



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

ESCOLA DE MINAS



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA

**CARTOGRAFIA GEOAMBIENTAL E CARTOGRAFIA
GEOTÉCNICA PROGRESSIVA EM DIFERENTES ESCALAS:
APLICAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO
CARMO, MUNICÍPIOS DE OURO PRETO E MARIANA, MINAS
GERAIS.**

LEONARDO ANDRADE DE SOUZA

Ouro Preto - MG

2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA

**CARTOGRAFIA GEOAMBIENTAL E CARTOGRAFIA
GEOTÉCNICA PROGRESSIVA EM DIFERENTES ESCALAS:
APLICAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO
CARMO, MUNICÍPIOS DE OURO PRETO E MARIANA, MINAS
GERAIS.**

LEONARDO ANDRADE DE SOUZA

ORIENTADOR: Prof. Dr. Frederico Garcia Sobreira

Ouro Preto - MG

2015


**CARTOGRAFIA GEOAMBIENTAL E
CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA
PROGRESSIVA EM DIFERENTES ESCALAS:
APLICAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIBEIRÃO DO CARMO, MUNICÍPIOS DE
OURO PRETO E MARIANA, MINAS GERAIS.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geotecnia do Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de **Doutor em Geotecnia**.

Esta tese foi apresentada em sessão pública e aprovada em 21 de agosto de 2015, pela Banca Examinadora composta pelos membros:


Prof. Dr. Frederico Garcia Sobreira (Orientador / UFOP)


Prof. Dra. Maria Giovana Parizzi (UFMG)


Prof. Dr. Eduardo Antônio Gomes Marques (UFV)


Prof. Dr. Eduardo Goulart Collares (UEMG)


Prof. Dra. Lídia Keiko Yominaga (IG-SP)

S729c

Souza, Leonardo Andrade de.

Cartografia geoambiental e cartografia geotécnica progressiva em diferentes escalas [manuscrito]: aplicação na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Carmo, municípios de Ouro Preto e Mariana, Minas Gerais / Leonardo Andrade de Souza. - 2015.

461f.: il.: color; grafs; tabs; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Garcia Sobreira.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia.

1. Cartografia. 2. Engenharia Geotécnica. 3. Geologia ambiental. 4. Urbanização. 5. Percepção de risco. I. Sobreira, Frederico Garcia. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 624.13:711.4

Catálogo: www.sisbin.ufop.br

"Não basta ensinar ao homem uma especialidade, porque se tornará assim uma máquina utilizável e não uma personalidade. É necessário que adquira um sentimento, um senso prático daquilo que vale a pena ser empreendido, daquilo que é belo, do que é moralmente correto".

(Albert Einstein)

*"Sem sonhos, a vida não tem brilho. Sem metas, os sonhos não têm alicerces. Sem prioridades, os sonhos não se tornam reais".
Sonhe, trace metas, estabeleça prioridades e corra riscos para executar seus sonhos. Melhor é errar por tentar, do que errar por se omitir!.*

(Augusto Cury)

Dedico este trabalho aos meus Pais, Antônio Leandro e Ana, que também foram amigos e mestres e aos meus Irmãos, Marco Antônio, Vivian e Anelise pela confiança e paciência. Ao meu sobrinho Miguel por mostrar os reais valores da vida e a minha esposa Luciana pelo apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Frederico Garcia Sobreira, pela orientação e revisão desta Tese, cuja dedicação, amizade ou simples convívio, acresceram no resultado final deste trabalho, e sem o qual este trabalho certamente não teria chegado ao seu fim.

Agradeço aos meus pais, irmãos, sobrinho e em especial a minha esposa que me compreenderam nos momentos de desânimo e sempre são os primeiros a me aplaudir nos momentos de sucesso. Vocês que foram os maiores incentivadores destes anos de formação, não poderiam deixar de ser os grandes homenageados ao final desta jornada.

A vocês o meu eterno agradecimento.

RESUMO

A região objeto deste trabalho corresponde à bacia hidrográfica do Ribeirão do Carmo, onde se inserem as áreas urbanas dos municípios de Ouro Preto e Mariana. Esta bacia hidrográfica possui diversos problemas de ordem ambiental, tais como a existência de diversos setores nas áreas urbanas sob risco geológico-geotécnico, processos geodinâmicos ativos nas áreas urbanas e rurais com geração contínua de sedimentos, a suscetibilidade natural à ocorrência de processos geodinâmicos, a supressão da cobertura vegetal e exposição dos terrenos, o uso inadequado do solo frente a suas aptidões, o desperdício e sub-aproveitamento dos recursos hídricos, bem como sua contaminação e poluição e a deficiência de áreas adequadas para expansão urbana, entre outros. O objetivo geral deste trabalho foi a elaboração de um diagnóstico dos diversos fenômenos geoambientais da região compreendida pela bacia do Ribeirão do Carmo, com uma abordagem temporal e espacial atualizada, de forma a permitir, a partir da lógica do mapeamento progressivo, a proposição metodológica de uma cartografia geoambiental e geotécnica da área da bacia, considerando a identificação da suscetibilidade a processos geológicos e hidrológicos, a determinação da aptidão a urbanização e do risco geológico nas escalas adequadas, além da avaliação dos impactos locais causando contaminação nos corpos de água. A cartografia geoambiental foi adotada para as escalas 1:25.000 e 1:50.000, com o propósito de se avaliar as características gerais dos terrenos, os conflitos de usos e os impactos existentes, buscando-se definir a capacidade das unidades de território para acolher os diversos usos. A cartografia geotécnica foi adotada para três níveis hierárquicos de detalhamento progressivo (escalas 1:25.000, 1:10.000 e 1:2.000), embora as bases e procedimentos para elaboração destas cartas sejam bem distintos. Em escala 1:25.000 foi feita a síntese das suscetibilidades aos processos naturais ou induzidos (Carta de Suscetibilidades a Movimentos de Massa e/ou Eventos Destrutivos de Natureza Hidrológica), com orientações gerais para o uso e ocupação. Na escala 1:10.000 o produto final foi uma carta geotécnica de aptidão à urbanização de área de expansão urbana de Ouro Preto, com orientações detalhadas quanto às formas de ocupação. Na escala 1:2.000, foi aplicada uma metodologia modificada do Ministério das Cidades em parte da área urbana do município de Mariana, buscando a mitigação ou erradicação das situações de perigo e risco em curto prazo, associada a intervenções de engenharia, estruturais e não estruturais, subsidiando instrumentos de planejamento e gestão de risco.

ABSTRACT

The object region of this study was the Ribeirão do Carmo watershed, which includes the urban areas of Ouro Preto and Mariana municipalities. This watershed has many environmental problems such as the existence of various sectors in urban areas under geological and geotechnical risk, active geodynamic processes in urban and rural areas with continuous generation of sediment, natural susceptibility to the occurrence of geodynamic processes, removal of vegetation and land exposure, inadequate land use, waste and sub-utilization of water resources, contamination and pollution and deficiency of areas appropriate for urban expansion among others. The aim of this work was the diagnosis of the various geo-environmental phenomena of the region included in the Ribeirão do Carmo watershed, with an updated temporal and spatial approach to allow, from the progressive mapping logic, the methodological proposition of a geo-environmental and geotechnical mapping of the area, considering the identification of the susceptibility to geological and hydrological processes, determining the fitness to urbanization and the geological risk at appropriate scales and evaluating the local impacts caused by the contamination of water bodies. The geo-environmental cartography was adopted for 1: 50,000 and 1: 25,000 scales with the purpose of assessing the general characteristics of lands, using conflicts and existing impacts, seeking to define the capacity of territory units to receive the various uses. Geotechnical mapping was adopted for three hierarchical levels of progressive detailing (1: 25,000, 1: 10,000 and 1: 2,000 scales), although the bases and procedures for the preparation of these charts were distinct. The synthesis of susceptibilities to natural or induced processes was made on the 1: 25,000 scale (Chart of Susceptibility to Mass Movements and / or Destructive Events of Hydrological Nature), with guidelines for use and occupation. On the 1: 10,000 scale, the final product was a geotechnical chart of urbanization fitness of the urban expansion area of Ouro Preto, with detailed guidance in relation to the forms of occupation. On the 1: 2000 scale, a modified methodology of the Ministry of Cities was applied to part of Mariana urban area, seeking the mitigation or elimination of hazard situations and short term risk associated with engineering, structural and nonstructural interventions, supporting tools for planning and risk management.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
INTRODUÇÃO	1
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2 PREMISSAS	6
1.3 HIPÓTESE	11
1.4 OBJETIVOS E METAS	11
1.5 ÁREA DE ESTUDO	14
1.6 ORGANIZAÇÃO DA TESE	16
CAPÍTULO 2	19
BASE TEÓRICA	19
2.1 CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL, ORDENAMENTO TERRITORIAL E GESTÃO AMBIENTAL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS	19
2.2 CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA	23
2.3 TERMOS E CONCEITOS	27
2.4 MÉTODO DE DETALHAMENTO PROGRESSIVO	31
2.4.1 CARTAS GEOTÉCNICAS DE SUSCETIBILIDADE	32
2.4.2 CARTAS GEOTÉCNICAS DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO	43
2.4.3 CARTAS GEOTÉCNICAS DE RISCO EM ÁREAS URBANAS	47
2.5 CONTEXTUALIZAÇÃO FINAL DO TRABALHO	58
2.6 BANCOS DE DADOS GEOREFERENCIADO, GEOPROCESSAMENTO E SIG	61
CAPÍTULO 3	65
DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL DA BHRC	65
3.1 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	65
3.1.1. PROVÍNCIA GEOTECTÔNICA SÃO FRANCISCO	71

3.1.1.1 COBERTURAS SEDIMENTARES NÃO DEFORMADAS	71
3.1.1.1.1 Aluvião	71
3.1.1.1.2 Tálus	72
3.1.1.1.3 Colúvio	73
3.1.1.1.4 Coberturas Detrito-Lateríticas e Lateríticas	75
3.1.1.2 GRUPO ITACOLOMI	76
3.1.1.3 SUPERGRUPO MINAS	77
3.1.1.3.1 GRUPO SABARÁ	77
3.1.1.3.2 GRUPO PIRACICABA	79
3.1.1.3.2.1 FORMAÇÃO BARREIRO	79
3.1.1.3.2.2 FORMAÇÃO FECHO DO FUNIL	81
3.1.1.3.2.3 FORMAÇÃO CERCADINHO	81
3.1.1.3.3 GRUPO ITABIRA	84
3.1.1.3.3.1 FORMAÇÃO GANDARELA	84
3.1.1.3.3.2 FORMAÇÃO CAUÊ	85
3.1.1.3.4 GRUPO CARAÇA	87
3.1.1.3.4.1 CARAÇA INDIVISO	87
3.1.1.3.4.2 FORMAÇÃO BATATAL	88
3.1.1.3.4.3 FORMAÇÃO MOEDA	88
3.1.1.4 SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS	89
3.1.1.4.1 GRUPO MAQUINÉ	89
3.1.1.4.2 GRUPO NOVA LIMA	90
3.1.1.5 COMPLEXO SANTO ANTÔNIO DO PIRAPETINGA	93
3.1.1.6 COMPLEXO SANTA BÁRBARA	94
3.1.2. PROVÍNCIA GEOTECTÔNICA MANTIQUEIRA.....	94
3.1.2.1 COMPLEXO MANTIQUEIRA	94

3.2 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA	95
3.2.1. ELABORAÇÃO DA CARTA GEOMORFOLÓGICA	97
3.2.1.1 COMPARTIMENTAÇÃO MORFOLÓGICA BASEADA NO MÉTODO HEURÍSTICO _____	99
3.2.1.2 COMPARTIMENTAÇÃO TOPOGRÁFICA A PARTIR DE COMPOSIÇÃO COLORIDA RGB E REALCE DOS PADRÕES DE RELEVO. _____	102
3.2.1.3 PROCEDIMENTOS PARA A COMPARTIMENTAÇÃO DO RELEVO ADEQUADA A BHRC. _____	106
3.2.1.3.1 RELEVO MONTANHOSO _____	109
3.2.1.3.2 RELEVO DE MORRO _____	109
3.2.1.3.3 RELEVO DE MORRO COM ENCOSTA SUAVE _____	110
3.2.1.3.4 RELEVO DE MORROTE _____	110
3.2.1.3.5 RELEVO DE COLINA _____	110
3.2.1.3.6 RELEVO DE RAMPA _____	111
3.2.1.3.7 RELEVO SUAVE A PLANO _____	111
3.2.1.3.8 RELEVO SUAVE A PLANO DE ALTA ALTITUDE _____	111
3.2.1.3.9 RELEVO DE PLANÍCIE ALUVIAL _____	111
3.3 CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA	112
3.3.1 ELABORAÇÃO DA CARTA PEDOLÓGICA	113
3.3.2 APTIDÃO AGRÍCOLA DAS TERRAS	119
3.4 ÁREAS DE PROTEÇÃO PERMANENTE	121
3.4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	121
3.4.2 PROCEDIMENTOS PARA IDENTIFICAÇÃO DAS APPs	122
3.4.2.1 APPS DE CURSO D'ÁGUA _____	124
3.4.2.2 APPS DE DECLIVIDADE _____	125

3.4.2.3 APPS DE TOPO DE MORRO	125
3.5 CARACTERIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS MORFOMÉTRICOS, APROPRIAÇÃO DA EQUAÇÃO DE CHUVA INTENSA E TEMPO DE CONCENTRAÇÃO DA BHRC.....	133
3.5.1 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA REDE DE DRENAGEM	135
3.5.2 APROPRIAÇÃO DA EQUAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS E DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO	147
3.6 QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS.....	154
3.6.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	154
3.6.2 PROCEDIMENTOS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS	156
3.6.2.1 COLETA DAS AMOSTRAS E DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS EM CAMPO	161
3.6.2.2 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DAS AMOSTRAS DE ÁGUA NO LABORATÓRIO	162
3.6.2.3 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS DAS AMOSTRAS DE ÁGUAS NO LABORATÓRIO	162
3.6.2.4 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS (IQA)	163
3.6.3 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS.....	165
3.6.4 TEORES DE METAIS E METALÓIDES	167
3.6.5 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS COM BASE NOS 9 PARÂMETROS DO IQA	172
3.6.6 ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS - IQA	176
3.7 USO DO SOLO	182
3.7.1 ÁREAS URBANAS	190
3.7.2 ÁREAS DE CAMPOS, SOLO EXPOSTO E PASTAGENS.....	191
3.7.3 ÁREAS DE SILVICULTURA.....	192

3.7.4 ÁREAS DE COBERTURA VEGETAL SECUNDÁRIA.....	192
3.7.5 ÁREAS DE CAMPOS RUPESTRES DE ALTITUDE	193
3.7.6 ÁREAS DE MINERAÇÃO.....	193
3.7.7 UNIDADES DE CONSERVAÇÃO.....	193
CAPÍTULO 4.....	195
CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA DE SUSCETIBILIDADE	195
4.1. PROCESSOS GEODINÂMICOS SUPERFICIAIS.....	195
4.1.1 SUSCETIBILIDADE A PROCESSOS EROSIVOS LAMINARES	196
4.1.1.1 EROSÃO LAMINAR E PERDA DE SOLO	196
4.1.1.1.1 OBTENÇÃO DOS FATORES R, K, L e S	199
4.1.1.1.2 POTENCIAL NATURAL DE EROSÃO (PNE) DA BHRC ____	205
4.1.1.1.3 CÁLCULO DA PERDA DE SOLO NA BHRC	206
4.1.2 SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÃO	211
4.1.3 SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS	219
4.1.3.1 PROCEDIMENTOS PARA CARTOGRAFIA DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS	224
4.1.3.1.1 MODELO INICIAL ORIENTADOR	225
4.1.3.1.2 INVENTÁRIO DE DADOS	225
4.1.3.1.3 ORGANIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES EM AMBIENTE SIG	226
4.1.3.1.4 INTERPRETAÇÃO DOS DADOS E GERAÇÃO DE PRODUTOS CARTOGRÁFICOS DERIVADOS	228
4.1.3.1.5 INVENTÁRIO DE CICATRIZES E OCORRÊNCIAS	228
4.1.3.1.6 TRABALHOS DE CAMPO	235
4.1.3.1.7 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA PRELIMINAR	236
4.1.3.1.8 INTEGRAÇÃO DE DADOS E ELABORAÇÃO DAS CARTAS DE SUSCETIBILIDADE A PROCESSOS GEODINÂMICOS	236

4.1.4 SUSCETIBILIDADE A QUEDA E ROLAMENTO DE BLOCOS ROCHOSOS	252
4.1.5 SUSCETIBILIDADE A CORRIDAS DE MASSA E ENXURRADAS	253
CAPÍTULO 5	257
CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO A URBANIZAÇÃO	257
5.1 INTRODUÇÃO	257
5.2 PROCEDIMENTOS PARA ELABORAÇÃO DAS CARTAS DE APTIDÃO A URBANIZAÇÃO NA ESCALA 1:10.000 OU MAIORES	260
5.2.1 MODELO INICIAL ORIENTADOR	262
5.2.2 INVENTÁRIO DE DADOS E ORGANIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES EM AMBIENTE GIS	265
5.2.3 INTERPRETAÇÃO DOS DADOS E GERAÇÃO DOS PRODUTOS CARTOGRÁFICOS INTERMEDIÁRIOS	265
5.2.4 INTEGRAÇÃO DOS DADOS E DIAGNÓSTICO DO MEIO FÍSICO	266
5.2.5 ELABORAÇÃO DA CARTA SÍNTESE DE SUSCETIBILIDADE	266
5.2.6 DETERMINAÇÃO DE ÁREA DE INTERESSE PARA A ESCALA DE DETALHE	268
5.2.7 GERAÇÃO DE DADOS NA ESCALA DE DETALHE	269
5.2.7.1 MODELO DIGITAL DO TERRENO	270
5.2.7.2 MAPA DE DECLIVIDADE	270
5.2.7.3 MAPA DE ASPECTO DAS VERTENTES	271
5.2.7.4 MAPA DE CONCENTRAÇÃO DE FLUXO	271
5.2.7.5 MAPA LITOLÓGICO E DE DEPÓSITOS DE COBERTURA	271
5.2.7.6 MAPA DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE E DE FAIXAS DE DOMÍNIO	273
5.2.7.7 INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS DE CAMPO	273
5.2.7.7.1 LEVANTAMENTOS INDIRETOS (GEOFÍSICA)	274

5.2.7.7.2 LEVANTAMENTOS DIRETOS (SONDAGENS A PERCUSSÃO)	278
5.2.7.7.3 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	279
5.3 UNIDADES DA CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO	283
CAPÍTULO 6	289
PERIGO E RISCO A PROCESSOS GEOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS E ANÁLISE DE PERCEPÇÃO	289
6.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PERIGO E RISCO	289
6.2 IDENTIFICAÇÃO DOS RISCOS GEOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS	294
6.2.1 PROCEDIMENTOS PARA IDENTIFICAÇÃO DO PERIGO E RISCO GEOLÓGICO	295
6.3 PERCEPÇÃO DO RISCO	309
6.3.1. METODOLOGIA PROPOSTA	313
6.3.1.1. AMOSTRAGEM	314
6.3.1.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA	323
6.3.1.2.1. RESULTADOS E DISCUSSÃO	324
6.3.1.2.1.1. ANÁLISE DESCRITIVA	324
6.3.1.2.1.2 DISCUSSÃO DA ANÁLISE DESCRITIVA	334
6.3.1.2.1.3 ANÁLISE DE ASSOCIAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS	339
CAPÍTULO 7	347
CONCLUSÕES	347
REFERÊNCIAS	355
ANEXO I	420
ANEXO II	422
ANEXO III	424

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. 1 - FLUXOGRAMA DE ANÁLISE DO MEIO FÍSICO DA BHRC, A PARTIR DA METODOLOGIA PROPOSTA DE MAPEAMENTO PROGRESSIVO, COM CORRELAÇÃO CONFORME NUMERAÇÃO, ENTRE OS TEMAS ABORDADOS NA CARTOGRAFIA GEOAMBIENTAL E AS ANÁLISES REALIZADAS PARA A CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA. _	14
FIGURA 1. 2 - BACIA DO RIBEIRÃO DO CARMO, NO CONTEXTO DO ESTADO DE MINAS GERAIS, COM OS LIMITES MUNICIPAIS E A OCUPAÇÃO URBANA (SEDES MUNICIPAIS E DISTRITOS). _____	15
FIGURA 2. 1 - DISTRIBUIÇÃO DOS GRUPOS DE PESQUISA POR ESTADOS BRASILEIROS. __	25
FIGURA 2. 2 - CARTAS GEOTÉCNICAS E APLICAÇÃO EM PRÁTICAS DE PLANEJAMENTO URBANO E ORDENAMENTO TERRITORIAL. _____	31
FIGURA 2. 3 – PROPOSTA DE MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE SUSCETIBILIDADE SEGUNDO ALEOTTI, 1999. _____	36
FIGURA 2.4 – FLUXOGRAMA COM OS PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE DE SUSCETIBILIDADE PROPOSTO CONFORME METODOLOGIA IPT/CPRM. FONTE: BITAR, O. Y. 2014. _____	41
FIGURA 3. 1 – BHRC NA ZONA LIMÍTROFE ENTRE A PROVÍNCIA GEOTECTÔNICA SÃO FRANCISCO, A OESTE, E A PROVÍNCIA GEOTECTÔNICA MANTIQUEIRA, A LESTE, COM INDICAÇÃO DO LIMITE DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO.....	67
FIGURA 3. 2 – MAPA GEOLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO CARMO. .	69
FIGURA 3. 3 – ASPECTOS DA UNIDADE ALUVIÃO.	72
FIGURA 3. 4 - ASPECTOS DA UNIDADE TÁLUS.....	73
FIGURA 3. 5 - ASPECTOS DA UNIDADE COLÚVIO.	74
FIGURA 3. 6 - ASPECTOS DA UNIDADE COBERTURA DETRITO-LATERÍTIAS.	75
FIGURA 3. 7 – ASPECTOS DOS QUARTZITOS DA UNIDADE ITACOLOMI.....	77
FIGURA 3. 8 – ASPECTOS DOS XISTOS DA UNIDADE SABARÁ.	78
FIGURA 3. 9 – ASPECTOS DOS FILITOS DA UNIDADE BARREIRO.	80
FIGURA 3. 10 – AFLORAMENTO E FOTOMICROGRAFIA MOSTRANDO A ESTRUTURA CAÓTICA DO FILITO DA FORMAÇÃO FECHO DO FUNIL SOB LUZ POLARIZADA.....	81
FIGURA 3. 11 – ASPECTOS DA UNIDADE CERCADINHO.	82
FIGURA 3. 12 – AFLORAMENTO E FOTOMICROGRAFIA MOSTRANDO A MICROESTRUTURA GRANOBLÁSTICA E A MINERALOGIA COMPOSTA POR QUARTZO (QTZ) E MICA BRANCA (MICA), SOB LUZ POLARIZADA.	83
FIGURA 3. 13 – AFLORAMENTO E FOTOMICROGRAFIA MOSTRANDO A ESTRUTURA GRANOBLÁSTICA DO QUARTZITO DA FORMAÇÃO CERCADINHO E A MINERALOGIA COMPOSTA DE QUARTZO (QTZ) E MICA BRANCA (MICA) SOB LUZ POLARIZADA.....	83

FIGURA 3. 14 – AFLORAMENTO E FOTOMICROGRAFIA MOSTRANDO A MICROESTRUTURA GRANOBLÁSTICA E A MINERALOGIA, COMPOSTA POR MICA BRANCA (MICA), QUARTZO (QTZ), CARBONATO (CBT) E OPACOS, SOB LUZ POLARIZADA.	85
FIGURA 3. 15 – AFLORAMENTO E FOTOMICROGRAFIA MOSTRANDO O BANDAMENTO COMPOSICINAL TÍPICO DE MINERALOGIA QUARTZO (QTZ) E OPACOS, SOB LUZ PLANA.	86
FIGURA 3. 16 – AFLORAMENTO E FOTOMICROGRAFIA MOSTRANDO A ESTRUTURA GRANOBLÁSTICA DO QUARTZITO DA UNIDADE CARAÇA, E A MINERALOGIA COMPOSTA DE QUARTZO (QTZ) E MICA BRANCA (MICA) SOB LUZ PLANA.....	87
FIGURA 3. 17 – AFLORAMENTO E FOTOMICROGRAFIA MOSTRANDO A FOLIAÇÃO CRENLADA DO FILITO DA FORMAÇÃO BATATAL SOB LUZ PLANA.	88
FIGURA 3. 18 – AFLORAMENTO E FOTOMICROGRAFIA MOSTRANDO OS QUARTZITOS DA FORMAÇÃO MOEDA, E A MICROESTRUTURA GRANOBLÁSTICA DESTACANDO UM CRISTAL DE CIANITA (KY), ALÉM DE QUARTZO (QTZ) E MICA BRANCA (MICA), SOB LUZ POLARIZADA.....	89
FIGURA 3. 19 – AFLORAMENTO E FOTOMICROGRAFIA MOSTRANDO A ESTRUTURA GRANOLEPIDOBLÁSTICA DO QUARTZITO DO GRUPO MAQUINÉ, E A MINERALOGIA COMPOSTA DE QUARTZO (QTZ), MICA BRANCA (MICA) E OPACOS SOB LUZ POLARIZADA.....	90
FIGURA 3. 20 – AFLORAMENTO E FOTOMICROGRAFIA DOS XISTOS DA UNIDADE CÓRREGO DO PAINA MOSTRANDO A MICROESTRUTURA LEPIDOBLÁSTICA COM NÍVEIS GRANOBLÁSTICOS, DESTACANDO A CRENLADAÇÃO E A LINEAÇÃO DE CRENLADAÇÃO..	91
FIGURA 3. 21 - AFLORAMENTO E FOTOMICROGRAFIA DOS XISTOS DA UNIDADE CATARINA MENDES MOSTRANDO A MICROESTRUTURA GRANOLEPIDOBLÁSTICA E A MINERALOGIA COMPOSTA POR QUARTZO (QTZ) E SERICITA (SER), SOB LUZ POLARIZADA.....	92
FIGURA 3. 22 – AFLORAMENTO E FOTOMICROGRAFIA DOS XISTOS DA UNIDADE NOVA LIMA INDIVISO MOSTRANDO OS ALTEROMORFOS DE MINERAIS MÁFICOS, SOB LUZ PLANA.....	92
FIGURA 3. 23 – AFLORAMENTO E FOTOMICROGRAFIA DO GNAISSE DO COMPLEXO SANTO ANTÔNIO DO PIRAPETINGA MOSTRANDO A ESTRUTURA DECUSSADA DA ROCHA E A MINERALOGIA COMPOSTA DE HORNBLENDA (HB), ACTINOLITA (ACT), PLAGIOCLÁSIO (PL), QUARTZO (QTZ), CLINOZOISÍTA (CLZ) E ALLANITA (ALL) SOB LUZ POLARIZADA.	93
FIGURA 3. 24 – AFLORAMENTO E FOTOMICROGRAFIA DOS MIGMATITOS DO COMPLEXO SANTA BÁRBARA MOSTRANDO A ESTRUTURA INEQUIGRANULAR DA ROCHA E A MINERALOGIA COMPOSTA DE MICROCLINA (MCR), PLAGIOCLÁSIO (PL), QUARTZO (QTZ), E MICA BRANCA (MICA) SOB LUZ POLARIZADA.....	94
FIGURA 3. 25 – NÍVEIS DE ABORDAGEM GEOMORFOLÓGICA SEGUNDO A METODOLOGIA PROPOSTA POR AB'SABER (1969).	96
FIGURA 3. 26 – UNIDADES TAXONÔMICAS PROPOSTAS POR ROSS (1992).....	97
FIGURA 3. 27 – MAPA GEOMORFOLÓGICO DA BHRC A PARTIR DE ANÁLISE HEURÍSTICA.	99

FIGURA 3. 28 – PERFIL ESQUEMÁTICO 1 – 1’ DE TRECHOS DA BHRC CONSIDERANDO A ANÁLISE HEURÍSTICA PARA DELIMITAÇÃO DAS UNIDADES MORFOLÓGICAS.	99
FIGURA 3. 29 - PERFIL ESQUEMÁTICO 2 – 2’ DE TRECHOS DA BHRC, CONSIDERANDO A ANÁLISE HEURÍSTICA PARA DELIMITAÇÃO DAS UNIDADES MORFOLÓGICAS.	100
FIGURA 3. 30 - PERFIL ESQUEMÁTICO 3 – 3’ DE TRECHOS DA BHRC, CONSIDERANDO A ANÁLISE HEURÍSTICA PARA DELIMITAÇÃO DAS UNIDADES MORFOLÓGICAS.	100
FIGURA 3. 31 – HISTOGRAMAS DE FREQUÊNCIA DE ALTIMETRIA E DECLIVIDADE OBTIDOS DAS UNIDADE MORFOLÓGICAS.	101
FIGURA 3. 32 – TRECHOS COM DIFERENCIAÇÃO DE PADRÕES DE RELEVO OBSERVADOS A PARTIR DA COMPOSIÇÃO COLORIDA RGB DA BHRC.	104
FIGURA 3. 33 – DELIMITAÇÃO PRELIMINAR DAS UNIDADES MORFOLÓGICA A PARTIR DA COMPOSIÇÃO COLORIDA RGB DA BHRC, PARA GERAÇÃO DOS HISTOGRAMAS DE FREQUÊNCIA.	104
FIGURA 3. 34 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA DE DECLIVIDADE OBTIDO DAS UNIDADES MORFOLÓGICAS (UM) IDENTIFICADAS A PARTIR DA COMPOSIÇÃO COLORIDA.	105
FIGURA 3. 35 – MAPA DE AMPLITUDES RELATIVAS DA BHRC.	108
FIGURA 3. 36 – MAPA DE UNIDADES MORFOLÓGICAS PROPOSTO PARA A BHRC.	109
FIGURA 3. 37 – MAPA DE SOLO DA BHRC A PARTIR DO MAPA DE SOLOS DE MINAS GERAIS. FONTE: MAPA DE SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. FOONTE: FEAM, 2011.	112
FIGURA 3. 38 – COMPOSIÇÃO COLORIDA COM MDE NO CANAL VERMELHO, DECLIVIDADE NO CANAL VERDE E ASPECTO NO CANAL AZUL.	114
FIGURA 3. 39 - PADRÕES SIMILARES DE CLASSES DE SOLO EXTRAÍDOS A PARTIR DAS COMPOSIÇÕES COLORIDAS.	115
FIGURA 3. 40 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA DE DECLIVIDADE E ALTIMETRIA POR TIPO DE SOLO COM OCORRÊNCIA NA BHRC.	117
FIGURA 3. 41 - CARTA PEDOLÓGICA DA BHRC.	118
FIGURA 3. 42 – ÁREAS DE PROTEÇÃO PERMANENTE DE CURSO D’ÁGUA DA BHRC.	124
FIGURA 3. 43 – ÁREAS DE PROTEÇÃO PERMANENTE DE DECLIVIDADE DA BHRC.	125
FIGURA 3. 44 – MAPA DAS APP DE TOPO DE MORRO DA BHRC PRELIMINAR, CONSIDERANDO A RESOLUÇÃO CONAMA Nº 303/2002.	128
FIGURA 3. 45 – MAPA DAS APP DE TOPO DE MORRO DA BHRC PRELIMINAR, CONSIDERANDO A LEI Nº 12.651, DE 25 DE MAIO DE 2012.	129
FIGURA 3. 46 – MAPA DE APP DE TOPO DE MORRO DA BHRC COM INDICAÇÃO DE TRECHOS ONDE FORAM GERADOS PERFIS TOPOGRÁFICOS.	130
FIGURA 3. 47 – CONJUNTO DE PERFIS TOPOGRÁFICOS DE TRECHOS DA BHRC PARA VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA PARA GERAÇÃO DAS APP DE TOPO DE MORRO.	131
FIGURA 3. 48 – ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE DE TOPO DE MORRO E UNIDADES DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL DA BHRC.	132
FIGURA 3. 49 – BACIA DO RIBEIRÃO DO CARMO E SUAS BACIAS INTERIORES DE ORDEM 3, 4 E 5.	136

FIGURA 3. 50 – ÍNDICE DE CONCENTRAÇÃO DA RUGOSIDADE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO CARMO.....	142
FIGURA 3. 51 - CLASSIFICAÇÃO DE DECLIVIDADE MÉDIA NAS BACIAS INTERIORES QUE COMPÕEM A BHRC	142
FIGURA 3. 52 - CURVAS INTENSIDADE X DURAÇÃO DE CHUVA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO NA ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA FAZENDA PARAÍSO.	151
FIGURA 3. 53 – MAPA DE PONTOS DE AMOSTRAGEM DE ÁGUA DA BACIA DO RIBEIRÃO DO CARMO.....	157
FIGURA 3. 54 – PONTO XF 01 AMOSTRADO – RIBEIRÃO DO CARMO, DISTRITO DE FURQUIM – EXUTÓRIO DA BACIA HIDROGRÁFICA.	160
FIGURA 3. 55 - PONTO RF 02 AMOSTRADO – CAIXA DE CAPTAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DO DISTRITO DE MONSENHOR HORTA EM MARIANA – MG.	161
FIGURA 3. 56 - PONTO ME 01 AMOSTRADO. BICA DE ÁGUA UTILIZADA PELA COMUNIDADE DO DISTRITO DE BANDEIRANTES PARA CONSUMO.....	161
FIGURA 3. 57 – VALORES ANORMAIS ACIMA DO PERMITIDO PELA PORTARIA 1469, PARA A SUBSTÂNCIA ALUMÍNIO.....	168
FIGURA 3. 58 – VALORES ANORMAIS ACIMA DO PERMITIDO PELA PORTARIA 1469 PARA A SUBSTÂNCIA FERRO.....	169
FIGURA 3. 59 – VALORES ANORMAIS ACIMA DO PERMITIDO PELA PORTARIA 1469 PARA A SUBSTÂNCIA MANGANÊS.....	169
FIGURA 3. 60 – OCORRÊNCIAS DAS SUBSTÂNCIAS ALÚMINO, FERRO E MANGANÊS ACIMA DOS VALORES PERMITIDOS PARA CONSUMO HUMANO AO LONGO DA BHRC.	171
FIGURA 3. 61 – MAPA DO IQA DA BHRC – MÉTODO NSF – PERÍODO SECO.....	177
FIGURA 3. 62 – MAPA DO IQA DA BHRC – MÉTODO NSF – PERÍODO DE CHUVA.	178
FIGURA 3. 63 – MAPA DO IQA DA BHRC – MÉTODO CETESB – PERÍODO SECO.	179
FIGURA 3. 64 – MAPA DO IQA DA BHRC – MÉTODO NSF – PERÍODO DE CHUVA.	180
FIGURA 3. 65 – MOSAICO PRODUZIDO COM AS 25 ORTOFOTOS NA ESCALA 1:10.000 QUE RECOBREM A BHRC, COM DETALHE PARA DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS URBANAS. FONTE: CEMIG, 1986.....	184
FIGURA 3. 66 – RECONHECIMENTO DOS USOS DIRETAMENTE SOBRE A ORTOFOTO 1:10.000, COM POSTERIOR DELIMITAÇÃO. FONTE: CEMIG, 1986.....	185
FIGURA 3. 67 – CARTA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA DO RIBEIRÃO DO CARMO (ANO DE 1986).	185
FIGURA 3. 68 – CARTA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA DO RIBEIRÃO DO CARMO (ANO DE 2006).	187
FIGURA 3. 69 – RECONHECIMENTO DOS USOS DIRETAMENTE SOBRE A IMAGEM DO GOOGLE EARTH COM POSTERIOR DELIMITAÇÃO DAS CLASSES. FONTE: GOOGLE EARTH, 2014.	189
FIGURA 3. 70 – CARTA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA DO RIBEIRÃO DO CARMO (ANO DE 2014).	189
FIGURA 3. 71 – EVOLUÇÃO TEMPORAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BHRC, ENTRE 1986 E 2014.....	190

FIGURA 4.1– LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS COM SÉRIES COMPLETAS ENTRE OS ANOS DE 1984 E 2009.	200
FIGURA 4. 2 – MÉDIA ANUAL DE CHUVA POR ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA ENTRE OS ANOS DE 1984 E 2009.....	200
FIGURA 4. 3 – CARTA DE PLUVIOSIDADE ANUAL MÉDIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO CARMO GERADA ATRAVÉS DA INTERPOLAÇÃO DAS MÉDIAS ANUAIS DE PRECIPITAÇÃO ENTRE OS ANOS DE 1984 E 2009.	201
FIGURA 4. 4 – CARTA DO POTENCIAL NATURAL À EROÇÃO DA BACIA DO RIBEIRÃO DO CARMO.	205
FIGURA 4. 5 – CARTA DE PERDA DE SOLO DA BACIA DO RIBEIRÃO DO CARMO.	209
FIGURA 4. 6 – CARTA DE SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÃO DA BHRC.	215
FIGURA 4. 7 – CARTA DE SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÃO DA BHRC – ANÁLISE AHP.	218
FIGURA 4. 8 – PROPOSTA DE ETAPAS PARA ELABORAÇÃO DA CARTA DE SUSCETIBILIDADE.	224
FIGURA 4. 9 – SISTEMÁTICA PARA RECONHECIMENTO PRELIMINAR DA ÁREA DE ESTUDO.	225
FIGURA 4. 10 – DISTRIBUIÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE MOVIMENTOS DE MASSA PARA AS ÁREAS URBANAS DE MARIANA E OURO PRETO COM REGISTRO NAS DEFESAS CIVIS E CORPO DE BOMBEIROS, ENTRE OS ANOS DE 1994 E 2013.....	230
FIGURA 4. 11 – DESLIZAMENTO DE SOLO NO BAIRRO SANTO ANTÔNIO, MARIANA, 2012.	230
FIGURA 4. 12 – DESLIZAMENTO BAIRRO SÃO GONÇALO, MARIANA, 2012.....	230
FIGURA 4. 13 – DESLIZAMENTO BAIRRO SÃO GONÇALO, MARIANA, 2012.....	230
FIGURA 4. 14 – DESLIZAMENTO BAIRRO CABANAS, MARIANA, 2012.....	230
FIGURA 4. 15 – DESLIZAMENTO RUA TREZE DE MAIO, OURO PRETO, 2012.	231
FIGURA 4. 16 – RUA PADRE ROLIM, EM FRENTE A RODOVIÁRIA DE OURO PRETO, 2012.	231
FIGURA 4. 17 - SERRA DE OURO PRETO. ÁREA INTENSAMENTE MINERADA NO SÉCULO XVII COM POSTERIOR OCUPAÇÃO DESORDENADA. PONTOS E1, E, E3, E4, NA SERRA DE OURO PRETO. FONTE: CEMIG, 1986.	231
FIGURA 4. 18 - SERRA DE OURO PRETO. ÁREA INTENSAMENTE MINERADA NO SÉCULO XVII COM POSTERIOR OCUPAÇÃO DESORDENADA. PONTOS E5, E6, E7 NA SERRA DE OURO PRETO, SAÍDA PARA MARIANA. FONTE: CEMIG, 1986.....	231
FIGURA 4. 19 - FEIÇÕES EROSIVAS E DESLIZAMENTOS TRANSLACIONAIS RASOS DE SOLO E ROCHA. INTERFERÊNCIA DO SISTEMA VIÁRIO IMPLANTADO COM DESCONFINAMENTO EM ALGUNS PONTOS E LANÇAMENTO DAS ÁGUAS PLUVIAIS DIRETAMENTE NA ENCOSTA. PONTOS E7, E8, E9, E10, MG 262, SAÍDA PARA MARIANA. FONTE: CEMIG, 1986.	232
FIGURA 4. 20 - PROCESSOS EROSIVOS LINEARES ANTIGOS. OCUPAÇÃO DA ÁREA A PARTIR DA DÉCADA DE 1990 AGRAVANDO MAIS OS PROBLEMAS. INFRAESTRUTURA	

DEFICIENTE. ANTIGA ÁREA DE MINERAÇÃO DE PIRITA NÃO REABILITADA. PONTOS E11, E12, E13, E14, OURO PRETO, ANTIGA MINA DE PIRITA E MARGENS DA MG 262. FONTE: CEMIG, 1986.....	232
FIGURA 4. 21 - CORTES VERTICALIZADOS INSTÁVEIS AO LONGO DA MG 262 COM PROCESSOS GEODINÂMICOS ATIVOS. PONTOS E24, E25, E26, DISTRITO DE PASSAGEM DE MARIANA. FONTE: CEMIG, 1986.	232
FIGURA 4. 22 - CHARNEIRA DO ANTICLINAL DE MARIANA. ZONA DE ALÍVIO DE TENSÕES DE TRAÇÃO. CONTATO ENTRE OS ITABIRITOS RESISTENTES QUE COMPÕEM A FORMAÇÃO FERRÍFERA COM OS XISTOS ALTERADOS DO GRUPO NOVA LIMA. AVANÇO DA OCUPAÇÃO E HISTÓRICO DE ATIVIDADES DE MINERAÇÃO NO SÉCULO XVII. PONTOS E27, E28, DISTRITO DE PASSAGEM DE MARIANA, CHARNEIRA DO ANTICLINAL DE MARIANA. FONTE: CEMIG, 1986.....	232
FIGURA 4. 23 - PROCESSOS EROSIVOS LINEARES ASSOCIADOS A DESLIZAMENTOS TRANSLACIONAIS RASOS DE SOLO. ANTIGA ÁREA DE MINERAÇÃO NÃO REABILITADA. PONTO E13, E14, ANTIGA MINA DE PIRITA, OURO PRETO – MG. FONTE: GOOGLE EARTH, 2014.	233
FIGURA 4. 24 - PROCESSOS EROSIVOS E DESLIZAMENTOS TRANSLACIONAIS RASOS DE SOLO RELACIONADOS A RETALUDAMENTOS EM CORTES DA RODOVIA INADEQUADOS E AO LANÇAMENTO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DIRETAMENTE NA ENCOSTA. AUSÊNCIA DE DISPOSITIVOS DE DRENAGEM SUPERFICIAL NOS TALUDES E DE MICRODRENAGEM NA RODOVIA. PONTO E15, E16, OURO PRETO – MG. FONTE: GOOGLE EARTH, 2014.	233
FIGURA 4. 25 - SOLO EXPOSTO. ÁREA NÃO OCUPADA. CONTATO ENTRE OS FILITOS FRATURADOS E ALTERADOS DA FORMAÇÃO CERCADINHO COM OS FILITOS DA FORMAÇÃO BARREIRO. PROCESSOS EROSIVOS LINEARES ATIVOS E DESLIZAMENTOS TRANSLACIONAIS DE SOLO E ROCHA CONSTANTES. NO PONTO E26 TEM-SE UMA INTENSA DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS E FORMAÇÃO DE BARRAS LATERAIS COM O FREQUENTE RETRABALHAMENTO DAS MESMAS NOS PERÍODOS DE ELEVAÇÃO DAS VAZÕES. PONTOS E26, E27, MARIANA – MG. FONTE: GOOGLE EARTH, 2014.	233
FIGURA 4. 26 - ÁREA DE EXPLORAÇÃO DE ROCHA ORNAMENTAL (QUARTZITOS) NO NÚCLEO DO ANTICLINAL DE MARIANA. ALÉM DA EXPLORAÇÃO INDUSTRIAL TEM-SE A DISSEMINAÇÃO AO LONGO DA ÁREA DA EXPLORAÇÃO POR TRABALHADORES AUTÔNOMOS. A JUSANTE, AO LONGO DO CÓRREGO SECO TEM-SE PEQUENOS BARRAMENTOS IMPROVISADOS PARA DIMINUIÇÃO DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS. PONTO E28, EXTRAÇÃO DE QUARTZITO, OURO PRETO – MG. FONTE: GOOGLE EARTH, 2014.	233
FIGURA 4. 27 - PROCESSOS EROSIVOS NO ENTORNO DA ÁREA OCUPADA EM MARIANA. ALGUNS RELACIONADOS À DEFICIÊNCIA DO LOTEAMENTOS E À OCUPAÇÃO DE ÁREAS NATURALMENTE INSTÁVEIS (E36). PONTO E35, E36, MARIANA – MG. FONTE: GOOGLE EARTH, 2014.....	234
FIGURA 4. 28 - SERRA DE MARIANA, BAIRRO GOGO. PONTO E37, E38, MARIANA – MG. FONTE: GOOGLE EARTH, 2014.	234

FIGURA 4. 29 - DESLIZAMENTO DE SOLO / ROCHA. DISTRITO DE PASSAGEM DE MARIANA, CHARNEIRA DO ANTICLINAL DE MARIANA, 2012.	234
FIGURA 4. 30 – DESLIZAMENTOS DE SOLO ROTACIONAIS E TRANSLACIONAIS NA CABECEIRA DA BHRC – OURO PRETO, 2012.	234
FIGURA 4. 31 – DESLIZAMENTOS A MONTANTE DO BIRRO JARDIM ALVORADA, OURO PRETO, 2012.	235
FIGURA 4. 32 – DESLIZAMENTO PRÓXIMO A RUA DOS INCONFIDENTES, PRAÇA DA ESTAÇÃO, OURO PRETO, 2012.	235
FIGURA 4. 33 – PROCESSOS GEODINÂMICOS / CICATRIZES IDENTIFICADAS AO LONGO DA BACIA DO RIBEIRÃO DO CARMO TOMANDO-SE COMO BASE AS ORTOFOTOS DO ANO DE 1986, AS IMAGENS <i>GOOGLE EARTH</i> DISPONÍVEIS E TRABALHOS DE CAMPO.	235
FIGURA 4. 34 – DECLIVIDADES OBTIDAS A PARTIR DA BASE TOPOGRÁFICA NA ESCALA 1:25.000 COM RECOBRIMENTO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO.	237
FIGURA 4. 35 – DECLIVIDADES OBTIDAS A PARTIR DA BASE TOPOGRÁFICA NA ESCALA 1:50.000 COM RECOBRIMENTO DO EMBASAMENTO CRISTALINO, PORÇÃO LESTE DA BACIA.	238
FIGURA 4. 36 – INTERPOLAÇÃO DAS DIREÇÕES DE MERGULHOS DAS FOLIAÇÕES, PORÇÃO OESTE DA BHRC.	239
FIGURA 4. 37 – INTERPOLAÇÃO DAS INTENSIDADES DE MERGULHOS DAS FOLIAÇÕES, PORÇÃO OESTE DA BHRC.	240
FIGURA 4. 38 – CLASSIFICAÇÃO DA DIREÇÃO DAS ENCOSTAS DA PORÇÃO OESTE DA BHRC.	240
FIGURA 4. 39 – MODELO CINEMÁTICO REGIONAL: RELAÇÃO ANGULAR ENTRE A DIREÇÃO DAS ENCOSTAS E A DIREÇÃO DE MERGULHO DAS FOLIAÇÕES FAVORÁVEIS A RUPTURAS PLANARES DE SOLO E ROCHA.	241
FIGURA 4. 40 - MODELO CINEMÁTICO REGIONAL: RELAÇÃO ANGULAR ENTRE A DIREÇÃO DAS ENCOSTAS E A DIREÇÃO DE MERGULHO DAS FOLIAÇÕES FAVORÁVEIS A RUPTURAS PLANARES DE SOLO E ROCHA E ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DAS FOLIAÇÕES MENOR QUE O ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DAS ENCOSTAS.	242
FIGURA 4. 41 – HISTOGRAMAS DE FREQUÊNCIA DA INCLINAÇÃO DAS ENCOSTAS EM RELAÇÃO ÀS UNIDADES GEOLÓGICAS COM MAIOR RECORRÊNCIA DE MOVIMENTOS DE MASSA. INCLINAÇÃO MÉDIA DE 16,7°.	244
FIGURA 4. 42 – HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA DA DIREÇÃO DE MERGULHO DAS ENCOSTAS EM RELAÇÃO ÀS UNIDADES GEOLÓGICAS COM MAIOR RECORRÊNCIA DE MOVIMENTOS DE MASSA.	244
FIGURA 4. 43 – HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA DA DIREÇÃO DE MERGULHO DA FOLIAÇÃO (110 A 150°), EM RELAÇÃO ÀS UNIDADES GEOLÓGICAS COM MAIOR RECORRÊNCIA DE MOVIMENTOS DE MASSA.	244
FIGURA 4. 44 – HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA DO ÂNGULO DE MERGULHO DA FOLIAÇÃO, EM RELAÇÃO ÀS UNIDADES GEOLÓGICAS COM MAIOR RECORRÊNCIA DE MOVIMENTOS DE MASSA. INCLINAÇÃO MÉDIA DE 33,4°.	244

FIGURA 4. 45 – CARTA DE SUSCETIBILIDADE DA PORÇÃO OESTE DA BHRC NA ESCALA 1:25.000.....	246
FIGURA 4. 46 – CARTA DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS DA PORÇÃO OESTE DA BHRC NA ESCALA 1:50.000.....	247
FIGURA 4. 47 – VARIAÇÃO NO PERCENTUAL DE CLASSIFICAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE DA PORÇÃO OESTE DA BHRC CONSIDERANDO A UTILIZAÇÃO DAS ESCALAS 1:25.000 E 1:50.000 NA ANÁLISE.	248
FIGURA 4. 48 – CARTA DE SUSCETIBILIDADE DA PORÇÃO LESTE DA BHRC NA ESCALA 1:50.000.....	249
FIGURA 4. 49 – CARTA FINAL DE SUSCETIBILIDADE DA BHRC.....	250
FIGURA 4. 50 – CORRELAÇÃO ENTRE A CARTA DE SUSCETIBILIDADE DA BHRC E AS FEIÇÕES MORFOLÓGICAS E CICATRIZES DE MOVIMENTOS DE MASSA.....	251
FIGURA 4. 51 – SUSCETIBILIDADE A OCORRÊNCIA DE QUEDA E ROLAMENTO DE BLOCOS ROCHOSOS NA BHRC.	253
FIGURA 4. 52 – IDENTIFICAÇÃO DAS BACIAS INTERIORES SUSCETÍVEIS A ENXURRADAS E CORRIDAS DE MASSA NA BHRC COM DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE ATINGIMENTO.	256
FIGURA 5. 1 – LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO CÓRREGO FUNIL NO CONTEXTO DA BHRC.	259
FIGURA 5. 2 - PROCEDIMENTOS PARA O MAPEAMENTO DA APTIDÃO À URBANIZAÇÃO. ..	261
FIGURA 5. 3 – CONJUNTO DE IMAGENS PANORÂMICAS DO ENTORNO DO MUNICÍPIO DE OURO PRETO – MG OBTIDAS DURANTE O RECONHECIMENTO DA ÁREA EM CAMPO (2013).	263
FIGURA 5. 4 – SISTEMÁTICA PARA RECONHECIMENTO PRELIMINAR DA ÁREA DE ESTUDO.	263
FIGURA 5. 5 - UNIDADE MORFODINÂMICA DE INTERESSE DO PROJETO (UMIP) ESCOLHIDA PARA O DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO.....	264
FIGURA 5. 6 - PROPOSTA SIMPLIFICADA DE ETAPAS PARA ELABORAÇÃO ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A EVENTOS DE NATUREZA GEOLÓGICA E HIDROLÓGICA.	267
FIGURA 5. 7 - CARTA DE SUSCETIBILIDADE A PROCESSOS GEODINÂMICOS NA UMIP – BACIA DO CÓRREGO DO FUNIL.	268
FIGURA 5. 8 – ÁREA DE ANÁLISE DE APTIDÃO A URBANIZAÇÃO DELIMITADA NO INTERIOR DA ÁREA MORFODINÂMICA DE INTERESSE DO PROJETO.....	269
FIGURA 5. 9 - MAPA GEOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO	273
FIGURA 5. 10 – RADARGRAMA DO PERFIL 1 DE CAMPO E MODELO INTERPRETADO DO TERRENO.....	275
FIGURA 5. 11 – RADARGRAMA DO PERFIL 4 DE CAMPO E MODELO INTERPRETADO DO TERRENO.....	276
FIGURA 5. 12 – RADARGRAMA DO PERFIL 5 DE CAMPO E MODELO INTERPRETADO DO TERRENO.....	277
FIGURA 5. 13 – RADARGRAMA DO PERFIL 9 DE CAMPO E MODELO INTERPRETADO DO TERRENO.....	278

FIGURA 5. 14 – CARTA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO	284
FIGURA 6.1 – MAPA DE OCORRÊNCIAS AO LONGO DA SEDE DO MUNICÍPIO DE MARIANA CONSTRUÍDO A PARTIR DAS ANÁLISES DE SOUZA (2004) COMPLEMENTADA COM A ANÁLISE E SISTEMATIZAÇÃO DE TODOS OS BOLETINS DE OCORRÊNCIAS DISPONÍVEIS ATÉ O ANO DE 2014.	298
FIGURA 6. 2 – MAPA DE LIDERANÇAS COMUNITÁRIAS GERADO NESTE TRABALHO COM OS DADOS REPASSADOS PELA DEFESA CIVIL.	299
FIGURA 6. 3 – MAPA DE ÁREAS QUE PODEM SER UTILIZADAS PARA ABRIGAMENTOS TEMPORÁRIOS GERADO NESTE TRABALHO, COM OS DADOS REPASSADOS PELA DEFESA CIVIL E PREFEITURA MUNICIPAL.	300
FIGURA 6. 4 – CARTA DE PERIGO DE PARTE DA SEDE DO MUNICÍPIO DE MARIANA – MG EXEMPLIFICANDO PARTE DOS SETORES IDENTIFICADOS.	302
FIGURA 6. 5 – CARTA DE PERIGO PARA A SEDE DO MUNICÍPIO DE MARIANA GERADA NESTE ESTUDO – MG.....	303
FIGURA 6. 6 – EXEMPLO DE CLASSIFICAÇÃO DA INTENSIDADE DO DANO POR DOMICÍLIO EM DOIS SETORES DE PERIGO (S1 E S3) IDENTIFICADOS EM PARTE DA SEDE DO MUNICÍPIO DE MARIANA RELACIONADOS A MOVIMENTOS DE MASSA (S1) E INUNDAÇÕES (S3).	306
FIGURA 6. 7 – EXEMPLO DE CLASSIFICAÇÃO DA INTENSIDADE DO DANO POR DOMICÍLIO EM UM SETOR DE PERIGO (S41) RELACIONADO A QUEDA E ROLAMENTO DE BLOCOS ROCHOSOS.	306
FIGURA 6. 8 – EXEMPLO DE CLASSIFICAÇÃO DA INTENSIDADE DO DANO POR DOMICÍLIO EM TRÊS SETORES DE PERIGO (S49, S50 E S51) IDENTIFICADOS EM PARTE DA SEDE DO MUNICÍPIO DE MARIANA.....	307
FIGURA 6. 9 – PROPOSTA DE DEFINIÇÃO DE NÚMERO AMOSTRAL EM ESTUDO DE PERCEPÇÃO DE RISCO GEOLÓGICO E HIDROLÓGICO EM DIFERENTES ESCALAS DE MAPEAMENTO.....	319
FIGURA 6. 10 – DELIMITAÇÃO DAS 25 ÁREAS DO MUNICÍPIO DE MARIANA - MG DEFINIDAS PARA A APLICAÇÃO DAS ENTREVISTAS INDIVIDUAIS PARA ANÁLISE DA PERCEPÇÃO DE RISCO GEOLÓGICO E HIDROLÓGICO.	320
FIGURA 6. 11 – SEXO INFORMADO PELOS ENTREVISTADOS.	324
FIGURA 6. 12 - ESCOLARIDADE INFORMADA PELOS ENTREVISTADOS.....	324
FIGURA 6. 13 – SITUAÇÃO ATUAL DO EMPREGO INFORMADA PELOS ENTREVISTADOS....	325
FIGURA 6. 14 – SITUAÇÃO ATUAL DA RENDA FAMILIAR MENSAL INFORMADA PELOS ENTREVISTADOS.	325
FIGURA 6. 15 – TEMPO DE RESIDÊNCIA INFORMADO PELOS ENTREVISTADOS.	325
FIGURA 6. 16 – MOTIVAÇÃO QUE LEVOU A MORAR NO BAIRRO INFORMADA PELOS ENTREVISTADOS.	326
FIGURA 6. 17 – CONDIÇÃO LEGAL DAS ÁREAS/DOMICÍLIOS INFORMADA PELOS ENTREVISTADOS.	326

FIGURA 6. 18 – CONDIÇÃO LEGAL DA PROPRIEDADE INFORMADA PELOS ENTREVISTADOS.	326
FIGURA 6. 19 - TIPOLOGIA DOS IMÓVEIS INFORMADA PELOS ENTREVISTADOS.	327
FIGURA 6. 20 - TIPOLOGIA DOS MATERIAIS PREDOMINANTES NAS PAREDES INFORMADA PELOS ENTREVISTADOS.....	327
FIGURA 6. 21 - CONHECIMENTO SOBRE RISCOS GEOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS INFORMADO PELOS ENTREVISTADOS.....	327
FIGURA 6. 22 - LEMBRANÇAS SOBRE A OCORRÊNCIA DE DESLIZAMENTOS INFORMADAS PELOS ENTREVISTADOS.....	327
FIGURA 6. 23 - LEMBRANÇAS SOBRE A OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES INFORMADAS PELOS ENTREVISTADOS.	327
FIGURA 6. 24 – PERCEPÇÃO SOBRE A SITUAÇÃO DO DOMICÍLIO DO ENTREVISTADO EM RELAÇÃO AO RISCO.....	327
FIGURA 6. 25 – PERCEPÇÃO SOBRE COMO OS DESLIZAMENTOS AFETARAM OS BAIROS INFORMADA PELOS ENTREVISTADOS.....	328
FIGURA 6. 26 – PERCEPÇÃO SOBRE COMO AS INUNDAÇÕES AFETARAM OS BAIROS INFORMADA PELOS ENTREVISTADOS.....	328
FIGURA 6. 27 – PERCEPÇÃO SOBRE A RESPONSABILIDADE SOBRE A OCORRÊNCIA DE DESLIZAMENTOS E INUNDAÇÕES QUE AFETARAM OS BAIROS INFORMADA PELOS ENTREVISTADOS.	329
FIGURA 6. 28 – PERCEPÇÃO SOBRE A CHANCE DE ACONTECER ATUALMENTE UM EVENTO RELACIONADO A DESLIZAMENTO DE TERRA OU ROCHA, INUNDAÇÃO E ALAGAMENTO DENTRO DOS BAIROS INFORMADA PELOS ENTREVISTADOS.....	329
FIGURA 6. 29 – DETALHAMENTO SOBRE O GRAU DE INFLUÊNCIA DE CONDICIONANTES DO MEIO FÍSICO E INDÍCIOS DE MOVIMENTAÇÃO DOS TERRENOS EM RELAÇÃO A SITUAÇÕES DE RISCO SOB A ÓTICA DOS MORADORES.	330
FIGURA 6. 30 – DETALHAMENTO EM PORCENTAGEM SOBRE O GRAU DE INFLUÊNCIA DE CONDICIONANTES DO MEIO FÍSICO E INDÍCIOS DE MOVIMENTAÇÃO DOS TERRENOS EM RELAÇÃO A SITUAÇÕES DE RISCO SOB A ÓTICA DOS MORADORES.	331
FIGURA 6. 31 – VERIFICAÇÃO DO CONHECIMENTO DOS MORADORES SOBRE LEIS QUE DEFINEM LOCAIS ONDE AS CONSTRUÇÕES SÃO PROIBIDAS.	332
FIGURA 6. 32 – VERIFICAÇÃO DO CONHECIMENTO DOS MORADORES EM RELAÇÃO A AÇÕES EXECUTADAS PELO PODER PÚBLICO PARA MINIMIZAÇÃO DE SITUAÇÕES DE RISCO.	332
FIGURA 6. 33 – VERIFICAÇÃO DA EXISTÊNCIA DE ALGUM TRABALHO POR PARTE DO PODER PÚBLICO RELACIONADO À DIVULGAÇÃO DE INFORMAÇÕES, TREINAMENTOS E/OU REUNIÕES SENDO REALIZADO COM MORADORES.....	332
FIGURA 6. 34 – PERCEPÇÃO DOS ENTREVISTADOS SOBRE A PREOCUPAÇÃO DAS FAMÍLIAS DE SEU BAIRRO EM RELAÇÃO AO RISCO.....	333
FIGURA 6. 35 – VERIFICAÇÃO SOBRE O CONHECIMENTO E FUNCIONAMENTO DE SISTEMAS DE ALERTA.....	333
FIGURA 6. 36 – VERIFICAÇÃO DA EXISTÊNCIA DE ALGUM SISTEMA DE ALERTA FORMAL OU INFORMAL EM OPERAÇÃO NO BAIRRO.	333

FIGURA 6. 37 – AVALIAÇÃO SE OS ENTREVISTADOS ACEITARIAM DEIXAR SEUS DOMICÍLIOS PREVENTIVAMENTE, NO CASO DE EMISSÃO DE ALGUM ALERTA SOBRE A POSSIBILIDADE DE OCORRÊNCIA DE UM DESASTRE NATURAL.....	334
FIGURA 6. 38 – AVALIAÇÃO SE OS ENTREVISTADOS POSSUEM ALGUM CONHECIMENTO SOBRE PLANO MUNICIPAL DE REDUÇÃO DE RISCO.....	334
FIGURA 6. 39 – AVALIAÇÃO SE OS ENTREVISTADOS CONHECEM O PLANO DIRETOR DO MUNICÍPIO DE MARIANA E SUAS DIRETRIZES.	334

ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 2. 1 – NÍVEIS DE CARTAS GEOTÉCNICAS NO PLANEJAMENTO URBANO – ESCALAS E PROCESSOS MAPEÁVEIS (SOBREIRA E SOUZA, 2012 - ADAPTADO). _____	32
QUADRO 2. 2 – CLASSIFICAÇÃO DOS GRUPOS, SUBGRUPOS, TIPO E SUBTIPOS DOS DESASTRES NATURAIS. _____	34
QUADRO 3. 1 – CLASSIFICAÇÃO DAS FORMAS DE RELEVO PARA A BHRC.....	107
QUADRO 3. 2 – CLASSIFICAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA DAS TERRAS PRESENTES NA ÁREA DA BHRC, E SUAS PRINCIPAIS LIMITAÇÕES E CARACTERÍSTICAS.....	120
QUADRO 3. 3 – ÁREA DE PROTEÇÃO PERMANENTE E UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DA BHRC.	133
QUADRO 3. 4 - ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS NO ENTORNO DA BHRC E DATAS DE INÍCIO E FIM DE COLETA DE DADOS.	148
QUADRO 3. 5 - RESULTADO DO CÁLCULO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO DA BHRC. ..	153
QUADRO 3. 6 - IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DOS 27 PONTOS DE AMOSTRAGEM DE ÁGUA AO LONGO DA BHRC.....	157
QUADRO 3. 7 - PESOS DE WI PARA O CÁLCULO DO IQA.....	164
QUADRO 3. 8 – VALORES E CLASSIFICAÇÃO POR CONCEITO DO IQA UTILIZANDO O ÍNDICE NSF E A PONDERAÇÃO CETESB.....	165
QUADRO 3. 9 - PADRÃO MICROBIOLÓGICO DE POTABILIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO.....	165
QUADRO 3. 10 – RESULTADOS DAS ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS REFERENTES ÀS COLETAS 1 – PERÍODO DE SECA E 2 – PERÍODO DE CHUVA DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA BHRC.....	166
QUADRO 3. 11 - PADRÃO DE POTABILIDADE PARA SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS QUE REPRESENTAM RISCO À SAÚDE - PORTARIA N.º 1469.	167
QUADRO 3. 12 - PADRÃO DE ACEITAÇÃO PARA CONSUMO HUMANO - PORTARIA N.º 1469.	167
QUADRO 3. 13 - RESULTADOS IQA DA 1ª CAMPANHA – PERÍODO SECO - PONDERAÇÃO ADOTADA PELO NSF.....	177
QUADRO 3. 14 - RESULTADOS IQA DA 2ª CAMPANHA – PERÍODO DE CHUVA - PONDERAÇÃO ADOTADA PELO NSF	178
QUADRO 3. 15 - RESULTADOS IQA DA 1ª CAMPANHA – PERÍODO SECO – PONDERAÇÃO ADOTADA PELA CETESB	179
QUADRO 3. 16 - RESULTADOS IQA DA 2ª CAMPANHA – PERÍODO DE CHUVA - PONDERAÇÃO ADOTADA PELA CETESB.....	180
QUADRO 4. 1 – ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS NA DETERMINAÇÃO DA PERDA DE SOLO	199

QUADRO 4. 2 – ÍNDICES DE ERODIBILIDADE ADOTADOS E RESPECTIVAS FONTES BIBLIOGRÁFICAS UTILIZADAS COMO REFERÊNCIA.....	202
QUADRO 4. 3 – CLASSES DE SOLO E ÍNDICES DE ERODIBILIDADE ADOTADOS NA BHRC.	203
QUADRO 4. 4 – CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS QUANTO AO POTENCIAL NATURAL DE EROSÃO.	206
QUADRO 4. 5 – CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS QUANTO AO POTENCIAL NATURAL DE EROSÃO AO LONGO DA BACIA DO RIBEIRÃO DO CARMO E PRINCIPAIS BACIAS INTERIORES..	206
QUADRO 4. 6 - FATORES C E P NO CÁLCULO DA PERDA DE SOLO.....	207
QUADRO 4. 7 – ÍNDICES ADOTADOS PARA O FATOR USO E MANEJO NA BHRC.....	207
QUADRO 4. 8 - CLASSIFICAÇÃO ADOTADA PARA O FATOR P – PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS NA BHRC.....	208
QUADRO 4. 9 - CLASSIFICAÇÃO ADOTADA PARA A PERDA DE SOLO NA BHRC	208
QUADRO 4. 10 – CLASSES DE PERDA DE SOLO AO LONGO DA BACIA DO RIBEIRÃO DO CARMO SEGUNDO A EUPS.	209
QUADRO 4. 11 – TEMAS UTILIZAÇÃO NA GERAÇÃO DO MODELO DE SUSCETIBILIDADE E RESPECTIVOS PESOS.....	216
QUADRO 4. 12 – MATRIZ DE COMPARAÇÃO PAREADA.	216
QUADRO 5. 1 – DESCRIÇÃO DA CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DAS UNIDADES DE TERRENO.....	284
QUADRO 5. 2 - DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS GEODINÂMICOS COM SUSCETIBILIDADE DE OCORRÊNCIA NAS UNIDADES DE TERRENO.....	285
QUADRO 5. 3 – DESCRIÇÃO DAS DIRETRIZES E INDICAÇÕES DE USO PARA AS UNIDADES DE TERRENO IDENTIFICADAS.	286
QUADRO 6. 1 - FATORES CONDICIONANTES QUE DEVEM SER OBSERVADOS DURANTE A ATIVIDADE DE CAMPO / MAPEAMENTO.....	296
QUADRO 6. 2 - GRAU DE PROBABILIDADE PARA CLASSIFICAÇÃO DO PERIGO, ADAPTADO DE BRASIL, (2007).	301
QUADRO 6. 3 – ÍNDICES DE INTENSIDADE DO DANO POR PROCESSO GEODINÂMICO.....	305
QUADRO 6. 4 – QUANTIFICAÇÃO DO RISCO DOS SETORES DE PERIGO S1, S3, S41, S49, S50 E S51) IDENTIFICADOS NO MUNICÍPIO DE MARIANA – MG.	308
QUADRO 6. 5 – RELAÇÃO DAS ÁREAS DE AMOSTRAGEM DELIMITADAS PARA O ESTUDO DA PERCEPÇÃO DO RISCO.	321
QUADRO 6. 6 – AMOSTRAGEM CALCULADA PARA AS ÁREAS ENVOLVENDO O PROCESSO GEODINÂMICO INUNDAÇÃO.	322
QUADRO 6. 7 – AMOSTRAGEM CALCULADA PARA AS ÁREAS ENVOLVENDO O PROCESSO GEODINÂMICO MOVIMENTOS DE MASSA.	322
QUADRO 6. 8 – CONTINGÊNCIA E TESTE QUI-QUADRADO PARA A VARIÁVEL “SITUAÇÃO DA RESIDÊNCIA COM RELAÇÃO AO RISCO”	341

QUADRO 6. 9 – CONTINGÊNCIA E TESTE QUI-QUADRADO PARA A VARIÁVEL “CONHECIMENTO SOBRE RISCOS GEOLÓGICO E HIDROLÓGICO”.....	342
QUADRO 6. 10 – CONTINGÊNCIA E TESTE QUI-QUADRADO PARA A VARIÁVEL “MOBILIZAÇÃO DOS MORADORES PARA A PREVENÇÃO DE PROBLEMAS DE RISCO”.....	343
QUADRO 6. 11 – CONTINGÊNCIA E TESTE QUI-QUADRADO PARA A VARIÁVEL “CHANCE DE ACONTECIMENTO DE DESLIZAMENTOS / INUNDAÇÕES SEGUNDO A PERCEPÇÃO DOS ENTREVISTADOS”.....	344

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 3. 1 - PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS ANUAIS DE 1 DIA (MM) MEDIDAS NA ESTAÇÃO FAZENDA PARAÍSO ENTRE OS ANOS 1941 E 2013. _____	149
TABELA 3. 2 - PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS ANUAIS DE 1 DIA ASSOCIADAS A DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO PARA A ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA FAZENDA PARAÍSO. __	150
TABELA 3. 3 - PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS (EM MM), PARA A ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA FAZENDA PARAÍSO, ASSOCIADAS A DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO E DURAÇÕES. _____	150
TABELA 3. 4 – PARÂMETROS OBTIDOS NA 1ª CAMPANHA – PERÍODO SECO. _____	172
TABELA 3. 5 – PARÂMETROS OBTIDOS NA 2ª CAMPANHA – PERÍODO DE CHUVA. _____	173

LISTA DE SÍMBOLOS

AHP - *Analytic Hierarchy Process*

ANA - Agência Nacional de Águas

APP – Área de Proteção Permanente

ASTER - *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*

BHRC - Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Carmo

CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CPRM/SGB - Companhia de Pesquisas em Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais

CENAD - Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres

CEPAL - Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe

CEPED – Centro Universitário de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CODECIR – Coordenadoria de Defesa Civil do Recife

CODEMIG - Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais

COMDEC - Coordenadoria Municipal de Defesa Civil

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPAM - Comissão de Política Ambiental

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DGPS - Sistema de Posicionamento Global Diferencial

DOT - Diretoria de Ordenação Territorial

DRM - Departamento de Recursos Minerais

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDW - *Inverse Distance Weighted*

EESC-USP - Escola de Engenharia de São Carlos

EIRD - Estratégia Internacional para a Redução de Desastres

EM - Eletromagnético

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EUUPS - Equação Universal de Perda do Solo

Feam – Fundação Estadual do Meio Ambiente

FTU - *Formazin Turbidity Units*

GEORIO - Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

GPS - Sistema de Posicionamento Global

HAND - *Height Above Nearest Drainage*

IAEG - *International Association of Engineering Geology*

ICR - Índice de Concentração da Rugosidade

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

IQA - Índice de Qualidade das Águas Superficiais

ISSMGE - *International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*

ISRM - *International Society of Rock Mechanics*

JTC-1 - *Technical Committee on Landslide and Engineered slopes*

LANDSAT - *Land Remote Sensing Satellite*

MDEHC - Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente

MCID - Ministério das Cidades

MCT – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

MME – Ministério de Minas e Energia

NMP - Número mais provável

NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*

NSF - *National Sanitation Foundation*

NVDI - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

ODA - *Official Development Assistance*

ONU - Organização das Nações Unidas

OD - Oxigênio Dissolvido

PAC - Programa de Aceleração do Crescimento

PCH – Pequenas Centrais Elétricas

PDAP - Plano Diretor de Águas Pluviais/Fluviais

PDM - Plano Diretor municipal

Ph - Potencial Hidrogeniônico

PMRR - Plano Municipal de Redução de Risco Geológico

PMOP – Prefeitura Municipal de Ouro Preto

PNE – Potencial Natural de Erosão

PNPDEC - Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
PNRRD - Plataformas Nacionais para Redução de Riscos de Desastres
PNOT - Política Nacional de Ordenamento Territorial
PNRH - Plano Nacional de Recursos Hídricos
PPA - Plano Plurianual
PPDC - Plano Preventivo de Defesa Civil
P.U.C.E. - *Patterns, Units, Components and Evaluation*
QF - Quadrilátero Ferrífero
RNA - Redes neurais artificiais
SAE - Secretaria de Assuntos Estratégicos
SBDG - Sistema de Banco de Dados Gerreferenciado
SEDEC - Secretaria Nacional de Defesa Civil
SEDURB - Secretaria de Saneamento, Habitação e Desenvolvimento Urbano
SGIGS - Sistemas gerenciadores de informações geoambientais
SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática
SIG - Sistemas Geográficos de Informação
SINDEC - Sistema Nacional de Defesa Civil
SPT - *Standard Penetration Test*
SRH - Secretaria de Recursos Hídricos
SUCS - Sistema Unificado de Classificação de Solos
SWIR - *Shortwave Infrared*
TIN - *Triangulated Irregular Network*
TIR - Thermal Infrared
UNT - Unidade Nefelométrica de Turbidez
UT - Unidade de Turbidez
UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto
UFPE – Universidade Federal de Pernambuco
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
UM - Unidades morfológicas
UMIP - Unidade Morfodinâmica de Interesse do Projeto
UnB – Universidade de Brasília
UNDRO - *United Nations Disasters Relief Office*

UNESP - Universidade Estadual Paulista

UTM - Projeção Universal Transversa de Mercator

Vant – Veículo aéreo não tripulado

VNIR - *Visible and Near Infrared*

ZAC - Zonas afetadas por cheias

ZEE -. Zoneamento ecológico-econômico

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O acelerado aumento da população mundial tem levado o planeta a uma degradação ambiental de grandes proporções, em vários contextos e diversas escalas. Na medida em que isto ocorre, a sociedade se torna cada vez mais complexa, aumentando a demanda por recursos energéticos e minerais para suprir suas necessidades de consumo, bem como aprimorando sua tecnologia para a produção de alimentos em larga escala. Se por um lado tem-se uma tecnologia capaz de produzir muito, de forma eficiente e automatizada, por outro, tem-se a ineficiência desta tecnologia em atender a toda população, de maneira a propiciar um desenvolvimento sustentável. Como consequência, além de possíveis incrementos nas alterações climáticas que isto acarreta ao planeta, este fenômeno está intrinsecamente ligado ao aumento da exclusão social e à degradação dos recursos naturais renováveis.

Enquanto atualmente o percentual da população mundial urbana seja de cerca de 50%, com crescimento de aproximadamente 750 milhões em 1950 para 3,6 bilhões de habitantes em 2011, a população urbana brasileira cresceu, em um período de 60 anos, (entre 1950 e 2010), de 51 milhões para mais de 190 milhões de habitantes. No ano de 1950, 36,2% da população brasileira vivia nas cidades, enquanto o censo de 1980 mostrou que este universo passou para 67,6%, e o censo de 2010 (IBGE, 2010) mostrou que 84,4% da população brasileira já se encontrava instalada nas cidades, confirmando as preocupantes tendências de concentração urbana no país.

O acelerado processo de adensamento populacional e a necessidade de expansão das áreas urbanas têm ocorrido na maioria das cidades brasileiras, que vem sofrendo as consequências da deterioração do meio ambiente em função de atividades específicas e inadequadas nelas desenvolvidas. Não obstante aos problemas urbanos, tem-se que somar a crise fiscal dos municípios, destacando-se as assimetrias institucionais, a ilusão financeira, a burocracia, os direitos à propriedade e as interações político-econômicas, agravando o cenário, bem como a incapacidade técnica das municipalidades em atender a demanda de serviços e recursos.

Concomitantemente ao crescimento populacional, a recorrência de desastres naturais registrados em quase todo o planeta tem despertado, desde o final da década de 1980, a consciência da necessidade de se buscar soluções compartilhadas, o que levou a Organização das Nações Unidas (ONU) a instituir a década de 90 como a Década Internacional para a Redução dos Desastres Naturais (resolução 46/182, de 22 de dezembro de 1989). Com a recorrência de grandes desastres naturais no planeta associado a um número inaceitável de vítimas, além do grande impacto nas economias locais, a ONU tem se dedicado pela continuidade do esforço internacional sob a denominação de Estratégia Internacional para a Redução de Desastres (EIRD), reestruturada e redirecionada para aprofundar questões relacionadas a maiores níveis de segurança na convivência com os riscos, visto que a década de 90 foi fortemente marcada pelas análises dos processos destrutivos e de tecnologias para a avaliação, compreensão e minimização das suscetibilidades.

Uma das atividades desenvolvidas neste período foi a campanha de conscientização pública sobre cidades em risco (ODA, 1996), em complementação à Conferência Mundial sobre Assentamentos Humanos - HABITAT II, realizada em Istambul em 1996. Já em maio de 1994 foi realizada uma Conferência Mundial em Yokohama (Japão), onde foi aprovado o documento “Estratégia de Yokohama para um Mundo mais Seguro: Diretrizes para Prevenção, Resposta e Mitigação de Desastres Naturais”, contendo um Plano de Ação 1994-2004. Uma segunda Conferência Mundial para a Redução de Desastres foi realizada em janeiro de 2005, em Kobe (Japão), logo após a grande catástrofe ocorrida na Ásia, que levou a comunidade científica, técnica e política a construir um conjunto de diretrizes que compõem o “Marco de Ação de Hyogo para o decênio 2005-2015: “construindo a resiliência das nações e das comunidades aos desastres”, com o propósito de estimular a criação de Plataformas Nacionais para Redução de Riscos de Desastres (PNRRD). A terceira Conferência Mundial foi realizada em 2011, em Genebra, na Suíça, bem como o Fórum das Américas sobre Leis e Normas para Redução de Desastres, no Panamá, no qual uma das avaliações foi que a produção e difusão de conhecimentos associado ao comprometimento político e institucional nos países mais vulneráveis, tem trazido resultados concretos, embora ainda descontínuos e insuficientes.

No que concerne ao cenário brasileiro, de acordo com o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (BRASIL, 2011), foram registrados no Brasil 31.909 desastres naturais no período 1991-2010, relacionados com as secas, inundações bruscas e graduais, vendavais, granizo, movimentos de massa, incêndios florestais, geadas, tornados e erosões linear, marinha e fluvial. Este levantamento foi baseado nos documentos da Secretaria Nacional de Defesa Civil - SEDEC, nas defesas civis estaduais e do Distrito Federal, sendo certo que os registros devem estar subnotificados.

A comunidade técnico-científica nacional, nas duas últimas décadas, tem se mobilizado em torno destas questões e discussões, com a realização de eventos tratando a temática do ordenamento territorial, planejamento urbano, riscos e suscetibilidades em simpósios e congressos nacionais nas áreas de Geologia, Geologia de Engenharia e Engenharia Geotécnica, além de eventos específicos, de caráter local e regional. Os recorrentes desastres relacionados a processos geológicos e hidrológicos no Brasil, que provocaram e têm provocado grande número de vítimas no país, levaram à formação de inúmeros grupos de pesquisa, tendo como pioneiro o IPT/DIGEO (São Paulo), produzindo e irradiando conhecimentos técnicos de avaliação e gestão de risco, seguido por grupos no Rio de Janeiro (GeoRio), Recife (UFPE), Florianópolis (UFSC e CEPED-SC), Rio Claro (UNESP), São Carlos (EESC-USP), Brasília (UnB), Ouro Preto (UFOP), entre outros.

Cabe ressaltar como marco em relação à política pública brasileira, após décadas de crescimento desordenado e o aumento significativo de ocorrências de desastres naturais, a regulamentação da Lei Federal n.º 10.257, de 10 de julho de 2001, denominada Estatuto da Cidade, que estabelece normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental. BRASIL (2001) em seu Art. 2º destaca que política urbana tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, onde pode-se elencar como principais diretrizes:

I – garantia do direito a cidades sustentáveis, entendido como o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infraestrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer, para as presentes e futuras gerações;

IV – planejamento do desenvolvimento das cidades, da distribuição espacial da população e das atividades econômicas do Município e do território sob sua área de influência, de modo a evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente;

XII – proteção, preservação e recuperação do meio ambiente natural e construído, do patrimônio cultural, histórico, artístico, paisagístico e arqueológico;

XIV – regularização fundiária e urbanização de áreas ocupadas por população de baixa renda mediante o estabelecimento de normas especiais de urbanização, uso e ocupação do solo e edificação, consideradas a situação socioeconômica da população e as normas ambientais;

Após a regulamentação do Estatuto das Cidades, destaca-se no ano de 2003 a criação do Ministério das Cidades (MCID) e da Coordenação de Prevenção de Riscos vinculada à Secretaria Nacional de Programas Urbanos. A partir de então, a análise de risco deixou de ser exclusividade dos projetos acadêmicos ou de iniciativas individuais de algumas poucas cidades no Brasil, passando a se constituir como um embrião de uma política pública, pouco respaldada politicamente, mas capaz de desenvolver e implementar uma ação orçamentária denominada “Apoio à Prevenção de Riscos em Assentamentos Precários”.

Já em 2012 abriu-se uma nova janela de oportunidades para a consolidação de uma gestão adequada do meio físico, de riscos e desastres no país, destacando-se a formulação do Plano Plurianual (PPA) 2012-2015, a nova política estabelecida pela Lei 12.340/10, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil - SINDEC, e os recursos alocados para intervenções estruturadoras através do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC). Para o PPA 2012 – 2015, entre os Programas Temáticos e de Gestão, ressalta-se o programa voltado ao planejamento urbano, cujas metas estão relacionadas à instituição de conjuntos de instrumentos de gestão do solo urbano e de gestão ambiental em municípios com maiores carências urbanas e altos índices de crescimento demográfico; à instituição de Planos Diretores nos municípios com obrigatoriedade legal para sua elaboração e de Planos de Expansão Urbana para aqueles que tenham essa previsão em seus Planos Diretores, e a instituição de Planos de Desenvolvimento Integrado em regiões metropolitanas e aglomerações urbanas com

gestão consorciada. Já para os programas associados à gestão de riscos e respostas a desastres estabeleceu-se como principais metas a ampliação do conhecimento público sobre as áreas de risco nos municípios mais críticos, por meio do mapeamento da suscetibilidade geológica-geotécnica aos fenômenos de deslizamentos, inundações e enxurradas; do mapeamento de riscos nas áreas ocupadas; da definição de diretrizes para a ocupação urbana segura; e do monitoramento para reduzir a ocupação de áreas de maior fragilidade natural.

Outro fator preponderante em relação aos objetivos deste trabalho foi a decretação da Lei 12.608, de 10 de abril de 2012, que instituiu a Política, o Sistema e o Conselho Nacionais de Proteção e Defesa Civil e autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres, tratando destes de forma ampla e organizada, abrangendo a identificação e análise de riscos, as medidas estruturais e não-estruturais para mitigação e/ou solução de problemas, os sistemas de contingência, a capacitação e treinamento dos agentes de proteção e defesa civil e a obrigação da informação pública. A Lei determina a atuação articulada entre União, Estados e Municípios; a abordagem sistêmica; a prioridade às ações preventivas; a adoção da bacia hidrográfica como unidade de análise; o planejamento com base em pesquisas e estudos e a participação da sociedade civil, que os Estados e Municípios deverão identificar e mapear áreas de risco e realizar estudos de identificação de ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades.

Calderón e Segura (1996); Bonduki (1998, apud Carriço, 2002) destacam que, no fenômeno de urbanização, a intervenção antrópica é quase sempre geradora de problemas imediatos ou de médio prazo, seja pela inadequação ou não aptidão geotécnica das áreas ocupadas para o uso urbano, seja pela ocupação de áreas de menor valor imobiliário, e/ou pela instalação de bairros e assentamentos em áreas de proteção ambiental.

Para se pensar em gestão integrada e no desenvolvimento dos municípios, dos Estados e do País, o planejamento das ações de recuperação e melhoria dos ambientes urbanos e rurais, bem como a demanda habitacional terão que necessariamente considerar os riscos ambientais como um dos elementos indispensáveis de análise e intervenção. Assim, os diagnósticos geoambientais e as cartas geotécnicas ganham cada dia mais importância, desde que executados em escalas adequadas, devendo ser incorporados aos

diversos instrumentos de planejamento que envolvam o meio físico.

As cidades precisam incorporar os diagnósticos do meio físico transversalmente à gestão pública, com a adoção de medidas preventivas anteriormente à deflagração de processos geológicos e hidrológicos, a partir da previsão de condições potencialmente favoráveis à sua ocorrência, e para isso tem que haver uma forte coordenação de governo, ações intersecretariais e parcerias com a sociedade.

1.2 PREMISSAS

Os municípios de Ouro Preto e Mariana estão localizados na porção central do estado de Minas Gerais, a cerca de 90 km da capital Belo Horizonte, conhecidos mundialmente como patrimônio histórico da humanidade e patrimônio histórico nacional. Surgiram e cresceram a partir da descoberta do ouro no século XVII, estando entre os primeiros locais a serem colonizados no interior do sudeste brasileiro, e que desde então vêm sofrendo intervenções humanas. As áreas urbanas destes municípios estão situadas na bacia hidrográfica do Ribeirão do Carmo (BHRC), um dos mais importantes tributários do alto Rio Doce. A extração do ouro nos aluviões, os trabalhos em minas subterrâneas e as atividades de mineração a céu aberto acarretaram intensas alterações na morfologia dos terrenos nesta região durante os séculos XVII e XVIII. Além disso, o crescimento desordenado nas últimas décadas, principalmente nas áreas urbanas, a escassez de áreas mais adequadas para a urbanização e a falta de planejamento da ocupação do meio físico são também fatores que contribuíram para o atual estágio de degradação ambiental, com reflexos e consequências diretas de um crescimento desordenado, e problemas frequentes de ordem geológica, geotécnica e ambiental.

Apesar do grande acervo de dados existentes sobre a região, principalmente em relação à área urbana de Ouro Preto, os trabalhos se referem a fragmentos do território da bacia hidrográfica e estão, em sua maioria, restritos à comunidade acadêmica, e/ou dispersos em várias instituições, fato que dificulta sua correlação ou integração e, conseqüentemente, sua utilização. Entre os trabalhos técnico-científicos abordando o meio físico realizados na região de Ouro Preto e adjacências pode-se destacar, com um enfoque mais local Carvalho (1982); Sobreira (1991); Souza (1996); Fonseca e Sobreira

(1997); Gomes *et al.* (1998); Bonucelli (1999); Fonseca *et al.* (2001); Sobreira e Fonseca (2001); Pinheiro (2003); Fernandes *et al.* (2003); Castro (2006) e outros, com abordagem mais ampla, destacando-se entre eles Tecnosolo (1979); Sobreira (1990); Sobreira *et al.* (1990); IGA (1995a); IGA (1995b); Santos *et al.* (1996). A área urbana de Mariana também foi alvo de alguns trabalhos com abordagem geoambiental ressaltando os trabalhos de Sobreira (2000, 2001 e 2002) e Souza (2004).

Embora tenham sido realizados muitos estudos com vários enfoques na região, não há ainda um diagnóstico mais detalhado, com uma abordagem temporal e espacial atualizada dos diversos fenômenos geoambientais e as relações entre eles, que representem a realidade geotécnica e geoambiental da região compreendida pela bacia do Ribeirão do Carmo e, principalmente, a correlação deste transversalmente ao planejamento urbano e rural dos municípios que a integram. Faz-se necessário, além da integração dos produtos já existentes, que se complemente e desenvolva outros estudos em abordagens ainda não realizadas e em escalas que sejam adequadas aos objetivos que lhes competem. Com isso, os diagnósticos geotécnicos e geoambientais devem ser desenvolvidos para subsidiar modelos de gestão ambiental. Estes, por sua vez, podem ser executados para servirem de apoio a outros instrumentos relacionados ao ordenamento territorial, planejamento urbano e gestão de risco geológico e hidrológico, entre outros.

Não se pode ignorar, ainda, que os constantes avanços da tecnologia da geoinformação têm levado a um aumento substancial de dados de caráter ambiental. Da mesma forma, o progresso da pesquisa ambiental pode advir de investigações que sejam contempladas com o uso de modelos digitais do ambiente, a serem trabalhados por geoprocessamento (Xavier-da-Silva, 2001). Os Sistemas Geográficos de Informação (SIG) propiciam a visão da situação ambiental como um todo, ou seja, uma visão holística operacionalizada. Com isso, torna-se possível identificar relações de contingência, conexão, proximidade e funcionalidade entre os fenômenos ambientais atuantes ou pretéritos. Dessa forma, o geoprocessamento constitui-se na alternativa mais adequada para a integração de todos os levantamentos de caráter geoambiental disponíveis da bacia do Ribeirão do Carmo, bem como os que venham a ser adquiridos no futuro, em uma mesma base georeferenciada, que possibilite análises sob várias abordagens, de

forma a subsidiar um sistema que dê suporte à gestão territorial da BHRC.

Sob esta ótica, o estudo proposto ganha importância, na medida em que pouco foi feito no sentido de cartografar o meio físico nas escalas adequadas ao ordenamento territorial e planejamento urbano, para tomada de decisões, considerando-se, além dos dados básicos do meio físico e de restrições legais, a suscetibilidade à deflagração de processos geodinâmicos, a aptidão dos terrenos à urbanização e a setorização do risco geológico-geotécnico, informações preponderantes para se avaliar o grau de degradação geoambiental natural, e em decorrência das atividades antrópicas ao longo da bacia do Ribeirão do Carmo e das sedes municipais que a ocupam.

Nesse sentido, a proposição de uma cartografia geotécnica e geoambiental tornou-se necessária para uma análise ambiental integrada, visando não apenas um diagnóstico mais detalhado da BHRC. Esta linha é abordada por Cendrero (1982) e Francés *et al.* (1990a, 1990b), que descrevem que a cartografia geoambiental deve contemplar uma série de requisitos, tais como: precisão nos aspectos conceituais e cartográficos, incorporação das demandas ou atividades potenciais de uso da região e o destaque para os aspectos do meio físico que exercem uma influência maior no aproveitamento dos recursos e facilidades operacionais perceptíveis pela sociedade. Esta abordagem é caracterizada por uma série de mapas analíticos, com informações de caráter temático e por mapas de síntese, contendo diferentes unidades integradas de caráter morfodinâmico, a partir de análises integradas e complexas de dados de diversas fontes e escalas, suportados por um banco de dados georeferenciados. Isto permite, dentro do processo de gestão do meio físico, que se tenha uma maior agilidade na tomada de decisões sobre problemas ambientais, que no caso em questão envolve aspectos urbanos, rurais e sociais, avaliados em um determinado intervalo de tempo, com a possibilidade, inclusive, da construção de cenários futuros frente os impactos diagnosticados nas análises temporais executadas.

Como a grande maioria dos municípios brasileiros, Ouro Preto e Mariana sofrem atualmente as consequências da falta de planejamento urbano, no tocante ao uso e ocupação do solo, e/ou com a falta de capacidade técnica e administrativa de usar os instrumentos existentes para esta finalidade.

No município de Ouro Preto, MG, o Plano Diretor municipal (PDM) deixou de observar

e recomendar diretrizes claras e embasadas no conhecimento técnico do meio físico. Mesmo assim, foi implementado pela Lei Complementar nº 29, de 28 de dezembro de 2006 (PDM), fixando diretrizes, estratégias e instrumentos para o seu pleno desenvolvimento, em conformidade com a Lei 10.257/2001 (Estatuto das Cidades), visando propiciar a atualização dos instrumentos de ordenamento urbano e territorial.

Já no município de Mariana, MG, o Plano Diretor foi implementado pela Lei Complementar 016, de 02 de janeiro de 2004 e, embora tenha-se observado e recomendado diretrizes claras e embasadas no conhecimento técnico do meio físico, estas não foram implementadas e respeitadas, dando continuidade a um crescimento desordenado com conivência do poder público.

Além das questões já consideradas anteriormente em relação aos municípios de Mariana e Ouro Preto, para a bacia do Ribeirão do Carmo, algumas questões tornam-se pertinentes para o desenvolvimento desta pesquisa, destacando-se entre outros:

- ⇒ Quais os processos geodinâmicos mais relevantes que podem ser deflagrados ao longo da BHRC?
- ⇒ Como se encontram as áreas degradadas pela mineração ao longo do tempo e que tipo de impacto elas acarretam ao meio físico?
- ⇒ Qual a relação destas áreas com o uso e ocupação do solo e com os mananciais hídricos?
- ⇒ Qual a relação espacial de crescimento das áreas urbanas, com os recursos hídricos e com o uso do solo?
- ⇒ Como é possível executar a delimitação espacial das áreas de proteção permanentes ao longo de toda a BHRC?
- ⇒ Como é possível identificar em áreas urbanas como as de Mariana e Ouro Preto quais os setores com maior ocorrência de deflagração de processos geodinâmicos associados à intervenção antrópica e seus principais condicionantes?
- ⇒ Quais as áreas que apresentam potencial para uma determinada finalidade e que poderiam ser ocupadas de maneira sustentável, considerando a cartografia das suscetibilidades naturais a processos geodinâmicos?

Foram adotadas as premissas a seguir para a formulação da hipótese, dos objetivos e dos métodos de trabalho.

- A responsabilidade pela segurança dos municípios e a gestão do meio ambiente urbano e rural são tarefas da administração pública, o que implica necessariamente em ordenar o território, na existência de alternativas para a expansão urbana, no gerenciamento dos riscos ambientais como constituintes essenciais da gestão ambiental.

- Com o pressuposto de definir uma metodologia que subsidie a proposição do uso sustentável da bacia do Ribeirão do Carmo e, principalmente, que ela possa ser reproduzida em outros estudos, de outras bacias hidrográficas, este trabalho está embasado nas diretrizes apontadas pelo Plano Nacional de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente e na Lei 12.608, de 10 de abril de 2012, que instituiu a Política, o Sistema e o Conselho Nacionais de Proteção e Defesa Civil.

- Nas últimas décadas o número de acidentes naturais vem crescendo, dentre eles os acidentes de origem geológica e hidrológica.

- Os municípios de Ouro Preto e Mariana possuem inúmeras áreas degradadas pela mineração ao longo do tempo, que acarretaram impacto no meio físico.

- Embora o conhecimento técnico ressalte a complexidade geológica e geotécnica do meio físico da bacia do Ribeirão do Carmo, ainda não há nenhum estudo que represente cartograficamente as suscetibilidades a processos geológicos e hidrológicos em escalas adequadas ao ordenamento territorial e ao planejamento urbano.

- A análise temporal das realidades socioambiental e econômico-administrativa dos municípios de Ouro Preto e Mariana apontam a continuidade da ocupação de áreas inadequadas e produção de novas áreas de risco.

- Riscos de movimentos gravitacionais de massa (solo, rochas) constituem hoje um problema significativo nas cidades de Ouro Preto e Mariana, gerando frequentemente impacto sobre a integridade física, os bens comuns (ar, água, solo e paisagem), infraestrutura urbana e/ou áreas privadas, sobre a economia (turismo) e, conseqüentemente a qualidade de vida.

- Os riscos hoje instalados são resultados de processos naturais ou socialmente produzidos, passíveis de serem identificados, analisados e, em sua maior parte,

previsíveis. Entretanto, as áreas urbanas destes municípios ainda não foram cartografadas com metodologias e escalas adequadas à realidade local e o gerenciamento do risco ainda não é transversal à gestão pública.

1.3 HIPÓTESE

Admite-se como hipótese de trabalho que, empregando elementos das políticas públicas específicas promovidas pelos municípios brasileiros nas últimas duas décadas e da bibliografia técnico-científica produzida sobre ordenamento territorial, cartografia geotécnica de suscetibilidade, aptidão à urbanização e risco, seja possível propor metodologias via detalhamento progressivo que deem suporte a modelos de gestão do meio físico envolvendo uma bacia hidrográfica e seus municípios constituintes, principalmente em relação à suscetibilidade, aptidão e riscos a processos geológicos e hidrológicos, que atendam a distintas realidades ambientais, socioeconômicas, técnicas e urbanas.

1.4 OBJETIVOS E METAS

O objetivo desta tese é propor diretrizes e modelos para elaboração de diagnóstico do meio físico, e aplicá-los na BHRC, na escala de semi-detalle, a partir da criação de novas metodologias de análise, aplicação de métodos já consagrados, complementado por meio de análises progressivas em relação à cartografia das suscetibilidades, aptidão à urbanização e riscos geológicos e hidrológicos, nas escalas de detalhe e de cadastro, adequadas à bacia do Ribeirão do Carmo, mas que possam ser aplicáveis, também, às diferentes realidades ambientais, socioeconômicas, administrativas e urbanas dos municípios brasileiros.

Para tanto, fez-se necessário, inicialmente, executar uma cartografia geoambiental nas escalas 1:50.000 e 1:25.000, como suporte à obtenção de um diagnóstico ambiental, frente às degradações ambientais decorrentes das atividades antrópicas pretéritas e atuais de toda a bacia hidrográfica do Ribeirão do Carmo. Estas informações não se encontravam disponíveis nestas escalas e por isso todas as análises e produtos

cartográficos foram produzidos nesta pesquisa. A partir das análises geoambientais com recobrimento de toda BHRC, o passo seguinte foi a proposição e aplicação de metodologias para cartografia geotécnica das suscetibilidades a processos geológicos e hidrológicos na BHRC, cartografia geotécnica de aptidão à urbanização em parte da área da sede do município de Ouro Preto, cartografia geotécnica de risco da sede do município de Mariana, complementado pela proposição de uma metodologia para análise de percepção de risco neste mesmo município por meio de entrevistas individuais. Com isso, pretende-se oferecer subsídios para a elaboração de um modelo, que a partir do método do detalhamento progressivo, contribua em um futuro próximo para a construção de um programa de gestão ambiental em nível intermunicipal, no que diz respeito ao uso e ocupação do solo e suas relações com a suscetibilidade, aptidão e risco à deflagração de processos geológicos e hidrológicos.

Dessa forma, os seguintes objetivos específicos foram propostos:

- ⇒ Elaboração de um inventário das informações cartográficas e geoambientais da área da BHRC;
- ⇒ Avaliação e cadastro dos estudos geotécnicos que envolveram a caracterização geotécnica dos materiais ao longo da BHRC;
- ⇒ Caracterização das unidades litoestruturais para a área da BHRC;
- ⇒ Caracterização e análise dos atributos morfométricos como medida indireta da variabilidade espacial dos processos hidrológicos para a área da BHRC;
- ⇒ Avaliação da qualidade das águas superficiais (IQA), a partir de análises físico-químicas e bacteriológicas em 27 pontos distribuídos ao longo da BHRC.
- ⇒ Proposta de metodologia para análise geomorfológica e elaboração do mapa de unidades morfológicas territoriais;
- ⇒ Proposta de metodologia para análise pedológica e elaboração do mapa de unidades pedológicas da BHRC;
- ⇒ Caracterização dos processos geodinâmicos pretéritos da BHRC;
- ⇒ Análise temporal e elaboração dos mapas de uso e ocupação do solo;

- ⇒ Levantamento, análise e armazenamento de dados hidrológicos da BHRC;
- ⇒ Avaliação dos efeitos negativos decorrentes da erosão e degradação do solo decorrentes das atividades de mineração pretéritas, das atividades de agropecuária no interior da bacia e da ocupação urbana desordenada;
- ⇒ Avaliação da intensidade da ação do homem no que tange a aceleração da erosão natural dos interflúvios, aumentando, assim, as agressões às calhas dos rios e ampliando os depósitos e a instabilidade dos leitos fluviais;
- ⇒ Elaboração de uma carta geotécnica de suscetibilidade a deslizamentos, queda de blocos, corridas, enxurradas e inundações da BHRC na escala 1:25.000;
- ⇒ Elaboração de uma carta geotécnica de aptidão à urbanização para um trecho da bacia hidrográfica nas imediações da sede do município de Ouro Preto na escala 1:10.000;
- ⇒ Elaboração de uma carta geotécnica de risco geológico para a sede da área urbana de Mariana – MG na escala 1:2.000;
- ⇒ Avaliação da percepção do risco com proposta metodológica aplicada na sede do município de Mariana para esta finalidade;
- ⇒ Agregação e integração das informações sobre o meio físico, compiladas e produzidas, num único documento para a produção de uma base de dados cartográficos georeferenciados, que possibilitarão a elaboração de um sistema de informações amplo, cuja análise permita o diagnóstico e o zoneamento ambiental da região.
- ⇒ Proposta de técnicas que deem suporte a um modelo de gestão do meio físico que incorpore no planejamento municipal, via legislação, o detalhamento progressivo e suas escalas correspondentes para a elaboração de cartografia geoambiental e geotécnica para todo o território da BHRC.

Nesse sentido, a Figura 1.1 retrata a proposta de análise deste estudo, os produtos gerados e suas respectivas correlações, com o intuito de aplicar progressivamente tanto metodologias consagradas, quanto propor metodologias de análise para temáticas ainda não abordadas, que possam ser replicadas em outros municípios, bacias hidrográficas, áreas urbanas, áreas de expansão urbana etc.

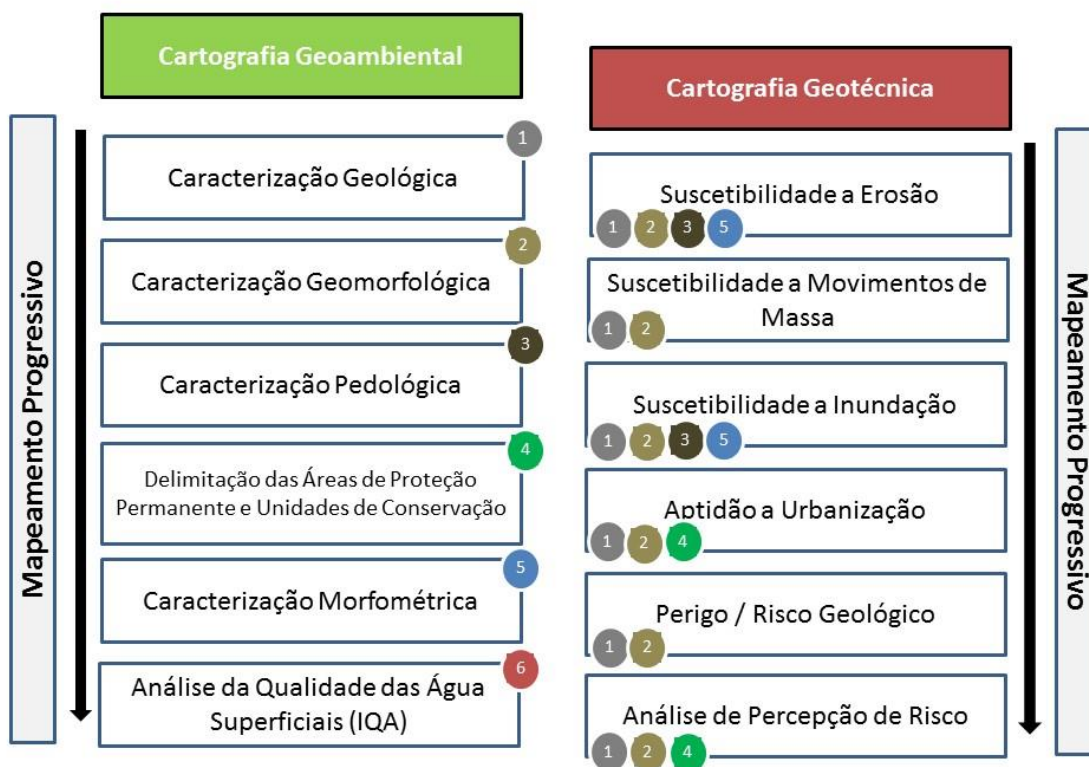


Figura 1. 1 - Fluxograma de análise do meio físico da BHRC, a partir da metodologia proposta de mapeamento progressivo, com correlação conforme numeração, entre os temas abordados na cartografia geoambiental e as análises realizadas para a cartografia geotécnica.

1.5 ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Ribeirão do Carmo abrange as sedes dos municípios de Ouro Preto - MG e Mariana - MG, localizados na região Central de Minas Gerais, Zona Metalúrgica/Campo das Vertentes, integrando com outros 22 municípios a microrregião 187 – Espinhaço Meridional. Geograficamente os municípios estão situados entre os meridianos 43°05'00" e 43°30'00", e os paralelos 20°08'00" e 20°35'00" (Figura 1.2).

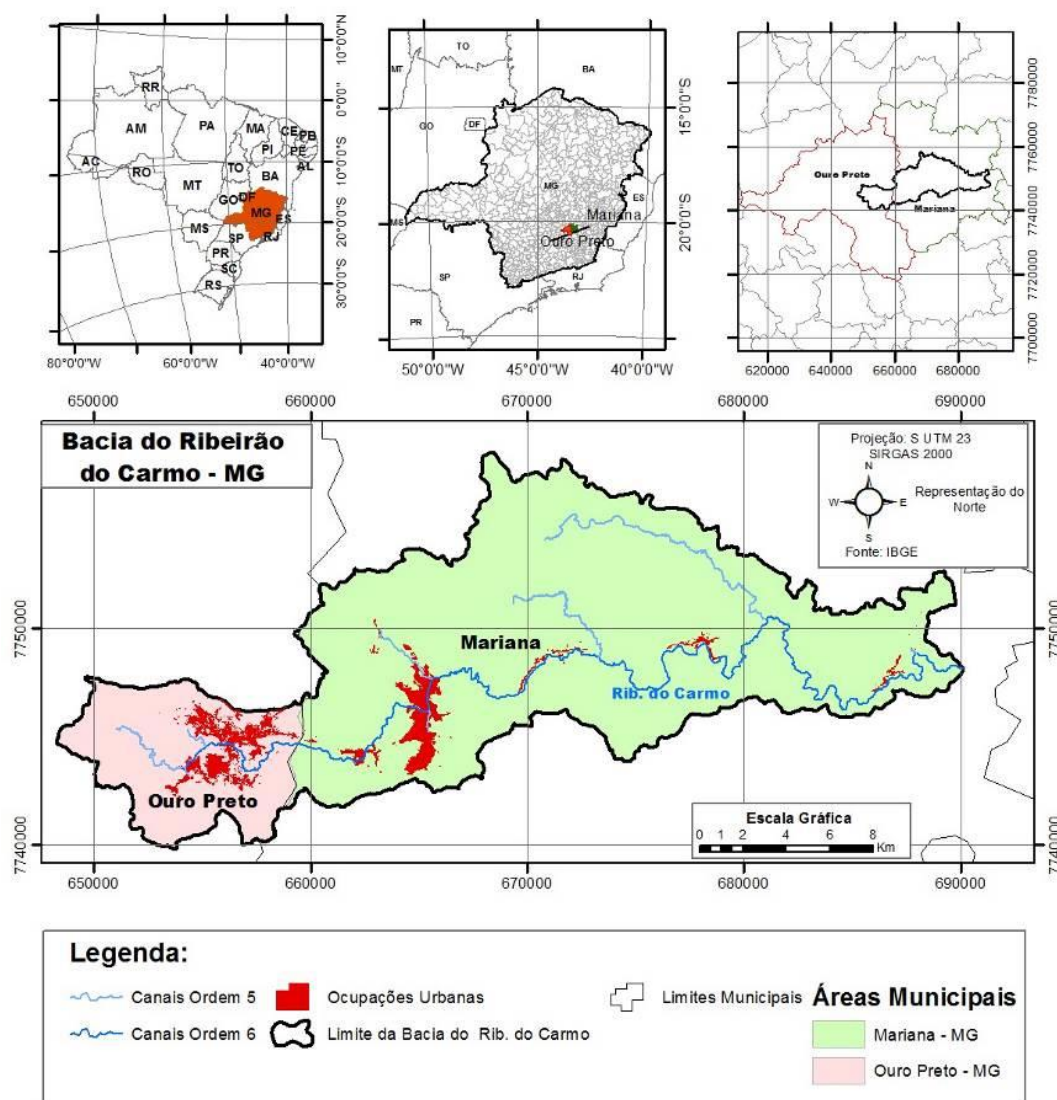


Figura 1. 2 - Bacia do Ribeirão do Carmo, no contexto do Estado de Minas Gerais, com os limites municipais e a ocupação urbana (sedes municipais e distritos).

A BHRC compreende uma parte do distrito sede do município Ouro Preto (95%), a totalidade do distrito sede de Mariana e os distritos de Passagem de Mariana, Bandeirantes, Monsenhor Horta e Furquim que pertencem ao município de Mariana – MG. Sua área é de 321,597 km² e o seu perímetro de 137,427 km, englobando uma população superior a 110.000 habitantes, sendo que em Mariana a população foi estimada em 58.233 habitantes, dos quais 81,81% dos habitantes estão na zona urbana, e em Ouro Preto a população estimada foi de 73.700 habitantes, sendo que 82,93% estão na zona urbana.

As principais rodovias de acesso são a MG-262 (Luiz Martins Soares), a MG-129 (Humberto de Almeida) e a BR-356 (Rodovia dos Inconfidentes). Através da rodovia federal BR-040, o acesso realiza-se a partir de Belo Horizonte ou do Rio de Janeiro até o ramal BR-356, seguindo-se até os Municípios de Ouro Preto e Mariana. Outra possibilidade é através da BR-262, saindo de Vitória (ES) em direção a Rio Casca - MG, por aproximadamente 320 km. Daí em frente utiliza-se o ramal MG-262, sentido Ponte Nova e Mariana, perfazendo mais 120 km.

1.6 ORGANIZAÇÃO DA TESE

Esta tese foi organizada em sete (7) capítulos e III Anexos. A organização proposta englobando o conteúdo descritivo e ilustrativo de todo o trabalho realizado teve por pressuposto, em decorrência da variabilidade da temática em discussão, permitir a diferenciação das diversas análises executadas, a sequência metodológica e de procedimentos proposta, e a posterior integração das informações considerando a lógica do detalhamento progressivo empregada para a Bacia do Ribeirão do Carmo. Cabe ressaltar que em decorrência da variabilidade de temáticas abordadas não é possível a adoção de uma estrutura padrão de texto. A abordagem das metodologias de análise, dos procedimentos adotados e propostos neste trabalho, dos resultados e das discussões realizadas compõem de maneira singular cada uma das abordagens realizadas considerando que em alguns casos foram adotadas metodologias consagradas, em outros as metodologias foram adaptadas para o contexto da BHRC e em outros foram propostas novas metodologias e novos procedimentos de análise. O Capítulo 1, no qual este tópico está inserido, vem chamar atenção para a temática principal do trabalho, os principais problemas ocorrentes ao longo da Bacia do Ribeirão do Carmo e a apresentação dos elementos que motivaram o desenvolvimento deste estudo. Também compõem o capítulo a descrição das premissas e objetivos pretendidos no desenvolvimento do trabalho e a organização estrutural da tese, por meio de seus capítulos e anexos. O Capítulo 2 tem por objeto a introdução das temáticas estruturais desta pesquisa – cartografia geoambiental, ordenamento territorial e cartografia geotécnica via detalhamento progressivo, para bacias hidrográficas, a luz dos conceitos e métodos mais importantes empregados no desenvolvimento de trabalhos realizados

tanto no Brasil, quanto no exterior. Os referenciais teóricos dos temas específicos abordados para a execução do diagnóstico ambiental e geotécnico da BHRC encontram-se nos capítulos correspondentes aproximando estes dos resultados alcançados para a BHRC. No Capítulo 3 são apresentadas, de fato, as informações referentes ao diagnóstico geoambiental da Bacia do Ribeirão do Carmo, com abordagem e caracterização geológica dos terrenos; abordagem da geomorfologia; das unidades pedológicas; proposição de metodologia para delimitação das unidades de Proteção Permanente e Unidades de Conservação da BHRC; caracterização dos atributos morfométricos, apropriação da equação de chuva intensa e tempo de concentração da BHRC; determinação do Índice de Qualidade das Águas Superficiais (IQA) e cartografia do uso e ocupação do solo com uma análise temporal entre os anos de 1986 e 2014. No Capítulo 4 tem-se por pressuposto a proposição de procedimentos para a análise dos processos geodinâmicos superficiais, com abordagem da suscetibilidade a processos erosivos, e ênfase na geração e transporte de sedimentos; proposta de procedimentos para a cartografia da suscetibilidade a deslizamentos, suscetibilidade a inundação, queda e rolamento de blocos rochosos, corridas de massa e enxurradas. No Capítulo 5 tem-se a proposição de procedimentos para a cartografia da aptidão a urbanização aplicada na escala 1:10.000, em parte da área da sede do município de Ouro Preto e o Capítulo 6 também traz uma proposição metodológica, mas agora para análise de perigo/risco aplicada a sede do município de Mariana, somando-se aqui a proposição de uma metodologia para análise de percepção de risco por meio de entrevistas individuais. O capítulo 7, por sua vez, refere-se às conclusões finais.

CAPÍTULO 2

BASE TEÓRICA

Remonta da década de 1980 o debate sobre a necessidade de o Governo Federal assumir de forma coordenada ações referentes ao ordenamento do território nacional, mas apenas em 1988, a Carta Magna estabeleceu, em seu Artigo 21, parágrafo IX: “*Compete à União elaborar e executar planos nacionais e regionais de ordenação do território e de desenvolvimento econômico e social*”. Para cumprir este preceito constitucional, em 1990 foi criada a Secretaria de Assuntos Estratégicos – SAE e, a ela subordinada, a Diretoria de Ordenação Territorial (DOT), cuja estratégia básica se concentrou na elaboração de planos de zoneamento ecológico-econômico (ZEE). Em 1999, mediante a Medida Provisória 1.795/99, a SAE foi extinta e as suas atribuições referentes ao ZEE transferidas para o Ministério do Meio Ambiente pela Medida Provisória 1.911-8/99, e em 2003, a Lei 10.683/03, que estabeleceu as atribuições de cada Ministério, conferiu a responsabilidade sobre o ordenamento territorial ao Ministério da Integração Nacional e ao Ministério da Defesa. A partir daí ainda se encontra em aberto a elaboração de uma proposta de Política Nacional de Ordenamento Territorial (PNOT).

2.1 CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL, ORDENAMENTO TERRITORIAL E GESTÃO AMBIENTAL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

A Gestão Ambiental é um processo continuado de análise, decisão, organização das atividades, controle dos dados, cuja integração das etapas elencadas deve possibilitar a avaliação dos resultados visando à utilização dos recursos naturais com minimização dos impactos ambientais, a partir da formulação e implementação de políticas e ações efetivas que permitam vislumbrar as possíveis consequências futuras, em decorrência do uso dos recursos naturais, sejam elas positivas ou negativas. Planejamento ambiental, assim, pode ser definido como um processo político, social, econômico e tecnológico, que deve possuir um caráter educativo e participativo, onde os agentes que representam a sociedade (políticos, líderes comunitários, representantes de instituições

governamentais e civis, poder público federal, estadual e municipal) deverão escolher as melhores alternativas para a conservação dos recursos naturais, consoante com um desenvolvimento compatível e equilibrado com o ambiente.

Philippi Jr. *et al.* (2004) elencam três conjuntos que devem ser estudados e entendidos dentro do processo de planejamento, os recursos do ambiente natural, do ambiente construído e as necessidades do ser humano e suas atividades, cuja finalidade é fornecer condições para a existência de uma qualidade do meio ambiente a ser ocupado, o que só seria possível a partir do entendimento de quatro fases de desenvolvimento técnico, sendo elas: eclosão, projeto, execução e retroalimentação. Este trabalho de pesquisa se enquadraria na segunda etapa proposta pelos autores, onde ressalta-se a necessidade da elaboração dos estudos preliminares, diagnósticos e prognósticos como subsídio ao planejamento ambiental. Os autores também destacam a importância da integração entre os dados ambientais e culturais, utilizando-se para tal das unidades bacias hidrográficas, como elementos de análise, já que esta possibilita a integração de unidades políticas (municípios, estados) com unidades naturais (tipos de solo, biomas, regiões fisiográficas, etc.).

No Brasil, havendo a necessidade de estruturar a gestão de recursos hídricos, a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, adequou o arcabouço institucional vigente, com a criação da Agência Nacional de Águas – ANA, integrando-a ao Sistema Nacional de Recursos Hídricos, cuja competência foi a de implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos. Já o processo de elaboração do Plano Nacional de Recursos Hídricos - PNRH, este coube à Secretaria de Recursos Hídricos - SRH, órgão integrante do Núcleo Estratégico do Executivo Federal, em conjunto com a ANA, e com outras instituições governamentais, setores usuários e a sociedade civil organizada.

O PNRH é então um instrumento essencial para o planejamento estratégico da gestão dos recursos hídricos no País, tanto no contexto das bacias hidrográficas, quanto das áreas especiais de planejamento. No caso deste trabalho a unidade de análise refere-se à bacia hidrográfica do Ribeirão do Carmo, em conformidade com a Lei 9.433/97 que define a bacia hidrográfica como a unidade territorial para a implementação da Política de Recursos Hídricos e atuação do Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos, cujos resultados poderão, inclusive, serem utilizados na implementação de programas

locais e regionais com adequação das políticas públicas relacionadas ao tema.

Conforme a PNRH nas bacias hidrográficas, a gestão dos recursos hídricos e a gestão ambiental sempre deverão ser tratadas de maneira integrada, articuladas com o planejamento dos setores usuários, os planejamentos regional, estadual e nacional e a gestão do uso do solo. Isto vem explicar o motivo pelo qual este trabalho não se limita apenas às análises do meio físico comumente elaboradas, e do uso do solo, mas, também, enfoca a preocupação de analisar os recursos hídricos e a qualidade das águas superficiais. Em relação à implementação dos Comitês de Bacia Hidrográfica, como estes por Lei possuem como área de atuação as bacias hidrográficas de 1^a, 2^a e 3^a ordens, ou um grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas, e a bacia do Ribeirão do Carmo é de 6^a ordem, o trabalho em questão deverá ser vinculado ao comitê da Bacia do Rio Doce na qual a BHRC se insere.

Segundo Lanna e Cánepa (1994), dois conceitos têm sido debatidos com grande ênfase em discussões recentes relacionadas ao meio ambiente em geral, e aos recursos hídricos em particular: o desenvolvimento sustentável e o gerenciamento de bacias hidrográficas. Segundo os autores o conceito de gerenciamento de bacias hidrográficas tem marcado as discussões voltadas para a busca de alternativas gerenciais que conduzam para a compatibilização do crescimento econômico com a proteção do ambiente, a partir do reconhecimento da bacia hidrográfica como uma unidade ideal para o planejamento e a gestão.

Pires e Yoshinaga (1995) chamam a atenção de que o gerenciamento eficaz de uma bacia hidrográfica requer antes de tudo, um amplo processo de planejamento ambiental para buscar soluções dentro dos limites da capacidade de suporte ambiental, e afirmam ser indispensável conhecer os conceitos de qualidade ambiental, capacidade-suporte e os riscos ambientais. Nesse sentido destaca-se que, quando ocorre uma sobrecarga na capacidade de suporte, ultrapassa-se o limite regulador do ambiente, sendo este um conceito ecológico relacionado com a capacidade de um ambiente suportar certo número de indivíduos. Outro conceito importante a ser destacado refere-se aos riscos ambientais, definidos pelos autores como as alterações, naturais e tecnológicas, a que o ambiente e o homem estão expostos: movimentos gravitacionais de massa, inundações, contaminação, poluição e que implicam a possibilidade ou probabilidade de um impacto

sobre ele.

Brown *et al.* (1971), afirmam que a chave para que se consiga uma relação de equilíbrio entre a exploração e a conservação está em se conhecer o ambiente que se quer ocupar. Isto se torna possível com a elaboração de uma cartografia geoambiental integrada, que sintetize as informações significativas sobre os processos e características naturais do território, resultando em uma ferramenta adequada para abordar ou analisar o uso deste.

Alguns autores propõem o agrupamento de metodologias para que haja um estudo mais efetivo do ordenamento territorial, destacando-se entre eles Diaz de Terán (1988) e Farraia (1989).

Diaz de Terán (1988) propõe uma subdivisão inicial em duas grandes categorias. Uma primeira de caráter sintético, integralizando a representação das unidades naturais e uma segunda de caráter analítico, representando os aspectos concretos do território separadamente, sejam eles descritivos ou interpretativos, com integração posterior.

Farraia (1989) subdivide dois grupos para a descrição das principais metodologias de ordenamento territorial. O primeiro grupo não aponta a geologia como atributo principal de análise, sendo os dados referentes a ela superficiais. Já o segundo grupo, considera os aspectos geológicos fundamentais face à caracterização dos usos e aptidões dos terrenos.

Diversos outros autores e diversas outras metodologias se destacam nesse cenário, tais como C. S. I. R. O (*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization*, Austrália 1952-1968, Brown *et al.* (1971), Steinitz (1975), a metodologia P.U.C.E. (*Patterns, Units, Components and Evaluation*) desenvolvida por Grant (1974), Cendrero (1975), Godfrey (1977), Ramos *et al.* (1979), Cendrero (1980), Sobreira (1995).

No âmbito de bacias hidrográficas, muitos estudos enfocam as degradações ambientais, especialmente aqueles relacionados ao uso e ocupação do solo e suas relações com a qualidade das águas superficiais, destacando-se aqui Rodrigues *et al.* (1998), Weber *et al.* (1998), Brady *et al.* (2000), Streck *et al.* (2001), Marcomin (2002) e Ávila *et al.* (2003). Todos estes trabalhos, com aplicações diferenciadas de acordo com os problemas específicos de cada área, utilizam o geoprocessamento como suporte para identificar as degradações ambientais, sejam elas causadas por uso inadequado do solo,

crescimento urbano desordenado, erosão, desmatamentos e outros.

No que tange a proposição de Zoneamentos Geoambientais, pode-se destacar os trabalhos de Collares (2000), Nunes (2001), Bastos *et al.* (2003) e Ohara (2006).

Souza *et al.* (2005) desenvolveu um estudo abrangendo o município de Mariana - MG, com vistas ao ordenamento territorial, enfocando principalmente os aspectos geológicos, geomorfológicos e de impactos ambientais em áreas urbanas e rurais.

Castro (2008) desenvolveu um estudo no município de Castelo – ES, cujo objetivo foi à elaboração do Zoneamento e do Diagnóstico Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Castelo, tributário do Rio Itapemirim, a partir do detalhamento dos componentes do meio natural da bacia (pedologia, geologia, geomorfologia, cobertura vegetal, malha hidrográfica, usos do solo, etc.) e da análise das correlações entre esses.

Inúmeros outros trabalhos envolvendo a cartografia geoambiental podem ser citados estando alguns deles elencados a seguir:

Diniz e Freitas (1996), Grecchi e Pejon (1998), Santos *et al.* (1999), Sobreira (2000), Campos *et al.* (2001), Vedovello *et al.* (2002), Alheiros *et al.* (2002), Paula *et al.* (2002), Lopes e Pejon (2002), Menezes *et al.* (2004), Higashi (2004), Diniz *et al.* (2005), Oliveira *et al.* (2005), Cunha *et al.* (2005), Sales e Robeck (2005), Souza *et al.* (2005), Santos e Sobreira (2006), Souza *et al.* (2007), Rodrigues *et al.* (2007), Porto e Rocha (2007), Pacheco e Nishiyama (2007), Souza *et al.* (2008), Andrade *et al.* (2008), Neto e Jr (2008), Pierre e Amaral (2008), Rossini *et al.* (2008), Vedovello, (2008), Gass *et al.* (2010), Garcia *et al.* (2010), Rosolém e Archela (2010), Rotta *et al.* (2010)

2.2 CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA

Segundo Zuquette e Nakazawa (1998), a elaboração de cartas geotécnicas no Brasil se iniciou no Rio de Janeiro por volta de 1965. De lá para cá e principalmente nas últimas três décadas houve um grande avanço na cartografia geotécnica brasileira, com o desenvolvimento de inúmeros trabalhos e muitos procedimentos metodológicos, o que culminou no surgimento de centros produtores deste tipo de cartografia, tais como a Universidade Federal do Rio de Janeiro, EESC-USP São Carlos, Instituto de Pesquisa

Tecnológicas do Estado de São Paulo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, dentre outros, cada qual seguindo linhas metodológicas distintas, e que por sua vez geraram outros polos de produção (UnB, Instituto Geológico do Estado de São Paulo, Universidade Federal de Santa Catarina, etc.).

Com o desenvolvimento tecnológico, principalmente na área de informática, pelo surgimento da cartografia digital e dos sistemas de informações geográficas (SIG), nos últimos 15 anos tornou-se mais ágil e rápida a geração de mapas e cartas, ficando enormemente facilitados os processos de integração de dados e a atualização dos produtos cartográficos, à medida que novas informações são geradas ou adquiridas, assim como a reprodução das cartas e mapas em escalas diversas e a custos baixos.

Para o embasamento teórico desta pesquisa uma das fontes de consulta de dados foi o Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil que é um projeto desenvolvido no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, criado a partir do ano de 1992, constituindo-se em uma base de dados que contém informações sobre os grupos de pesquisa em atividade no país.

O levantamento dos documentos técnicos referentes aos Grupos de Pesquisa do Brasil teve por objetivo avaliar as informações sobre grupos que desenvolvem pesquisas relacionadas aos temas “Cartografia Geotécnica, Suscetibilidades, Riscos Geológicos e Desastres, e Gestão de Risco”, com registro no CNPq, e localizados em universidades, instituições isoladas de ensino superior, institutos de pesquisa científica, institutos tecnológicos e laboratórios de pesquisa e desenvolvimento de empresas estatais, seja no nível das instituições, seja no das sociedades científicas ou, ainda, no das várias instâncias de organização político-administrativa.

Foram localizados 105 grupos de pesquisa desenvolvendo trabalhos na temática selecionada, com a distribuição por estados e por regiões do Brasil, conforme ilustrado na Figura 2.1.

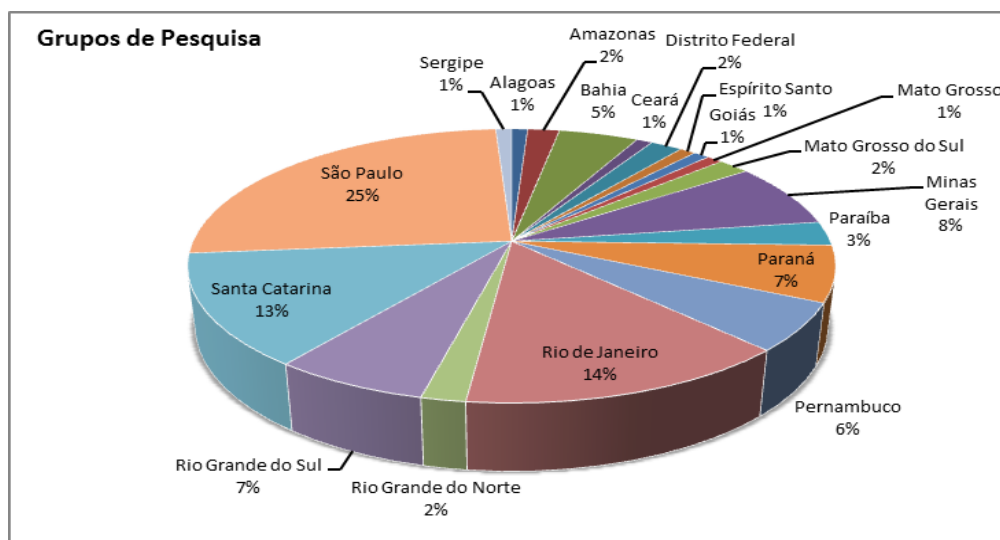


Figura 2. 1 - Distribuição dos Grupos de Pesquisa por Estados Brasileiros.

Fonte: CNPq.

Complementando o levantamento dos documentos técnicos foi feita a avaliação de um significativo número de trabalhos já publicados no país, além de referências internacionais de interesse, relacionadas aos temas gestão de risco, mapeamento de risco geológico, planos municipais de risco, cartografia geotécnica e geoambiental, entre outros.

O objetivo não foi esgotar a captura de informações sobre as temáticas previamente estabelecidas, mas abranger um significativo número de informações sobre elas, que pudessem servir de referenciais técnicos na construção deste trabalho.

Foram consultados os eventos científicos nacionais, livros, dissertações de mestrado, teses de doutoramento e artigos em periódicos, e foram selecionados mais de 200 trabalhos utilizados como fonte de dados. Dentre os trabalhos desenvolvidos no país pode-se citar Sobreira (1990), Paraguassu *et al.* (1991), Souza e Zuquette (1993), Rodrigues *et al.* (1993), Pinheiro e Dias (1995), Cerri *et al.* (1996), Zuquette e Pejon (1996), Brollo *et al.* (1996), Lollo (1998), Amaral e Lara (1998), Campos *et al.* (1999), Augusto Filho *et al.* (1999), Bachion e Rodrigues (1999), Parizzi *et al.* (2001), Diniz *et al.* (2001), Tominaga *et al.* (2002), Pons e Gonçalves (2004), Bacellar *et al.* (2002), Paula e Cerri (2004), Abreu (2007), Souza *et al.* (2007), Freitas e Campanha (2007), Bastos *et al.* (2007), Bressani, *et al.* (2008), Rodrigues e Filho (2008), Paula e Cerri

(2008), Xavier e Bastos (2010).

A profusão de trabalhos, geralmente produtos de pesquisas acadêmicas e quase sempre desenvolvendo, testando ou adaptando procedimentos metodológicos, possibilitou o mapeamento de um considerável número de cidades e regiões (entendendo estas como localidades isoladas, bairros, unidades administrativas, bacias hidrográficas, etc.). Estes trabalhos geralmente estão vinculados aos termos cartografia geotécnica ou cartografia geoambiental, mas não há um consenso geral entre pesquisadores e profissionais da área sobre as definições destes termos, que muitas vezes acabam sendo utilizados inapropriadamente.

Por outro lado, a diversidade de objetivos e metodologias trouxe consigo um também sem número de termos e produtos, uns mais comuns tais como suscetibilidade, risco, aptidão, com seus respectivos mapas e cartas, outros menos frequentes, como fragilidade, vulnerabilidade, sensibilidade, predisponência, restrições, etc., além da grande variabilidade das escalas de mapeamento, consequência da limitação dos produtos cartográficos básicos existentes em cada local, que muitas vezes são determinantes dos procedimentos de análise e integração de dados. Estes mapas e cartas geotécnicas e geoambientais enfocam uma gama variada de usos do meio físico, tais como uso urbano (áreas não ocupadas, áreas ocupadas, áreas com ausência ou deficiência de infraestrutura e áreas com infraestrutura instalada), implantação de obras civis (rodovias, linhas de transmissão, dutovias, barragens e reservatórios, canais, hidrovias, obras marítimas etc.), uso agrícola e exploração de recursos minerais, e abordam estudos diversos sobre processos geodinâmicos (movimentos em encostas, erosão, inundação, subsidências, etc.), porém, não existe um padrão comum ou normatização dos conceitos e dos procedimentos executados na realização destes, assim como das escalas de trabalho e apresentação final.

No entanto, no atual estágio de desenvolvimento da cartografia geotécnica no Brasil, reconhece-se a dificuldade, ou mesmo a impossibilidade desta padronização, por diversos motivos, cuja análise foge do escopo desta pesquisa. É extremamente meritosa a busca de solução para questões como dimensão das áreas de mapeamento, diferenças e limitações de escalas das informações a serem integradas, disponibilidades de recursos e de informações básicas e tempo para execução dos trabalhos, mas, neste contexto,

muitas vezes conceitos são confundidos ou utilizados incorretamente, fontes cartográficas básicas (topografia e suas derivações, geomorfologia, geologia, pedologia, uso e ocupação, etc.) com escalas muito distintas, por diversas vezes incompatíveis, são integradas indiscriminadamente e os produtos gerados trazem informações aquém ou além do tecnicamente possível. Estes problemas são de difícil resolução, mas espera-se que com a evolução do estado da arte da cartografia geotécnica e geoambiental no país e as melhorias na geração de dados básicos, cartográficos ou não, caminhe-se para um ponto de concordância em um futuro próximo.

Desta forma, este estudo enfatiza a cartografia geotécnica enfocando o planejamento urbano e rural, tanto para as porções territoriais ainda não ocupadas e sem infraestrutura instalada (análise das suscetibilidades), quanto para os locais já ocupados com infraestrutura urbana parcial ou total (análises das aptidão a urbanização e risco), correlacionando os processos geodinâmicos passíveis de serem deflagrados naturalmente, ou por ação/intervenção antrópica, e as características do meio ambiente físico, biótico e antrópico a ser ocupado.

2.3 TERMOS E CONCEITOS

O termo cartografia geotécnica é empregado de uma forma genérica para aqueles produtos cartográficos que expressam a prática do conhecimento geológico aplicado para enfrentar os problemas gerados pelo uso e ocupação do solo (Prandini et al., 1995) ou que busquem avaliar e retratar as características dos componentes e o comportamento do meio físico frente aos diferentes tipos de ocupação, avaliando suas limitações e seus potenciais (Zuquette, 1993).

Cerri (1990) classifica as cartas geotécnicas como cartas geotécnicas clássicas, cartas de suscetibilidade e cartas de risco e afirma que as cartas geotécnicas devem mostrar a distribuição dos diferentes tipos de rochas e solos e suas propriedades geológico-geotécnicas, as formas de relevo e a dinâmica dos principais processos atuantes e o reflexo destes (naturais e induzidos) nas formas do uso e ocupação. Bittar *et al.* (1992) defendem a subdivisão em cartas geotécnicas dirigidas, cartas geotécnicas convencionais, cartas de suscetibilidade e cartas de risco geológico. Prandini *et al.*

(1995) classificam estas cartas em cartas geotécnicas (propriamente ditas), cartas de riscos geológicos, cartas de suscetibilidade e cartas de atributos ou parâmetros. Por outro lado, segundo Zaine (2000), “embora haja uma diversidade de termos empregados para denominar os diferentes tipos de cartas e/ou mapas geotécnicos, parece haver uma certa similaridade entre os tipos de documentos produzidos”. Freitas (2000) considera a carta geotécnica como produto resultante da necessidade de caracterização dos terrenos, comprometido com uma intervenção ou solução para uso e ocupação do solo, levando em conta atributos ou parâmetros de seus componentes físicos, os quais induzem ou condicionam o desenvolvimento de processos e fenômenos responsáveis pela dinâmica da crosta terrestre.

A partir das conceituações acima descritas, entende-se que cartas geotécnicas são os produtos cartográficos que retratam a distribuição dos diferentes tipos de rochas e solos (residuais e transportados), considerando suas características mecânicas e hidráulicas no contexto do meio físico (formas do relevo, geodinâmica externa – processos atuantes, uso e ocupação do solo), com o intuito de se definir as limitações, potencialidades e necessidades de intervenções para a consolidação do uso urbano e rural.

Considerando a importância de correlacionar os tipos de produtos a serem gerados e o objeto do estudo, em termos de aplicação e utilização, e com o intuito de evitar o número elevado de classificações (nomes de cartas e de unidades), nas explanações que se seguem serão adotados os termos cartas geotécnicas de suscetibilidade, cartas geotécnicas de aptidão à urbanização e cartas geotécnicas de risco geológico, reconhecendo que cada uma delas tem determinadas especificidades quanto à escala de mapeamento, aos dados básicos de entrada para sua elaboração, à forma de representação e, principalmente, aos objetivos de sua aplicação no contexto do planejamento territorial.

Entende-se aqui por suscetibilidade a potencialidade de processos geológicos (movimentos gravitacionais de massa, inundações/enchentes/alagamentos, corridas, erosões, assoreamento, subsidências e colapsos, processos costeiros, sismos induzidos, etc.) causarem transformações do meio físico, independentemente de suas consequências para as atividades humanas (Sobreira e Souza, 2012). Neste caso, a possibilidade de ocorrência de processos geodinâmicos está condicionada pela

predisponência natural do meio físico ao seu desenvolvimento, podendo em alguns casos ter como um elemento adicional às práticas de uso e ocupação do solo. Assim, estudos de suscetibilidade destacam um ou mais fenômenos naturais e o comportamento dos terrenos frente ao uso do solo pretendido. Nos estudos de suscetibilidade devem ser avaliados os processos que podem ocorrer em áreas mais abrangentes e com agentes deflagradores de maior magnitude, independentemente da ocupação destas áreas, buscando avaliações mais gerais dos terrenos quanto ao seu comportamento frente aos processos envolvidos e representando os resultados em cartas. Têm caráter iminentemente qualitativo e são mais eficazes no planejamento em um nível mais macro, buscando indicar as áreas mais propícias para os diversos usos e ocupações, assim como as restrições existentes nos demais locais.

A aptidão à urbanização pode ser definida como a capacidade dos terrenos para suportar os diferentes usos e práticas da engenharia e do urbanismo, com o mínimo de impacto possível e com o maior nível de segurança (Sobreira e Souza, 2012). Sua análise parte do mapeamento, caracterização e integração de atributos do meio físico que condicionam o comportamento deste frente às solicitações existentes ou a serem impostas (implantação de infraestrutura e acesso a serviços urbanos, melhorias habitacionais, reparcelamento do solo, consolidações geotécnicas, regularização fundiária e programas de desenvolvimento comunitário, etc.). As cartas geotécnicas de aptidão devem sempre considerar que será necessária uma abordagem posterior integrada dos diagnósticos dos eixos físico-ambiental (aptidão a urbanização), jurídico-legal e socioeconômico-organizativo das áreas alvo das análises e para tal, os estudos com estes objetivos devem ser feitos em escala de detalhe e com suporte de dados quantitativos quando necessário. O resultado destes estudos deve estar representado cartograficamente de forma direta para os usuários (públicos e privados), indicando as potencialidades e restrições das áreas no perímetro urbano dos municípios e em zonas de futura ocupação quanto à urbanização. A localização de implantação de estruturas ligadas às cidades como aterros sanitários, distritos industriais, cemitérios, etc. pode ser analisada a partir de estudos técnicos específicos, não sendo necessária sua representação nas cartas geotécnicas de aptidão urbana.

O risco geológico pode ser definido como uma situação de perigo, perda ou dano, ao

homem e suas propriedades, em razão da possibilidade de ocorrência de processo geológico, induzido ou não (Cerri e Amaral, 1998), ou seja, é a probabilidade de um evento provocar perdas ou danos na área que é potencialmente afetada pelo processo geodinâmico. A esta equação se junta a vulnerabilidade dos elementos afetados, relacionada principalmente ao padrão construtivo no caso de áreas urbanas. O risco (R) é tido como uma condição latente ou potencial e a determinação do seu grau está relacionado à probabilidade de ocorrência de um evento perigoso (A) e dos níveis de vulnerabilidade (V) dos elementos expostos existentes.

Nogueira (2002) propõe que se agregue à expressão a existência de algum gerenciamento do problema (g^{-1}), o que remete a possibilidade de se expressar o risco (R) da seguinte forma:

$$R = P (fA) \times C (fV) \times g^{-1} \quad (2.1)$$

Ou seja, o risco (R) é o produto entre a probabilidade (P) de ocorrer um fenômeno físico (A) com previsão de local, intervalo de tempo, dimensão, etc., e os danos ou consequências (C), que são função da vulnerabilidade (V) das pessoas ou bens, o que pode ser modificado pelo grau de gerenciamento (g^{-1}).

Na avaliação da vulnerabilidade consideram-se as possibilidades técnicas e econômicas de prevenir ou mitigar os vários efeitos destrutivos do fenômeno. O grau de organização e coesão interna das comunidades em risco, considerando sua capacidade de prevenir, mitigar ou responder às situações de desastre, pode ser denominado de vulnerabilidade social.

Diante dos conceitos apresentados, é possível perceber que o risco geológico em áreas urbanas não depende apenas das características mecânicas e hidráulicas dos materiais envolvidos nos processos geodinâmicos, da morfologia das encostas ou do regime pluviométrico da estação chuvosa. Está diretamente relacionado à forma de ocupação, tanto em encostas como em baixadas, e à falta de conscientização ou de conhecimento da população envolvida no que tange à alteração da geometria das encostas e outras intervenções sem critérios técnicos. A ocupação de áreas geologicamente instáveis, a proximidade de moradias da base ou crista de encostas, a construção sobre solos transportados, a construção no interior e nas bordas de feições cársticas e nas margens de corpos d'água, a deposição inadequada de lixo e o lançamento de águas servidas, e o

plântio de espécies inadequadas são exemplos de ações antrópicas que podem deflagrar ou potencializar eventos ou maximizar os danos relacionados a um acidente.

2.4 MÉTODO DE DETALHAMENTO PROGRESSIVO

Cerri *et al.* (1996) propuseram o método do detalhamento progressivo com o desenvolvimento do mapeamento geológico-geotécnico em três grandes etapas, ou seja, em fases sucessivas, de modo que cada fase determina os temas técnicos e o nível de aprofundamento necessário ao desenvolvimento da fase subsequente. Zaine (2000) denominou as etapas como: geral, com escala entre 1:50.000 e 1:25.000 e abordando principalmente a caracterização do meio físico; intermediária, em escala entre 1:25.000 e 1:10.000 em áreas de adensamento e/ou de expansão urbana, selecionadas a partir do mapa geológico-geotécnico regional e; de detalhe, com base na caracterização do meio físico geológico e na identificação de eventuais problemas geológico-geotécnicos selecionados na escala 1:10.000, a partir de estudos específicos, que, se necessário, podem envolver a confecção de mapas elaborados em escalas maiores que 1:5.000, uma vez que buscam dar suporte a projetos de obras de engenharia para sanar problemas já instalados ou para a implantação de novos empreendimentos.

Sobreira e Souza (2012) propõem que o modelo do detalhamento progressivo seja seguido, em práticas de planejamento territorial, com os níveis hierárquicos representados pela suscetibilidade (geral), aptidão à urbanização (semidetalhe ou intermediário) e risco (detalhe) (Figura 2.2 e Quadro 2.1).

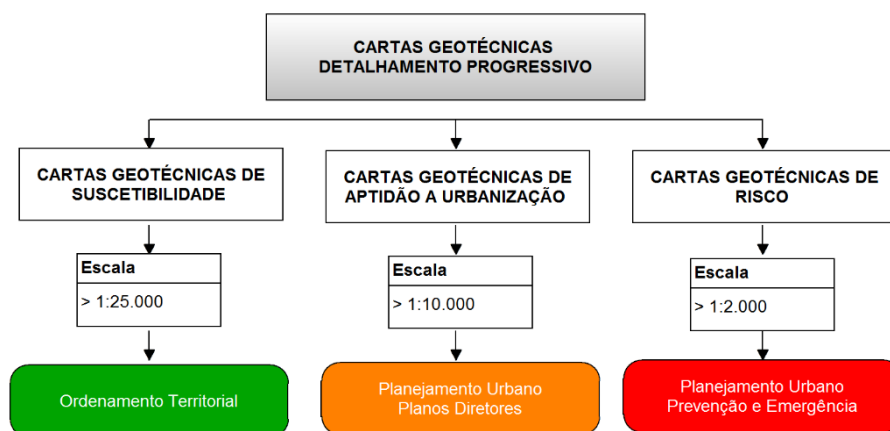


Figura 2. 2 - Cartas geotécnicas e aplicação em práticas de planejamento urbano e ordenamento territorial.

Quadro 2. 1– Níveis de cartas geotécnicas no planejamento urbano – escalas e processos mapeáveis (Sobreira e Souza, 2012 - adaptado).

Produto	Escalas de Mapeamento	Processos Geodinâmicos passíveis de identificação
Cartas Geotécnicas de Suscetibilidade	1:25.000 ou maiores	Movimentos gravitacionais de massa, inundações/enchentes, corridas, erosões, assoreamento, processos costeiros, sismos induzidos.
Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização	1:10.000, 1:5.000 ou maiores	Movimentos gravitacionais de massa translacionais, inundações/enchentes/alagamentos, corridas, erosões lineares de grande porte (ravinas), assoreamento, subsidências e colapsos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiros.
Cartas Geotécnicas de Riscos Geológicos	1:2.000 ou maiores	Movimentos gravitacionais de massa – translacionais, rotacionais, em cunha, inundações/enchentes/alagamentos, corridas de lama e detritos, rastejos, erosões lineares (sulcos, ravinas e voçorocas), solapamentos de margem, assoreamento, subsidências e colapsos, expansão de terrenos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiros.

Esta sequência de análises seria ideal para o planejamento de uma cidade nova, em local desocupado, mas esta não é a realidade brasileira, onde as cidades já estão implantadas, não raro em áreas de suscetibilidade a processos geodinâmicos, na maioria das vezes caracterizando situações de risco. Desta forma, estes níveis hierárquicos de estudo podem ser desenvolvidos independentemente, segundo as necessidades mais prementes dos municípios, tanto em termos emergenciais como no planejamento e prevenção de problemas de natureza geológico-geotécnica.

2.4.1 CARTAS GEOTÉCNICAS DE SUSCETIBILIDADE

No caso do Brasil, vários são os processos geodinâmicos que limitam a ocupação territorial, porém alguns são decorrentes de condições geológicas ou pedológicas locais específicas, como no caso de subsidências, (associados a terrenos cársticos) ou

colapsividade de solos, enquanto outros são condicionados pelas práticas de uso e manejo do solo, como no caso dos processos erosivos acelerados e alagamentos em áreas urbanas. Dentre os fenômenos geológicos que mais danos e prejuízos causam ao país e à população, destacam-se como principais as inundações/enchentes e os movimentos em encostas de diversos tipos (deslizamentos, rastejos, queda de blocos, sendo o principal deles o deslizamento translacional raso). Eventos recentes associados a episódios pluviométricos de grande magnitude, como no Vale do Itajaí, em Santa Catarina, região serrana do Rio de Janeiro ou Cachoeiro do Itapemirim, no Espírito Santo, mostraram que o processo de corridas de massa e fluxo de detritos pode ainda ser mais catastrófico. Assim, estes processos devem ser o foco de sistemáticos programas institucionais mais amplos de prevenção e ordenamento territorial, sendo que a eles se refere a presente proposição de cartografia geotécnica de suscetibilidades.

A tradução cartográfica da disposição dos terrenos, conforme sua condição de desenvolver determinados processos resulta na Carta Geotécnica de Suscetibilidade, ou seja, aquela que reflete a variação (em forma e grau) da capacidade dos terrenos em desenvolver determinado fenômeno geológico. A delimitação cartográfica se faz a partir do conhecimento dos mecanismos dos processos considerados e das características do meio físico condicionantes e indutoras de seu desenvolvimento (Freitas, 2000).

A partir de uma estratégia territorial, no que diz respeito aos processos e elementos ambientais, os trabalhos de planejamento e ordenamento buscam minimizar os impactos negativos que por ventura possam ser produzidos. Especificamente, tem-se o interesse de definir cartograficamente os setores do território que apresentem maior “qualidade ambiental” e a partir daí, propor sua preservação, ou no caso específico compatibilizar o uso frente a intervenções que se fizerem necessárias. Alguns princípios podem ser destacados como a ordem hierárquica das ações de intervenção, segundo a qual torna-se gradualmente mais importante aplicar o conhecimento geológico e geotécnico na ocupação territorial, diminuindo percentualmente a necessidade de ações corretivas frente à ocupação de sítios inadequados. Outro princípio é o da correlação entre as funcionalidades dos terrenos e seus atributos, onde o espectro de funções de um território deve levar em consideração os atributos hidrogeotécnicos, compartimentados segundo o modelo geológico existente, otimizando assim o aproveitamento do território

disponível.

Considerando que a abrangência da área estudada está no nível de bacia hidrográfica, deve-se entender a limitação de alcance dos modelos de suscetibilidade para eventos pontuais ou localizados, estando estes relacionados de maneira geral à identificação de processos de maior abrangência (movimentos de massa mais significativos e naturais, inundação, corridas de lama e detritos, e enxurradas). Ressalta-se aqui que os processos geodinâmicos considerados estão em consonância com a Classificação Brasileira dos Grupos e Subgrupos dos Desastres Naturais (Instrução Normativa Ministério da Integração - Nº 1, de 24/08/12). O Quadro 2.2 discrimina os desastres naturais, por grupos e subgrupos destacando-se as tipologias que foram avaliadas nos trabalhos.

Quadro 2. 2 – Classificação dos Grupos, Subgrupos, Tipo e Subtipos dos Desastres Naturais.

GRUPO	SUBGRUPO	TIPO	SUBTIPO
Geológico	Terremoto	Tremor de Terra Tsunami	
	Emanação vulcânica		
	Movimento de massa	Quedas Tombamentos Rolamentos	Blocos Lascas Matacões Lajes
		Deslizamentos	Deslizamentos de solo e/ou rocha
		Corridas de Massa	Solo/Lama Rocha/Detrito
		Subsidências e Colapsos	
	Erosão	Erosão Costeira Marinha	
		Erosão de Margem Fluvial	
		Erosão Continental	Laminar, Ravinas, Boçorocas
	Hidrológico	Inundação	

	Enxurrada		
	Alagamento		
Meteorológico	Sistemas de grande escala/Escala regional		
	Tempestades		
	Temperaturas extremas		
Climatológico	Seca		
Biológico	Epidemias		
	Infestações / Pragas		

Fonte: Instrução Normativa MI Nº 1, de 24/08/12

Nas últimas décadas, diferentes métodos e técnicas para avaliar a ocorrência de deslizamentos foram desenvolvidos e propostos no mundo inteiro (Hansen, 1984; Varnes, 1984; Hutchinson, 1995; Crozier, 1995).

Em 2008, o JTC-1 (*Technical Committee on Landslide and Engineered slopes*) constituído por representantes da ISSMGE (*International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*); IAEG (*International Association of Engineering Geology*) e ISRM (*International Society of Rock Mechanics*) estabeleceu um “*guideline*” básico para avaliação de suscetibilidades ali definida como “uma avaliação quantitativa ou qualitativa, da classificação, volume ou área e distribuição espacial de deslizamentos que existem ou potencialmente podem ocorrer em uma área”. Os métodos de análise foram divididos em “quantitativos”, que podem ser “relativos” ou “absolutos”, sendo que a “suscetibilidade absoluta” pode ser avaliada com métodos determinísticos, tais como modelos de estabilidade de taludes e “qualitativos”, que podem incluir “análise geomorfológica de campo” e “mapa índice ou mapa paramétrico”.

Os métodos qualitativos são baseados principalmente na experiência de campo dos técnicos que o executam, a partir da combinação de diferentes mapas e dados referentes a diversos parâmetros importantes para a caracterização dos terrenos e estabilidade de taludes. Ainda em relação a este tipo de análise tem-se a possibilidade de combinação, superposição e/ou a atribuição de pesos para mapas de fatores que influenciam na suscetibilidade, de acordo com a experiência do pesquisador em outras áreas similares, associado sempre a visitas a campo. Já os métodos quantitativos, estes são baseados em

análises estatísticas e/ou métodos determinísticos. Alleotti (1999) propõem a classificação que segue para a escolha do tipo de método a ser empregado na avaliação das suscetibilidades (Figura 2.3):

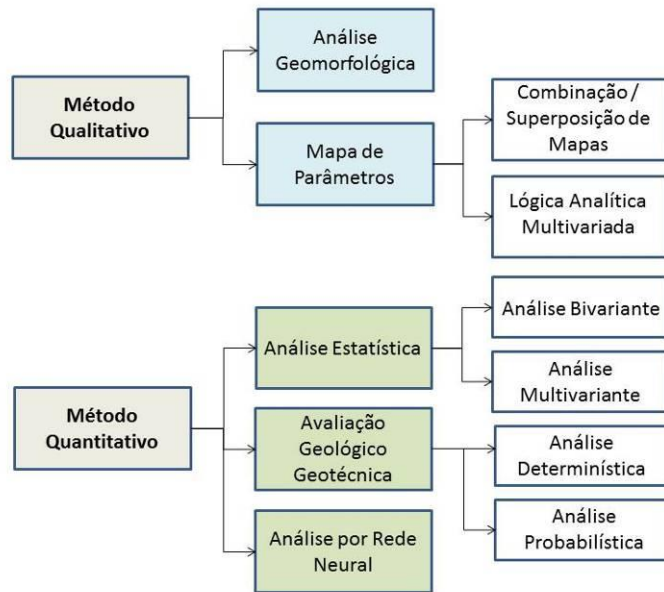


Figura 2. 3 – Proposta de Métodos de Avaliação de Suscetibilidade segundo Aleotti, 1999.

Entretanto, a avaliação da suscetibilidade a deslizamento é um problema complexo, multivariado e que envolve extrapolação de dados locais para áreas maiores. Esta prática envolve um alto grau de incerteza, principalmente em relação ao processo de classificação e graduação da suscetibilidade. Outro problema adicional na avaliação de suscetibilidade a deslizamentos é a variabilidade na incidência espacial dos diferentes tipos de movimentos gravitacionais de massa, restrição esta que pode e deve ser resolvida definindo os tipos de deslizamentos anteriormente a avaliação da suscetibilidade, não só porque os diferentes movimentos podem ocorrer sob diferentes condições de terreno (Yan, 1988; Aste, 1991; Carrara *et al.*, 1992; Irigaray *et al.*, 1996; Leroi, 1996), mas também porque o impacto sobre o meio ambiente tem de ser avaliado de acordo com o tipo de ruptura (Soeters e Van Westen, 1996). No estudo aqui desenvolvido focou-se inicialmente na avaliação da suscetibilidade a movimentos translacionais rasos que são os processos com maior recorrência ao longo da BHRC, mas contemplou também em menor detalhe a avaliação das áreas sujeitas a ocorrência

de corridas de massa, enxurradas, queda de blocos e inundações.

