109,8	109,8	113,1	113,1	120,8	124,6	Padre Faria	Padre Martins, 151 e 142	Maria de Fátima F. Guimarães e Sonia Maria	Escorregamento
02-jan-97	89,6	109,8	109,8	113,1	113,1	120,8	124,6	São Cristóvão	Manganês, 193	Maria Marta Ramos	Escorregamento
02-jan-97	89,6	109,8	109,8	113,1	113,1	120,8	124,6	São Cristóvão	Manganês, s/n	Magna Auxiliadora	Escorregamento
02-jan-97	89,6	109,8	109,8	113,1	113,1	120,8	124,6	Saramenha	Lima Júnior	Antonio Donizetti, 6o PPM	Escorregamento
02-jan-97	89,6	109,8	109,8	113,1	113,1	120,8	124,6	Saramenha	Lima Júnior, 1582	Celia Lucia Silva	Escorregamento e erosão
02-jan-97	89,6	109,8	109,8	113,1	113,1	120,8	124,6	Saramenha	Rodovia Rodrigo Mello Franco de Andrade	Murilo Antonio dos Santos	Escorregamento e queda de blocos
02-jan-97	89,6	109,8	109,8	113,1	113,1	120,8	124,6	Taquaral	Águas Férreas, 1021 e 1029	Antonio Isaías de Almeida	Escorregamento e queda de blocos
02-jan-97	89,6	109,8	109,8	113,1	113,1	120,8	124,6	Taquaral	Águas Férreas, 891	Roseli Aparecida	Escorregamento
02-jan-97	89,6	109,8	109,8	113,1	113,1	120,8	124,6	Taquaral	Águas Férreas, 925	Geraldo das Dores Santos (falecido)	Escorregamento
03-jan-97	114,2	203,8	224,0	224,0	227,3	227,3	235,0	Água Limpa	Tomé Afonso, 355	Marcilio Ribeiro	Escorregamento
03-jan-97	114,2	203,8	224,0	224,0	227,3	227,3	235,0	Bauxita	Perimetral, 512	Nádia A. A. Alves	Escorregamento
03-jan-97	114,2	203,8	224,0	224,0	227,3	227,3	235,0	Cabeças	Professor Honório Esteves, 240	Eloisa M. Fernandes	Escorregamento
03-jan-97	114,2	203,8	224,0	224,0	227,3	227,3	235,0	Padre Faria	Padre Martins, 71A (caminho da fábrica)	Elza Vieira	Escorregamento
03-jan-97	114,2	203,8	224,0	224,0	227,3	227,3	235,0	Rosário	Gabriel Santos, 78	Maria E. Santos	Escorregamento
03-jan-97	114,2	203,8	224,0	224,0	227,3	227,3	235,0	Santa Cruz	das Flores, 141	Milton V. da Silva	Escorregamento
03-jan-97	114,2	203,8	224,0	224,0	227,3	227,3	235,0	São Cristóvão	Manganês, 55 (logradouro)	Maria Eugênia	Escorregamento
03-jan-97	114,2	203,8	224,0	224,0	227,3	227,3	235,0	São Cristóvão	Mecânico José Português, prox. sede publ. munic.	Sinval Rodrigues	Escorregamento
03-jan-97	114,2	203,8	224,0	224,0	227,3	227,3	235,0	São Cristóvão	Professor Brito Machado, 83-A	Maria L. M. André	Escorregamento
03-jan-97	114,2	203,8	224,0	224,0	227,3	227,3	235,0	Vila Aparecida	Alterosa, 47	Luiz Carlos Alvim	Escorregamento
03-jan-97	114,2	203,8	224,0	224,0	227,3	227,3	235,0	Vila Aparecida	Rodrigo Silva, 424	José Cabral	Escorregamento
03-jan-97	114,2	203,8	224,0	224,0	227,3	227,3	235,0	Volta do Córrego	Vereador Miguel Alves Pereira, s.n.	Moisés da Silva	Escorregamento
04-jan-97	110,2	224,4	314,0	334,2	334,2	337,5	337,5	Antônio Dias	Dom Silvério, 258	Érika Vieira de Miranda	Escorregamento
04-jan-97	110,2	224,4	314,0	334,2	334,2	337,5	337,5	N. Sra. do Carmo	Rua 4, 163-A	Antonio Gervázio Moreira	Escorregamento
04-jan-97	110,2	224,4	314,0	334,2	334,2	337,5	337,5	Piedade	Logradouro 5.007, n. 25 e n.45	Daniel da Costa	Escorregamento
04-jan-97	110,2	224,4	314,0	334,2	334,2	337,5	337,5	Santa Cruz	das Violetas, 197	Adalton Santana	Escorregamento

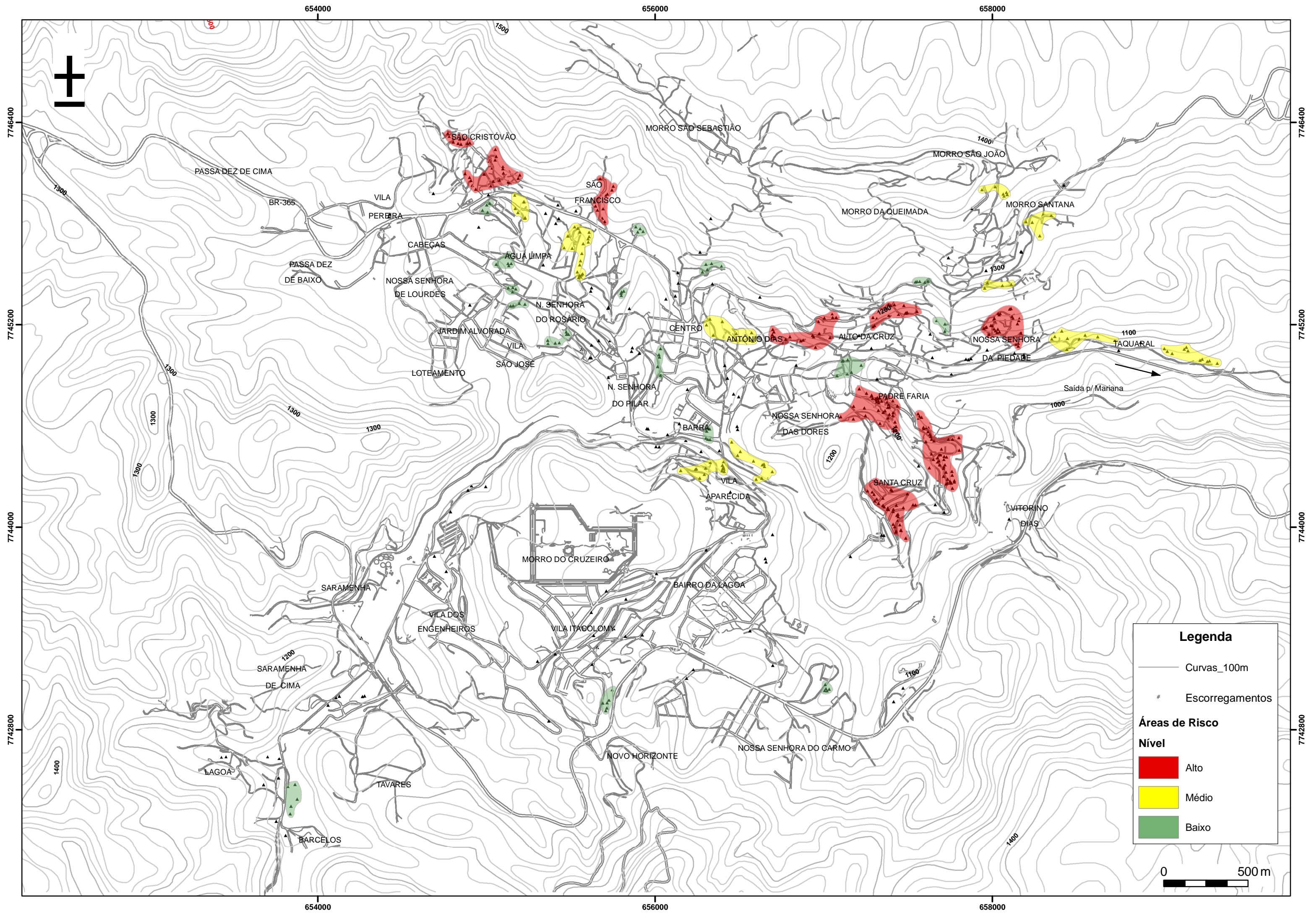
Data	chuva (mm)	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6	AC7	Bairro	Logradouro	Nome	Tipo Processo
04-jan-97	110,2	224,4	314,0	334,2	334,2	337,5	337,5	Santa Cruz	das Violetas, 256	Altair José	Início de escorregamento
04-jan-97	110,2	224,4	314,0	334,2	334,2	337,5	337,5	São Cristóvão	São Miguel Arcaño, 227	Antônio Ferreira Salles	Escorregamento
04-jan-97	110,2	224,4	314,0	334,2	334,2	337,5	337,5	Saramenha	Adelaide Ansaloni, 341	José Francisco Ferreira	Escorregamento
04-jan-97	110,2	224,4	314,0	334,2	334,2	337,5	337,5	Saramenha	Manoel Rioga, 97	Cláudio Fernandes Braga	Escorregamento
04-jan-97	110,2	224,4	314,0	334,2	334,2	337,5	337,5	Tombadouro	Anacleto Faria, 41 (Pe Faria)	Juvenal Batista dos Santos	Escorregamento
04-jan-97	110,2	224,4	314,0	334,2	334,2	337,5	337,5	Volta do Córrego	Vereador Miguel Alves Pereira, 650	Luiz A. de Souza	Escorregamento
05-jan-97	27,3	137,5	251,7	341,3	361,5	361,5	364,8	Barra	Othon Guimarães, 01	Maria da Consolação	Escorregamento
05-jan-97	27,3	137,5	251,7	341,3	361,5	361,5	364,8	Pilar	Benedito Valadares, 241	Luiz Bitencourt Oliveira	Escorregamento e queda de blocos
05-jan-97	27,3	137,5	251,7	341,3	361,5	361,5	364,8	São Cristóvão	José Araujo Dias, 185-C	Neusa Guimarães Reis	Escorregamento e queda de blocos
05-jan-97	27,3	137,5	251,7	341,3	361,5	361,5	364,8	São Cristóvão	Tomás Brandão, 180	Sanny Alessandra Lima	Escorregamento
05-jan-97	27,3	137,5	251,7	341,3	361,5	361,5	364,8	Vila Aparecida	Amarantina, 245	Valter Marcelo da Silva	Escorregamento
05-jan-97	27,3	137,5	251,7	341,3	361,5	361,5	364,8	Vila Aparecida	Rodrigo Silva, 478	Tais Araújo de Souza	Escorregamento
06-jan-97	44,2	71,5	181,7	295,9	385,5	405,7	405,7	Cabeças	Franklin Amâncio dos Santos, 128	Jackson Santos Marinho	Escorregamento
06-jan-97	44,2	71,5	181,7	295,9	385,5	405,7	405,7	Cabeças	Franklin Amâncio dos Santos, 81	José Vitor Dias	Escorregamento
06-jan-97	44,2	71,5	181,7	295,9	385,5	405,7	405,7	Santa Cruz	das Mangabeiras, 260	Vanessa Patrícia Gomes	Escorregamento
06-jan-97	44,2	71,5	181,7	295,9	385,5	405,7	405,7	Saramenha	José da Silva Mendes, 176	Luciano Mapa	Escorregamento
06-jan-97	44,2	71,5	181,7	295,9	385,5	405,7	405,7	Saramenha	Manoel Rioga, 07 (ou 57?)	Andrea C. Rioga	Escorregamento
06-jan-97	44,2	71,5	181,7	295,9	385,5	405,7	405,7	Vila São José	Doutor Albino Sartori, 279	Leda Solbelman	Escorregamento
08-jan-97	6,7	6,7	50,9	78,2	188,4	302,6	392,2	Alto da Cruz	Francisco Isaac, 1	Vicente dos Anjos	Escorregamento
08-jan-97	6,7	6,7	50,9	78,2	188,4	302,6	392,2	Alto da Cruz	Francisco Isaac, 173	José Mateus	Escorregamento
08-jan-97	6,7	6,7	50,9	78,2	188,4	302,6	392,2	Alto da Cruz	Francisco Isaac, 179	Maria da Conceição Fernandes	Escorregamento
08-jan-97	6,7	6,7	50,9	78,2	188,4	302,6	392,2	Alto da Cruz	Francisco Isaac, 237 (ou 357)	Welligton de Jesus	Escorregamento
08-jan-97	6,7	6,7	50,9	78,2	188,4	302,6	392,2	Rosário	Getúlio Vargas, 180	Sílvia Almeida Martins	Escorregamento
13-jan-97	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	29,4	29,4	Vila Aparecida	Cachoeira do Campo, 229	Irmázio F. Santos	Escorregamento
16-jan-97	5,5	5,5	6,4	29,1	29,1	29,1	29,1	Santa Cruz	das Flores, 92 e 104	Geraldo L. Passos e Juventino V. Paula	Início de escorregamento
16-jan-97	5,5	5,5	6,4	29,1	29,1	29,1	29,1	Saramenha	Itacolomi, 814	Roberto M. M. Carrilho	Escorregamento
16-jan-97	5,5	5,5	6,4	29,1	29,1	29,1	29,1	Volta do Córrego	Vereador Miguel Alves Pereira, 67 (centro)	Antonio J. Ferreira	Escorregamento
17-jan-97	16,3	21,8	21,8	22,7	45,4	45,4	45,4	Antônio Dias	Dom Silvério, 258	Maria Clara Vieira	Escorregamento
18-nov-01	45,8	65,8	83,6	83,6	99,6	146,6	154,3	Alto da Cruz	13 de maio, 455	Ederlane Jesus Queiroz	Escorregamento
18-nov-01	45,8	65,8	83,6	83,6	99,6	146,6	154,3	Alto da Cruz	13 de maio, 864 - A	Thiago José Gomes	Escorregamento
18-nov-01	45,8	65,8	83,6	83,6	99,6	146,6	154,3	Alto da Cruz	15 de Agosto, 712 A	Dimas de Freitas	Escorregamento
18-nov-01	45,8	65,8	83,6	83,6	99,6	146,6	154,3	Padre Faria	Santa Rita, 677	Sérgio da Conceição da Lapa Queiroz	Escorregamento
18-nov-01	45,8	65,8	83,6	83,6	99,6	146,6	154,3	Piedade	José Anastacio, 215	Carlos Roberto Custódio	Escorregamento
18-nov-01	45,8	65,8	83,6	83,6	99,6	146,6	154,3	Santana	24 de Junho, 557	Neri Moltinho	Início de escorregamento
01-dez-01	66,0	69,4	97,4	97,4	102,2	108,6	108,9	Vila Aparecida	Rodrigo Silva, 36	Maria das Mercês Pompeia	Escorregamento
18-dez-01	18,6	77,9	88,5	105,9	105,9	105,9	105,9	Piedade	José Anastacio, s/n	??????	Escorregamento
30-dez-01	35,5	44,4	46,7	69,2	81,8	82,5	83,3	Morro São João	Ladeira João de Paiva, 800	Eloisa Helena Neto Valente	Início de escorregamento
31-dez-01	23,4	58,9	67,8	70,1	92,6	105,2	105,9	Bauxita	JK , 24	Marilza Aparecida Isidor Chagas	Início de escorregamento
06-jan-02	6,1	33,3	48,0	52,7	52,7	80,7	104,1	Padre Faria	Padre Martins, 147	Braz Pereira da Silva	Escorregamento
19-jan-02	30,2	87,2	88,8	108,4	122,4	140,7	140,7	Cruzeiro	do Cruzeiro, s/n	Sidney Santana	Início de escorregamento
18-fev-02	29,0	73,3	75,5	76,4	76,4	76,4	76,4	Centro	Xavier da Veiga, 506	Paulo Roberto de Menezes	Escorregamento
18-fev-02	29,0	73,3	75,5	76,4	76,4	76,4	76,4	Santa Cruz	das Flores, 138	Nilda Izidoro de Oliveira	Início de escorregamento
20-fev-02	17,1	38,4	67,4	111,7	113,9	114,8	114,8	Pilar	José Alexandre da Silva, 108 E	Luiz Paulo de Oliveira Xavier	Escorregamento
20-fev-02	17,1	38,4	67,4	111,7	113,9	114,8	114,8	Taquaral	Águas Férreas, 833	José Eulálio de Matos	Início de escorregamento

Data	chuva (mm)	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6	AC7	Bairro	Logradouro	Nome	Tipo Processo
17-nov-02	26,8	66,2	66,2	66,2	87,7	124,8	124,8	São Cristóvão	Padre Rolim, 1129	Nicia Cabral Danese	Início de escorregamento
18-nov-02	59,8	86,6	126,0	126,0	126,0	147,5	184,6	Água Limpa	Tomé de Vasconcelos, 270	Atair Agostinho da Costa	Início de escorregamento
11-dez-02	29,4	45,4	50,6	69,2	91,0	100,0	100,0	Caminho da Fábrica	Travessa Padre Martins, 166	Marlene Faria Lima	Escorregamento
11-dez-02	29,4	45,4	50,6	69,2	91,0	100,0	100,0	Padre Faria	Geraldo Jesus Gonçalves, 96	Oromar Ladislau da Motta	Escorregamento
12-dez-02	62,8	92,2	108,2	113,4	132,0	153,8	162,8	Água Limpa	Benjamin Machado, 298	Benedita Maria de Jesus Ribeiro	Escorregamento
12-dez-02	62,8	92,2	108,2	113,4	132,0	153,8	162,8	Vila São José	Dr. Afonso Baeta, 102	Paulo Roberto Borges	Escorregamento
13-dez-02	47,6	110,4	139,8	155,8	161,0	179,6	201,4	São Cristóvão	Professor Brito Machado, 49	Rosilene Xavier Ribeiro	Início de escorregamento
13-dez-02	47,6	110,4	139,8	155,8	161,0	179,6	201,4	São Francisco	Vereador Miguel Alves Pereira, 441 B	Marta Costa Martins	Escorregamento
14-dez-02	5,7	53,3	116,1	145,5	161,5	166,7	185,3	Alto da Cruz	do Cruzeiro, 205	Valdivino Geraldo da Silva	Escorregamento
18-dez-02	9,6	22,1	25,9	42,1	47,8	95,4	158,2	São Cristóvão	Mecânico José Português, 89	Mauro Luiz Guimarães	Escorregamento
26-dez-02	69,7	69,7	88,7	106,9	115,4	115,4	115,4	Alto da Cruz	13 de maio, 365	Carmélio Francisco de Paula	Escorregamento
05-jan-03	17,0	32,2	73,8	74,2	90,8	112,2	141,2	São Cristóvão	José Pedro de Meira, 30	Wellington César Ferreira de Souza	Escorregamento
07-jan-03	33,7	49,0	66,0	81,2	122,8	123,2	139,8	Alto da Cruz	Chico Rei, 286 C	Giovana Elizabeth de Souza Barbosa	Escorregamento
07-jan-03	33,7	49,0	66,0	81,2	122,8	123,2	139,8	Cabeças	Franklin Amâncio dos Santos, 120	Davi Alberto Custódio	Escorregamento
07-jan-03	33,7	49,0	66,0	81,2	122,8	123,2	139,8	Caminho da Fábrica	Anacleto Faria, 18	Lurdes Rosa Silva	Escorregamento
07-jan-03	33,7	49,0	66,0	81,2	122,8	123,2	139,8	Passa Dez	João Custódio, s/n	Adriana Claret Guiriarde Cristina	Escorregamento
07-jan-03	33,7	49,0	66,0	81,2	122,8	123,2	139,8	Pocinho	Rodovia Rodrigo Melo Franco de Andrade, s/n	Lurdes Bernado de Souza Rodrigues	Escorregamento
07-jan-03	33,7	49,0	66,0	81,2	122,8	123,2	139,8	São Cristóvão	Logradouro 235, 75	Carlos Maurício de Paula	Escorregamento
07-jan-03	33,7	49,0	66,0	81,2	122,8	123,2	139,8	Saramenha	Felícia Mendes, 190	Ângela de Fátima Pinto da Rocha	Escorregamento
16-jan-03	66,4	81,0	83,2	90,5	90,9	119,6	122,6	Água Limpa	Professor Antônio de Paulo Ribas, 259	Maria Marcelino	Escorregamento
16-jan-03	66,4	81,0	83,2	90,5	90,9	119,6	122,6	Alto da Cruz	Francisco Isaac, 62	José Maria de Ângelo	Escorregamento
16-jan-03	66,4	81,0	83,2	90,5	90,9	119,6	122,6	Alto da Cruz	Francisco Isaac, 74	José Justino Ângelo	Escorregamento e queda de blocos
16-jan-03	66,4	81,0	83,2	90,5	90,9	119,6	122,6	Antônio Dias	Padre Tobias, 75	Maria de Fátima Costa Reis Moutinho	Escorregamento
16-jan-03	66,4	81,0	83,2	90,5	90,9	119,6	122,6	Bauxita	Perimetral, 464	Maria de Jesus Carvalho Gomes	Escorregamento
16-jan-03	66,4	81,0	83,2	90,5	90,9	119,6	122,6	Santana	Santa Marta, 86	Luiz Gonzaga	Escorregamento e queda de blocos
16-jan-03	66,4	81,0	83,2	90,5	90,9	119,6	122,6	Santana	Uberlândia, 35	Anderson Carlos Santana	Escorregamento
16-jan-03	66,4	81,0	83,2	90,5	90,9	119,6	122,6	Taquaral	Farmacêutico Duilo Passos, 1499	Rafael Maciel Dutra	Escorregamento
16-jan-03	66,4	81,0	83,2	90,5	90,9	119,6	122,6	Vila Aparecida	Rodrigo Silva, 32	Mauro José Arlindo Gonçalves	Escorregamento e queda de blocos
17-jan-03	16,7	83,1	97,7	99,9	107,2	107,6	136,3	Alto da Cruz	Francisco Isaac, 01	Vicente dos Anjos	Escorregamento
17-jan-03	16,7	83,1	97,7	99,9	107,2	107,6	136,3	Alto da Cruz	Francisco Isaac, 36	Dayvid Richard da Cunha	Escorregamento
17-jan-03	16,7	83,1	97,7	99,9	107,2	107,6	136,3	Barra	dos Inconfidentes, 30	Rosilene Cardoso da Silva	Escorregamento e queda de blocos
17-jan-03	16,7	83,1	97,7	99,9	107,2	107,6	136,3	Barra	dos Inconfidentes, 67	Maria do Carmo Santos	Escorregamento e queda de blocos
17-jan-03	16,7	83,1	97,7	99,9	107,2	107,6	136,3	Córrego Seco	Uberlândia, 2058	Carlos Ferreira Guimarães	Escorregamento
17-jan-03	16,7	83,1	97,7	99,9	107,2	107,6	136,3	Piedade	da Abolição, 390	Rosimery Cristina da Silva Moura	Escorregamento
17-jan-03	16,7	83,1	97,7	99,9	107,2	107,6	136,3	Santana	15 de Agosto, 265	Maria Aparecida Borges Ferreira	Escorregamento
17-jan-03	16,7	83,1	97,7	99,9	107,2	107,6	136,3	Santana	Santa Marta, 10	Roberto Agustinho Mendes	Escorregamento e queda de blocos
17-jan-03	16,7	83,1	97,7	99,9	107,2	107,6	136,3	Taquaral	Águas Férreas, 165	Claudinei Rodrigues da Silva	Escorregamento e queda de blocos
17-jan-03	16,7	83,1	97,7	99,9	107,2	107,6	136,3	Taquaral	Águas Férreas, 188	Sueli Gomes Dias	Escorregamento
18-jan-03	15,4	32,1	98,5	113,1	115,3	122,6	123,0	Água Limpa	Professor Antônio de Paulo Ribas, 229	Sônia Maria Camilo	Escorregamento
18-jan-03	15,4	32,1	98,5	113,1	115,3	122,6	123,0	Santa Cruz	das Flores, 106	Roberto Carlos de Souza	Escorregamento
19-jan-03	25,5	40,9	57,6	124,0	138,6	140,8	148,1	Alto das Dores	Jair Afonso Inácio, 123	Elma Aparecida de Almeida Moraes	Escorregamento
19-jan-03	25,5	40,9	57,6	124,0	138,6	140,8	148,1	Antônio Dias	Dr. João Veloso, 45	Isabel Rioga André de Melo	Escorregamento
19-jan-03	25,5	40,9	57,6	124,0	138,6	140,8	148,1	Caminho da Fábrica	Travessa Padre Martins, 35	Maria Aparecida de Lima	Escorregamento
19-jan-03	25,5	40,9	57,6	124,0	138,6	140,8	148,1	São Cristóvão	Vereador Miguel Alves Pereira, 368	Marcos César Maia	Escorregamento

Data	chuva (mm)	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6	AC7	Bairro	Logradouro	Nome	Tipo Processo
19-jan-03	25,5	40,9	57,6	124,0	138,6	140,8	148,1	Saramenha	Euclides Mapa, 124	Margarida Marques Mendes	Escorregamento
20-jan-03	3,2	28,7	44,1	60,8	127,2	141,8	144,0	Antônio Dias	Padre Gabriel Carvalho, 61	Ana Maria de Souza Silva Mendes	Escorregamento
22-jan-03	37,3	48,3	51,5	77,0	92,4	109,1	175,5	N. Sra. do Carmo	da Lagoa, 1135 A	Wanda Aparecida Moreira	Escorregamento
22-jan-03	37,3	48,3	51,5	77,0	92,4	109,1	175,5	São Cristóvão	Padre Carmelho, 100	Vicente Barbosa Nolasco	Escorregamento
23-jan-03	19,3	56,6	67,6	70,8	96,3	111,7	128,4	Santa Cruz	das Rosas, 35	Geraldo da Conceição dos Santos	Escorregamento
23-jan-03	19,3	56,6	67,6	70,8	96,3	111,7	128,4	Santa Cruz	dos Girassóis, 85	Maria da Felicidade Silva	Escorregamento

ANEXO II

Mapa com Zoneamento das Áreas de Risco (Castro, 2006)



ANEXO III

Lista das Ocorrências Mapeadas (Fontes, 2011)

Anexo I

Apresenta-se neste anexo a relação das ocorrências cadastradas e uma planilha modelo devidamente preenchida com as informações consideradas nas análises.

A Tabela a seguir sintetiza todas as ocorrências envolvendo processos geodinâmicos, devidamente compiladas e sistematizadas em Fontes (2011), as quais foram objetos de inspeções técnicas de campo e coleta de informações junto a moradores dos locais atingidos, para complementação dos dados e organização sistêmica do cadastro final.

Tabela Anexo I – Lista das Ocorrências Mapeadas

Ponto	Código da Ocorrência	Coordenada X	Coordenada Y	Data da Ocorrência	Eventos Geotécnicos Observados
E1	290	657289	7744134	04/11/1990	
E2	291	657164	7744133		
E3	292	657251	7744225	03/01/1997	Demais ocorrências: 23/12/1996.
E4	293	657259	7744214		
E5	294	657245	7744221		
E6	295	657295	7744175	25/10/1993	
E7	296	657529	7744161		
E8	297	657353	7744003	21/11/1996	
E9	298	657376	7743948	06/02/1998	
E10	299	657422	7743916		
E11	324	657326	7744274		
E12	301	657305	7744242		
E13	303	657428	7744266		
E14	304	657421	7744254		Problema ao longo de toda a Rua dos Bosques e Trilha Paralela acima.
E15	305	657566	7744248		
E16	306	657396	7744232		
E17	307	657443	7744238		
E18	308	657411	774398	02/01/1996	
E19	309	657162	7743848		
E20	310	657362	7743919		
E21	311	657607	7744322	04/01/1997	Início de um processo erosivo no lote vizinho, que pode prejudicá-los.
E22	312	657612	7744353	04/01/1997	

Continuação da Tabela Anexo I – Lista das Ocorrências Mapeadas

Ponto	Código da Ocorrência	Coordenada X	Coordenada Y	Data da Ocorrência	Eventos Geotécnicos Observados
E23	313	657591	7744363		Ao longo de toda a Rua das Violetas existem erosões superficiais.
E24	315	657406	7744108		
E25	316	657434	7744121		Nos fundos da Casa 113 há entulhos depositados, segurados por uma barreira (paliçada) e pela vegetação.
E26	317	657429	7744129	02/11/1996	
E27	314	657483	7744133		
E28	318	657382	7744152		
E29	319	657472	7744180		
E30	320	657471	7744213		
E31	321	657214	7744650	06/01/1997	
E32	322	657255	7744562		
E33	323	658042	7746000	15/12/1995	
E34	325	657373	7744070	01/02/1997	
E35	337	657997	7746016		Formou-se um grande bota-fora, no qual encontra-se muito lixo, entulho, material transportado, dentro de uma drenagem natural. Todo esse material escoou para jusante, assoreando as casas próximas. Há sinais de movimento de massa (árvores inclinadas).
E36	327	657718	7744175		
E37	328	657622	7744132		Dimensão da feição, aproximadamente, 10 x 25m.
E38	329	657168	7744132		
E39	330	657251	7743807		Feição muito grande ocasionada por execução de taludes de mineração de pirita. Observa-se várias trincas de tração no solo de montante e ocorrência de escorregamentos, em função do descalçamento dos taludes por ação das águas.
E40	331	657419	7743955		
E41	332	657544	7744240		
E42	333	657479	7744147		
E43	336	657648	7744251		
E44	340	658004	7745987	01/04/1993	Demais datas de Ocorrência: 15/12/95, 21/01/97
E45	341	658105	7745836		
E46	342	657675	7745628		Subsidência do Terreno devido a existência de uma galeria, "sari", dentro da qual é lançado o esgoto das casas vizinhas.
E47	343	657927	7745481		Subsidência gerada pela presença de galeria, com aproximadamente 5m de profundidade. Há uma caixa d'água muito próxima do local onde houve a queda da laje da galeria.