Com o avanço tecnológico nas últimas décadas, inúmeros trabalhos na literatura nacional e internacional dedicaram-se a investigar a suscetibilidade aos movimentos de massa apoiados em sistemas de informação geográfica (Gokceoglu e Aksoy, 1996; Luzi e Floriana, 1996; Turrini e Visintainer, 1998; Chung e Fabbri, 1999; Guzzetti *et al.*, 1999; Randall *et al.*, 2000; Lee e Min, 2001; Mandy *et al.*, 2001). Com a evolução dos sistemas de informação e, principalmente da capacidade de processamento dos dados, é crescente o número de estudos realizados para a produção de mapas de suscetibilidade a deslizamento utilizando técnicas de geoprocessamento (Dahal *et al.*, 2008; Mancini *et al.*, 2010; Regmi *et al.*, 2010).

No Brasil um dos primeiros trabalhos de análise de suscetibilidade com o uso de SIG foi o de Riedel *et al.* (1996) ao elaborarem a avaliação regional da suscetibilidade a deslizamentos em taludes de corte, para aplicação no planejamento de obras viárias. Este trabalho analisou de forma regional o comportamento estrutural de uma área de 800 km², a partir da geração de um modelo geométrico das discontinuidades geológicas, com a correlação entre as linhas de formas estruturais e as lineações negativas - linhas de fratura extraídas com apoio de técnicas de sensoriamento remoto de imagens Landsat – TM – banda 4.

Fernandes da Silva *et al.* (2005), realizaram a avaliação da suscetibilidade de terrenos à instabilidade geotécnica da região metropolitana de campinas (SP). A partir da compartimentação fisiográfica obtida com base em imagens de satélite, e a incorporação de procedimentos para inferência de discontinuidades tectônicas, o objetivo do trabalho foi estimar a suscetibilidade dos terrenos à ocorrência de fenômenos de instabilidade geotécnica. Constatou-se que a predominância de gradientes de declividade mais elevados e a maior densidade de fraturas estavam associados a um maior número de compartimentos fisiográficos apresentando alta suscetibilidade a processos geodinâmicos (instabilidade) em terrenos constituídos por rochas metamórficas e graníticas do embasamento cristalino. O processo de classificação utilizou tabelas ou matrizes de interação de fatores envolvendo valores nominais, ordinais, numéricos e escalares (intervalos) para cada um dos fatores de análise selecionados. No processo de classificação, os valores (médios ou categorias predominantes) referentes a cada um dos

fatores foram transformados em escores (A = alto, M = moderado, B = baixo) que procuraram estimar a potencial influência do fator analisado sobre os processos geodinâmicos (que geram instabilidade geotécnica).

Saito (2004) avaliou a suscetibilidade a deslizamentos nos assentamentos precários do maciço central de Florianópolis-SC, a partir do cruzamento de mapas temáticos dos aspectos físicos da área de estudo. O trabalho utilizou a metodologia de atributos de diferentes pesos para os elementos componentes da paisagem. Os mapas empregados para o cruzamento foram o geológico, declividade, forma de encostas, geomorfologia, formações superficiais e uso da terra. A determinação dos pesos conferidos aos mapas e às classes de cada mapa temático foi feita baseando-se na correlação entre o conhecimento obtido em campo da área de estudo, com a tipologia dos acidentes pretéritos. A partir dos resultados advindos da multiplicação entre os pesos do mapa e das classes de cada mapa temático foram criadas as seguintes classes hierárquicas da suscetibilidade a deslizamentos: nula, baixa, moderada, alta, muito alta e crítica.

Augusto Filho (2005), tendo como área de estudo a Serra do Mar – SP, propõe a obtenção da suscetibilidade a deslizamentos com base em retroanálise regional. O método adotado na elaboração do mapa de suscetibilidade a deslizamentos fundamentou-se no entendimento dos agentes condicionantes e da dinâmica dos deslizamentos analisados, como base para a proposição de modelos qualitativos e quantitativos de análise de suscetibilidade. Uma das propostas foi a adoção combinada da técnica de multicritérios e de retroanálise regional de deslizamentos ocorridos na área de estudo para atribuição de pesos (importância relativa) de cada classe de atributo (condicionante) envolvida na análise. A declividade foi o atributo considerado mais importante na deflagração do tipo de deslizamentos analisado.

Pfaltzgraff *et al.* (2005) elaboraram o mapa de suscetibilidade a deslizamentos na região metropolitana do Recife utilizando o método da álgebra de mapas. Os mapas de geologia, declividade, solos, perfil vertical e horizontal de encostas e uso do solo foram somados e, posteriormente, comparados com o mapa de suscetibilidade elaborado por Alheiros em 1998 (análogo) e, os mapeamentos de risco existentes para os municípios do Recife e Jaboatão.

Ermini *et al.* (2005), considerando critérios de litologia, declividade, curvatura vertical

de terreno, cobertura da terra e área de contribuição a montante, empregaram uma abordagem não-paramétrica, baseada em redes neurais artificiais (RNA), para o mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa nos Montes Apeninos Setentrionais (Itália).

Bispo *et al.* (2011), compararam a aplicação de três métodos de inferência espacial (booleano, bayesiano e *fuzzy* gama) para a análise da suscetibilidade a movimentos de massa no município de São Sebastião (SP), testando o efeito da inclusão de variáveis geomorfométricas (curvaturas vertical e horizontal) nos modelos. Após os testes realizados com cinco variáveis (geomorfologia, geologia, pedologia, uso da terra e declividade) e, em seguida, com sete variáveis (incluindo as curvaturas vertical e horizontal), o método booleano não permitiu uma classificação detalhada das classes de suscetibilidade para ambos os casos (com cinco e com sete variáveis). Já o método *fuzzy* gama apresentou uma maior flexibilidade na identificação de áreas e na geração de cenários para ambos os casos. A inferência bayesiana utilizou efetivamente apenas a variável declividade (no caso de cinco variáveis) e, em uma segunda etapa, as variáveis declividade e curvatura horizontal (no caso de sete variáveis), não se mostrando satisfatório na discriminação das classes de suscetibilidade aos movimentos de massa.

Entretanto, ao mesmo tempo em que se tornou possível desenvolver e aplicar diferentes métodos para análises de suscetibilidade apoiados nos sistemas de informação, técnicas de geoprocessamento e análises estatísticas, sendo crescente o número de trabalhos que estão sendo produzidos, também tem aumentado as discussões sobre as incertezas inerentes aos dados utilizados, as metodologias propostas e os produtos que vem sendo gerados. Lopes (2011) considerando os critérios metodológicos atualmente utilizados para a execução de mapeamentos de suscetibilidades a deslizamentos, e as incertezas inerentes aos diversos métodos tentou contornar esses diversos óbices ao propor uma sequência metodológica que utiliza conceitos que remontam à evolução das encostas e de sua forma, para a obtenção dos valores numéricos de fatores de segurança para as diversas encostas de uma área a ser mapeada. A metodologia proposta por este autor inicia-se no traçado das cicatrizes de deslizamentos (vertentes côncavas) sobre documentos tais como fotos aéreas, e sua transcrição para cartas geológicas dotadas de base topográfica com, no mínimo curvas de nível e rede de drenagem. A seguir deve-se

elaborar perfis longitudinais ao longo da seção central das cicatrizes, agrupando-se essas seções, tendo como ponto comum seu ápice, traçando-se, a seguir, sua envoltória. A análise finaliza-se quando do seccionamento da envoltória, por retas inclinadas com ângulos selecionados, de forma a fornecer os pares altura/ângulo de talude limites estáveis, quando segundo o autor tornar-se-ia possível estabelecer as condições mais prováveis de ocorrência de rupturas, bem como estabelecer a forma das equações que melhor representem as rupturas utilizadas.

Já em relação aos métodos estatísticos mais comuns aplicados no mapeamento de suscetibilidade a deslizamento destaca-se o modelo de regressão logística (Das *et al.*, 2010; Nandi e Shakoor, 2010). Os métodos probabilísticos com análise da frequência relativa também têm sido aplicados em alguns estudos (Pradhan, 2010; Mezughi *et al.*, 2011a; Mezughi *et al.*, 2011b.). A abordagem bayesiana, tem se mostrado cada vez mais valiosa para o mapeamento da suscetibilidade a deslizamento destacando-se entre outros estudos (Neuhauser e Terhorst, 2007; Poli e Sterlacchini, 2007; Sharma e Kumar, 2007; Mathew *et al.*, 2007; Dahal *et al.*, 2008; Pradhan *et al.*, 2010). Como exemplo pode-se citar Lee *et al.* (2002) que realizaram a análise e verificação da suscetibilidade a deslizamentos usando o modelo probabilístico Bayesiano. O local escolhido para o estudo foi a área de Janghung na Coreia, que sofreu danos significativos com os deslizamentos ocorridos relacionados as fortes chuvas deflagradas em 1998. A partir do inventário dos deslizamentos, bem como fatores topográficos tais como o solo, cobertura vegetal e uso do solo, o método proposto foi usado para calcular a classificação de cada um dos fatores. Testes de independência condicional foram realizados para a seleção dos fatores, permitindo a realização de um grande número de combinações destes. Os resultados da análise foram verificados através da localização de um segundo grupo de deslizamentos não englobado na modelagem inicial, sendo que entre as combinações, os melhores resultados estão relacionados as classes de declividade, orientação das vertentes, curvatura, e tipo de material do solo, o que reforça as escolhas habituais destes parâmetros nas análises qualitativas.

Cabe ressaltar que, em relação ao cenário nacional, estão sendo desenvolvidas cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação sob a coordenação do Serviço Geológico do Brasil - CPRM/SGB, em atenção a diretrizes específicas da

Lei Federal 12.608/2012, a qual estabelece a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC (BRASIL, 2012), através de uma parceria técnica entre a CPRM/SGB e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. A metodologia de análise proposta usou dentre a variedade de condicionantes do meio físico três fatores predisponentes de deslizamentos, frequentemente associados à distribuição das cicatrizes de deslizamentos referenciada em bibliografia: declividade, curvatura da encosta e densidade/distância de lineamentos. A declividade e a curvatura foram mapeadas por meio de *software* de geoprocessamento, e os lineamentos foram mapeados em ortofotos e depois tratados em *software* de geoprocessamento com um módulo de densidade *Kernel*. Para as análises posteriores, tem-se para cada um dos parâmetros a categorização do maior número de classes possíveis com representatividade espacial e significado geológico-geomorfológico no município em processo de mapeamento. O fluxograma da Figura 2.4 sintetiza os procedimentos adotados para as análises de suscetibilidade.

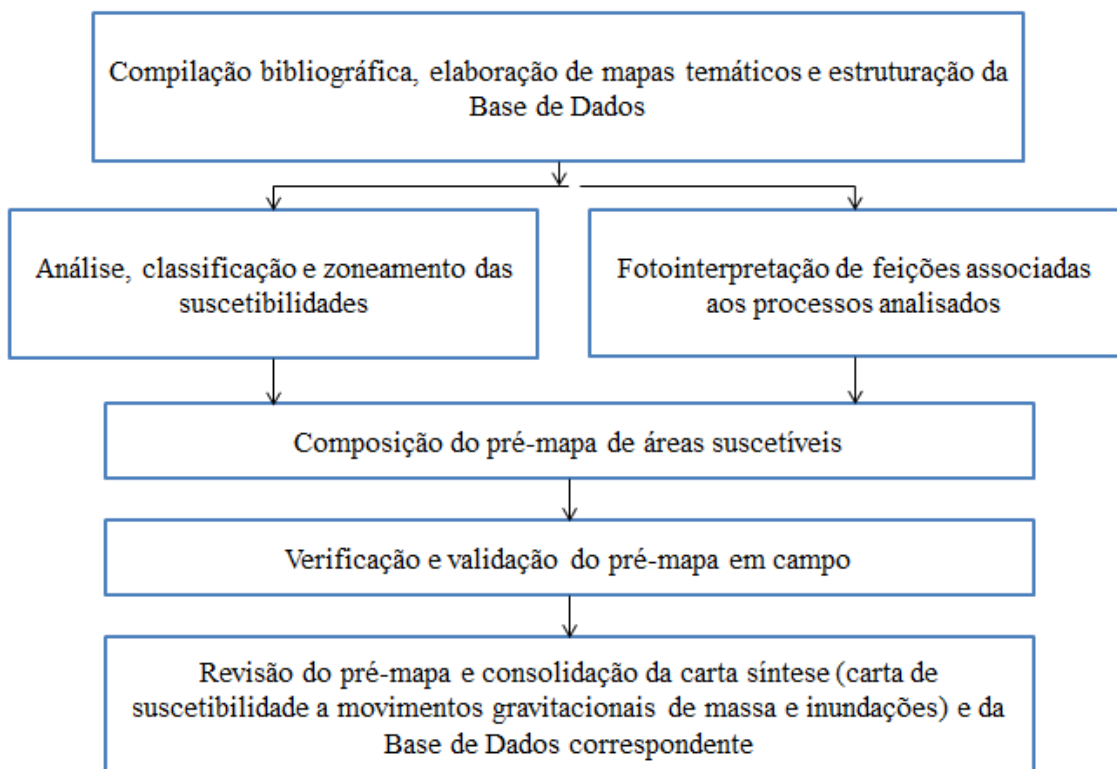


Figura 2.4 – Fluxograma com os procedimentos para análise de suscetibilidade proposto conforme metodologia IPT/CPRM. Fonte: Bitar, O. Y. (2014).

Segundo o “*Guideline*” 2008 do JTC-1, as análises de suscetibilidade baseiam-se em dados de caráter “histórico” (ocorrências anteriores do fenômeno) ou “elementos predisponentes” (geológico / topográfico / geomorfológico / pedológicos). Entretanto, os procedimentos metodológicos baseados em dados históricos, como a metodologia proposta pelo IPT/CPRM e outras com análises estatísticas associadas não garantem a não ocorrência do evento em locais diversos dos considerados, bem como demandam uma base de dados com registro contínuo das cicatrizes no tempo e no espaço, o que ainda inexistente em grande parte do território nacional. Deve-se também atentar para a subjetividade no processo de obtenção dos lineamentos estruturais sobre ortofotos, além da própria identificação das cicatrizes. Por outro lado, o emprego de métodos quantitativos baseados em cálculos usuais de estabilidade que levam a valores numéricos de fatores de segurança são praticamente inexequíveis em grandes áreas, dada a necessidade de dados básicos como parâmetros de resistência, condições de fluxo de águas subterrâneas, entre outros, para cada uma das encostas.

Em síntese, para quaisquer estudos relacionados a análises de suscetibilidade deve-se entender que:

- 1 - Os métodos denominados “qualitativos” e “quantitativos relativos” atuais, de previsão de suscetibilidade a deslizamentos, baseados em elementos geológico/geomorfológicos são subjetivos, pouco precisos e de difícil transporte automático de um local para outro;
- 2 - Que os métodos baseados em critérios “históricos” dependem de um período bastante extenso de observações e que nada garante que locais sem histórico anterior não venham a ter deslizamentos em um determinado momento e;
- 3 - Que os métodos “absolutos” (determinísticos) atualmente empregados para avaliação de estabilidade de taludes específicos, são impraticáveis como método de uso intensivo para essa mesma finalidade, em razão da impossibilidade prática de dispor-se dos dados básicos de uma enorme quantidade de encostas naturais.

2.4.2 CARTAS GEOTÉCNICAS DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO

Com a promulgação da Lei nº 12.608/2012, que instituiu a *Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC* e o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais, lançado em 08/08/2012, tornou-se obrigatório para os municípios a execução de um conjunto de ações que compreendem quatro eixos de atuação: Prevenção, Mapeamento, Resposta e Sistema de Monitoramento e Alerta. No eixo Mapeamento, o Ministério das Cidades é responsável pelo apoio aos municípios para a elaboração de cartas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais, instrumento de planejamento urbano que visa fornecer subsídios para que os novos projetos de parcelamento do solo incorporem diretrizes voltadas para a prevenção dos desastres, especialmente aqueles associados a deslizamentos de encostas, enxurradas, corridas de massa, inundações e processos hidrológicos e geológicos correlatos. Trata-se assim de um instrumento novo cujas metodologias de análise ainda estão em fase de discussão e consolidação. Em 2013, foram realizados estudos pilotos para elaboração da carta geotécnica de aptidão para os municípios de Ouro Preto (MG), São José (SC), Florianópolis (SC), Igrejinha (RS) e Ipojuca (PE), por meio de projetos de cooperação com as Universidades Federais de Ouro Preto, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Pernambuco. Em 2014 foram iniciados os trabalhos em mais 86 municípios dos estados da Bahia, Ceará, Espírito Santo, Minas Gerais, Paraná, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rio Grande Sul, Santa Catarina e São Paulo.

Muitos trabalhos de cartografia geotécnica propriamente ditos foram executados com objetivos distintos, mas geraram informações que podem ser aplicadas na formulação de cartas de aptidão a urbanização, destacando entre eles Pedroto e Barroso (1984), Pejon e Rodrigues (1987), Aguiar e Gandolfi (1990), Paraguassu *et al.* (1991), Lollo e Gandolfi (1991), Anjos *et al.* (1993), Souza e Zuquette (1993), Pinheiro e Dias (1995), Pejon e Zuquette (1995), Xavier (1996), Zuquette e Pejon (1996), Romão e Souza (1996), Brollo *et al.* (1996), Dias *et al.* (1996), Bastos e Alves (1996), Moreira e Souza (1998), Valente *et al.* (1998), Aguiar e Gandolfi (1998), Feres e Lorandi (1998), Lollo (1998), Vedovello e Mattos (1998), Bento e Frota (1998), Santos *et al.* (1998), Campos *et al.* (1999), Collares *et al.* (1999), Augusto Filho *et al.* (1999), Bachion e Rodrigues (1999), Lollo (1999), Coutinho *et al.* (2000), Parizzi *et al.* (2001), Xavier *et al.* (2001),

Ramalho *et al.* (2001), Bacellar *et al.* (2002), Viana *et al.* (2002), Silva *et al.* (2002), Garcia e Rodrigues (2002), Miguel *et al.* (2002), Santos Filho e Souza (2004), Pons e Gonçalves (2004), Pereira *et al.* (2004), Paula e Cerri (2004), Pinheiro *et al.* (2005), Batista Junior *et al.* (2005), Bastos *et al.* (2005), Souza *et al.* (2007), Abreu e Augusto Filho (2007), Melazo *et al.* (2007), Martins *et al.* (2007), Freitas e Campanha (2007), Bastos *et al.* (2007), Rodrigues e Augusto Filho (2008), Xavier e Bastos (2010).

Ressalta-se em relação a cartografia geotécnica que, embora a análise de suscetibilidade estabeleça a indicação de áreas mais adequadas para a ocupação e outras com restrições, a metodologia e escala de análise não permitem o detalhamento que se deve ter na orientação da ocupação urbana propriamente dita (sistemas de espaços públicos e privados - áreas de convívio coletivo, equipamentos comunitários, centros comerciais, vias veiculares, vias de pedestre, espaço construído e sistema de circulação, espaço construído e equipamentos urbanos, sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, etc.), por isso a importância de cartografias específicas voltadas para a definição da aptidão a urbanização.

No caso das áreas consolidadas e consolidáveis com potencial para adensamento e consolidáveis sob condicionantes, geralmente há necessidade de reordenamento urbano, uma vez que as condições do meio físico e o próprio uso e ocupação podem gerar situações de risco pontuais, remetendo à necessidade de integrar as análises dos diagnósticos ambientais, urbanísticos e jurídicos para se chegar a um produto final com orientações que definam:

- Áreas regularizáveis, onde não seriam necessárias intervenções significativas e a titulação das mesmas estaria liberada,
- Áreas regularizáveis sob condições onde seriam necessárias intervenções em número elevado ou cujo porte é significativo para a sua consolidação, condicionando a titulação à execução das intervenções propostas e,
- Áreas caracterizadas como não regularizáveis onde a proposta é que não se deve consolidar a ocupação, em função de impedimentos técnicos e/ou jurídicos, sendo então necessária a remoção da ocupação, caso esta exista, ou definição/proposição de uso específico diferente do habitacional, impedindo a titulação.

A qualidade deste tipo de carta tem grande dependência da quantidade de informações disponíveis ou geradas no processo de mapeamento. Estes produtos devem ser elaborados em escala de detalhe, sendo desejável a escala 1:5.000 ou maior, mas em determinados contextos a informação em escala 1:10.000 pode ser suficiente. Pelas escalas sugeridas e o custo envolvido, em poucos municípios é viável o mapeamento por completo do seu território. Assim, estas cartas devem focar pelo menos as áreas definidas como de expansão urbana, devendo ser ampliadas à medida que surjam novas necessidades ou alteração dos limites definidos em Lei.

A produção de uma carta nessa escala envolve intensos trabalhos de campo, que podem ser precedidos de modelagens, dependendo das bases de informação disponíveis. As informações temáticas básicas consideradas necessárias por Sobreira e Souza (2012) no processo de produção destas cartas são as seguintes:

- Base topográfica ou cadastral (1:5.000 ou maior) em escala que permita a representação precisa das feições e aspectos observados em campo e a geração de cartas geomorfológicas de caráter local,
- Fotografias aéreas, ortofotos e imagens orbitais com resolução compatível com as escalas de trabalho,
- Mapa geológico estrutural também na escala de detalhe para identificação dos principais lineamentos e estruturas que podem condicionar processos geológicos,
- Mapa de materiais inconsolidados (solos residuais e transportados),
- Representação das bacias de contribuição, de forma a permitir avaliar como a configuração do espaço ocupado influencia as condições de drenagem pluvial,
- Identificação dos agentes/feições potencializadoras de risco geológico,
- Identificação de indícios de movimentação dos terrenos,
- Análise dos eventos destrutivos potenciais e impacto deste sobre o meio físico,
- Identificação das áreas de inundação dos canais (revestidos ou em leito natural) com análise de períodos de recorrência,
- Investigações geotécnicas diretas e indiretas com elaboração de perfis esquemáticos em campo, entre outros.

Infelizmente, a maioria das cidades brasileiras não tem estas informações. Quando existe uma base cadastral, geralmente só se tem a restituição das áreas ocupadas, as fotografias aéreas existentes geralmente não têm o nível de detalhe exigido e as imagens orbitais de resolução compatível com a escala adotada ainda têm um custo elevado. Assim, há de se ter investimento por parte dos municípios na elaboração e obtenção destes produtos (aerolevantamento e restituição em detalhe, aquisição de imagens orbitais).

A análise de informações geotécnicas quantitativas, como dados de sondagens, ensaios de laboratório, geofísica, etc. possibilita uma visão prévia do comportamento dos terrenos, principalmente em profundidade (resistência, nível de água, etc.) e facilita em muito os trabalhos de mapeamento e delimitação das unidades geotécnicas. Porém, geralmente os municípios não têm estes dados organizados e sua aquisição depende sempre da boa vontade de empresas para liberação de seus relatórios de sondagens e ensaios.

Um ponto importante no processo de construção dessas cartas refere-se aos produtos que serão gerados, ou seja, quais informações devem ser apresentadas e como serão representadas nas cartas geotécnicas de aptidão à urbanização.

Assim, o que se propõe aqui é que se objetive um produto cartográfico final com unidades representando áreas com aptidão à ocupação, mas que devem ser classificadas do ponto de vista geológico-geotécnico como:

- 1 - Alta Aptidão a Urbanização,
- 2 - Média Aptidão a Urbanização e,
- 3 - Baixa a Inexistente Aptidão a Urbanização.

Independentemente do método e material utilizado na elaboração do mapeamento e dos nomes que tenham as unidades ao fim do trabalho, deve ser elaborado um documento síntese com as unidades acima sugeridas, apontando as restrições em cada local (relacionadas ao meio físico ou legais) e os critérios gerais de ocupação. A grande vantagem de um documento deste tipo é a possibilidade de utilização mais direta pelas municipalidades, instâncias públicas responsáveis pelo planejamento urbano, outros profissionais ou mesmo leigos. Na maioria dos trabalhos existentes é possível, por vezes

agregando um pouco mais de informação, derivar uma carta deste tipo a partir das unidades de mapeamento determinadas.

2.4.3 CARTAS GEOTÉCNICAS DE RISCO EM ÁREAS URBANAS

As cartas de risco geológico são instrumentos que apresentam a distribuição, o tipo e o grau dos riscos geológicos, visando à definição de prevenção de acidentes (Cerri e Amaral, 1998). De uma forma mais ampla, são produtos da análise da ocupação territorial e as zonas de suscetibilidade a ocorrência de processos geológicos. As cartas de risco em áreas urbanas avaliam os danos potenciais à ocupação decorrentes de fenômenos naturais ou induzidos pelo uso do solo, hierarquizando unidades, setores e pontos quanto ao grau ou iminência de perda, buscando a proposição de medidas corretivas e erradicadoras das situações de risco.

Via de regra, é comum se iniciar as discussões sobre identificação dos riscos naturais no Brasil com um resgate histórico, mesmo que breve, da ocorrência de desastres naturais no território nacional. O Brasil já foi palco de muitos deles destacando-se entre outros, o do Vale do Paraíba do Sul (MG e RJ) em 1948 com 250 vítimas fatais, o de Caraguatatuba (SP) em março de 1967 com pelo menos 120 vítimas, o da Serra das Araras (RJ) em janeiro de 1967 com no mínimo 1700 vítimas fatais, o de Vitória (ES) em 1985 com 93 vítimas e o de Petrópolis (RJ) em fevereiro de 1988 com 171 vítimas fatais registradas oficialmente. Mais recentemente, as inundações em novembro de 2008 e setembro de 2011 no Vale do Itajaí em Santa Catarina e em junho de 2010 na região Nordeste, as enxurradas e deslizamentos em janeiro de 2011 na região serrana do Rio de Janeiro, as cheias neste mesmo ano na Região Norte, a seca severa no Semiárido Nordeste em 2012, e as inundações no Espírito Santo em 2013/2014 mostraram a urgente necessidade de continuarmos a cartografia dos riscos em escala adequada e desenvolvermos ainda mais instrumentos que possam de fato contribuir para a prevenção e mitigação de riscos e resposta a desastres.

Condições geológicas, geomorfológicas, climáticas e a contínua expansão desordenada da urbanização levam a situações extremamente críticas por todo o planeta. No Brasil não é diferente e diversos fatores contribuem para a ocorrência dos desastres naturais,

tais como as características do relevo, que associados aos contextos geológicos favorecem a ocorrência natural de diferentes processos geomecânicos e hidrológicos. O processo de ocupação, muitas vezes realizado de forma inadequada e sem nenhuma forma de planejamento, aumenta a vulnerabilidade das populações, bens e infraestrutura, promovendo uma combinação perigosa. Soma-se a esse contexto a atuação de sistemas atmosféricos distintos em diferentes épocas do ano, que além de deflagrarem os processos mencionados, ainda podem causar tornados, chuvas intensas e concentradas, granizos, secas e estiagens prolongadas, resultando em danos severos à sociedade. Esta conjunção de fatores vem ressaltar a importância da consolidação de programas e sistemáticas relacionadas a identificação e monitoramento dos riscos no país.

O conhecimento dos riscos é composto pela identificação, avaliação e mapeamento das suscetibilidades, das vulnerabilidades, dos perigos e dos riscos propriamente ditos, a partir da avaliação e monitoramento dos processos morfodinâmicos e de seus fatores condicionantes, pela comunicação do risco e pela capacitação dos componentes do sistema, sendo o mesmo uma etapa indispensável para o estabelecimento de prioridades e metas para a formulação de ações para sua prevenção e mitigação.

No que concerne ao cenário brasileiro, a comunidade técnico-científica teve durante as três últimas décadas, uma ação importante em relação a identificação e monitoramento dos riscos naturais, com a realização de pelo menos um evento anual tratando a temática em Simpósios e Congressos nacionais nas áreas de Geologia e Geologia de Engenharia ou em eventos específicos, de caráter local, regional, nacional e internacional, que associados aos recorrentes desastres relacionados a deslizamentos e inundações, impulsionaram o desenvolvimento de inúmeros trabalhos e muitos procedimentos metodológicos, bem como o surgimento de centros produtores deste tipo de cartografia, tais como a Universidade Federal do Rio de Janeiro, EESC-USP São Carlos, Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, dentre outros, além da formação de importantes grupos de pesquisa, tendo como pioneiro o IPT/DIGEO (São Paulo), produzindo e irradiando conhecimentos técnicos de avaliação e gestão de risco, seguido por grupos no Rio de Janeiro (GEORIO), Recife (UFPE), Florianópolis (UFSC e CEPED-SC), Rio Claro (UNESP), entre outros. A

profusão de trabalhos, geralmente produtos de pesquisas acadêmicas e quase sempre desenvolvendo, testando ou adaptando procedimentos metodológicos, possibilitou o mapeamento de um considerável número de cidades e regiões, cujo histórico resumido pode ser visualizado pela sequência de trabalhos analisados para este estudo apresentada a seguir.

Sobreira (1990) apresenta o levantamento de áreas de risco geológico no espaço urbano de Ouro Preto. Zuquette *et al.* (1991) elaboraram a carta de risco da região de Ribeirão Preto (SP), na escala 1:50.000. Zuquette *et al.* (1992) propõem uma sistemática para elaboração de cartas de riscos para fins de planejamento regional. Nishiyama e Zuquette (1992) apresentam a caracterização preliminar de situações de riscos geológicos no município de Uberlândia - MG a partir de trabalho de mapeamento geotécnico. Zuquette *et al.* (1993) apresentam algumas propostas metodológicas para elaboração de cartas de risco e de "hazards". Macedo *et al.* (1993) apresentam a análise do zoneamento de risco a movimentos de massa em encostas ocupadas afetadas pela construção de depósitos subterrâneos de GLP, em São Sebastião-SP. Amaral *et al.* (1993) apresentam a aplicação de um SIG alternativo ao gerenciamento de áreas de risco geológico no Rio de Janeiro. Gonçalves e Brollo (1993) apresentam o resultado do mapeamento geotécnico em favelas do município de São Paulo, setorização do risco e consolidação dos terrenos. Cerri *et al.* (1995) trazem considerações sobre a representação cartográfica de riscos geológicos. Augusto Filho e Wolle (1996) propõem uma metodologia para elaboração de cartas de risco de deslizamentos, utilizando-se como exemplo o município de Ilhabela, SP. Liporaci *et al.* (1996) apresentam a impotência do mapeamento geotécnico e elaboração da carta de riscos geológicos como subsídios na prevenção de acidentes naturais em zonas urbanas. Amaral e Barros (1996) discorrem sobre os condicionantes geológicos e medidas atenuadoras do deslizamento da encosta da clínica Santa Geneveva em 1995. Fujimoto *et al.* (1996) apresentam a identificação de setores de risco a movimentos de massa no município de São Sebastião-SP. Magro *et al.* (1996) apresentam o cadastramento de risco a deslizamento e inundações dos núcleos habitacionais do parque estadual da Serra do Mar no município de Cubatão. Santos *et al.* (1996) apresentam a análise de risco de movimentos de massas em uma encosta na cidade de Natal-RN. Lara *et al.* (1996) apresentam o mapeamento de risco de acidentes associados a deslizamentos na favela do morro da Mangueira, Rio de Janeiro. Carvalho

e Hachich (1997) propõem ações para o gerenciamento de Riscos Geotécnicos em Encostas Urbanas. Pellerin, et al, 1998 discorrem sobre a utilização da cartografia geológica e geomorfológica como base para uma cartografia de riscos, tendo como exemplo de aplicação o sul do estado de Santa Catarina. Bastos et al, *et al.* (1998) apresentam o zoneamento de áreas de risco em ocupação de encosta da serra gaúcha. Liporaci e Zuquette (1999) apresentam a caracterização geológica, diagnóstico ambiental e carta de riscos do município de Poços de Caldas (MG). Sobreira (2001) apresenta a avaliação de processos geológicos e análise de riscos em Mariana – MG. Tominaga *et al.* (2001) discorrem sobre a avaliação de riscos geológicos para aplicação em instrumentos de gestão ambiental. Souza *et al.* (2001) apresentam a elaboração de uma carta de riscos associados a movimentos gravitacionais de massa em parte da serra de Ouro Preto (MG). Cerri *et al.* (2004) apresentam o mapeamento de risco em áreas de ocupação precária nas zonas norte, leste e oeste do município de São Paulo (SP). Vedovello *et al.* (2005) propõem um modelo conceitual e de programação para a obtenção e atualização automática de cartas de riscos em sistemas gerenciadores de informações geoambientais-SGIGS. Amaral (2005) apresenta a experiência do Rio de Janeiro em 2005 no mapeamento de risco geológico a deslizamentos. Ogura *et al.* (2005) apresentam o levantamento de áreas de risco de inundação, deslizamento e erosão na região administrativa de Campinas. Pereira *et al.* (2005) discorrem sobre a gestão do risco geológico em Belo Horizonte – MG, suas respectivas ações e resultados obtidos. Nogueira *et al.* (2005) realizaram um diagnóstico expedito da gestão de risco em encostas nos municípios brasileiros. Santoro *et al.* (2005) propõem a hierarquização das situações de riscos associados a deslizamentos e inundações no município de Rio Grande da Serra, SP como subsídio para o planejamento de ações preventivas e emergenciais. Augusto Filho (2006) traz uma das primeiras discussões no país, tendo como ensaio o município de Caraguatatuba (SP), sobre a construção de cartas de risco de deslizamentos e planos de seguro no Brasil. Gomes *et al.* (2007) apresentam o uso de técnicas de geoprocessamento no zoneamento de áreas de risco de deslizamento em Ouro Preto – MG. Oliveira *et al.* (2007) discutem a elaboração de uma carta de risco de dano por colapso de solos para a área urbana de Ilha Solteira (SP), na escala 1:10.000. Pressinotti *et al.* (2007) apresentam a construção do sistema visualizador de mapeamentos de áreas de riscos (A movimentos de massa e inundações) do estado de

São Paulo. Salomão e Amaral (2007) apresentam o uso de sistema de informações georreferenciadas aplicado ao mapeamento de áreas de riscos de deslizamento de encostas. Fernandes e Rocha (2007) propõem uma metodologia para a preparação de mapas de percepção de riscos ambientais para a educação nas escolas. Souza *et al.* (2008) discorrem sobre a aplicação da geologia de engenharia na redução de risco geológico urbano em Itapeçerica da Serra – SP. Soares *et al.* (2008) apresentam o mapeamento de riscos em encostas ocupadas da comunidade Saturnino de Brito, João Pessoa. Nogueira (2008) discute a relação entre planos municipais de redução de riscos, gestão de riscos no ambiente urbano e mudanças climáticas. Gusmão Filho *et al.* (2008) discorrem sobre o mapeamento de riscos e intervenções de engenharia nos municípios de Camaragibe e Olinda, Pernambuco. Alameddine *et al.* (2008) apresentam o uso de sistemas de informação geográfica no âmbito da elaboração dos planos municipais de redução e erradicação de riscos nos municípios de Osasco e Taboão da Serra, SP. Silva *et al.* (2008) fazem uma análise comparativa dos planos municipais de redução de risco - PMRR dos municípios de Osasco, Jundiaí, Guarujá e Jacareí. Brito *et al.* (2008) apresentam a avaliação do risco urbano e o papel do agente de defesa civil da CODECIR - Recife. Mirandola e Macedo (2008) apresentam o uso da análise do tecnógeno na elaboração de carta de risco de deslizamento: o caso da favela real parque, São Paulo. Souza *et al.* (2008) apresentam os resultados da elaboração do plano municipal de redução de riscos de Vitória – ES. Benedito *et al.* (2008) inserem considerações sociais na determinação de zonas de alto risco ambiental na cidade de Maceió. Tominaga *et al.* (2008) propuseram a avaliação do perigo de deslizamentos por meio da análise de múltiplos fatores geoambientais. Campos *et al.* (2008) trazem um estudo aplicado cujo resultado foi a redução do risco geológico na regional Barreiro – Belo Horizonte. Brollo *et al.* (2008) discutem a análise dos condicionantes associados às áreas de risco presentes em Ilhabela (SP). Corteletti e Sobreira (2010) propuseram uma metodologia para a determinação de riscos associados às causas de acidentes em dutos de transporte de gás natural. Ribeiro *et al.* (2010) fizeram análise do risco e sua representação cartográfica em áreas de Manaus – AM. Brollo *et al.* (2010) fizeram um relato sobre desastres naturais e riscos em São Luiz do Paraitinga (SP). Robaina *et al.* (2010) discorreram sobre a contribuição geográfica ao estudo das áreas de risco no município de Caxias do Sul/RS: análise espaço-temporal entre 1980 e 2007. Santoro *et*

al. (2010) realizaram a correlação entre chuvas e deslizamentos ocorridos durante a operação do plano preventivo de defesa civil em São Paulo, SP. Andrade *et al.* (2010) utilizaram o levantamento de ocorrências de inundação em registros de jornais como subsídio ao planejamento regional e ao mapeamento de risco. Faria e Augusto Filho (2010) realizaram o mapeamento de perigo associado a deslizamentos em encostas urbanas utilizando o processo de análise hierárquica (AHP): Prevenção de Riscos e Desastres.

Com a criação do Ministério das Cidades em janeiro de 2003 e quase simultaneamente da Coordenação de Prevenção de Riscos vinculada à Secretaria Nacional de Programas Urbanos, a identificação de risco deixou de estar relacionada exclusivamente aos projetos acadêmicos, ou a programas e ações isoladas de algumas cidades no Brasil. Em 12 anos de programa estabeleceu-se uma ação com alguma continuidade, que embora incipiente e pouco respaldada politicamente, foi capaz de desenvolver uma ação orçamentária denominada “Apoio à Prevenção de Riscos em Assentamentos Precários”, cujo ponto de partida foi um diagnóstico de aproximadamente 61 cidades com ocorrência de desastres e/ou vítimas fatais, o que possibilitou naquele momento a identificação de um primeiro cenário a ser considerado para o estabelecimento de prioridades em relação a realização da identificação e mapeamento de risco em escala de detalhe (1:2.500) de assentamentos precários em áreas de encostas e margens de rios, bem como a capacitação dos técnicos municipais ligados à defesa civil, a execução de obras e controle urbano e a elaboração de Planos Municipais de Redução de Risco – PMRR, que até o primeiro semestre de 2015 foi elaborado em aproximadamente 100 municípios do país.

Outras ações relacionadas a identificação do risco natural podem ser descritas como a realizada pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, o serviço geológico brasileiro, que ficou encarregada de delimitar as áreas com maior predisposição a problemas geológicos e hidrológicos em 286 cidades brasileiras até o final do ano de 2012, em caráter emergencial, para dar suporte ao monitoramento de riscos do CEMADEN e CENAD, sendo que o objetivo principal foi atingir 821 municípios até 2014 subsidiando, assim, a definição das áreas que deverão ser cartografadas na escala de detalhe para a setorização do risco (cadastro) nestes

municípios, em programas específicos para esta finalidade.

A estas ações voltadas para a identificação dos riscos naturais soma-se as realizadas por três estados brasileiros. No Estado do Rio de Janeiro o Núcleo de Análise e Diagnóstico de Escorregamento do Departamento de Recursos Minerais (DRM) avançou significativamente no seu programa de mapeamento do risco associado a deslizamentos totalizando 85 municípios mapeados segundo a sua própria conceituação e metodologia até o ano de 2013. No Estado do Espírito Santo por intermédio da Secretaria de Saneamento, Habitação e Desenvolvimento Urbano – SEDURB concluiu-se em 2014 a execução do Plano Diretor de Águas Pluviais/Fluviais (PDAP), do Plano Municipal de Redução de Risco Geológico (PMRR) e de Projetos de Engenharia para 17 Municípios do Estado, com a formulação de estratégias, diretrizes e procedimentos para ampliar o conhecimento sobre os processos geodinâmicos visando, conseqüentemente, reduzir os riscos e minimizar o impacto relacionado aos desastres. Já no Estado de São Paulo a identificação do risco iniciou-se na década de 1980, quando o Governo Estadual criou, em Cubatão, a Comissão de Restauração da Serra do Mar, que montou um primeiro sistema de gestão e monitoramento que propiciou os estudos de correlação chuva x deslizamentos desenvolvidos pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo – IPT (Tatizana *et al.*, 1987), sendo o instrumento mais representativo implantado em 1988, com o nome de Plano Preventivo de Defesa Civil - PPDC, para os municípios da Baixada Santista e Litoral Norte do estado de São Paulo. Atualmente, o PPDC em São Paulo está atuante em 129 municípios, sob a coordenação da Defesa Civil Estadual.

Outro importante instrumento onde a necessidade de identificação do risco se faz presente foram os Planos Diretores municipais para as áreas urbanas, que foram fortemente incentivados após a regulamentação da Lei Federal 10.257/2001, conhecida como Estatuto das Cidades, mas que, deixaram de observar e recomendar diretrizes claras e embasadas no conhecimento técnico do meio físico dos municípios para evitar o surgimento de novas áreas de risco, distorção esta que pretende-se corrigir com a Lei Federal 12.608 do ano de 2012.

Existem dezenas de metodologias propostas para análise de risco, mas que na prática possuem aplicações localizadas, ou cujos resultados não permitem uma gestão efetiva dos problemas, por englobar, por problemas na escala de análise, um sem número de

pessoas em áreas com graduações de perigo/risco sobre as quais não estão submetidas. Sob esta ótica pode-se aqui destacar que de maneira geral análises de risco podem ser baseadas em dois grupos de avaliações. O primeiro grupo engloba as análises qualitativas e/ou subjetivas, que necessariamente prescindem da qualidade das observações de campo e da experiência dos profissionais envolvidos (conhecimento especialista). Já o segundo grupo, neste estão englobadas as abordagens integradas ou sintéticas, a partir de métodos quantitativos ou semiquantitativos destacando-se entre os principais:

- Índices ou mapas de parâmetros - Os fatores de análise são combinados usando pesos para as camadas; análise estatística univariável (ou bivariável) - cada fator é combinado com o mapa de eventos anteriores (inventário de eventos);
- Análise estatística multivariável - O estudo é realizado através de “grids”;
- Análise determinística – Aplicável para soluções detalhadas, baixa subjetividade e que pode ser complementada com avaliações probabilísticas e determinar o perigo;
- Redes neurais artificiais - Procura relacionamentos matematicamente não identificáveis, envolvendo conceitos de probabilidade espacial incluindo nos dados de entrada fatores deflagradores.

Nos últimos anos alguns pesquisadores têm trabalhado com a possibilidade de se gerar bancos de dados digitais confiáveis e representativos na tentativa de obter correlações mais quantitativas e/ou objetivas, orientadas por “parâmetros estatísticos ou semi-estatísticos”, com o intuito de facilitar e agilizar os trabalhos que envolvem análise e o zoneamento de riscos. Entretanto, essas tentativas continuam esbarrando, por exemplo, nas diferenças conceituais e conseqüentemente de aplicação de métodos entre a literatura nacional e internacional.

Consideradas aqui as proposições conceituais apresentadas no manual JTC 1, 2008 temos:

“Perigo (Hazard) é uma condição com o potencial de causar uma consequência indesejável. A descrição de um perigo de deslizamento deve incluir o local, volume (ou área), classificação e velocidade dos deslizamentos em potencial e materiais destes resultantes, e a probabilidade de sua ocorrência dentro de um período de tempo

determinado.

Elementos em risco (*Elements at risk*) se refere a população, prédios e construções, atividades econômicas, serviços públicos, outros tipos de infraestrutura e valores do meio ambiente na área que é potencialmente afetada pelo perigo do deslizamento.

Vulnerabilidade (*Vulnerability*) – O grau de perda para um dado elemento ou grupo de elementos dentro da área afetada pelo deslizamento, expressa numa escala de zero (sem perda) até um (perda total). Para propriedades, a perda será o valor do dano relativo ao valor da propriedade; para pessoas, será a probabilidade de uma vida em particular (elemento em risco) ser perdida, dado que a pessoa seja afetada pelo deslizamento.

Risco (*Risk*) – uma medida da probabilidade e severidade de um efeito adverso à saúde, propriedade ou meio ambiente. O risco é frequentemente estimado pelo produto da probabilidade de um fenômeno de uma dada magnitude multiplicado por suas consequências. No entanto, uma interpretação mais geral de risco envolve uma comparação da probabilidade e consequências numa forma que não calcule o produto. Para *Análise Quantitativa de Risco* o uso da intensidade do deslizamento é recomendado.

Para uma análise comparativa, a seguir estão apresentados os conceitos básicos para análise do risco do livro “Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios” (Brasil, 2007), a partir do qual pela primeira vez no país foi possível aplicar a mesma metodologia de análise em dezenas de municípios:

“Evento é um fenômeno com características, dimensões, e localização geográfica registrada no tempo, sem causar danos econômicos e/ou sociais.

Perigo é uma condição ou fenômeno com potencial para causar uma consequência danosa.

Vulnerabilidade é o grau de perda para um dado elemento, grupo ou comunidade dentro de uma determinada área passível de ser afetada por um fenômeno ou processo.

Suscetibilidade indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em uma dada área, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência.

Risco é a relação entre a possibilidade de ocorrência de um dado processo ou fenômeno, e a magnitude de danos ou consequências sociais e/ou econômicas sobre um dado elemento, grupo ou comunidade. Quanto maior a vulnerabilidade, maior o risco.

Mas onde estão as diferenças conceituais, já que ambas proposições estão alinhadas conceitualmente, a princípio?

Entende-se aqui que as diferenças e os inúmeros problemas relacionados às confusões conceituais que ainda permeiam, estão na forma de obtenção dos dados em ambas as análises, e na forma de classificação do risco. Na primeira o procedimento é necessariamente algébrico, e na segunda a análise é necessariamente cadastral, por meio de visitas de campo na escala de lote, onde todos os dados são levantados. Na metodologia proposta em JTC 1 (2008), uma extensa base de dados temáticos e cadastrais em escalas de detalhe é necessária, enquanto na segunda metodologia um extenso trabalho de campo aplicado e equipe técnica especializada se fazem necessários. Assim, algumas questões devem ser consideradas:

- As análises de perigo limitam-se aos condicionantes do meio físico não incorporando a ação antrópica como indutora de movimentos de massa e/ou reducionista em relação a estes, já que o processo de ocupação e urbanização por vezes os reduzem ou os eliminam.

- A comparação de ambas as metodologias é limitada, já que uma propõem estudos a partir do meio físico e a partir de bases de dados em escalas ainda não comuns no território brasileiro, e a outra foi criada especificamente para o reconhecimento de áreas com maior possibilidade de ocorrências de movimentos de massa e inundações, tendo como foco inicial assentamentos precários, onde inexitem quaisquer bases cartográficas cadastrais e temáticas que por ventura pudessem permitir correlações algébricas. Em contrapartida, enquanto a análise na escala de cadastro proposta em Brasil (2007) possibilita a proposição de ações mais efetivas e a curto prazo em relação ao reconhecimento de eventuais problemas, a avaliação proposta em JTC1 (2008) não propõe a validação dos dados gerados após os procedimentos cartográficos, o que além de dificultar a proposição de medidas emergenciais, exigiria para a proposição de intervenções estruturais, que ocorram necessariamente visitas de campo na mesma

escala de cadastro da metodologia proposta em Brasil (2007).

- Os elementos em risco descritos em JTC1 (2008) são avaliados na metodologia de Brasil (2007), individualmente em campo, bem como as tipologias de processos geodinâmicos com suas respectivas localizações e volumes;

- O grau de perda para um dado elemento em Brasil (2007), dentro da área afetada pelo deslizamento, é avaliado principalmente em relação às construções, por meio da análise de seu padrão construtivo, o que não exclui a possibilidade da determinação de intensidades de eventuais danos, para cada setor e/ou domicílio inserido nestes, alinhando as propostas metodológicas;

- A probabilidade da ocorrência de um fenômeno dentro de um período de tempo determinado (adotado no Brasil como 1 ano para englobar um período seco e um de chuva) é avaliado em Brasil (2007) através da setorização que considera, principalmente, conforme os critérios descritos para determinação dos graus de risco, os condicionantes geológico-geotécnicos e as evidências de instabilidade.

- A classificação do risco conforme definido em JTC1 (2008) é resultado da relação algébrica direta entre o Perigo, a Vulnerabilidade e a utilidade e/ou valor do elemento exposto. Já a classificação do risco em Brasil (2007) é resultado de uma análise subjetiva, mas especialista, que considera ao mesmo tempo o perigo, analisado indiretamente pelos indícios de movimentos de massa, pela vulnerabilidade do elemento exposto a partir das análises que consideram a tipologia das edificações, a distância em relação aos taludes, a presença de água, esgoto etc., mas que não agregam à composição do risco a utilidade e/ou custo do elemento exposto. Na verdade, a análise em relação aos custos é realizada sob outro foco, pois para cada setor de risco hoje delimitado associa-se uma proposta de intervenção, com cálculo do custo em relação a sua execução.

O que é possível afirmar é que, independente da proposta metodológica, o zoneamento das áreas sujeitas à ocorrência de eventos perigosos dependerá, ainda por um longo tempo, do conhecimento especialista para o levantamento dos atributos que influenciam na predisposição e deflagração dos fenômenos; para a avaliação e delimitação da variação espacial das condições dos terrenos e a distribuição espacial dos problemas; para a avaliação das interferências impostas pela ação antrópica, seja como indutora de

movimentos de massa, seja minimizando a possibilidade de ocorrência destes; para atendimentos de emergência em períodos de chuva, e remoção de famílias e/ou monitoramento sistemático nos municípios, entre outras ações.

2.5 CONTEXTUALIZAÇÃO FINAL DO TRABALHO

A cartografia geotécnica no Brasil já atingiu um nível de excelência no domínio das técnicas e procedimentos de mapeamento, gerando produtos finais dos mais diversos, tanto por questões metodológicas, como por particularidades locais do meio físico em estudo, quanto por questões relacionadas aos materiais e recursos disponíveis. Esta diversidade traz algumas dificuldades quando se quer realizar uma análise mais geral ou se comparar situações em diferentes partes do país. Desta forma, este ensaio pretende colocar em discussão alguns pontos de interesse da atuação da cartografia geotécnica no âmbito do planejamento e gestão urbana, no sentido de se buscar uma maior uniformização nos objetivos e resultados dos trabalhos desenvolvidos.

Embora os eventos catastróficos como os ocorridos no Brasil chamem a atenção e comovam a população e autoridades, uma real política de redução de riscos e das consequências dos eventos naturais passa por medidas preventivas e, principalmente, de planejamento e reordenamento urbano, considerando aqui o quadro atual da grande maioria das cidades brasileiras.

O Ministério do Planejamento incluiu no programa orçamentário (PPA 2012-2015) o programa Gestão de Riscos e Resposta a Desastres, envolvendo os ministérios da Integração Nacional, de Ciência e Tecnologia e de Minas e Energia. Dentre os objetivos deste programa, estão o desenvolvimento de mapeamentos da suscetibilidade a processos destrutivos nos municípios com histórico de acidentes/desastres naturais a ser desenvolvido pela CPRM–Serviço Geológico do Brasil/MME, elaboração de cartas geotécnicas nos municípios críticos a cargo da Secretaria Nacional de Programas Urbanos/MCidades, mapeamento de risco em áreas ocupadas sob a responsabilidade da Secretaria Nacional de Defesa Civil/MIN; intervenções estruturais para prevenção de risco em encostas (Secretaria Nacional de Programas Urbanos/MCidades); obras emergenciais para redução do risco (Secretaria Nacional de Defesa Civil/MIN), além da implementação do Sistema Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais

sob a responsabilidade do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN).

Neste contexto, têm-se desenvolvido muitas discussões e reuniões técnicas com representantes dos órgãos federais objetivando a definição de medidas e ações que contribuam para o cumprimento dos objetivos estabelecidos. A proposição aqui apresentada busca fomentar o início da discussão sobre a atuação da cartografia geotécnica nestes programas, objetivando uma maior padronização dos procedimentos adotados nos diversos níveis (regional, local e de detalhe), o estabelecimento de bases mínimas para os mapeamentos e, principalmente, que tipo de produto se pretende ter e quem será o usuário direto.

O conceito de mapeamento com detalhamento progressivo pode ser adaptado nas práticas de cartografia geoambiental e geotécnica no planejamento territorial, determinando estudos mais gerais e regionais (cartas geoambientais diversas e cartas geotécnicas de suscetibilidades), estudos locais e orientadores para o uso e ocupação do solo urbano (cartas geotécnicas de aptidão à urbanização) e estudos e projetos pontuais que busquem a mitigação ou erradicação dos riscos já existentes (cartas geotécnicas de risco geológico).

Assim como variam as escalas dos níveis hierárquicos, os objetivos destes estudos também apontam para níveis cada vez mais de detalhe.

- Cartas geoambientais envolvem todo o processo de obtenção, análise, representação, comunicação e aplicação de dados e informações do meio físico, considerando-se as potencialidades e fragilidades naturais dos terrenos, bem como os perigos, riscos, impactos e conflitos decorrentes da interação entre as ações humanas e o ambiente fisiográfico, podendo ou não incorporar elementos bióticos, antrópicos e socioculturais em sua análise e representação (Vedovello, 2004). Nesta concepção a cartografia geotécnica estaria incluída no escopo geral da cartografia geoambiental, mas em escalas específicas. Podem ser empregadas direta ou indiretamente como instrumentos de gestão ambiental de empreendimentos (estradas, indústrias, aterros sanitários, Planos Diretores Municipais, Zoneamento Ecológico-Econômico, oleodutos, gasodutos e loteamentos, minerações, hidrelétricas, etc.) e de regiões geográficas como bacias hidrográficas, províncias minerais, regiões metropolitanas etc.

- Cartas geotécnicas de suscetibilidade podem subsidiar importantes instrumentos de planejamento tais como: os planos diretores e suas respectivas revisões, planos de ordenamento territorial, planos metropolitanos, zoneamentos ambientais, lei de uso e ocupação do solo, gestão de bacias hidrográficas, zoneamentos ecológico-econômicos, etc.

- Cartas geotécnicas de aptidão à urbanização devem dar suporte aos projetos de urbanização e consolidação urbana dos municípios, e podem estar associadas à lei de tributação de imóveis, outorga onerosa, utilização compulsória, planos de desenvolvimento local integrado, Planos Globais específicos – Prefeitura de Belo Horizonte, Favela-bairro, agora denominado Plano Municipal de Integração de Assentamentos precários – Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro, Morar Carioca - Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro, Planos de Intervenção de Interesse Social – Prefeitura de Contagem - MG, Projeto Terra – Prefeitura Municipal de Vitória, Planos de Regularização Fundiária, Planos Locais de Habitação de Interesse Social, etc.

- Cartas geotécnicas de risco devem também estar associadas soluções de engenharia, intervenções estruturais ou não estruturais subsidiando instrumentos de planejamento e gestão de risco tais como planos municipais de redução de risco geológico, planos de contingência, planos preventivos de defesa civil, sistema de alerta/alarme, etc.).

Esforços devem ser feitos no sentido de se caminhar para uma padronização da apresentação dos resultados (cartas, unidades de análise, relatórios), uma vez que com a variedade de procedimentos e representações hoje existentes dificulta ou mesmo impossibilita a comparação entre os casos de estudo. Aqui são propostas unidades de mapeamento, mas deve-se discutir a questão com maior profundidade de forma a se chegar a um consenso. O fato é que iniciativas bem-sucedidas como os Planos Municipais de Redução de Risco e os Planos Preventivos de Defesa Civil só puderam ser implementados a partir do momento que se estabeleceu a padronização de procedimentos tornando-os mais facilmente replicáveis e exequíveis pelas municipalidades e instâncias públicas responsáveis. Levando-se em conta que o planejamento urbano e a gestão de riscos são de responsabilidade e financiada pelo Estado (órgãos federais, estaduais e municipais), esta uniformização torna-se imprescindível no momento.

2.6 BANCOS DE DADOS GEOREFERENCIADO, GEOPROCESSAMENTO E SIG

O termo Geoprocessamento abrange “um poderoso conjunto de ferramentas para coleta, armazenamento, recuperação, transformação e visualização de dados espaciais sobre o mundo real” (Burrough e McDonnell, 1998). Normalmente, quando observamos o meio que nos cerca, tentamos de alguma forma impor uma ordem no que vemos, buscando organizar e compreender as informações que estamos adquirindo. Uma das maneiras que encontramos para tal compreensão é enfatizar as estruturas aparentemente estáveis que possuem certa funcionalidade. Ao fazermos isso estamos simplesmente estabelecendo “sistemas” com uma estruturação básica. Este artifício é utilizado pelos geocientistas quando fazem menção aos sistemas urbanos, sistemas agrícolas, sistemas sociais, ecossistemas etc.

O conceito de sistema propriamente dito não é recente, podendo-se destacar Chorley e Kennedy (1971) *in* Xavier-da-Silva (2001) ao definirem sistema como um conjunto estruturado de objetos e/ou atributos apresentando limites, partes componentes, funções internas e externas.

Muitas são as maneiras de se classificar os sistemas de geoprocessamento. Uma das classificações é a de Rodrigues (1988), que os diferencia em aplicativos, especialistas e de informação.

Os Sistemas Aplicativos são representados por um grupo de programas que tem por função realizar operações associadas a atividades de projeto, análise, avaliação e planejamento, largamente utilizados nas áreas de mineração, urbanismo e transportes.

Os Sistemas Especialistas são os sistemas computacionais que requerem o desenvolvimento de técnicas de tratamento quantitativas, para a interpretação ou inferência do comportamento de variáveis distintas (Meira, 1996). Empregam o conhecimento na solução de problemas, emulando o desempenho de um especialista atuando em uma dada área do conhecimento.

Já os Sistemas de Informação, referidos também através da terminologia consagrada como GIS (*Geographic Information System*), são os sistemas capazes de capturar, gerenciar, manipular e analisar dados de fontes diversas, referenciados espacialmente,

reestruturando-os e apresentando-os para a solução de problemas complexos de planejamento e gerenciamento. Através desta ferramenta, é possível realizar análises complexas, com a integração de dados de diversas fontes e escalas, criar banco de dados georeferenciados, portadores de campos que indicam a localização das entidades neles armazenadas, além de produzir mapas através das técnicas da cartografia digital e realizar operações entre mapas através da álgebra de mapas. As funções disponíveis nos SIG permitem ainda a realização de análises espaciais através dos atributos espaciais e não espaciais das entidades gráficas armazenadas na base de dados espaciais.

Dessa forma, a abordagem metodológica a ser utilizada baseou-se inicialmente na confecção de uma cartografia geoambiental que pudesse ser realizada em diferentes escalas e aplicada a diferentes níveis de detalhe. Em termos gerais, estudos de reconhecimento do território ocorrem em escalas regionais (1:50.000 a 1:25.000), com menos detalhes. No entanto, quando pretende-se tornar operacional a visão dos ambientes como sistemas, tratando de assuntos geológico-ambientais, percebe-se que é necessário manipular e organizar uma grande quantidade de informações que posteriormente serão utilizadas para diversas finalidades. Ressalta-se que ao se permitir a organização das informações de uma dada região, os sistemas de informações geográficas não funcionam meramente como uma ferramenta que permite apenas a manipulação dos dados, mas também, possibilita a análise, simulação e avaliação dos modelos pré-concebidos.

O presente estudo, considerando o volume de informações envolvidas, culminou na elaboração de um banco de dados contendo tanto as informações anteriormente obtidas ao início deste projeto, bem como os dados produzidos durante o desenvolvimento das atividades. A integração dos dados subsidiou e possibilitou o diagnóstico ambiental da Bacia do Ribeirão do Carmo, frente às degradações ambientais decorrentes das atividades antrópicas pretéritas e atuais, bem como a adoção de medidas mitigadoras e um modelo de gestão ambiental de toda bacia, envolvendo dois importantes municípios de Minas Gerais, Mariana e Ouro Preto.

Foram utilizados basicamente quatro softwares para a normalização dos dados, o *Er Mapper 6.1*, o *ENVI 4.0*, o *AutoCADMap2013* e o *Arcview 10.1*.

- O *AutoCADMap2000*, foi empregado, principalmente, para a manipulação dos dados

anteriormente existentes já que os mesmos foram gerados nesta plataforma. Entre os principais pode-se destacar a carta geotécnica de Ouro Preto (Carvalho, 1982), o mapa geológico da sede do município de Mariana (Souza, 2004), os planos diretores de Mariana e Ouro Preto e Mariana, o estudo geoambiental da área de Mariana (Sobreira, 2000) dentre outros.

- O *Er mapper 6.1*, foi utilizado no processamento digital das imagens de satélite ASTER (2005) empregando algoritmos para o mapeamento da vegetação através do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (**NVDI**). Também foi utilizado na elaboração do mapa de uso do solo, especificamente para determinação das áreas de pastagens e afloramentos rochosos a partir das imagens ASTER e LANDSAT.

- O ENVI 4.0 foi utilizado com o mesmo objetivo do Er Mapper, para confirmar o resultado do mapeamento da vegetação a partir do processamento da imagem ASTER (2005). O ASTER é constituído de três subsistemas de telescópio distintos: VNIR, SWIR e TIR. Possui alta resolução espacial, espectral e radiométrica, radiômetro de imagens de 14 bandas. O processamento através da definição de regiões de interesse é geralmente usado no cálculo de estatísticas, para se fazer uma classificação, para produzir uma máscara e em outras operações que requeiram uma entrada interativa. Assim tornou-se possível determinar as áreas de cobertura vegetal da Bacia do Ribeirão Carmo. Além disso, foi também empregado no refinamento de outros dados tais como pedologia e geomorfologia.

- O *Arcview 10.1*, além da digitalização e vetorização das informações obtidas ao longo deste estudo, foi a base escolhida para a estruturação e sustentação do sistema de informação geográfica. Com o SIG estruturado, tem-se a criação de um banco de dados geoambientais, através de um Sistema de Banco de Dados Georreferenciado (SBDG) relacional em ambiente *ArcView*. A estruturação do sistema de informação concerne na estruturação básica de sustentação, definindo-se previamente os atributos componentes, os critérios de análise empregados e as classificações necessárias para a geração dos produtos cartográficos georeferenciados e seus bancos de dados relacionais.

Segundo Câmara *et al.* (2003), um SBDG relacional armazena os atributos convencionais dos objetos na forma de tabelas, onde as linhas correspondem aos dados e as colunas aos atributos, e arquivos para guardar as representações geométricas desses

objetos. Define-se atributo como qualquer informação descritiva (nomes, números, tabelas, textos) relacionada com um único objeto, elemento, entidade gráfica ou um conjunto deles, que caracteriza um dado fenômeno geográfico.

DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL DA BHRC

3.1 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

A geologia é um tema estruturante, que permite a compreensão da constituição intrínseca do substrato do terreno, incluindo os tipos de rochas presentes, sua distribuição e estruturação. Estes atributos, relacionados aos aspectos climáticos e bióticos, condicionam fortemente toda a evolução do terreno, sua morfologia, a formação dos solos, os aspectos geotécnicos aplicados e a dinâmica hídrica superficial e subterrânea.

A base geológica da BHRC foi resultado da compilação e modificação de CPRM (1993) - Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - Escala 1:100.000, CODEMIG, 2005 - Mapa Geológico Mariana: Folhas parciais SF.23-X-B-I-3 e SF.23-X-B-IV-1 e Mapa Geológico Ouro Preto: Folha integral SF.23-X-A-III-4 e Folha parcial de SF.23-X-A-VI-2 escala 1:50.000, complementada por trabalhos de campo realizados em toda a extensão da bacia.

A caracterização geológica é o componente básico de análise do meio físico e dá suporte a inúmeras outras análises deste estudo tais como, a análise geomorfológica, de uso e ocupação do solo, a suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa, a processos de inundação, a processos erosivos e às análises relacionadas a cartografia da aptidão a urbanização, do perigo e risco a processos geológico e hidrológicos. Considerando a proposta do mapeamento progressivo e das escalas de dados disponíveis os seguintes procedimentos foram adotados:

1 – Análise e compilação das informações sobre a geologia da área da BHRC, a partir da revisão dos dados disponíveis na literatura com base nos levantamentos CPRM (1993) e CODEMIG, 2005. Estas análises foram importantes, principalmente, para suporte à caracterização geoambiental na escala 1:50.000 da BHRC, bem como para as análises de suscetibilidade nas escalas 1:25.000 e 1:50.000.

2 – Trabalhos de campo para reconhecimento das unidades geológicas e suas características gerais, com tradução da base geológica em um mapa litoestrutural. Este

procedimento foi importante na identificação dos principais lineamentos e estruturas que podem condicionar movimentos de massa em encostas, fluxos superficiais e corridas de detritos/solo passíveis de registro na escala 1:25.000, 1:10.000 e maiores. Foram adicionadas nesta etapa à base geológica compilada as planícies de inundação recentes e depósitos de cobertura representativos na escala 1:10.000 (depósitos de tálus, colúvios, canga, laterita, etc.), considerando que neste estudo uma das etapas proposta foi a cartografia geotécnica de aptidão a urbanização, em parte da área da sede do município de Ouro Preto – MG, na escala 1:10.000. A proposta inicial para subsídio às análises progressivas necessárias foi a caracterização geológica através do reconhecimento de todas as unidades em campo, a partir da coleta de amostras nas principais unidades geológicas, para caracterização petrográfica e mineralógica, o que é incomum atualmente em estudos do meio físico. Entretanto, este procedimento permitiu tanto o conhecimento efetivo do substrato do território e suas inter-relações, quanto utilizar a geologia sem a realização de abstrações nos procedimentos propostos nas escalas 1:50.000 (Análise geoambiental), 1:25.000 (Análise das suscetibilidades), 1:10.000 (Análise da aptidão a urbanização) e 1:2.000 (Análise do perigo/risco).

A partir dessas premissas, a primeira análise realizada da geologia da BHRC foi regional. A área de interesse do presente trabalho (BHRC) corresponde a um segmento pertencente ao Cráton São Francisco Meridional, situada no extremo leste do Quadrilátero Ferrífero e posicionado, segundo CPRM (1993), na Zona limítrofe entre duas importantes Províncias geológicas do escudo brasileiro, a Província Geotectônica São Francisco, a oeste, e a Província Geotectônica Mantiqueira, a leste (Figura 3.1).

A Província Geotectônica São Francisco, que abrange a maior parte da área, reúne agrupamentos de idades e ambiências diversas, sendo que na área da BHRC ocorrem terrenos “granito-*greenstone*”, representados por uma sequência vulcano-sedimentar do Supergrupo Rio das Velhas (Arqueano), rochas granitóides do Complexo Santa Bárbara (Arqueano), a sequência clasto-química do Supergrupo Minas (Proterozoico), a sequência predominantemente clástica do Grupo Itacolomi e as coberturas fanerozóicas terciárias e detríticas recentes, estas representadas por depósitos detríticos-lateríticos e aluviais. Já a Província Mantiqueira é uma entidade geotectônica instalada a leste dos crátons São Francisco e Rio de La Plata/Paraná, ao final do Neoproterozóico e início do

Paleozóico. Estende-se por cerca de 3.000 km com orientação NNE–SSW ao longo da costa atlântica, de Montevideu (Uruguai) ao sul da Bahia. Ocorre na BHRC em uma pequena faixa, quase imperceptível no extremo leste da Bacia, reunindo gnaisses bandados do Complexo Mantiqueira e granulitos do Complexo Acaiaca.

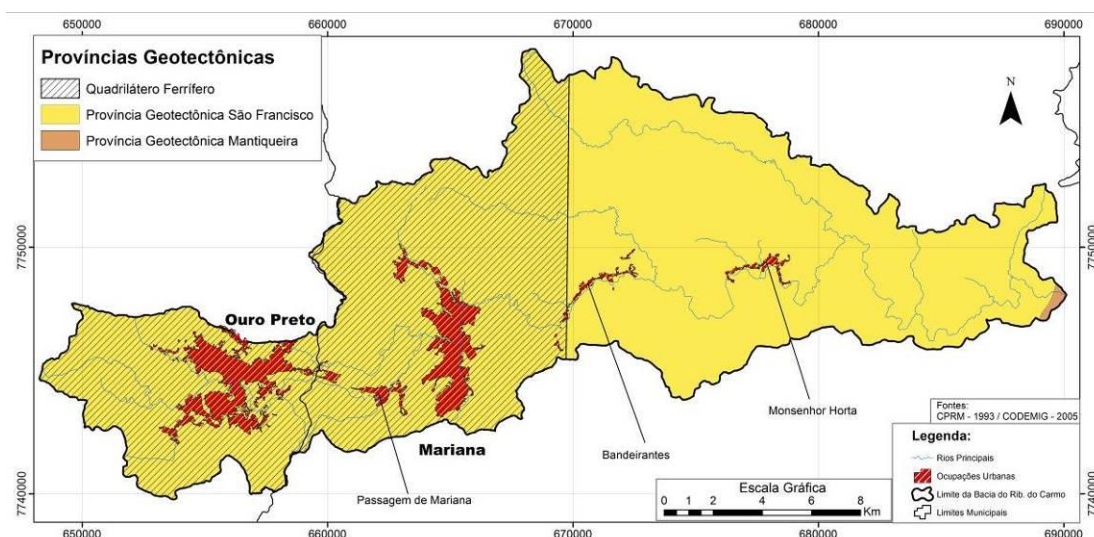


Figura 3. 1 – BHRC na zona limítrofe entre a Província Geotectônica São Francisco, a oeste, e a Província Geotectônica Mantiqueira, a leste, com indicação do limite do Quadrilátero Ferrífero.

O Quadrilátero Ferrífero (QF) é uma região do território brasileiro que, ao lado da sua evolução geológica policíclica bastante complexa, caracteriza-se por sua riqueza metalogenética, principalmente representada por seus importantes jazimentos de ferro e ouro. Seu embasamento é constituído de terrenos granito-greenstone consolidados no final do Mesoarqueano.

A Sequência Litoestratigráfica da região estudada está alojada na porção SSE da megaestrutura denominada Anticlinal de Mariana, em uma faixa confinada ao norte pela Serra de Ouro Preto e ao sul pela Serra do Itacolomi.

A complexidade do arcabouço estrutural correlaciona-se à superposição de várias fases de deformação que configuraram a estruturação geológica do Quadrilátero Ferrífero. O número de eventos e a magnitude dos mesmos são ainda hoje objeto de estudo de vários pesquisadores, existindo diferentes interpretações acerca da evolução tectônica do QF.

Nalini (1993), em estudo realizado na região do Anticlinal de Mariana propõe uma

evolução polifásica com dois eventos deformacionais distintos. O primeiro teria caráter extensional e teria sido responsável pela nucleação do Sinclinal Dom Bosco, do Anticlinal de Mariana e das dobras parasíticas. O segundo, por sua vez, teria sido compressional, diferenciando-se em três fases distintas, responsáveis pela geração dos dobramentos e cavalgamentos, pelas falhas direcionais E-W e pela reativação do sistema de falhas e geração do sistema de fraturamentos.

A região do Anticlinal de Mariana apresenta numerosas faixas de empurrão que condicionaram a geometria e a morfologia das estruturas em escala micro, meso e megascópica (Anexo I). São identificadas também falhas subsidiárias que provocam as repetições e inversões das camadas. A xistosidade possui direção geral NW mergulhando para NE na porção setentrional da área e direção NE com mergulho para SE na porção meridional, acompanhando a inflexão da grande estrutura antiformal. O sistema de fraturas descrito refere-se às fraturas observadas em escala de afloramento, principalmente nas Formações Moeda, Cauê, Barreiro e Cercadinho. As direções preferenciais são N70E e N30W com mergulhos subverticalizados. Comumente estas fraturas encontram-se preenchidas por quartzo e apresentam geometria planar e caráter longitudinal (paralelo ao eixo do dobramento regional).

Partindo-se para uma análise em maior escala ($> 1:50.000$), o arcabouço geológico da BHRC que abrange as áreas urbanas de Mariana e Ouro Preto e suas adjacências constitui-se por rochas pertencentes a seqüências metassedimentares químicas e clásticas, correlacionadas litoestratigraficamente às unidades regionalmente consagradas e citadas na bibliografia por Dorr *et al.* (1957, 1969), Alkmim e Marshak (1998).

As unidades reconhecidas e mapeadas podem ser agrupadas em dois grupos distintos: afloramentos rochosos e depósitos de cobertura. Os litotipos que compõem a unidade afloramentos rochosos foram descritos do topo para a base considerando o empilhamento litoestratigráfico para o Quadrilátero Ferrífero proposto por Alkmim e Marshak (1998). Já os depósitos de cobertura, referem-se aos terrenos compostos por depósitos aluviais, coluviais, tálus e canga laterítica, compondo o mapa geológico da BHRC (Figura 3.2 e Anexo I).

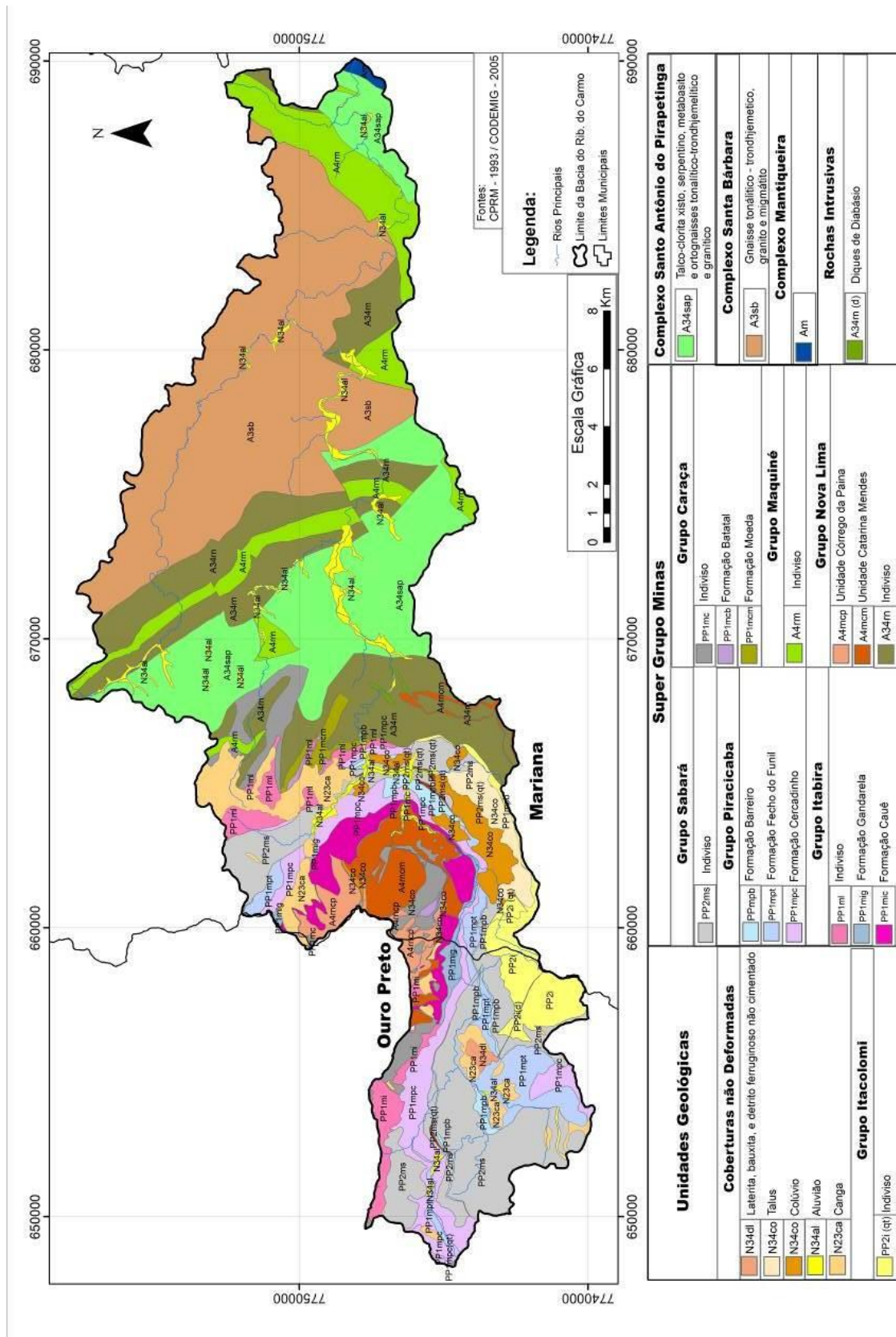


Figura 3. 2 – Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Carmo.

A caracterização geotécnica aqui apresentada baseou-se em observações de campo e principalmente em estudos e trabalhos de laboratório anteriormente realizados para o Quadrilátero Ferrífero (Silva, 1990), para os Municípios de Ouro Preto (Carvalho, 1982; Sobreira, 1990) e Mariana (Sobreira, 2000; Souza, 2004).

Carvalho (1982) ressalta que é impossível definir-se domínios ou unidades com comportamentos geotécnicos distintos para as rochas do Supergrupo Rio das Velhas e Supergrupo Minas, mediante a heterogeneidade litológica, a variabilidade do estado de alteração e a estruturação existente. Segundo este autor, a caracterização deve ser realizada de forma qualitativa, através da descrição das propriedades geotécnicas, levando-se em consideração as unidades geológicas cartografáveis.

Em decorrência do grau de alteração e variabilidade litológica local, foram consideradas as unidades geológicas que possuem representação em área e importância do ponto de vista de deflagração de processos geodinâmicos e uso e ocupação do território. Souza (2004) coletou e analisou quinze amostras de solo para ensaios laboratoriais nas principais unidades litológicas da área urbana do município de Mariana. Os estudos de caracterização geotécnica dos materiais existentes foram realizados no Laboratório de Geotecnia da Escola de Minas (UFOP), visando à determinação dos índices físicos e propriedades geotécnicas dos materiais (limites de consistência e granulometria), bem como o auxílio na delimitação de unidades geológico-geotécnicas. Os ensaios foram realizados segundo as normas técnicas, NBR10838 (Massa específica aparente de solos e grãos), NBR07181 (Análise granulométrica), NBR06459 (Determinação do limite de liquidez) e NBR07180 (Determinação do limite de plasticidade). Foram analisadas duas amostras do material do depósito coluvionar, uma do solo residual da Formação Taboões, quatro dos solos residuais da Formação Barreiro, seis dos solos residuais do Grupo Sabará e duas dos solos residuais da Formação Cercadinho (Anexo II). Complementarmente, foram recuperados os resultados dos ensaios de dezessete amostras de solos realizados por Sobreira (2000), em parte da área urbana do município de Mariana, sendo onze amostras do material coluvionar, três da matriz do depósito de Tálus, duas dos solos residuais do Grupo Sabará e uma do solo residual da Formação Cercadinho (Anexo II).

3.1.1. PROVÍNCIA GEOTECTÔNICA SÃO FRANCISCO

3.1.1.1 COBERTURAS SEDIMENTARES NÃO DEFORMADAS

3.1.1.1.1 Aluvião

Geralmente mineralizados em ouro e intensamente garimpados, os depósitos aluvionares são formados ao longo de rios e ribeirões através do aporte de material arenoso e cascalhoso com altas porcentagens de hematita. Os depósitos aluviais da BHRC são observados, principalmente, às margens e no canal do Ribeirão do Carmo (trechos que englobam a sede do município de Mariana e distritos de Bandeirantes e Monsenhor Horta), do Ribeirão Canelas, do Córrego do Seminário, em parte dos córregos do Peixe e do Melo formando as planícies de inundação destes. Representam 1,8% da área estudada, o que equivale a aproximadamente 6,0 km², e são constituídos em sua maioria por sedimentos arenosos com fragmentos inconsolidados de itabiritos, quartzitos, xistos e filitos, acumulados a partir de processos fluviais e por atividades antrópicas. Nesse cenário destaca-se a atividade secular de mineração de ouro, que muito contribuiu para a configuração do panorama atual. As planícies aluviais representam as áreas com menor declividade (< 5%) e foram intensamente ocupadas ao longo do processo de urbanização instalado principalmente na cidade de Mariana (Figura 3.3).





Figura 3. 3 – Aspectos da unidade Aluvião.

A capacidade de suporte é em geral baixa, a escavabilidade é fácil em função dos terrenos planos, porém limitada pelo nível d'água (NA) elevado e possíveis ocorrências de lajes e blocos de rocha. A suscetibilidade à erosão das margens e terraços (solapamento) é elevada e contribui para o aumento da carga de sedimentos transportados no período de chuvas.

3.1.1.1.2 Tálus

Localizado na porção sudoeste da BHRC e sul das sedes dos municípios de Mariana e Ouro Preto, no sopé da Serra do Itacolomi, o depósito de Tálus é resultado da acumulação de fragmentos desprendidos da Unidade Itacolomi por efeito da gravidade, ao longo do tempo geológico. Recobre uma área aproximada de 4,0 km² com espessura variando entre 20 e 30m. Ocorrem blocos rochosos cujas dimensões atingem até uma dezena de metros, com composições predominantemente quartzíticas, imersos em uma matriz argilo-arenosa. As declividades estão entre 8 e 30%. A falta de controle na expansão urbana no município em Mariana propiciou rápida ocupação sobre esta unidade nos últimos vinte anos (Figura 3.4).



Figura 3. 4 - Aspectos da Unidade Tálus.

Nas amostras recuperadas e analisadas os materiais foram classificados quanto à textura como areia argilosa (SC) de acordo com a classificação SUCS, como areia siltosa e argila arenosa, segundo o Diagrama Triangular de Classificação, além de seixos e matações.

Sobreira (2000), ao estudar o comportamento geotécnico destes terrenos e tomando como base a morfologia dos depósitos e a classificação textural, concluiu que possuem uma alta suscetibilidade à ocorrência de movimentos do tipo rastejo, quando saturados, o que pode ser verificado na Rua Astolino Dutra, no Bairro Cabanas em Mariana.

3.1.1.1.3 Colúvio

Os depósitos coluvionares são resultado do acúmulo de agregados heterogêneos de rochas transportados por ação da gravidade e contribuição da água de escoamento superficial. Diferem do depósito de tálus quanto à dimensão reduzida dos fragmentos imersos na matriz homogênea de cor avermelhada (Figura 3.5). Esta unidade ocorre de forma generalizada ao longo da BHRC, geralmente em camadas delgadas, dificultando sua cartografia, principalmente ao longo das malhas urbanas já ocupadas e/ou nas áreas rurais com cobertura vegetal secundária. Na BHRC geralmente recobrem os xistos do Grupo Sabará o que foi verificado no entorno das sedes municipais de Mariana e Ouro

Preto, sendo suas maiores expressões o sopé da encosta que se estende do Pico do Itacolomi até o Bairro Cabanas em Mariana, bordejando a rodovia dos Inconfidentes, e parte da porção centro leste da área urbana deste mesmo município, interrompido pelos depósitos aluvionares do Ribeirão do Carmo e de seus principais afluentes (Córregos do Seminário, Matadouro, Catete e Canelas).

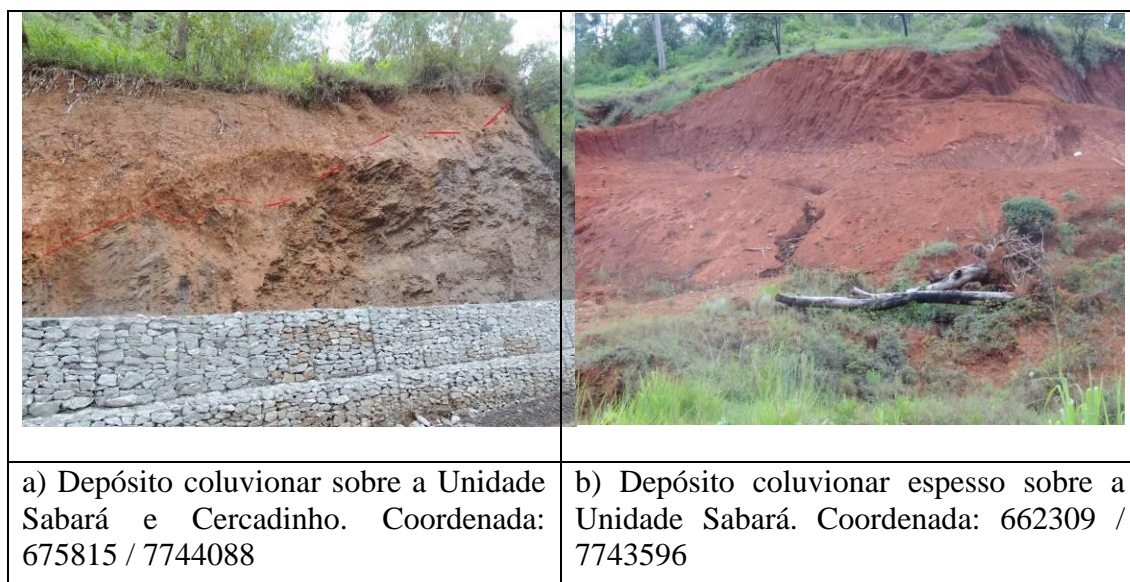


Figura 3. 5 - Aspectos da Unidade Colúvio.

Oriundos do retrabalhamento das unidades superiores constituem-se de solos heterogêneos com coloração avermelhada, espessura variando de centímetros a alguns metros, geralmente capeando as rochas do Grupo Sabará e da Formação Cercadinho. O relevo tipicamente suave e a fácil escavabilidade tornou estas áreas atraentes para expansão da malha urbana. O comportamento mecânico está relacionado à morfologia das vertentes e ao grau de saturação. Nestes domínios os deslizamentos ocorrem, geralmente, condicionados ao contato dos materiais do depósito com a Formação geológica subjacente, aproveitando-se das diferenças de permeabilidade e resistência ao cisalhamento dos terrenos.

Dentre os principais problemas deflagrados nesta unidade, destaca-se a erosão hídrica, em decorrência da ausência de infraestrutura urbana (redes pluviais e de esgoto) e deslizamentos translacionais, por vezes rotacionais, principalmente relacionados à execução de cortes, desconfinando os maciços, e aterros para construção de moradias.

As análises das amostras recuperadas caracterizaram solos com densidades médias e

pouco plásticos. Quanto à textura, os materiais foram classificados de acordo com o Sistema Unificado de Classificação como areia argilosa (SC) em três amostras, argila pouco plástica arenosa/argila pouco plástica (CL) em outras cinco amostras, areia argilo siltosa (SC – SM) em duas amostras e silte plástico arenoso (MH) em duas amostras. Com relação ao Diagrama Triangular oito amostras foram classificadas como argilas arenosas, duas como argila, duas como silte arenoso e uma como silte argiloso.

3.1.1.1.4 Coberturas Detrito-Lateríticas e Lateríticas

As Coberturas Detrito-Lateríticas e Lateríticas são encontradas na porção oeste da BHRC, ao norte da sede do município de Mariana e no entorno da área urbana de Ouro Preto, resultado da ação do intemperismo sobre rochas ricas em ferro do Supergrupo Minas. Segundo Schellmann (1981), lateritas são produtos de intenso intemperismo químico de rochas subaéreas, cujos conteúdos de Fe e/ou Al são superiores, e os de Si são inferiores aos da rocha-mãe meramente caulinizada. São constituídos de caulinita, goethita, hematita, gibbsita e quartzo. Os perfis lateríticos são caracterizados por um zoneamento definido em horizontes, refletindo o diferenciado grau de mobilidade química dos elementos (Figura 3.6). Essas coberturas recobrem as rochas da unidade ferrífera (Formação Cauê), em uma área aproximada de 11,8 km². O acúmulo de fragmentos detríticos de itabiritos, xistos, quartzitos, filitos etc., imersos em uma matriz ferruginosa, cria uma cobertura resistente contra os processos erosionais.

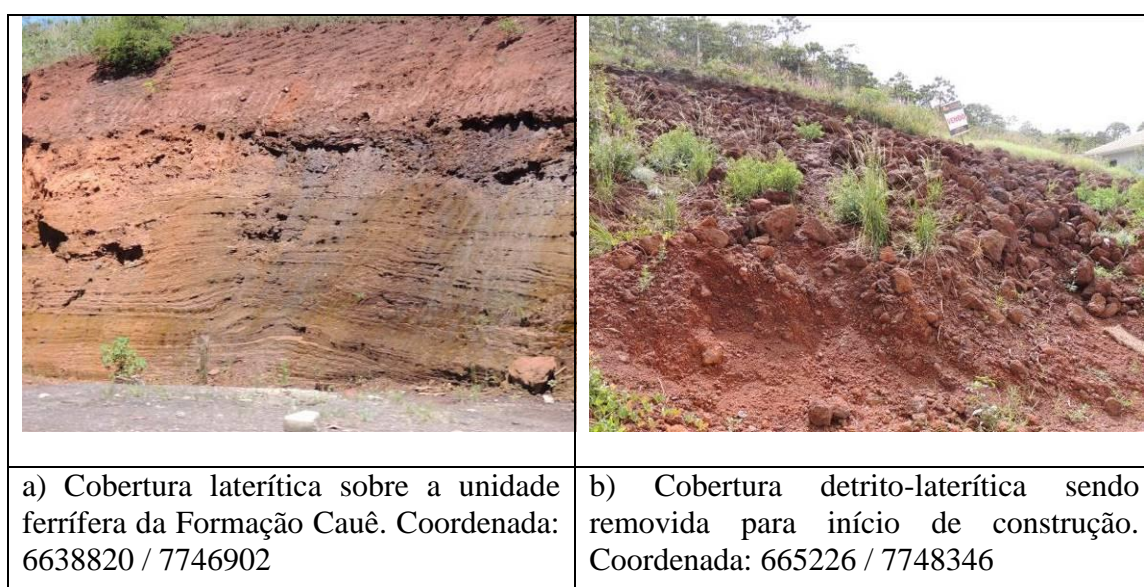


Figura 3. 6 - Aspectos da Unidade Cobertura Detrito-Lateríticas.

A capacidade de suporte em geral é elevada a muito elevada, principalmente nos locais de ocorrências de carapaças e solos litólicos. A escavabilidade é dependente da intensidade de atuação dos agentes intempéricos, podendo variar de moderada a extremamente difícil. A suscetibilidade a movimentos de massa está relacionada, principalmente, a rupturas com quedas de blocos e lascas, que têm como causa a erosão dos saprolitos e rochas subjacentes mais brandas.

3.1.1.2 GRUPO ITACOLOMI

Denominada anteriormente de “Série Itacolomi” por Guimarães (1931), as rochas do Grupo Itacolomi ocorrem na porção sudoeste da BHRC, e sul das sedes dos Municípios de Mariana e de Ouro Preto, sendo a região do Pico do Itacolomi sua feição mais marcante. Repousando discordantemente sobre as litologias do Supergrupo Minas, compõe-se por quartzitos de granulação média a grossa, com ocorrência comum de conglomerados polimíticos, derivados de uma sequência sedimentar clástica que, segundo Alkmim (1985), estariam ligados a leques aluviais.

Esta Unidade é constituída por quartzitos de granulação grossa, metaconglomerados e níveis centimétricos de filitos, estando disposta discordantemente sobre as rochas do Grupo Sabará, e em área corresponde a apenas 2,9% do território da BHRC. O sistema de fraturas existente destaca-se frente à feição morfológica de escarpa, que contrasta no relevo (Figura 3.7). A microestrutura possui uma matriz predominantemente lepidoblástica com porfiroclastos de quartzo. A rocha não apresenta foliação bem desenvolvida, pois sofreu um metamorfismo de grau baixo (Metarenito).



Figura 3. 7 – Aspectos dos quartzitos da Unidade Itacolomi.

Os afloramentos rochosos com pouca ou nenhuma cobertura superficial são predominantes, sendo a capacidade de suporte elevada a muito elevada. A suscetibilidade a movimentos de massa é fortemente controlada pelas estruturas geológicas como falhas, fraturas e foliação. As relações espaciais entre essas feições podem gerar blocos não confinados, resultando na ocorrência de ruptura no maciço quartzítico e consequentes rolamentos.

3.1.1.3 SUPERGRUPO MINAS

Definida inicialmente por Derby (1906), esta é uma das unidades mais estudadas do Quadrilátero Ferrífero. Os terrenos do Supergrupo Minas são formados por sedimentos clásticos e químicos metamorfizados do Proterozóico Inferior, descrevendo-se do topo para a base, respectivamente, os grupos Sabará, Piracicaba, Itabira e Caraça.

3.1.1.3.1 GRUPO SABARÁ

Este domínio litológico é constituído por quartzo-sericita xistos, sericita-quartzo-xistos

e xistos granatíferos de coloração vermelho acastanhado, amarelo avermelhado a cinza prateado. As rochas desta unidade são, provavelmente, as que se encontram em estágios mais avançados de alteração, preservando assim muito pouco da composição mineralógica original (Figura 3.8). Esta Unidade perfaz cerca de 12,0% da área total, e, juntamente com os depósitos coluviais, que em parte das vezes a recobrem, está inserida em grande parte da ocupação urbana dos municípios de Mariana e Ouro Preto. A microestrutura é do tipo porfiroblástica com matriz lepidoblástica. A rocha apresenta forte foliação, dada pela orientação de filossilicatos. A rocha sofreu no mínimo duas fases de deformação, devido à presença evidente de crenulação. A clivagem de crenulação mostra que a foliação S1 foi dobrada gerando a foliação S2. Os níveis mais quartzosos possuem uma granulometria maior que o restante da rocha.

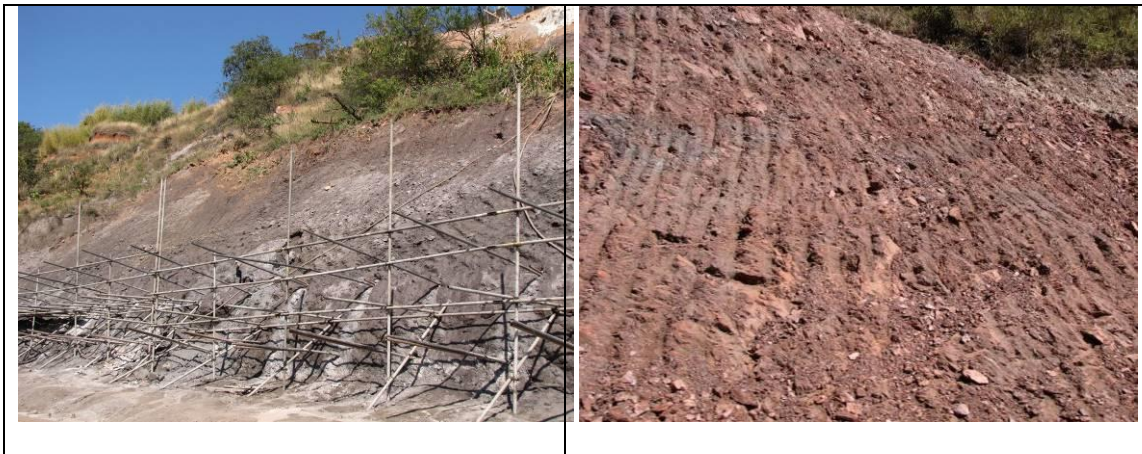


Figura 3. 8 – Aspectos dos xistos da Unidade Sabará.

Os litotipos encontram-se em diferentes estágios de alteração (W3,4,5). Silva (1990), em estudos realizados no município de Belo Horizonte, caracterizou as rochas deste Grupo como de coesão média, permeabilidade muito baixa e resistência à erosão moderada. A estabilidade das encostas é controlada, principalmente, pelas atitudes da foliação e pelo grau de alteração. Nas encostas mais íngremes voltadas para NW e NE no entorno da sede de Ouro Preto e NW e SW nas imediações de Mariana, o comportamento mecânico dos litotipos é bom. Já nas encostas voltadas respectivamente para SE e SW, em Ouro Preto, e SE e NE em Mariana, a xistosidade encontra-se desconfiada, facilitando a deflagração de processos geodinâmicos.

Os domínios nas baixas encostas apresentam como fatores adversos um estado de

alteração mais intenso, maiores teores de umidade e a ocorrência frequente de coberturas coluviais e de materiais descartados (lixos, entulhos e aterros). Segundo Carvalho (1982), nestes domínios o papel da estrutura geológica é significativamente atenuado.

Nas áreas onde se verifica a exposição direta dos litotipos que compõe este Grupo, tende a ocorrer erosão hídrica, com a concentração inadequada das águas superficiais e formação de sulcos e ravinas, e deslizamentos em solo e rocha. As rupturas em cunha são pouco expressivas e os deslizamentos planares estão relacionados, principalmente, à intervenção antrópica inadequada, através da execução de cortes muito acentuados. Movimentos mais complexos envolvendo os depósitos superficiais, os materiais descartados e, eventualmente, o substrato, são comuns nas porções mais baixas das encostas.

Nas amostras de solo recuperadas desta unidade, os materiais foram classificados quanto a textura como areia siltosa/areia argilosa/argila pouco plástica arenosa (SM/SC/CL), de acordo com o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), e como areia siltosa/areia argilosa segundo o Diagrama Triangular de Classificação.

3.1.1.3.2 GRUPO PIRACICABA

O Grupo Piracicaba foi formado em ambientes deposicionais distintos (Dorr II, 1969). É composto, basicamente, por metassedimentos clásticos com alguma contribuição vulcânica. Esse grupo pode ser dividido do topo para a base nas formações Barreiro, Taboões, Fecho do Funil e Cercadinho.

3.1.1.3.2.1 FORMAÇÃO BARREIRO

A Unidade Barreiro é constituída, principalmente, por filitos carbonosos e grafitosos de coloração variando de cinza escuro a negra. Abrange cerca de 1,0% da área total da BHRC. Ocorre em faixas a oeste e leste da área urbana do município de Mariana, e em trechos alongados delgados da porção oeste da bacia no entorno da área urbana de Ouro Preto. Na maior parte de suas exposições, o filito apresenta-se bastante alterado, com

um aspecto terroso, fosco e pulverulento quando seco, o que facilita o desenvolvimento de processos erosivos (Figura 3.9). A intercalação ocasional de níveis quartzosos da Formação Cercadinho com níveis carbonosos da Formação Barreiro evidencia um contato transicional entre estas duas unidades. A rocha possui foliação bem desenvolvida e foi submetida a pelo menos dois eventos deformacionais (S1 e S2).



Figura 3. 9 – Aspectos dos filitos da Unidade Barreiro.

Os materiais que a compõem possuem um aspecto untuoso, principalmente quando saturados, e podem ser classificados como moderadamente alterados a muito alterados (W3,4,5). Estruturalmente a unidade é controlada por algumas famílias de descontinuidades e pela foliação da rocha, cujas atitudes principais são concordantes à inflexão da estrutura antiformal (55/40 a norte e 120/38 ao sul).

Segundo Silva (1990), o grau de coesão é médio, a permeabilidade é muito baixa e a erodibilidade é moderada. O fator estrutural controla a estabilidade. O mergulho para SE-E da foliação principal no trecho de maior incidência, aliado aos sistemas de fraturas existentes, faz com que ela esteja sempre desconfinada, originando conforme registros históricos, deslizamentos com superfícies de ruptura voltadas para SE e NE.

Dentre os principais problemas referentes a esta unidade, destacam-se os relacionados à erosão hídrica e aos históricos deslizamentos em solo e rocha. Os relacionados à erosão hídrica são resultantes da baixa taxa de infiltração característica e à concentração inadequada das águas superficiais. Já os históricos deslizamentos estão relacionados, principalmente, à intervenção antrópica inadequada, através da execução de cortes acentuados e da construção subdimensionada do sistema de drenagem pluvial.

Nas amostras de solo analisadas nesta unidade os materiais foram classificados como silte/argila pouco plástica (CL – ML) de acordo com a classificação SUCS e como silte argiloso e silte arenoso, segundo o Diagrama Triangular de Classificação.

3.1.2.3.2.2 FORMAÇÃO FECHO DO FUNIL

A Formação Fecho do Funil foi cartografada na porção leste da BHRC. Compõe-se por filitos, filitos dolomíticos e quartzitos dolomíticos em contato gradacional com a Formação Cercadinho que lhe é subjacente. Ocorre apenas em 8,5 km² da área total. A microestrutura da rocha é caótica (Figura 3.10).

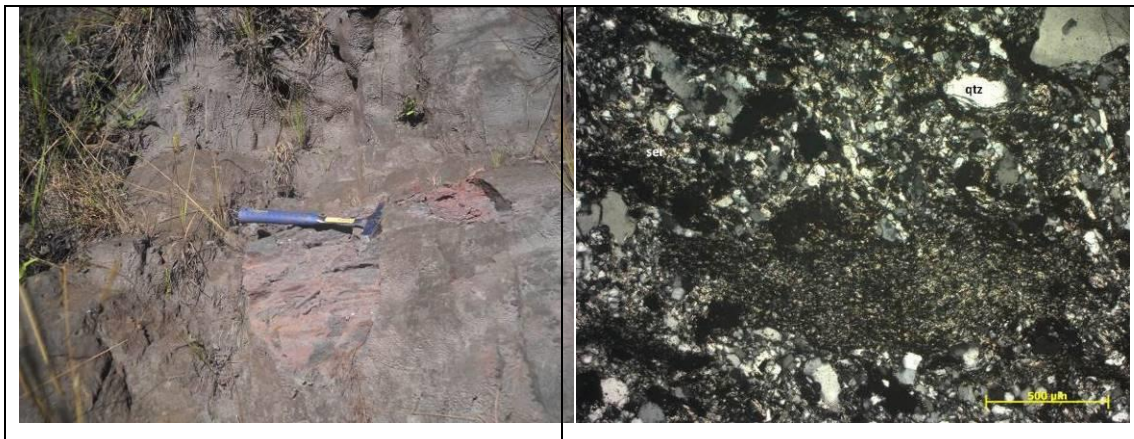


Figura 3. 10 – Afloramento e fotomicrografia mostrando a estrutura caótica do filito da Formação Fecho do Funil sob luz polarizada.

A susceptibilidade à erosão é elevada, relacionada à desestruturação do solo, cujo horizonte orgânico é muito delgado e os horizontes A e B são ausentes. As instabilidades estão relacionadas às estruturas impressas nas rochas, sob a forma de foliações, clivagens e fraturamentos em mais de um plano.

3.1.1.3.2.3 FORMAÇÃO CERCADINHO

A Unidade Formação Cercadinho é composta por bandas métricas de filitos cinza-prateados intercalados em pacotes de quartzitos sericíticos e quartzitos ferruginosos. Ocorre em uma área aproximada de 15,0 km², o que corresponde percentualmente a cerca de 4,5% da área total da BHRC (Figura 3.11). Suas maiores exposições são a

oeste da BHRC, bordejando a estrutura antiformal e a leste da área urbana de Mariana, segundo uma faixa de direção principal N-S. Expressam-se no relevo através de sucessivas cristas separadas por suaves patamares esculpidas pela erosão diferencial de camadas mais resistentes (quartzitos) e camadas menos resistentes (filitos), gerando assim no conjunto um relevo de aspecto estriado facilmente reconhecido no campo e em fotos aéreas. A leste da sede do município de Mariana, o contato entre os litotipos que compõem a Formação Cercadinho e os litotipos do Grupo Nova Lima representam o limite leste do Quadrilátero Ferrífero, delineado pela Zona de Falha da Água Quente, que “joga” através de um movimento reverso com vergência para oeste, o Supergrupo Rio das Velhas sobre o Supergrupo Minas.

Comumente são descritas dobras abertas, lineações de crenulação (nos filitos) e sistemas de fraturas que, às vezes, se encontram preenchidas por quartzo. O avançado processo de alteração observado é consequência da baixa resistência ao intemperismo.



Figura 3. 11 – Aspectos da Unidade Cercadinho.

Já os quartzitos desta unidade têm microestrutura granoblástica e mineralogia formada por quartzo ocorrendo como cristais xenoblásticos, poligonais e também com contatos interlobados, mica branca contornando os grãos de quartzo e em palhetas e acessórios (carbonato, zircão e apatita) (Figuras 3.12 e 3.13).

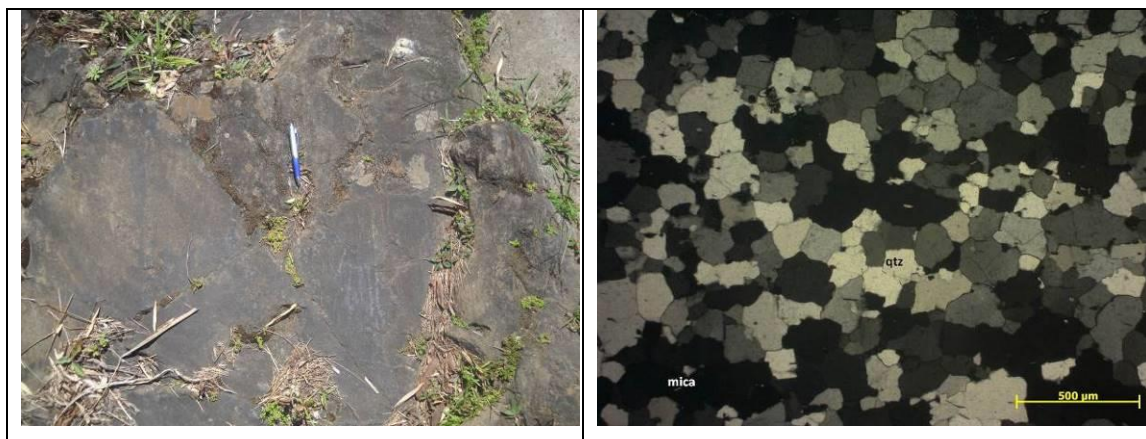


Figura 3. 12 – Afloramento e fotomicrografia mostrando a microestrutura granoblástica e a mineralogia composta por quartzo (qtz) e mica branca (mica), sob luz polarizada.



Figura 3. 13 – Afloramento e fotomicrografia mostrando a estrutura granoblástica do quartzito da Formação Cercadinho e a mineralogia composta de quartzo (qtz) e mica branca (mica) sob luz polarizada.

Os aspectos fisiográficos, litoestratigráficos e estruturais são os fatores relevantes nos mecanismos de instabilização das encostas. As rochas encontram-se parcialmente alteradas a muito alteradas (W4-5). Os quartzitos possuem boa permeabilidade e geralmente estão muito fraturados. Os filitos, por sua vez, possuem baixa permeabilidade e estão geralmente dobrados e fraturados, sendo os afloramentos ao longo da Rodovia do Contorno em Ouro Preto, no Bairro Morada do Sol em Mariana e às margens da MG 129, nas proximidades da Vila Del Rey sentido Antônio Pereira, os mais representativos. O conjunto de características acima descrito confere aos materiais comportamento heterogêneo e anisotrópico quanto à resistência ao cisalhamento e à escavabilidade. Do ponto de vista fisiográfico, as encostas naturais voltadas para SW no

flanco sul do anticlinal em Ouro Preto e as voltadas para NE no flanco norte em Mariana são, em princípio, as que possuem menores estabilidades, dado o desconfinamento das estruturas planares mais importantes (foliação). Nessas direções são possíveis movimentos naturais envolvendo volumes expressivos de material. Já nas encostas voltadas para NE, e para SW nos flancos respectivos os movimentos naturais ficam limitados a volumes pequenos, condicionados ao longo dos sistemas de fraturas não confinados, podendo ocorrer, entretanto, complexas rupturas em cunha. As análises das amostras de solo desta unidade caracterizaram um solo com densidade média, material não plástico e textura areno-siltosa, de acordo com o Diagrama Triangular e com o Sistema Unificado de Classificação.

Silva (1990), ao estudar o comportamento geotécnico das rochas do Supergrupo Rio das Velhas e Supergrupo Minas, concluiu que, de forma geral, a Formação Cercadinho é constituída por materiais com erodibilidade moderada, em decorrência do complexo sistema de fraturas e da permeabilidade elevada nas porções mais próximas à superfície.

3.1.1.3.3 GRUPO ITABIRA

O Grupo Itabira contém as unidades estratigráficas de maior interesse econômico do Quadrilátero Ferrífero, considerando sua ocorrência como Indiviso (em 3,4 km²) e Formação Cauê (em 10,1 km²) representadas, quase que na sua totalidade, por itabiritos e jaspelitos. Sotoposto ao Grupo Itabira tem-se a Formação Gandarela que apresenta como litotipos principais rochas carbonáticas dolomíticas e filitos carbonáticos.

3.1.1.3.3.1 FORMAÇÃO GANDARELA

Esta unidade é composta por rochas dolomíticas e dolomitos ferruginosos com coloração variando de creme a róseo. Possui uma distribuição em área de aproximadamente 1,65 km², não alcançando 0,5% da área total mapeada (Figura 3.14). A microestrutura possui matriz predominantemente granoblástica com porfiroblastos de quartzo.



Figura 3. 14 – Afloramento e fotomicrografia mostrando a microestrutura granoblástica e a mineralogia, composta por mica branca (mica), quartzo (qtz), carbonato (cbt) e opacos, sob luz polarizada.

A capacidade de suporte dos materiais dessa unidade depende da atuação dos agentes intempéricos, variando de baixa a muito elevada. A escavabilidade varia de fácil a muito difícil, igualmente condicionada pela intensidade do intemperismo. Já a suscetibilidade a movimentos de massa pode ser classificada como baixa e condicionada pelas relações estruturais de fraturas e falhas.

3.1.1.3.3.2 FORMAÇÃO CAUÊ

O domínio litológico da Formação Cauê ocorre em uma área de 10,1 km², segundo uma faixa que se estende ao longo das Serras de Ouro Preto e Mariana, na aba do Anticlinal de Mariana (Figura 3.15). Constitui-se por rochas itabiríticas configuradas pela alternância de lâminas milimétricas de hematita e quartzo. Possui uma coloração que varia de cinza escuro a preto e uma granulação variando de fina a grossa. Ocorrem localmente dobras abertas e assimétricas, de pequeno e médio porte, além da presença de *boudins* de quartzo estirados, paralelos à foliação. De forma geral as rochas apresentam-se friáveis. Quando compactas, encontram-se intensamente fraturadas, o que favorece a percolação de água durante os períodos chuvosos. A microestrutura do Itabirito da Formação Cauê apresenta o bandamento composicional típico (S0).



Figura 3. 15 – Afloramento e fotomicrografia mostrando o bandamento composicional típico de mineralogia quartzo (qtz) e opacos, sob luz plana.

Os fatores estrutural e geomorfológico controlam a estabilidade. Do ponto de vista estrutural, os mergulhos para SE e NE da foliação principal fazem com que ela esteja sempre desconfinada, podendo assim, ocorrerem deslizamentos com superfícies de ruptura voltadas para SE e NE, respectivamente. Do ponto de vista geomorfológico, a posição estratigráfica proporciona boas condições de drenagem natural e a existência, no topo, por vezes de uma cobertura de canga, confere ao material uma proteção adicional. O sistema de fraturas é irregular, a porosidade da rocha é alta e a resistência mecânica variada. No período de chuvas, a percolação de água ocasiona a saturação do “pacote” rochoso. A proteção da cobertura de canga e o baixo grau de alteração, classificado como W2 e W3 (ISRM, 2007), contribuem para o baixo índice de problemas geotécnicos nesta unidade. Entretanto, a remoção da cobertura propicia a deflagração de erosões localizadas e profundas, deslizamentos de blocos e processos de abatimento. Nas imediações do Distrito de Passagem de Mariana e ao longo da Serra de Ouro Preto, principalmente no trecho a montante da sede municipal (parcialmente ocupado), a morfologia foi intensamente modificada pela ação da Mineração durante o Ciclo do Ouro e pela instalação da Rodovia que liga os Municípios de Mariana e Ouro Preto (Sobreira, 2005).

3.1.1.3.4 GRUPO CARAÇA

O Grupo Caraça consiste na unidade basal do Supergrupo Minas. Dorr II (1969) coloca esse grupo como essencialmente plataformal e marinho de águas rasas, representado respectivamente, pelas Formações Moeda e Batatal. A Formação Moeda é constituída quase que integralmente por quartzitos sericíticos de granulação fina a grosseira e a Formação Batatal composta por filitos/xistos sericíticos e grafitosos. Esta unidade ocorre em 11 km² da BHRC, distribuída principalmente na porção noroeste. O contato com a Unidade inferior (Nova Lima) é estrutural e com aquela que lhe é sobrejacente (Unidade Cauê), abrupto. Observa-se, ainda, a existência de uma cobertura de solo pouco expressiva e uma vegetação predominantemente rasteira. Nos últimos anos, as rochas quartzíticas da Formação Moeda vem sendo exploradas como rocha ornamental e de revestimento, sendo extraídas, principalmente, no núcleo no anticlinal de Mariana, nos afloramentos que bordejam a rede ferroviária que liga Mariana ao Distrito de Passagem de Mariana e Ouro Preto.

3.1.1.3.4.1 CARAÇA INDIVISO

Complementar ao Grupo Caraça as rochas da unidade Caraça Indiviso possuem uma microestrutura predominantemente do tipo granoblástica com alguns poucos níveis lepidoblásticos (Figura 3.16). A mineralogia é formada por Quartzo xenoblástico poligonal, sericita em finas palhetas, epidoto incolor, e opacos.



Figura 3. 16 – Afloramento e fotomicrografia mostrando a estrutura granoblástica do quartzito da Unidade Caraça, e a mineralogia composta de quartzo (qtz) e mica branca (mica) sob luz plana.

3.1.1.3.4.2 FORMAÇÃO BATATAL

Nos filitos que compõem a Formação Batatal foi descrita uma microestrutura onde localmente é possível observar crenulação (Figura 3.17). A lineação causada pela crenulação é perpendicular à foliação da rocha e tem-se minerais com sombras de pressão preenchidas por quartzo. A textura da rocha é predominantemente lepidoblástica com níveis granoblásticos.



Figura 3. 17 – Afloramento e fotomicrografia mostrando a foliação crenulada do filito da Formação Batatal sob luz plana.

As propriedades geotécnicas da unidade Batatal são dependentes das relações estruturais, da atitude das discontinuidades e da foliação metamórfica frente aos esforços. A capacidade de suporte é variável, sendo de maneira geral baixa quando paralela à foliação e alta quando perpendicular. A escavabilidade segue o mesmo condicionante estrutural, sendo classificada como moderada quando paralela a foliação, e moderada a difícil quando perpendicular. A suscetibilidade a movimentos de massa e de rupturas de taludes é alta, controlada pelo grau de alteração e pelo grau de fraturamento e as respectivas relações estruturais entre a foliação e outras discontinuidades e a face do talude.

3.1.1.3.4.3 FORMAÇÃO MOEDA

Nos quartzitos sericíticos desta unidade a microestrutura da rocha apresenta foliação definida como granolepidoblástica (Figura 3.18). A mineralogia é formada por quartzo ocorrendo como cristais xenoblásticos poligonais (mineral predominante), mica branca, cianita apresentando a clivagem característica, e clorita.



Figura 3. 18 – Afloramento e fotomicrografia mostrando os quartzitos da Formação Moeda, e a microestrutura granoblástica destacando um cristal de cianita (ky), além de quartzo (qtz) e mica branca (mica), sob luz polarizada.

Os afloramentos rochosos com pouca ou nenhuma cobertura superficial dominam a unidade. A capacidade de suporte é elevada a muito elevada e a suscetibilidade a movimentos de massa é fortemente controlada pelas estruturas geológicas como falhas, fraturas e foliação.

3.1.1.4 SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS

O Supergrupo Rio das Velhas corresponde a uma sequência de rochas de idade arqueana de origem vulcano-sedimentar. Na bacia ocorre segundo uma série de segmentos ao longo do flanco oriental do Quadrilátero Ferrífero, bordejando as Serras de Ouro Preto, Mariana e Itacolomi, bem como o Complexo Santo Antônio do Pirapetinga. Sua ocorrência é também descrita no núcleo da estrutura antiformal, a oeste da cidade de Mariana. Divide-se, do topo para a base, em dois Grupos: o Grupo Maquiné e o Grupo Nova Lima subdividido em Unidade Córrego do Paina, Unidade Catarina Mendes, e Nova Lima Indiviso.

3.1.1.4.1 GRUPO MAQUINÉ

Essa unidade é formada por metassedimentos clásticos, dos quais fazem parte quartzitos, quartzitos impuros e metarenitos com lentes de pelitos intercalados (Figura 3.19). Ocorrem acompanhando a unidade Nova Lima Indiviso e em contato com o

complexo Santa Bárbara em uma área aproximada de 23 km². A microestrutura é granolepidoblástica.



Figura 3. 19 – Afloramento e fotomicrografia mostrando a estrutura granolepidoblástica do quartzito do Grupo Maquiné, e a mineralogia composta de quartzo (qtz), mica branca (mica) e opacos sob luz polarizada.

De modo geral ocorrem afloramentos rochosos, onde os processos intempéricos atuaram de modo incipiente, gerando solos pouco espessos e pouco desenvolvidos, com texturas predominantemente arenosas. A capacidade de suporte é elevada a muito elevada, e a suscetibilidade a movimentos de massa também é controlada pelas estruturas geológicas como falhas fraturas e foliação.

3.1.1.4.2 GRUPO NOVA LIMA

As rochas metavulcânicas e metassedimentares clásticas que compõem o Grupo Nova Lima representam a Unidade basal na estratigrafia do QF. Na região é constituída por sericita – quartzo – xistos de coloração vermelha – arroxeadas, comumente cortados por veios de quartzo recristalizados e boundinados concordantes com a foliação da rocha.

Ocorre em três faixas principais, uma primeira na porção oeste da bacia entre as sedes dos municípios de Mariana e Ouro Preto, relacionada à unidade Córrego do Paina, uma segunda no núcleo do anticlinal de Mariana, no interior da estrutura antiformal, que se refere a Unidade Catarina Mendes, e uma terceira ocorrendo na porção central da BHRC com direção preferencial N-S, relacionada a Unidade Nova Lima Indiviso.

Somadas, as Unidades do Grupo Nova Lima abrangem aproximadamente 60 km² da área da BHRC.

O alto grau de alteração em que se encontram as rochas desta unidade é reflexo da menor resistência e do intenso processo de intemperismo a que foram submetidas. As exposições menos alteradas são observadas no núcleo do antiforme, em cortes ao longo da rede ferroviária.

Na Unidade Córrego do Paina, a microestrutura apresenta uma matriz predominantemente lepidoblástica com níveis granoblásticos de quartzo (Figura 3.20). A rocha possui foliação bem desenvolvida e crenulação (S1 e S2). A lineação de crenulação é praticamente perpendicular à foliação da rocha.

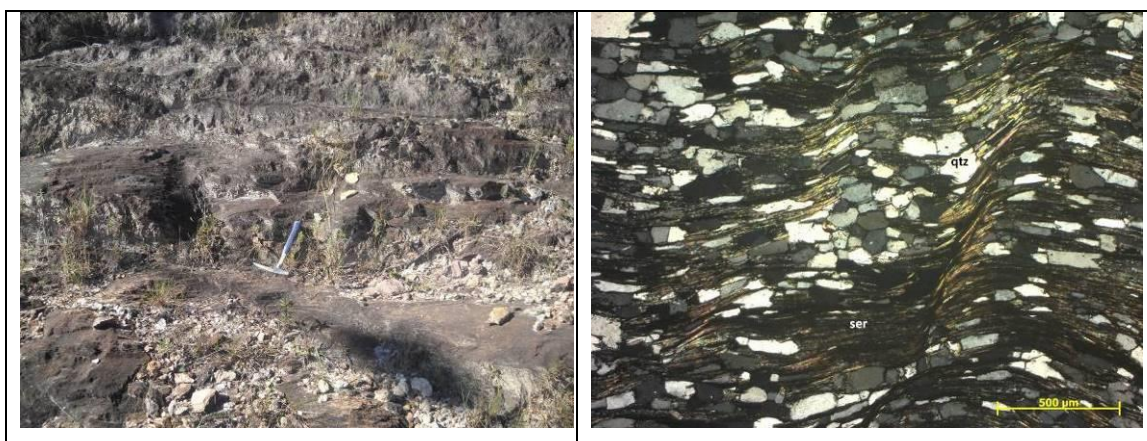


Figura 3. 20 – Afloramento e fotomicrografia dos xistos da Unidade Córrego do Paina mostrando a microestrutura lepidoblástica com níveis granoblásticos, destacando a crenulação e a lineação de crenulação.

A Unidade Catarina Mendes, a microestrutura da rocha foi definida como granolepidoblástica apresentando foliação (Figura 3.21).



Figura 3. 21 - Afloramento e fotomicrografia dos xistos da Unidade Catarina Mendes mostrando a microestrutura granolepidoblástica e a mineralogia composta por quartzo (qtz) e sericita (ser), sob luz polarizada.

Já na Unidade Nova Lima Indiviso, a microestrutura apesar da intensa alteração sofrida pela rocha, ainda possibilitou a observação da foliação (Figura 3.22).



Figura 3. 22 – Afloramento e fotomicrografia dos xistos da Unidade Nova Lima Indiviso mostrando os alteromorfos de minerais máficos, sob luz plana.

As rochas possuem coloração variando de marrom claro a marrom avermelhado, aspecto untuoso, foliação proeminente e um sistema de fraturas com famílias de descontinuidades fechadas e abertas. Segundo Silva (1990), embora o material possua uma baixa permeabilidade e conseqüentemente tenha uma baixa taxa de infiltração, os planos de fratura possibilitam a percolação de água e a intensificação dos processos de alteração. Este autor destaca, ainda, que a erodibilidade característica, varia de moderada a alta. A baixa resistência mecânica e o grau de alteração, variando de moderado a completamente alterado (W 3,4,5), aliados à estruturação geológica

complexa e a morfologia irregular, conferem a estes terrenos uma grande suscetibilidade a ravinamentos e à deflagração de deslizamentos, principalmente segundo os planos de foliação da rocha (Carvalho, 1982). A existência de cobertura vegetal contribui para a diminuição do escoamento superficial e conseqüentemente à intensificação dos processos erosivos.

3.1.1.5 COMPLEXO SANTO ANTÔNIO DO PIRAPETINGA

O Complexo Santo Antônio do Pirapetinga distribui-se, predominantemente, em faixas ao centro e leste da BHRC, abrangendo cerca de 46 km². Os litotipos que o compõem podem ser individualizados em três unidades distintas: a primeira é composta por rochas básicas metamorfisadas e metassomatizadas, representadas por anfibolitos; a segunda é composta por rochas ultrabásicas, representadas por esteatitos, serpentinitos e talco-clorita-xistos, também submetidas a processos de alteração e transformação; e a terceira que é predominante, composta por gnaisses que variam composicionalmente de tonalitos a granitos (Figura 3.23).

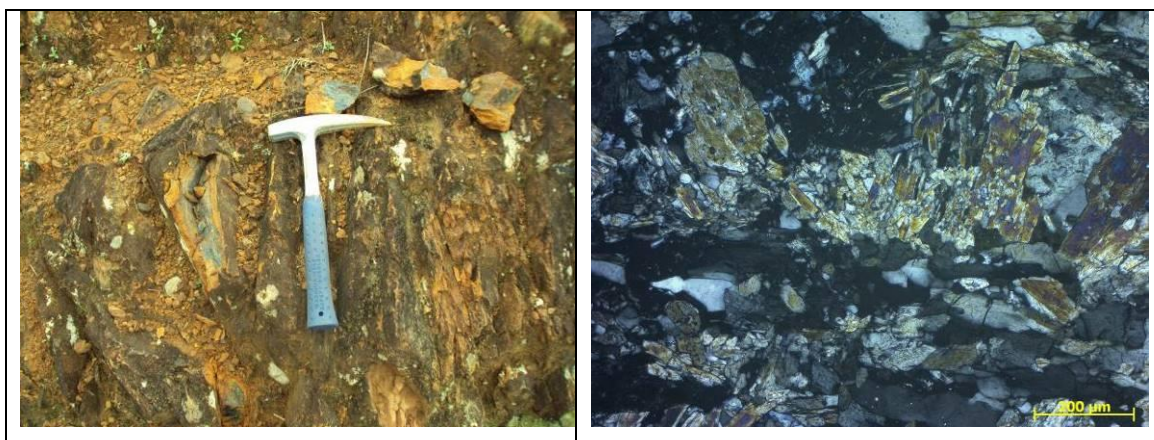


Figura 3. 23 – Afloramento e fotomicrografia do gnaisse do Complexo Santo Antônio do Pirapetinga mostrando a estrutura decussada da rocha e a mineralogia composta de hornblenda (hb), actinolita (act), plagioclásio (pl), quartzo (qtz), clinozoisita (clz) e allanita (all) sob luz polarizada.

Quando as rochas gnáissicas não se encontram alteradas ou fraturadas, apresentam boas condições físico-mecânicas (homogeneidade, isotropia, elevadas resistências à compressão e alteração, baixa porosidade). Já quando alterados, apresentam-se como solos com argilo-minerais e como desagregação da rocha em material areno-argiloso.

As espessuras de solo são maiores e a intervenção antrópica está relacionada principalmente à remoção da cobertura vegetal, para o desenvolvimento de atividades relacionadas a silvicultura.

3.1.1.6 COMPLEXO SANTA BÁRBARA

O Complexo Santa Bárbara distribui-se na porção nordeste da BHRC, abrangendo cerca de 72 km². Dos litotipos que o compõem, destaca-se a homogeneidade de um conjunto de rochas graníticas e tonalíticas, inseridas em um amplo Complexo Migmatítico (Figura 3.24). Destaca-se, ainda, o relevo predominantemente arrasado com declives suaves, assoreados por sedimentos quaternários. A microestrutura é inequigranular e a mineralogia principal formada por ortoclásio como cristais isolados na matriz e possuindo relevo negativo se comparado com o plagioclásio, mica branca, microclina, plagioclásio sericitizado com antipertita, quartzo, epidoto s.s verde claro, e zircão como acessório.



Figura 3. 24 – Afloramento e fotomicrografia dos migmatitos do Complexo Santa Bárbara mostrando a estrutura inequigranular da rocha e a mineralogia composta de microclina (mcr), plagioclásio (pl), quartzo (qtz), e mica branca (mica) sob luz polarizada.

3.1.2. PROVÍNCIA GEOTECTÔNICA MANTIQUEIRA

3.1.2.1 COMPLEXO MANTIQUEIRA

Segundo Brandalise (1991), o Complexo Mantiqueira é caracterizado por uma

sequência de gnaisses ortoderivados, eventualmente migmatizados e/ou com intercalações de anfibolitos e metagabros. Sua distribuição geográfica ocorre em uma pequena faixa de apenas 0,6 km² no extremo leste da BHRC e por este motivo não ocorreu o detalhamento desta unidade.

3.2 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

Como referências fundamentais adotadas destaca-se os três níveis de abordagem geomorfológica propostos por Ab'Saber (1969) (Figura 3.25), e as unidades taxonômicas têmporo-espaciais com seis níveis para a representação geomorfológica, propostas por Ross (1992) (Figura 3.26), utilizando-se das unidades taxonômicas apresentadas por Demek (1967).

Ab'Saber (1969) ressalta que para um estudo integral do relevo três níveis de abordagem devem ser considerados: a compartimentação morfológica, o levantamento da estrutura superficial e o estudo da fisiologia da paisagem.

O estudo da compartimentação morfológica possível de ser realizado para toda a área da BHRC enquadra-se inicialmente no primeiro nível de abordagem proposta por Ab'Saber (1969), na escala 1:50.000, incluindo observações relativas aos diferentes níveis topográficos e características do relevo, com o propósito de contribuir para o ordenamento do território, no que tange ao processo de ocupação e uso deste.

A análise do segundo nível de abordagem proposto por Ab'Saber (1969), da estrutura superficial, ou depósitos correlativos, foi incorporada e aplicada de forma subjetiva aos estudos das suscetibilidades a deflagração de processos geodinâmicos nas escalas 1:25.000 e 1:10.000, constituindo-se um importante elemento na definição do grau de fragilidade dos terrenos, e sendo responsável pelo entendimento histórico da sua evolução.

Para o terceiro nível de abordagem proposto por Ab'Saber (1969) - a fisiologia da paisagem, este fez parte dos estudos nas escalas 1:10.000 para a elaboração da carta de aptidão a urbanização em parte da sede do município de Ouro Preto, e 1:2.000 nas análises de perigo e risco realizadas na sede do município de Mariana. Em ambos o objetivo foi compreender a ação dos processos morfodinâmicos atuais, inserindo-se na

análise o homem como sujeito modificador.

<p>Planície Depressão Planalto</p> <p>Área de Acumulação Superfície Dissecada Superfície Aplainada Superfície Dissecada</p> <p>Planície Aluvial Rampas Pedimentadas Formas Convexizadas Formas Tabulares Escarpa Erosiva Pediplano Formas Convexizadas</p>	<p>Parâmetros de Abordagem</p> <p>Morfométrico Morfográfico Morfogenético</p>	<p>Componentes de Análise e Intensidade de Campo</p> <p>Processos Morfogenéticos (Pós-Cretácicos) e Implicações Tectônico-estruturais</p> <p>Documentação Cartográfica e Observações de Campo (Compartimentação Morfológico-estrutural)</p>
<p>Escarpa Pediplano Depósito de Cobertura</p> <p>Nível de Pediplanação Bancada Ferruginosa Colúvio Rocha Alterada</p> <p>Planície de Inundação Depósitos Aluviais Atuais Linha de Pedras Linha de Pedras (Seixos) Paleopavimentos</p>	<p>Morfométrico Morfográfico Morfogenético</p> <p>+</p> <p>Morfocronológico</p>	<p>Deposições Paleoclimáticas</p> <p>Levantamento de Perfis Análises Laboratoriais</p> <p>Reconstituição Cronomorfogenéticas</p>
<p>CHUVA</p> <p>Corte de Estrada Erosão Concreções Ferruginosas Habitações Pastagem Lavqura Latossolo</p> <p>Colúvio Pedogenizado Vegetação Residual Fluxo Concentrado Fluxo Laminar Concentrado Paleopavimento</p> <p>Habitações Pastagem Lavqura Fluxo Concentrado Predomínio da Infiltração</p> <p>Colúvio Pedogenizado Fluxo Concentrado Paleopavimento</p>	<p>Morfométrico Morfográfico Morfogenético</p> <p>Morfocronológico</p> <p>+</p> <p>Morfodinâmico</p>	<p>Momento Atual (Derivações Antropogenéticas)</p> <p>Levantamento de Perfis Análises Laboratoriais</p> <p>(Balanço Morfogenético Vulnerabilidade)</p>

Figura 3. 25 – Níveis de abordagem geomorfológica segundo a metodologia proposta por Ab'Saber (1969).

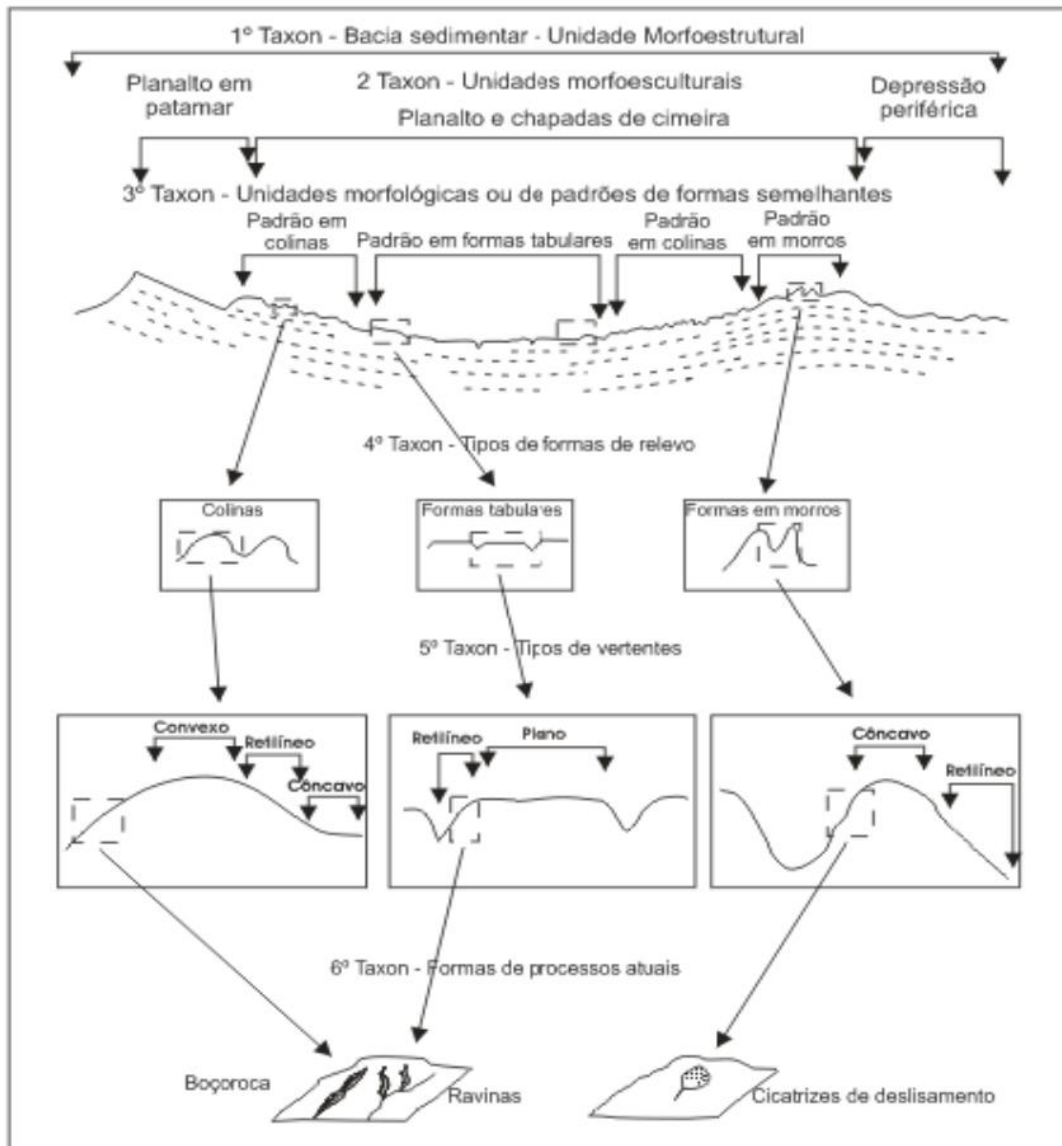


Figura 3. 26 – Unidades taxonômicas propostas por Ross (1992).

3.2.1. ELABORAÇÃO DA CARTA GEOMORFOLÓGICA

Neste capítulo aborda-se a aplicação de diferentes metodologias para compartimentação topográfica, com posterior proposição de classes para a separação de domínios morfológicos, que se individualizam por apresentarem características específicas, como determinados tipos de formas ou domínios altimétricos, baseado fundamentalmente na análise das formas resultantes do processo evolutivo do relevo.

As análises realizadas para a BHRC se enquadram em três táxons específicos da

metodologia proposta por Ross (1992). A análise mais geral envolvendo toda a bacia na escala 1:50.000 pode ser relacionada ao 4º táxon, onde às formas de relevo são individualizadas em unidades com padrão de formas semelhantes (correspondente aos Modelados na metodologia adotada pelo IBGE, 1995). Já as análises referentes às suscetibilidades e aptidão a urbanização (escalas 1:25.000 e 1:10.000), estão relacionadas ao 5º táxon com a abordagem de partes das vertentes ou setores das vertentes de cada uma das formas do relevo. Para as análises relacionadas à cartografia do perigo e risco (escala 1:2.000) tem-se a representação do 6º táxon proposto por Ross (1992) que corresponde às pequenas formas de relevo que se desenvolvem por interferência antrópica direta ou indireta ao longo das vertentes.

A sequência geral de trabalho para as análises foi a seguinte:

- 1 - Levantamento preliminar da área da BHRC (pesquisa bibliográfica e inventário de dados),
- 2 - Preparação das bases cartográficas disponíveis (cartas topográficas e geológicas),
- 3 - Elaboração do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente – MDEHC,
- 4 - Elaboração de perfis topográficos representativos e trabalho de campo para reconhecimento do meio físico, reconhecimento de feições e padrões morfológicos, e limites da BHRC,
- 5 – Compartimentação morfológica e elaboração da carta geomorfológica baseada em conhecimento especialista (Método Heurístico), e trabalhos de campo para validação dos resultados,
- 6 – Compartimentação topográfica a partir de composição colorida RGB e realce dos padrões de relevo,
- 7 – Proposta de metodologia de compartimentação do relevo adequada à BHRC, a partir dos resultados obtidos nas etapas 5 e 6,
- 8 - Elaboração da carta geomorfológica final com edição gráfica.

3.2.1.1 COMPARTIMENTAÇÃO MORFOLÓGICA BASEADA NO MÉTODO HEURÍSTICO

Este primeiro nível de informações sobre o relevo da BHRC foi obtido a partir de análise qualitativa subjetiva, por meio de julgamento especialista com conhecimento prévio. Esta compartimentação baseou-se essencialmente em levantamentos de campo, na elaboração de perfis topográficos e análise de dados cartográficos disponíveis. As figuras 3.27 a 3.30 retratam o resultado da compartimentação topográfica da BHRC com este nível de informação:

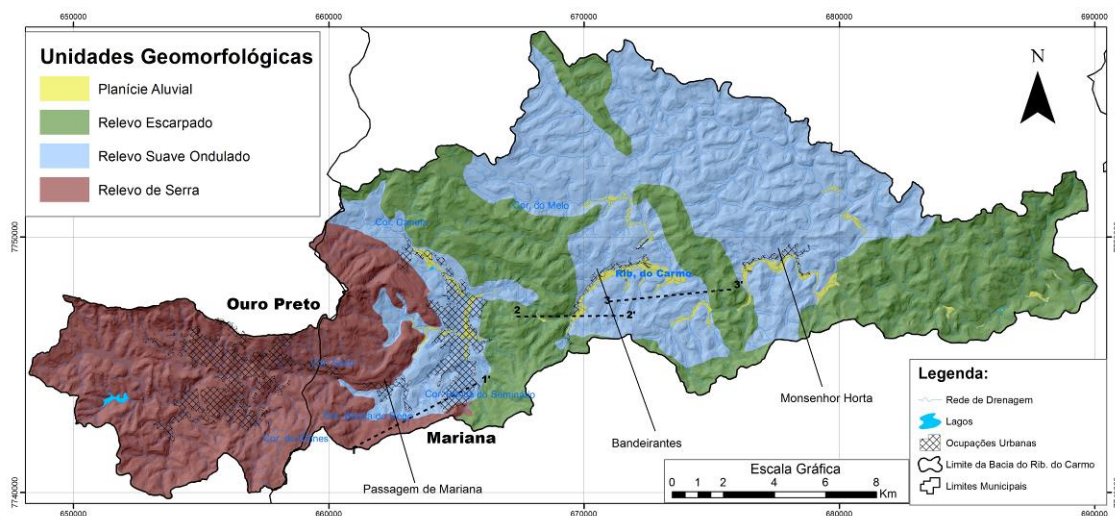


Figura 3. 27 – Mapa Geomorfológico da BHRC a partir de análise heurística.

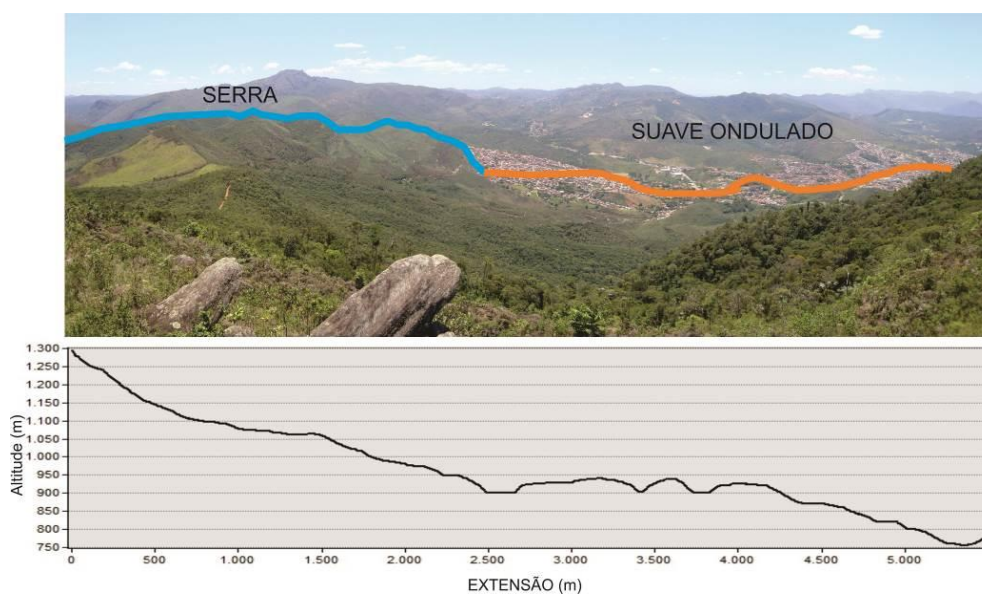


Figura 3. 28 – Perfil esquemático 1 – 1' de trechos da BHRC considerando a análise heurística para delimitação das unidades morfológicas.

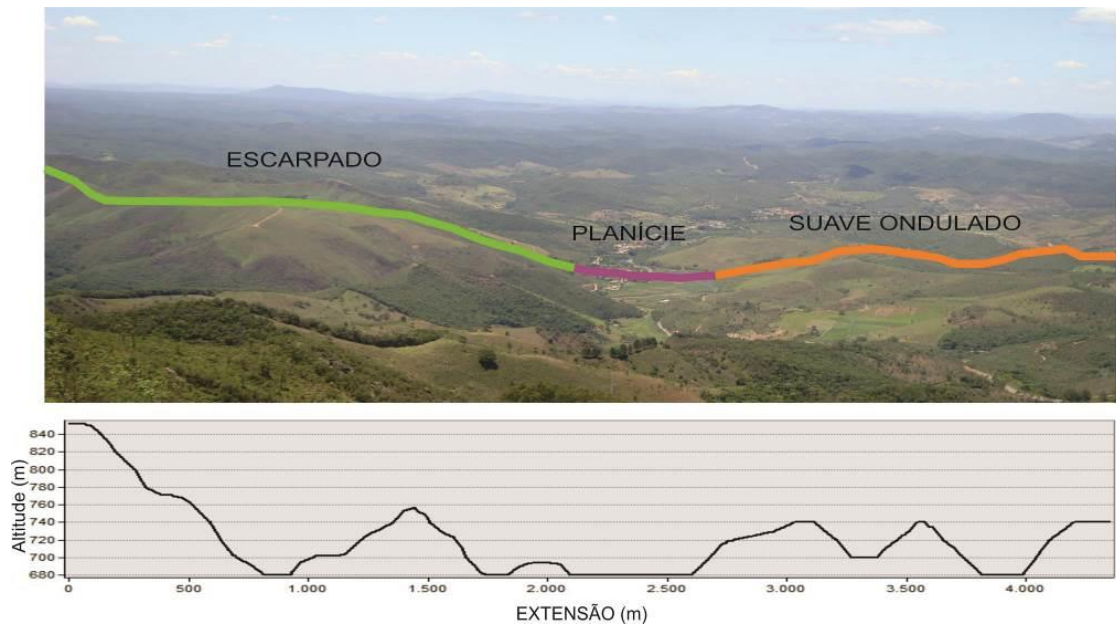


Figura 3. 29 - Perfil esquemático 2 – 2' de trechos da BHRC, considerando a análise heurística para delimitação das unidades morfológicas.

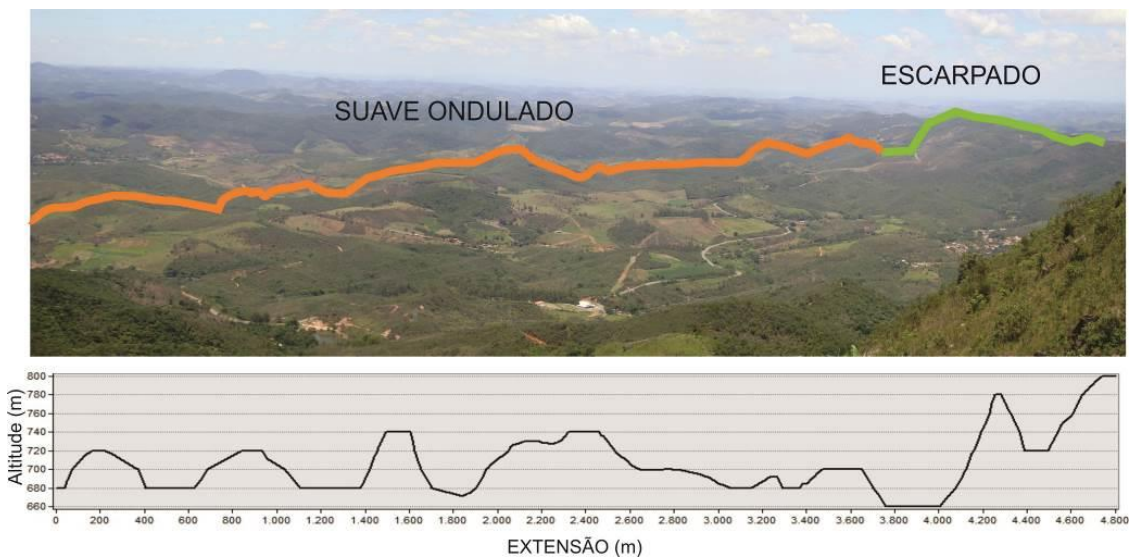


Figura 3. 30 - Perfil esquemático 3 – 3' de trechos da BHRC, considerando a análise heurística para delimitação das unidades morfológicas.

Identificadas as unidades geomorfológicas (Figura 3.27) foram analisadas as classes predominantes de altimetria e declividade para cada uma das unidades, através da elaboração de histogramas de frequência (Figura 3.31).

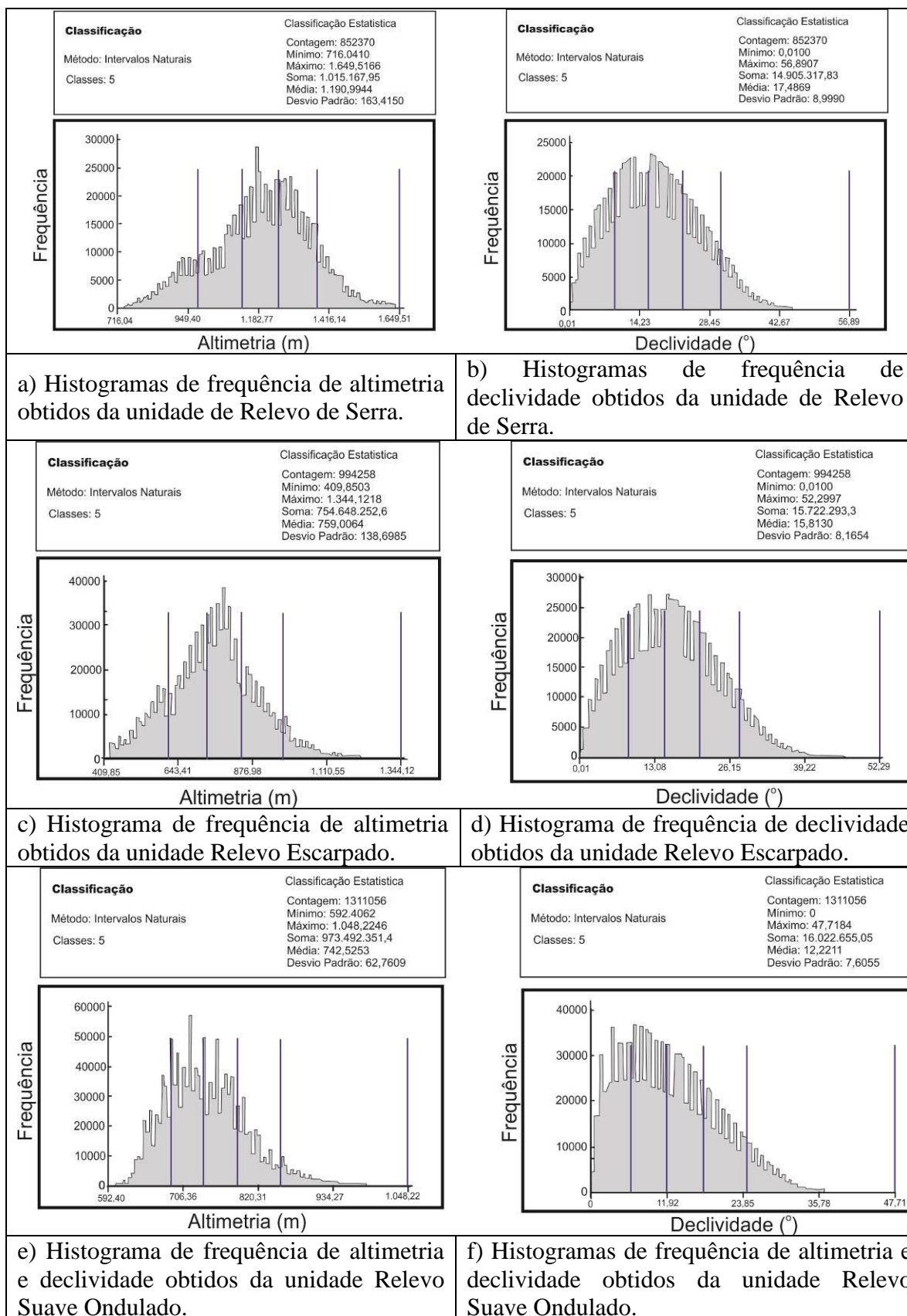


Figura 3. 31 – Histogramas de frequência de altimetria e declividade obtidos das unidade morfológicas.

A correlação entre as análises geomorfológicas pelo método heurístico, com os histogramas de frequência gerados das unidades geomorfológicas delimitadas a partir deste, contribuem para uma leitura da BHRC diferenciando o relevo do Quadrilátero Ferrífero na porção oeste da bacia e os Planaltos Dissecados na porção leste. O relevo de Serra é evidenciado nas cabeceiras a oeste, condicionado estruturalmente, com substrato rochoso composto por formações metassedimentares neoproterozoicas características do Quadrilátero Ferrífero (filitos, quartzitos, xistos, formação ferrífera bandada e dolomitos) e solos pouco espessos, predominando neossolos litólicos, cambissolos e afloramentos rochosos. Neste trecho o ribeirão do Carmo é bem encaixado e com o leito mais declivoso. As altitudes médias giram em torno de 1.400-1.600 m (CPRM, 1993), e ponto culminante no Pico do Itacolomi (1.772 m). O controle estrutural na morfologia é marcante, e são descritos relevos tipo sinclinais suspensos e anticlinais esvaziados além de cristas estruturais do tipo *hogback*.

Na porção centro-leste da BHRC, o relevo é mais dissecado e foi subdividido em relevo escarpado, suave ondulado e planície aluvial. O relevo é ondulado a suave ondulado, com predomínio de solos mais espessos (argissolos e latossolos) podendo-se inserir a região a um domínio morfoestrutural com exposição de rochas cristalinas, deformadas e deslocadas do embasamento, atingidas por sucessivos estágios de erosão e submetidos a processos intempéricos que produziram pacotes de alteração evoluídos (RADAMBRASIL, 1983). O intenso processo de dissecação fluvial foi responsável pela origem das formas de colinas e cristas com vales encaixados e/ou de fundo chato (CPRM, 1993). São mais frequentes pequenas planícies de inundação e quase não há saltos consideráveis ao longo do leito dos canais. Neste setor a drenagem ganha um padrão dendrítico e o curso principal recebe vários afluentes. Nessa unidade as altitudes são muito variáveis, oscilando entre 1.000 e 1.200 m nas cristas e 500-800 m nos vales.

3.2.1.2 COMPARTIMENTAÇÃO TOPOGRÁFICA A PARTIR DE COMPOSIÇÃO COLORIDA RGB E REALCE DOS PADRÕES DE RELEVO.

Para uma representação mais detalhada e um melhor entendimento da morfologia da bacia hidrográfica, elaborou-se uma segunda análise da compartimentação do relevo, complementar à primeira, baseada na geração de parâmetros morfométricos do terreno

derivados da altimetria. Os parâmetros morfométricos derivados utilizados nessa análise foram altimetria, declividade, e curvatura. Segundo Borges (2007), a composição colorida é uma forma de sintetizar um número significativo de informações em uma única imagem, cujo resultado é a caracterização de ambientes distintos a partir dos diferentes padrões tonais e texturais gerados. Essa técnica realça as feições do relevo permitindo a sua interpretação com maior facilidade e vem sendo utilizada em vários estudos destacando-se, Hermuche *et al.* (2002), Dantas *et al.* (2003), Martins *et al.* (2004c), Ferreira *et al.* (2007), Castro *et al.* (2009); Lima *et al.* (2009), Passo *et al.* (2010), Couto Júnior *et al.* (2010), Sena-Souza *et al.* (2013), Saha *et al.* (2011), Vasconcelos *et al.* (2012).

Para a BHRC, na composição colorida dos parâmetros morfométricos os dados de altimetria preencheram o canal do vermelho, a declividade o canal verde, e o aspecto o canal azul, agrupando todos os valores em uma só imagem. Essa ordem foi definida por convenção, já que a altimetria e a declividade definem as principais feições geomorfológicas.

As unidades morfológicas (UM) foram mapeadas por meio da interpretação visual da composição, a partir do realce dos padrões de relevo. Após o reconhecimento dos padrões tonais, foram gerados histogramas de frequência de cada uma das UM para verificação das variações de altimetria e declividades em cada classe, que foram comparados com os dados geomorfológicos e com os resultados alcançados com a metodologia heurística (Figuras 3.32, 3.33 e 3.34).