Continuação da Tabela Anexo I – Lista das Ocorrências Mapeadas

Ponto	Código da Ocorrência	Coordenada X	Coordenada Y	Data da Ocorrência	Eventos Geotécnicos Observados
E48	344	658150	7745604		
E49	345	658395	7745775		
E50	346	659271	7744980	17/06/1991	
E51	347	659166	7745006	02/01/1997	
E52	349	659072	7745029	02/01/1997	Presença de água, caracterizado devido a presença de vegetação típica como Bananeiras e Mariazinhas.
E53	353	659042	7745042	21/11/1996	Presença de água, caracterizado pela existência de vegetação característica como Bananeiras e Mariazinhas. Demais datas de ocorrência: 28/11/89, 02/01/97.
E54	351	659015	7745021	11/12/1989	Presença de Bananeiras
E55	354	658786	7745061	13/12/1989	Presença de Entulho, lixo.
E56	355	658439	7745089		
E57	356	658477	7745078	14/12/1989	Existência de indicativos de movimento, árvores tombadas, e de presença de água, bananeiras.
E58	357	658392	7745138		
E59	359	658420	7745103	15/12/1995	Demais datas de Ocorrência: 29/12/94
E60	367	658369	7745162	23/01/1992	
E61	365	658385	7745169		
E62	364	658299	7745179		
E63	363	658152	7745063	02/04/1998	
E64	361	658194	7745045	17/12/1996	
E65	360	658198	7745052		Antes da Construção da canaleta, existiam problemas constantes. Entre a rua e a Rodovia, ainda ocorrem problemas devido a falta de bueiros. Os cortes realizados na Rodovia prejudicaram a rua.
E66	369	656975	7745280		Foi encontrada uma mina nos fundos da Residência, cujo salão possui grandes dimensões (alguns lugares com até 6m de altura). Uma grande quantidade de água escoava pela mina. Observa-se partes do teto desmoronados.
E67	372	657369	7745377	23/01/1992	Observa-se um movimento de massa no terreno, caracterizado por árvores inclinadas. Demais datas de ocorrência: 26/12/95, 31/01/91, 24/01/92.
E68	374	657460	7745396		A casa foi construída dentro de uma drenagem superficial (na beira de um Córrego).
E69	375	657571	7745416	24/10/1989	

Continuação da Tabela Anexo I – Lista das Ocorrências Mapeadas

Ponto	Código da Ocorrência	Coordenada X	Coordenada Y	Data da Ocorrência	Eventos Geotécnicos Observados
E70	377	657164	7745241		
E71	376	657642	7745430		
E72	378	658142	7745655		
E73	379	658251	774386		
E74	380	658226	7745420		
E75	381	658229	7745507		Ponto caracterizado por três minas subterrâneas, uma delas de enormes proporções (3 de largura e 5 profundidade), contendo um grande volume de água.
E76	383	658018	7745440	15/01/1992	Não foi possível descrever a natureza do evento.
E77	382	658051	7745441		Subsidência de uma Mina Subterrânea.
E78	384	658171	7745421		
E79	385	657204	7745389	25/11/1992	
E80	397	657824	7745053		
E81	400	658141	7745115		
E82	401	658124	7745092		
E83	402	658110	7745073	22/11/1996	
E84	403	658106	7745084	23/01/1992	Foi construído um muro sem drenos para conter os escorregamentos.
E85	404	658091	7745092	29/10/1989	
E86	405	658146	7745118		
E87	406	657980	7745167	15/01/1991	
E88	407	658176	7745294		
E89	399	657819	7745169		
E90	398	657887	7745138	27/12/1995	04/03/1997
E91	390	657876	7745182	10/01/1992	
E92	395	657969	7745176	21/11/1996	Datas: 19/11/1996 e 27/02/1996
E93	394	658049	7745302		
E94	392	658042	7745279	26/10/1989	Demais datas de ocorrência: 29/11/89.
E95	389	656592	7745351		
E96	408	658102	7745285	21/12/1995	
E97	388	657906	7745252	15/12/1995	Os moradores da região captam água de uma fenda atrás da casa 41. Demais datas de ocorrência: 27/08/97, 27/04/90.
E98	393	657443	7745286		
E99	418	654889	7746086	03/01/1997	
E100	417	654963	7746267	14/12/1989	
E101	416	655152	7746060	16/01/1997	
E102	415	655474	7745939	17/01/1991	
E103	414	655474	7745939	16/01/1997	

Continuação da Tabela Anexo I – Lista das Ocorrências Mapeadas

Ponto	Código da Ocorrência	Coordenada X	Coordenada Y	Data da Ocorrência	Eventos Geotécnicos Observados
E104	413	655656	7746072	03/01/1997	
E105	411	655859	7745788	14/01/1997	
E106	410	655680	7746104	24/01/1992	
E107	409	655723	7746202	01/04/1997	
E108	426	654985	7746023	12/05/1996	05/01/1997 e 30/01/1997.
E109	424	655575	7745873	16/01/1997	
E110	423	655666	7746095		
E111	422	655720	7746228		
E112	421	655792	7746236		
E113	420	655749	7746167		
E114	419	655313	7745825	16/02/1998	
E115	412	655883	7745872	24/01/1992	
E116	425	655646	7745842	09/03/1998	
E117	427	654888	7746422		
E118	428	654876	7746299		
E119	490	654641	7746405	28/12/1995	
E120	430	655591	7746076	14/01/1991	
E121	432	655165	7746048		
E122	431	654944	7746073		
E123	433	654776	7746010	02/01/1997	
E124	434	654913	7746308	14/12/1995	
E125	435	654943	7746281	02/01/2000	09/01/2000.
E126	436	655043	7746162	05/01/1997	Observa-se árvores inclinadas no terreno.
E127	438	654943	7746073	03/01/1997	
E128	439	654813	7746044	20/01/1992	
E129	440	654787	7746048	02/01/1997	Presença de bananeiras e mamonas.
E130	441	654862	7746114	31/10/1989	Existem bananeiras no lote 194-B.
E131	442	654824	7746425	24/01/1992	Existência de afloramento de água e árvores inclinadas. O esgoto é lançado encosta abaixo.
E132	443	654819	7746316	20/12/1988	Terreno totalmente construído, impossibilitando a determinação da litologia.
E133	444	654939	7746026	27/12/1995	Movimento de massa evidenciado por tronco de árvores tombados.
E134	445	654907	7746142	05/01/1997	A casa localiza-se em uma área de drenagem.
E135	446	655614	7746014		
E136	447	655558	7745923	04/06/1993	
E137	448	6574444	7743883		A voçoroca recebe um elevado fluxo de água, que desemboca em sulcos nas rochas a jusante.
E138	449	657614	7744450	21/11/1996	

Continuação da Tabela Anexo I – Lista das Ocorrências Mapeadas

Ponto	Código da Ocorrência	Coordenada X	Coordenada Y	Data da Ocorrência	Eventos Geotécnicos Observados
E139	451	657651	7744433	26/12/1995	Presença de árvores incinadas e bananeiras.
E140	452	657634	7744394	02/01/1997	
E141	453	657537	7744482	21/11/1996	
E142	454	657587	7744501	09/01/1997	
E143	456	657592	7744529	22/01/1997	
E144	457	657542	7744552	23/01/1992	
E145	458	657282	7744758	02/02/1997	
E146	459	657315	774478	26/12/1995	Demais ocorrências: 13/12/1989.
E147	460	657383	7744653	23/01/1992	Demais ocorrências: 08/01/1997.
E148	461	657425	7744604	08/01/1997	
E149	462	657464	7744573	14/12/1995	
E150	463	657449	7744537	08/01/1997	
E151	464	657387	7744571	17/01/1991	
E152	465	657406	7744512		
E153	466	657520	7744590	15/12/1995	Demais ocorrências: 10/01/1992, 23/01/1992, 15/01/1991.
E154	467	657561	7744568	20/01/1992	
E155	468	657587	7744582	16/12/1989	
E156	469	657493	7744672	03/01/1997	
E157	470	657685	7744373	18/01/1991	
E158	471	657992	7744025		Abatimento do aterro de entrada e saída da ponte.
E159	472	657224	7744429		
E160	473	657213	7744299		
E161	474	657699	7744174		
E162	476	656793	7745133	02/02/1992	
E163	477	656779	7744987	24/02/1997	
E164	478	656524	7745289	23/01/2000	
E165	479	656556	7745268	27/12/1995	
E166	480	656524	7745245	02/02/1992	
E167	481	656466	7745143	04/08/1993	
E168	482	656438	7745218	28/02/1995	
E169	483	656401	7744889	28/01/2000	
E170	484	656996	7745075	21/11/1996	
E171	485	656938	7744641	15/12/1995	
E172	486	657062	7744992		
E173	489	656826	7744727	09/04/1997	
E174	488	656760	7745152	07/11/1989	
E175	491	656921	7744950	22/01/1991	Presença de lixo, entulho.
E176	492	657288	7744624	10/02/1997	
E177	493	656878	7745176	17/01/1991	

Continuação da Tabela Anexo I – Lista das Ocorrências Mapeadas

Ponto	Código da Ocorrência	Coordenada X	Coordenada Y	Data da Ocorrência	Eventos Geotécnicos Observados
E178	494	656772	7745224	21/04/1997	
E179	496	655700	7744810		
E180	500	658754	7745085		
E181	499	659250	7744965		
E182	498	659239	7745017		
E183	497	658307	7745048		
E184	507	658210	7745008		
E185	506	658865	7745102		Presença de grande sulco onde toda a água pluvial escoar.
E186	505	658259	7745027		
E187	503	659247	7744988		
E188	502	658942	7745098		
E189	501	658223	7745133		Observou-se que há junto ao maciço dois blocos de canga, aproximadamente 2m de diâmetro, descalçados na base.
E190	508	657739	7744286	17/01/1991	
E191	509	657754	7744453	27/12/1995	
E192	510	657234	7744228		Bota-fora sendo formado encosta abaixo.
E193	511	655303	7745083	06/01/1997	Demais ocorrências: Casa 265: 08/02/1995. Casa 272: 28/10/1993.
E194	512	655590	7744957	10/01/1997	Presença de árvores inclinadas. Demais ocorrências: 05/10/1993.
E195	513	655519	7745480	25/01/1992	Segundo moradora o muro da rua está suspenso, causando preocupações aos moradores.
E196	514	655678	7745390	08/01/1997	Árvores inclinadas e bananeiras ao longo do terreno. Segundo a proprietária existe uma falha, devido a uma galeria de água, perpendicular ao sentido da rua, que volta e meia funcionários da prefeitura preenchem com pedras e areia, reconstruindo a rua.
E197	515	655038	7745317	07/01/1997	
E198	516	655089	7745309	06/01/1997	
E199	517	655127	7745329	23/01/1992	
E200	519	655110	7745532	07/01/1997	As casas se encontram em uma área de drenagem, onde observa-se árvores tombadas, indicando um movimento de massa.
E201	520	655156	7745316	06/01/1997	Presença de árvores inclinadas.
E202	521	655089	7745347	07/01/1997	As árvores encontram-se inclinadas, indicando um movimento de massa no terreno. Presença de muito lixo e entulho.

Continuação da Tabela Anexo I – Lista das Ocorrências Mapeadas

Ponto	Código da Ocorrência	Coordenada X	Coordenada Y	Data da Ocorrência	Eventos Geotécnicos Observados
E203	523	654338	7745796		Trata-se de uma área de drenagem, onde o córrego encontra-se assoreado. No terreno observa-se movimento de massa indicado pelos platôes formados na encosta. Presença de muito lixo e entulho.
E204	524	657620	7745288	06/02/1992	
E205	525	657429	7745357		
E206	526	657337	7445216	13/11/1990	
E207	522	658197	7745109		
E208	527	655512	7745479	28/01/2000	
E209	528	654999	7745624		Aterro mal compactado, causando o tombamento do muro.
E210	529	655556	7745752	21/01/1992	Observa-se que existe movimento de massa no terreno acima da casa, pois as árvores encontram-se inclinadas. O solo sobre o quartzito está descendo até próximo ao muro de arrimo construído no fundo da casa. Demais datas de ocorrência: Casa 288: 15/07/1991.
E211	530	655172	7745571	03/01/1997	Existência de árvores inclinadas.
E212	532	655974	7744927	14/12/1995	As árvores encontram-se inclinadas, indicando um movimento de massa.
E213	533	656035	7745030	14/12/1989	Presença de bananeiras na divisa do lote acima com a casa 506.
E214	534	656239	7745517	14/12/1989	Presença de uma mina de água subterrânea.
E215	535	655167	7745915		
E216	536	656339	7744207		Existência de árvores tombadas e muito lixo e entulho.
E217	537	656360	7744328		
E218	538	656358	7744362	01/05/1993	Presença de muito lixo, entulho. Demais ocorrências: 14/01/1991.
E219	539	656370	7744425	19/01/1991	Demais ocorrências: Casa nº 252, Rua Amarantina, em 14011997.
E220	540	656388	7744301	04/02/1997	Demais ocorrências: 30/01/1997 e 05/01/1997.
E221	541	656334	7744337	13/01/1997	Presença de árvores inclinadas.
E222	542	656264	7744580	02/12/1993	Demais ocorrências: 18/01/1991 e 29/01/1991.
E223	543	656612	7744351	20/01/1998	
E224	545	656688	7744302	02/01/1997	Demais ocorrências: 26/12/1995, 24/11/1996, 23/01/1992, 14/12/1995.
E225	546	656520	7744387		

Continuação da Tabela Anexo I – Lista das Ocorrências Mapeadas

Ponto	Código da Ocorrência	Coordenada X	Coordenada Y	Data da Ocorrência	Eventos Geotécnicos Observados
E226	548	656404	7744412	04/01/1997	
E227	547	656417	7744584	02/01/1997	Erosão causada pela força da água do rio. Demais ocorrências: 13/03/1996.
E228	549	656584	7744298	05/01/1997	
E229	550	655818	7744510	01/12/1993	Parte da água coletada pela drenagem pluvial da rua acima (Curva do Vento) escoava para dentro do lote.
E230	551	655684	7744561	30/01/1997	As margens do rio, lateral da casa, estão sendo erodidas pela força das águas do rio.
E231	552	655732	7744564		O solo localizado na frente e lateral da casa está sendo erodido pela água do rio.
E232	553	656243	7744286	12/03/1989	
E233	556	656271	7744313	15/01/1991	
E234	557	657449	7744973	25/04/1991	
E235	558	657750	7744920	22/01/1997	
E236	559	659191	7745008		
E237	560	659053	7745015		
E238	561	658160	7745050		
E239	564	653534	7742494	04/01/1997	
E240	565	653486	7742593	04/01/1997	
E241	566	653686	7742587	30/12/1996	
E242	567	653635	7742632	06/01/1997	
E243	568	653794	7742527	26/12/1995	
E244	569	65437	7743020	05/01/1997	
E245	570	654747	7742845	01/02/1997	
E246	571	654766	7744156		
E247	572	65616	7743003	04/01/1998	Demais ocorrências: 04/01/1998, 02/01/1997, 24/01/1997.
E248	573	657464	7743082	29/03/1997	
E249	574	656297	7743197	19/01/1998	
E250	563	655688	7742982	03/01/1997	Demais ocorrências: 02/01/1997, 24/01/1992, 26/12/1995, todas tendo ocorrido na casa de número 464.
E251	562	6566426	7743378	20/12/1996	
E252	576	656622	7745331	20/01/1997	
E253	577	657024	7745025		
E254	575	657364	7745417		

A Figura I a seguir sintetiza o modelo de planilha adotado e devidamente preenchida para a ocorrência de número 290, ponto E1.

ANEXO IV

Mapa de Inventário de Ocorrências (Fontes, 2011)

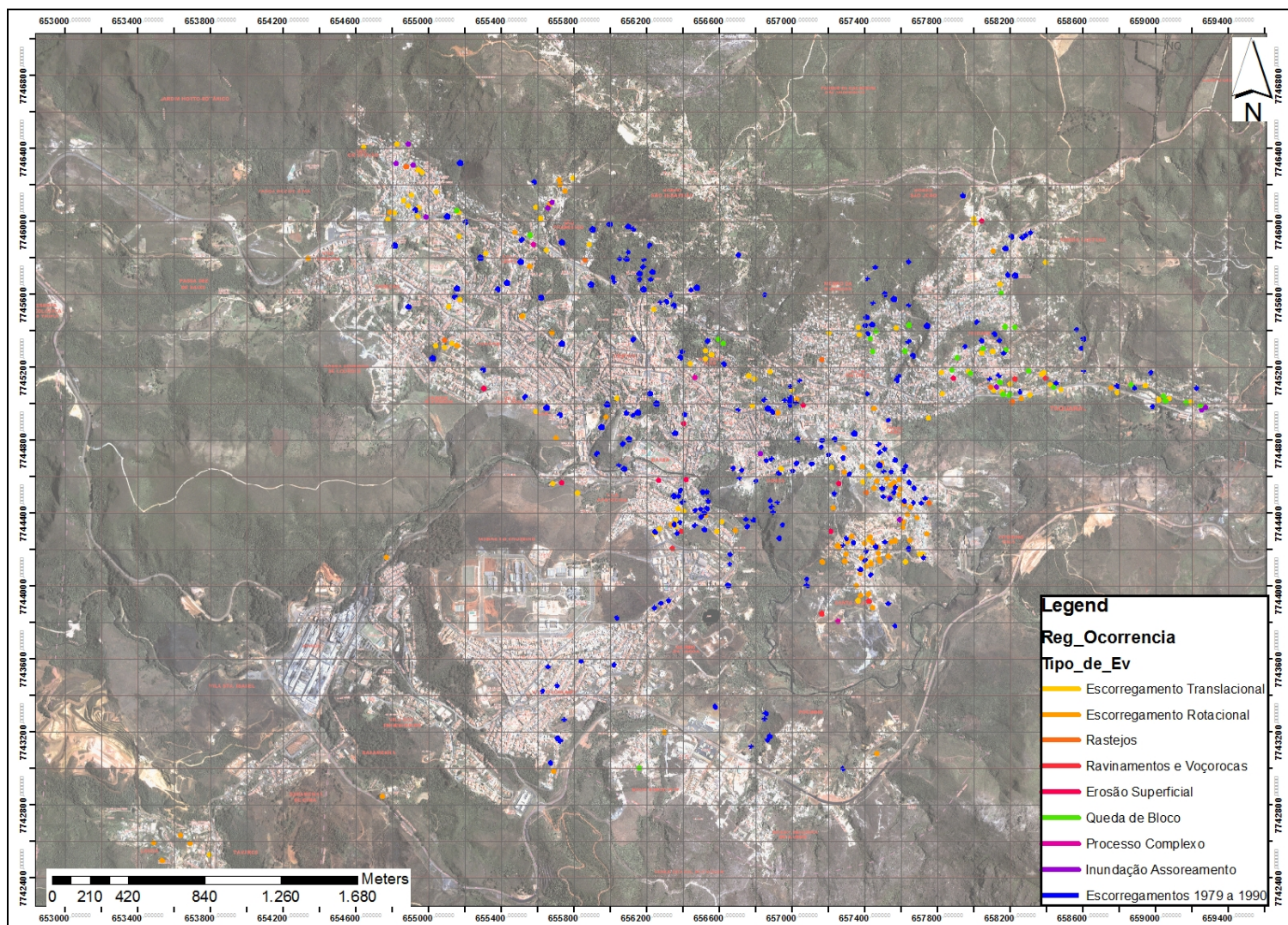


Figura 5.4 – Mapa de Inventário de Ocorrências registradas na área urbana da cidade de Ouro Preto/MG

ANEXO V

Ficha de campo – STC4 (Fontes, 2011)

Ficha de Campo - Vistoria Técnica

Zoneamento	NumeroPonto		CoordenadaX	CoordenadaY	Data
STC	04		657295,33	7744175,537	20/01/2000
Local					
Residências 93 e 104					
Rua					Numero
Rua das Flores					
Complemento					

Diagnóstico da Condição Local

Situação	Drenagem	Ocupação	Vegetação
<input type="checkbox"/> Alto de Encosta	<input type="checkbox"/> Natural	<input type="checkbox"/> Baixa	<input type="checkbox"/> Esparsa
<input type="checkbox"/> Meia Encosta	<input type="checkbox"/> Construída Superficial	<input checked="" type="checkbox"/> Média	<input type="checkbox"/> Média
<input type="checkbox"/> Pé de Encosta	<input type="checkbox"/> Construída Profunda	<input type="checkbox"/> Elevada	<input type="checkbox"/> Densa
<input type="checkbox"/> Talude de Mineração	<input type="checkbox"/> Eficiente	<input type="checkbox"/> Controlada	<input type="checkbox"/> Rasteira
<input type="checkbox"/> Talude de Escavação	<input type="checkbox"/> Parcialmente Obstruída	<input type="checkbox"/> Desordenada	<input type="checkbox"/> Arbórea
<input checked="" type="checkbox"/> Cortes	<input type="checkbox"/> Totalmente Obstruída	<input type="checkbox"/> Inexistente	<input checked="" type="checkbox"/> Inexistente
<input type="checkbox"/> Aterros	<input checked="" type="checkbox"/> Inexistente		
<input type="checkbox"/> Baixadas			
<input type="checkbox"/> Outra			

Natureza e Descrição de Evento Geotécnico

Data Ocorrência

Natureza	Dimensão
<input type="checkbox"/> Escorregamento Rotacional	<input checked="" type="checkbox"/> Superficial (<2,0m)
<input type="checkbox"/> Escorregamento Translacional	<input type="checkbox"/> Média (>2,0m e <10,0m)
<input type="checkbox"/> Queda e/ou Rolamento de Blocos	<input type="checkbox"/> Profunda (>10,0m)
<input type="checkbox"/> Escoamentos (Rastejos e Corridas)	
<input type="checkbox"/> Erosão Superficial	
<input type="checkbox"/> Ravinas e Voçorocas	
<input checked="" type="checkbox"/> Inundação Assoreamento	
<input type="checkbox"/> Processo Complexo	

Declividade da Encosta

<input type="checkbox"/> < 30%	<input type="checkbox"/> 30% a 60%
<input checked="" type="checkbox"/> 60% a 100%	<input type="checkbox"/> >100%

Estado de Atividades e Materiais

<input type="checkbox"/> Ativo	<input type="checkbox"/> Inativo Dormente	<input checked="" type="checkbox"/> Inativo Estabilizado
<input type="checkbox"/> Blocos	<input type="checkbox"/> Detritos	<input checked="" type="checkbox"/> Solo
		<input type="checkbox"/> Misturas

Litologia

Solo e xisto

<input checked="" type="checkbox"/> Xisto	<input type="checkbox"/> Filito	<input type="checkbox"/> Itabirito	<input type="checkbox"/> Quartzito	<input type="checkbox"/> Canga	<input checked="" type="checkbox"/> Solo
---	---------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------	--

Mecanismos Potenciais de Instabilização e Riscos Associados

<input type="checkbox"/> Deficiência de Cobertura Vegetal	<input type="checkbox"/> Ocupação de Bacias Naturais de Drenagem
<input type="checkbox"/> Comprometimento da Rede de Água Pluvial	<input checked="" type="checkbox"/> Inundação e Assoreamento
<input type="checkbox"/> Deficiência do Sistema de Drenagem Superficial	<input type="checkbox"/> Ocupação Desordenada do Meio Físico
<input type="checkbox"/> Desestabilização por Desagregação Superficial	<input type="checkbox"/> Natureza Inadequada das Construções
<input type="checkbox"/> Fraturamento do Maciço Rochoso	<input type="checkbox"/> Existência de Ravinas e/ou Voçorocas
<input type="checkbox"/> Fluxo de Água Subterrâneo	<input type="checkbox"/> Ruptura de Obra de Contenção Inadequada
<input type="checkbox"/> Descalçamento de Talude por Corte	<input type="checkbox"/> Ruptura de Obra de Contenção Mal Executada
<input type="checkbox"/> Fundações com Baixa Capacidade de Carga	<input type="checkbox"/> Acumulação de Lixo ou Entulho
<input type="checkbox"/> Execução de Botaforas ou Aterros Mal Compactados	

Outros (Especificar)

Danos Associados

Avaliação de Riscos

<input type="checkbox"/> Existe Risco Potencial de Perda de Vida Humana	Estimativa de Perdas de Vidas
	0
<input type="checkbox"/> Existe Risco Potencial de Perda de Danos Construtivos	Moradias Envolvidas
<input type="checkbox"/> Existe Risco Potencial de Perda de Infraestrutura Urbana	0
<input type="checkbox"/> Existe Risco Ambiental	
<input checked="" type="checkbox"/> Probabilidade de Danos Ocasionais	
<input checked="" type="checkbox"/> Probabilidade Remota de Danos	

Natureza e Descrição de Evento Geotécnico

Prioridade de Intervenção	Soluções Recomendadas
<input type="checkbox"/> Imediata	<input type="checkbox"/> Manutenção do Sistema de Drenagem Existente
<input type="checkbox"/> Médio Prazo Sem Evolução	<input checked="" type="checkbox"/> Execução de Drenagem Superficial
<input type="checkbox"/> Médio Prazo Com Evolução	<input type="checkbox"/> Execução de Drenagem Profunda
<input checked="" type="checkbox"/> Observação a Longo Prazo	<input type="checkbox"/> Execução de Cobertura Vegetal
<input type="checkbox"/> Praticamente Nula	<input type="checkbox"/> Retaludamento
<input type="checkbox"/> Nenhuma	<input type="checkbox"/> Reconstrução do Aterro
	<input type="checkbox"/> Estabilização de Blocos Isolados
	<input checked="" type="checkbox"/> Obras de Contenção
	<input type="checkbox"/> Remoção de Construções / Realocação de Pessoal

Outra Solução (Especificar)

Problema aparentemente resolvido com a construção de muro, porém, devido a pequena profundidade da fundação, existe dúvida quanto a sua segurança

ANEXO VI

Parecer técnico - IG-1404-DEC-E-LT01-00 (IGEO, 2015)



IG-1404-DEC-E-LT-00

À

Coordenadoria Municipal de Defesa Civil

Beco do Pilão - Centro, Ouro Preto - MG, 35400-000

A/C

Charles Romazâmu Murta

Engenheiro Geólogo

Referência: Contrato de Cooperação Técnica entre IGEO e PMOP

Local: Ouro Preto - MG

Prezado,

Este documento apresenta o parecer técnico a cerca dos processos deformacionais atuantes no muro de pedra seca, situado no beco do Pilão, e nas estruturas de concreto erguidas aos fundos do prédio do CAEM e do Cantinho do Pão de Queijo e Chopperia.

À disposição para esclarecimentos julgados necessários,

Ouro Preto, 22 de janeiro de 2014.

Atenciosamente,

Michel Fontes
PRESIDENTE
INSTITUTO GEOTÉCNICO - IGEO



LAUDO TÉCNICO

IG-1404-DEC-E-LT-00

Janeiro/2014

ESCOPO:

Laudo Técnico Referente ao Muro de pedra seca.



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVO	1
3	LOCALIZAÇÃO	1
4	BREVE HISTÓRICO E SITUAÇÃO ATUAL.....	2
5	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	4
6	CONDICIONANTES GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO	6
7	PARECER FINAL	7

1 INTRODUÇÃO

O presente documento aborda as principais considerações a respeito das condições de estabilidade da encosta localizada no Beco do Pilão – Bairro Centro, mais precisamente, aos fundos do CAEM (Centro Acadêmico da Escola de Minas) e do Cantinho do pão de queijo e chopperia.

A visita técnica foi realizada no dia 15 de janeiro de 2014 pelo engenheiro Michel Fontes, o geólogo Bruno Novais, e a estagiária Júlia Almeida, acompanhados pela equipe técnica da Defesa Civil do município de Ouro Preto, os geólogos, Charles Murta e Flávio, e a engenheira civil Cynara Gramigna, em cumprimento à solicitação deste órgão ao IGEO (Instituto Geotécnico).

Anexo a este laudo encontra-se a ficha de inspeção de campo devidamente preenchida. A referida ficha tem como referência o modelo sugerido pelo Instituto Geotécnico (IGEO), o qual preconiza as bases técnicas que fundamentam a identificação dos principais condicionantes de instabilidade de uma encosta, bem como a caracterização do meio físico.

2 OBJETIVO

Este estudo tem como objetivo apresentar as causas bem como os condicionantes geológico-geotécnicos responsáveis pela deformação e adernamento de cerca de 10 ° do muro de pedra seca construído com blocos de quartzito localizado aos fundos do CAEM.

3 LOCALIZAÇÃO

A região de estudo está inserida na porção central do perímetro urbano do município de Ouro Preto, próximo a Praça Tiradentes (Figura 3.1), mais precisamente, aos fundos

do CAEM e do Cantinho do Pão de Queijo, no Beco do Pilão. As coordenadas do local são 656217m E e 7745221m S.

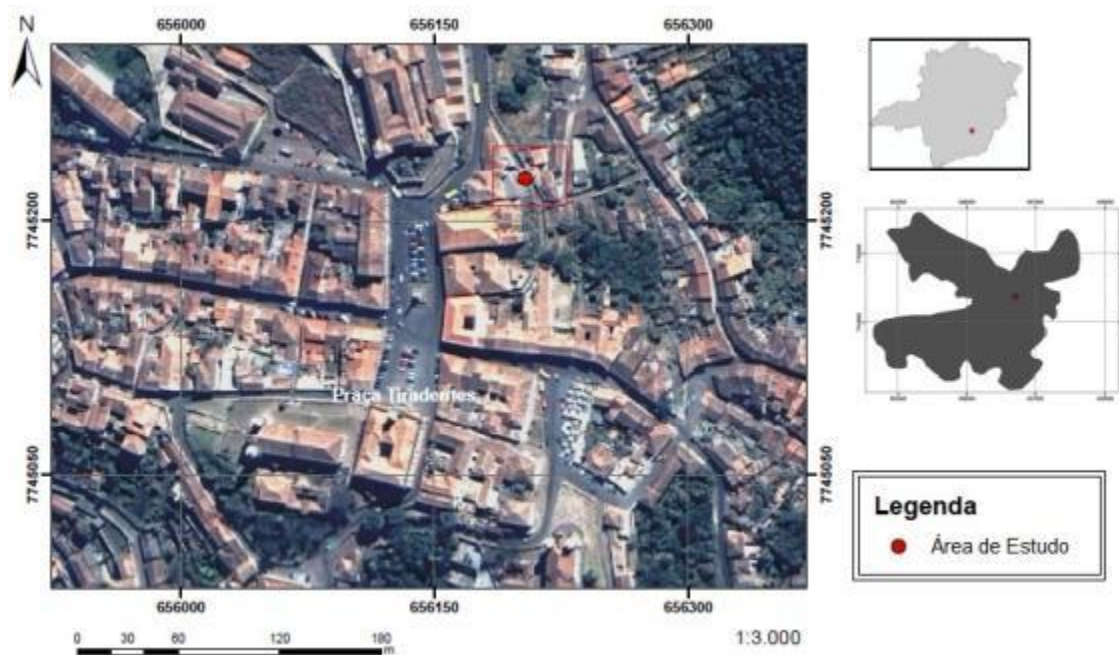


Figura 2.1- Mapa de localização da área de estudos.

4 BREVE HISTÓRICO E SITUAÇÃO ATUAL

Ouro Preto, cidade mineira histórica, famosa pelas suas riquezas minerais, bem como pela arquitetura barroca exibida nos casarões antigos e nas igrejas, foi e vem sendo povoada desde então ao longo de encostas íngremes e muito susceptíveis a movimentos gravitacionais de massa. Esta condição perigosa muitas vezes pode se agravar por meio de cortes e aterros realizados sem nenhum rigor técnico.