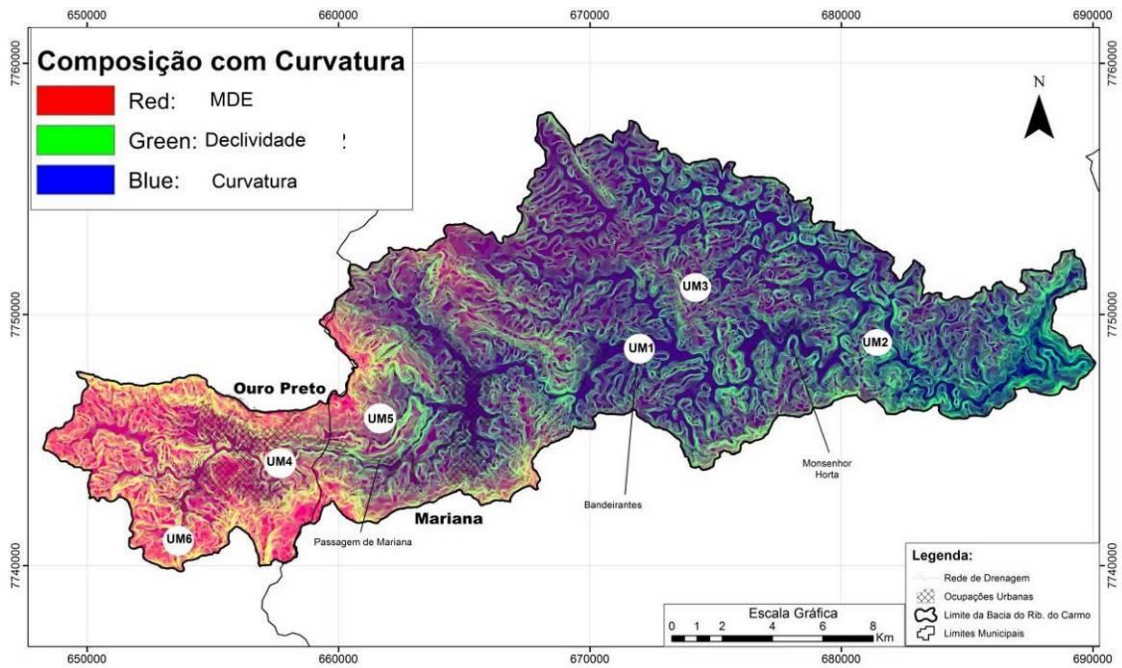


Figura 3. 32 – Trechos com diferenciação de padrões de relevo observados a partir da composição colorida RGB da BHRC.

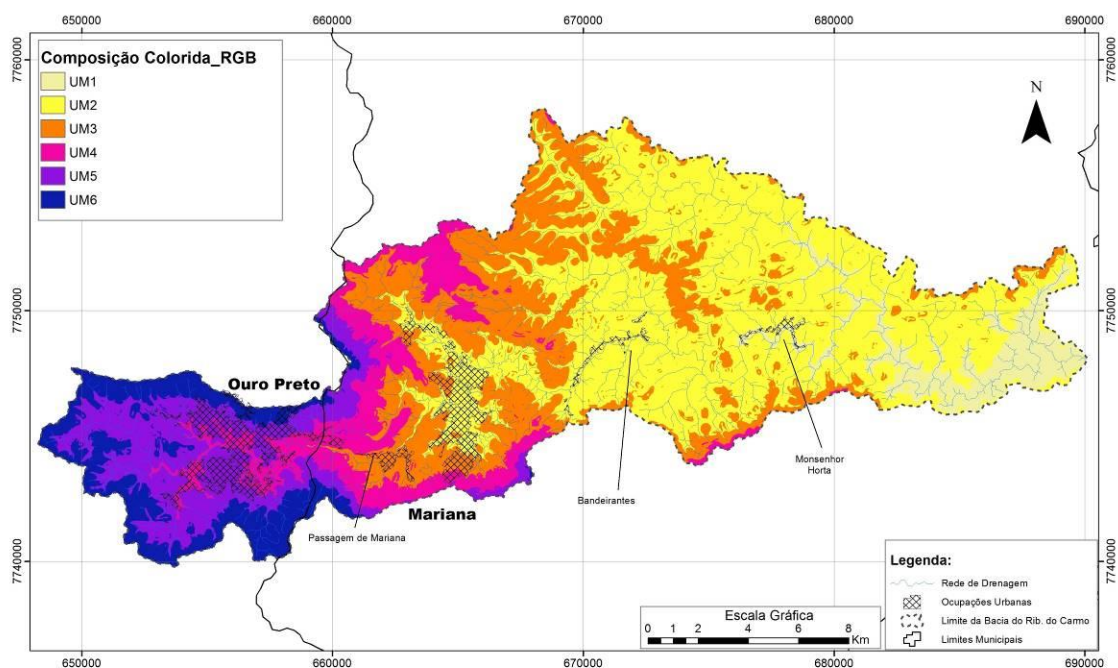


Figura 3. 33 – Delimitação preliminar das unidades morfológica a partir da composição colorida RGB da BHRC, para geração dos histogramas de frequência.

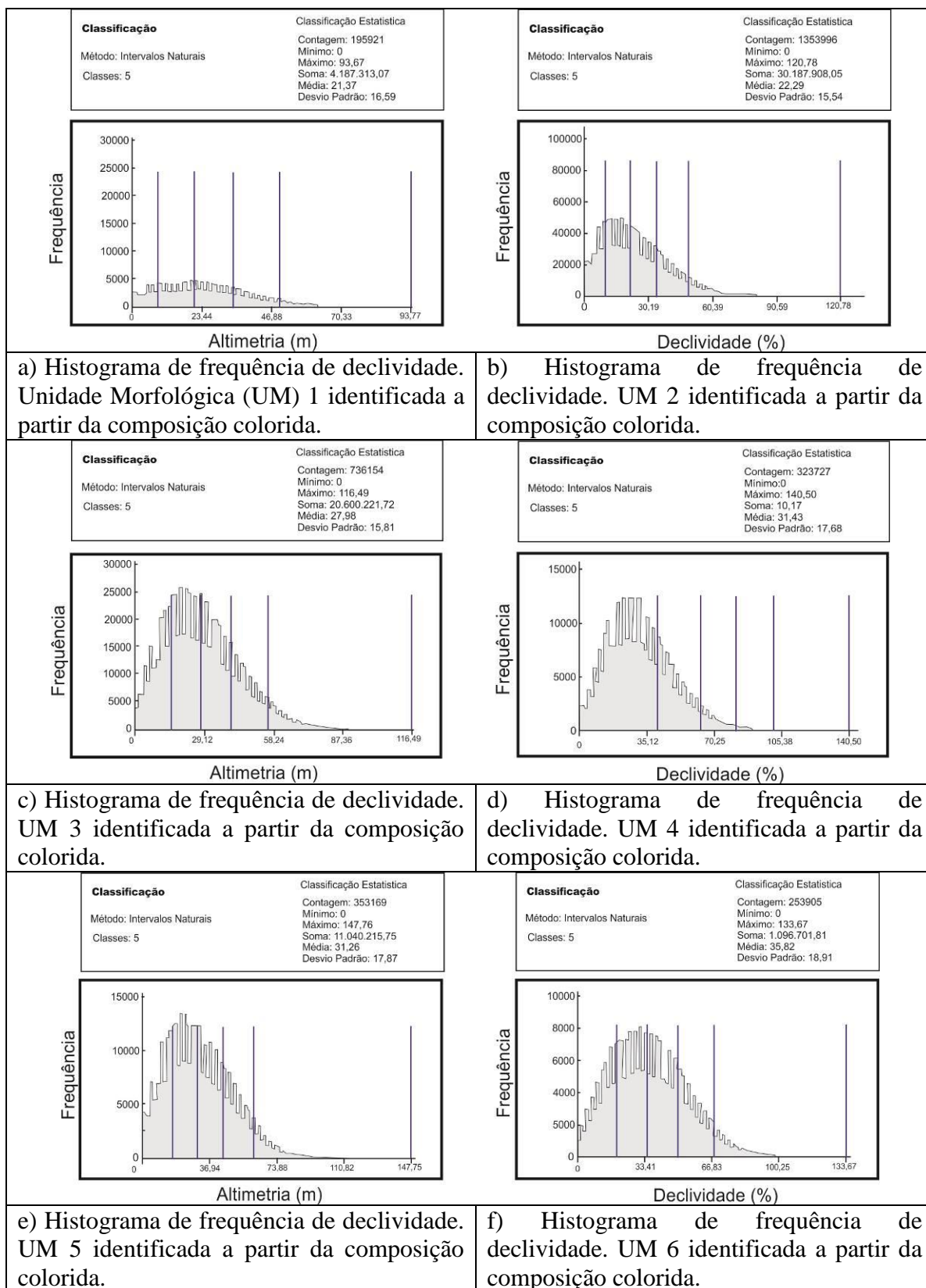


Figura 3. 34 - Histograma de frequência de declividade obtido das Unidades Morfológicas (UM) identificadas a partir da composição colorida.

3.2.1.3 PROCEDIMENTOS PARA A COMPARTIMENTAÇÃO DO RELEVO ADEQUADA A BHRC.

A terceira e última etapa para a compartimentação topográfica da BHRC foi resultante dos resultados alcançados nas compartimentações obtidas com os métodos heurístico e de composição colorida, principalmente em relação às frequências de altimetria e declividade por unidade morfológica. Os referenciais teóricos para a construção da metodologia estão fundamentados em Ponçano *et al.* (1979), Ponçano *et al.* (1981) e Florenzano (2008).

Ponçano *et al.* (1979), lançaram uma proposta taxonômica onde os fatos geomorfológicos empregam a noção de “sistemas de relevo” na busca de apreensão, para uma dada região, de áreas cujos atributos físicos sejam distintos das áreas adjacentes. Ponçano *et al.* (1981), em uma análise complementar à anterior propõem que os sistemas de relevo podem ainda ser subdivididos em porções menores do terreno denominadas “unidades de relevo”, as quais refletem formas simples, que ocorrem sobre um único tipo de rocha ou depósito superficial, tais como feições de escarpas, morros, leques aluviais e colinas. Já Florenzano (2008) propõe alguns critérios para a elaboração de uma carta de unidades morfológicas, destacando que a seleção da legenda, o nível de detalhamento e a escala dependem da resolução dos dados sensores remotos disponíveis, da realização de trabalho de campo, da disponibilidade de dados de outras fontes, das características da área de estudo e dos objetivos do mapeamento, como já discutido neste estudo.

Para a BHRC e suas especificidades avaliadas em campo e por meio dos histogramas de frequência gerados nas compartimentações descritas anteriormente, a classificação das formas do relevo foi proposta considerando que as unidades morfológicas exprimem cada uma por si superfícies de terra formadas por processos naturais, com composição definida e conjunto de características físicas e naturais distintas, frente aos processos erosivos, intempéricos e tectônicos. Nove unidades morfológicas foram delimitadas conforme classificação proposta no Quadro 3.1:

Quadro 3. 1 – Classificação das formas de relevo para a BHRC.

Amplitude Local (m)	Gradiente Predominante	Formas de Relevo
< 100	< 5%	Suave a Plano
	5 a 10%	Rampa
	10 a 20%	Colina
	> 20%	Morrote
100 a 300	< 5%	Suave a Plano
	5 a 20%	Morro com encosta suave
	> 20 %	Morro
> 300	< 20%	Suave a Plano de Alta altitude
	> 20%	Montanha

A cartografia das unidades morfológicas foi realizada considerando as seguintes Etapas:

Etapa 1 – Classificação da amplitude local da BHRC conforme proposta em três intervalos: amplitudes inferiores a 100m, amplitudes variando de 100 a 300m e amplitudes superiores a 300m.

Etapa 2 – Reclassificação dos intervalos de amplitude considerando a variação de gradiente predominante proposto: gradientes inferiores a 5%, variando entre 5 e 10%, variando entre 10 e 20% e acima de 20%.

Etapa 3 – Classificação das formas de relevo conforme nomenclatura proposta.

Para a Etapa 1 os procedimentos executados para a classificação da amplitude estão listados a seguir.

1 - Geração do modelo digital de elevação hidrologicamente correto com remoção das depressões fechadas (espúrias), e geração do modelo digital de elevação hidrologicamente correto invertido.

2 – Geração da direção de fluxo superficial de água e geração da direção de fluxo de água invertido.

3 - Geração da máscara de cumes e da layer de cumes propriamente dita a partir da direção de fluxo invertida.

4 – Geração da layer que representa o domínio das elevações (bacias invertidas).

5 - Geração dos cumes máximos por estatística zonal.

- 6 – Determinação da altitude da base.
- 7 – Cálculo e classificação das amplitudes das elevações em relação a base.
- 8 – Análise de proximidade entre os pontos gerados:
- 9 – Geração das classes de amplitude conforme metodologias proposta.
- 10 - Validação dos polígonos.

A figura 3.35 retrata a classificação das amplitudes locais obtidas.

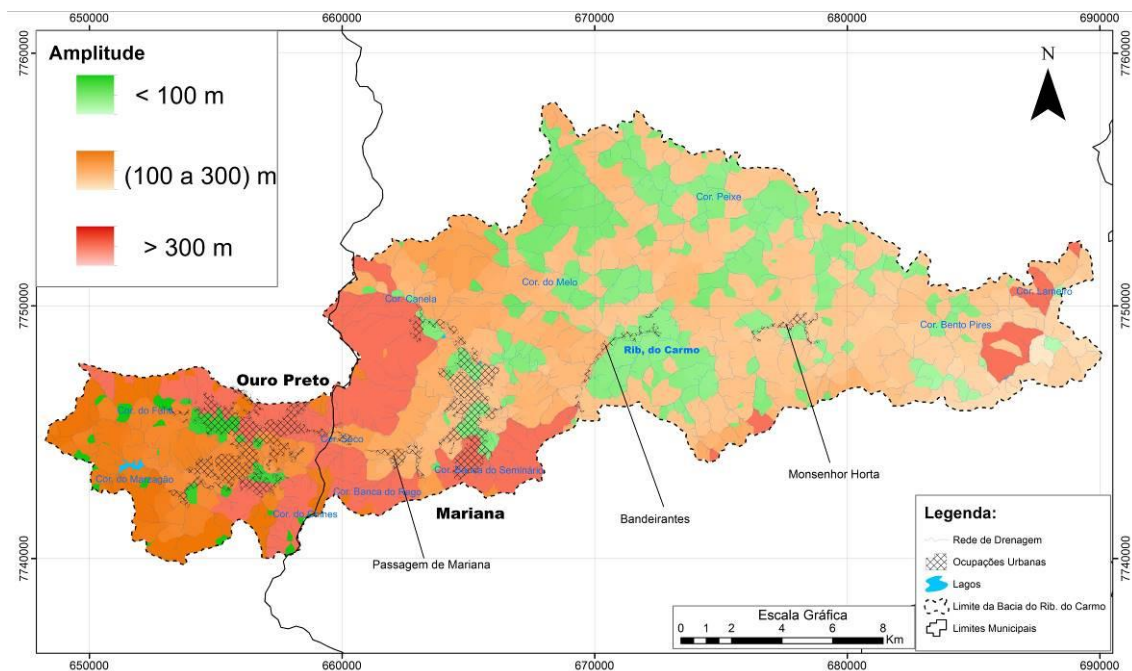


Figura 3. 35 – Mapa de amplitudes relativas da BHRC.

Para a elaboração do mapa de Unidades Morfológicas final, as classes de amplitude foram reclassificadas considerando a variação do gradiente proposto. O resultado obtido pode ser visualizado na Figura 3.36 e Anexo I.

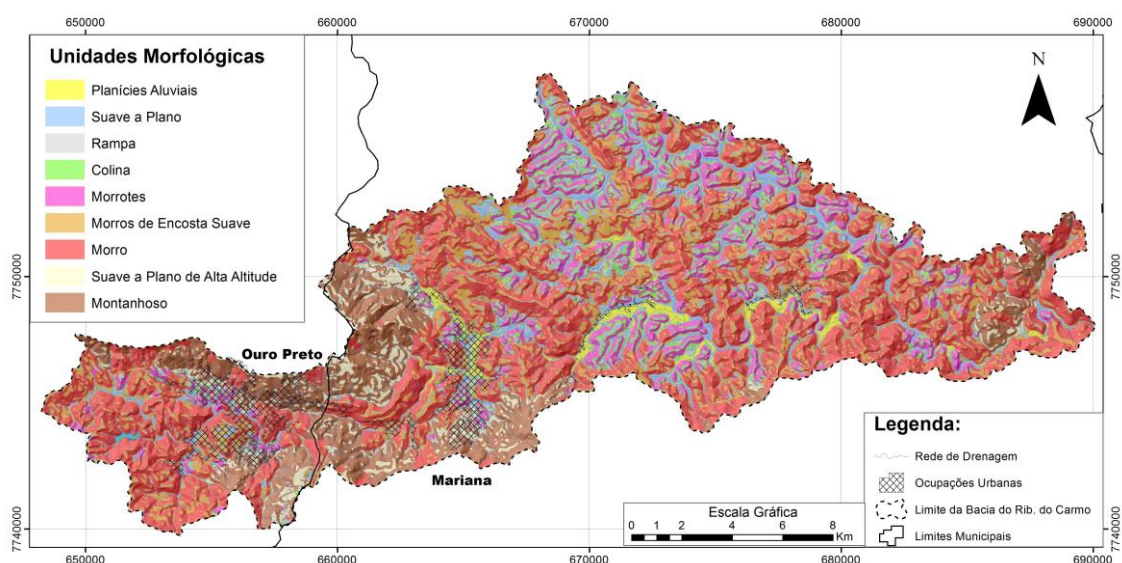


Figura 3. 36 – Mapa de Unidades Morfológicas Proposto para a BHRC.

3.2.1.3.1 RELEVO MONTANHOSO

A Unidade Relevo Montanhoso representa as porções do território com altitudes superiores a 750 m e declividades acentuadas, gradientes geralmente ultrapassando os 35%, chegando, às vezes, a valores superiores aos 100%. São comuns “paredões” rochosos que culminam em cristas ou plataformas que se destacam na paisagem. A estruturação geológica condiciona a rede de drenagem. Ocorre em aproximadamente 12% do território o que representa em área cerca de 39,34 km². As porções mais representativas são as Serras de Ouro Preto e Itacolomi, a oeste da Bacia, e a região do Distrito de Furquim, no extremo leste.

3.2.1.3.2 RELEVO DE MORRO

A Unidade Relevo de Morro é a unidade com maior recobrimento, ocorrendo em aproximadamente 38% do território (123 km²), sendo representada por uma extensa faixa que se estende de oeste, na cabeceira da BHRC nos contrafortes das Serras do Itacolomi na porção oeste, Serra do Gambo na porção central, e em toda porção noroeste da bacia. As elevações alongadas com vertentes íngremes e topos em crista são as feições mais marcantes. As altitudes predominantes estão entre 600 e 800 m e 1100 e 1300 m, com desníveis dos topos para os fundos dos vales entre 100 e 300 m. Os

declives se encontram, predominantemente, na faixa dos 30% a 35%. O substrato geológico é formado pelo Supergrupo Rio das Velhas (quartzitos, xistos diversos e formação ferrífera), na porção oeste, e pelo Complexo Santo Antônio do Pirapitinga, na faixa que se estende a leste, condicionando a rede de drenagem com destaque para o padrão dendrítico.

3.2.1.3.3 RELEVO DE MORRO COM ENCOSTA SUAVE

A Unidade Morro com encosta suave representa 18% do território (59 km²), ocorrendo, de forma generalizada ao longo de toda a bacia. Os declives são inferiores a 20% nas pendentes, assumindo valores menores em direção ao topo ocorrendo em altitudes entre 500 e 1400 m.

3.2.1.3.4 RELEVO DE MORROTE

A Unidade Morrote ocorre principalmente no entorno da sede do município de Mariana e nas porções central e norte da BHRC em uma área aproximada de 32 km². Predominam declives próximos de 20%. O desnivelamento entre o topo e os vales da ordem das dezenas de metros, reflete as elevações típicas do Planalto Dissecado, formando mares de morros, com vertentes mais suaves que as unidades anteriores. O padrão de drenagem típico é o dendrítico. Quanto à distribuição litológica, o substrato é formado por rochas do Complexo Santo Antônio do Pirapitinga e do Complexo Santa Bárbara (gnaisses diversos).

3.2.1.3.5 RELEVO DE COLINA

As Colinas possuem um padrão multiconvexo e são remanescentes de Chapadas que estão no final do processo de erosão e transformação em Rampa de Colúvio. A pedologia presente nessa unidade é constituída por Latossolo Amarelo ou Cambissolo.

Esta unidade ocorre em uma área pouco expressiva na BHRC (16,5 km²) associada com a unidade Morrote. Quanto à distribuição litológica, o substrato é formado por rochas do Complexo Santo Antônio do Pirapitinga e do Complexo Santa Bárbara (gnaisses

diversos).

3.2.1.3.6 RELEVO DE RAMPA

As Rampas de Colúvio são caracterizadas por relevo plano e suave ondulado com uma leve inclinação em direção às linhas de drenagens. Sua formação está associada ao ciclo de erosão Velhas (Novaes Pinto, 1986b). A ocorrência é pontual em uma área aproximada de 8,7 km².

3.2.1.3.7 RELEVO SUAVE A PLANO

Essa Unidade representa os setores do território com amplitudes inferiores a 100 m e declividades inferiores a 5%, ocorrendo em uma área de 21,5 km², principalmente nas porções de baixada em associação com linhas de drenagem.

3.2.1.3.8 RELEVO SUAVE A PLANO DE ALTA ALTITUDE

Essa unidade se diferencia da unidade Relevo suave a plano apenas pelo fato de ocorrer em porções do território com amplitudes superiores a 100 m. Ocorre em uma área de 13,2 km² no setor oeste da bacia e no entorno do distrito de Furquim a leste, sempre associado a unidade de relevo Montanhoso. Os topos, caracterizados por relevo plano e suave ondulado com padrões multiconvexos e processos dinâmicos estáveis estão englobados nesta unidade.

3.2.1.3.9 RELEVO DE PLANÍCIE ALUVIAL

As planícies aluviais são as zonas de aporte de materiais provenientes dos relevos maiores, representadas pelos fundos dos vales mais abertos. Possuem altitudes inferiores a 600 m e só representam 1,83% (5,9 km²) da área total do município. São importantes por condicionarem o desenvolvimento de alguns distritos, seja pela concentração de ouro de aluvião, seja pelo relevo mais plano. Entre as ocupações mais representativas destacam-se a sede de Mariana, os Distritos de Bandeirantes e Monsenhor Horta, instalados ao longo do Ribeirão do Carmo.

3.3 CARACTERIZAÇÃO PEDOLÓGICA

Segundo Lepsch (2002), a pedologia é o ramo da ciência que se dedica a estudar os solos considerando sua origem, sua morfologia, suas classificações e seus mapas, formando base para as indicações do seu melhor uso, dentro dos princípios de proteção ambiental. São indicadores de estabilidade ambiental e, mesmo contando com a tecnologia para adaptar-se às condições naturais, a maioria das atividades humanas desenvolve-se em relação ao solo (para habitação, agricultura, produção etc.).

No Brasil, uma nova Classificação Brasileira de Solos foi iniciada em 1979, e em 1999 foi divulgada a 1ª edição da classificação e, em 2006 a 2ª Edição. Esta aponta para uma taxonomia que subdivide os solos em 14 classes definidas a partir de horizontes diagnósticos e subdivididos em seis níveis hierárquicos: ordem, subordem, subgrupo, grande grupo, família e série. Os mapas de solos disponíveis são na sua maioria obtidos pelo método convencional encontrando-se em escalas muito pequenas variando entre 1:500.000 e 1.000.000, ou menores.

Na Figura 3.37 tem-se o mapa de solos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Carmo, a partir dos dados pedológicos do Mapa de Solo do Estado de Minas Gerais, na escala 1:600.000 (Feam, 2011).

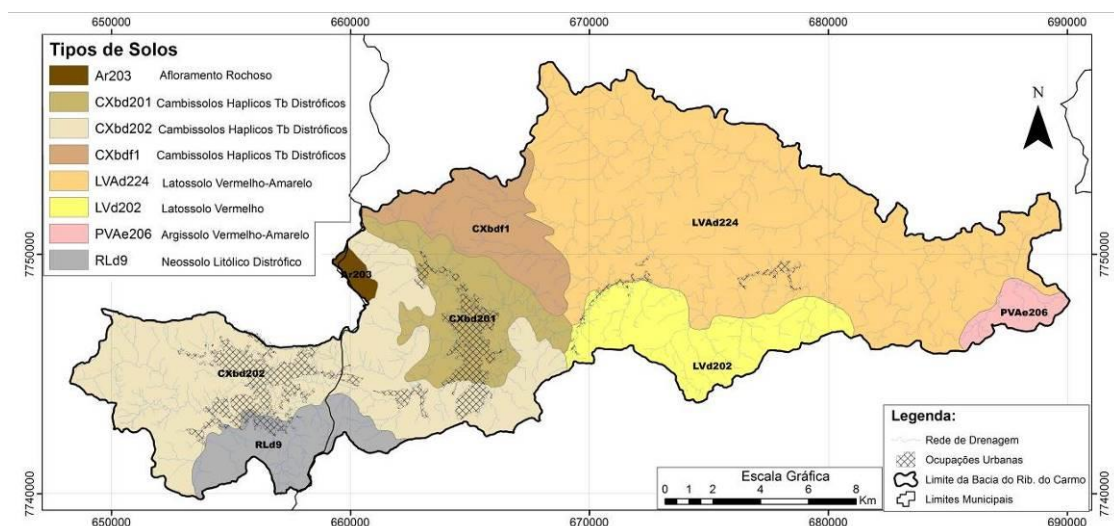


Figura 3. 37 – Mapa de Solo da BHRC a partir do mapa de solos de Minas Gerais. Fonte: Mapa de Solo do Estado de Minas Gerais. Fonte: Feam, 2011.

Outro estudo realizado na região de abrangência da BHRC foi o de Fernandes, et al.

(2011), que desenvolveu no município de Mariana um levantamento de solos através de coleta de amostras e análise em laboratório. Os perfis de solo foram classificados até o segundo nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (EMBRAPA, 2006). De acordo com as análises geradas, a classe de solo predominante no município de Mariana - MG são os Cambissolos (CXbd), seguido do Latossolo Vermelho Amarelo (LVAd), do Latossolo Vermelho (LVd), do Argissolo Vermelho (PVd) com ocorrência esparsa, Neossolo Litólico (RL) e (RY), e Afloramento de Rocha (AR).

Entretanto, as análises de campo para reconhecimento dos terrenos da BHRC apontaram diferenças entre os mapas de solos existentes da região e as informações verificadas ao longo de toda a bacia. Assim, especificamente em relação a BHRC e para uma melhor caracterização de seus solos, os dados existentes foram trabalhados através de adaptações da metodologia proposta por Hermuche et al. (2002), com o uso de parâmetros morfométricos, estatística zonal, e pontos de inflexão de altitudes em histogramas de frequência, a fim de estabelecer um conjunto característico de parâmetros para cada tipo de solo. As unidades pedológicas definidas a partir deste procedimento foram validadas através da realização de trabalhos de campo, quando foram analisados taludes de corte e/ou áreas com exposições de solo, de forma a confirmar as unidades pedológicas delimitadas.

3.3.1 ELABORAÇÃO DA CARTA PEDOLÓGICA

O refinamento preliminar das unidades pedológicas da BHRC para validação de campo foi realizado através de adaptações das metodologias propostas por Hermuche *et al.* (2002) e Arcoverde *et al.* (2005) para mapeamento pedológico, a partir de parâmetros morfométricos e modelos digitais de elevação (MDE). No primeiro trabalho a morfometria foi aplicada como suporte para elaboração de mapas de solos para bacias assimétricas, onde a área de estudo foi a bacia do Rio Jardim situada na porção leste do Distrito Federal. Já no segundo trabalho empregou-se a mesma metodologia, mas agora para relevos cársticos compreendendo a parte do alto e médio da bacia do rio Paracatu, que abrange a região do noroeste mineiro, leste goiano e parte do DF (região dos municípios de Unaí, Paracatu e Vazante).

O método proposto faz uso de quatro parâmetros morfométricos, a partir dos quais foi empregada a técnica de composição colorida com o objetivo de realçar os padrões morfométricos, conforme já executado para as análises geomorfológicas.

1 - Altimetria (MDE) – preenchendo o Canal Vermelho

2 - Declividade – preenchendo o Canal Verde

3 - Área de contribuição – preenchendo o Canal Azul

4 - Orientação de vertentes (Aspecto) – preenchendo o Canal Azul

Foram realizados os seguintes procedimentos descritos a seguir:

- Composição colorida com os mapas derivados MDE (vermelho), Declividade (verde) e Área de contribuição (azul) (Figura 3.32).

- Composição colorida com os mapas derivados MDE (vermelho), Declividade (verde) e Aspecto (azul) (Figura 3.38).

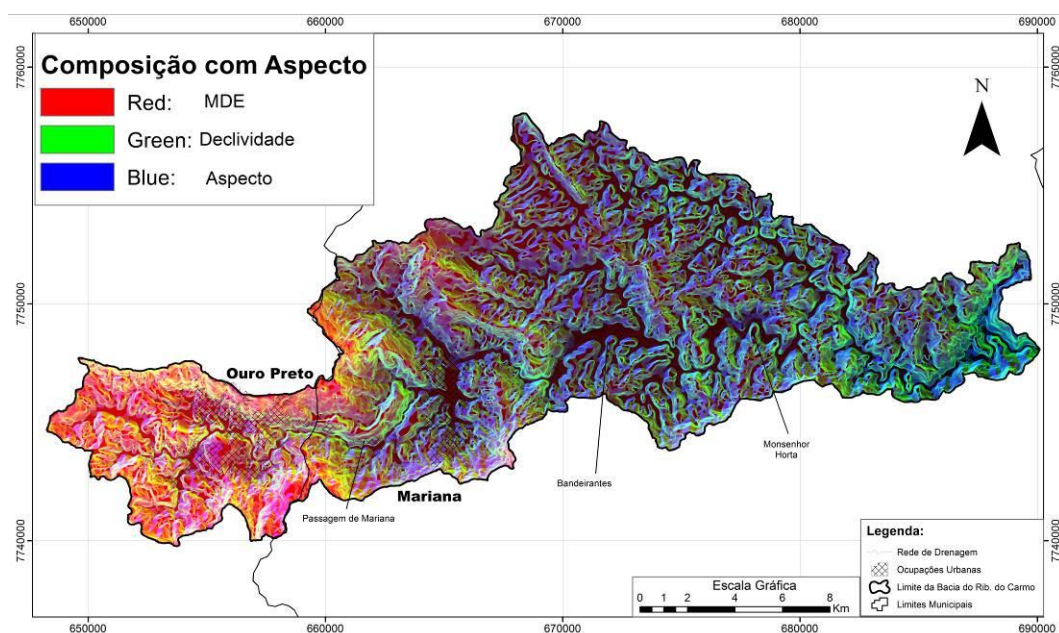


Figura 3. 38 – Composição colorida com MDE no canal vermelho, declividade no canal verde e aspecto no canal azul.

Através da correlação entre os mapas de solos existentes da bacia e as imagens geradas pelas composições coloridas, foram extraídos padrões similares das classes de solo, para

a definição de unidades pedológicas por avaliação de pontos de inflexão em histogramas de frequência de valores hipsométricos e altimétricos. Esses pontos de inflexão destacam os prováveis limites entre unidades pedológicas distintas, a partir dos padrões geomorfológicos. Ressalta-se inicialmente a alteração na proposta de classificação dos solos da porção oeste da BHRC, que no mapa de solos de Minas Gerais encontra-se descrito como Cambissolo Háplico e neste estudo tomando-se como subsídio trabalhos de campo e a composição colorida como Neossolo Litólico.

Nas composições coloridas, na parte oeste da bacia a classe do NEOSSOLO LITÓLICO está relacionada as cores variando entre o amarelo e o vermelho. As áreas onde as cores variam entre o verde e o vermelho referem-se aos CAMBISSOLOS refletido pela predominância do canal verde que destaca as maiores declividades, ocorrendo principalmente na porção central da bacia. A variação do verde para o azul salienta as áreas de LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO e do LATOSSOLO VERMELHO e ARGISSOLOS com maior ocorrência na porção leste da bacia.

A delimitação das áreas com padrões similares em relação aos histogramas de frequência resultou na confecção de um mapa de solo preliminar (Figura 3.39).

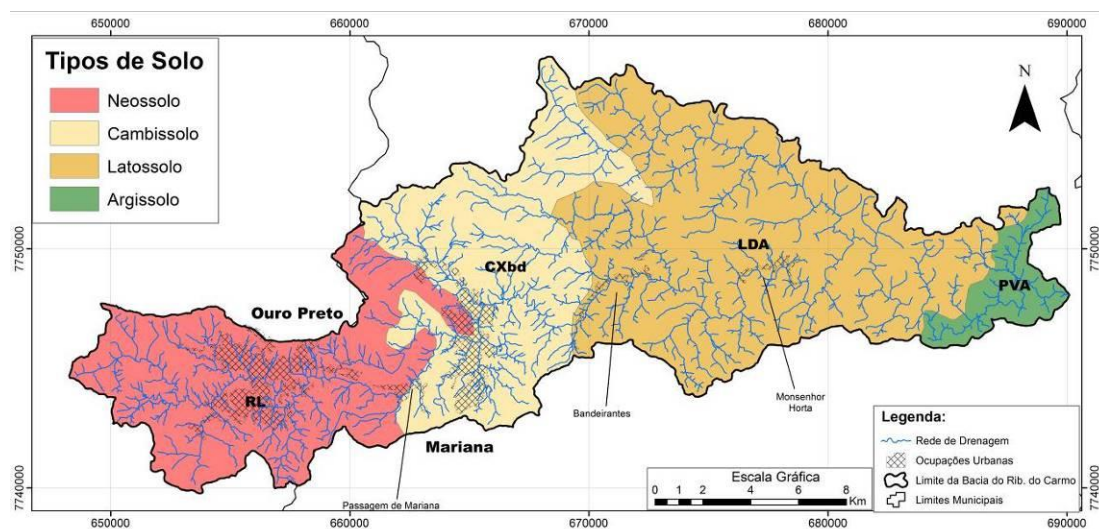
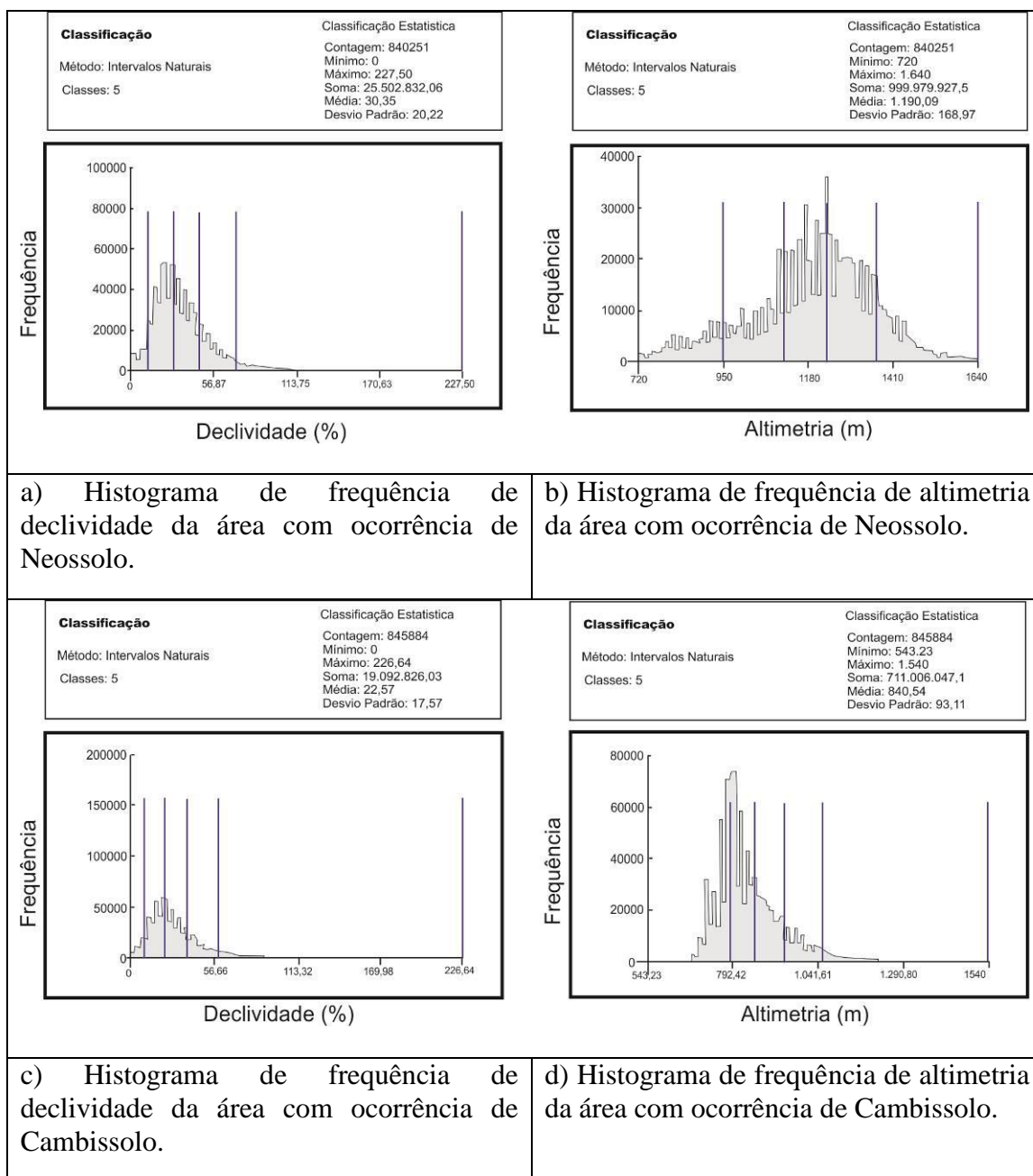


Figura 3. 39 - Padrões similares de classes de solo extraídos a partir das composições coloridas.

A delimitação das unidades pedológicas finais foi realizada com o uso da álgebra de mapas por estatística zonal, com seleção de valores da moda por histograma de

frequência para os parâmetros morfométricos envolvidos, tomando como espaço amostral o mapa de solos preliminar gerado da área (Figura 3.39) e trabalhos de reconhecimento em campo. Buscou-se estabelecer para cada tipo de solo um conjunto característico dos parâmetros de declividade e altimetria, a fim de aplicá-lo na busca por tipos semelhantes de solos na BHRC. Os histogramas da Figura 3.40 sintetizam as frequências de declividade e altimetria por tipo de solo ao longo da BHRC.



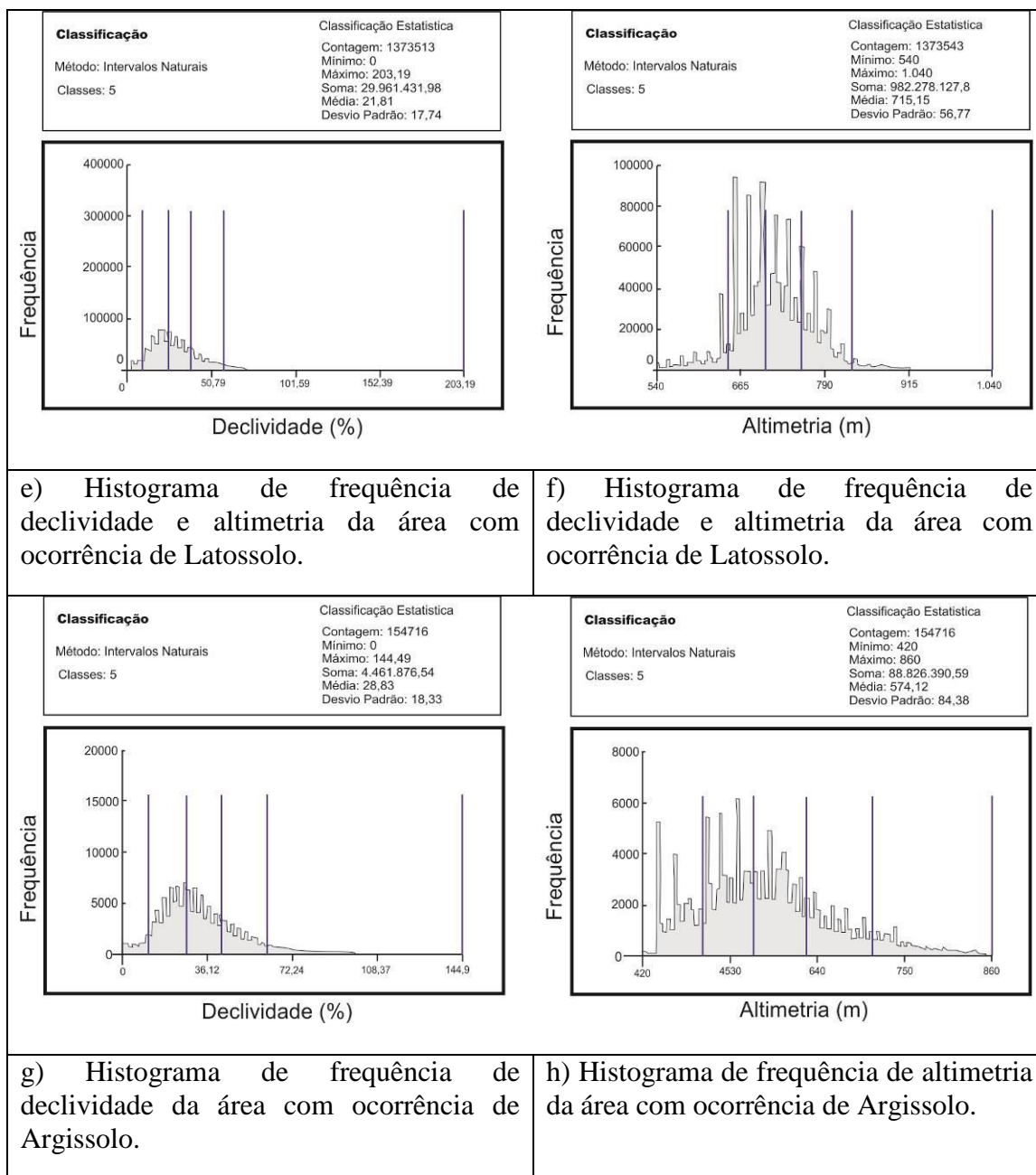


Figura 3. 40 - Histograma de frequência de declividade e altimetria por tipo de solo com ocorrência na BHRC.

No relevo montanhoso, de morros e encostas dissecadas do Quadrilátero Ferrífero, tem-se um bloco de relevo residual, parte tectonizado, fortemente ravinado e erodido, com solos em geral muito rasos e pobres. Possui as seguintes classes de solos: Neossolo Litólico, Afloramento de Rocha e Cambissolo Háplico.

Nos Planaltos Dissecados da porção central e leste da BHRC a morfologia é típica de

mar de morros, com morros e cristas alongadas, com dissecação homogênea e fraco controle estrutural. Os solos encontrados predominantemente são Latossolos vermelho- amarelos, Latossolos vermelho, Cambissolos háplicos e Argissolos vermelhos.

Já os Planaltos Dissecados com altitudes acima de 500 metros que se distribuem das bordas do Quadrilátero Ferrífero (QF), até o setor norte da bacia são marcadas por relevo de morros e morrotes, cristas, vales encaixados e forte dissecação. Sua pedologia é marcada por Cambissolo Háptico, Latossolo vermelho-amarelo, Latossolo Vermelho, e ocasionalmente Neossolos flúvicos e Afloramento de Rocha.

Os Neossolos Flúvicos e os afloramentos rochosos foram inseridos na Carta Pedológica final, respectivamente, a partir das planícies aluvionares da Carta Geomorfológica e da classificação supervisionada usando como região de interesse (amostra) os afloramentos detectados e obtidos em uma imagem Aster (2006) disponível.

A Figura 3.41 (e Anexo I) ilustra o resultado final para a Carta Pedológica refinada da BHRC, obtida a partir dos trabalhos de campo e da adaptação dos trabalhos desenvolvidos por Hermuche *et al.* (2002) e Arcoverde (2005).

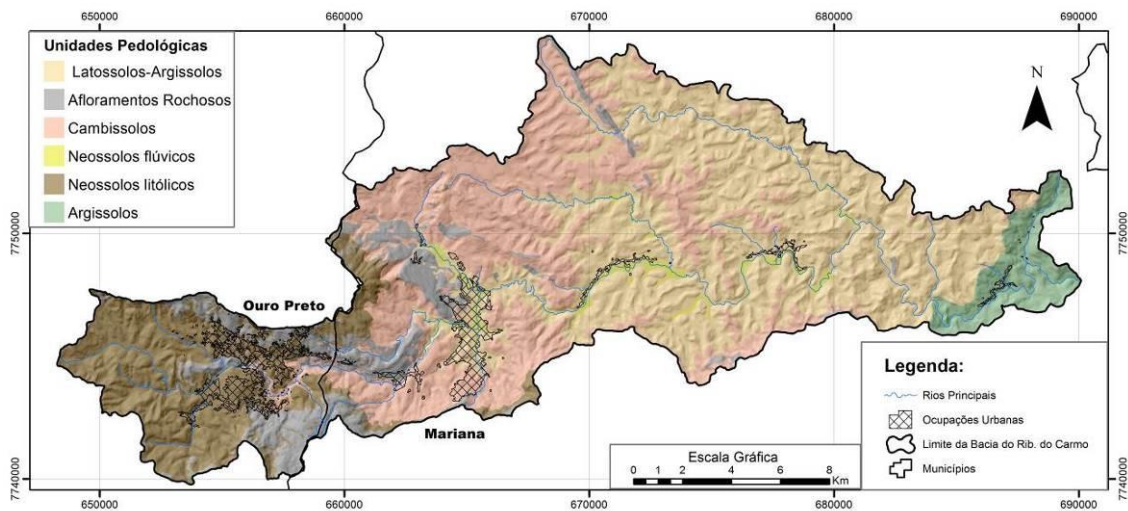


Figura 3. 41 - Carta Pedológica da BHRC.

A classificação proposta para a Carta Pedológica mostrou-se adequada ao território da BHRC, sendo que os resultados obtidos foram validados por trabalhos de campo que visaram o reconhecimento expedito das unidades.

3.3.2 APTIDÃO AGRÍCOLA DAS TERRAS

Após a delimitação dos solos e da finalização do mapeamento pedológico, foi realizada a classificação da aptidão agrícola das terras da BHRC. A avaliação das condições agrícolas é feita em função das condições de fertilidade natural, deficiência de água, excesso de água, susceptibilidade à erosão e impedimentos à mecanização, segundo Ramalho Filho e Beek (1994). Essas cinco condições (qualidades) básicas são analisadas e interpretadas, visando à intensidade de limitação para uso agrícola, sob práticas de manejo que refletem baixos níveis tecnológicos, e também analisadas em função da viabilidade de melhoramento, tendo em vista práticas agrícolas que refletem médio e alto nível tecno-operacionais.

As classes de aptidão agrícola da BHRC foram propostas com base no mapa de reconhecimento de solos, e nas condições do meio ambiente. No caso de associação, que é constituída por mais de um componente, os solos podem ou não pertencer a diferentes classes de aptidão agrícola, sendo a unidade representada no mapa não em função da classe de aptidão do primeiro membro da associação, mas de acordo com a classe de aptidão dominante, levando-se em consideração todos os componentes da associação. Via de regra, a aptidão agrícola para cada unidade de mapeamento é avaliada para cada um dos níveis de manejo, sendo que os principais grupos de aptidão agrícola que indicam o tipo de utilização mais intensivo permitido, são:

- Grupos aptos para lavouras,
- Grupo indicado para pastagem plantada,
- Grupo apto para silvicultura e/ou pastagem natural,
- Grupo indicado para preservação da fauna e da flora.

No quadro 3.2 é apresentada a classificação de aptidão agrícola das terras presentes na área na BHRC.

Quadro 3. 2 – Classificação de aptidão agrícola das terras presentes na área da BHRC, e suas principais limitações e características.

CLASSE DE SOLO	APTIDÃO AGRÍCOLA	PRINCIPAIS LIMITAÇÕES	CARACTERIZAÇÃO
AR – Associação de Afloramento de Rocha com Cambissolo Háptico Tb distrófico com Neossolo Litólico distrófico, relevo ondulado, forte ondulado e montanhoso	Indicado para preservação da fauna e da flora.	Deficiência de fertilidade, deficiência de água, impedimentos à mecanização.	Terras inaptas para agricultura.
CXbd – Cambissolo Háptico Tb distrófico, relevo ondulado e forte ondulado	Indicado para pastagem plantada.	Deficiência de fertilidade, impedimentos à mecanização.	Terras pertencentes à classe de aptidão regular para pastagem plantada.
GXbd – GLEISSOLO HÁPLICO Tb distrófico, relevo plano.	Aptos para lavouras	Deficiência de fertilidade, excesso de água ou deficiência de oxigênio, impedimentos à mecanização.	Terras pertencentes à classe de aptidão restrita para lavoura no nível de manejo primitivo, e inapta nos níveis pouco desenvolvido e desenvolvido.
LVAd - Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, relevo ondulado e forte ondulado	Aptos para lavouras	Deficiência de fertilidade, impedimentos à mecanização.	Terras pertencentes à classe de aptidão restrita para lavoura nos níveis de manejo primitivo e pouco desenvolvido e desenvolvido.
LVAd - Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, relevo ondulado e suave ondulado	Aptos para lavouras	Deficiência de fertilidade.	Terras pertencentes à classe de aptidão restrita para lavoura no nível de manejo primitivo e regular nos níveis pouco desenvolvido e desenvolvido.
RLd – Neossolo Litólico distrófico, relevo forte ondulado e montanhoso.	Indicado para preservação da fauna e da flora.	Deficiência de fertilidade, deficiência de água, impedimentos à mecanização	Terras inaptas para agricultura

A capacidade de uso dos solos da BHRC para exploração agrícola mostra-se bastante restrita. Os solos com declives acentuados possuem no máximo capacidade para

pastagens ou reflorestamento, desaconselhando-se o uso para culturas anuais que envolvam o revolvimento das camadas superficiais. Em contrapartida, os solos da porção central e leste da bacia, classificados como latossolos ou argissolos possuem maior profundidade e permeabilidade, o que somado aos declives mais suaves das áreas de Morrotes e Colinas Ihes conferem um sem número de utilizações possíveis. A associação entre o mapa pedológico gerado com o mapa geomorfológico e o mapa de potencial a erosão da BHRC pode se tornar um importante instrumento para análises mais aprofundadas da capacidade de uso dos terrenos, através da avaliação do grau de risco de degradação dos solos e a indicação do melhor uso agrícola para as diferentes porções da bacia hidrográfica. Uma análise preliminar já permite caracterizar o trecho entre a porção central e oeste da bacia como terras com severas limitações para cultivos intensivos e o trecho entre a porção central a leste como terras com limitações moderadas de uso, sendo que ainda há de se considerar as áreas de proteção ambiental, também delimitadas e descritas neste estudo.

3.4 ÁREAS DE PROTEÇÃO PERMANENTE

3.4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Quando se inicia uma discussão sobre a gestão do ambiente, necessariamente parte-se do processo de adaptação e modificação do meio natural pelo homem, com o objetivo de torná-lo adequado as necessidades e interesses individuais e coletivos. A região que abrange a BHRC possui diversos problemas de ordem ambiental, destacando-se a supressão da cobertura vegetal e exposição dos terrenos, o avanço da ocupação sobre unidades de conservação e de proteção permanente, processos geodinâmicos ativos e respectivas suscetibilidade nas áreas urbanas e rurais com geração contínua de sedimentos, a existência de diversas áreas urbanas sob risco geológico-geotécnico, o uso inadequado do solo frente a suas aptidões, entre outros.

A partir deste pressuposto, a progressiva ocupação do território e consequente intensificação das pressões antrópicas sobre o meio ambiente da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Carmo tem afetado diretamente as áreas de Preservação Permanente estabelecidas conforme a Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Ressalta-se que a

proteção da vegetação nativa e do território não deve ser buscada apenas como uma estratégia para conservação da biodiversidade, mas, principalmente, deve representar papel imprescindível para a melhoria da qualidade de vida.

Entretanto, embora desde o primeiro Código Florestal Brasileiro, instituído pelo Decreto nº 23.793, de 23 de janeiro de 1934, revogado posteriormente pela Lei 4.771/65 e agora regulado pela Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, as regras para delimitação das áreas de Proteção Permanente existam, na prática e principalmente para grandes extensões sempre foram grandes as dificuldades de representação espacial georeferenciada destas unidades.

Assim, a identificação e espacialização cartográfica das áreas de Preservação Permanente da BHRC possibilita além da adaptação e proposição de uma metodologia para a obtenção automática das áreas de proteção permanente, uma análise comparativa e atualizada das áreas onde ocorreu ou está em curso à conversão da cobertura florestal em fragmentos florestais, ou até mesmo onde já ocorreu a substituição total das paisagens naturais por outros tipos de uso e ocupação do solo.

3.4.2 PROCEDIMENTOS PARA IDENTIFICAÇÃO DAS APPs

Para a construção da base cartográfica digital, os seguintes planos de informação foram utilizados, no formato “*shapefiles*” (.shp):

- Cartas topográficas do IBGE disponíveis na região na escala 1:50.000 e curvas de nível com equidistância de 20,0 m (Folha Ouro Preto – SF-23-X-A-III-4, Folha Mariana - SF-23-X-B-I-3 e Folha Catas Altas - SF-23-X-B-I-1);
- Rede hidrográfica da Bacia do Ribeirão do Carmo, inicialmente obtida a partir das folhas topográficas 1:50.000 do IBGE (Folhas Ouro Preto, Mariana, Catas Altas, 1986), e que posteriormente foi verificada através da fotointerpretação das fotos aéreas na escala 1:25.000 (Esteio, 1986) de toda a área. O arquivo final foi corrigido através da correlação e sobreposição ao mosaico de 25 ortofotos na escala 1:10.000 (CEMIG, 1987);
- Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente – MDEHC, gerado a partir

das curvas de nível IBGE com equidistância vertical de 20,0 em 20,0 m, interpoladas pelo método Triangular Irregular Network (TIN), e posterior remoção das depressões fechadas (espúrias). A maior parte dos interpoladores utilizados pelos SIGs para a geração de modelos de elevação foram desenvolvidos para a representação de fatores cuja distribuição espacial é contínua. Entretanto, estes interpoladores têm sido empregados com frequência na representação do relevo, gerando distorções que devem ser corrigidas dependendo do emprego dos dados. No caso deste trabalho foram identificadas as depressões espúrias presentes no MDE gerado, utilizando o comando *Fill Sinks*. Essa correção faz com que o sentido preferencial do escoamento superficial nos modelos seja sempre considerado da maior para a menor elevação, de forma a representar o fenômeno como observado na realidade. A resolução do MDEHC gerado da BHRC para a delimitação das áreas de Proteção Permanente foi de 10,0 m.

- Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012 que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências, incluído pela Lei nº 12.727, de 2012.

Pelúzio *et al.* (2010) ressaltam o quanto as metodologias que utilizam geotecnologias vêm se destacando como uma alternativa viável para se reduzir significativamente o tempo gasto com o mapeamento das áreas a serem protegidas, e por consequência melhorar a relação temporal entre a elaboração dos produtos cartográficos e a ações efetivas de fiscalização do cumprimento das leis conforme Legislação vigente.

De acordo com as características geográficas e ambientais da BHRC, e principalmente considerando a escala dos dados cartográficos disponíveis e gerados, as áreas de Proteção Permanente identificadas foram:

- Cursos d'água com largura inferior a 10,0 m,

- Cursos d'água com largura superior a 10,0 m (trechos do ribeirão do Carmo),

- Encostas com declividade superiores a 100%,

- Topos de morros, montanhas e serras.

Na produção da carta final, as seguintes unidades de conservação existentes ao longo da BHRC foram somadas às APPs identificadas:

- 1 - Área de Proteção Ambiental Seminário Menor.
- 2 - Parque do Itacolomi.
- 3 - Estação Ecológica Tripuí.

3.4.2.1 APPS DE CURSO D'ÁGUA

Para a delimitação das APPs de curso d'água o procedimento adotado foi o da análise de proximidade, que também é conhecida como operação de *Buffer*. Este procedimento consiste em gerar subdivisões geográficas bidimensionais na forma de faixas, em que os limites internos são formados pelos limites da expressão geográfica que está sendo avaliada, e os limites extremos possuem uma distância pré-determinada. Com o auxílio do ArcGIS 10.0 foram delimitadas as APPs de cursos d'água considerando zonas de *buffer* estabelecidas de 30,0m para os trechos dos canais ao longo da bacia com largura inferior a 10,0m e zonas de *buffer* de 50,0m em cada margem, para os trechos dos canais ao longo da BHRC com largura superior a 10,0m, mas inferior a 50,0m, conforme legislação vigente. A figura 3.42 retrata a identificação das APPs de curso d'água para a BHRC.

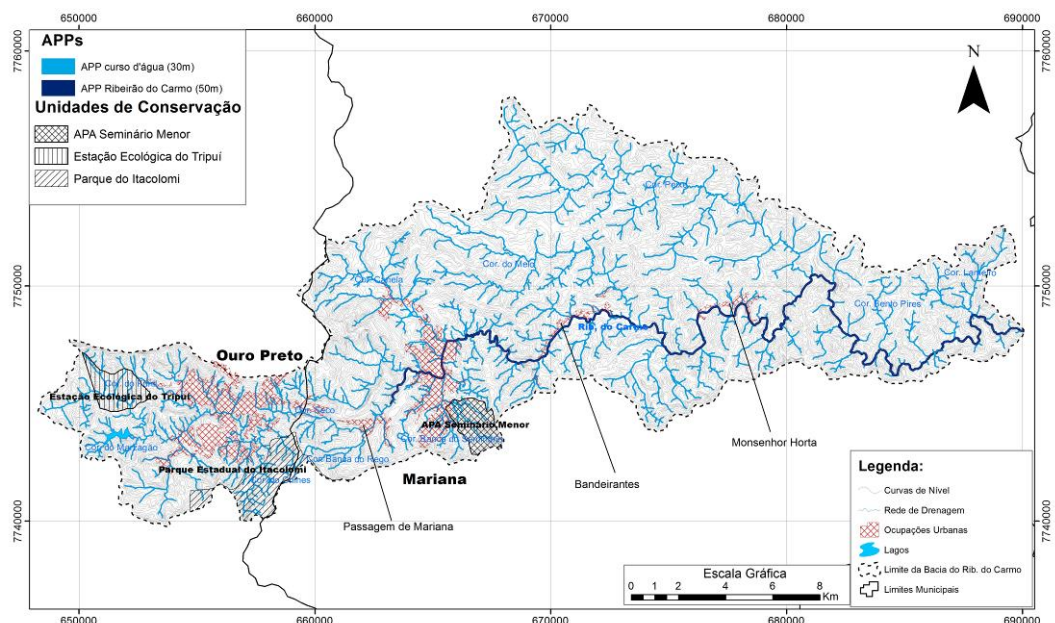


Figura 3. 42 – Áreas de proteção permanente de curso d'água da BHRC.

3.4.2.2 APPS DE DECLIVIDADE

Para a delimitação das APPs de declividade o procedimento adotado foi o da interpolação das curvas de nível de 20,0m em 20,0m para a geração do modelo digital de elevação hidrológicamente correto (MDEHC). A partir da geração do MDEHC foi gerada a imagem matricial de declividades, que foi reclassificada para determinação da classe de declive superior a 100%, com posterior dissolução dos polígonos representativos da *layer*. A figura 3.43 retrata a identificação das APPs de declividade para a BHRC.

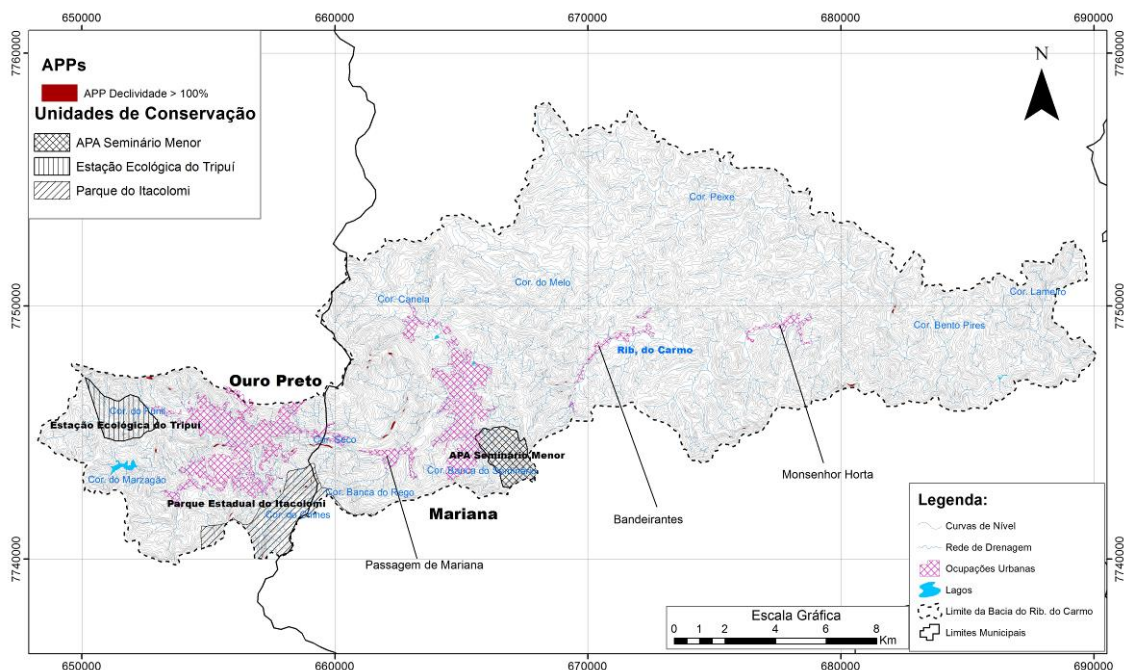


Figura 3. 43 – Áreas de proteção permanente de declividade da BHRC.

3.4.2.3 APPS DE TOPO DE MORRO

Para a delimitação das APPs de topo de morro foi construída uma metodologia a partir do método proposto por Hott (2004), adaptado por Peluzio *et al.* (2010). A Lei Nº 12.651 estabelece como APP de topo regiões com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação, sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou,

nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação.

Inicialmente, para a identificação dessas regiões foi realizado uma inversão do MDEHC, onde os topos passaram a ser identificados como depressões. Para cada uma das depressões identificou-se a respectiva bacia de contribuição, cujo contorno passou a representar a base do morro, montanha ou serra. Foi somente a partir do isolamento de cada elevação do terreno que se enquadra nos critérios definidos pela Lei, que se agregou ao modelo os valores de declividade média e altimetria, possibilitando com a indicação dos seus topos e a suas respectivas bases a delimitação das áreas equivalentes ao seu terço superior. Todas as etapas realizadas para delimitação das APPs de topo de morro estão elencadas a seguir.

1 – Adição das curvas de nível da BHRC. Para evitar erros na modelagem dos dados e erros nas bordas da bacia, as curvas de nível foram extrapoladas em relação aos limites da área de estudo, para permitir o reconhecimento posterior de todos os cumes das elevações corretamente.

2 - Geração do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Correto com remoção das depressões fechadas (espúrias).

3 – Geração do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Correto invertido.

4 – Geração da direção de fluxo superficial de água.

5 - Geração da Direção de Fluxo de Água Invertido.

6 - Geração da máscara de cumes e da layer de cumes propriamente dita a partir da direção de fluxo invertida. Utilizando um dos algoritmos de Análise Hidrológica (*Sink*) é possível criar um raster identificando todas as áreas de drenagem interna e vazios e, conseqüentemente, criar um raster identificando os vazios e possíveis imperfeições no *raster* de superfície (cumes). A seguir, com a máscara de cumes gerada, a *layer* cumes é igual a [MDEHC_FILL].

7 – Geração da *layer* que representa o domínio das elevações (bacias invertidas), obtido a partir da direção de fluxo invertida.

8 - Geração dos cumes máximos por estatística zonal e correção da *layer* de Cumes máximos com aplicação da função SETNULL.

9 – Determinação da altitude da base denominado MDEHC_Base.

10 – Geração da Declividade.

11 – Geração da Declividade Máxima por estatística zonal.

12 – Cálculo e classificação do terço da altura mínima da elevação em relação a base.

Para este procedimento a seguinte álgebra foi construída: $Terco_TM_1 = Con(("Cumes_Mde" - "mdehc_base" \geq 100) \text{ e } ("dec_max_mdehc" > 47), ("Cumes_MDE" - (("Cumes_Mde" - "mdehc_base") / 3)), "Cumes_Mde")$ de acordo com o parágrafo IX do Art. 4º da Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (declividade= 47% ou 25º; diferença entre o topo do Morro e a sua base maior ou igual a 100 m). A função CON (CONDITIONAL) determina um teste lógico e retorna um resultado, onde estabelece-se uma condição para criar um limiar, filtrando apenas os pixels significativos.

13 - Normalização dos valores obtidos para o Terço TM1 e transformação de *raster* para pontos.

14 – Análise de proximidade entre os pontos gerados: a Resolução CONAMA Nº 303, de 20 de março de 2002, agora revogada pela Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (Código Florestal) trazia no seu Art. 3º, Parágrafo Único que na ocorrência de dois os mais morros ou montanhas, cujos cumes estivessem separados entre si por distâncias inferiores a quinhentos metros, a Área de Preservação Permanente abrangeria o conjunto de morros ou montanhas, delimitadas a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura em relação à base do morro ou montanha de menor altura do conjunto. Para uma delimitação mais precisa das unidades manteve-se a proposta da Resolução Conama Nº 303 nesta etapa do procedimento e realizou-se uma análise de proximidade para possibilitar o agrupamento dos morros, montanhas e serras, cuja proximidade eram de até quinhentos metros entre seus topos, aqui definidos como cumes (Figura 3.44). O mesmo procedimento foi executado sem análise de proximidade, ou seja, considerando apenas a legislação vigente (Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012), para efeito comparativo em relação a extensão das áreas de topo (Figura 3.45).

15 – Conversão para *raster* dos dados, após a união entre os atributos dos cumes com

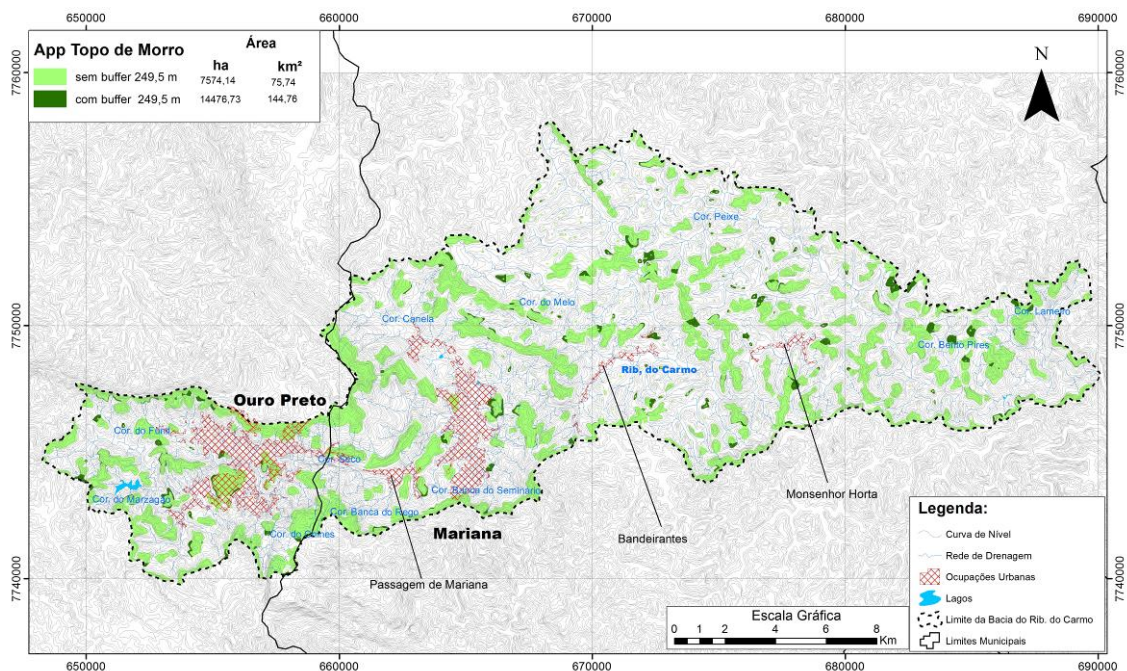


Figura 3. 45 – Mapa das APP de Topo de Morro da BHRC preliminar, considerando a Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012.

17 - Validação dos polígonos definidos como Área de Preservação Permanente de Topo de Morro.

A metodologia adotada neste estudo para delimitação automática das APPs de topo de morro foi proposta no sentido de englobar as características da BHRC e, principalmente, contar com um procedimento de validação dos resultados obtidos. Nesse sentido, foram gerados perfis topográficos (Figura 3.46) em diferentes pontos da BHRC para verificação se as relações de topo e base exigida em Lei foram realmente contempladas pelo procedimento algébrico proposto (Figura 3.47).

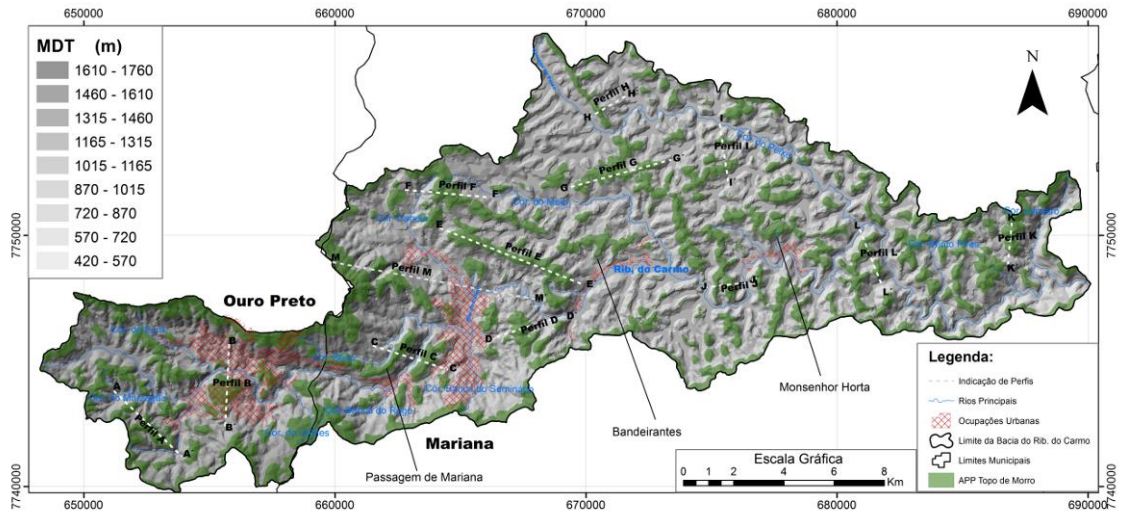
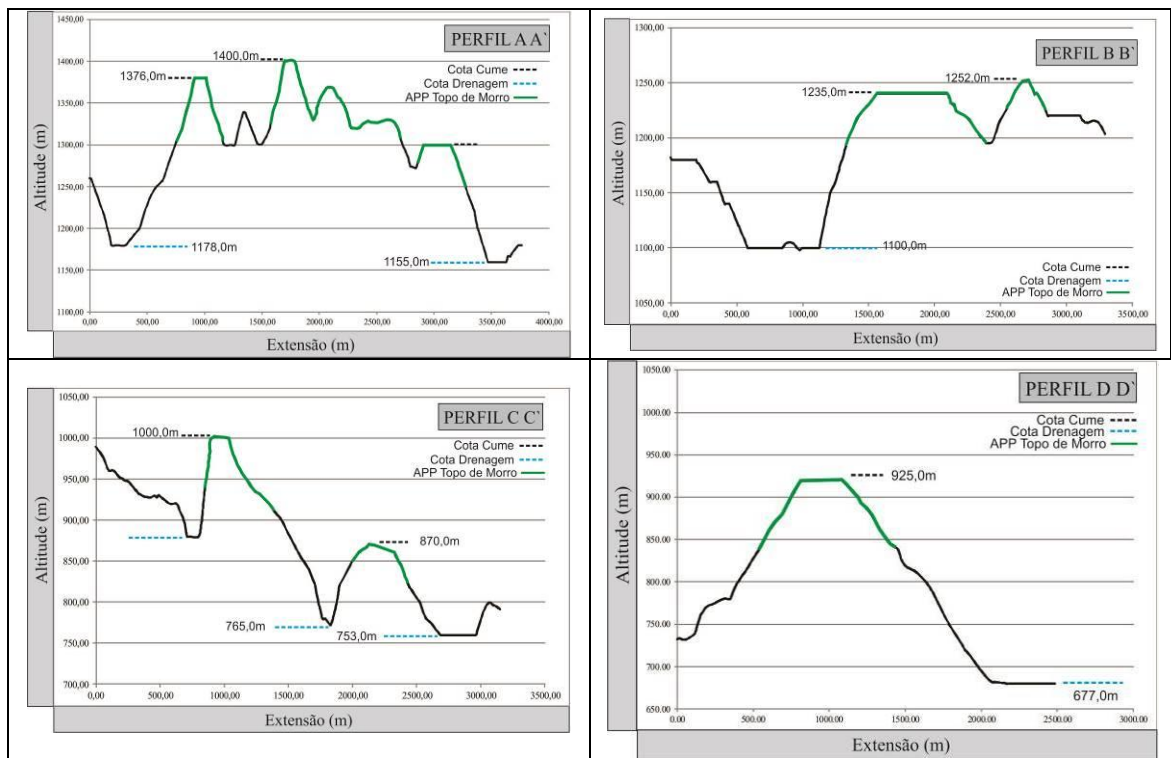


Figura 3. 46 – Mapa de APP de Topo de Morro da BHRC com indicação de trechos onde foram gerados perfis topográficos.



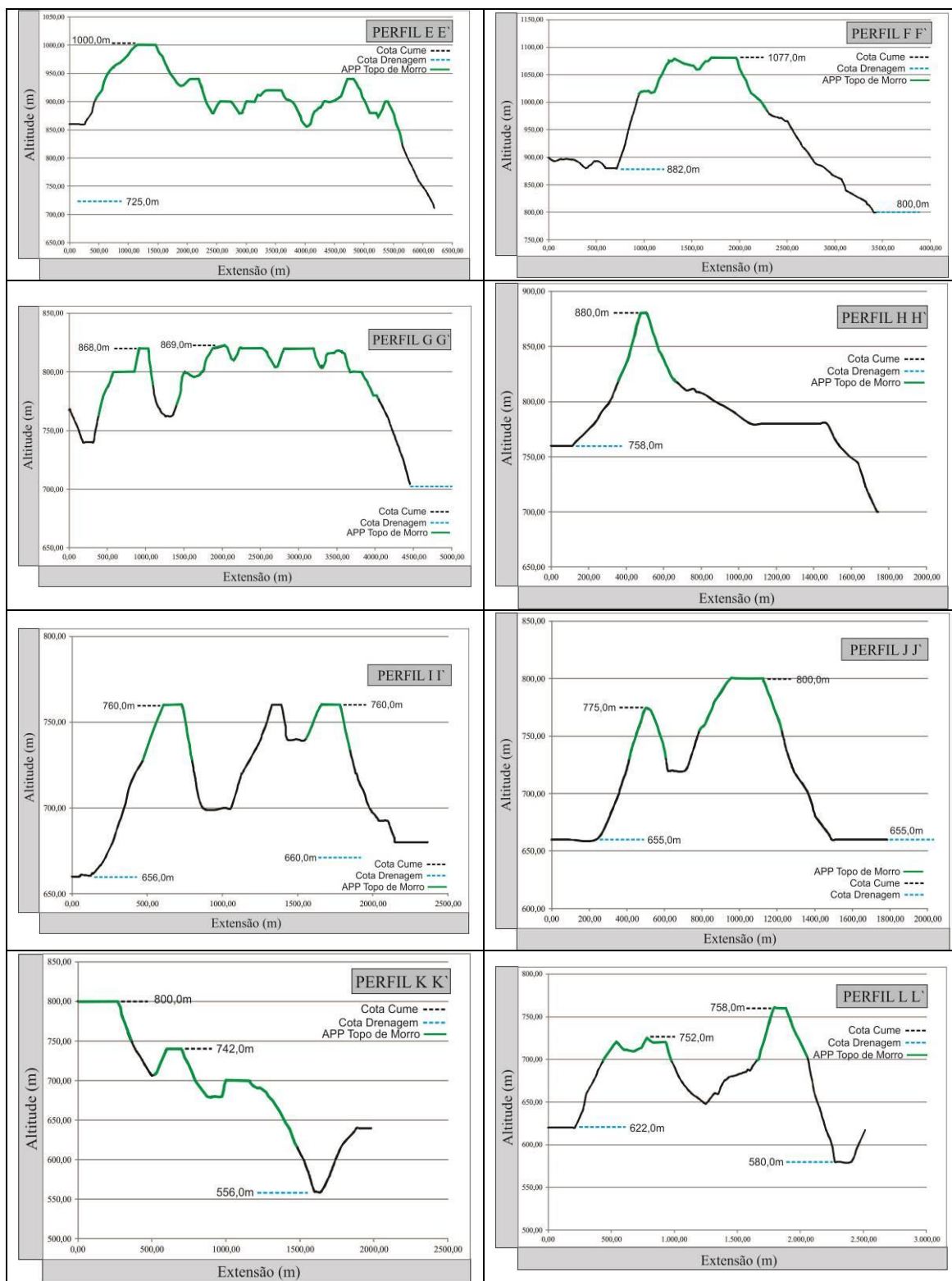


Figura 3. 47 – Conjunto de perfis topográficos de trechos da BHRC para validação da metodologia proposta para geração das APP de topo de morro.

Após a etapa de validação dos resultados pode-se afirmar que a metodologia adotada para a BHRC se mostrou eficiente, produzindo de forma automatizada informações precisas sobre as dimensões das APPs de Topo de Morro e consequente distribuição espacial na paisagem. Neste caso, como documento final foram incorporadas as Unidades de Conservação existentes ao longo da BHRC conforme retratado na figura 3.48 (e Anexo I) permitindo, então, a correlação dos resultados com outras avaliações realizadas neste trabalho.

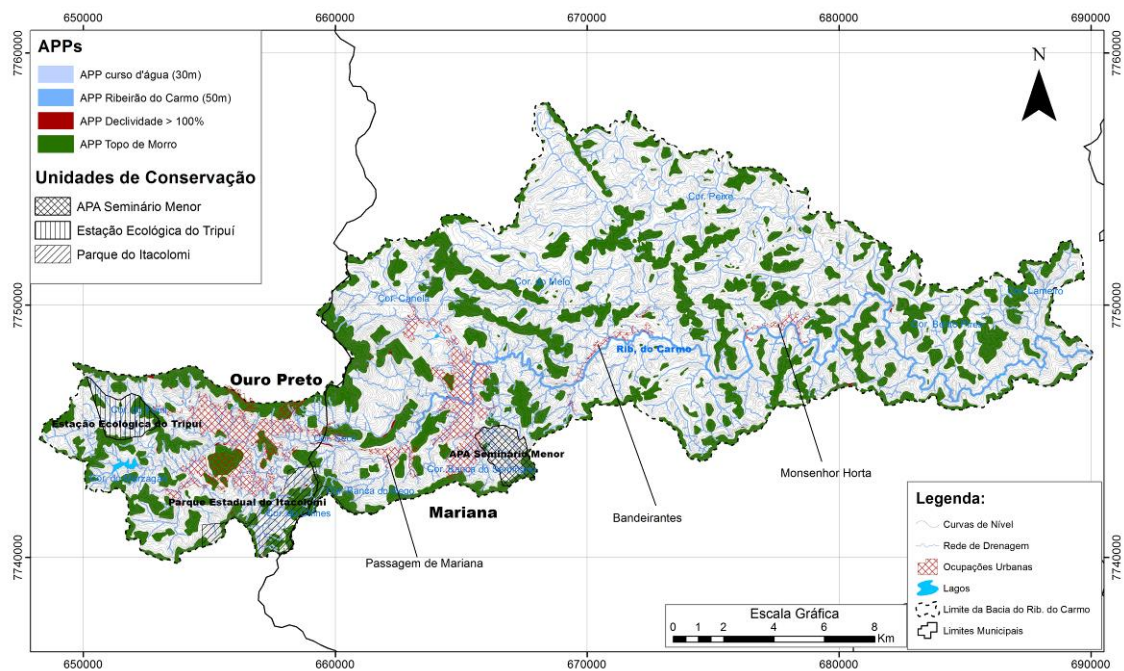


Figura 3. 48 – Áreas de Preservação Permanente de topo de morro e Unidades de Conservação Ambiental da BHRC.

O quadro 3.3 sintetiza os resultados finais das áreas que conforme a Legislação vigente devem ser consideradas para a BHRC como de Proteção Permanente ou Preservação Ambiental.

Quadro 3. 3 – Área de Proteção Permanente e Unidades de Conservação da BHRC.

ÁREAS DE PROTEÇÃO PERMANENTES			
Resolução CONAMA N° 303 de 02 de julho de 2002		Lei N° 12.651, de 25 de maio de 2012	
Tipo	Área (km²)	Tipo	Área (km²)
Topo de Morro	80,56	Topo de Morro	75,74
Curso d'água (30m)	36,10	Curso d'água (30m)	36,10
Curso d'água (50m)	5,22	Curso d'água (50m)	5,22
Declividade	0,21	Declividade	0,21
UNIDADES DE CONSERVAÇÃO			
		Lei N° 12.651, de 25 de maio de 2012	
Tipo	Área (km²)	Tipo	Área (km²)
APA Seminário Menor	0,35	APA Seminário Menor	0,35
Estação Ecológica Tripuí	0,337	Estação Ecológica Tripuí	0,337
Parque do Itacolomi	6,65	Parque do Itacolomi	6,65

A sistematização do procedimento permite a replicabilidade do método para outras áreas sem subjetividade no processo de interpretação. A validação dos resultados sempre se mostrará necessária para que se tenha confiabilidade no uso dos resultados. A Lei 12.651/2012 vigente é menos rigorosa do que a resolução CONAMA N° 303/2002, o que resultou em relação a BHRC em uma diminuição de 4.82 km² de áreas de proteção permanente de topo de morro. Mesmo assim, o planejamento territorial da BHRC pode agora utilizar corretamente os limites das Unidades de Proteção Permanente definidas por Lei, na proposição das restrições e aptidões em relação a área de abrangência da BHRC.

3.5 CARACTERIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS MORFOMÉTRICOS, APROPRIAÇÃO DA EQUAÇÃO DE CHUVA INTENSA E TEMPO DE CONCENTRAÇÃO DA BHRC.

As redes de drenagens e suas propriedades fluviais sempre tiveram um papel central nos estudos hidrológicos que procuram compreender a ocorrência, distribuição, movimentação da água de quem designa os sistemas naturais ou artificiais capazes de drenar água superficial atuando como importante registro das alterações ocorridas em seu interior, de forma a refletir via de regra as mudanças condicionadas por processos naturais ou atividades antrópicas, seja por meio das alterações na qualidade das águas,

ou na própria configuração da rede de drenagem.

A análise dos atributos morfométricos tem como pressuposto estabelecer as relações entre os parâmetros mensuráveis de uma bacia hidrográfica e os seus condicionantes, de forma a contribuir para uma análise temporal do sistema, somando-se a isso a possibilidade de uso dos parâmetros como elementos de suporte à definição e elaboração de indicadores para a gestão ambiental.

Este estudo de abrangência intermunicipal orienta-se pela Lei 9.433, que instituiu a PNRH, em que se define que a “Bacia Hidrográfica” é a “unidade territorial” para a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Segundo Colares (2000), a rede de drenagem de uma bacia hidrográfica é um importante indicador de alterações ocorridas na composição da paisagem, seja por mudanças na sua estruturação e forma, seja por ganho ou perda de canais. O mesmo autor destaca que são os processos do meio físico e/ou tecnológicos os responsáveis pela dinâmica imposta ao meio ambiente, provocando alterações continuamente.

A caracterização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Carmo (BHRC) partiu do princípio da necessidade de se compreender melhor o funcionamento dos processos que controlam a dinâmica das águas ao longo da bacia, e os impactos que por ventura possam ser gerados e/ou acentuados pelo inadequado uso do solo sobre a quantidade e qualidade das águas superficiais, análises estas executadas como medida indireta da variabilidade espacial dos processos hidrológicos. Buscou-se também a obtenção das informações relacionadas à apropriação da equação das chuvas intensas, e a determinação do tempo de concentração, o que possibilitou avaliar o padrão de comportamento das chuvas intensas no interior da bacia e a determinação do tempo necessário, a partir do início de uma determinada chuva, para que toda a área da bacia hidrográfica passe a contribuir com água para a vazão que se estabelece em seu exutório (McCUEN, WONG e RAWLS, 1984).

Com isso, pretende-se oferecer mais subsídios para a elaboração de um modelo de gestão ambiental em nível intermunicipal, no que diz respeito ao uso da água e do solo na BHRC.

3.5.1 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA REDE DE DRENAGEM

Para a determinação dos parâmetros envolvidos na caracterização da BHRC foram utilizadas as seguintes fontes e bases cartográficas compiladas ou geradas:

- Séries históricas de pluviosidade (25 anos) com médias anuais e mensais da região, obtidas no site Hidroweb (hidroweb.ana.gov.br),
- Cartas geológicas do Quadrilátero Ferrífero (CODEMIG, 2005 - Mapas Geológicos de Ouro Preto e Mariana), na escala 1:50.000) e CPRM (1993), na escala 1: 100.000,
- Cartas topográficas do IBGE disponíveis na região na escala 1:50.000 (Folha Ouro Preto – SF-23-X-A-III-4, Folha Mariana - SF-23-X-B-I-3 e Folha Catas Altas - SF-23-X-B-I-1),
- Modelo digital de elevação, obtido pelo processamento da base topográfica,
- Informações obtidas em outros trabalhos da literatura especializada.

A rede hidrográfica da Bacia do Ribeirão do Carmo foi inicialmente obtida a partir das folhas topográficas 1:50.000 do IBGE (Folhas Ouro Preto, Mariana, Catas Altas, 1986). Entretanto, para a análise dos parâmetros morfométricos na BHRC optou-se pela interpretação das fotos aéreas na escala 1:25.000 (Esteio, 1986) de toda a área, que posteriormente foi vetorizada e corrigida através da correlação e sobreposição ao mosaico de 25 ortofotos na escala 1:10.000 (CEMIG, 1987).

As bacias interiores que compõem a BHRC foram delimitadas considerando a metodologia para o ordenamento de cursos d'água proposto por Strahler (1957), mas considerando, também, os canais de drenagem perceptíveis nas fotografias aéreas na escala 1:25.000 interpretados da área (Esteio, 1986), que permitissem o escoamento linear das águas, o que inclui os canais de curso intermitente, pois estes canais constituem uma das importantes variáveis para o regime de fluxo das águas em uma bacia hidrográfica e são os mais suscetíveis às alterações. A partir da classificação, o Ribeirão do Carmo foi definido como um afluente de ordem 6 e a BHRC foi reclassificada em bacias interiores com cursos d'água de ordem 3 e superior a esta, para visualização de suas bacias de maior contribuição (Figura 3.49).

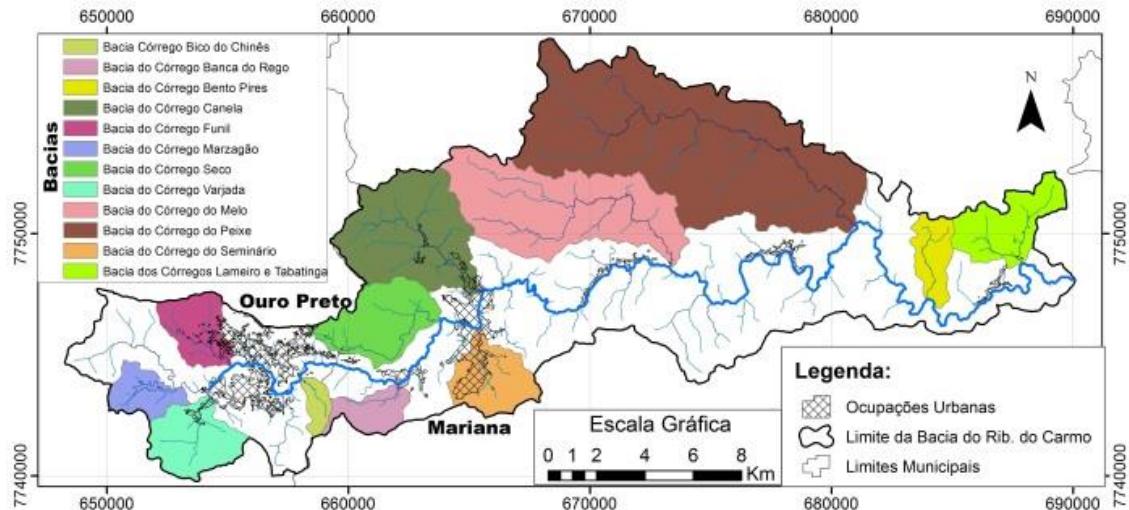


Figura 3. 49 – Bacia do Ribeirão do Carmo e suas bacias interiores de ordem 3, 4 e 5.

A análise dos atributos morfométricos da BHRC teve por objetivo principal a obtenção dos indicadores físicos que pudessem ser associados a outros estudos complementares relacionados ao diagnóstico do meio físico, como subsídio ao zoneamento geoambiental da bacia. Foram analisados vinte e quatro parâmetros para a BHRC elencados a seguir:

- **Ordem da Bacia:** Corresponde ao valor do canal de maior ordem em uma bacia hidrográfica. A metodologia utilizada para o ordenamento de cursos d'água da bacia do Ribeirão do Carmo foi a proposta por Strahler (1957), sendo que a classificação do Ribeirão do Carmo o definiu como um afluente de ordem 6.

- **Área da Bacia (A):** A definição deste parâmetro básico ocorreu tomando-se como base a linha que delimita o divisor de águas da bacia hidrográfica, sendo expresso usualmente em km^2 . Além de ser um parâmetro utilizado para o cálculo de outras variáveis morfométricas este parâmetro permite análises comparativas entre bacias em relação aos seus tamanhos e similaridade de comportamentos. A bacia do Ribeirão do Carmo possui $321,60 \text{ km}^2$.

- **Perímetro da Bacia (P):** A determinação do parâmetro perímetro da bacia é definida pela extensão medida usualmente em km da linha que delimita o divisor de águas da bacia, sendo este também um importante parâmetro básico utilizado para o cálculo de outras variáveis morfométricas. Para a BHRC o perímetro calculado foi de $139,22 \text{ km}^2$.

- **Área do Círculo de Perímetro igual ao da Área Total da Bacia (Ac):** Este atributo, que corresponde a determinação da área de um círculo imaginário com área igual à área total da bacia hidrográfica, é utilizado na determinação do índice de circularidade da bacia. O valor obtido para a BHRC foi de 1.542,475 km².

- **Número de Canais (n):** A determinação do número de canais de uma bacia hidrográfica parte do pressuposto de que esta informação torna possível uma avaliação primária, em relação a análises comparativas, das alterações ocorridas ao longo de uma bacia hidrográfica, a partir da perda ou ganho de canais, refletindo as alterações que por ventura tenham ocorrido no meio físico. Para a BHRC o número de canais obtido foi de 5.388.

- **Comprimento do Canal Principal (L):** A determinação do parâmetro Canal Principal é definida pela extensão medida usualmente em metros da extensão do principal canal da bacia hidrográfica. Outro atributo associado ao canal principal é a determinação de sua declividade média e a influência desta com as vazões de máxima e mínimas. Com o aumento da declividade há uma tendência para ampliação das vazões de pico, mas em contrapartida uma diminuição das vazões de estiagem. O comprimento do Ribeirão do Carmo obtido foi de 74.968,314 m.

- **Comprimento da Rede de Drenagem (Cr):** O comprimento da rede de drenagem é uma variável medida em metros ou quilômetros, que possibilita avaliar temporalmente alterações que por ventura tenham ocorrido ao longo de uma bacia hidrográfica, em termos de perda ou ganho na extensão dos caminhos existentes que condicionam o escoamento linear das águas superficiais. Para este trabalho o valor obtido para este parâmetro foi de 1.718,82 km.

- **Distância Vetorial entre os pontos extremos do canal principal (dv):** Considerando-se que a sinuosidade dos canais de uma bacia hidrográfica sofre influência direta da carga de sedimentos transportados ao longo do canal, da compartimentação litológica e estruturação geológica, e da declividade dos canais, a determinação da distância vetorial entre os pontos extremos do canal pode auxiliar no processo de caracterização da bacia, sendo que a obtenção de valores intermediários pode indicar a existência de formas transicionais, regulares e irregulares. A distância vetorial da BHRC obtida foi de 41.821,748 m.

- **Amplitude Altimétrica (H):** Trata-se da diferença de altitudes entre o ponto mais baixo de uma bacia hidrográfica (Altitude Mínima - amin), considerando-se a sua foz, e o ponto de maior altitude (Altitude Máxima - amax) em relação ao seu divisor de águas, segundo Strahler (1952). O ponto mais baixo da BHRC possui cota de 420,0 m. O ponto mais alto a cota de 1640,0 m. A amplitude altimétrica obtida foi de 1.220,0 m.

- **Densidade de Drenagem (Dd):** Este atributo é obtido através da relação entre o comprimento da rede de drenagem (Cr) e a área da bacia (A). Horton (1945) ressalta que este parâmetro indica o comportamento hidrológico do substrato rochoso em relação à sua permeabilidade e ao escoamento superficial. Considerando-se que quanto maior a densidade de drenagem maior será o escoamento e volume de escoamento, este atributo retrata a disponibilidade de canais para o escoamento linear das águas e materiais detríticos e o grau de dissecação do relevo resultante da atuação da rede de drenagem.

Para bacias hidrográficas de menor porte e grau hierárquico existe uma tendência de que os valores de densidade de drenagem sejam mais elevados, pois geralmente estão nos setores mais altos dos cursos d'água (cabeceiras), onde as declividades tendem a ser mais acentuadas.

Em relação a BHRC, a densidade de drenagem calculada foi de 5,35 km/km², que corrobora para sua classificação como excepcionalmente bem drenada, principalmente no trecho compreendido pelos substratos do quadrilátero ferrífero, que abrange a sede dos municípios de Ouro Preto e Mariana. Ressalta-se que as atividades relacionadas ao processo de urbanização e à agricultura podem provocar alterações significativas na densidade de drenagem de uma bacia hidrográfica, influenciando tanto no fornecimento e transporte de material detrítico, quanto na impermeabilização de extensas áreas.

- **Densidade Hidrográfica (Dh):** Este atributo relaciona o número de canais (n) com a área total da bacia hidrográfica (A). Christofletti (1974) correlaciona a análise deste parâmetro com o comportamento da rede hidrográfica e a capacidade de gerar novos cursos d'água em função das características geológicas, pedológicas, e climáticas da área. Segundo Freitas (1952), além de expressar o número de canais existentes em cada quilômetro quadrado da bacia hidrográfica, este atributo contribui na avaliação do

potencial hídrico da região. No caso específico da BHRC o número obtido foi de 16,75 canais/km².

- **Razão de Textura (T):** A razão de textura correlaciona o número de segmentos de rios (Nt) e o perímetro da bacia hidrográfica (P) contribuindo no sentido de se entender o grau de entalhamento e dissecação do relevo. Com o propósito de classificar a razão de textura ao longo de uma bacia hidrográfica, Smith (1950) aplicou um valor médio ponderado levando em conta a área das bacias, mas com os resultados expressos em milhas, classificação esta adaptada por França (1968) para ser expressa em km onde:

$T < 4,0$ (Nt/km) - grosseira

$4,0 \leq T \leq 10,0$ (Nt/Km) - média

$T > 10$ (Nt/Km) – fina

Para a BHRC o valor obtido da Razão de Textura foi de 46,61 Nt/km caracterizando-a como de textura fina.

- **Extensão de Percurso Superficial (Eps):** Segundo Horton (1945), este atributo é função da densidade de drenagem, sendo o mesmo à distância (km) média percorrida pelas águas pluviais (fluxo hídrico), a partir do interflúvio, até encontrar um canal já delineado (leito do rio).

$$Eps = \frac{1}{(2Dd)} \quad (3.1)$$

O cálculo do valor de Eps para a BHRC alcançou o valor de 0,0934.

- **Coefficiente de Manutenção (Cm):** O coeficiente de manutenção é o inverso da densidade de drenagem. Este parâmetro indica, segundo Schumm (1956), se a área mínima necessária em uma bacia hidrográfica (km² ou m²), para sustentar/manter em funcionamento um quilômetro ou metro linear de escoamento, ou seja, a medida aumenta a dissecação do relevo diminui a área disponível para o entalhamento de novos canais. A obtenção deste coeficiente contribui para a estimativa da área mínima que é necessária para que o canal de drenagem possa se implementar e desenvolver, bem como a área média que permanece isenta de entalhes.

$$Cm = \left(\frac{1}{Dd}\right) \times 1.000 \quad (3.2)$$

O cálculo do valor de Cm para a BHRC foi de 187,91.

- **Razão de Relevo (Rr):** O atributo Razão de Relevo é dado pela relação da diferença entre a amplitude altimétrica máxima (H) e o comprimento do canal principal da bacia (L), onde quanto maior o valor de Rr, maior será o desnível entre a cabeceira da bacia e a foz. Patton e Baker (1976) apontam a relação de relevo, a densidade de drenagem e a ordem dos canais como os três elementos morfométricos mais relevantes na identificação de bacias com alto potencial a inundações. O parâmetro Razão de Relevo também pode ser empregado em análises do meio físico e entre bacias hidrográficas para subsidiar avaliações de predisposição à instabilidade das encostas, grau de evolução do relevo e suscetibilidade a processos erosivos.

$$Rr = \frac{H}{L} \times 100 \quad (3.3)$$

O cálculo do valor de Rr para a BHRC foi de 1,627.

- **Razão de Relevo Relativo (Rrl)** ou Relação entre a amplitude altimétrica e o perímetro da bacia.

$$Rrl = \frac{H}{P} \times 100 \quad (3.4)$$

Rrl = 1220.0m/139.224,0m = 0,87.

- **Razão de bifurcação:** Relação entre o número de canais de uma certa ordem (Ni) e o número de canais da ordem imediatamente superior (Ni+1). França (1968), a partir dos resultados obtidos em seus trabalhos observou que os valores de Rb tendem a ser mais altos para as bacias com ocorrência de solos menos permeáveis, e vice-versa. A razão de bifurcação para a BHRC encontrada foi de 3,61.

- **Índice de Rugosidade (HD):** O índice de Rugosidade é obtido a partir do produto entre a amplitude altimétrica e a densidade de drenagem da bacia hidrográfica correlacionando, ao mesmo tempo, a declividade e o comprimento das vertentes, com a densidade de drenagem, onde quanto maior o índice, mais íngremes e longas serão as

vertentes. Christofolletti (1980) descreve que se a Dd aumenta enquanto o valor de H permanece constante, a distância horizontal média entre a divisória e os canais adjacentes será reduzida, acompanhada de aumento na declividade das vertentes. Se o valor de H aumenta enquanto a Dd permanece constante, também aumentarão a declividade e as diferenças altimétricas entre o interflúvio e os canais. Assim, os valores extremamente altos do índice de rugosidade ocorrem quando ambos os valores (Dd e H) são elevados, isto é, as vertentes são longas e íngremes.

O índice de Rugosidade obtido para a BHRC foi de 228,03 m/km. Patton e Baker (1976) demonstram que áreas com elevados índices de rugosidade têm potencial elevado de ocorrência de “cheias relâmpago” devido à fina textura de drenagem, com comprimento mínimo do escoamento superficial em vertentes íngremes e altos valores de gradientes dos canais.

- **Índice de Concentração da Rugosidade - ICR:** Considerando as subjetividades observadas no mapeamento com vistas à compartimentação de terrenos em unidades similares, e com as facilidades advindas do geoprocessamento, Sampaio (2008) propôs o Índice de Concentração da Rugosidade (ICR), com a finalidade de quantificar, classificar e delimitar unidades de relevo, a partir da distribuição espacial da declividade, entendida como padrões de rugosidade, utilizando o “*Estimador de Densidade de Kernel*”, o que, segundo o autor, elimina o inconveniente da classificação pontual do relevo. O ICR pode ser obtido a partir da transformação do modelo digital de elevação (MDE) em valores de declividade calculados em porcentagem, posteriormente convertido para o formato de pontos (vetorial), quando se torna possível a aplicação do Estimador de Densidade. O ICR corresponde à soma dos valores de declividade dos pontos existentes dentro de uma determinada área (rugosidade do relevo), sendo condicionado pela quantidade de pontos computados, o que varia em função da resolução espacial do MDE. Para a BHRC o ICR obtido está retratado na figura 3.50 a seguir.

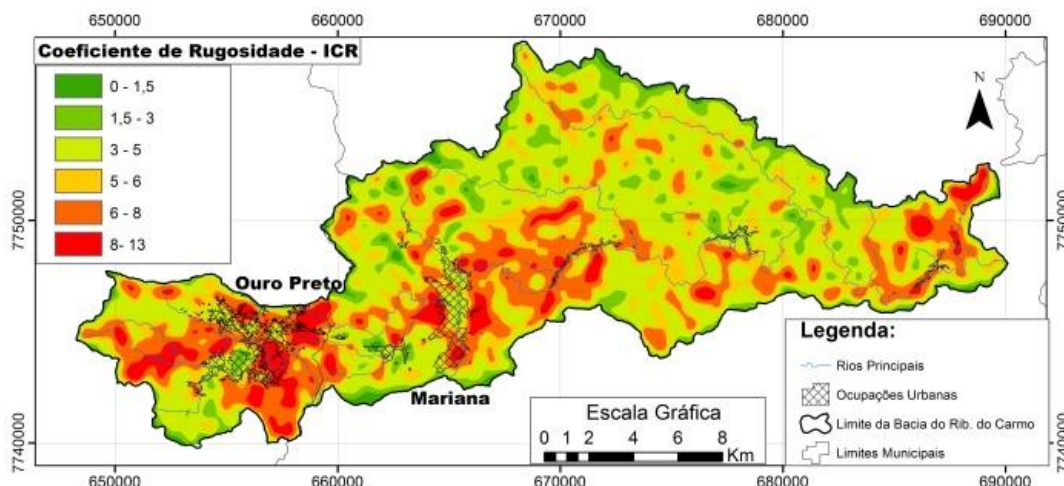


Figura 3. 50 – Índice de Concentração da Rugosidade da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Carmo.

- **Declividade Média da Encosta ($tg\Theta$):** A determinação da declividade média de uma encosta ($tg\Theta$) se dá inicialmente pela obtenção dos valores das tangentes utilizando-se o índice de rugosidade. Em seguida, esses valores são transformados em porcentagem para declividade média da encosta. Para a BHRC a declividade média obtida foi de 20,52%. A figura 3.51 retrata a classificação de declividade média nas sub-bacias que compõem a BHRC.

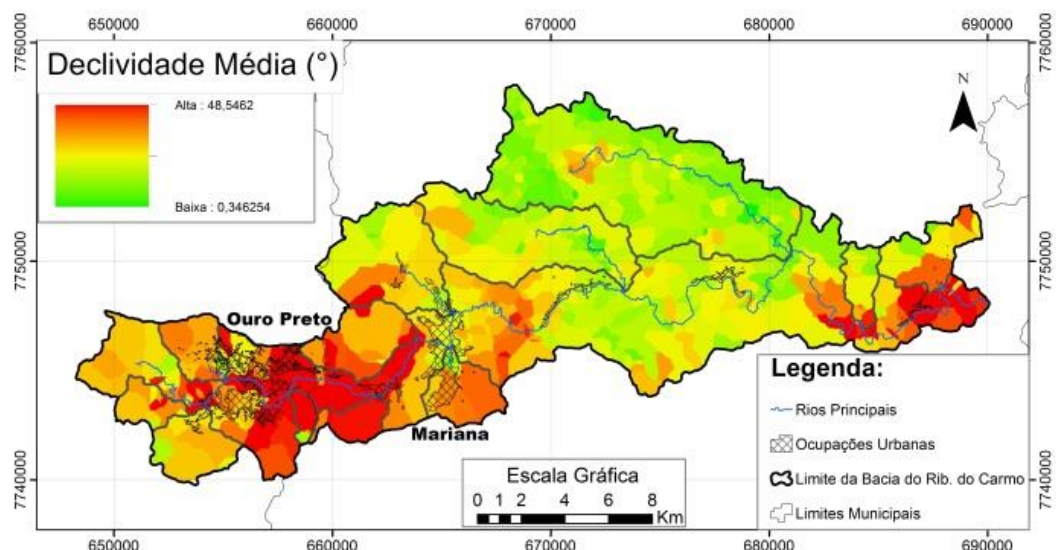


Figura 3. 51 - Classificação de declividade média nas bacias interiores que compõem a BHRC

- **Gradiente de Canais (Gc).** O índice gradiente de canais é obtido em percentagem através da relação entre a amplitude altimétrica (H), entre as cotas de montante e jusante do canal principal, e o comprimento do mesmo (L) indicando assim, a declividade dos cursos d'água.

$$Gc = \frac{Hc}{L} \times 100 \quad (3.5)$$

O valor obtido para o Gradiente de canais foi de 1,27%.

- **Índice de Circularidade (Ic):** Este parâmetro foi proposto por Miller (1953) através da relação entre a área da bacia hidrográfica e a área do círculo de igual perímetro. Considera-se que a medida que o valor encontrado se aproxima de 1,0, a forma da bacia tende a obter uma forma circular. Para efeito de comparação, segundo Miller (1953) e Schumm (1956), valores de Ic até 0,51 sugerem que a bacia tende a ser mais alongada, favorecendo o processo de escoamento (contribuição para a concentração de água pequena). Valores de Ic = 0,51 representa um nível moderado de escoamento, que não contribui para a concentração de águas que por ventura venham a possibilitar a ocorrência de cheias rápidas. Valores superiores a 0,51 até a unidade tendem a indicar para a bacia uma forma mais circular, expressando níveis moderados a altos quanto à suscetibilidade de ocorrerem processos de inundação.

$$Ic = \frac{A}{Ac} \quad (3.6)$$

Onde:

A – área total da bacia.

Ac – área do círculo de perímetro igual ao da área total da bacia.

Ic = 0,51 – escoamento moderado e pequena probabilidade de cheias rápidas.

Ic > 0,51 – bacia circular favorecendo os processos de inundação (cheias rápidas).

Ic < 0,51 – bacia mais alongada favorecendo o escoamento.

Para a BHRC o índice de circularidade obtido foi de 0,208 indicando o favorecimento ao escoamento das águas superficiais.

- Índice de Compacidade (k_c). Este parâmetro é utilizado para a caracterização da forma das bacias hidrográficas, sendo a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. Bacias que se aproximam geometricamente de um círculo tendem a convergir o escoamento superficial ao mesmo tempo para um trecho relativamente pequeno do canal principal. Considerando a não ocorrência da interferência de outros fatores os menores valores de k_c indicam maior potencialidade de produção de picos de enchentes elevados.

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (3.7)$$

Onde: P – perímetro da bacia; A – área da bacia.

O índice de compacidade obtido para a BHRC foi de $K_c = 2,17$.

O K_c é sempre um valor maior do que 1, pois se fosse igual a 1, a bacia teria a forma de um círculo perfeito. Quanto menor o K_c (mais próximo da unidade), mais circular é a bacia, menor o tempo de concentração e maior a tendência de haver picos de enchente.

- **Índice de Sinuosidade (I_s):** Este parâmetro é obtido através da correlação entre o comprimento do canal principal da nascente até a exutória e a distância em linha reta entre estes dois pontos. Nas análises ambientais é um importante indicador para o entendimento da velocidade de escoamento das águas superficiais, onde:

I_s – índice de sinuosidade.

L - comprimento do canal principal.

dv – distância vetorial entre os pontos extremos do canal principal.

$$I_s = \frac{L}{dv} \quad (3.8)$$

$I_s \cong 1,0$ – o canal tende a ser retilíneo.

$I_s > 2,0$ – canais tortuosos.

Para a BHRC o índice de sinuosidade obtido foi de 1,792.

A caracterização de bacias hidrográficas por meio de análise morfométrica contribui para uma melhor compreensão dos processos hidrogeomorfológicos ocorrentes, mesmo que sua estruturação seja complexa, ou que já tenha sofrido intervenções antrópicas significativas. Entretanto, a análise morfométrica da BHRC, além de agregar informações importantes para um diagnóstico ambiental mais amplo da área integral de estudo, demonstra a necessidade de estudos específicos, já que a correlação preliminar entre o substrato geológico, as declividades médias e o índice de concentração de rugosidade, bem como outros elementos, permite a diferenciação entre duas unidades geomorfológicas principais existentes: o Quadrilátero Ferrífero e os Planaltos Dissecados. Soma-se aqui as alterações dos parâmetros morfométricos da rede de drenagem consequências das intervenções antrópicas, principalmente em decorrência da expansão dos centros urbanos na porção centro-oeste da bacia.

Observando-se os índices morfométricos descritos, ressalta-se a necessidade de se analisar os resultados de forma correlacionada ao contexto geológico e, principalmente, estrutural da área. Assim, o fato de um relevo cuja diferença de cota chega a 1.220,0 m ser classificado como suave é justificado pela presença dos dois patamares na região (níveis de base locais) relacionados à transição entre os terrenos do Quadrilátero Ferrífero na porção oeste, com os planaltos dissecados da porção centro-leste, inseridos em um domínio morfoestrutural com exposição de rochas cristalinas, deformadas e deslocadas do embasamento, atingidas por sucessivos estágios de erosão. Esses patamares (quebras no relevo) são responsáveis pela existência de áreas mais suscetíveis à deposição sedimentar, (trechos do distrito sede de Mariana e dos distritos de Bandeirantes e Monsenhor Horta) e outras, onde predomina a dissecação dos terrenos associada ao aumento da declividade dos cursos d'água e ao aparecimento de canais encaixados (trechos do distrito sede de Ouro Preto, Passagem de Mariana e Furquim). O encaixamento da drenagem está intimamente ligado a feições estruturais como fraturas, falhas e contatos geológicos, que exercem o controle sobre essas porções da bacia hidrográfica.

A densidade de drenagem obtida, de 5,35 km/km², e a densidade hidrográfica (16,7canais/km) retrata a grande capacidade da bacia de gerar novos cursos d'água e a

elevada capacidade de escoamento superficial no terreno. Entretanto, ao mesmo tempo em que na BHRC tem-se um elevado número de canais de drenagem, principalmente na porção oeste, associada ao substrato do Quadrilátero Ferrífero, tem-se mediante a quantidade de canais disponíveis para o escoamento superficial, um subaproveitamento desta condição, que permitiria uma melhor captação e armazenamento de água frente aos períodos de estiagem.

A sinuosidade obtida, de 1,79, sugere uma condição transicional entre canais regulares e irregulares, mas com tendência para classificar os canais como tortuosos.

Entre os parâmetros morfométricos e morfológicos do relevo obtidos, os associados à concentração de rugosidade topográfica ofereceram importantes subsídios à análise geomorfológica, assim como para o entendimento, identificação e/ou indicação de áreas potencialmente instáveis ambientalmente, reiterando as maiores fragilidades para as bacias do córrego Funil, do córrego Marzagão, do córrego da Banca do Rego, do córrego do Seminário e do córrego Canelas.

O índice de concentração de rugosidade representou o potencial de escoamento relacionado às encostas (ao relevo), ao passo que a concentração de gradiente de canais expressou o elevado potencial de escoamento da rede de drenagem.

A determinação do índice de circularidade da BHRC refletiu sua forma mais alongada, favorecendo um melhor escoamento. Isso indica que a precipitação pluviométrica sobre a bacia hidrográfica se concentra em diferentes pontos, contribuindo para amenizar a influência da intensidade de chuvas. Entretanto, os registros históricos indicam a ocorrência de processos de inundação em parte da sede do município de Mariana e nos distritos de Bandeirantes e Monsenhor Horta, onde extensas planícies aluvionares vem sendo ocupadas. Em relação ao trecho com histórico de inundação no distrito sede do município de Mariana destaca-se a influência da bacia do Córrego Canelas, cujo índice de circularidade (0,56) aponta para um menor favorecimento ao escoamento e uma maior concentração das águas e tendência de cheias em seu exutório, que é coincidente com o trecho do Ribeirão do Carmo com maior frequência de registro de processos de inundação (Bairro São Sebastião / Vila do Sapo).

A compartimentação dos parâmetros morfométricos calculados para a caracterização da BHRC, para as bacias interiores de ordem 3, 4 e 5 possibilitará também, em outro

momento, uma avaliação comparativa entre o todo (BHRC) e as partes (bacias interiores de ordem, 3, 4 e 5), considerando os processos hidrogeomorfológicos; a elaboração de um documento cartográfico que delimite regiões com padrões hidrológicamente homogêneos, com relação ao potencial de escoamento superficial; e proposições mais específicas para a gestão ambiental da BHRC.

3.5.2 APROPRIAÇÃO DA EQUAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS E DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

Chuvvas intensas são fenômenos naturais, em geral caracterizados por uma precipitação forte e contínua e de curta duração, que podem causar aumentos de vazões, produzindo inundações e/ou enchentes com amplos efeitos negativos como perdas humanas e materiais, interrupção de atividades econômicas e sociais nas áreas inundadas, contaminação das águas, proliferação das doenças de veiculação hídrica, aceleração do processo de erosão dos solos etc.

Em estudos hidrológicos, além do conhecimento das chuvas máximas observadas nas séries históricas, busca-se a previsão de precipitações máximas que possam vir a ocorrer com determinada frequência através da análise das observações das chuvas intensas durante um período de tempo representativo dos eventos extremos (Tucci, 2004).

Assim sendo, para que se torne possível a proposição de intervenções e ações preventivas tais como o dimensionamento de sistemas de drenagem, vertedores, obras de proteção contra cheias e erosão hídrica, ente outros, é necessário o conhecimento das três grandezas que caracterizam uma precipitação: a intensidade, a duração e a frequência.

Nas análises das relações intensidade-duração-frequência das chuvas máximas, comumente é empregada a equação apresentada a seguir.

$$i = \frac{kT^m}{(t+t_0)^n} \quad (3.9)$$

Em que i representa a intensidade máxima média; t é a duração da chuva, T é o seu tempo de retorno, enquanto k , m , t_0 e n são os parâmetros que se deseja determinar com base nos dados pretéritos de chuva.

Muitos estudos têm sido desenvolvidos visando à determinação de equações intensidade-duração-frequência (IDF) para diversos locais de Estados do Brasil, podendo-se citar: Minas Gerais (Pinto *et al.*, 1996; Mello *et al.*, 2003); Espírito Santo e Rio de Janeiro (Silva *et al.*, 1999); Tocantins (Silva *et al.*, 2003); Paraná (Longo, 2006), Goiás (Oliveira *et al.*, 2008), São Paulo (Liazi *et al.*, 1994; Genovez e Zuffo, 2000), Bahia (Silva *et al.*, 2002), Pernambuco (Silva, 2009), Rio Grande do Sul (Robaina, 1996), Santa Catarina (Back *et al.*, 2012; Nerilo *et al.*, 2002). Outros estudos aplicados também podem ser citados tais como Faria *et al.* (2014), Moreira *et al.* (2014), Oliveira *et al.* (2014).

Uma vez determinados estes parâmetros por análise de regressão, estabelece-se a equação que representa a relação intensidade-duração-frequência válida para a região de influência das estações pluviométricas estudadas. Entretanto, na maioria dos estudos ainda são escassos os dados pluviométricos de longa duração, sendo que para essas localidades o método *Chow-Gumbel* tem sido utilizado de maneira eficiente para a determinação da relação intensidade-duração-frequência.

Em relação a BHRC, em seu entorno existem 4 estações pluviométricas com registros de dados de longa duração (Quadro 3.4).

Quadro 3. 4 - Estações pluviométricas no entorno da BHRC e datas de início e fim de coleta de dados.

Nome	Código	Início da coleta	Fim da coleta
Fazenda Água Limpa	2043056	01/01/1984	Dias atuais
Fazenda Paraíso	2043011	04/01/1941	Dias atuais
Acaiaca	2043009	03/01/1941	Dias atuais
Fazenda Ocidente	2043027	03/01/1967	Dias atuais

A estação pluviométrica Fazenda Paraíso, código 2043011, foi a escolhida para a apropriação da equação intensidade-duração-frequência de chuvas em decorrência de sua melhor localização e proximidade em relação à BHRC, bem como pelo fato de possuir um acervo significativo de anos com dados contínuos. Os valores diários de chuva foram obtidos no sítio oficial da Agência Nacional de Água (www.ana.gov.br). A metodologia de cálculo utilizada foi a proposta por Soprani e Reis (2007), sintetizada a seguir.

- 1 - Seleção das máximas precipitações anuais de 1 dia;
- 2 - Análise de frequências dos totais precipitados com ajuste da distribuição probabilística de *Gumbel* à série de máximas precipitações anuais de 1 dia, estimando as precipitações máximas anuais de 1 dia associadas a diferentes períodos de retorno;
- 3 - Conversão das máximas precipitações anuais de 1 dia, associadas a diferentes períodos de retorno, em precipitações máximas de 24 horas;
- 4 - Conversão das precipitações máximas de 24 horas, associadas a diferentes períodos de retorno, em precipitações máximas de durações menores. Para este trabalho foram consideradas durações de precipitação de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos, 1, 6, 8, 10, 12 e 24 horas;

Na Tabela 3.1 tem-se as precipitações máximas anuais medidas na estação Fazenda Paraíso entre os anos 1942 e 2013. Na tabela 3.2 tem-se as precipitações máximas anuais de 1 dia associadas a diferentes períodos de retorno, resultado do ajuste da distribuição probabilística de *Gumbel* à série de máximas precipitações anuais de 1 dia.

Tabela 3. 1 - Precipitações máximas anuais de 1 dia (mm) medidas na estação Fazenda Paraíso entre os anos 1941 e 2013.

Ano	Máx.	Ano	Máx.	Ano	Máx.
1941	-	1966	122	1991	84,2
1942	54,6	1967	86,6	1992	100,3
1943	73,2	1968	72,4	1993	57,8
1944	75,7	1969	105	1994	122,2
1945	84,6	1970	83,4	1995	82,4
1946	46	1971	55,8	1996	78,4
1947	68,6	1972	99,4	1997	106,4
1948	114,5	1973	82,8	1998	52,6
1949	73,6	1974	81,2	1999	79,6
1950	82	1975	66,8	2000	115,5
1951	125	1976	56,6	2001	50,7
1952	110,8	1977	86,2	2002	68,9
1953	94,4	1978	54,8	2003	-
1954	56,4	1979	83,4	2004	161,2
1955	96,6	1980	61,8	2005	83,8
1956	87,5	1981	60,4	2006	62,1
1957	95,0	1982	74,2	2007	62,9
1958	93,9	1983	94,0	2008	100,4
1959	98,4	1984	70,2	2009	96,0
1960	96,8	1985	105,0	2010	88,8
1961	84,2	1986	75,2	2011	114,5

1962	81,8	1987	84,6	2012	125
1963	22,2	1988	82,4	2013	93,8
1964	122,2	1989	61,6	-	-
1965	52,8	1990	80,2	-	-

Tabela 3. 2 - Precipitações máximas anuais de 1 dia associadas a diferentes períodos de retorno para a estação pluviométrica Fazenda Paraíso.

Período de Retorno (anos)	Precipitação Máx. Anual (mm)
2	80,33
5	102,73
10	125,94
25	136,31
50	150,21
75	158,29
100	164,01

Tabela 3. 3 - Precipitações máximas (em mm), para a estação pluviométrica Fazenda Paraíso, associadas a diferentes períodos de retorno e durações.

Dur.	Período de Retorno						
	2	5	10	25	50	75	100
24h	91,6	117,1	143,5	155,3	171,2	180,4	186,9
12h	77,8	99,5	122,0	132,0	145,5	153,3	158,9
10h	75,1	96,0	117,7	127,4	140,4	147,9	153,3
8h	71,4	91,3	111,9	121,2	133,5	140,7	145,8
6h	65,9	84,3	103,3	111,8	123,2	129,9	134,6
1h	38,4	49,2	60,3	65,2	71,9	75,7	78,5
30min	28,4	36,4	44,6	48,3	53,2	56,0	58,1
25min	25,9	33,1	40,6	43,9	48,4	51,0	52,8
20min	23,0	29,4	36,1	39,1	43,1	45,4	47,0
15min	19,9	25,4	31,2	33,8	37,2	39,2	40,6
10min	15,3	19,6	24,1	26,0	28,7	30,2	31,3
5min	9,6	12,3	15,1	16,4	18,1	19,0	19,7

A partir dos dados gerados tornou-se possível determinar as curvas intensidade x duração para diferentes períodos de retorno da BHRC (equação 10), com base nos dados da estação pluviométrica Fazenda Paraíso (Figura 3.52).

$$i = \frac{17,426T^{0,1278}}{(t+12)^{0,759}} \quad (3.10)$$

Sendo:

i = intensidade da chuva em mm/min;

T = Tempo de retorno, em anos;

t = Tempo de duração, em minutos.

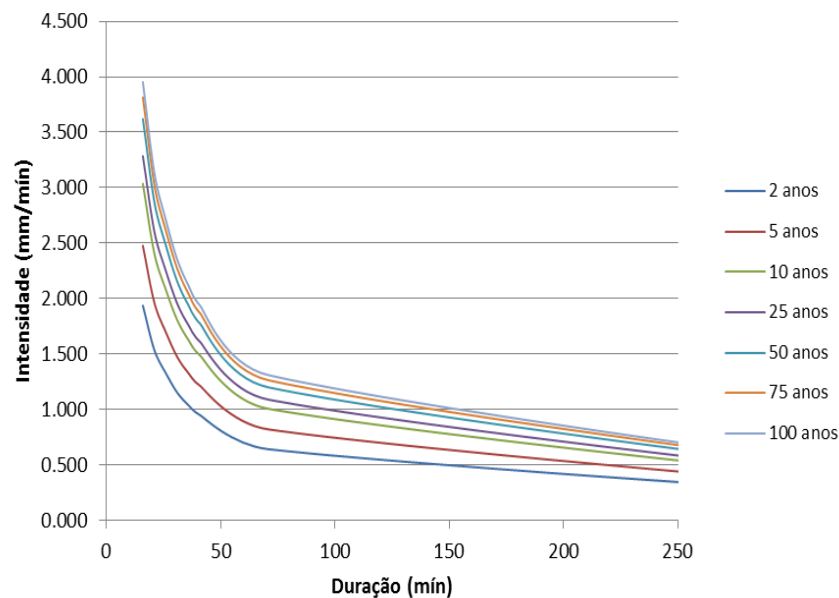


Figura 3. 52 - Curvas intensidade x duração de chuva para diferentes períodos de retorno na estação pluviométrica Fazenda Paraíso.

Complementando a caracterização da BHRC determinou-se, também o tempo de concentração da bacia, que é o tempo que leva a sua área hidrologicamente mais remota para contribuir com o fluxo de água em seu exutório. Conhecer o tempo de concentração é essencial para a definição da vazão máxima a que está sujeita uma bacia.

Foram formuladas várias equações para o cálculo do tempo de concentração, com o intuito de resolver problemas práticos de engenharia. Por isto, a maior parte das equações possui caráter empírico e constituem basicamente equações de regressão, desenvolvidas a partir de preceitos estatísticos (Silveira, 2005).

As fórmulas são obtidas, de modo geral, pelas características morfométricas da bacia hidrográfica como área, comprimento do talvegue, rugosidade do córrego ou canal e a declividade, podendo ser citadas, entre outras, as fórmulas de Ven te Chow, Kirpisch, Temez e Giandotti. Segundo Winkler *et al.* (2012) a determinação do tempo de

concentração por meio de fórmulas empíricas está sujeita a imprecisões e incertezas por não considerar a variabilidade espacial e temporal da bacia.

Para o cálculo do tempo de concentração foram empregados os métodos de Temez, Doodge e Giandotti, desenvolvidos para bacias semelhantes à BHRC, considerando-se como valor final a média simples dos valores obtidos nestes três métodos.

O método de Temez (1978) é avaliado como o mais apropriado para bacias naturais de área de até 3.000 km² pelo IEP (2001). Este método leva em consideração o comprimento do talvegue principal e declividade média equivalente, conforme apresentado na equação a seguir:

$$tc = 0,3 \left(\frac{L}{I^{0,25}} \right)^{0,76} \quad (3.11)$$

Sendo:

Tc = tempo de concentração (horas);

L = comprimento do talvegue principal (km);

I = declividade média equivalente (%).

O método de Doodge (TUCCI, 1998) foi determinado a partir de dados de dez bacias rurais com áreas entre 140 e 930 km², assim supõe-se que seus parâmetros reflitam melhor condições de escoamento em canais. Este método leva em consideração a área da bacia hidrográfica e a declividade do talvegue principal, conforme apresentado na equação a seguir:

$$tc = 21,88A^{0,41} S^{-0,17} \quad (3.12)$$

Sendo:

Tc = tempo de concentração (minutos);

A = área da bacia (km²);

S = declividade do talvegue principal (m/m).

O método de Giandotti foi preconizado no Regulamento de Pequenas Barragens de Terra editado em 1973, em Portugal, sendo normalmente utilizado em bacias com áreas superiores a 300 km².

$$tc = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{H}} \quad (3.13)$$

Em que:

Tc = tempo de concentração (horas);

A = área da bacia (km²);

L = comprimento do talvegue principal (km);

H = altura média da bacia (metros) = Altitude média – Altitude mínima

O Quadro 3.5 sintetiza o resultado do cálculo do Tempo de Concentração da seção do Ribeirão do Carmo para as três metodologias descritas.

Quadro 3. 5 - Resultado do cálculo do Tempo de Concentração da BHRC.

Método	Tempo de Concentração (minutos)
Temez	540,621
Doodge	491,35
Giandotti	470.42
Média	500,79

Além de auxiliar na definição da vazão máxima a que está sujeita a bacia, a determinação do tempo de concentração da BHRC também contribuirá para a formulação de ações preventivas envolvendo, principalmente, as áreas ocupadas da sede do município de Mariana e dos distritos de Bandeirantes e Monsenhor Horta, onde a recorrência de processos de inundação é conhecida, visto que chuvas com duração iguais ou maiores que o tempo de concentração da bacia indicarão que quando o volume precipitado nas regiões mais distantes chegarem à foz ou aos pontos de interesse, ele vai se somar com o volume precipitado nestas regiões, causando uma cheia maior do que a de uma chuva mais curta.

A caracterização das chuvas intensas a partir do estudo das precipitações máximas

constitui-se um dos principais caminhos para estimativa da vazão de pico de uma bacia, já que a disponibilidade de longas séries de precipitações é, em geral, muito mais frequente que a de vazões. Os dados gerados na caracterização do BHRC auxiliarão estudos posteriores visando à determinação do risco da suscetibilidade e perigo de inundação, a partir da geração de modelos hidrológicos que forneçam como variáveis de saída arquivos com as cotas de inundação para as vazões de projeto (tempo de retorno de 10, 20, 30, 50 e 100 anos) espacializadas no terreno em diversas seções ao longo do curso d'água, de acordo com as características e posicionamento das seções, que serão determinadas durante a preparação dos dados de entrada para a simulação.

Outra contribuição relacionada a determinação das chuvas intensas e tempos de concentração na caracterização da BHRC é o auxílio no desenvolvimento e implementação de sistemas de monitoramento de desastres naturais propondo-se, no caso da BHRC, a implementação de um sistema de monitoramento pluviográfico ao longo do seu território e entorno, através da instalação de pluviógrafos, bem como o monitoramento fluviométrico por meio da instalação de réguas fluviométricas e de um linígrafo de pressão automático. Esta instrumentação, além de permitir no futuro melhores refinamentos dos dados gerados em relação às chuvas intensas e tempo de concentração contribuirão para a obtenção de dados, em tempo real, para o gerenciamento do risco integrado a um sistema de alerta à população, bem como dar subsídios para previsão de cheias em cenários futuros de uso do solo, de forma a nortear a expansão urbana do território municipal.

3.6 QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

3.6.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

No Brasil, havendo a necessidade de estruturar a gestão de recursos hídricos, a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, adequou o arcabouço institucional vigente, com a criação da Agência Nacional de Águas – ANA, integrando-a ao Sistema Nacional de Recursos Hídricos, cuja competência foi implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos. Já o processo de elaboração do Plano Nacional de Recursos Hídricos - PNRH, este coube à SRH - Secretaria de Recursos Hídricos, órgão integrante do Núcleo Estratégico

do Executivo Federal, em conjunto com a ANA, e com outras instituições governamentais, setores usuários e a sociedade civil organizada.

O PNRH é então um instrumento essencial para o planejamento estratégico da gestão dos recursos hídricos no País, tanto no contexto das bacias hidrográficas, quanto das áreas especiais de planejamento.

Muitos foram os trabalhos desenvolvidos em bacias hidrográficas brasileiras com o intuito de se avaliar a qualidade das águas superficiais, bem como a influência dos parâmetros na composição do índice de Qualidade das Águas (IQA) destacando-se entre eles Toledo e Nicolella (2002), Almeida *et al.* (2003), Souza e Tundisi (2003), Gonçalves *et al.* (2005), Molina *et al.* (2006), Lopes *et al.* (2008), Saad *et al.* (2009), Rino *et al.* (2009), Frinhani e Carvalho (2010) e Moretto (2011).

Sob esta ótica, as análises realizadas das águas superficiais da bacia hidrográfica do Ribeirão do Carmo ganham importância, na medida em que nada foi feito no sentido de avaliar o grau de degradação geoambiental das águas da BHRC em decorrência das atividades antrópicas e às suas próprias características naturais. A determinação do IQA somado à cartografia geoambientais da bacia permite não somente a determinação da qualidade de parte das águas superficiais, mas que estudos futuros tenham a condição de efetuar uma análise comparativa dos dados e, principalmente, da variabilidade dos parâmetros analisados, bem como que ações sejam desencadeadas para minimização dos problemas detectados.

Como objetivos específicos tem-se:

⇒ A relação da qualidade das águas superficiais com as áreas degradadas e com o uso e ocupação do solo.

⇒ A relação da qualidade dos recursos hídricos com o crescimento das áreas urbanas.

Para alcançar os objetivos propostos a abordagem do trabalho passou necessariamente por caracterizações microbiológicas e físico-químicas, que subsidiaram a determinação da qualidade das águas superficiais da BHRC. Com isso, pretendeu-se, juntamente com as outras análises do meio físico que compõem este estudo oferecer subsídios para a elaboração de um futuro modelo de gestão ambiental em nível intermunicipal, integrado e mais amplo, envolvendo os municípios de Ouro Preto e Mariana, no que diz respeito

ao uso ocupação do solo e suas relações com as águas superficiais.

A partir dos resultados obtidos e considerando as duas campanhas de coleta de amostras que foram realizadas, os dados foram correlacionados à Resolução CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005 que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

A resolução CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005 considera, entre outros, a vigência da Resolução CONAMA n° 274, de 29 de novembro de 2000, que dispõe sobre a balneabilidade; o art. 9º, inciso I, da Lei n° 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional dos Recursos Hídricos, e demais normas aplicáveis à matéria; a Constituição Federal e a Lei n° 6.938, de 31 de agosto de 1981, que visa controlar o lançamento no meio ambiente de poluentes, proibindo o lançamento em níveis nocivos ou perigosos para os seres humanos e outras formas de vida; e os termos da Convenção de Estocolmo, que trata dos Poluentes Orgânicos Persistentes-POPs, ratificada pelo Decreto Legislativo n° 204, de 7 de maio de 2004.

3.6.2 PROCEDIMENTOS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

Foram utilizados dados de 27 pontos específicos de coleta de amostras englobando um período de “seca” e um período de “chuva” perfazendo um total de 54 análises químicas e 64 análises microbiológicas realizadas neste estudo, escolhidos para abranger as nascentes do ribeirão do Carmo, os principais afluentes, as bacias de 4ª, 5ª e 6ª ordens, as principais captações de água para consumo nos distritos de Bandeirantes, Monsenhor Horta e Furquim, e uma captação no município de Mariana, além de amostragens ao longo do curso principal (Figura 3.53 e Anexo I). A distribuição dos pontos teve como objetivo além de caracterizar toda a extensão do Ribeirão do Carmo, verificar a capacidade de depuração ao longo do canal, à medida que recebe contribuições das bacias interiores, bem como a influência da ocupação urbana, atividades de mineração ao longo do canal e ao longo do território, e os demais usos ao longo da bacia em relação aos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos analisados. Como produto

final tem-se a determinação do índice de qualidade das águas superficiais por trecho, o que permite uma gestão ambiental mais eficiente ao longo da bacia com ações direcionadas aos problemas específicos identificados.

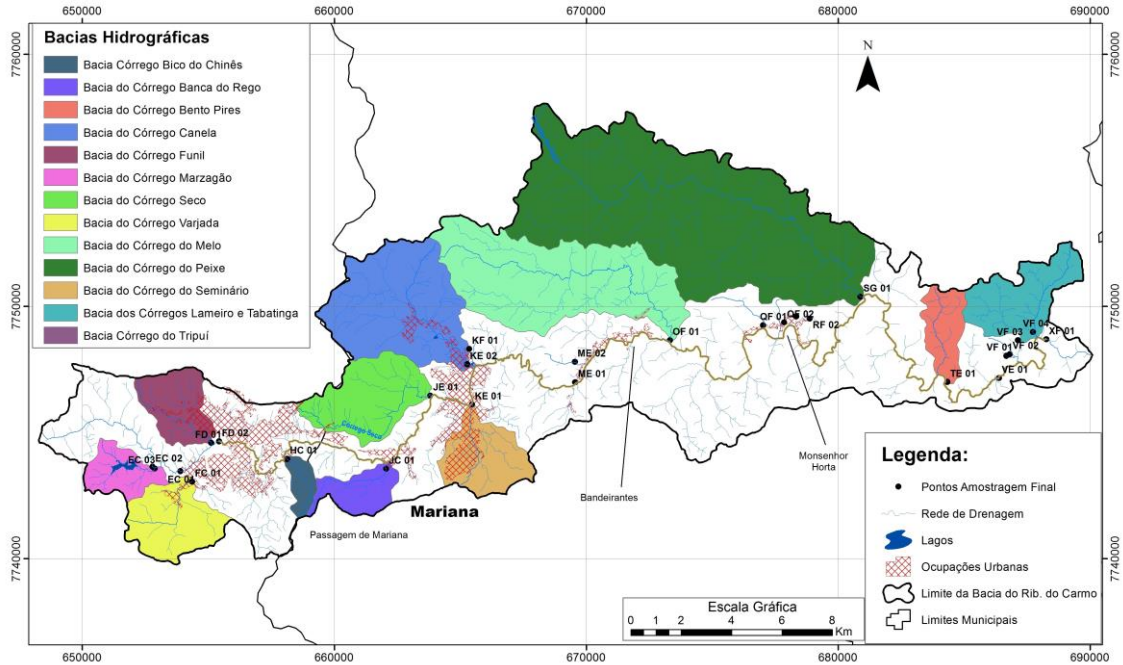


Figura 3. 53 – Mapa de Pontos de Amostragem de Água da Bacia do Ribeirão do Carmo.

As características gerais de cada ponto foram sintetizadas no Quadro 8.1, sendo que em cada um deles foram coletadas amostras para a realização de análises físico-químicas e microbiológicas, perfazendo um total de 54 análises químicas e 64 análises microbiológicas ao longo da BHRC.

Quadro 3. 6 - Identificação e localização dos 27 pontos de amostragem de água ao longo da BHRC.

Identificação do Ponto de Amostragem	Localização e Descrição do Local	Identificação do Ponto de Amostragem	Localização e Descrição do Local
EC01	Ribeirão do Carmo, a montante da empresa Novelis, perímetro	OF01	Córrego do Melo. Área rural de Mariana.

	urbano de Ouro Preto.		
	Coordenadas: 653883 / 7743468		Coordenadas: 673317 / 7748660
EC02	Córrego do Tripuí anterior ao seu encontro com o Córrego Marzagão. Adjacente ao perímetro urbano de Ouro Preto.	QF01	Bica no Distrito de Monsenhor Horta, distrito de Mariana, utilizada pelos moradores para consumo de água.
	Coordenadas: 652775 / 7743647		Coordenadas: 677014 / 7749258
EC03	Córrego Marzagão, a jusante da Lagoa de rejeitos da em presa Novelis. Adjacente ao perímetro urbano de Ouro Preto.	QF02	Coleta de água na escola Municipal de Monsenhor Horta, distrito de Mariana.
	Coordenadas: 652860 / 7743577		Coordenadas: 677855 / 7749367
FC01	Córrego Varjada, adjacente ao Posto de gasolina da MG262, perímetro urbano de Ouro Preto.	RF01	Caixa de captação e distribuição de água de Monsenhor Horta, distrito de Mariana.
	Coordenadas: 654347 / 7743054		Coordenadas: 678325 / 7749609
FD01	Ribeirão do Funil. Perímetro urbano de Ouro Preto.	RF02	Caixa de captação e distribuição de água de Monsenhor Horta, distrito de Mariana.
	Coordenadas: 655111 / 7744585		Coordenadas: 678873 / 7749518
FD02	Ribeirão do Carmo, a jusante do ribeirão do Funil. Adjacente ao perímetro urbano de	SG01	Ribeirão do Peixe. Área rural de Mariana.



	Ouro Preto.		
	Coordenadas: 655422 / 7744651		Coordenadas: 680883 / 7750384
HC01	Córrego Bico do Chinês Adjacente ao perímetro urbano de Ouro Preto.	TE01	Córrego Bento Pires. Área rural de Mariana.
	Coordenadas: 658121 / 7743959		Coordenadas: 684329 / 7747010
JC01	Córrego Banca do Rego. Adjacente ao perímetro urbano de Mariana.	VE01	Ribeirão do Carmo na Barragem do Distrito de Furquim em Mariana.
	Coordenadas: 662060 / 7743561		Coordenadas: 686382 / 7747163
JE01	Confluência entre o Córrego Seco com o Ribeirão do Carmo. Adjacente ao perímetro urbano de Mariana.	VF01	Caixa de captação e distribuição de água de Furquim, distrito de Mariana.
	Coordenadas: 663809 / 7746462		Coordenadas: 686672 / 7748049
KE01	Córrego do Seminário. Perímetro urbano de Mariana.	VF02	Ponto de coleta e consumo de água de Furquim, distrito de Mariana.
	Coordenadas: 665464 / 7746116		Coordenadas: 686815 / 7748112
KE02	Córrego Canela. Perímetro urbano de Mariana.	VF03	Caixa de captação e distribuição de água de Furquim, distrito de Mariana.
	Coordenadas: 665270 / 7747706		Coordenadas: 687136 / 7748658
KF01	Caixa de captação de água da Vila Maquine. Perímetro urbano de	VF04	Encontro entre os Córregos Lameiro e Tabatinga, Furquim,

	Mariana.		distrito de Mariana.
	Coordenadas: 665354 / 7748318		Coordenadas: 687727 / 7748987
ME01	Distrito de Bandeirantes em Mariana – Bica de água usada por moradores para consumo.	XF01	Trecho final do Ribeirão do Carmo. Área rural de Mariana.
	Coordenadas: 669556 / 7746996		Coordenadas: 688258 / 7748693
ME02	Principal caixa de captação de água do Distrito de Bandeirantes em Mariana – MG.		
	Coordenadas: 669543 / 7747803		

As Figuras 3.54, 3.55 e 3.56 exemplificam três dos vinte e sete pontos definidos ao longo da BHRC, de onde foram extraídas amostras para análises e determinação do Índice de Qualidade das Águas Superficiais.



Figura 3. 54 – Ponto XF 01 amostrado – Ribeirão do Carmo, Distrito de Furquim – exutório da Bacia Hidrográfica.

	
<p>Figura 3. 55 - Ponto RF 02 amostrado – Caixa de captação e distribuição de água do distrito de Monsenhor Horta em Mariana – MG.</p>	<p>Figura 3. 56 - Ponto ME 01 amostrado. Bica de água utilizada pela comunidade do distrito de Bandeirantes para consumo.</p>

3.6.2.1 COLETA DAS AMOSTRAS E DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS EM CAMPO

O procedimento adotado para a amostragem em cada ponto de coleta para as análises físico-químicas foi o descrito a seguir:

1 - Extraíu-se inicialmente uma primeira amostra de água de 30 ml, filtrada com membrana de 0,45 μm , com o propósito de separar o particulado dos elementos solúveis, acidificada com ácido nítrico concentrado em pH menor do que 2, e imediatamente preservada a 4°C em recipiente isolante, para a análise de metais e metaloides (Greenberg *et al.*, 1992).

2 - Extraíu-se uma segunda amostra de água, agora de 1000 ml, que também foi preservada a 4°C, para análise de parâmetros físico-químicos como Turbidez, Alcalinidade, Cloreto e Sulfato.

No momento de coleta das amostras, os frascos foram identificados associando-se aos mesmos a coordenada do ponto através de anotações na caderneta de campo, considerando também a data e horário de coleta, as condições climáticas do dia, bem como quaisquer interferências ou alterações no local de coleta que fossem relevantes ou que pudessem influenciar nos resultados das análises no laboratório.

A determinação dos parâmetros temperatura, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, pH, Eh e salinidade foram realizados *in situ* utilizando multiparâmetro portátil previamente calibrado, marca *Myron L Company*, modelo 6P. O oxigênio dissolvido foi medido também *in situ* através de um oxímetro portátil previamente calibrado, marca *SCHOTT*, modelo *OX 1/SET*. Os resultados obtidos em campo encontram-se descritos nas tabelas 3.4 e 3.5.

3.6.2.2 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DAS AMOSTRAS DE ÁGUA NO LABORATÓRIO

As análises das amostras de água foram realizadas no Laboratório de Geoquímica – UFOP – DEGEO. Considerando que amostras de água não necessitaram de preparação prévia, foram determinadas diretamente no laboratório a Turbidez, através do Turbidímetro marca Micronal, modelo B250, a Alcalinidade e Cloreto por titulometria e Sulfato pelo método turbidimétrico (Greenberg *et al.*, 1992), sendo que o Cloreto e Sulfato foram determinados pelas amostras que foram previamente filtradas utilizando membrana de 0,45 µm, de forma a evitar a influência da turbidez do material particulado na análise do resultado.

Foram também determinados os teores de metais e metaloides como Al, As, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sn, Sr, Ti, V e Zn por Espectrofotômetro de Emissão Atômica com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES), marca *SPECTRO*/modelo *Ciros CCD*, que embora não façam parte da metodologia de classificação do índice de qualidade das águas superficiais são importantes para a identificação de anomalias que porventura possam existir.

3.6.2.3 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS DAS AMOSTRAS DE ÁGUAS NO LABORATÓRIO

As análises microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Controle de Qualidade de Águas da Escola de Farmácia da Universidade Federal de Ouro Preto. Foram realizadas através do método de tubos múltiplos da *American Public Health Association*

(ALPHA, 1998), por determinação do número mais provável (NMP/100 ml) de bactérias do grupo coliformes totais e termotolerantes. O procedimento técnico adotado foi o de utilizar uma série de tubos de ensaio contendo meio de cultura e tubos de *Durham* invertidos, sendo 3 tubos preparados para receber 3 diferentes concentrações em triplicata com o Caldo lactosado e 2 tubos para a solução salina preparada na concentração 0,9%.

3.6.2.4 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS (IQA)

A determinação do Índice de Qualidade das águas superficiais (IQA) seguiu procedimento sugerido pela *National Sanitation Foundation (NSF)*, adaptada pela CETESB (2009). A distribuição dos pontos de amostragem de água possibilitou além de determinar o IQA para a Bacia do Ribeirão do Carmo, a diferenciação da análise por trechos da bacia, bem como a avaliação do IQA para bacias secundárias, que também foram caracterizadas com análise individualizada.

A classificação do IQA tem seus valores variando entre 0 (zero) e 100 (cem), sendo que a qualidade aumenta em ordem crescente.

Nove parâmetros foram empregados na determinação do IQA segundo a metodologia do NSF, sendo o resultado obtido através do produto ponderado destes parâmetros. São eles:

- Oxigênio Dissolvido (OD),
- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5, 20),
- Coliformes Fecais,
- Temperatura,
- pH,
- Nitrogênio Total,
- Fosfato Total,
- Turbidez
- Resíduo Total,

Onde: IQA - índice de qualidade da água é um número de 0 a 100.

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (3.14)$$

q_i - qualidade da i -ésima variável. Um número entre 0 e 100, obtido através do respectivo gráfico de qualidade, em função do resultado da análise.

w_i - peso correspondente à i -ésima variável fixado em função de sua importância para a conformação da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1, sendo a soma de todos os pesos igual a 1 (ANA, 2005).






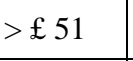

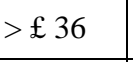

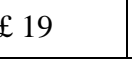
Os pesos utilizados para w_i são mostrados no Quadro 3.6 e a classificação por conceito no Quadro 3.7.

A CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo) vem utilizando o Quadro 3.7 de pesos e parâmetros e o Quadro 3.8 com as alterações indicadas em relação à classificação convencional da NSF na avaliação e classificação da qualidade da água.

Quadro 3. 7 - Pesos de w_i para o cálculo do IQA.

Parâmetro	Peso - w_i
Coliformes Fecais	0,15
pH	0,12
DBO	0,10
Nitrogênio Total	0,10
Fosfato Total	0,10
Temperatura	0,10
Turbidez	0,08
Resíduo Total	0,08
Oxigênio (OD)	0,17

Quadro 3. 8 – Valores e Classificação por conceito do IQA utilizando o índice NSF e a ponderação CETESB.

IQA	CONCEITO NSF	COR	IQA	CONCEITO CETESB	COR
91 – 100	Excelente		79 > £ 100	Ótima	
71 – 90	Bom		51 > £ 79	Boa	
51 – 70	Médio		36 > £ 51	Regular	
26 – 50	Ruim		19 > £ 36	Ruim	
0 – 25	Muito Ruim		£ 19	Péssima	

3.6.3 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

A água potável deve estar em conformidade com o padrão microbiológico indicado pela Portaria N.º 1469, de 29 de Dezembro de 2000, Art. 11 (Quadro 3.9).

Quadro 3. 9 - Padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano.

PARÂMETRO	VMP (1)
Água para consumo humano (2)	
Escherichia coli ou coliformes termotolerantes (3)	Ausência em 100ml
Água na saída do tratamento	
Coliformes totais	Ausência em 100ml
Água tratada no sistema de distribuição (reservatórios e rede)	
Escherichia coli ou coliformes termotolerantes (3)	Ausência em 100ml
Coliformes totais	Sistemas que analisam 40 ou mais amostras por mês: Ausência em 100ml em 95% das amostras examinadas no mês; Sistemas que analisam menos de 40 amostras por mês: Apenas uma amostra poderá apresentar mensalmente resultado positivo em 100ml.

NOTAS: (1) Valor Máximo Permitido. (2) água para consumo humano em toda e qualquer situação, incluindo fontes individuais como poços, minas, nascentes, dentre outras. (3) a detecção de Escherichia coli deve ser preferencialmente adotada.

Os resultados das análises microbiológicas obtidos nos pontos de amostragem estão sintetizados no Quadro 3.10, para efeito de comparação.

Quadro 3. 10 – Resultados das análises microbiológicas referentes às Coletas 1 – Período de Seca e 2 – Período de Chuva das águas superficiais da BHRC.

AMOSTRA	COLETA 1		COLETA 2	
	Coliformes Totais NMP – 100ml	Coliformes Termotolerantes NMP – 100ml	Coliformes Totais NMP – 100ml	Coliformes Termotolerantes NMP – 100ml
EC01	> 24000	Ausente	11000	150
EC 02	11000	430	11000	230
EC 03	11000	230	4600	36
FC 01	> 24000	4600	> 24000	> 24000
FD 01	4600	230	> 24000	> 24000
FD 02	> 24000	150	> 24000	> 24000
HC 01	> 24000	4600	> 24000	2100
JC 01	> 24000	750	11000	30
JE 01	150	Ausente	91	36
KE 01	> 24000	>24000	> 24000	> 24000
KE 02	> 24000	> 24000	> 24000	4600
KF 01	Ausente	N.R.	2400	930
ME 01	> 24000	91	> 24000	30
ME 02	> 24000	< 30	> 24000	> 24000
OF 01	> 24000	210	11000	270
QF 01	> 24000	150	> 24000	> 24000
QF 02	4600	91	91	36
RF 01	> 24000	140	750	150
RF 02	> 24000	11000	> 24000	430
SG 01	> 24000	> 24000	> 24000	4600
TE 01	> 24000	> 24000	11000	160
VE 01	11000	230	> 24000	> 24000
VF 01	> 24000	2100	1200	36
VF 02	91	91	30	30
VF 03	11000	440	390	140
VF 04	2400	230	2400	2400
XF 01	> 24000	> 24000	> 24000	> 24000

Como se pode verificar em apenas dois pontos (EC 01 que se refere a uma das cabeceiras da BHRC, a montante da barragem de rejeitos da empresa Novelis, e JE 01 que se refere a uma bacia não ocupada no núcleo do anticlinal de Mariana) as análises de coliformes deram resultado negativo (Ausente) para a ocorrência de coliforme, e mesmo assim, em apenas uma das campanhas de coleta (período seco). Nem mesmo nos pontos de análise de água relacionados aos pontos de captação direta pela prefeitura de Mariana para consumo (RF 01, RF 02, VF 01, VF 03 e ME 02), e teoricamente já com água tratada, tais indicadores foram alcançados.

3.6.4 TEORES DE METAIS E METALOIDES

Entre as substâncias químicas avaliadas no Espectrofotômetro de Emissão Atômica o Alumínio, Arsênio, Bário, Cádmio, Cromo, Cobre, Ferro e Manganês foram as que obtiveram valores acima dos limites de quantificação. A partir dos resultados obtidos nas análises químicas realizadas nas águas superficiais da BHRC, utilizou-se para efeito comparativo o padrão de potabilidade e aceitação para consumo humano indicados nas tabelas de referência da Portaria N.º 1469, de 29 de Dezembro de 2000, mostrados nos Quadros 3.11 e 3.12.

Quadro 3. 11 - Padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde - PORTARIA N.º 1469.

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP – Valor Máximo Permitido
INORGÂNICAS		
Antimônio	mg/L	0,005
Arsênio	mg/L	0,01
Bário	mg/L	0,7
Cádmio	mg/L	0,005
Cianeto	mg/L	0,07
Chumbo	mg/L	0,01
Cobre	mg/L	2
Cromo	mg/L	0,05
Fluoreto (2)	mg/L	1,5
Mercúrio	mg/L	0,001
Nitrato	mg/L	10
Nitrito	mg/L	1
Selênio	mg/L	0,01

Quadro 3. 12 - Padrão de aceitação para consumo humano - Portaria N.º 1469.

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP – Valor Máximo Permitido
Alumínio	mg/L	0,2
Amônia (com NH ₃)	mg/L	1,5
Cloreto	mg/L	250
Cor aparente	uH	15
Dureza	mg/L	500
Etilbenzeno	mg/L	0,2
Ferro	mg/L	0,3
Manganês	mg/L	0,1

Monoclorobenzeno	mg/L	0,12
Odor	Não objetável	
Gosto	Não objetável	
Sódio	mg/L	200
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	1000
Sulfato	mg/L	250
Sulfeto de Hidrogênio	mg/L	0,05
Surfactantes	mg/L	0,5
Tolueno	mg/L	0,17
Turbidez	UT	5
Zinco	mg/L	5
Xileno	mg/L	0,3

Nos resultados obtidos em dezenove dos vinte e sete pontos analisados (Pontos EC 01, EC 02, EC 03, FC 01, FD 01, FD 02, HC 01, JC 01, JE 01, KE 01, KE 02, OF 01, QF 01, RF 02, TE 01, VF 02, VF 03, VF 04, XF 01) conclui-se que ao menos uma substância química foi detectada acima dos valores de referência para consumo humano indicados na Portaria N.º 1469/2000. Três substâncias químicas ultrapassaram os valores máximos permitidos ao longo da BHRC, sendo elas o Alumínio, o Ferro e o Manganês (Figuras 3.57, 3.58 e 3.59).