Em relação à área de estudos, esta se localiza no terço superior da encosta, caracterizada por apresentar declividade alta (cerca de 30°) e alinhamento segundo o azimute 150°. De acordo com o que foi observado em campo e relatado pelo morador apelidado de Cuia, grande parte da encosta e, inclusive a porção onde foram construídos o prédio do CAEM e o Cantinho do Pão de Queijo, foi aterrada e escorada por muros de pedra seca com até 3,5 m de altura. Em geral estes muros datam do

início do século passado, e foram construídos a partir do empilhamento ordenado de blocos com formato tabular (0,30 x 0,50 x 0,10) de quartzito duro. Os vãos entre um bloco e outro, via de regra, são preenchidos com blocos menores. À luz das características geotécnicas, estes muros se destacam por serem naturalmente drenantes e por oferecerem resistência ao empuxo promovido pelo aterro.

Atualmente, quando se caminha pelo Beco do Pilão, podem-se observar diversas interferências antrópicas à paisagem secular do muro de pedra seca e dos casarões. Dentre elas destacam-se:

- A construção de um muro de alvenaria com cerca de 2 m de altura sobre o muro de pedra seca;
- Instalação de poste com transformador de distribuição de energia elétrica no terreno localizado atrás do prédio do CAEM. Estima-se que o conjunto possa pesar até 4.000 kg;
- Lançamento de aterro misturado com entulho de construção formando patamar estimado em 4 m de altura sobre o antigo aterro;
- Ampliação das edificações do cantinho do pão de queijo a partir da construção de quiosque com cerca de 200 m² em piso de concreto (cerca de 10 cm de espessura) e telhado sustentado por vigas de madeira;
- Armazenamento de 6 mil litros de água em caixas de água instaladas sobre o aterro novo lançado sobre o velho;

Diante deste cenário de solicitações, nunca antes imaginado para o aterro bem como para o muro de gravidade à época de sua construção, promovido pelos diversos carregamentos aplicados, somado às vibrações provocadas pelo intenso trânsito de veículos que circulam todos os dias no centro de Ouro Preto, começaram a ocorrer deformações significativas no muro de pedra seca, as quais despertaram o interesse da população e das autoridades.

Estas deformações foram e vem sendo evidenciadas, principalmente, através de danos estruturais provocados ao muro e às edificações apoiadas no aterro. Abaixo seguem os fatos observados em campo durante a visita.

- Muro de pedra seca com deformações horizontais e verticais (embarrigado), trincado e adernado cerca de 10° em região da encosta alinhada à porção onde foi instalado o poste com o transformador. Segundo o relato do Sr. Cuia, o embarrigamento do muro foi notado cerca de 6 meses após o término desta obra;
- Trincas na edificação do cantinho do pão de queijo atestando o recalque produzido pelo provável adensamento do aterro induzido pelas diversas sobrecargas impostas;
- Existência de trincas de tração alinhadas à direção de menor largura do bloco de quartzito sugerindo provável adensamento do aterro e ou fundação deste;
- Queda do muro de alvenaria construído sobre o muro de pedra seca alinhado aos fundos da CAEM;
- Trinca com cerca de 2 cm de abertura no muro de alvenaria construído sobre o muro de pedra seca alinhado aos fundos do Cantinho do pão de queijo;
- Embarrigamento do muro de pedra seca com cerca de 1,5 m de altura, implantado sobre o antigo aterro com a finalidade de suportar a nova camada de aterro lançado e as cargas impostas pelo quiosque construído aos fundos do prédio do Cantinho do pão de queijo. Infere-se que esta deformação seja reflexo da deformação no muro de pedra seca a jusante.

5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudos, conforme pode-se observar no recorte do mapa geológico da folha de Ouro Preto, (escala 1:50.000), está inserida no domínio da Formação Cercadinho, pertencente ao Grupo Piracicaba (Figura 4.1). De uma maneira geral, esta formação geológica é composta por filito cinza-prateado, sericita xisto e por quartzito ferruginoso.

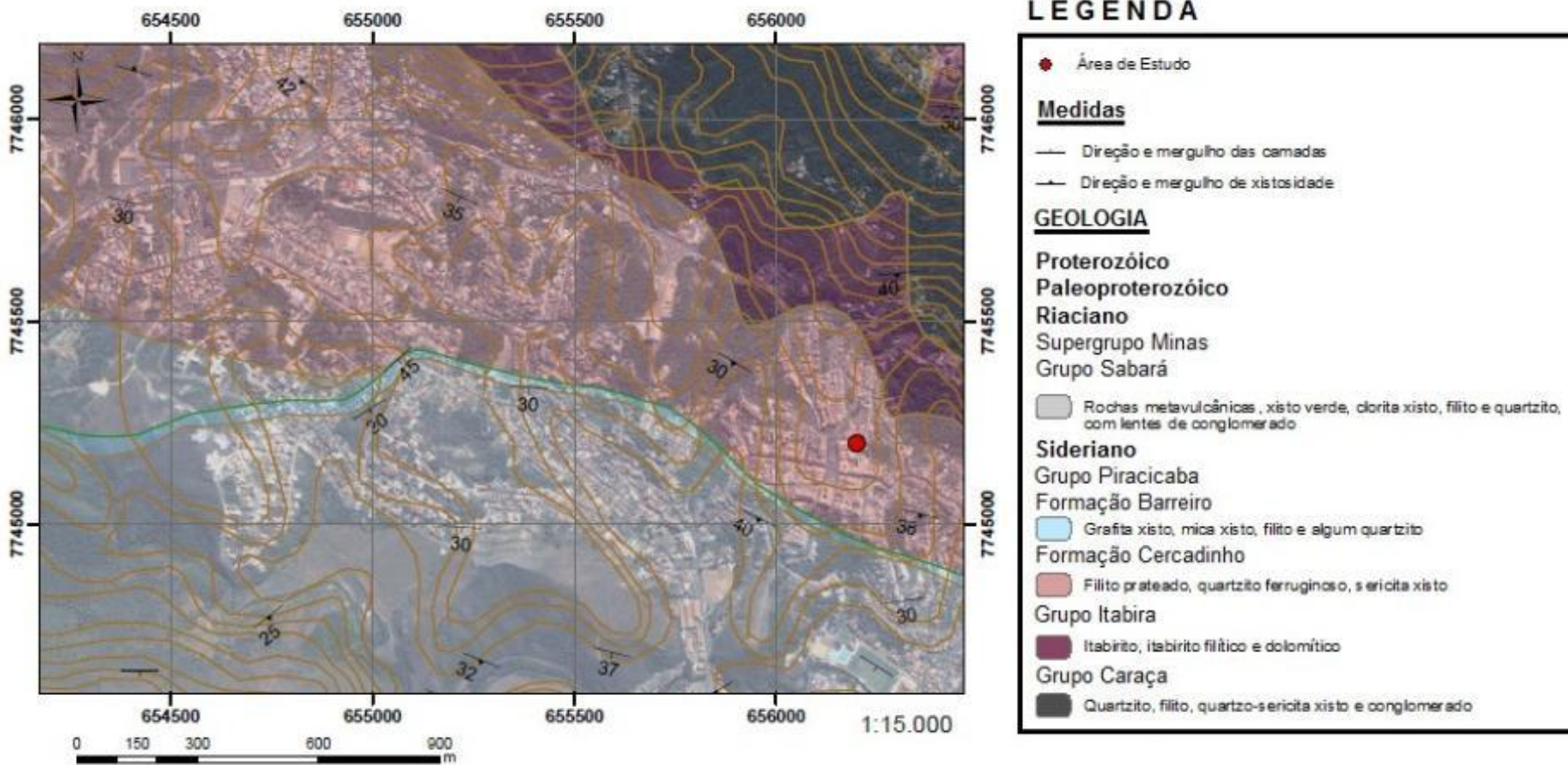


Figura 4.1: Recorte do mapa geológico folha Ouro Preto com escala 1:50.000 (Projeto geologia do Quadrilátero Ferrífero, CODEMIG 2005). A área de estudos está representada pelo círculo vermelho.

Do ponto de vista geológico-geotécnico e, dada às intervenções antrópicas realizadas na encosta onde se insere a área de interesse, infere-se que o aterro construído no início do século passado, com o objetivo de regularizar e aplainar a encosta, tenha sido lançado sobre uma fina capa de solo coluvionar (talvez não superior a 1,50 m de espessura). Este por sua vez, possivelmente, esteja assentado sobre o filito sericítico muito alterado e com resistência extremamente branda.

De acordo com as atitudes do plano da foliação/xistosidade lançados no mapa geológico (vide figura 4.1) e, considerando que esta estrutura condiciona a maioria dos escorregamentos planares na região, infere-se que o potencial para a ocorrência deste mecanismo de ruptura é baixo, uma vez que o mergulho desta estrutura é contrário ao pendor da encosta. Todavia, não se pode desconsiderar a probabilidade de ocorrência de um escorregamento segundo o plano de contato entre o colúvio e o maciço rochoso alterado.

Com relação às espessuras dos aterros, estima-se que o mais antigo alcance uns 3,5 m e que o mais recente alcance uns 4 m.

6 CONDICIONANTES GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO

Com base no que foi explicitado acima, pode-se concluir que, de fato, o aterro construído no início do século passado e escorado com o muro de pedra seca não foi projetado para atender as novas solicitações de carga impostas pela instalação do transformador, lançamento de novas camadas de aterro e ampliação das edificações. Nesse sentido, infere-se que todas as deformações observadas em campo sejam o reflexo do processo, que é lento e gradual, do adensamento do aterro e, subordinadamente, do material presente na fundação deste.

A estrutura existente atua pela ação de seu peso próprio como principal elemento de estabilização da encosta, em contrapartida a ação de esforços instabilizantes, neste

caso majorados pela imposição de elementos adicionais, tais como a implantação de um novo transformador de energia elétrica, caixas de água, bem como ampliações realizadas nas edificações.

O aterro existente a montante do muro, segundo relatos dos moradores locais ocorreram sem quaisquer controle tecnológico e em consequência disso, apresentam deformações acentuadas.

Localmente constatou-se a existência de um precário sistema de drenagem superficial que drena as águas de chuva advindas da cobertura da edificação anexa ao prédio do “Pão de Queijo” somada a área impermeabilizada por concreto (Foto 4). O subdimensionamento deste faz com que, sob a solicitação de eventos chuvosos extremos, o local funcione como um reservatório retendo a água que, por conseguinte infiltra nas trincas existentes no concreto saturando o aterro.

7 PARECER FINAL

Considerando o exposto neste documento, associado aos diversos indícios que elevam o índice de criticidade do risco existente no local, sugere-se preventivamente às intervenções físicas no local, a remoção da família as imediações do muro, em específico da residência do Sr. “Cuia”, residência esta primordialmente afetada em consequência do escorregamento/tombamento do muro.

O IGEO entende que o cenário atual de deformação do aterro é crítico, necessitando, portanto, de uma intervenção urgente. Caso o muro de pedra seca venha a romper, estima-se que a energia potencial acumulada do sistema seja suficiente para projetar material até cerca de 30 metros a jusante.

De maneira preventiva e emergencial sugere-se intervenção imediata com remoção das cargas adicionais (transformador e caixas de água) de maneira a reduzir significativamente as solicitações impostas a estrutura.

Implantar, pelo menos em período que anteceda as intervenções, sistema de monitoramento contínuo e diário dos deslocamentos observados na estrutura (muro) por meio de fixação de pinos em pedras específicas e amarração deste com referência externa.

Como solução de engenharia, sugere-se a remoção do aterro existente a montante do muro, promovendo o retaludamento da encosta de maneira escalonada sem afetar a fundação dos edifícios instalados também a montante do muro. Pretende-se desta maneira a remoção das cargas incidentes sobre o muro garantindo sua estabilidade e evitar o avanço dos deslocamentos e comprometimento das residências e do acervo histórico local.

Deverá ainda, ser constituído sistema de drenagem superficial devidamente projetado, associado a recuperação do concreto de cobertura do aterro (foto 4).

A seguir, é apresentada uma memória fotográfica da visita técnica ilustrando os principais aspectos abordados.



Foto 1: Vista geral do beco do Pilão, região alvo dos estudos. Notar ao final da arruela o muro adernado.



Foto 2: Detalhe do muro de alvenaria construído sobre o muro de pedra seca. Notar o adernamento deste e a presença de trincas (seta).



Foto 3: Vista para o muro de alvenaria localizado aos fundos do prédio do CAEM reconstruído.



Foto 4: Vista geral para o patamar de aterro lançado sobre o antigo aterro de partida. Nota-se ainda a sobrecarga adicional promovida pelo conjunto do poste+transformador+sapata e do quiosque (seta) construído.



Foto 5: Detalhe do muro de pedra seca construído sobre camada de aterro nova. Notar o embarrigamento tanto no sentido longitudinal, quanto vertical, além do recalque centimétrico entre o muro e a base do quiosque.



Foto 6: Detalhe da trinca de tração na sapata da cerca divisória indicando movimentação do aterro.

ANEXOS

Fichas de Campo

**WEBSITE**

www.igeo-op.com.br

TELEFONES

(31) 3582-9185

(31) 3582-9186

ENDEREÇO

Rua Alberto Magalhães, nº 245 - Sala 202

Bauxita, Ouro Preto - MG

CEP: 35.400-000

APÊNDICE A

Tabela de dados cedidos pelo IGEO

Apêndice A: Tabela de dados cedidos pelo IGEO.

CÓDIGO	ANO	TIPO DE PROCESSO	UTM E	UTM N	OBSERVAÇÃO
IG 01/09	2009	Deslizamento	655119,7	7745885	N/A
IG 02/09	2009	Deslizamento	656324,3	7744755,8	N/A
IG 03/09	2009	Deslizamento	655859,1	7746278	Não há visualização no Street View.
IG 04/09	2009	Deslizamento	644821,1	7746068,1	N/A
IG 05/09	2009	Deslizamento	654345,2	7745813,7	N/A
IG 06/09	2009	Deslizamento	656865,6	7745209,8	N/A
IG 16/09	2009	Deslizamento de rocha	657366,5	7745231,7	N/A
IG 04/10	2010	Deslizamento	655012,8	7746106,9	N/A
IG 06/10	2010	Deslizamento	656589,7	7745908,7	N/A
IG 07/10	2010	Deslizamento	658033	7745062	N/A
IG 08/10	2010	Deslizamento	654796,2	7746113,9	N/A
IG 02/11	2011	Deslizamento	655183,9	7745865,4	N/A
IG 01/11	2011	Deslizamento	657377,3	7744631,1	N/A
IG 04/11	2011	Deslizamento	657356,7	7744661,6	N/A
IG 09/11	2011	Deslizamento	657088,5	7744919	N/A
IG 13/11	2011	Deslizamento	657804,4	7745000,1	N/A
IG 14/11	2011	Deslizamento	657267,9	7744745,1	N/A
IG 03/11	2011	Deslizamento	657259,4	7745223	N/A
IG 05/11	2011	Deslizamento	656065,6	7745492	N/A
IG 06/11	2011	Deslizamento	655591,3	7745998,7	N/A
IG 12/11	2011	Deslizamento	654859	7746013,6	N/A
IG 10/11	2011	Deslizamento	656268,7	7744420	N/A
IG 02/12	2012	Deslizamento	657321,2	7744563,4	N/A
IG 04/12	2012	Deslizamento	657226,4	7744774,3	N/A
IG 06/12	2012	Deslizamento	657523,2	7744596,3	N/A
IG 22/12	2012	Deslizamento	657506,8	7744622,9	N/A
IG 09/12	2012	Deslizamento	657279,4	7744626,5	N/A
IG 26/12	2012	Deslizamento	N/A	N/A	Endereço não encontrado. Próximo as coordenadas 657575,57 e 7744564,71.
IG 33/12	2012	Deslizamento	657178,4	7744784,2	N/A
IG 34/12	2012	Deslizamento	N/A	N/A	Endereço não encontrado. Próximo as coordenadas 657563,58 e 7744574,97.
IG 51/12	2012	Deslizamento	N/A	N/A	Endereço não encontrado. Próximo as coordenadas 657178,00 e 7744784,00.
IG 55/12	2012	Deslizamento	N/A	N/A	Não visualizado pelo Street View. Localizado próximo às coordenadas 657648,56 e 7745061,50.
IG 56/12	2012	Deslizamento	N/A	N/A	Localizado próximo as coordenadas 657387,43 e 7744735,72.

*CÓDIGO: Código de IGEO; ANO: Ano do cadastro da ocorrência; N/A: Not Available (Não disponível).

Apêndice A: Tabela de dados cedidos pelo IGEO (continuação).

CÓDIGO	ANO	TIPO DE PROCESSO	UTM E	UTM N	OBSERVAÇÃO
IG 58/12	2012	Deslizamento	N/A	N/A	Não visualizado pelo Street View. Localizado próximo às coordenadas 657239,23 e 7744655,24.
IG 11/12	2012	Deslizamento e queda de muro de contenção	N/A	N/A	Não visualizado pelo street view. Endereço próximo as coordenadas 657560,64 e 7745398,45.
IG 28/12	2012	Queda de muro de arrimo, deslizamento	657361,8	7745119,2	Não visualizado pelo street view.
IG 42/12	2012	Risco de Deslizamento			Local próximo as coordenadas 657581,95 e 7744559,13.
IG 17/12	2012	Deslizamento	655494,7	7745717,4	N/A
IG 20/12	2012	Deslizamento	656368,4	7744478,7	N/A
IG 01/12	2012	Deslizamento	654392,5	654392,5	N/A
IG 08/12	2012	Deslizamento	656057,2	7745252	N/A
IG 49/12	2012	Deslizamento	N/A	N/A	Local próximo as coordenadas 655786,20 e 7745076,52.
IG 30/12	2012	Deslizamento	655060,6	7745224,1	N/A
IG 12/12	2012	Deslizamento	N/A	N/A	Não visualizado pelo Street View. Endereço próximo as coordenadas 658178,84 e 7745400,84.
IG 50/12	2012	Queda de bloco	N/A	N/A	Local próximo as coordenadas 657938,11 e 7745441,57.
IG 57/12	2012	Deslizamento	N/A	N/A	Não visualizado pelo Street View. Localizado próximo às coordenadas 655063,63 7745337,18
IG 60/12	2012	Deslizamento	N/A	N/A	Endereço não encontrado. Entorno da Capela do Bairro Nossa Senhora de Lourde. Próximo as coordenadas 654821,99 e 7745196,62.
IG 19/12	2012	Deslizamento	657491,2	7744650,6	N/A
IG 24/12	2012	Deslizamento	655850,3	7744642,3	Supermercado Varejão da Estação.
IG 05/12	2012	Deslizamento	658067,6	7745277,4	N/A
IG 27/12	2012	Deslizamento	N/A	N/A	Endereço não encontrado. Próximo as coordenadas 657569,56 e 7745372,73.
IG 07/12	2012	Deslizamento	657326,9	7743926,4	N/A
IG 15/12	2012	Deslizamento	N/A	N/A	Não visualizado pelo Street View. Endereço próximo as coordenadas 657571,79 e 7744325,50.
IG 21/12	2012	Deslizamento	657317,2	7743946,2	N/A
IG 23/12	2012	Deslizamento	653862	7742813	N/A
IG 41/12	2012	Deslizamento	N/A	N/A	Próximo à casa 441. Local próximo as coordenadas 655683,16 e 7746040,32.
IG 54/12	2012	Deslizamento	N/A	N/A	Não visualizado pelo Street View. Localizado próximo às coordenadas 655859,31 e 7746276,28.
IG 18/12	2012	Deslizamento	655668	7745827	N/A
IG 43/12	2012	Deslizamento	N/A	N/A	Local próximo as coordenadas 655702,09 e 7745758,43.

*CÓDIGO: Código de IGEO; ANO: Ano do cadastro da ocorrência; N/A: Not Available (Não disponível).

Apêndice A: Tabela de dados cedidos pelo IGEO (continuação).

CÓDIGO	ANO	TIPO DE PROCESSO	UTM E	UTM N	OBSERVAÇÃO
IG 48/12	2012	Risco de queda de bloco	655679	7746020	N/A
IG 46/12	2012	Deslizamento	656699	7746068,5	Não há visualização no Street View.
IG 47/12	2012	Deslizamento	656704,5	7746074,4	Não há visualização no Street View.
IG 13/12	2012	Deslizamento	N/A	N/A	Não visualizado pelo street view. Endereço próximo as coordenadas 658212,35 e 7745197,95.
IG 14/12	2012	Deslizamento	N/A	N/A	Endereço próximo as coordenadas 656244,07 e 7744428,38.
IG 03/13	2013	Deslizamento	N/A	N/A	Endereço próximo as coordenadas 657915,25 e 7745433,18.
IG 03/13	2013	Deslizamento	N/A	N/A	Endereço próximo as coordenadas 657915,25 e 7745433,18.
IG 04/13	2013	Deslizamento	655312	7745593,9	N/A
IG 05/13	2013	Deslizamento	655997,2	7744919,9	N/A
IG 06/13	2013	Deslizamento	656563,9	7744737,4	N/A
IG 07/13	2013	Deslizamento	N/A	N/A	Endereço próximo as coordenadas 655798,01 e 7745254,18.
IG 08/13	2013	Deslizamento	654363,6	7745616,8	Localizado na altura do número 38.
IG 09/13	2013	Deslizamento	N/A	N/A	Endereço próximo às coordenadas 657994,14 e 7745048,00.
IG 10/13	2013	Deslizamento	N/A	N/A	Endereço próximo às coordenadas 656196,00 e 7746560,00.
IG 11/13	2013	Deslizamento	655066	7745618	Localizado ao lado do número 31.
IG 12/13	2013	Deslizamento	656897	7744611	Ficha de campo - 203.
IG 13/13	2013	Deslizamento	657318	7744664	Ficha de campo - 199.
IG 14/13	2013	Deslizamento	654184	7745491	Ficha de campo - 194.
IG 15/13	2013	Deslizamento	656185	7744328	Ficha de campo - 202.
IG 16/13	2013	Deslizamento	N/A	N/A	Localizado próximo às coordenadas 657429,71 e 7745100,13.
IG 17/13	2013	Deslizamento	657379	7744594	Não há visualização no Street View - Ficha de campo - 198.
IG 18/13	2013	Deslizamento	N/A	N/A	Local próximo às coordenadas 656699,00 e 7746068,00.
IG 19/13	2013	Deslizamento	656965	7745070	Ficha de campo - 195.
IG 20/13	2013	Deslizamento	657590	7744962	N/A
IG 21/13	2013	Deslizamento	N/A	N/A	Local próximo as coordenadas 656642,62 e 7746037,13.
IG 22/13	2013	Deslizamento	N/A	N/A	Local próximo as coordenadas 658194,56 e 7745034,73.
IG 23/13	2013	Deslizamento de talude	655838,5	7745019,1	N/A
IG 24/13	2013	Deslizamento/Corte	N/A	N/A	Local próximo as coordenadas 657587,90 e 7744553,40.
IG 26/13	2013	Escorregamento Rotacional	655151,2	7745396,4	N/A
IG 27/13	2013	Instalação de muro de gabião	655795	7745086	Ficha de campo - 192.
IG 33/13	2013	Queda de bloco	659102	7745089	N/A
IG 34/13	2013	Queda de Bloco	655913	7745641	N/A
IG 36/13	2013	Rastejo/deslizamento de blocos	657001,8	7744991,4	N/A

*CÓDIGO: Código de IGEO; ANO: Ano do cadastro da ocorrência; N/A: Not Available (Não disponível).

APÊNDICE B

Banco de dados do inventário de movimentos de massa gravitacionais

Apêndice B: Banco de dados do inventário de movimentos de massa gravitacionais.

AUTOR	ANO	1	2	TIPO DE PROCESSO	TIPO DE MATERIAL	COD.INV	UTM E	UTM N	ÁREA (m²)	ATIVIDADE	PROF.
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX1	655405,382	7747086,890	15951,60	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC2	655634,034	7747158,187	2358,12	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC3	655262,936	7746949,084	1736,39	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ4	655107,660	7746833,539	922,54	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ5	655061,605	7746825,536	567,75	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ6	654984,261	7746710,001	1060,75	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ7	655165,164	7746663,300	554,04	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX8	655390,592	7746824,318	4513,07	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC9	655559,810	7746834,247	2059,37	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC10	655564,985	7746711,024	1771,68	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ11	655081,174	7746529,728	1175,74	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ12	654921,395	7746395,352	2117,49	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX13	655158,502	7746414,172	5219,42	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX14	655270,905	7746469,257	1883,67	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX15	655337,369	7746441,797	2742,18	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	MT16	655201,178	7746610,036	4975,20	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	MT17	655319,731	7746623,528	1323,32	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC18	655812,158	7746506,156	2520,09	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC19	655794,320	7746357,463	1319,94	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX20	655668,331	7746272,186	10327,60	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX21	655794,156	7746123,769	2769,90	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX22	655594,415	7745886,071	2267,68	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA23	655792,352	7745859,921	17396,80	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ24	654620,753	7746486,206	1175,11	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qd	Queda	Detritos	MQ25	654731,433	7746360,922	1845,55	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA26	654879,734	7746231,992	6615,91	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC27	654786,940	7746094,241	1718,12	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC28	654861,757	7746013,800	1193,30	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA29	654735,334	7746006,349	14742,50	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA30	654404,054	7746070,333	53748,10	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ31	653137,160	7746332,811	1899,42	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX32	653348,724	7746046,308	2891,26	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ33	653045,779	7745932,281	1681,82	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ34	653334,240	7745881,934	775,74	N/A	N/A

*ANO: Data do trabalho; 1: Código da feição; 2: Código do processo; Cód.INV: Código do inventário; PROF.: Profundidade do movimento, N/A: Not Available (Não disponível).

Apêndice B: Banco de dados do inventário de movimentos de massa gravitacionais (continuação).

AUTOR	ANO	1	2	TIPO DE PROCESSO	TIPO DE MATERIAL	COD.INV	UTM E	UTM N	ÁREA (m²)	ATIVIDADE	PROF.
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ35	653335,559	7745760,599	845,99	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA36	653754,565	7745466,940	11463,80	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Erot	Escorregamento rotacional	Solo	MR37	653931,796	7745949,936	816,85	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA38	653966,855	7745419,671	27696,50	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA39	654115,702	7745447,493	4270,11	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA40	653631,302	7743853,910	13875,00	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX41	653784,074	7743387,449	2815,26	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX42	653622,257	7743332,034	1650,08	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX43	654158,088	7743267,784	1316,55	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX44	654496,731	7743275,270	677,37	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX45	654699,830	7743148,291	2728,55	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX46	654682,630	7743070,499	1908,16	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA47	654654,935	7743577,826	2172,93	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA48	653858,237	7743750,181	5963,58	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	MT49	653969,838	7743610,761	790,47	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX50	654145,024	7743784,155	2024,40	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX51	654214,739	7743806,431	2145,92	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qd	Queda	Detritos	MQ52	654339,933	7743862,006	1889,81	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	MT53	654724,523	7744029,833	1108,87	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	MT54	654840,298	7743988,168	2050,08	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	MT55	654865,987	7743865,631	1312,61	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	MT56	654779,738	7743858,663	3084,37	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA57	654532,011	7745896,747	18515,80	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX58	654419,652	7745782,908	5087,19	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA59	654627,443	7745778,315	10140,40	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX60	654761,149	7745804,459	2191,91	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	MT61	655103,347	7745420,272	647,68	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	MT62	655283,108	7745259,410	1952,97	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX63	655423,116	7745135,136	1939,66	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX64	655462,483	7745009,116	433,78	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX65	655299,833	7745006,242	1177,86	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX66	655115,738	7744924,604	2248,54	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA67	655379,689	7744937,109	6343,42	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA68	655463,892	7744865,725	5948,62	N/A	N/A

*ANO: Data do trabalho; 1: Código da feição; 2: Código do processo; Cód.INV: Código do inventário; PROF.: Profundidade do movimento, N/A: Not Available (Não disponível).

Apêndice B: Banco de dados do inventário de movimentos de massa gravitacionais (continuação).

AUTOR	ANO	1	2	TIPO DE PROCESSO	TIPO DE MATERIAL	COD.INV	UTM E	UTM N	ÁREA (m²)	ATIVIDADE	PROF.
Souza, M.L.	1996	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	MT69	655436,914	7744696,662	1632,28	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX70	655400,687	7744598,805	4219,23	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX71	655214,678	7744492,489	9429,20	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC72	654909,992	7744308,187	2106,94	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	MT73	655835,161	7744746,266	2733,91	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC74	654721,572	7744276,657	2311,86	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	MT75	656083,534	7745766,669	9294,69	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC76	655925,446	7745455,751	1517,53	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Etd	Escorregamento translacional	Detritos	MT77	655991,448	7745442,889	1685,83	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	MT78	656037,378	7745353,782	1581,96	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC79	655821,879	7745421,143	2150,33	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX80	655778,846	7745293,315	1658,27	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	MT81	655661,222	7745271,764	3114,14	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	MT82	656000,696	7745025,734	1486,82	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX83	655349,019	7745633,465	2553,01	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX84	655484,988	7745640,215	2264,53	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qd	Queda	Detritos	MQ85	653087,376	7742668,397	2243,26	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Etd	Escorregamento translacional	Detritos	MT86	653278,063	7742801,644	2030,39	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cs	Corrida de material	Solo	MC87	653660,171	7742370,649	2203,02	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX88	653728,759	7742045,672	1167,23	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Etd	Escorregamento translacional	Detritos	MT89	653651,600	7742092,047	2426,84	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cs	Corrida de material	Solo	MC90	653938,854	7742137,461	1576,99	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	MT91	654201,686	7742870,300	3052,16	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	MT92	654128,560	7742792,759	813,86	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ93	654560,004	7742733,461	1893,04	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX94	654680,565	7742822,567	2091,50	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA95	655157,785	7743208,920	6983,85	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX96	655102,541	7743091,719	1794,99	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	MT97	655723,994	7742989,379	2024,95	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX98	655494,685	7742759,964	1645,46	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	MT99	655024,748	7742318,010	2011,17	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX100	655350,584	7742246,919	1892,57	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	MT101	655685,150	7742053,296	1150,46	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	MT102	655715,570	7742182,844	1309,70	N/A	N/A

*ANO: Data do trabalho; 1: Código da feição; 2: Código do processo; Cód.INV: Código do inventário; PROF.: Profundidade do movimento, N/A: Not Available (Não disponível).

Apêndice B: Banco de dados do inventário de movimentos de massa gravitacionais (continuação).