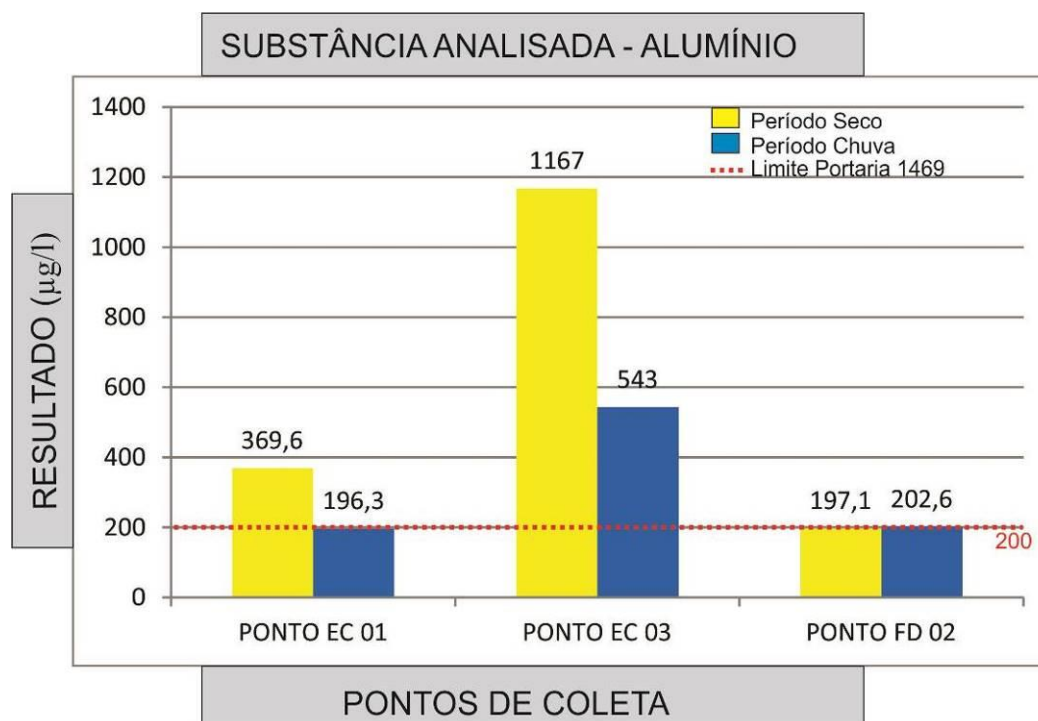


Figura 3. 57 – Valores anormais acima do permitido pela Portaria 1469, para a substância Alumínio.

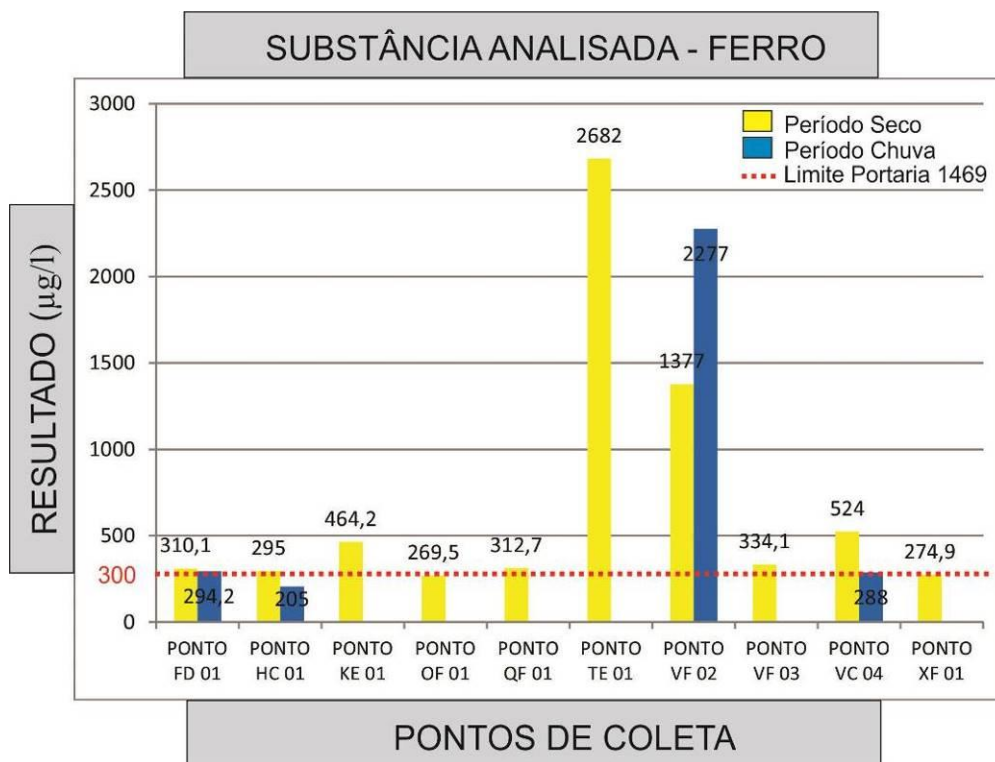


Figura 3. 58 – Valores anormais acima do permitido pela Portaria 1469 para a substância Ferro.

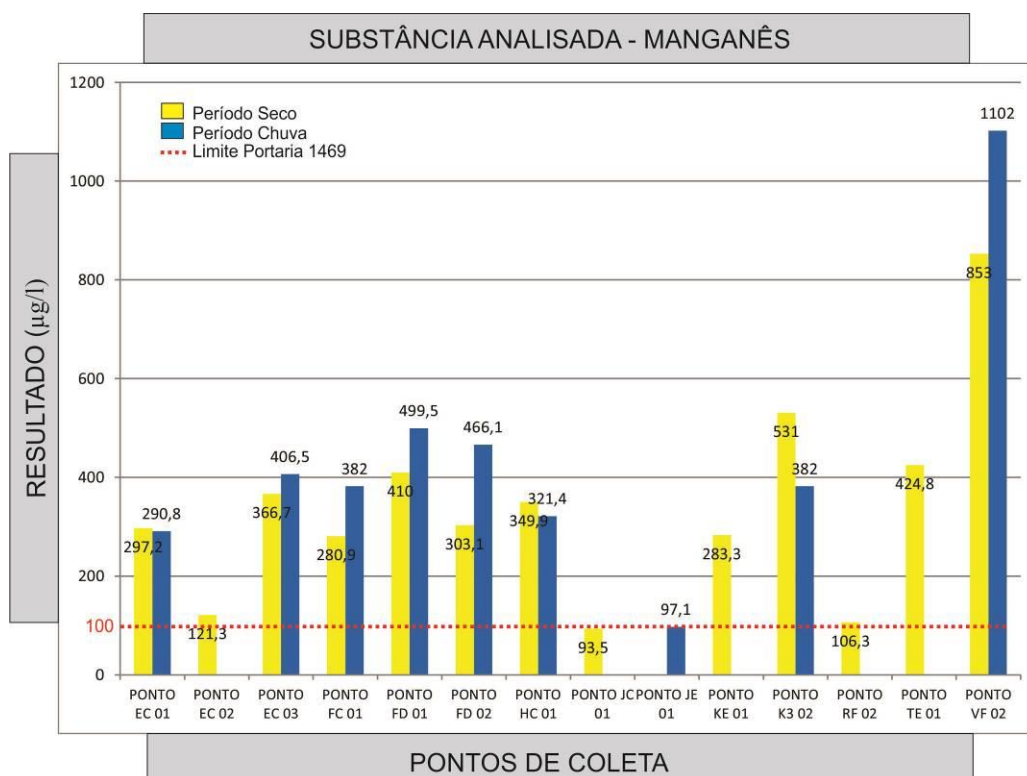


Figura 3. 59 – Valores anormais acima do permitido pela Portaria 1469 para a substância Manganês.

O alumínio, que é complexado e influenciado pelo pH, temperatura e a presença de fluoretos, sulfatos, matéria orgânica e outros ligantes possui uma solubilidade baixa em pH entre 5,5 e 6,0. Entretanto, embora comumente apresente maiores concentrações em profundidade, onde o pH é menor e pode ocorrer anaerobiose, no caso da BHRC onde as lâminas d'água são mais delgadas a concentração detectada chegou a ser quase 10 vezes superior ao valor máximo permitido, a jusante da barragem de rejeitos da empresa Novelis. Já o aumento da concentração de alumínio que é comum quando associado com o período de chuvas e, portanto, com a alta turbidez, não se confirmou, o que corrobora para associar-se os valores tão elevados a descarga de efluentes da barragem de rejeitos diretamente no canal, visto que no período de chuvas no mesmo ponto ocorreu uma redução de quase 50% no mesmo ponto EC 01 (369,6 µg/l para 196,3 µg/l), o que pode estar associado a uma diluição em decorrência do aumento do volume do fluxo superficial.

A substância ferro aparece principalmente em águas subterrâneas devido à dissolução do minério pelo gás carbônico da água. Nas águas superficiais, o nível de ferro aumenta geralmente nas estações chuvosas devido ao carreamento de solos e a ocorrência de processos de erosão das margens dos canais, o que é comum na BHRC e sua história com atividades de mineração ao longo de toda a Serra de Ouro Preto nos séculos XVI e XVII, e conseqüente carreamento dos materiais depositados ao longo da calha do canal principal. Ainda hoje existem atividades de garimpo em sua extensão com retrabalhamento contínuo do material do leito. Neste contexto podemos destacar como pontos analisados com resultados acima do permitido o Córrego do Funil – FD 01, o Córrego Bico do Chinês – HC 01, o Córrego do Seminário – KE 01, o Córrego do Melo – OF 01, a Bica do distrito de Monsenhor Horta – QF 01, o Córrego Bento Pires – TE 01 (onde os valores obtidos foram de 2682 µg/l), e no encontro entre os córregos Lameiro e Tabatinga - VF 04. Já para os pontos de coleta e consumo de água do distrito de Furquim – VF 02, e a captação de água e distribuição de água do distrito de Furquim – VF 03, como se referem a locais onde existe tratamento de águas pelo poder público pode haver uma associação entre o ferro comum em águas subterrâneas devido à dissolução do minério pelo gás carbônico da água e ao fato de que em águas tratadas para abastecimento público, o emprego de coagulantes a base de ferro pode provocar elevação em seu teor. Não obstante, o ferro apesar de não se constituir em um tóxico,

confere cor e sabor à água, e pode provocar manchas em roupas e utensílios sanitários entre outros problemas.

O comportamento do manganês nas águas assemelha-se muito ao ferro, sendo um elemento que geralmente o acompanha em virtude de seu comportamento geoquímico. O manganês desenvolve coloração negra na água, mas geralmente a concentração de manganês menor que 0,05 mg/L é aceitável em mananciais. Raramente atinge concentrações de 1.000 µg/l em águas superficiais naturais como verificado no ponto VF 02 da BHRC. Embora normalmente esteja presente em quantidades de 200 µg/l ou menos, na bacia do Ribeirão do Carmo em 10 pontos analisados os índices ultrapassaram estes valores (EC 01, EC 02, EC 03, FC 01, FD 01, FD 02, HC 01, JC 01, JE 01, TE 01, VF 02, KE 01, KE 02, RF 02).

A Figura 3.60 (e Anexo 1) permite a visualização dos resultados obtidos ao longo da BHRC para as substâncias avaliadas como acima dos valores permitidos pela Portaria 1469. Nos pontos KF 01, ME 01, ME 02, QF 02, RF 01, SG 01, VE 01, VF 01 não foram encontradas anormalidades em relação às análises das substâncias químicas.

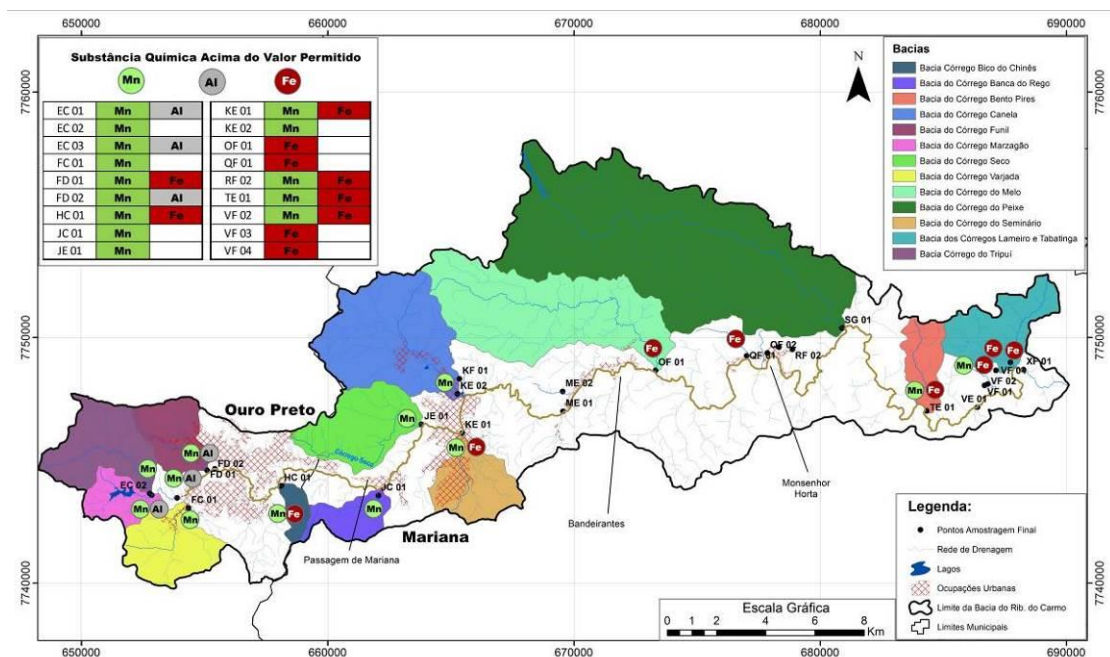


Figura 3. 60 – Ocorrências das substâncias Alumino, Ferro e Manganês acima dos valores permitidos para consumo humano ao longo da BHRC.

3.6.5 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS COM BASE NOS 9 PARÂMETROS DO IQA

Em relação aos parâmetros que compõem a classificação das águas superficiais, a seguir estão sintetizados os resultados obtidos após as análises físico-químicas em 54 amostras coletadas nos pontos definidos no trabalho, de acordo com a campanha de campo executada.

Tabela 3. 4 – Parâmetros obtidos na 1ª campanha – Período Seco.

Pontos	Coliformes (NMP/100ml)	pH	DBO (mg/l)	Nitrogênio (mg/ml)	Fósforo (mg/l)	Temp. Água (°C)	Turbidez (UT)	Sólidos (mg/l)	OD (mg/l)
EC01	11000	8,77	5,8	< 1,5	< 0,1	13,0	3,0	1205,0	6,4
EC 02	11000	6,66	7,3	< 1,5	< 0,1	11,4	0,5	55,63	8,1
EC 03	4600	8,8	3,3	< 1,5	< 0,1	14,9	7,5	3365,0	6,1
FC 01	> 24000	8,0	4,1	< 1,5	< 0,1	14,6	2,4	68,14	4,5
FD 01	> 24000	7,4	4,3	< 1,5	< 0,1	17,3	5,8	84,75	4,7
FD 02	> 24000	8,32	2,6	< 1,5	< 0,1	17,1	3,6	570,0	6,1
HC 01	> 24000	7,78	2,5	< 1,5	< 0,1	14,1	0,75	16,90	8,0
JC 01	11000	6,8	7,3	< 1,5	< 0,1	19,0	11,0	10,3	8,0
JE 01	91	7,7	4,5	< 1,5	< 0,1	17,0	1,2	8,0	10,0
KE 01	> 24000	7,3	3,7	< 1,5	< 0,1	21,0	7,8	60,0	4,5
KE 02	> 24000	7,14	3,9	< 1,5	< 0,1	23,2	4,3	33,64	4,3
KF 01	2400	6,19	3,7	< 1,5	< 0,1	22,6	0,5	20,86	4,1
ME 01	> 24000	8,63	2,9	< 1,5	< 0,1	20,8	0,5	3,75	3,9
ME 02	> 24000	6,76	3,7	< 1,5	< 0,1	19,2	2,8	5,08	4,7
OF 01	11000	8,75	4,0	< 1,5	< 0,1	14,9	12,0	14,22	4,8
QF 01	> 24000	8,0	3,5	< 1,5	< 0,1	18,0	8,0	0,28	4,5
QF 02	91	6,22	3,3	< 1,5	< 0,1	25,6	1,8	8,26	4,0
RF 01	750	8,61	6,3	< 1,5	< 0,1	22,4	6,0	6,02	10,0
RF 02	> 24000	5,83	3,3	< 1,5	< 0,1	24,0	78	11,18	4,0
SG 01	> 24000	8,92	4,2	< 1,5	< 0,1	17,2	2,45	9,66	4,9
TE 01	11000	6,36	4,2	< 1,5	< 0,1	25,2	9,5	25,4	4,7
VE 01	> 24000	7,47	4,0	< 1,5	< 0,1	19,0	39,18	62,6	5,0
VF 01	1200	7,96	3,7	< 1,5	< 0,1	17,6	3,6	9,35	4,5
VF 02	30	6,04	7,3	< 1,5	< 0,1	22,5	1,4	14,18	8,3
VF 03	390	7,93	7,0	< 1,5	< 0,1	24,7	7,5	11,33	8,2
VF 04	2400	8,2	4,0	< 1,5	< 0,1	18,0	7,5	14,28	4,7
XF 01	> 24000	8,68	5,5	< 1,5	< 0,1	18,2	44	48,59	6,4

Tabela 3. 5 – Parâmetros obtidos na 2ª campanha – Período de Chuva.

Pontos	Coliformes (NMP/100ml)	pH	DBO (mg/l)	Nitrogênio (mg/ml)	Fósforo (mg/l)	Temp. Água (°C)	Turbidez (UT)	Sólidos (mg/l)	OD (mg/l)
EC01	> 24000	8,75	6,0	< 1,5	< 0,1	18,9	6,1	680,0	6,7
EC 02	11000	7,6	7,9	< 1,5	< 0,1	17,8	0,9	41,97	8,7
EC 03	11000	8,87	5,1	< 1,5	< 0,1	21,6	20,0	1981,0	6,9
FC 01	> 24000	7,44	4,4	< 1,5	< 0,1	18,5	2,14	59,21	4,8
FD 01	4600	7,61	4,8	< 1,5	< 0,1	19,6	3,6	70,37	5,2
FD 02	> 24000	8,31	3,2	< 1,5	< 0,1	20,3	5,4	350,5	6,7
HC 01	> 24000	6,2	2,2	< 1,5	< 0,1	19,4	0,9	11,11	8,7
JC 01	> 24000	6,02	6,8	< 1,5	< 0,1	22,0	25,0	11,45	7,6
JE 01	150	7,64	3,0	< 1,5	< 0,1	16,4	1,2	13,71	7,0
KE 01	> 24000	7,1	3,9	< 1,5	< 0,1	20,4	5,6	53,50	4,3
KE 02	> 24000	7,9	3,5	< 1,5	< 0,1	19,1	5,2	42,14	3,9
KF 01	2400	8,03	3,7	< 1,5	< 0,1	20,1	0,5	20,57	4,1
ME 01	> 24000	5,13	7,0	< 1,5	< 0,1	21,6	0,3	5,16	8,0
ME 02	> 24000	9,47	3,3	< 1,5	< 0,1	19,2	2,5	0,2	4,3
OF 01	> 24000	7,39	10,5	< 1,5	< 0,1	23,2	16,0	11,61	12,1
QF 01	> 24000	7,77	11,5	< 1,5	< 0,1	23,5	11,0	10,66	12,2
QF 02	4600	9,17	2,9	< 1,5	< 0,1	18,5	1,8	0,22	3,6
RF 01	> 24000	7,8	6,0	< 1,5	< 0,1	25,5	6,2	6,45	9,7
RF 02	> 24000	8,6	3,4	< 1,5	< 0,1	15,8	1,2	8,15	4,1
SG 01	> 24000	7,57	6,7	< 1,5	< 0,1	26,4	1,5	10,88	9,3
TE 01	> 24000	8,64	3,2	< 1,5	< 0,1	18,6	7,5	11,25	4,0
VE 01	11000	7,61	6,0	< 1,5	< 0,1	26,6	4,2	116,6	7,0
VF 01	> 24000	6,73	6,0	< 1,5	< 0,1	23,2	3,0	10,39	8,1
VF 02	91	5,6	6,5	< 1,5	< 0,1	21,7	0,25	12,65	7,0
VF 03	11000	7,77	4,0	< 1,5	< 0,1	20,8	1,5	9,57	4,9
VF 04	2400	8,0	6,0	< 1,5	< 0,1	24,8	7,2	14,25	8,0
XF 01	> 24000	8,25	5,0	< 1,5	< 0,1	18,6	39	61,66	6,0

Ressalta-se a importância da avaliação da temperatura da água tem relação com a sua influência sobre outras propriedades, tais como, reações químicas e solubilidade dos gases. Na amostragem de agosto (período seco), as temperaturas das amostras da água variaram entre 11,4°C no ponto QF02 na escola municipal do distrito de Monsenhor Horta e 25,6 °C no ponto EC02 no Córrego Tripuí próximo ao perímetro urbano de Ouro Preto. Em fevereiro (período de chuva) e mês com temperaturas mais elevadas, foi observado uma variação de 15,8°C no ponto RF02 em uma caixa de captação e distribuição de água de Monsenhor Horta, distrito de Mariana a 26,6°C no ponto VE01 que se refere a barragem existente no exutório da bacia, no distrito de Furquim, em Mariana.

A turbidez na água é causada pela presença de material em suspensão (argila, silte, matérias orgânicas e inorgânicas, plâncton e outros organismos microscópicos) (Greenberg *et al.*, 1992). Na amostragem de agosto (Período Seco) a turbidez variou de

0,5 UT nos pontos EC02 - Córrego do Tripuí anterior ao seu encontro com o Córrego Marzagão, KF01 - caixa de captação de água da Vila Maquine em Mariana e ME01 na bica de água do distrito de Bandeirantes, a 39,18 UT no ponto VE01 - Ribeirão do Carmo na barragem do Distrito de Furquim, e 44,0 UT no ponto XF01 - Trecho final do Ribeirão do Carmo. Na amostragem de fevereiro (Período de Chuva) houve variação de 0,9 FTU nos pontos EC02 - Córrego do Tripuí anterior ao seu encontro com o Córrego Marzagão e HC01 - Córrego Bico do Chinês em Ouro Preto, a 39,0 FTU no ponto XF01 trecho final do Ribeirão do Carmo, 25,0 FTU no ponto JC01 Córrego Banca do Rego em Mariana e 20,0 FTU no ponto EC03 - córrego Marzagão, a jusante da Lagoa de rejeitos da empresa Novelis em Ouro Preto. Considerando as variações obtidas concluiu-se que a erosão das margens do ribeirão do Carmo em estações chuvosas é um fenômeno que resulta em aumento significativo da turbidez das águas. Já a erosão decorrente do mau uso do solo como no caso da bacia do Córrego do Melo (Ponto OF 01) mostra também o caráter sistêmico da poluição, ocorrendo inter-relações ou transferência de problemas de um ambiente (água, ar ou solo) para outro. No caso específico do ponto EC03 as atividades de mineração e o lançamento de efluentes da lagoa de Rejeitos da empresa Novelis influenciam diretamente na elevação dos valores de turbidez.

O oxigênio é um dos gases mais importantes na dinâmica e na caracterização de ecossistemas aquáticos e sua análise retrata a relação entre as fontes de entrada para a água, que são o oxigênio atmosférico e a fotossíntese realizada pelas plantas aquáticas, com as perdas do sistema que ocorrem em decorrência do consumo pela decomposição de matéria orgânica, perdas para a atmosfera, respiração de plantas e animais aquáticos e oxidação de íons metálicos como, por exemplo, o ferro e o manganês cujas taxas são elevadas na BHRC. Em relação ao oxigênio dissolvido, geralmente as águas “limpas” apresentam concentrações de oxigênio dissolvido mais elevadas, geralmente superiores a 5mg/L. Na BHRC, na amostragem de agosto este variou de 3,9 mg/l nos pontos ME01 - Bica de água no distrito de Bandeirantes em Mariana, e 4,1 mg/l nos pontos QF02 - escola Municipal de Monsenhor Horta e RF02 - caixa de captação e distribuição de água de Monsenhor Horta a 10,0 mg/l nos pontos JE01 - confluência entre o Córrego Seco com o Ribeirão do Carmo e RF01 - caixa de captação e distribuição de água de Monsenhor Horta. No período de chuva variou entre 4,0 mg/l no ponto TE01 - Córrego

Bento Pires na área rural de Mariana e 4,1 mg/l nos pontos KF01 - caixa de captação de água da Vila Maquine em Mariana e RF02 - caixa de captação e distribuição de água de Monsenhor Horta, a 12,1 mg/l no ponto OF01 - Córrego do Melo (águas eutrofizadas), área rural de Mariana e 12,2 mg/l no ponto QF01 - Bica no Distrito de Monsenhor Horta, distrito de Mariana (águas eutrofizadas), utilizada pelos moradores para consumo.

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente na água através da decomposição microbiana aeróbia, sendo que Valores altos de DBO₅, 20, em um corpo d'água são geralmente causados pelo lançamento de cargas orgânicas, principalmente esgotos domésticos. Ressalta-se que como a DBO₅, 20 somente mede a quantidade de oxigênio consumido em um teste padronizado, não indica a presença de matéria não biodegradável, nem leva em consideração o efeito tóxico ou inibidor de materiais sobre a atividade microbiana. Para efeito comparativo, na legislação do Estado de São Paulo, o Decreto Estadual n.º 8468, a DBO₅, 20 de cinco dias é padrão de emissão de esgotos diretamente nos corpos d'água, sendo exigidos ou uma DBO₅, 20 máxima de 60 mg/L ou uma eficiência global mínima do processo de tratamento na remoção de DBO₅, 20 igual a 80%. Na BHRC a amostragem do período seco variou entre 2,5 mg/l no ponto HC01 - Córrego Bico do Chinês adjacente ao perímetro urbano de Ouro Preto e 2,6 mg/l no ponto FD02 - Ribeirão do Carmo, a jusante do ribeirão do Funil, a 7,3 mg/l nos pontos EC02 - Córrego do Tripuí anterior ao seu encontro com o Córrego Marzagão, JC 01 - Córrego Banca do Rego, adjacente ao perímetro urbano de Mariana e VF02 - Ponto de coleta e consumo de água de Furquim, distrito de Mariana. No período de chuva a variação foi entre 2,2 mg/l no ponto HC01 - Córrego Bico do Chinês adjacente ao perímetro urbano de Ouro Preto e 2,9 mg/l no ponto QF02 - coleta de água na escola Municipal de Monsenhor Horta, distrito de Mariana a 10,5 mg/l no ponto OF01 - Córrego do Melo, área rural de Mariana, e 11,5 mg/l no ponto QF01 - bica no Distrito de Monsenhor Horta, distrito de Mariana, utilizada pelos moradores para consumo de água.

Já as análises referentes aos sólidos totais, que se referem ao conjunto de substâncias orgânicas e inorgânicas contidas em um líquido e que permanece como resíduo após

evaporação, secagem ou calcinação, no período seco a variação foi entre 0,28 mg/l no ponto QF01 - Bica no distrito de Monsenhor Horta, 3,75 mg/l no ponto ME01 - bica de água do distrito de Bandeirantes em Mariana e 8,0 mg/l no ponto JE01 - confluência entre o Córrego Seco com o Ribeirão do Carmo, a 1205,0 mg/l no ponto EC01 - Ribeirão do Carmo, a montante da empresa Novelis e 3365,0 mg/l no ponto EC03 - Córrego Marzagão, a jusante da Lagoa de rejeitos da empresa Novelis, o que confirma que parte dos rejeitos do processamento da bauxita é lançado diretamente no córrego Marzagão.

O potencial hidrogeniônico (pH) é definido como o logaritmo negativo da concentração de íons H⁺, ou seja, $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ exercendo influência direta na dissolução e precipitação de algumas substâncias, além de controlar a especiação das mesmas (McCutcheon 1993). Na amostragem do mês de agosto a variação foi entre 5,83 no ponto RF02 - Caixa de captação e distribuição de água de Monsenhor Horta, a 8,92 no ponto SG 01 - Ribeirão do Peixe, área rural de Mariana. No mês de fevereiro a variação foi entre 5,13 no ponto ME01 - Bica de água do Distrito de Bandeirantes em Mariana a 9,47 no ponto ME02 - principal caixa de captação de água do Distrito de Bandeirantes em Mariana – MG, sendo que o valor obtido merece atenção, pois o pH é padrão de potabilidade, devendo as águas para abastecimento público apresentar valores entre 6,5 e 8,5, de acordo com a Portaria 1469 do Ministério da Saúde.

3.6.6 ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS - IQA

Considerando a Resolução CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005 e a classificação dos corpos d'água em águas doces, salobras e salinas do Território Nacional, a qualidade requerida para os seus usos preponderantes é dividida em treze classes. Para efeito de comparação, este trabalho levou em consideração a classe de água doce e sua diferenciação em I - Classe especial, II - Classe 1 e III - Classe 2.

Os resultados dos Índices de Qualidade das águas superficiais da BHRC obtidos nos períodos de seca e de chuva estão sintetizados nos Quadros 3.13 e 3.14 e figuras 3.61 e 3.62 (e Anexo I), considerando a metodologia e ponderação adotada pelo NSF, e nos Quadros 3.15 e 3.16 e figuras 3.63 e 3.64 (e Anexo I), de acordo com a metodologia e ponderação adotada pela CETESB.

Quadro 3. 13 - Resultados IQA da 1ª Campanha – Período Seco - ponderação adotada pelo NSF

Ponto		EC01	EC02	EC03	FC01	FD01	FD02	HC01	JC01
NSF-WQI	Pontuação	49	59	50	52	53	51	60	54
Qualidade		Ruim	Média	Ruim	Média	Média	Média	Média	Média
Ponto		JE01	KE01	KE02	KF01	ME01	ME02	OF01	QF01
NSF-WQI	Pontuação	77	52	53	58	46	54	49	51
Qualidade		Bom	Média	Média	Média	Ruim	Média	Ruim	Média
Ponto		QF02	RF01	RF02	SG01	TE01	VE01	VF01	VF02
NSF-WQI	Pontuação	59	62	42	46	48	48	61	72
Qualidade		Média	Média	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Média	Bom

Ponto		VF03	VF04	XF01
NSF-WQI	Pontuação	68	54	50
Qualidade		Média	Média	Ruim

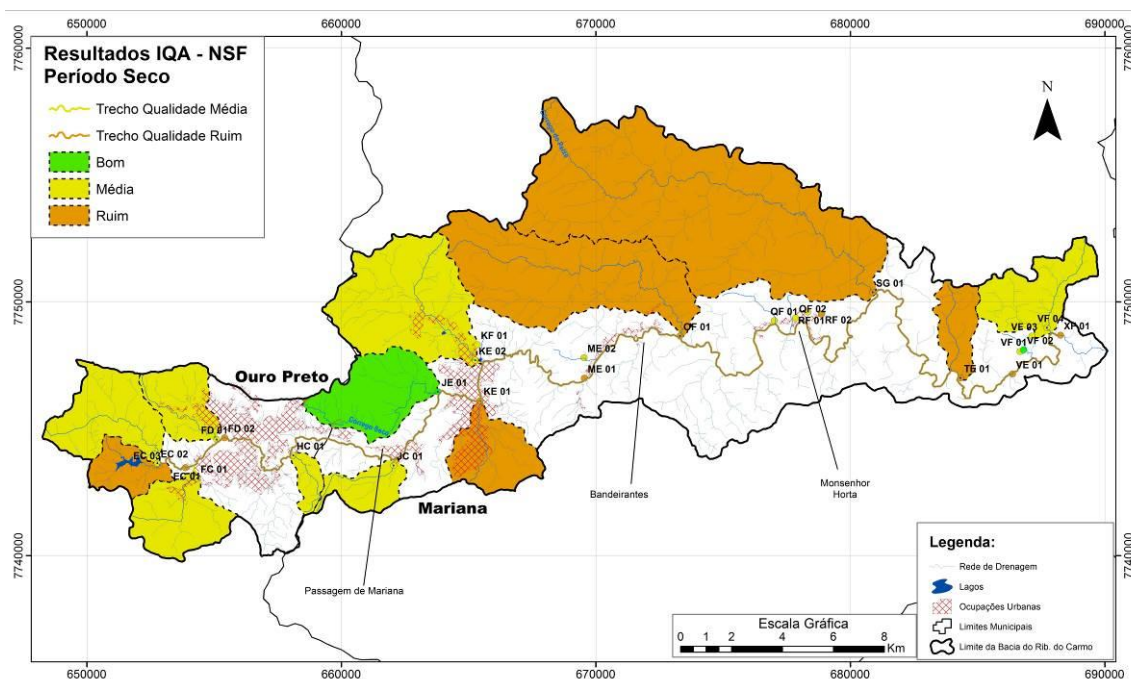


Figura 3. 61 – Mapa do IQA da BHRC – Método NSF – Período Seco.

Quadro 3. 14 - Resultados IQA da 2ª Campanha – Período de Chuva - ponderação adotada pelo NSF

Ponto		EC01	EC02	EC03	FC01	FD01	FD02	HC01	JC01
NSF-WQI	Pontuação	48	60	47	54	61	56	59	52
Qualidade		Ruim	Média	Ruim	Média	Média	Média	Média	Média
Ponto		JE01	KE01	KE02	KF01	ME01	ME02	OF01	QF01
NSF-WQI	Pontuação	72	51	51	58	50	46	46	48
Qualidade		Bom	Média	Média	Média	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
Ponto		QF02	RF01	RF02	SG01	TE01	VE01	VF01	VF02
NSF-WQI	Pontuação	47	50	45	48	44	53	56	69
Qualidade		Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Média	Média	Média

Ponto		VF03	VF04	XF01
NSF-WQI	Pontuação	57	61	48
Qualidade		Média	Média	Ruim

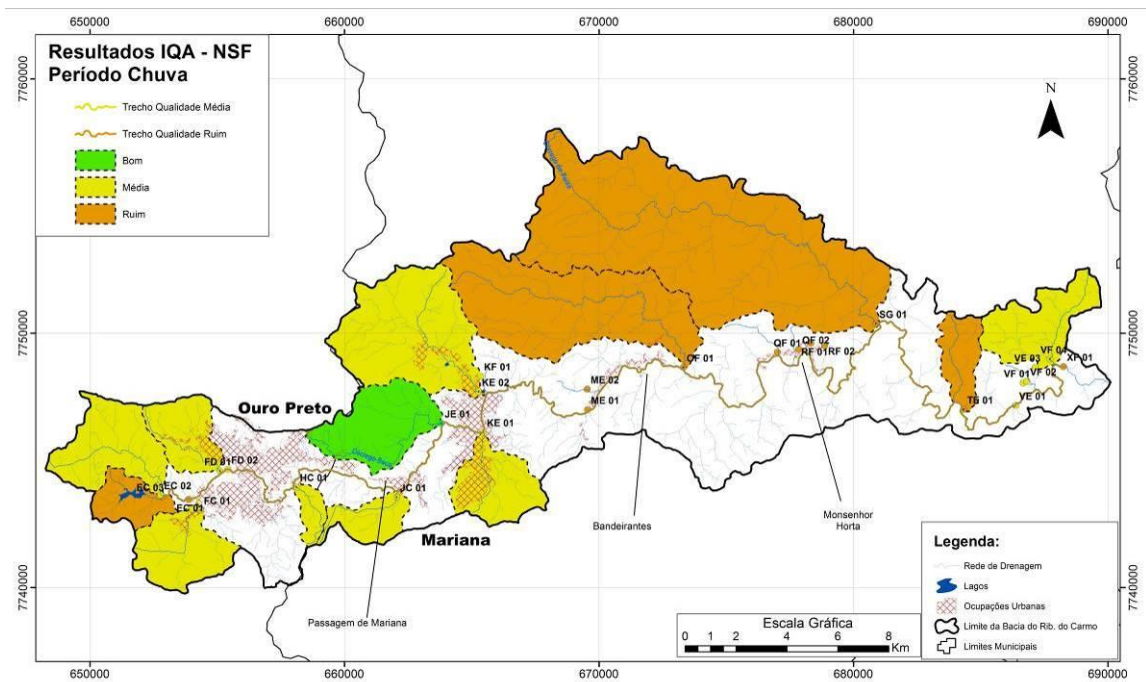


Figura 3. 62 – Mapa do IQA da BHRC – Método NSF – Período de Chuva.

Quadro 3. 15 - Resultados IQA da 1ª Campanha – Período Seco – Ponderação adotada pela CETESB

Ponto		EC01	EC02	EC03	FC01	FD01	FD02	HC01	JC01
NSF-WQI	Pontuação	49	59	50	52	53	51	60	54
Qualidade		Regular	Boa	Regular	Boa	Boa	Regular	Boa	Boa
Ponto		JE01	KE01	KE02	KF01	ME01	ME02	OF01	QF01
NSF-WQI	Pontuação	77	52	53	58	46	54	49	51
Qualidade		Boa	Boa	Boa	Boa	Regular	Boa	Regular	Regular
Ponto		QF02	RF01	RF02	SG01	TE01	VE01	VF01	VF02
NSF-WQI	Pontuação	59	62	42	46	48	48	61	72
Qualidade		Boa	Boa	Regular	Regular	Regular	Regular	Boa	Boa

Ponto		VF03	VF04	XF01
NSF-WQI	Pontuação	68	54	50
Qualidade		Boa	Boa	Regular

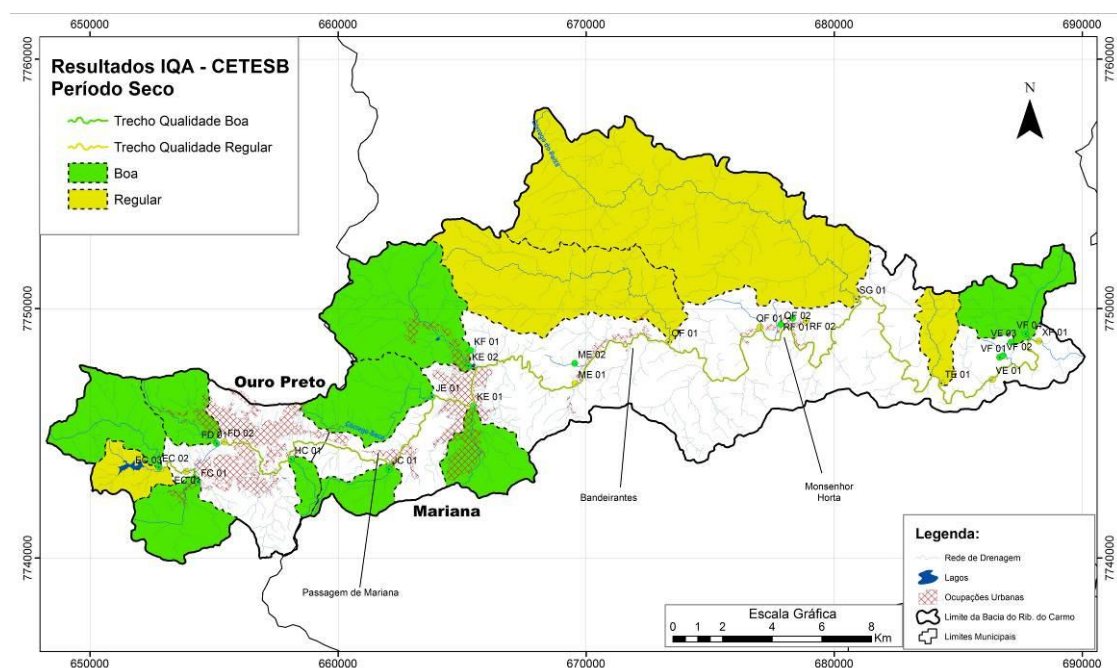


Figura 3. 63 – Mapa do IQA da BHRC – Método CETESB – Período Seco.

Quadro 3. 16 - Resultados IQA da 2ª Campanha – Período de Chuva - ponderação adotada pela CETESB

Ponto		EC01	EC02	EC03	FC01	FD01	FD02	HC01	JC01
NSF-WQI	Pontuação	48	60	47	54	61	56	59	52
Qualidade		Regular	Boa	Regular	Boa	Boa	Boa	Boa	Boa
Ponto		JE01	KE01	KE02	KF01	ME01	ME02	OF01	QF01
NSF-WQI	Pontuação	72	51	51	58	50	46	46	48
Qualidade		Boa	Regular	Regular	Boa	Regular	Regular	Regular	Regular
Ponto		QF02	RF01	RF02	SG01	TE01	VE01	VF01	VF02
NSF-WQI	Pontuação	47	50	45	48	44	53	56	69
Qualidade		Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Boa	Boa	Boa
Ponto		VF03	VF04	XF01					
NSF-WQI	Pontuação	57	61	48					
Qualidade		Boa	Boa	Regular					

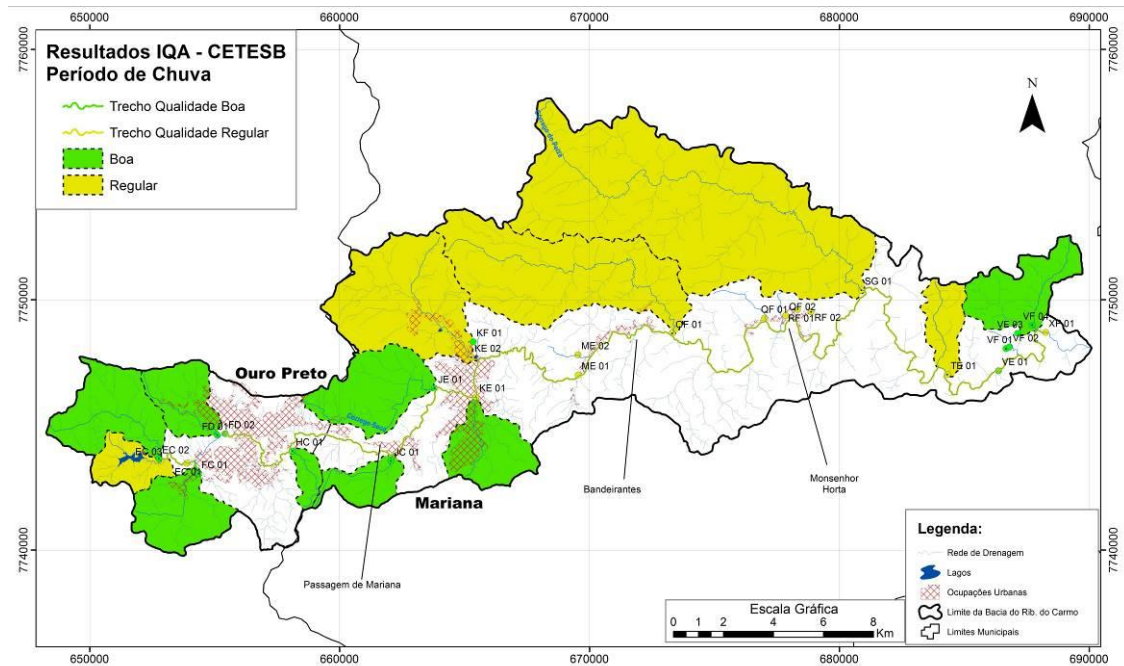


Figura 3. 64 – Mapa do IQA da BHRC – Método NSF – Período de Chuva.

As águas superficiais da BHRC a partir das análises realizadas e determinação das condições e padrões para o período de amostragem foram classificadas como “águas doces de classe 1”.

Entretanto, para o uso de recreação de contato primário deverão ser obedecidos os padrões de qualidade de balneabilidade, previstos na Resolução CONAMA nº 274, de 2000 e neste caso a análise do coliformes termotolerantes acarretou em uma caracterização onde apenas as amostras dos pontos VF01 na caixa de captação e distribuição de água de Furquim, distrito de Mariana, e JE01 na confluência entre o Córrego Seco com o Ribeirão do Carmo, adjacente ao perímetro urbano de Mariana, tiveram sua condição avaliada na categoria como próprias, sendo consideradas como excelentes, com no máximo 250 coliformes fecais (termotolerantes) por 100 mililitros; A condição limite de até 3 mg/L de O₂ para as análises de DBO₅ dias a 20°C foi alcançada apenas pelas amostras FD 02 no ribeirão do Carmo, a jusante do ribeirão do Funil, HC01 no córrego Bico do Chinês adjacente ao perímetro urbano de Ouro Preto e ME01 na bica de água do distrito de Bandeirantes em Mariana, coletadas no período de seca e pelas amostras HC01 no córrego Bico do Chinês adjacente ao perímetro urbano de Ouro Preto, JE01 na confluência entre o Córrego Seco com o Ribeirão do Carmo e QF02 na escola Municipal de Monsenhor Horta, distrito de Mariana coletadas no período de chuva.

A condição em que o OD, em qualquer amostra (não inferior a 6 mg/L O₂) foi alcançada apenas pelas amostras EC01, EC02, EC03, FD02, HC01, JC01, JE01, RF01, VF02, VF03 e XF01 coletadas no período de seca. Já no período de chuvas as amostras FC01, KE01, KE02, KF01, ME02, QF02, RF02, TE01 e VF03 não atingiram o valor mínimo estabelecido, sendo as mesmas caracterizadas como impróprias.

A condição de turbidez até 40 unidades nefelométrica de turbidez (UT) foi atingida por quase todas as amostras. Apenas a amostra XF01 no exutório da bacia hidrográfica registrou valor superior ao limite com 44,0 UT e a amostra VE01 na Barragem do distrito de Furquim a montante do ponto XF01 se aproximou do limite estabelecido, com 39,18 UT, ambas coletadas no período seco, o que também ocorreu com a amostra XF01 coletada no período de chuva, cujo valor de análise foi 39,0 UT.

O pH que, segundo a resolução CONAMA 274/2000, deve estar entre 6,0 a 9,0, registrou valores anormais para as amostras RF02 na caixa de captação e distribuição de água de Monsenhor Horta, distrito de Mariana, com pH 5,83 no período seco, e VF02 em um ponto de coleta e consumo de água de Furquim, distrito de Mariana, com pH 5,6

no período de chuva; e as amostras ME02 na caixa de captação de água do distrito de Bandeirantes em Mariana – MG com pH 9,47 e QF02 na escola Municipal de Monsenhor Horta, distrito de Mariana, com pH 9,17, ambas do período de chuva.

Para a classe 2 mantêm-se as condições e os padrões da classe 1, à exceção dos coliformes termotolerantes. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros o que ocorreu apenas nas amostras JE01 na confluência entre o Córrego Seco com o Ribeirão do Carmo, e VE02 no ponto de coleta e consumo de água de Furquim.

Considerando que para a classe 2 a turbidez pode ser de até 100 UT todas as amostras se enquadraram nos limites estabelecidos.

A condição para DBO₅ dias a 20°C de até 5 mg/L O₂ não foi alcançada pelas amostras EC01, EC02, JC01, RF01, VF02, VF03 e XF01 coletadas no período de seca e EC01, EC02, EC03, JC01, ME01, OF01, QF01, RF01, SG01, VE01, VF01, VF02, VF04 e XF01.

A condição de que o OD, em qualquer amostra, que não pode ser inferior a 5 mg/L O₂ não foi alcançado pelas amostras FC01, FD01, KE01, KE02, KF01, ME02, QF02, RF02, TE01, VF03 coletadas no período de chuva e foram alcançadas pelas amostras EC01, EC02, EC03, FD03, HC01, JC01, JE01, RF01, VF02, VF03 e XF01 coletadas no período seco.

Para os limites referentes ao fósforo total todas as amostras se encontravam abaixo dos limites estabelecidos pela resolução.

3.7 USO DO SOLO

Principal agente modificador do meio físico, o homem, ao ocupar uma região, define vocações de usos a diferentes porções de um mesmo território. Cartograficamente é possível determinar-se áreas onde certas atividades são historicamente predominantes, não excluindo a possibilidade destas mesmas atividades serem desenvolvidas em outras regiões em escalas mais reduzidas.

Muitos foram os trabalhos desenvolvidos com esta temática podendo-se destacar entre

eles: Almeida e Freitas (1996), Neto e Funke (1998), Vieira *et al.* (2000), Holl *et al.* (2001), Parizzi *et al.* (2001), Santos *et al.* (2003), Oliveira e Pinto (2004), Campos e Souza (2005), Tabalipa e Fiori (2005), Robeck e Sales (2005), Oliveira *et al.* (2007), Fernandes e Alves (2007), Macêdo *et al.* (2007), Lima e Gomes (2008), Espíndola *et al.* (2010), Gonzaga *et al.* (2010), Fragal e Montanher (2010), Petsch e Fragal (2010).

Em relação a BHRC as seguintes informações estão disponíveis:

- Fotografias aéreas nas escalas 1:8.000 (CETEC, 1986), e 1:8.000 coloridas (PMOP, 2004), com recobrimento parcial e localizado da bacia.
- Fotografias aéreas na escala 1:30.000 (Cruzeiro do Sul, 1950) com recobrimento parcial da bacia.
- Fotografias aéreas na escala 1:25.000 (Esteio, 1986) com recobrimento total da bacia.
- Ortofotos na escala 1:10.000 (CEMIG, 1986), perfazendo um total de 25 “Folhas” em formato raster.
- Imagem de satélite Landsat – TM (1998)
- Imagens de satélite ASTER (2006).
- Imagens do Google Earth (2014).

A partir da necessidade de recobrimento total da bacia e considerando os dados de entrada disponíveis da BHRC neste estudo, foi possível desenvolver uma análise temporal do uso do solo considerando os seguintes períodos:

1986 - Ortofotos na escala 1:10.000 (CEMIG, 1986), perfazendo um total de 25 “Folhas” editadas e em formato raster.

2006 - Imagens de satélite ASTER (2006), composição colorida clássica 2 em R / 3N em G / 1 em B, e resolução espacial 15m.

2014 - Imagens do Google Earth (18/11/2014).

Para cada período supracitado um procedimento específico foi adotado para delimitação das respectivas classes de usos do solo. Entretanto, independentemente do método, a análise do uso do solo aqui proposta teve por pressuposto integrar a caracterização de

um modelo de evolução ambiental para avaliação dos aspectos temporais na degradação da bacia no intervalo de tempo definido (1986 a 2014).

Desta forma, o primeiro período analisado foi o do ano de 1986, que se iniciou com a produção de um mosaico com 25 ortofotos na escala 1:10.000 (Figura 3.65 e Figura 3.66), a partir do qual e com o apoio das fotos aéreas na escala 1:8.000, as classes de uso foram interpretadas e delimitadas diretamente sobre as imagens com edição direta de objetos identificados, aplicação de recursos de cores, fusão de desenhos, geotransformação e/ou conversão para shapefile (Figuras 3.65, 3.66 e 3.67 – e Anexo 1).

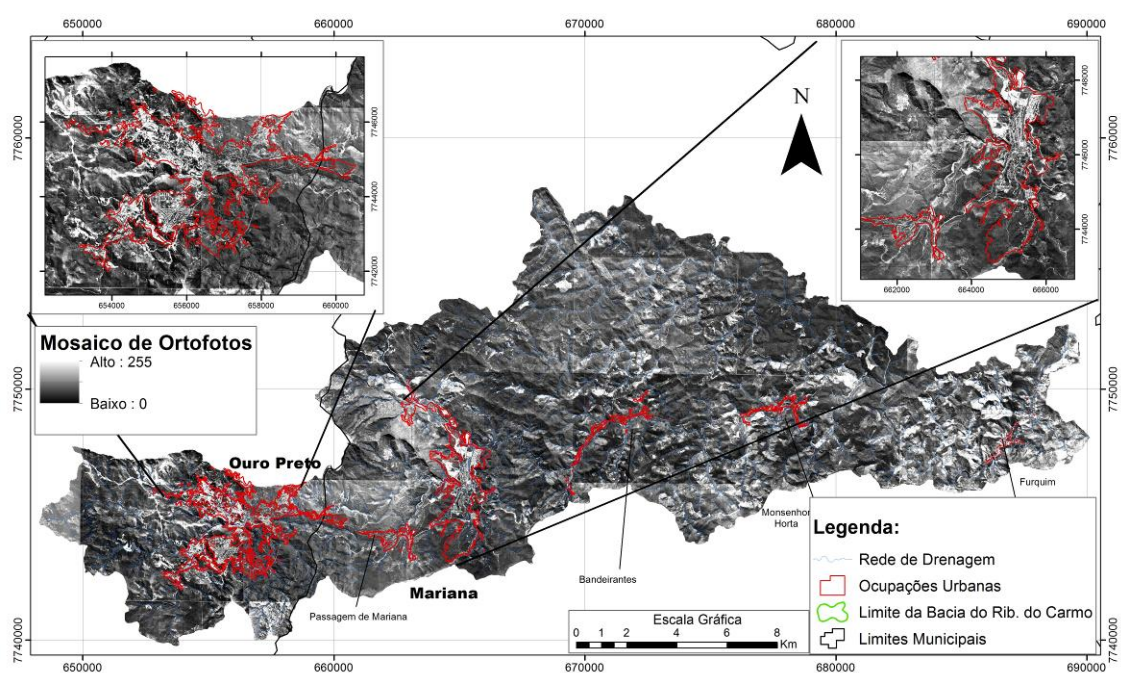


Figura 3. 65 – Mosaico produzido com as 25 ortofotos na escala 1:10.000 que recobrem a BHRC, com detalhe para delimitação das áreas urbanas. Fonte: CEMIG, 1986.

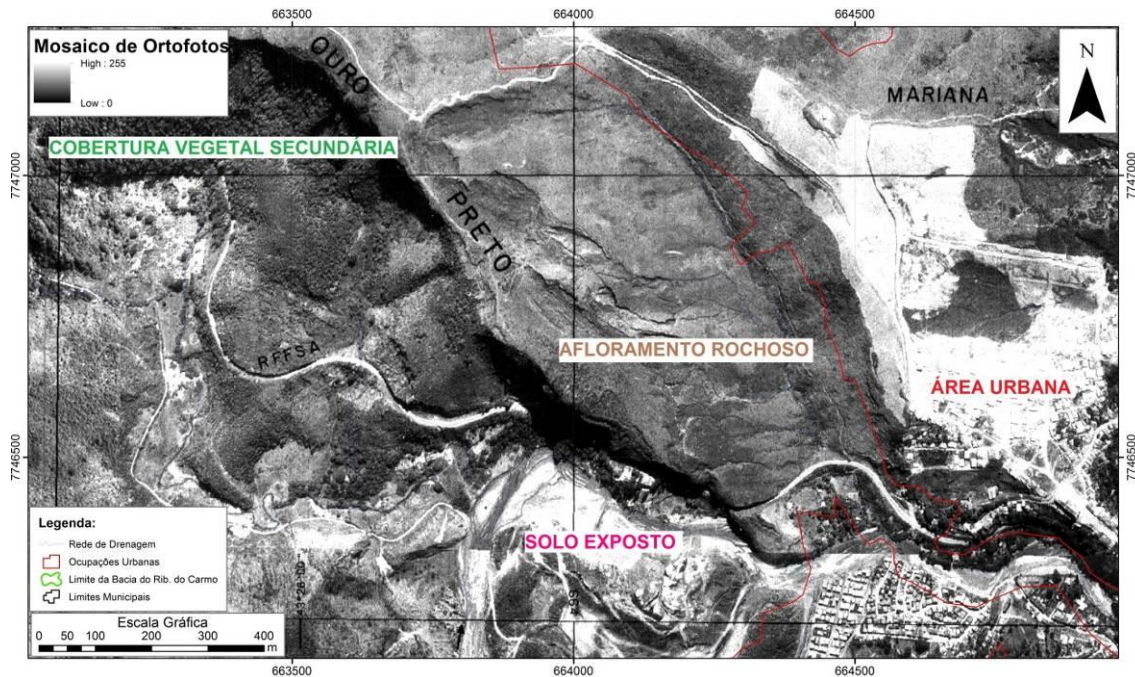


Figura 3. 66 – Reconhecimento dos usos diretamente sobre a ortofoto 1:10.000, com posterior delimitação. Fonte: CEMIG, 1986.

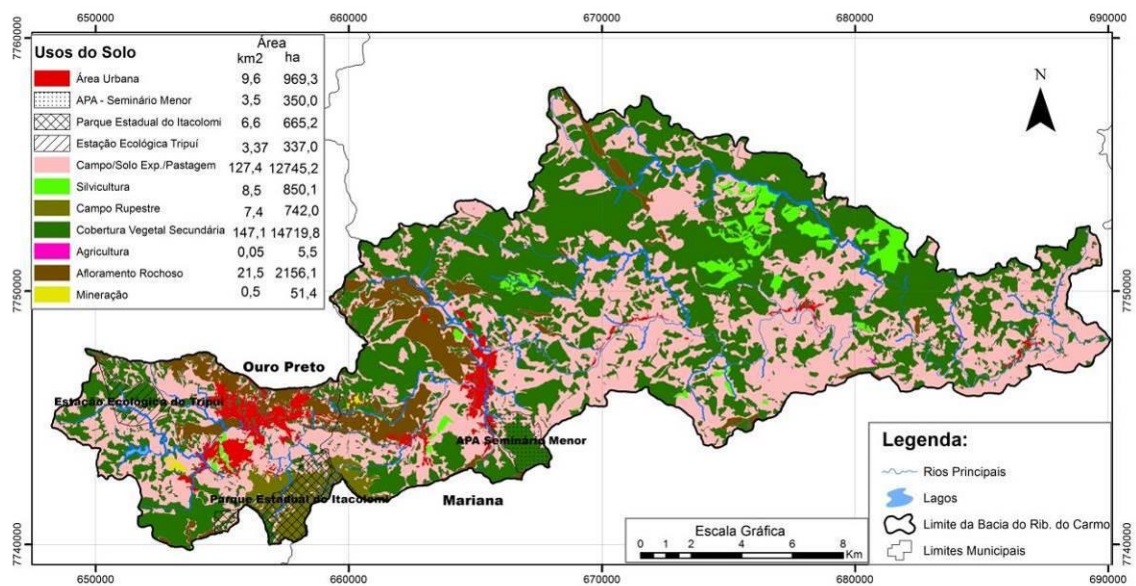


Figura 3. 67 – Carta de Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Ribeirão do Carmo (Ano de 1986).

Na confecção do mapa de uso e ocupação do solo da BHRC para o segundo período de avaliação, foi empregada a classificação digital supervisionada da imagem de satélite

ASTER disponível para o ano de 2006. Entende-se por técnicas de classificação digital de imagens os procedimentos utilizados para separar e identificar alvos na superfície terrestre utilizando sistemas eletrônicos, auxiliando o elemento humano na interpretação das informações contidas na cena. Desta forma, o processo de classificação digital de imagens multiespectrais aqui executado teve por objetivo associar cada pixel ou região da imagem a uma determinada classe, para reconhecimento de padrões espectrais e objetos homogêneos, descrevendo o tipo de cobertura no terreno. Foram definidas para delimitação as seguintes classes: cobertura vegetal secundária, silvicultura, campos, solo exposto, pastagens, áreas urbanas, unidades de conservação, campo rupestre, áreas de mineração e afloramentos rochosos.

O método de classificação supervisionada de imagem utilizado foi do tipo pixel-pixel, denominado de máxima verossimilhança, que considera a ponderação das distâncias entre as médias dos níveis digitais das amostras previamente definidas, utilizando parâmetros estatísticos e ajuste segundo uma distribuição gaussiana.

Segundo Rosendo (2005) as faixas espectrais correspondentes ao vermelho (0,65 a 0,72 μm) e ao azul (0,45 a 0,50 μm) são as mais aproveitadas pela folha na fotossíntese. O índice de vegetação mais conhecido e utilizado é o índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*), expresso pela razão entre a diferença da medida da reflectância nos canais do infravermelho próximo e vermelho e a soma desses canais.

Assim sendo, foram definidas para a BHRC amostras vetoriais das diferentes classes de uso do solo nas composições das bandas, com atribuição de um indicador para cada variação do mesmo tipo de uso do solo e para as classes diferentes. A partir desse procedimento foi criada uma assinatura espectral dos diferentes usos do solo e realizada a classificação supervisionada pelo método da máxima verossimilhança. O resultado obtido pode ser visualizado na Figura 3.68 e Anexo I.

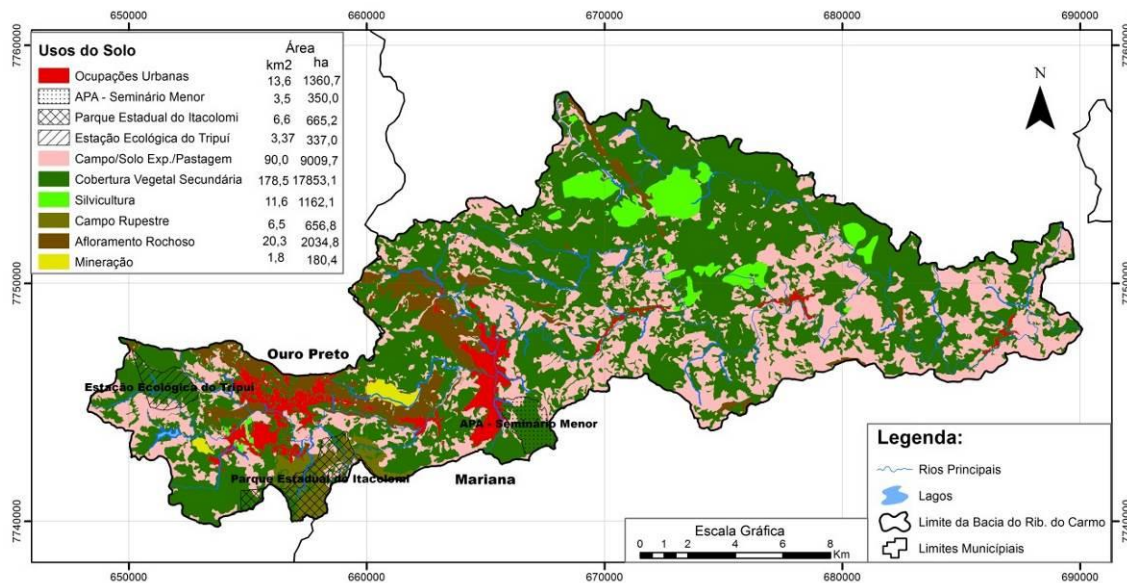


Figura 3. 68 – Carta de Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Ribeirão do Carmo (Ano de 2006).

O último período de avaliação do uso do solo complementando a análise temporal foi o ano de 2014, para o qual foi realizada uma tentativa de se executar a delimitação das classes tomando-se como base as imagens *Google Earth* disponíveis da região.

Segundo Brandalize (2013), o sistema do *Google Earth* utiliza o Globo virtual (Globo Digital) como modelo representativo de informação, que é um modelo 3D simulado por programas computacionais para representação da Terra. Esse sistema utiliza de imagens de satélites de diferentes empresas para compor a imagem global e dá ao usuário a habilidade de se mover livremente pelo ambiente virtual mudando o ângulo de visão e sua posição.

Com a crescente utilização dessa ferramenta, principalmente para fins cartográficos, muitos são os questionamentos sobre a qualidade dos dados disponíveis e se estes atendem aos padrões de precisão cartográfica especificados no Decreto nº 89.817/1984 (Instruções Reguladoras e Normas Técnicas da Cartografia Nacional).

Lima *et al.* (2009) avaliaram em um trabalho desenvolvido na cidade de Itajubá - MG a precisão das coordenadas obtidas do *Google Earth* em comparação com as obtidas através de levantamentos em campo com aparelhos DGPS (Sistema de Posicionamento Global Diferencial) e GPS (Sistema de Posicionamento Global) portátil. Os autores

concluíram que o erro total médio para os pontos estudados foi de 20,90 m para o *Google Earth* e 2,36 metros para o GPS Portátil, e que apesar da precisão menor, os resultados do *Google Earth* apresentaram um desvio padrão menor quando comparado ao do GPS Portátil.

Silva e Nazareno (2009), desenvolveram um estudo similar ao de Lima *et al.* (2009), mas agora para o município de Goiânia-GO. A conclusão do trabalho foi que a imagem disponível no *Google Earth* da cidade atende ao Decreto nº 89.817, na escala de 1:5.000, com 90% de nível de confiança.

Já Soares Ruaro e Aguiar (2010) a partir dos resultados obtidos na cidade de Pato Branco e tomando-se como base a análise estatística de nove pontos distribuídos na cidade, concluíram que a imagem disponibilizada pelo *Google Earth* pode ser utilizada com segurança, considerando para aquele município uma precisão compatível com a escala de 1:30.000 ou menor.

As escalas apontadas nos trabalhos supracitados são compatíveis ao proposto por este trabalho, e por este motivo também foi gerado o mapa de uso do solo para o ano de 2014, a partir das imagens *Google Earth*. O procedimento adotado para a delimitação das classes de uso foi o mesmo executado para as ortofotos (1986), com interpretação e delimitação direta sobre as imagens com edição vetorização de objetos sobre a imagem, aplicação de recursos de cores, fusão de desenhos, geotransformação e conversão para shapefile (Figuras 3.69, 3.70 e Anexo I).

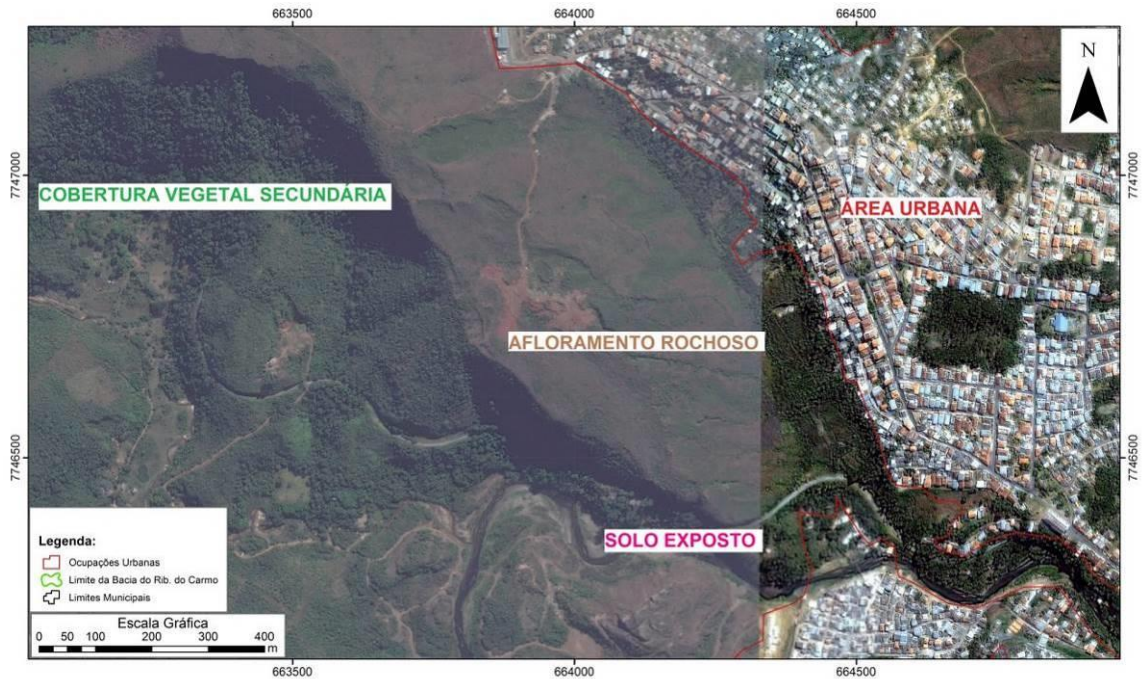


Figura 3. 69 – Reconhecimento dos usos diretamente sobre a imagem do Google Earth com posterior delimitação das classes. Fonte: Google Earth, 2014.

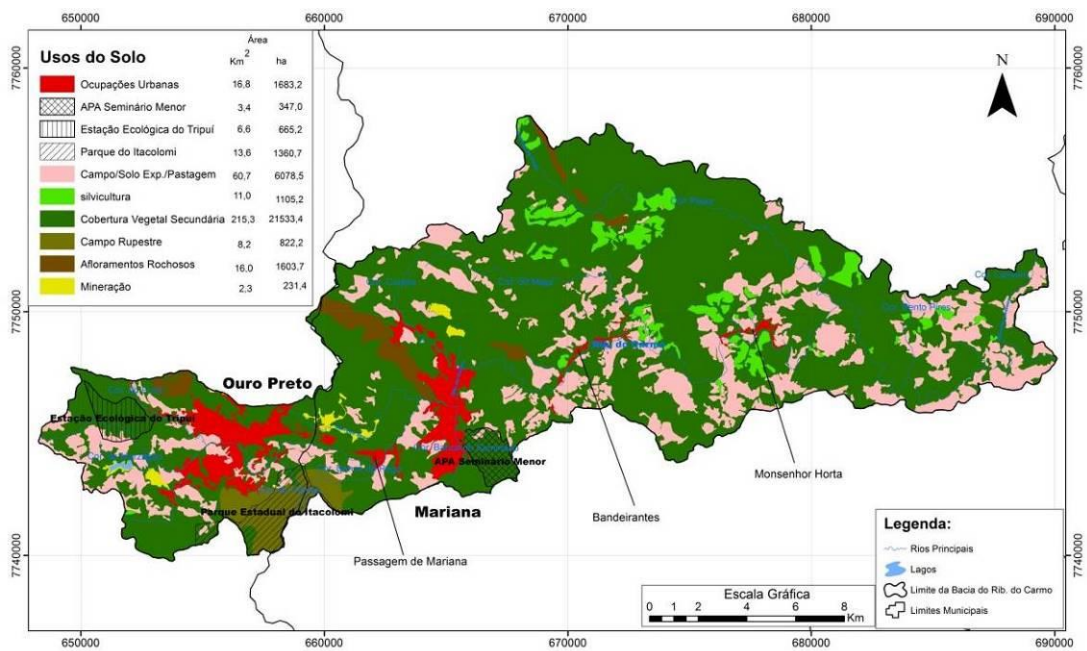


Figura 3. 70 – Carta de Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Ribeirão do Carmo (Ano de 2014).

Na Figura 3.71 tem-se a análise temporal e a variação dos usos por área entre os anos de 1986 e 2014.

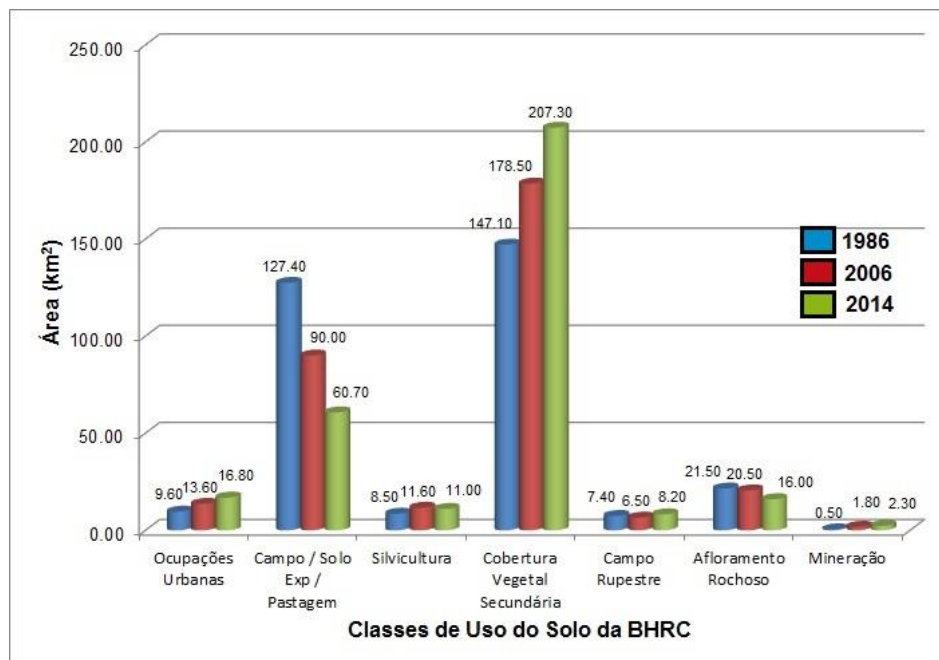


Figura 3. 71 – Evolução temporal do uso e ocupação do solo da BHRC, entre 1986 e 2014.

As unidades principais que retratam o uso do solo para a BHRC estão descritas a seguir.

3.7.1 ÁREAS URBANAS

A unidade áreas urbanas é representada pela área urbana dos distritos Sede de Ouro Preto e Mariana e pelos distritos de Passagem de Mariana, Bandeirantes, Monsenhor Horta e Furquim. A evolução da ocupação urbana reflete a dinâmica de migração para os centros urbanos, conforme ocorrido em todo país, principalmente a partir da década de 80 do século passado. A variação da área ocupada na BHRC passou de 9,5 km² no ano de 1986, para 16,8 km² em 2014. Em 1991 Ouro Preto possuía uma população total de 62.514 habitantes, sendo que aproximadamente 48.150 habitantes residiam na área urbana, contra os atuais 73.700 habitantes (ocupação urbana e rural), dos quais 60.434 residem na área urbana (IBGE, 2014). Já Mariana passou de uma população total de 38.180 habitantes em 1991, dos quais 29.848 habitantes residiam na área urbana, para

um total de 53.233 habitantes em 2014, onde 47.751 residem na área urbana. Cabe ressaltar que parte significativa da expansão urbana desses municípios ocorreu de forma desordenada, e sobre áreas com alta suscetibilidade a deflagração de movimentos gravitacionais de massa e inundação.

3.7.2 ÁREAS DE CAMPOS, SOLO EXPOSTO E PASTAGENS

Esta classe representa as porções onde predominam pastos (naturais e plantados), campos desnudos e pontualmente áreas com exposição de solo. Ocorre ao longo de toda bacia hidrográfica, mas principalmente nas imediações dos distritos de Bandeirantes, Monsenhor Horta e Furquim abrangendo 17,0% da área total da BHRC.

A produção agrícola e a pecuária são pouco representativas (voltada para subsistência) dentro da área de abrangência da bacia. Contudo, o desenvolvimento das atividades agropecuárias se vê, principalmente por imposição de ordem natural, destacando-se a baixa qualidade dos solos e o relevo acidentado. As variações em área encontradas para a classe de uso campos / solo exposto e pastagens para o período analisado têm primeiramente relação com a dificuldade de delimitação dos usos a partir da observação direta das ortofotos na escala 1:10.000 e para as imagens do *Google Earth* na resolução disponível da BHRC. Apenas para a análise do uso do solo referente ao ano de 2006 tal separação foi facilitada, a partir das assinaturas espectrais obtidas da imagem ASTER. Entretanto, como um dos objetivos desta avaliação foi a análise temporal do uso do território decidiu-se por agrupar em uma mesma classe o solo exposto, a pastagem e os campos, sendo esta ação uma limitação da metodologia proposta (ou possível de ser executada) e os resultados alcançados. Outro fator limitador refere-se ao fato das ortofotos na escala 1:10.000 estarem em tons de cinza limitando uma melhor interpretação da paisagem. Mesmo assim, os resultados obtidos com decréscimo da área de campos e pastagens de 127,4 km² para uma área de 60,4 km² vão de encontro com o fato da BHRC não possuir vocação para agropecuária, bem como para o fato de que na década de 80 de século passado a remoção da cobertura vegetal para transformação em carvão era comum, o que pode ser percebido claramente nas imagens antigas que recobrem a bacia, bem como nos trabalhos de campo realizados onde foram observadas inúmeras áreas anteriormente desmatadas e que hoje encontram-se em recuperação

recobertas por vegetação secundária.

3.7.3 ÁREAS DE SILVICULTURA

A silvicultura na BHRC caracteriza-se pelo monocultivo de eucalipto para a produção de carvão. Entretanto, o crescimento da área plantada nos últimos 30 anos não aumentou significativamente passando de 8,5 km² para aproximadamente 11,0 km², estando limitada principalmente na porção norte da bacia e no entorno dos distritos de Monsenhor Horta e Bandeirantes.

3.7.4 ÁREAS DE COBERTURA VEGETAL SECUNDÁRIA

A unidade cobertura vegetal secundária abrange neste estudo, sem distinção, matas em topo de elevações, em encostas, matas de galeria e de vegetação ciliar. Ocorre ao longo de toda a BHRC, perfazendo uma área de 207,3 km², o que representa 65,0% da área total. Esta unidade de uso tem sua extensão relacionada diretamente ao relevo mais acidentado e acessos mais restritos, e ao reduzido potencial agrícola do solo, refletindo em um baixo índice de aproveitamento dos terrenos. Entretanto, apesar destas áreas possuírem um grande potencial ambiental ainda não explorado, a falta de uma política de conservação ambiental intermunicipal pode ameaçar a integridade física da cobertura vegetal, constantemente afetada por queimadas e pela extração ilegal de espécies vegetais e de madeiras. A variação em área obtida pela análise temporal está de acordo com o observado em relação as áreas de campos e pastagens, ou seja, enquanto estas diminuíram nos últimos 30 anos, as áreas de cobertura vegetal secundária passaram de 147,7 km² em 1986 para os atuais 207,3 km², considerando aqui a limitação do método de identificação já abordado. O desinteresse pelas áreas rurais, a baixa vocação agrícola e pecuária, a aplicação da legislação ambiental e a concentração da ocupação nos centros urbanos ajudam a entender o panorama obtido, sendo este um fator positivo em relação ao uso da BHRC.

3.7.5 ÁREAS DE CAMPOS RUPESTRES DE ALTITUDE

A classe campos de altitudes foi definida para representar áreas do território onde não existe um uso específico dos terrenos e nem a possibilidade de desenvolvimento de outros usos, resguardando-se o potencial turístico. Nela predominam afloramentos rochosos quartzíticos e áreas desprovidas de vegetação e/ou campos de altitude que se caracterizam pela quase ausência de coberturas de solos. Possui pequena distribuição em área, apenas 8,2 km², ocorrendo, especificamente, nas porções oeste da bacia hidrográfica, nas zonas de maior altitude da Serra do Itacolomi em Ouro Preto.

3.7.6 ÁREAS DE MINERAÇÃO

Com uma abrangência de apenas 2,3 km², são as áreas sem cobertura vegetal, diretamente modificada pelas atividades antrópicas, onde são ou foram desenvolvidas atividades de mineração, estruturas a elas ligadas (escritórios, oficinas, etc.), cavas das minas e barragens de rejeitos. Na BHRC foram identificadas atividades de extração de quartzito pela empresa Quartzito do Brasil na região oeste, próximo ao distrito de Passagem de Mariana, estendendo-se até o município de Ouro Preto ao longo e a jusante do Córrego Seco; atividade minerária de topázio imperial no extremo oeste, em uma das cabeceiras da BHRC; atividades ligadas à extração de minério de ferro, atualmente paralisadas, na porção norte da sede do município de Mariana (antiga Mina Del Rey) e, finalmente, a barragem de rejeitos da Novelis, também inserida nesta classe, com alterações significativas na qualidade das águas superficiais registradas em seu entorno, em decorrência do lançamento inadequado de efluentes diretamente no canal fluvial mais próximo.

3.7.7 UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

As três unidades de conservação inseridas na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Carmo ocupam uma área total de 23,6 km², o que representa 7,34% da área total da BHRC, sendo elas:

O Parque Estadual do Itacolomi foi criado em 14 de junho de 1967, pela Lei Estadual

44.095. Ocupa uma área de 7.543 ha, entre os municípios de Ouro Preto e Mariana. O Pico do Itacolomi é a feição mais marcante. Entretanto, o Parque do Itacolomi, como a maioria dos Parques Nacionais e Estaduais de Minas Gerais, carece de um plano de manejo integrado de seus diferentes ecossistemas.

A Área de Proteção Permanente Seminário Menor, de propriedade da Arquidiocese de Mariana, foi criada pelo Decreto Estadual nº 23.564, de 11 de Maio de 1984. Ocupa uma área de 350 ha, situada no domínio de Sant'Ana, Mãe D'água e Cachoeira, no entorno da área urbana do distrito sede de Mariana. A responsabilidade pela fiscalização e administração da área é do Estado de Minas Gerais, por meio da Secretaria de Ciência e Tecnologia - Comissão de Política Ambiental (COPAM), o que na prática não é verificado. A extração ilegal de madeira, principalmente para a queima e usos diversos, a exposição às queimadas nas épocas da seca, e o avanço da ocupação sobre os seus limites são os problemas mais frequentes constatados.

A Estação Ecológica Tripuí está localizada na extremidade oeste da BHRC, nas proximidades da área urbana da sede do município de Ouro Preto – MG. Possui uma área de 337,0 ha e foi criada em 1978 - Decreto nº 157 (24/04/1978) e Decreto nº 21.340 (04/06/1981), com o objetivo de preservação do habitat natural do *Peripatus acacioi*, espécie considerada um elo evolutivo entre os anelídeos (animais de corpo segmentado) e artrópodes (animais que apresentam articulações). Por ser uma Unidade de Conservação de Uso Restrito, só é possível a visitação institucional com autorização prévia do Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais.

CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA DE SUSCETIBILIDADE

4.1. PROCESSOS GEODINÂMICOS SUPERFICIAIS

A partir de uma estratégia territorial, no que diz respeito aos processos e elementos ambientais, os trabalhos de planejamento e ordenamento buscam minimizar os impactos negativos que por ventura possam ser produzidos. Especificamente, tem-se o interesse de definir cartograficamente os setores do território que apresentem maior “qualidade ambiental” e a partir daí, propor sua preservação, ou no caso específico compatibilizar o uso frente a intervenções que se fizerem necessárias. Alguns princípios podem ser destacados como a ordem hierárquica das ações de intervenção, segundo qual torna-se gradualmente mais importante aplicar o conhecimento geológico e geotécnico na ocupação territorial, diminuindo percentualmente a necessidade de ações corretivas frente à ocupação de sítios inadequados. Outro princípio é o da correlação entre as funcionalidades dos terrenos e seus atributos, em que o espectro de funções de um território deve levar em consideração os atributos hidrogeotécnicos, compartimentados segundo o modelo geológico existente, otimizando assim o aproveitamento do território disponível.

Neste trabalho a aplicação do conhecimento geológico e geotécnico foi abordado progressivamente com a proposição e aplicação de metodologias que resultaram nas seguintes análises de suscetibilidade:

1 – Suscetibilidade à deflagração de Processos Erosivos Laminares,

2 - Suscetibilidade à deflagração de Deslizamentos,

3 - Suscetibilidade à deflagração de Queda e Rolamento de Blocos Rochosos,

4 - Suscetibilidade à deflagração de Corridas e Enxurradas,

5 - Suscetibilidade à deflagração de Inundações.

4.1.1 SUSCETIBILIDADE A PROCESSOS EROSIVOS LAMINARES

Compreender a dinâmica dos processos erosivos e sedimentológicos é uma tarefa complexa por envolver necessariamente inúmeros fatores de ordem física, meteorológicas e antrópica.

Para o entendimento amplo do processo erosivo deve-se considerar as várias fases na erosão de uma região como parte de um processo cíclico, onde idealmente o ciclo começa com a ascensão de uma superfície de terra, seguido pelo início e desenvolvimento do relevo, ocorrendo finalmente a degeneração do relevo e por último o nivelamento deste. Todos os processos que operam nos vários ciclos de erosão tendem a reduzir o relevo do continente e inevitavelmente resultar em reajustamento isostático (rejuvenescimento do relevo).

Em geral, distinguem-se duas formas de abordagem para os processos erosivos: erosão natural ou geológica, que é a erosão que se desenvolve em condições de equilíbrio com a formação do solo, e erosão acelerada, cuja intensidade é superior à da formação do solo, não permitindo a sua recuperação natural (também conhecida como erosão linear). Neste caso pode haver grande influência humana (antrópica).

Neste estudo, a abordagem dos processos erosivos como elemento do diagnóstico ambiental da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Carmo (BHRC) teve como pressuposto, especificamente, a elaboração da carta de suscetibilidade à erosão natural associada ao uso e ocupação atual do solo. Os produtos finais compreenderam as cartas derivadas da integração dos produtos intermediários gerados na etapa de diagnóstico ambiental da bacia, e foram confrontados com o problema de assoreamento identificado no exutório da BHRC após a instalação da PCH Furquim.

4.1.1.1 EROSÃO LAMINAR E PERDA DE SOLO

Processos erosivos laminares, ou em lençol, são causados pelo escoamento difuso das águas das chuvas, resultando na remoção progressiva e uniforme dos horizontes superficiais do solo, principalmente, em áreas com declividades medianas e acentuadas, onde ocorreu a remoção da cobertura vegetal original, cujo reflexo direto remete ao transporte de sedimentos ao longo das encostas, até as porções mais baixas dos canais,

provocando seu assoreamento.

Atualmente tem-se uma gama de técnicas e procedimentos metodológicos para o reconhecimento, modelagem e quantificação da dinâmica dos processos erosivos. São diversos os modelos matemáticos utilizados no estudo da erosão laminar. Os mais utilizados são os modelos empíricos, cuja metodologia estabelece correlações entre o volume de sedimentos realmente liberados pela erosão hídrica, e o volume calculado por equações matemáticas que englobam os vários fatores do processo erosivo.

Neste estudo especificamente, levando-se em consideração o propósito de refinamento do diagnóstico do meio físico elaborado e os dados disponíveis da BHRC, optou-se por obter a suscetibilidade à erosão da bacia do ribeirão do Carmo a partir da aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (EUPS), (Wischmeier e Smith, 1978). Este procedimento é um dos mais aceitos e utilizados para o cálculo de perdas de solo, sendo um método para a predição da média anual de perda de solo causada por erosão laminar.

A EUPS baseia-se em inúmeros procedimentos de campo e aborda os quatro maiores fatores responsáveis pelos processos erosivos lineares e superficiais (clima, solo, topografia, uso e manejo do solo). Foram consideradas na análise, as seguintes informações: Fator R – Erosividade da Chuva, Fator K – Erodibilidade do Solo, Fator LS, Fator C - Uso e Manejo, Fator P - Prática Conservação. Cada uma destas informações foi estruturada na forma de uma grade.

A EUPS é definida pela equação:

$$A = R.K.L.S.C.P \quad (4.1)$$

Em que:

A = perda de solo, em t/(ha.ano);

R = fator erosividade da chuva, em MJ.mm/(ha.h.ano);

K = fator erodibilidade do solo, em t.h/(MJ.mm);

L = fator comprimento de rampa, baseado nos valores, em metros, do comprimento de rampa (adimensional);

S = fator declividade, baseado nos valores, em porcentagem, da declividade (adimensional);

C = fator uso e manejo (adimensional); e,

P = fator práticas conservacionistas (adimensional).

Para a determinação dos vários fatores envolvidos na EUPS foram utilizadas as seguintes fontes e bases cartográficas compiladas ou geradas:

- Séries históricas de pluviosidade (25 anos) com médias anuais e mensais da região, obtidas no site Hidroweb (hidroweb.ana.gov.br),
- Cartas geológicas do Quadrilátero Ferrífero (CODEMIG, 2005 - Mapas Geológicos de Ouro Preto e Mariana), na escala 1:50.000) e CPRM (1993), na escala 1: 100.000,
- Carta pedológica em escala 1:50.000 gerada na etapa do diagnóstico geoambiental.
- Cartas topográficas do IBGE em escala 1:50.000,
- Modelo digital de elevação, obtido pelo processamento da base topográfica,
- Carta de uso do solo gerada na etapa do diagnóstico geoambiental,
- Informações obtidas em outros trabalhos da literatura especializada.
- A rede hidrográfica da Bacia do Ribeirão do Carmo foi inicialmente obtida a partir do mapa topográfico 1:50.000 do IBGE (Folhas Ouro Preto, Mariana, 1986). Entretanto, como entre as análises realizadas na BHRC tem-se a análise dos parâmetros morfométricos, optou-se pela interpretação das fotos aéreas na escala 1:25.000 (Esteio, 1986) de toda a área, que posteriormente foi vetorizada e corrigida através da correlação e sobreposição ao mosaico de 25 ortofotos na escala 1:10.000 (CEMIG, 1987). Posteriormente à vetorização, procedeu-se a hierarquização dos canais por ordem, tendo por propósito permitir a avaliação da relação entre as variáveis morfométricas e as características do meio físico. As bacias interiores que compõem a BHRC foram delimitadas considerando a metodologia para o ordenamento de cursos d'água proposto por Strahler (1957). A partir da classificação o Ribeirão do Carmo foi definido como um afluente de ordem 6 e a BHRC foi reclassificada em bacias interiores com cursos d'água de ordem 3 e superior a esta para delimitação das bacias de interesse do estudo. Agregou-se a esta reclassificação as bacias interiores que possuem relevância dentro do contexto para os municípios e distritos envolvidos.

4.1.1.1.1 OBTENÇÃO DOS FATORES R, K, L e S

Para obtenção do Fator R – Erosividade da Chuva foram utilizadas grades pluviométricas com as médias anuais e mensais em um período de 25 anos. Foram identificadas 49 estações pluviométricas com séries históricas (*site hidroweb*) disponíveis em uma distância de até 40 km em relação aos limites da Bacia do Ribeirão do Carmo.

Os dados de chuva de cada estação foram analisados de modo a selecionar períodos comuns de registro ao longo dos anos. No caso deste trabalho foram selecionadas 15 estações pluviométricas com registros de chuvas completos entre os anos de 1984 e 2009 (Quadro 4.1 e Figura 4.1).

Quadro 4. 1 – Estações Pluviométricas Utilizadas na Determinação da Perda de Solo

Estações Pluviométricas	Código
MINA TIMBOPEBA	----
MINA ALEGRIA	----
CONSELHEIRO LAFAIETE	2043005
CONGONHAS-MONTANTE	2043013
ITABIRITO	2043060
SANTA BÁRBARA	1943007
PONTE NOVA-JUSANTE	2042018
ACAIACA-JUSANTE	2043009
PIRANGA	2043010
FAZENDA PARAÍSO	2043011
PORTO FIRME	2043014
USINA DA BRECHA	2043025
FAZENDA OCIDENTE	2043027
FAZENDA ÁGUA LIMPA-JUSANTE	2043056
COLEGIO CARAÇA	2043059

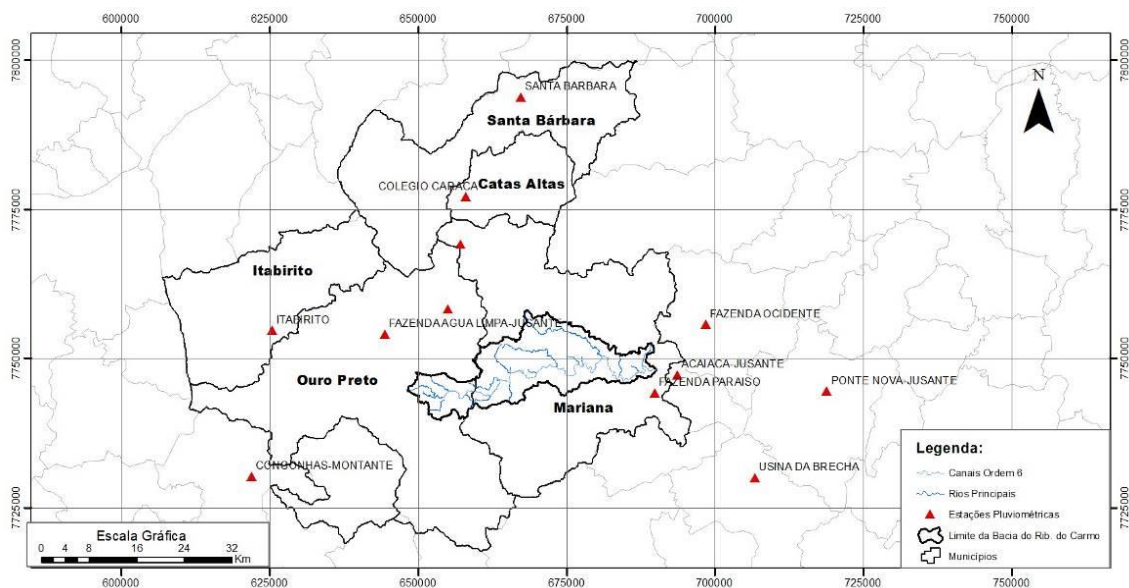


Figura 4.1– Localização das estações pluviométricas com séries completas entre os anos de 1984 e 2009.

A determinação do valor médio do índice de erosividade ocorreu por meio da relação entre a média mensal e a média anual de precipitação (Figura 4.2). A interpolação dos valores das grades pluviométricas com as médias anuais e mensais das estações pluviométricas possibilitou a geração da carta de pluviosidade anual média da BHRC (Figura 4.3).

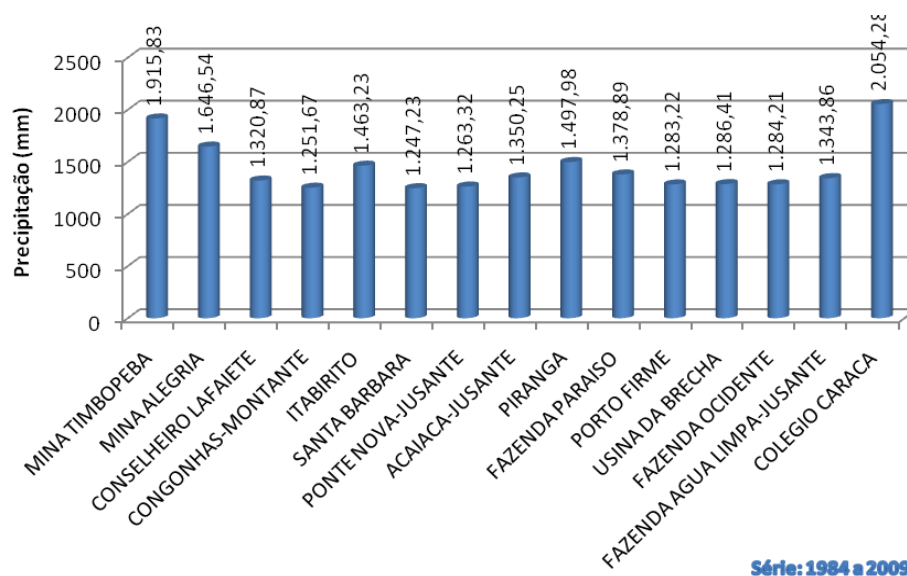


Figura 4. 2 – Média anual de chuva por estação pluviométrica entre os anos de 1984 e 2009.

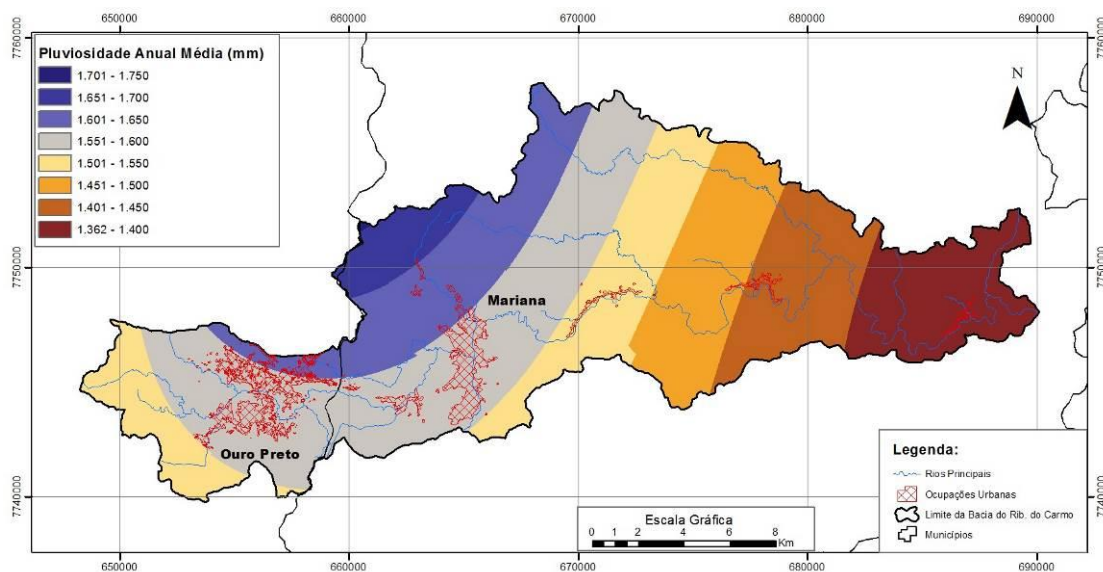


Figura 4. 3 – Carta de pluviosidade anual média da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Carmo gerada através da interpolação das médias anuais de precipitação entre os anos de 1984 e 2009.

Para o cálculo da média mensal do índice de erosividade foi empregada à equação proposta por Lombardi Neto e Moldenhauer (*apud* Bertoni e Lombardi Neto, 1993).

$$EI_{25} = 67,355 \left(\frac{r^2}{P} \right)^{0,85} \quad (4.2)$$

Em que:

- med25_j – grade pluviométrica mensal do mês j gerada usando o interpolador IDW;
- med25_idw – grade pluviométrica anual gerada usando o interpolador IDW;
- el25_j – índice de erosividade da chuva para o mês j;
- EI25 = média mensal do índice de erosividade, em MJ.mm/(ha.h);
- r = média do total mensal de precipitação, em mm;
- P = média do total anual de precipitação, em mm.

A erodibilidade dos terrenos, solos ou rochas, pode ser avaliada a partir de suas propriedades químicas e físicas, havendo na bibliografia várias sugestões de ponderação

e hierarquização para diferentes tipos de solos e rochas, segundo suas propriedades (MOPT, 1992; Cooke e Doorkamp, 1990; Lombardi Neto e Bertoni, 1975.). Este índice é expresso em toneladas por hectare por unidade de pluviosidade EI₂₅.

Para obtenção do Fator K – Erodibilidade do Solo foi necessário utilizar a carta pedológica da área, sendo que os valores atribuídos a K foram obtidos e adaptados do mapa pedológico elaborado nesta análise e, principalmente, de estudos já desenvolvidos na região e em outras áreas do país, a partir dos critérios estabelecidos pela EMBRAPA (2006), levando-se em consideração o 1º nível categórico (ordens) do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos: Argissolos, Cambissolos, Gleissolos, Latossolos e Neossolos, etc.

A seguir tem-se uma descrição mais detalhada de cada uma dessas classes, ressaltando aspectos ligados ao potencial para utilização e suscetibilidade à erosão. O Quadro 4.2 mostra os índices de erodibilidade adotados para cada tipo de solo e as fontes bibliográficas onde foram obtidos estes valores, resultados de diferentes estudos realizados ao longo do país.

Quadro 4.2 – Índices de erodibilidade adotados e respectivas fontes bibliográficas utilizadas como referência.

Solo Original	Correspondente	K (t/h/mj.mm)	Fonte
MX	CXbe	0,0441	Ribeiro e Alves (2007).
CX	CXbd	0,0115	Denardin (1990) e Silva et al. (2000).
CX	CXbd	0,0260	Castro Júnior (2008).
GMd	⁽¹⁾ GM	0,0044	Ribeiro e Alves (2007).
LAW	⁽¹⁾ LA	0,0110	Medina e Oliveira Júnior (apud Silva et al., 2000).
LVdf; LVwf; LVj	LVdf	0,0120	Denardin (1990) e Silva et al. (2000).
LVef	LVef	0,0040	Hernani et al. 1997.
LVd	LVd	0,0090	Denardin (1990) e Silva et al. (2000).
LVAw; LVw	LVAw	0,0020	Denardin (1990) e Silva et al. (2000).
LVAd	LVAd	0,0100	Silva et al., 2000.
LVAd	LVAd	0,016	Castro Júnior (2008).
RUBd	⁽¹⁾ RU	0,0420	Ribeiro e Alves (2007).
RLd	⁽¹⁾ RL	0,0400	Ribeiro e Alves (2007).

RLd	⁽¹⁾ RL	0,0450	Castro Júnior (2008).
PVAd	PVAd	0,0270	Marques (1996).
PVAe	PVAe	0,0140	Marques (1996).
PVd	PVd	0,0340	Marques (1996).

A partir da análise destes índices de erodibilidade e da sua correlação com os solos da bacia do ribeirão do Carmo, chegou-se a valores de erodibilidade para os solos da BHRC (Quadro 4.3).

Quadro 4. 3 – Classes de solo e índices de erodibilidade adotados na BHRC.

CLASSES	UNIDADES DE SOLO	DESCRIÇÃO RESUMIDA	K (t/h/mj.mm)
Neossolo Litólico	RLd	Distrófico, relevo forte ondulado e montanhoso.	0,0400
Cambissolo	CXbd	CXbd1 a CXbd8 - Tb distrófico com Neossolo Litólico distrófico com Afloramento de Rocha, relevo forte ondulado e montanhoso.	0,046
Argissolos-Latossolos	LVAd	LVAd1 a LVAd8 - Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, relevo ondulado e suave ondulado.	0,01
Neossolos Flúvicos - Gleissolos	GXbd	Gleissolo Háptico Tb distrófico, relevo plano.	0,0044
Afloramentos rochosos	AR	Associação de Afloramento de Rocha com Cambissolo Háptico Tb distrófico com Neossolo Litólico distrófico, relevo ondulado, forte ondulado e montanhoso.	- 1

Como tanto o comprimento do declive, quanto o seu gradiente afetam a intensidade de erosão pela água, estes dois fatores têm sido pesquisados separadamente e são representados na equação de perdas de solo por L e S, respectivamente. No entanto, para aplicação prática, é mais conveniente considerá-los conjuntamente como um fator topográfico: LS. Way (1978, *in* MOPT, 1992) apresenta um ábaco onde pode ser obtido o fator L.S a partir dos valores de comprimento e declive das vertentes. Bertoni (1959) desenvolveu a seguinte expressão:

$$LS = 0.00984.L^{0.63}.S^{1.18} \quad (4.3)$$

Em que:

L = Comprimento da vertente em metros;

S = Declividade expressa em porcentagem.

Wischmeier e Smith (1978) apresentaram uma equação única para L e S (sistema internacional), calculados conforme a Equação a seguir.

$$LS = \left(\frac{L^2}{100} \right) \times (1,36 + 0,97.S + 0,1385.S^2) \quad (4.4)$$

Em que:

L é o comprimento do declive em metros e;

S é o grau do declive em porcentagem.

Para a determinação do fator LS da BHRC a equação utilizada foi proposta por Moore e Burch (1986a e 1986b) onde o fator topográfico LS deriva da relação entre o acúmulo de fluxo (ou área de contribuição) e a declividade da bacia hidrográfica.

$$LS = \left(\frac{FlowAccumulation \times CellSize}{22.13} \right)^{0,4} \times \left(\frac{sen(Slope)}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (4.5)$$

Em que,

- *FlowAccumulation* é o acúmulo de fluxo ou área de contribuição;

- *CellSize* é o tamanho da célula do modelo digital de elevação usado no presente estudo;

- *Slope* é a declividade calculada para cada pixel.

Neste trabalho, para obtenção do Fator LS, utilizou-se o modelo digital de elevação, a partir do qual tem-se a grade de área de contribuição e a declividade, que são os planos de informação necessários para obtenção do fator. Assim, a expressão da álgebra de

mapas empregada para a obtenção do fator topográfico LS foi:

$LS = \text{Pow}([\text{flowaccgrid}] * 25 / 22.13, 0.4) * \text{Pow}(\text{Sin}([\text{slope}] * 3.14159265 / 180.0) / 0.0896, 1.3)$	(4.6)
---	-------

4.1.1.1.2 POTENCIAL NATURAL DE EROSIÃO (PNE) DA BHRC

A partir da determinação dos fatores R – erosividade da chuva, K – erodibilidade do solo e LS – fator topográfico foi possível o cálculo do Potencial Natural de Erosão (PNE), a partir da equação:

$$PNE = R.K.L.S \quad (4.7)$$

A Figura 4.4 (e Anexo I) reproduz os resultados alcançados a partir do processamento das informações anteriormente calculadas e da equação do potencial natural à erosão, ao longo da BHRC.

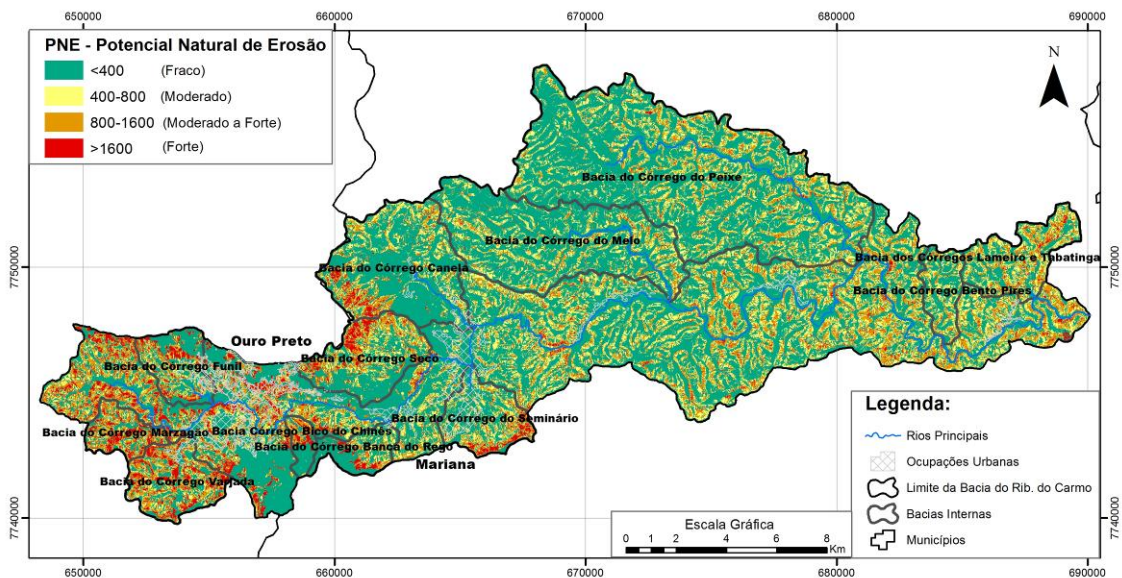


Figura 4. 4 – Carta do Potencial Natural à Erosão da Bacia do Ribeirão do Carmo.

Alguns trabalhos propõem a classificação dos solos quanto ao potencial natural de erosão determinando intervalos de perda de solo para o parâmetro de PNE calculado. A classificação do PNE da bacia do Ribeirão do Carmo levou em consideração a

proposição de Valério Filho (1994), que estabelece 4 classes para a interpretação dos resultados alcançados no cálculo do Potencial Natural a Erosão (Quadro 4.4).

Quadro 4. 4 – Classificação dos solos quanto ao potencial natural de erosão.

Intervalo de Perda de Solo (t ha⁻¹ ano⁻¹)	Classe
< 400	FRACO
400 – 800	MODERADO
800 – 1600	MODERADO A FORTE
> 1600	FORTE

Para uma melhor visualização dos resultados obtidos após o processamento, os dados foram calculados para a área total da BHRC e para as bacias interiores conforme descrição anterior (Quadro 4.5).

Quadro 4. 5 – Classificação dos solos quanto ao potencial natural de erosão ao longo da Bacia do Ribeirão do Carmo e principais bacias interiores.

BACIA HIDROGRÁFICA	ÁREA DAS CLASSES DE PNE (km²)			
	Fraco	Moderado	Moderado a Forte	Forte
Ribeirão do Carmo	190,02	67,67	45,47	18,4
Córrego Marzagão	1,46	0,83	1,38	1,04
Córrego Varjada	3,12	1,68	2,41	1,88
Ribeirão do Funil	3,56	1,02	1,18	0,91
Córrego Bico do Chinês	1,19	0,18	0,32	0,32
Córrego Banca do Rego	2,92	0,68	0,46	0,41
Córrego Seco	5,93	2,14	2,12	1,20
Córrego do Seminário	4,38	1,90	1,28	0,75
Córrego Canela	14,64	3,62	2,28	1,04
Córrego do Melo	20,48	5,87	2,30	0,51
Ribeirão do Peixe	43,53	13,19	6,04	1,08
Córrego Bento Pires	2,79	1,33	0,62	0,11
Córregos Lameiro e Tabatinga	4,30	0,51	2,81	2,00
Total:	298,32	100,62	68,67	29,65

4.1.1.1.3 CÁLCULO DA PERDA DE SOLO NA BHRC

Para a complementação das análises passou-se a obtenção do Fator C – Uso e Manejo. Os fatores de uso e manejo e as práticas conservacionistas podem ser analisados

também conjuntamente através de cartas de uso e ocupação do solo. O *U.S Soil Conservation* sugere tabelas para valores do índice C, de acordo com a cobertura arbórea e a porcentagem de área coberta, e do índice P, segundo o tipo de cultivo e os declives envolvidos (MOPT, 1992). Para este trabalho foi utilizada a carta de uso do solo produzida na escala 1:10.000.

Bertoni e Lombardi Neto (1985) e Righetto (1998) propõem os seguintes índices para os fatores C e P no cálculo da perda de solo (Quadro 4.6).

Quadro 4. 6 - fatores C e P no cálculo da perda de solo

USO DO SOLO	FATOR C	FATOR P
Florestas	0,010	0,1
Campos	0,26	0,4
Agricultura	0,29	0,7
Agricultura Irrigada	0,36	1,0
Solos Expostos	0,404	1,0

Outras propostas para o Fator Uso e Manejo foram encontradas na literatura nos trabalhos de Bellinazi Jr *et al.* (1981), Bertolini e Lombardi Neto (1993), Pinto (1995), Ribeiro (2000) e Castro Júnior (2008). O Quadro 4.7 mostra os índices adotados para o Fator C – Uso e Manejo do Solo na a Bacia do Ribeirão do Carmo.

Quadro 4. 7 – Índices adotados para o fator Uso e Manejo na BHRC.

CLASSE	USO DO SOLO	SOLO
1	Mineração	0,300
2	Afloramento Rochoso	0.000001
3	Silvicultura	0,03
4	Floresta Secundária Média/Avançada	0,01
5	Sistema Viário / Estradas / Arruamento / Ferrovias / Rodovias	0,00005
6	Área Urbana	0,00001
7	Solo Exposto / Pastagem	0,404
8	Hidrografia / água	0,00

Para obtenção do Fator P – Práticas Conservacionistas, também foi utilizada a carta de uso do solo da BHRC. O quadro 4.8 mostra a classificação utilizada:

Quadro 4. 8 - Classificação adotada para o Fator P – Práticas Conservacionistas na BHRC.

CLASSE	USO DO SOLO	PESO
1	Mineração	1,0
2	Afloramento Rochoso	0,2
3	Silvicultura	0,5
4	Floresta Secundária Média/Avançada	0,2
5	Sistema Viário / Estradas / Arruamento / Ferrovias / Rodovias	1,0
6	Área Urbana	1,0
7	Solo Exposto / Pastagem	0,5
8	Hidrografia / água	1,0

Definidos todos os parâmetros, a expressão da álgebra de mapas usada para a EUPS – equação universal de perda do solo - na área da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Carmo foi a seguinte:

$$EUPS = [PNE] * [C] * [P] \quad (4.8)$$

Onde:

PNE = Potencial Natural de Erosão = *R.K.L.S* (R – erosividade da chuva, K – erodibilidade do solo e LS – fator topográfico),

C = fator uso e manejo (adimensional); e

P = fator práticas conservacionistas (adimensional).

Os resultados foram classificados de acordo com a proposta de classes de perda de solo de FAO (1967), citado por Oka-Fiori (2004). Assim, a seguinte classificação dos graus de erosão foi empregada para a análise da Bacia do Ribeirão do Carmo (Quadro 4.9).

Quadro 4. 9 - Classificação adotada para a Perda de Solo na BHRC

PERDA DE SOLO (ton/ha/ano)	GRAU DE EROSÃO
< 10	Baixa
10 – 50	Média
50 - 200	Alta
> 200	Muito Alta

Fonte: FAO (1967) *apud* Oka-Fiori (2004)

O resultado cartográfico final da elaboração e execução do modelo de cálculo de perda de solo a partir da Equação Universal de Perda de Solo pode ser observado na Figura 4.5 (e Anexo I).

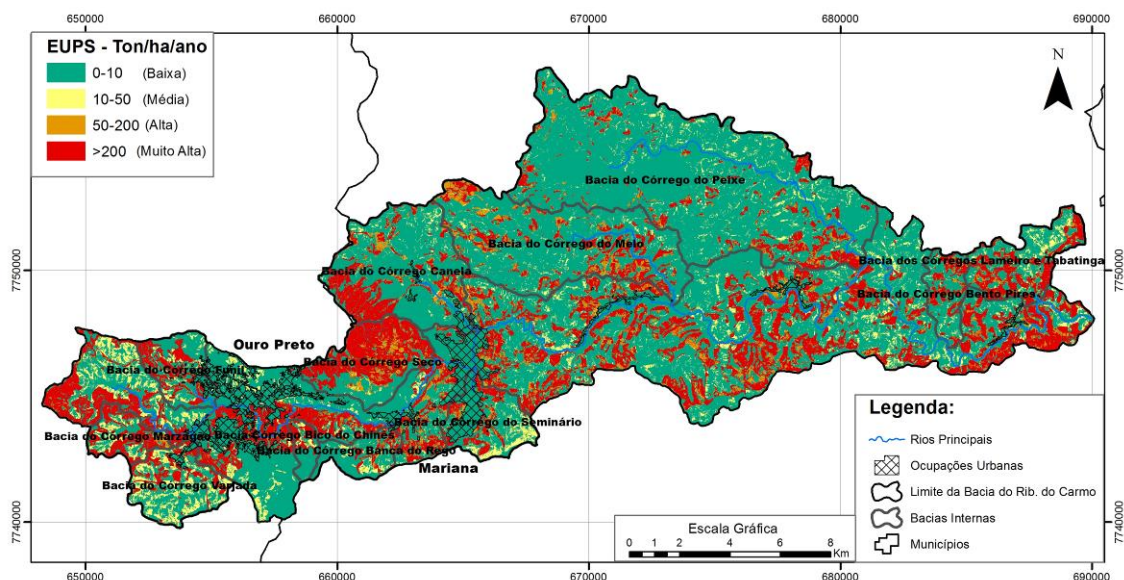


Figura 4. 5 – Carta de Perda de Solo da Bacia do Ribeirão do Carmo.

O mesmo procedimento adotado para o cálculo do PNE foi reproduzido e para uma melhor visualização dos resultados obtidos após o processamento dos dados, estes foram apresentados para a área total da BHRC e para as bacias interiores mais importantes (Quadro 4.10).

Quadro 4. 10 – Classes de Perda de Solo ao longo da Bacia do Ribeirão do Carmo segundo a EUPS.

BACIA HIDROGRÁFICA	ÁREA DAS CLASSES DE EROSIÃO (km ²)			
	BAIXA	MÉDIA	ALTA	MUITO ALTA
Ribeirão do Carmo	213,55	23,00	15,61	69,44
Córrego Marzagão	1,68	0,71	0,22	2,08
Córrego Varjada	4,72	2,48	0,17	1,71
Ribeirão do Funil	3,94	0,57	0,10	2,05
Córrego Bico do Chinês	1,20	0,18	0,03	0,61
Córrego Banca do Rego	3,13	0,49	0,20	0,65
Córrego Seco	3,90	0,18	1,11	6,20
Córrego do Seminário	5,36	1,13	0,43	1,39

Córrego Canela	15,14	0,81	1,09	4,54
Córrego do Melo	21,35	1,18	2.308,82	4,33
Ribeirão do Peixe	54,48	3,03	1,59	4,74
Córrego Bento Pires	3,03	0,24	0,26	1,31
Córregos Lameiro e Tabatinga	4,78	0,98	0,55	3,31
Total:	294,02	100,11	65,86	27,65

O estudo dos processos erosivos laminares dos solos na BHRC implicou, necessariamente, no conhecimento das características geológicas, geomorfológicas, pedológicas, dos aspectos da vegetação e das condições climáticas da área de estudo, que condicionam o desenvolvimento de processos geodinâmicos, como movimentos de massa, erosão e transporte e deposição de sedimentos. Estes processos, quando ativos, podem causar inúmeros problemas no que tange ao uso e ocupação do solo urbano e rural. Por outro lado, as intervenções antrópicas inadequadas, como práticas de mineração e agrossilvipastoris, com a substituição da cobertura natural e alterações na rede de drenagem, geram condições facilitadoras para a deflagração e/ou ampliação de processos erosivos que originam ravinas e até mesmo voçorocas aumentando, significativamente, o volume de sedimentos transportados para os canais fluviais.

A bacia do Ribeirão do Carmo possui declive acentuado na cabeceira, englobando a área urbana do município de Ouro preto, até o distrito de Passagem de Mariana, sendo os terrenos neste trecho mais susceptíveis ao desenvolvimento de processos erosivos e deslizamentos translacionais rasos. A erosão das margens dos canais, também é um processo natural que gera um volume significativo de sedimentos que vão diretamente para os cursos principais e, conseqüentemente para o ribeirão do Carmo, devendo este processo sempre ser controlado ou mitigado, sendo a manutenção da mata ciliar a medida mais eficaz, principalmente para bacias de médio porte como esta.

Outra causa importante na geração de sedimentos refere-se às vias veiculares (rodovias, estradas vicinais e vias urbanas), pelo fato do sistema de drenagem pluvial conduzir um volume significativo de sedimentos gerados nos taludes de corte e aterro que não foram devidamente protegidos, além da ausência e/ou ineficiência do sistema de drenagem existente (canaletas de crista, berma, pé, caixas coletoras e dissipadoras e escadas hidráulicas), acarretando no lançamento indiscriminado das águas superficiais ao longo

das encostas e, conseqüentemente na deflagração de inúmeros processos geodinâmicos superficiais.

Em bacias hidrográficas medianas e pequenas, o diagnóstico adequado do meio físico e, no caso, a identificação dos processos geodinâmicos em atividade ao longo da bacia, possibilita, através da integração das informações obtidas, a proposição de ações a curto e médio prazo para o controle do uso do solo. Entre as diversas ações que podem ser iniciadas destacam-se práticas agrícolas utilizadas na conservação do solo (terraceamento, plantação em curvas de nível, etc.), mesmo que para produções pequenas; reflorestamento nas áreas não agrícolas ou de baixa produtividade; preservação/reabilitação das matas ciliares e, também, o controle de focos erosivos, bem como a proteção superficial contra a erosão laminar nas margens de rios. No caso da bacia do Ribeirão do Carmo, estas ações teriam grande importância em decorrência dos efeitos positivos que podem ser produzidos.

Entretanto, deve-se atentar para o fato de que uma parcela importante na geração de sedimentos, atualmente, está relacionada às zonas urbanas de Ouro Preto e Mariana, que apresentam um alto grau de interferência no meio físico (retaludamentos, desmontes, cortes e disposição de material sólido etc.), na maioria das vezes executada sem quaisquer controles técnicos adequados, culminando no incremento do carreamento de partículas para os cursos d'água em épocas chuvosas.

Assim, medidas mitigadoras para o problema da geração de sedimentos na bacia do Ribeirão do Carmo devem focar principalmente o ordenamento do uso do solo nas áreas urbanas de Ouro Preto e Mariana, em conjunto com uma série de ações de melhoria ambiental em toda bacia, tais como controle dos garimpos e áreas de mineração.

4.1.2 SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÃO

Os métodos para o mapeamento de áreas sujeitas a inundações, como nos demais temas também podem ser subdivididos em quantitativos e qualitativos, sendo o primeiro uma abordagem mais comum à engenharia e os conceitos relacionados às áreas de hidrologia e hidráulica, e o segundo relacionado a análises observacionais qualitativas.

A vantagem dos modelos hidrológicos é o fato de permitirem a geração de cenários

atuais e tendenciais de inundação, possibilitando assim traçar cenários alternativos de planejamento, seja tornando a área inapta a ocupação, seja com a proposição de intervenções para que a área seja classificada como apta com restrições. Entretanto, sua obtenção remonta à adoção de uma série de estudos mínimos obrigatórios envolvendo entre outras análises a apropriação da equação de chuvas intensas (análises das relações intensidade-duração-frequência das chuvas máximas), a determinação do tempo de concentração para a definição da vazão máxima a que está sujeita uma bacia, a determinação dos limites do canal a ser estudado (considerando as área de expansão urbana e as áreas já ocupadas), a apropriação dos valores de vazões máximas para as sub-bacias que compõem a bacia principal, a classificação do uso e ocupação do solo etc., cujo nível de detalhamento permite a elaboração de mapas de suscetibilidade a inundação, com a diferenciação das áreas por cheias com períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 30, 50 e 100 anos.

A segunda abordagem possível para a determinação da suscetibilidade à inundação envolve uma análise descritivo-qualitativa dos múltiplos aspectos de um determinado ambiente como a geomorfologia, o tipo de solo, e a influência da cobertura vegetal.

Em decorrência da discrepância dos resultados obtidos em relação às duas abordagens possíveis, ressalta-se que a tipologia de análise a ser adotada, dentro da lógica do mapeamento progressivo, deve considerar principalmente os objetivos finais que se espera alcançar, mas, também, como se pretende utilizar o documento (mapa) que será gerado. Para as áreas já ocupadas, como é o caso da grande maioria dos municípios brasileiros que se desenvolveram às margens de rios e córregos, análises qualitativas não permitem a proposição de intervenções e/ou ações preventivas suficientemente adequadas, pois não permitem a obtenção dos períodos de recorrência, níveis de atingimento e velocidades de fluxo, para posteriores análises de vulnerabilidade dos elementos expostos e danos esperados. Ainda é muito comum transportar manchas de inundação obtidas com análises de suscetibilidade gerais, para correlação direta com as áreas ocupadas transformando-as em manchas de perigo/risco, sem as devidas ressalvas necessárias, apontando a necessidade de aprofundamentos das análises em escalas adequadas. Estudos desta natureza têm sido realizados em todo território nacional em escalas inadequadas como 1:25.000, 1:30.000, 1:50.000 e até 1:100.000.

Lima (2015), em estudo realizado na bacia hidrográfica do Arroio do Salso, Porto Alegre, relacionou os padrões pluviométricos atuantes com a ocorrência de inundações, e identificou os principais elementos naturais e alterações antrópicas que interferem no escoamento superficial, o que culminou no mapeamento das áreas mais suscetíveis à ocorrência de inundações, mediante a análise das informações descritivas e históricas, e correlação entre os diferentes planos de informação.

Brubacher (2013), realizou uma análise de suscetibilidade a inundações na área urbana do município de Igrejinha – RS, a partir da simulação do extravasamento das águas do Rio Paranhana em eventos pluviométricos de diferentes recorrências. A espacialização das áreas suscetíveis associadas aos diferentes eventos permitiu o zoneamento destas com a definição de três classes (Alta – tempo de retorno inferior a 10 anos, Média – tempo de retorno entre 10 e 50 anos e Baixa – tempo de retorno de 50 a 100 anos).

Ramos *et al.* (2010), na avaliação da suscetibilidade aos perigos naturais da região de Lisboa e Vale do Tejo propuseram a delimitação das zonas afetadas por cheias (ZAC). A cartografia das cheias dos fundos de vale, obtida nos Planos de Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Oeste e do Sado foi complementada com a análise geomorfológica dos fundos de vale, a partir da altimetria e topografia na escala 1:25:000. Nos casos de vales de fundo estreito, foram representados os terrenos afetados pelas cheias e não as ZAC, propriamente ditas, uma vez que a sua delimitação só é possível em uma escala maior.

IPT (2013), em atenção a diretrizes específicas da Lei Federal 12.608/2012, a qual estabelece a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC (BRASIL, 2012), propõe uma abordagem metodológica para o mapeamento de suscetibilidade à inundações baseada nos fatores permanentes predisponentes, ou seja, nas condições do terreno, principalmente em relação às características geológicas, topográficas e morfológicas das bacias que favorecem a ocorrência de transbordamento do nível d'água na ocasião das chuvas intensas. A metodologia de análise e classificação proposta consiste de três etapas: na Etapa 1 tem-se a identificação da suscetibilidade das bacias a partir de índices morfométricos; nas etapas 2 e 3 tem-se a espacialização dos graus de suscetibilidade a partir do *software* HAND (*Height Above Nearest Drainage*) e, na Etapa 3, o recorte nas planícies.

Considerando a limitação dos dados e bases disponíveis, a avaliação dos processos de

inundação ao longo da BHRC foi baseada em métodos qualitativos, que englobaram um primeiro procedimento com análise geomorfológica de campo, e uma segunda análise com avaliação baseada em mapa índice ou mapa paramétrico, para verificação e comparação dos resultados.

Nesse sentido, o ponto de partida da avaliação da suscetibilidade a inundação da BHRC foi o entendimento das limitações de sua análise, considerando aqui os dados existentes, ou seja:

- Séries históricas de pluviosidade (25 anos) com médias anuais e mensais da região, obtidas no site Hidroweb (hidroweb.ana.gov.br),
- Cartas geológicas do Quadrilátero Ferrífero (CODEMIG, 2005 - Mapas Geológicos de Ouro Preto e Mariana), na escala 1:50.000) e CPRM (1993), na escala 1: 100.000,
- Cartas topográficas do IBGE disponível na região na escala 1:25.000, 1:50.000 (Folha Ouro Preto – SF-23-X-A-III-4, Folha Mariana - SF-23-X-B-I-3 e Folha Catas Altas - SF-23-X-B-I-1),
- Rede hidrográfica da Bacia do Ribeirão do Carmo obtida a partir das Folhas topográficas 1:50.000 e 1:25.000 do IBGE (Folhas Ouro Preto, Mariana, Catas Altas, 1986).
- Fotos aéreas na escala 1:25.000 (Esteio, 1986)
- 25 ortofotos na escala 1:10.000 (CEMIG, 1987).
- Mapa pedológico gerado neste estudo;
- Mapa geomorfológico gerado neste estudo;
- Histórico de ocorrências de inundações gerado neste estudo;
- Imagem orbital do satélite ASTER 2006.
- Caracterização morfométrica da bacia gerada nesse estudo.

Como já abordado anteriormente, os métodos qualitativos são baseados principalmente na experiência de campo dos técnicos que os executam, a partir da combinação de diferentes mapas e dados referentes a diversos parâmetros importantes para a

caracterização dos terrenos e definição das áreas de atingimento de cheias. Assim, o primeiro procedimento para esta análise foi baseado fundamentalmente na geomorfologia gerada neste trabalho, na caracterização morfométrica da bacia, no histórico de áreas de atingimento das inundações a partir dos registros de Defesa Civil e Corpo de Bombeiros e, principalmente, em trabalhos envolvendo fotointerpretação e reconhecimento em campo das áreas suscetíveis à inundação. O resultado obtido com este procedimento pode ser visualizado na Figura 4.6 (e Anexo I).

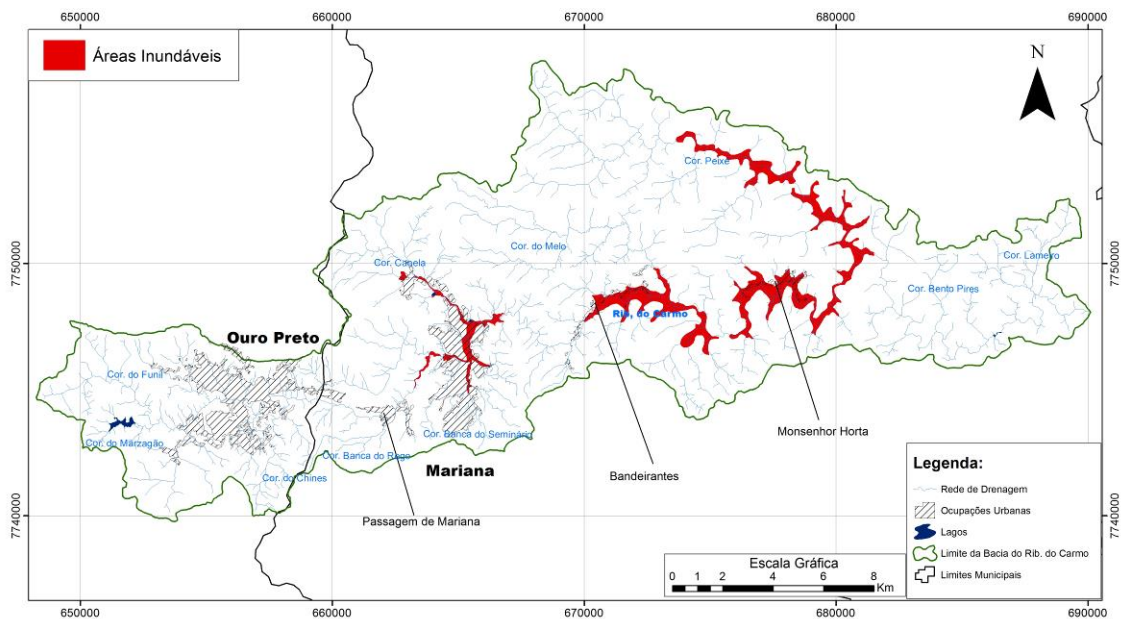


Figura 4. 6 – Carta de Suscetibilidade a Inundação da BHRC.

Uma segunda abordagem para análise da suscetibilidade executada foi modificada de Santos (2010), através da combinação, superposição e atribuição de pesos para mapas de fatores que influenciam na suscetibilidade, de acordo com a experiência do pesquisador em outras áreas similares, associado sempre a visitas a campo.

A sequência de análises levou em consideração:

- 1 – Reclassificação das variáveis que compõem o modelo de inundação, sendo aqui considerados, o mapa de altitudes, de declividades, de tipos de solo e do uso do solo;
- 2 – Determinação dos pesos estatísticos para as variáveis de entrada;
- 3 – Espacialização da suscetibilidade a inundação.

Para reclassificação das variáveis foram estabelecidas notas para o grau de suscetibilidade que variam entre zero (menos suscetível) a dez (mais suscetível). Assim, tem-se as notas propostas para cada variável de entrada considerando as especificidades da BHRC (Quadro 4.11).

Quadro 4. 11 – Temas utilizados na geração do modelo de suscetibilidade e respectivos pesos.

Altitude	Nota	Declividade	Nota
408- 508 (m)	10	0-3 (%)	10
508-608 (m)	10	3-8 (%)	8
608- 708 (m)	9	8-20 (%)	5
708-808 (m)	9	20- 45 (%)	3
808- 1303 (m)	3	45- 75 (%)	1
1303 – 1649 (m)	2	> 75 (%)	1
Uso do Solo	Nota	Tipos de Solo	Nota
Afloramento Rochoso	7	Afloramento Rochoso	10
Solo Exposto/ Pastagem	9	Neossolos Litólicos	10
Silvicultura	2	Neossolos Flúvicos	10
Cobertura Vegetal	1	Cambissolos	3
Mineração	7	Argissolos Latossolos	4
Área Urbana	7		

O passo seguinte foi a determinação dos pesos estatísticos a partir da aplicação do método AHP, proposto por Saaty (1977). Neste, a matriz de comparação par a par permite definir linearmente a hierarquia de importância entre os fatores altitude, declividade, uso do solo e tipo de solo conforme o Quadro 4.12.

Quadro 4. 12 – Matriz de comparação pareada.

Fatores	Tipo de Solo	Uso do Solo	Altitude	Declividade	Pesos
Tipo de Solo	1/16= 0,625	0,33/9,33 = 0,0357	0,20/4,53 = 0,0441	0,14/ 1,68 = 0,0852	0,0553
Uso do Solo	3/16= 0,1875	1/ 9,33 = 0,1075	0,33/ 4,53 = 0,0735	0,20/ 1,68 = 0,1193	0,1175
Altitude	5/16= 0,3125	3/9,33 = 0,3214	1/ 4,53 = ,2206	0,33/ 1,68 = 0,1988	0,2622
Declividade	7/16= 0,4375	5/9,33 = 0,5357	3/4,53= 0,6618	1/1,68 = 0,5966	0,5650

Fonte: Santos (2010).

Para efeito de validação dos pesos obtidos foi necessário calcular a razão de consistência, onde:

RC (Razão de Consistência) = IC / IR,

IR – Índice aleatório (tabela x),

IC – Índice de Consistência,

$$IC = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1),$$

n = número de variáveis que corresponde ao número de colunas ou de linhas,

λ_{\max} = autovetor calculado por:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[Aw]_i}{w_i} \quad (4.9)$$

Em que:

$[Aw]_i$ = matriz resultante dos produtos da matriz de comparação pareada pela matriz dos pesos calculados (w_i).

O valor obtido para a Razão de Consistência foi inferior a 0,10 validando os pesos estatísticos propostos para a geração do mapa de suscetibilidade a inundação da BHRC definida pela seguinte álgebra matemática:

Suscetibilidade = 0,5650 (declividade) + 0,2622 (altitude) + 0,1175 (uso do Solo) + 0,0553 (tipo de Solo).

A classificação aqui proposta para a suscetibilidade a inundação foi a seguinte:

- Baixa a Inexistente Suscetibilidade

- Média Suscetibilidade

- **Alta Suscetibilidade**

A figura 4.7 (e Anexo I) retrata a suscetibilidade obtida para a BHRC com a aplicação da análise AHP.

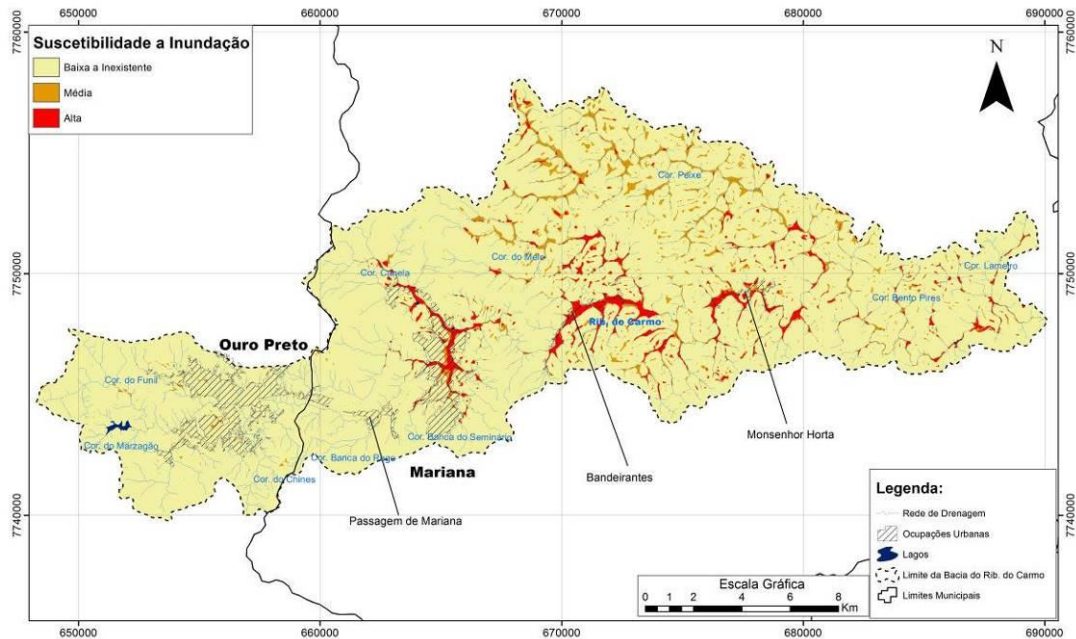


Figura 4. 7 – Carta de Suscetibilidade a Inundação da BHRC – Análise AHP.

O resultado final da modelagem para a suscetibilidade mostrou-se satisfatório, considerando a validação realizada e o conhecimento de campo em relação às áreas de atingimento de cheias ao longo da bacia. Entretanto, ao mesmo tempo em que o emprego desta metodologia pode auxiliar na avaliação de grandes áreas e bacias, o rigor necessário em relação as escalas e qualidade dos dados de entrada é fundamental. Um dos principais empecilhos em relação a utilização da metodologia proposta com análise AHP refere-se à obtenção da *layer* “tipo de solo” que geralmente encontra-se em escalas muito pequenas. Deve-se também avaliar a possibilidade de utilização de amplitudes e não de altitudes na composição algébrica, a partir da utilização de algorítmicos descritores do terreno, que meçam a diferença altimétrica entre qualquer ponto da grade do Modelo Digital de Elevação (MDE) e o respectivo ponto de escoamento na drenagem mais próxima, mas condicionado às limitações e incertezas trazidas pelas escalas 1:25.000 e 1:50.000. Já a metodologia de análise da inundação tomando-se como subsídio a geomorfologia, históricos de cheias e atingimentos, e trabalhos de campo, embora permita uma rápida delimitação dos trechos suscetíveis, esbarra nas limitações impostas pela escala, principalmente nos trechos já ocupados. Os dois métodos de análise devem ser aplicados para diagnósticos e estudos voltados ao

ordenamento dos territórios em um primeiro nível de análise, enquanto que para a minimização dos perigos e/ou convivência mais segura devem estar subsidiados por estudos na escala de detalhe que envolvam a modelagem hidrológica e a definição dos períodos de recorrência.

4.1.3 SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS

Ponto de partida de qualquer trabalho que envolva análise de suscetibilidade, a leitura das principais formas de ocorrência dos tipos litológicos na bacia do ribeirão do Carmo ocorreu a partir do mapeamento geológico existente em CODEMIG (2005), associado ao reconhecimento e mapeamento geológico executado neste trabalho, bem como em Souza (2004). Esta análise ocorreu em consonância com a leitura dos dados litoestruturais mais relevantes e existentes, o que no caso refere-se as medidas de atitudes das foliações das rochas, de modo a permitir o entendimento de como estas se encontram dispostas em superfície (direção) e o seu grau de penetratividade em relação ao terreno (mergulho).

Entretanto, para a área em questão, tem-se um adensamento dos dados estruturais (foliações) ao longo do setor oeste, acompanhando os limites do Quadrilátero Ferrífero, envolvendo parte dos territórios municipais de Ouro Preto e Mariana em detrimento à porção leste. Além de um maior número de estudos na área de abrangência do QF e, conseqüentemente um maior detalhamento, tem-se, também, o fato de que na porção leste da bacia o substrato rochoso é formado por rochas pertencentes ao embasamento cristalino (Complexo Santa Bárbara e Complexo Santo Antônio do Pirapetinga) com registros incipientes de medidas estruturais das principais estruturas das rochas.

Os processos geodinâmicos mais significativos com abrangência em toda a área de estudo são os movimentos translacionais rasos que possuem uma superfície de ruptura com forma planar a qual acompanha, de modo geral, descontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas. A intercalação de materiais com resistências diferenciadas, onde as estruturas planares mais importantes (xistosidades e contatos litológicos) encontram-se desconfiadas, condiciona movimentos planares naturais, com a possibilidade de mobilização de volumes variáveis de material. Esta tipologia de ruptura está disseminada ao longo de toda área de análise, mas tem suas expressões mais

significativas ao longo do trecho compreendido pelo Quadrilátero Ferrífero. Dentre os litotipos mais susceptíveis a estes processos pode-se citar os filitos da Formação Barreiro, os quartzitos sericíticos da Formação Cercadinho, os xistos do grupo Nova Lima, os xistos do Grupo Sabará e, secundariamente, os itabiritos da Formação Cauê e os quartzitos da Unidade Maquiné.

Como o objetivo em questão tem relação com a análise da suscetibilidade ao longo de toda BHRC e considerando uma nítida diferenciação dos terrenos entre as porções oeste e leste os seguintes procedimentos metodológicos foram propostos e aplicados neste trabalho:

1 – Elaboração de procedimentos metodológicos para análise da suscetibilidade para a porção oeste da bacia na escala 1:25.000 disponível considerando as especificidades e condicionantes estruturais dos terrenos do Quadrilátero Ferrífero.

2 – Elaboração procedimentos metodológicos para análise da suscetibilidade para a porção oeste da bacia na escala 1:50.000 (também disponível) considerando as especificidades e condicionantes estruturais dos terrenos do Quadrilátero Ferrífero, com posterior comparação dos resultados entre as escalas de análise.

3 – Elaboração de procedimentos metodológicos para análise da suscetibilidade para a porção leste da bacia na escala 1:50.000 (única disponível) considerando as especificidades e limitações de análises estruturais dos terrenos do embasamento cristalino e os seus principais condicionantes.

4 – Elaboração de mapa final de suscetibilidade da BHRC agrupando-se os resultados obtidos nos itens 1 e 3.

Entretanto, algumas limitações devem ser consideradas na geração destes documentos, para que se tenha uma maior adequabilidade dos produtos, destacando entre elas:

- Sobreira e Souza (2012) ressaltam que para que realmente sejam efetivas, as cartas de suscetibilidade para o planejamento urbano devem ser elaboradas em escalas maiores que 1:25.000, mas poucos são os municípios e bacias hidrográficas que têm levantamentos planialtimétricos nestas escalas.

- A informação geomorfológica obtida a partir dos mapas topográficos e interpretação de fotografias aéreas, com posterior validação em campo, também depende da escala da

base topográfica para a definição de suas unidades.

- A geologia existente, que no Brasil têm escalas geralmente 1:50.000, 1:100.000 ou menores, sempre que possível deve ser traduzida em mapas litoestruturais ou, caso não existam bases em escalas adequadas, devem ser elaborados pelo menos esboços da geologia, com ênfase nas estruturas geológicas.

- A cobertura de materiais inconsolidados (solos residuais, solos transportados, depósitos de cobertura antrópicos), atualmente é a informação básica menos precisa e de maior dificuldade de interpretação, já que nos mapas geológicos existentes estas análises nem sempre são consideradas. Os mapas pedológicos podem ser reinterpretados de forma a embasarem um levantamento de coberturas naturais, mas estes mapas também não são comuns ou as escalas são geralmente muito pequenas, não permitindo o nível de detalhe que se necessita ter. Assim, as coberturas superficiais ou materiais inconsolidados devem ser determinados por exaustivos trabalhos de fotointerpretação e de campo, sendo a informação básica de maior dificuldade de aquisição.

- Outro fator limitante refere-se à falta registros de ocorrências para a geração dos mapas de eventos, que são muito importantes para a validação dos modelos de suscetibilidade propostos ou até a mesmo a geração desses, dependendo da metodologia de análise adotada.

- Como os processos em questão estão diretamente relacionados a eventos pluviométricos, o fato das séries históricas de chuva geralmente serem de maneira geral pequenas, incompletas, com estações de coleta de dados esparsas e isoladas, representa outro fator limitador da geração dos modelos de suscetibilidade.

- A análise da suscetibilidade deve ser feita a partir de uma abordagem integrada dos aspectos do meio físico, sendo hoje preponderante que sejam realizadas a partir da integração das informações em ambiente de sistema de informações geográficas (SIG), pelas vantagens de rapidez nas análises espaciais (qualitativas e quantitativas), maior capacidade de armazenamento de dados e possibilidade de se melhorar sistematicamente o modelo com a entrada de novas informações.

No entanto, para seguir este procedimento deve-se ter segurança sobre os dados de entrada, e que estes necessariamente estejam em escalas compatíveis. Assim, propõem-

se a seguir as informações básicas mínimas de entrada para a geração dos modelos de suscetibilidade, conforme executado na geração dos produtos integrantes do diagnóstico geoambiental elaborado nesta pesquisa.

- Mapas topográficos nas escalas 1:25.000 ou maiores para a elaboração de modelos tridimensionais do terreno corrigidos com a remoção das depressões espúrias,
- Rede de drenagem para avaliação do escoamento superficial e de interfluxo das águas pluviais que modelam a topografia em escala compatível,
- Análises morfométricas derivadas da base topográfica na escala adequada: declividade, concentração de fluxo e curvatura vertical e horizontal das encostas, etc.,
- Mapa de materiais inconsolidados (solos residuais e transportados), principalmente no que se refere à delimitação dos depósitos superficiais mais significativos, como os depósitos de tálus/colúvios e os aluvionares,
- Mapa geológico estrutural para identificação dos principais lineamentos e estruturas que podem condicionar rupturas translacionais, fluxos superficiais e corridas de detritos e solo,
- Mapa geomorfológico que auxilie na determinação das áreas passíveis de inundação, bem como áreas com maior recorrência de processos geodinâmicos,
- Histórico de ocorrências de movimentos de massa e inundações, que são preponderantes para a validação do modelo de suscetibilidade gerado considerando aqui a importante separação entre a deflagração de processos naturais e induzidos, bem como as tipologias de processos de movimentos gravitacionais de massa.

Na integração dos dados, as bases temáticas têm importância diferenciada em relação ao processo analisado e sempre estará em aberto a questão de ponderações e adoção de valores ou índices para as unidades. As técnicas e métodos para estes procedimentos são muito variados e dependentes de outros fatores além das bases fundamentais de análise. Os modelos em SIG podem traçar cenários e simulações de fenômenos, com base em tendências observadas ou julgamentos de condições estabelecidas, e buscam a representação simplificada da realidade, através da seleção dos aspectos mais relevantes, na busca de respostas sobre correlações e comportamentos de variáveis ambientais. Um procedimento muito comum é a análise de multicritérios, também

conhecida como Árvore de Decisões, ou como Análise Hierárquica de Pesos, que se baseia no mapeamento de variáveis por plano de informação e na definição do grau de pertinência de cada plano de informação e de cada um de seus componentes de legenda para a construção do resultado final. Outra forma de atribuição de pesos é a construção de análises baseadas por estatística, com a identificação das situações nas quais exista baixa correlação entre as variáveis, e alta correlação com o fenômeno ou ocorrência a ser explicado.

Independentemente dos métodos e materiais utilizados, o importante é elaborar um documento que represente setores na paisagem que têm condicionantes naturais que possam indicar a possibilidade de ocorrência de um processo, assim como as áreas sob influência (atingimento) destes processos.

As cartas de suscetibilidade têm abrangência geral e apresentam uma análise inicial do meio físico de uma região (município, região metropolitana, bacia hidrográfica), tendo aplicação mais eficaz no planejamento ambiental, planejamento regional, gestão territorial e de bacias hidrográficas, zoneamentos ambientais e de grande utilidade nos planos diretores municipais. No que se refere aos riscos geológicos e catástrofes naturais, as cartas de suscetibilidade serão básicas para sistemas de alerta de abrangência mais regional.

Deve-se entender a limitação dos mapas de suscetibilidade, não sendo possível definir ações a curto e médio prazo com identificação precisa da magnitude dos problemas instalados. Não obstante, sugere-se:

- 1 - Que os setores/áreas identificados como de suscetibilidade alta e que estejam ocupados, considerando a proposta de mapeamento progressivo, devem ser mapeados com a metodologia proposta para a identificação do risco geológico na escala de detalhe.
- 2 - Os setores identificados como de suscetibilidade alta e que não estejam ocupados devem ser considerados inicialmente como áreas com restrições à ocupação em detrimento das áreas delimitadas como de suscetibilidade média ou baixa e,
- 3 - Os setores identificados como de suscetibilidade baixa e/ou média, ocupados ou não, devem ser destinados à elaboração de cartas geotécnicas em maior escala para avaliação

da sua aptidão ao uso urbano.

4.1.3.1 PROCEDIMENTOS PARA CARTOGRAFIA DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS

A caracterização dos processos geodinâmicos superficiais foi baseada nas informações regionais disponíveis e, principalmente geradas na etapa de diagnóstico ambiental deste estudo, referentes à cartografia geológica, estrutural, à pedologia e à geomorfologia, e a análises de dados em escalas de maior detalhe, através da interpretação de ortofotos, imagens de satélite, descrição das propriedades geotécnicas das principais unidades geológicas a partir de dados bibliográficos, elaboração do mapa de eventos e ocorrências da bacia e das áreas urbanas, e trabalhos de campo para validação dos resultados obtidos

O procedimento aqui proposto para o mapeamento da suscetibilidade estabeleceu algumas etapas distintas de trabalho, que podem eventualmente ser desenvolvidas concomitantemente (Figura 4.8):

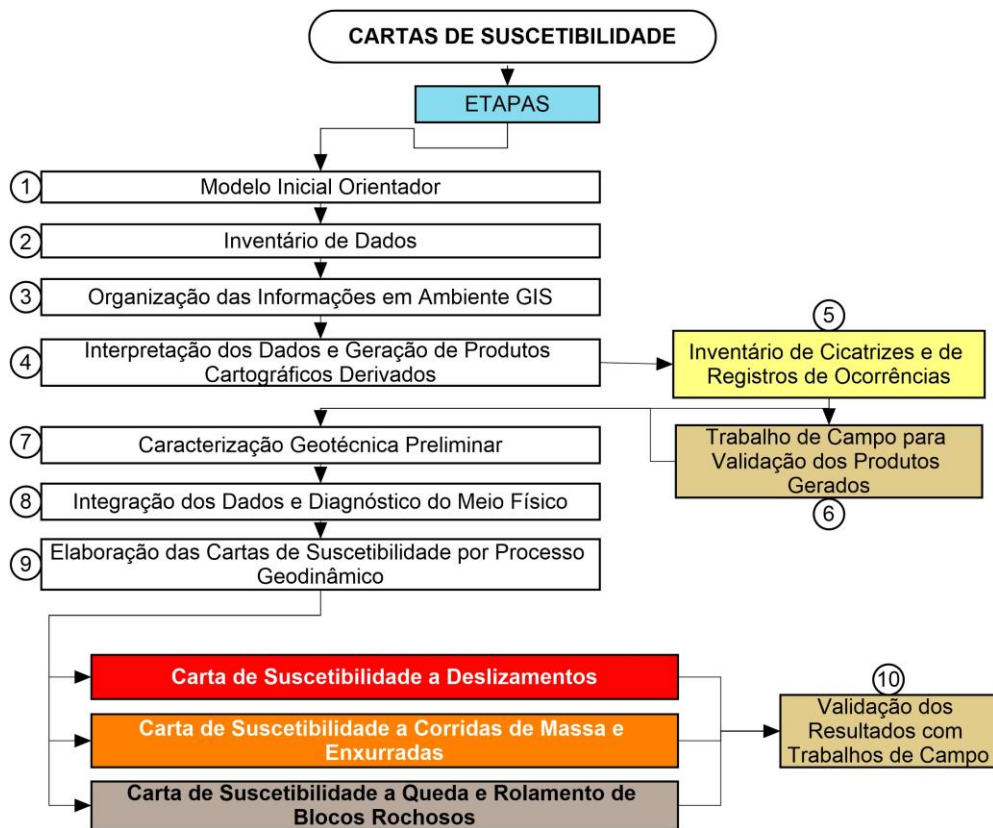


Figura 4. 8 – Proposta de etapas para elaboração da carta de suscetibilidade.

4.1.3.1.1 MODELO INICIAL ORIENTADOR

O mapeamento de suscetibilidades deve ser feito a partir de uma abordagem integrada dos aspectos do meio físico, em ambiente de sistema de informações geográficas (SIG). Ressalta-se aqui a importância de um reconhecimento preliminar da área de trabalho, através da realização de trabalhos de campo, para que se possa construir um modelo inicial orientador do estudo, de forma a subsidiar tanto a logística das etapas posteriores, quanto a definição dos processos geodinâmicos a serem estudados/cartografados e suas respectivas metodologias de abordagem (Figura 4.9).

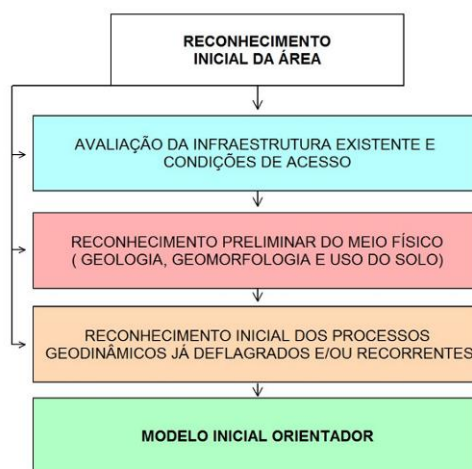


Figura 4. 9 – Sistemática para reconhecimento preliminar da área de estudo.

4.1.3.1.2 INVENTÁRIO DE DADOS

No tocante ao inventário de dados foram necessárias informações básicas mínimas de entrada para a geração dos modelos de suscetibilidade:

- Séries históricas de pluviosidade (25 anos) com médias anuais e mensais da região, obtidas no site Hidroweb (hidroweb.ana.gov.br),
- Cartas geológicas do Quadrilátero Ferrífero (CODEMIG, 2005 - Mapas Geológicos de Ouro Preto e Mariana), na escala 1:50.000) e CPRM (1993), na escala 1: 100.000,
- Cartas topográficas do IBGE disponível na região na escala 1:25.000, 1:50.000 (Folha Ouro Preto – SF-23-X-A-III-4, Folha Mariana - SF-23-X-B-I-3 e Folha Catas Altas - SF-23-X-B-I-1),

- Rede hidrográfica da Bacia do Ribeirão do Carmo obtida a partir das Folhas topográficas 1:50.000 e 1:25.000 do IBGE (Folhas Ouro Preto, Mariana, Catas Altas, 1986).
- Fotos aéreas na escala 1:25.000 (Esteio, 1986)
- Ortofotos na escala 1:10.000 (CEMIG, 1987);
- Vias de acesso principais e secundárias;
- Mapa pedológico gerado neste estudo;
- Mapa geomorfológico gerado neste estudo;
- Histórico de ocorrências de movimentos de massa e inundações gerados neste estudo;
- Imagem orbital do satélite ASTER 2006.

Algumas destas informações provêm de fontes secundárias, enquanto outras foram derivadas destas ou ainda geradas por interpretação de imagens ou reconhecimento direto em campo.

4.1.3.1.3 ORGANIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES EM AMBIENTE SIG

A estrutura básica aqui gerada sustenta o sistema de informação de forma a abranger os atributos componentes, os critérios de análise e as classificações empregadas para a geração dos produtos cartográficos georreferenciados e seus bancos de dados relacionais. Foi construído em duas fases distintas: uma primeira referente à arquitetura do sistema e uma segunda responsável pela geração dos produtos desse sistema.

A arquitetura de referência determinou a forma de gerenciamento para que se pudesse tratar os diferentes tipos de objetos geográficos. Foi empregada uma conformação em camadas funcionais para sistemas de gerenciamento de bancos de dados, complementados por subsistemas especializados. A diferenciação em camadas visou a separação das questões de visualização das funções de manipulação; ofereceu abstrações referentes a geo-objetos, geo-campos e mapas de geo-objetos; separou os componentes espacial e convencional dos dados geográficos; armazenou e manipulou os elementos de representação, além da implementação de formas de armazenamento matricial e vetorial (Câmara, 1996).