AUTOR	ANO	1	2	TIPO DE PROCESSO	TIPO DE MATERIAL	COD.INV	UTM E	UTM N	ÁREA (m²)	ATIVIDADE	PROF.
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ103	656016,309	7743160,645	1897,45	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ104	656099,784	7742338,662	1517,14	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ105	656376,955	7742301,410	2350,29	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ106	656187,958	7742523,485	2219,64	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ107	656252,678	7742721,437	1531,63	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA108	656568,382	7742967,467	53582,70	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA109	656836,731	7743109,226	51226,30	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ110	656629,610	7742463,887	1900,52	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ111	656798,025	7742581,147	1789,24	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ112	656599,167	7742656,000	1837,99	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ113	656680,282	7742771,772	1908,00	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX114	656733,932	7742849,606	3148,95	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ115	657020,664	7742703,779	1900,99	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ116	657079,327	7742625,045	1927,30	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ117	657184,673	7742540,250	1763,80	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ118	657315,056	7742549,310	1756,08	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ119	657297,426	7742396,039	2626,17	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ120	657094,963	7742461,261	1705,84	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ121	657167,341	7742355,235	1787,66	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ122	657244,912	7742265,777	1580,22	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ123	657038,648	7742257,215	1676,86	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX124	657321,282	7742705,219	1647,40	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ125	657417,043	7742811,294	1441,06	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ126	657515,969	7742896,605	1875,63	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qd	Queda	Detritos	MQ127	657707,860	7743057,428	1954,47	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA128	657331,069	7743068,811	28564,40	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA129	657599,501	7743248,254	13133,00	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA130	657350,231	7743436,562	43135,30	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qd	Queda	Detritos	MQ131	657071,183	7743339,839	1796,25	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX132	656272,330	7743178,263	2763,36	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX133	656410,254	7743266,414	1226,69	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX134	656237,241	7743339,253	1838,07	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX135	656115,149	7743409,225	1784,36	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX136	656328,345	7743481,068	1757,26	N/A	N/A

*ANO: Data do trabalho; 1: Código da feição; 2: Código do processo; Cód.INV: Código do inventário; PROF.: Profundidade do movimento, N/A: Not Available (Não disponível).

Apêndice B: Banco de dados do inventário de movimentos de massa gravitacionais (continuação).

AUTOR	ANO	1	2	TIPO DE PROCESSO	TIPO DE MATERIAL	COD.INV	UTM E	UTM N	ÁREA (m²)	ATIVIDADE	PROF.
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX137	656266,846	7743553,918	2094,89	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX138	656335,070	7743693,191	1909,18	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qd	Queda	Detritos	MQ139	656658,079	7743716,751	2597,03	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qd	Queda	Detritos	MQ140	656980,568	7743660,955	1510,92	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC141	657472,978	7743853,862	1433,11	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC142	657499,142	7743960,879	1931,00	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	MT143	657774,640	7743927,488	1958,72	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX144	657676,900	7744050,060	1702,77	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX145	657865,118	7744218,492	11319,20	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX146	657670,155	7744378,303	1880,44	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Etd	Escorregamento translacional	Detritos	MT147	657757,823	7744543,446	2491,50	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Etd	Escorregamento translacional	Detritos	MT148	657594,961	7744651,487	1666,62	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Etd	Escorregamento translacional	Detritos	MT149	657708,156	7744687,797	2805,97	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	MT150	657368,512	7744523,830	996,33	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX151	657437,633	7744566,301	1887,60	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA152	657595,015	7744515,356	14969,90	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Etd	Escorregamento translacional	Detritos	MT153	657245,133	7744681,306	3216,52	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC154	657255,156	7744735,506	1428,54	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX155	657341,024	7744782,535	834,10	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC156	656946,350	7744784,138	1381,44	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Etd	Escorregamento translacional	Detritos	MT157	657056,958	7744683,865	901,12	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	MT158	657095,175	7744764,804	2007,63	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX159	656986,209	7744553,431	4469,75	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC160	656894,602	7744437,467	1283,39	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA161	656923,110	7744348,423	4348,55	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	MT162	656600,784	7744566,820	1348,29	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	MT163	656616,273	7744396,147	1870,59	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX164	656231,013	7744254,601	2663,34	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX165	656053,324	7744785,524	1352,07	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ166	656075,373	7744864,733	1213,70	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX167	656173,945	7744806,935	1044,06	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	MT168	656383,733	7744886,511	1694,10	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ169	656369,071	7745031,094	1878,23	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	MT170	656192,260	7745451,698	1659,29	N/A	N/A

*ANO: Data do trabalho; 1: Código da feição; 2: Código do processo; Cód.INV: Código do inventário; PROF.: Profundidade do movimento, N/A: Not Available (Não disponível).

Apêndice B: Banco de dados do inventário de movimentos de massa gravitacionais (continuação).

AUTOR	ANO	1	2	TIPO DE PROCESSO	TIPO DE MATERIAL	COD.INV	UTM E	UTM N	ÁREA (m²)	ATIVIDADE	PROF.
Souza, M.L.	1996	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	MT171	656226,381	7745619,403	638,63	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ172	656420,070	7745569,404	1911,78	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA173	656676,838	7745403,884	4168,91	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX174	657002,075	7745424,752	967,82	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX175	656919,245	7745444,550	1376,64	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ176	656632,051	7745810,575	2236,10	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC177	656739,376	7746370,121	623,43	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC178	656841,792	7746482,771	845,20	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC179	656772,399	7746552,241	1504,85	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC180	656874,122	7746570,725	3580,84	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC181	656653,700	7746730,178	4559,53	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC182	656744,982	7746629,176	4704,76	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA183	656553,368	7747117,537	15375,90	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA184	656413,723	7747383,378	34265,60	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA185	656619,466	7747437,717	74942,00	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA186	656866,135	7747477,678	27287,70	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX187	657001,205	7744944,886	1316,55	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX188	657815,674	7746834,257	14256,70	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX189	658222,536	7746976,291	2733,99	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX190	658559,588	7746999,722	4114,80	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	MT191	660163,939	7746844,954	1590,22	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Etd	Escorregamento translacional	Detritos	MT192	660105,050	7746710,710	1625,27	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	MT193	659955,454	7746581,005	861,98	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	MT194	660250,063	7746381,743	1141,87	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX195	660166,805	7746405,957	3251,49	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ196	658420,729	7743263,248	3433,57	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	MT197	658621,650	7743581,612	3979,82	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX198	658163,210	7744258,154	3450,74	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX199	658047,096	7744402,444	1460,59	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA200	657911,601	7744374,987	5826,78	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX201	658151,523	7744492,333	2457,48	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA202	657875,673	7744644,004	10555,00	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Etd	Escorregamento translacional	Detritos	MT203	657701,675	7744765,303	1668,98	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Etd	Escorregamento translacional	Detritos	MT204	657940,331	7744799,997	1023,35	N/A	N/A

*ANO: Data do trabalho; 1: Código da feição; 2: Código do processo; Cód.INV: Código do inventário; PROF.: Profundidade do movimento, N/A: Not Available (Não disponível).

Apêndice B: Banco de dados do inventário de movimentos de massa gravitacionais (continuação).

AUTOR	ANO	1	2	TIPO DE PROCESSO	TIPO DE MATERIAL	COD.INV	UTM E	UTM N	ÁREA (m²)	ATIVIDADE	PROF.
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ205	657959,720	7744850,974	1554,71	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ206	658175,023	7744880,051	1752,07	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ207	658474,185	7744811,684	1758,76	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA208	658466,847	7744551,392	33861,00	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX209	659187,654	7744217,964	2873,07	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ210	659107,444	7743772,887	2285,00	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ211	659391,395	7743667,926	2229,48	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ212	659555,674	7743081,779	1908,16	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ213	659922,725	7743202,321	1979,59	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX214	658271,919	7744357,732	9284,21	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX215	658645,745	7744662,777	1487,29	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	MT216	658929,173	7744439,619	2343,99	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	MT217	658992,436	7744433,742	3501,46	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX218	659135,531	7744371,598	2142,93	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	MT219	659095,530	7744516,371	5023,87	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX220	659205,618	7744710,612	3212,19	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX221	658934,466	7744676,611	1658,82	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX222	658753,615	7744844,066	13111,50	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA223	658751,119	7744983,454	10119,70	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX224	658793,417	7745097,834	1369,55	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX225	658786,204	7745193,782	581,84	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX226	658704,272	7745222,021	2622,55	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX227	658535,656	7745133,196	5185,64	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX228	658173,880	7745111,675	2017,31	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA229	658247,418	7745184,664	50759,50	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX230	658585,969	7745456,165	2092,76	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX231	658641,427	7745594,025	517,11	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX232	658574,132	7745625,266	1415,86	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qd	Queda	Detritos	MQ233	657841,034	7745187,073	2216,80	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX234	657361,817	7745156,581	464,50	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX235	657182,613	7745410,265	554,59	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX236	657130,841	7745446,702	861,03	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX237	657079,047	7745427,367	718,41	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX238	657115,984	7745347,280	953,49	N/A	N/A

*ANO: Data do trabalho; 1: Código da feição; 2: Código do processo; COD.INV: Código do inventário; PROF.: Profundidade do movimento, N/A: Not Available (Não disponível).

Apêndice B: Banco de dados do inventário de movimentos de massa gravitacionais (continuação).

AUTOR	ANO	1	2	TIPO DE PROCESSO	TIPO DE MATERIAL	COD.INV	UTM E	UTM N	ÁREA (m²)	ATIVIDADE	PROF.
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX239	657220,176	7745347,025	2251,77	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA240	657367,902	7746112,153	49075,40	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX241	658570,879	7745761,151	2648,69	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX242	658354,529	7745933,246	2025,90	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX243	658275,547	7745922,538	4822,89	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX244	658104,242	7745851,895	3238,81	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX245	658123,066	7745792,914	3296,22	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX246	658644,726	7746027,031	2325,56	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX247	657655,296	7746284,237	15067,40	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ248	657824,143	7746312,678	7814,80	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX249	657837,494	7746096,345	7746,99	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA250	657995,459	7746123,743	12260,60	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX251	657610,599	7746099,540	5298,89	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX252	657254,086	7745772,622	339,91	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX253	657220,942	7745770,477	325,62	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX254	657283,114	7745684,577	642,93	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX255	657135,111	7745894,640	2858,69	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX256	657227,299	7745893,361	5280,77	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX257	657347,087	7745823,835	534,91	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX258	657383,678	7745648,026	649,89	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX259	657528,469	7745611,518	299,43	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX260	657526,623	7745541,012	344,16	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX261	657465,495	7745487,141	293,13	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX262	657555,366	7745396,736	2103,63	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX263	657595,312	7745455,449	1081,07	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX264	657672,589	7745586,173	357,39	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX265	657687,465	7745731,693	423,47	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX266	657718,075	7745667,367	499,31	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX267	657475,398	7745840,470	1769,31	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX268	657563,141	7745827,373	2571,67	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX269	657629,113	7745767,564	2085,52	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX270	657772,206	7745759,132	3656,21	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX271	657862,660	7745852,071	3949,65	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX272	657959,063	7745550,111	2917,49	N/A	N/A

*ANO: Data do trabalho; 1: Código da feição; 2: Código do processo; COD.INV: Código do inventário; PROF.: Profundidade do movimento, N/A: Not Available (Não disponível).

Apêndice B: Banco de dados do inventário de movimentos de massa gravitacionais (continuação).

AUTOR	ANO	1	2	TIPO DE PROCESSO	TIPO DE MATERIAL	COD.INV	UTM E	UTM N	ÁREA (m²)	ATIVIDADE	PROF.
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX273	657847,221	7745431,367	5185,56	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC274	659732,868	7746174,483	1285,21	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC275	659887,777	7745982,398	3059,72	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX276	659407,364	7745851,481	5192,49	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC277	659253,073	7745735,479	2339,27	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA278	659341,580	7745587,750	4345,63	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX279	659113,917	7745528,409	5931,61	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	MT280	659326,792	7745377,734	6728,84	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA281	659085,058	7745360,436	25666,10	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC282	658992,336	7745236,110	1476,90	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX283	659094,125	7745214,135	1838,30	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX284	659088,041	7745148,049	4390,52	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX285	659237,780	7745119,915	2428,65	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	MT286	659237,731	7744968,633	7540,57	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA287	658992,706	7745028,062	9401,40	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ288	659350,430	7745256,320	4383,04	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA289	659578,061	7745277,447	16354,40	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC290	659712,117	7745394,776	5195,40	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ291	659554,140	7745455,877	907,81	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC292	659596,408	7745539,467	1545,65	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC293	659561,298	7745627,946	2668,38	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ294	659692,907	7745636,911	2106,70	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	MT295	659211,956	7744863,284	2438,89	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	MT296	659284,688	7744776,098	1578,88	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX297	659389,663	7744799,198	3063,10	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA298	659446,793	7744499,570	7066,07	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA299	659616,412	7744472,687	21035,10	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	MT300	659541,631	7744148,114	5238,64	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cd	Corrida de material	Detritos	MC301	660092,194	7744507,354	1916,51	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX302	659737,694	7744891,555	2065,43	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX303	659830,066	7744886,689	1758,21	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX304	659930,909	7744886,249	2342,57	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ305	660074,886	7744835,480	1969,04	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX306	659851,604	7745006,044	6771,37	N/A	N/A

*ANO: Data do trabalho; 1: Código da feição; 2: Código do processo; Cód.INV: Código do inventário; PROF.: Profundidade do movimento, N/A: Not Available (Não disponível).

Apêndice B: Banco de dados do inventário de movimentos de massa gravitacionais (continuação).

AUTOR	ANO	1	2	TIPO DE PROCESSO	TIPO DE MATERIAL	COD.INV	UTM E	UTM N	ÁREA (m²)	ATIVIDADE	PROF.
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA307	660312,190	7745078,439	5700,62	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX308	660167,270	7744755,035	1310,33	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qd	Queda	Detritos	MQ309	660299,793	7744788,687	5263,52	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ310	660396,107	7744615,214	4352,64	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA311	660426,773	7744487,482	15396,00	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qd	Queda	Detritos	MQ312	660512,811	7744738,312	6779,33	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qd	Queda	Detritos	MQ313	660577,359	7744859,764	1064,69	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qs	Queda	Solo	MQ314	660743,257	7744589,671	1524,70	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ315	660897,321	7744580,680	2086,23	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA316	660966,465	7744435,670	5586,26	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Complexo	N/A	MX317	660963,675	7744097,486	2439,13	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Qr	Queda	Rocha	MQ318	660447,876	7745460,008	809,29	N/A	N/A
Souza, M.L.	1996	N/A	Cx	Área de múltiplas feições	N/A	MA319	660467,856	7745318,451	25818,40	N/A	N/A
Bonuccelli, T.J.	1999	13	8	Complexo	rocha, detritos e solo	BX320	653070,214	7743113,293	19513,70	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	132	2	Escorregamento translacional	rocha e detritos	BT321	653038,629	7744681,058	653,72	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	128	2	Escorregamento translacional	rocha e detritos	BT322	653058,589	7746157,053	5915,10	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	45	2	Escorregamento translacional	solo	BT323	653185,679	7743905,592	876,83	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	44	2	Escorregamento translacional	solo	BT324	653075,632	7743887,605	745,39	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	43	2	Escorregamento translacional	rocha	BT325	653012,009	7743738,822	890,39	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	14	8	Complexo	rocha, detritos e solo	BX326	653079,249	7743266,151	1532,44	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	443	2	Escorregamento translacional	detritos e solo	BT327	658405,584	7747563,298	2167,33	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	176	4	Escoamentos rápidos ou corridas	detritos e solo	BC328	656542,928	7745157,448	645,00	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	175	4	Escoamentos rápidos ou corridas	detritos e solo	BC329	656379,896	7745212,276	329,39	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	156	11	Escorregamento translacional e	rocha, detritos e solo	BTC330	656156,659	7745612,843	1806,22	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	212	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL331	654873,558	7746386,226	320,33	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	211	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL332	654995,868	7746255,692	326,55	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	217	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL333	655013,823	7746695,367	144,55	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	232	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL334	656595,552	7745503,942	368,17	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	231	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL335	656595,442	7745589,734	193,83	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	1	11	Escorregamento translacional e	detritos e solo	BTC336	655897,013	7744624,218	489,44	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	393	1	Escorregamento	rocha, detritos e solo	BE337	656769,997	7745113,609	116,39	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	439	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL338	657387,048	7745245,867	679,66	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	402	11	Escorregamento translacional e	rocha, detritos e solo	BTC339	657255,082	7745307,520	894,22	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	268	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL340	659169,322	7745263,106	490,67	dormente	até 2m

*ANO: Data do trabalho; 1: Código da feição; 2: Código do processo; Cód.INV: Código do inventário; PROF.: Profundidade do movimento, N/A: Not Available (Não disponível).

Apêndice B: Banco de dados do inventário de movimentos de massa gravitacionais (continuação).

AUTOR	ANO	1	2	TIPO DE PROCESSO	TIPO DE MATERIAL	COD.INV	UTM E	UTM N	ÁREA (m²)	ATIVIDADE	PROF.
Bonuccelli, T.J.	1999	240	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL341	657068,186	7747778,809	673,00	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	241	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL342	656074,110	7747609,843	436,61	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	288	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL343	657194,634	7742234,823	311,39	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	442	1	Escorregamento	detritos e solo	BE344	658324,328	7745855,198	716,00	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	441	1	Escorregamento	rocha, detritos e solo	BE345	656939,017	7745153,809	431,55	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	440	1	Escorregamento	rocha, detritos e solo	BE346	657022,651	7745242,829	382,22	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	438	1	Escorregamento	detritos e solo	BE347	657576,398	7745460,328	840,39	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	437	1	Escorregamento	rocha, detritos e solo	BE348	657970,688	7745296,713	200,61	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	434	1	Escorregamento	rocha e detritos	BE349	658116,884	7745070,139	161,55	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	435	1	Escorregamento	rocha, detritos e solo	BE350	659254,278	7745060,793	247,83	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	433	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL351	656410,764	7742059,057	583,94	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	431	11	Escorregamento translacional e	rocha, detritos e solo	BTC352	655944,811	7742274,764	308,05	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	430	8	Complexo	rocha, detritos e solo	BX353	656986,468	7745642,097	2313,83	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	429	8	Complexo	rocha, detritos e solo	BX354	656799,052	7745602,692	11593,80	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	428	8	Complexo	rocha, detritos e solo	BX355	656859,966	7745823,462	2093,77	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	427	4	Escoamentos rápidos ou corrida	detritos e solo	BC356	658635,458	7745973,647	436,17	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	424	4	Escoamentos rápidos ou corrida	detritos e solo	BC357	657899,067	7746020,657	1446,72	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	426	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL358	658128,161	7745893,985	358,83	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	421	1	Escorregamento	detritos e solo	BE359	657990,458	7746058,704	295,78	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	416	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL360	658833,772	7745245,103	538,89	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	414	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL361	658340,360	7745539,488	1757,72	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	411	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL362	658530,554	7745316,305	713,22	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	410	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL363	658478,081	7745400,230	814,55	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	413	9	Escorregamento e corrida	detritos e solo	BEC364	658474,850	7745713,709	1462,05	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	408	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL365	658413,297	7745225,876	277,05	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	409	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL366	658283,988	7745210,795	349,89	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	406	1	Escorregamento	rocha, detritos e solo	BE367	658813,696	7745088,042	487,00	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	405	9	Escorregamento e corrida	detritos e solo	BEC368	658520,472	7745130,232	254,17	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	404	1	Escorregamento	detritos e solo	BE369	658320,773	7745134,469	364,50	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	403	12	Corridas e rolamentos	rocha, detritos e solo	BCL370	657667,163	7745247,423	751,83	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	401	11	Escorregamento translacional e	rocha, detritos e solo	BTC371	657612,696	7745256,686	793,44	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	400	1	Escorregamento	rocha, detritos e solo	BE372	657953,959	7745161,225	395,05	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	399	3	Quedas e rolamentos	rocha, detritos e solo	BQL373	658084,323	7745290,400	1718,55	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	398	1	Escorregamento	rocha, detritos e solo	BE374	658229,443	7745035,696	1723,72	ativa	2 a 10m

*ANO: Data do trabalho; 1: Código da feição; 2: Código do processo; COD.INV: Código do inventário; PROF.: Profundidade do movimento, N/A: Not Available (Não disponível).

Apêndice B: Banco de dados do inventário de movimentos de massa gravitacionais (continuação).

AUTOR	ANO	1	2	TIPO DE PROCESSO	TIPO DE MATERIAL	COD.INV	UTM E	UTM N	ÁREA (m²)	ATIVIDADE	PROF.
Bonuccelli, T.J.	1999	395	1	Escorregamento	detritos e solo	BE375	656793,438	7745092,203	106,33	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	394	1	Escorregamento	rocha, detritos e solo	BE376	656895,346	7745130,234	103,00	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	392	1	Escorregamento	rocha, detritos e solo	BE377	656651,830	7745151,957	76,44	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	391	9	Escorregamento e corrida	detritos e solo	BEC378	657011,218	7744763,044	292,67	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	390	1	Escorregamento	detritos e solo	BE379	656926,460	7744554,260	183,94	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	385	1	Escorregamento	detritos e solo	BE380	657401,091	7743997,131	140,83	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	384	10	Escorregamento e erosão	detritos e solo	BEG381	657343,127	7743904,596	775,83	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	387	1	Escorregamento	detritos e solo	BE382	657328,186	7744117,225	126,44	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	388	1	Escorregamento	detritos e solo	BE383	657496,374	7744126,660	158,05	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	386	1	Escorregamento	detritos e solo	BE384	657403,951	7744066,671	65,50	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	381	1	Escorregamento	solo	BE385	658129,162	7743996,001	91,61	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	380	10	Escorregamento e erosão	detritos e solo	BEG386	657511,406	7743916,922	552,55	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	378	1	Escorregamento	detritos e solo	BE387	657303,794	7744150,965	479,11	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	368	9	Escorregamento e corrida	detritos e solo	BEC388	657674,523	7744672,047	430,39	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	365	11	Escorregamento translacional e	detritos e solo	BTC389	657226,042	7744743,116	718,66	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	371	1	Escorregamento	detritos e solo	BE390	657361,370	7744666,417	144,22	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	372	1	Escorregamento	detritos e solo	BE391	657378,369	7744629,313	245,89	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	369	1	Escorregamento	detritos e solo	BE392	657267,791	7744731,599	305,55	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	370	8	Complexo	detritos e solo	BX393	657322,647	7744706,957	196,28	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	374	8	Complexo	detritos e solo	BX394	657640,287	7744500,003	1810,00	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	375	1	Escorregamento	detritos e solo	BE395	657695,352	7744225,662	340,28	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	364	10	Escorregamento e erosão	solo	BEG396	657511,518	7744609,044	102,28	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	363	1	Escorregamento	rocha, detritos e solo	BE397	657460,042	7744681,180	395,39	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	366	2	Escorregamento translacional	rocha e detritos	BT398	657158,447	7744758,048	366,33	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	362	1	Escorregamento	detritos e solo	BE399	657723,069	7744166,037	274,78	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	373	8	Complexo	detritos e solo	BX400	657540,110	7744502,656	194,83	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	385	1	Escorregamento	detritos e solo	BE380	657401,091	7743997,131	140,83	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	275	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL402	659098,751	7743161,492	288,94	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	274	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL403	659099,730	7743249,482	675,83	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	354	11	Escorregamento translacional e	rocha, detritos e solo	BTC404	658132,601	7744096,666	496,83	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	353	11	Escorregamento translacional e	detritos e solo	BTC405	657549,343	7744116,795	2207,44	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	352	2	Escorregamento translacional	rocha, detritos e solo	BT406	657451,463	7744036,443	522,00	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	361	2	Escorregamento translacional	rocha, detritos e solo	BT407	657707,547	7744104,999	693,72	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	349	2	Escorregamento translacional	rocha e detritos	BT408	657783,240	7744395,017	531,67	ativa	até 2m

*ANO: Data do trabalho; 1: Código da feição; 2: Código do processo; Cód.INV: Código do inventário; PROF.: Profundidade do movimento, N/A: Not Available (Não disponível).

Apêndice B: Banco de dados do inventário de movimentos de massa gravitacionais (continuação).

AUTOR	ANO	1	2	TIPO DE PROCESSO	TIPO DE MATERIAL	COD.INV	UTM E	UTM N	ÁREA (m²)	ATIVIDADE	PROF.
Bonuccelli, T.J.	1999	350	1	Escorregamento	detritos e solo	BE409	657679,486	7744435,048	293,83	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	351	11	Escorregamento translacional e	rocha, detritos e solo	BTC410	658065,443	7744112,720	3181,44	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	348	1	Escorregamento	detritos e solo	BE411	657885,672	7744395,232	162,94	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	347	1	Escorregamento	rocha, detritos e solo	BE412	657832,437	7744312,931	3482,16	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	345	1	Escorregamento	rocha, detritos e solo	BE413	657873,718	7744096,801	839,83	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	343	2	Escorregamento translacional	detritos e solo	BT414	658683,987	7743294,577	1263,50	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	341	2	Escorregamento translacional	rocha e detritos	BT415	658663,323	7743542,399	1859,72	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	340	8	Complexo	rocha, detritos e solo	BX416	658829,311	7743667,457	7536,71	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	19	8	Complexo	rocha, detritos e solo	BX417	657861,054	7743539,217	312,22	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	337	1	Escorregamento	detritos e solo	BE418	657106,865	7743958,909	259,11	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	336	8	Complexo	rocha, detritos e solo	BX419	658772,185	7744386,435	7865,76	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	332	8	Complexo	detritos e solo	BX420	658979,190	7744473,027	1079,83	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	331	8	Complexo	detritos e solo	BX421	658996,484	7744418,971	2835,88	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	324	12	Corridas e rolamentos	rocha e detritos	BCL422	659307,596	7744816,314	609,89	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	323	12	Corridas e rolamentos	rocha e detritos	BCL423	659461,421	7744817,412	566,94	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	321	9	Escorregamento e corrida	detritos e solo	BEC424	658486,497	7745020,415	2242,00	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	318	12	Corridas e rolamentos	rocha e detritos	BCL425	658525,433	7744834,827	3790,21	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	317	12	Corridas e rolamentos	rocha e detritos	BCL426	658673,803	7744835,196	2490,88	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	320	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL427	658344,272	7744828,639	443,89	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	319	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL428	658401,685	7744859,406	629,94	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	355	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL429	659397,107	7743664,294	853,39	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	308	8	Complexo	rocha, detritos e solo	BX430	659199,371	7744287,287	8604,15	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	307	8	Área de múltiplas feições	rocha, detritos e solo	BA431	659425,734	7744298,824	42422,00	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	305	2	Escorregamento translacional	rocha e detritos	BT432	655924,985	7742103,183	1495,89	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	306	2	Escorregamento translacional	detritos e solo	BT433	655710,775	7742198,926	1047,89	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	271	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL434	659561,852	7743034,157	705,22	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	273	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL435	659628,002	7743464,809	1031,83	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	277	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL436	658806,439	7742641,915	797,55	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	276	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL437	658878,768	7742855,132	625,11	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	278	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL438	658542,169	7742844,128	726,61	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	280	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL439	658049,484	7742660,573	631,61	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	279	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL440	658269,308	7742663,720	432,67	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	282	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL441	657708,088	7742008,919	792,94	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	283	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL442	657526,062	7742098,684	752,61	ativa	até 2m

*ANO: Data do trabalho; 1: Código da feição; 2: Código do processo; COD.INV: Código do inventário; PROF.: Profundidade do movimento, N/A: Not Available (Não disponível).

Apêndice B: Banco de dados do inventário de movimentos de massa gravitacionais (continuação).

AUTOR	ANO	1	2	TIPO DE PROCESSO	TIPO DE MATERIAL	COD.INV	UTM E	UTM N	ÁREA (m²)	ATIVIDADE	PROF.
Bonuccelli, T.J.	1999	284	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL443	657631,528	7742291,222	1132,33	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	281	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL444	657964,290	7742206,457	843,33	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	291	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL445	656929,349	7742436,710	829,33	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	285	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL446	657342,948	7742363,927	946,00	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	286	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL447	657333,496	7742498,457	498,67	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	287	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL448	657264,215	7742273,847	473,55	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	289	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL449	657186,416	7742317,773	469,17	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	290	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL450	657089,391	7742412,283	1482,00	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	298	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL451	656502,991	7742609,539	1333,72	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	292	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL452	656728,246	7742321,726	732,94	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	299	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL453	656596,220	7742424,899	800,83	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	300	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL454	656763,315	7742538,470	1449,44	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	295	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL455	656472,125	7742355,691	925,78	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	294	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL456	656272,456	7742290,118	885,16	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	293	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL457	656403,774	7742257,983	517,55	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	297	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL458	656297,023	7742649,294	924,55	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	296	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL459	656332,600	7742521,855	1313,05	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	303	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL460	656135,118	7742484,604	447,17	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	397	9	Escorregamento e corrida	rocha, detritos e solo	BEC461	657780,919	7745223,346	3860,99	ativa	> 10 m
Bonuccelli, T.J.	1999	417	8	Complexo	rocha, detritos e solo	BX462	658778,287	7745478,680	13054,30	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	264	12	Corridas e rolamentos	rocha, detritos e solo	BCL463	659199,283	7745843,181	1780,50	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	265	12	Corridas e rolamentos	rocha, detritos e solo	BCL464	659679,916	7745556,670	1573,33	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	249	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL465	659555,737	7747089,122	1670,22	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	248	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL466	658593,873	7747653,679	1987,88	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	238	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL467	656068,498	7747005,288	1915,77	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	237	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL468	655867,933	7746915,711	2093,55	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	216	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL469	654975,775	7746638,064	492,55	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	234	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL470	655016,698	7747413,615	388,00	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	236	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL471	654929,138	7747509,715	569,55	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	235	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL472	654996,743	7747551,658	672,89	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	233	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL473	654935,875	7747446,413	550,67	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	209	1	Escorregamento	rocha, detritos e solo	BE474	654800,951	7745712,947	107,67	dormente	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	208	1	Escorregamento	rocha, detritos e solo	BE475	654977,655	7746052,382	123,00	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	206	1	Escorregamento	rocha	BE476	655004,379	7746172,541	223,22	ativa	até 2m

*ANO: Data do trabalho; 1: Código da feição; 2: Código do processo; COD.INV: Código do inventário; PROF.: Profundidade do movimento, N/A: Not Available (Não disponível).

Apêndice B: Banco de dados do inventário de movimentos de massa gravitacionais (continuação).

AUTOR	ANO	1	2	TIPO DE PROCESSO	TIPO DE MATERIAL	COD.INV	UTM E	UTM N	ÁREA (m²)	ATIVIDADE	PROF.
Bonuccelli, T.J.	1999	205	1	Escorregamento	rocha, detritos e solo	BE477	654873,409	7746222,944	238,83	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	204	1	Escorregamento	rocha, detritos e solo	BE478	654798,543	7746175,181	494,22	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	202	1	Escorregamento	rocha, detritos e solo	BE479	654598,773	7746309,739	167,50	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	203	1	Escorregamento	rocha, detritos e solo	BE480	654805,373	7746011,322	201,28	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	210	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL481	655414,163	7746408,556	241,94	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	214	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL482	655026,770	7746491,872	307,05	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	215	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL483	655101,283	7746584,318	595,39	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	213	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL484	655165,160	7746540,943	520,67	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	201	11	Escorregamento translacional e	detritos e solo	BTC485	655994,608	7745988,182	2090,22	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	199	11	Escorregamento translacional e	detritos e solo	BTC486	655799,587	7745898,541	1464,33	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	200	11	Escorregamento translacional e	detritos e solo	BTC487	655887,132	7745837,176	991,22	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	198	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL488	655856,894	7745783,257	210,50	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	197	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL489	655855,701	7745734,874	231,39	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	196	1	Escorregamento	detritos e solo	BE490	655478,415	7745741,951	388,00	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	191	2	Escorregamento translacional	rocha	BT491	655509,951	7745893,095	196,55	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	190	9	Escorregamento e corrida	detritos e solo	BEC492	655621,118	7745951,267	305,22	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	195	11	Escorregamento translacional e	detritos e solo	BTC493	655553,599	7746155,161	565,83	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	194	11	Escorregamento translacional e	rocha e detritos	BTC494	655749,094	7746123,675	1509,94	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	187	2	Escorregamento translacional	rocha e detritos	BT495	655455,524	7745995,366	812,66	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	186	11	Escorregamento translacional e	rocha e detritos	BTC496	655516,393	7746036,058	3349,99	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	185	11	Escorregamento translacional e	rocha e detritos	BTC497	655514,707	7746117,442	911,00	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	184	1	Escorregamento	rocha, detritos e solo	BE498	655272,112	7745852,857	471,17	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	181	9	Escorregamento e corrida	detritos e solo	BEC499	655224,865	7745766,388	499,33	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	180	9	Escorregamento e corrida	detritos e solo	BEC500	655156,348	7745772,916	440,67	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	182	1	Escorregamento	rocha, detritos e solo	BE501	655508,326	7745624,601	859,83	estabilizada	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	179	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL502	656420,096	7745557,172	609,50	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	178	4	Escoamentos rápidos ou corrida	detritos e solo	BC503	656005,525	7745034,659	487,44	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	177	2	Escorregamento translacional	detritos e solo	BT504	655826,060	7745061,974	256,55	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	173	1	Escorregamento	rocha, detritos e solo	BE505	656237,381	7745545,247	226,78	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	171	1	Escorregamento	detritos e solo	BE506	656009,121	7745431,298	352,11	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	172	2	Escorregamento translacional	rocha e detritos	BT507	656183,086	7745485,929	457,28	estabilizada	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	169	1	Escorregamento	rocha, detritos e solo	BE508	656925,868	7744939,057	435,39	estabilizada	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	170	4	Escoamentos rápidos ou corrida	detritos e solo	BC509	657000,109	7744969,194	357,55	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	168	11	Escorregamento translacional e	rocha, detritos e solo	BTC510	656973,157	7744942,376	1295,72	ativa	2 a 10m

*ANO: Data do trabalho; 1: Código da feição; 2: Código do processo; Cód.INV: Código do inventário; PROF.: Profundidade do movimento, N/A: Not Available (Não disponível).

Apêndice B: Banco de dados do inventário de movimentos de massa gravitacionais (continuação).

AUTOR	ANO	1	2	TIPO DE PROCESSO	TIPO DE MATERIAL	COD.INV	UTM E	UTM N	ÁREA (m²)	ATIVIDADE	PROF.
Bonuccelli, T.J.	1999	166	11	Escorregamento translacional e	rocha, detritos e solo	BTC511	655044,340	7746107,673	344,50	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	165	11	Escorregamento translacional e	rocha, detritos e solo	BTC512	655130,647	7746051,537	472,39	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	164	11	Escorregamento translacional e	detritos e solo	BTC513	656029,380	7745944,363	1679,39	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	153	2	Escorregamento translacional	rocha, detritos e solo	BT514	655996,846	7745727,662	391,11	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	162	11	Escorregamento translacional e	detritos e solo	BTC515	656278,561	7745949,257	2022,83	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	161	2	Escorregamento translacional	rocha, detritos e solo	BT516	656109,268	7745901,783	1891,83	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	154	3	Quedas e rolamentos	rocha e detritos	BQL517	656229,367	7745884,743	736,83	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	160	9	Escorregamento e corrida	detritos e solo	BEC518	655853,782	7745396,534	566,78	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	159	9	Escorregamento e corrida	detritos e solo	BEC519	655857,933	7745454,449	426,67	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	158	4	Escoamentos rápidos ou corrida	solo	BC520	655821,524	7745525,372	582,44	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	157	1	Escorregamento	detritos e solo	BE521	654868,658	7745915,614	2001,77	estabilizada	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	188	8	Complexo	rocha, detritos e solo	BX522	655778,125	7746039,201	9194,26	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	192	11	Escorregamento translacional e	detritos e solo	BTC523	655669,772	7745896,290	1994,16	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	163	11	Escorregamento translacional e	detritos e solo	BTC524	655858,541	7745996,245	4101,88	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	155	2	Escorregamento translacional	rocha, detritos e solo	BT525	655679,135	7745773,372	4302,10	dormente	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	151	1	Escorregamento	rocha, detritos e solo	BE526	655493,581	7745466,750	1348,16	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	150	1	Escorregamento	detritos e solo	BE527	655614,505	7745293,956	299,22	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	149	1	Escorregamento	detritos e solo	BE528	655667,288	7745349,491	679,33	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	148	1	Escorregamento	detritos e solo	BE529	655737,226	7745270,422	499,61	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	147	1	Escorregamento	detritos e solo	BE530	656021,938	7745347,721	544,33	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	146	1	Escorregamento	rocha e detritos	BE531	656095,766	7745263,717	1205,89	estabilizada	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	152	2	Escorregamento translacional	detritos e solo	BT532	655904,869	7745641,616	7606,98	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	145	11	Escorregamento translacional e	rocha e detritos	BTC533	654573,483	7745888,686	25547,60	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	133	11	Escorregamento translacional e	detritos e solo	BTC534	654609,082	7746024,111	869,11	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	121	2	Escorregamento translacional	rocha e detritos	BT535	654778,699	7745486,327	323,83	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	120	2	Escorregamento translacional	rocha e detritos	BT536	655021,904	7745129,829	87,94	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	116	10	Escorregamento e erosão	detritos e solo	BEG537	655025,268	7745780,708	4180,21	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	114	1	Escorregamento	detritos e solo	BE538	655127,854	7745706,481	337,39	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	113	10	Escorregamento e erosão	detritos e solo	BEG539	654754,130	7745784,894	3715,55	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	98	2	Escorregamento translacional	rocha e detritos	BT540	655342,585	7745136,160	573,89	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	112	2	Escorregamento translacional	rocha e detritos	BT541	655317,839	7745165,901	379,17	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	95	1	Escorregamento	detritos e solo	BE542	655525,235	7744958,730	435,05	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	115	1	Escorregamento	detritos e solo	BE543	655043,366	7745589,364	453,67	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	117	2	Escorregamento translacional	rocha, detritos e solo	BT544	655064,254	7745510,969	1152,22	ativa	até 2m

*ANO: Data do trabalho; 1: Código da feição; 2: Código do processo; COD.INV: Código do inventário; PROF.: Profundidade do movimento, N/A: Not Available (Não disponível).

Apêndice B: Banco de dados do inventário de movimentos de massa gravitacionais (continuação).

AUTOR	ANO	1	2	TIPO DE PROCESSO	TIPO DE MATERIAL	COD.INV	UTM E	UTM N	ÁREA (m²)	ATIVIDADE	PROF.
Bonuccelli, T.J.	1999	111	2	Escorregamento translacional	rocha e detritos	BT545	655169,000	7744872,823	900,72	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	110	10	Escorregamento e erosão	rocha, detritos e solo	BEG546	654668,650	7745121,693	233,00	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	109	10	Escorregamento e erosão	rocha, detritos e solo	BEG547	654550,272	7745289,156	3165,77	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	108	10	Escorregamento e erosão	rocha, detritos e solo	BEG548	654647,607	7745229,303	2746,38	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	119	2	Escorregamento translacional	detritos e solo	BT549	654822,426	7745298,568	438,11	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	107	2	Escorregamento translacional	detritos e solo	BT550	655047,882	7745314,589	108,83	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	105	1	Escorregamento	detritos e solo	BE551	655137,287	7745314,909	47,44	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	106	1	Escorregamento	detritos e solo	BE552	655154,116	7745304,772	47,67	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	104	1	Escorregamento	detritos e solo	BE553	655103,612	7745293,949	83,00	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	103	2	Escorregamento translacional	rocha, detritos e solo	BT554	655044,401	7745291,060	482,67	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	97	2	Escorregamento translacional	detritos e solo	BT555	655588,896	7744910,859	320,67	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	99	10	Escorregamento e erosão	rocha, detritos e solo	BEG556	655285,480	7745090,133	3813,55	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	94	8	Complexo	detritos e solo	BX557	655441,090	7744985,765	5230,27	estabilizada	> 10 m
Bonuccelli, T.J.	1999	96	2	Escorregamento translacional	rocha e detritos	BT558	655681,493	7744856,202	2326,50	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	90	2	Escorregamento translacional	detritos e solo	BT559	656585,755	7744301,707	33,28	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	89	2	Escorregamento translacional	detritos e solo	BT560	656253,882	7744464,278	153,50	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	81	10	Escorregamento e erosão	detritos e solo	BEG561	657233,380	7743177,903	1877,00	dormente	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	82	10	Escorregamento e erosão	detritos e solo	BEG562	657195,487	7743230,833	5175,77	ativa	> 10 m
Bonuccelli, T.J.	1999	83	8	Complexo	detritos e solo	BX563	657115,563	7743245,297	4901,77	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	80	8	Área de múltiplas feições	detritos e solo	BA564	657358,934	7743117,728	26947,20	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	75	1	Escorregamento	detritos e solo	BE565	656631,181	7743537,695	1052,39	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	76	1	Escorregamento	detritos e solo	BE566	656674,331	7743585,586	317,22	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	77	1	Escorregamento	detritos e solo	BE567	656711,762	7743675,122	1728,27	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	71	8	Complexo	detritos e solo	BX568	657564,700	7743850,666	7384,32	ativa	> 10 m
Bonuccelli, T.J.	1999	72	4	Escoamentos rápidos ou corridas	solo	BC569	657731,443	7744031,343	764,72	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	66	2	Escorregamento translacional	detritos e solo	BT570	657037,197	7744130,258	1154,00	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	65	2	Escorregamento translacional	detritos e solo	BT571	656931,805	7744096,186	989,83	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	64	2	Escorregamento translacional	detritos e solo	BT572	656904,482	7744193,981	502,78	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	63	2	Escorregamento translacional	detritos e solo	BT573	656868,842	7744189,382	133,55	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	62	2	Escorregamento translacional	detritos e solo	BT574	656341,532	7744325,448	171,11	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	38	2	Escorregamento translacional	detritos e solo	BT575	655704,803	7744622,311	2174,33	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	59	11	Escorregamento translacional e	rocha, detritos e solo	BTC576	655299,632	7744639,545	264,05	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	58	11	Escorregamento translacional e	rocha, detritos e solo	BTC577	655633,821	7744587,416	539,67	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	57	11	Escorregamento translacional e	rocha, detritos e solo	BTC578	655445,564	7744664,051	1328,83	ativa	até 2m

*ANO: Data do trabalho; 1: Código da feição; 2: Código do processo; Cód.INV: Código do inventário; PROF.: Profundidade do movimento, N/A: Not Available (Não disponível).

Apêndice B: Banco de dados do inventário de movimentos de massa gravitacionais (continuação).

AUTOR	ANO	1	2	TIPO DE PROCESSO	TIPO DE MATERIAL	COD.INV	UTM E	UTM N	ÁREA (m²)	ATIVIDADE	PROF.
Bonuccelli, T.J.	1999	51	2	Escorregamento translacional	detritos e solo	BT579	654774,900	7744063,520	1383,66	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	48	2	Escorregamento translacional	detritos e solo	BT580	654848,354	7744350,657	5848,38	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	49	2	Escorregamento translacional	detritos e solo	BT581	654769,406	7744234,781	715,89	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	55	2	Escorregamento translacional	detritos e solo	BT582	656137,798	7744538,922	83,33	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	54	8	Complexo	detritos e solo	BX583	656428,222	7744401,716	314,50	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	52	2	Escorregamento translacional	rocha e detritos	BT584	656367,589	7744426,497	568,61	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	40	11	Escorregamento translacional e	detritos e solo	BTC585	656030,989	7744686,004	389,61	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	39	11	Escorregamento translacional e	detritos e solo	BTC586	655959,852	7744645,955	1100,89	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	32	1	Escorregamento	detritos e solo	BE587	654694,080	7743872,483	250,72	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	33	1	Escorregamento	detritos e solo	BE588	654682,906	7743735,402	760,66	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	37	1	Escorregamento	detritos e solo	BE589	656067,328	7743740,360	316,50	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	34	1	Escorregamento	detritos e solo	BE590	655765,286	7743562,411	356,89	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	36	1	Escorregamento	detritos e solo	BE591	655626,521	7743154,413	544,22	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	35	1	Escorregamento	detritos e solo	BE592	655584,157	7743371,154	425,67	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	28	9	Escorregamento e corrida	solo	BEC593	655351,555	7742754,534	925,50	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	47	2	Escorregamento translacional	rocha	BT594	654958,153	7744383,372	1581,44	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	30	10	Escorregamento e erosão	solo	BEG595	655726,614	7742944,265	6016,38	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	68	8	Área de múltiplas feições	detritos e solo	BA596	657347,265	7743626,057	71203,30	ativa	> 10 m
Bonuccelli, T.J.	1999	219	12	Corridas e rolamentos	rocha e detritos	BCL597	654884,985	7746983,737	913,44	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	228	8	Complexo	rocha, detritos e solo	BX598	655628,492	7746850,050	5651,60	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	221	12	Corridas e rolamentos	rocha e detritos	BCL599	655268,534	7747029,040	320,94	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	222	12	Corridas e rolamentos	rocha e detritos	BCL600	655311,332	7747050,732	723,39	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	220	8	Complexo	rocha, detritos e solo	BX601	655315,226	7746960,199	12936,20	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	223	12	Corridas e rolamentos	rocha e detritos	BCL602	655550,949	7747041,253	204,22	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	224	12	Corridas e rolamentos	rocha e detritos	BCL603	655574,557	7747039,349	176,67	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	225	12	Corridas e rolamentos	rocha e detritos	BCL604	655559,332	7746960,777	144,67	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	226	12	Corridas e rolamentos	rocha e detritos	BCL605	655648,778	7746881,936	1120,72	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	227	12	Corridas e rolamentos	rocha e detritos	BCL606	655726,759	7746834,190	973,05	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	230	8	Área de múltiplas feições	rocha, detritos e solo	BA607	655747,486	7747073,139	5195,99	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	258	12	Corridas e rolamentos	rocha, detritos e solo	BCL608	659325,826	7745671,075	841,50	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	261	12	Corridas e rolamentos	rocha, detritos e solo	BCL609	659311,795	7745633,620	1462,66	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	142	2	Escorregamento translacional	detritos e solo	BT610	653992,605	7746165,320	554,67	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	141	2	Escorregamento translacional	detritos e solo	BT611	654128,877	7745778,240	3022,88	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	138	4	Escoamentos rápidos ou corrida	detritos e solo	BC612	653978,172	7743954,834	410,94	ativa	até 2m

*ANO: Data do trabalho; 1: Código da feição; 2: Código do processo; Cód.INV: Código do inventário; PROF.: Profundidade do movimento, N/A: Not Available (Não disponível).

Apêndice B: Banco de dados do inventário de movimentos de massa gravitacionais (continuação).

AUTOR	ANO	1	2	TIPO DE PROCESSO	TIPO DE MATERIAL	COD.INV	UTM E	UTM N	ÁREA (m²)	ATIVIDADE	PROF.
Bonuccelli, T.J.	1999	137	2	Escorregamento translacional	rocha e detritos	BT613	654158,923	7743768,266	1014,55	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	136	8	Complexo	rocha, detritos e solo	BX614	653721,264	7743967,579	2609,05	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	135	2	Escorregamento translacional	rocha e detritos	BT615	653446,635	7745969,341	2747,27	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	129	1	Escorregamento	detritos e solo	BE616	653966,414	7745872,250	699,28	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	144	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL617	653348,741	7745592,796	862,66	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	130	1	Escorregamento	detritos e solo	BE618	654042,014	7745602,292	3071,66	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	41	2	Escorregamento translacional	detritos e solo	BT619	653905,582	7743385,952	6906,32	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	17	1	Escorregamento	detritos e solo	BE620	653636,786	7742435,631	101,00	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	11	8	Área de múltiplas feições	rocha, detritos e solo	BA621	653487,300	7742889,724	7220,71	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	12	8	Área de múltiplas feições	rocha, detritos e solo	BA622	653437,191	7743107,339	38270,50	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	10	1	Escorregamento	detritos e solo	BE623	653553,441	7742572,275	636,78	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	7	1	Escorregamento	rocha, detritos e solo	BE624	653488,095	7742676,179	1224,94	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	8	1	Escorregamento	rocha, detritos e solo	BE625	653785,883	7742343,521	407,33	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	15	1	Escorregamento	detritos e solo	BE626	653735,361	7742580,943	329,83	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	16	1	Escorregamento	detritos e solo	BE627	653662,642	7742623,417	120,11	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	6	2	Escorregamento translacional	rocha e detritos	BT628	653698,379	7742274,424	359,33	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	3	2	Escorregamento translacional	solo	BT629	653663,704	7742028,194	319,61	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	2	10	Escorregamento e erosão	solo	BEG630	653748,355	7742012,049	801,16	dormente	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	4	11	Escorregamento translacional e	detritos e solo	BTC631	653761,943	7742162,180	600,00	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	140	10	Escorregamento e erosão	detritos e solo	BEG632	654280,847	7745773,100	2225,05	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	24	8	Complexo	detritos e solo	BX633	654251,312	7742284,399	3427,44	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	313	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL634	660972,566	7744226,936	610,11	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	312	2	Escorregamento translacional	rocha	BT635	660963,583	7744454,381	1396,28	dormente	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	252	12	Corridas e rolamentos	rocha, detritos e solo	BCL636	660271,045	7746478,411	2626,49	estabilizada	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	419	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL637	660075,848	7744877,876	865,66	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	418	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL638	659796,581	7744855,996	1020,83	dormente	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	322	12	Corridas e rolamentos	rocha, detritos e solo	BCL639	659931,432	7744551,686	1941,22	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	311	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL640	660457,282	7744691,006	1076,61	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	269	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL641	660268,629	7742802,624	1137,61	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	270	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL642	659854,359	7742868,552	1516,11	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	272	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL643	659969,935	7743399,954	528,55	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	267	12	Corridas e rolamentos	rocha, detritos e solo	BCL644	660477,937	7745569,353	2225,27	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	266	12	Corridas e rolamentos	rocha, detritos e solo	BCL645	660370,155	7745877,356	6833,04	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	250	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL646	660487,330	7746724,501	1244,22	ativa	até 2m

*ANO: Data do trabalho; 1: Código da feição; 2: Código do processo; Cód.INV: Código do inventário; PROF.: Profundidade do movimento, N/A: Not Available (Não disponível).

Apêndice B: Banco de dados do inventário de movimentos de massa gravitacionais (continuação).

AUTOR	ANO	1	2	TIPO DE PROCESSO	TIPO DE MATERIAL	COD.INV	UTM E	UTM N	ÁREA (m²)	ATIVIDADE	PROF.
Bonuccelli, T.J.	1999	251	3	Quedas e rolamentos	rocha	BQL647	660650,764	7746606,868	994,78	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	253	12	Corridas e rolamentos	rocha, detritos e solo	BCL648	660343,616	7745981,675	5356,49	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	255	12	Corridas e rolamentos	rocha, detritos e solo	BCL649	660448,343	7745674,892	3649,66	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	254	12	Corridas e rolamentos	rocha, detritos e solo	BCL650	660595,947	7745774,564	5081,71	ativa	2 a 10m
Bonuccelli, T.J.	1999	256	12	Corridas e rolamentos	rocha, detritos e solo	BCL651	659966,541	7745495,934	3371,94	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	257	8	Área de múltiplas feições	rocha, detritos e solo	BA652	660562,875	7745276,748	55819,40	ativa	> 10 m
Bonuccelli, T.J.	1999	436	1	Escorregamento	rocha, detritos e solo	BE653	659116,742	7745035,682	208,98	ativa	até 2m
Bonuccelli, T.J.	1999	193	4	Escoamentos rápidos ou corrida	detritos e solo	BC654	655888,217	7746311,110	2264,16	ativa	até 2m
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT655	655552,035	7746575,389	52,12	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT656	655224,938	7746550,667	85,48	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT657	655309,749	7746524,944	90,80	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT658	655335,272	7745958,846	540,40	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT659	655182,864	7746060,162	76,83	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT660	655476,641	7746144,537	47,60	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT661	655566,306	7746174,421	106,34	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT662	655589,781	7746108,554	229,68	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT663	655640,515	7746152,032	64,93	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT664	655667,121	7745998,594	72,52	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT665	655828,391	7746089,744	559,58	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT666	655855,195	7746056,907	236,72	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT667	655887,650	7746010,120	305,05	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT668	655980,849	7746073,401	58,70	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT669	655992,952	7746102,273	88,31	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT670	656071,147	7746313,103	207,49	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT671	656124,613	7746264,025	81,70	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT672	656190,039	7745883,882	104,90	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT673	656037,508	7745931,742	79,84	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT674	656127,504	7745775,929	68,88	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	ZT675	655984,477	7745712,675	136,09	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Ets	Escorregamento translacional	Solo	ZT676	655956,700	7745688,343	520,20	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT677	656401,748	7746108,624	151,77	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT678	656510,892	7746100,486	48,58	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT679	656313,218	7745753,303	49,56	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT680	656241,892	7745657,204	140,64	N/A	N/A

*ANO: Data do trabalho; 1: Código da feição; 2: Código do processo; COD.INV: Código do inventário; PROF.: Profundidade do movimento, N/A: Not Available (Não disponível).

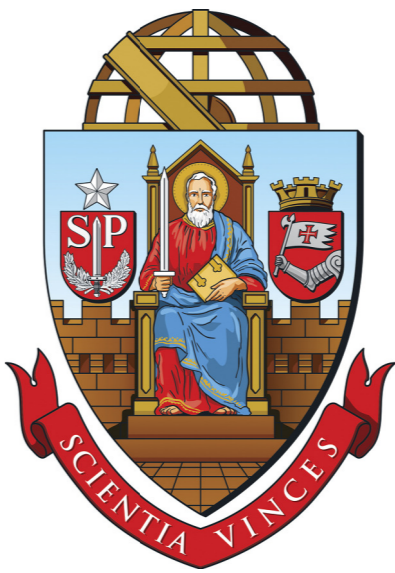
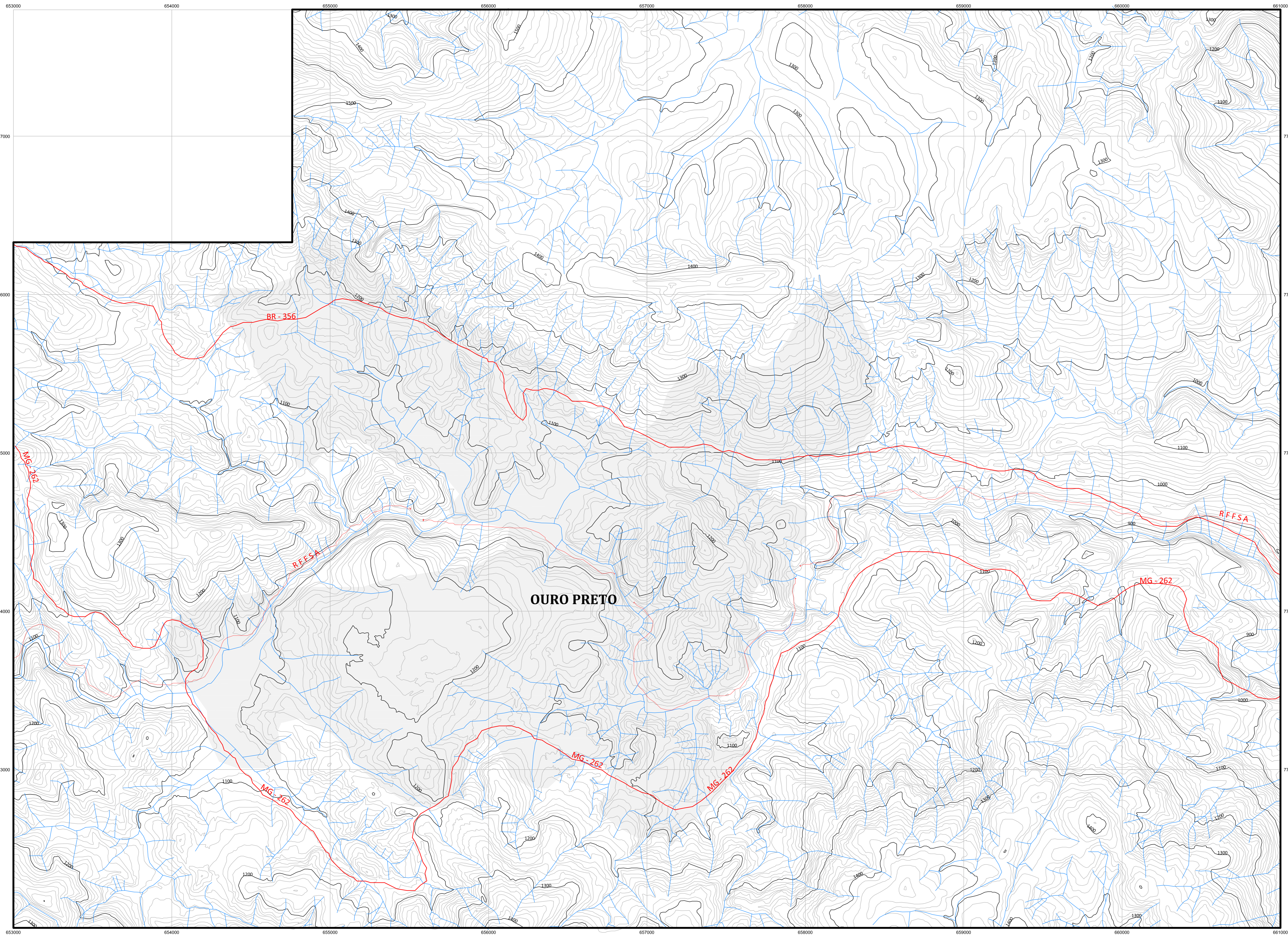
Apêndice B: Banco de dados do inventário de movimentos de massa gravitacionais (continuação).

AUTOR	ANO	1	2	TIPO DE PROCESSO	TIPO DE MATERIAL	COD.INV	UTM E	UTM N	ÁREA (m²)	ATIVIDADE	PROF.
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT681	656207,950	7745484,476	142,84	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT682	656274,124	7745394,048	324,65	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT683	656557,262	7745777,621	107,28	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT684	656584,825	7745803,105	67,27	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT685	656586,041	7745830,062	62,51	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT686	656612,986	7745909,603	91,01	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT687	656778,888	7746016,822	45,43	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT688	656622,779	7745830,627	231,12	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Cx	Complexo	N/A	ZX689	656780,503	7745626,284	828,43	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT690	656721,524	7745442,792	47,08	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	Etr	Escorregamento translacional	Rocha	ZT691	656756,125	7745425,516	64,51	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	B	Queda	Rocha	ZQ692	656793,377	7745730,214	988,43	N/A	N/A
Zenóbio, A.A.	2000	N/A	B	Queda	Rocha	ZQ693	656386,525	7745837,378	732,32	N/A	N/A

*ANO: Data do trabalho; 1: Código da feição; 2: Código do processo; COD.INV: Código do inventário; PROF.: Profundidade do movimento, N/A: Not Available (Não disponível).