Os arquivos cartográficos foram adicionados a uma pasta de trabalho e a qualidade dos seus dados verificada. As informações contidas nos *shapefiles* foram recortadas, de modo a abranger toda a BHRC. Geralmente os materiais fornecidos e disponibilizados são desenvolvidos em diversas escalas e sistemas de projeção. Estes foram projetados para Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum (SIRGAS 2000, zona 23S), de modo a equalizar o sistema de projeção utilizado.

As bases georreferenciadas de dados para análise da suscetibilidade contêm minimamente:

a. Levantamento aerofotogramétrico, com ortomosaico na escala 1:10.000 (1986) disponível no formato raster e imagem de satélite ASTER com resolução espacial de 15,0 m na faixa do VNIR, 30,0 m faixa do SWIR e 90,0 m na faixa do TIR (imagens diurnas e noturnas).

b. Elementos planialtimétricos do mapeamento sistemático do IBGE:

- Setores censitários 2010, disponibilizado em formato vetorial na extensão.shp estrutura conforme padrão do IBGE.
- Mancha urbana, entre outros atributos, além de base de dados alfanumérica (geodatabase), atualizada para o período atual.
- Vias de acesso principais e secundárias.
- Levantamento planialtimétrico na escala 1:25.000 para o trecho referente à abrangência do Quadrilátero Ferrífero englobando as sedes dos municípios de Mariana e Ouro Preto até a cabeceira da bacia.
- Levantamento planialtimétrico na escala 1:50.000 com recobrimento de toda a BHRC.

c. Informações cartográficas temáticas:

- Mapa geológico com os principais depósitos superficiais.
- Mapa geomorfológico.
- Mapa pedológico.
- Mapa de inventário de cicatrizes de deslizamento e ocorrências de movimentos de massa e processos de inundação.

d. OTTOBACIAS, que são bacias hidrográficas de abrangência estadual, ottocodificadas até nível 6, georreferenciadas com atributos.

4.1.3.1.4 INTERPRETAÇÃO DOS DADOS E GERAÇÃO DE PRODUTOS CARTOGRÁFICOS DERIVADOS

Uma vez montada a plataforma SIG, foi possível a geração de informações cartográficas a partir das bases topográficas e imagens inventariadas. Estas informações tiveram importância distinta conforme o processo geodinâmico analisado. Os mapas topográficos nas escalas 1:25.000 e 1:50.000 foram as informações cartográficas básicas e indispensáveis na análise de suscetibilidades, pois possibilitaram a elaboração do modelo digital do terreno, além de análises morfométricas importantes (declives, concentração e fluxo, curvatura das encostas, amplitude, etc.), dependendo da tipologia do processo geodinâmico em análise.

O mapa geológico existente na escala 1:50.000, foi refinado durante a caracterização geológico geotécnica da bacia (Capítulo 3), o que permitiu um melhor entendimento da geologia local, com ênfase nas estruturas geológicas. Esta informação foi importante na identificação das principais estruturas que condicionam movimentos de massa em encostas, fluxos superficiais e corridas de detritos/solo passíveis de ocorrência na BHRC.

A delimitação das bacias de contribuição foi realizada por meio de modelo digital de terreno, fotos aéreas e cadastro do sistema de drenagem. A análise das condições de drenagem possibilitou a avaliação do escoamento superficial e de interfluxo das águas pluviais que modelam a topografia. Esta carta foi fundamental para a análise dos processos ocorrentes em encostas.

4.1.3.1.5 INVENTÁRIO DE CICATRIZES E OCORRÊNCIAS

Segundo Fernandes e Amaral (1996), a elaboração de um Inventário de Movimentos de Massa vem garantir o registro dos processos ocorridos no passado e no presente, gerando assim um banco de dados de análise que pode ser utilizado para a previsão de ocorrências no futuro, bem como para a análise dos fatores que influenciam na deflagração destes movimentos.

Bonuccelli (1999) ressalta que para a minimização dos problemas relacionados à ocorrência dos movimentos gravitacionais de massa, é necessário executar o levantamento dos processos e dos atributos que os influenciam, analisar a relação entre processos e atributos, elaborar um zoneamento ou uma hierarquização das áreas sujeitas a ocorrência desses fenômenos, realizar o levantamento e hierarquização dos danos que eventualmente possam ser produzidos pela deflagração de novos processos ou reativação de antigos e, finalmente, planejar ações e intervenções que permitam gerenciar e minimizar os possíveis danos.

Para a abordagem em questão, menos aprofundada do que as propostas por Fernandes e Amaral (1996) e Bonuccelli (1999), a análise dos processos geodinâmicos ao longo da bacia teve por objetivo apenas identificar as principais feições morfológicas indicativas de movimentos de massa pretéritos deflagrados ao longo da BHRC, para posterior correlação desta informação com os modelos de suscetibilidade propostos e conseqüentemente verificar a aderência entre as informações.

Em um primeiro momento foi elaborado um mapa de ocorrências de movimentos de massa nas áreas urbanas de Mariana e Ouro Preto, a partir de registros ou cadastro de ocorrências da Defesa Civil e Corpo de Bombeiros. Para este trabalho foram utilizados os dados gerados por Bonuccelli (1999), Gomes (2005) e Castro (2006), complementados com a coleta e georreferenciamento dos boletins de Defesa Civil obtidos nos municípios de Mariana e Ouro Preto até o ano de 2013 (Figura 4.10). Não foi o objeto deste estudo a realização de correlações entre os movimentos de massa e índices de chuva, mas apenas visualizar a distribuição espacial das ocorrências visto que tais registros retratam a ação antrópica sobre os diferentes substratos das áreas ocupadas e/ou com alteração de uso. As Figuras 4.11 a 4.16 apenas exemplificam algumas das ocorrências ao longo da bacia.

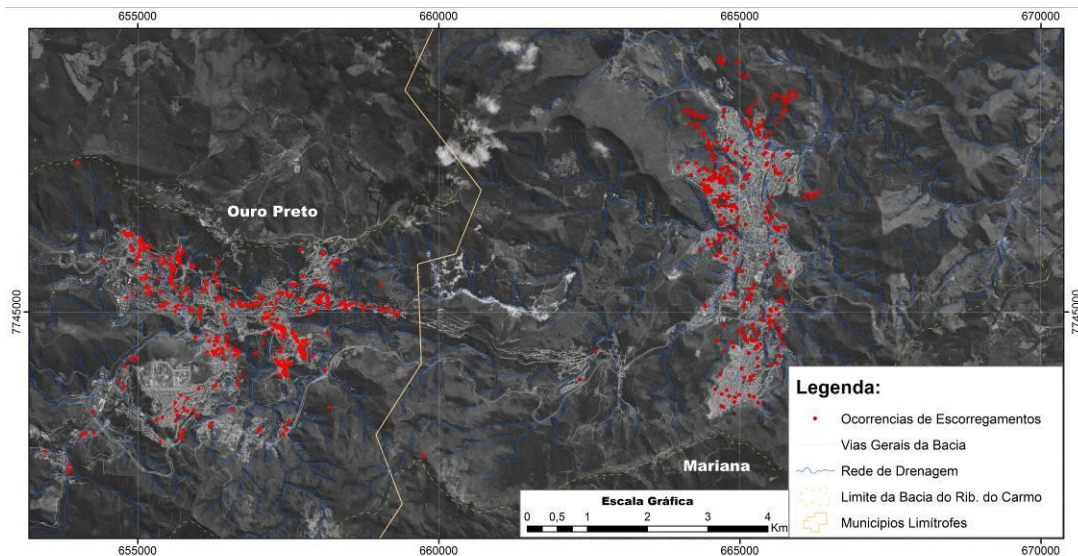


Figura 4. 10 – Distribuição das ocorrências de movimentos de massa para as áreas urbanas de Mariana e Ouro Preto com registro nas Defesas Civas e Corpo de Bombeiros, entre os anos de 1994 e 2013.



Figura 4. 11 – Deslizamento de solo no Bairro Santo Antônio, Mariana, 2012.



Figura 4. 12 – Deslizamento Bairro São Gonçalves, Mariana, 2012.



Figura 4. 13 – Deslizamento Bairro São Gonçalves, Mariana, 2012.

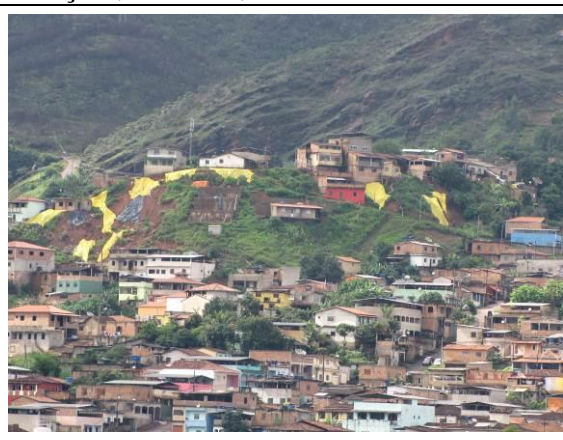


Figura 4. 14 – Deslizamento Bairro Cabanas, Mariana, 2012.



Figura 4. 15 – Deslizamento Rua Treze de Maio, Ouro Preto, 2012.



Figura 4. 16 – Rua Padre Rolim, em frente à Rodoviária de Ouro Preto, 2012.

Em um segundo momento, executou-se o reconhecimento de feições morfológicas indicativas de processos de movimentos de massa e eventos destrutivos de natureza hidrológica pretéritos (cicatrices), cuja análise foi realizada em três etapas: a primeira identificou as cicatrizes a partir das fotos aéreas e ortofotos do ano de 1986; a segunda seguiu o mesmo procedimento, mas utilizando-se da imagem ASTER (2006) e de imagens do *Google Earth* (2014) que recobrem a bacia. As Figuras 4.17 a 4.28 exemplificam parte dos dados obtidos com os procedimentos executados nas etapas 1 e 2.

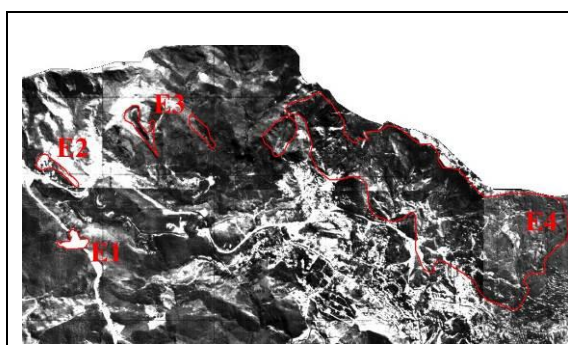


Figura 4. 17 - Serra de Ouro Preto. Área intensamente minerada no século XVII com posterior ocupação desordenada. Pontos E1, E, E3, E4, na Serra de Ouro Preto. Fonte: CEMIG, 1986.

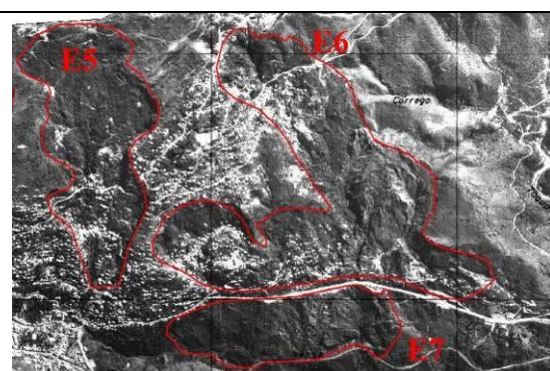


Figura 4. 18 - Serra de Ouro Preto. Área intensamente minerada no século XVII com posterior ocupação desordenada. Pontos E5, E6, E7 na Serra de Ouro Preto, saída para Mariana. Fonte: CEMIG, 1986.

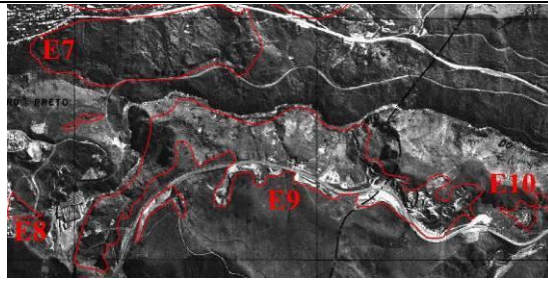


Figura 4. 19 - Feições erosivas e deslizamentos translacionais rasos de solo e rocha. Interferência do sistema viário implantado com desconfinamento em alguns pontos e lançamento das águas pluviais diretamente na encosta. Pontos E7, E8, E9, E10, MG 262, saída para Mariana. Fonte: CEMIG, 1986.

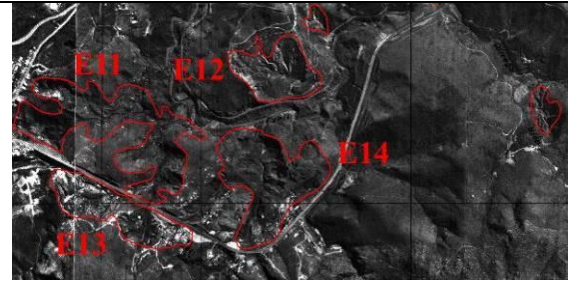


Figura 4. 20 - Processos erosivos lineares antigos. Ocupação da área a partir da década de 1990 agravando mais os problemas. Infraestrutura deficiente. Antiga área de mineração de pirita não reabilitada. Pontos E11, E12, E13, E14, Ouro Preto, Antiga Mina de Pirita e margens da MG 262. Fonte: CEMIG, 1986.

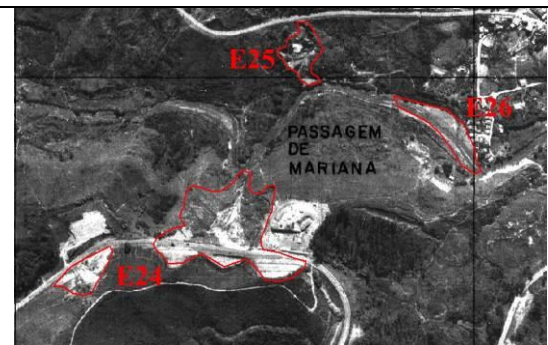


Figura 4. 21 - Cortes verticalizados instáveis ao longo da MG 262 com processos geodinâmicos ativos. Pontos E24, E25, E26, Distrito de Passagem de Mariana. Fonte: CEMIG, 1986.

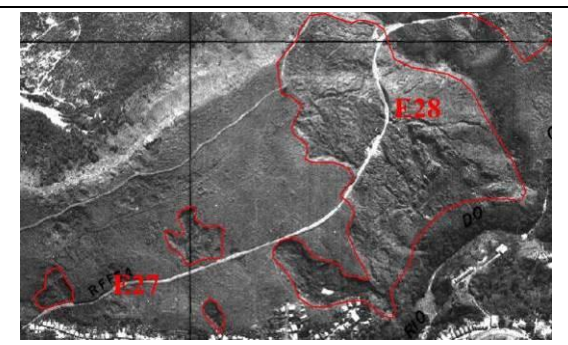


Figura 4. 22 - Charneira do Anticlinal de Mariana. Zona de alívio de tensões de tração. Contato entre os itabiritos resistentes que compõem a formação ferrífera com os xistos alterados do Grupo Nova Lima. Avanço da ocupação e histórico de atividades de mineração no século XVII. Pontos E27, E28, distrito de Passagem de Mariana, Charneira do Anticlinal de Mariana. Fonte: CEMIG, 1986.



Figura 4. 23 - Processos erosivos lineares associados a deslizamentos translacionais rasos de solo. Antiga área de mineração não reabilitada. Ponto E13, E14, antiga Mina de Pirita, Ouro Preto – MG. Fonte: Google Earth, 2014.



Figura 4. 24 - Processos erosivos e deslizamentos translacionais rasos de solo relacionados a retalhamentos em cortes da rodovia inadequados e ao lançamento das águas superficiais diretamente na encosta. Ausência de dispositivos de drenagem superficial nos taludes e de microdrenagem na rodovia. Ponto E15, E16, Ouro Preto – MG. Fonte: Google Earth, 2014.



Figura 4. 25 - Solo exposto. Área não ocupada. Contato entre os filitos fraturados e alterados da Formação Cercadinho com os filitos da Formação Barreiro. Processos erosivos lineares ativos e deslizamentos translacionais de solo e rocha constantes. No ponto E26 tem-se uma intensa deposição de sedimentos e formação de barras laterais com o frequente retrabalhamento das mesmas nos períodos de elevação das vazões. Pontos E26, E27, Mariana – MG. Fonte: Google Earth, 2014.



Figura 4. 26 - Área de exploração de rocha ornamental (quartzitos) no núcleo do anticlinal de Mariana. Além da exploração industrial tem-se a disseminação ao longo da área da exploração por trabalhadores autônomos. A jusante, ao longo do Córrego Seco tem-se pequenos barramentos improvisados para diminuição do transporte de sedimentos. Ponto E28, extração de quartzito, Ouro Preto – MG. Fonte: Google Earth, 2014.



Figura 4. 27 - Processos erosivos no entorno da área ocupada em Mariana. Alguns relacionados à deficiência dos loteamentos e à ocupação de áreas naturalmente instáveis (E36). Ponto E35, E36, Mariana – MG. Fonte: Google Earth, 2014.

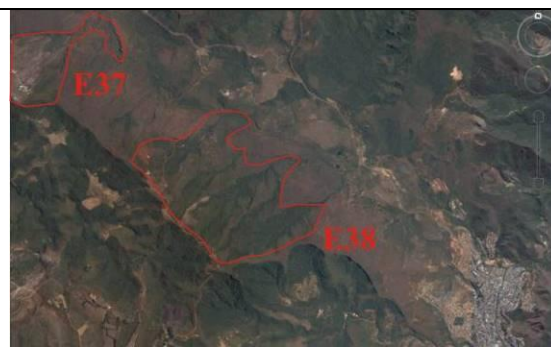


Figura 4. 28 - Serra de Mariana, Bairro Gogo. Ponto E37, E38, Mariana – MG. Fonte: Google Earth, 2014.

A terceira e última etapa referiu-se à avaliação das cicatrizes em campo quanto às suas características gerais, dimensões, estado de atividades, como exemplificado nas Figuras 4.29 a 4.32. Os principais problemas observados foram os processos erosivos lineares e deslizamentos generalizados de solo e rocha, principalmente os deslizamentos translacionais rasos em solo nas cabeceiras da BHRC.



Figura 4. 29 - Deslizamento de solo / rocha. Distrito de Passagem de Mariana, charneira do Anticlinal de Mariana, 2012.



Figura 4. 30 – Deslizamentos de solo rotacionais e translacionais na cabeceira da BHRC – Ouro Preto, 2012.



Figura 4. 31 – Deslizamentos a montante do Birro Jardim Alvorada, Ouro Preto, 2012.



Figura 4. 32 – Deslizamento próximo à Rua dos Inconfidentes, Praça da Estação, Ouro Preto, 2012.

A integração de todas as informações e sua inserção no banco de dados com delimitação em mapa (Figura 4.33 e Anexo I) permitiu, além de uma análise espacial dos processos, a relação destes com as unidades geológicas, com o uso e ocupação do solo urbano e rural, bem como permitiu a validação das análises de suscetibilidade aqui geradas.

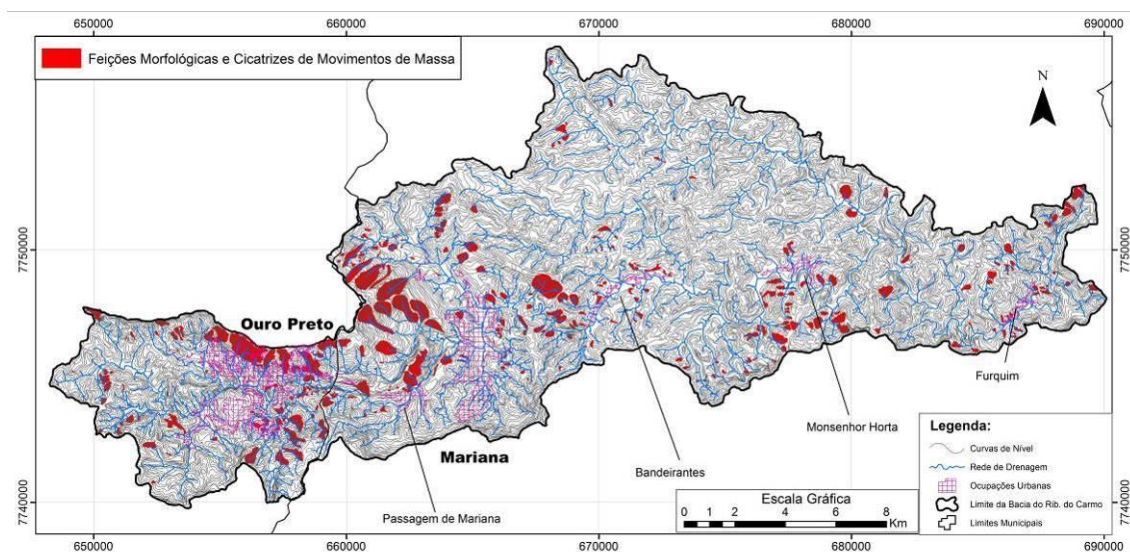


Figura 4. 33 – Processos geodinâmicos / cicatrizes identificadas ao longo da bacia do Ribeirão do Carmo tomando-se como base as ortofotos do ano de 1986, as imagens *Google Earth* disponíveis e trabalhos de campo.

4.1.3.1.6 TRABALHOS DE CAMPO

Os trabalhos de campo se iniciaram na fase de inventário e reconhecimento da área, e se concentraram nesta etapa na validação e análise dos produtos cartográficos gerados

(compilações, adaptações, derivações, interpretações), que foram integrados posteriormente em ambiente SIG.

4.1.3.1.7 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA PRELIMINAR

A caracterização geotécnica aqui apresentada baseou-se em observações de campo e principalmente estudos e trabalhos de laboratório anteriormente realizados para o Quadrilátero Ferrífero (Silva, 1990), para os Municípios de Ouro Preto (Carvalho, 1982; Sobreira, 1990) e Mariana (Sobreira, 2000) encontrando-se descritas no Capítulo 3, Item 3.1.

4.1.3.1.8 INTEGRAÇÃO DE DADOS E ELABORAÇÃO DAS CARTAS DE SUSCETIBILIDADE A PROCESSOS GEODINÂMICOS

Uma carta de suscetibilidade tem finalidade multiuso (planejamento urbano, rural/agrícola; implantação de estruturas lineares como vias, dutos, linhas etc.; planos de reabilitação etc.). No caso das cidades, por exemplo, esta carta poderá auxiliar na identificação das áreas mais e/ou menos adequadas para urbanização numa visão macro do sistema, bem como na proposta do mapeamento progressivo e na necessidade de avaliações de detalhe em relação ao risco para os trechos já ocupados. Assim, a representação das cartas de suscetibilidade deve ser simples e clara e por este motivo decidiu-se por representar os processos geológicos e hidrológicos isoladamente, podendo-se agregar posteriormente as informações em um produto cartográfico único, de síntese.

Na integração dos dados as bases temáticas têm importância diferenciada em relação ao processo analisado e sempre estará em aberto a questão da importância de ponderações e adoção de valores ou índices para as unidades temáticas. As técnicas e métodos para estes procedimentos, como já abordado, são muito variados e dependentes de outros fatores, mas principalmente das escalas das bases fundamentais de análise. Os modelos em SIG podem traçar cenários, simulações de fenômenos, com base em tendências observadas ou julgamentos de condições estabelecidas, e buscam a representação simplificada da realidade, através da seleção dos aspectos mais relevantes, procurando respostas sobre correlações e comportamentos de variáveis ambientais. Neste trabalho

conforme, descrito anteriormente, em relação às incertezas e limitações existentes, decidiu-se adotar o método qualitativo correlacionando a análise geomorfológica e a combinação algébrica de mapas temáticos

Entretanto, diferentemente da maioria dos modelos de análise de suscetibilidade, cabe ressaltar que para este trabalho, após o processamento dos dados para geração das classes de suscetibilidade, cada área definida como de suscetibilidade alta a movimentos de massa foi reinterpretada considerando a morfologia dos terrenos e a estimativa do volume de material a ser mobilizado, resultando em uma nova delimitação de todos os polígonos desta classe, de forma a considerar as áreas de atingimento em caso de deflagração do processo geodinâmico propriamente dito.

Inicialmente a BHRC foi dividida em duas partes. Na primeira, referente à porção oeste englobando os terrenos do QF, foram utilizadas curvas de nível na escala 1: 25.000. A segunda refere-se à porção leste, onde a única base de dados disponível encontra-se na escala 1:50.000. As figuras 4.34 e 4.35, representativas das declividades locais exemplificam a divisão supracitada da bacia.

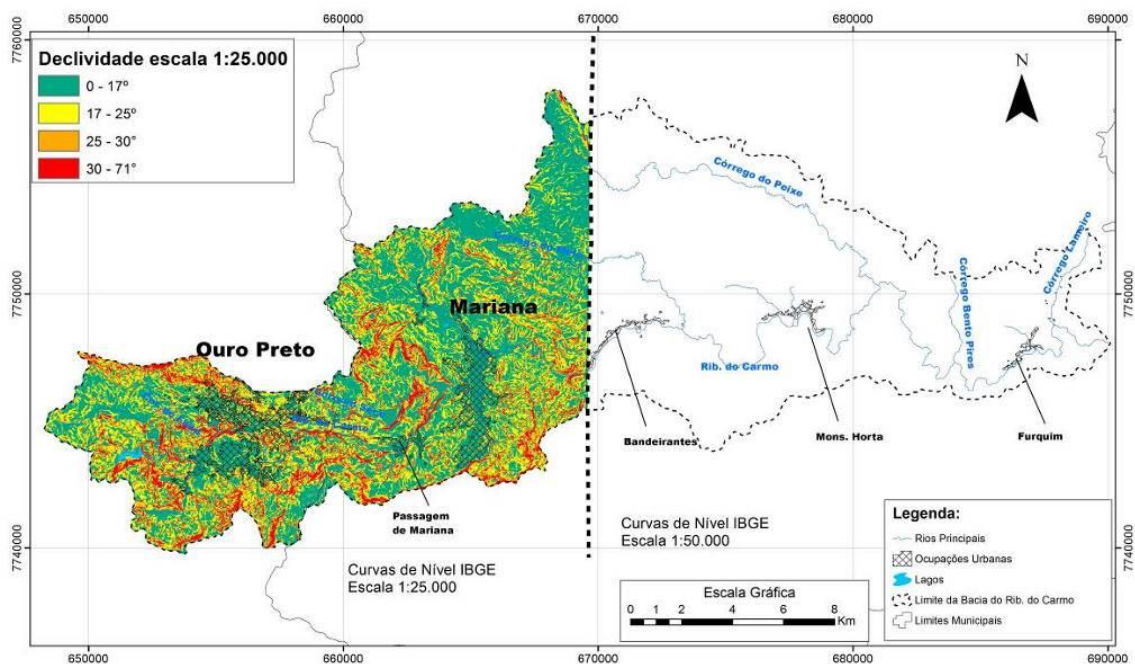


Figura 4. 34 – Declividades obtidas a partir da base topográfica na escala 1:25.000 com recobrimento do Quadrilátero Ferrífero.

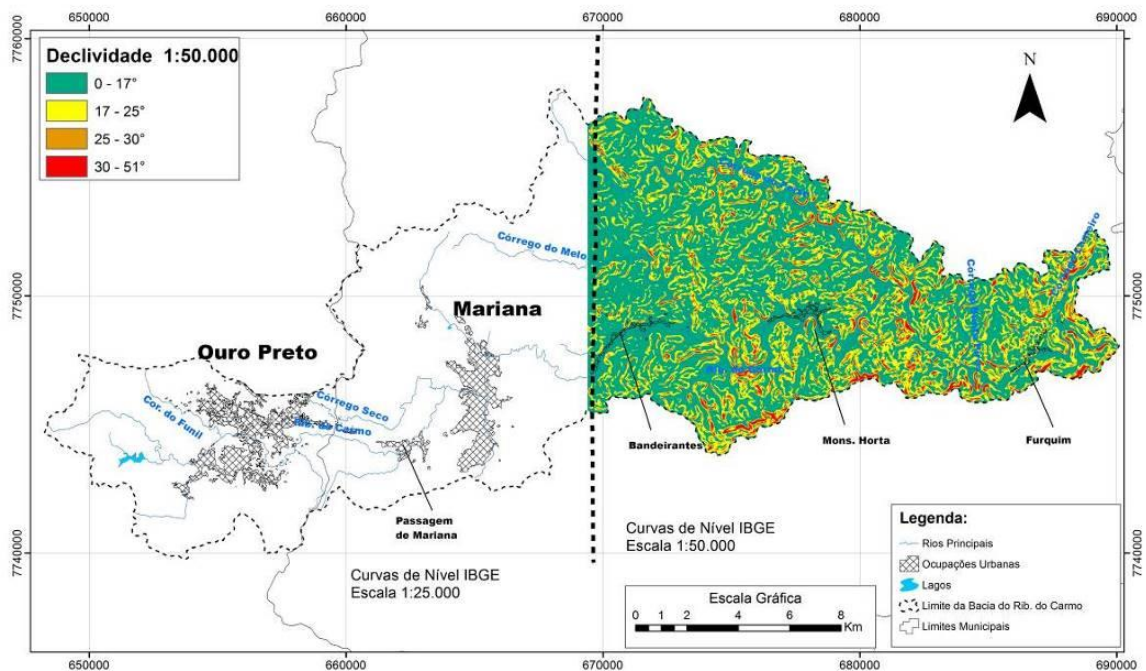


Figura 4. 35 – Declividades obtidas a partir da base topográfica na escala 1:50.000 com recobrimento do embasamento cristalino, porção leste da bacia.

O processo cartográfico de elaboração dos modelos de suscetibilidade iniciou-se com a geração de Modelos de Elevação Hidrológicamente Corretos (MDEHC) para cada uma das duas partes, com correção das depressões espúrias. Foram derivados do MDEHC arquivos *Raster* que expressam diferentes características da Bacia: declividade (*Slope*) em graus, curvatura (*Curvature*) e direção de encostas (*Aspect*). A partir do mapa geológico estrutural (Caderno de Mapas) foram extraídas as informações relacionadas às direções e mergulhos das foliações segundo CPRM (1993) e CODEMIG (2005).

Os dados obtidos e tratados na etapa inicial alimentaram um sistema de informação georeferenciado preliminar contemplando, neste caso, a modelagem numérica da superfície do terreno e a modelagem cinemática dos dados das foliações das rochas.

Os dados estruturais referentes às foliações das rochas foram interpolados seguindo dois processos de interpolação, a partir da direção dos ângulos de mergulho (Figura 4.36) e, também, usando-se o valor absoluto da inclinação das foliações (Figura 4.37). Foram utilizados, com o propósito de se obter duas superfícies contínuas que representam especificamente:

- A distribuição espacial dos valores medidos de mergulho das foliações;
- A distribuição espacial dos valores medidos da direção do mergulho das foliações.

O método de interpolação empregado foi o inverso do quadrado da distância. No caso específico da distribuição dos valores medidos de mergulho da foliação, o resultado da interpolação pode ser visualizado a partir do agrupamento de intervalos distintos de intensidades de mergulho em classes.

As interpolações foram correlacionadas ao modelo digital do terreno e ao mapa de direção das encostas gerado a partir deste (Figura 4.38).

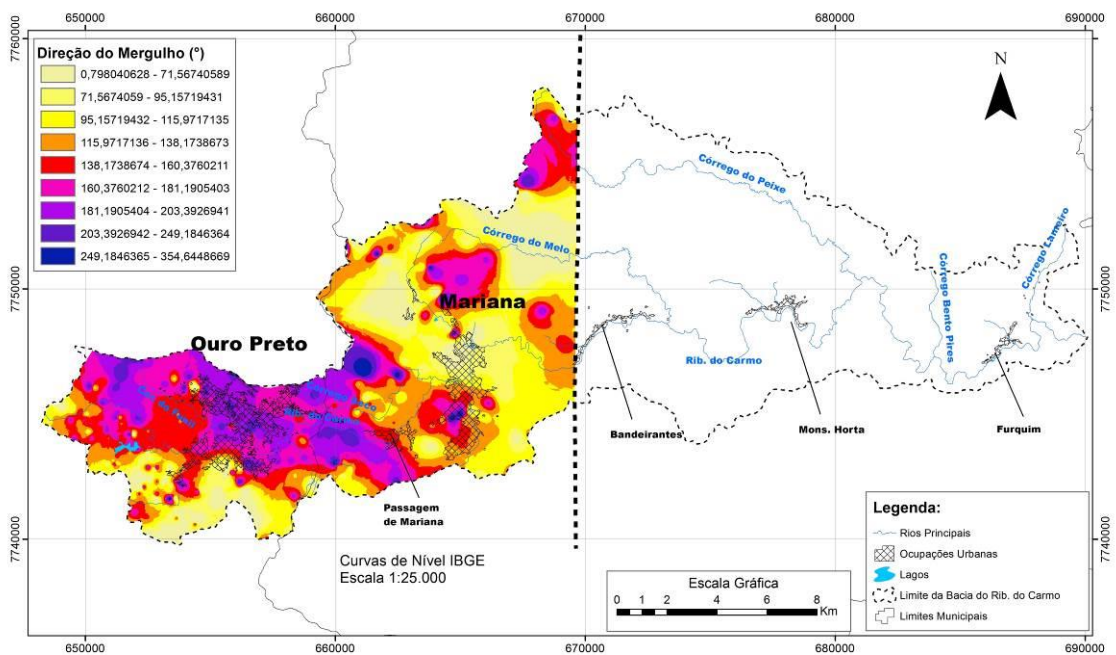


Figura 4. 36 – Interpolação das direções de mergulhos das foliações, porção oeste da BHRC.

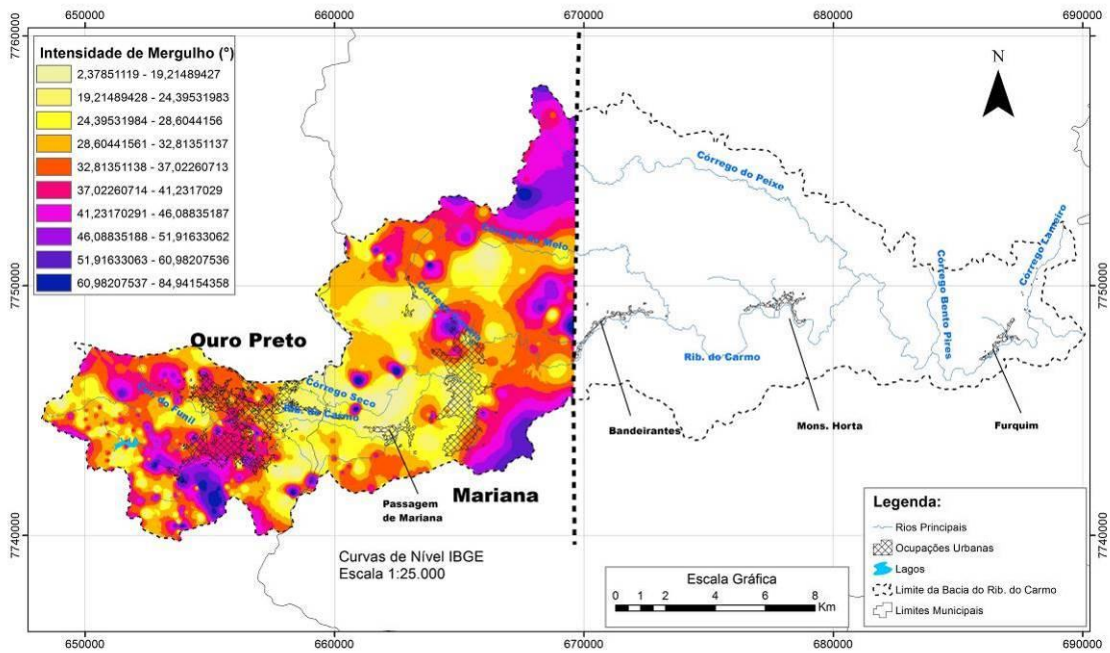


Figura 4. 37 – Interpolação das intensidades de mergulhos das foliações, porção oeste da BHRC.

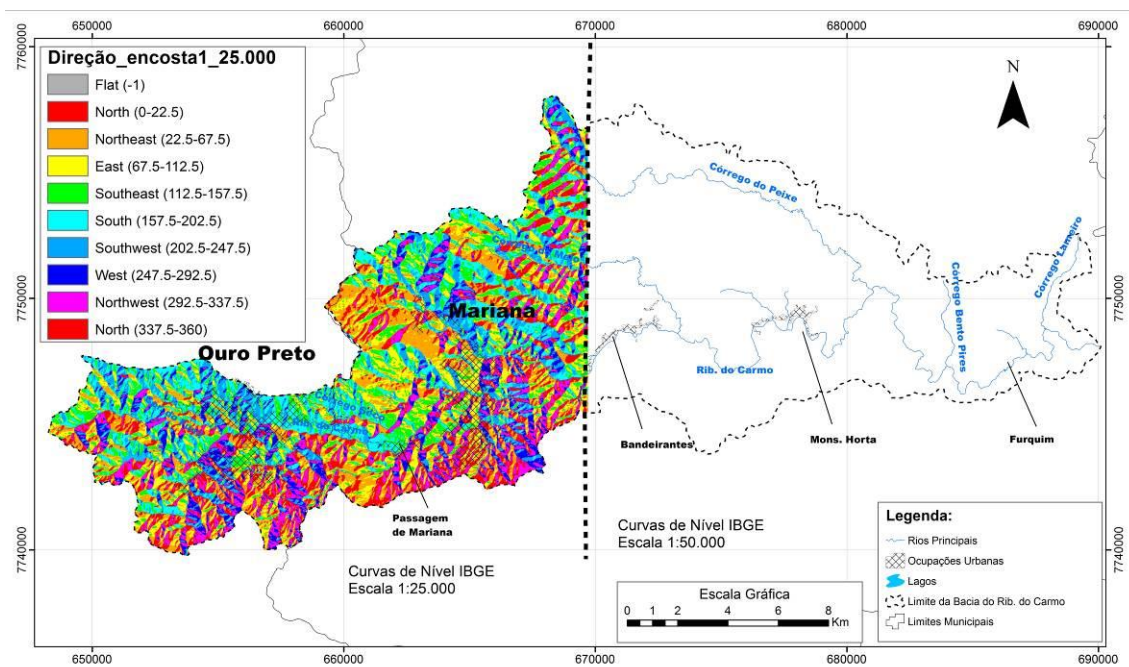


Figura 4. 38 – Classificação da direção das encostas da porção oeste da BHRC.

Definidas e interpoladas as direções e mergulhos das encostas, e as direções e mergulhos das principais famílias de descontinuidade tornou-se possível comparar a

relação entre ambas. O modelo de avaliação de estabilidade de taludes, através da técnica da análise cinemática, neste caso, foi utilizado por se estar considerando maciços rochosos com estruturas geológicas marcantes (foliações), o que permite uma visualização simplificada e rápida do estado de confinamento e desconfinamento dos maciços. Na prática, os maciços rochosos possuem várias famílias de descontinuidades, que podem condicionar a deflagração de mais de um tipo ou geometria de instabilização. Entretanto, na área em questão, os processos de deslizamentos planares são os mais significativos, sendo os processos de ruptura em cunha e tombamentos menos significativos para a análise nesta escala. Assim, o objetivo da modelagem foi avaliar a possibilidade de ocorrência de rupturas planares, sendo para isso necessário que se tenha além de um paralelismo entre as direções das foliações e a direção dos taludes, o mesmo sentido de caimento (Figura 4.39).

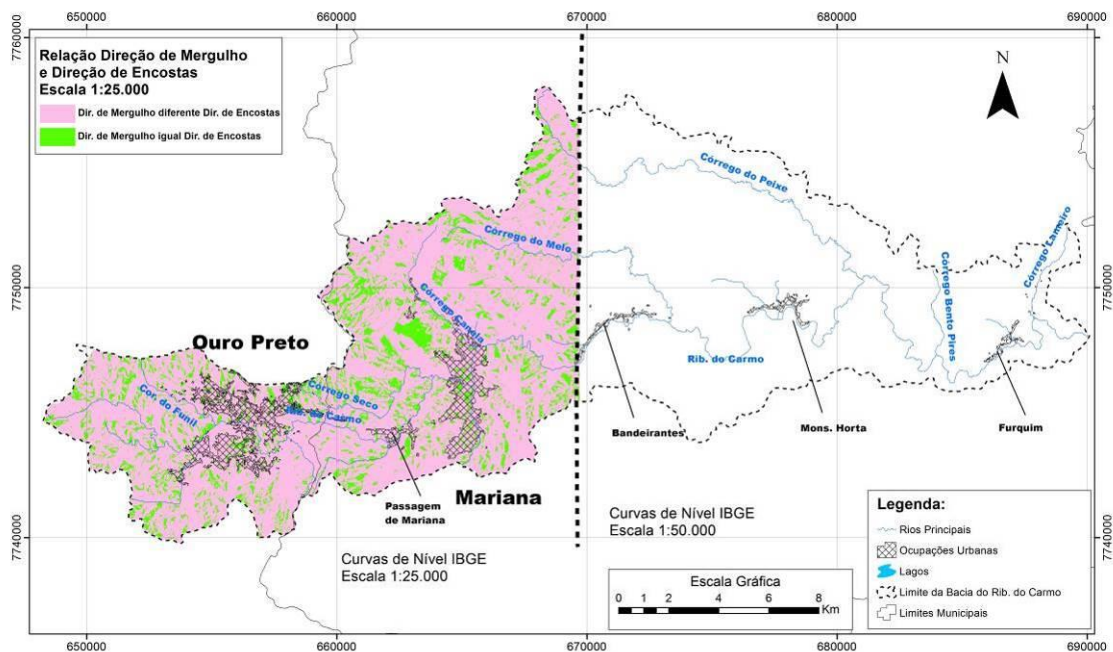


Figura 4. 39 – Modelo cinemático regional: Relação angular entre a direção das encostas e a direção de mergulho das foliações favoráveis a rupturas planares de solo e rocha.

Mesmo assim, apenas a relação entre a direção das encostas e a das foliações não é suficiente para que ocorram rupturas planares, sendo necessário também que os mergulhos das foliações sejam inferiores à inclinação do talude/encosta e que a tensão cisalhante seja superior à tensão normal (aqui não considerado). O modelo cinemático

obtido anteriormente foi novamente trabalhado, considerando a soma entre a condição de paralelismo anteriormente alcançada (Figura 4.39), com as áreas onde os ângulos de mergulho das foliações são menores que os ângulos de inclinação das encostas (Figura 4.40). Os valores das tensões cisalhantes e tensões normais só podem ser obtidos por ensaios de laboratório.

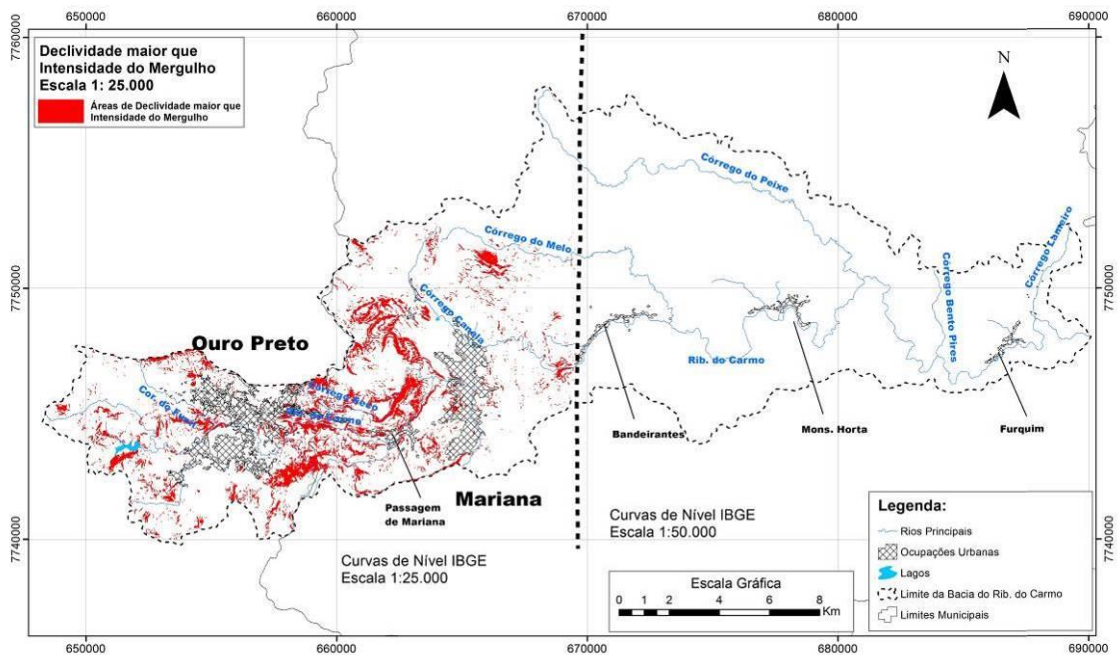


Figura 4. 40 - Modelo cinemático regional: Relação angular entre a direção das encostas e a direção de mergulho das foliações favoráveis a rupturas planares de solo e rocha e ângulo de inclinação das foliações menor que o ângulo de inclinação das encostas.

Pode-se considerar que as propriedades mais significativas dos materiais, nas discussões de problemas de estabilidade, são o ângulo de atrito e a coesão de solos e rochas. Assim, para fins de comparação, as análises levaram em consideração os parâmetros de resistência usuais e necessários para a caracterização geotécnica local dos terrenos da BHRC, bem como para os modelos geomecânicos, que têm por finalidade identificar e delinear em cada litotipo as características de resistência e deformabilidade, associados às feições estruturais que interagem nas condições de estabilidade dos taludes. Especificamente para a análise do parâmetro atrito, as rochas com ocorrência espacial mais significativas na área de análise (xistos e filitos, itabiritos, gnaisses e quartzitos) possuem comumente, conforme literatura técnica específica, atritos que se enquadram no intervalo de 20° a 30°, o que já permite uma comparação direta, mesmo que

simplificada, entre o resultado da interpolação dos mergulhos das foliações e parâmetros de campo e laboratório.

Levando-se em consideração que um dos objetivos desta análise espacial foi a elaboração de um modelo cinemático regional, é importante destacar que esta modelagem está condicionada, apenas, à principal família de descontinuidade (foliação) já que as demais famílias de descontinuidades (famílias de fraturas) não estão disponíveis neste nível de análise, pois o processo geodinâmico mais significativo suscetível de deflagração nas faixas dos domínios dos xistos, filitos, itabiritos e quartzitos são os deslizamentos translacionais rasos de solo e rocha, cujas foliações condicionam a geometria e volume de solos passíveis de serem mobilizados.

É importante ressaltar que a determinação das áreas mais propensas, do ponto de vista cinemático, para a ocorrência de rupturas planares, mesmo que na escala regional, caracteriza-se como um importante instrumento de gestão, que permite a identificação dos trechos de encostas onde quaisquer intervenções, tais como vias de acesso, linhas de transmissão, ramais ferroviários, bem como outras obras lineares de infraestrutura sejam implantadas.

A definição dos intervalos das classes de suscetibilidade, principalmente em relação às faixas de declividade e forma das encostas levou em consideração:

1 – A caracterização geotécnica de solos e rochas obtidos em trabalhos anteriores (Silva, 1990; Carvalho, 1982; Sobreira, 1990, Souza, 2004), e descrita no Capítulo 3 para uma leitura comparativa com o modelo elaborado,

2 - O fato de 17° representar uma restrição legal para ocupação definida pela Lei 6766/1979,

3 - As considerações de Marsh (1978) que propõem que o valor de 25° é o limite para intervenções, a partir do qual, se eliminada a cobertura vegetal, os terrenos passam a apresentar maior suscetibilidade ao desenvolvimento de processos erosivos e movimentação de massas,

4 - As análises de campo, com avaliação de feições morfológicas e cicatrizes de deslizamentos pretéritos, onde as vertentes convexas se mostraram menos suscetíveis a movimentos de massa do que vertentes côncavas, conforme também foi descrito por Guerra (1998) e Fernandes e Amaral (1996).

5 – Conhecimento especialista e análise do histórico de ocorrências de movimentos de massa e de feições indicativas destes (cicatrizes) nas áreas ocupadas. A partir desta análise as unidades geológicas Barreiro, Caraça Batatal, Cercadinho Filito Preto Dolomítico, Cercadinho Filito, Feicho do Funil e Sabará são as que apresentam maior recorrência de movimentos de massa. Complementar a esta análise foram gerados para análise em relação aos terrenos com ocorrência das unidades geológicas supracitadas histogramas para a determinação das frequências das direções das encostas e suas declividades, bem como a direção e ângulo dos mergulhos das foliações (Figuras 4.41 a 4.44).

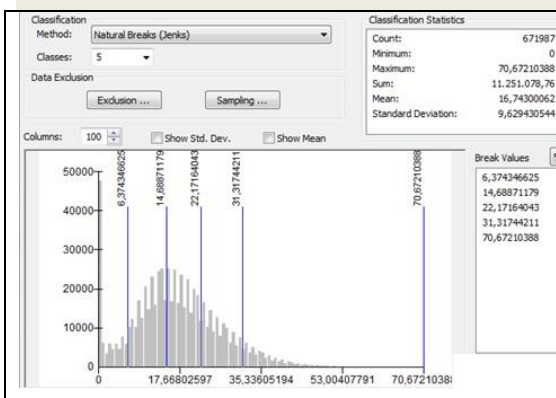


Figura 4. 41 – Histogramas de frequência da inclinação das encostas em relação às unidades geológicas com maior recorrência de movimentos de massa. Inclinação média de 16,7°.

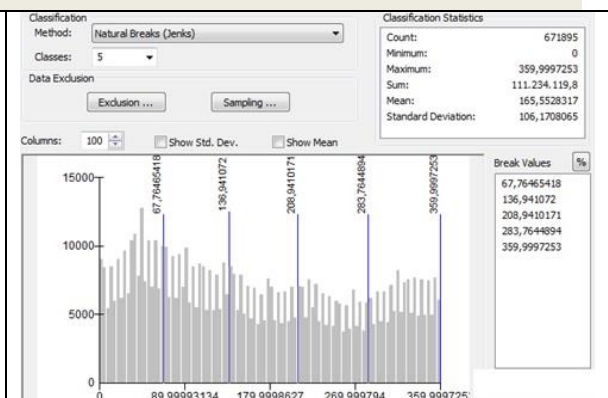


Figura 4. 42 – Histograma de frequência da direção de mergulho das encostas em relação às unidades geológicas com maior recorrência de movimentos de massa.

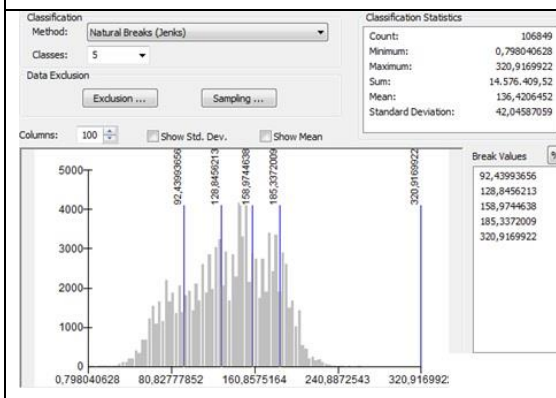


Figura 4. 43 – Histograma de frequência da direção de mergulho da foliação (110 a 150°), em relação às unidades geológicas com maior recorrência de movimentos de massa

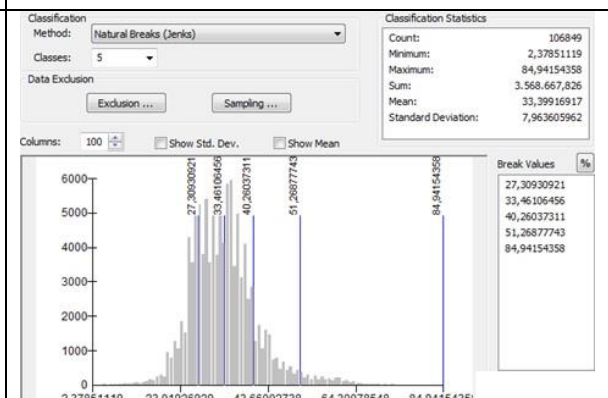


Figura 4. 44 – Histograma de frequência do ângulo de mergulho da foliação, em relação às unidades geológicas com maior recorrência de movimentos de massa. Inclinação média de 33,4°.

A partir das informações obtidas foram propostos os seguintes critérios para análise e classificação das suscetibilidades para os terrenos estruturados do QF.

1 - Suscetibilidade Baixa a Movimento de Massa: terrenos com declividades inferiores a 17° (Côncavo, Retilíneo, Convexo) excluindo-se as Planícies Aluviais.

2 - Suscetibilidade Média a Movimento de Massa: terrenos com declividades variando entre 17° a 25° para as vertentes convexas, côncavas e retilíneas, somado a terrenos com declividade variando entre 25° e 30° em vertentes convexas e retilíneas, quando a direção de encosta for diferente da direção de mergulho da foliação.

3 - Suscetibilidade Alta a Movimento de Massa: terrenos com declividades variando entre 25° e 30° para as vertentes convexas e retilíneas, quando a direção de encosta for igual a direção de mergulho das foliações, somado aos terrenos com declividade variando entre 25° e 30° graus em vertentes côncavas, mais os terrenos com declividades acima de 30° excetuando as áreas classificadas como de suscetibilidade muito alta.

4 - Suscetibilidade muito alta: terrenos com declividades acima de 30° quando a direção de encosta for igual a direção de mergulho das foliações, especificamente no caso de ocorrência das unidades geológicas com ocorrência de xistos e filitos, e quando o ângulo de inclinação das encostas for maior do que ângulo de inclinação do mergulho das foliações)

O passo seguinte foi a construção dos mapas por meio de álgebra, somando-se ao resultado obtido deste procedimento a reinterpretação dos polígonos classificados como de suscetibilidade muito alto e alta, de forma a contemplar as áreas de atingimento (tomando-se como base a relação entre a forma dos terrenos, e a tipologia e características do processo geodinâmico em avaliação). O uso de geoprocessamento permitiu a análise direta entre as unidades geológicas, os ângulos e direções de mergulho das litologias, direção das encostas, formas dos terrenos e declividades preponderantes, como suporte à elaboração de um mapa de suscetibilidade a deslizamentos translacionais rasos para a BHRC (Figura 4.45 e Anexo I).

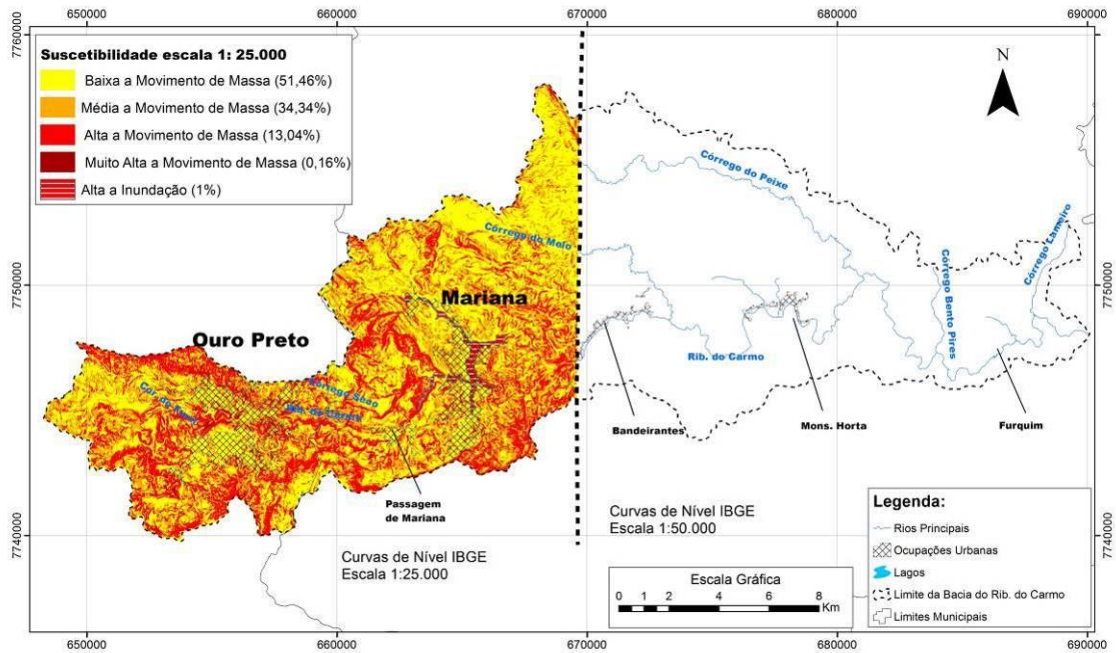


Figura 4. 45 – Carta de suscetibilidade da porção Oeste da BHRC na escala 1:25.000.

Cabe ressaltar que o detalhamento dos dados estruturais, a partir de outros projetos e estudos específicos, bem como uma caracterização geotécnica por meio de ensaios de laboratório e de análises estabilidade permitirão a atualização dinâmica e o refinamento progressivo do modelo de análise proposto, inclusive em relação aos dados de entrada.

Para efeito de comparação e com o intuito de avaliar o uso da escala 1:25.000 (adotada) para análise de suscetibilidade proposta por Sobreira e Souza (2012), o mesmo procedimento descrito para a escala 1:25.000 foi replicado na mesma área, mas agora na escala 1:50.000. A figura 4.46 (e Anexo I) retrata a carta de suscetibilidade obtida corroborando para a proposição da importância de que estas sejam geradas na escala 1:25.000.

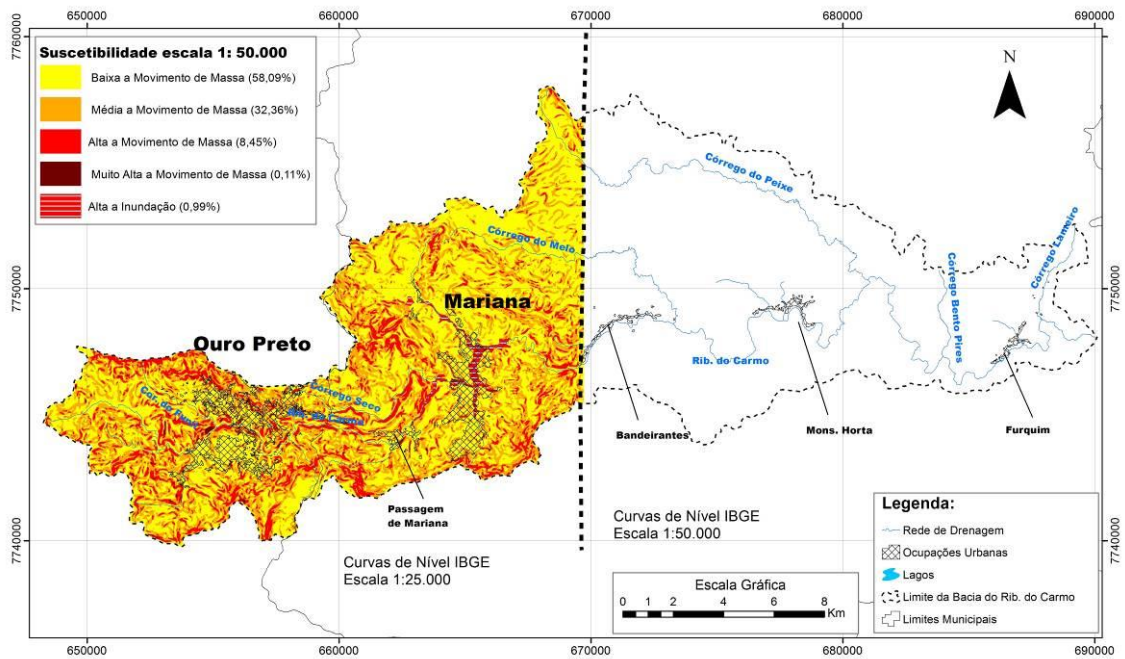


Figura 4. 46 – Carta de suscetibilidade a deslizamentos da porção oeste da BHRC na escala 1:50.000.

A Figura 4.47 retrata a variação percentual em área das classes de suscetibilidade geradas nas escalas 1:25.000 e 1:50.000 na porção oeste da BHRC, ficando claro que em terrenos condicionados estruturalmente, como no caso do Quadrilátero Ferrífero, a escala 1:50.000 aplicada na análise diminuiu consideravelmente (~50%) as áreas identificadas como de alta suscetibilidade a movimentos de massa, passando estas de 13,96 km² (escala 1:50.000) para 21,58 km² (escala 1:25.000), o que traz implicações diretas para as análises de aptidão à urbanização e ordenamento territorial.

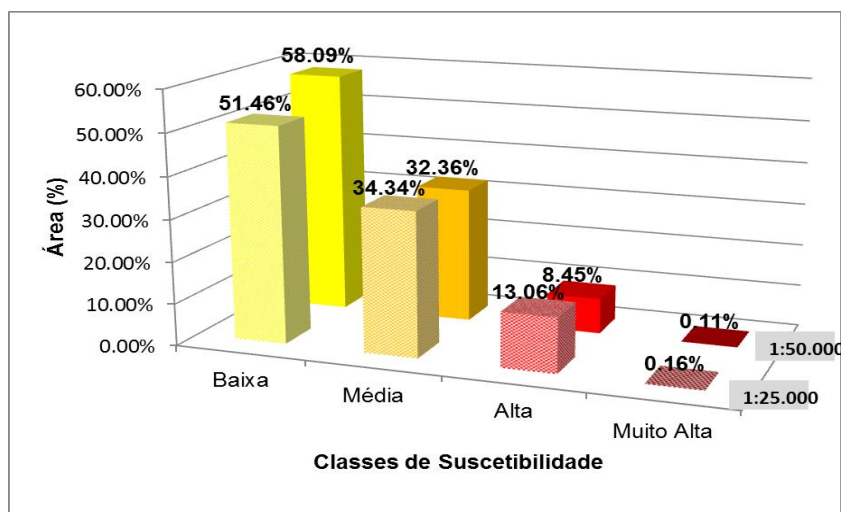


Figura 4. 47 – Variação no percentual de classificação da suscetibilidade da porção oeste da BHRC considerando a utilização das escalas 1:25.000 e 1:50.000 na análise.

Para a complementação da análise da suscetibilidade a movimentos translacionais rasos de todo o território da BHRC, a porção leste da bacia também foi estudada conforme metodologia específica, considerando a predominância do embasamento cristalino, onde o número de informações geológicas e estruturais é menor do que o existente para a área compreendida pelo QF. A base topográfica disponível encontra-se apenas na escala 1:50.000, ressaltando-se aqui que os trabalhos de campo para reconhecimento dos terrenos foram fundamentais para um melhor entendimento dos condicionantes dos processos geodinâmicos. Para esta região foram propostos os seguintes critérios para análise e classificação das suscetibilidades:

1 - Suscetibilidade Baixa a Movimento de Massa: terrenos com declividades inferiores a 17° (Côncavo, Retilíneo, Convexo) excluindo-se as Planícies Aluviais.

2 - Suscetibilidade Média a Movimento de Massa: terrenos com declividades variando entre 17° e 25° para vertentes côncavas, retilíneas e convexas, e terrenos com declividades variando entre 25° - 30° e vertentes convexas.

3 - Suscetibilidade Alta a Movimento de Massa: terrenos com declividades variando entre 25° a 30° e vertentes côncavas e retilíneas, e terrenos com declividades acima de 30° e vertentes côncavas, retilíneas e convexas.

A Figura 4.48 (e Anexo I) sintetiza os resultados obtidos a partir da álgebra de mapas. Ressalta-se mais uma vez que após a modelagem dos dados as áreas identificadas como de suscetibilidade alta foram reinterpretadas para englobarem, também, as áreas de atingimento dos processos geodinâmicos, em caso de deflagração destes. Este procedimento foi realizado diretamente sobre a base cartográfica considerando a morfologia dos terrenos e o volume estimado de material a ser mobilizado.

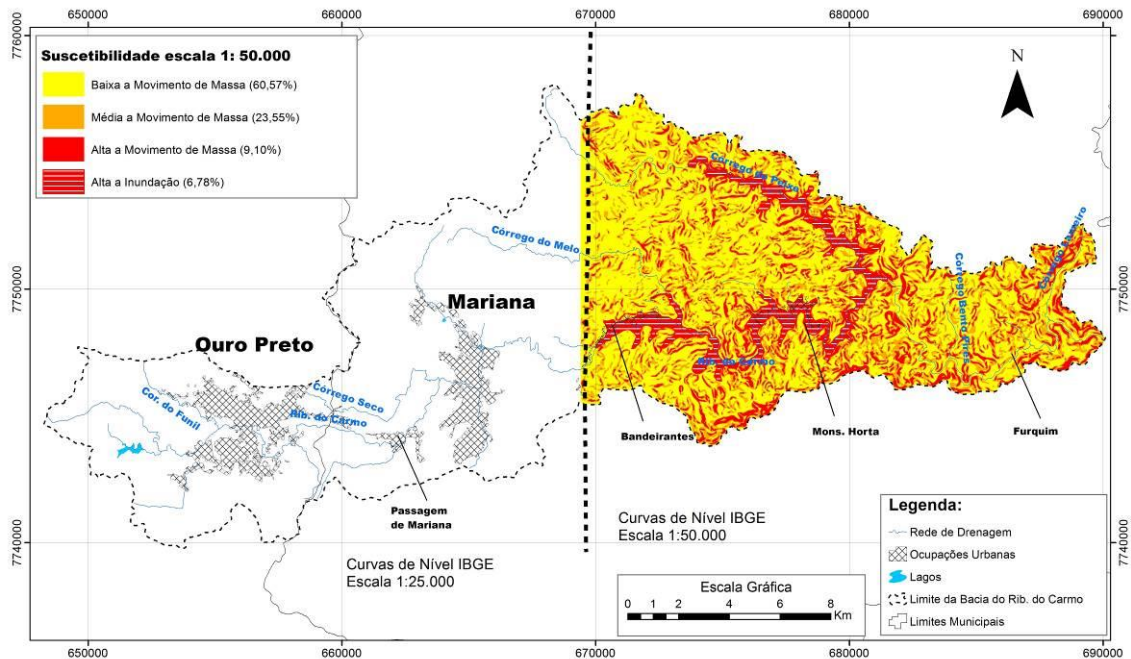


Figura 4. 48 – Carta de suscetibilidade da porção leste da BHRC na escala 1:50.000.

O resultado final proposto para a cartografia geotécnica de suscetibilidade a deslizamentos translacionais rasos de solo e rocha para a BHRC pode ser visualizado na Figura 4.49 (e Anexo I). As áreas suscetíveis a inundações foram inseridas a partir da análise geomorfológica e do histórico de atingimentos, análise esta abordada a seguir com mais detalhe.

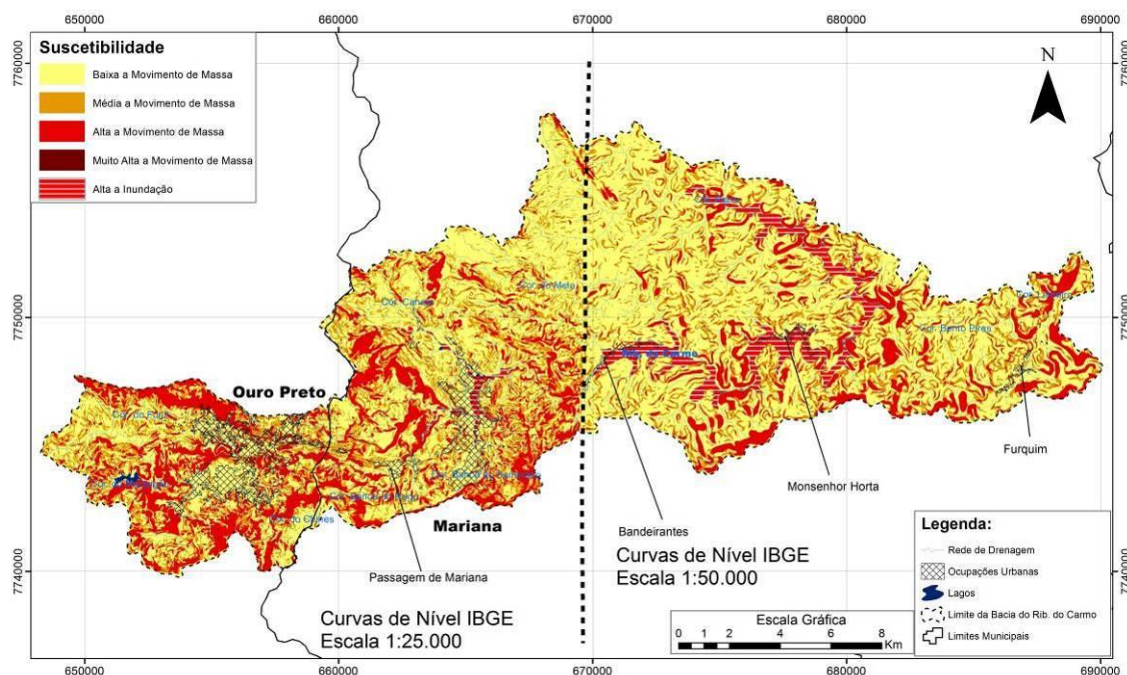


Figura 4. 49 – Carta final de suscetibilidade da BHRC.

Apenas para efeito de visualização, na figura 4.50 tem-se a correlação entre o mapa de suscetibilidade final gerado e o mapa das feições morfológicas e cicatrizes de movimentos de massa. Embora tenha sido alcançado uma boa correlação dos dados validando a proposta metodológica para esta análise de suscetibilidade, cabe destacar a dificuldade que se tem para a geração de eventuais mapas de eventos, considerando as bases de dados disponíveis sem recorrência temporal e correlação de escala, bem como a falta de sistematização na obtenção dos imageamentos imediatamente após a deflagração de eventos pluviométricos significativos, o que certamente possibilitaria melhores análises heurísticas, estatísticas e determinísticas.

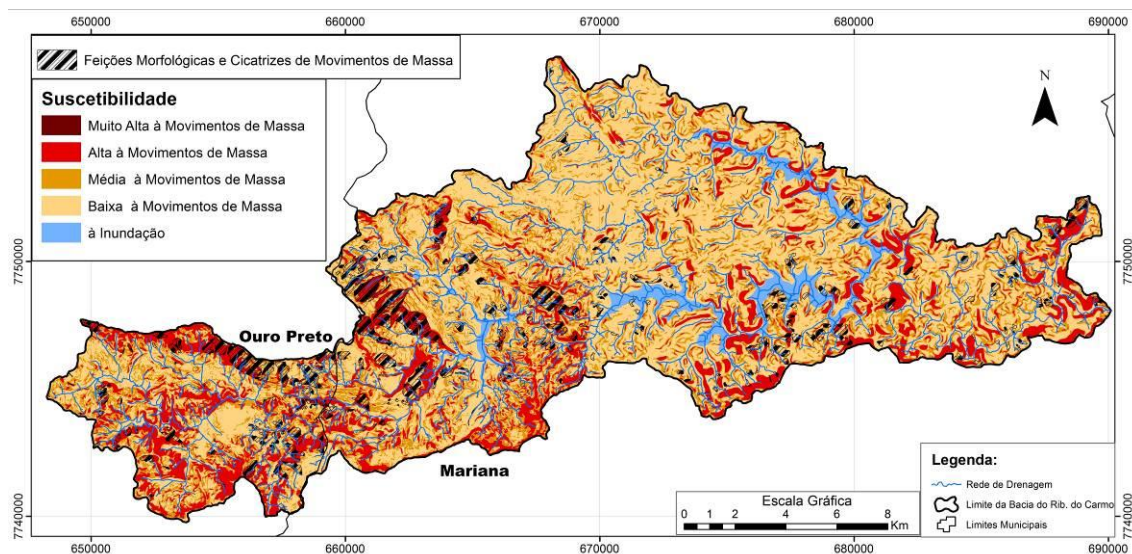


Figura 4. 50 – Correlação entre a Carta de Suscetibilidade da BHRC e as feições morfológicas e cicatrizes de movimentos de massa.

Para cada arcabouço geológico-estrutural os elementos de análise podem ser distintos ou ter pesos diferentes conforme a tipologia do deslizamento. Para deslizamentos translacionais a estruturação do substrato prevalece, seguida do tipo e características do material (solo ou rocha) e a declividade/ inclinação. A avaliação da susceptibilidade aos diversos processos possibilita o diagnóstico dos terrenos quanto ao seu potencial para suportar a urbanização (ocupação inicial ou consolidação de ocupação pré-existente). Entretanto, a determinação de áreas para o estudo de detalhe na escala de projeto ($>1:10.000$) deve considerar a proposta de mapeamento progressivo, na qual propõe-se que as áreas identificadas como de susceptibilidade alta na escala 1:25.000 devem ser inicialmente excluídas, ficando as análises de detalhe para as áreas de média e baixa susceptibilidade, dentre as quais seleciona-se aquelas em condições mais favoráveis, para a progressão dos estudos em escala de detalhe.

Desta forma, a análise de susceptibilidades a processos geológicos e hidrológicos deve ser vista como um elemento orientativo de diagnóstico mais geral, servindo de base para o planejamento da ocupação do solo, mas não deve ter caráter restritivo ou determinativo de uso definitivo, mesmo que toda uma área seja considerada de alta susceptibilidade aos processos em análise.

4.1.4 SUSCETIBILIDADE A QUEDA E ROLAMENTO DE BLOCOS ROCHOSOS

Os processos geodinâmicos de queda e rolamento de blocos são movimentos rápidos de blocos e/ou lascas de rochas caindo pela ação da gravidade sem a presença de uma superfície de deslizamento. São favorecidos pela presença de descontinuidades na rocha, tais como fraturas e bandamentos composicionais, assim como pelo avanço dos processos de intemperismo físico e químico. Neste trabalho a identificação e cartografia deste processo poderia ter seguido os mesmos procedimentos adotados para as análises de suscetibilidade a deslizamentos, mas agora buscando correlação inversa entre a direção das encostas e as direções de mergulho, somando-se a este procedimento as unidades geológicas onde este processo pode ocorrer. Entretanto, ao se considerar o extensivo trabalho de campo realizado para o desenvolvimento de todas as temáticas que englobam este estudo, o fato deste processo geodinâmico estar condicionado principalmente à porção leste da bacia nos terrenos pertencentes ao Quadrilátero Ferrífero, na qual a estruturação e reconhecimento do substrato estão bem definidos, a delimitação das áreas de suscetibilidade foi executada por interpretação direta (avaliação heurística) sobre o mosaico de ortofotos na escala 1:10.000 e sobre as imagens de satélite disponíveis. Os processos de queda e rolamento de blocos rochosos possuem ocorrência em área restrita ao longo das encostas íngremes da escarpa rochosa da Serra do Itacolomi, além da possibilidade de ocorrência nas bordas internas da Serra de Ouro Preto, no trecho encaixado do ribeirão do Carmo no limite entre os municípios de Ouro Preto e Mariana, e em trechos com ocorrência da unidade Maquiné, na Serra do Gambo, porção norte da bacia. A Figura 4.51 (e Anexo I) retrata as áreas classificadas como de alta suscetibilidade à deflagração de processos geodinâmicos do tipo queda e rolamento de blocos rochosos.

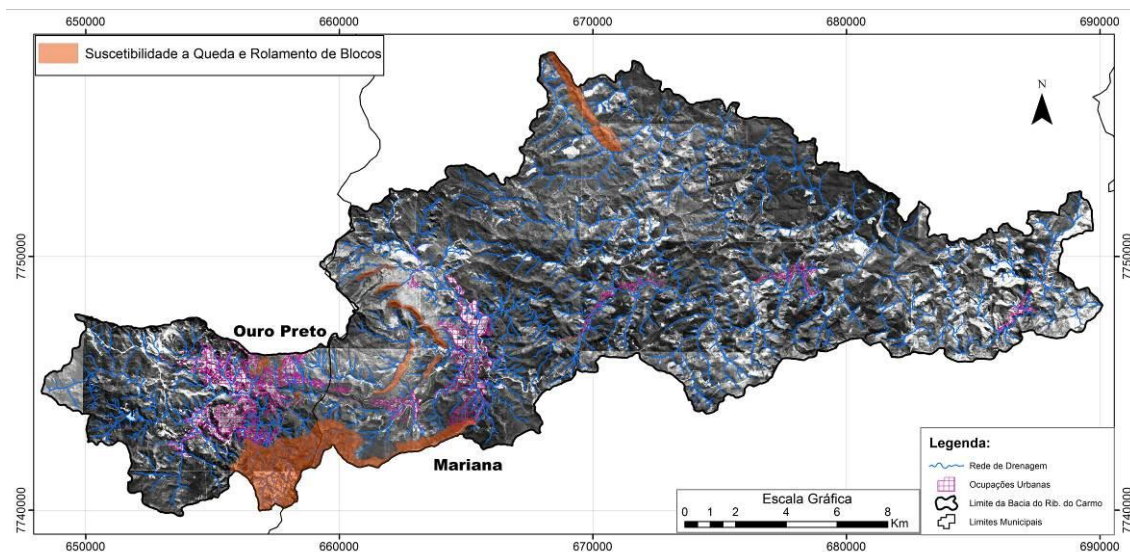


Figura 4. 51 – Suscetibilidade a ocorrência de queda e rolamento de blocos rochosos na BHRC.

4.1.5 SUSCETIBILIDADE A CORRIDAS DE MASSA E ENXURRADAS

As corridas (ou fluxos) são movimentos rápidos e estão geralmente associadas à concentração excessiva dos fluxos de água superficiais e à deflagração de um processo de fluxo contínuo de material terroso ou de detritos (caráter hidrodinâmico). Muitas vezes, a origem de uma corrida deve-se a vários deslizamentos na vertente de um vale. Podem ocorrer, principalmente, nos relevos mais abruptos restritos aos vales encaixados e às linhas de fraturas regionais e falhas, onde ocorre o acúmulo de blocos de rocha e/ou solo. A susceptibilidade de deflagração deste processo, mesmo com ocorrência pontual, deve ser levada em consideração, principalmente quando da ocupação urbana, bem como na implementação de infraestrutura e de obras lineares, o que pode remeter à necessidade da execução de intervenções estruturais voltadas à captação e condução de grandes volumes concentrados de água escoada superficialmente, e por vezes até mesmo de muros, telas e/ou barreiras voltadas à retenção parcial de detritos e solo (estruturas de espera).

Lima *et al.* (2011) apresentaram algumas das características de um dos principais movimentos de massa com vítimas associadas no Brasil, referente ao Megadesastre '11 ocorrido na região serrana do Rio de Janeiro, denominado de corrida de massa do Vieira. Um dos objetivos do estudo foi fornecer subsídios para a definição dos

mecanismos de geração e propagação da corrida de massa que contou com diferentes condicionantes e envolveu diferentes fases, passando pelo *debris flow* e pelo *mud-flow*, provavelmente em diferentes pulsos.

O IPT/CPRM (2013) em proposta metodológica para análises de suscetibilidade, aborda a discussão da necessidade de se indicar bacias e/ou drenagens suscetíveis aos processos de corridas de detritos e enxurradas, a partir de critérios e parâmetros físicos por cruzamento de atributos do meio físico em modelos digitais de terreno.

Jackson *et al.* (1987) usou a relação de Melton (1957) para diferenciar e inundação e fluxo de detritos no estudo de uma área. Eles consideraram que bacias hidrográficas sujeitas a inundações tinham índices $< 0,3$, enquanto as bacias hidrográficas propensas a fluxos de detritos tiveram relações $> 0,3$.

Embora ainda sejam incipientes os estudos envolvendo esta temática no Brasil, destacando-se os de Kanji *et al.* (1997), Massad *et al.* (1998), Massad *et al.* (2000), Kanji *et al.* (2000), Kanji *et al.* (2001), Gramani e Kanji (2001) e Massad (2002), outros países já possuem metodologias aplicadas com esta finalidade. Como exemplo pode-se citar o Projeto GIDES fruto de uma cooperação entre a Agência Brasileira de Cooperação (ABC) em parceria com a Agência de Cooperação Internacional do Japão (JICA) que criaram em agosto de 2013 o “Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada em Riscos de Desastres Naturais”. A metodologia aplicada no Japão reitera que os canais nos quais pode ocorrer fluxo de detritos são aqueles identificados como topografia de vale nos mapas topográficos 1:25.000, cujos elementos de análise principais são a largura do vale (“a”) e a distância do ponto mais profundo (“b”). O método de determinação da topografia de vale considera topografia de vale quando $a < b$; mas mesmo quando $a > b$, se houver histórico de ocorrência de corrida de massa, ou canais com relevo e geologia com probabilidade de ocorrências de fluxo de detritos, considera-se também topografia de vale. Diferentemente da proposta metodológica do IPT/CPRM (2013), neste método a preocupação principal está na definição da zona de atingimento com a delimitação da área definidas como de alerta (zona amarela) e de áreas com probabilidade de dano significativo (zona vermelha). Sinteticamente, esta delimitação é baseada em um ângulo de dispersão de 30° e onde a estimativa da força exercida pela corrida (F_d) for superior à força de resistência das

construções (P).

Na BHRC foram utilizadas premissas extraídas das duas metodologias supracitadas conforme sequência de procedimentos elencada a seguir.

Enxurradas (flash floods)

- 1 – Delimitação cartográfica das áreas com amplitudes superiores a 300m;
- 2 – Delimitação das bacias hidrográficas interiores com exclusão das bacias de drenagem com áreas superiores a 10 km².
- 3 – Delimitação cartográfica da área de abrangência da enxurrada, a partir da topografia do vale (largura inferior a profundidade) e, principalmente, histórico de deflagração e alcance dos processos.
- 4 – Validação de campo, com verificação de cada uma das bacias classificadas como suscetíveis.

Corrida de detritos (debris flow)

- 1 – Delimitação cartográfica das áreas com amplitudes superiores a 500m;
- 2 – Delimitação das bacias hidrográficas interiores com exclusão das bacias de drenagem com áreas superiores a 10 km².
- 3 – Identificação das áreas com suscetibilidade alta e muito alta a deslizamento que tenham intersecção com às bacias hidrográficas eleitas a partir dos itens 1 e 2.
- 4 – Álgebra para aplicação do índice de Melton, onde: $M = \text{amplitude} / \text{raiz quadrada da área} > 0,3$.
- 5 – Delimitação cartográfica da área de abrangência da corrida considerando aqui a topografia do vale (largura inferior a profundidade) e uma dispersão mínima de 30° para determinação do alcance dos processos.
- 6 – Validação de campo com análise de cada bacia classificada como suscetível a corridas, com verificação se há material disponível a ser mobilizado em eventos de grande magnitude.

A figura 4.52 (e Anexo I) retrata os resultados obtidos para a BHRC em relação à suscetibilidade a corridas de massa e enxurradas.

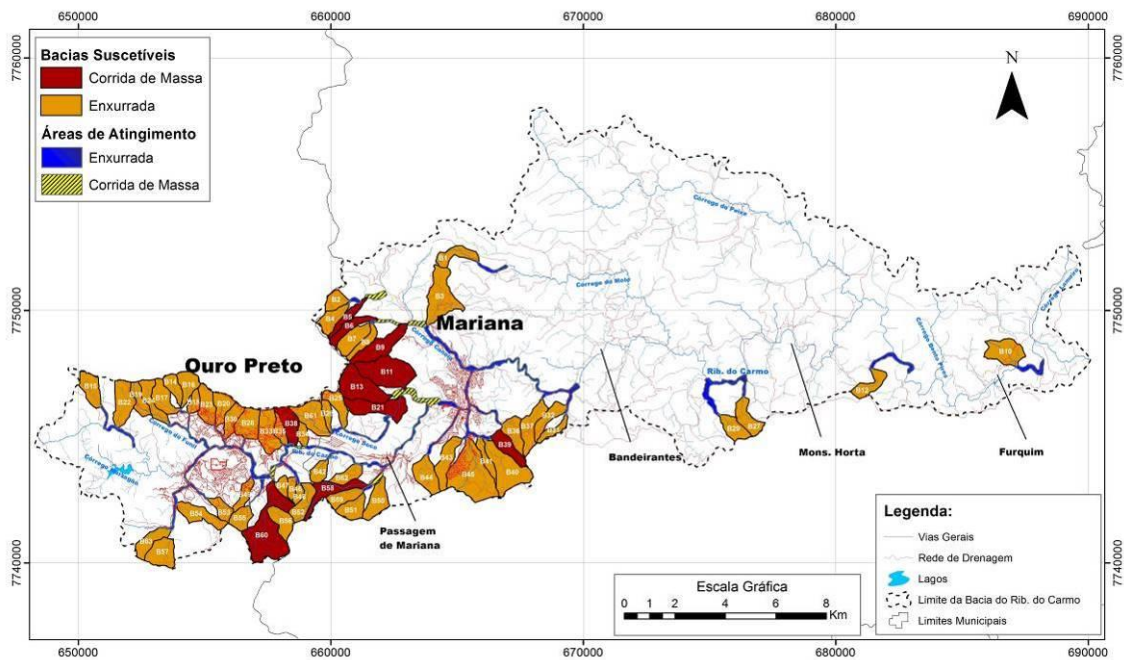


Figura 4. 52 – Identificação das bacias interiores suscetíveis a enxurradas e corridas de massa na BHRC com delimitação das áreas de atingimento.

Corridas de massa e Enxurradas são processos episódicos e com poder de destruição elevado. No que tange ao ordenamento territorial e gestão efetiva do meio físico, deve-se entender que embora as chances de recorrência em um curto espaço de tempo sejam pequenas, estas existem. Especificamente em relação as corridas de massa, o que aumenta as chances de novas ocorrências é a existência de material instável nas cabeceiras de drenagem, que permanecem susceptíveis à remobilização caso haja condições climáticas favoráveis.

Estudos visando a identificação das áreas suscetíveis a estes processos interligados aos instrumentos de planejamento urbano existentes no país ainda são incipientes, embora seja crescente o número de vítimas, bem como os danos causados pela recorrência destes no território nacional.

CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO A URBANIZAÇÃO

5.1 INTRODUÇÃO

As cartas geotécnicas de aptidão à urbanização são um importante instrumento de planejamento urbano, uma vez que visam fornecer uma base para que projetos de parcelamento do solo incorporem diretrizes voltadas para a prevenção dos desastres naturais e situações de risco geológico, especialmente aqueles associados a movimentos em encostas (deslizamentos, queda de blocos, corridas de massa, rastejos etc.), e processos hidrológicos (enxurradas e inundações).

Diante da constatação do aumento do porte e da frequência de eventos relacionados a deslizamentos, inundações, enxurradas e erosões em cidades brasileiras nos últimos anos, verificou-se a necessidade de adequação da legislação federal e a implantação de programas federais de apoio aos estados e municípios, de modo a tornar efetiva a implantação de instrumentos de planejamento e de gestão municipal voltadas para a prevenção de desastres.

A partir desse pressuposto, o principal objetivo desse estudo foi o desenvolvimento de conceitos, metodologia e procedimentos para a elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização nas condições geológicas prevalecentes na região do QF no estado de Minas Gerais, visando o fornecimento de subsídios para que Planos Diretores Municipais e os novos projetos de parcelamento do solo incorporem diretrizes voltadas para a prevenção dos desastres naturais, especialmente aqueles associados a deslizamentos de encostas.

As características geológicas e geomorfológicas do distrito sede de Ouro Preto (MG) favorecem o desenvolvimento de processos geodinâmicos e restringem o espaço disponível para a expansão urbana, sendo um local ideal para a sistematização de procedimentos a serem adotados em regiões semelhantes e que, adaptados, podem ser base para estudos em outros contextos. Assim, foi selecionada uma sub-bacia na periferia da cidade para a execução desse projeto piloto de cartografia geotécnica voltada ao planejamento urbano.

O procedimento aqui proposto adota o conceito de mapeamento progressivo, com nível de detalhamento crescente em duas fases e estabelece nove etapas distintas de trabalho, que foram desenvolvidas sequencialmente. A partir da análise preliminar de suscetibilidades a processos geodinâmicos executada anteriormente e descritas no capítulo anterior foi gerada para uma área mais restrita uma carta geotécnica com três classes principais (aptidão alta, média e baixa a inexistente), subdivididas conforme as restrições e qualidades dos terrenos. Nestas são descritas as características geotécnicas, os processos geodinâmicos predisponentes e as recomendações para a ocupação, permitindo uma leitura direta pelos gestores e técnicos municipais.

O estudo desenvolvido tem como um dos seus objetivos propor uma maior padronização dos procedimentos de cartografia geotécnica adotados nos diversos níveis (regional, local e de detalhe), o estabelecimento de bases mínimas para os mapeamentos e, principalmente, que tipo de produto se pretende ter e quem será o usuário direto.

O Município de Ouro Preto, embora com grande extensão territorial (1.245,8 km²), tem sua população concentrada no distrito sede. A área urbana e sua periferia têm características geológicas (rochas metassedimentares foliadas e deformadas) e geomorfológicas (altas declividades) que favorecem o desenvolvimento de processos de movimentos de massa em encostas, além de processos erosivos. A isto se soma a ocupação desordenada, que acaba por gerar situações de perigo e risco, principalmente por ocasião dos períodos chuvosos. As características do relevo também restringem o espaço disponível para a expansão urbana, sendo este um dos grandes problemas da cidade.

Neste contexto, a bacia do Córrego do Funil, nas cabeceiras do Ribeirão do Carmo é uma das poucas áreas com potencial para o uso urbano na periferia da cidade que ainda não foi ocupada (Figura 5.1). Pela sua localização, facilidade de acesso e estágio de ocupação atual, esta região é de grande importância para a cidade, no que se refere ao seu crescimento futuro.

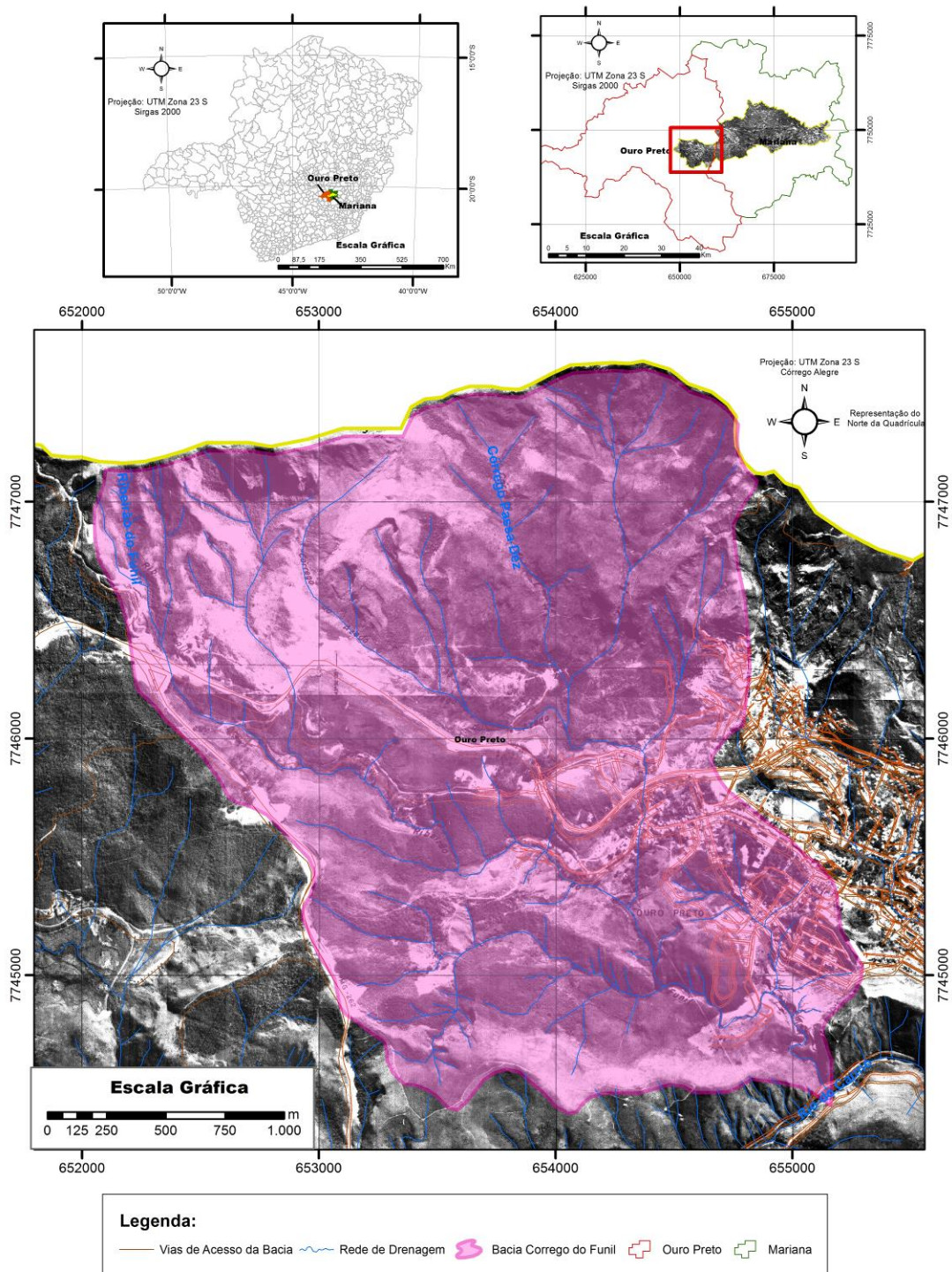


Figura 5. 1 – Localização da bacia do Córrego Funil no contexto da BHRC.

Estudo recente na área urbana de Ouro Preto (Fontes, 2011), embora não aponte especificamente diretrizes para o uso e ocupação do solo, aponta para a escala de semidetalhe, esta como uma das áreas de menor suscetibilidade a movimentos de massa,

sendo a região conhecida como Febem ou Matadouro. Assim, torna-se grande o interesse à elaboração de carta de aptidão à ocupação urbana em nível de detalhe (1:5.000) de parte desta área, tanto do ponto de vista do desenvolvimento de procedimentos de mapeamento, como da aplicação prática dos resultados, com definição de diretrizes técnicas para uso adequado.

5.2 PROCEDIMENTOS PARA ELABORAÇÃO DAS CARTAS DE APTIDÃO A URBANIZAÇÃO NA ESCALA 1:10.000 OU MAIORES

O melhor instrumento para dar suporte ao uso e ocupação urbana é uma carta geotécnica que correlacione as características do meio físico e os processos geodinâmicos que podem ocorrer, sejam de causa natural, sejam induzidos pela ocupação. Este documento cartográfico deve trazer informações sobre todas as diferentes feições geológicas e geomorfológicas, delimitando unidades quanto aos seus comportamentos geotécnicos frente à ocupação urbana, gerando unidades de aptidão ao uso urbano (Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização). O objetivo final é definir áreas que não são passíveis de ocupação e os setores que podem ser ocupados, desde que sejam seguidos os critérios técnicos estabelecidos para este fim (diretrizes).

Independentemente do método e material utilizado na elaboração do mapeamento e dos nomes que tenham as unidades ao final do trabalho, o resultado deve ser a elaboração de um documento síntese apontando as restrições em cada local (relacionadas ao meio físico ou legais) e os critérios gerais de ocupação. A grande vantagem de um documento deste tipo é a possibilidade de utilização mais direta pelas municipalidades, instâncias públicas responsáveis pelo planejamento urbano, outros profissionais ou mesmo leigos. Além das orientações gerais para o uso e ocupação do solo urbano, a carta geotécnica de aptidão à urbanização pode subsidiar outros instrumentos de gestão territorial como leis de uso do solo, planos diretores e seus zoneamentos, em seus aspectos mais específicos.

A qualidade deste tipo de carta tem grande dependência da quantidade e escalas das informações disponíveis ou geradas no processo de mapeamento. Estes produtos devem ser elaborados em escala de detalhe, sendo desejável a escala 1:5.000 ou maior, mas em determinados contextos a informação em escala 1:10.000 pode ser suficiente. A

produção de uma carta nessa escala envolve intensos trabalhos de campo, que podem envolver, dependendo das especificidades geotécnicas dos substratos, modelagens matemáticas, investigações geotécnicas e/ou estudos complementares.

O procedimento seguido para o mapeamento da aptidão à urbanização estabelece nove etapas distintas de trabalho, que foram desenvolvidas sequencialmente, uma vez que o desenvolvimento de uma etapa depende quase sempre das anteriores (Figura 5.2).

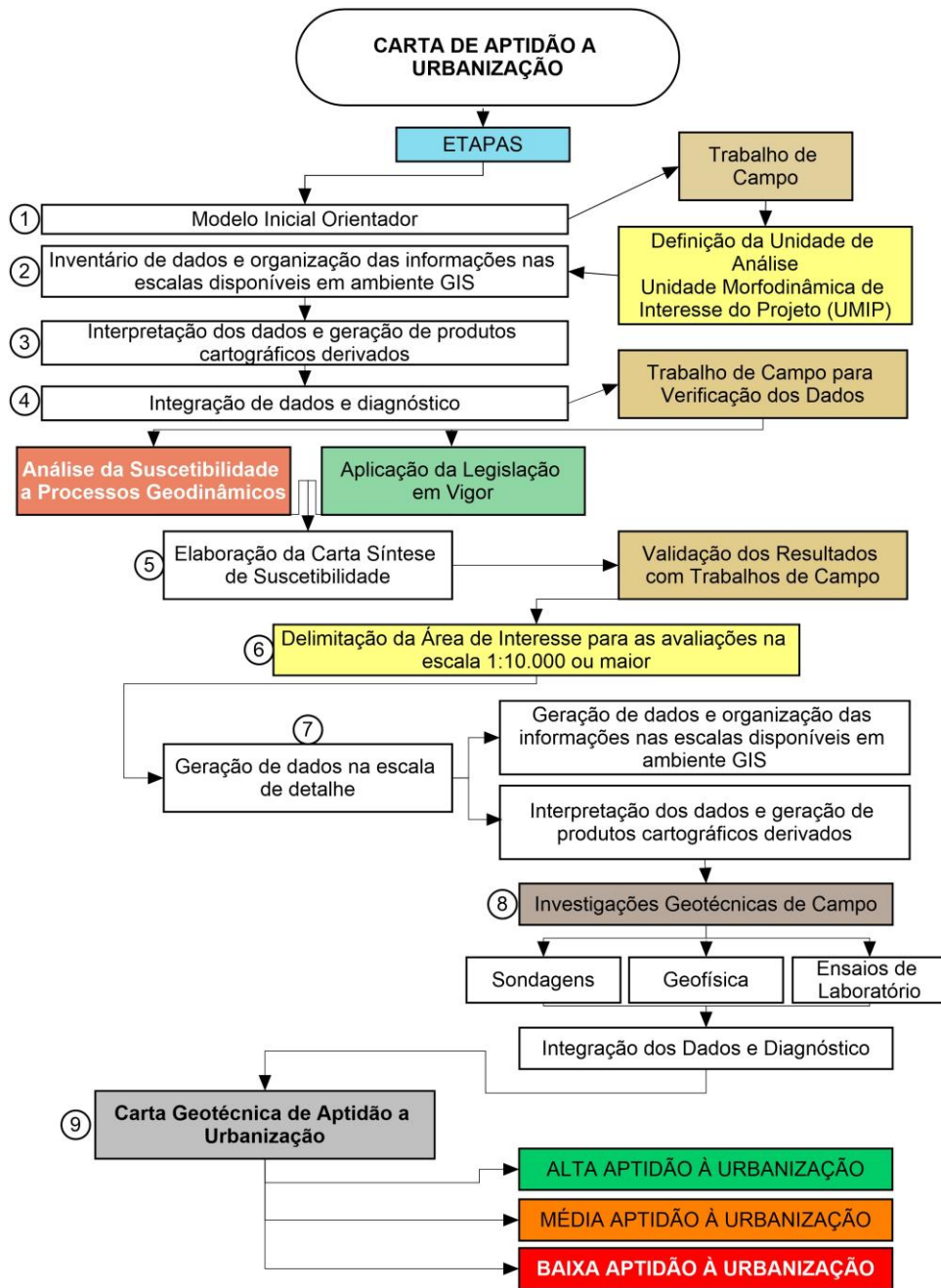


Figura 5. 2 - Procedimentos para o mapeamento da aptidão à urbanização.

5.2.1 MODELO INICIAL ORIENTADOR

Como na elaboração das cartas de suscetibilidade, para que se tenha um produto compatível com a realidade deve-se ter segurança sobre os dados de entrada, e que estes necessariamente estejam em escalas compatíveis. Assim, é importante realizar um reconhecimento preliminar da área de trabalho, através de trabalhos de campo (Figura 5.3), para que se possa construir um modelo inicial orientador do estudo (Figura 5.4).





Figura 5. 3 – Conjunto de imagens panorâmicas do entorno do município de Ouro Preto – MG obtidas durante o reconhecimento da área em campo (2013).

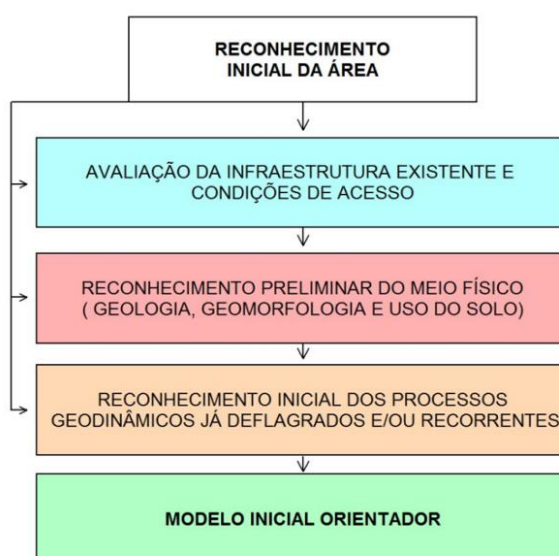


Figura 5. 4 – Sistemática para reconhecimento preliminar da área de estudo.

Nesta etapa ocorreu a definição da área de interesse do trabalho, que expressa a unidade do território que delimita uma região que apresenta um comportamento independente das unidades adjacentes (divisores de águas, linhas de drenagem ou expressões geomorfológicas), aqui denominada Unidade Morfodinâmica de Interesse do Projeto (UMIP) (Figura 5.5).

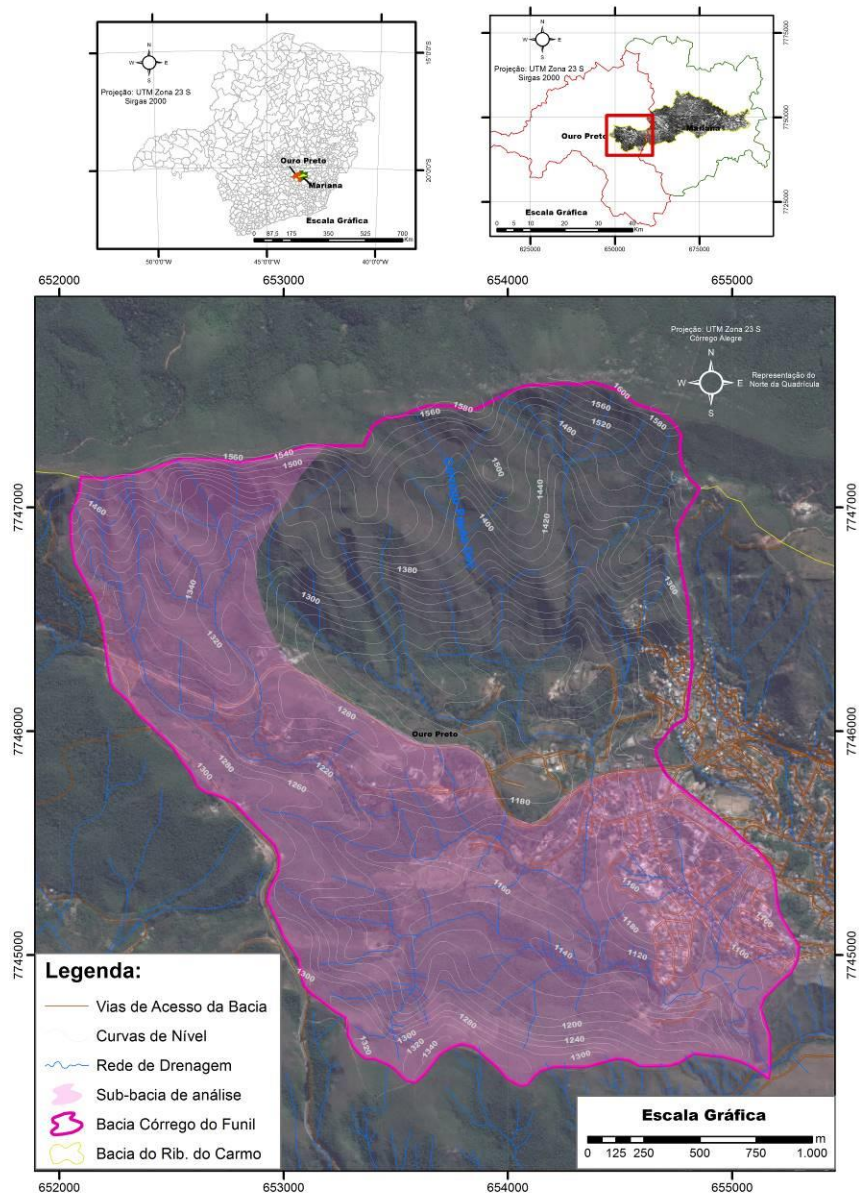


Figura 5. 5 - Unidade morfodinâmica de interesse do projeto (UMIP) escolhida para o desenvolvimento do estudo.

5.2.2 INVENTÁRIO DE DADOS E ORGANIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES EM AMBIENTE GIS

Definida a área de trabalho, o segundo passo foi o inventário dos dados existentes sobre a região, que foram organizados a partir de uma conformação em camadas funcionais para sistemas de gerência de bancos de dados, complementados por subsistemas especializados, sendo para tal utilizado o programa ArcGis 10.1. Nesta etapa, foram inventariadas, compiladas e geradas, as seguintes informações básicas mínimas de entrada:

- Fotografias aéreas, ortofotos e imagens orbitais com resolução compatível com as escalas de trabalho.
- Base topográfica na escala inicial 1:25.000.
- Mapa geológico estrutural para identificação das unidades ocorrentes e os principais lineamentos e estruturas (principais famílias de descontinuidade) visando a geração de modelos cinemáticos gerais de estabilidade e/ou fluxos superficiais condicionados.
- Representação das bacias de contribuição, que são as unidades de análise do sistema de drenagem, de forma a permitir avaliar como a configuração do espaço ocupado influencia as condições de drenagem pluvial.
- Vias de acessos principais e secundários.
- Mapa geomorfológico da área.
- Inventário de cicatrizes de deslizamentos, identificadas a partir da interpretação de imagens e trabalhos de campo.

5.2.3 INTERPRETAÇÃO DOS DADOS E GERAÇÃO DOS PRODUTOS CARTOGRÁFICOS INTERMEDIÁRIOS

A partir das bases topográficas e imagens inventariadas, foram geradas outras informações cartográficas de importância para as análises. A carta topográfica na escala 1:25.000 foi a informação básica disponível que possibilitou a primeira leitura do meio físico e a elaboração do modelo digital do terreno, além de análises morfométricas importantes (declives, concentração de fluxo, curvatura das encostas, hipsometria etc.).

A delimitação de padrões de relevo, a partir da geração de perfis topográficos também possibilitou a análise da predisposição à ocorrência de processos geodinâmicos locais.

A informação geológica gerada foi importante na identificação dos principais lineamentos e estruturas que podem condicionar movimentos de massa em encostas, fluxos superficiais e corridas de detritos/solo passíveis de ocorrência nesta escala. Com o levantamento estrutural disponível tornou-se possível, também, avançar na avaliação da estabilidade geral das encostas, valendo-se de técnicas de análise cinemática (conjugação estruturas e inclinação/direção das vertentes).

A geomorfologia e o inventário de antigos eventos deram suporte para as análises da probabilidade de ocorrência de eventos futuros e sua magnitude

5.2.4 INTEGRAÇÃO DOS DADOS E DIAGNÓSTICO DO MEIO FÍSICO

As informações temáticas básicas consideradas no processo de integração dos dados e diagnóstico do meio físico estão relacionadas aos dados produzidos e descritos no Capítulo 3 deste trabalho destacando-se aqui a análise da geologia local (estruturas e depósitos de cobertura), as formas do relevo (declividades e orientação das vertentes), a identificação dos agentes/feições potencializadoras de processos, a identificação de indícios de movimentação do terreno, a análise dos eventos destrutivos pretéritos e potenciais, a caracterização morfométrica da rede de drenagem para avaliação do regime de escoamento superficial da área etc.

5.2.5 ELABORAÇÃO DA CARTA SÍNTESE DE SUSCETIBILIDADE

A análise de suscetibilidade para a unidade morfodinâmica de interesse abrangeu os processos geodinâmicos de forma integrada em um produto cartográfico de síntese. Considerando a lógica do mapeamento progressivo proposta neste estudo, a metodologia de análise e os resultados para sua obtenção estão descritos no Capítulo 4. A proposta foi a adoção de três classes de suscetibilidade (Alta, Média e Baixa) e os procedimentos seguidos nesta análise estão ilustrados na Figura 5.6.

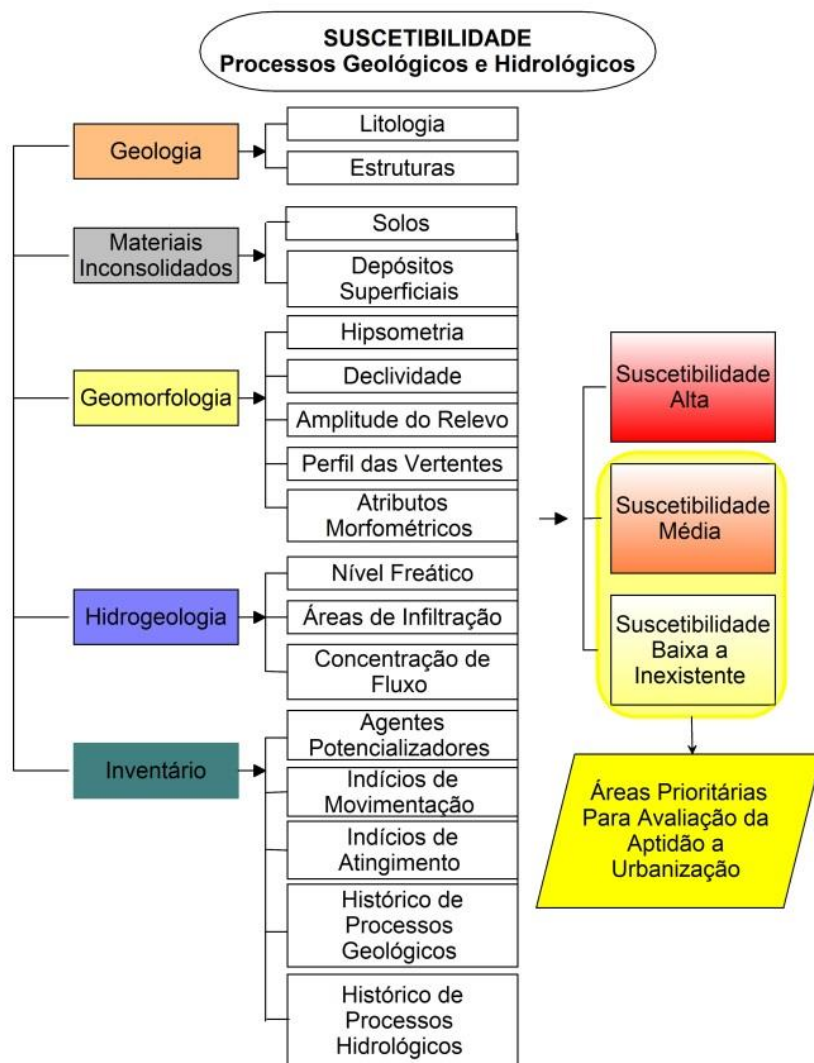


Figura 5. 6 - Proposta simplificada de etapas para elaboração análise da suscetibilidade a eventos de natureza geológica e hidrológica.

A análise das suscetibilidades a processos geológicos e hidrológicos da bacia do córrego do Funil encontra-se retratada na Figura 5.7 a partir de um recorte da análise de suscetibilidade executado para a BHRC – Capítulo 4.

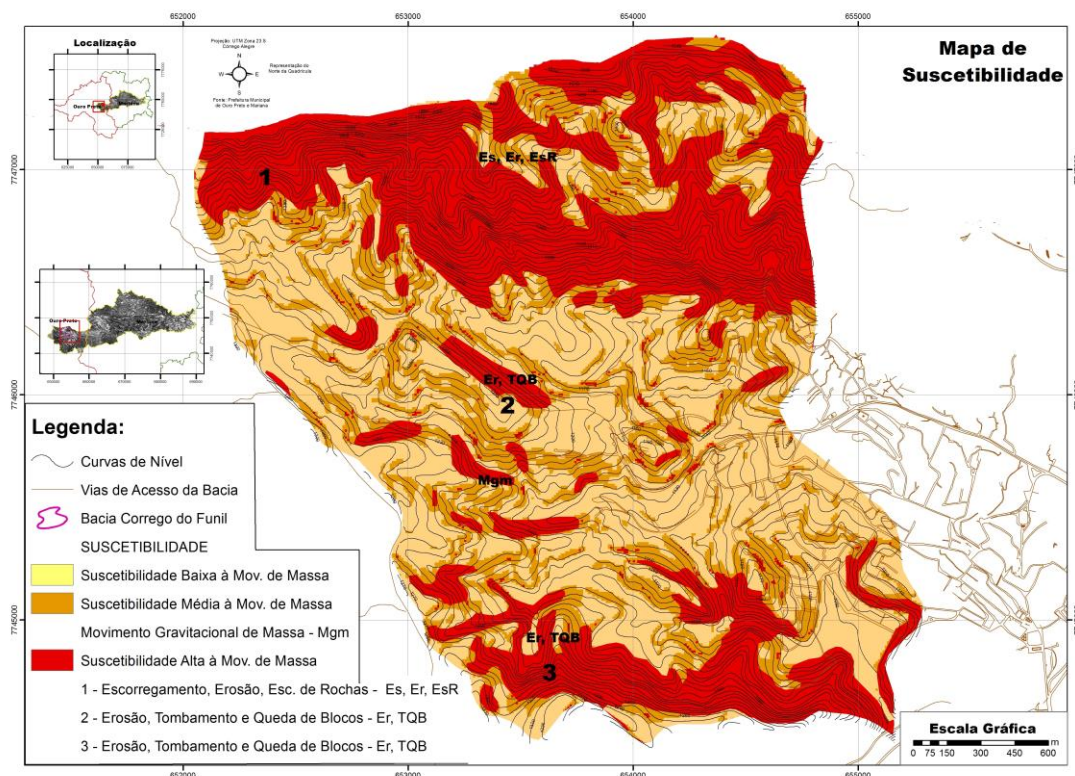


Figura 5. 7 - Carta de suscetibilidade a processos geodinâmicos na UMIP – Bacia do Córrego do Funil.

5.2.6 DETERMINAÇÃO DE ÁREA DE INTERESSE PARA A ESCALA DE DETALHE

A determinação da área de interesse para o estudo de detalhe na escala 1:5.000 considerou a proposta de mapeamento progressivo citada anteriormente, onde as áreas identificadas como de suscetibilidade alta a algum processo na escala 1:25.000 foram excluídas sempre que possível, ficando como objeto de análise as demais unidades.

Foi então determinada uma área de cerca de 80 hectares para a execução da elaboração da carta geotécnica de aptidão a urbanização propriamente dita (Figura 5.8), sendo que para estas foi gerada uma nova base cartográfica por meio de levantamento topográfico na escala 1:5.000.

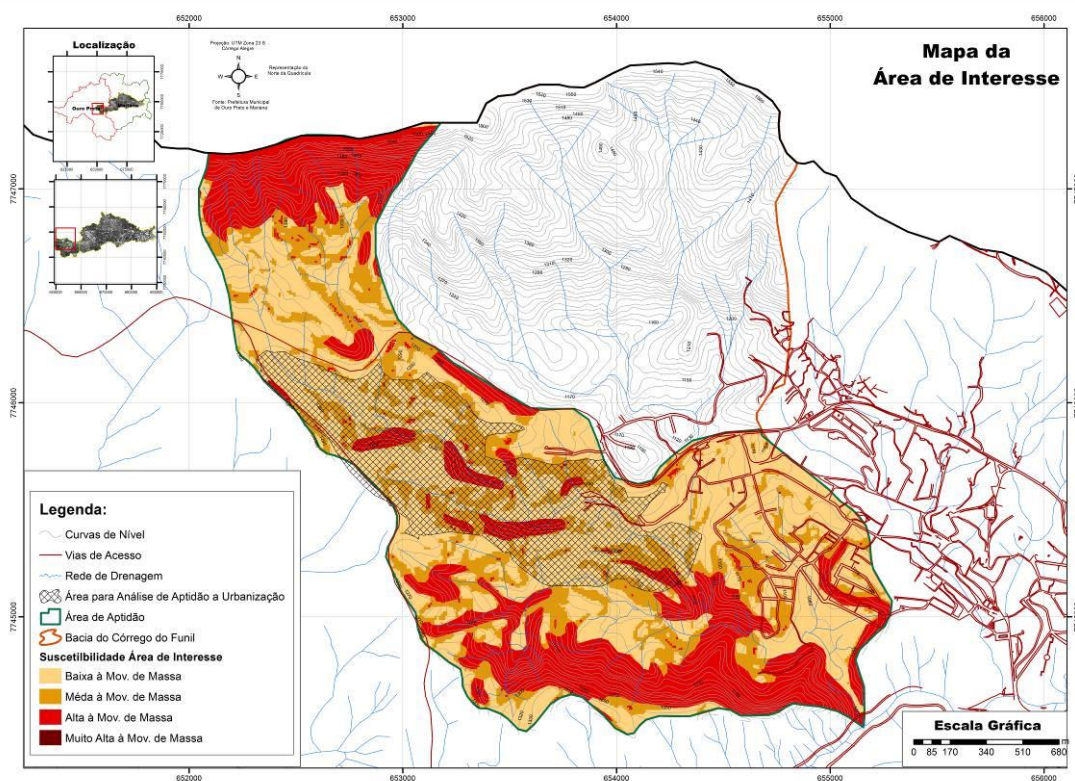


Figura 5. 8 – Área de análise de aptidão a urbanização delimitada no interior da Área Morfodinâmica de Interesse do Projeto.

5.2.7 GERAÇÃO DE DADOS NA ESCALA DE DETALHE

Definida a área de elaboração da Carta de aptidão à urbanização e com a geração de uma base topográfica na escala de detalhe o próximo passo foi a análise, coleta e sistematização das informações existentes que englobam a área escolhida, tais como mapas, fotos e legislação municipal relacionada ao planejamento urbano e licenciamento de novos parcelamentos do solo, a pesquisa, análise e sistematização do histórico de ocorrências de movimentos de massa e processos de inundação.

A partir da nova carta topográfica gerada e das imagens disponíveis, outros produtos cartográficos foram derivados e integrados por geoprocessamento em plataforma de SIG, elencados a seguir:

- Modelo digital do terreno – TIN;
- Mapa de inclinação das vertentes;

- Mapa de orientação de vertentes;
- Mapa de concentração de fluxo;
- Mapa litológico e de depósitos de cobertura;
- Mapa de áreas de preservação permanente e de faixas de domínio gerados novamente sobre a base de detalhe.

5.2.7.1 MODELO DIGITAL DO TERRENO

O modelo digital de terreno foi desenvolvido pela construção de uma malha TIN (*Triangulated Irregular Network*) a partir dos vetores das curvas de nível cotados. Esse modelo foi a base para a definição dos diferentes padrões hipsométricos (altitude absoluta) e geomorfológicos (declividade, aspecto e concentração de fluxo).

5.2.7.2 MAPA DE DECLIVIDADE

O mapa de declividade foi derivado em estrutura raster com células de 0,3m x 0,3m. Escolheu-se esta resolução espacial por ser compatível com a escala de trabalho (1:5.000). As classes de declividade foram hierarquizadas em cinco unidades, definidas com base nos critérios apresentados a seguir:

0° a 5° → Áreas mais planas que podem sofrer influência direta dos corpos d'água, podendo englobar terraços fluviais e planícies de inundação (Dantas, 2010) e áreas em topos de morro aplainados.

5° a 15° → Áreas onde a inclinação das encostas não significa grande empecilho à ocupação.

15° a 30° → Áreas mais inclinadas, passíveis de ocupação, porém condicionadas à execução de estudos geológico-geotécnicos (Brasil, 1979). Marsh (1978) e Cunha (1991) indicam a declividade máxima de 25° como limite técnico recomendável à ocupação, a partir do qual são necessárias infraestruturas que incidem em custos extremamente elevados aos projetos de expansão urbana.

30° a 45° → Áreas muito inclinadas, consideradas de uso restrito pelo Código Florestal

(Brasil, 2012). São áreas com maior propensão ao desenvolvimento de processos geodinâmicos diversos.

> 45° → Áreas altamente inclinadas, inviáveis para a ocupação urbana devido à sua potencialidade em sediar diferentes eventos geodinâmicos de grande magnitude. Ainda, o limite de 45° ou 100% representa uma restrição legal definida pelo Código Florestal como área de preservação permanente (Brasil, 2012).

5.2.7.3 MAPA DE ASPECTO DAS VERTENTES

Este mapa retrata a orientação das vertentes e tem grande utilidade na análise de movimentos de massa quando conjugado com os declives e a estruturação do substrato (famílias de descontinuidades), principalmente deslizamentos planares e tombamento de blocos. Também possibilitam a estimativa de áreas de atingimento no caso de ocorrência destes processos.

5.2.7.4 MAPA DE CONCENTRAÇÃO DE FLUXO

É importante na análise da dinâmica hidrológica das vertentes e mostram zonas de saturação por ocasião de eventos chuvosos, fatores condicionantes tanto de processos em encostas (erosão e movimentos de massa) como dos processos de natureza hidrológica (enxurradas e inundações).

5.2.7.5 MAPA LITOLÓGICO E DE DEPÓSITOS DE COBERTURA

Foi executado o mapeamento litoestrutural de detalhe correlacionando as unidades locais com aquelas regionalmente consagradas e citadas na bibliografia (Dorr *et al*, 1957, 1969; Alkmim e Marshak, 1998). As unidades reconhecidas e mapeadas foram agrupadas em afloramentos rochosos e depósitos de cobertura. Os litotipos que compõem a unidade afloramentos rochosos foram descritos da base para o topo considerando o empilhamento litoestratigráfico para o Quadrilátero Ferrífero (Alkmim e Marshak, 1998). Já os depósitos de cobertura, referem-se aos terrenos compostos por

depósitos aluviais, coluviais, crosta laterítica (canga) e aterros.

As unidades geológicas mapeadas (Figura 5.9) são descritas brevemente a seguir:

Formação Cauê - É composta itabiritos (formação ferrífera bandada) e ocorre somente no setor noroeste da área.

Grupo Piracicaba - É composto por metassedimentos clásticos. Na área de estudo ocorrem as formações Cercadinho, Fecho do Funil e Barreiro. A Formação Cercadinho é composta por bandas métricas de filitos cinza-prateados intercalados em pacotes de quartzitos sericíticos e quartzitos ferruginosos, ocorrendo na porção norte da área, numa faixa que se estende de leste a oeste. A Formação Fecho do Funil é representada por filitos, ocorrendo em uma pequena faixa na porção noroeste da área. A unidade Barreiro é constituída por filitos carbonosos e grafitosos de coloração variando de cinza escuro a negra, ocorrendo em uma estreita faixa na porção sudeste da área.

Grupo Sabará - Este domínio litológico é constituído por quartzitos, quartzo-sericita xistos e xistos granatíferos de coloração vermelho acastanhado, amarelo avermelhado a cinza prateado e ocorre em toda porção centro-sul da área mapeada.

Depósitos Aluviais - São os depósitos recentes às margens da drenagem principal, na porção sudeste da área, formando uma pequena planície de inundação. São sedimentos arenosos com fragmentos rochosos diversos de pequenas dimensões, acumulados a partir de processos fluviais e por atividades antrópicas.

Colúvio - São resultado do acúmulo de agregados heterogêneos de rochas transportados por ação da gravidade e contribuição da água de escoamento superficial. Esta unidade possui uma pequena distribuição na área recobrendo os xistos do Grupo Sabará.

Crosta laterítica (canga) - Recobre as rochas das formações Cauê e Cercadinho no setor noroeste da área.

Aterros – são representados por três áreas nas porções noroeste e sudeste da área compostos por materiais heterogêneos de desaterro e entulho de obras.

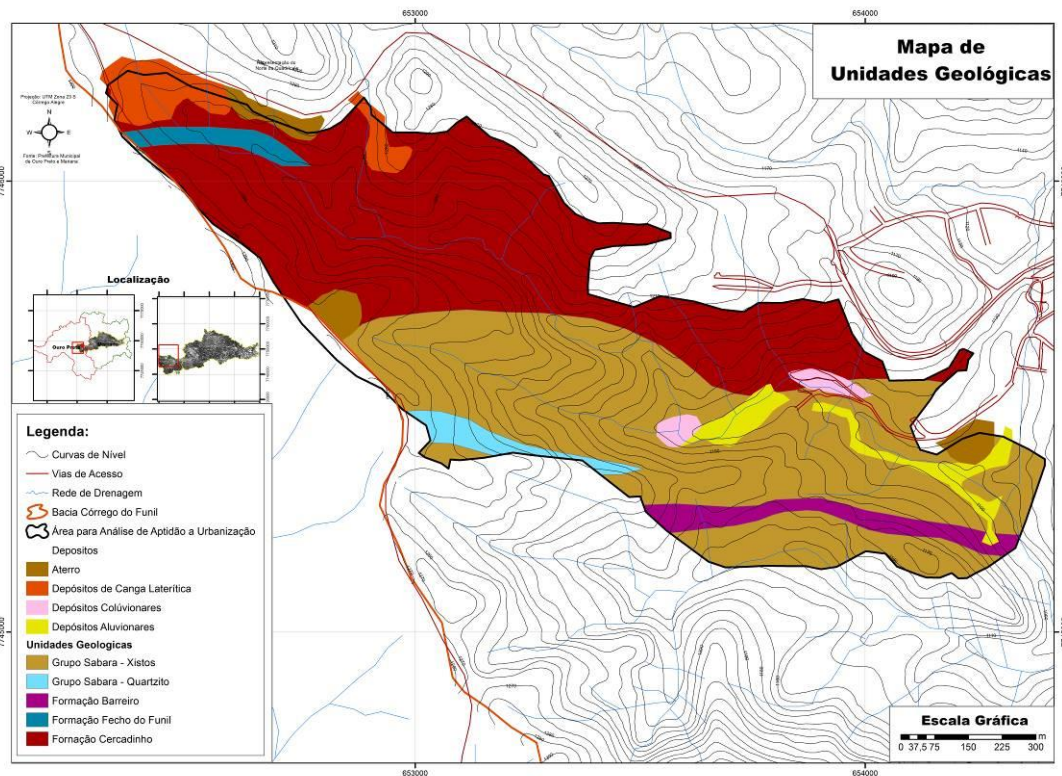


Figura 5. 9 - Mapa geológico da área de estudo

5.2.7.6 MAPA DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE E DE FAIXAS DE DOMÍNIO

As áreas de preservação permanente (BRASIL, 2012) foram excluídas para a ocupação e são representadas apenas pelas margens das drenagens, nas faixas marginais dos cursos d'água naturais, em uma largura de 30 metros e por pequenas áreas com declividades acima de 45°.

Foram representadas ainda as faixas de domínio da Rodovia dos Inconfidentes e da estrada de acesso principal a Ouro Preto (BR 356).

5.2.7.7 INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS DE CAMPO

As investigações geotécnicas de campo buscaram um melhor entendimento dos aspectos geológicos, hidrogeológicos e geotécnicos dos terrenos. Foram executados levantamentos indiretos pelo método eletromagnético (GPR ou Georadar) e sondagens à

percussão (Sondagem SPT) como método de investigação direto.

Foram executados 13 perfis geofísicos (total de 1250 m), importantes na delimitação de depósitos superficiais e do substrato, determinação da extensão e profundidade de horizontes de solo e condições da superfície freática, cobrindo a baixo custo áreas extensas (Anexo I). Estas informações foram confirmadas pela execução de 10 furos de sondagens diretas totalizando 54,40 m de perfuração, com a elaboração de perfis geotécnicos que auxiliaram na definição da extensão, profundidade e espessura dos horizontes de solo, além de uma caracterização dos materiais para avaliação do seu comportamento mecânico e hidráulico (Anexo I).

5.2.7.7.1 LEVANTAMENTOS INDIRETOS (GEOFÍSICA)

Os perfis geofísicos foram analisados com o intuito de se determinar a presença de refletores que indicassem os contornos das estruturas presentes na subsuperfície, tais como colúvios, contatos, falhas, fraturas, sendo que foram obtidos no formato *common off-set*, utilizando-se as antenas de 100 MHz, com distância entre elas de 1,0 m, e distância entre os pontos de amostragem de 0,10 m. Para exemplificação dos resultados obtidos a seguir estão descritos quatro dos treze perfis gerados

O radargrama da Figura 5.10 apresenta vários refletores na subsuperfície. Observa-se na parte mais superficial um refletor bem marcado interpretado como o contato entre o solo residual e a rocha alterada. Este refletor em alguns pontos não é contínuo, sendo inferido este contato nestas regiões. Logo abaixo observam-se alguns refletores pouco contínuos sendo interpretados como descontinuidades presentes na rocha. Logo abaixo a onda EM é muito atenuada, pode-se interpretar como sendo a presença de uma rocha condutora, ou então o início do nível freático.

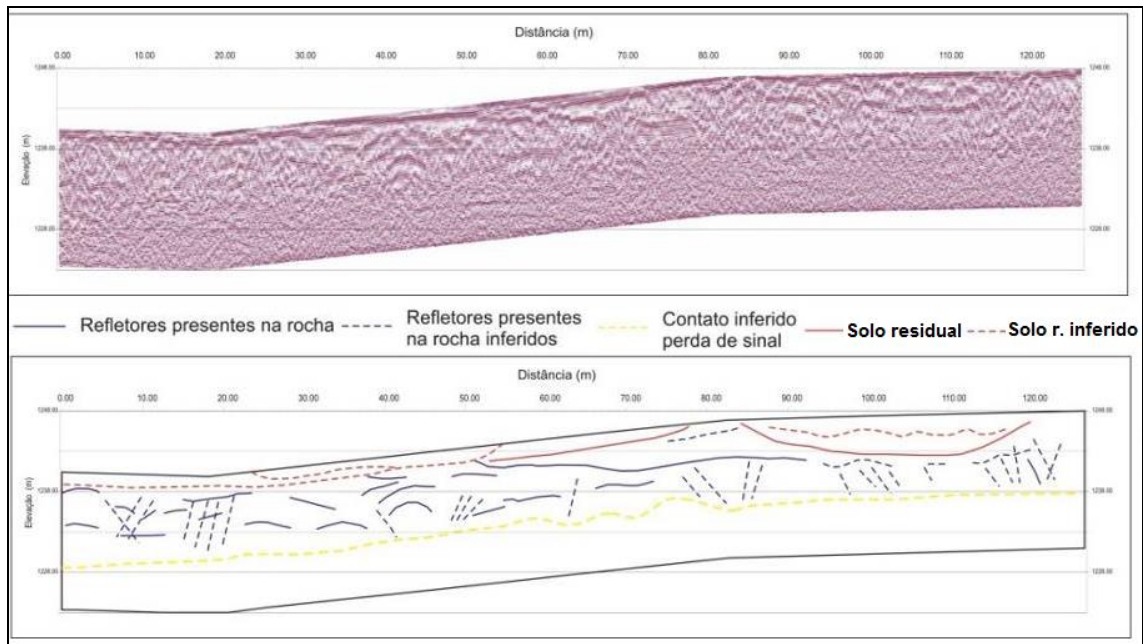


Figura 5. 10 – Radargrama do perfil 1 de campo e modelo interpretado do terreno.

O radargrama da Figura 5.11 obtido na encosta de uma vertente apresenta refletores bem marcados. Observa-se que o refletor na parte inicial do radargrama numa profundidade aproximada de 6m foi interpretado como sendo o contato entre o solo residual e a rocha. Entre as distâncias de 35 e 45 m observa-se que este refletor apresenta interrupção lateral à esquerda podendo estar correlacionado com uma cicatriz de deslizamento. Abaixo desta região no radargrama observam-se refletores inclinados, possivelmente fraturas/descontinuidades da rocha.

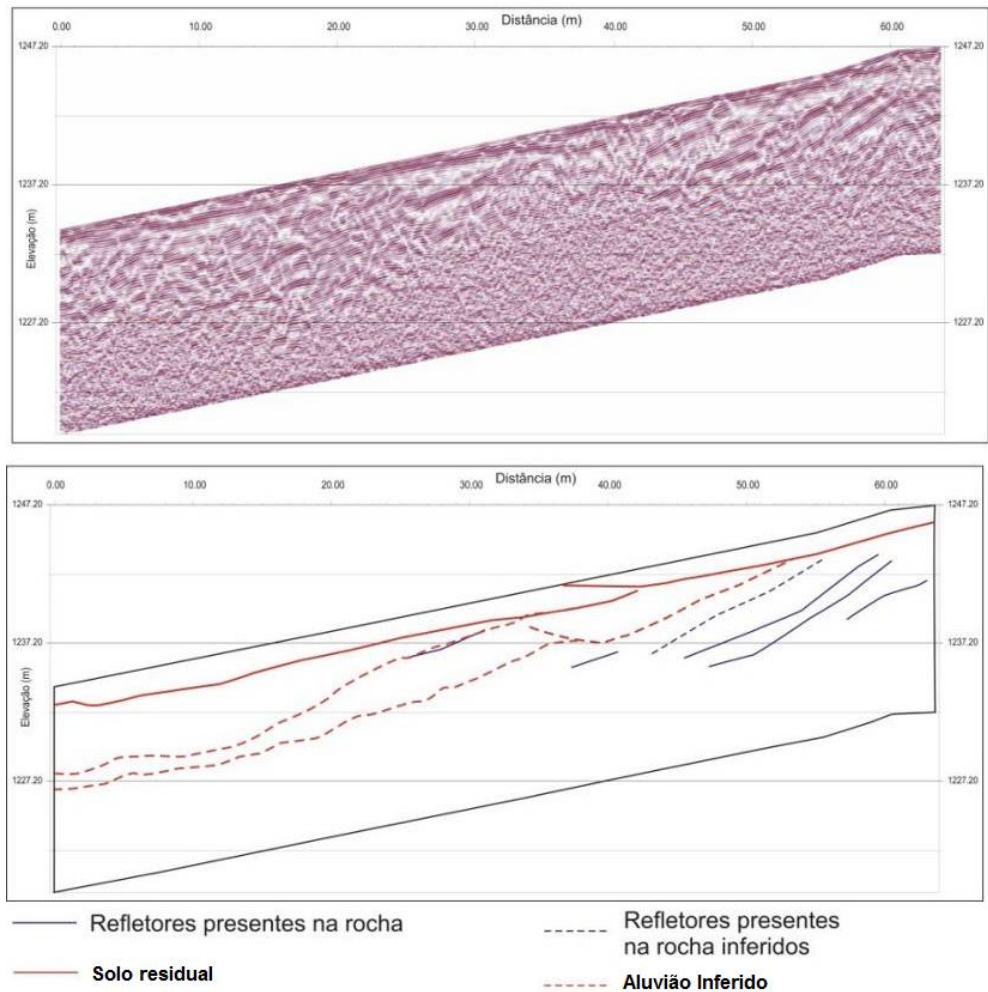


Figura 5. 11 – Radargrama do perfil 4 de campo e modelo interpretado do terreno.

O radargrama da Figura 5.12 obtido na encosta de uma vertente, iniciando-se no depósito aluvionar do córrego, também apresenta refletores bem marcados. Observa-se que o refletor na parte inicial do radargrama em uma profundidade aproximada de 6 m foi interpretado como sendo o contato entre o aluvião e a rocha. Abaixo desta região no radargrama observam-se refletores inclinados, possivelmente fraturas/descontinuidades da rocha. Nas distâncias entre 40 e 60 m, em uma profundidade de 2 m observam-se refletores inclinados para a direita, os quais estão correlacionados com a estrutura da rocha presente neste local.

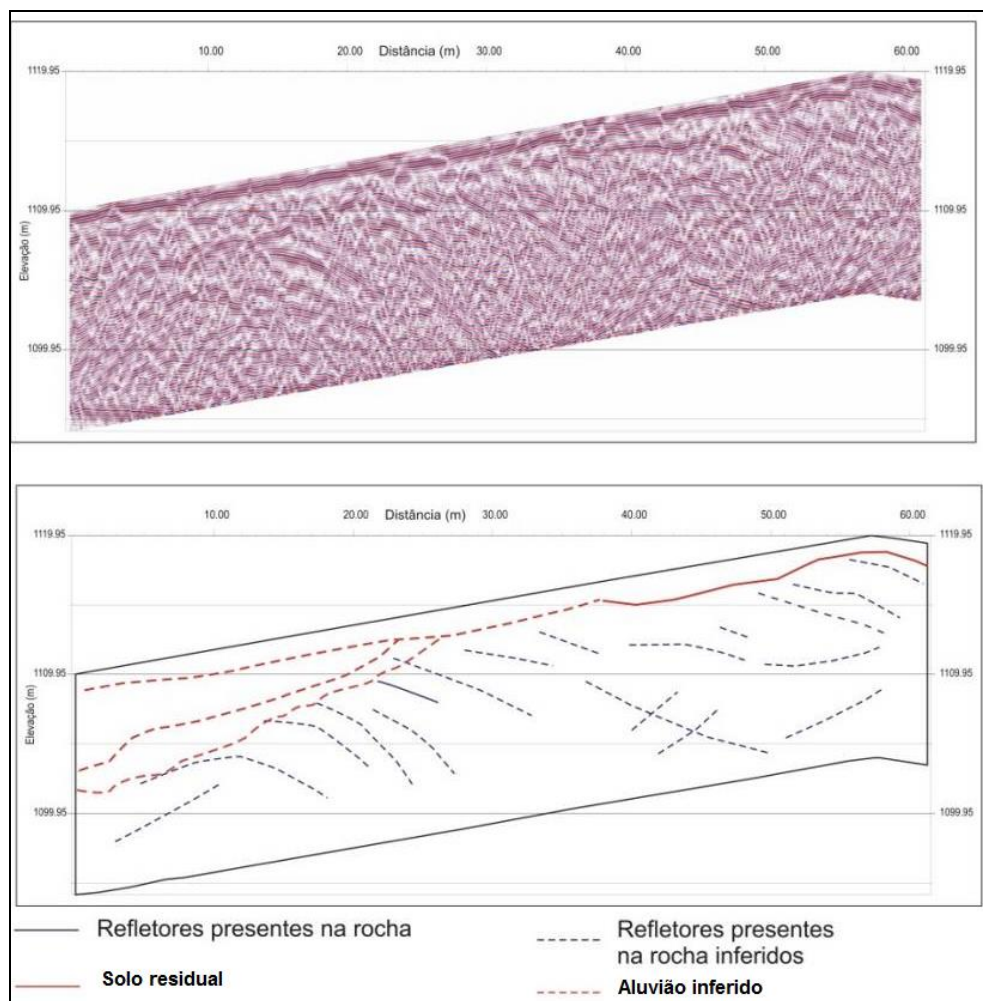


Figura 5. 12 – Radargrama do perfil 5 de campo e modelo interpretado do terreno.

O radargrama da Figura 5.13 foi obtido na porção central da área nas proximidades de um antigo matadouro. Nele pode-se observar a presença de vários refletores. Os mais superficiais estão correlacionados com a presença de depósitos aluviais e coluviais, os mais profundos com discontinuidades da rocha que aflora nas proximidades do perfil. Na parte inferior do radargrama observa-se a atenuação da onda EM por todo o perfil, indicando a presença de rocha mais condutora, uma vez que o nível freático é muito mais alto na área.

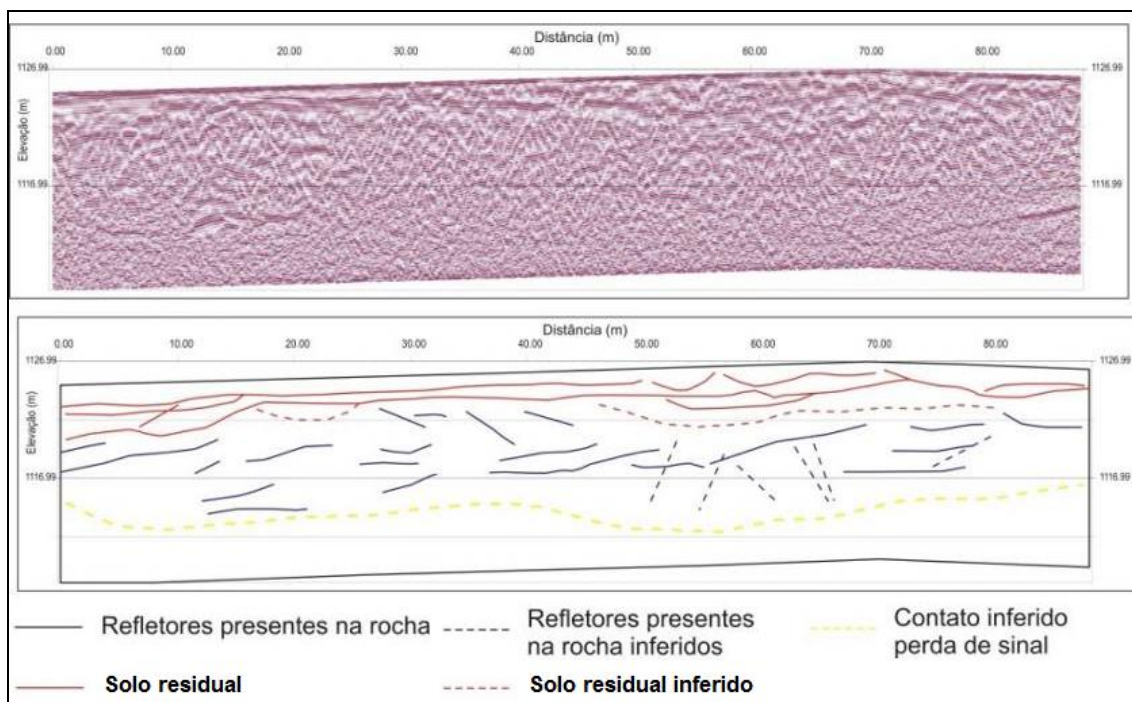


Figura 5. 13 – Radargrama do perfil 9 de campo e modelo interpretado do terreno.

Estas informações foram confirmadas por dados de sondagens diretas, com a elaboração de perfis geotécnicos que auxiliaram na definição da extensão, profundidade e espessura dos horizontes de solo, além de uma caracterização dos materiais para avaliação do seu comportamento mecânico e hidráulico.

5.2.7.7.2 LEVANTAMENTOS DIRETOS (SONDAGENS A PERCUSSÃO)

As sondagens e ensaios SPT foram executados com base nos procedimentos encontrados na NBR 6484/2001 – Solo – Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT – Método de Ensaio. Foram executados 10 furos distribuídos pela área, totalizando 54,40 m de perfuração. A profundidade máxima atingida foi de 10,45 m, porém a maioria dos furos (8) atingiram o impenetrável em torno de 5 m, indicando uma boa capacidade de suporte para fundações dos terrenos. As amostras foram colhidas a cada metro de profundidade e enviadas para análise tátil visual em um laboratório de mecânica dos solos.

No caso de substratos rochosos os métodos diretos e indiretos permitiram a

determinação da profundidade do topo rochoso e sua classificação, possibilitando análises relacionadas à extensão, profundidade, espessura, dimensão, e famílias de descontinuidade principais (mergulho, espaçamento de juntas e planos de acamamento, presença de zonas de falhas e o estado de alteração e decomposição).

Deve-se entender, entretanto, que estas investigações geotécnicas têm caráter de reconhecimento, cujo objetivo é subsidiar a caracterização das unidades geotécnicas e a determinação de diretrizes técnicas para o uso do solo para fins urbanos, pois ainda não se conhece nesta etapa o projeto urbanístico a ser executado, bem como as estruturas necessárias para a sua implantação.

Para a área em questão, a abordagem geotécnica visou enfatizar a relação entre as propriedades geotécnicas dos materiais e o comportamento geral dos terrenos quanto à estabilidade e suscetibilidade aos processos erosivos e movimentos gravitacionais de massa.

Em decorrência do grau de alteração e variabilidade litológica local foram consideradas as unidades geológicas anteriormente descritas (afloramentos rochosos e depósitos de cobertura), que possuem representação em área e importância do ponto de vista de uso e ocupação do território. Já a caracterização dos solos baseou-se na análise tátil-visual, executada nos trabalhos de campo e de ensaios de laboratório de estudos anteriores executados na região.

5.2.7.7.3 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

Formação Cercadinho

Ocorrendo segundo uma faixa ao norte da área, a Formação Cercadinho é constituída pela intercalação de quartzitos finos com coloração clara e filitos variados com coloração variando de cinza a prata. Os aspectos fisiográficos, litoestratigráficos e estruturais são os fatores relevantes nos mecanismos de instabilização das encostas.

As rochas encontram-se muito a extremamente alteradas (W4-5). Os quartzitos possuem boa permeabilidade e geralmente estão muito fraturados. Os filitos, por sua vez, possuem baixa permeabilidade e estão geralmente dobrados e fraturados. O conjunto de características acima descrito confere aos materiais comportamento heterogêneo quanto

à resistência ao cisalhamento e à escavabilidade.

Do ponto de vista fisiográfico, as encostas naturais voltadas para SW são em princípio as que possuem menores estabilidades, dado o desconfinamento das estruturas planares mais importantes (foliação). Nessa direção, são possíveis movimentos naturais envolvendo volumes expressivos de material. Diferentemente das encostas voltadas para SW, nas encostas voltadas para NE os movimentos naturais ficam limitados a volumes pequenos, condicionados ao longo dos sistemas de fraturas não confinados, podendo ocorrer, entretanto, complexas rupturas em cunha.

Silva (1990), ao estudar o comportamento geotécnico das rochas do Supergrupo Rio das Velhas e Supergrupo Minas, concluiu que, de forma geral, a Formação Cercadinho é constituída por materiais com erodibilidade moderada, em decorrência do complexo sistema de fraturas e da permeabilidade elevada nas porções mais próximas à superfície.

Formação Barreiro

Correspondendo a uma pequena faixa na porção S-SE da área com direção geral W-E, a Formação Barreiro é composta essencialmente por filitos grafitosos com coloração variando de cinza escuro a preto. Os materiais que a compõem possuem um aspecto untuoso, principalmente quando saturados, e podem ser classificados como moderadamente alterados a extremamente alterados (W3,4,5). Estruturalmente a unidade é controlada por algumas famílias de descontinuidades e pela foliação da rocha.

Segundo Silva (1990) o grau de coesão é médio, a permeabilidade é muito baixa e a erodibilidade é moderada. O fator estrutural controla a estabilidade. O mergulho para SE e NE da foliação principal, aliado aos sistemas de fraturas existentes faz com que ela esteja sempre desconfinada, podendo assim ocorrer deslizamentos com superfícies de ruptura voltadas para SE e NE.

Dentre os principais problemas deflagrados, os relacionados à erosão hídrica são resultantes da baixa taxa de infiltração característica e à concentração inadequada das águas superficiais. Já os deslizamentos estão relacionados, principalmente, a intervenções antrópicas inadequadas, através da execução de cortes acentuados e da construção subdimensionada do sistema de drenagem pluvial.

Grupo Sabará

Composto predominantemente por xistos sericíticos, o Grupo Sabará ocupa a faixa central/sul da área. Os litotipos possuem uma coloração variando de marrom amarelado a cinza, encontram-se em diferentes estágios de alteração (W3,4,5) e estão localmente recobertos por depósitos coluviais. Silva (1990), em estudos realizados no Município de Belo Horizonte, caracterizou as rochas deste Grupo como de coesão média, permeabilidade muito baixa e resistência à erosão moderada.

A estabilidade das encostas é controlada, principalmente, pelas atitudes da foliação e pelo grau de alteração. Considerando o arcabouço estrutural e as famílias de descontinuidade do substrato, nos topos das colinas e nas encostas mais íngremes voltadas para NW e SW, o comportamento mecânico dos litotipos é bom, nas encostas voltadas para NNE e SSE é regular e nas encostas voltadas para SE e NE, principalmente quando a xistosidade não se encontra confinada, é ruim.

Os domínios nas baixas encostas apresentam como fatores adversos um estado de alteração mais intenso, maiores teores de umidade e a ocorrência de coberturas coluviais e de materiais descartados (aterros). Segundo Carvalho (1982) nestes domínios o papel da estrutura geológica é significativamente atenuado.

Como na Formação Barreiro, nas áreas onde se verifica a exposição direta dos litotipos que compõe este Grupo, tende a ocorrer erosão hídrica, com a concentração inadequada das águas superficiais e formação de sulcos e ravinas, e deslizamentos em solo e rocha. Os deslizamentos em cunha são pouco expressivos e os deslizamentos planares estão relacionados, principalmente, à intervenção antrópica inadequada, através da execução de cortes muito acentuados.

Depósitos Coluvionares

Os depósitos coluvionares ocorrem de maneira localizada na área, bordejando o campo de futebol existente na porção ENE. Oriundos do retrabalhamento das unidades superiores constituem-se de solos heterogêneos com coloração avermelhada, espessura variando de centímetros a alguns metros, como verificado nas sondagens SPT executadas, capeando o contato entre as rochas do Grupo Sabará e da Formação

Cercadinho. A fácil escavabilidade torna estas áreas atraentes para eventuais ocupações. O comportamento mecânico está relacionado à morfologia das vertentes e ao grau de saturação. Nestes domínios os deslizamentos ocorrem, geralmente, condicionados ao contato dos materiais do depósito com a formação geológica subjacente, aproveitando-se das diferenças de permeabilidade dos terrenos e resistência ao cisalhamento dos mesmos.

Dentre os principais problemas deflagrados nesta unidade, destaca-se a erosão hídrica, considerando eventuais ocupações com ausência de infraestrutura urbana adequada (redes pluviais e de esgoto) e deslizamentos rotacionais, principalmente relacionados à execução de cortes, desconfinando os maciços e aterros para construção de moradias.

Depósitos de Canga

O Depósito de Canga ocorre pontualmente na extremidade nordeste da área, resultado do processo de remoção de sílica por lixiviação da unidade ferrífera com conseqüente enriquecimento do solo em ferro e alumina. Comumente os seixos de hematita encontram-se alterados em limonita e/ou goethita. O acúmulo de fragmentos detríticos de itabiritos, xistos, quartzitos, filitos, etc., imersos em uma matriz ferruginosa, cria uma cobertura resistente contra os processos erosionais. Os materiais constituintes dessa unidade geotécnica apresentam capacidade de suporte em geral elevada a muito elevada, principalmente nos locais de ocorrências de carapaças. A escavabilidade na área pode variar de moderada a extremamente difícil. As rupturas das coberturas de cangas, com quedas de blocos e lascas têm como causa a erosão dos saprolitos e rochas subjacentes mais brandas.

Depósitos Aluviais

Os depósitos aluviais são os depósitos recentes observados, principalmente, às margens e no canal do Ribeirão do Funil formando uma pequena planície de inundação do mesmo. Representam menos de 5% da área estudada e são constituídos em sua maioria por sedimentos arenosos com fragmentos inconsolidados de quartzitos, xistos e filitos, acumulados a partir de processos fluviais e por atividades antrópicas. As planícies

aluviais representam as áreas com menor declividade (< 5%) sendo que seus materiais tendem a apresentar propriedades geotécnicas desfavoráveis em função do nível d'água elevado, da variação granulométrica e de possíveis ocorrências de lentes de argila mole. A capacidade de suporte é, em geral, baixa. A escavabilidade é fácil em função dos terrenos aplainados, porém limitada pelo nível d'água (NA) elevado.

5.3 UNIDADES DA CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO

A partir da proposta das etapas para elaboração da carta de aptidão a urbanização (1:5.000), as unidades geotécnicas foram delimitadas considerando basicamente a geologia local (substrato e sua estruturação e depósitos superficiais), a geomorfologia, atributos morfométricos com relação às vertentes (confinamento ou não) e as declividades, e a caracterização do comportamento geotécnico dos materiais tomando-se como base principalmente o conhecimento especialista, e as investigações de campo diretas, indiretas e caracterização dos materiais disponíveis na literatura.

A nomenclatura e classificação das unidades foram ajustadas gerando uma carta geotécnica de aptidão a urbanização final de forma a permitir uma leitura direta pelos gestores e técnicos municipais, através da representação de três classes principais subdivididas conforme as restrições e qualidades dos terrenos, perfazendo um total de oito unidades (Figura 5.14 e Anexo I).

1 - Áreas com Alta Aptidão a Urbanização.

2 – Áreas com Média Aptidão a Urbanização.

3 - Áreas com Baixa a Inexistente Aptidão a Urbanização.

As descrições das classes e subclasses (tipos), sua caracterização geotécnica, os processos geodinâmicos ocorrentes e as indicações para a ocupação que compõem a legenda encontram-se a seguir.