APÊNDICE I

Mapa Topográfico



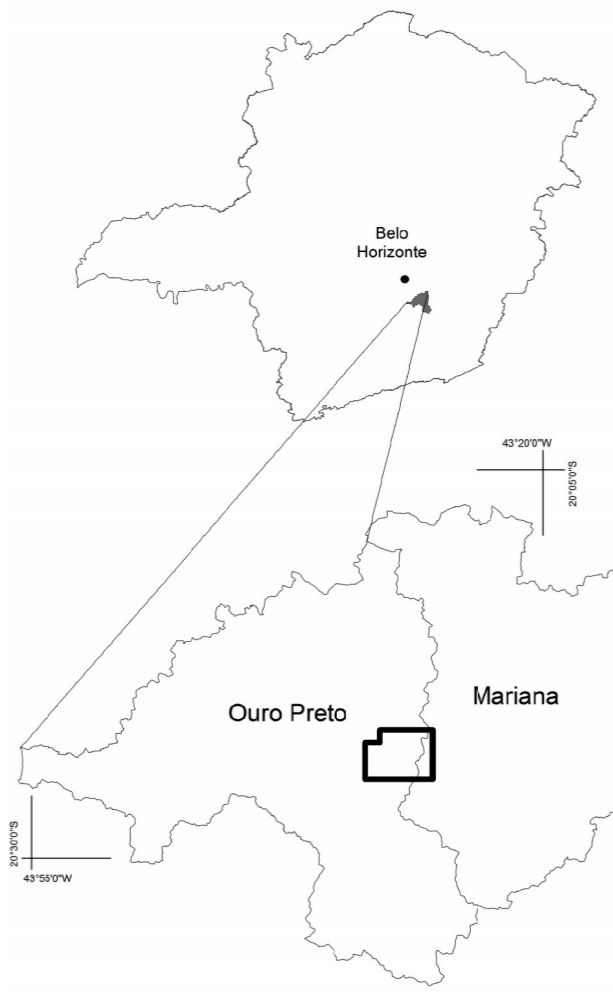
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

MAPA TOPOGRÁFICO
APÊNDICE I

Autora: Geol. Iraydes Tálita de Sena Nola
Orientador: Prof. Tit. Lázaro Valentin Zuquette

LEGENDA

- Curvas de nível mestras
- Curvas de nível secundárias
- Drenagem
- Mancha urbana
- Limite da área de estudo
- Rodovias
- Rede ferroviária



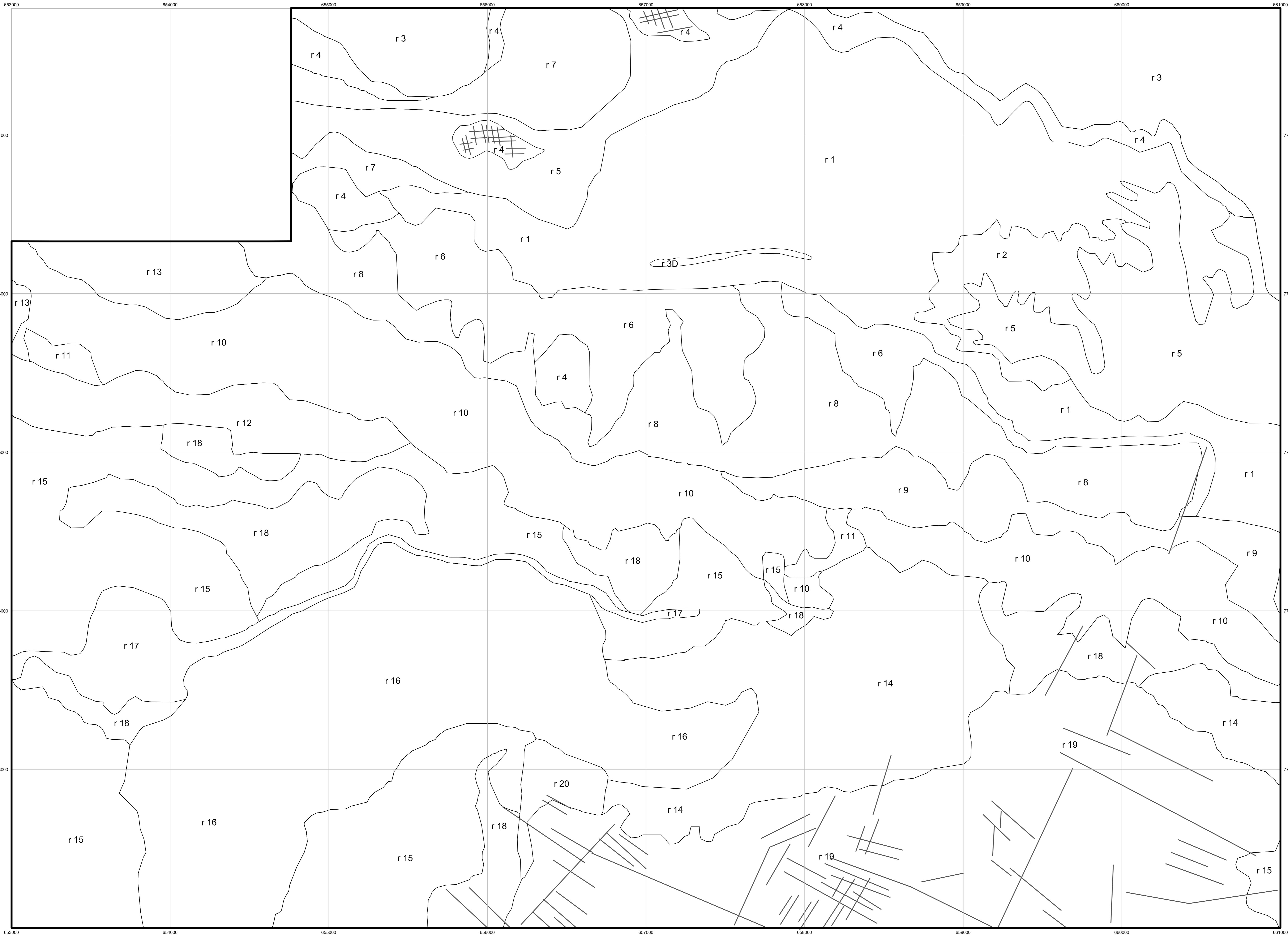
Escala
1:10.000
0 500m
NM NV
20°22'

2015
Base cartográfica
Dados adquiridos de Bonuccelli, 1999
PROJEÇÃO UNIVERSAL DE MERCATOR
Origem da quilometragem UTM
Equador e meridiano 45°W.Gr.
acrescidas as constantes 1000km e 500km

DATUM HORIZONTAL
Córrego Alegre
Zona 23S

APÊNDICE II

Mapa de Substrato Rochoso



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

MAPA DE SUBSTRATO ROCHOSO

APÊNDICE II

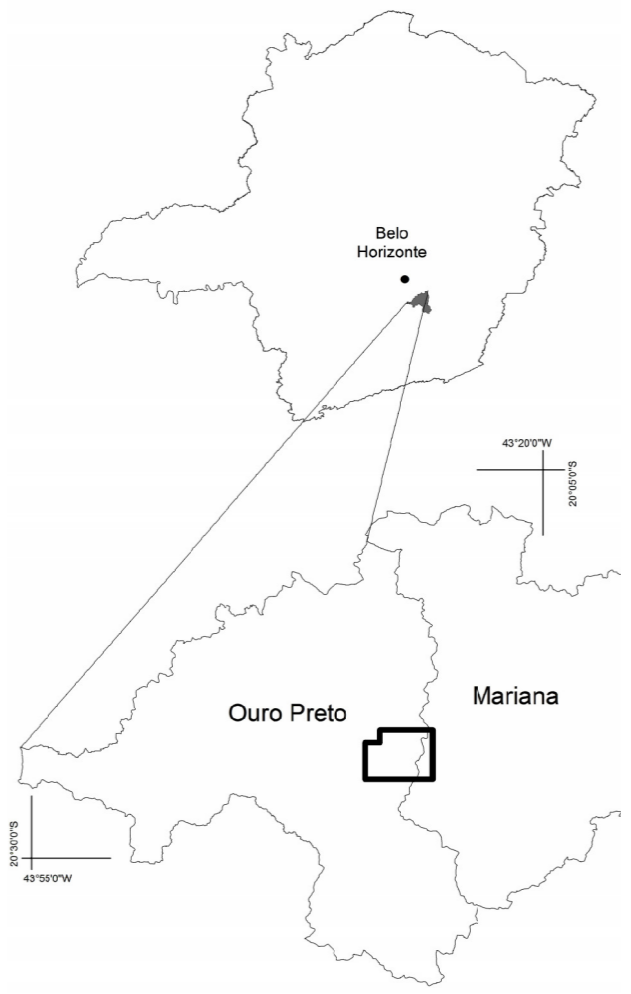
Autora: Geol. Iraydes Tálita de Sena Nola
Orientador: Prof. Tit. Lázaro Valentin Zuquette

LEGENDA

r1 Código das classes de substrato rochoso.
A descrição das classes consta na Tabela
de Caracterização das Unidades
Geológico-Geotécnicas (Apêndice XI).

Lineamentos

Limite da área de estudo



Escala
1:10.000
0 500m
NM NV
20°22'

2015
Base cartográfica
Dados adquiridos de Bonuccelli, 1999
PROJEÇÃO UNIVERSAL DE MERCATOR
Origem da quilometragem UTM
Equador e meridiano 45°W.Gr.
acrescidas as constantes 1000km e 500km

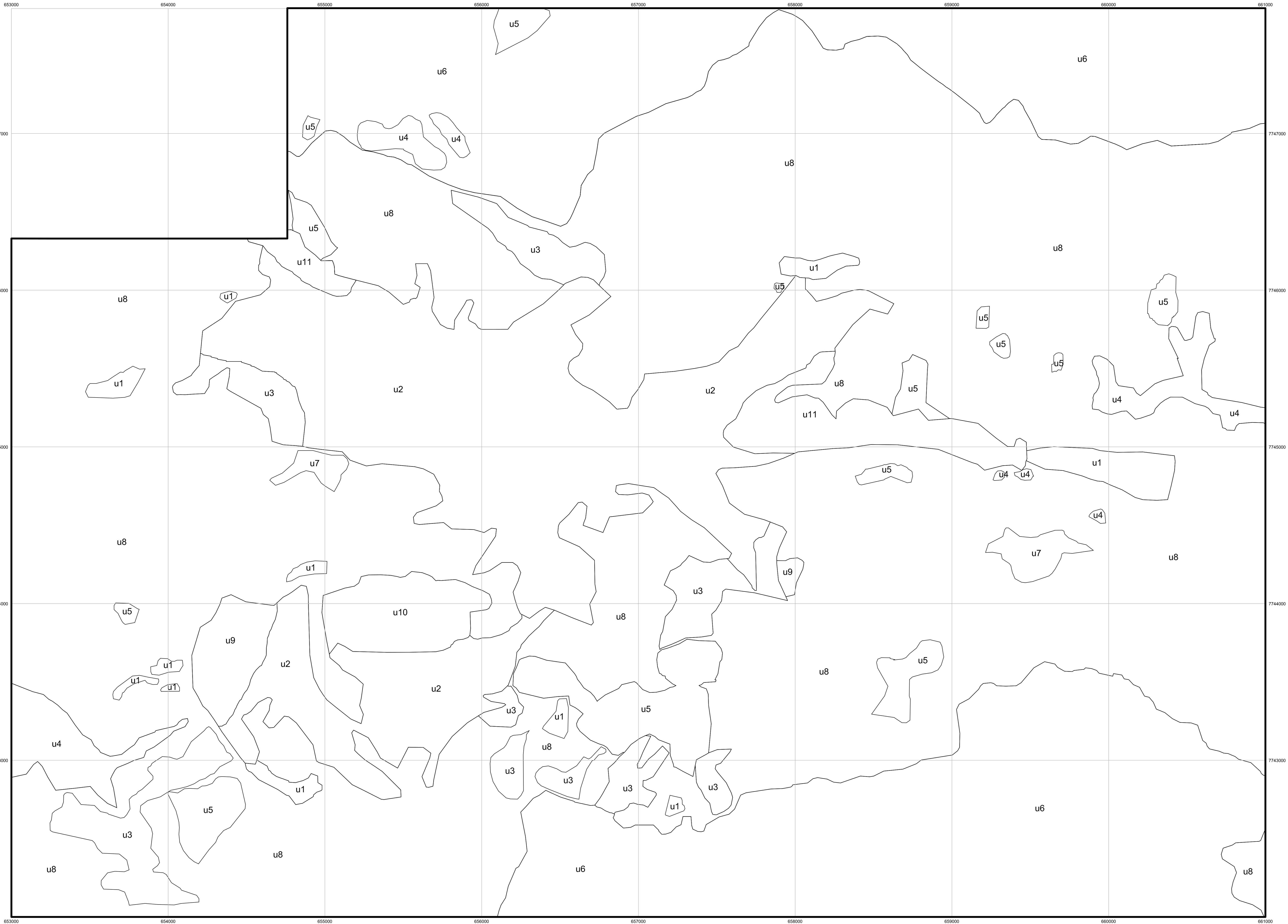
DATUM HORIZONTAL
Córrego Alegre
Zona 23S

APÊNDICE III

Mapa de Material Inconsolidado

APÊNDICE IV

Mapa de Uso e Ocupação



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

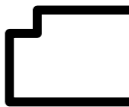
MAPA DE USO E OCUPAÇÃO

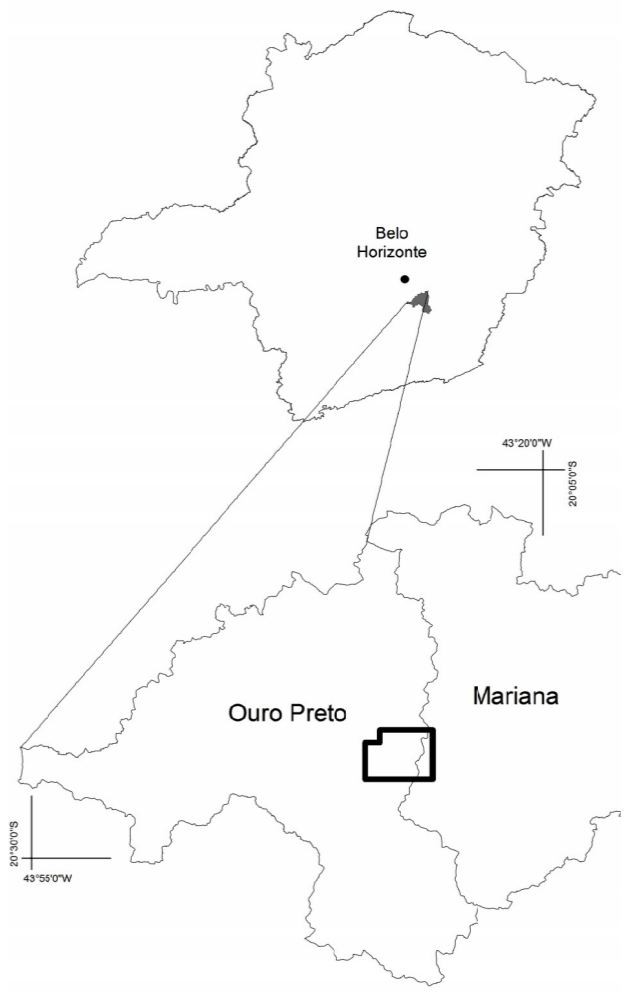
APÊNDICE IV

Autora: Geol. Iraydes Tálita de Sena Nola
Orientador: Prof. Tit. Lázaro Valentin Zuquette

LEGENDA

- | | |
|----------------------|-----------------------------------|
| u1 Urbana Baixa | u7 Disposição de resíduos |
| u2 Urbana Alta | u8 Vegetação |
| u3 Urbana Média | u9 Industrial |
| u4 Mineração Ativa | u10 Escola |
| u5 Mineração Inativa | u11 Urbana Alta e Mineração Ativa |
| u6 Preservação | |

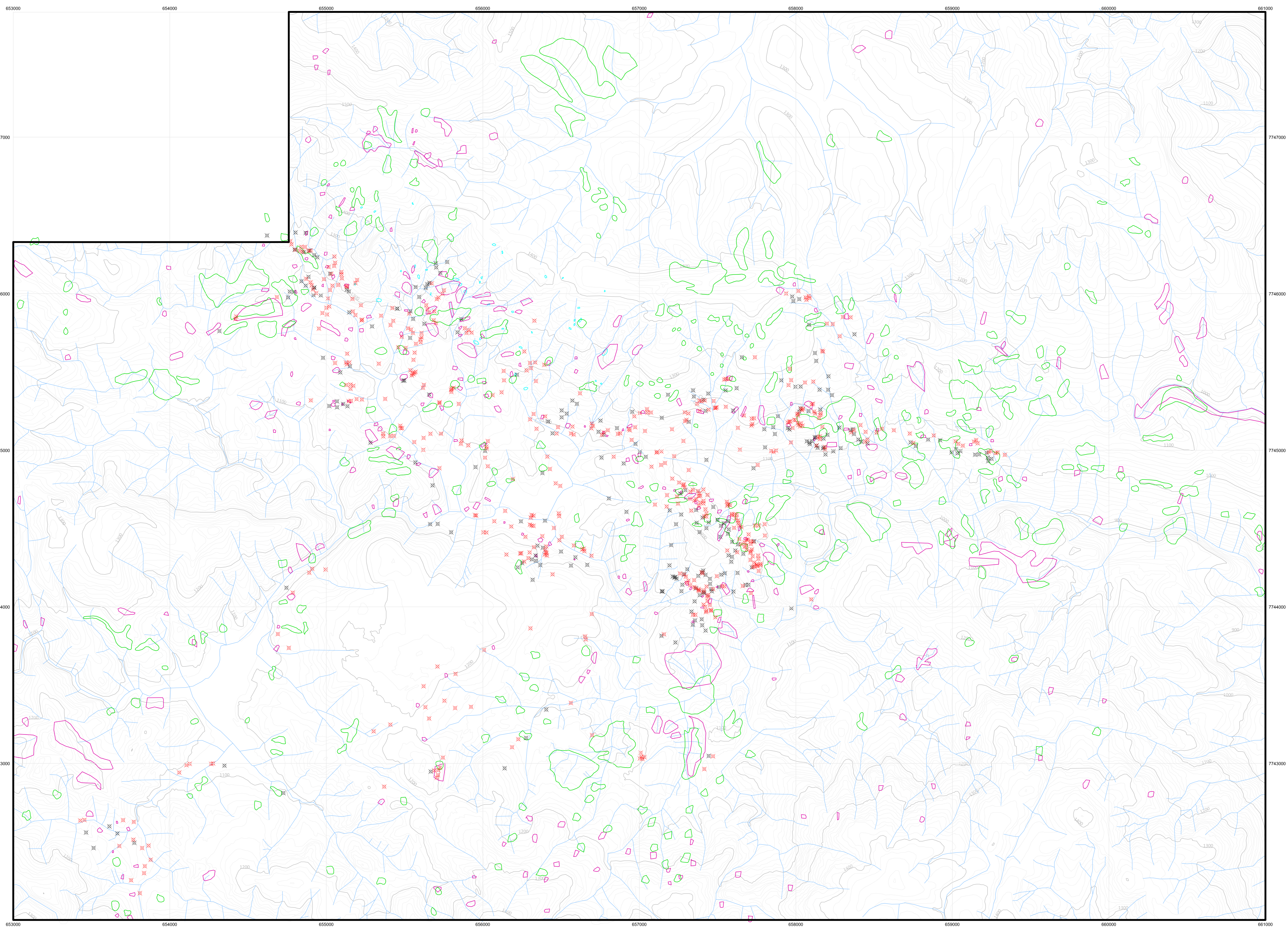
 Limite da área de estudo



Escala
1:10.000
0 500m
20°22' NV
2015
Base cartográfica
Dados adquiridos de Bonuccelli, 1999
PROJEÇÃO UNIVERSAL DE MERCATOR
Origem da quilometragem UTM
Equador e meridiano 45°W.Gr.
acrescidas as constantes 1000km e 500km
DATUM HORIZONTAL
Córrego Alegre
Zona 23S

APÊNDICE V

Mapa das Ocorrências Inventariadas



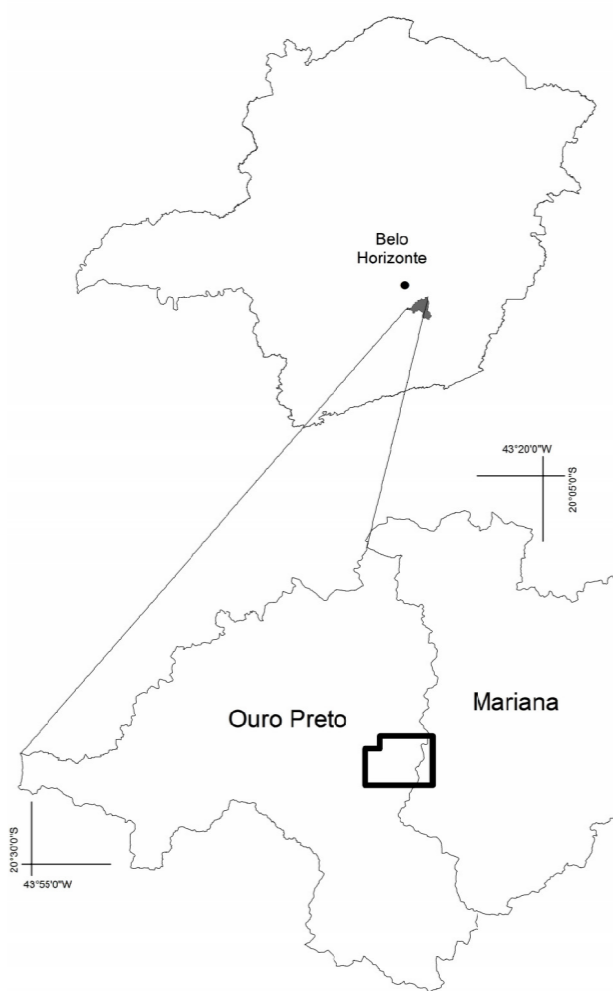
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

MAPA DAS Ocorrências
INVENTARIADAS
APÊNDICE V

Autora: Geol. Iraydes Tálita de Sena Nola
Orientador: Prof. Tit. Lázaro Valentin Zuquette

LEGENDA

- Souza (1996)
- Bonuccelli (1999)
- Zenóbio (2000)
- Castro (2006)
- Fontes (2011)
- Curvas de nível mestras
- Curvas de nível secundárias
- Drenagem
- Limite da área de estudo



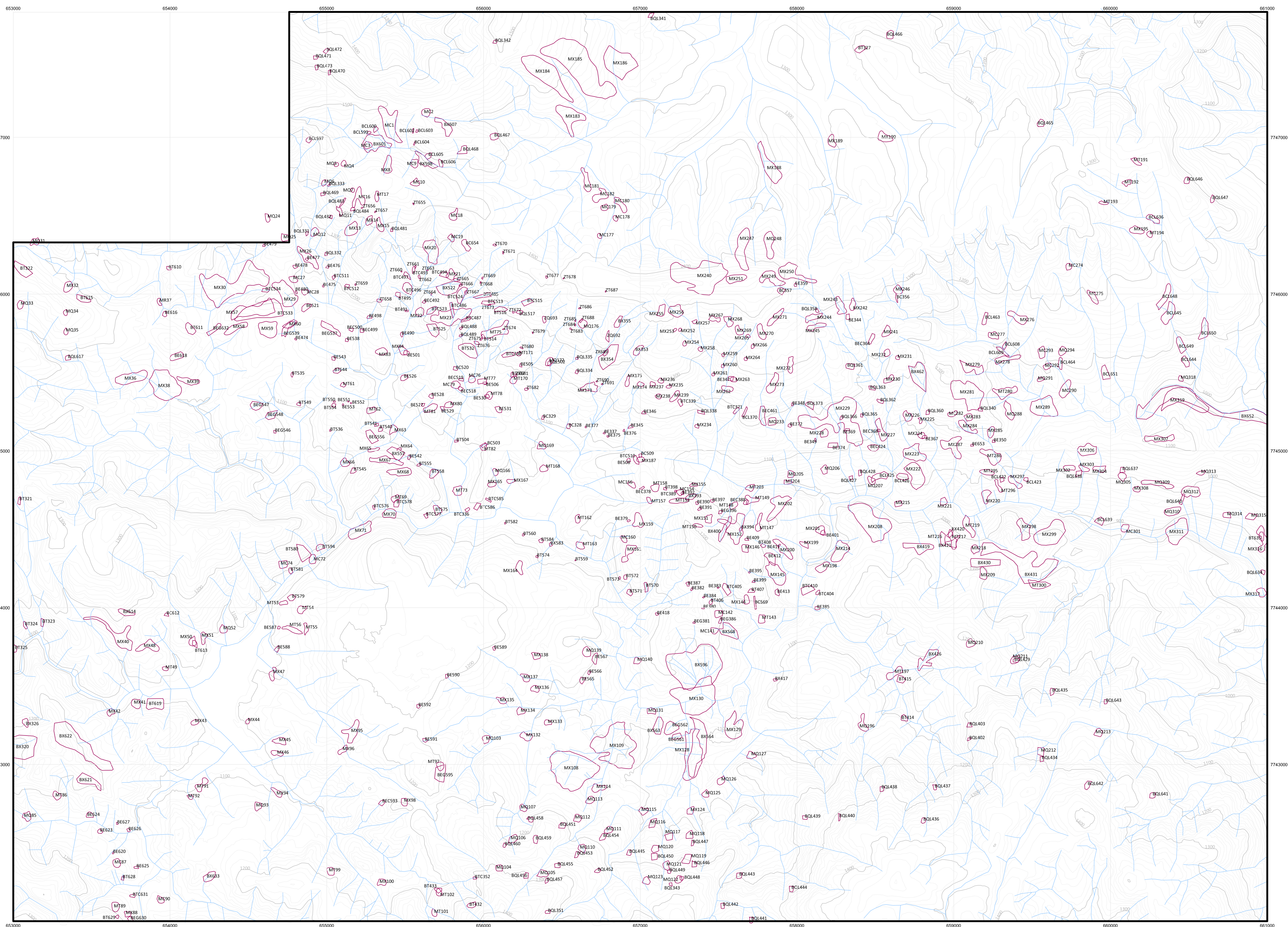
Escala
1:10.000
0 500m
2015

PROJEÇÃO UNIVERSAL DE MERCATOR
Origem da quilometragem UTM
Equador e meridiano 45°W.Gr.
acrescidas as constantes 1000km e 500km

DATUM HORIZONTAL
Córrego Alegre
Zona 23S

APÊNDICE VI

Mapa de Inventário dos Movimentos de Massa Gravitacionais








UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

MAPA DE INVENTÁRIO DOS MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS

APÊNDICE VI

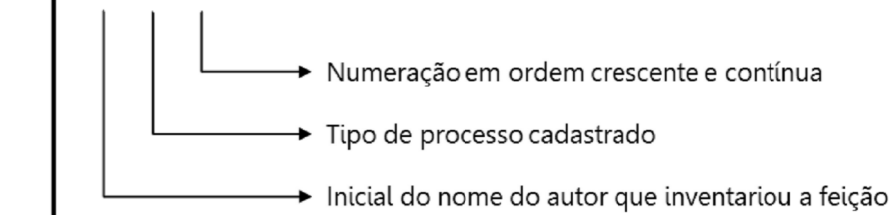
Autora: Geol. Iraydes Tálita de Sena Nola
Orientador: Prof. Tit. Lázaro Valentin Zuquette

LEGENDA

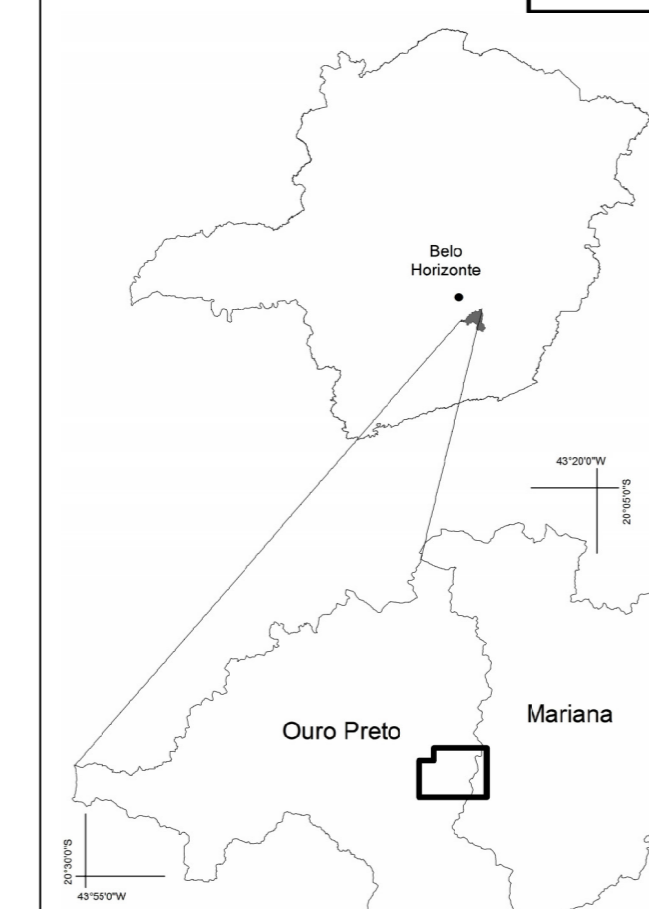
-  Ocorrências cadastradas
-  Curvas de nível mestras
-  Curvas de nível secundárias
-  Drenagem
-  Limite da área de estudo



BX1 – Código da feição



Autor que inventou as feições		Tipo de processo cadastrado	
M	Marta Souza (1996)	E	Escoamento
B	Terezinha Bonucelli (1999)	T	Escoamento Translacional
R		R	Escoamento Rotacional
Z	Ângelo Zenobio (2000)	Q	Quedas de Blocos
		C	Comidas
		L	Rolamento
		X	Complexo
		G	Erosão (Gully)
		A	Área de múltiplas feições



Escala
 1:10.000

500m

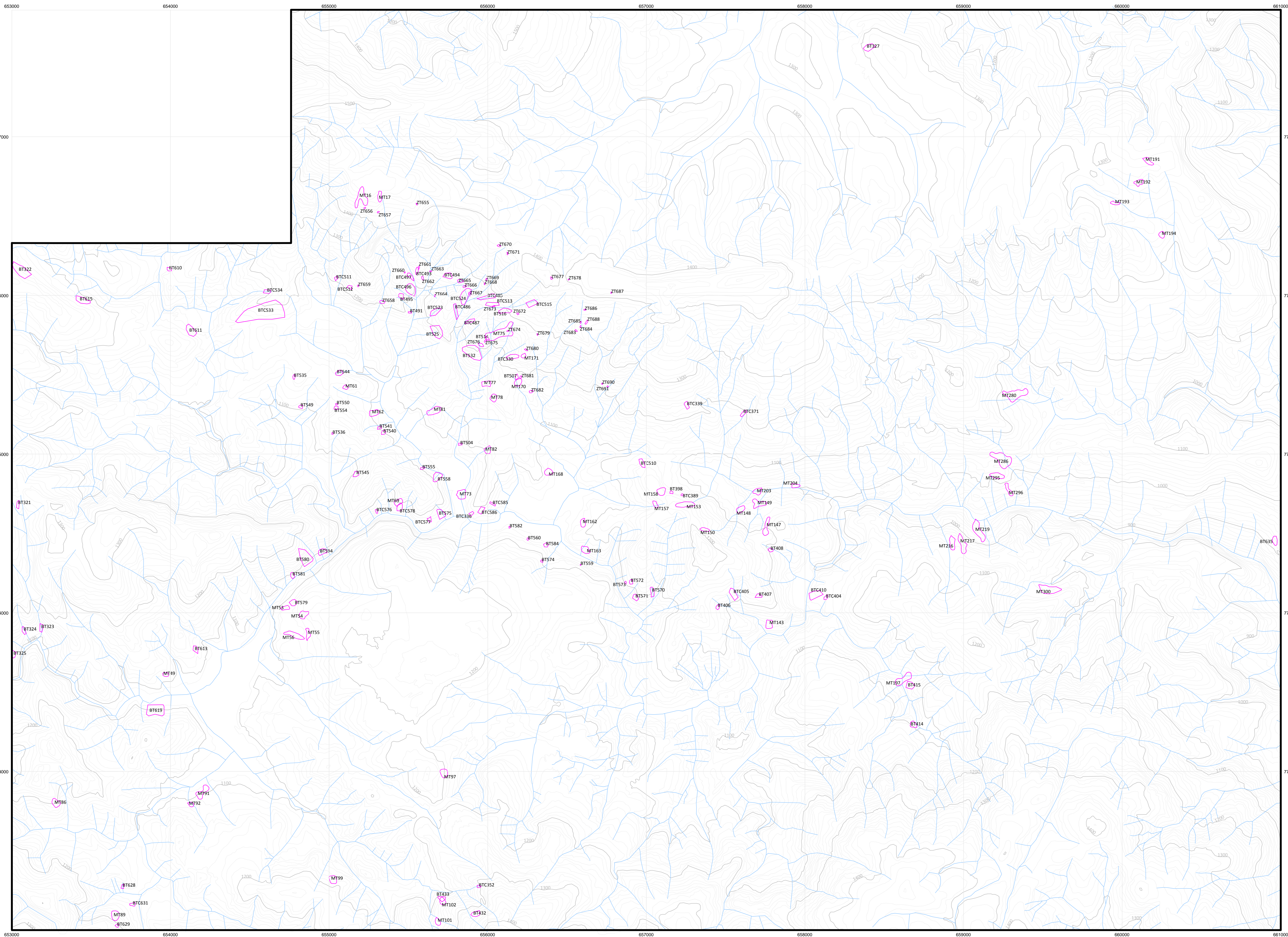
2015

PROJEÇÃO UNIVERSAL DE MERCATOR
Origem da quilometragem UTM
Equador e meridiano 45°W.Gr.
acrescidas as constantes 1000km e 500km

DATUM HORIZONTAL
Córrego Alegre
Zona 23S

APÊNDICE VII

Mapa de Inventário dos Escorregamentos Translacionais



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

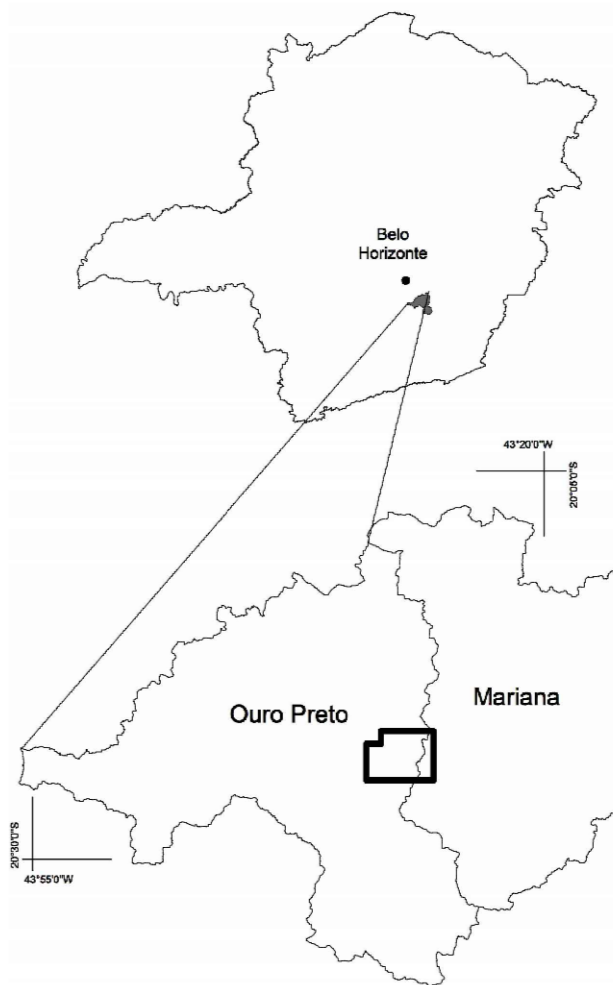
MAPA DE INVENTÁRIO DOS
MOVIMENTOS DE MASSA
GRAVITACIONAIS
Escorregamento Translacional

APÊNDICE VII

Autora: Geol. Iraydes Tálita de Sena Nola
Orientador: Prof. Tit. Lázaro Valentin Zuquette

LEGENDA

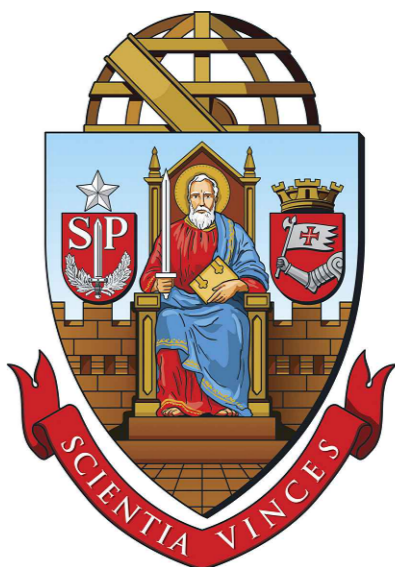
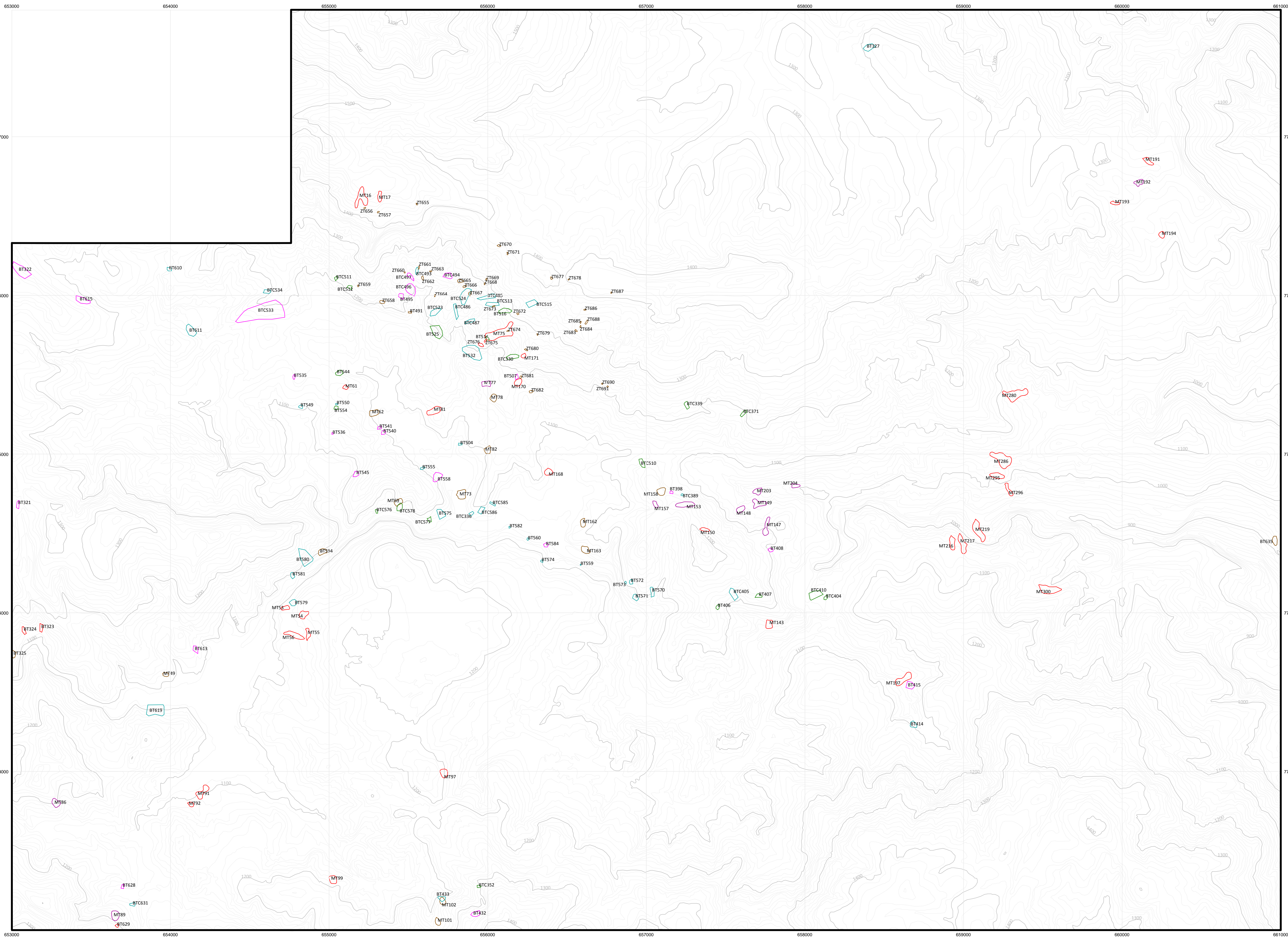
- Ocorrências cadastradas
- MT77 Código das feições
- Curvas de nível mestras
- Curvas de nível secundárias
- Drenagem
- Limite da área de estudo



Escala
1:10.000
0 500m
20°22' NV
2015
PROJEÇÃO UNIVERSAL DE MERCATOR
Origem da quilometragem UTM
Equador e meridiano 45°W.Gr.
acrescidas as constantes 1000km e 500km
DATUM HORIZONTAL
Córrego Alegre
Zona 23S

APÊNDICE VIII

Mapa de Inventário dos Escorregamentos Translacionais – Tipo de
Material



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

MAPA DE INVENTÁRIO DOS
MOVIMENTOS DE MASSA
GRAVITACIONAIS

Escorregamento Translacional
Tipo de material envolvido

APÊNDICE VIII

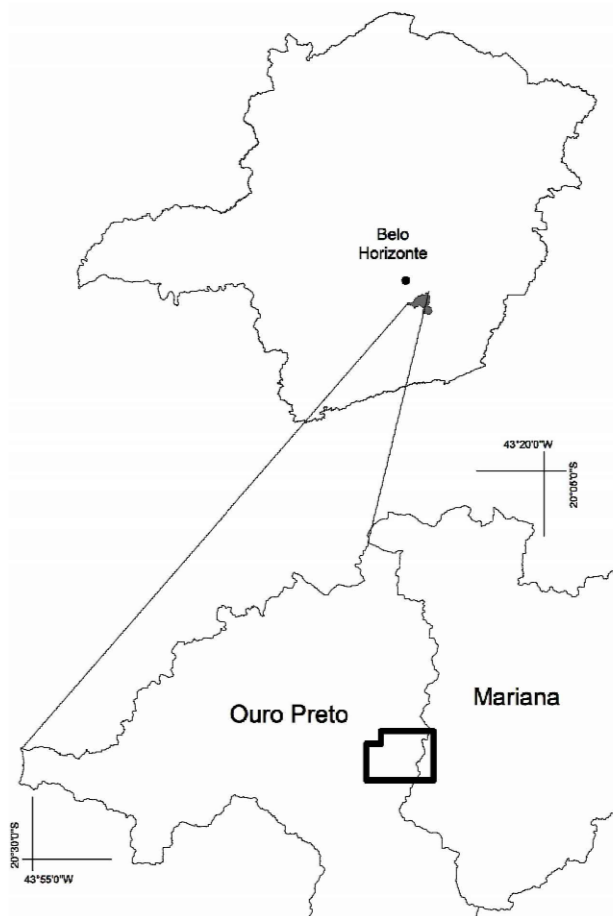
Autora: Geol. Iraydes Tálita de Sena Nola
Orientador: Prof. Tit. Lázaro Valentin Zuquette

LEGENDA

Tipo de material envolvido

- Solo
- Detritos
- Rocha
- Detritos e solo
- Detritos e rocha
- Rocha, detritos e solo

- MT77 Código das feições
- Curvas de nível mestras
 - Curvas de nível secundárias
 - Limite da área de estudo



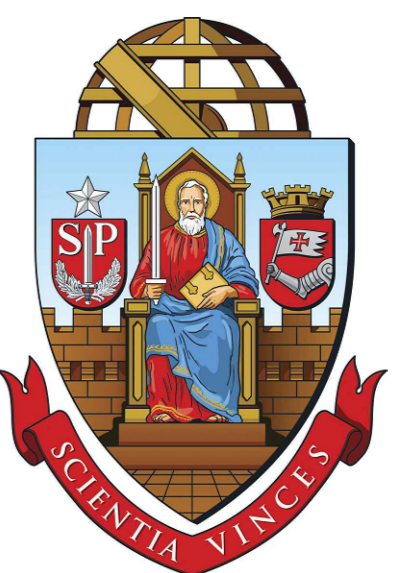
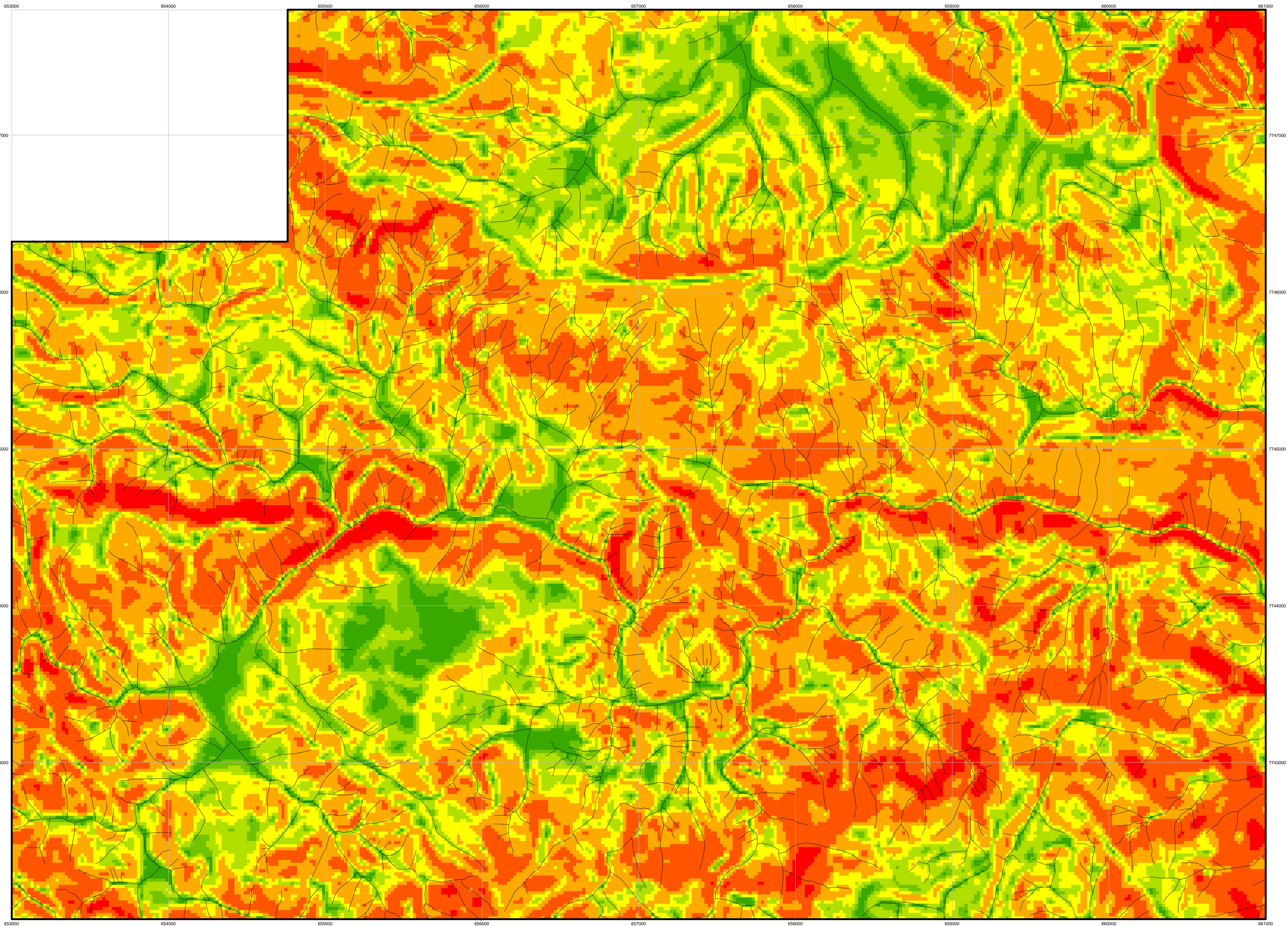
Escala
1:10.000
0 500m
2015

PROJEÇÃO UNIVERSAL DE MERCATOR
Origem da quilometragem UTM
Equador e meridiano 45°W.Gr.
acrescidas as constantes 1000km e 500km

DATUM HORIZONTAL
Córrego Alegre
Zona 23S

APÊNDICE IX

Carta de declividade



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

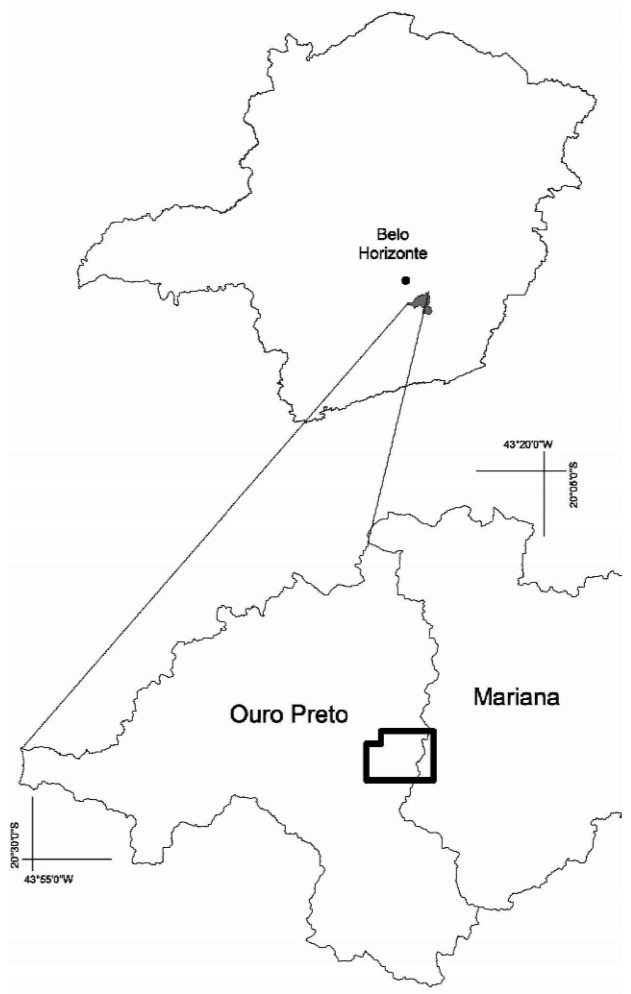
CARTA DE DECLIVIDADE

APÊNDICE IX

Autora: Geol. Iraydes Tálita de Sena Nola
Orientador: Prof. Tit. Lázaro Valentin Zuquette

LEGENDA

- < 3°
- 3 a 6°
- 6 a 11°
- 11 a 18°
- 18 a 24°
- 24 a 36°
- > 36°
- Drenagem
- Limite da área de estudo



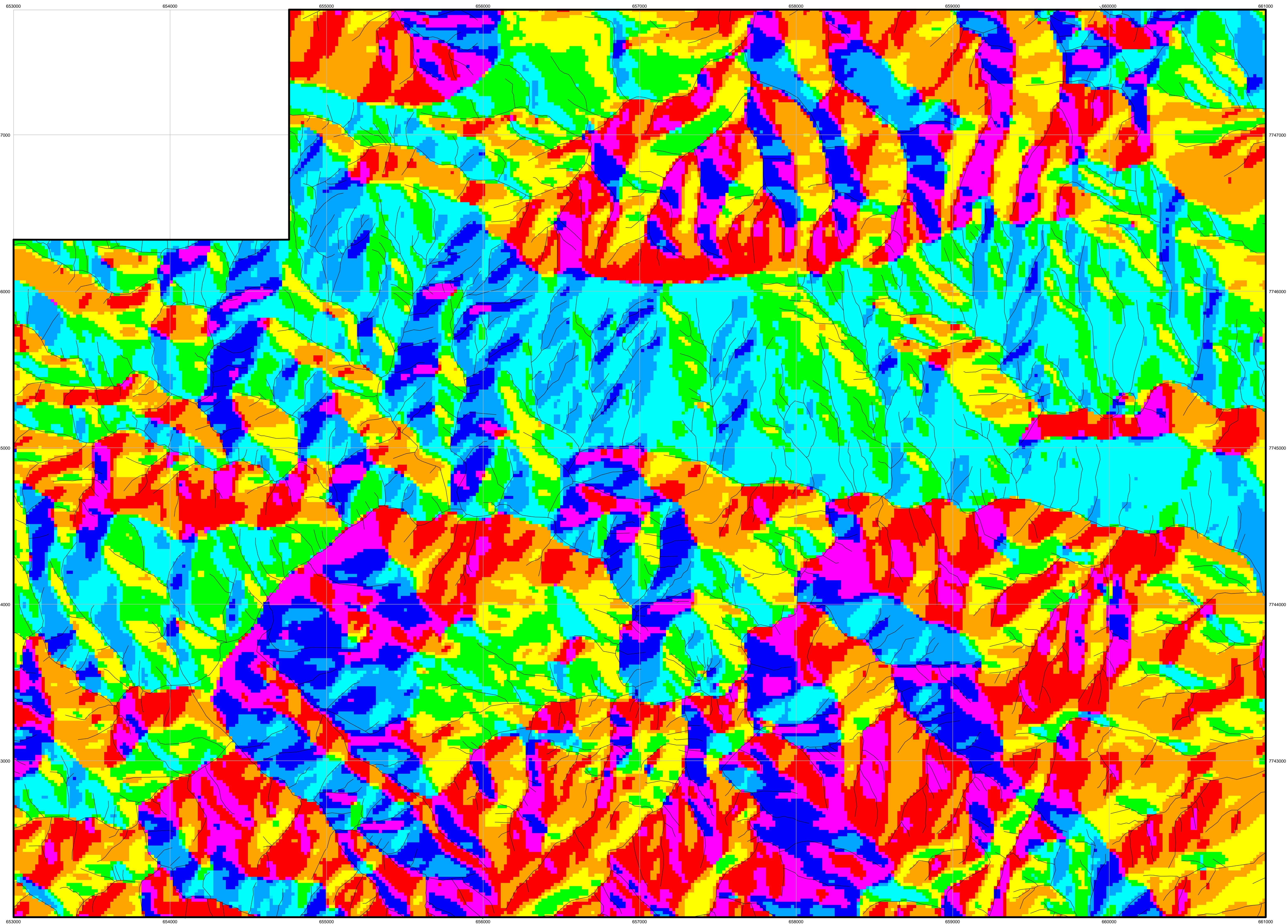
Escala
1:10.000
0 500m
2015

PROJEÇÃO UNIVERSAL DE MERCATOR
Origem da quilometragem UTM
Equador e meridiano 45°W.Gr.
acrescidas as constantes 1000km e 500km

DATUM HORIZONTAL
Córrego Alegre
Zona 23S

APÊNDICE X

Carta do Rumor da Inclinação das Encostas



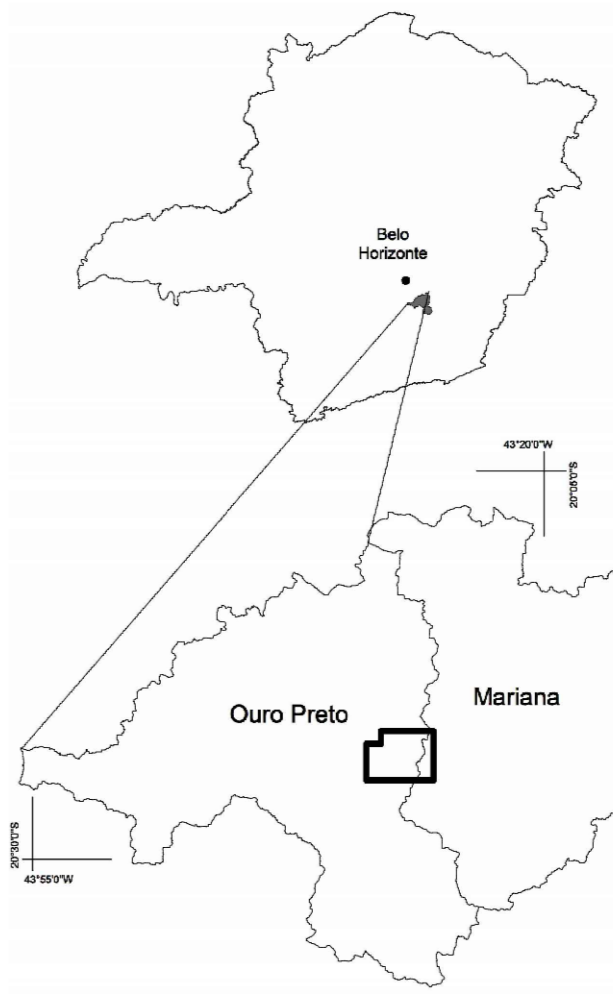
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

CARTA DO RUMO DA
INCLINAÇÃO DAS ENCOSTAS
APÊNDICE X

Autora: Geol. Iraydes Tálita de Sena Nola
Orientador: Prof. Tit. Lázaro Valentin Zuquette

LEGENDA

- Plano
- Norte (0-22,5)
- Nordeste (22,5-67,5)
- Leste (67,5-112,5)
- Sudeste (112,5-157,5)
- Sul (157,5-202,5)
- Sudoeste (202,5-247,5)
- Oeste (247,5-292,5)
- Noroeste (292,5-337,5)
- Norte (337,5-360)
- Drenagem
- Limite da área de estudo



Escala
1:10.000
0 500m
2015

PROJEÇÃO UNIVERSAL DE MERCATOR
Origem da quilometragem UTM
Equador e meridiano 45°W.Gr.
acrescidas as constantes 1000km e 500km

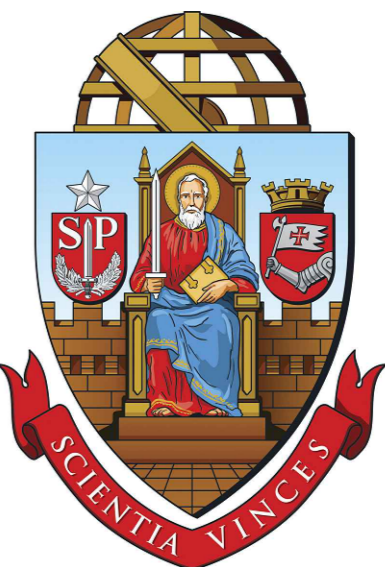
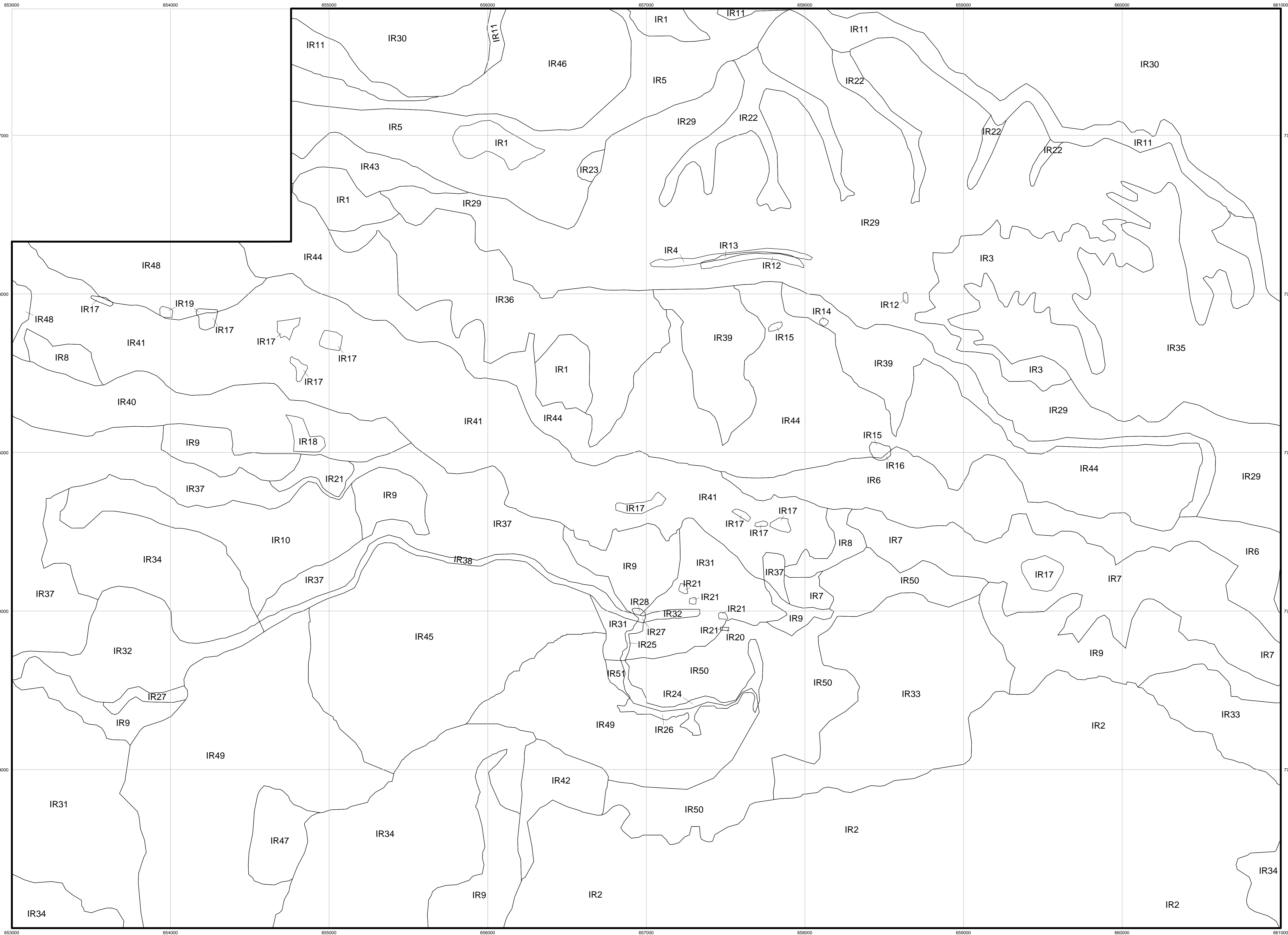
DATUM HORIZONTAL
Córrego Alegre
Zona 23S

APÊNDICE XI

Tabela de Caracterização das Unidades Geológico-Geotécnicas

APÊNDICE XII

Carta das Unidades Geológico-Geotécnicas




UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

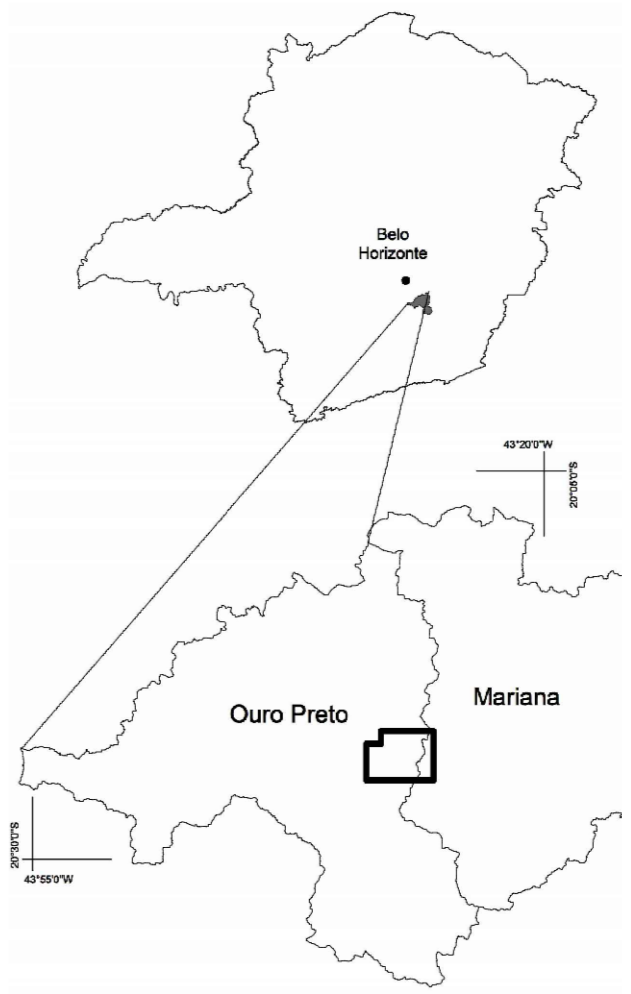
CARTA DE UNIDADES
GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS
APÊNDICE XII

Autora: Geol. Iraydes Tálita de Sena Nola
Orientador: Prof. Tit. Lázaro Valentin Zuquette

LEGENDA

IR35 Código das unidades geológico-geotécnicas.
A descrição das unidades consta na Tabela
de Caracterização das Unidades
Geológico-Geotécnicas (Apêndice XI).