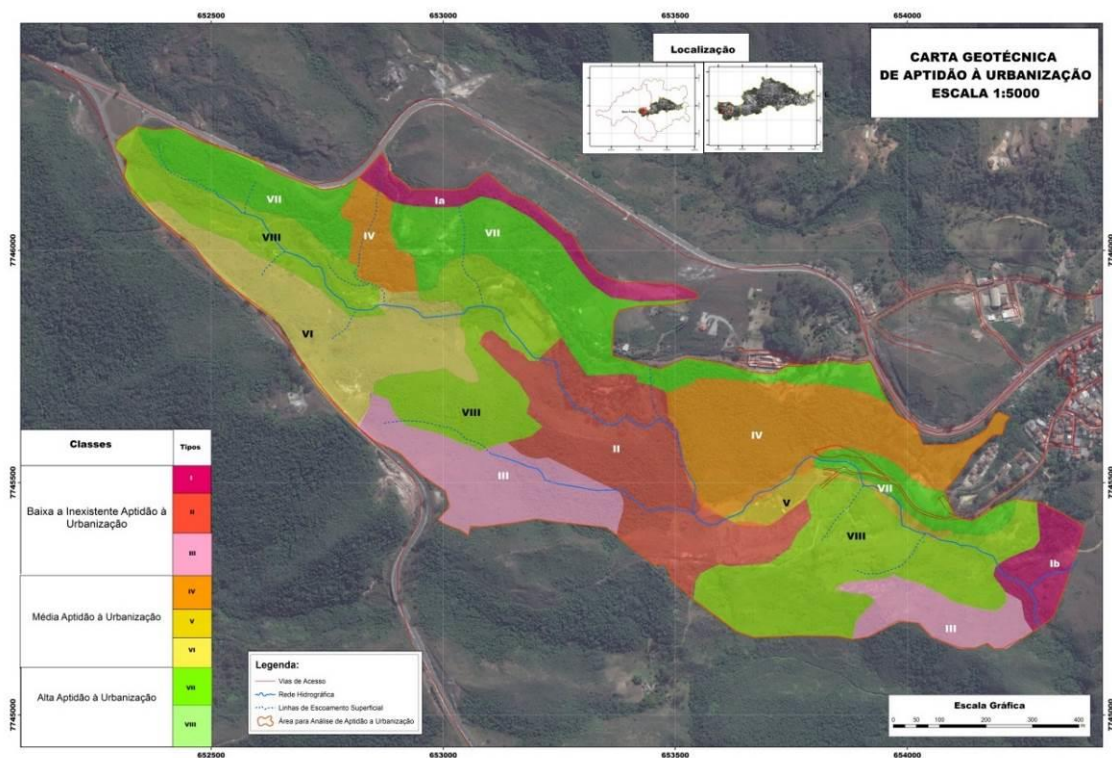


Figura 5. 14 – Carta de aptidão à urbanização

Quadro 5. 1 – Descrição da Caracterização Geotécnica das Unidades de Terreno.

CLASSE	Tipos	CARACTERIZAÇÃO GEOTECNICA
Baixa a Inexistente Aptidão à Urbanização	I	(Ia) - Exposições rochosas alteradas e solo residual com espessuras variáveis (Filito preto dolomítico). Engloba uma porção específica da área referente a uma faixa adjacente à crista de um talude verticalizado com altura superior a 30,0m e extensão de 800,0m. (Ib) - Sedimentos quaternários. Engloba um depósito de várzea com espessuras de até 5,0 m e nível d'água próximo a superfície que recebe as contribuições de toda a bacia do Córrego Passa Dez. A alteração nas capacidades de vazão nesta drenagem, seja em decorrência do assoreamento pelas atividades de mineração e garimpo nos séculos passados, seja pela diminuição das planícies de inundação por motivos de ocupação e execução de aterros, podem tornar mais frequentes as inundações, mesmo para níveis de precipitação menores.
	II	Exposições rochosas com solo residual alterado com espessuras variáveis, declividades acima de 30° e estruturas desconfiadas.

	III	Exposições rochosas com solo residual alterado com espessuras variáveis declividades acima de 30° e estruturas confinadas.
Média Aptidão à Urbanização	IV	Exposições rochosas com solo residual alterado com estruturas desconfinadas (foliação dos filitos e quartzitos é a família de descontinuidade principal), espessuras inferiores a 2,0 m e declividades entre 20 e 30°.
	V	Depósito de várzea (areia argilosa fofa) com espessura até 5,0 m e nível d'água próximo à superfície.
	VI	Exposições rochosas com solo residual alterado com espessuras inferiores a 2,0 m, estruturas confinadas e declividades entre 20 ° a 30°.
Alta Aptidão à Urbanização	VII	Exposições rochosas com solo residual alterado com espessuras inferiores a 2,0 m e declividades inferiores a 20°. Maciços desconfinados (foliação dos filitos e itabiritos é a família de descontinuidade principal) com diferenças de permeabilidade no contato entre as unidades geológicas.
	VIII	Exposições rochosas com solo residual alterado com espessuras inferiores a 2,0 m, estruturas confinadas e declividades inferiores a 20°. Maciços confinados e semiconfinados.

Quadro 5. 2 - Descrição dos Processos Geodinâmicos com suscetibilidade de ocorrência nas Unidades de Terreno.

CLASSE	Tipos	PROCESSO GEODINÂMICO
Baixa a Inexistente Aptidão à Urbanização	I	Possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa naturais (Tombamentos de solo e rocha) e processos erosivos nas vertentes (Ia) e processos de enxurradas e inundação na área de várzea (Ib).
	II	Possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa naturais e induzidos de grande porte (processos erosivos nas vertentes, tombamentos de solo, deslizamentos planares e em cunha).
	III	Possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa naturais e induzidos (processos erosivos nas vertentes, tombamentos de solo e deslizamentos em cunha).
Média Aptidão à Urbanização	IV	Possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa naturais e induzidos devido ao desconfinamento do maciço (processos erosivos nas vertentes, deslizamentos planares e em cunha).
	V	Depósito de várzea (areia argilosa fofa) com espessura até 5,0 m e nível d'água próximo à superfície. Trata-se de um trecho na porção central da Bacia do Ribeirão do Funil com pequena área de

		contribuição a montante.
	VI	Possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa naturais e induzidos (processos erosivos nas vertentes, tombamentos de solo e deslizamentos em cunha).
Alta Aptidão à Urbanização	VII	Possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa naturais e induzidos devido ao desconfinamento do maciço (processos erosivos nas vertentes, deslizamentos planares e em cunha).
	VIII	Baixa possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa naturais (processos erosivos nas vertentes e tombamento de solo e rocha).

Quadro 5. 3 – Descrição das diretrizes e indicações de uso para as Unidades de Terreno identificadas.

CLASSE	Tipos	INDICAÇÃO
Baixa a Inexistente Aptidão à Urbanização	I	Não devem ser aprovados lotes para ocupação permanente nestas áreas.
	II	Não devem ser aprovados lotes para ocupação permanente nestas áreas.
	III	<p>Pavimentação e sistema de drenagem de águas pluviais devem ser executados até no máximo 30 dias após a abertura da via.</p> <p>O solo superficial e a cobertura vegetal dos lotes só podem ser retirados no início da construção das edificações.</p> <p>Necessidade de apresentar estudo de estabilidade global dos taludes na área do loteamento, com base em investigações geológico-geotécnicas, de maneira a indicar as condições de segurança e a eventual necessidade de implantação de obras de estabilização.</p> <p>Necessidade de apresentar estudo geotécnico para simples reconhecimento dos terrenos (sondagem à percussão).</p> <p>Expedição do alvará de construção condicionada à apresentação de projeto de estabilidade de taludes da edificação projetada, apoiado em sondagens do subsolo e em análises de estabilidade.</p> <p>Obras de contenção ou estabilização de taludes devem ser iniciadas no prazo máximo de 30 dias após a execução dos cortes ou aterros.</p>
Média Aptidão à Urbanização	IV	<p>Pavimentação e sistema de drenagem de águas pluviais devem ser executados até no máximo 30 dias após a abertura da via.</p> <p>O solo superficial e a cobertura vegetal dos lotes só podem ser retirados no início da construção das edificações.</p> <p>Expedição do alvará de construção condicionada à apresentação de</p>

		projeto de estabilidade de taludes da edificação projetada, apoiado em sondagens de simples reconhecimento do subsolo e em análises de estabilidade, sempre que houver a previsão de cortes ou aterros com altura superior a 1,5 m.
	V	Para loteamento necessidade de apresentar estudo geotécnico para simples reconhecimento dos terrenos (sondagem a percussão) e elaboração de recomendações para o projeto geotécnico das edificações (fundações). Exigido estudo hidráulico com definição das cotas de inundação para período de retorno mínimo de 25 anos e áreas sujeitas a erosão fluvial. Projeto de loteamento deve prever que a cota mínima de implantação dos lotes esteja acima dos níveis máximos de inundação (TR>25 anos).
	VI	Pavimentação e sistema de drenagem de águas pluviais devem ser executados até no máximo 30 dias após a abertura da via. O solo superficial e a cobertura vegetal dos lotes só podem ser retirados no início da construção das edificações. Expedição do alvará de construção condicionada à apresentação de projeto de estabilidade de taludes da edificação projetada, apoiado em sondagens de simples reconhecimento do subsolo e em análises de estabilidade, sempre que houver a previsão de cortes ou aterros com altura superior a 3,0 m.
Alta Aptidão à Urbanização	VII	Pavimentação e sistema de drenagem de águas pluviais devem ser executados até no máximo 30 dias após a abertura da via. O solo superficial e a cobertura vegetal dos lotes só podem ser retirados no início da construção das edificações. Expedição do alvará de construção condicionada à apresentação de projeto de estabilidade de taludes da edificação projetada, apoiado em sondagens de simples reconhecimento do subsolo e em análises de estabilidade, sempre que houver a previsão de cortes ou aterros com altura superior a 3,0 m.
	VIII	Não há restrições de ordem geotécnica para a aprovação de lotes para ocupação permanente nestas áreas. Expedição do alvará de construção condicionada à apresentação de projeto de estabilidade de taludes da edificação projetada, apoiado em sondagens de simples reconhecimento do subsolo e em análises de estabilidade, sempre que houver a previsão de cortes ou aterros com altura superior a 3,0 m.

* As sondagens de simples reconhecimento (sondagem à percussão) devem conter minimamente a localização dos furos de sondagem, a determinação dos tipos de solo até à profundidade de interesse do projeto, a determinação das condições de compactidade, consistência e capacidade de carga de cada tipo

de solo, a determinação da espessura das camadas e avaliação da orientação dos planos que as separam e a informação do nível do lençol freático.

As proposições aqui apresentadas buscaram abranger uma maior gama de situações, sem considerar as diferenças regionais ou locais referentes aos aspectos do meio físico ou aos processos geodinâmicos ocorrentes, portanto não podem adquirir um caráter de rigidez ou de norma regulamentadora. Desta forma, por vezes o nível de informação básica, as peculiaridades de cada estudo e os próprios recursos técnicos e financeiros disponíveis poderão levar à eliminação de algum passo, a junção de etapas ou a sua adaptação. O mais importante é que se tenha uma linha de atuação na qual, a partir das informações iniciais seja possível desenvolver análises geotécnicas e de suscetibilidades aos processos geodinâmicos, de forma a se chegar a um produto cartográfico de fácil entendimento e aplicação.

PERIGO E RISCO A PROCESSOS GEOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS E ANÁLISE DE PERCEPÇÃO

6.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PERIGO E RISCO

As consequências da desorganização da ocupação urbana ocorrida no Brasil, principalmente nas quatro últimas décadas, têm se expressado pelo grande número de acidentes associados a deslizamentos em encostas, a inundações de margens de córregos e a corridas de massa durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, com enormes danos aos diretamente atingidos e a toda a sociedade, quando não resultam também em mortes e ferimentos. Somente nos últimos 20 anos já ocorreram mais de 3.200 óbitos relacionados a episódios de deslizamentos no Brasil (IPT, 2011) e um sem número de vítimas e prejuízos relacionadas a processos de inundação.

Embora grande parte do tratamento das situações de risco das cidades brasileiras possa estar associada diretamente a políticas públicas de habitação, de planejamento e de controle urbano, é indispensável a implementação de práticas específicas de gerenciamento dos riscos geológicos, o que passa inevitavelmente pela necessidade de mapeamentos sistemáticos das áreas de risco geológico-geotécnico na escala adequada.

Os riscos geológicos aqui tratados podem ser definidos como a probabilidade de ocorrência de acidentes danosos à população, aos bens públicos e privados e à infraestrutura, resultantes de processos naturais (movimentos gravitacionais de massa, inundações, enchentes, enxurradas, alagamentos, erosão linear e de margens de canais, processos cársticos etc.) em ambientes modificados pela implantação do tecido urbano e pela ação cotidiana do homem. Trata-se, portanto, de processos sócio-naturais, onde se combinam a ação desencadeadora das chuvas, a suscetibilidade do ambiente físico e a forma de ocupação humana deste ambiente, que o modifica e nele se integra para construir a cidade. Assim, o enfrentamento destas questões é bem distinto do que se faz quando se analisa a suscetibilidade à ocorrência de processos geodinâmicos, ou se pretende definir setores com aptidão ou não para a ocupação urbana.

Na grande maioria das cidades brasileiras, a ocorrência destes acidentes é indiscutivelmente mais frequente, em número de registros e danos, nos ambientes mais vulneráveis: os aglomerados, morros, favelas, vilas, assentamentos precários, ocupações irregulares, assentadas em terrenos menos adequados/favoráveis do espaço urbano (terrenos com declividade acentuada, cabeceiras de talvegues, linhas de drenagem, planícies de inundação e terraços, pedreiras desativadas etc.). Entretanto, esta realidade não se limita a estas regiões, sendo cada dia mais comuns os registros de atingimentos em áreas urbanizadas, ditas “formais”. Soma-se a esta condição o fato de muito raramente existirem ações de fiscalização e controle da ocupação e do uso do solo.

Um grande número de pesquisadores e profissionais tem se dedicado ao propósito de criar mecanismos para a diminuição da perda de vidas e dos prejuízos econômicos devido aos riscos geológicos. Entretanto, as políticas de administração pública, em sua maioria, ainda utilizam muito pouco o conhecimento técnico-científico para minimizar ou solucionar os principais problemas ocorrentes, principalmente os relacionados ao uso e ocupação do meio físico.

Uma das maneiras de se analisar e representar os riscos geológicos se dá pelo estabelecimento de correlações entre os elementos do meio físico com base em avaliações qualitativas e/ou subjetivas, abordagem esta que prescinde da qualidade das observações de campo e à experiência dos profissionais (conhecimento especialista). Nos últimos anos alguns pesquisadores têm trabalhado com a possibilidade de se gerar bancos de dados digitais confiáveis e representativos na tentativa de obter correlações mais quantitativas e/ou objetivas, orientadas por "parâmetros estatísticos ou semi-estatísticos", com o intuito de facilitar e agilizar os trabalhos que envolvem análise e o zoneamento de riscos. Entretanto, essas tentativas continuam esbarrando na necessidade de se ter dados de entrada em escalas compatíveis com a tipologia dos processos geodinâmicos mais recorrentes, destacando-se entre outros aspectos que:

- As bases topográficas geralmente estão disponíveis em escalas muito pequenas, não permitindo a representação precisa das feições e aspectos observados em campo (mapeamento) e, conseqüentemente, as cartas derivadas destas acumulam a imprecisão da escala, destacando as cartas geomorfológicas qualitativas e os mapas morfométricos de caráter quantitativo (declividade, curvatura, escoamento superficial etc.), o que

dificulta a adequada integração em análises futuras,

- Os mapas cadastrais com representação dos domicílios (localização e identificação) quase inexistem e nos municípios onde estes foram gerados é comum que tenham recobrimento apenas da cidade chamada formal, deixando de lado as áreas mais problemáticas (assentamentos precários). Sem a identificação dos domicílios o zoneamento do risco não permite que ações a curto e médio prazo sejam tomadas (sistemas de alerta-alarme),

- As fotografias aéreas e imagens orbitais com resolução compatível com as escalas de trabalho também não são utilizadas na maioria das vezes, em decorrência do seu custo elevado, e quando existem já se encontram temporalmente defasadas,

- Os Mapas geológicos estruturais, como já apontado para as análises de suscetibilidade e aptidão, estão em escalas menores que 1:50.000, não trazendo adequadamente as alterações do ambiente modificado no processo de ocupação, além de dificultar ou impossibilitar a identificação das principais estruturas que podem condicionar movimentos gravitacionais de massa, fluxos superficiais e corridas de detritos e solo, além de impossibilitar análises mais complexas, mas necessárias, como é o caso da avaliação das principais famílias de descontinuidade visando a geração de modelos de estabilidade,

Por outro lado, as análises por correlações orientadas por "parâmetros estatísticos ou semi-estatísticos", estas têm enormes dificuldades da inserção da ação pontual do homem (alteração da geometria de taludes, lançamento de águas e esgotos etc.) sobre o meio físico, o que inclusive nem sempre apenas potencializa o risco, já que com o processo gradual de urbanização e a execução de intervenções estruturais pontuais, ocorre uma minimização e até a eliminação das áreas identificadas inicialmente como suscetíveis à deflagração de processos geodinâmicos.

Considerando o "Estado da Arte" atual dos procedimentos necessários para avaliação do risco, o zoneamento das áreas sujeitas à ocorrência de eventos perigosos ainda dependerá por um bom tempo do conhecimento e levantamento dos atributos que influenciam na predisposição e deflagração destes fenômenos, bem como na avaliação da variação espacial das condições dos terrenos e a distribuição espacial dos problemas. O grande desafio é confrontar as características físicas, geológicas e geotécnicas das

áreas, com os indicadores de instabilidade (trincas no terreno, degraus de abatimento, estruturas deformadas etc.) e as ações antrópicas identificadas como desencadeadoras de situações de risco.

As cartas geotécnicas de risco geológico em áreas urbanas tratadas neste trabalho seguem fundamentalmente a proposição de gerenciamento dos riscos da Organização das Nações Unidas (UNDRO, 1991), sendo que, entre os procedimentos extremamente necessários durante o processo de mapeamento, pode-se elencar:

- A importância de que se faça, no início do trabalho de mapeamento, uma pesquisa de dados sobre ocorrências e registros de acidentes junto aos órgãos competentes (arquivo público municipal e estadual, Corpo de Bombeiros, Defesa Civil etc.) e de mapeamentos e/ou estudos anteriores, para que se tenha um entendimento prévio dos problemas recorrentes e seus condicionantes principais. Ainda é muito comum por parte de muitos profissionais não envolver os técnicos municipais no processo de identificação do risco, o que impossibilita a importante função de transferência de conhecimento que as etapas de identificação do risco podem assumir.

- A importância de os levantamentos serem sempre realizados em detalhe de laudo geotécnico ou de projeto (cadastro), com a caracterização e análise *in loco* das características do meio físico, dos agentes potencializadores e a identificação dos indícios diretos de movimentação.

- A importância, sempre que possível, de voos de baixa altitude para obtenção das fotografias aéreas oblíquas que, além de minimizar os problemas de representação do mapeamento em decorrência da ausência de bases cartográficas adequadas, permitem uma leitura atualizada da ocupação e uma análise preliminar das áreas a serem estudadas com a seleção de trechos com maior potencialidade de configurar situações de risco geológico,

- A importância da descrição, nos trabalhos de campo, dos fatores condicionantes do risco geológico dos setores em avaliação (litotipo presente, perfil de alteração, presença e espessura das camadas de solo, aterros/bota-fora e lixo, presença de estruturas - famílias de descontinuidade e suas relações cinemáticas, declividade, distâncias da base e da crista da encosta em relação as moradias, presença de blocos rochosos, dinâmica do regime do escoamento dos cursos d'água e posição na bacia hidrográfica, obstrução das

linhas de drenagem naturais etc.).

Na escala de cadastro todos os processos geodinâmicos, bem como sua abrangência, são passíveis de identificação (reconhecimento): movimentos gravitacionais de massa – translacionais, rotacionais, em cunha, inundações/enchentes/alagamentos, corridas de lama e detritos, rastejos, erosões lineares (sulcos, ravinas e voçorocas), solapamentos de margem, assoreamento, subsidências e colapsos, expansão de terrenos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiros etc.

A metodologia adotada pelo Ministério das Cidades (Brasil, 2004) tem sido o procedimento mais difundido na identificação e mapeamento de riscos geológicos nos últimos 10 anos, tendo se tornado uma iniciativa organizada para a melhoria da situação do quadro atual e já foi aplicada em mais de 100 municípios do país. Isto não impede a aplicação de outros métodos, considerando sempre a necessidade dos mapeamentos serem executados na escala de detalhe (1:2.000 ou maiores), com o intuito de se identificar pontualmente os locais problemáticos e respectivamente as ações necessárias para eliminação do risco geológico a curto prazo. Nesse sentido, embora a metodologia do Ministério das Cidades preconize a importância de que os estudos para a avaliação do risco estabeleçam quatro graus hierárquicos (baixo, médio, alto e muito alto) para uniformização dos procedimentos e tomada de decisões de maneira uniforme em todo o território nacional, a proposta executada neste estudo levou em consideração o estabelecimento de três graus hierárquicos (baixo a inexistente, médio e alto).

Além disso, diferentemente do que tem sido adotado atualmente na metodologia do Ministério das Cidades, em que os setores de risco ao serem identificados são delimitados apenas pelos domicílios, sugere-se que também sejam englobados nos setores de risco toda a área de abrangência dos processos, principalmente no tocante a deslizamentos, quedas de blocos rochosos e corridas de massa. Desta forma, as cartas de risco geológico em áreas urbanas podem auxiliar no próprio planejamento urbano do município, com as soluções urbanísticas contemplando efetivamente os setores identificados como de risco geológico, deixando assim de serem documentos voltados somente para ações emergenciais.

É importante destacar que na cartografia de risco geológico, durante o processo de mapeamento, podem ser identificadas situações que exigem ações imediatas de forma a

não permitir a permanência das famílias em locais identificados com maior potencial a deflagração de processos geodinâmicos, bem como ações que podem e devem ser executadas a curto e médio prazo. Nesse sentido, julga-se de extrema importância que, concomitantemente à etapa de mapeamento dos riscos geológicos, a equipe executora do mapeamento proponha ou determine as intervenções estruturais e de gerenciamento para cada setor de risco (remoções definitivas e temporárias, obras de engenharia, monitoramento sistemático etc.), a estimativa dos custos necessários para que estes sejam captados e ou reservados no orçamento do município e, também, a definição de critérios técnicos para a priorização de tais intervenções. Os quantitativos (como extensões, áreas e/ou volumes) devem ser levantados em campo, ou graficamente dependendo da situação, chegando-se ao orçamento individualizado das intervenções para cada setor de risco.

6.2 IDENTIFICAÇÃO DOS RISCOS GEOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS

Na BHRC, para que seja possível pensar em análises de riscos geológicos e hidrológicos, faz-se necessário inicialmente ter o domínio ou a consolidação do conhecimento dos cenários existentes em seu território. Entretanto, não há mais sentido discutir apenas a aplicação de metodologias de mapeamento, sem estarem atreladas às atividades que as envolvam no gerenciamento/gestão do risco e o compartilhamento dos dados em todo o processo de identificação dos problemas. Diferentemente de outras análises cartográficas, a identificação do risco, seja qual for a metodologia, envolve pessoas e, principalmente, a necessidade de imediatas propostas de ações preventivas, já que as intervenções necessárias para a solução dos problemas podem levar anos para serem executadas, e muitas vezes isso pode nem acontecer.

Pressuposto estabelecido, este capítulo tem por objetivo abordar a última temática proposta para ser analisada no âmbito da BHRC, dentro da lógica do mapeamento progressivo. Refere-se a escala de maior detalhe, complementar às análises geoambientais, de suscetibilidade e aptidão a urbanização executadas. Por se tratar de um ensaio, mas dentro da lógica do mapeamento progressivo são propostos procedimentos para identificação do risco geológico e hidrológico apenas para a sede do

município de Mariana.

Assim sendo, será apresentada uma nova proposta de abordagem e sequência de procedimentos para a identificação de setores de risco, executada apenas para a área urbana de Mariana. Espera-se que o restante do município seja mapeado com a mesma metodologia em um futuro próximo, bem como o município de Ouro Preto, e quiçá seja empregada em outros municípios e bacias hidrográficas.

Como elemento estruturante desta proposição, o instrumento de cadastro por meio de visitas de campo continua se fazendo necessário, pois entende-se que seja este o meio mais efetivo para as avaliações relacionadas ao risco, bem como o meio mais eficiente para a transferência de conhecimento entre o técnico de campo, os técnicos das prefeituras e os moradores das áreas em avaliação.

Por este motivo a proposta de mapeamento do risco deste trabalho baseou-se na metodologia proposta por Brasil (2007), mas com adaptações para um alinhamento conceitual e cartográfico em relação às terminologias nacionais e internacionais. A seguir estão elencados os procedimentos aqui propostos especificamente para a etapa de Identificação do risco (UNDRO, 1991), que será o único abordado nesta tese.

A sequência a seguir não foi gerada com a intenção de virar um roteiro metodológico, mas apenas um conjunto de atividades que podem compor uma avaliação de risco baseada na experiência de elaboração de inúmeros mapeamentos em municípios brasileiros.

6.2.1 PROCEDIMENTOS PARA IDENTIFICAÇÃO DO PERIGO E RISCO GEOLÓGICO

O procedimento aqui proposto e aplicado foi subdividido em nove passos descritos a seguir:

1º Passo: Avaliação do território municipal em relação à área urbana e seu entorno, para a análise do meio físico e dos condicionantes que possam contribuir para a deflagração de processos geológicos e hidrológicos (Quadro 6.1).

Quadro 6. 1 - Fatores condicionantes que devem ser observados durante a atividade de campo / mapeamento.

Fatores Condicionantes	
<p>Geologia</p> <ul style="list-style-type: none"> • Litotipo presente; • Perfil de alteração; • Presença de formações superficiais; • Presença de estruturas planares / descontinuidades; • Permeabilidade dos materiais. <p>Relevo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forma e extensão da encosta; • Perfil transversal do talvegue; • Posição da área no perfil da vertente; • Regime do escoamento do curso d'água e posição na bacia hidrográfica; 	<p>Relevo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Declividade; • Altura dos taludes de corte e das encostas; <p>Vegetação</p> <ul style="list-style-type: none"> • Presença de vegetação; • Porte da vegetação; • Extensão da cobertura vegetal. <p>“Formações antrópicas”</p> <ul style="list-style-type: none"> • Presença e espessura de aterros / bota-fora; • Presença e espessura de lixo; • Extensão das camadas.

Fonte: adaptado de Brasil, 2007.

As análises geoambientais geradas anteriormente neste estudo exemplificam informações que podem ser utilizadas ou geradas para uma melhor compreensão do meio físico. Deve-se sempre buscar as escalas de maior detalhe. A elaboração de um mapa de suscetibilidade anteriormente ao início dos trabalhos de mapeamento contribuiu para uma melhor análise do meio físico, mesmo não sendo este indispensável para o desenvolvimento das atividades aqui propostas. Quando os mapas de suscetibilidade já existirem ou forem gerados anteriormente às análises do risco, as áreas identificadas como de suscetibilidade alta devem impreterivelmente ser avaliadas na escala de detalhe conforme proposto por Sobreira e Souza (2012).

2º Passo: identificação dos atores de referência do município, para a solicitação de informações já existentes sobre áreas e análises de risco, registros de ocorrências e/ou estudos já desenvolvidos no território municipal que estejam disponíveis na Prefeitura Municipal. Este é um dos momentos mais importantes do processo de avaliação de risco, pois envolve no processo de análise os usuários das cartas que serão geradas. Soma-se aqui a realização de uma visita de campo acompanhada e guiada pela Defesa Civil e/ou técnicos municipais para reconhecimento inicial do município e de seus problemas segundo a ótica destes profissionais. O envolvimento da sociedade também é

fundamental considerando que a implementação de ações de prevenção depende inevitavelmente da inclusão dos moradores e da aderência destes às proposições, principalmente quando a convivência com o risco se fizer necessária. Para exemplificação de como os atores podem ser identificados e de como as informações coletadas nas defesas civis podem ser trabalhadas, a seguir apresentam-se três mapas gerados neste estudo para a sede do município de Mariana com as informações coletadas no 2º Passo (Figuras 6.1 e Anexo I, 6.2, 6.3). As informações são importantes não só para a etapa de análise do risco, mas para a construção de um processo contínuo de gestão no território municipal, já que como discutido anteriormente as ações relacionadas aos riscos geológicos e hidrológicos não se encerram com a finalização da etapa de identificação destes, mas pelo contrário, se iniciam a partir desta etapa.

3º Passo: Avaliação do território municipal para a identificação de feições de instabilidade. As feições principais se referem às juntas de alívio, fendas de tração, fraturas de alívio, trincas e os degraus de abatimento, inclinação de estruturas rígidas como árvores, embarrigamento de muros e paredes, elevação de níveis de água, aumento de turbidez em corpos d'água (Brasil, 2007) e, principalmente, a presença de cicatrizes de deslizamento e feições do relevo que possam indicar instabilidade. Mapas de ocorrências baseados nos dados históricos de Defesa Civil e mapas de cicatrizes e feições do relevo que podem ser gerados através de análises temporais através de fotos aéreas, ortofotos e imagens de satélite, contribuem sobremaneira para as análises aqui propostas (Figuras 4.10 e 4.33).

4º Passo: Definição dos tipos de processos de instabilização passíveis de serem deflagrados no território municipal, que podem ser classificados como proposto por Augusto Filho (1992). Esta etapa é fundamental para entendimento, a partir da tipologia dos processos ocorrentes, da forma e dimensão das rupturas e abrangência no caso de deflagração de movimentos gravitacionais de massa, bem como a magnitude dos processos no caso de solapamentos e inundações. Em uma análise de risco via cadastramento / vistoria, as principais informações perseguidas pelo vistoriador são a tipologia do processo e sua abrangência, pois a partir destas análises tornar-se-á possível o entendimento das rupturas prováveis, os volumes de material passíveis de mobilização

(ou nível de atingimento de cheias) e, conseqüentemente, a abrangência da área de atingimento e a vulnerabilidade dos elementos expostos.

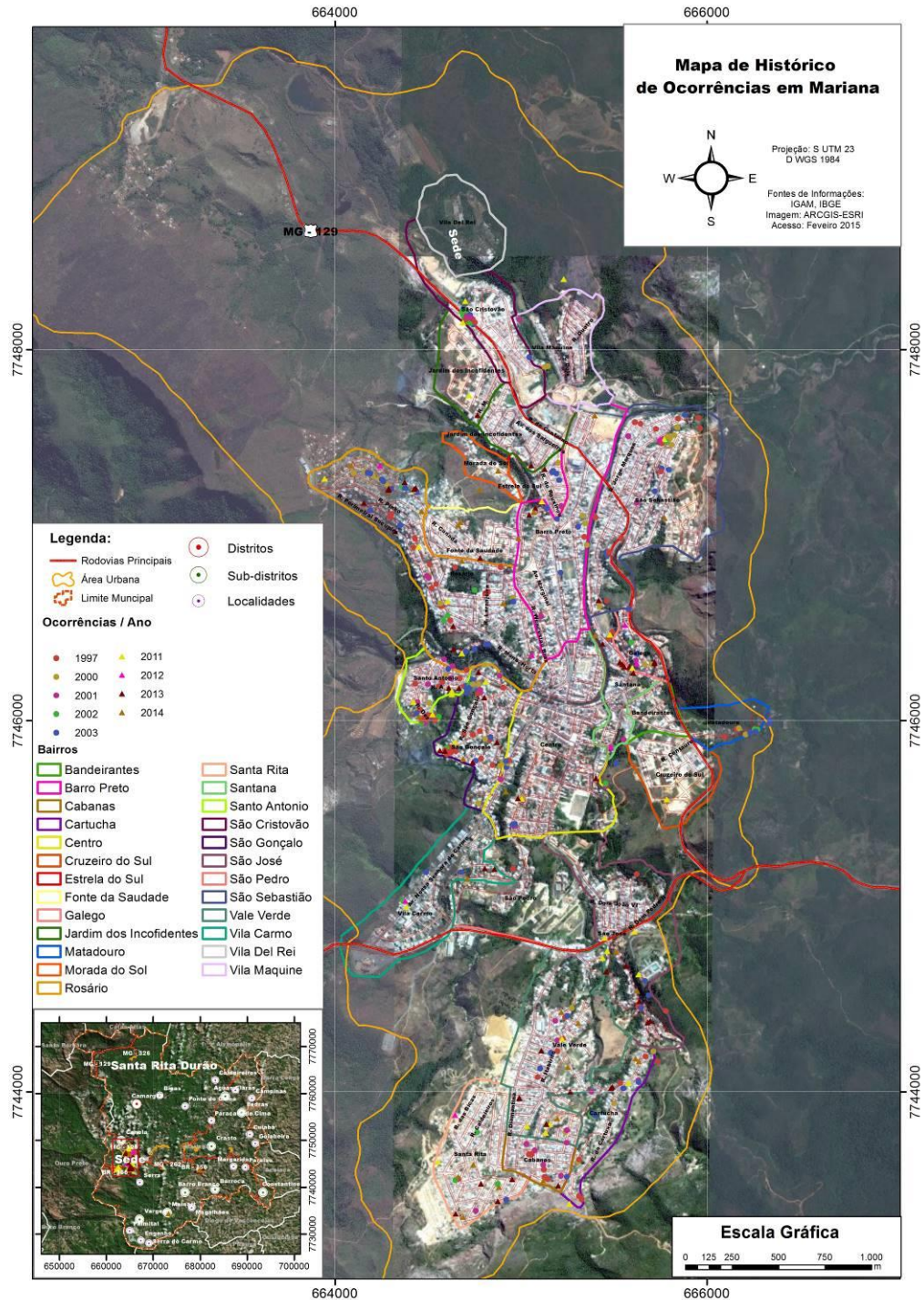


Figura 6.1 – Mapa de ocorrências ao longo da sede do município de Mariana construído a partir das análises de Souza (2004) complementada com a análise e sistematização de todos os boletins de ocorrências disponíveis até o ano de 2014.

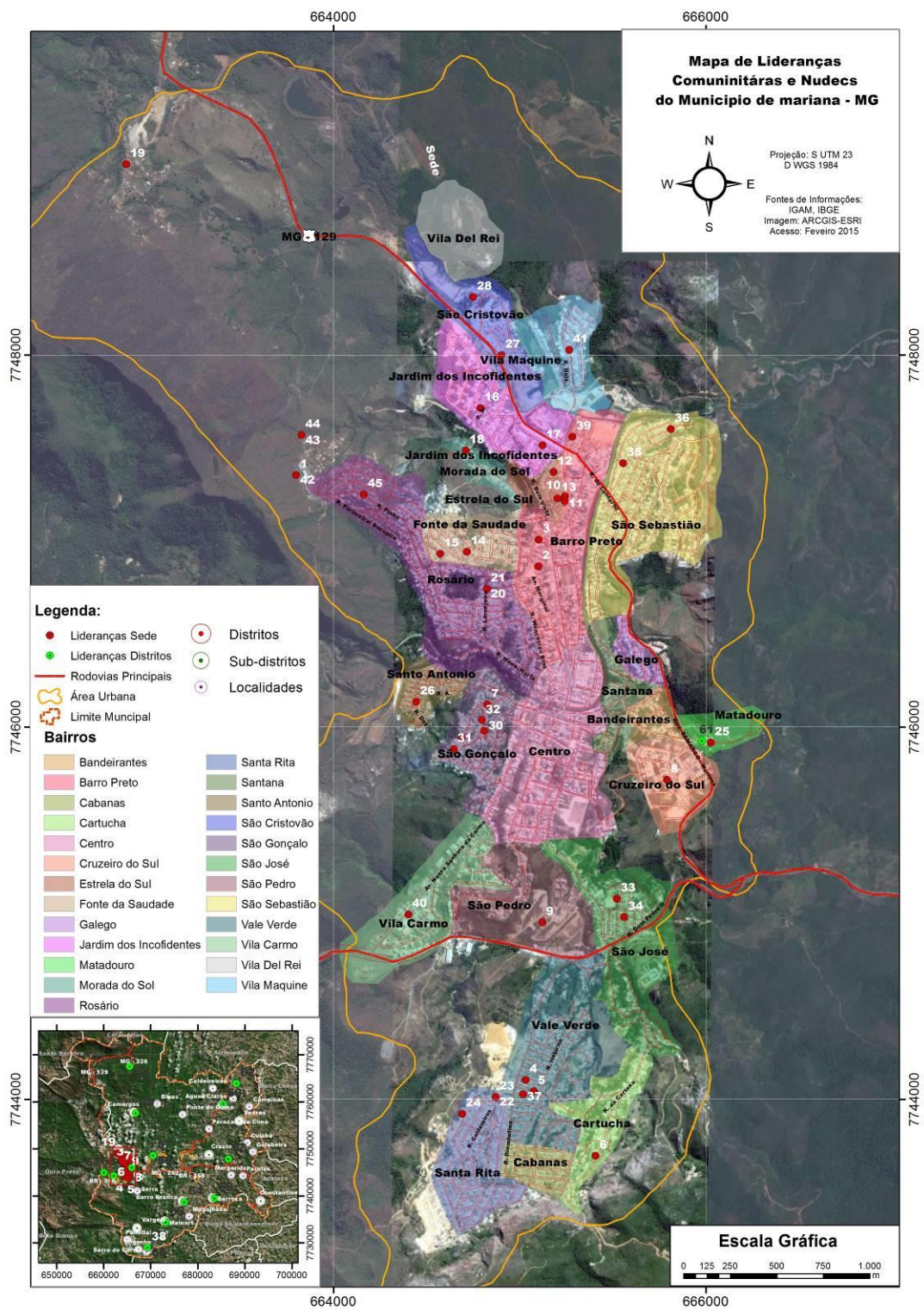


Figura 6. 2 – Mapa de Lideranças Comunitárias gerado neste trabalho com os dados repassados pela Defesa Civil.

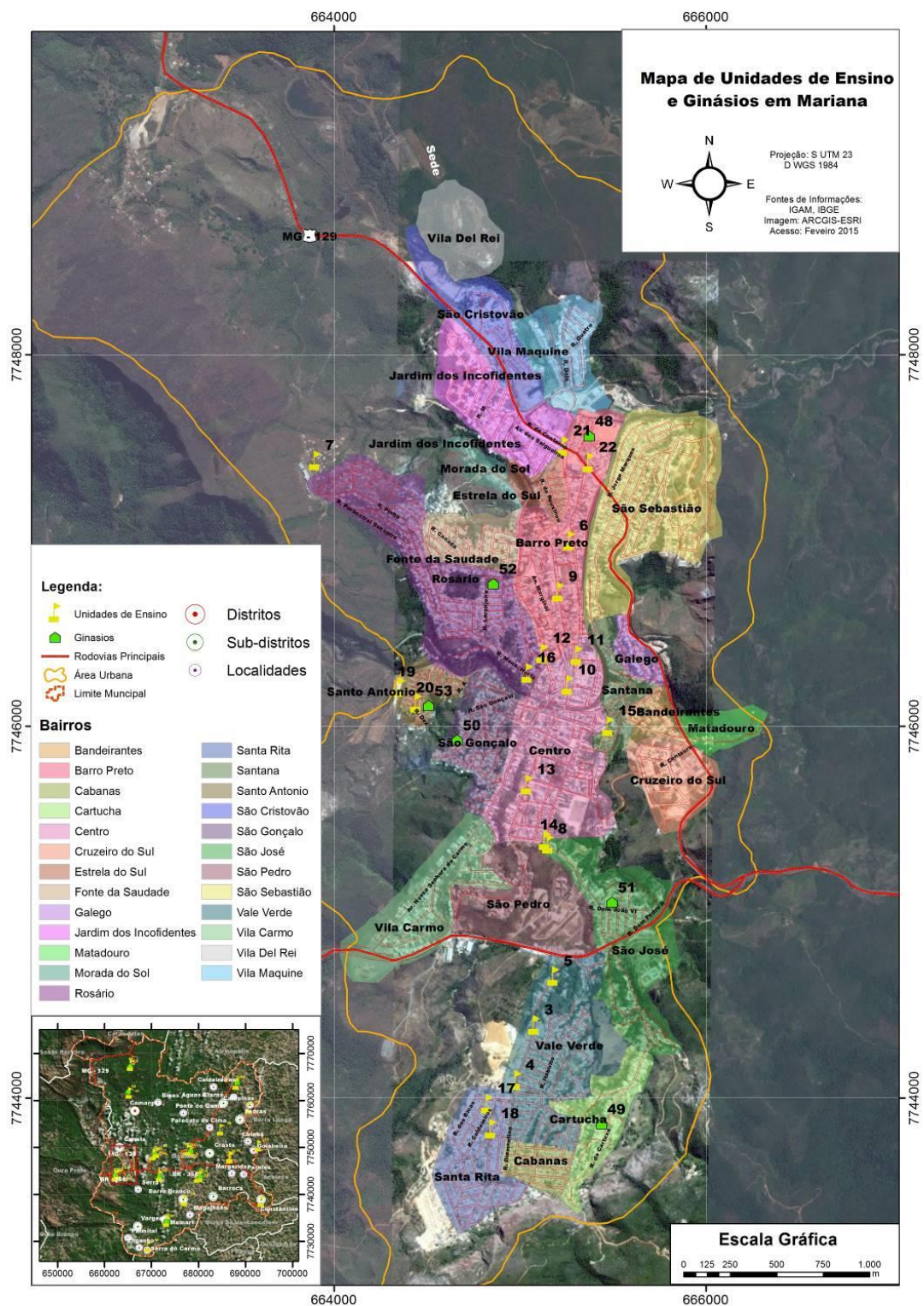


Figura 6. 3 – Mapa de áreas que podem ser utilizadas para abrigamentos temporários gerado neste trabalho, com os dados repassados pela Defesa Civil e Prefeitura Municipal.

5º Passo: Determinação e classificação do Perigo através da delimitação, sobre a base cartográfica, da área que envolve a provável superfície de ruptura e a área de atingimento no caso de deflagração dos processos. Ressalta-se aqui o emprego do termo “perigo” segue o conceito discutido no capítulo 2. Ressalta-se, também a importância da obtenção do maior número possível de fotografias áreas oblíquas, seja por qual método for (Fotos de chão de pontos mais elevados, Vant, Helicópteros, Aviões tripulados etc.), pois na grande maioria das vezes as imagens de satélite disponíveis estarão desatualizadas, além de não permitirem uma perspectiva real dos terrenos para análise das prováveis rupturas. Considerando as dificuldades em se trabalhar nos centros urbanos em relação aos acessos a todos os taludes de corte, uma relação possível de ser adotada seria de uma abrangência mínima de 10,0 m a partir da crista ou superfície de ruptura, e de 2/3 da altura da encosta projetado sobre a base, sendo que esta proposição é resultado da soma de um sem número de avaliações de campo, para movimentos translacionais rasos, e por este motivo deve ser empregada com cautela. Os critérios para determinação dos graus de perigo foram adaptados de Brasil, 2007 (Quadro 6.2).

Quadro 6. 2 - Grau de probabilidade para classificação do perigo, adaptado de BRASIL, (2007).

Grau de Probabilidade	Descrição
P1 Baixo a Inexistente	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. Não se observa (m) evidência (s) de instabilidade. Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens. É a condição menos crítica. Mantidas as condições existentes, não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período de 1 ano.
P2 Médio	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) são de média potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. Observa-se a presença de alguma (s) evidência (s) de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porém incipiente (s). Processo de instabilização em estágio inicial de desenvolvimento. Mantidas as condições existentes, é reduzida a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.

<p>P3 Alto</p>	<p>Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. Observa-se a presença de significativa (s) evidência (s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, etc.). Processo de instabilização em pleno desenvolvimento, ainda sendo possível monitorar a evolução do processo. Mantidas as condições existentes, é perfeitamente <i>possível</i> a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.</p>
----------------------------------	--

Fonte: modificado de Brasil (2007).

As Figuras 6.4 e 6.5 (e Anexo I) retratam o resultado obtido com os trabalhos de campo para a classificação do perigo para a sede do município de Mariana conforme proposição metodológica. A avaliação se restringiu aos perímetros urbanos do município e não foram representadas cartograficamente as áreas de perigo baixo a inexistente.

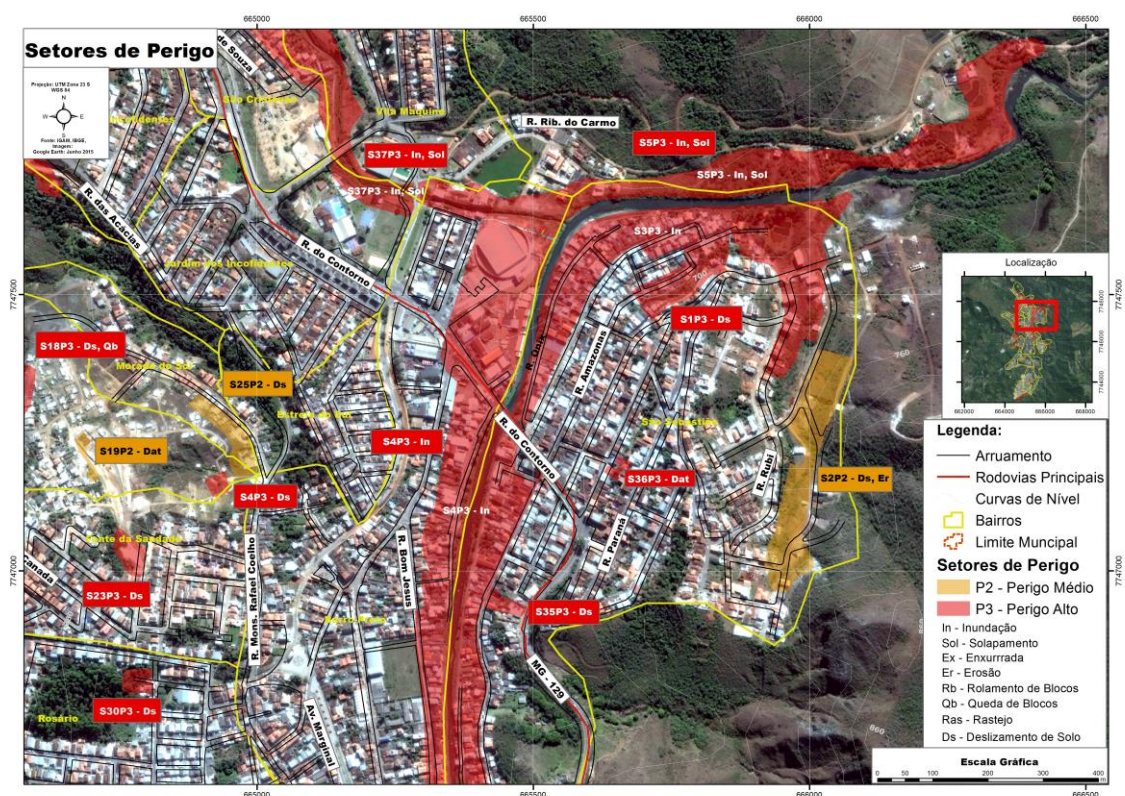


Figura 6. 4 – Carta de perigo de parte da sede do município de Mariana – MG exemplificando parte dos setores identificados.

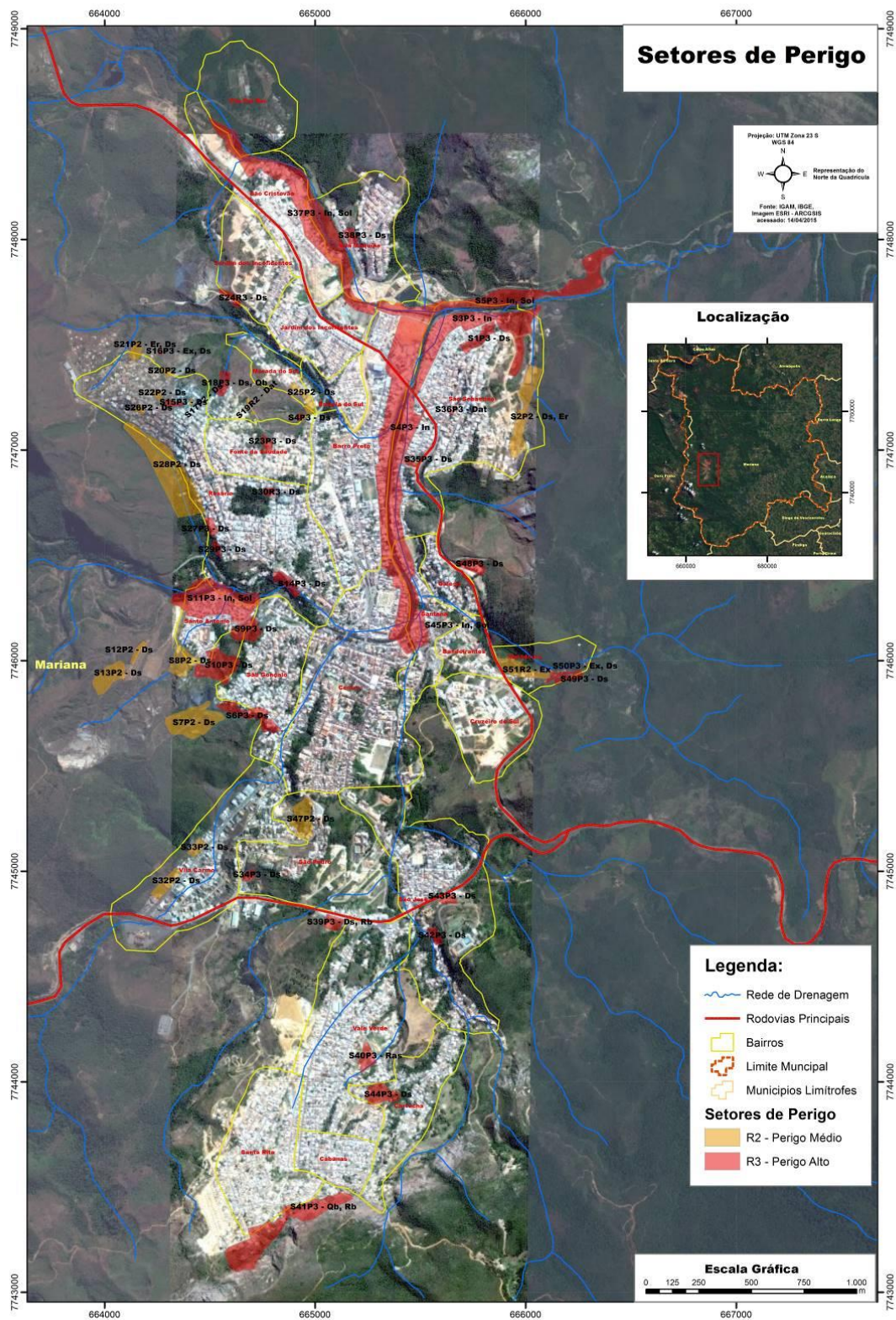


Figura 6. 5 – Carta de perigo para a sede do município de Mariana gerada neste estudo – MG.

6º Passo: Análise da vulnerabilidade. Para análise da vulnerabilidade e considerando diversas metodologias existentes, conforme discussão inserida no Capítulo 2, foi necessária uma simplificação onde considerou-se principalmente a infraestrutura da área e a qualidade e o tipo de habitação existente em relação aos tipos de materiais de construção (concreto reforçado, alvenaria, madeira, adobe etc.), e o estado de conservação. Nesta etapa as moradias devem ser classificadas diretamente sobre a base cartográfica ou da própria imagem *Google*, se esta for a única disponível.

7º Passo: Análise da intensidade provável do dano.

A análise da intensidade do fenômeno pode ser feita a partir de vários aspectos tais como a força de impacto, tensões em pacotes de solos movimentados, altura de acumulação, extensão da área afetada, magnitude do fator detonante (gatilho) etc. Como aqui se propõe uma avaliação ainda na etapa de identificação do perigo, e não de elaboração de projetos básicos ou executivos, sua determinação dependerá do conhecimento especialista dos vistoriadores, pois não estarão disponíveis modelos de estabilidade determinísticos. Para sua determinação faz-se necessário a correlação da intensidade do fenômeno com os elementos expostos (unidades habitacionais/edificações, instalações de saúde, unidades de ensino / equipamentos e materiais escolares, instalações usadas para alojamento / abrigo, represas, reservatórios, tanques, estações de tratamento de água e esgoto, poços, cisternas, instalações administrativas, fossas, redes de esgoto, redes de água, sistemas de drenagem superficial, vias de acesso veicular e de pedestre, patrimônio histórico etc.). Neste estudo foram adotados índices mostrados no Quadro 6.3.

Quadro 6. 3 – Índices de intensidade do dano por processo geodinâmico.

Movimentos de Massa		Quedas de Blocos	
Nível de Intensidade		Nível de Intensidade	
1,0	Destruição total da edificação e infraestrutura, e não é possível o retorno das pessoas após a cessão do fenômeno.	1,0	Destruição Total da edificação e/ou da infraestrutura.
0,75	Destruição Parcial da edificação e perda parcial da infraestrutura e dos bens, mas ainda não é possível o retorno imediato das pessoas após a cessão do fenômeno.	0,75	Destruição Parcial da edificação e da infraestrutura sendo possível o retorno imediato das pessoas caso a instabilidade não exista mais.
0,5	Perda parcial da infraestrutura, mas é possível o retorno da família após a cessão do fenômeno.		
Inundações		Rastejo	
Nível de Intensidade		Nível de Intensidade	
1,0	Destruição total da edificação e não é possível o retorno da família	0,25	Destruição parcial da edificação.
0,75	Destruição Parcial da edificação e perda de todos os bens, não sendo possível o retorno imediato da família após a cessão do fenômeno e a regularização do nível do canal.	Solapamento	
		Nível de Intensidade	
0,25	Perda parcial dos bens, mas é possível o retorno da família após a cessão do fenômeno e a regularização do nível do canal.	1,0	Destruição total ou parcial da edificação não sendo possível o retorno da família

As Figuras 6.6, 6.7 e 6.8 exemplificam a categorização da intensidade em alguns dos setores de perigo identificados:

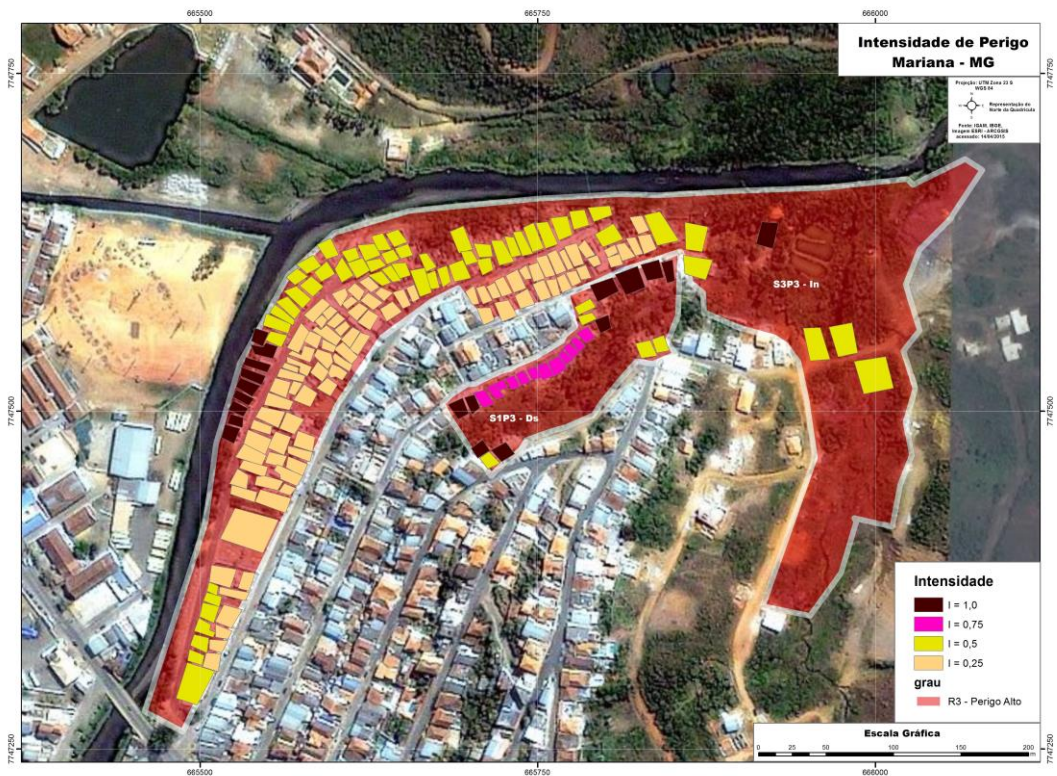


Figura 6. 6 – Exemplo de classificação da intensidade do dano por domicílio em dois setores de perigo (S1 e S3) identificados em parte da sede do município de Mariana relacionados a movimentos de massa (S1) e inundações (S3).

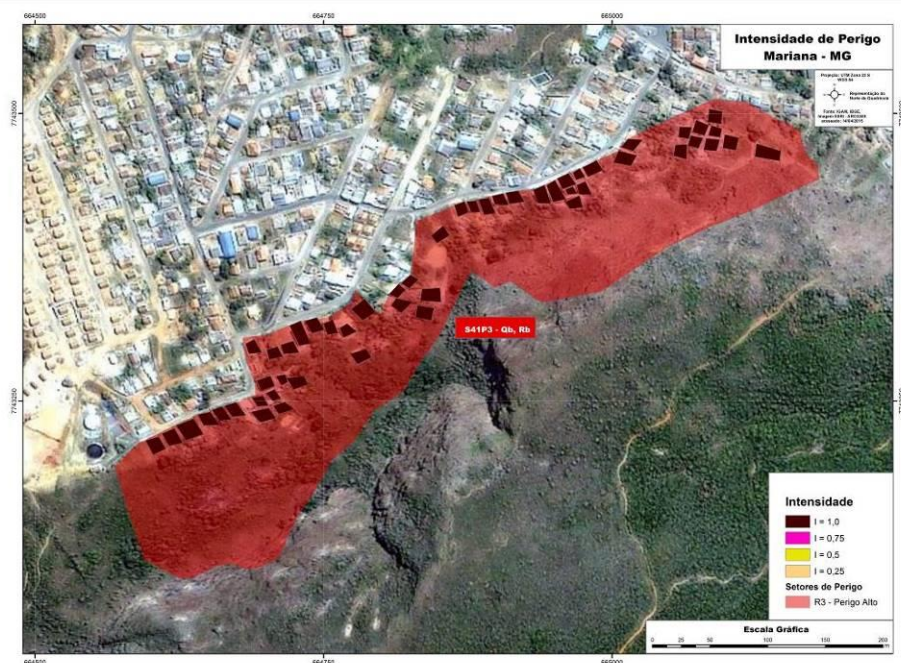


Figura 6. 7 – Exemplo de classificação da intensidade do dano por domicílio em um setor de perigo (S41) relacionado a queda e rolamento de blocos rochosos.

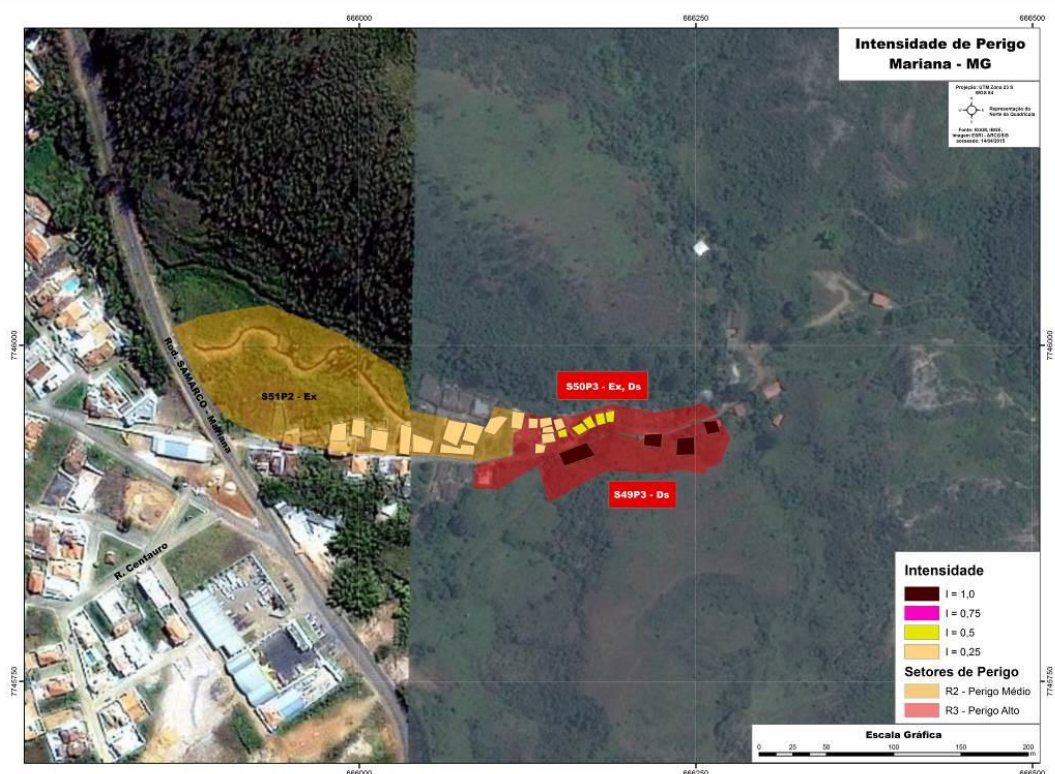


Figura 6. 8 – Exemplo de classificação da intensidade do dano por domicílio em três setores de perigo (S49, S50 e S51) identificados em parte da sede do município de Mariana.

Na quantificação do dano, em decorrência de sua complexidade é premente a necessidade de que ocorram amplas discussões para a elaboração de manuais que permitam uma sistematização mais adequada às ameaças que afetam o território Brasileiro. Como referência cita-se aqui o manual para avaliação dos impactos socioeconômicos e ambientais de desastre (CEPAL, 2003).

Porém, como este não foi o objetivo central deste trabalho, adotou-se apenas valores de referência em relação às unidades habitacionais, deixando para trabalhos posteriores a construção de planilhas de composição de danos para as diversas tipologias de edificação e infraestrutura. Faz-se necessário, também, separar o que é “dano”, que é aquilo que ocorre imediatamente, durante ou depois do fenômeno que causa o desastre, das “Perdas”, que são percebidas depois do fenômeno, por um período de tempo que pode ir de semanas à meses, até que comece a recuperação.

8º Passo: Caracterização dos setores, a partir da descrição de fichas de campo, considerando, além dos aspectos geológico-geotécnicos, a localização das áreas, condições e referência para se chegar até elas, número de domicílios, classificação do perigo, a necessidade de ações emergenciais, nome e contato do maior número possível de moradores residentes etc. Estas informações não foram adicionadas a este volume em decorrência da extensão dos dados.

9º Passo: O cálculo do risco, foi feito a partir da correlação entre as áreas de perigo identificadas, a intensidade do dano e o valor de referência para as habitações e infraestrutura. Esta relação algébrica foi executada para três dos vários setores de perigo identificados, sendo adotado apenas para valores referenciais e aplicação do método proposto, os custos relacionados a possíveis reassentamentos por unidade familiar. Como existe uma variação entre os estados brasileiros em relação aos custos de reassentamentos, foram utilizados como referência os custos aplicados em diversos planos municipais de redução de risco, repassados pelo Ministério das Cidades no ano de 2014, sendo eles: remoções para municípios do interior R\$ 70.000,00 e remoções para regiões metropolitanas R\$ 89.000,00. É salutar salientar mais uma vez que complexos cálculos de perda e dano podem ser desenvolvidos para os cenários identificados. Entretanto, este não foi o objetivo desta pesquisa. O quadro 6.4 sintetiza os valores obtidos para o risco nos setores S2, S3, S41, S49, S50 (Figuras 6.6, 6.7 e 6.8) obtido pela relação algébrica entre o número de domicílios, o custo das remoções e o nível de intensidade relativo a cada processo geodinâmico.

Quadro 6. 4 – Quantificação do risco dos setores de perigo S1, S3, S41, S49, S50 e S51) identificados no município de Mariana – MG.

Setor	Número de Domicílios	Risco Geológico Hidrológico (R\$)
S1	27	1.435.000,00
S3	142	4.235.000,00
S41	52	3.640.000,00
S49	4	280.000,00
S50	11	280.000,00
S51	11	192.500,00

As metodologias atualmente aplicadas no tratamento dos riscos geológicos estão sempre de alguma maneira alinhadas à proposição da Organização das Nações Unidas (UNDRO - *United Nations Disasters Relief Office* 1991), a qual estabelece que gerenciamento de riscos geológicos deva envolver não apenas a identificação dos processos, mas, necessariamente, quatro estratégias básicas.

- Identificação e análise dos riscos.
- Planejamento e implementação de intervenções para a minimização dos riscos.
- Monitoramento permanente das áreas de risco e implantação de planos preventivos de defesa civil.
- Informação pública e capacitação para ações preventivas e de autodefesa.

Os resultados obtidos mostraram a possibilidade de que ocorra o alinhamento conceitual em relação às análises de perigo e risco, mesmo entendendo que a forma atual de aplicação da metodologia do Ministério das Cidades não traz nenhum problema em relação aos resultados que vem sendo obtidos, principalmente em decorrência da escala em que é proposta e executada. Entretanto, do ponto de vista de gestão do risco, a soma entre a quantificação do dano propriamente dito em relação aos setores mapeados, a partir de composições mais detalhadas e a continuidade da proposição de intervenções estruturais com estimativas de custos associadas a cada setor de perigo/risco, permitirão uma comparação direta entre estes valores, de forma a contribuir para escolhas de gestão que priorizem ações de prevenção em detrimento a ações de mitigação e resposta.

6.3 PERCEPÇÃO DO RISCO

Além das análises progressivas propostas para este estudo na BHRC relacionadas à cartografia geoambiental e geotécnica foi também desenvolvida uma metodologia para avaliação da percepção do risco geológico e hidrológico da sociedade, visto que muito se tem preocupado com a geração de metodologias, relatórios e mapas relacionados a diagnósticos do meio físico, identificação de suscetibilidade, do perigo e/ou risco

geológico e hidrológico, mas muito pouco tem sido feito para se entender como a sociedade percebe e age em relação aos problemas que podem ser deflagrados, bem como entende os instrumentos técnicos e legais existentes, o que dificulta sobremaneira o seu envolvimento na construção de uma sociedade mais resiliente e/ou participativa. É senso comum que as formas de disseminação e transferência do conhecimento sobre o meio físico, seus condicionantes e aptidões são ainda muito tímidas e não alcançam o poder público e a sociedade de modo satisfatório.

A proposta de identificação da percepção foi então estruturada, em sua elaboração, considerando principalmente a temática risco geológico e hidrológico, com o objetivo de que as análises geradas, como a desenvolvida nesse trabalho, se tornem públicas e apropriadas pela população envolvida, desenvolvendo-se um trabalho educativo, informativo e de mobilização junto à população moradora de áreas de risco, através das lideranças comunitárias e de entidades da sociedade civil.

No Brasil ainda são poucos os estudos que buscam integrar resultados de análises da percepção de risco da sociedade aos instrumentos hoje existentes para a identificação e gerenciamento de processos geológicos e hidrológicos. Entretanto, conforme definido por Tobin e Montz (1997) a gestão do risco é um processo de gerenciamento de decisões que deve envolver a definição de necessidades, o reconhecimento das opções aceitáveis e a escolha de estratégias apropriadas, evidenciando a complexidade social do processo por envolver ações de planejamento, intervenção e organização, que devem ser avaliadas e conduzidas de forma contínua e consistente.

Um dos primeiros estudos com abordagem da percepção ambiental que se tem registro foi a publicação da obra “*A Imagem da Cidade*”, de Kevin Lynch na década de 60, onde o autor parte da ideia de que cada cidadão possui vastas associações com algumas partes de sua cidade, e que a imagem de cada um é impregnada de lembranças e significados. Lynch também propõe a decomposição da imagem ambiental em três elementos: *identidade, estrutura e significado*, sendo que quando o homem percebe o ambiente, ele “filtra” determinadas informações, interpretando e conferindo significado aos diferentes estímulos ambientais aos quais é submetido no decorrer de sua experiência enquanto usuário da cidade. Como cada observador possui experiências distintas, as imagens podem variar significativamente entre observadores diferentes.

Para Tuan (1980), a *percepção ambiental* é a resposta dos sentidos do indivíduo aos estímulos externos emitidos pelo espaço que o circunda, capturando o indivíduo da condição passiva de mero observador do meio ambiente, de forma a transportá-lo ao nível da ação. Quando o indivíduo passa a compreender os fenômenos de sua interação com o ambiente, ele passa a ser capaz de assumir atitudes ambientais que transformem seu próprio *espaço em lugar*.

Já Veyret (2007), ao caracterizar o risco como um objeto social, definido pela percepção do perigo, e que existe apenas para aquele que o “*apreende por meio de representações mentais e com ele convive por meio de práticas específicas*”, ressalta o fato de que os riscos só podem ser estimados a partir da forma como as sociedades os percebem. Assim, os conhecimentos científicos e técnicos não são suficientes para que se possa estimar a gravidade de um acontecimento potencial, considerando que as diferenças culturais também são determinantes na avaliação de um risco, o que leva os indivíduos a terem naturalmente diferentes percepções.

Giddens (1999) ressalta que a comunicação de risco deve basear-se na sua percepção e para tal aponta a necessidade de se ter um processo de democratização das informações e das decisões científicas a respeito dos riscos. Ao mesmo tempo, aceitar a existência de riscos exige que a sociedade seja capaz de promover a visibilidade e interpretação deles, e não apenas a identificação dos fenômenos físicos, mesmo porque é muito difícil a avaliação precisa de um risco, e mesmo que exista uma maior precisão, o comportamento das pessoas ainda será motivado pela subjetividade que envolve aquele problema, através das impressões que elas têm dele. Este é mais um dos desafios que se tem nos trabalhos de comunicação de risco, considerando-se as múltiplas percepções que cada situação específica desperta, sendo a mais comum o reconhecimento pelos indivíduos da existência do risco, porém, sem que se sintam vulneráveis a ele.

Sendo uma construção social e, portanto, subjetiva, Kuhnen (2009) também ressalta que a percepção e o entendimento do risco são influenciados pela mescla de sentimentos, valores e crenças individuais e coletivas. Assim, a discussão de medidas de mitigação e prevenção será diretamente influenciada pelo nível de percepção de risco.

Ainda sob a ótica conceitual, Guilam (1996) traz à luz o questionamento de termos comumente empregados na literatura tais como “risco percebido”, “percepção

equivocada” e “visão inexata” que sugerem a existência de um risco real ou de uma percepção correta e adequada (Slovic *et al.* (1979), Arcelo e Dumont (2010), entre outros). Nascimento (2012) concorda com o questionamento partindo do pressuposto que não existe uma percepção certa ou uma errada, mas sim percepções diferentes, condizentes com as experiências vividas por cada indivíduo ou grupo social. Na mesma linha, outros autores, como Peres *et al.* (2005), preferem utilizar o termo “percepção de risco menos acurada” para diferenciarem a percepção do risco de grupos sociais em relação a avaliação técnica, propriamente dita.

Beck (2006) coloca que “*Se o reconhecimento de um risco é recusado sob as bases de um estado ‘impreciso’ da informação, isto significa que as ações preventivas são negligenciadas e o perigo aumenta*”. Entretanto, é necessário destacar que tanto as pessoas quanto as instituições inconscientemente acabam escolhendo os riscos aos quais darão maior ou menor atenção, reflexo na maioria das vezes da maior ou menor proximidade a determinados fenômenos, e preocupações que se relacionam com os valores e crenças pessoais e coletivas. Esta condição latente pode levar a uma superestimação ou subestimação de determinados riscos.

Imperato e Mitchells (1985) acrescentam que existe certo grau de irracionalidade nas reações humanas frente aos riscos e que, muitas vezes, essa irracionalidade pode levar a uma negação do próprio risco. A convivência cotidiana com riscos contribui para que lentamente diminua a percepção sobre os problemas provocando uma gradativa falta de atenção e cuidados, cujo grau de banalização pode contribuir para uma forte tendência a subestimá-los, o que pode ser facilmente constatado no dia a dia cidades, onde tem-se tornado comum a naturalização e aceitação do que normalmente seria rejeitado ou no mínimo questionado, levando a uma minimização do risco por aqueles que diariamente com ele convivem.

Os riscos tendem geralmente a ter uma maior visibilidade quando há a possibilidade de a vítima ser a própria pessoa ou alguém próximo a ela. Outra questão a ser considerada é que uma dada situação pode gerar múltiplas percepções ou não gerar percepção pelo simples fato de não possuir embasamento na realidade daquele indivíduo ou grupos de indivíduos, levando-os, em alguns casos, a ignorar a probabilidade de ocorrência de um evento (Peres, 2003). No caso das encostas, o sujeito só vai perceber que uma

determinada situação local pode representar um risco se tiver informações e referências anteriores sobre a questão. Caso contrário, ele não perceberá o risco porque o mesmo não faz parte do seu repertório interpretativo. Considerando este pressuposto, é imperativo que a execução de ações de planejamento relacionadas à identificação de riscos, como a elaboração de Planos Municipais de Redução de Risco, Plano Diretores Municipais, entre outros, levem em consideração a execução de estudos de percepção de risco do mesmo universo de trabalho (município / comunidade / bairro).

Entretanto, como destacado por Layrargues (2006), embora não seja possível evitar a maioria dos desastres naturais, torna-se ao menos possível minimizar seus efeitos através de trabalhos preventivos, afinal muitos desses desastres não possuem causas estritamente naturais, pois o papel da ação humana frequentemente agrava ou desencadeia o risco.

Dentre os poucos trabalhos que abordam esta temática no Brasil podem-se destacar Jacobi (1997), Freire (2001), Oliveira *et al.* (2011), Silva (2012), Nascimento (2012), e Matos *et al.* (2012).

6.3.1. METODOLOGIA PROPOSTA

Considerando o imprescindível papel da população no enfrentamento dos riscos geológicos e hidrológicos, é de extrema importância o conhecimento da maneira pela qual uma população identifica e compreende as situações críticas do local onde reside. Entretanto, poucos são os estudos de percepção aplicados em municípios, ou parte deles, com abordagem dos riscos geológico e hidrológico. Um dos objetivos deste trabalho foi o de inserir estudos de percepção de risco geológico e hidrológico na lógica do mapeamento progressivo proposta por Sobreira e Souza (2012) em um último nível de detalhe, de forma a contribuir para a construção de uma gestão do risco mais efetiva do território da BHRC. Torna-se assim fundamental conhecer o nível de aceitação do risco por parte da população de um município, para que se possa posteriormente traçar uma política de prevenção baseada em estratégias de intervenção mais eficazes.

Por este motivo buscou-se aqui aplicar uma abordagem na qual domicílios da cidade de Mariana fossem visitados para que o morador descrevesse as situações de risco

percebidas e/ou vivenciadas em seu bairro/comunidade, e ainda refletisse sobre a sua participação social em relação a esses riscos.

Nesse sentido a proposta metodológica, embora com base na sede do município de Mariana, foi estruturada para que possa ser aplicada em outros estudos e municípios durante a etapa de identificação das áreas de risco/perigo, ou até mesmo quando da elaboração e revisão de seus planos diretores, de forma a estimular os moradores a pensarem sobre as situações de risco dentro do seu território, bem como possibilitar ao poder público a proposição de ações preventivas mais aderentes às realidades locais.

O primeiro passo para a análise da percepção do risco foi a construção de um questionário que conjugasse elementos quantitativos e qualitativos que permitisse a coleta de dados e posterior análise das informações. Dentre os diversos métodos de coletas de dados na pesquisa social, a entrevista é uma das formas que permite uma maior interação entre o pesquisador e o pesquisado. Trata-se de um estudo piloto e, embora tenha-se buscado a proposição de um questionário padrão estruturado, como instrumento de coleta de informações para a garantir que a mesma pergunta tenha sido feita da mesma forma a todas as pessoas que foram pesquisadas, foi classificado como método de coleta semiestruturado. Neste caso, o que difere em relação ao método estruturado é que os questionamentos podem, dependendo dos resultados obtidos, gerar novas hipóteses, surgidas a partir das respostas dos entrevistados. Entretanto, o foco principal da entrevista continua sendo direcionado pelo investigador-entrevistador.

O modelo do questionário criado para este trabalho considerou uma estrutura dividida em quatro linhas principais, sendo que este se encontra na íntegra no Anexo I.

1 – DADOS DO ENTREVISTADO

2 – DADOS DO BAIRRO/COMUNIDADE/DOMICÍLIO

3 – PERCEPÇÕES A RESPEITO DO RISCO

4 – PARTICIPAÇÃO SOCIAL EM RELAÇÃO AO RISCO

6.3.1.1. AMOSTRAGEM

Se o pesquisador trabalha com todo o grupo que ele tenta compreender, diz-se que está trabalhando com a POPULAÇÃO. Usualmente, devido ao alto custo e às dificuldades

operacionais de se examinar toda a população, calcula-se uma amostra (subconjunto de indivíduos extraídos de uma população) que seja representativa para que os resultados obtidos possam ser generalizados (Guimarães, 2008). Como o objetivo deste trabalho foi utilizar um município como referência para análise da percepção do risco geológico e hidrológico, foi necessário definir um método de amostragem que permitisse que qualquer indivíduo da população pudesse vir a fazer parte da amostra. Estes métodos de amostragem são denominados probabilísticos. O cálculo do número amostral para este estudo foi realizado no programa estatístico *Epi Info* 6.0, o qual se baseia na seguinte fórmula:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{Z^2 \cdot p \cdot (1 - p) + e^2 \cdot (N - 1)} \quad (6.1)$$

Em que:

n = número amostral.

N = população total de referência, da qual uma amostra é obtida e sobre a qual são tiradas as conclusões.

Z = variável normal padronizada associada ao nível de confiança com que se pretende construir um intervalo.

p = prevalência esperada do evento a ser estudado, podendo ser obtido a partir da literatura ou da realização de um estudo-piloto.

e = erro amostral. É o valor que se está disposto a aceitar (para mais e para menos) como erro na estimativa obtida pelo estudo.

ed = efeito do delineamento ou do desenho. O valor ed pode variar entre 1 e 2 conforme o rigor que se deseja para um estudo, ou seja, uma amostra com um tamanho " X " pode assumir o dobro do seu tamanho (" $2X$ ") se necessário ou importante.

A definição do tamanho da amostra foi o primeiro desafio, por depender da população total de referência a ser estudada. Outro ponto fundamental é que a proposição desta metodologia leva em consideração a possibilidade de aplicação das entrevistas (por

questões de custo e tempo disponível) em paralelo com as etapas de identificação dos perigos/riscos, quando da elaboração de mapeamentos, planos municipais de redução de risco, planos de contingência, planos diretores, entre outros instrumentos.

Além disso, esta análise da percepção proposta não se restringe especificamente à visão do entrevistado em relação ao seu domicílio, mas também, e principalmente, em relação ao seu entorno (bairro), de forma a construir conexões sociais mais abrangentes que possam estar associadas à proposição de ações de prevenção e resposta. Entretanto, como a definição do tamanho da amostra, assim como a ocorrência de processos geodinâmicos, distribui-se comumente por partes de vários bairros e/ou comunidades, tem-se uma limitação em relação à utilização direta do número de domicílios disponível no Banco de Dados Agregados (SIDRA) – IBGE por setor censitário e/ou unidade administrativa municipal, a não ser que se adote valores para a prevalência esperada muito baixos, o que aumentaria significativamente o número amostral, inviabilizando na maioria dos casos a execução da aplicação das entrevistas para todo o território municipal.

Diante de tal dificuldade, mais uma vez a proposta de trabalho considerou a análise progressiva como fundamentação, para que a definição da prevalência esperada do evento a ser estudado fosse definida de forma adequada, já que se trata de um estudo piloto sem referências estabelecidas na literatura. Assim, propõem-se inicialmente para estudos que envolvam a totalidade das áreas urbanas de um município, ou parte desta, a geração de um mapa de ocorrências a movimentos de massa e processos de inundação do município, a partir dos dados históricos de vistorias e atendimento da Defesa Civil e/ou Corpo de Bombeiros, para permitir a definição das áreas de amostragem mais relevantes.

Entretanto, enquanto é possível para os processos de inundação delimitar espacialmente os cenários que separam as áreas onde já ocorreram os processos, das áreas onde não espera-se sua ocorrência (áreas mais declivosas etc.), para os processos relacionados à movimentos de massa tal distinção é mais complexa em decorrência do número de variáveis que os condicionam (principalmente em relação à intervenção antrópica), bem como por englobar, ao mesmo tempo áreas com registro anterior de movimentos de massa e, principalmente, áreas onde estes ainda podem ocorrer (potencialidade), mas

que não necessariamente serão alvo de atingimentos. Tais questões influenciam substancialmente a definição das prevalências esperadas, seja para um estudo envolvendo áreas mais abrangentes, como, por exemplo, um município, seja para definir as prevalências esperadas para estudos mais detalhados, como, por exemplo, focados nos setores de risco/perigo baixo, médio, alto ou muito alto delimitados em planos municipais de risco.

Visto isso, após a espacialização dos eventos, propõem-se a delimitação de polígonos que englobem os pontos de ocorrências e seu entorno imediato, determinando as áreas alvo do estudo de percepção de risco. Para as manchas definidas pela ocorrência de processos de inundação, considerando a abrangência espacial do processo, os polígonos devem englobar, a partir dos registros históricos, todos os domicílios contidos nas manchas de inundação que foram ou poderão ser atingidos independente da magnitude do dano que por ventura possa ser gerado, pois o objetivo aqui é trabalhar apenas a percepção do risco de forma generalizada e não a magnitude do processo. Sugere-se a adoção de cenários de inundação de 25 anos como referência. Sendo assim, o passo seguinte à determinação das áreas de estudo é a contagem dos domicílios, utilizando-se de imagens de satélite georeferenciadas e a adoção de uma prevalência esperada para este processo geodinâmico, aqui proposta de 99%. Já para as áreas que englobam as ocorrências de movimentos de massa, quanto mais dispersos forem os registros de ocorrências, maior a dificuldade na geração dos polígonos e maior será a subjetividade em relação à definição da prevalência esperada de ocorrência real dos processos. Conseqüentemente, maior será o impacto sobre a determinação do número amostral. Como está se trabalhando com variáveis categóricas, busca-se um resultado que indique qual é o percentual de elementos com uma dada característica. No caso deste trabalho, para movimentos de massa a proposta foi de também delimitar as áreas de abrangência como feito para as áreas de inundação, mas agora restringindo as áreas de amostragem a partir da densidade de pontos com ocorrência de movimentos de massa, com posterior contagem dos domicílios englobadas nos polígonos. Como não existem na literatura parâmetros de referência para estudos de percepção de risco geológicos e hidrológicos propõe-se aqui a adoção dos seguintes valores de prevalência esperada:

- 50% para um valor fixo do erro aceitável: quando não existirem quaisquer dados sobre

ocorrências de processos geodinâmicos ou cartografias geotécnicas auxiliares, sendo este o valor que maximiza o tamanho da amostra.

- 75% se não existirem dados sobre ocorrências de processos geodinâmicos, mas existirem cartografias geotécnicas auxiliares na escala 1:10.000 ou maiores.

- 90% no caso de existirem dados contínuos e confiáveis de ocorrências de movimentos de massa, especialmente referenciados, cuja densidade permita a delimitação de áreas de amostragem.

- 99% caso o objeto de estudo e amostragem para percepção de risco sejam setores de risco geológico identificadas na escala de cadastro (escala 1:2.000 ou maior) considerando aqui setores classificados como de risco alto e muito alto. No caso dos setores de classificados como de risco médio sugere-se uma prevalência de 75% e de risco baixo de 50%.

Progressivamente, quando finalizados os trabalhos de identificação dos setores de risco por meio de cadastro, o mesmo procedimento poderá ser adotado, mas agora considerando como número amostral os domicílios contidos nos polígonos que delimitam os setores de perigo/risco à ocorrência de processos geodinâmicos identificados na escala de detalhe. Se o mapeamento for realizado na escala de cadastro, a prevalência esperada para estudos de percepção poderá ser calculada independente do processo geodinâmico.

A Figura 6.9 sintetiza a proposta metodológica para a análise da percepção do perigo/risco neste estudo piloto.

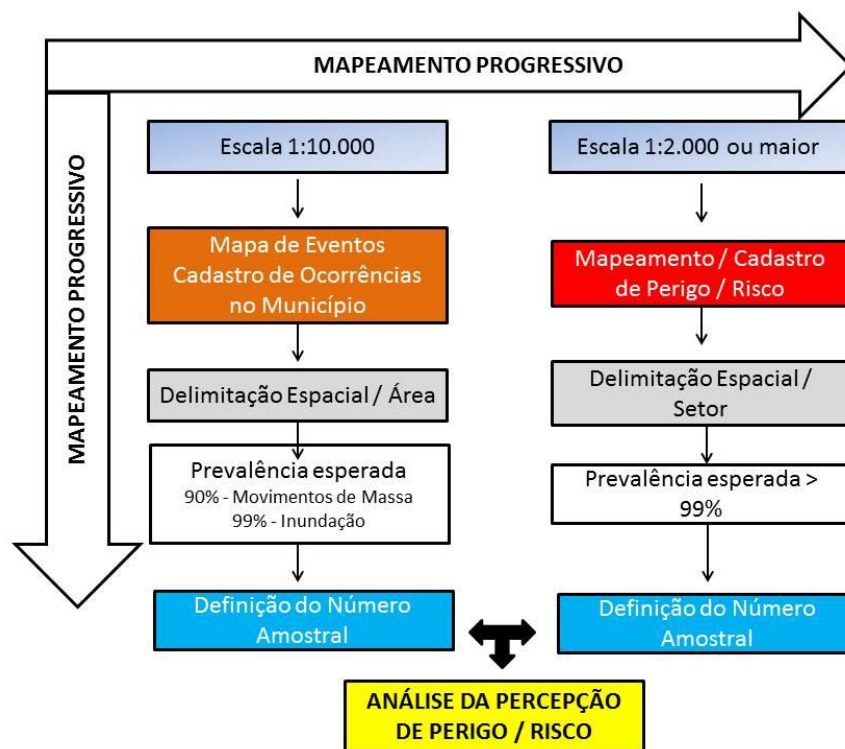


Figura 6. 9 – Proposta de definição de número amostral em estudo de percepção de risco geológico e hidrológico em diferentes escalas de mapeamento.

O passo seguinte foi a elaboração do plano de amostragem, que consistiu em definir as unidades amostrais, a maneira pela qual a amostra foi retirada (o tipo de amostragem), e o próprio tamanho da amostra. Foi considerado como unidade amostral cada um dos domicílios, que corresponderam aos elementos da população, já que foi realizada uma entrevista individual por domicílio.

Especificamente em relação à Mariana, a análise de interpretação do mapa de ocorrências de processos geodinâmicos (Figura 6.10 e Anexo I, Quadro 6.5) permitiu a identificação de 25 polígonos/áreas, cuja contagem de domicílio levou a identificação de 2511 domicílios.

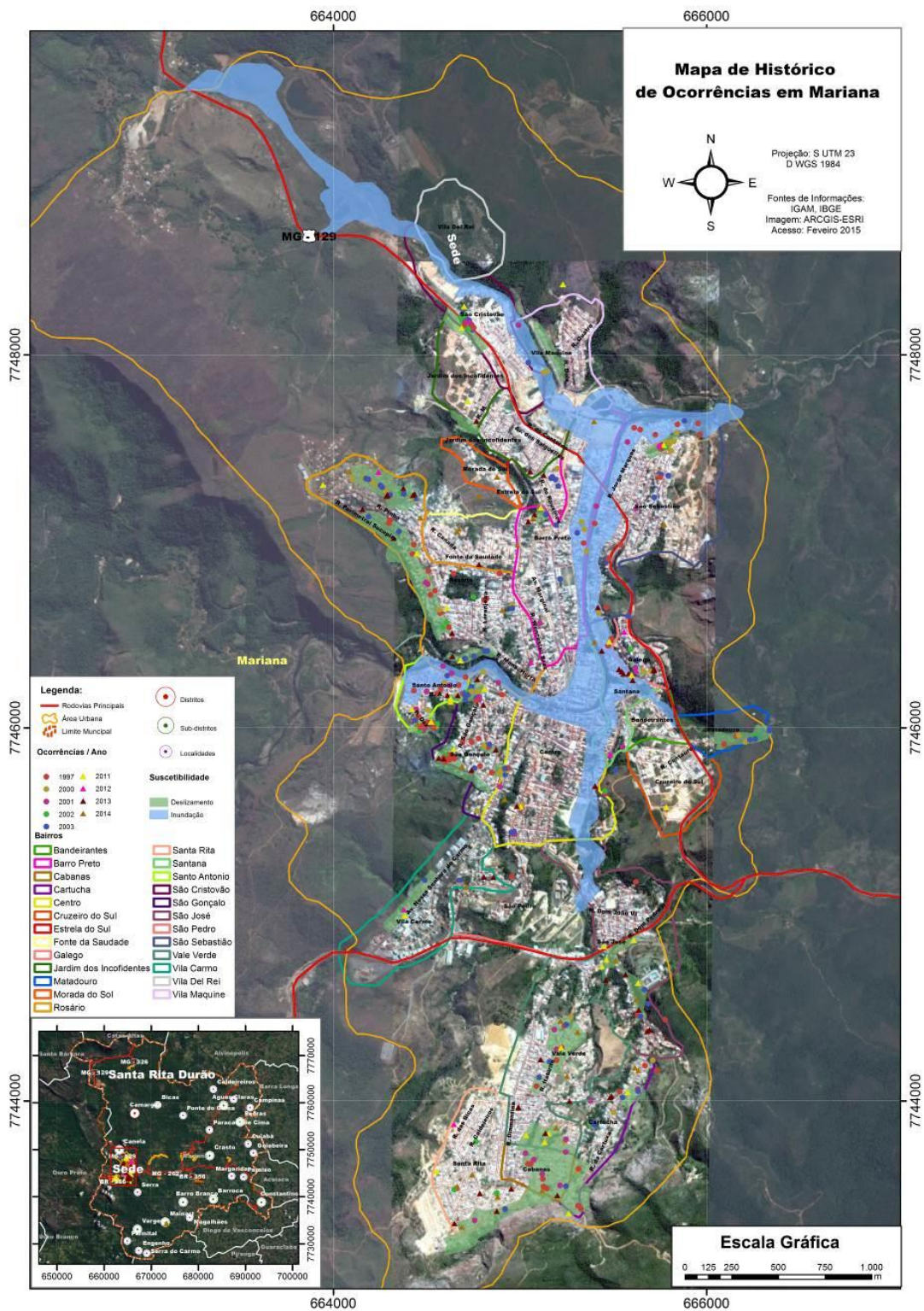


Figura 6. 10 – Delimitação das 25 áreas do município de Mariana - MG definidas para a aplicação das entrevistas individuais para análise da percepção de risco geológico e hidrológico.

Segundo o IBGE, em 2014 a população estimada do município era de 58.233 habitantes e o número de domicílios 19.439, o que remete a uma estimativa de 2,995 habitantes por domicílio.

Quadro 6. 5 – Relação das áreas de amostragem delimitadas para o estudo da percepção do risco.

ÁREAS	NÚMERO DE DOMICÍLIOS	PROCESSO GEODINÂMICO
AR 01	1025	Inundação
AR 02	12	Movimentos Gravitacionais de Massa
AR 03	37	Movimentos Gravitacionais de Massa
AR 04	30	Movimentos Gravitacionais de Massa
AR 05	22	Movimentos Gravitacionais de Massa
AR 06	30	Movimentos Gravitacionais de Massa
AR 07	14	Movimentos Gravitacionais de Massa
AR 08	14	Movimentos Gravitacionais de Massa
AR 09	13	Movimentos Gravitacionais de Massa
AR 10	113	Movimentos Gravitacionais de Massa
AR 11	212	Movimentos Gravitacionais de Massa
AR 12	16	Movimentos Gravitacionais de Massa
AR 13	23	Movimentos Gravitacionais de Massa
AR 14	28	Movimentos Gravitacionais de Massa
AR 15	73	Movimentos Gravitacionais de Massa
AR 16	7	Movimentos Gravitacionais de Massa
AR 17	16	Movimentos Gravitacionais de Massa
AR 18	408	Movimentos Gravitacionais de Massa
AR 19	135	Movimentos Gravitacionais de Massa
AR 20	30	Movimentos Gravitacionais de Massa
AR 21	28	Movimentos Gravitacionais de Massa
AR 22	45	Inundação
AR 23	70	Inundação
AR 24	84	Inundação
AR 25	26	Movimentos Gravitacionais de Massa

O valor N foi estimado considerando a realização de uma entrevista por domicílio, totalizando 2511 domicílios nas áreas de estudo.

O valor Z adotado foi de um nível de confiança de 95%, correspondente, na tabela de distribuição normal, a um valor de Z de 1,96.

O valor p adotado para as áreas indicadas como suscetíveis a processos de inundação foi

de 99% e para as áreas suscetíveis a movimentos de massa de 90%.

O valor “e” adotado foi o de 5%.

Em relação ao valor *ed* optou-se pelo efeito de desenho de 1.0.

A amostra calculada para aplicação das entrevistas foi de 16 para as áreas relacionadas aos processos de inundação e de 134 para as áreas relacionadas a movimentos gravitacionais de massa, proporcionalmente distribuídas entre as áreas de estudo, conforme Quadro 6.6:

Quadro 6. 6 – Amostragem calculada para as áreas envolvendo o processo geodinâmico Inundação.

Áreas	Nº de domicílios	% de domicílios	Quantidade de entrevistas por área	Arredondamento da amostra (+)
ÁREA 1	1025	83,74	13,399	14
ÁREA 22	45	3,68	0,588	1
ÁREA 23	70	5,72	0,915	1
ÁREA 24	84	6,86	1,098	2
Total	1224	100,0	16	18*

* Com o arredondamento a amostra passou de 16 para 18 moradores.

Quadro 6. 7 – Amostragem calculada para as áreas envolvendo o processo geodinâmico movimentos de massa.

Áreas	Nº de domicílios	% de domicílios	Quantidade de entrevistas por área	Arredondamento da amostra (+)
ÁREA 2	12	0,93	1,166	2
ÁREA 3	37	2,87	3,594	4
ÁREA 4	30	2,33	2,914	3
ÁREA 5	22	1,71	2,137	3
ÁREA 6	30	2,33	2,914	3
ÁREA 7	14	1,09	1,360	2
ÁREA 8	14	1,09	1,360	2
ÁREA 9	13	1,01	1,263	2
ÁREA 10	113	8,78	10,975	11

ÁREA 11	212	16,47	20,591	21
ÁREA 12	16	1,24	1,554	2
ÁREA 13	23	1,79	2,234	3
ÁREA 14	28	2,18	2,720	3
ÁREA 15	73	5,67	7,090	8
ÁREA 16	7	0,54	0,680	1
ÁREA 17	16	1,24	1,554	2
ÁREA 18	408	31,70	39,627	40
ÁREA 19	135	10,49	13,112	14
ÁREA 20	30	2,33	2,914	3
ÁREA 21	28	2,18	2,720	3
ÁREA 25	26	2,02	2,525	3
Total	1287	100	125	135*

* Com o arredondamento a amostra passou de 125 para 135 moradores.

A técnica de amostragem adotada foi a aleatória simples, também chamada casual, elementar ou randômica, que é equivalente a um sorteio lotérico. Nela, todos os elementos da população têm igual probabilidade de pertencer à amostra e todas as possíveis amostras têm igual probabilidade de ocorrer (Guimarães, 2008).

As imagens georeferenciadas foram consultadas para que os domicílios definidos aleatoriamente para a realização das entrevistas estivessem minimamente distribuídos espacialmente. Em cada domicílio foi entrevistado um morador, tendo sido selecionados assim 153 domicílios.

6.3.1.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística das informações coletadas subsidia com mais segurança a tarefa de tomada de decisão. Os dados coletados foram sistematizados no *software Excel 2007* e analisados no programa estatístico *Stata 6.0*. Para as respostas das perguntas fechadas e quantitativas foram calculadas medidas descritivas (frequências absolutas e percentuais, média e desvio padrão) e inferenciais (teste qui-quadrado de Pearson ou teste exato de Fisher; $p < 0,05$).

O teste Qui-Quadrado (Agresti, 2002) foi utilizado para buscar evidência estatística de existência de associação entre todas as variáveis. Ao fazer esse tipo de investigação,

realiza-se um teste de hipóteses buscando o confronto entre duas hipóteses:

Hipótese nula (H0): Não há associação entre os grupos, ou seja, as variáveis são independentes;

E Hipótese alternativa, Ha: Há associação entre os grupos, ou seja, as variáveis são dependentes.

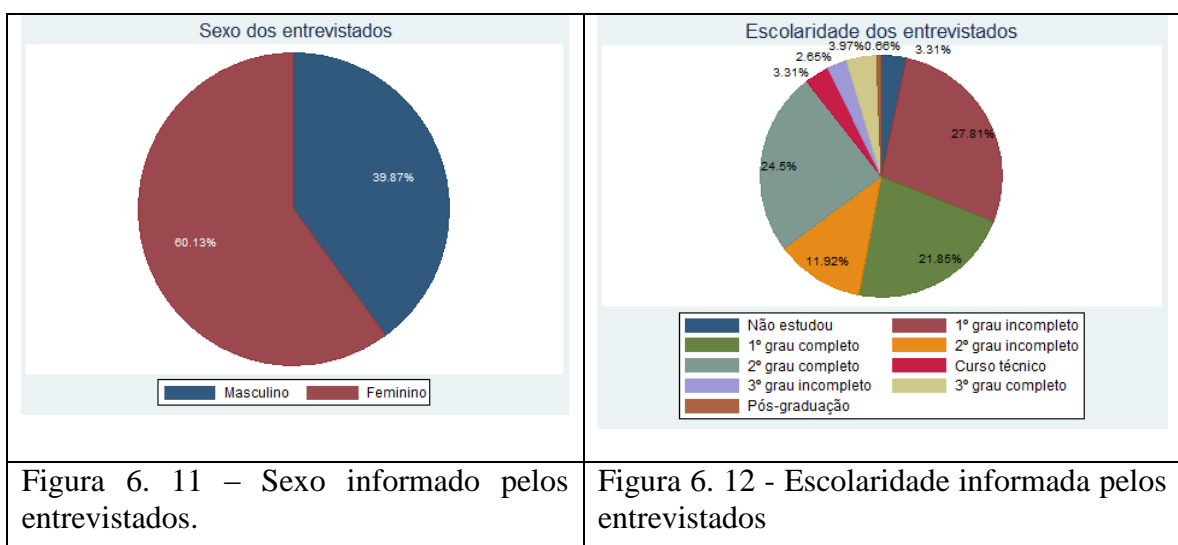
O nível de significância adotado neste trabalho foi de 5% ($p=0,05$). O p-valor é uma estatística utilizada para sintetizar o resultado de um teste de hipóteses. Como geralmente define-se o nível de significância em 5%, uma p-valor menor que 0,05 gera evidências para rejeição da hipótese nula do teste, o que confirma a hipótese alternativa, ou seja, a existência de associação entre as variáveis estudadas.

6.3.1.2.1. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.3.1.2.1.1. ANÁLISE DESCRITIVA

As análises descritivas foram apresentadas em gráficos, considerando os resultados obtidos das variáveis mais importantes referentes ao perfil do entrevistado, os dados relacionados aos bairros e domicílios, a percepção a respeito dos riscos geológico e hidrológico e a participação social em relação ao risco, possibilitando assim, a realização da caracterização da amostra coletada.

1 – DADOS DOS ENTREVISTADOS



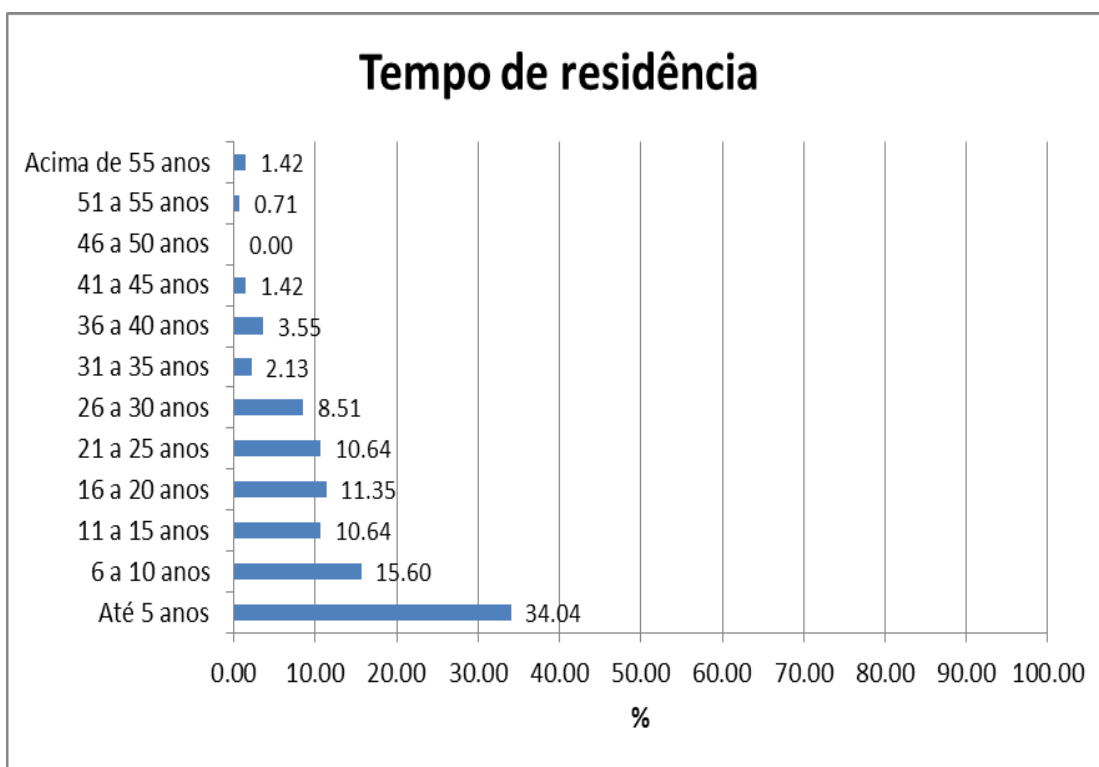
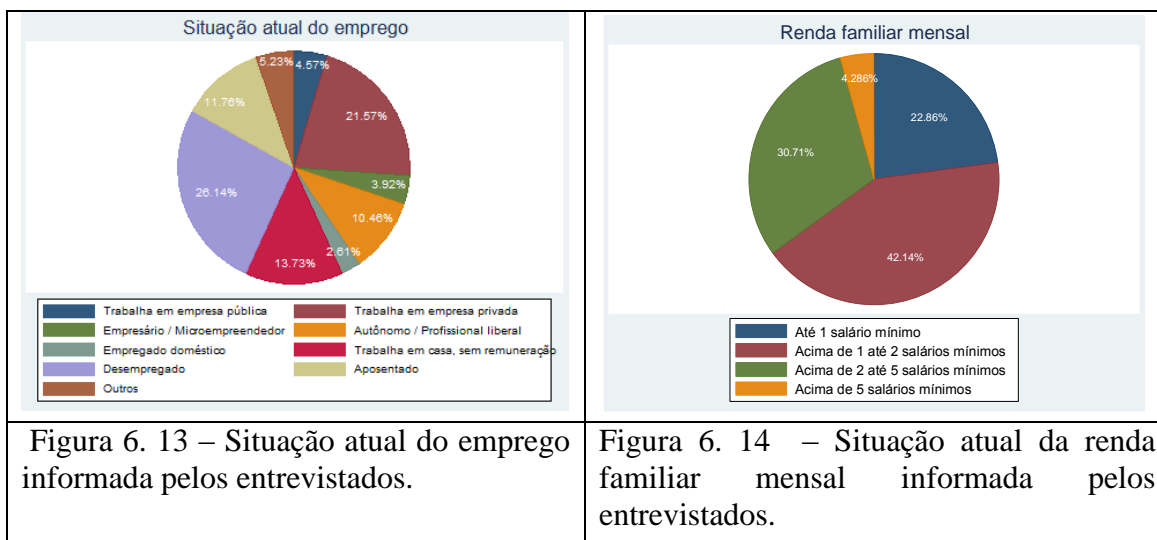


Figura 6. 15 – Tempo de residência informado pelos entrevistados.

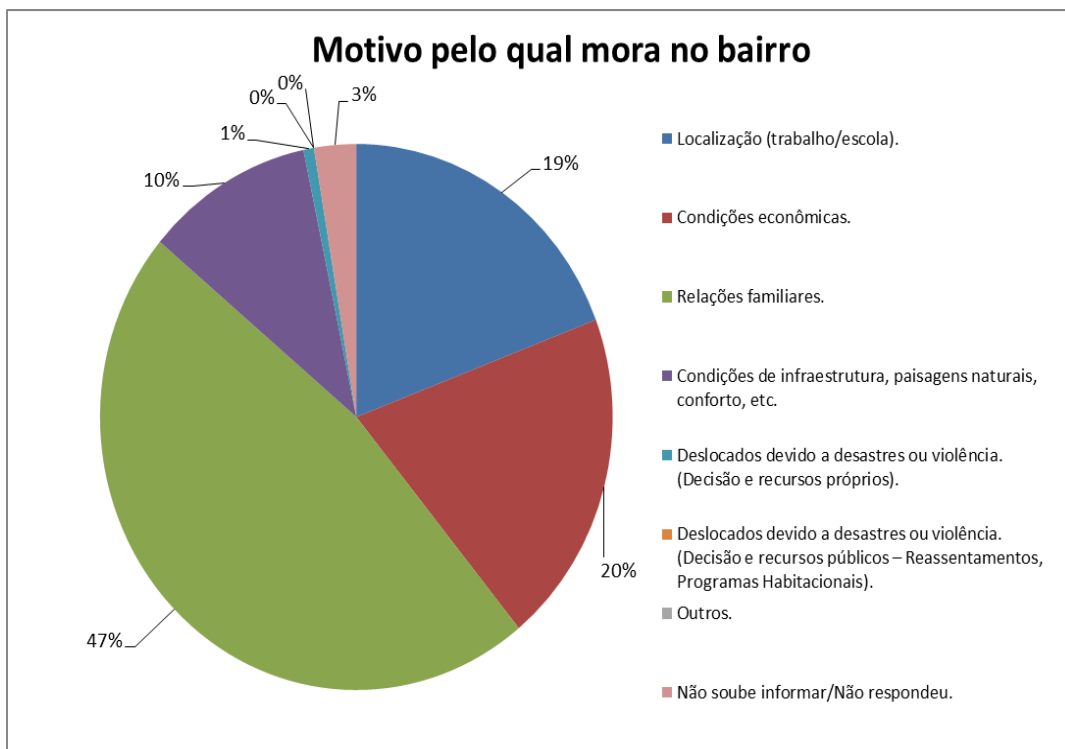
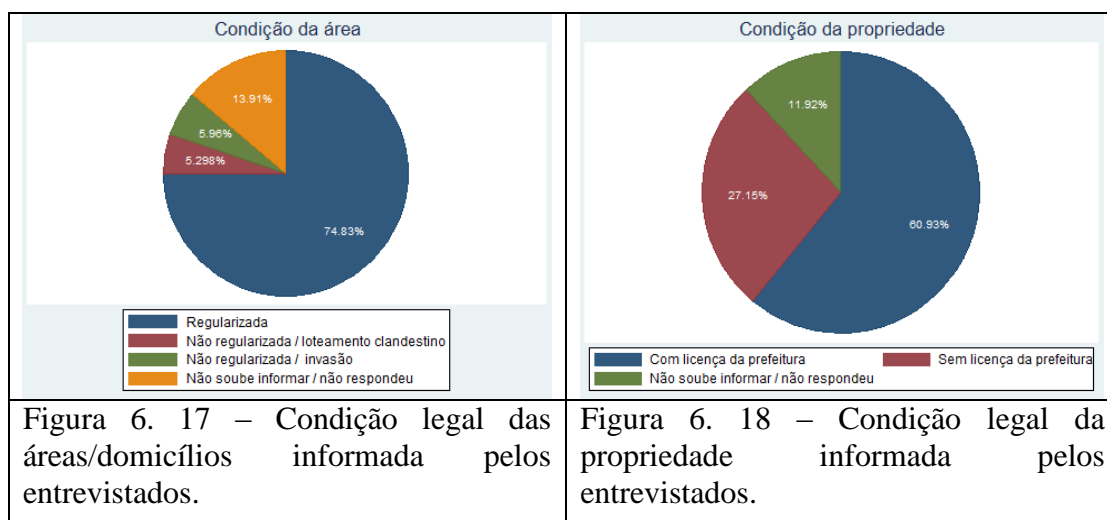


Figura 6. 16 – Motivação que levou a morar no bairro informada pelos entrevistados.

2 – DADOS DO BAIRRO / COMUNIDADE / DOMICÍLIO



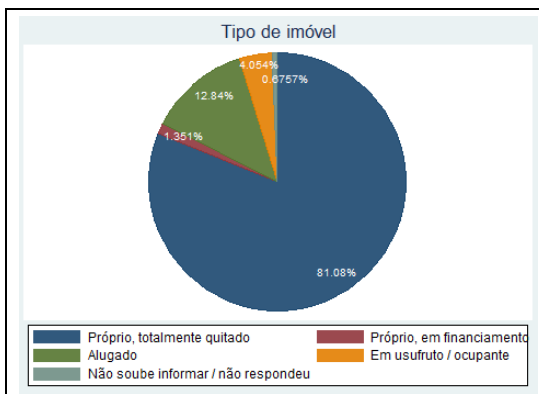


Figura 6. 19 - Tipologia dos imóveis informada pelos entrevistados.

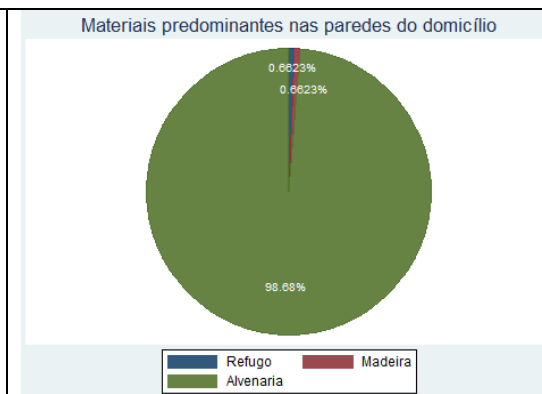


Figura 6. 20 - Tipologia dos materiais predominantes nas paredes informada pelos entrevistados.

3 – PERCEPÇÕES A RESPEITO DO RISCO

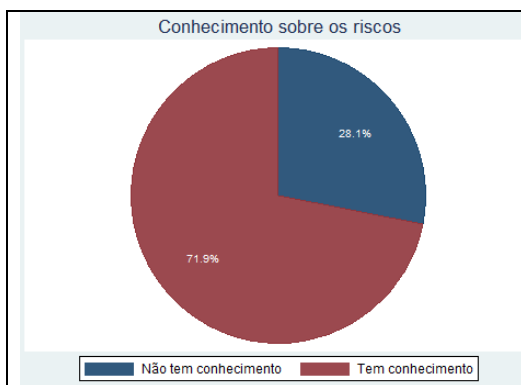


Figura 6. 21 - Conhecimento sobre riscos geológicos e hidrológicos informado pelos entrevistados.

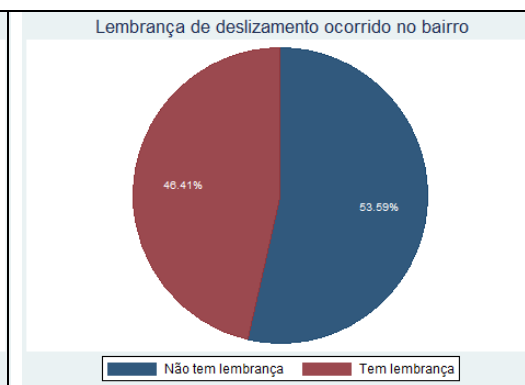


Figura 6. 22 - Lembranças sobre a ocorrência de deslizamentos informadas pelos entrevistados.

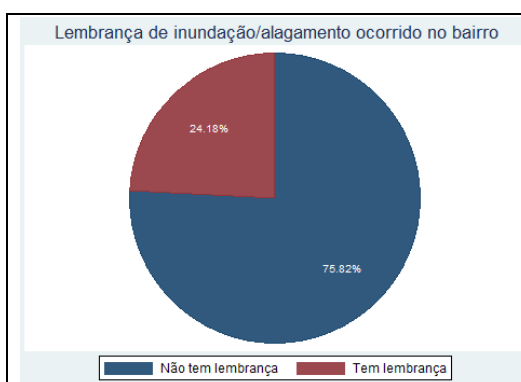


Figura 6. 23 - Lembranças sobre a ocorrência de inundações informadas pelos entrevistados.



Figura 6. 24 – Percepção sobre a situação do domicílio do entrevistado em relação ao risco.

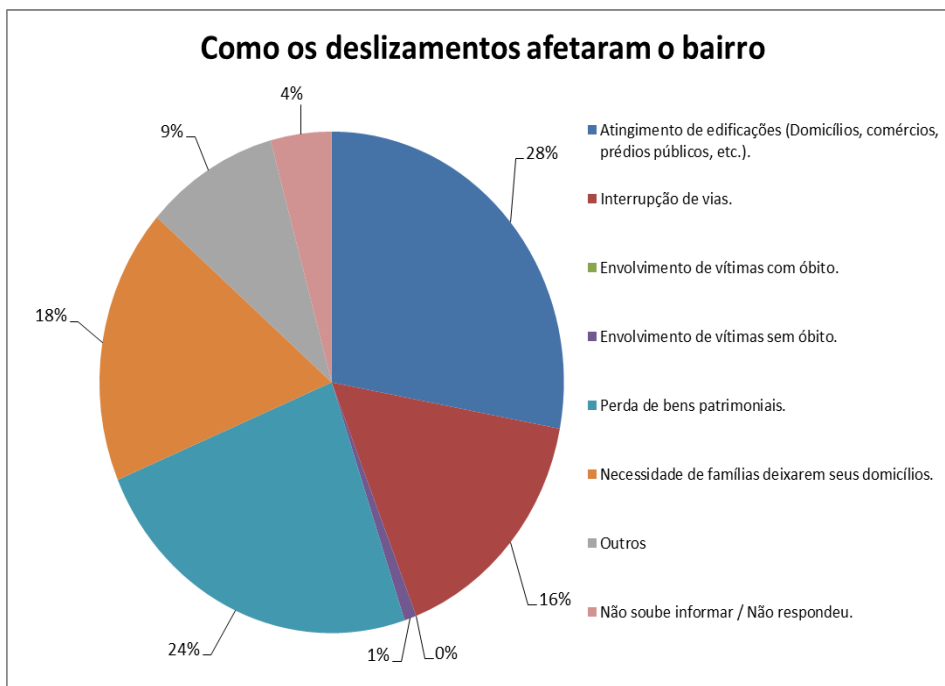


Figura 6. 25 – Percepção sobre como os deslizamentos afetaram os bairros informada pelos entrevistados.

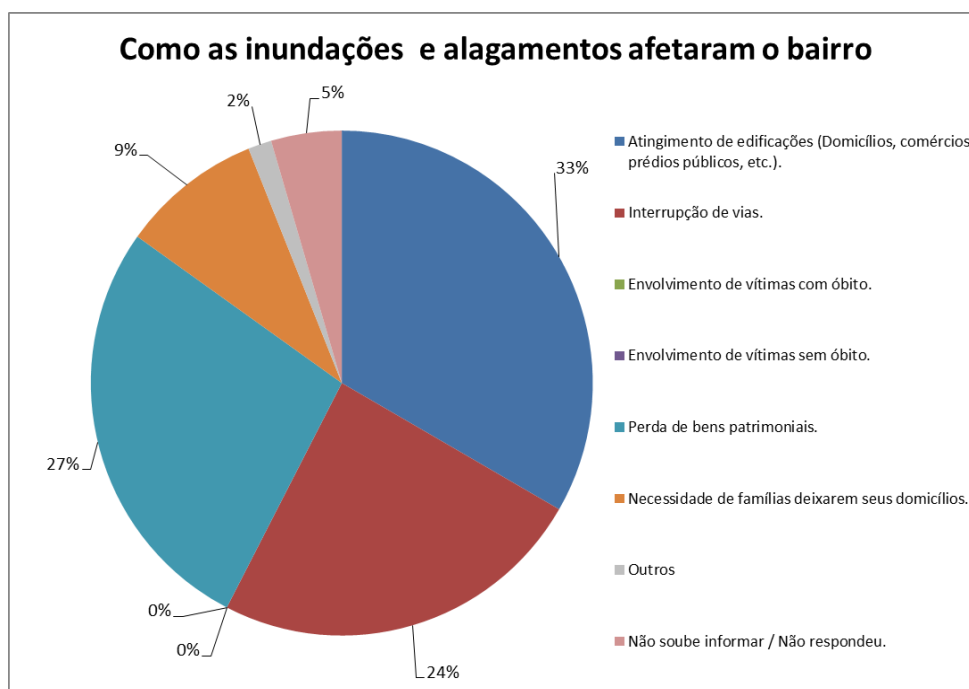


Figura 6. 26 – Percepção sobre como as inundações afetaram os bairros informada pelos entrevistados.

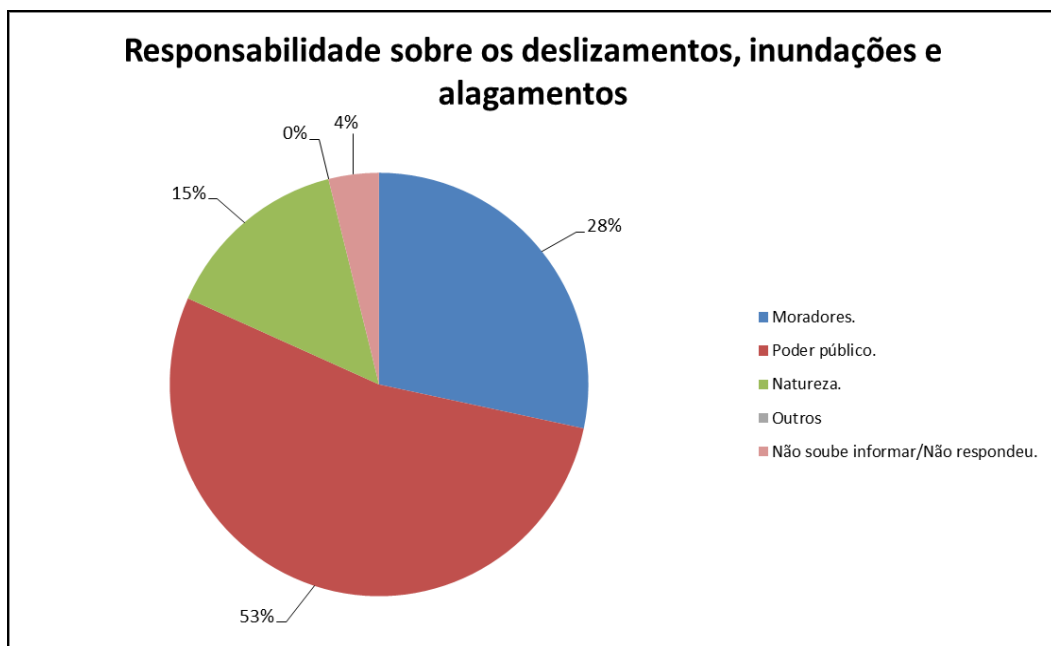


Figura 6. 27 – Percepção sobre a responsabilidade sobre a ocorrência de deslizamentos e inundações que afetaram os bairros informada pelos entrevistados.

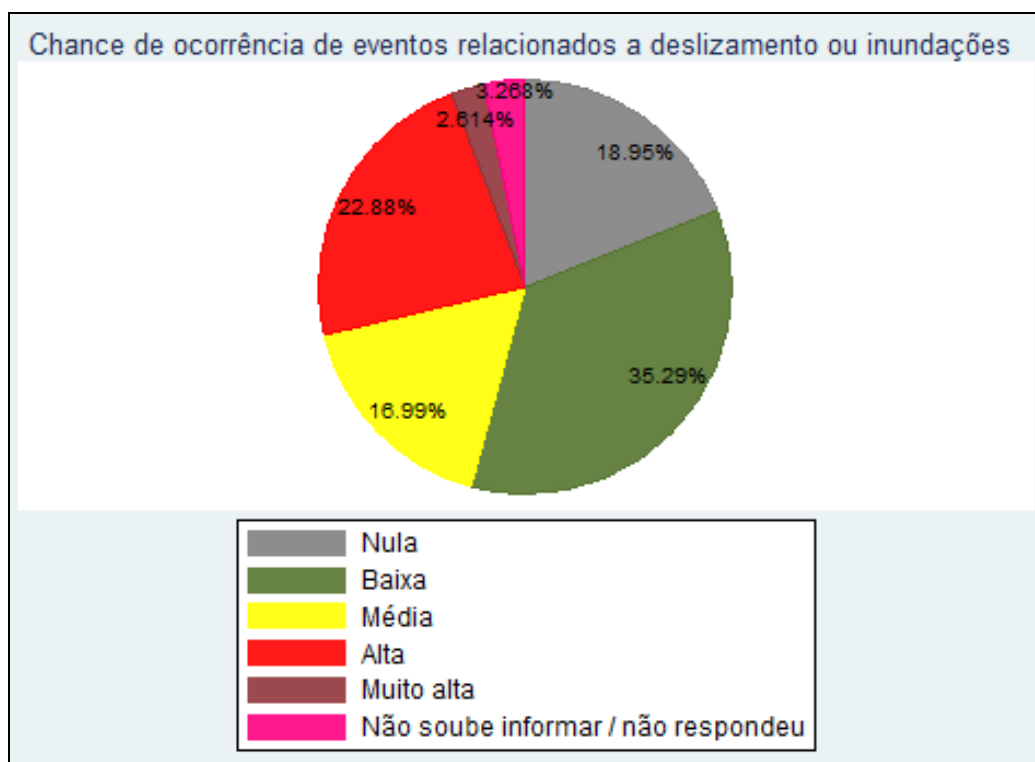


Figura 6. 28 – Percepção sobre a chance de acontecer atualmente um evento relacionado a deslizamento de terra ou rocha, inundação e alagamento dentro dos bairros informada pelos entrevistados.

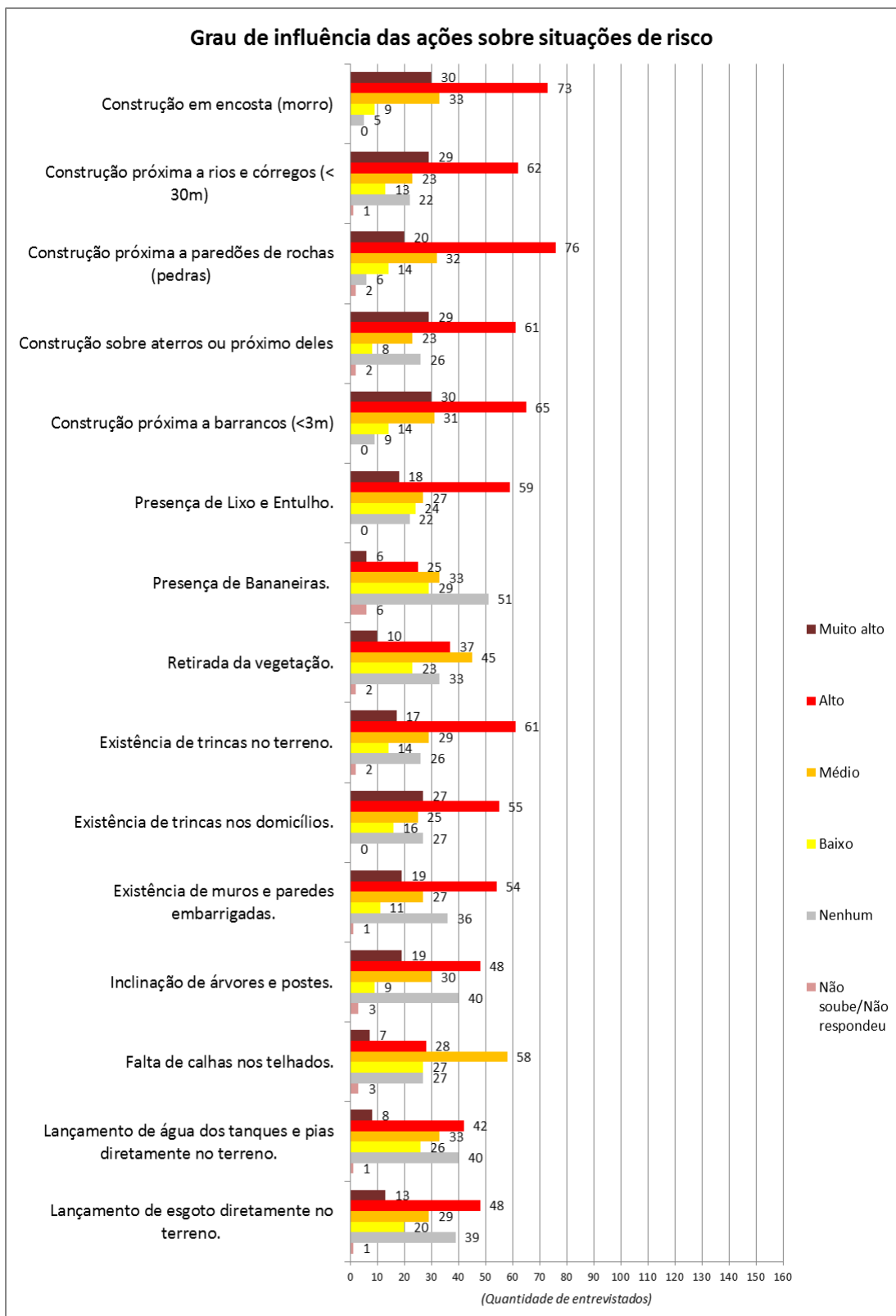


Figura 6. 29 – Detalhamento sobre o grau de influência de condicionantes do meio físico e indícios de movimentação dos terrenos em relação a situações de risco sob a ótica dos moradores.

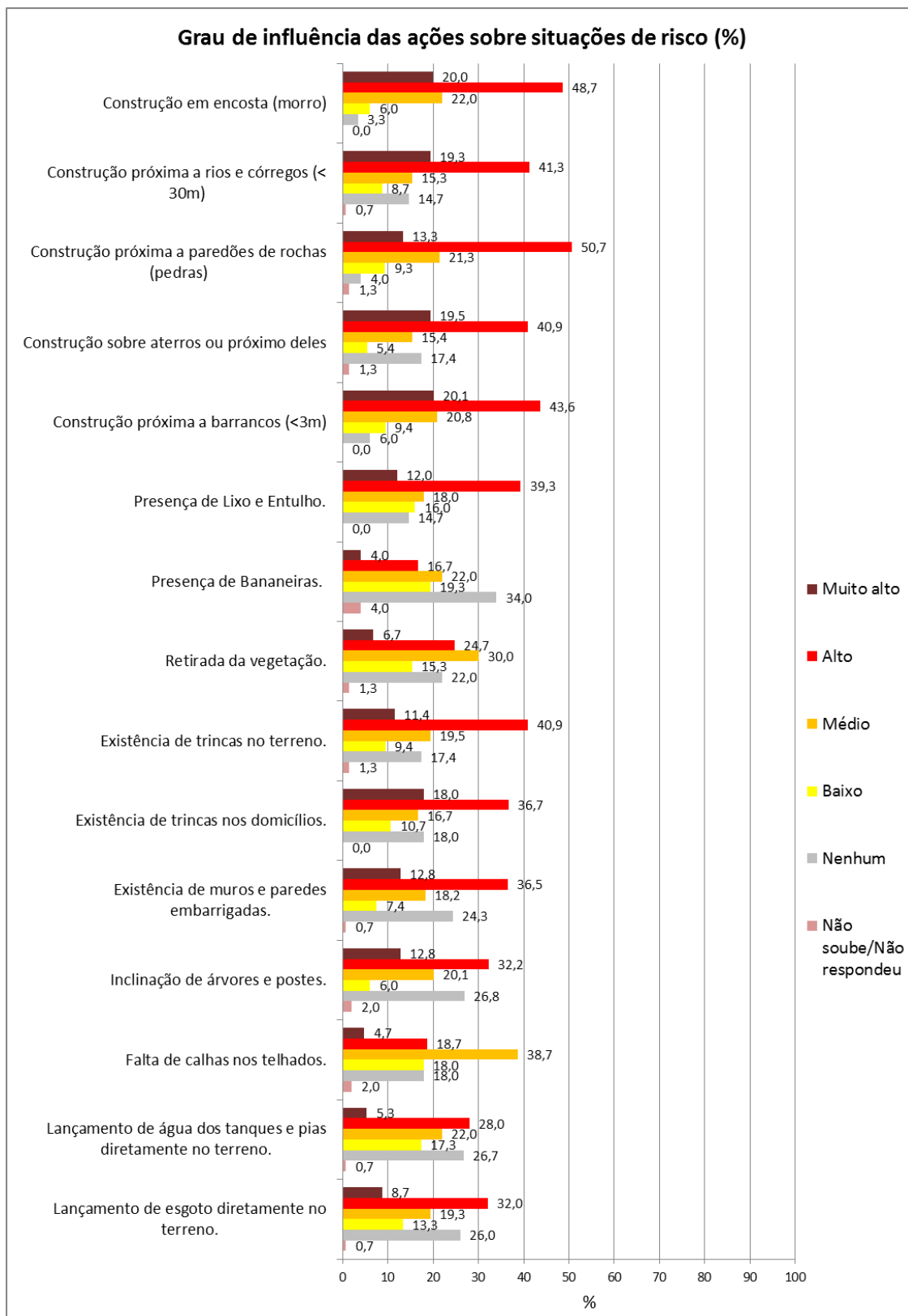
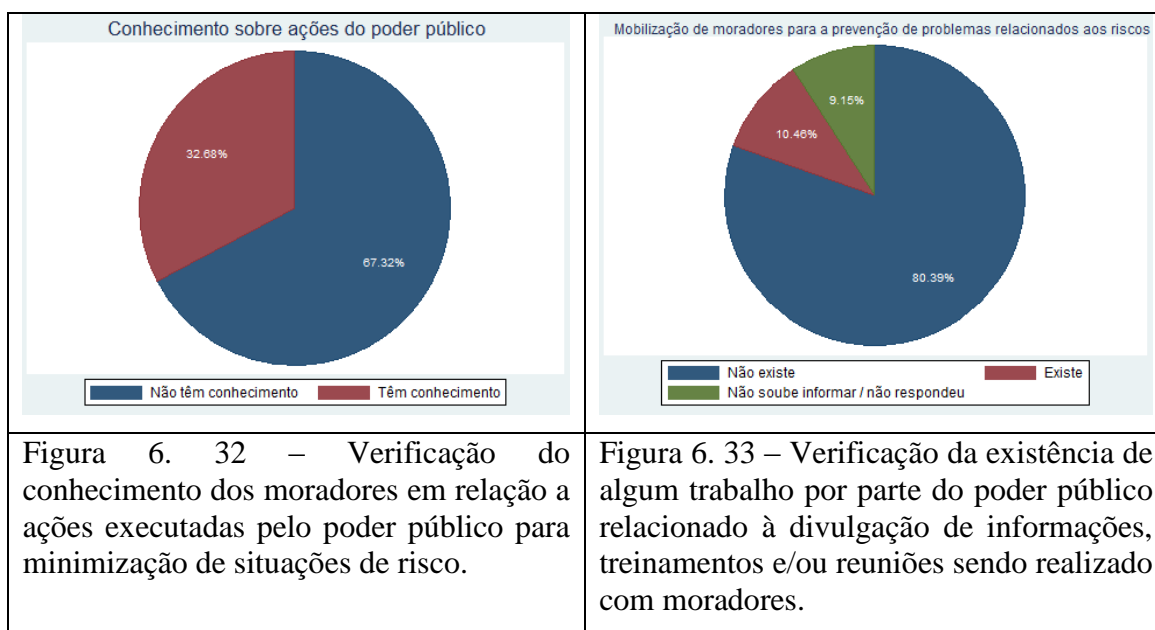


Figura 6. 30 – Detalhamento em porcentagem sobre o grau de influência de condicionantes do meio físico e indícios de movimentação dos terrenos em relação a situações de risco sob a ótica dos moradores.



Figura 6. 31 – Verificação do conhecimento dos moradores sobre Leis que definem locais onde as construções são proibidas.



4 – PARTICIPAÇÃO SOCIAL EM RELAÇÃO AO RISCO

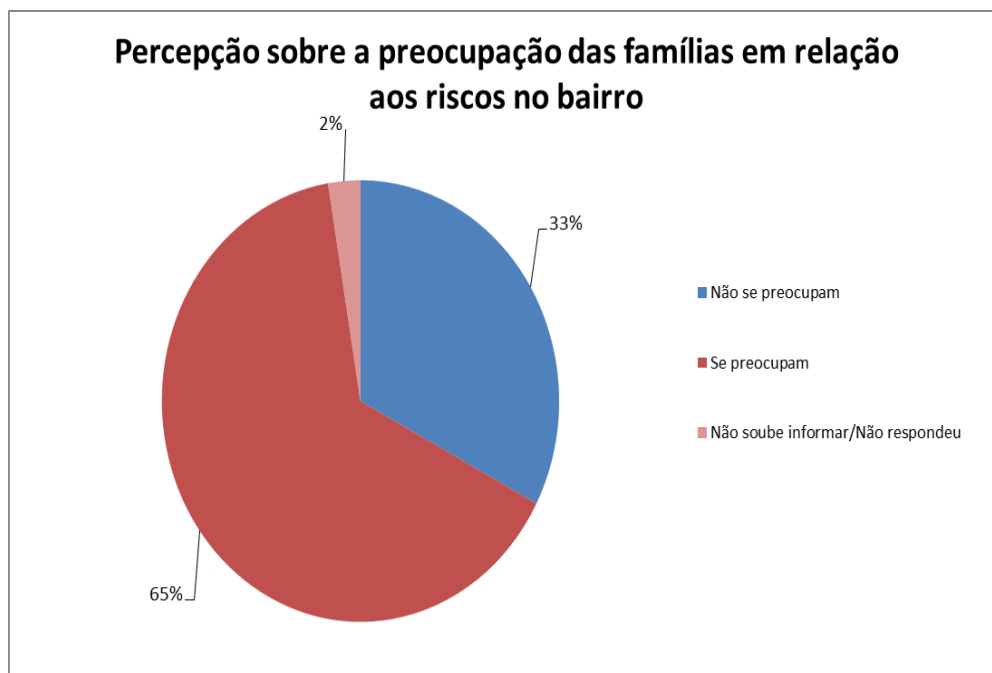
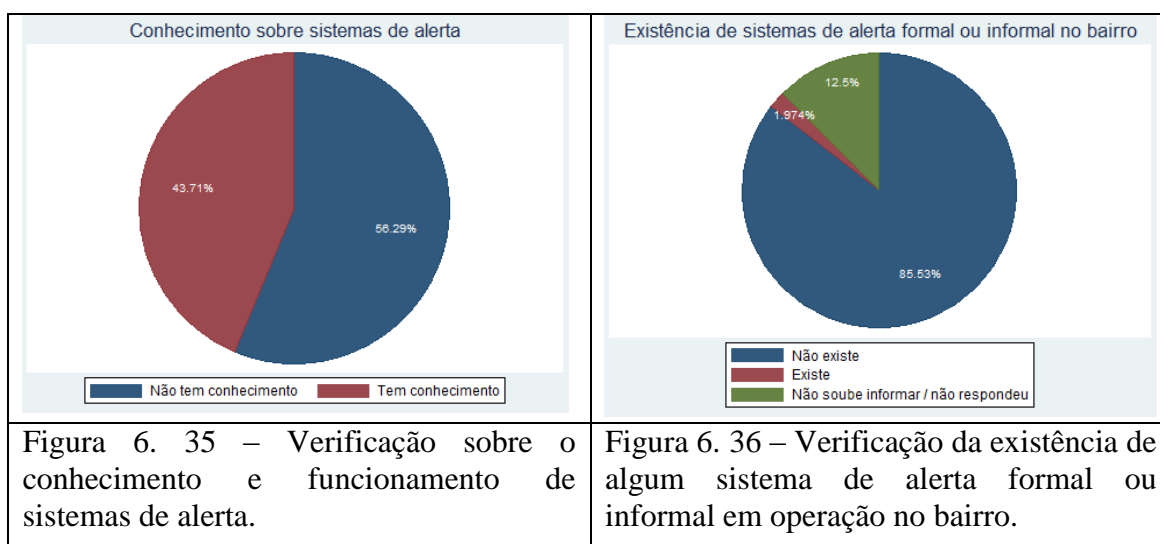


Figura 6. 34 – Percepção dos entrevistados sobre a preocupação das famílias de seu bairro em relação ao risco



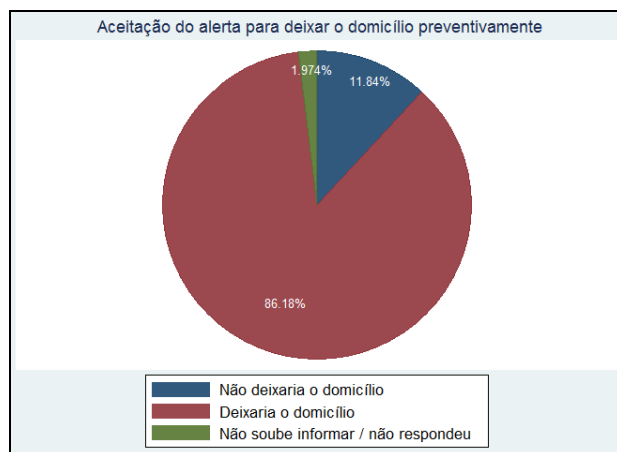
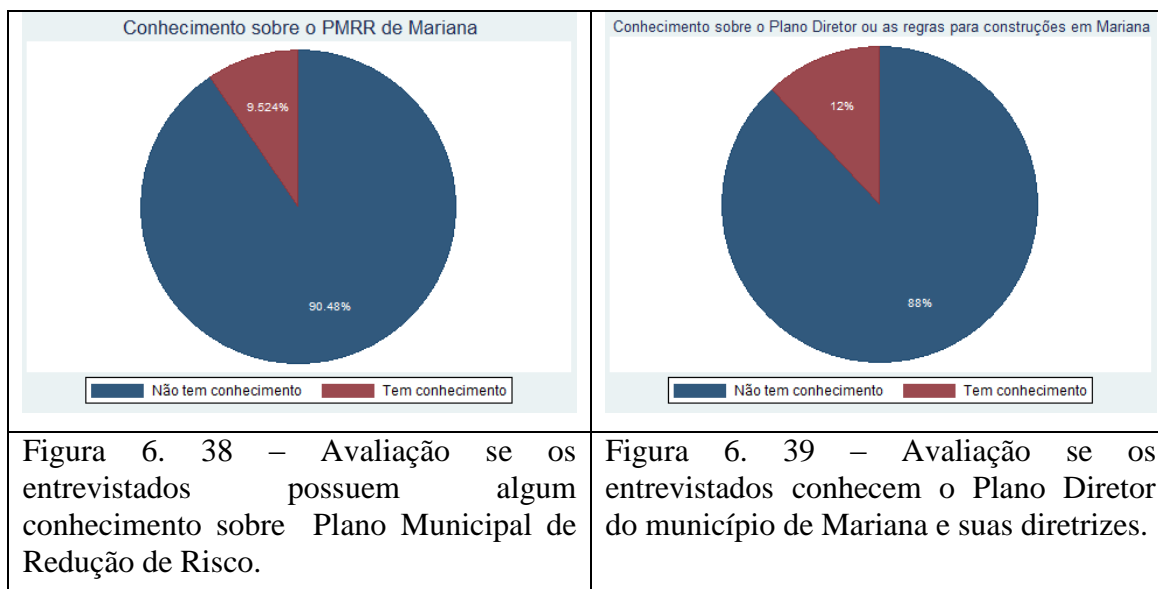


Figura 6. 37 – Avaliação se os entrevistados aceitariam deixar seus domicílios preventivamente, no caso de emissão de algum alerta sobre a possibilidade de ocorrência de um desastre natural.



6.3.1.2.1.2 DISCUSSÃO DA ANÁLISE DESCRITIVA

A maior parte dos entrevistados é do sexo feminino (60.13%), residia em área urbana (96.07%), considera sua área regularizada (74.83%) e diz possuir licença da prefeitura (60.93%), 44.83% se declarou como a pessoa responsável pelo domicílio, (48.57%) esteve desempregado em algum momento nos últimos 5 anos, mas apenas (26.14%) encontra-se atualmente desempregado. Em relação à escolaridade 27.81% possuem apenas o 1º grau incompleto, e outros 21.85% possuem o 1º grau completo. 47.37% nasceram em Mariana. Cabe salientar que a predominância do sexo feminino pode estar

associada à maior ausência de pessoas do sexo masculino no momento da entrevista, realizada em horário comercial.

A média de pessoas por família dos entrevistados foi de 3.83, enquanto o índice de pessoas por domicílio obtido do território marianense, segundo IBGE (2014) foi de 2,995, utilizado para estimar o tamanho total da população da qual a amostra foi obtida.

A renda familiar mensal declarada foi de até um salário mínimo para 22.86% dos entrevistados, varia entre 1 e 2 salários mínimos para 42.14% e está entre 2 e 5 salários mínimos para 30.71%. Mesmo assim, 81.08% declararam morar em residência própria, quitada, o que somado aos 74,83 que consideram sua área regularizada e o tempo médio de residência dos entrevistados de até 5 anos para 34.04% dos entrevistados e de 6 a 10 anos para 15.6%, a necessidade de um detalhamento desta análise para melhor compreensão dos resultados. Uma análise a ser complementada se refere a condição de regularidade informada pela própria Prefeitura Municipal.

Aos mesmo tempo o tempo de residência inferior a 10 anos para 49,64% dos entrevistados pode ajudar a entender o desconhecimento de 88% dos entrevistados em relação ao Plano Diretor de Mariana, que foi finalizado no ano de 2004, mas demonstra claramente a deficiência por parte da Prefeitura em repassar para a sociedade as diretrizes nele estabelecidas, somando-se a isso os problemas relacionados à fiscalização das áreas e das construções após a aprovação da Lei do Plano Diretor, pelo menos para as áreas alvo desta análise. Fica claro que o rigor em relação ao processo de ocupação e a forma de ocupação se restringe no município, principalmente, à área histórica, em detrimento ao restante da área ocupada/urbanizada.

A maior parte dos entrevistados (73.2%) considera que a sua residência não está localizada em um local de risco. Cabe ressaltar aqui que a definição da amostra levou em consideração, como já descrito, as áreas com histórico de locais atendidos pela Defesa Civil. Deve-se também destacar que com o aumento do poder aquisitivo principalmente nos últimos 10 anos muitas intervenções foram realizadas pelos próprios moradores, mas também muitos novos problemas foram gerados por estes. Um exemplo da naturalização do risco pode ser compreendido nos setores suscetíveis a processos de inundação, onde é evidente o adensamento da ocupação e a ampliação dos domicílios que já sofreram em algum momento com a deflagração de tais processos.

Quando questionados se haviam ouvido falar alguma vez em risco geológico (deslizamento de solo ou rocha) e hidrológico (inundações e alagamentos) apenas 28.1% responderam que não. 53.59% não possuem lembrança de deslizamentos de terra solo ou rocha ocorridos na comunidade. Já quanto a inundações ou alagamentos, 75.82% mencionaram não ter lembrança desses eventos. Estes dados reforçam as dificuldades inerentes ao gerenciamento dos riscos, já que com o passar dos anos e a espacialidade dos eventos adversos existe um rápido esquecimento dos problemas, ou seja, para serem efetivas as ações de comunicação de risco devem possuir um caráter sistemático e serem incorporados de alguma forma ao dia a dia das pessoas, como por exemplo nas salas de aula e reuniões comunitárias.

De encontro aos dados acima descritos, que demonstram que parte considerável dos entrevistados classifica sua moradia como fora de risco, 69.8% dos respondentes informaram ter realizado ações no seu domicílio ou na sua comunidade com o objetivo de evitar os problemas relacionados a deslizamentos e inundações, sendo a maior parte relacionado a muros de contenção.

Quando questionados sobre a chance de acontecimento de um evento relacionado a deslizamento de solo ou rocha, inundação e alagamento dentro da comunidade 18.95% mencionaram esta chance ser nula, 35.29% ser baixa, 16.99% média, e 22.88% alta. Estes dados se aproximam da percepção de risco dos respondentes quanto à situação de sua residência em isolado (25.49%). Entretanto, apenas 13.7% daqueles que declararam os seus domicílios como em área de risco, também fizeram menção à existência de áreas de risco alto e muito alto em suas comunidades. Existem situações em que os indivíduos até reconhecem a existência do risco, porém, não se sentem vulneráveis a ele.

A avaliação dos entrevistados quanto ao grau de influência de 15 (quinze) situações sobre o grau de risco trouxe como resultados mais significativos que a construção em encostas, próximo a córregos, a taludes de corte e a paredões rochosos são percebidas como as situações mais associadas a áreas de risco alto e muito alto. A existência de trincas, lixo, lançamento de esgoto e estruturas deformadas também tiveram associação elevada. O risco mediano foi associado em sua maior parte a retirada da vegetação e ausência de calhas nos telhados.

Em relação à construção em áreas próximo a rios e córregos 3,2% dos entrevistados relatou que estariam seguros em relação a possíveis inundações, se estivessem a uma distância de até 10 m da margem de um rio, 8,49% de 10 a 30 m e 18,3% de 30 a 50 m. Tais índices reforçam a necessidade de atenção especial em relação a comunicação do risco com aqueles sujeitos aos maiores danos quando da ocorrência de inundação, já que 29,99% se sentem seguros caso suas edificações estejam afastadas em até 50 m em relação ao Ribeirão do Carmo e tributários.

Questionados em relação ao conhecimento de alguma Lei que aponte em que lugares das encostas e próximo a rios e córregos é proibido construir, 92,0% dos entrevistados afirmaram não ter conhecimento, ressaltando mais uma vez a dificuldade de inserção e comunicação por parte do poder público.

Mais da metade dos entrevistados (67,32%) afirmou que não têm conhecimento de ações realizadas pelo poder público municipal (prefeitura) para a prevenção ou minimização de situações de risco no bairro/comunidade ou no seu entorno próximo. Um percentual ainda maior (80,39%) afirmou que não existem trabalhos de mobilização (divulgação de informações, treinamentos, reuniões) com os moradores a respeito da prevenção de problemas de risco.

Quando questionados sobre a existência de alguma entidade formal (associação de moradores) que represente os interesses do bairro/comunidade, 49,34% dos entrevistados responderam haver representação. Entretanto, 58,17% disse não haver discussões entre as entidades locais (associação de moradores, igrejas, outras entidades) a respeito dos problemas relacionados a risco geológico e hidrológico.

Quanto ao conhecimento de sistemas de alerta, através dos quais a população pode ser informada com certa antecedência quanto à previsão de chuvas muito fortes, possibilidade de inundações e alagamentos, por exemplo, 43,71% afirmaram já ter ouvido falar sobre estes, mas apenas 1,97% dos entrevistados mencionaram existir na sua comunidade sistemas de alerta (formais ou informais) ou informações relacionadas a prevenção. Ao mesmo tempo 86,18% dos entrevistados informaram que aceitariam deixar seus domicílios preventivamente caso algum alerta fosse emitido, o que demonstra mais uma vez que a ineficiência do poder público no compartilhamento da gestão e das informações inerentes ao território municipal continua sendo um entrave

para a minimização das situações geradoras de novas áreas de risco, bem como torna inócua as poucas ações de prevenção existentes.

O conhecimento do Plano Diretor do município, que é o conjunto de princípios e regras orientadoras das ações de agentes que constroem e utilizam o espaço urbano, foi afirmado por apenas 12.0% dos entrevistados, números estes preocupantes, e que reforçam o cotidiano em que as informações só chegam até os moradores caso estes procurem a Prefeitura por algum motivo. Como na maioria dos casos os moradores só o fazem após terem finalizados suas construções e apenas com o objetivo de regularizá-las, perde-se a capacidade de que ações impeditivas e/ou corretivas sejam tomadas anteriormente a deflagração de problemas, que nas cidades não se restringem apenas a questões geológicas e hidrológicas, mas também, a questões ambientais, sociais e urbanísticas.

Os resultados obtidos confirmam que a preocupação com a geração de metodologias, relatórios e mapas relacionados a diagnósticos do meio físico, identificação de suscetibilidade, do perigo e/ou risco geológico e hidrológico é apenas parte do problema, já que pouco tem sido feito para compartilhar as informações geradas com a sociedade. Nesse sentido, a construção de uma sociedade mais resiliente e/ou participativa passa necessariamente pela necessidade de se repensar a maneira de fazer gestão de risco no Brasil buscando outras formas de disseminação e transferência do conhecimento sobre o meio físico, seus condicionantes e aptidões.

Os dados obtidos contribuem para avaliação da condição em virtude da qual a população de Mariana está exposta a fenômenos naturais e antrópicos, o perigo de ser afetada por estes, bem como a capacidade de se recuperarem dos efeitos de um desastre, sendo o cenário obtido não muito promissor. Entretanto, foram abordadas nas entrevistas questões que ajudam a compreender a dimensão física-espacial da vulnerabilidade, a partir da avaliação das edificações e suas condições; a dimensão social com avaliação dos índices de migração e educação; a dimensão econômica com avaliação das relações de emprego; e a dimensão cultural com avaliação das condições de representação na comunidade, comunicação e ações relacionadas ao risco.

Assim, obteve-se importantes indicadores e variáveis que permitem caracterizar as condições de vulnerabilidade dos setores estudados e da área urbana de Mariana. Uma

vez conhecida a vulnerabilidade de uma população, passa-se a ter condições de identificar zonas de maior risco, e decidir quais zonas requerem análises e ações mais detalhadas para o enfrentamento adequado destes e a minimização dos impactos que por ventura possam ser gerados.

6.3.1.2.1.3 ANÁLISE DE ASSOCIAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS

Como descrito anteriormente, foi utilizado o teste Qui-Quadrado para buscar evidência estatística de existência de associação entre todas as variáveis. Entretanto, em decorrência da extensão dos dados obtidos, aqui serão apresentados os resultados das associações para “Situação da residência com relação ao risco; conhecimento sobre riscos geológicos e hidrológicos; chance de acontecerem deslizamentos / inundações segundo a percepção dos moradores; e mobilização dos moradores para prevenção de problemas de risco”.

Nos Quadro 6.8, 6.9, 6.10 e 6.11 estão apresentadas as tabelas de contingência construídas a partir de dados da amostra com resultados do teste Qui-quadrado que apresentaram diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre a variável da linha e a variável da coluna.

A visualização de soluções para os problemas de risco geológico e hidrológico apresentou-se significativamente associada ao conhecimento do entrevistado sobre os riscos geológico e hidrológico ($p = 0.011$) assim como a mobilização para a prevenção dos problemas de risco. Foram observadas maiores frequências de visualização de soluções para os problemas de risco entre os grupos que declararam ter conhecimento sobre riscos geológicos e hidrológicos (76.92%), e realizar ações de mobilização para a prevenção destes riscos (100%).

Foi observada associação entre lembrança de deslizamentos na comunidade ($p = 0.001$) e a existência de risco no local de residência. Entre os entrevistados que consideram não residir em local de risco, quase 2/3 não possuem lembranças de deslizamentos na comunidade. Esta tendência, de superestimação e subestimação do risco, foi também observada por meio da associação entre a variável lembrança de deslizamentos na comunidade ($p = 0.001$) e a chance, segundo a percepção dos entrevistados, de

acontecimentos de deslizamentos e inundações na comunidade. À medida que os entrevistados referem chances mais altas de acontecimentos de eventos, a frequência daqueles que não possuem lembranças de deslizamentos na comunidade tende a diminuir e daqueles que possuem lembranças tende a aumentar. Tal constatação está de acordo com o descrito por Fischer e Guimarães (2002) (*“Outra situação recorrente é o fato de que pessoas que nunca sofreram ou presenciaram um acidente, possuem tendência a subestimar as situações de risco, em oposição àqueles que, por medo ou por memória de riscos já vivenciados, tenderem a superestimá-los”*).

As variáveis que avaliam a percepção do entrevistado quanto ao grau de influência da construção próxima a paredões de rochas ($p=0.006$) e encostas/taludes ($p=0.047$) sobre a situação de risco na comunidade associaram-se à percepção que ele possui quanto a localização de suas residências em local de risco. Observa-se uma grande variação da percepção dos entrevistados quanto ao grau de influência que algumas ações podem exercer sobre as situações de risco geológico e hidrológico. Oliveira (2006) descreve que os *“indivíduos são levados a perceber o risco quando atribuem significados ao ambiente em que vivem. No caso das encostas, o sujeito só vai perceber que uma determinada situação local pode representar um risco se tiver informações e referências anteriores sobre a questão”*.

O conhecimento sobre riscos geológico e hidrológico apresentou-se significativamente associado ao conhecimento dos entrevistados sobre leis que apontam lugares proibidos de se construir ($p=0.022$) e também sobre sistemas de alerta ($p=0.000$) e Plano Municipal de Redução de Riscos – PMRR ($p=0.016$). Entre os entrevistados que referem não ter conhecimento algum sobre estes tipos de risco, 100% não tem conhecimento acerca de leis que regulamentam construções, 80.95% desconhece o que são os sistemas de alerta e 100% não sabe o que é o Plano Municipal de Redução de Riscos – PMRR.

Quadro 6. 8 – Contingência e Teste qui-quadrado para a variável “Situação da Residência com Relação ao Risco”.

Variável		Situação da residência com relação ao risco				Total	Valor <i>p</i>
		Considera que não está em local de risco		Considera que está em local de risco			
Lembrança de deslizamentos na comunidade	Não	70	62.50	12	30.77	82	0.001
	Sim	42	37.50	27	69.23	69	
	Total	112	100.00	39	100.00	151	-
Chance de acontecimentos de deslizamentos / inundações	Nula	25	23.15	4	10.53	29	0.000
	Baixa	49	45.37	5	13.16	54	
	Mediana	15	13.89	9	23.68	24	
	Alta	18	16.67	17	44.74	35	
	Muito Alta	1	0.93	3	7.89	4	
	Total	108	100.00	38	100.00	146	-
Grau de influência da construção próxima a paredes de rochas sobre a situação de risco na comunidade	Nenhum	3	2.75	3	8.11	6	0.006
	Baixo	5	4.59	8	21.62	13	
	Médio	28	25.69	4	10.81	32	
	Alto	59	54.13	16	43.24	75	
	Muito Alto	14	12.84	6	16.22	20	
	Total	109	100.00	37	100.00	146	-
Grau de influência da construção próxima (<3,0m) a barrancos sobre a situação de risco na comunidade	Nenhum	4	3.64	5	13.51	9	0.047
	Baixo	13	11.82	1	2.70	14	
	Médio	20	18.18	10	27.03	30	
	Alto	52	47.27	12	32.43	64	
	Muito Alto	21	19.09	9	24.32	30	
	Total	110	100.00	37	100.00	147	-

Quadro 6. 9 – Contingência e Teste qui-quadrado para a variável “Conhecimento sobre Riscos Geológico e Hidrológico”.							
Variável		Conhecimento sobre Riscos Geológico e Hidrológico				Total	Valor <i>p</i>
		Não tem conhecimento		Tem conhecimento			
Lembrança de deslizamentos na comunidade	Não	29	67.44	53	48.18	82	0.032
	Sim	14	32.56	57	51.82	71	
	Total	43	100.00	110	100.00	153	-
Solução para os problemas de risco	Não vê solução	18	45.00	21	23.08	39	0.011
	Vê solução	22	55.00	70	76.92	92	
	Total	40	100.00	91	100.00	131	-
Conhecimento sobre leis que apontam lugares proibidos de se construir	Não	43	100.00	95	88.79	138	0.022
	Sim	0	0.00	12	11.21	12	
	Total	43	100.00	107	100.00	150	-
Conhecimento sobre sistemas de alerta	Não tem conhecimento	34	80.95	51	46.79	85	0.000
	Tem conhecimento	8	19.05	58	53.21	66	
	Total	42	100.00	109	100.00	151	-
Conhecimento do plano municipal de redução de riscos	Não tem conhecimento	40	100.00	93	86.92	133	0.016
	Tem conhecimento	0	0.00	14	13.08	14	
	Total	40	100.00	107	100.00	147	-

Quadro 6. 10 – Contingência e Teste qui-quadrado para a variável “Mobilização dos Moradores para a Prevenção de Problemas de Risco”.							
Variável		Mobilização dos Moradores para a Prevenção de Problemas de Risco				Total	Valor <i>p</i>
		Não existem ações de mobilização		Existem ações de mobilização			
Último local de residência	Outra cidade	12	9.76	6	37.50	18	0.002
	Mariana	111	90.24	10	62.50	121	
	Total	123	100.00	16	100.00	139	-
Condição da propriedade	Com licença da Prefeitura	79	73.15	6	40.00	85	0.009
	Sem licença da Prefeitura	29	26.85	9	60.00	38	
	Total	108	100.00	15	100.00	123	-
Solução para os problemas de risco	Não vê solução	37	34.26	0	0.00	37	0.011
	Vê solução	71	65.74	13	100.00	84	
	Total	108	100.00	13	100.00	121	-
Informações da mídia local sobre a prevenção de riscos	Não fornece informações	77	65.25	4	26.67	81	0.004
	Fornecer informações	41	34.75	11	73.33	52	
	Total	118	100.00	15	100.00	133	-
Existência de entidade formal que represente os interesses da comunidade	Não	51	48.11	1	6.67	52	0.002
	Sim	55	51.89	14	93.33	69	
	Total	106	100.00	15	100.00	121	-
Discussão entre as entidades locais sobre os problemas de risco	Não existe discussão	84	91.30	1	8.33	85	0.000
	Existe discussão	8	8.70	11	91.67	19	
	Total	92	100.00	12	100.00	104	-

Quadro 6. 11 – Contingência e Teste qui-quadrado para a variável “Chance de Acontecimento de Deslizamentos / Inundações segundo a Percepção dos Entrevistados”.

Variável		Chance de Acontecimento de Deslizamentos / Inundações segundo a Percepção dos Entrevistados										Total	Valor <i>p</i>
		Nula		Baixa		Mediana		Alta		Muito Alta			
Naturalidade	Nasceu no município	9	31.03	22	40.74	12	48.00	22	62.86	4	100.00	69	0.018
	Nasceu em outro município	20	68.97	32	59.26	13	52.00	13	37.14	0	0.00	78	
	Total	29	100.00	54	100.00	25	100.00	35	100.00	4	100.00	147	-
Lembrança de deslizamentos na comunidade	Não	27	93.10	46	85.19	15	57.69	20	57.14	4	100.00	112	0.001
	Sim	2	6.90	8	14.81	11	42.31	15	42.86	0	0.00	36	
	Total	29	100.00	54	100.00	26	100.00	35	100.00	4	100.00	148	-
Solução para os problemas de risco	Não vê solução	6	54.55	20	39.22	3	11.54	5	14.29	1	25.00	35	0.008
	Vê solução	5	45.45	31	60.78	23	88.46	30	85.71	3	75.00	92	
	Total	11	100.00	51	100.00	26	100.00	35	100.00	4	100.00	127	-
Situação da residência com relação ao risco	Considera que não está em risco	25	86.21	49	90.74	15	62.50	18	51.43	1	25.00	108	0.000
	Considera que está em risco	4	13.79	5	9.26	9	37.50	17	48.57	3	75.00	38	
	Total	29	100.00	54	100.00	24	100.00	35	100.00	4	100.00	146	-
Existência de entidade formal que represente os interesses da comunidade	Não	10	45.45	26	57.78	6	31.58	8	24.24	2	50.00	52	0.042
	Sim	12	54.55	19	42.22	13	68.42	25	75.76	2	50.00	71	
	Total	22	100.00	45	100.00	19	100.00	33	100.00	4	100.00	123	-
Preocupação das famílias com as situações de risco na comunidade	Não se preocupam	16	57.14	21	40.38	4	16.00	8	22.86	0	0.00	49	0.004
	Preocupam-se	12	42.86	31	59.62	21	84.00	27	77.14	4	100.00	95	
	Total	28	100.00	52	100.00	25	100.00	35	100.00	4	100.00	144	-

A mobilização dos moradores para a prevenção de problemas de risco mostrou-se significativamente associada a informações da mídia local sobre a prevenção de riscos ($p=0.004$) e à existência de entidade formal que represente os interesses da comunidade ($p=0.002$). Tendo sido observados maiores percentuais de mobilização entre os que declararam ter acesso a informações da mídia local sobre riscos (73.33%) e possuem uma entidade formal que represente os interesses da comunidade (93.33%).

Um maior percentual de entrevistados que realizam ações para a prevenção de problemas de risco foi observado nos grupos que mencionaram haver discussão entre as entidades locais sobre os problemas de risco (91.67%) e não possuem licença da prefeitura para a sua propriedade (60%). Este quadro pode ser explicado pelo fato de existir maior contingente de residências suscetíveis a riscos nos locais onde não há licença da prefeitura para a construção das edificações. Corroborando com tais informações, é possível verificar maiores frequências de entrevistados mencionando chance elevada de deslizamentos e inundações entre os grupos em que as famílias declararam preocupar-se com situações de risco e possuírem entidades formais de representação.

Assim, a percepção de risco dos entrevistados está intimamente associada ao presenciamento de eventos de risco por parte dos moradores, bem como ao conhecimento do assunto por meio de articulações locais ou informações da mídia. O grau de influência das ações humanas sobre o risco é controverso, tanto entre o grupo que se considera em risco, quanto entre aquele que não se considera. A percepção dos entrevistados e as associações que fazem, com relação as situações de risco, devem ser consideradas no momento do planejamento de intervenções junto à população, visando o adequado gerenciamento deste.

A partir dos dados levantados, pode-se observar o quão variáveis são as percepções entre os atores com a temática riscos. Esse trabalho buscou uma primeira abordagem de como a percepção de risco, nas suas mais variadas manifestações, pode ser utilizada para o delineamento ou indicações das melhores maneiras de se comunicar riscos para a população que se encontra sob a ameaça de processos geológicos e hidrológicos. Estas

devem ser compreendidas pela resultante de referências políticas, econômicas e sociais, muito além das questões meramente físicas sobre o tema.

A desarticulação entre os órgãos municipais contribui para a inviabilização da gestão local de risco, que fica basicamente a cargo da COMDEC de Mariana, que não está preparada para desempenhar as ações necessárias. Pode-se inferir que a gestão local de risco se caracteriza por muitas vulnerabilidades, que juntas fatalmente ampliam os danos e consequências no caso de acidentes, denotando fragilidades políticas e institucionais.

Constata-se a necessidade de parcerias entre as esferas da administração pública com as instituições de ensino, pesquisa e sociedade civil para ampliar o conhecimento sobre os riscos a que a cidade está submetida, no intuito de discutir ações de prevenção e mitigação mais efetivas. Uma das primeiras ações passa pela necessidade de se promover a qualificação dos técnicos e gestores para identificação e gestão do risco.

A inserção desta temática nos projetos pedagógicos das escolas em uma perspectiva, se mostra cada dia mais necessário, para a construção do conhecimento, discussão e análise do tema na perspectiva local e global. O estímulo à participação da sociedade civil nos processos de planejamento municipal com a criação de espaços para informação e diálogo sobre riscos, também é fundamental.

Dessa forma, a melhor maneira para que um risco seja compreendido pela população é fazendo com que suas percepções sejam levadas em consideração no momento de produção dos materiais e processos educativos, tornando o conhecimento acessível a todos e proporcionando certa racionalidade sobre o tema.

CONCLUSÕES

A cartografia geoambiental e geotécnica no Brasil já atingiu um nível de excelência no domínio das técnicas e procedimentos de mapeamento, gerando produtos finais dos mais diversos, tanto por questões metodológicas, como por particularidades locais do meio físico, foco do estudo e até de materiais e recursos disponíveis. Entretanto, a diversidade de territórios, substratos geológicos, geomorfológicos, e características geotécnicas somados a generalização do uso das metodologias existentes, sem a devida consideração das adequadas escalas de análises e especificidades locais, ainda tem trazido algumas dificuldades quando se quer comparar situações em diferentes partes do país, mas principalmente, na aplicação prática dos dados gerados para fins de ordenamento dos territórios.

Os acidentes catastróficos dos últimos anos (Vale do Itajaí, Angra dos Reis, Rio de Janeiro, Niterói, Teresópolis, Nova Friburgo, Minas Gerais, Espírito Santo, Salvador) alarmaram a todos e levaram a que o governo federal buscasse um caminho no combate aos desastres naturais como uma política de estado. Eventos de grande magnitude sempre chamam a atenção e comovem populações e autoridades. Entretanto, a adoção de uma real política de redução de riscos geológicos e hidrológicos passa por medidas preventivas e, principalmente, de planejamento territorial e reordenamento urbano, visto o quadro atual da grande maioria das cidades brasileiras.

Embora se reconheça os avanços advindos da regulamentação da Lei Federal n.º 10.257, de 10 de julho de 2001, denominada Estatuto da Cidade, na prática ainda foram tímidos os avanços em relação ao objetivo central de pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, principalmente em relação aos municípios que não compõem grandes centros urbanos. A garantia do direito a cidades sustentáveis; ao planejamento do desenvolvimento das cidades, da distribuição espacial da população e das atividades econômicas do município e do território sob sua área de influência; da proteção, preservação e recuperação do meio ambiente natural e construído; e da regularização fundiária e urbanização de áreas ocupadas por população de baixa renda, ainda está longe de ser plenamente atendida.

A nova janela de oportunidades surgida em 2012 no país, para a consolidação de uma gestão adequada do meio físico, de riscos e desastres, com a formulação do Plano Plurianual (PPA) 2012-2015, e a nova política estabelecida pela Lei 12.340/10, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil - SINDEC, trouxe benefícios a curto prazo, mas até então os Programas Temáticos e de Gestão, como o programa voltado ao planejamento urbano, ainda encontram-se no campo da teoria, sem replicabilidade prática efetiva, e que possa ser alcançada por todos os municípios brasileiros. A própria decretação da Lei 12.608, de 10 de abril de 2012, instituindo a Política, o Sistema e o Conselho Nacionais de Proteção e Defesa Civil, que foi considerada um dos maiores avanços do Brasil no campo da gestão do território por determinar a atuação articulada entre União, Estados e Municípios; a abordagem sistêmica; a prioridade às ações preventivas; a adoção da bacia hidrográfica como unidade de análise; o planejamento com base em pesquisas e estudos e a participação da sociedade civil, onde os Estados e Municípios deverão identificar e mapear áreas de risco e realizar estudos de identificação de ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades, após três anos de decretação, ainda aguarda sua efetiva regulamentação.

Em relação à BHRC conforme a PNRH para bacias hidrográficas, buscou-se efetivamente a geração de informações em escalas adequadas à gestão dos recursos hídricos e à gestão ambiental, estruturadas para que estas sejam tratadas de maneira integrada, articuladas com o planejamento dos setores usuários, com o planejamento regional intermunicipal, e a gestão do uso do solo. Com este pressuposto, este trabalho não se limita apenas às análises do meio físico e uso do solo, mas, também, com a preocupação de analisar os recursos hídricos e a qualidade das águas superficiais. Não seria possível alcançar quaisquer gerenciamentos da BHRC, se antes de tudo não fosse realizado um amplo processo de diagnóstico do meio físico em escalas compatíveis, para buscar soluções dentro dos limites da capacidade de suporte ambiental, e os riscos ambientais inerentes a bacia.

O conceito de mapeamento com detalhamento progressivo pode ser adaptado nas práticas de cartografia geoambiental e geotécnica, no planejamento territorial e urbano, determinando estudos mais gerais e regionais (uso do solo, pedologia, geomorfologia, geologia, caracterização morfométrica, cartas geotécnicas de suscetibilidades), estudos

locais e orientadores para o uso e ocupação do solo urbano (cartas geotécnicas de aptidão à urbanização) e estudos pontuais que busquem a mitigação ou erradicação dos perigos e riscos já existentes (cartas geotécnicas de perigo e risco geológico). Embora desejável seu desenvolvimento conjunto, como executado neste trabalho, estes produtos cartográficos podem ser elaborados independentemente uns dos outros, segundo as necessidades mais prementes dos municípios e comitês de bacia, tanto em termos emergenciais como no planejamento e prevenção de problemas ambientais e de natureza geológico-geotécnica.

Os aspectos geológicos, geomorfológicos e hídricos sempre condicionaram de alguma forma, a ocupação do ambiente. Assim, a caracterização adequada dos terrenos, por meio de diagnósticos ambientais é imprescindível para que se possa determinar as atratividades para suportar os diversos usos, os impactos resultantes destes usos e as medidas que podem ser adotadas para a prevenção dos problemas.

Em relação aos objetivos propostos neste trabalho, foi elaborado um extenso inventário das informações cartográficas e geoambientais da área da BHRC; foi realizada a avaliação e cadastro dos estudos geotécnicos que envolveram a caracterização geotécnica dos materiais ao longo da bacia; as unidades litoestruturais para a área da BHRC foram identificadas, bem como ocorreu a caracterização e análise dos atributos morfométricos como medida indireta da variabilidade espacial dos processos hidrológicos; foi realizada a avaliação da qualidade das águas superficiais (IQA), a partir de análises físico-químicas e bacteriológicas em 27 pontos distribuídos ao longo da BHRC; uma nova proposta de metodologia para análise geomorfológica e elaboração do mapa de unidades morfológicas territoriais foi aplicada; uma proposta de metodologia para análise pedológica foi adaptada para as especificidades locais; a análise temporal do uso e ocupação do solo foi executada para três períodos (1986, 2006 e 2014); a caracterização da suscetibilidade a processos erosivos laminares permitiu a avaliação dos efeitos negativos decorrentes da erosão e degradação do solo; a caracterização dos processos geodinâmicos pretéritos da BHRC ocorreu com a elaboração dos mapas de ocorrências na áreas municipais de Ouro Preto e Mariana e de feições e cicatrizes reconhecidas ao longo da bacia; foram elaboradas para toda BHRC cartas geotécnicas de suscetibilidade a deslizamentos, queda de blocos, corridas,

enxurradas e inundações em escalas adequadas ao planejamento territorial; uma nova proposta de elaboração de uma carta geotécnica de aptidão a urbanização foi aplicada para um trecho da bacia hidrográfica nas imediações da sede do município de Ouro Preto na escala 1:10.000; uma nova proposta de elaboração de carta geotécnica de perigo/risco geológico foi aplicada para a sede da área urbana de Mariana na escala 1:2.000; uma metodologia inédita foi proposta e aplicada para a avaliação da percepção do risco na sede do município de Mariana, com entrevistas individuais e cujos resultados corroboram para a necessidade de discussões urgentes em relação a necessidade de transferência do conhecimento que vem sendo gerado sobre suscetibilidade, riscos e aptidão a urbanização.

A nova proposição metodológica para a leitura da geomorfologia ao longo da BHRC, além de permitir uma leitura que retrata as especificidades locais, diferentemente da maioria das análises que apenas aplicam metodologias propostas para escalas muito pequenas, também pode ser aplicada e/ou adaptada em qualquer outro município, bacia hidrográfica, e/ou unidade administrativa.

A adaptação e proposição de uma metodologia para análise dos solos permitiu uma leitura compatível com o território da BHRC, e culminou na geração da carta pedológica em uma escala de semidetalhe adequada ao planejamento territorial, sem abstrações generalistas. A aptidão agrícola foi uma das leituras realizadas para a bacia a partir do mapa de solo gerado neste estudo, cujos resultados foram validados em campo.

A adaptação e proposição de uma metodologia apoiada em sistemas de informação geográfica para a delimitação de áreas de proteção permanente possibilita a automação dos procedimentos e a uniformização dos resultados espacialmente localizados, bem como a correlação deste tema com todos os outros gerados sobre o meio físico, e relacionados a zoneamento ambientais e planejamentos territoriais.

A caracterização de bacia hidrográficas por meio de análise morfométrica contribui para uma melhor compreensão dos processos hidrogeomorfológicos ocorrentes, mesmo que sua estruturação seja complexa, ou que já tenha sofrido intervenções antrópicas significativas. A análise morfométrica da BHRC, além de agregar informações importantes para um diagnóstico ambiental mais amplo da área integral de estudo, demonstrou a necessidade de estudos específicos mediante o comportamento

diferenciado entre as duas unidades geomorfológicas existentes: o Quadrilátero Ferrífero e os Planaltos Dissecados. Soma-se aqui as alterações dos parâmetros morfométricos da rede de drenagem consequências das intervenções antrópicas, principalmente em decorrência da expansão dos centros urbanos na porção centro-oeste da bacia.

A caracterização das chuvas intensas a partir do estudo das precipitações máximas constitui-se um dos principais caminhos para estimativa da vazão de pico de uma bacia, já que a disponibilidade de longas séries de precipitações é, em geral, muito mais frequente que a de vazões. Os dados gerados na caracterização do BHRC auxiliarão estudos posteriores visando à determinação do perigo e risco de inundação, a partir da geração de modelos hidrológicos que forneçam como variáveis de saída arquivos com as cotas de inundação para as vazões de projeto. Outra contribuição relacionada a determinação das chuvas intensas e tempos de concentração na caracterização da BHRC é o auxílio no desenvolvimento e implementação de sistemas de monitoramento de desastres naturais.

A avaliação da qualidade das águas superficiais trouxe uma leitura inédita em relação a BHRC e possibilitou um melhor entendimento das características e problemas a serem resolvidos, principalmente para as bacias interiores onde as águas superficiais coletadas e analisadas são atualmente utilizadas para o consumo humano. Entretanto, para uma melhor compreensão da magnitude dos problemas faz-se necessário a ampliação dos pontos de coleta e análise de forma a abranger todos os pontos de captação de água para consumo humano ao longo da BHRC, bem como os tributários principais.

O estudo dos processos erosivos laminares dos solos na BHRC contribuiu para o conhecimento das características geológicas, geomorfológicas, pedológicas, dos aspectos da vegetação e das condições climáticas da área de estudo, que condicionam o desenvolvimento de processos geodinâmicos, como erosão e transporte e deposição de sedimentos. Estes processos, quando ativos, podem causar inúmeros problemas no que tange ao uso e ocupação do solo urbano e rural. Por outro lado, as intervenções antrópicas inadequadas, como práticas de mineração e agrossilvipastoris, geram condições facilitadoras para a deflagração e/ou ampliação de processos erosivos que originam ravinas e até mesmo voçorocas aumentando, significativamente, o volume de

sedimentos transportados para os canais fluviais, sendo o Ribeirão do Carmo o maior afetado. Assim, medidas mitigadoras para o problema da geração de sedimentos na bacia do Ribeirão do Carmo devem focar principalmente o ordenamento do uso do solo nas áreas urbanas de Ouro Preto e Mariana, em conjunto com uma série de ações de melhoria ambiental em toda bacia, tais como controle dos garimpos e áreas de mineração.

A cartografia das informações referentes ao meio físico, das áreas urbanas, das atividades de mineração, e das áreas de proteção ambiental da BHRC possibilitou uma análise temporal e a delimitação de unidades principais que retratam o uso do solo. Percebe-se que as atividades de agropecuária, mineração e de silvicultura são as que mais impactos ambientais promovem, por removerem toda a cobertura vegetal primária, desenvolvendo-se, predominantemente, nas áreas adjacentes aos distritos, subdistritos e localidades. Entretanto, ao se comparar à extensão da área voltada para a agropecuária, ou que seja recoberta por campos e pastagens, e a representatividade econômica desta para a BHRC, fica evidente uma enorme discrepância e a necessidade da criação de políticas públicas que visem o desenvolvimento sustentável nessas áreas, diminuindo, assim, a migração do campo para as áreas das sedes municipais.

As informações ambientais contidas nos mapas de uso do solo, associadas com as informações referentes a cobertura vegetal existente, as características gerais dos recursos hídricos superficiais, a tipologia das aglomerações urbanas, o grau de intervenção antrópica e a influência dessa, permitirá a construção de cenários ambientais (Zoneamentos) que devem ser concebidos juntamente com os técnicos locais responsáveis pelo planejamento urbano e rural dos municípios, com a participação de entidades do terceiro setor.

Outrossim, cabe as autoridades municipais, de posse dessas informações, a elaboração e o desenvolvimento de políticas públicas voltadas à melhoria da qualidade de vida da população, tornando esse estudo um eficaz instrumento de planejamento e gestão ambiental como enfatizam as recentes Leis ambientais.

Em relação à cartografia geotécnica de suscetibilidade, aptidão à urbanização e risco, o Ministério do Planejamento incluiu no programa orçamentário (PPA 2012-2015) o programa Gestão de Riscos e Resposta a Desastres, envolvendo os ministérios da

Integração Nacional, de Ciência e Tecnologia e de Minas e Energia. Dentre os objetivos deste programa, estão o desenvolvimento de mapeamentos da suscetibilidade a processos destrutivos nos municípios com histórico de acidentes/desastres naturais, mapeamento de risco em áreas ocupadas; intervenções estruturais para prevenção de risco; obras emergenciais para redução do risco, além da implementação do Sistema Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais. Neste trabalho todas as leituras do meio físico foram executadas nas escalas corretas abrangendo parcialmente os centros urbanos e no caso das suscetibilidades a totalidade da BHRC.

Conhecer as diferentes fragilidades, juntamente com a identificação dos setores mais suscetíveis à degradação ambiental, bem como a ocorrência de processos geodinâmicos (movimentos de massa, inundações e enxurradas) torna-se de fundamental importância para o estabelecimento de restrições e alternativas sustentáveis ao processo de ocupação e apropriação da paisagem.

A proposição apresentada buscou fomentar a continuidade da discussão sobre a utilização da cartografia geotécnica nos diversos programas e sistemáticas existentes, objetivando uma maior padronização dos procedimentos adotados nos diversos níveis (regional, local e de detalhe), o estabelecimento de bases mínimas para os mapeamentos e, principalmente, que tipo de produto se pretende ter e quem será o usuário direto, ressaltando-se necessidade de bases mínimas de informação (imagens, cartas temáticas, cadastros de ocorrência de eventos, etc.) para o desenvolvimento dos mapeamentos e neste aspecto a maior carência é a ausência de bases topográficas de detalhe suficiente para cada nível hierárquico.

É importante ainda frisar que com base nos resultados do estudo, os objetivos de cada nível hierárquico das cartas são diferentes e os instrumentos legais que poderão embasar são também distintos, assim como os seus usuários mais diretos. Cartas geotécnicas de suscetibilidade são mais eficazes em análises e projeções mais gerais ou regionais como os planos diretores, planos de ordenamento territorial, planos metropolitanos, zoneamentos ambientais, gestão de bacias hidrográficas, zoneamentos ecológico-econômicos, etc. Cartas de aptidão a urbanização tem aplicação principal no reordenamento e ocupação urbana, subsidiando instrumentos como as leis de uso do solo e planos diretores, em seus aspectos mais específicos, mas também sendo úteis a

profissionais e leigos na obtenção de informações sobre o meio físico e seus processos em áreas urbanas. Cartas de risco geológico em áreas urbanas são uma das bases para os sistemas de alerta e planos de defesa civil, além de serem suporte técnico para a implementação de medidas estruturantes e não estruturantes de engenharia, sendo documentos fundamentais na gestão do risco e no próprio planejamento e reordenamento urbano,

Assim, a elaboração da cartografia geoambiental e geotécnica para todo o território da BHRC vem possibilitar a agregação e integração das informações sobre o meio físico, compiladas e produzidas, num único documento, sob a lógica do mapeamento progressivo, e se for interesse do poder público, permite a construção de um modelo de gestão do meio físico adequado e que pode ser incorporado aos planejamentos municipais e intermunicipais, considerando as especificidades da BHRC.

REFERÊNCIAS

- AB´SÁBER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. *Geomorfologia*. n. 18, IG-USP, S. Paulo, 1969.
- ABGE. Curso de Geologia aplicada ao meio ambiente. Coordenação Omar Bitar. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. IPT. Divisão de Geologia. 1995. 247p.
- ABGE. Geologia de Engenharia. Oliveira, A M. S. e Brito, S. N (editores) São Paulo: ABGE/Oficina de Textos. 1998. 586p.
- ABREU, A. E. S. Mapeamento geotécnico para gestão municipal - abordagem combinando três métodos distintos e sua aplicação em Analândia - SP, 2007, 204 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos, SP, 2007.
- ABREU, A. E. S. E AUGUSTO FILHO, A. Mapeamento geotécnico para subsidiar a gestão municipal de Analândia-SP com base nas abordagens da EES/USP. IPTE da UNESP-Rio Claro. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 6, 2007, Uberlândia, MG. Anais. Uberlândia, MG, 2007. v. 1, 14p.
- AGUIAR, R. L. e GANDOLFI, N. Mapeamento Geotécnico da Área de Expansão Urbana de São Carlos - SP: Contribuição ao Planejamento In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 6, 1990, Salvador. Anais. São Paulo, SP: ABGE/ABMS, 1990. v. 1, 207-213.
- AGUIAR, R. L. e GANDOLFI, N. Procedimentos metodológicos para o zoneamento geotécnico geral aplicados no Distrito Federal – Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 3, Florianópolis - SC. Anais. Florianópolis - SC, 1998. v. 1, 23p.
- AGRESTI, A. *Categorical Data Analysis*, 2nd Edition, New York: John Wiley e Sons. 2002.
- ALAMEDDINE, N., MIRANDOLA, F. A., SILVA, F. C., CANIL, K. e CORSI, A. C. O uso de sistemas de informação geográfica no âmbito da elaboração dos planos municipais de redução e erradicação de riscos nos municípios de Osasco e Taboão da

Serra, SP In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 12, 2008, Porto de Galinhas, PE. Anais. Porto de Galinhas, PE, 2008. v. 1, 1-10.

ALEOTTI P, CHOWDHURY R. Landslide hazard assessment: summary, review and new perspectives. Bull Eng. Geol Environ 58:21–44, 1999.

ALHEIROS, M. M. Riscos de escorregamentos na Região Metropolitana de Recife. Recife, 1998. 120p. Tese (Doutorado em Geociências, Área de Concentração em Geologia Sedimentar)-Universidade Federal da Bahia. Instituto de Geociências, 1998.

ALHEIROS, M. M., LIMA, E. S., CHAVEZ, M. B. e GOMES, S. C. Diagnóstico ambiental da bacia do rio Jaboatão: Elementos do meio físico. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 10, 2002, Ouro Preto, MG. Anais. Ouro Preto, MG, 2002. v. 1, 17p.

ALKMIM, F.F., 1985. Sedimentologische, lithostratigraphische und tektonische Untersuchungen in den Serra de Ouro Branco, Minas Gerais, Brasilien. Ph.D. thesis, Technical University of Clausthal, Clausthal-Zellerfeld, Germany.

ALKMIM, F. F.; MARSHAK, S. 1998. Transamazonian Orogeny in The Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. Precambrian Research. 90: 29-58.

ALMEIDA, M. C. J. e FREITAS, C. G. L. Uso do solo urbano: Suas relações com o meio físico e problemas decorrentes. In: Simpósio brasileiro de Cartografia Geotécnica, 2, 1996, São Carlos, SP. Anais. São Carlos, SP: ABGE, 1996. v. 1, 6p.

ALMEIDA, M. A. B., SCHWARZBOLD, A. Avaliação Sazonal da Qualidade das Águas do Arroio da Cria Montenegro, RS com Aplicação de um Índice de Qualidade de Água (IQA). RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 8 n.1 Jan/Mar 2003, 81–97.

ALMEIDA, E. S. e INFANTI JUNIOR, N. Maciços rochosos na ilha de Santa Catarina: O uso do subsolo como espaço alternativo visando a preservação ambiental. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 11, 2005, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis, SC, 2005. v. 1, 8p.

AMARAL, C. P., BARROS, W. T., D'ORSI, R. N. e AMARAL, F. P. SIG alternativo aplicado ao gerenciamento de áreas de risco geológico no Rio de Janeiro In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 7, 1993, São Paulo, SP. Anais. São Paulo, SP: ABGE, 1993. 1, 55-62.

AMARAL, C. P. e BARROS, W. Escorregamento 1995 da encosta da clínica Santa Geneveva: Condicionantes geológicas e medidas atenuadoras. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 8, 1996, Rio de Janeiro, RJ. Anais. Rio de Janeiro, RJ: ABGE, 1996. v. 2, 8p.

AMARAL, C. P. e LARA, A. Mapa geológico-geotécnico 1:10.000 voltado para o entendimento dos processos e riscos a escorregamentos no Rio de Janeiro. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 3, Florianópolis - SC. Anais. Florianópolis, SC, 1998. v. 1, 7p.

AMARAL, C. P. Mapeamento de risco geológico a escorregamentos: Experiência do Rio de Janeiro em 2005 In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 11, 2005, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis, SC, 2005. v. 1, 8p.

ANA – Agência Nacional das Águas – (2005). Acesso em: 02 de janeiro de 2015. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb/>.

ANDRADE, M. R. M., OLIVEIRA, A. M. dos S., SATO, S. E., QUEIROZ, W., BARROS, E. J. e DUARTE, S. Análise geoambiental aplicada ao zoneamento ecológico-econômico da APA Cabuçu-tanque grande – Guarulhos-SP In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 12, 2008, Porto de Galinhas, PE. Anais. Porto de Galinhas, PE, 2008. v. 1, 1-9.

ANDRADE, E., DANNA, L. C., SANTOS, M. L. e SILVA, P. C. F. Levantamento de ocorrências de inundação em registros de jornais como subsídio ao planejamento regional e ao mapeamento de risco. Prevenção de Riscos e Desastres. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 7, 2010, Maringá, PR. Anais. São Paulo, SP, 2010. v.1, 1-16.

ANJOS, C. A. M., WANDERLEY, P. R. M. e FILHO, A. M. C. Mapa geotécnico da cidade de Maceió-AL In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 7, 1993, Poços de Caldas. Anais. São Paulo: ABGE, 1993, 1, 145-150.

APHA. American Public Health Association, American Water Works Association (AWWA), and Water Environment Federation (WEF). 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th Edition. United Book Press, Inc., Baltimore, Maryland.

APHA. American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21. ed. Washington: Water Environment Federation, 2005. 1496 p.

ARCELO, A.A.B. DUMONT, M.A.B. Uma análise histórico-pragmática da cultura política de direitos humanos no Brasil contemporâneo. Revista Eletrônica do Curso de Direito – PUC Minas Serro, n.1 2010.

ARCOVERDE, G.F.B.; BORGES, M.E.S.; MARTINS, E.S.; RAMOS, V.M.; GUIMARÃES, R.F.; CARVALHO JÚNIOR, O.A. GOMES, R.A.T. Mapeamento Pedológico em Relevos Cársticos a Partir da Análise Morfométrica. Anais. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, INPE, 2005. p.: 1725-1732.

ARGENTO, M. S. Mapeamento geomorfológico. In: *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 4ª ed. Orgs. A.J.T. Guerra e S. B. Cunha. Rio de Janeiro. Ed. Bertrand Brasil, p. 365-392. 2001.

ARONOFF, S. *Geographical Information Systems: A management Perspective*. Ottawa, WDI Publications. 1989.

ASTE, J. P.: Landslide Hazard Analysis – Landslide Risk Mapping. In Almeida-Teixeira, M. E., Fantechi, R., Oliveira, R., and Gomes Coelho, A. (Eds.), *Prevention and Control of Landslides and Other Mass Movements*, Commis. European Communities, Brussels, 165–170, 1991.

AUGUSTO FILHO, O.; CERRI, L.E.S.; AMENOMORI, C.J. Riscos geológicos: aspectos conceituais. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE RISCO GEOLÓGICO URBANO, 1, 1990, São Paulo. Anais. São Paulo: ABGE, 1990. p.334-41.

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE

ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1, 1992, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: ABMS/ABGE. P. 721 – 733.

AUGUSTO FILHO, O. e WOLLE, C. M. Cartas de risco de escorregamentos: Uma proposta metodológica e sua aplicação no Município de Ilhabela, SP. Solos e Rochas, São Paulo, SP, 1996. 19, 1, 45-62.

AUGUSTO FILHO, O., RIDENTE JÚNIOR, J. L. e ALVES, C. F. de C. Compartimentação geotécnica da área urbana do município de São José do Rio Preto (SP) com base na generalização espacial de dados de sondagens a percussão In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 9, 1999, São Pedro, SP. Anais. São Pedro, SP, 1999. v. 1, 14p.

AUGUSTO FILHO, O. Carta de risco de escorregamentos quantificada em ambiente de SIG como subsídio para planos de seguro em áreas urbanas: um ensaio em Caraguatatuba (SP). 2001. 196f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

AUGUSTO FILHO, O. 2005. Análise da potencialidade de geração de corridas de massa nos trechos serranos do duto osbat. 11º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. Florianópolis – SC.

AUGUSTO FILHO, O. Cartas de risco de escorregamentos e planos de seguro no Brasil: Um ensaio em Caraguatatuba (SP). Geotecnia, São Paulo, SP, 2006, 108, 197-214.

ÁVILA, C. J. C. P.; ASSAD, E. D.; VERDESIO, J. J.; EID, N. J.; SOARES, W.; FREITAS, M. A. DE V. 2003. Geoprocessamento da Informação Hidrológica. [<http://www.mma.gov.br/port/srh/acervo/publica/doc/oestado/texto/187-196.html>] acessado em jul 2003.

BACELLAR, L. A. P., ARANHA, P. R. A., COELHO NETTO, A. L. e LACERDA, W. A. Aplicação de métodos geofísicos para a caracterização geológico - geotécnica de áreas do embasamento cristalino erodidas por voçorocas In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 10, 2002, Ouro Preto, MG. Anais. Ouro Preto, MG, 2002. v. 1, 12p.

BACHION, M. L. e RODRIGUES, J. E. Carta de zoneamento geotécnico geral da região sudoeste do município de Campinas-SP In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 9, 1999, São Pedro, SP. Anais. São Pedro, SP, 1999. v. 1, 8p.

BACK, A. J.; OLIVEIRA, J. L. R.; HENN, A. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação da chuva diária em Santa Catarina. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 16, n. 4, p. 391 – 398. 2012.

BAI, S., J. WANG, G.N. LU, P.G. ZHOU, S.S. HOU AND S.N. XU. “GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping of the Zhongxian segment in the Three Gorges area, China”. *Geomorphology*, 115,23–31, 2010.

BARROSO, J. A., BARROSO, E. V. e CABRAL, S. Evolução e análise da metodologia de mapeamento geotécnico no Rio de Janeiro In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 3, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis, SC, 1998. v. 1, 10p.

BASTOS, C. A. B. e ALVES, A. M. L. Mapeamento geotécnico da planície costeira sul do Rio Grande do Sul In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 2, 1996, São Carlos, SP. Anais. São Carlos, SP: ABGE, 1996. v. 1, 10.

BASTOS, C. A. B., VALENTE, A. L. S., TAGLIANI, C. R., MIRANDA, T. C., PINTO, W. S. e DIAS, R. D. Mapeamento das unidades geotécnicas como subsídio a formação de um banco de dados geotécnicos georreferenciado para o município de Rio Grande/RS In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 11, 2005, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis, SC, 2005. v. 1, 16p.

BASTOS, C. A. B., MIRANDA, T. C., SCHULER, A. R., SCHMITT, L. A. e VASCONCELOS, S. M. Mapeamento geotécnico da planície costeira sul do Rio Grande do Sul In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 6, 2007, Uberlândia, MG. Anais. Uberlândia, MG, 2007. v. 1, 15p.

BALTAZAR, O. F.; RAPOSO, F.O. 1993. Folha Mariana SF.23-X-B-I: estado de Minas Gerais. Escala 1:100.000. Brasília: CPRM. 183 p. il. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB.

BALTAZAR, O.F.; BAARS F.J.; LOBATO, L.M.; REIS, L.B.; ACHTSCHIN, A.B.; BERNI, G.V.; SILVEIRA, V.D. 2005. Mapa Geológico Mariana na Escala 1:50.000

com Nota Explicativa. In: Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com nota explicativa. Lobato *et al.* (2005) CODEMIG. Belo Horizonte.

BATISTA JUNIOR, C. P., POLIVANOV, H., MARANGON, M. MOTTA, L. M. G. Avaliação da caracterização química, mineralógica e pedológica e classificações geotécnicas de solos de comportamento laterítico. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 11, 2005, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis, SC, 2005. v. 1, 13p.

BECK, U. (2006). La Sociedad del riesgo: hacia una nueva modernidad. Editorial Paidós Ibérica, 393p., Barcelona, Espanha.

BELLINAZI JUNIOR, R.; BERTOLINI, D.; LOMBARDI NETO, F. Ocorrência de erosão rural no Estado de São Paulo. In: Simpósio sobre Controle de Erosão Rural no Estado de São Paulo. São Paulo. Anais. São Paulo: IBGE, 1981. p. 117-137.

BENEDITO, J. C., FERREIRA, H., RAMOS, V. C. e FERREIRA, A. C. Zonas de alto risco ambiental na cidade de Maceió: considerações sociais. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 12, 2008, Porto de Galinhas, PE. Anais. Porto de Galinhas, PE, 2008. v. 1, 1-9.

BENTO, A. H. e FROTA, C. A. Mapeamento geotécnico da área de Manaus-AM. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 3, Florianópolis - SC. Anais. Florianópolis - SC, 1998. v. 1, 19p.

BERTONI, J. 1959. O espaçamento de terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão. *Bragantia*, Campinas, SP. 18: 113-140p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. 1990. Conservação do Solo. 3^a. ed. São Paulo: Ícone, 355 p.

BERTONI, J. E LOMBARDI NETO, F. 1993. Conservação do Solo. 3^a edição, Ícone. Editora, São Paulo.

BERTONI, J. e LOMBARDI NETO, F. 1985. Conservação do Solo. Piracicaba – SP. Livroceres. 392p.

- BEST A., ZHANG, L., MCMAHOM T., WESTERN, A, VERTESSY R. 2003. *A critical review of paired catchment studies with reference to seasonal flow and climatic variability*. Australia, CSIRO Land and Water Technical. MDBC Publication 56 p. (Technical Report 25/03).
- BISPO, P. C., ALMEIRA, C. M., VALERIANO, M. M., MEDEIROS, J. M., CREPANI, E. Análise da Suscetibilidade aos Movimentos de Massa em São Sebastião (SP) Com o Uso de Métodos de Inferência Espacial. *Geociênc.* Vol.30, nº. 3, São Paulo, 2011.
- BITAR, O.Y., CERRI, L.E.S., NAKAZAWA, V.A. Carta de risco geológico e carta geotécnica: uma diferenciação a partir de casos em áreas urbanas no Brasil. In: *Simpósio Latino Americano Sobre Risco Geológico Urbano*, 2, Pereira, 1992. Atas, v. 1, p.35-41.
- BITAR, O. Y., IYOMASA, W. S. e CABRAL JR., M. 2000. Geotecnologia: tendências e desafios. *São Paulo Perspec.*, July/Sept. , vol.14, no. 3, p.78-90. ISSN 0102-8839.
- BITAR, O.Y. (Coord.) (2014). *Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações 1:25.000: nota técnica explicativa*. São Paulo: IPT/CPRM, 50p. (IPT Publicação 3016) (publicação on-line).
- BONUCCELLI, T.J. Estudo dos movimentos gravitacionais de massa e processos erosivos na área urbana de Ouro Preto. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1999.
- BONUCCELLI, T.J.; ZUQUETTE, L.V. Movimentos gravitacionais de massa e erosões na cidade histórica de Ouro Preto, Brasil. *Revista Geotecnia*, Lisboa, nº 85. 1999.
- BORGES, M. E. S.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; MARTINS, E. S.; ARCOVERDE, G. F. B.; GOMES, R. A. T. Emprego do Processamento digital dos parâmetros morfométricos no mapeamento geomorfológico da bacia do Rio Preto. *Espaço e Geografia*, v. 10, n. 2, p. 401-429, 2007.
- BRANDALISE, L. A. 1991. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB; Carta Geológica, Carta Metalogenético-Previsional da Folha Ponte Nova (SF.23-X-B-II), escala 1:100.000, Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte.

BRUBACHER, J. P. Análise da Suscetibilidade a Inundações, na área urbana de Igrejinha – RS. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2013. 69p.

BRADY, L.M.; GRAY, F., WISSLER, C.A.; PHILLIP GUERTIN, D. 2000. GIS analysis of spatial variability of contaminated watershed components in historically mined region, Arizona. U.S. GEOLOGICAL SURVEY.

BRASIL. Lei Federal nº 4.771 de 15 de Setembro de 1965, atualizada em 06.01.2001. Código Florestal Brasileiro.

BRASIL Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 1979, 11 p.

BRASIL. Lei n. 6.938 de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2 set. 1981, p. 16509.

BRASIL. Constituição 1988: Texto Constitucional de 5 de outubro e 1988 com alterações adotadas pelas Emendas Constitucionais nº 1/92 a 26/00 e Emendas Constitucionais de Revisão números 1 a 6/94. Brasília: Senado Federal - Subsecretaria de Edições Técnicas, 2000.

BRASIL. Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997a. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 9 jan. 1997a.

BRASIL. Secretaria de Recursos Hídricos. Plano nacional de recursos hídricos. FGV, Brasília, 1998. 10 v.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 1469, de 29 de dezembro de 2000. Aprova a norma de qualidade da água para consumo humano, que dispõe sobre procedimentos e responsabilidades inerentes ao controle e a vigilância da qualidade da água para consumo humano, estabelece o padrão de potabilidade da água para consumo humano e

dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 22 jan. 2001, nº 1 – E, Seção 1, p. 19 (Republicada no DOU nº 38 - E de 22/2/2001, Seção 1, p.39).

BRASIL. Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, p. 1, 18 jul. 2000b.

BRASIL, (2001) Lei 10.257 de 10 de julho de 2001: Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília: Congresso Nacional.

BRASIL. Câmara dos Deputados. *Estatuto da cidade* Guia para implementação pelos municípios e cidadãos. Brasília: Coordenação de Publicação, 2001.273p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas. Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil. Brasília: ANA; Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 274, de 29 de novembro de 2000. Brasília. Diário Oficial da União de 29 de novembro de 2000 (2000a).

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Brasília. Diário Oficial da União de 18 de março de 2005.

BRASIL. Ministério das Cidades. 2004. Critérios para mapeamento de riscos. Programa de Prevenção e Erradicação de Riscos, Secretaria de Programas Urbanos. Disponível em <http://www.cidades.gov.br/SNPU>, acessado em agosto de 2011.

BRASIL. Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios / Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura, organizadores – Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, 14 dez. 2011.

BRASIL. Lei 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2012, 34 p.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Secretaria de Planejamento e Investimentos Estratégicos. Orientações para elaboração do Plano Plurianual 2012-2015. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Secretaria de Planejamento e Investimentos Estratégicos. - Brasília: MP, 2011. 72p.: il. color.

BRESSANI, L. A., NORONHA, F. L, MIZUSAKI, A. M. P. e LISBOA, N. A. Caracterização geológico/geotécnica da área urbana de Santa Cruz do Sul (RS) com aplicação em movimentos de massa In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 12, 2008, Porto de Galinhas, PE. Anais. Porto de Galinhas, PE, 2008. v. 1, 1-16.

BRITO, N. C. M. S., BARROS, S. D. S. e PEREIRA, A. S. Avaliação do risco urbano e o papel do agente de defesa civil da CODECIR In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 12, 2008, Porto de Galinhas, PE. Anais. Porto de Galinhas, PE, 2008. v. 1, 1-13.

BROLLO, M. J., NOGUEIRA, S. A. A., FERREIRA, C. J., FERREIRA, L. M. R. e PIRES NETO, A. G. Da carta geotécnica à gestão territorial: O diagnóstico do meio físico na porção média da Bacia do Rio Piracicaba, SP In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 2, 1996, São Carlos, SP. Anais. São Carlos, SP: ABGE, 1996. v. 1, 10p.

BROLLO, M. J., PRESSINOTTI, M. M. N., PENTEADO, D. R., RIBEIRO, R. R., GUEDES, A. C. M. e AMARAL, R. Análise dos condicionantes associados às áreas de risco presentes em Ilhabela (SP). In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 12, 2008, Porto de Galinhas, PE. Anais. Porto de Galinhas, PE, 2008. v. 1, 1-15.

BROLLO, M. J., TOMINAGA, L. K., PENTEADO, D. R., AMARAL, R., RIBEIRO, R. R. e GUEDES, A. C. M. Desastres naturais e riscos em São Luiz do Paraitinga (SP). In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 7, 2010, Maringá, PR. Anais. Maringá, PR, 2010. v. 1, 1-19.

BROWN. L. JR.; FISHER, W. L.; EXLEBEN, A. W.; MCGOWEN, J. H. 1971. Resource Capability Units. Their utility in land-and-water use management with examples form the Texas coastal zone. Geological Circular 71-1, The University of Texas at Austin Bureau of Economic Geology, USA, 22p.

BUENO, C. R. PAES. Zoneamento da susceptibilidade à erosão dos solos da alta e média Bacia do Rio Jacaré Pepira, SP, com vistas ao planejamento ambiental. 1994. Tese (Doutorado em Geociências) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

BURROUGH, P. A. 1986. *Principles of Geographic Information System for Land Resources Assessment*. Oxford, Oxford University Press.

BURROUGH, P. A. 1990. *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. Oxford: Oxford University. 194 p.

BURROUGH, P.A., MCDONNELL, R.A. 1998. *Principles of Geographical Information System*. Oxford, Oxford University Press.

BURTON, A. e BATHURST, J. C. (1998) Physically based modelling of shallow landslide sediment yield at a catchment scale. *Environ Geol* 35:89–99.

CALDERÓN, A.I. e SEGURA, D.S.B. Riscos sócio-ambientais: a complexidade do caso paulistano. *Debates sócio-ambientais*. CEDEC, São Paulo, n.4, p.3-5, 1996.

CÂMARA, G. 1993. *Anatomia de sistemas de informações geográficas: visão atual e perspectivas de evolução*. In: ASSAD, E., SANO, E., ed. *Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura*. Brasília, DF: Embrapa.

CÂMARA, G. 1996. Álgebra de Geo-campos e suas aplicações. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A. S.; MAGALHÃES, G. C.; MEDEIROS, C. M. B. 1996. *Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica*. Instituto de Computação, UNICAMP, 197p.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M.A.; HEMERLY, A.S.; MAGALHÃES, G.C.; MEDEIROS, C.M.B. *Anatomia de sistemas de informação geográfica*. São José dos Campos: INPE; Campinas: IBM Brasil/CPqD-Telebrás/Unicamp, 193 p., 1996.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO A. M. V. 2003. *Introdução à Ciência da Geoinformação*.

CAMPOS, J. C. V., SILVA JR., J. C. e BARROSO, E. V. Caracterização hidrogeológica e geotécnica da bacia do rio Cabuçu, zona oeste do município do Rio de Janeiro In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 9, 1999, São Pedro, SP. Anais. São Pedro, SP, 1999. v. 1, 15p.

CAMPOS, M. I. B., PARIZZI, M. G. e ARANHA, P. R. A. Avaliação geoambiental do alto da cabeceira do rio Arrudas – região Barreiro – Belo Horizonte (MG). In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 4, Brasília, DF. Anais. Brasília, DF, 2001. v. 1, 11p.

CAMPOS, L. C. e SOUZA, L. A. Zoneamento de uso e ocupação do conjunto Taquaril baseado em análise geotécnica. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 11, 2005, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis, SC, 2005. v. 1, 12p.

CAMPOS, L. C., VIANA, C. S. e PEREIRA, C. V. L. Redução do risco geológico na regional Barreiro – Belo Horizonte. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 12, 2008, Porto de Galinhas, PE. Anais. Porto de Galinhas, PE, 2008. v. 1, 1-9.

CÁRDENAS, F P.A. (1999). Zoneamento Geoambiental de uma parte da Bacia do Rio Nechí, Colômbia, por meio de Técnicas de Geoprocessamento. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geologia/UnB, Brasília. 137 p.

CARDONA, O.D. Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo: elementos para el ordenamiento y la planeación del desarrollo. In: MASKREY, A. (Org.) *Los desastres no son naturales*. Bogotá: La Red, 1993. Disponível em: <<http://www.lared.org.pe/publicaciones/libros/2042/cap3.htm>>. Acesso 20 abr. 2015.

- CARDONA, O.D. El manejo de riesgos y los preparativos para desastres: compromiso institucional para mejorar la calidad de vida. In: MASKREY, A. (Ed.) *Desastres: modelo para armar*. Colección de piezas de un rompecabezas social. 1996, cap. 9.
- CARNEIRO, C. DAL RÉ, TOLEDO, M. C. M, ALMEIDA, F. F. M, 2004. Dez Motivos Para a Inclusão de Temas de Geologia na Educação Básica. *Revista Brasileira de Geociências*, Volume 34 (4), p. 553-560.
- CARRARA, A., CARDINALI, M., AND GUZZETTI, F. Uncertainty in assessing landslide hazard and risk, *ITC Journal*, 1992–2, 172–183, 1992.
- CARRIÇO, J.M. *Legislação urbanística e segregação espacial nos municípios centrais da Região Metropolitana da Baixada Santista*. 2002. 234f. + anexos. (Mestrado em Estruturas Ambientais Urbanas) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- CARVALHO, C. S. e HACHICH, W. Gerenciamento de Riscos Geotécnicos em Encostas Urbanas. *Solos e Rochas*, São Paulo, SP, 1997. 20, 3, 179-187.
- CARVALHO, E.T. Carta Geotécnica de Ouro Preto. Dissertação (Mestrado) – Universidade Nova Lisboa, Lisboa. 1982.
- CARVALHO JUNIOR, O. A.; BORGES, M. E. S.; VASCONCELOS, V.; GOMES, M. P. Compartimentação Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Buriti Vermelho, Distrito Federal, DF. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento - CPAC, Planaltina, DF*, v. 244, p. 23, abril 2009. Carvalho, E.T., 1982. Carta Geotécnica de Ouro Preto: Universidade Nova de Lisboa, Dissertação de Mestrado, 95p.
- CASTRO, J.M.G. Pluviosidade e Escorregamentos em Ouro Preto. Dissertação de Mestrado. 2006. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- CASTRO JUNIOR, R. M. Zoneamento e Diagnóstico Geoambiental da Bacia do Rio Castelo usando Geoprocessamento. Rodolfo Moreira de Castro Junior. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia. Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais. Ouro Preto. 2008. 264p.

- CASSETI, V. Ambiente e apropriação do relevo. São Paulo: Contexto, 1991.
- CASSETI, V. Abordagem sobre os estudos do relevo e suas perspectivas (Notas Preliminares). Anais do I Simpósio Nacional de Geomorfologia. Rev. Sociedade e Natureza, Uberlândia, ano 3, n. 15, p. 37-43, jan/dez, 1996.
- CENDRERO, A. 1975. Environmental geology of the Santander Bay area. Northern Spain. Environmental Geology, Springer Verlag, New York, vol 1, pp. 97-114.
- CENDRERO, A. 1980. Geología ambiental: bases doctrinales y metodológicas, I Reunión Nac. Geol. Amb. y Ord. Territorio. Santander. vol. Ponencias: pp. 1-62.
- CENDRERO A. 1982. Técnicas y instrumentos de análisis para la evaluación, planificación y gestión Del meio ambiente. Fascículos sobre meio ambiente, Serie Opiniones, n. 6, CIFCA, Madrid, 76p.
- CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, EMBRAPA, 2006. 306p.
- CEPAL (Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe). Manual para la Evaluación del impacto Socioeconómico y Ambiental de los Desastres. 2003.
- CERRI, L.E.S. 1990. Carta Geotécnica: contribuições para uma concepção voltada as necessidades brasileiras. In: ABGE Cong. Bras. Geologia de Engenharia, 6, Salvador, Anais p.309-317.
- CERRI, L.E.S. *Riscos geológicos associados a escorregamentos*: uma proposta para a prevenção de acidentes. 1993. 197f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- CERRI, L. E. S., SILVA, V. C. R. e AUGUSTO FILHO, O. Considerações sobre a representação cartográfica de riscos geológicos. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 1, 1995, São Paulo, SP. São Paulo, SP: Secretaria do Meio Ambiente - Instituto Geológico SP, 1995. Volume Especial, 45-49.
- CERRI, L.E.S.; AKIOSSI, A.; AUGUSTO FILHO, O. e ZAINÉ, J.E. Cartas e mapas geotécnicos de áreas urbanas: reflexões sobre as escalas de trabalho e proposta de

elaboração com o emprego do método de detalhamento progressivo. *In: ABGE Cong. Bras. Geologia de Engenharia*, 8, Rio de Janeiro, 1996. *Anais*, v.2, p.537-548.

CERRI L.E.S. e AMARAL, C. P. 1998. Riscos geológicos. *In: A. M. S. Oliveira e S. N. A. Brito (eds). Geologia de Engenharia*, ABGE, p.301-310.

CERRI, L. E. S., ZAINÉ, J. E., SILVA, V. C. R., SILVA, L. C. R., NÉRI, A. C. e BARBOSA, T. T. A. Mapeamento de risco em áreas de ocupação precária nas zonas norte, leste e oeste do município de São Paulo (SP). *In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental*, 5, São Carlos, SP. *Anais*. São Carlos, SP: SUPREMA, 2004. v. 1, 8p.

CETEC. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. Diagnóstico ambiental do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte. 1v. (série de publicações técnicas, 10). 1983.

CHORLEY, R. J. e KENNEDY, B. A. 1971. *Physical Geography – a systems approach*. Londres: Prentice-Hall Internacional. 370 p.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. 2ed. São Paulo. Ed Edgard Blucher Ltda. 1974.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 2ª ed. 188p. 1980.

CHUNG, C. F., AND A. G. FABBRI. 1999. Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping. *Photogrammetric Engineering e Remote Sensing* 65:1389–1399.

COLLARES, E. G., DIAS, V. S., PEREIRA, L. A. e CASTRO, A. D. Caracterização geológico-geotécnica da área de expansão urbana de Passos-MG *In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*, 9, 1999, São Pedro, SP. *Anais*. São Pedro, SP, 1999. v. 1, 15p.

COLLARES, E. G. 2000. Avaliação de Alterações em Redes de Drenagem de Micro Bacias como Subsídio ao Zoneamento Geoambiental de Bacias Hidrográficas: Aplicação na Bacia Hidrográfica do Rio Capivarí - SP. Escola de Engenharia de São Carlos/USP, Doutorado, 194p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Variáveis de qualidade das águas. São Paulo, SP, 2009.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº 303, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente.

COOKE, R.U. AND DOORNKAMP, J.C. 1990. *Geomorphology in Environmental Management*. 2nd Edition, Oxford University, Clarendon Press, Oxford. 410p.

CORTELETTI, R.C. e SOBREIRA, F. G. Determinação de riscos associados às causas de acidentes em dutos de transporte de gás natural. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 7, 2010, Maringá, PR. Anais. Maringá, PR, 2010. v. 1, 1-13.

COUTO JUNIOR, A. F; SOUZA, V. V; CARVALHO JUNIOR, O. A; MARTINS, E. S; SANTANA, O. A; FRETAS, L. F; GOMES, R. A. T. Integração de Parâmetros Morfométricos e Imagem aster para a Delimitação das Fitofisionomias da Serra da Canastra, Parque Nacional da Serra da Canastra, MG. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. v. 11, n. 1, 2010.

COUTINHO, R. Q., OLIVEIRA, J. T. R. e OLIVEIRA, A. T. J. Características Geotécnicas das Argilas Moles de Recife. *Solos e Rochas*, São Paulo, SP, 2000. 23, 3, 177-203.

CPRM, 1993. Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Mariana – Folha SF.23-XB-1. Estado de Minas Gerais. Escala 1:100.000. Org. por Orisvaldo Ferreira Baltazar e Frederico Ozanam Raposo. Brasília, DNPM/CPRM. 196 p.

CROZIER, M. J. Landslide hazard assessment, theme report. In Bell (Ed.), *Landslides, Proceedings of the 6th International Symposium on Landslides*, Balkema, Rotterdam, 1843–1848, 1995.

CUNHA, M.A. (ed.) *Ocupação de Encostas*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, SP, 1991. 216 p.

CUNHA, M. A., BOUERI, J. J. e ANGELIERI, J. B. Plano diretor físico ambiental como um instrumento de planejamento par cidades de pequeno porte: O caso de Potim-SP In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 11, 2005, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis, SC, 2005. v. 1, 11p.

DAI, F. C., C. F. LEE, J. LI, AND Z. W. XU. 2001. Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environmental Geology* 40:381–391.

DAI, F. C., and C. F. Lee. 2002. Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology* 42:213–228.

DAHAL, R.K., S. HASEGAWA, S. NONOMURA, M. YAMANAKA AND T. MASUDA (2008) “GIS-based weights-of-evidence modelling of rainfall-induced landslides in small catchments for landslide susceptibility mapping”. *Environ. Geol.*, 54(2), 314-324.

DANTAS, M. E. Geomorfologia. In: CPRM; EMBRAPA; SCO-MI Zoneamento ecológico-econômico da região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal: fase I. Rio de Janeiro: [s.n.], v. 2, 2003. p. 1-29.

DANTAS, M.E. Biblioteca de relevo do território brasileiro. Geodiversidade do Estado de Minas Gerais, M.F. Machado e S.F. Silva, CPRM, Belo Horizonte, MG, Apêndice II. 2010. 136 p.

DAS, I., S. SAHOO, C. VAN WESTEN, A. STEIN AND R. HACK. 2010. “Landslide susceptibility assessment using logistic regression and its comparison with a rock mass classification system, along a road section in the northern Himalayas (India)”. *Geomorphology* 114,627– 637.

DEMEK, J. Handbuch der Geomorphologischen Detailkartierung. Ferdinand Hirt: Viena, 1976.

DENARDIN, J. E. Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos. 1990. 81 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

DERBY, O. A. 1906. The Serra do Espinhaço, Brasil. *J. Geol. Chicago*, 14(5): 374-401, July/aug.

DIAS, R. D., BASTOS, C. A. B., PINHEIRO, R. J. B. e SARAIVA, R. M. Mapeamento geotécnico da região metropolitana de Porto Alegre In: Simpósio Brasileiro de

Cartografia Geotécnica, 2, 1996, São Carlos, SP. Anais. São Carlos, SP: ABGE, 1996. v. 1, 8p.

DIAZ DE TÉRAN, J. R. 1988. Tipos y metodologias de cartografias ambientales. Serie Engenharia Ambiental, Inst. Tecn. Geominero de España, Madrid, pp. 239-257.

DINIZ, N. C. e FREITAS, C. G. L. Mapa dos condicionantes físico-ambientais da Bacia do Rio Paraíba do Sul In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 2, 1996, São Carlos, SP. Anais. São Carlos, SP: ABGE, 1996. v. 1, 9p.

DINIZ, N. C., 1998. Automação da cartografia geotécnica: uma ferramenta de estudos e projetos para avaliação ambiental. Tese de Doutorado. Departamento de Transportes. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2v.

DINIZ, N. C., BITAR, O. Y., FROTA, C. A., BENTO, A. H., FILHO, E. G. S. e SOUZA, M. M. Carta geotécnica de Manaus como resultado de parceria institucional. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 4, Brasília, DF. Anais. Brasília,DF, 2001. v. 1, 17p.

DINIZ, N. C., SOUZA, N. M. e CORONADO, J. Mapeamento geoambiental e aplicação de geoindicadores: Fundamentos para um sistema de dados georreferenciados brasileiro. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 11, 2005, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis, SC, 2005. v. 1, 15p.

DORR, J. V. N. II; GAIR, J. E.; POMERENE, J. B.; RYNEARSON, G. A. 1957. Revisão da estratigrafia pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero: Brasil, DNPM-DFPM, Avulso, 81, 31p.

DORR, J. V. N. II. 1969. Physiographic, Stratigraphic and Structural Development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. U. S. Geol. Professional Paper. 641-A. 110p.

DOUROJEANNI, A. 1994. "Políticas publicas para el desarrollo sustentable: La gestion integrada de cuencas".

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa: Produção de Informação, 1999. 412p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2006. Embrapa Solos. Disponível em: <http://www.agrolink.com.br/downloads/sistema-brasileiro-de-classificacao-dos-solos2006.pdf>. Acessado em: 10/01/2015.

ERMINI, L.; CATANI, F.; CASAGLI, N. Artificial neural networks applied to landslide susceptibility assessment. *Geomorphology*, v. 66, p. 327-343, 2005.

ESPÍNDOLA, M. S., HIGASHI, R. R., OLIVEIRA, O. M., HEIDEMANN, M. e GODOI, C. S. Uma abordagem sobre o uso e a ocupação dos solos do município de Jaguaruna, SC através do mapeamento geotécnico. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 7, 2010, Maringá, PR. Anais. Maringá, PR, 2010. v. 1, 1-16.

FAO - Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação. 1967. La erosión del suelo por el agua. Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. *Cuadernos de fomento agropecuario da Org. de Las Naciones Unidas-FAO*, Roma, n. 81, 207 p.

FARIA, D. G. M. e AUGUSTO FILHO, O. Mapeamento de perigo associado a escorregamentos em encostas urbanas utilizando o processo de análise hierárquica (AHP): Prevenção de Riscos e Desastres In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 7, 2010, Maringá, PR. Anais. São Paulo, SP, 2010. v.1, 1-21.

FARIA, N. O., BARBASSA, A. P., SILVEIRA, A. Monitoramento, Modelagem e Simulação de Cenários para a Bacia do Córrego Barbado - Cuiabá/MT. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH*. V. 19, nº1, p. 165-176. 2014.

FARRAIA, C. I. L. 1989. Subsídios para o ordenamento do Conselho de Vila do Bispo. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.

FERES, R. e LORANDI, R. Uso da cartografia geotécnica no planejamento de micro-bacias urbanas em Rio Branco-AC In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 3, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis, SC, 1998. v. 1, 14p.

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

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A.; VIEIRA, B. C., MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG; H. (2001). Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicação de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis. Revista Brasileira de Geomorfologia, Volume 2, nº 1 pp51-71.

FERNANDES, G. Caracterização e classificação geomecânica da encosta do Morro do Curral - Centro de Artes e Convenções de Ouro Preto. In: X congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2002, Ouro Preto. X Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, v. CD ROM. 2002a.

FERNANDES, G. Caracterização geotécnica e modelação geomecânica do maciço rochoso da encosta do Morro do Curral - Ouro Preto/MG. In: XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2002, São Paulo. Anais do XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. São Paulo: Associação brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, v. 2, p. 1205-1215. 2002b.

FERNANDES, G. Modelação geomecânica e propostas de estabilização da encosta do Morro do Curral - Ouro Preto, Brasil. Revista Geotecnia, Lisboa, v. 97, p. 47-62. 2003.

FERNANDES DA SILVA, P.C.; FERREIRA, C.J.; FERNANDES, A.J.; BROLLO, M.J.; VEDOVELLO, R.; TOMINAGA, L.K.; IRITANI, M.A.; CRIPPS, J.C. 2005. Avaliação da suscetibilidade de terrenos à instabilidade geotécnica e poluição de águas subterrâneas com aplicação da técnica de compartimentação fisiográfica: estudo de caso na região metropolitana de Campinas (SP). In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 11, Florianópolis. Anais. ABGE, São Paulo, 2005. p. 383-402.

FERNANDES, A. F. e ALVES, R. A. Aplicação de produtos de sensoriamento remoto no estudo da evolução do uso e ocupação da terra na microbacia de córrego dos Chaves-

Morrinhos-GO 1965 a 2005 In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 6, 2007, Uberlândia, MG. Anais. Uberlândia, MG, 2007. v. 1, 13p.

FERNANDES, B. J. e ROCHA, G. C. Preparação de mapas de percepção de riscos ambientais: Uma proposta metodológica para a educação nas escolas In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 6, Uberlândia, MG. Anais. Uberlândia, MG, 2007. v. 1, 12p.

FERNANDES E.F. Levantamento de Solos do Município de Mariana. Viçosa-MG. 2011. 157p.

FERREIRA, I. L., SOUZA L. H. F., SÍLVIO C. R. 2007. Estudos Geomorfológicos em Áreas Amostrais da Bacia do Rio Araguari – MG: Destaque para a Importância da Cartografia Geomorfológica. Espaço e Geografia, Vol.10, Nº 1 (2007), 143:171.

FISCHER, D.; GUIMARÃES, L. B. M. Percepção de risco e perigo: um estudo qualitativo. In: Congresso Brasileiro de Ergonomia da ABERGO 12. 2002, Recife. Anais. Pernambuco: ABERGO, 2002.

FLORENZANO, T. G (Org). Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008, 318p.

FONTES, M. M. M. Contribuição para o desenvolvimento da metodologia de análise, gestão e controle de riscos geotécnicos par a área urbana da cidade de Ouro Preto. Dissertação de Mestrado. Escola de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto. 135p. 2011.

FONSECA, M.A.; SOBREIRA, F.G. O escorregamento do Bairro Piedade, Ouro Preto, Minas Gerais. Processos de instabilidade em antigas áreas de mineração. In: 2nd Pan American Symposiun on Landslide, 1997, Rio de Janeiro. Anais do II Simpósio Pan Americano sobre Escorregamentos. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, v. 1, p. 139-144. 1997.

FONSECA, M.A. Unbridled development of urban space and its implications for the preservation of landmarks. Cities, Great Britain, v. 18, n. 6, p. 381-389. 2001.

FONSECA, M.G.U.; PERES, F; FIRMO, J.O.A; UCHÔA, E. Percepção de risco: maneiras de pensar e agir no manejo de agrotóxicos. *Revista Ciência e Saúde Coletiva*, v.12, n.1, p. 39-50. Rio de Janeiro, 2007.

FORNASARI FILHO, N. (coord.) et al. Alterações do meio físico decorrentes de obras de engenharia. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1992. (Publicação IPT; n.1.972).

FRAGAL, E. H. e MONTANHER, O. C. Mapeamento do uso e ocupação do solo da bacia ribeirão Diamante do Norte nos anos de 1985 e 2009, Diamante do Norte - PR In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 7, 2010, Maringá, PR. Anais. Maringá, PR, 2010. v. 1, 1-10.

FRANÇA, G. V. Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicadas a solos da região de Piracicaba. Piracicaba. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo. 151p. 1968.

FRANCÉS, E.; DÍAZ DE TERÁN, J.R.; CENDRERO, A. 1990A. La aplicación de la cartografía geoambiental al diagnóstico de unidades territoriales; establecimiento de directrices de ordenación. In: Livro de homenagem a Carlos Romariz, Ed. C.A. Matos Alves. Univ. de Lisboa: 377-402.

FRANCÉS, E.; CENDRERO, A.; DÍAZ DE TERÁN, J.R.; LEONARDO, J.; SAIZ, L. 1990B. Criterios geomabientales aplicados al plan de ordenación urbana del municipio de Suances (Cantabria). IV Reunión Nac. Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, Vol. Comunicaciones. GEGAOT, Gijón: 195-202.

FRANCO G.B.; CALIJURI, M.L.; MACHADO, K.J.; GOMES, R.L.; SCHIAVETTI, A. Delimitação de Áreas de Proteção Permanente e identificação de conflito com uso do solo urbano em Ilhéus – BA. *Caminhos de Geografia*, v. 12, n. 37, p. 31-43, 2011.

FREIRE, J. T. 2011. A Gestão Local de Riscos as Vulnerabilidades no Município Petrolífero de Madre de Deus – BA. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, 175f.

FREITAS R.O. *Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica*. São Paulo, Boletim Paulista de Geografia. 11:53-57. 1952.

FREITAS, C. G. L. 2000. Cartografia geotécnica de planejamento e gestão territorial: proposta teórica e metodológica Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia. São Paulo, Universidade de São Paulo, 230 p.

FREITAS, C. G. L. e CAMPANHA, V. A. Carta geotécnica e ambiental aplicada em planos diretores municipais. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 6, 2007, Uberlândia, MG. Anais. Uberlândia, MG, 2007. v. 1, 9p.

FRINHANI, E. M. D., e CARVALHO, F. Monitoramento da qualidade das águas do Rio do Tigre, Joaçaba, SC. Unoesc e Ciência – ACET, Joaçaba, v. 1, n. 1, p. 49-58, jan./jun. 2010.

FUJIHARA, A.K. Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de geoprocessamento. 118p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 2002.

FUJIMOTO, N. S. V. M., HOLL, M. C., VEDOVELLO, R., SILVA, P. C. F. e MAFFRA, C. Q.T. A identificação de setores de risco a movimentos de massa no município de São Sebastião-SP. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 2, 1996, São Carlos, SP. Anais. São Carlos, SP: ABGE, 1996. v. 1, 9p.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS; UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS. Levantamento de Solos e Aptidão Agrícola das Terras da Bacia do Rio Grande, Minas Gerais. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010.

GARCIA, J. M. P. e RODRIGUES, A. F. Interpretação geotécnica de unidades geomorfológicas como contribuição ao zoneamento geotécnico. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 10, 2002, Ouro Preto, MG. Anais. Ouro Preto, MG, 2002. v. 1, 9p.

GARCIA, P. B., SOBREIRA, F. G. e MOURA, A. C. M. Meio físico e ocupação urbana em Timóteo/MG In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 7, 2010, Maringá, PR. Anais. Maringá, PR, 2010. v. 1, 1-11.

GASS, S. L. B., SCHENKEL, V. e MONTARDO, D. K. Mapeamento ambiental da área urbana de IJUÍ, RS, Brasil, para a construção de um instrumento de gestão físico-

territorial. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 7, 2010, Maringá, PR. Anais. Maringá, PR, 2010. v. 1, 1-7.

GENOVEZ, A. M.; ZUFFO, A. C. Chuvas Intensas no Estado de São Paulo: Estudo Existente e Análise Comparativa. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. ABRH. V. 5, nº. 3, pg. 45-58. Porto Alegre/RS. 2000.

GIDDENS, A. 1999. Risk and Responsibility Modern Law Review. 62 (1), pp 1 – 10.

GODFREY, A. E. 1977. A physiographic approach to land use planning. En: Environmental Geology, vol. 2, núm. 1, pp. 45-50.

GOKCEOGLU C, AKSOY H. (1996) Landslide susceptibility mapping of the slopes in the residual soils of the Mengen region (Turkey) by deterministic stability analyses and image processing techniques. Eng Geol 44:147–161.

GOMES, R.C. Condicionantes geotécnicos do espaço urbano da cidade de Ouro Preto/MG. In: XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 1998, Brasília. Anais da XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Brasília: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, v. IV, p. 363-370. 1998.

GOMES G.J.C. 2005. *Análise temporal e espacial do risco de escorregamento em Ouro Preto - MG utilizando um Sistema de Informação Geográfica*. Trabalho de Graduação, Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 45 p.

GOMES, G. J. C., SOBREIRA, F. G. e CASTRO, J. M. G. Uso de técnicas de geoprocessamento no zoneamento de áreas de risco de escorregamento em Ouro Preto - MG In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, CD ROM, 2007, Florianópolis, SC. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis: INPE, 2007.

GONÇALVES, J. A. e BROLLO, M. J. Mapeamento geotécnico em favelas do município de São Paulo: Setorização do risco e consolidação do terreno. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 7, 1993, Poços de Caldas, MG. Anais. São Paulo, 1993. v. 2, 93-100.

GONÇALVES, C. S. Qualidade da água numa microbacia hidrográfica de cabeceira situada em região produtora de fumo. *Rev. bras. eng. agríc. Ambient.*, v. 9, n. 3, p. 391-399, 2005.

GONZAGA, M. L., CARVALHO, A. G. B. M., LOLLO, J. A. e MATSUMOTO, T. Uso e ocupação do solo e qualidade da água de mananciais superficiais: córrego sem nome, Ilha Solteira (SP). In: *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental*, 7, 2010, Maringá, PR. *Anais. Maringá, PR*, 2010. v. 1, 1-15.

GRECCHI, R. C. e PEJON, O. J. Estudos geoambientais da região de Piracicaba (SP), com o auxílio de imagem de satélite e de sistema de informação geográfica. In: *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica*, 3, Florianópolis, SC. *Anais. Florianópolis, SC*, 1998. v. 1, 26p.

GRAMANI, M. F., KANJI, M. A. Inventário e Análise das Corridas de Detritos no Brasil (in Portuguese). 3º. Congr. Bras. Estab. Encostas (COBRAE), ABMS, Rio de Janeiro, 2001. 53-60.

GRANT, K. 1974. The Puce programme for terrain calculation for Engineering Purpose – part2 procedure for terrain classification – tech paper nº 19, CSIRO Div. App. Geomechanics.

GREENBERG, A. E., CLESCERI, L. S., EATON, A. D., eds. *Standart, methods for the examinations of water and wastewater*. 18 ed. Washington: APHA, AWWA, WEF, 1992, p. 5, 1 – 5, 15.

GUILAM, M. C. R. O. Conceito de risco: sua utilização pela Epidemiologia, Engenharia e Ciências Sociais. 1996. Dissertação (Mestrado) - Escola Nacional de Saúde Pública – ENSP/FIOCRUZ), Rio de Janeiro, 1996.

GUIMARÃES, D. 1931. *Contribuição à Geologia do Estado de Minas Gerais*. Rio de Janeiro, SGMB. 36P. Boletim 55.

GUIMARÃES, P. R. B. *Métodos Quantitativos Estatísticos*. Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2008. 245 p.

GUSMÃO FILHO, J. A., ALHEIROS, M. M., GUSMÃO, A. D. e BANDEIRA, A. P. Mapeamento de riscos e intervenções de engenharia nos municípios de Camaragibe e

Olinda, Pernambuco In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 12, 2008, Porto de Galinhas, PE. Anais. Porto de Galinhas, PE, 2008. v. 1, 1-10.

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

HANSEN, A. Landslide hazard analysis. In Brunsden, D. and Prior, D. B. (Eds.), *Slope Instability*, John Wiley and Sons, Chichester, 523–602, 1984.

HERMUCHE, P. M.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO, A. P. F.; MARTINS, É. S.; DRUCK, S.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; SANTOS, N. B. F.; REATTO, A. Morfometria como suporte para elaboração de mapas pedológicos: Bacias Hidrográficas Assimétricas. Documentos Embrapa - CPAC, Planaltina, v. 68, p. 23, 2002.

HERMUCHE, P. M.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO, A. P. F. DE; MARTTINS, E. DE S.; FUKS, S. D. E CARVALHO JUNIOR, O. A. (2003). Processamento digital de imagens morfométricas para subsidiar o mapeamento pedológico. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11, 2003, Belo Horizonte. Anais. São José dos campos: INPE, p.: 123 – 130.

HERNANI, I. C.; SALTON, J. C.; FABRÍCIO, A. C.; DEDECEK, R.; ALVES JÚNIOR, M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 21, n. 4, p. 667-676, 1997.

HIGASHI, R. R. Caracterização de unidades geoambientais de São Francisco do Sul através de sistemas de informações geográficas. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5, São Carlos, SP. Anais. São Carlos, SP: SUPREMA, 2004. v. 1, 8p.

HOLL, M. C., VEDOVELLO, R. e SILVA, A. P. O uso e ocupação da terra nas avaliações de risco devido a movimentos de massa: exemplo de aplicação para a região do litoral norte do estado de São Paulo In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 4, Brasília, DF. Anais. Brasília, DF, 2001. v. 1, 12p.

- HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America* 56, 2 75-370. 1945.
- HOTT, M. C.; GUIMARÃES, M.; MIRANDA, E. E. Método para a Determinação Automática de Áreas de Preservação Permanente em Topos de Morros para o Estado de São Paulo, com base em geoprocessamento. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélites, 2004. 32 p.: il. (Embrapa Monitoramento por Satélites. Documentos, 34).
- HUTCHINSON, J. N.: Landslide hazard assessment, keynote paper. In Bell (Ed.), *Landslides, Proceedings of the 6th International Symposium on Landslides*, Balkema, Rotterdam, 1805–1841, 1995.
- IAEG. 1976. *Engineering geological maps: a guide to their preparation*. Paris: Unesco Press. 79 p.
- IBGE – Fundação IBGE. Manual técnico de geomorfologia. Coordenadores: Nunes, B. de A; Ribeiro, M.I. de C.; Almeida, V.J. de; Natali Filho, T. Série Manuais Técnicos em Geomorfologia n. 5. Fundação IBGE, R. de Janeiro, 1995, 112 p.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Resultados do censo 2010.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Resultados preliminares do censo 2014. Disponível em :< <http://www.ibge.gov.br> >. Acesso em março de 2015.
- IEP. Manual de drenagem superficial em vias de comunicação. Lisboa: Instituto de Estradas de Portugal. 2001.
- IGA. Desenvolvimento ambiental de Ouro Preto: Microbacia do Ribeirão do Funil. Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente de Minas Gerais / CETEC, 1995a.
- IGA. Percepção da qualidade ambiental em Ouro Preto. Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente de Minas Gerais / CETEC, 1995b.
- IMPERATO, P; MITCHELL, J. Acceptable Risks. 1985. In: GUILAM, M. C. R. O. Conceito de risco: sua utilização pela Epidemiologia, Engenharia e Ciências Sociais.

1996. Dissertação (Mestrado) - Escola Nacional de Saúde Pública – ENSP/FIOCRUZ), Rio de Janeiro, 1996.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1991. Ocupação de Encostas. São Paulo, 216 pp.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo 2011. Banco de Dados de Mortes por Escorregamento. São Paulo.

IPT/CPRM. 2013. Cartas Municipais de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundação – 1:25.000. Nota Explicativa.

IRIGARAY, C., CHACON, J., AND FERNANDEZ, T. Methodology for the analysis of landslide determinant factors by means of a GIS: Application to the Colmenar area (Malaga, Spain). In Chacon, J., Irigaray, C., and Fernandez, T. (Eds.), *Landslides*, Balkema, Rotterdam, 163–172, 1996.

IUGS-WGL - WORKING GROUP ON LANDSLIDES, COMMITTEE ON RISK ASSESSMENT. Quantitative risk assessment for slopes and landslides - the state of the art. In: CRUDEN, D.; FELL, R. (Ed.) *Landslide risk assessment*. Rotterdam: Balkema, 1997. p. 3-12.

JACINTHO, L.R.C. Geoprocessamento e Sensoriamento remoto como ferramentas na gestão ambiental de Unidades de Conservação: o caso da Área de Proteção Ambiental (APA) do Capivari-Monos, São Paulo-SP. 121p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2003.

JACKSON LE, KOSTASCHUK RA, MACDONALD GM. 1987. Identification of debris flow hazard on alluvial fans in the Canadian Rocky Mountains. In: Costa JE, Wieczorek GF (eds) *Debris flows/avalanches: process, recognition, and mitigation*. Rev Eng Geol vol. VII. Geol Soc Am.

JACOBI, P. R. Meio ambiente urbano e sustentabilidade: alguns elementos para a reflexão. In: CAVALCANTI, C. (Org.) *Meio ambiente, desenvolvimento sustentável e políticas públicas*. São Paulo: Cortez / Recife: Fundação Joaquim Nabuco, 1997.

JTC-1 - Technical Committee on Landslide and Engineered slopes (2008) Guideline for susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning <http://www.geoforum.com/itc1> 51 p.

KANJI, M. A., CRUZ, P. T., MASSAD, F., ARAÚJO FILHO, H. A. 1997. Basic and Common Characteristics of Debris Flows. 2nd Panamer. Symp. Landslides and 2o Congr. Bras. Estab. Encostas, ABMS/ABGE, R. Janeiro, 1:223-231.

KANJI, M. A., GRAMANI, M. F., MASSAD, F., CRUZ, P. T., ARAÚJO FILHO, H. A. 2000. Main Factors Intervening in the Risk Assessment of Debris Flows. Int. Workshop on the Debris Flow Disaster of Dec. 1999 in Venezuela, Caracas, 10p. (CDROM).

KANJI, M. A., CRUZ, P. T., MASSAD, F., ARAÚJO FILHO, H. A. 2001. Environmental Effects of Debris Flows and their Protection Measures. Int. Conf. Soil Mech. Geotech. Eng., Istanbul, Balkema, 3:1913-1916.

KUHNEN, A. Meio Ambiente e Vulnerabilidade. A percepção ambiental e de risco e o comportamento humano. Revista de Geografia, Londrina, v.16, n.2, 2009.

LANNA, A. E. e CÁNEPA, E. M. "O gerenciamento de bacias hidrográficas e o desenvolvimento sustentável: uma abordagem integrada". In Ensaio FEE, Porto Alegre, (15)1: 269-282, 1994.

LANNA, A. E. Gerenciamento de bacia hidrográfica: aspectos conceituais e metodológicos. Brasília, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Coleção meio ambiente), 171 p. 1995.

LARA, A. A., MARQUES, E. A. G., OLIVEIRA, L. S., GONZAGA, G. G. e AMARAL, C. P. Mapeamento de risco de acidentes associados a escorregamentos na Favela do Morro da Mangueira, Rio de Janeiro, Brasil: I Encontro Regional de Geotécnica e Meio Ambiente In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 2, 1996, São Carlos, SP. Anais. São Carlos, SP: ABGE, 1996. Único, 41-49.

LAYRARGUES, P. P. Educação para a gestão ambiental: a cidadania no enfrentamento político dos conflitos socioambientais, 2000. Acessado em: 29 jan. 2010.

- LEE, S., AND K. MIN. 2001. Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. *Environmental Geology* 40:1095–1113.
- LENZI, C. L. (2006). Modernização ecológica e a política ambiental catarinense. *Revista de Ciências Humanas, Florianópolis, EDUFSC*, n°39, p. 117-134.
- LEPSCH, I. F. 2002. *Formação e Conservação de Solos*. São Paulo: Oficina de Textos.
- LEROI, E.: Landslide hazard – risk maps at different scales: objectives, tools and developments. In Senneset (Ed.) *Landslides, Proceedings of the 7th International Symposium on Landslides*, Balkema, Rotterdam, 35–51, 1996.
- LIAZI, A. *Manual de Cálculo das Vazões Máximas, Médias e Mínimas nas Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo*. 1994.
- LIMA, I. P. e GOMES, R. L. Características de uso e ocupação do solo em áreas consideradas de risco a escorregamentos no sítio urbano de Ilhéus-BA In: *Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental*, 12, 2008, Porto de Galinhas, PE. *Anais. Porto de Galinhas, PE*, 2008. v. 1, 1-11.
- LIMA, L. A. S.; MARTINS, E. S.; REATTO, A.; CASTRO, K. B.; VASCONCELOS, V.; CARVALHO JUNIOR, O. A. Compartimentação Geomorfológica e suas relações com os solos na Bacia do Alto rio Preto, GO. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento - CPAC, Planaltina, DF*, v. 255, p. 24, 2009.
- LIMA, R. S.; LIMA, J. P.; PONS, N. A. D. A utilização do Google Earth para obtenção de Mapas Viários Urbanos para SIG. *Mundo Geo*, 2009.
- LIMA, L. M. M. 2010. *Mapeamento da Suscetibilidade a Inundação na Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso, Porto Alegre – RS*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 175p.
- LIMA, I.F.; Amaral, C. & Vargas Jr, E. 2011. MEGADESASTRE 11 da Serra Fluminense: a corrida de massa do Vieira – dados preliminares para a definição do mecanismo de fluxo. In: *Simpósio de Geologia do Sudeste*, 12, Nova Friburgo, RJ.
- LIPORACI, S. R., CALIJURI, M. L. e ZUQUETTE, L. V. Mapeamento geotécnico e elaboração da carta de riscos geológicos como subsídios na prevenção de acidentes

naturais em zonas urbanas. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 8, 1996, Rio de Janeiro, RJ. Anais. Rio de Janeiro, RJ: ABGE, 1996. v. 2, 9p.

LIPORACI, S. R. e ZUQUETTE, L. V. Caracterização geológica, diagnóstico ambiental e carta de riscos do município de Poços de Caldas (MG). In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 9, 1999, São Pedro, SP. Anais. São Pedro, SP, 1999. v. 1, 16p.

LOBATO, L.M.; BALTAZAR, O.F.; REIS, L.B.; ACHTSCHIN, A.B.; BAARS, F.J.; TIMBÓ, M.A.; BERNI, G.V; MENDONÇA, B.R.V. DE; FERREIRA, D.V. 2005. Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa. Belo Horizonte: CODEMIG, 2005. 1 CD-ROM

LOLLO, J. A. E GANDOLFI, N. Mapeamento geotécnico da Folha de Leme (SP). In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 2, 1991, São Paulo, SP. Atas. São Paulo, SP: SBG, 1991, 367-373.

LOLLO, J. A. Caracterização geotécnica da área de expansão urbana de ilha solteira (SP) com o uso de formas de relevo In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis, SC, 1998. v. 1, 14p.

LOLLO, J. A. Carta de consistência e compacidade de solos para a área urbana de ilha solteira (SP). In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 9, 1999, São Pedro, SP. Anais. São Pedro, SP, 1999. v. 1, 16p.

LOMBARDI NETO, F. e BERTONI, J. 1975. Erodibilidade de solos paulistas. Campinas, Instituto Agrônômico. (B. Tee. 27), 12p.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. 1992. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. *Bragantia*, Campinas, 51(2): p.189-196.

LOPES, P. M. S. e PEJON, O. J. Estudos dos atributos do meio físico como base para o zoneamento geoambiental das bacias dos rios Passa Cinco e Rio da Cabeça – São Paulo In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia Ambiental, 10, 2002, Ouro Preto, MG. Anais. Ouro Preto, MG, 2002. v. 1, 15p.

LOPES, F.B.; TEIXEIRA, A.S.; ANDRADE, E.M.; AQUINO, D.N.; ARAÚJO, L.F.P. Mapa da qualidade das águas do rio Acaraú, pelo emprego do IQA e geoprocessamento. *Revista Ciência Agronômica*, v. 39, n. 3, p. 392-402, 2008.

LOPES, J. A. U. 2011. Avaliação e mapeamento da suscetibilidade dos terrenos a escorregamentos: bases para uma metodologia alternativa de trabalho. *13º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental*. 10p.

LORANDI, R., JUNQUEIRA, C. Á. R. e MORAES, M. E. B. Zoneamento geoambiental do município de Cordeirópolis In: *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental*, 7, 2010, Maringá, PR. Anais. Maringá, PR, 2010. v. 1, 1-15.

LOUZADA, F.L.R.O.; VIEIRA, M.V.M.; PELUZIO, T.M.O.; SAITO, N.S.; SOUZA, S.M.; SANTOS, A.R. Utilização de SIG na determinação de APPS em topo de morro na Microrregião de planejamento do Polo Linhares, ES. Anais. Encontro Latino Americano de Pós-Graduação, 9, 2009. São José dos Campos, 2009.

LUZI L, E FLORIANA, P. (1996). Application of statistical and GIS techniques to slope instability zonation (1:50,000 Fabriano geological map sheet). *Soil Dynam Earthquake Eng* 15:83–94.

LYNCH, K. (1960). *A Imagem da Cidade*. São Paulo: Martins Fontes, 1997.

MACEDO, E. S., OGURA, A. T., CARDOSO, J. C., PEDROTTI, N. e VIANA, D. V. Análise do zoneamento de risco a movimentos de massa em encostas ocupadas afetadas pela construção de depósitos subterrâneos de GLP, em São Sebastião-SP In: *Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*, 7, 1993, Poços de Caldas. Anais. São Paulo, SP: ABGE, 1993. 1, 185-190.

MACEDO, I. L., CAMPAGNOLI, F. e SOUZA, N. M. Aplicação da técnica de rotação radiométrica controlada por eixo de não-mudança para a verificação das alterações ocorridas no uso do solo de uma sub-bacia de contribuição do reservatório de Três Marias-MG In: *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental*, 6, 2007, Uberlândia, MG. Anais. Uberlândia, MG, 2007. v. 1, 9p.

MAGRO, S. O., CAZZOLI, S. V., SANTORO, J., PONTES FILHO, F. C. e ANTONIETTI, E. Cadastramento de risco a escorregamento e inundações dos núcleos

habitacionais do parque estadual da Serra do Mar no município de Cubatão In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 2, 1996, São Carlos, SP. Anais. São Carlos, SP: ABGE, 1996. v. 1, 8p.

MANCINI, F., C. CEPPI AND G. RITROVATO. (2010). "GIS and statistical analysis for landslide susceptibility mapping in the Daunia area, Italy". *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 1851- 1864.

MANDY LG, ANDREW MW, RICHARD A, STEPHAN GC. (2001). Assessing landslide potential using GIS, soil wetness modeling and topographic attributes, Payette River, Idaho. *Geomorphology*. 37:149–165.

MARCOMIN F. E. Análise ambiental da bacia hidrográfica do Rio Pinheiros (municípios de Orleans e São Ludgero, SC) com base na caracterização e diagnóstico dos elementos da paisagem e da perda de solo por erosão laminar. 2002. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais - Universidade Federal de São Carlos.

MARQUES, J.J.G. de S. e M. 1996. Estimativas e comparações dos fatores erosividade das chuvas e erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil. 119p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

MARQUES, J. J. G. S. M.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; SÁ, M. A. C. DE. 1997. Adequação de métodos indiretos para estimativa da erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 21, n. 3, p. 447-456.

MARSH, W. *Environmental analysis for land use and site planning*. New York: McGraw-Hill, 1978.

MARTINS, E. S; BAPTISTA, G. M. M. Compartimentação Geomorfológica e sistemas morfodinâmicos do Distrito Federal. In: IEMA; SEMATEC; UNB Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal. Brasília: IEMA; SEMATEC; UnB, v. 1, p. 89-137. 1998.

MARTINS, E. S.; REATTO, A.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F. Unidades de Paisagem do Distrito Federal, escala 1:100.000. Documentos. Embrapa Cerrados. [S.l.], p. 22. 2004c.

- MARTINS, A. H. C., NISHIYAMA, L. e REZENDE, M. E. B. Mapeamento geotécnico realizado no setor norte do perímetro urbano de Goiânia-GO In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 6, 2007, Uberlândia, MG. Anais. Uberlândia, MG, 2007. v. 1, 6p.
- MASSAD, F., KANJI, M. A., CRUZ, P. T., UEHARA, K., ISHITANI, H. 1998. Debris Flows em Cubatão, S. Paulo: Obras de Controle e Impactos Ambientais, 11o. Congr. Brasil. Mecân. Solos Eng. Geotécnica, ABMS, Brasília, 3:1265-1272.
- MASSAD, F., CRUZ, P. T., KANJI, M. A., ARAUJO FILHO, H. A. 2000. Characteristics and Volume of Sediment Transported in Debris Flows in Serra do Mar, Cubatão, Brazil. Int. Workshop on the Debris Flow Disaster of Dec. 1999 in Venezuela, Caracas, 12p. (CD-ROM).
- MASSAD, F. 2002. Corridas de Massas Geradas por Escorregamentos de Terra: Relação entre a Área Deslizada e a Intensidade de Chuva. 12º Congr. Brasil. Mec. Solos Eng. Geotécnica, ABMS, São Paulo, 3:1223-1234.
- MATHEW, J., V.K. JHA, G.S. RAWAT. (2007). “Weights of evidence modelling for landslide hazard zonation in part of Bhagirathi valley, Uttarakhand”. Current Science 92, 628–638.
- MATOS, M.P.; LIMA-GUIMARÃES, S.T. 2012. Gestão de áreas de riscos e desastres ambientais [recurso eletrônico]. Rio Claro: IGCE/UNESP/RIO CLARO, 2012, CD-ROM. A percepção ambiental em planos de emergência: uma proposta para os estudos de sensibilidade ambiental a derrames de óleo, p. 121.
- McCUEN, R. H.; WONG, S. L.; RAWLS, W. J. Estimating urban time of concentration. Journal of Hydraulic Engineering, vol. 110, n.7, p. 887-904, 1984.
- MCCUTCHEON, S. C., MARTIN J. L., BARNWELL JR. T. O. Water Quality. In: MAIDMENT, D. R. (Ed). Handbook of Hydrology. Mc Graw – Hill, Inc., USA, 1993. 11, 1 – 11, 73.
- MEIRA, A. D. 1996. Desenvolvimento de um Sistema de Informações Geográficas (GEOGIS) e sua Aplicação ao Distrito de Cachoeira do Campo (Ouro Preto-MG). Viçosa, MG, UFV. Vol1. 124p. (Dissertação de Mestrado).

MELAZO, G. C., SOUZA, J. S., NOGUEIRA, T. C., REGO, H. N. A. e NISHIYAMA, L. Mapeamento geotécnico preliminar no setor leste do município de Uberlândia-MG: Avaliação de áreas para disposição de resíduos sólidos. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 6, 2007, Uberlândia, MG. Anais. Uberlândia, MG, 2007. v. 1, 15p.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; LIMA, J. M.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, M. S. “Modelos matemáticos para previsão da chuva de projeto para regiões do Estado de Minas Gerais”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.1, p.121-128. 2003.

MELTON M. A. (1957). An analysis of the relation among elements of climate, surface properties and geomorphology. Office of Nav Res Dept Geol Columbia Univ, NY. Tech Rep 11

MENEZES, D. B., HIGASHI, R. R. e ZUQUETTE, L. V. Avaliações metodológicas em estudos geoambientais de bacias hidrográficas: A Bacia do Rio Pardo In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5, São Carlos, SP. Anais. São Carlos, SP: SUPREMA, 2004. V. 1, 10P.

MEZUGHI, T.H, J. M. AKHIR, A. RAFEK AND I. ABDULLAH. (2011A). “Landslide susceptibility assessment using frequency ratio model applied to an area along the E-W highway (GerikJeli)”. Am. J. Environ. Sci., 7 (1), 43-50.

MEZUGHI, T.H, J. M. AKHIR, A. RAFEK AND I. ABDULLAH. (2011B). “Landslide susceptibility mapping using the statistical index method and factor effect analysis along the E- W Highway (Gerik - Jeli), Malaysia” Aust. J. Basic e Appl. Sci., 5(6): 847-857.

MIGUEL, M. G., BELICANTA, A., BRANCO, C. J. M. C., PINESE, J. P. P. e TEIXEIRA, R. S. Caracterização geotécnica do subsolo da cidade de Londrina/PR In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 10, 2002, Ouro Preto, MG. Anais. Ouro Preto, MG, 2002. v. 1, 11p.

MILLER V.C. A quantitative geomorphology study of drainage basin characteristic in the Clinch Mountain Area. Virginia and Tennessee. *Dept. of Geology*. (3): 30. 1953.

MINISTÉRIO DAS CIDADES/UFOP. Elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais no município de Ouro Preto, MG. Termo de Cooperação Ministério das Cidades/UFOP (Coordenação: Sobreira, F. G.), Ouro Preto, MG. Relatório Final, 3 v. 2013.

MIRANDOLA, F. A. e MACEDO, E. S. O uso da análise do tecnógeno na elaboração de carta de risco de escorregamento: o caso da favela real parque, São Paulo In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 12, 2008, Porto de Galinhas, PE. Anais. Porto de Galinhas, PE, 2008. v. 1, 1-10.

MMA – Ministério do Meio Ambiente – Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 28 de abril de 2005.

MOLINA, P. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; VANZELA, L. S. Índice de qualidade de água na microbacia degradada do córrego Água da Bomba – município de Regente Feijó – SP. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 16, 2006, Goiânia. Anais. Goiânia, 2006.

MOORE, I. AND G. BURCH. 1986a. Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation. *Soil Science Society of America Journal* 50:1294-1298.

MOORE, I. AND G. BURCH. 1986b. Modeling erosion and deposition: topographic effects. *TRANS of ASAE* 29(6):1624-1630,1640.

MOPT, 1992 – *Guia para la elaboración de estudios del medio fisico*. Centro de Estudios de Ordenancia del Territorio y Medio Ambiente – Ministerio de Obras Publicas y Urbanismo, Madrid.

MOREIRA, M. M. e SOUZA, N. M. Mapeamento geotécnico do município de Natal-RN e áreas adjacentes. *Geotecnia*, São Paulo, SP, 1998, 83, 83-74.

MOREIRA, M. C., SILVA, D. D. Análise de Métodos para Estimativa das Vazões da Bacia do Rio Paraopeba. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH*. V. 19, nº2, p. 313-324. 2014.

MORETTO, D. L. Calibração do índice de qualidade da água (iqa) para bacia hidrográfica do Rio Pardo, RS, Brasil. Dissertação de mestrado. Universidade de Santa

Cruz do Sul. Programa de Pós-Graduação em tecnologia ambiental - Mestrado área de concentração em gestão e tecnologia ambiental. Santa Cruz do Sul, maio de 2011.

MOTTA, P. E. F; CARVALHO FILHO, A; KER. J. C; PEREIRA, N. R; CARVALHO JUNIOR, W; BLANCANEUX, P. Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Central Brasileiro. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v. 37, n. 6, p. 869-878, jun. 2002.

NALINI JR., H. A. 1993. Análise estrutural descritiva e cinemática do Flanco Sul e terminação periclinal do Anticlinal de Mariana e adjacências, região sudeste do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Belo Horizonte. 132p. (Dissertação de Mestrado, IGC/UFMG).

NANDI, A. AND A. SHAKOOR. (2010). “A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses”. *Eng. Geol.*, 110, 11-20.

NARDIN, D. e ROBAINA, L. E. S. Zoneamento geoambiental no oeste do Rio Grande do Sul: um estudo em bacias hidrográficas em processo de arenização. In: *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental*, 7, 2010, Maringá, PR. *Anais. Maringá, PR*, 2010. v. 1, 1-16.

NASCIMENTO, M. F. F. Percepção de Risco: A Visão dos Atores Sociais da Comunidade de Padre Hugo, Bairro de Canabrava, Salvador, Bahia. *Revista VeraCidade*, ano VIII, no. 12, setembro de 2012;

NERILO, N.; MEDEIROS, P. A.; CORDERO, A. Chuvas intensas no Estado de Santa Catarina. Florianópolis: Editora da UFSC; Blumenau: Editora da FURB. 156 p. 2002.

NETO, C. B. R. e FUNKE, D. S. Proposta metodológica para o planejamento do uso do solo com a utilização de cartas do meio físico. In: *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica*, 3, Florianópolis, SC. *Anais. Florianópolis, SC*, 1998. v. 1, 15p.

NETO, C. B. R. e JR, C. L. Zoneamento geoambiental para fundamentar o plano diretor participativo de Florianópolis In: *Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental*, 12, 2008, Porto de Galinhas, PE. *Anais. Porto de Galinhas, PE*, 2008. v. 1, 1-11.

NEUHÄUSER, B., B.TERHORST. (2007). “Landslide susceptibility assessment using “weights of evidence” applied to a study area at the Jurassic escarpment (SW-Germany)”. *Geomorphology*. 86, 12–24.

NISHIYAMA, L. e ZUQUETTE, L. V. Caracterização preliminar de situações de riscos geológicos no município de Uberlândia - MG a partir de trabalho de mapeamento geotécnico. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 37, 1992, São Paulo, SP. Boletim de resumos expandidos. São Paulo, SP: SBG, 1992. v. 2, 222-223.

NOGUEIRA, F. R. 2002. Gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos: contribuição às políticas públicas municipais para áreas de ocupação subnormal, Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro. 266p.

NOGUEIRA, F. R., CARVALHO, C. S. e GALVÃO, T. Diagnóstico expedito da gestão de risco em encostas nos municípios brasileiros. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 11, 2005, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis, SC, 2005. v. 1, 15p.

NOGUEIRA, F. R., CERRI, L. E. S., SILVA, L. C. R. e ZUQUIM, M. L. Duas experiências de elaboração de planos municipais de redução de riscos In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 11, 2005, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis, SC, 2005. v. 1, 14p.

NOGUEIRA, F. R. Planos municipais de redução de riscos, gestão de riscos no ambiente urbano e mudanças climáticas. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 12, 2008, Porto de Galinhas, PE. Anais. Porto de Galinhas, PE, 2008. v. 1, 1-10.

NUNES, E.R.M. Metodologia para a Gestão Ambiental de Bacias Hidrográficas com Abrangência para Região Hidrográfica: um Estudo de Caso do Plano Diretor do Programa Pós Guaíba. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis, 2001.

ODA - OVERSEAS DEVELOPMENT ADMINISTRATION (Main sponsor). *Making cities safer. before disaster strikes. Stop Disasters*, n.28, 1996.

OGURA, A. T., CORSI, A. C., ALMEIDA FILHO, G. As., SILVA, F. C., MIRANDOLA, F. A. e GRAMANI, M. F. Levantamento de áreas de risco de inundação, escorregamento e erosão na região administrativa de Campinas In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 11, 2005, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis, SC, 2005. v. 1, 15p.

OHARA, T. 2006. Zoneamento geoambiental da região do alto médio Paraíba do Sul (SP) com sensoriamento remoto. UNESP, Doutorado.

OKA-FIORI, C.; FIORI, A.; HASUI, Y. 2004. Tolerância de perdas de solo na bacia do Rio Itiquira, Mato Grosso, Brasil. Editora UFPR. Boletim Paranaense de Geociências, n. 54, p. 83-99.

OLIVEIRA, A. M. M e PINTO, S. A. F. Análise das alterações do uso da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão São João, (SP). In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5, São Carlos, SP. Anais. São Carlos, SP: SUPREMA, 2004. v. 1, 11p.

OLIVEIRA, A. M. S., ANDRADE, M. R. M., SATO, S. E. e QUEIROZ, W. Análise geoambiental aplicada a microbacias urbanas na região do Cabuçu, Guarulhos (SP). In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 11, 2005, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis, SC, 2005. V. 1, 15P.

OLIVEIRA, C. M. G., RODRIGUES, R. A. e LOLLO, J. A. Carta de risco de dano por colapso de solos para a área urbana de Ilha Solteira (SP), na escala 1:10.000. Geotecnia, São Paulo, SP, 2007, 110, 183-198.

OLIVEIRA, A. M. S., ANDRADE, M. R. M., BARROS, E. J. e TAKYA, H. Construção de legenda para mapa de uso do solo aplicado à análise geoambiental do município de Guarulhos-SP In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 6, 2007, Uberlândia, MG. Anais. Uberlândia, MG, 2007. v. 1, 10p.

OLIVEIRA, L. F. C. ANTONINI, J. C. A.; FIOREZE, A. P.; SILVA, M. A. S. "Métodos Para Estimativa da Precipitação Máxima para o Estado de Goiás". Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.12, n.6, p.620–625. 2008.

OLIVEIRA, L. D. Ocupação na Área Urbana de Ouro Preto de 1950 a 2004 e atuais tendências. Dissertação (Mestrado em Geologia). Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP. 123P. 2010.

OLIVEIRA, G. G; GUASSELLI, L. A. Relação entre a Suscetibilidade a Inundações e a Falta de Capacidade nos Condutos da Sub-bacia do Arroio da Areia, em Porto Alegre/RS. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, n.1, v. 16, p. 05-15, Jan/Mar 2011.

OLIVEIRA, M. A., QUEIROZ, D. R. E. SANTOS, M. L. O uso da cartografia na análise da percepção de riscos de contaminação em áreas de nascentes: o caso do Residencial Tarumã em Maringá, Paraná (PR), 2011, p. 116. In: Gestão de áreas de riscos e desastres ambientais [recurso eletrônico] / Solange T. de Lima-Guimarães, Salvador Carpi Junior, Manuel B. Rolando Berríos, Antonio Carlos Tavares. - Rio Claro: IGCE/UNESP/RIO CLARO, 2012.

OLIVEIRA, D. L., BORGES DE SOUZA, V. C, FRAGOSO JR., C. R. Análise Hidrológica da Cheia Excepcional Ocorrida em Junho de 2010 nas Bacias dos Rios Mundaú e Paraíba do Meio em Alagoas e Pernambuco. Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH. V. 19 nº3, p. 279-293. 2014.

PACHECO, C. E. P. e NISHIAMA, L. Integração de informações ambientais utilizando técnicas de álgebra de mapas: Aplicação na elaboração de uma carta de susceptibilidade erosiva para bacia do baixo curso do rio Araguari-MG In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 6, 2007, Uberlândia, MG. Anais. Uberlândia, MG, 2007. v. 1, 12p.

PARAGUASSU, A. B., ZUQUETTE, L. V., RODRIGUES, J. E., VILAR, O. M. e GANDOLFI, N. Mapeamento geotécnico regional da Folha de Campinas, escala 1:200.000. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 2, 1991, São Paulo, SP. Atas. São Paulo, SP: SBG, 1991, 345-352.

PARIZZI, M. G., UHLEIN, A. e KATTAH, C. L. Carta de uso e ocupação aplicada ao diagnóstico ambiental da bacia do Ribeirão da Mata, região metropolitana de Belo Horizonte. Municípios de Capim Branco, Matozinhos e Pedro Leopoldo. In: Simpósio

Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 4, Brasília, DF. Anais. Brasília, DF, 2001. v. 1, 11p.

PARIZZI, M. G., UHLEIN, A., MENEGASSE, L. N., ARANHA, P. R. A. e GONÇALVES, J. M. Cartografia geotécnica aplicada ao ordenamento da expansão urbana e do turismo no município de Santana do Riacho, MG In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 4, Brasília, DF. Anais. Brasília, DF, 2001. v. 1, 9p.

PASSO, D. P.; CASTRO, K. B.; MARTINS, E. S.; GOMES, M. P.; REATTO, A.; LIMA, L. A. S.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T. Caracterização Geomorfológica do Município de São Desidério, BA, Escala 1:50.000. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento - CPAC, Planaltina, DF, v. 283, p. 29, junho 2010.

PATTON, P. C e BAKER, V.R. Morphometry and floods in small drainage basins subject to diverse hydrogeomorphic controls. Water Resources Research, 12(5):941-952. 1976.

PAULA, J. P. L. e CERRI, L. E. S. Carta geológico-geotécnica de área para parcelamento urbano do solo no município de Rio Claro (SP), na escala 1:10.000 In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5, São Carlos, SP. Anais. São Carlos, SP: SUPREMA, 2004. v. 1, 10p.

PAULA, P. M., ROBAINA, L. E. S. e MEDEIROS, E. R. Mapeamento geológico – geomorfológico: Ferramenta de gestão ambiental. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia Ambiental, 10, 2002, Ouro Preto, MG. Anais. Ouro Preto, MG, 2002. v. 1, 14p.

PAULA, B. L. e CERRI, L. E. S. Proposta de representação cartográfica para cartas Geotécnicas. Geotecnia, São Paulo, SP, 2008, 112, 111-126.

PEDROTO, Â. E. S. e BARROSO, J. A. Mapeamento geológico-geotécnico em áreas dos municípios de Saquarema e Marica-RJ: baixada litorânea e vertente atlântica. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 4, 1984, Belo Horizonte-MG. Anais. Belo Horizonte-MG: ABGE, 1984. 2, 267-278.

PEJON, O. J. e RODRIGUES, J. E. Análise geológico-geotécnica da região de Araraquara-SP: - In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 5, 1987, São Paulo. Anais. São Paulo: ABGE, 1987. 2, 279-290.

PEJON, O. J. e ZUQUETTE, L. V. Elaboração de cartas de zoneamento geotécnico: exemplo da Folha de Piracicaba, São Paulo - Escala 1:100.000 In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 1, 1995, São Paulo, SP. São Paulo, SP: Secretaria do Meio Ambiente - Instituto Geológico SP, 1995. Volume Especial.

PELLERIN, J., SCHEIBE, L. F., BUSS, M. D., PONTELLI, M. E., VALDATI, J. e PAISANI, J. C. Cartografia geológica e geomorfológica, bases para uma cartografia de riscos: exemplo no sul do estado de Santa Catarina In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 3, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis, SC, 1998. v. 1, 10p.

PELUZIO, T. M. O., SANTOS, A. R., FIEDLER, N. C. Mapeamento de áreas de preservação permanente no Arcgis 9.3. Alegre: CAUFES, 2010, 58p.

PEREIRA, I. C. B. B. A., SANTOS JR, O. F. e SCUDELARI, A. C. Mapeamento geotécnico da região do complexo estuarino-lagunar Nísia Floresta-Papeba-Guaraíras na zona costeira oriental do Estado do Rio Grande do Norte In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5, São Carlos, SP. Anais. São Carlos, SP: SUPREMA, 2004. v. 1, 10p.

PEREIRA, C. V. L., BATISTA, P. C. e VIANA, C. S. A gestão do risco geológico em Belo Horizonte In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 11, 2005, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis, SC, 2005. v. 1, 11p.

PERES, F. Onde mora o perigo? O processo de construção e validação de uma nova metodologia de diagnóstico rápido para a avaliação da percepção de riscos no trabalho rural. 2003. Tese (Doutorado) - Unicamp, Campinas, 2003.

PERES, F., ROZEMBERG, B.; LUCCA, S. R. Percepção de riscos relacionada ao trabalho rural em uma região agrícola do estado do Rio de Janeiro, Brasil: agrotóxicos, saúde e ambiente. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 21, n. 6, p. 1836-1844, 2005.

PETSCH, C. e FRAGAL, E. H. Análise do uso e ocupação do solo realizado nas áreas de preservação permanente (APP) dos canais de drenagem do município de Maringá - PR In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 7, 2010, Maringá, PR. Anais. Maringá, PR, 2010. v. 1, 1-12.

PFALTZGRAFF, P. A. S., ALHEIROS, M. M., CANDEIAS, A. L. B. 2005. Mapa de suscetibilidade a deslizamentos na região Metropolitana do Recife. 11º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental

PHILIPPI Jr A. Gestão ambiental municipal: subsídios para estruturação de sistema municipal de meio ambiente. Vol. 4. Salvador: CRA – Centro de Recursos Ambientais; 2004.

PIERRE, G. C. S. e AMARAL, R. F. Mapeamento geoambiental como subsídio à análise de risco à erosão na região de Tibau do Sul/RN In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 12, 2008, Porto de Galinhas, PE. Anais. Porto de Galinhas, PE, 2008. v. 1, 1-12.

PINHEIRO, R. J. B. e DIAS, R. D. Mapeamento geotécnico da Formação Rosário do Sul na região metropolitana de Porto Alegre In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 1, 1995, São Paulo. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente - Instituto Geológico SP, 1995. Volume Especial, 77-83.

PINHEIRO, A. L., SOBREIRA, F. G., LANA, M. S. Análise de rupturas em talude no Morro do Curral, Ouro Preto (MG). In: X congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2002, Ouro Preto. X Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v. CD ROM.

PINHEIRO, A. L., SOBREIRA, F. G., LANA, M. S. 2003a. Estudo de rupturas em talude através de retroanálises de escorregamentos. Revista Geotecnia, Lisboa, v. 98, p. 75-87. 2002.

PINHEIRO, A. L., SOBREIRA, F. G., LANA, M. S. Influência da expansão urbana nos movimentos em encostas na cidade de Ouro Preto, MG. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v. 56, n. 3, p. 169-174. 2003.

PINHEIRO, A. L., SOBREIRA, F. G., LANA, M. S. e LEITE, L. F. Caracterização geotécnica de maciços rochosos alterados e fraturados. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 11, 2005, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis, SC, 2005. v. 1, 12p.

- PINTO, S. A. F. 1995. Contribuição metodológica para análise de indicadores da erosão do solo utilizando técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e modelo predictivo. 1995. Tese (Livre-Docência) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro.
- PINTO, F. A.; FERREIRA, P. A.; PRUSKI, F. F.; ALVES, A. R.; CECON, P. R. Estimativa de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais utilizando registros diários. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 16, n. 2, p. 8-21. 1996.
- PIRES NETO, A.G., YOSHINAGA, S. 1995. O planejamento territorial no Instituto Geológico: revisão e avaliação da experiência. IG: Revista do Instituto Geológico, v.esp., p. 37-43.
- PIRES, J.S.R. & SANTOS, J.E. Bacias Hidrográficas - Integração entre meio ambiente e desenvolvimento. CIÊNCIA HOJE, Rio de Janeiro, v. 19, n. 110, p. 40-45, 1995.
- POLI, S., STERLACCHINI, S. (2007). "Landslide representation strategies in susceptibility studies using weights-of-evidence modeling technique". Natural Resources Research 16,121–134.
- PONÇANO, W. L., BISTRICHI, C. A., CARNEIRO, C. D. R. O Conceito de Sistemas de Relevo Aplicado ao Mapeamento Geomorfológico do Estado de São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT. 1979. 10 pp.
- PONÇANO, W.L., CARNEIRO, C.D.R., BISTRICHI, C.A., ALMEIDA, F.F.M., PRANDINI, F.L. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 1981. 94 p. (Publicação no. 1183).
- PONS, N. A. D. e GONÇALVES, A. R. L. Elaboração da carta geotécnica para o uso e ocupação do solo dos vazios urbanos da cidade de Santa Maria - RS In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5, São Carlos, SP. Anais. São Carlos, SP: SUPREMA, 2004. v. 1, 8p.
- PORTO, L. J. L. S. e ROCHA, M. A. B. Zoneamento geoambiental da ilha de Cotijuba-Belém/PA In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 6, 2007, Uberlândia, MG. Anais. Uberlândia, MG, 2007. v. 1, 10p.

PRANDINI, F.L., NAKAZAWA, V.A., FREITAS, C.G.L. e DINIZ, N.C. 1995. Cartografia Geotécnica nos planos diretores regionais e municipais. In: O.Y. BITAR (coord.). 1995. *Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente*. ABGE/IPTDIGEO. São Paulo. Série Meio Ambiente. p.187-202.

PRESSINOTTI, M. M. N., GUEDES, A. C. M., SILVA, P. C. F., SULTANUM, H. J. e GUIMARÃES, R. G. Sistema visualizador de mapeamentos de áreas de riscos (A movimentos de massa e inundações) do estado de São Paulo In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 6, 2007, Uberlândia, MG. Anais. Uberlândia, MG, 2007. v. 1, 11p.

PROJETO RADAM BRASIL. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro/Vitória, v.32, Folhas SF 23/24. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Rio de Janeiro. 1983.

RAMALHO, R. S., BARROSO, J. A., ALVES, M. G. e RAMOS, I. S. Domínios geotécnicos e a ocupação no município de Campos dos Goytacazes – RJ In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 4, Brasília-DF. Anais. Brasília-DF, 2001. v. 1, 11p.

RAMOS, A. 1979. Planificación física y ecología. Modelos y Métodos. Edit. Magisterio Español, S. A. Madrid, 216 p.

RANDALL, W. J., EDWIN, L. H., JOHN, A. M. (2000). A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps. Eng Geol 58:271–289.

REGMI, N. R., GIARDINO, J. R. AND VITEK, J. D. (2010). “Assessing susceptibility to landslides: Using models to understand observed changes in slopes”. Geomorphology, 122, 25-38.

RESENDE, M., CURI, N.; RESENDE, S. B., CORRÊA, G. F. Pedologia – base para distinção de ambientes, UFLA, 2007; 332p.

RIBEIRO, M. J. Vulnerabilidades sociais dos desastres. In: III Congresso Português de Sociologia. 1996.

RIBEIRO, S.L. 2000. Aplicação do sistema de informação geográfica nacional ao estudo de erosão dos solos por meio do modelo EUPS na microbacia hidrográfica do

Ribeirão Araquá-SP. 2000. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro.

RIBEIRO, L. S.; ALVES, M. G. 2007. Quantificação de perda de solo por erosão no município de Campos dos Goytacazes/RJ através de técnicas de geoprocessamento. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12. 2007, Florianópolis, Anais. Florianópolis: INPE, 3039-3046.

RIEDEL, P. S., RODRIGUES, J. E., MATTOS, J. C. 1996. Contribuição Técnica ao 8º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Rio de Janeiro – RJ

RIGHETTO, A.M. 1998. Hidrologia e Recursos Hídricos. São Carlos: EESC/USP 840p.

RINO, C. A. F., SAGGIORO, N. J., HERCULIANI, L. A. Avaliação da qualidade das águas do rio Bauru – determinação do IQA. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21, 2001, João Pessoa. Anais eletrônicos. João Pessoa, 2001. Acesso em: 6 ago. 2009.

ROBAINA, A. D. “Modelo para geração de chuvas intensas no Rio Grande do Sul”. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Vol. 4, No 2, pp 95-98. 1996.

ROBAINA, L. E. S. Inventário dos processos de inundação no município de Alegrete - RS In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 7, 2010, Maringá, PR. Anais. Maringá, PR, 2010. v. 1, 1-12.

ROBAINA, L. E. S., KORMANN, T. C., WIGGERS, M. M. e SCCOTI, A. A. V. Contribuição geográfica ao estudo das áreas de risco no município de Caxias do Sul/RS: análise espaço-temporal entre 1980 e 2007 In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 7, 2010, Maringá, PR. Anais. Maringá, PR, 2010. v. 1, 1-11.

ROBECK, S. e SALES, L. F. P. Importância dos aspectos geológicos e geotécnicos aplicados ao uso e ocupação do solo no município de Itajaí-SC In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 11, 2005, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis, SC, 2005. v. 1, 7p.

- RODRIGUES, M. 1988. Geoprocessamento. In: Encontro Nacional de Engenheiros Cartógrafos, 5. Presidente Prudente. Anais. Marília: Gráfica da UNESP, V.1, pp. 44-60.
- RODRIGUES, M.; QUINTANILHA, J. A. 1991. A seleção de software SIG para gestão urbana. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 15, São Paulo. Anais. São Paulo, SBC, 1991, Vol.3, p. 513-9.
- RODRIGUES, J. E., ZUQUETTE, L. V. e GANDOLFI, N. Mapeamento geotécnico da região centro-leste do Estado de São Paulo. In: CINTRA, J.C.A.; ALBIERO, J.H. (Org.). Solos do interior de São Paulo. São Paulo. São Paulo, SP: ABMS, 1993. cap. 3, 59-73.
- RODRIGUEZ, M.T.; HASENACK, H.; PUNDT, H.; NOELLE, O. 1998. Tratamento de dados químicos em Sistema de Informação Geográfica. In: GIS Brasil 98 – IV Congresso e feira para usuários de geoprocessamento, Anais. Curitiba/PR.
- RODRIGUES, A. M. M., ALAMY FILHO, J. E. e NISHIYAMA, L. Aplicação do mapeamento geoambiental na contribuição ao conhecimento do Aquífero Guarani no triângulo mineiro (MG): Estimativa dos volumes dos arenitos In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 6, 2007, Uberlândia, MG. Anais. Uberlândia, MG, 2007. v. 1, 10p.
- RODRIGUES, V. L. e AUGUSTO FILHO, O. Mapa de restrições geotécnicas e ambientais: município de Jaú-SP In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 12, 2008, Porto de Galinhas, PE. Anais. Porto de Galinhas, PE, 2008. v. 1, 1-12.
- RODRIGUES, R. F. e SOBREIRA, F. G. Mapeamento geotécnico da área urbana do município de Coronel Fabriciano - MG In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 7, 2010, Maringá, PR. Anais. Maringá, PR, 2010. v. 1, 1-10.
- ROMÃO, P. A. e SOUZA, N. M. Mapeamento geotécnico da região de Águas Claras, DF: Utilização de geoprocessamento In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 2, 1996, São Carlos, SP. Anais. São Carlos, SP: ABGE, 1996. v. 1, 9p.

ROSOLÉM, N. P. e ARCHELA, R. S. Aplicação metodológica de cartografia ambiental na área central de Londrina - PR In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 7, 2010, Maringá, PR. Anais. Maringá, PR, 2010. v. 1, 1-14.

ROSS, J. S. Registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. Rev. Geografia. São Paulo, IG-USP, 1992.

ROSSINI, D. S., MATTOS, J. T. e SILVA, A. R. Imagens SRTM - NASA, para classificação da capacidade de suporte de unidades geoambientais segundo potencial de desenvolvimento, vulnerabilidade e proteção ambiental. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 12, 2008, Porto de Galinhas, PE. Anais. Porto de Galinhas, PE, 2008. v. 1, 1-13.

ROTTA, C. M. S., FUREGATTI, S. A. e ZUQUETTE, L. V. Aspectos geoambientais relacionados à distribuição de feições erosivas lineares; bacia do córrego do lajeado In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 7, 2010, Maringá, PR. Anais. Maringá, PR, 2010. v. 1, 1-18.

SAAD, A. R., MONTEIRO JÚNIO, A.J., RACZKA, M. F. Índice de Qualidade da Água (IQA) do Reservatório Tanque Grande, Guarulhos (SP): Análise Sazonal E Efeitos Do Uso E Ocupação Do Solo. Geociências. (São Paulo), vol.28, no.3, São Paulo, 2009.

SAATY, T. L. A. 1977. Scaling method for priorities. In hierarchical structures. Journal of Mathematical psychology. 15. P. 234 – 281.

SAHA, K.; WELLS, N. A.; MUNRO-STASIUK, M. An object-oriented approach to automated landform mapping: A case study of drumlins. Computers e Geosciences, v.37, p.1324-1336, 2011.

SAITO, S.M. Estudo analítico da suscetibilidade a escorregamentos e quedas de blocos no Maciço Central de Florianópolis-SC. Florianópolis, 2004, 132p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SALES, L. F. P. e ROBECK, S. Importância da integração das informações geológicas, pedológicas e geomorfológicas aplicada ao mapeamento geoambiental do litoral centro-

norte de Santa Catarina In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 11, 2005, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis, SC, 2005. v. 1, 10p.

SALOMÃO, M. S. e AMARAL, C. Sistema de informações georreferenciadas aplicado ao mapeamento de áreas de riscos de escorregamento de encostas In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 6, 2007, Uberlândia, MG. Anais. Uberlândia, MG, 2007. v. 1, 9.

SAMPAIO, T. V. M., AUGUSTIN, C. H. R. R. Análise das incongruências dos índices de dissecação e rugosidade. Anais do VII Encontro Nacional de Geomorfologia. Belo Horizonte, 2008.

SAMPAIO, T. V. M. Parâmetros morfométricos para melhoria da acurácia do mapeamento da rede de drenagem – uma proposta baseada na análise da Bacia Hidrográfica do Rio Benevente – ES. Tese de Doutorado. IGC/UFMG. Belo Horizonte, 147 p. 2008.

SANTORO, J., PENTEADO, D. R. e VEDOVELLO, R. Hierarquização das situações de riscos associados a escorregamentos e inundações no município de Rio Grande da Serra, SP: Subsídios para o planejamento de ações preventivas e emergenciais. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 11, 2005, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis, SC, 2005. v. 1, 14p.

SANTORO, J., MENDES, R. M., PRESSINOTTI, M. M. N. e MANOEL, G. R. Correlação entre chuvas e deslizamentos ocorridos durante a operação do plano preventivo de defesa civil em São Paulo, SP In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 7, 2010, Maringá, PR. Anais. Maringá, PR, 2010. v. 1, 1-14.

SANTOS JR., O. F., TEIXEIRA, R. B., BENTES, M. D. P., MEDEIROS, M. F.S. e ALBINO, V. P. Análise de risco de movimentos de massas em uma encosta na cidade de Natal-RN In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 2, 1996, São Carlos, SP. Anais. São Carlos, SP: ABGE, 1996. v. 1, 11p.

SANTOS, G. T., DIAS, R. D. e GUEDES JUNIOR, A. Escorregamento de encosta no morro da Lagoa da Conceição em Florianópolis-SC In: Congresso Brasileiro de

Geologia de Engenharia, 8, 1996, Rio de Janeiro, RJ. Anais. Rio de Janeiro, RJ: ABGE, 1996. v. 2, 7p.

SANTOS, G. T., DIAS, R. D. e KOPPE, J. C. Análise de toposequências no mapeamento geotécnico de Florianópolis usando pedologia In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 3, Florianópolis-SC. Anais. Florianópolis-SC, 1998. v. 1, 22p.

SANTOS JR., O. F., SCUDELARI, A. C., VITAL, H. e AMARAL, R. F. Caracterização geoambiental da região de Guarafas-RN In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 9, 1999, São Pedro, SP. Anais. São Pedro, SP, 1999. v. 1, 9p.

SANTOS, G. I. T., DIAS, R. D., MAFRA JÚNIOR, C. S. e LEITE, F. C. Relevância do uso dos levantamentos do projeto RADAM nos trabalhos geotécnicos. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 10, 2002, Ouro Preto, MG. Anais. Ouro Preto, MG, 2002. v. 1, 13p.

SANTOS, C. A., SOBREIRA, F. G. e SILVA, S. P. Mapeamento da cobertura vegetal e uso do solo nas bacias do ribeirão Carioca, córrego do Bação e córrego da Carioca, no município de Itabirito - MG: uma análise preliminar. In: 33 Assembleia Nacional da ASAMAE, CD ROM, 2003, Santo André, SP. Anais da 33 Assembleia Nacional da ASAMAE. Santo André, SP: ASSAMAE, 2003.

SANTOS FILHO, A P. e SOUZA, N. M. Uso de geoprocessamento na distribuição espacial das características e classes geotécnicas de solos do Distrito Federal segundo a classificação HRB (Highway Research Board). In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5, São Carlos, SP. Anais. São Carlos, SP: SUPREMA, 2004. v. 1, 6p.

SANTOS, C. A. e SOBREIRA, F. G. Cartografia geomorfológica como subsídio ao ordenamento territorial das bacias do ribeirão Carioca, córrego do Bação e córrego Carioca, Itabirito, MG In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia, CD ROM, 2006, Goiânia, GO. Anais do VI Simpósio Nacional de Geomorfologia. Goiânia, GO: UGB União da Geomorfologia Brasileira, 2006.

SANTOS, A. R. 2010. ArcGis 9.3 total: aplicação para dados espaciais. Alegre – ES. CAUFES. 184p.

- SCHELLMANN, W. (1981). Considerations on the definition and classification of laterites. Proc. Int. Sem. Laterization Processes, Trivrandrum, 1 – 10.
- SCHUMM, S.A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. Geological Society of America Bulletin, 67: 597-646. 1956.
- SCS-USDA. Urban hydrology for small watersheds. TR-55, 164 p. 1986.
- SENA-SOUZA, J. P.; MARTINS, E. S.; COUTO JUNIOR, A. F.; REATTO, A.;
- SHARMA, M., KUMAR, R. (2007). “GIS-based landslide hazard zonation: a case study from the Parwanoo area, Lesser and Outer Himalaya, H.P., India”. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 27, 129–137.
- SILVA, J. T. G. 1990. Preliminary engineering geologic maps of Belo Horizonte, São Sebastião das Águas Claras, Nova Lima e Santa Luzia Quadrangles, Minas Gerais, Brazil. Máster Engineering – Colorado School of Mines, Colorado, USA. 147p.
- SILVA, D. D. da; PINTO, F. R. L.; PRUSKI, F. F.; PINTO, F. A. Estimativa e espacialização dos parâmetros da equação de intensidade-duração-frequência da precipitação para o Rio de Janeiro e o Espírito Santo. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 18, n. 3, p. 11-21. 1999.
- SILVA, M. L. N.; CURI, N.; LIMA, J. M. de; FERREIRA, M. M. 2000. Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de Latossolos Brasileiros. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1207-1220.
- SILVA, D. D., GOMES FILHO, R. R., PRUSKI, F. F., PEREIRA, S. B., NOVAES, L. F. Chuvas intensas no Estado da Bahia. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 362-367. 2002.
- SILVA, E. A. J., SANTOS JÚNIOR, O. F., JESUS, A. P. e AMARAL, R. F. Caracterização geológica, geomorfológica e geotécnica de sedimentos do setor sul de Natal/RN, com base em análises de perfis de sondagens de simples reconhecimento In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 10, 2002, Ouro Preto, MG. Anais. Ouro Preto, MG, 2002. v. 1, 10p.
- SILVA, D. D., PEREIRA, S. B., PRUSKI, F. F., GOMES FILHO, R. R., LANA, A. M. Q., BAENA, L. G. N. Equações de Intensidade-Duração-Frequência da Precipitação

- Pluvial para o Estado de Tocantins. Revista Engenharia na Agricultura. Viçosa. V. 11, n.1-4. Jan-Dez. 2003.
- SILVA, V. C. 2004. Estimativa da Erosão Atual da Bacia do rio Paracatu (MG/GO/DF). Pesquisa Agropecuária Tropical, n.34, v. 3, 147-159.
- SILVA, L. A., NAZARENO, N. R. Análise do Padrão de Exatidão Cartográfica do Google Earth da Cidade de Goiânia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. Anais. Natal: INPE, 2009. p. 1723-1730.
- SILVA, F. C., ALAMEDDINE, N., MIRANDOLA, F. A., GOMES, L. A., GRAMANI, M. F. e CORSI, A. C. Análise comparativa dos planos municipais de redução de risco - PMRR dos municípios de Osasco, Jundiaí, Guarujá e Jacareí. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 12, 2008, Porto de Galinhas, PE. Anais. Porto de Galinhas, PE, 2008. v. 1, 1-9.
- SILVA, B. M. “Chuvas intensas em localidades do Estado de Pernambuco”. Dissertação de Mestrado. PPGEC/UFPE, 116 p. 2009.
- SILVA, F. C. 2010. Instrumentos de comunicação de riscos como ferramenta para a diminuição da vulnerabilidade de moradores de assentamentos precários urbanos sob risco de deslizamentos. *Dissertação de Mestrado*, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (2010).
- SILVA, A. S. e BASTOS, G. Caracterização do meio físico da porção médio superior da microbacia do ribeirão do cavaco, Feira de Santana, Bahia - Brasil In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 7, 2010, Maringá, PR. Anais. Maringá, PR, 2010. v. 1, 1-12.
- SILVEIRA, A. L. L. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, n. 10. 2005.
- SLOVIC, P., FISCHHOFF, B., LICHTENSTEIN, S. Perceived risk: psychological factors and social implications. Proceedings of the Royal Society, Londres, v. 376, n. 1764, p. 17-34, Apr. 1981.
- SMITH, G.H. Standards for grading texture of erosional topography. Amer. J. Sei, 248:655-6 8. 1950.

- SOARES, F. L., NETO, J. A. A., BANDEIRA, A. P. N. e COUTINHO, R. Q. Mapeamento de risco estudo de caso: comunidade Tito Silva – João pessoa/PB In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 12, 2008, Porto de Galinhas, PE. Anais. Porto de Galinhas, PE, 2008. v. 1, 1-9.
- SOARES, F. L., NASCIMENTO, A. C. A. V., FILGUEIRA, H. J. A. e CLEMENTE, J. C. Mapeamento de riscos em encostas ocupadas: o caso da comunidade Saturnino de Brito, João Pessoa In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 12, 2008, Porto de Galinhas, PE. Anais. Porto de Galinhas, PE, 2008. v. 1, 1-9.
- SOARES, M. C., RUARO, T. A., AGUIAR, C. R. Controle de qualidade da base cartográfica da cidade de Pato Branco no Software Google Earth. In: Semana Acadêmica de Agrimensura, 1, 2010, Pato Branco. Anais. Pato Branco: UFPR, 2010. p. 028-030.
- SOBREIRA, F.G. A ocupação desordenada de encostas em Ouro Preto, MG. Revista da Escola de Minas, Ouro Preto, v.42, n.4, p.12-16. 1989.
- SOBREIRA, F. G. Estudo geotécnico e mapa de uso do solo da favela do Vidigal - Rio de Janeiro: Hidrogeologia e Geologia de Engenharia In: Congresso Brasileiro de Geologia, 20, 1990, Natal, RN. Anais do 36 Congresso Brasileiro de Geologia. Natal: Sociedade Brasileira de Geologia, 1990. 2, 998-1005.
- SOBREIRA, F.G. Riscos Geológicos: definição de pontos críticos em Ouro Preto. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v. 44, n. 3 e 4, p. 213-223. 1991.
- SOBREIRA, F.G. Urban landslide as a consequence of old mining in Ouro Preto, Brazil. In: 6th International Symposium of landslide, Christchurch. Proceedings of 6th International Symposium of Landslide. Rotterdam : A. A. Balkema. p. 1419-1422.1992.
- SOBREIRA, F.G. 1990a. Levantamento de áreas de risco geológico no espaço urbano de Ouro Preto. Relatório Final do Projeto – Convênio EM/UFOP/MinC. 1992.
- SOBREIRA, F.G. Levantamento de soluções estruturais para a contenção de encostas em Ouro Preto. Relatório Final. Universidade Federal de Ouro Preto. 1990b.
- SOBREIRA, F.G. 1995. Estudo Geoambiental do Concelho de Sesimbra. Tese de Doutorado. Universidade de Lisboa. Lisboa. 347 p.

SOBREIRA, F.G.; FONSECA, M.A. Geologic risk resulting from the land use of old mining sites in Piedade neighborhood, Ouro Preto, Minas Gerais, Brazil. In: 8th International Congress of Engineering Geology, 1998, Vancouver. Proceedings of the 8th International Congress of Engineering Geology. Rotterdam: A. A. Balkema, p. 2025-2029. 1998.

SOBREIRA, F. G. 2000. Estudo Geoambiental da Área Urbana de Mariana: Ocupação do Meio Físico e Análise de Riscos Geológicos. DEGEO/UFOP.

SOBREIRA, F. G. 2000. Estudo geoambiental da área urbana de Mariana: ocupação do meio físico e análise de riscos geológicos, Relatório Final, Ouro Preto Universidade Federal de Ouro Preto/FAPEMIG.

SOBREIRA, F.G., FONSECA, M. A. Impactos físicos e sociais de antigas atividades de mineração em Ouro Preto, Brasil. Revista Geotecnia, Lisboa, nº 92. 2001a.

SOBREIRA, F.G., FONSECA, M. A. Ação antrópica e processos em encostas em Ouro Preto, Brasil. In: VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 2001, Goiânia. Anais do VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v. CD-ROM. 2001b.

SOBREIRA, F. G. 2002. Susceptibilidade a processos geológicos e suas consequências na área urbana de Mariana, MG. Geo.br, Ouro Preto, v. 1

SOBREIRA, F.G. Riscos geológicos na cidade de Ouro Preto. In: I Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 2004, Florianópolis. Anais do I SIBRADEN. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, v. CD-ROM. 2004.

SOBREIRA, F. G., SOUZA, L. A. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, São Paulo, n. 2, p. 79-97. 2012.

SOETERS, R. AND VAN WESTEN, C. J.: Slope Instability Recognition, Analysis and Zonation. In Turner, A. K. and Schuster, R. L. (Eds.), Landslides. Investigation and Mitigation, Transportation Research Board, Special Report 247, National Academy Press, Washington D.C., 129–177, 1996.

SOPRANI, M. A. S; REIS, J. A, T. Proposição de equações de intensidade-duração-frequência de precipitações para a bacia do rio Benevente, ES. Revista Capixaba de Ciência e Tecnologia n.2, p. 18-25, 1. 2007.

SOUZA, A.D.G. e TUNDISI, J.G. Water Quality in Watershed of the Jaboaão River (Pernambuco, Brazil): a Case Study. Brazilian Archives of Biology and Technology, v. 46, n. 4, p. 711-721, 2003.

SOUZA, L. A., ZENÓBIO, Â. A. e BONUCCELLI, T. Carta de riscos associados a movimentos gravitacionais de massa em parte da serra de Ouro Preto (MG) In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 4, Brasília, DF. Anais. Brasília, DF, 2001. v. 1, 14p.

SOUZA, L. A. 2004. Diagnóstico do Meio Físico como Contribuição ao Ordenamento Territorial do Município de Mariana – MG. Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. 182p. (Dissertação de Mestrado).

SOUZA, L. A., SOBREIRA, F. G. e PRADO FILHO, J. F. Cartografia geoambiental como suporte ao plano diretor de Mariana, MG In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 11, 2005, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis, SC, 2005. v. 1, 16p.

SOUZA, L.A., SOBREIRA, F.G., PRADO FILHO, J. F. Cartografia e Diagnóstico Geoambiental aplicado ao Ordenamento Territorial do Município de Mariana-MG (2005). Revista Brasileira de Cartografia Nº 57/03, (ISSN 1808-0936).

SOUZA, L. A., BHERING, I. G. A. e FREITAS, E. G. Plano Diretor de Piumhi – MG: Diagnóstico do Meio Físico e Zoneamento Ambiental. Geociências, São Paulo, SP, 2008. 26, 3, 215-228.

SOUZA, L. A., JÚNIOR, R. M. C., BORTOLOTTI, F., e SOBREIRA, F. G. Plano municipal de redução de riscos de Vitória - ES In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 12, 2008, Porto de Galinhas, PE. Anais. Porto de Galinhas, PE, 2008. v. 1, 1-14.

SOUZA, L. A., NOGUEIRA, F. R. e CERRI, L. E. S. Aplicação da geologia de engenharia na redução de risco geológico urbano em Itapeçerica da Serra - SP: estudo de caso. REM - Revista Escola de Minas, Ouro Preto, MG, 2008. 61, 2.

SOUZA, L. A.; SOBREIRA, F. G. Guia para elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais, 2014, 68 pag.

SOUZA, M. L. Mapeamento Geotécnico da cidade de Ouro Preto/MG (escala 1:10000) – Susceptibilidade aos movimentos de massa e processos correlatos. 2v. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1996.

SOUZA, N. C. D. C. e ZUQUETTE, L. V. Critérios de avaliação geotécnica de unidades de terreno no planejamento urbano. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 7, 1993, Poços de Caldas, MG. Anais. São Paulo, SP: ABGE, 1993. v. 2, 103-107.

SOUZA, M. L., GASPARETTO, N. V. L. e NAKASHIMA, P. Diagnóstico geoambiental da bacia do córrego Tenente em Mariluz, PR In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 6, 2007, Uberlândia, MG. Anais. Uberlândia, MG, 2007. v. 1, 16p.

SOUZA, N. M., SILVA, A. P. F. e CARVALHO, J. A. R. Cartas geotécnicas tridimensionais-contributo para o estado da arte In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 6, 2007, Uberlândia, MG. Anais. Uberlândia, MG, 2007. v. 1, 11p.

STARR, C. 1969. Social Benefit versus Technological Risk. Science, volume 165, pages 1232 – 1238, September.

STEINITZ, C. 1975. The Santa Ana River Basin: An example of the use of computer graphics in regional plan evaluation. Report submitted to the: U. S. Army Engineer Institute for Water Resources (Fort Belvoir, Virginia). Steinitz Rogers Associates Inc., 291 p.

STRAHLER A.N. Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*. 63 (10): 1117- 1142. 1952.

STRAHLER, A.N. Quantitative analysis of watershed morphology. Transactions of the American Geophysical Union, 38: 913-920. 1957.

STRECK, C. D. A.; IGLESIAS, C. M. F; MIGLIAVACCA, D. M.; ZOCHE, J. J; HASENACK, H. 2001. Avaliação da qualidade das águas superficiais da bacia do Arroio Candiota – RS utilizando Sistemas de Informação Geográfica.

TABALIPA, N. L. e FIORI, A. P. O uso de técnicas de geoprocessamento para elaboração de mapas uso e ocupação, como ferramenta para o planejamento urbano, um exemplo para o município de Pato Branco, Paraná In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 11, 2005, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis, SC, 2005. v. 1, 13p.

TATIZANA C., OGURA A.T., CERRI L.E.S., ROCHA M.C.M. 1987. Análise de Correlação entre Chuvas e Escorregamentos - Serra do Mar, Município de Cubatão. In: ABGE, Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 5, Anais, p. 225-236.

TECNOSOLO. (1979). *Mapeamento geotécnico localizado*. Rio de Janeiro. (Relatório Técnico – 0826/79).

TEMEZ, J. R. Calculo hidrometeorológico de caudales máximos em pequenas cuencas naturales. Madrid: Ministério de Obras Publicas y Urbanismo (MOPU). Direccion General de Carreteras, N. 12. 1978.

TOBIN, G. A; MONTZ, B. E. Natural hazards: explanation and integration. New York: The Guilford Press, 1997. 388p.

TOLEDO, L. G., NICOLELLA, G. Índice de Qualidade de Água em Microbacia sob Uso Agrícola e Urbano. Scientia Agricola, v.59, n.1, p.181-186, jan./mar. 2002.

TOMINAGA, L. K., SOUZA, C. R. G., FERREIRA, C. J., SANTORO, J. S. e VEDOVELLO, R. Avaliação de riscos geológicos para aplicação em instrumentos de gestão ambiental. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia geotécnica, 4, Brasília, DF. Anais. Brasília, DF, 2001. v. 1, 26p.

TOMINAGA, L. K., VEDOVELLO, R., BROLLO, M. J., SOUZA, C. R. G., SANTORO, J. e HOLL, M. C. Uso da cartografia geotécnica na elaboração de planos de manejo de unidades de conservação no litoral de São Paulo In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 10, 2002, Ouro Preto, MG. Anais. Ouro Preto, MG, 2002. v. 1, 15p.

TOMINAGA, L. K., PENTEADO, D. R., FERREIRA, C. J., VEDOVELLO, R. e ARMANI, G. Avaliação do perigo de escorregamentos por meio da análise de múltiplos fatores geoambientais. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 12, 2008, Porto de Galinhas, PE. Anais. Porto de Galinhas, PE, 2008. v. 1, 1-15.

TUAN, Yi-Fu. Espaço e lugar: a perspectiva da experiência. São Paulo: DIFEL, 1983.

TUCCI, C. E. M. Modelos Hidrológicos. Porto Alegre: Editora da Universidade / UFRGS / Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 669p. 1998.

TUCCI, C. E. M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS: ABRH, 943 p. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 4). 2004.

TURRINI M. C, VISINTAINER P. (1998). Proposal of a method to define areas of landslide hazard and application to an area of the Dolomites, Italy. Eng Geol 50:255–265

UFV - CETEC - UFLA - FEAM. Mapa de solos do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. 49p. Disponível em: <<http://www.feam.br/noticias/1/949-mapas-de-solo-do-estado-de-minas-gerais>> Acesso em: 31 de março de 2015.

UNDRO – United Nations Disaster Relief Office. UNDRO’s approach to disaster mitigation. *UNDRO News*, jan.-febr.1991. Geneva: Office of the United Nations Disasters Relief Coordinator. 20p., 1991.

VALENTE, A. L. S., STRIEDER, A. J., KOESTER, E., FILHO, C. L. M., BASTOS, C. e KOPPE, J. C. Definição de agrupamentos geológicos para fins de mapeamento geotécnico em Porto Alegre (RS). In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 3, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis, SC, 1998. v. 1, 17p.

VALENTE, A. L. S., STRIEDER, A. J., DIAS, R. D. e KOPPE, J. Ca. Estimativa das unidades geotécnicas de Porto Alegre (RS) por meio de geoprocessamento In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 3, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis, SC, 1998. v. 1, 10p.

VALÉRIO FILHO, M. 1994. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao estudo integrado de bacias hidrográficas. In: Pereira, V.P.; Ferreira, M.E. Cruz, M.C.P. (eds.). Solos altamente suscetíveis à erosão. Jaboticabal, FCAV/UNESP/SBCS. p. 223-242.

VAN WESTEN, C. J. 1993. Training Package for Geographic Information System in Slope Instability Zonation. ITC, Publication nº 15.

VAN WESTEM, C. J.; RENGERS, R.; SOETERS, R.; TERLIEN, M. T. J. 1994. An engineering geological GIS data base for mountainous terrain. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE IAEG, 7, 1994, Lisboa, Portugal. Anais. Lisboa: IAEG, pp. 4467-4475.

VAN WESTEN, C.J., N. RENGERS, R. SOETERS, (2003) "Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment". *Natural Hazards* 30, 399–419.

VARNES, D. J. 1974. The logic of engineering geological and related maps. A discussion of the definition and classification of map units, with special references to problems presented by maps intended for use in civil engineering. Washington: USGS. 48p. (Professional Paper 837).

VARNES, D. J. 1978. Slope movement types and processes, landslides analysis and control. Special report 176. Transportation Research Board, Washington, DC 11–80.

VARNES, D. J.: Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. UNESCO, Paris, 1984.

VASCONCELOS, V; CARVALHO JUNIOR, O. A; MARTINS, E. S; COUTO JUNIOR, A. F; GUIMARÃES, R. F; GOMES, R. A. T. Sistema de Classificação Geomorfométrica Baseado Em Uma Arquitetura Sequencial em Duas Etapas: Árvore de Decisão e Classificador Espectral, no Parque Nacional Serra Da Canastra. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.13, n.2, (Abr-Jun) p.171-186, 2012.

VASCONCELOS, V.; GOMES, M. P.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; REIS, A. M. Mapeamento Geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu, escala 1:100.000. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento - CPAC, Planaltina, DF*, v. 314, p. 39, 2013.

VEDOVELLO, R. e MATTOS, J. T. A utilização de unidades básicas de compartimentação (ubcs) como base para a definição de unidades geotécnicas. Uma abordagem a partir de sensoriamento remoto. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis, SC, 1998. v. 1, 12p.

VEDOVELLO, R., RIEDEL, P., BROLLO, M. J., HAMBURGUER, D. S. e CAMARGO, A. A. X. Modelagem e arquitetura de um sistema gerenciador de informações geoambientais (SGIG) como produto de avaliações geológico-geotécnicas. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 10, 2002, Ouro Preto, MG. Anais. Ouro Preto, MG, 2002. v. 1, 14p.

VEDOVELLO, R. Aplicações da Cartografia Geotécnica e Geoambiental no Planejamento Urbano, In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5, 2004. São Carlos, SP. Mesa redonda. São Carlos, SP: ABGE, 2004. Tema 6.

VEDOVELLO, R., SULTANUM, H. J., FERREIRA, C. J., TORREJON, R. A., TOMINAGA, L. K. e TAVARES, R. Modelo conceitual e de programação para a obtenção e atualização automática de cartas de riscos em sistemas gerenciadores de informações geoambientais-SGIGS In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 11, 2005, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis, SC, 2005. v. 1, 13p.

VEDOVELLO, R. Análise comparativa da técnica de compartimentação fisiográfica de terrenos, por sensoriamento remoto e com a obtenção de unidades básicas de compartimentação (UBCs), em três diferentes regiões do estado de São Paulo In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 12, 2008, Porto de Galinhas, PE. Anais. Porto de Galinhas, PE, 2008. v. 1, 1-12.

VEYRET, Y. (Org.). Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. Tradução Dilson Ferreira da Cruz. São Paulo: Contexto, 2007.

VIANA, R. F., LIMA, D. C., MARTINS JR., P. P., COSTA, L. M. e MARQUES, E. A. G. Análises paramétrica e estatística de dados geotécnicos da bacia das Codornas – MG In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 10, 2002, Ouro Preto, MG. Anais. Ouro Preto, MG, 2002. v. 1, 14p.

VIEIRA, V., CALIJURI, M. L., MARQUES, E. A.G. e MEIRA, A. D. Caracterização preliminar do uso solo na área urbana de viçosa (MG), Brasil. Geotecnia, São Paulo, SP, 2000, 90, 77-88.

XAVIER, A. F., SOUZA, C. R. G., BÜSCHEL, E. C. G., MORAES, M. B. R. e FILET, M. Estudos geotécnicos no zoneamento ecológico-econômico da zona costeira paulista. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 4, Brasília, DF. Anais. Brasília, DF, 2001. v. 1, 15p.

XAVIER-DA-SILVA, J. 2001. *Geoprocessamento para análise ambiental*. Rio de Janeiro. 228p.

XAVIER, F. F. Caracterização geotécnica do município de Blumenau: Dados preliminares. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 8, 1996, Rio de Janeiro, RJ. Anais. Rio de Janeiro, RJ: ABGE, 1996. v. 2, 10p.

XAVIER, S. C. e BASTOS, C. A. B. Mapeamento geotécnico como instrumento de auxílio ao planejamento e controle do uso e ocupação do solo – estudo de caso para Pelotas/RS In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 7, 2010, Maringá, PR. Anais. Maringá, PR, 2010. v. 1, 1-16.

XAVIER, S. C.; BASTOS, C. A. B. Estudo do crescimento urbano aplicado ao mapeamento geotécnico: uma metodologia de análise. Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, n. 62/04, p. 583-593. 2010.

WINKLER, A. S., TEIXEIRA, C. F. A., DAMÉ, R. C. F., WINKE, L. O. L. Estimativa do tempo de concentração de uma bacia hidrográfica: comparação entre metodologias. XCIII CIC – Congresso de Iniciação Científica, do XI ENPOS. I Mostra Científica, Universidade Federal de Pelotas, Brasil.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. Washington: United States Department of Agriculture, 58p. (Agriculture Handbook, 537).

WEBER, E.; DUARTE, G.F.; FRANK, M.; HOFF, R.; ZOMER, S.; BASSANI, E.; JUNQUEIRA, I. 1998. Estruturação de sistemas de informação ambiental em bacias hidrográficas: o caso da bacia hidrográfica do rio Caí – RS. In: GIS Brasil 98 – IV Congresso e feira para usuários de geoprocessamento, Anais. Curitiba/PR.

WOLSKI, M. S.; ORTH, D. M.; DIAS, R. D. 1998. Contribuição à Cartografia Geotécnica de Grandes Áreas com o uso de Sistemas de Informações Geográficas: Uma Aplicação à Região do Médio Uruguai (RS). In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 3º, Florianópolis, ABGE/UFSC. Anais (CD-ROM).

YAN, T. Z.: Recent advances of quantitative prognoses of landslide in China. In Bonnard, C. (Ed.), Landslides, Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides, Lausanne, 1988, 2, Balkema, Rotterdam, 1263–1268, 1988.

ZAINE, J.E. 2000. Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP), Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro, 149 p.

ZUQUETTE, L.V. 1987. Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras. São Carlos. 3v. Tese de doutorado – EESC-USP.

ZUQUETTE, L. V., GANDOLFI, N. e PEJON, O. J. O mapeamento geotécnico na previsão e prevenção de riscos geológicos em áreas urbanas. In: Simpósio Latino-Americano sobre risco geológico urbano, 1, 1990, São Paulo, SP. Anais. São Paulo, SP: ABGE, 1990, 305-315.

ZUQUETTE, L. V., PEJON, O. J., SINELLI, O. e GANDOLFI, N. Carta de risco da região de Ribeirão Preto (SP), escala 1:50.000. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 2, 1991, São Paulo, SP. Atas. São Paulo, SP: SBG, 191, 361-365.

ZUQUETTE, L. V., PEJON, O. J. e GANDOLFI, N. Sistemática para elaboração de cartas de riscos para fins de planejamento regional. In: Simpósio Latino Americano de Riesgo Geologico Urbano, 2, 1992, Pereria, Colombia. Memorias, 1992. v. 2, 525-541.

ZUQUETTE, L. V., PEJON, O. J., SINELLI, O., GANDOLFI, N. e SOUZA, N. C.D.C. Zonificación preliminar de los posibles riesgos y condiciones geotecnicas de la region nordeste del Estado de Sao Paulo (Brasil). In: Simposio Latino Americano de Riesgo Geologico Urbano, 2, 1992, Pereira, Colombia. Memorias, 1992. v. 1, 495-501.