 Limite da área de estudo



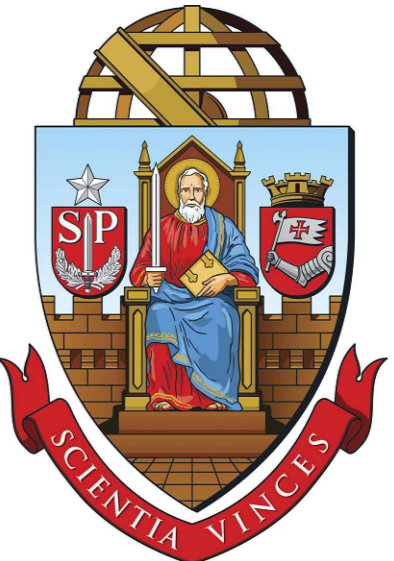
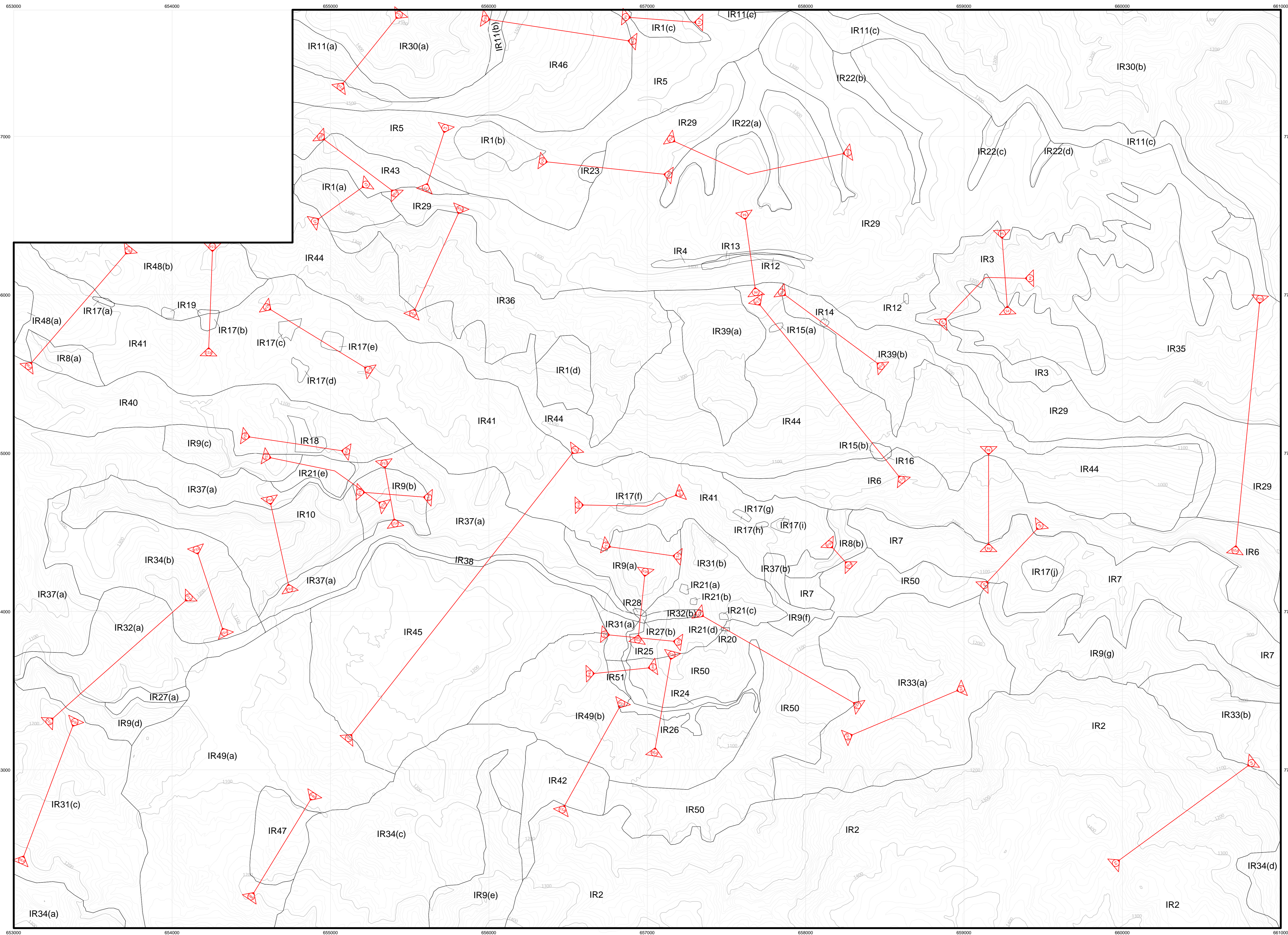
Escala
1:10.000
0 500m
2015

PROJEÇÃO UNIVERSAL DE MERCATOR
Origem da quilometragem UTM
Equador e meridiano 45°W.Gr.
acrescidas as constantes 1000km e 500km

DATUM HORIZONTAL
Córrego Alegre
Zona 23S

APÊNDICE XIII

Mapa das Seções Típicas das Unidades Geológico-Geotécnicas



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

MAPA DAS SEÇÕES TÍPICAS DAS UNIDADES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS

APÊNDICE XIII

Autora: Geol. Iraydes Tálita de Sena Nola
Orientador: Prof. Tit. Lázaro Valentin Zuquette


LEGENDA

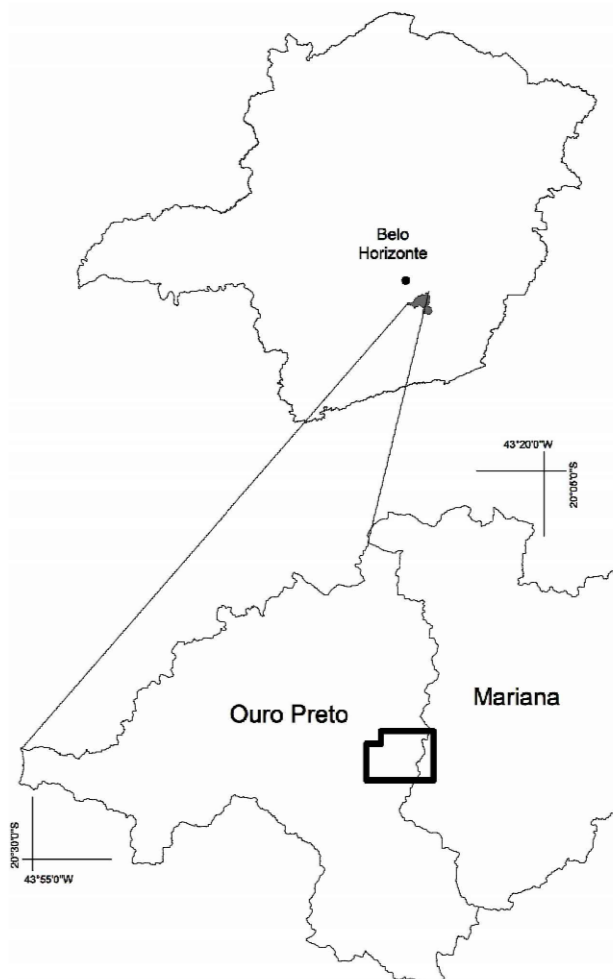
IR35 Código das unidades geológico-geotécnicas.
A descrição das unidades consta na Tabela
de Caracterização das Unidades
Geológico-Geotécnicas (Apêndice XI).

 Perfis topográficos

 Curvas de nível mestras

 Curvas de nível secundárias

 Limite da área de estudo



Escala
1:10.000
0 500m

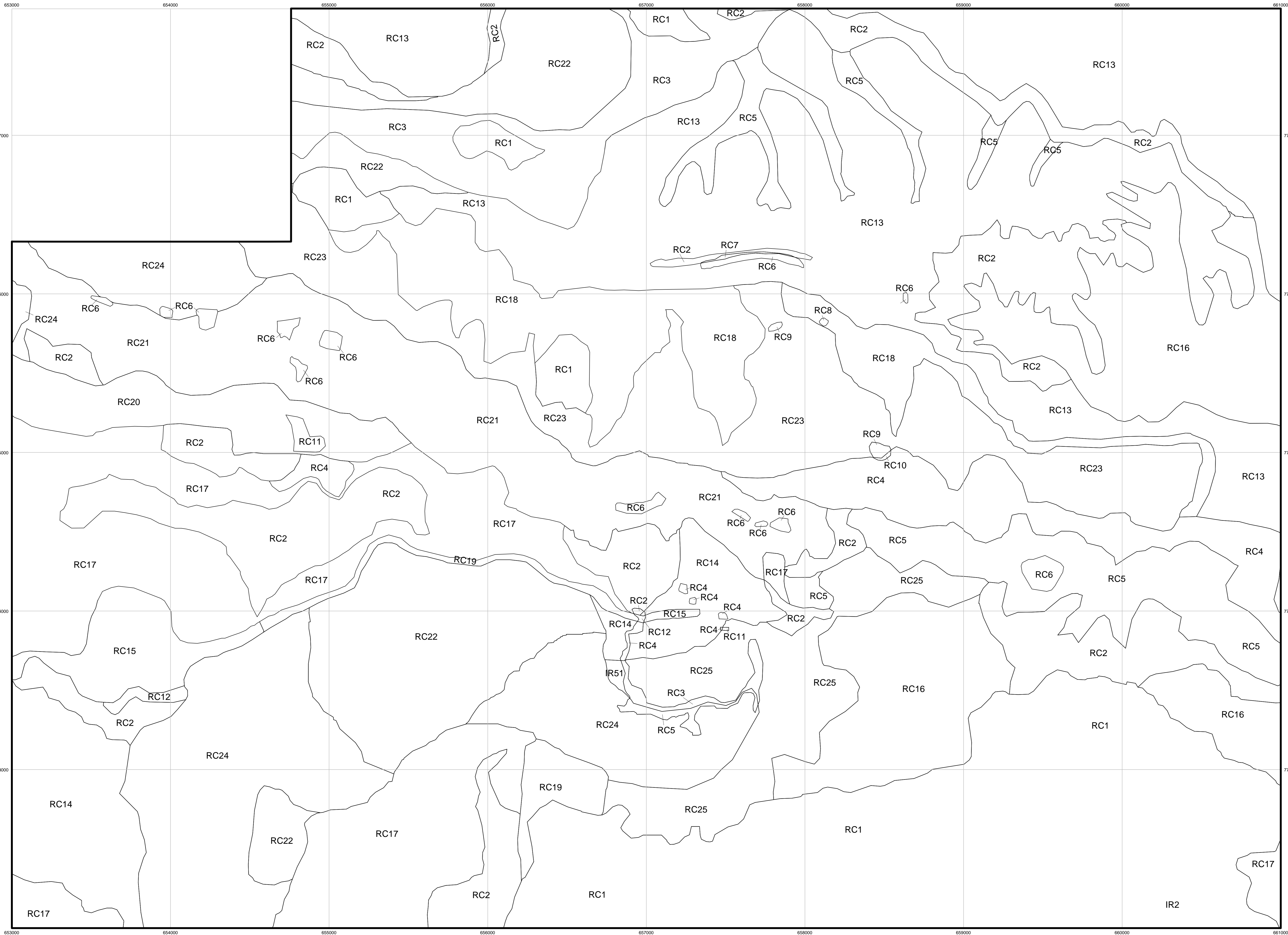
2015

PROJEÇÃO UNIVERSAL DE MERCATOR
Origem da quilometragem UTM
Equador e meridiano 45°W.Gr.
acrescidas as constantes 1000km e 500km

DATUM HORIZONTAL
Córrego Alegre
Zona 23S

APÊNDICE XIV

Carta da Resistência ao Cisalhamento



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA


CARTA DE RESISTÊNCIA AO
CISALHAMENTO

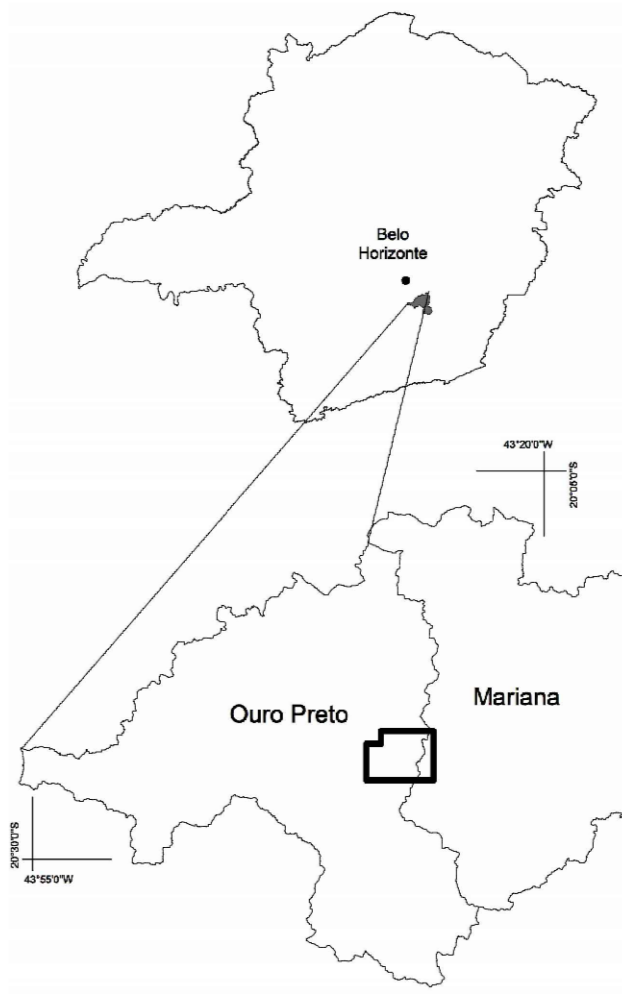
APÊNDICE XIV

Autora: Geol. Iraydes Tálita de Sena Nola
Orientador: Prof. Tit. Lázaro Valentin Zuquette

LEGENDA

RC1 Código das classes de resistência ao cisalhamento. A descrição das unidades consta na Tabela de Caracterização das Unidades Geológico-Geotécnicas (Apêndice XI).

 Limite da área de estudo



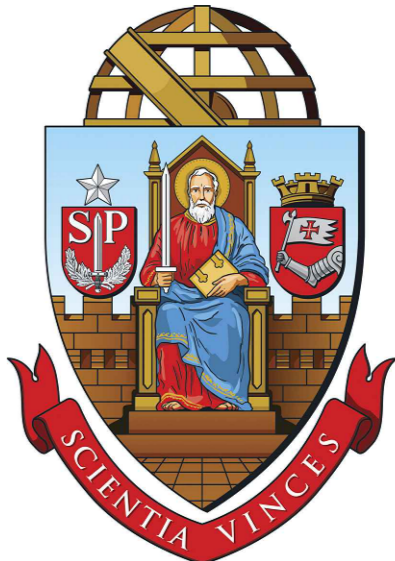
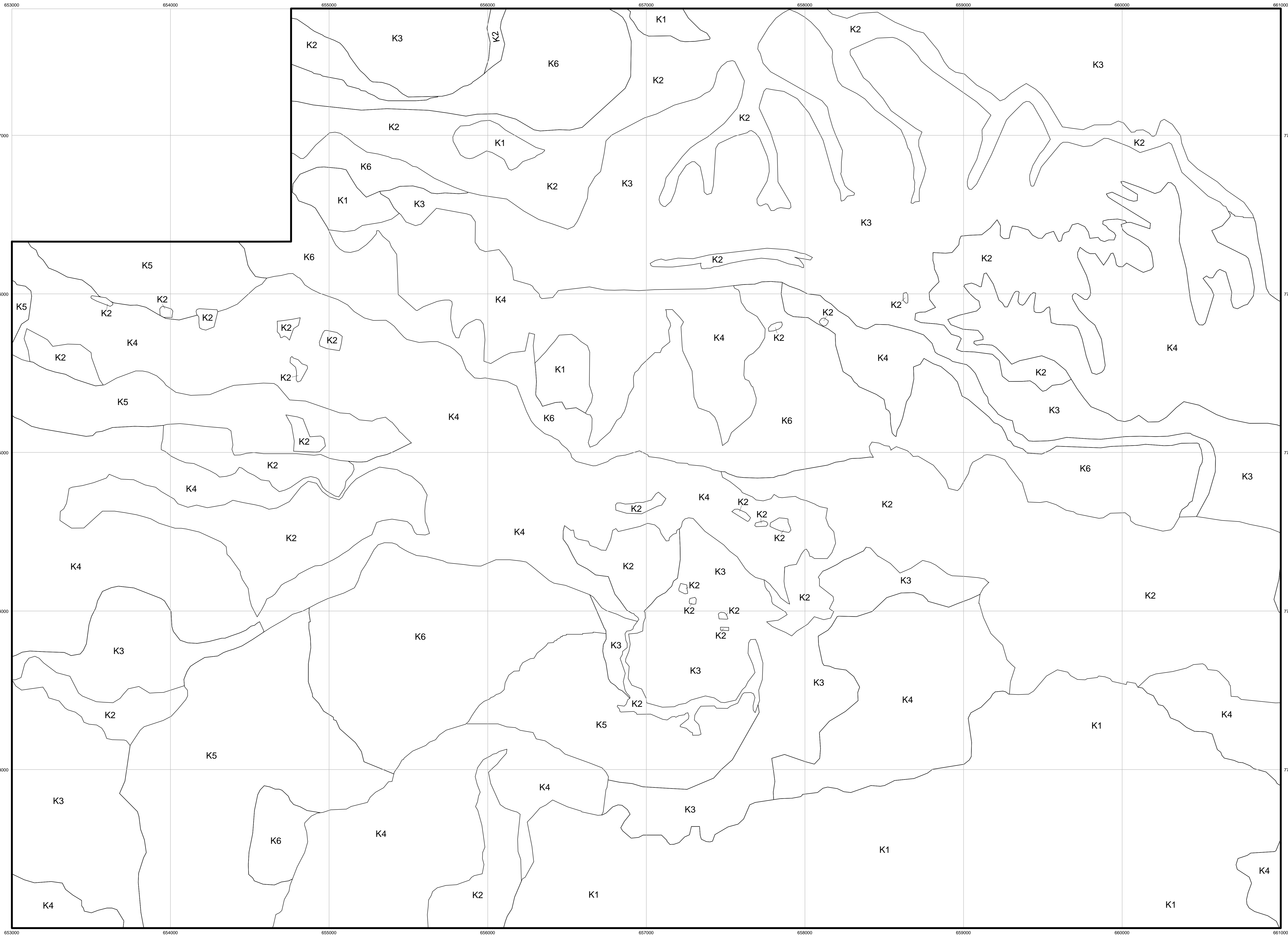
Escala
1:10.000
0 500m
2015

PROJEÇÃO UNIVERSAL DE MERCATOR
Origem da quilometragem UTM
Equador e meridiano 45°W.Gr.
acrescidas as constantes 1000km e 500km

DATUM HORIZONTAL
Córrego Alegre
Zona 23S

APÊNDICE XV

Carta de Contraste de Permeabilidade



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

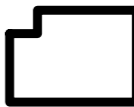
CARTA DE CONTRASTE DE
PERMEABILIDADE

APÊNDICE XV

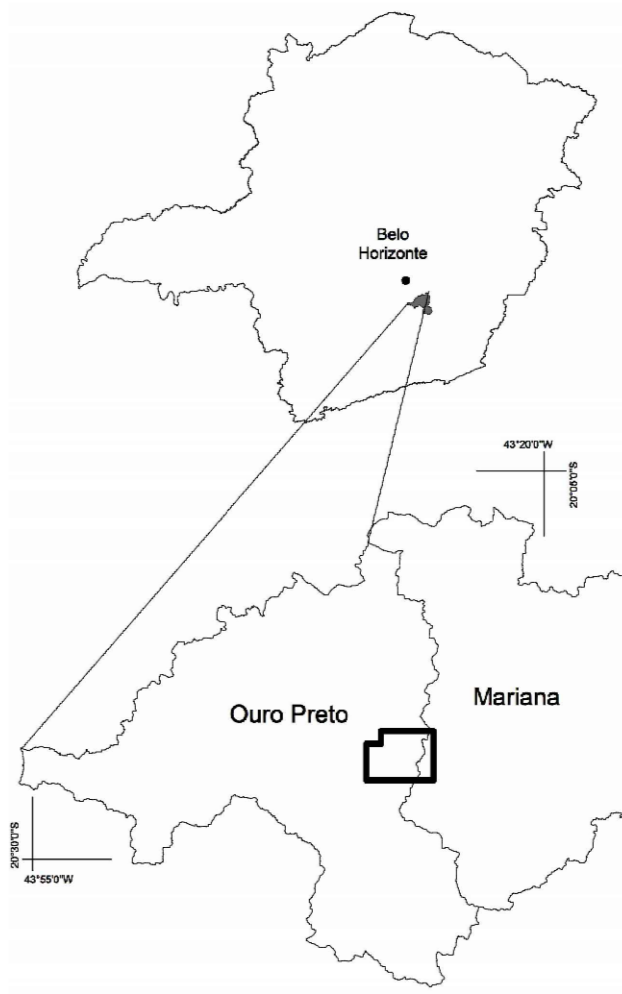
Autora: Geol. Iraydes Tálita de Sena Nola
Orientador: Prof. Tit. Lázaro Valentin Zuquette

LEGENDA

K1	$<10^{-7} \text{ m/s}$	K4	$\frac{>10^{-2} \text{ m/s}}{10^{-4} \text{ a } 10^{-7} \text{ m/s}}$ $<10^{-7} \text{ m/s}$
K2	$>10^{-2} \text{ m/s}$ $<10^{-7} \text{ m/s}$	K5	$\frac{10^{-2} \text{ a } 10^{-4} \text{ m/s}}{10^{-4} \text{ a } 10^{-7} \text{ m/s}}$ $<10^{-7} \text{ m/s}$
K3	$\frac{>10^{-2} \text{ m/s}}{10^{-2} \text{ a } 10^{-4} \text{ m/s}}$ $\frac{10^{-4} \text{ a } 10^{-7} \text{ m/s}}{<10^{-7} \text{ m/s}}$	K6	$\frac{10^{-2} \text{ a } 10^{-4} \text{ m/s}}{<10^{-7} \text{ m/s}}$



Limite da área de estudo



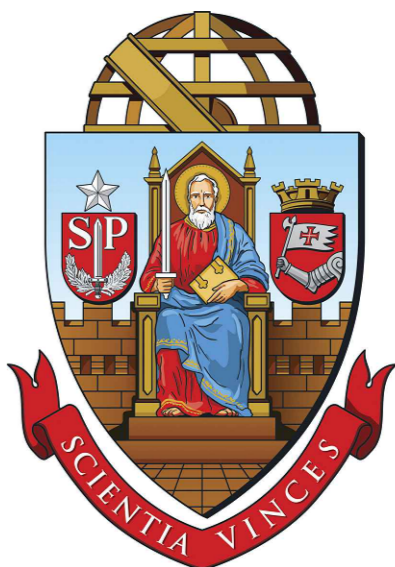
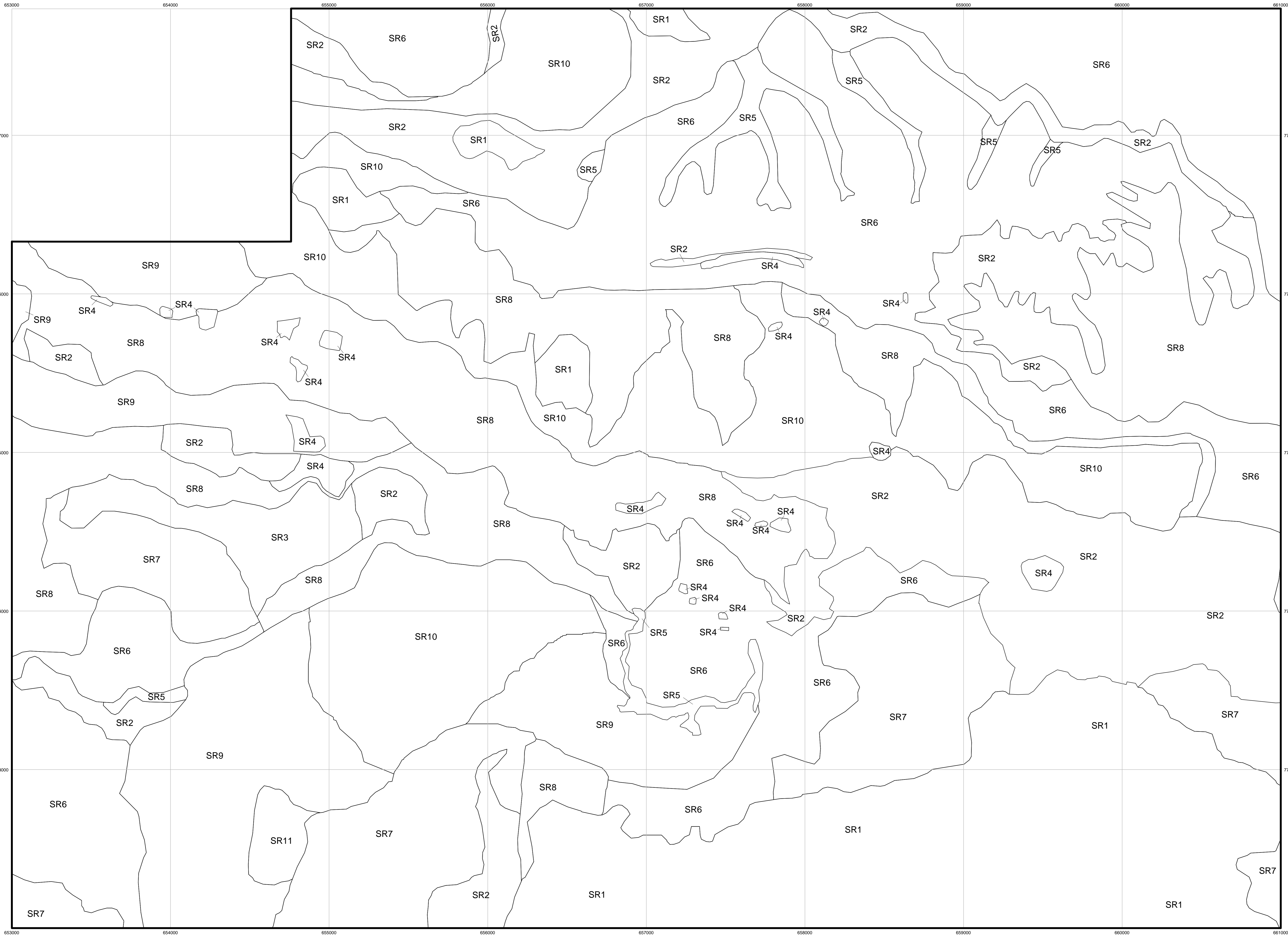
Escala
1:10.000
0 500m
2015

PROJEÇÃO UNIVERSAL DE MERCATOR
Origem da quilometragem UTM
Equador e meridiano 45°W.Gr.
acrescidas as constantes 1000km e 500km

DATUM HORIZONTAL
Córrego Alegre
Zona 23S

APÊNDICE XVI

Carta de Superfície Potencial de Ruptura



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

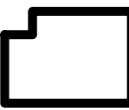
CARTA DE SUPERFÍCIE
POTENCIAL DE RUPTURA

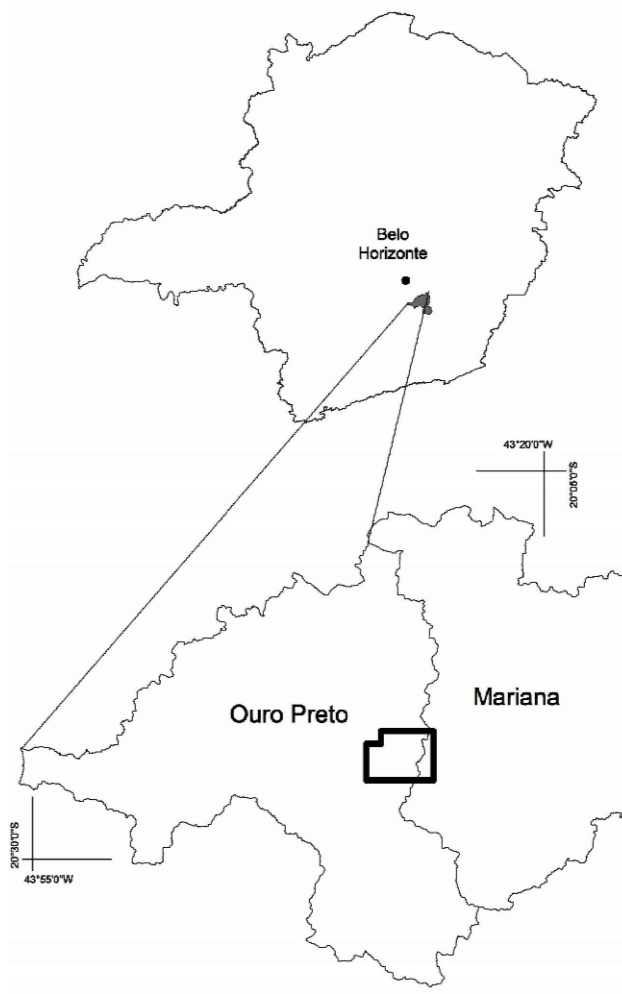
APÊNDICE XVI

Autora: Geol. Iraydes Tálita de Sena Nola
Orientador: Prof. Tit. Lázaro Valentin Zuquette

LEGENDA

SR1 Código das classes de superfície potencial de ruptura. A descrição das classes consta na Tabela de Caracterização das Unidades Geológico-Geotécnicas (Apêndice XI).

 Limite da área de estudo



Escala
1:10.000
0 500m
2015

PROJEÇÃO UNIVERSAL DE MERCATOR
Origem da quilometragem UTM
Equador e meridiano 45°W.Gr.
acrescidas as constantes 1000km e 500km

DATUM HORIZONTAL
Córrego Alegre
Zona 23S