ZUQUETTE, L. V. Algumas propostas metodológicas para elaboração de cartas de risco e de "hazards" In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 7, 1993, Poços de Caldas. Anais. São Paulo, SP: ABGE, 1993. 3, 75-88.

ZUQUETTE, L.V. 1993. Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração. Tese de Livre Docência, Escola de Engenharia de São Carlos São Carlos, USP, 2v.

ZUQUETTE, L. V. E PEJON, OSNI, J. Carta de zoneamento geotécnico geral da região de Franca-SP utilizando os critérios de Landforms. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 2, 1996, São Carlos, SP. Anais. São Carlos, SP: ABGE, 1996. v. 1, 10p.

ZUQUETTE, L.V. e NAKASAVA, V.A. 1998. Cartas de geologia de engenharia. In: A. M. S. Oliveira e S. N. A. Brito (eds). *Geologia de Engenharia*, ABGE, p.283-300.

ZUQUETTE, L.V. e NILSON G. 2004. Cartografia Geotécnica. Oficina de Textos, São Paulo, 190 p.

ANEXO I

- Mapa de Estruturas Geológicas.
- Mapa de Unidades Geológicas.
- Mapa de Unidades Morfológicas.
- Carta Pedológica.
- Carta de Áreas de Preservação Permanente de topo de morro e Unidades de Conservação Ambiental.
- Mapa de Pontos de Amostragem de Água da Bacia do Ribeirão do Carmo.
- Mapa Ocorrências das Substâncias Alumínio, Ferro e Manganês.
- Mapa do Índice de Qualidade das Águas – Método CETESB – Período Seco.
- Mapa do Índice de Qualidade das Águas – Método CETESB – Período de Chuva.
- Mapa do Índice de Qualidade das Águas – Método NSF – Período Seco.
- Mapa do Índice de Qualidade das Águas – Método NSF – Período de Chuva.
- Carta de Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Ribeirão do Carmo (Ano de 1986).
- Carta de Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Ribeirão do Carmo (Ano de 2006).
- Carta de Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Ribeirão do Carmo (Ano de 2014).
- Carta do Potencial Natural à Erosão.
- Carta de Perda de Solo.
- Carta de Suscetibilidade à Inundação.
- Carta de suscetibilidade à inundação – Método AHP.
- Carta de Feições Morfológicas e Cicatrizes de Movimentos de Massa.

- Carta de suscetibilidade à Deslizamentos da Porção Oeste da BHRC - Escala 1:25.000.
- Carta de Suscetibilidade à Deslizamentos da Porção Oeste da BHRC - Escala 1:50.000.
- Carta de Suscetibilidade à Deslizamentos da Porção Leste da BHRC - Escala 1:50.000.
- Carta de Suscetibilidade à Deslizamentos da BHRC.
- Carta de Suscetibilidade a Ocorrência de Queda e Rolamento de Blocos Rochosos.
- Carta de Suscetibilidade a Corridas de Massa e Enxurrada.
- Mapa de Perfis Geofísicos.
- Mapa de Pontos de Sondagem.
- Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização de parte da BHRC – Escala 1:5.000.
- Setores de Perigo de Deslizamento e Inundação - Sede do Município de Mariana – MG.
- Mapa de Histórico de Ocorrências de Deslizamentos e Inundações em Mariana – MG.

ANEXO II

Resultados dos ensaios de caracterização geotécnica e classificação dos materiais da área da sede de Mariana recuperados de Souza (2004) e Sobreira (2000).

Unidade	Amostra	% Argila	% Silte	% Areia	% Seixos	LL	LP	IP	γ sólido (g/cm ³)	Classificação SUCS
Cercadinho	AC1	11	31	55	3	37	NP	–	2,853	SM- Areia Siltosa
	AC2	09	37	52	2	NP	NP	–	2,872	SM- Areia Siltosa
	MC1	04	44	52	0	NP	NP	–	3,030	SM- Areia Siltosa
Barreiro	AB1	13	70	17	0	39,8	32,5	7,5	2,783	ML- Silte
	AB2	22	51	26	1	33	NP	–	2,947	CL ou ML - Silte/ Argila pouco plástica
	AB3	15	55	26	4	41	NP	–	2,911	CL ou ML - Silte/ Argila pouco plástica
	AB4	18	60	22	0	37	29,3	7,7	2,930	ML- Silte
Taboões	AT1	07	02	91	0	NP	NP	–	2,687	SP- Areia Mal Graduada
Sabará	AS1	15	28	57	0	35	NP	–	2,768	SM- Areia Siltosa
	AS2	27	21	52	0	47	NP	–	2,827	SC- Areia Argilosa
	AS3	15	33	50	2	35	NP	–	2,853	SM- Areia Siltosa
	AS4	15	36	31	18	38	NP	–	2,921	SM- Areia Siltosa
	MS1	20	48	32	0	41	25	16	2,550	CL- Argila Magra Arenosa
	MS2	17	30	53	0	NP	NP	–	2,720	SC/SM- Areia Argilo Siltosa
	AS5	18	31	49	2	36	NP	–	2,780	SM- Areia Siltosa
	AS6	23	22	53	2	42	NP	–	2,870	SM- Areia Siltosa
Tálus	MT1	43	06	48	03	39	28	11	2,450	SC - Areia Argilosa
	MT2	26	08	62	04	32	23	9	–	SC - Areia Argilosa
	MT3	12	09	77	02	NP	NP	–	2,800	SC - Areia Argilosa
Colúvio	ADC1	22	47	29	02	43	25	18	2,763	CL- Argila Pouco

										Plástica
	ADC2	18	45	37	03	42	27	15	2,787	CL- Argila Pouco Plástica
	MD1	18	47	34	01	44	24	20	2,950	CL- Argila Magra Arenosa
	MD2	33	16	50	01	41	25	16	3,010	SC - Areia Argilosa
	MD3	31	08	52	09	38	24	14	2,750	SC - Areia Argilosa
	MD4	48	07	44	01	40	25	15	2,610	CL- Argila Magra Arenosa
	MD5	32	10	58	00	NP	NP	NP	2,760	SC-SM- Areia Argilo Siltosa
	MD6	40	06	50	04	38	27	11	2,150	SC- Areia Argilosa
	MD7	32	18	48	02	38	22	16	2,710	CL- Argila Magra Arenosa
	MD8	35	11	51	03	44	29	15	2,570	SC- Areia Argilosa
	MD9	46	13	37	04	NP	NP	NP	_	SC-SM- Areia Argilo Siltosa
	MD10	58	05	35	02	74	41	33	_	MH- Silte Elástico Arenoso
	MD11	51	03	44	02	55	32	23	1,520	MH- Silte Elástico Arenoso

LL- Limite de Liquidez, LP - Limite de Plasticidade, IP - Índice de Plasticidade, γ (sólido) - Massa específica dos sólidos, NP- Não Plástico. OBS: As células hachuradas (azul) referem-se aos dados recuperados de Sobreira (2000).

ANEXO III

PESQUISA DE PERCEÇÃO DE RISCO

Esta sendo realizada em Mariana a identificação por meio de mapeamento das áreas de risco geológico e hidrológico em todo o município. Como resultado, busca-se a indicação das medidas necessárias para redução da situação de risco na cidade. Além do mapeamento das áreas de risco geológico e hidrológico, também está sendo realizada uma pesquisa para conhecer a percepção de risco dos moradores. Você poderá contribuir repassando a sua percepção em relação ao seu bairro e domicílio. Fique à vontade para responder o que pensa a respeito de cada uma das perguntas.

Desde já agradecemos pela sua colaboração!

Entrevistador: _____

Data: ____/____/____ N° Questionário: _____

Localização conforme mapeamento (Área, Setor, polígono etc.): _____

Área: 1. Urbana 2. Rural

1 – DADOS DO ENTREVISTADO.

A - Nome completo: _____

B - Endereço do domicílio:

Logradouro:	
Nº / Compl.:	CEP:
Bairro:	
Coordenada:	

C – Contatos:

Fone/Fixo:	Celular:
E-mail:	

9. Outros: _____

J - Qual a profissão/ocupação atual? _____

K - Esteve desempregado nos últimos cinco anos?

0. Não 1. Sim 2. Não soube informar/Não respondeu.

L - Você é a pessoa responsável pelo domicílio?

0. Não 1. Sim 2. Não soube informar/Não respondeu.

M - Quantas pessoas residem no domicílio? _____

N - Qual a renda familiar mensal?

1. Até 1 salário mínimo.
2. De 1 a 2 salários mínimos.
3. De 2 a 5 salários mínimos.
4. Acima de 5 salários mínimos.

O - Representação dentro do bairro/comunidade:

1. Liderança local formal (Membro da associação de moradores).
2. Membro de entidades, tais como: ONGs, OSCIPs ou demais associações filantrópicas.
3. Liderança local informal (não é membro de associações, mas é referência para os demais moradores nas discussões com o poder público).
4. Apenas morador.

P - Tempo de residência no bairro/comunidade atual: _____

Q - Por qual motivo mora neste bairro?

1. Localização (trabalho/escola).
2. Condições econômicas.
3. Relações familiares.
4. Condições de infraestrutura, paisagens naturais, conforto, etc.
5. Deslocados devido a desastres ou violência. (Decisão e recursos próprios).

D - Sexo:

1. Masculino
2. Feminino

E - Data de nascimento: ____/____/____

F - Escolaridade:

1. Não estudou.
2. Primeiro grau incompleto.
3. Primeiro grau completo.
4. Segundo grau incompleto.
5. Segundo grau completo.
6. Curso técnico.
7. Terceiro grau incompleto.
8. Terceiro grau completo.
9. Pós-graduação
10. Outros: _____

G - Naturalidade:

1. Nasceu no município.
2. Outro município: _____

H - Qual o último local que morou?

Bairro: _____ Município: _____

I - Situação atual do emprego:

1. Trabalha em empresa pública.
2. Trabalha em empresa privada.
3. Empresário/Micro empreendedor.
4. Autônomo/Profissional liberal.
5. Empregado doméstico.
6. Trabalha em casa sem remuneração.
7. Desempregado.
8. Aposentado.

6. Deslocados devido a desastres ou violência. (Decisão e recursos públicos – Reassentamentos, Programas Habitacionais).

7. Outros: _____

8. Não soube informar/Não respondeu.

2 – DADOS DO BAIRRO/COMUNIDADE/DOMICÍLIO

A - Condição da área:

1. Regularizada.
2. Não regularizada / Loteamento Clandestino.
3. Não regularizada / Invasão.
4. Não soube informar / Não respondeu.

B - Condição da propriedade:

1. Com Licença da Prefeitura.
2. Sem Licença da Prefeitura.
3. Não soube informar. / Não respondeu.

C - Tipo de domicílio:

1. Próprio, totalmente quitado.
2. Próprio, em financiamento.
3. Alugado.
4. Em usufruto / Ocupante.
5. Outros: _____
6. Não soube informar / Não respondeu.

D - De onde vem a água para o uso em seu domicílio?

1. Rede da Prefeitura.
2. Rede não oficial.
3. Nascente.
4. Outros: _____
5. Não soube informar / Não respondeu.

E - Para onde vai o esgoto do seu domicílio?

1. Canalizado / Rede da Prefeitura.
2. Rede não oficial.
3. Fossa.
4. Lançamento em superfície / a céu aberto.
5. Outros: _____
6. Não soube informar/Não respondeu.

F - Materiais predominantes nas paredes do seu domicílio?

1. Refugo (plástico, papelão, etc.).
2. Pau a pique ou Taipa.
3. Madeira.
4. Alvenaria.
5. Metal.
6. Pré-moldado.
7. Outro: _____
8. Não soube informar/Não respondeu.

3 - PERCEPÇÕES A RESPEITO DO RISCO

A - Já ouviu falar alguma vez em risco geológico (deslizamento de solo ou rocha) e hidrológico (inundações e alagamentos)?

0. Não 1. Sim

B - Tem lembrança de algum deslizamento de solo ou rocha ocorrido no seu bairro / comunidade?

0. Não 1. Sim

Se não, salte para a questão F.

C - Quando ocorreram (marcar os anos):

G - Quando ocorreram (marcar os anos):

Antes de 1995	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015

H - Aponte como esses problemas afetaram o bairro/comunidade.

1. Attingimento de edificações (Domicílios, comércios, prédios públicos, etc.).
2. Interrupção de vias.
3. Envolvimento de vítimas com óbito.
4. Envolvimento de vítimas sem óbito.
5. Perda de bens patrimoniais.
6. Necessidade de famílias deixarem seus domicílios.
7. Outros: _____
8. Não soube informar/Não respondeu.

I - Por que você acha que esses problemas ocorreram?

1. Fortes chuvas.
2. Construções em área de risco.
3. Desmatamentos.
4. Falta de infraestrutura e urbanização.
5. Falta de fiscalização.
6. Fatores relacionados as condições estruturais do imóvel ou a forma de ocupação.
7. Acúmulo de lixo nos rios, córregos ou sistemas de drenagem e esgoto.
8. Outros: _____
9. Não soube informar/Não respondeu.

J - Você já realizou alguma ação no seu domicílio ou no seu bairro/comunidade com o objetivo de evitar os problemas relacionados a deslizamentos e inundações?

Antes de 1995	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015

D - Aponte como esses problemas afetaram o bairro / comunidade:

1. Attingimento de edificações (Domicílios, comércios, prédios públicos, etc.).
2. Interrupção de vias.
3. Envolvimento de vítimas com óbito.
4. Envolvimento de vítimas sem óbito.
5. Perda de bens patrimoniais.
6. Necessidade de famílias deixarem seus domicílios.
7. Outros: _____
8. Não soube informar / Não respondeu.

E - Por que você acha que esses problemas ocorreram?

1. Fortes chuvas.
2. Construções em área de risco.
3. Desmatamentos.
4. Falta de infraestrutura e urbanização.
5. Falta de fiscalização.
6. Fatores relacionados as condições estruturais do imóvel ou a forma de ocupação.
7. Acúmulo de lixo nos rios, córregos ou sistemas de drenagem e esgoto.
8. Outros: _____
9. Não soube informar/Não respondeu.

F - Tem lembrança de Inundações ou Alagamentos no bairro/comunidade?

0. Não 1. Sim

Se não, salte para a questão J.

0. Não 1. Sim 2. Não soube informar/Não respondeu.

Se sim, qual (is) ação (ões)?

1. Construção do domicílio conforme orientações técnicas.
2. Obras de contenção.
3. Obras nos sistemas de drenagem e esgoto.
4. Ações individuais ou coletivas relacionadas ao descarte adequado do lixo, limpeza do sistema de drenagem, esgoto, ruas, córregos ou rios, colocação de lonas, orientação a comunidade.
5. Outros: _____
6. Não soube informar/Não respondeu.

K - De quem você acredita ser a responsabilidade sobre os deslizamentos de solo ou rocha, inundações e alagamentos?

1. Moradores.
2. Poder público.
3. Natureza.
4. Outros: _____
5. Não soube informar/Não respondeu.

L - De acordo com a sua percepção, atualmente a chance de acontecer um evento relacionado a deslizamento de solo ou rocha, inundações e alagamento em seu bairro/comunidade é?

1. Nula (Não existe chance do evento acontecer).
2. Baixa.
3. Mediana.
4. Alta.
5. Muito Alta.
6. Não soube informar / Não respondeu.

M - Você vê solução para os problemas de riscos identificados em seu bairro/comunidade?

0. Não 1. Sim 2. Não se aplica.

Se sim, qual (is) solução (ões)?

1. Remoções.
2. Obras de contenção.
3. Obras nos sistemas de drenagem e esgoto.
4. Fiscalização.
5. Conscientização da população.
6. Melhoria das ações do poder público.
7. Outros: _____

N - Considera que seu domicílio está localizado em um local de risco?

0. Não 1. Sim 2. Não soube informar/Não respondeu.

Se sim, que tipo de risco?

1. Geológico.
2. Hidrológico.
3. Outros: _____
4. Não soube informar/Não respondeu.

O - A mídia local (televisão, jornais, etc.) fornece informações sobre a prevenção de riscos?

0. Não 1. Sim 2. Não soube informar/Não respondeu.

Se sim, que tipo de informações são fornecidas?

1. Previsão do tempo.
2. Contatos da Defesa Civil/Corpo de bombeiros.
3. Divulgação de tragédias ocorridas.
4. Descarte adequado do lixo.
5. Identificação das situações de risco solicitando a observação de trincas/rachaduras nas paredes e pisos, inclinação de árvores.
6. O que fazer em situações de risco.

7. Perigo de contaminações em caso de inundações.
8. Necessidade de mudança de hábitos e costumes para a redução dos riscos.
9. Preservação ambiental.
10. Outros: _____
11. Não soube informar / Não respondeu.

P - Você conseguiu colocar em prática as informações fornecidas?

0. Não 1. Sim 2. Não se aplica.

Se sim, de que forma?

1. Preservação do meio ambiente.
2. Descarte adequado do lixo.
3. Seguindo orientações técnicas durante a construção de imóveis.
4. Atenção aos sinais de perigo e evacuação da área em casos de emergência.
5. Solicitando a ação do poder público.
6. Realização de obras de contenção.
7. Realização de obras no sistema de drenagem e esgoto.
8. Conscientização dos demais moradores.
9. Outros: _____
10. Não soube informar/Não respondeu.

Q - Avalie, de acordo com a sua percepção, o grau de influência das seguintes ações sobre situações de risco:

Ações	Graus de influência sobre situações de risco					
	Nenhum 1	Baixo 2	Médio 3	Alto 4	Muito Alto 5	Não soube 6
1. Construção em encosta (morro)						
2. Construção próxima a rios e córregos (<30m)						
3. Construção próxima a paredões e blocos de rochas (pedras)						
4. Construção sobre aterros ou próximo deles						
5. Construção próxima (< 3m) a barrancos (taludes)						
6. Presença de lixo e entulho						
7. Presença de bananeiras						
8. Retirada da vegetação						
9. Existência de trincas no terreno						
10. Existência de trincas nos domicílios						
11. Existência de muros e paredes embarrigados						
12. Inclinação de árvores e postes						
13. Falta de calhas nos telhados						
14. Lançamento de água dos tanques, pias e calhas diretamente no terreno.						
15. Lançamento de esgoto diretamente no terreno						

R - Se você tivesse que morar próximo a um rio, a que distância você acha que estaria seguro em relação a possíveis inundações?

1. 1 a 10 metros.
2. 10 a 30 metros.
3. 30 a 50 metros.
4. 50 a 100 metros.
5. 100 a 200 metros.

6. Acima de 200 metros.
7. Não soube informar / Não respondeu.

S - Você conhece alguma lei que aponta em que lugares das encostas (morros) e próximos a rios e córregos é proibido construir?

0. Não 1. Sim

Se sim, como conheceu esta Lei e o que acha dela?

4 – PARTICIPAÇÃO SOCIAL EM RELAÇÃO AO RISCO

A - Você tem conhecimento de ações realizadas pelo poder público municipal (Prefeitura) sobre prevenção ou minimização de situações de risco no seu bairro/comunidade?

0. Não 1. Sim

B - Em seu bairro existe algum trabalho de mobilização com os moradores (divulgação de informações, treinamentos, reuniões) a respeito da prevenção de problemas de risco?

0. Não 1. Sim 2. Não soube informar/Não respondeu.

C - Existe alguma entidade formal (Associação de moradores) que represente os interesses do seu bairro/comunidade?

0. Não 1. Sim 2. Não soube informar/Não respondeu.

D - Existe alguma discussão entre as entidades locais (Associação de moradores, Igrejas ou outras) a respeito dos problemas de risco?

0. Não 1. Sim 2. Não soube informar/Não respondeu.

E - Você acha que as famílias estão preocupadas com as situações de risco do seu bairro/comunidade?

0. Não 1. Sim 2. Não soube informar/Não respondeu.

F - Em caso de emergência, você conhece alguma rota de evacuação?

0. Não 1. Sim

G - Em caso de emergência, você conhece algum local seguro perto de onde você mora (edifício ou equipamento público)?

0. Não 1. Sim

Se sim, como é o acesso até esse local?

1. Fácil
2. Difícil

H - Em algumas regiões, existem Sistemas de Alerta através dos quais a população pode ser informada com certa antecedência quanto à previsão de chuvas muito fortes, possibilidade de inundações, deslizamentos e etc. Você já ouviu falar algo sobre esses sistemas?

0. Não 1. Sim

I - Existe algum Sistema de Alerta de situações de risco (Formal ou Informal) utilizado no seu bairro/comunidade?

0. Não 1. Sim 2. Não soube informar/Não respondeu.

J - Caso algum sistema de alerta indique Situação de Emergência, você sairia preventivamente do domicílio?

0. Não 1. Sim 2. Não soube informar/Não respondeu.

K - Segundo o Estatuto das Cidades, o Plano Diretor é o conjunto de princípios e regras orientadoras das ações que devem ser seguidas para as construções dos domicílios nos espaços urbanos. Você conhece o Plano Diretor do seu Município e as regras para a construção de domicílios?

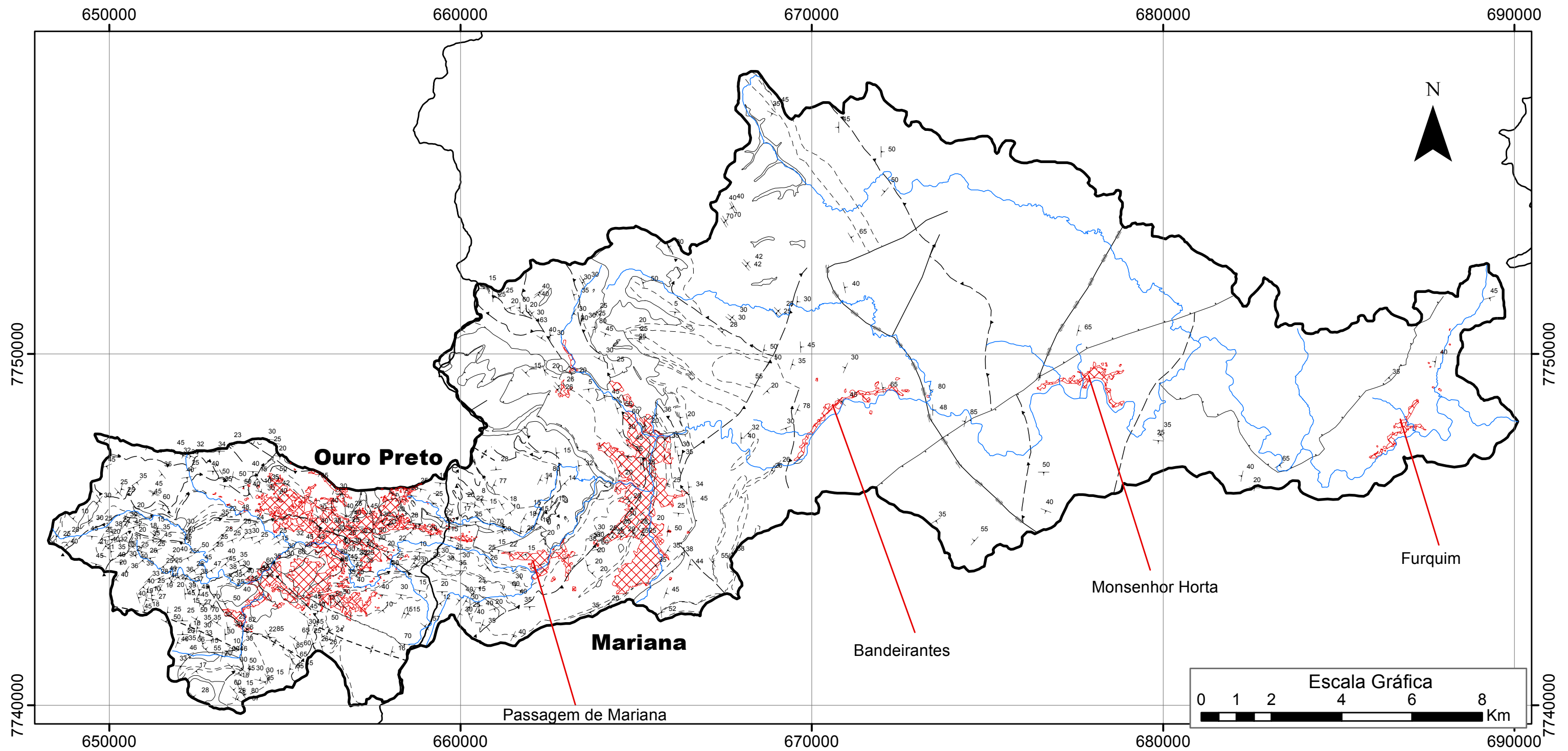
0. Não 1. Sim

Se sim, o que você se lembra em relação as regras para a construção de novos domicílios?

L - Para planejar ações que possam reduzir os riscos geológicos e hidrológicos, os municípios precisam contar com um Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR). Você tem algum conhecimento sobre esse plano no seu município?

0. Não 1. Sim

M - Existe algum ponto que não foi abordado no questionário e que você gostaria de registrar?

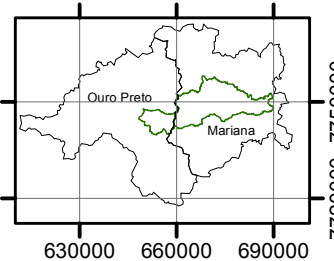
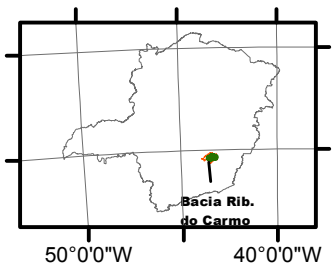


Mapa de Estruturas Geológicas

Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Córrego Alegre
 Zona: 23S

Fontes:
 CPRM - 1993 / CODEMIG - 2005

Localização



Legenda:

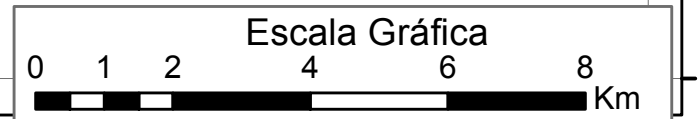
- Rios Principais
- Ocupações Urbanas
- Limite da Bacia do Rib. do Carmo
- Limites Municipais

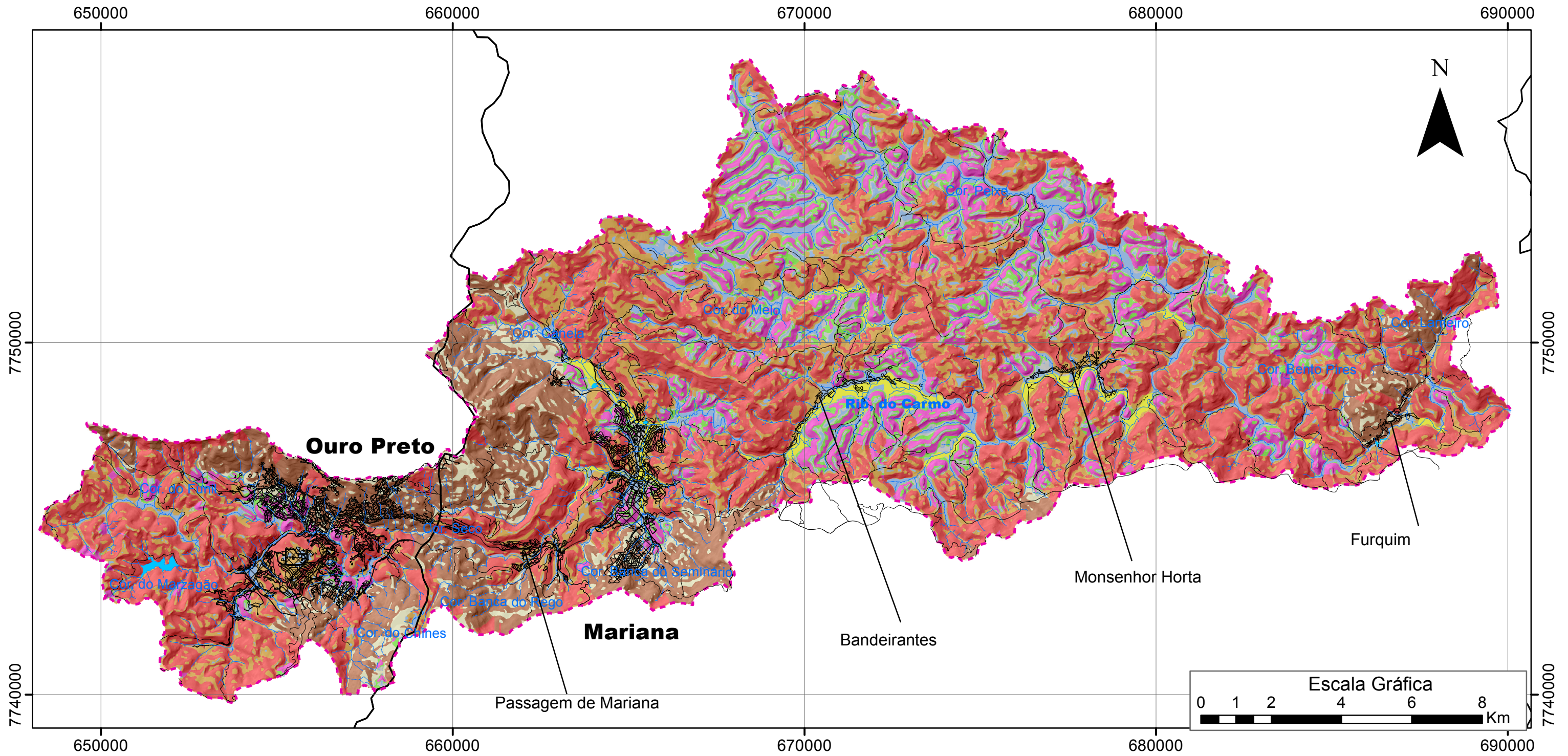
Foliações

- Foliação

Linhas Estruturais

- Contato Geológico Aproximado
- Contato Geológico Definido
- Falha Transcorrente Dextral Aproximada
- Falha de Empurrão Aproximada
- Falha de Empurrão Definida
- Falha Indiscriminada Aproximada
- Falha Indiscriminada Definida
- Traço Axial Aproximado de Anticlinal Normal
- Traço Axial Aproximado de Sinclinal Normal

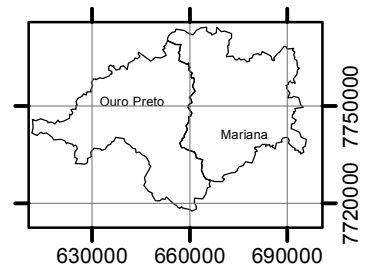
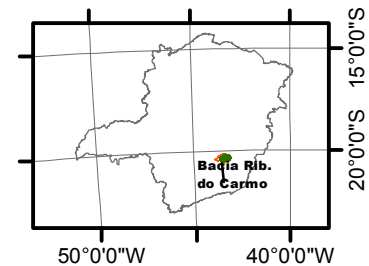




Mapa de Unidades Morfológicas

Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Córrego Alegre
 Zona: 23S

Localização

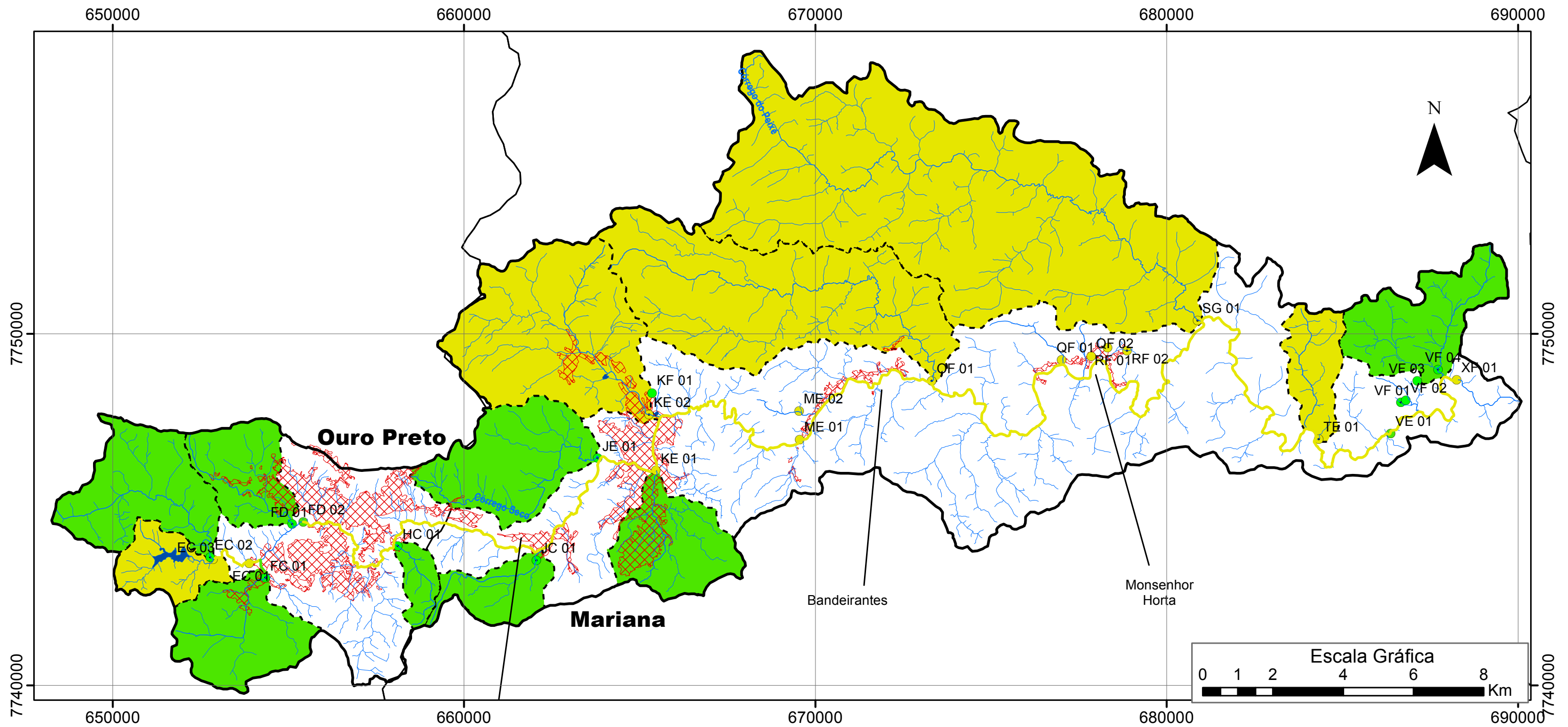


Legenda:

- Vias Gerais da Bacia
- ~ Rede de Drenagem
- ▣ Ocupações Urbanas
- ☁ Lagos
- ⋯ Limite da Bacia do Rib. do Carmo
- ⊕ Limites Municipais

Unidades Morfológicas

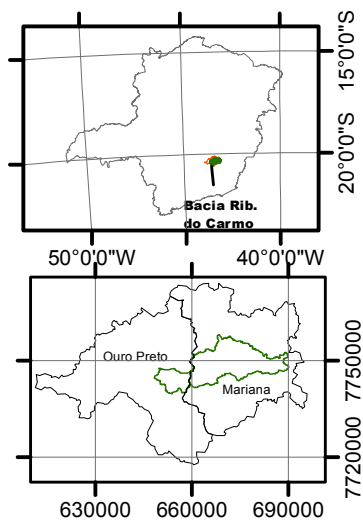
- ☐ Suave a Plano
- ☐ Rampa
- ☐ Colina
- ☐ Morrotes
- ☐ Morros com Vertentes Suaves
- ☐ Morro
- ☐ Suave a Plano de Alta Altitude
- ☐ Montanhoso



Mapa do índice de Qualidade das Águas – Método CETESB – Período de Chuva

Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Córrego Alegre
 Zona: 23S

Localização



Legenda:

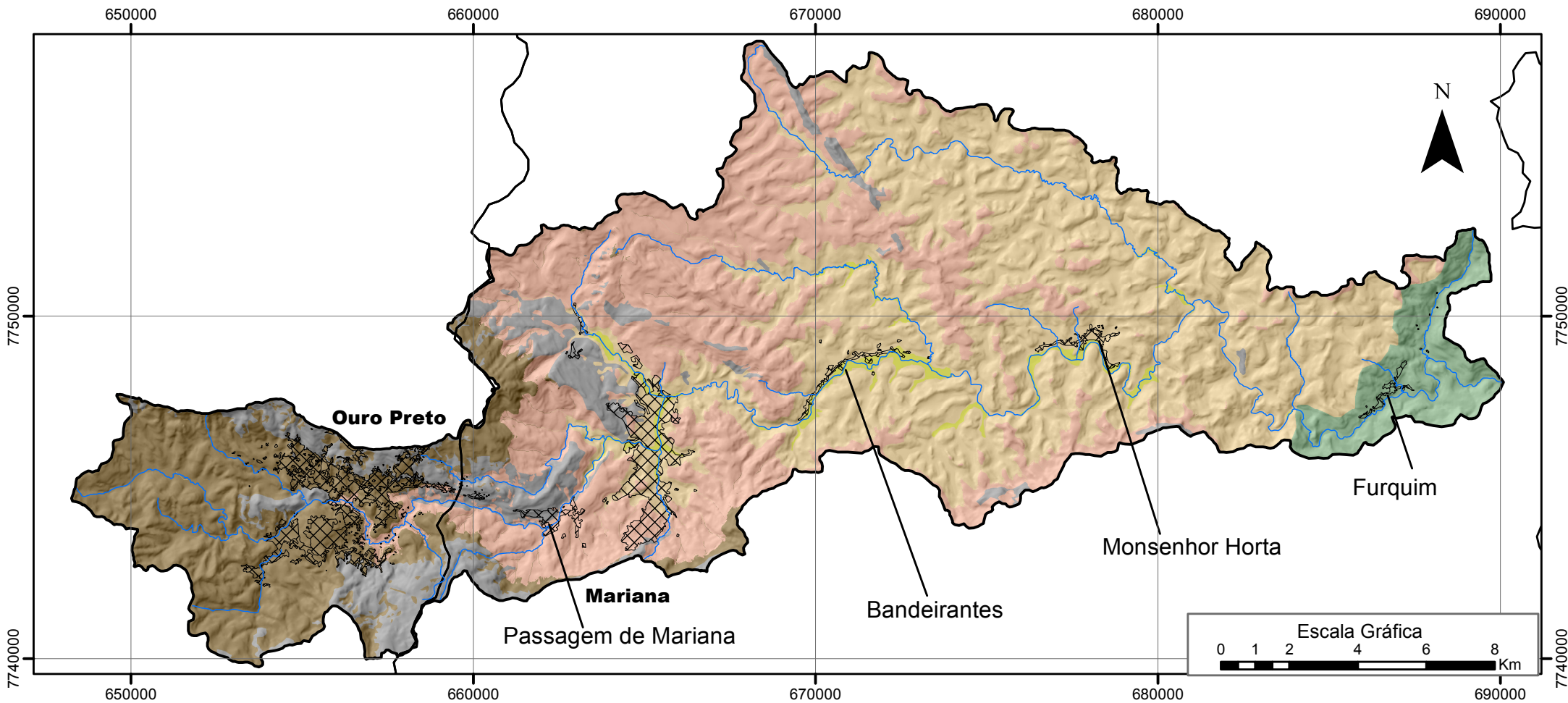
- Rede de Drenagem
- Lagos
- Ocupações Urbanas
- Limite da Bacia do Rib. do Carmo
- Limites Municipais

Pontos de Amostragem

- Qualidade Boa
- Qualidade Regular

Resultados IQA - CETESB Período de Chuva

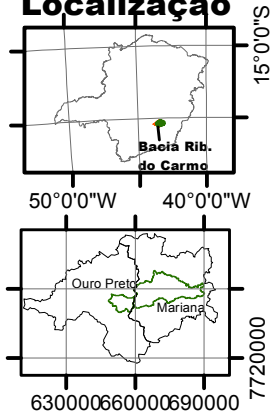
- Trecho Qualidade Boa
 - Trecho Qualidade Regular
- Bacias Metodologia CETESB**
- Boa
 - Regular



Carta Pedológica

Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Córrego Alegre
 Zona: 23S

Localização

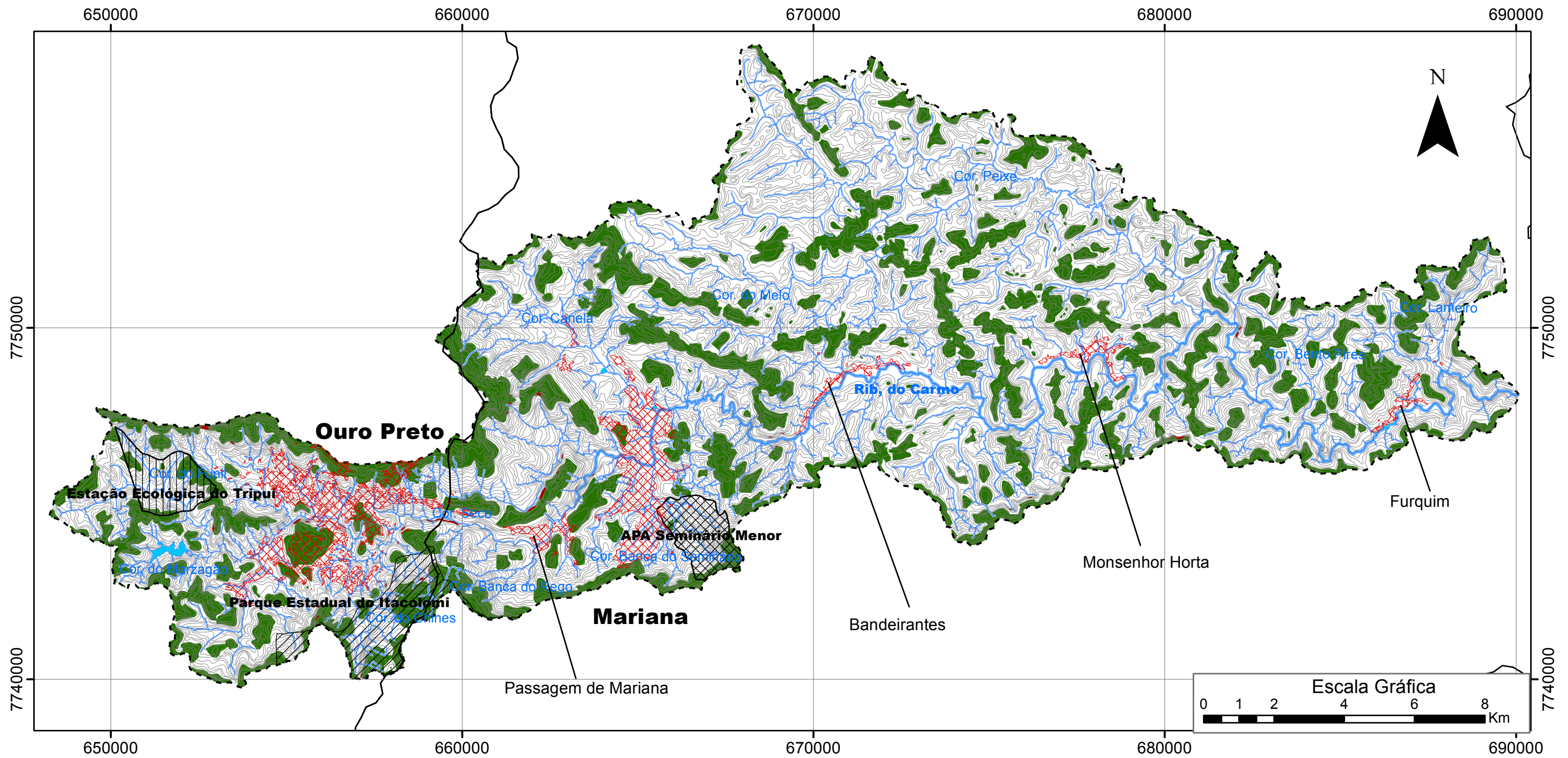


Legenda:

- Rios Principais
- Ocupações Urbanas
- Limite da Bacia do Rib. do Carmo
- Municípios

Unidades Pedológicas

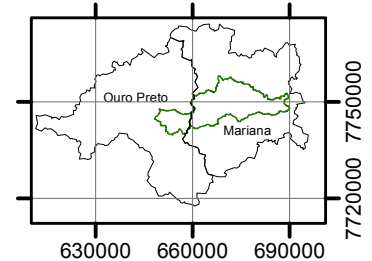
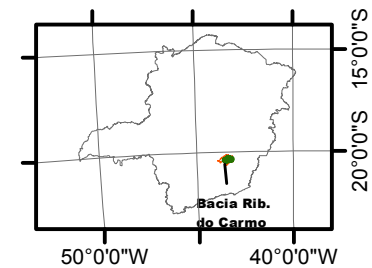
- Latossolos-Argissolos
- Afloramentos Rochosos
- Cambissolos
- Neossolos flúvicos
- Neossolos litólicos
- Argissolos



Carta de Áreas de Preservação Permanente de topo de morro e Unidades de Conservação Ambiental

Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Córrego Alegre
 Zona: 23S

Localização



Legenda:

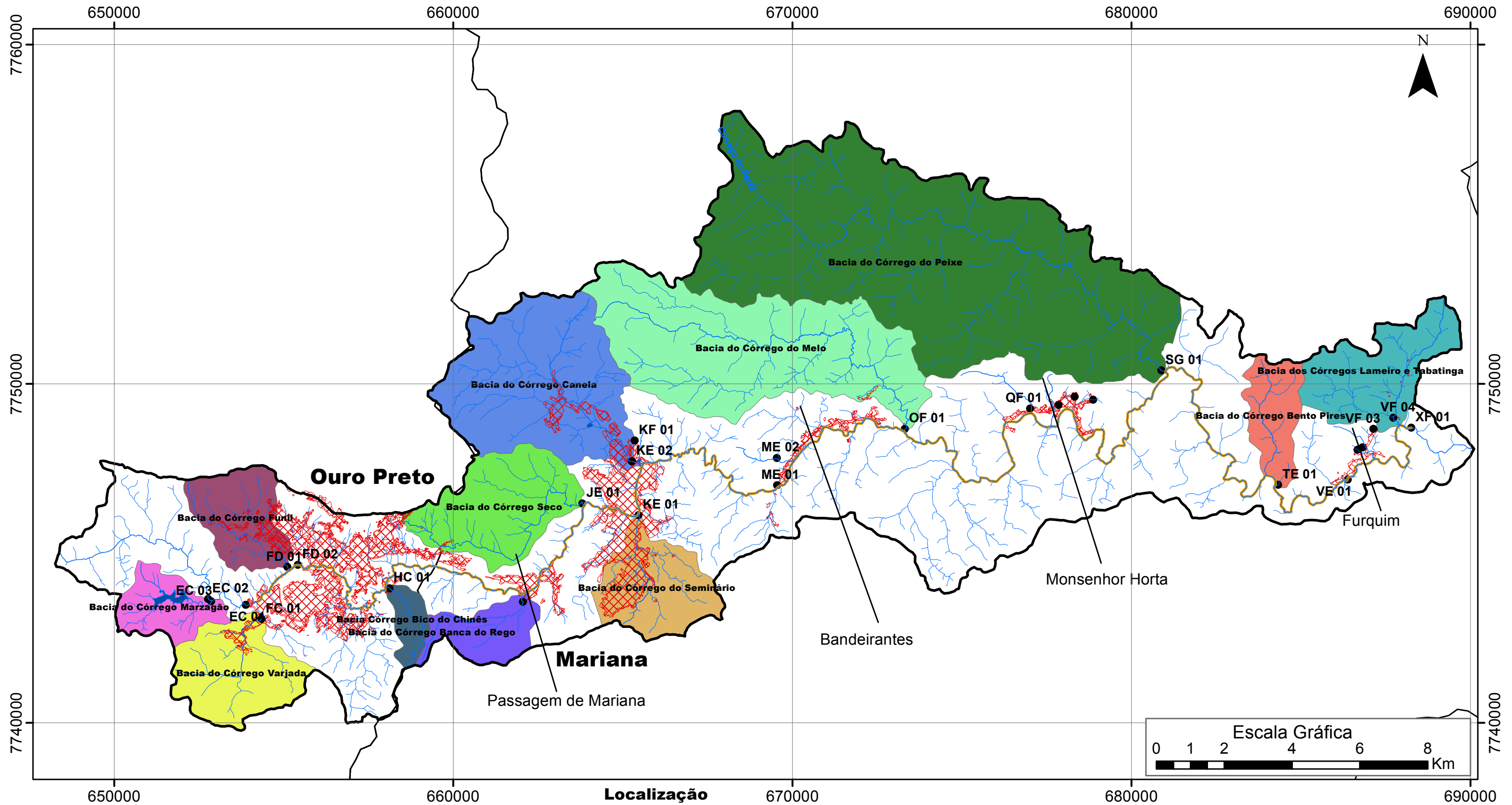
- Curvas de Nível
- Rede de Drenagem
- Lagos
- Ocupações Urbanas
- Limite da Bacia do Rib. do Carmo
- Limites Municipais

APPs

- APP curso d'água (30m)
- APP Ribeirão do Carmo (50m)
- APP Declividade > 100%
- APP Topo de Morro

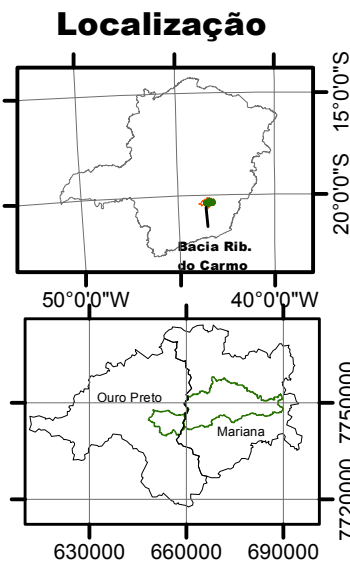
Unidades de Conservação

- APA Seminário Menor
- Estação Ecológica do Tripuí
- Parque do Itacolomi



Mapa de Pontos de Amostragem de Água da Bacia do Ribeirão do Carmo

Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Córrego Alegre
 Zona: 23S

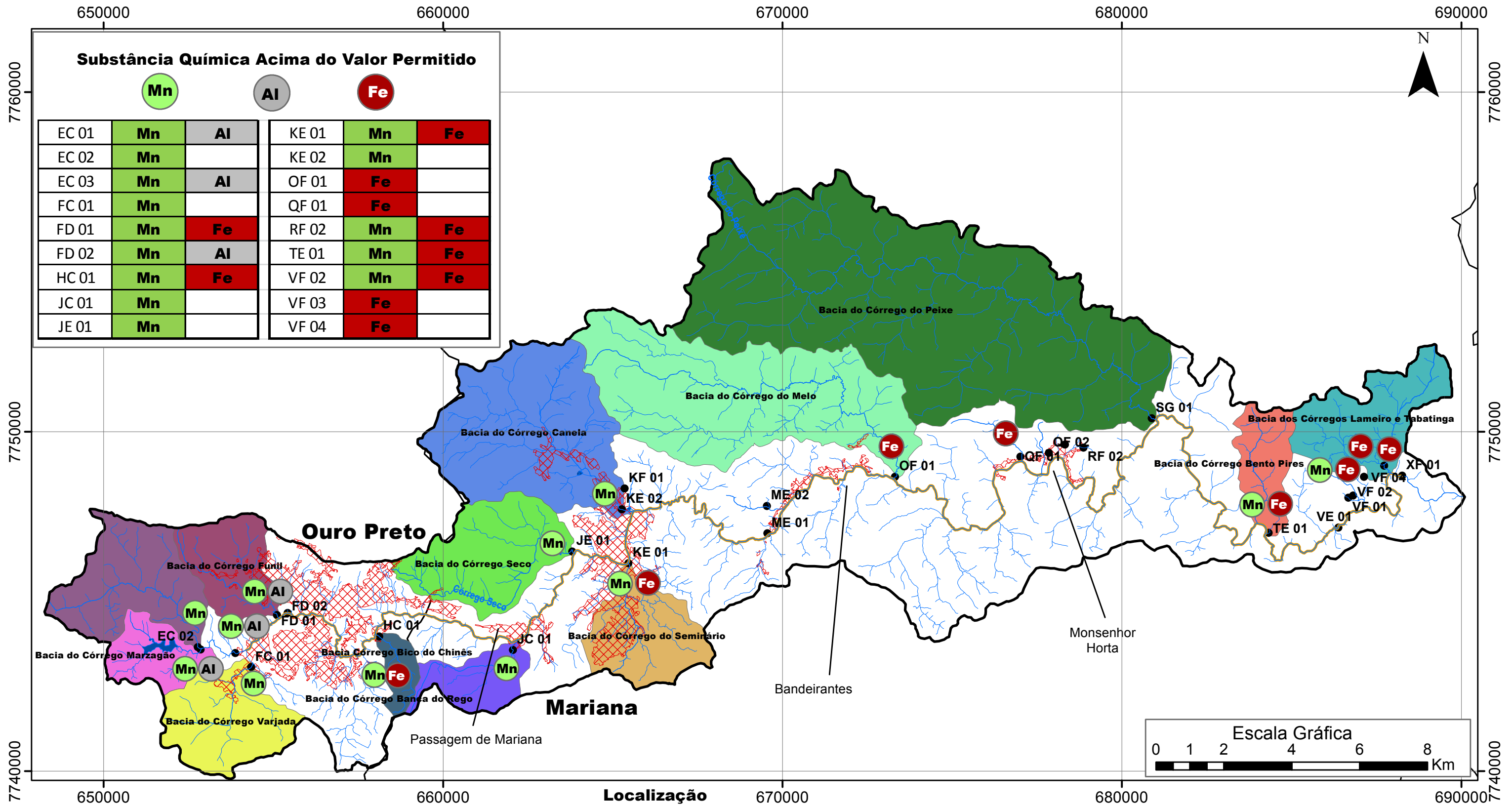


Legenda:

- Pontos Amostragem Final
- ~ Rede de Drenagem
- ☪ Lagos
- ▨ Ocupações Urbanas
- ⬭ Limite da Bacia do Rib. do Carmo
- ⊕ Limites Municipais

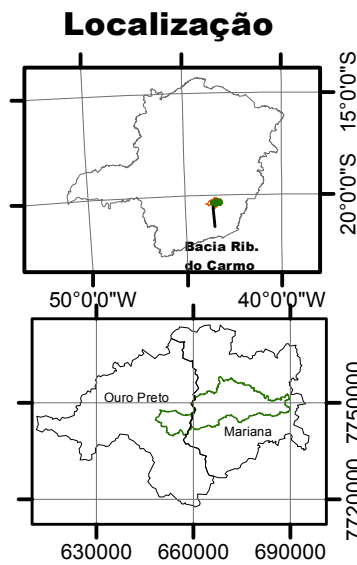
Bacias Interiores

- | | |
|----------------------------------|--|
| ☐ Bacia Córrego Bico do Chinês | ☐ Bacia do Córrego Seco |
| ☐ Bacia do Córrego Banca do Rego | ☐ Bacia do Córrego Varjada |
| ☐ Bacia do Córrego Bento Pires | ☐ Bacia do Córrego do Melo |
| ☐ Bacia do Córrego Canela | ☐ Bacia do Córrego do Peixe |
| ☐ Bacia do Córrego Funil | ☐ Bacia do Córrego do Seminário |
| ☐ Bacia do Córrego Marzagão | ☐ Bacia dos Córregos Lameiro e Tabatinga |



Mapa Ocorrências das substâncias Alúmino, Ferro e Manganês

Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Córrego Alegre
 Zona: 23S

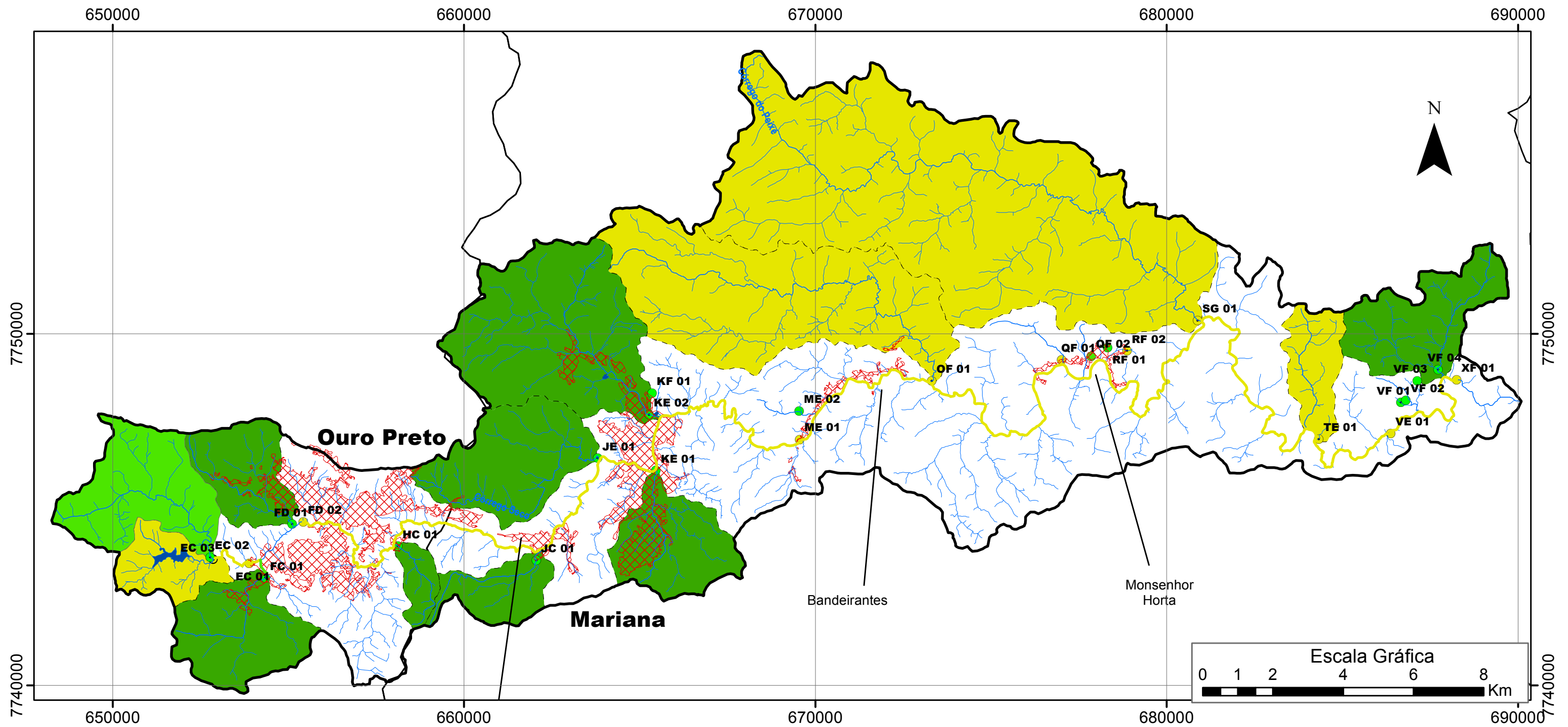


Legenda:

- Pontos Amostragem Final
- ~ Rede de Drenagem
- 🌊 Lagos
- 🏠 Ocupações Urbanas
- 🗺 Limite da Bacia do Rib. do Carmo
- 🏞 Limites Municipais

Bacias

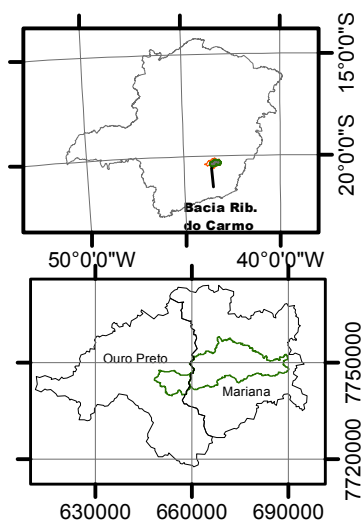
- 🟦 Bacia Córrego Bico do Chinês
- 🟪 Bacia do Córrego Banca do Rego
- 🟠 Bacia do Córrego Bento Pires
- 🟡 Bacia do Córrego Canela
- 🟣 Bacia do Córrego Funil
- 🟡 Bacia do Córrego Marzagão
- 🟢 Bacia do Córrego Seco
- 🟨 Bacia do Córrego Varjada
- 🟩 Bacia do Córrego do Melo
- 🟤 Bacia do Córrego do Peixe
- 🟧 Bacia do Córrego do Seminário
- 🟠 Bacia dos Córregos Lameiro e Tabatinga



Mapa do índice de Qualidade da BHRC – Método CETESB – Período de Seco

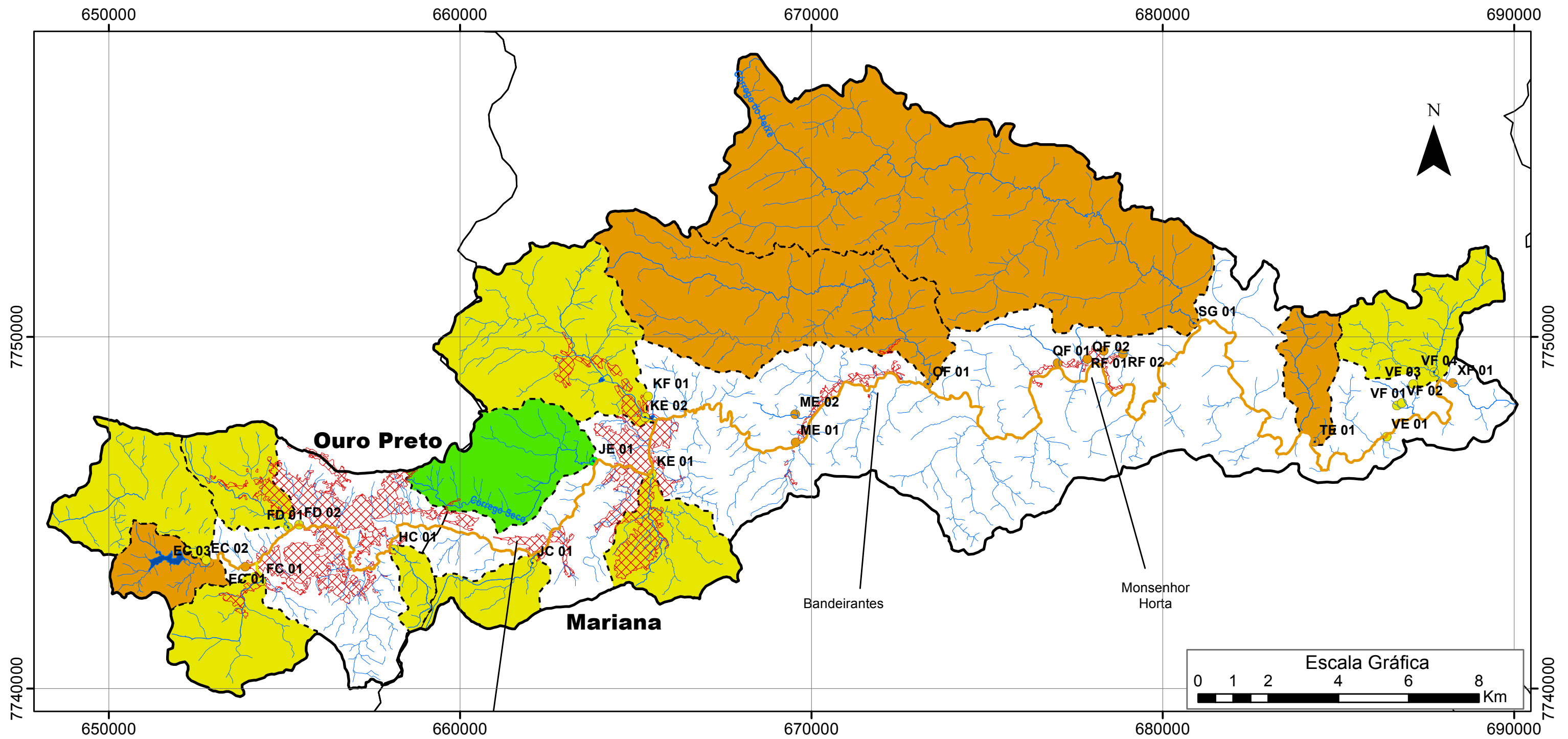
Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Córrego Alegre
 Zona: 23S

Localização



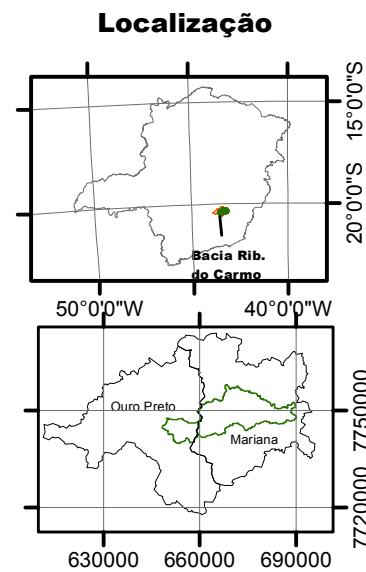
Legenda:

- | | | |
|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|
| Rede de Drenagem | Pontos de Amostragem | Resultados IQA - CETESB |
| Lagos | Qualidade Boa | Período de Seco |
| Ocupações Urbanas | Qualidade Regular | Trecho Qualidade Boa |
| Limites Municipais | | Trecho Qualidade Regular |
| Limite da Bacia do Rib. do Carmo | | Bacias Metodologia CETESB |
| | | Qualidade |
| | | Boa |
| | | Regular |



Mapa do índice de Qualidade das Águas – Método NSF – Período Chuva

Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Córrego Alegre
 Zona: 23S



Legenda:

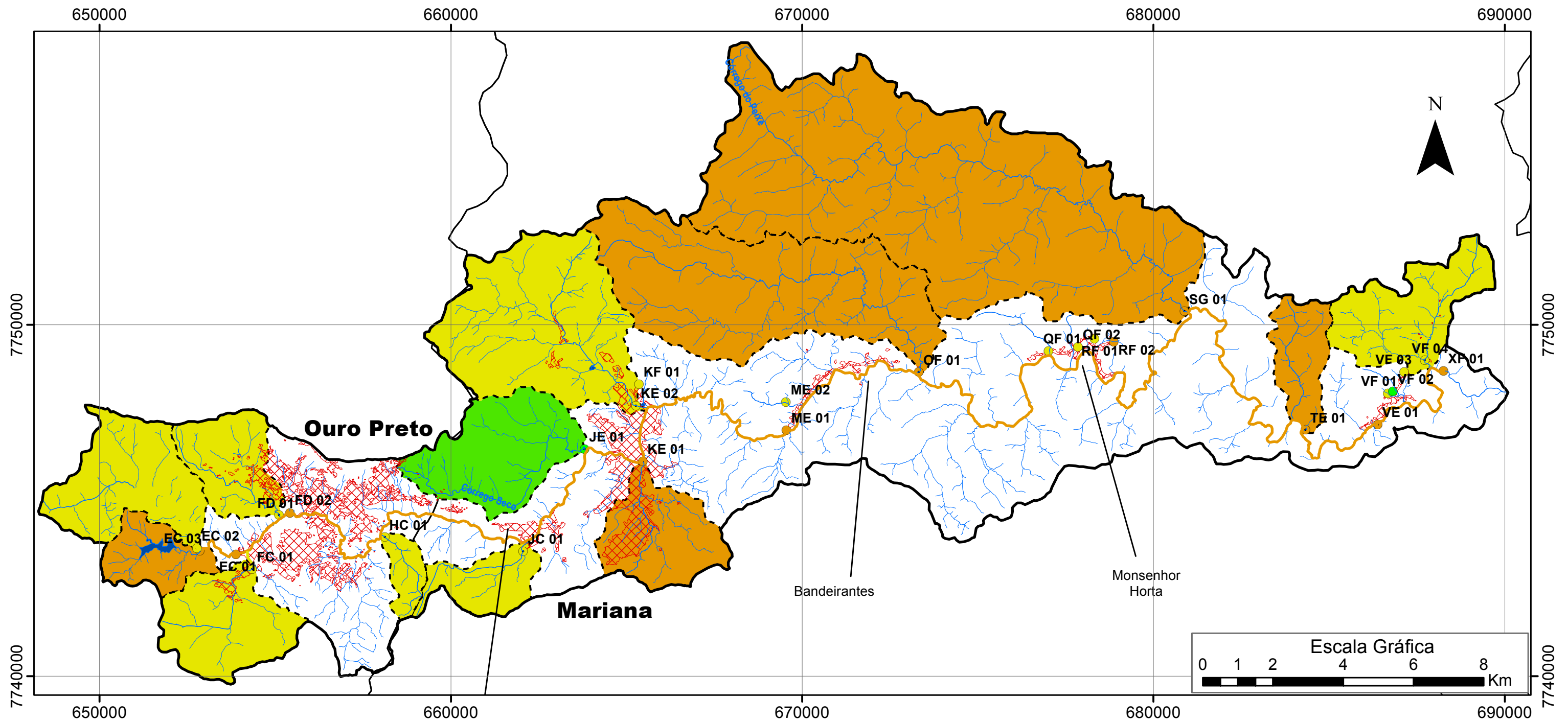
- Rede de Drenagem
- Lagos
- Ocupações Urbanas
- Limite da Bacia do Rib. do Carmo
- Limites Municipais

Pontos de Amostragem

- Qualidade Boa
- Qualidade Média
- Qualidade Ruim

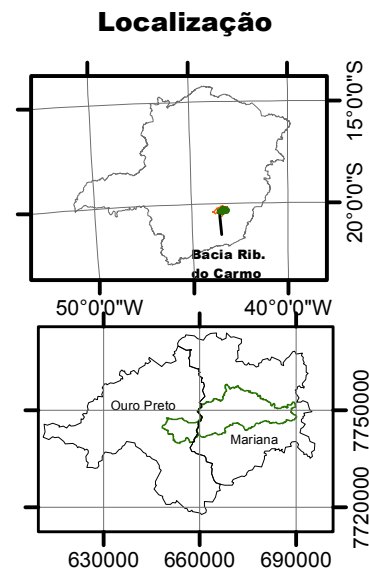
Resultados IQA - NSF Período Chuva

- Trecho Qualidade Média
- Trecho Qualidade Ruim
- Bom
- Média
- Ruim



Mapa do índice de Qualidade das Águas – Método NSF – Período Seco

Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Córrego Alegre
 Zona: 23S



Legenda:

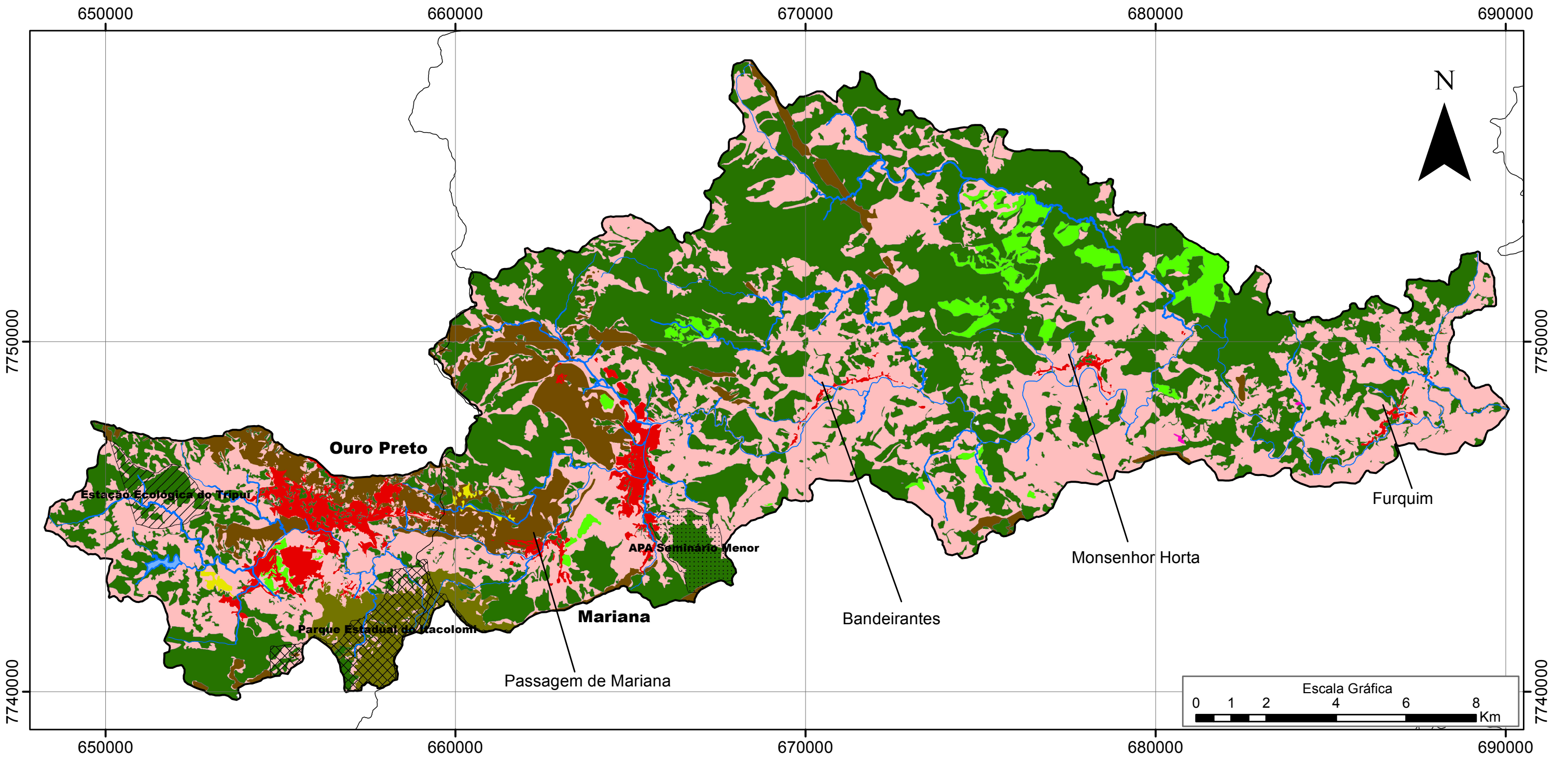
- Limite da Bacia do Rib. do Carmo
- Rede de Drenagem
- Lagos
- Ocupações Urbanas
- Limites Municipais

Pontos de Amostragem

- Qualidade Boa
- Qualidade Média
- Qualidade Ruim

Resultados IQA - NSF Período Seco

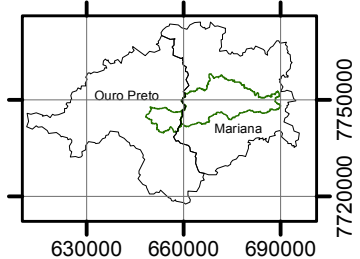
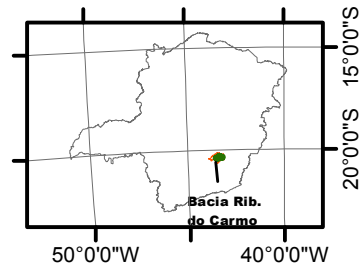
- Trecho Qualidade Média
- Trecho Qualidade Ruim
- Bom
- Média
- Ruim



Carta de Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Ribeirão do Carmo (Ano de 1986)

Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Córrego Alegre
 Zona: 23S

Localização

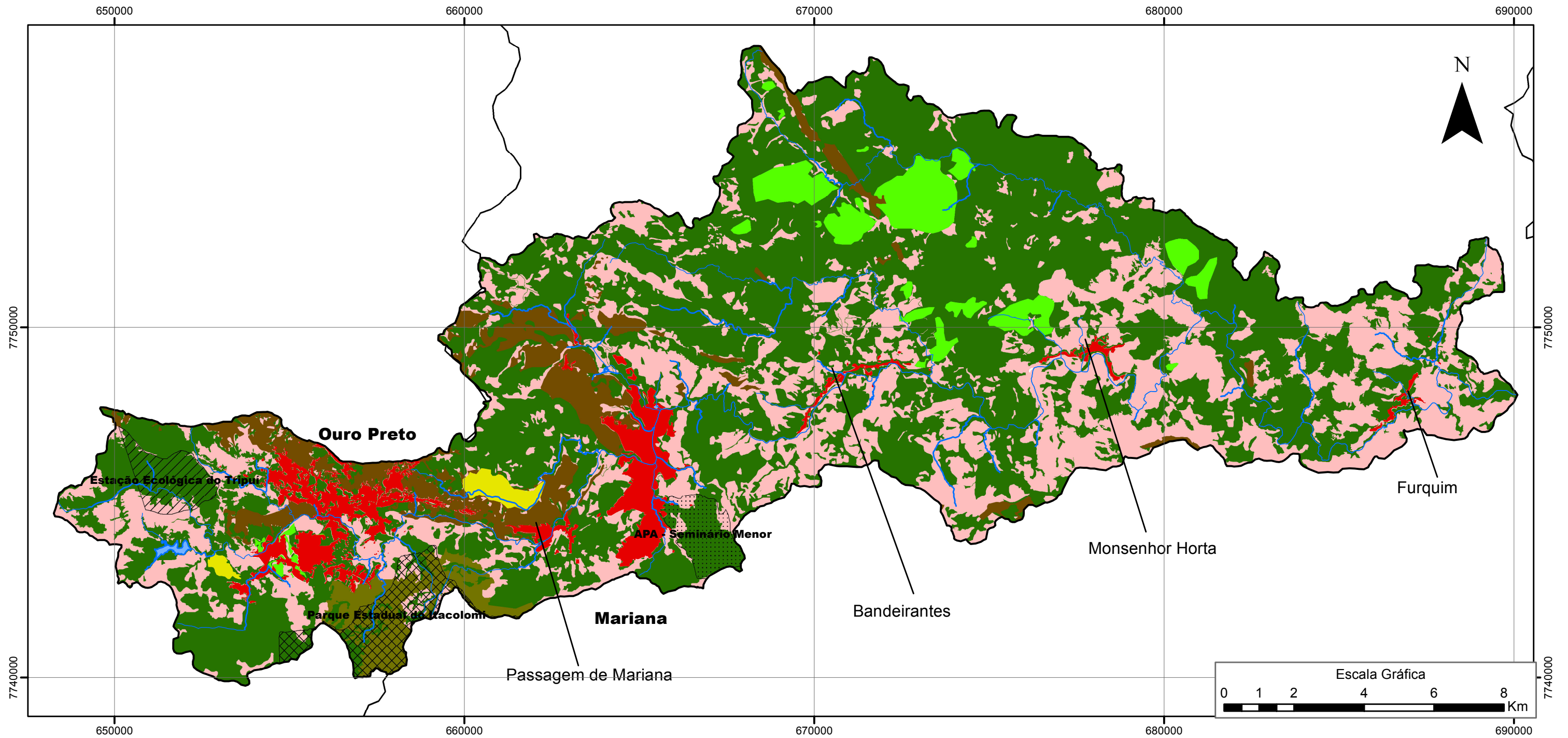


Legenda:

- Rios Principais
- Lagos
- Limite da Bacia do Rib. do Carmo
- Limites Municipais

Usos do Solo

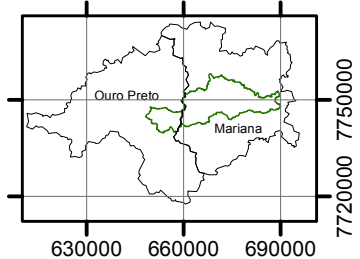
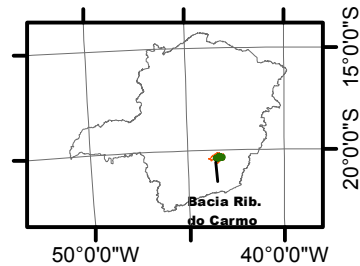
	Área	
	km ²	ha
Área Urbana	9,6	969,3
APA - Seminário Menor	3,5	350,0
Parque Estadual do Itacolomi	6,6	665,2
Estação Ecológica Tripuí	3,37	337,0
Campo/Solo Exp./Pastagem	127,4	12745,2
Silvicultura	8,5	850,1
Campo Rupestre	7,4	742,0
Cobertura Vegetal Secundária	147,1	14719,8
Agricultura	0,05	5,5
Afloramento Rochoso	21,5	2156,1
Mineração	0,5	51,4



Carta de Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Ribeirão do Carmo (Ano de 2006).

Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Córrego Alegre
 Zona: 23S

Localização

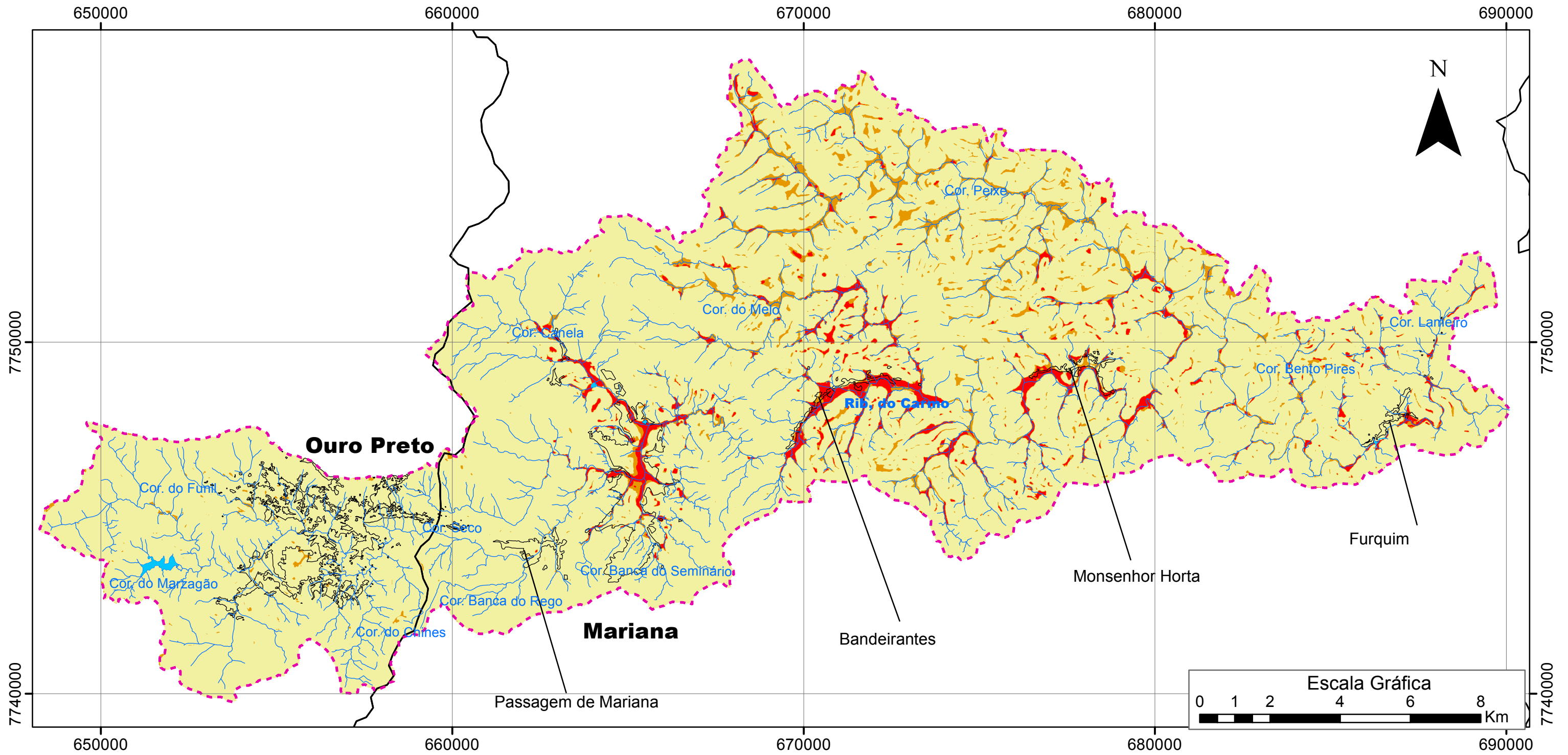


Legenda:

- Rios Principais
- Lagos
- Limite da Bacia do Rib. do Carmo
- Limites Municipais

Usos do Solo

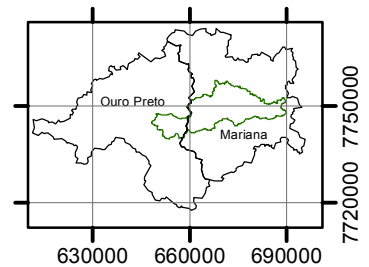
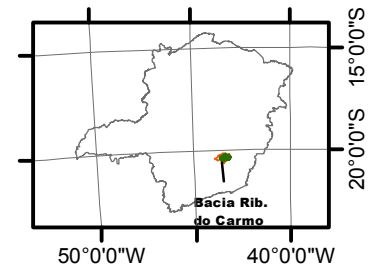
	Área	
	km ²	ha
Ocupações Urbanas	13,6	1360,7
APA - Seminário Menor	3,5	350,0
Parque Estadual do Itacolomi	6,6	665,2
Estação Ecológica do Tripuí	3,37	337,0
Campo/Solo Exp./Pastagem	90,0	9009,7
Cobertura Vegetal Secundária	178,5	17853,1
Silvicultura	11,6	1162,1
Campo Rupestre	6,5	656,8
Afloramento Rochoso	20,3	2034,8
Mineração	1,8	180,4








Carta de Suscetibilidade à Inundação - Método AHP

Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Córrego Alegre
 Zona: 23S




Localização

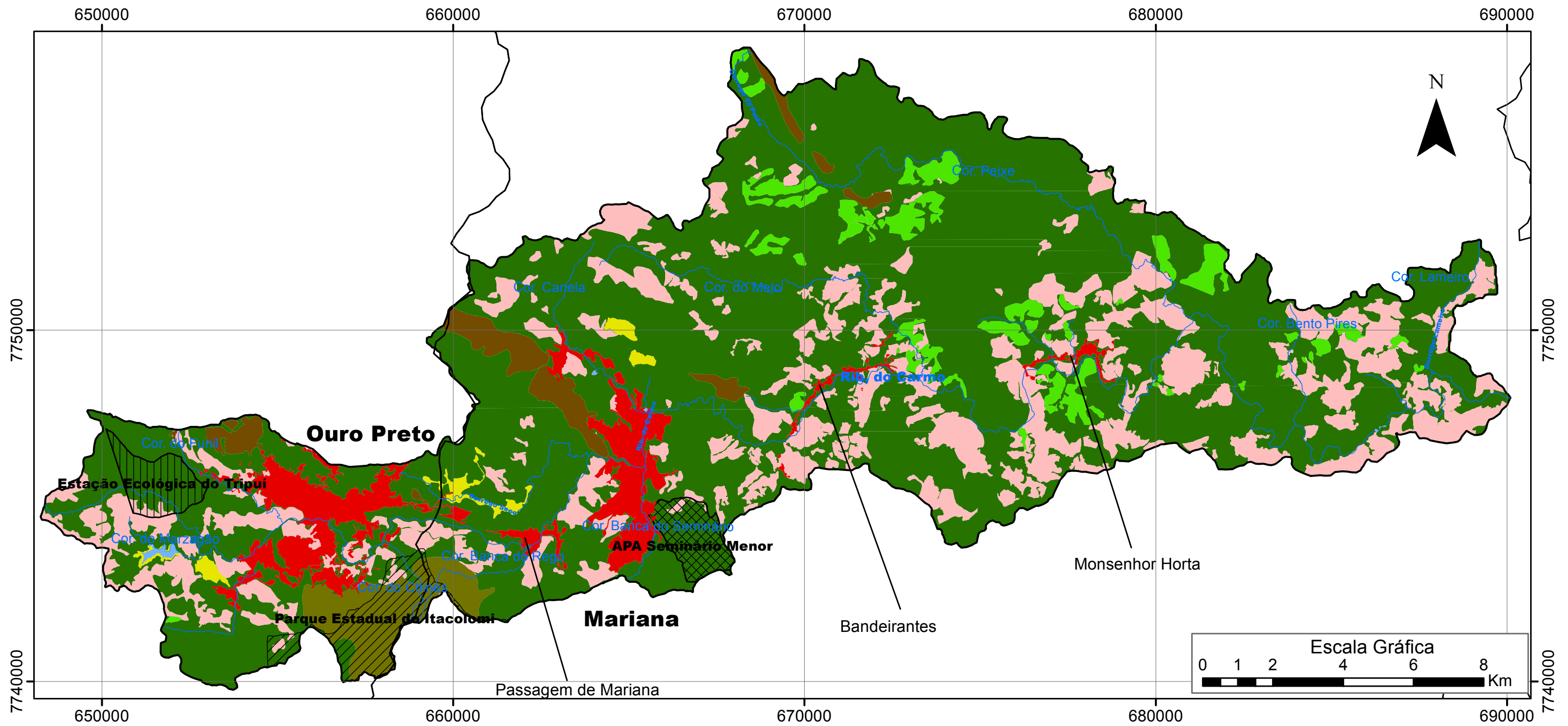


Legenda:

-  Rede de Drenagem
-  Lagos
-  Ocupações Urbanas
-  Limite da Bacia do Rib. do Carmo
-  Limites Municipais

Suscetibilidade

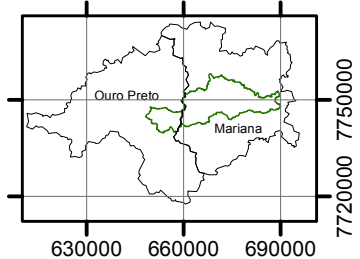
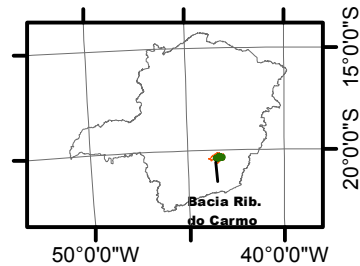
-  Baixa a Inexistente
-  Média
-  Alta



Carta de Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Ribeirão do Carmo (Ano de 2014)

Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Córrego Alegre
 Zona: 23S

Localização

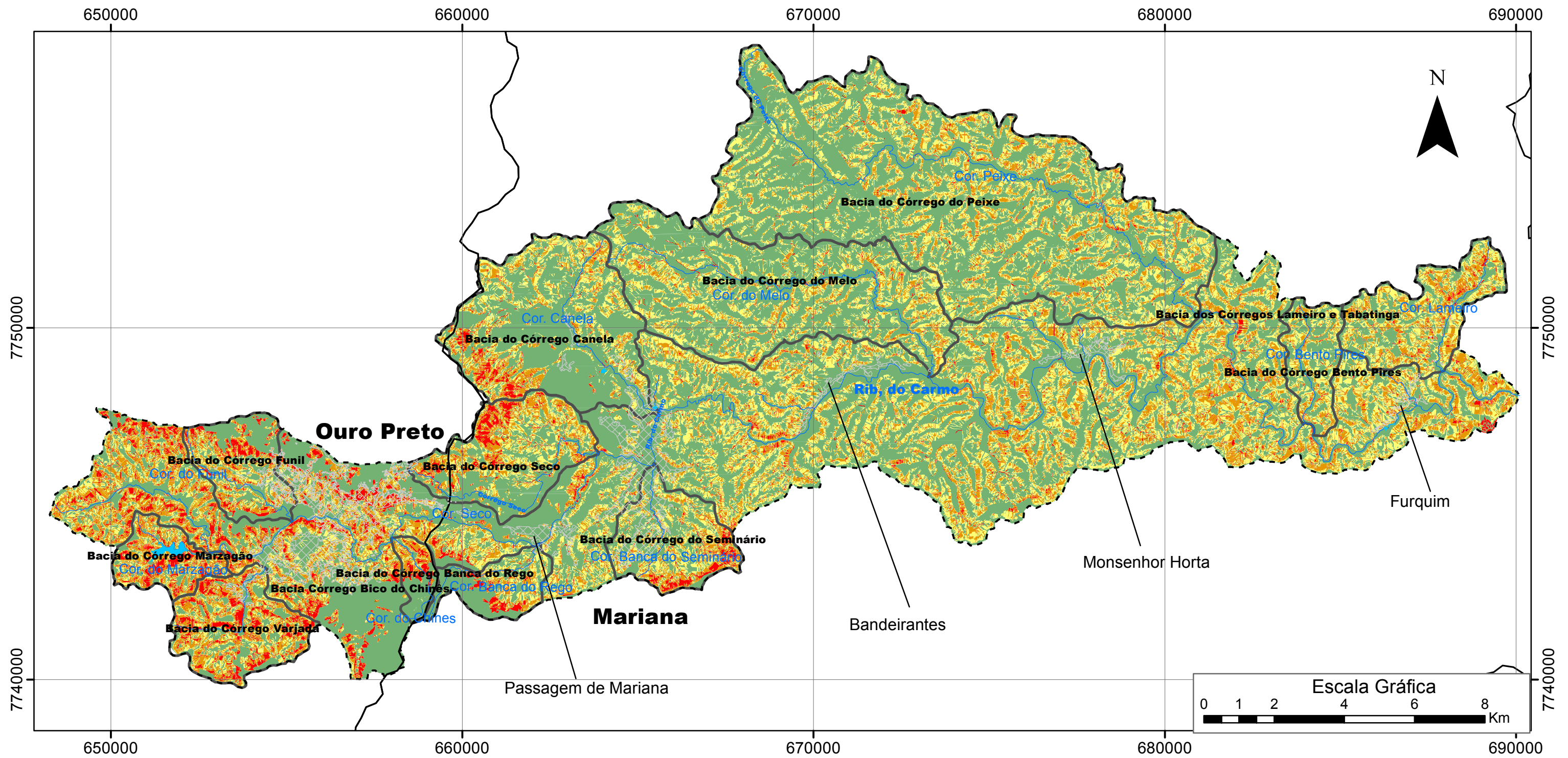


Legenda:

- Rios Principais
- Lagos
- Limite da Bacia do Rib. do Carmo
- Limites Municipais

Usos do Solo

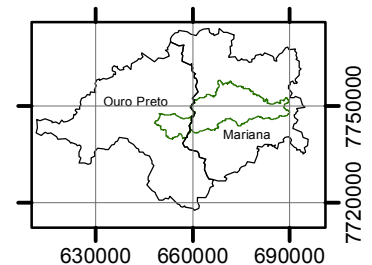
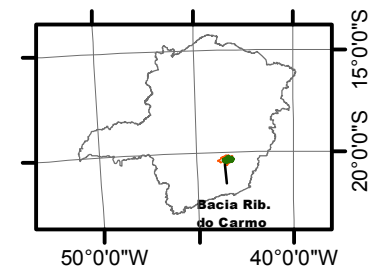
	Área	
	Km ²	ha
Ocupações Urbanas	16,8	1683,2
APA Seminário Menor	3,4	347,0
Estação Ecológica do Tripuí	6,6	665,2
Parque do Itacolomi	13,6	1360,7
Campo/Solo Exp./Pastagem	60,7	6078,5
silvicultura	11,0	1105,2
Cobertura Vegetal Secundária	207,3	20733,4
Campo Rupestre	8,2	822,2
Afloramentos Rochosos	16,0	1603,7
Mineração	2,3	231,4



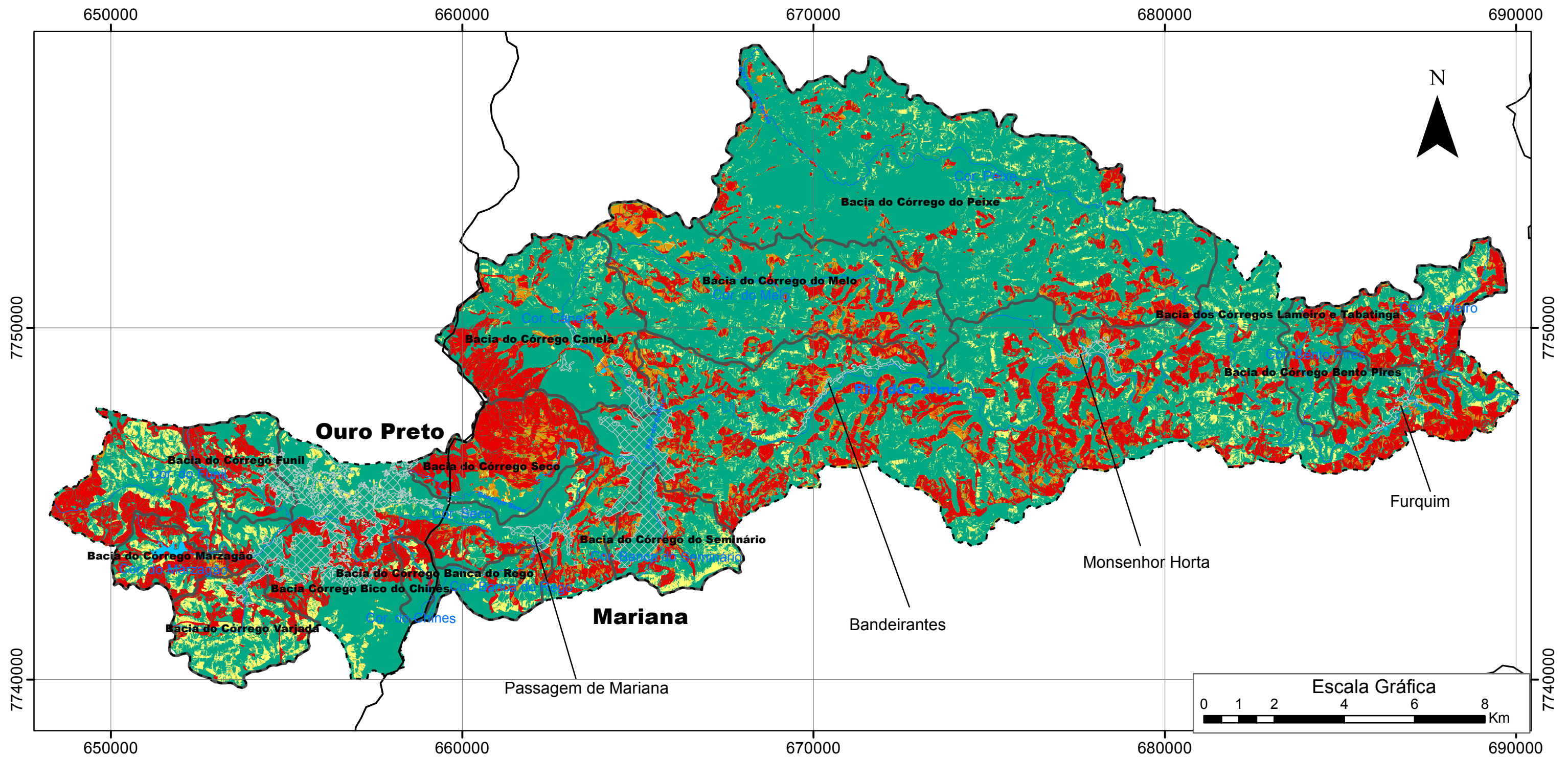
Carta do Potencial Natural à Erosão

Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Córrego Alegre
 Zona: 23S

Localização



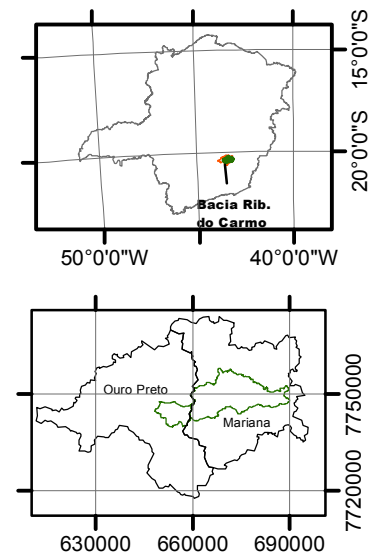
Legenda:		PNE - Potencial Natural de Erosão	
	Rios Principais		<400 (Fraco)
	Lagos		400-800 (Moderado)
	Ocupações Urbanas		800-1600 (Moderado a Forte)
	Bacias Internas		>1600 (Forte)
	Limite da Bacia do Rib. do Carmo		
	Limites Municipais		



Carta de Perda de Solo

Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Córrego Alegre
 Zona: 23S

Localização

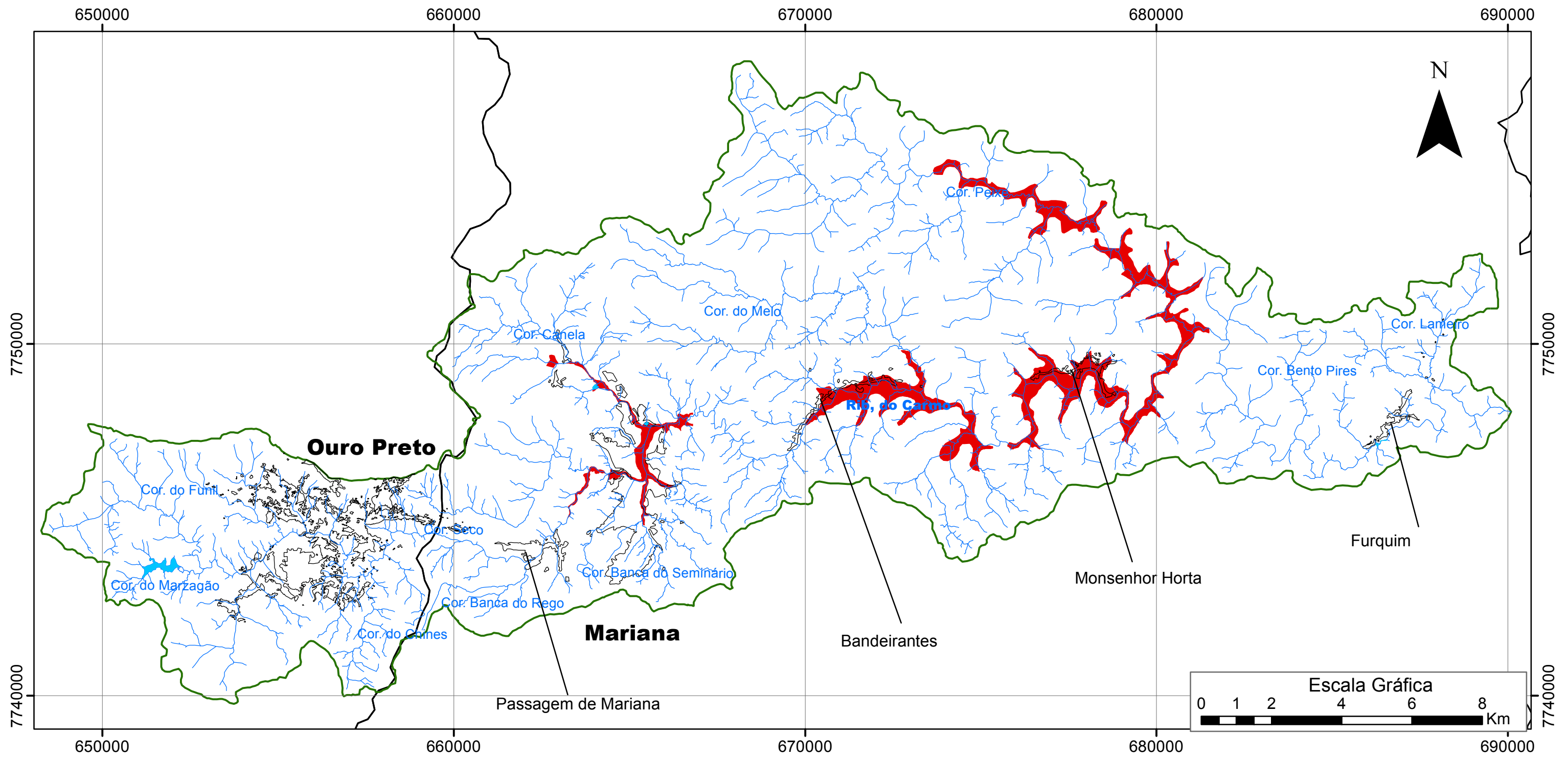


Legenda:

- Rios Principais
- Lagos
- Ocupações Urbanas
- Bacias Internas
- Limite da Bacia do Rib. do Carmo
- Limites Municipais

EUPS - Ton/ha/ano

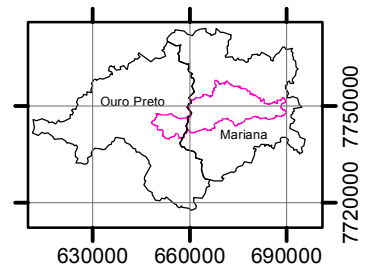
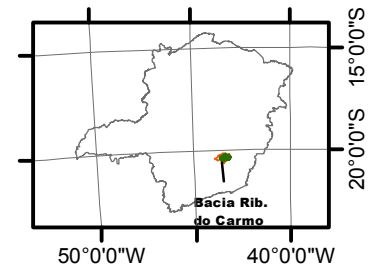
- 0 - 10 (Baixa)
- 10 - 50 (Média)
- 50 - 200 (Alta)
- > 200 (Muito Alta)








Carta de Suscetibilidade a Inundação

Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Córrego Alegre
 Zona: 23S


Localização

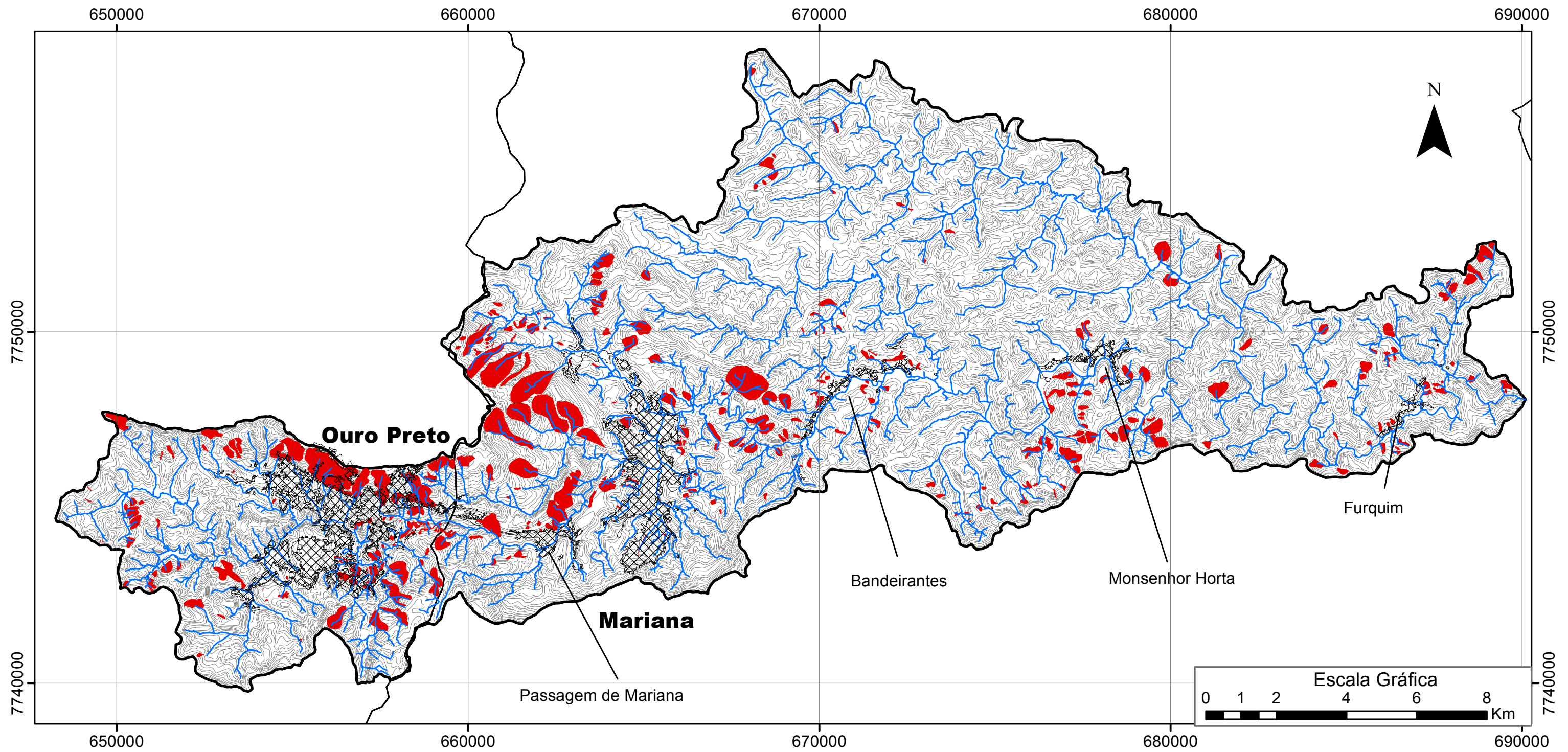


Legenda:

-  Rede de Drenagem
-  Lagos
-  Ocupações Urbanas
-  Limite da Bacia do Rib. do Carmo
-  Limites Municipais

Suscetibilidade Alta a Inundação

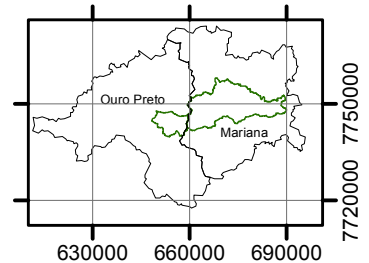
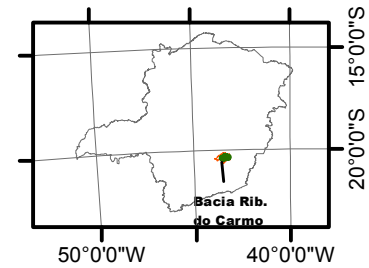
 Áreas Inundáveis









Carta de Feiões Morfológicas e Cicatrizes de Movimentos de Massa

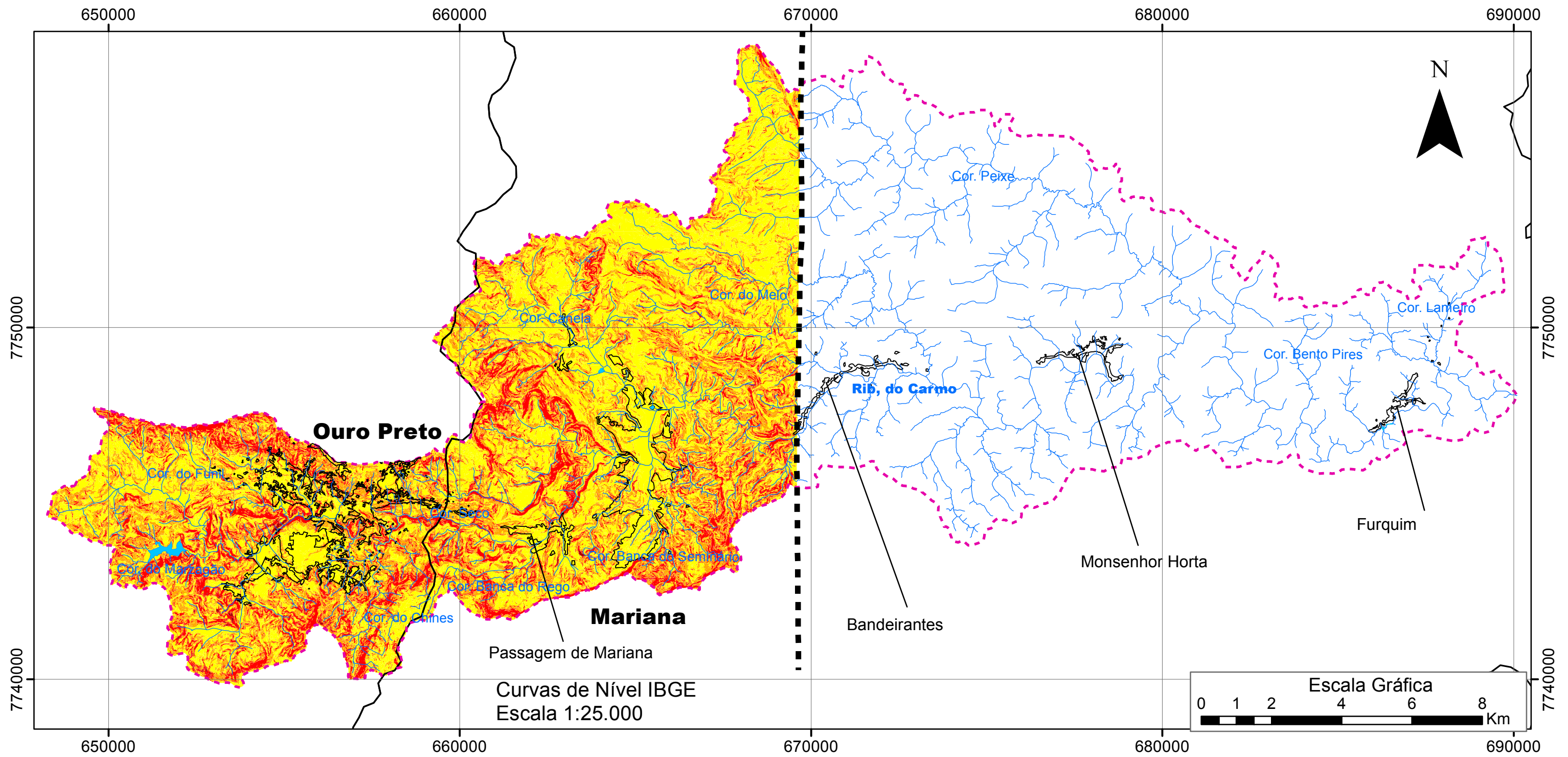
Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Córrego Alegre
 Zona: 23S

Localização



Legenda:

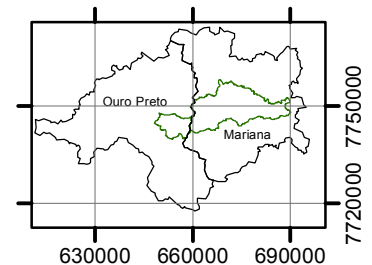
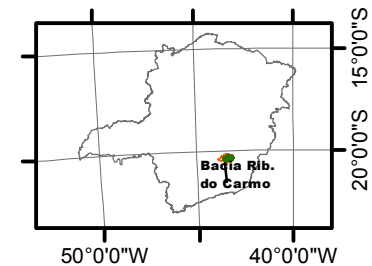
-  Curvas de Nível
-  Rede de Drenagem
-  Ocupações Urbanas
-  Limite da Bacia do Rib. do Carmo
-  Limites Municipais
-  Feiões Morfológicos e Cicatrizes de Mov. de Massa



Carta de Suscetibilidade à Deslizamentos da Porção Oeste da BHRC - Escala 1:25.000

Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Córrego Alegre
 Zona: 23S

Localização

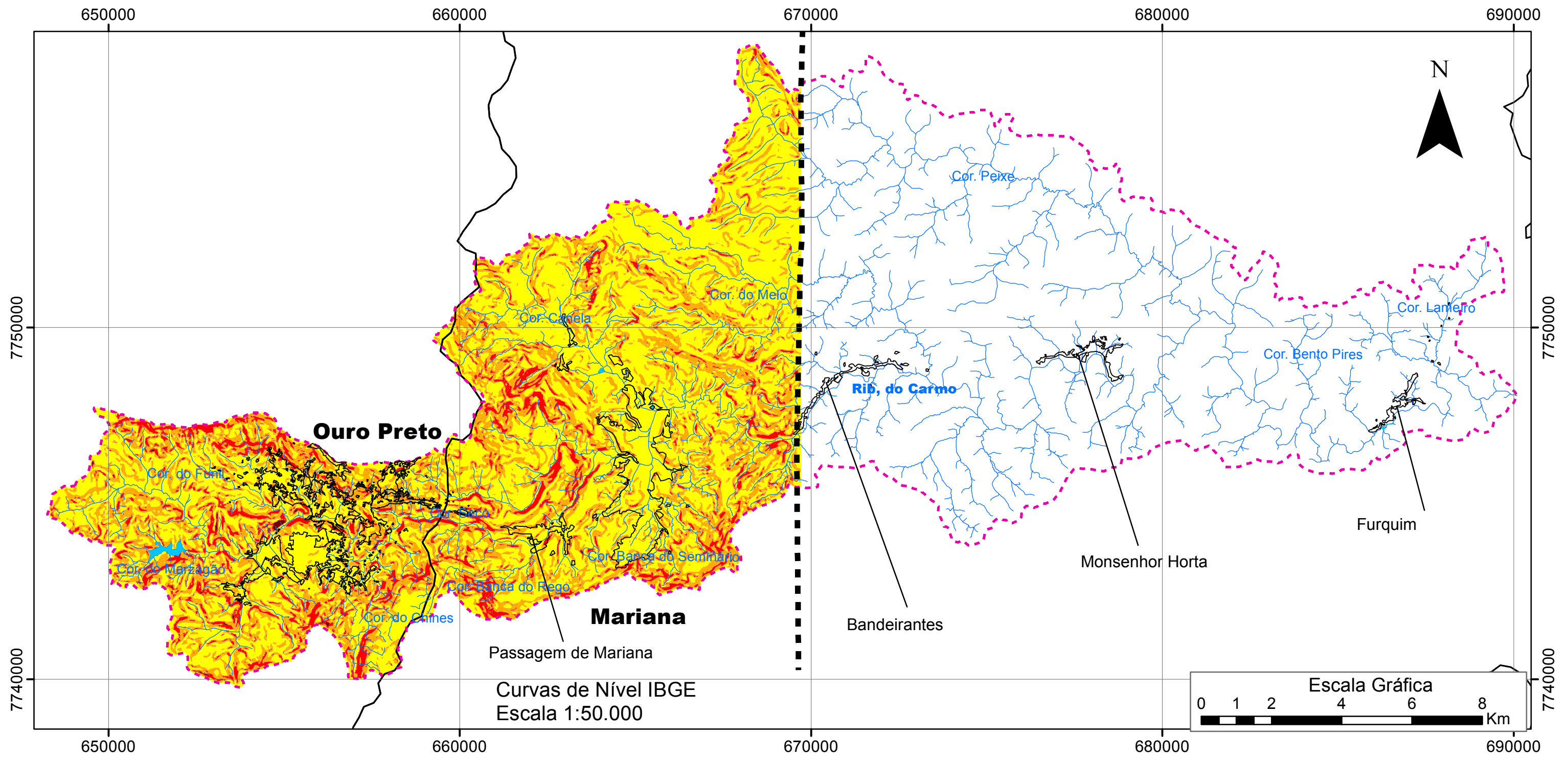


Legenda:

- Rede de Drenagem
- Lagos
- Ocupações Urbanas
- Limite da Bacia do Rib. do Carmo
- Limites Municipais

Suscetibilidade

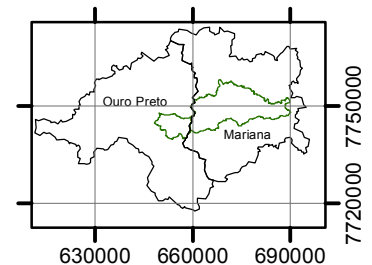
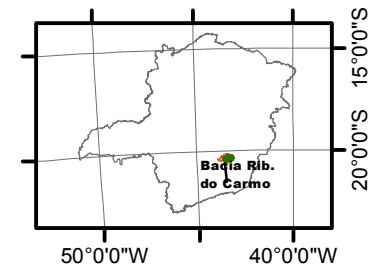
- Baixa a Movimento de Massa (52,46%)
- Média a Movimento de Massa (34,34%)
- Alta a Movimento de Massa (13,04%)
- Muito Alta a Movimento de Massa (0,16%)



Carta de Suscetibilidade à Deslizamentos da Porção Oeste da BHRC - Escala 1:50.000

Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Córrego Alegre
 Zona: 23S

Localização

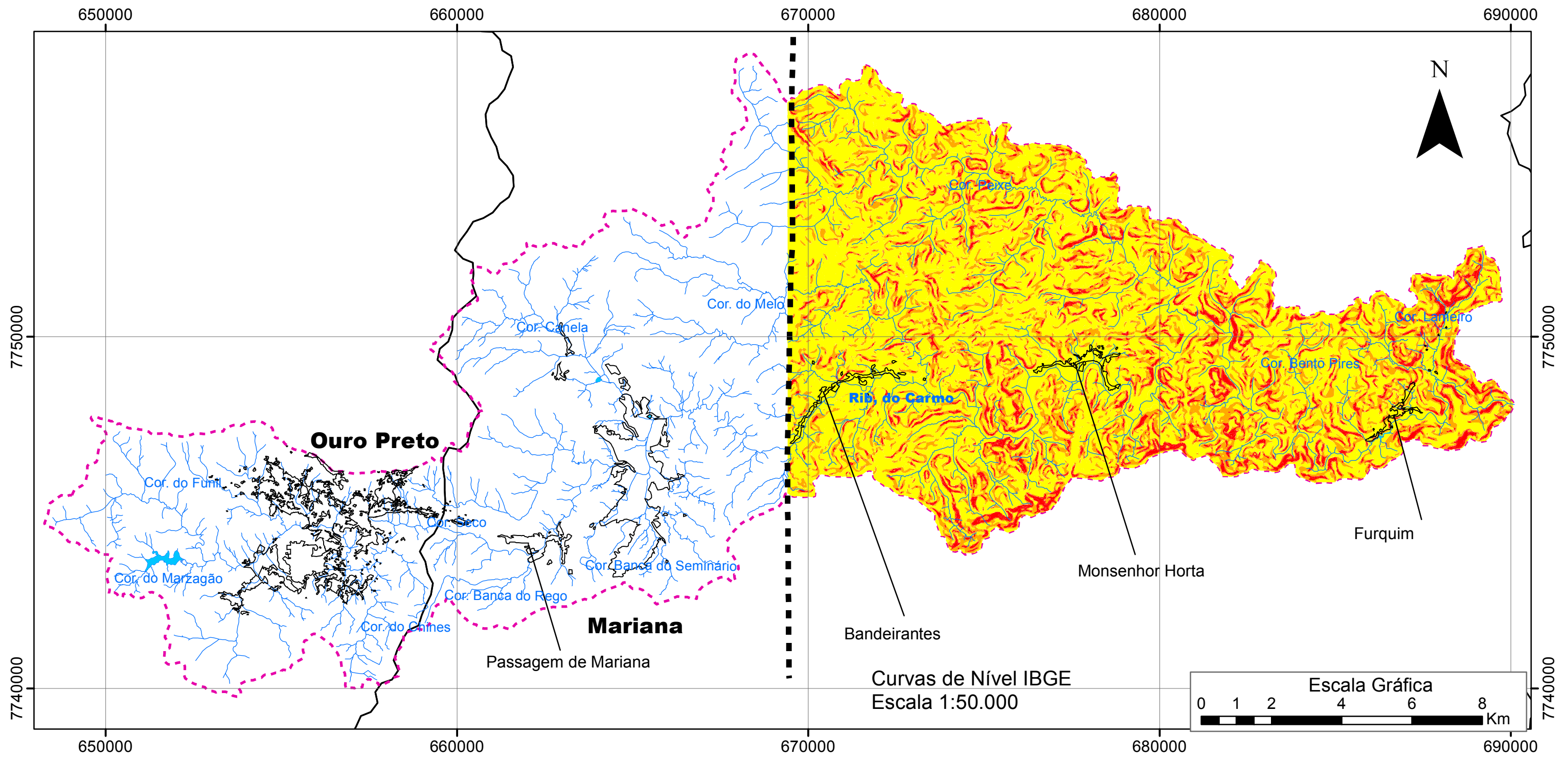


Legenda:

- Rede de Drenagem
- Lagos
- Ocupações Urbanas
- Limite da Bacia do Rib. do Carmo
- Limites Municipais

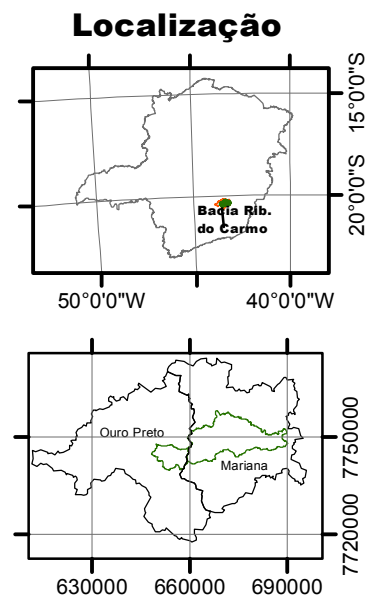
Suscetibilidade

- Baixa a Movimento de Massa (59,08%)
- Média a Movimento de Massa (32,36%)
- Alta a Movimento de Massa (8,45%)
- Muito Alta a Movimento de Massa (0,11%)



Carta de Suscetibilidade à Deslizamentos da Porção Leste da BHRC - Escala 1:50.000

Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Córrego Alegre
 Zona: 23S



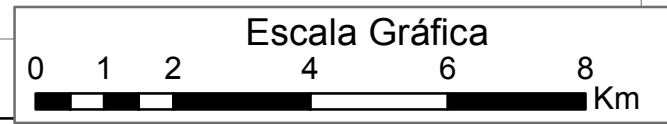
Legenda:

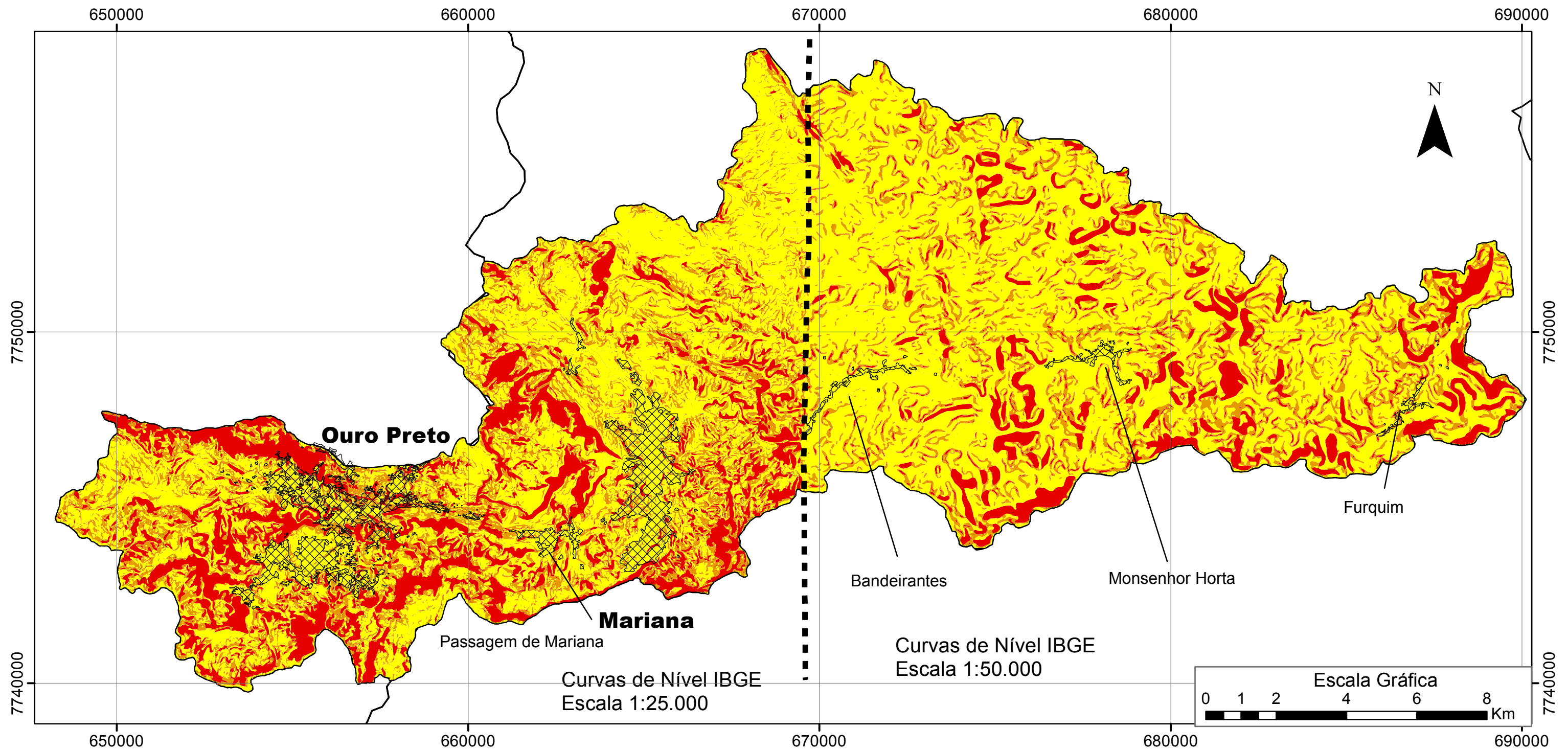
- Rede de Drenagem
- Lagos
- Ocupações Urbanas
- Limite da Bacia do Rib. do Carmo
- Limites Municipais

Suscetibilidade

- Baixa a Movimento de Massa (67,35%)
- Média a Movimento de Massa (23,55%)
- Alta a Movimento de Massa (9,10%)

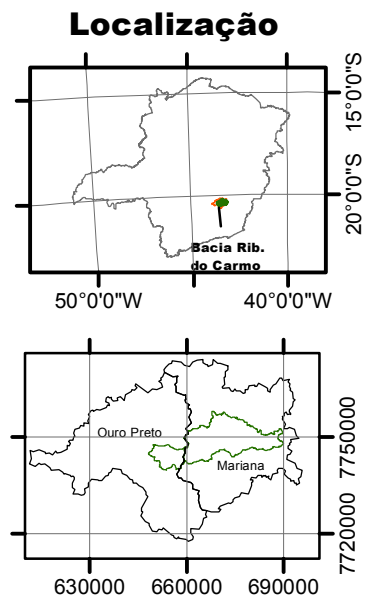
Curvas de Nível IBGE
 Escala 1:50.000





Carta de Suscetibilidade à Deslizamentos da BHRC

Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Córrego Alegre
 Zona: 23S



Legenda:

- Rede de Drenagem
- Ocupações Urbanas
- Limite da Bacia do Rib. do Carmo
- Limites Municipais

Suscetibilidade

- Baixa à Movimentos de Massa
- Média à Movimentos de Massa
- Alta à Movimentos de Massa
- Muito Alta à Movimentos de Massa

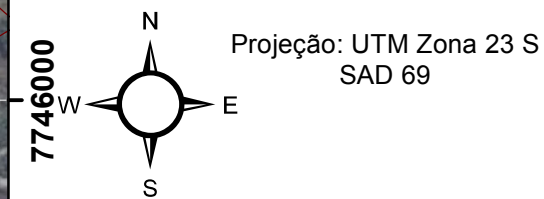
652500

653000

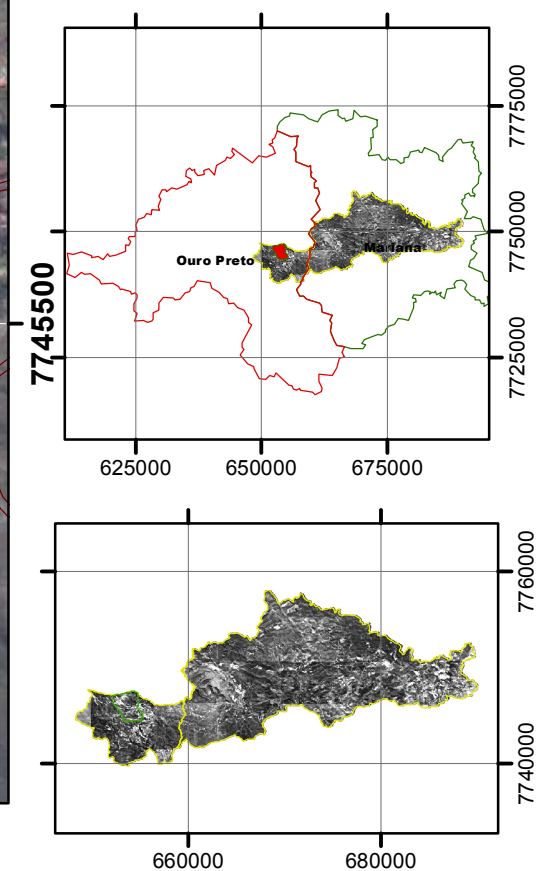
653500

654000

Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização de parte da BHRC – Escala 1:5.000



Localização



7746000

7746000

7745500

7745500

652500

653000

653500

654000

7745000

7745000

7745000

7745000

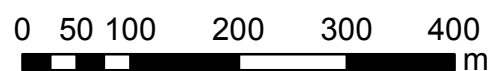
7744500

7744500

7744500

7744500

Escala Gráfica

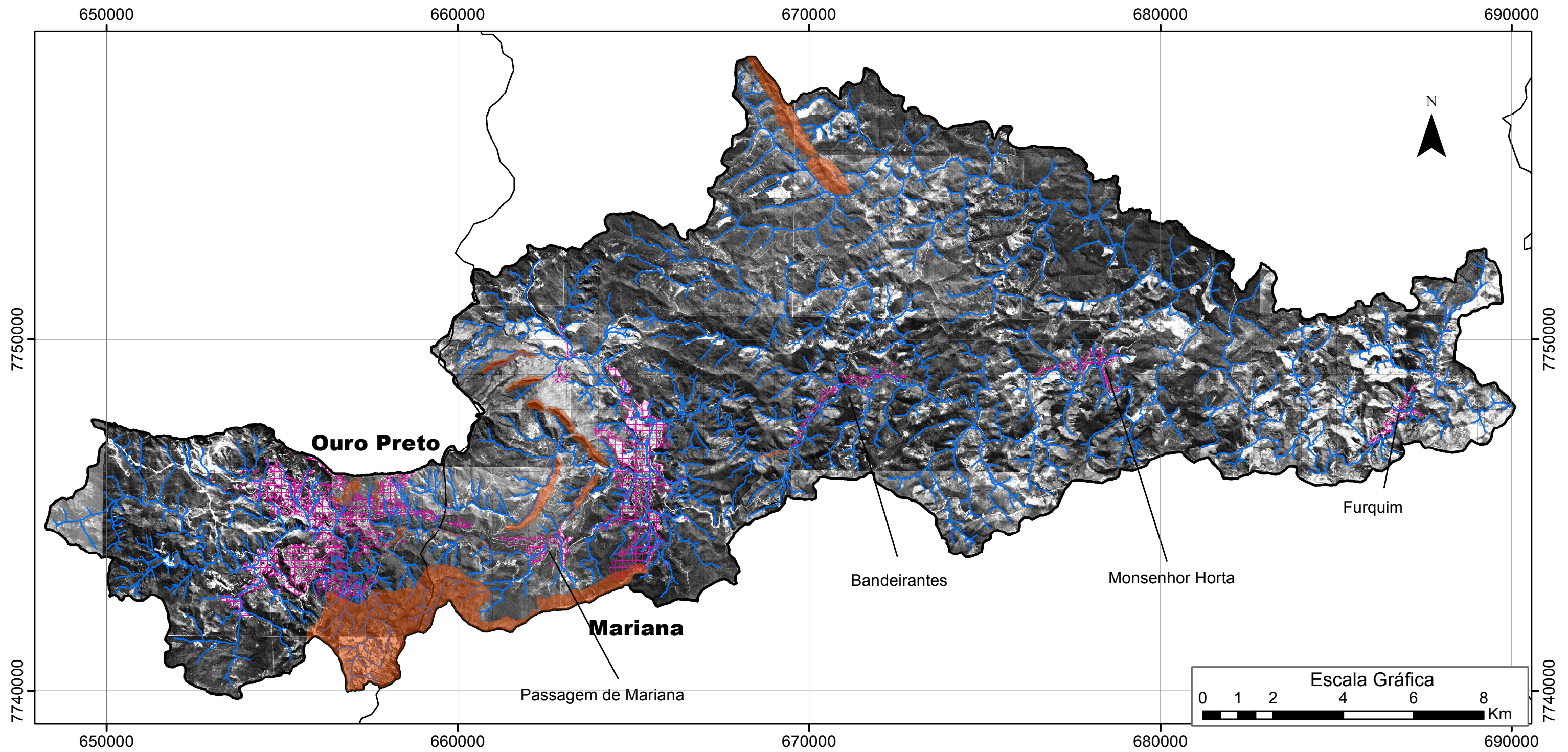


Classes

Baixa a Inexistente Aptidão à Urbanização			Média Aptidão à Urbanização			Alta Aptidão à Urbanização	
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII

Legenda:

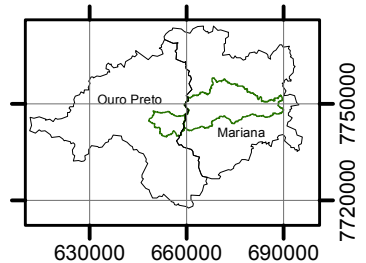
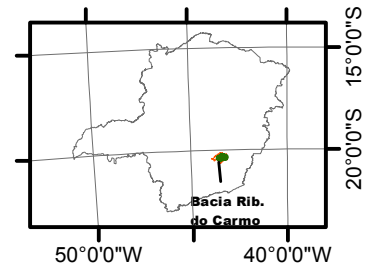
- Rede Hidrográfica
- Linhas de Escoamento Superficial
- Área para Análise de Aptidão a Urbanização



Suscetibilidade à ocorrência de queda e rolamento de blocos rochosos

Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Córrego Alegre
 Zona: 23S

Localização



Legenda:

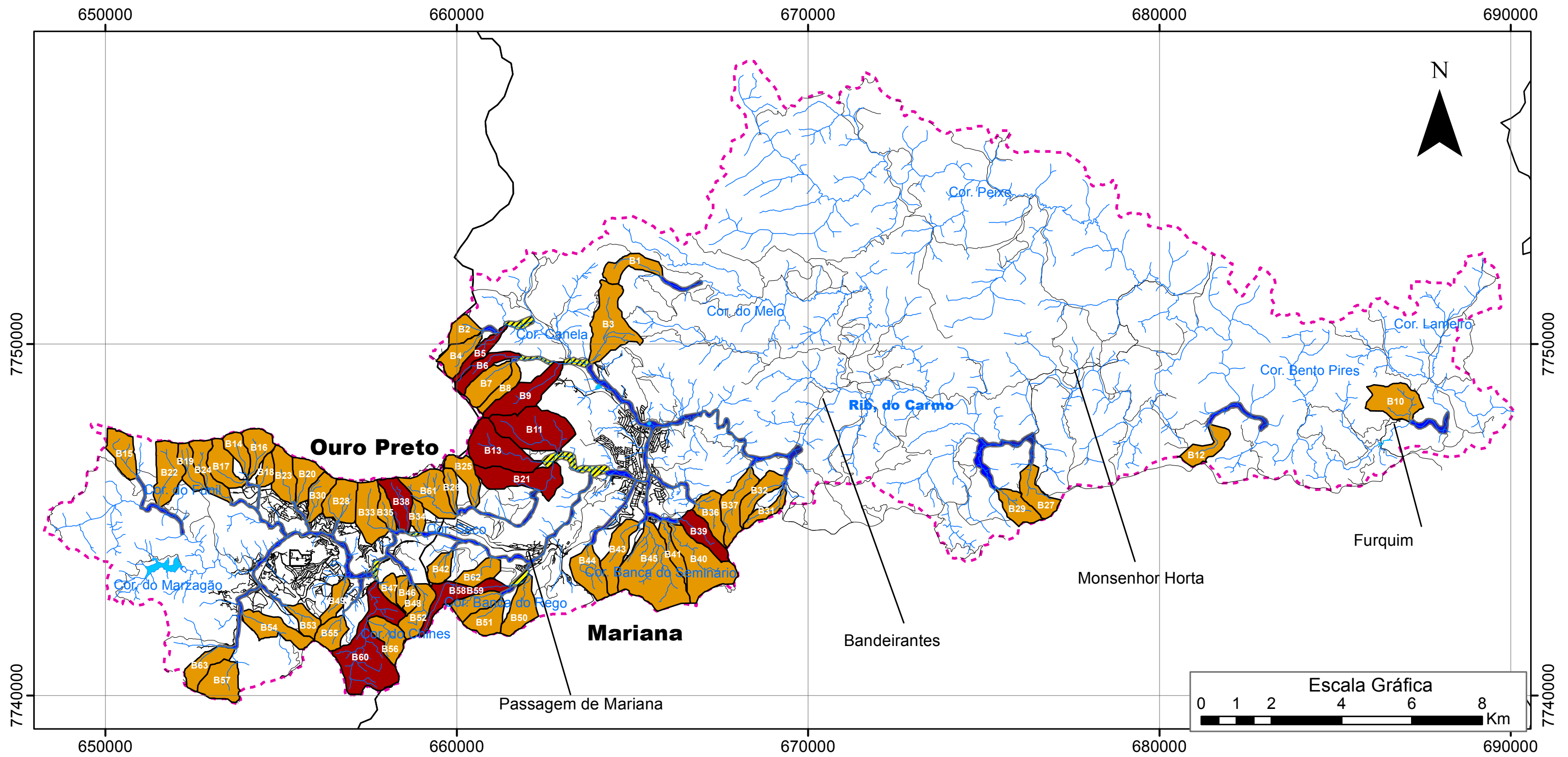
- Rede de Drenagem
- Ocupações Urbanas
- Limite da Bacia do Rib. do Carmo
- Limites Municipais

Mosaico de Ortofotos

Alto : 255

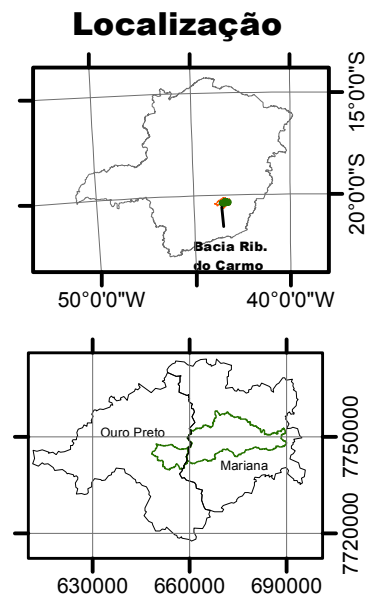
Baixo : 0

Suscetibilidade à Queda e Rolamento de Blocos



Carta de Suscetibilidade a Corrida de Massa e Enxurrada

Projeção: Universal Transversa de Mercator
 Datum: Córrego Alegre
 Zona: 23S



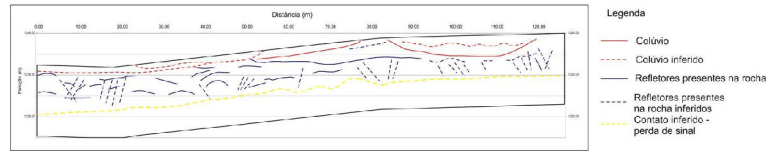
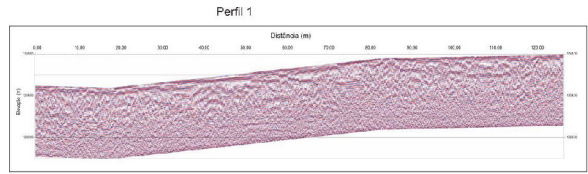
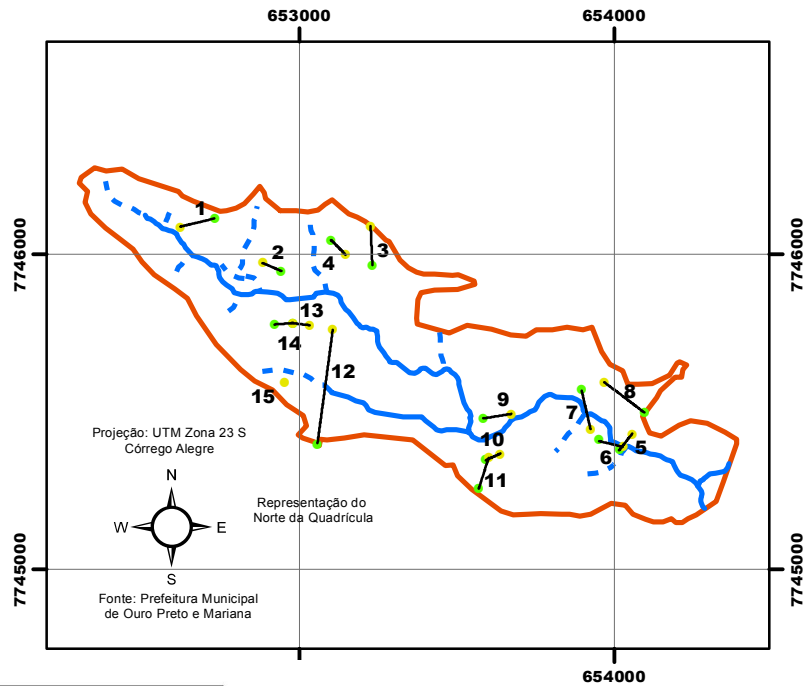
Legenda:

- Vias Gerais da Bacia
- Rede de Drenagem
- Lagos
- Ocupações Urbanas
- Limite da Bacia do Rib. do Carmo
- Limites Municipais

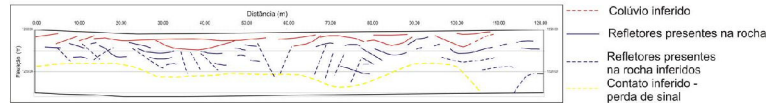
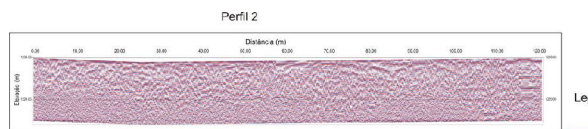
Bacias Suscetíveis

- Corrida de Massa
 - Enxurrada
- ### Áreas de Atingimento
- Corrida de Massa
 - Enxurrada

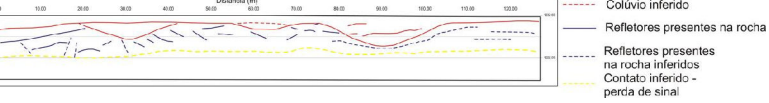
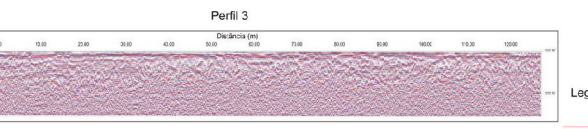
Mapa de Perfis Geofísicos



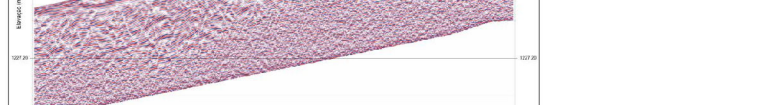
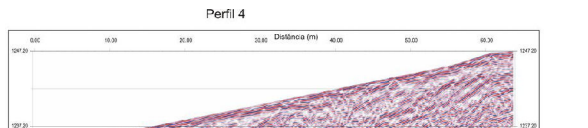
- Legenda
- Colúvio
 - Colúvio inferido
 - Refletores presentes na rocha
 - Refletores presentes na rocha inferidos
 - Contato inferido - perda de sinal



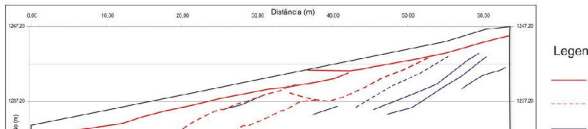
- Legenda
- Colúvio
 - Colúvio inferido
 - Refletores presentes na rocha
 - Refletores presentes na rocha inferidos
 - Contato inferido - perda de sinal



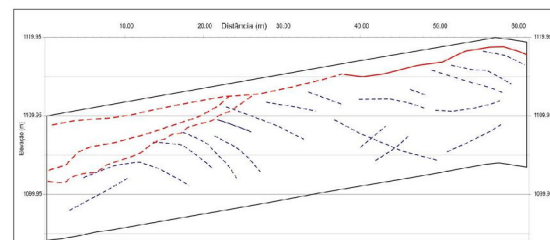
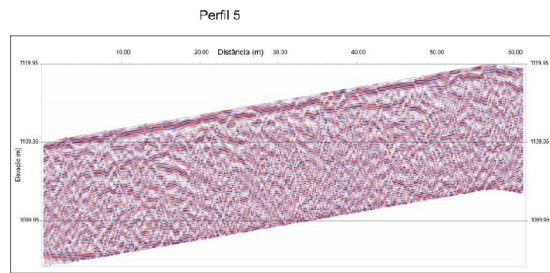
- Legenda
- Colúvio
 - Colúvio inferido
 - Refletores presentes na rocha
 - Refletores presentes na rocha inferidos
 - Contato inferido - perda de sinal



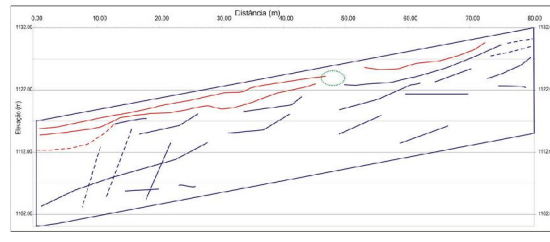
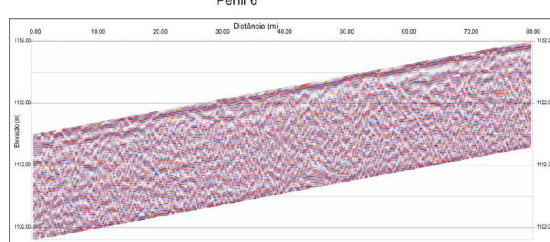
- Legenda
- Colúvio
 - Colúvio/Aluvião inferido
 - Refletores presentes na rocha
 - Refletores presentes na rocha inferidos



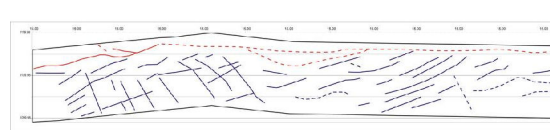
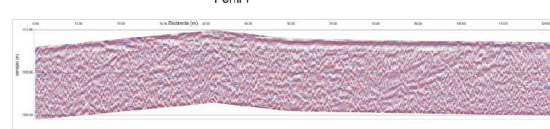
- Legenda
- Colúvio
 - Colúvio/Aluvião inferido
 - Refletores presentes na rocha
 - Refletores presentes na rocha inferidos



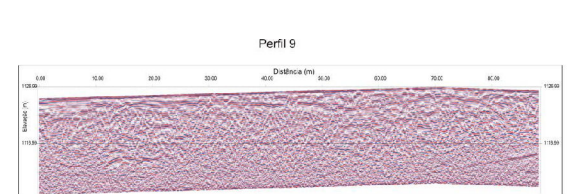
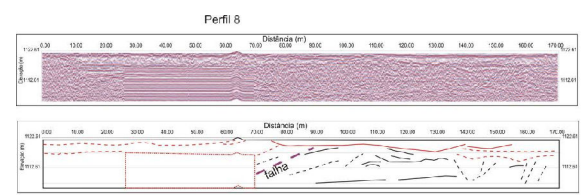
- Legenda
- Colúvio
 - Colúvio/Aluvião inferido
 - Refletores presentes na rocha
 - Refletores presentes na rocha inferidos



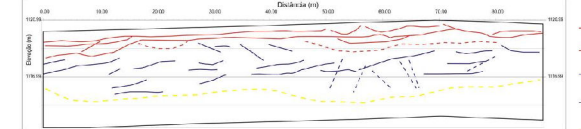
- Legenda
- Colúvio
 - Colúvio inferido
 - Refletores presentes na rocha
 - Refletores presentes na rocha inferidos
 - Cupim ?



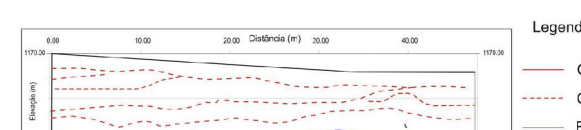
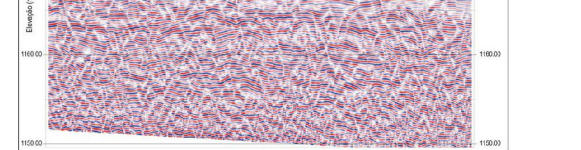
- Legenda
- Colúvio
 - Colúvio inferido
 - Refletores presentes na rocha
 - Refletores presentes na rocha inferidos



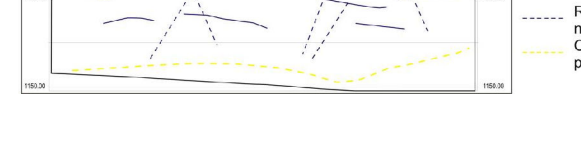
- Legenda
- Colúvio
 - Colúvio inferido
 - Refletores presentes na rocha
 - Refletores presentes na rocha inferidos



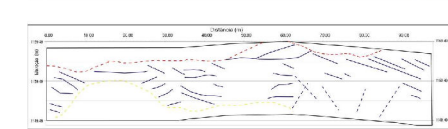
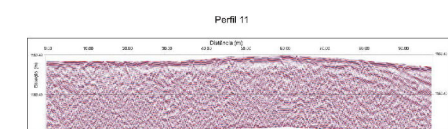
- Legenda
- Colúvio
 - Colúvio inferido
 - Refletores presentes na rocha
 - Refletores presentes na rocha inferidos
 - Contato inferido - perda de sinal



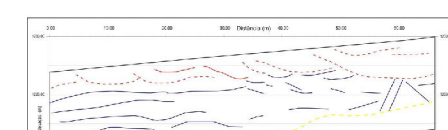
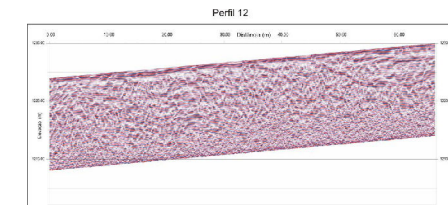
- Legenda
- Colúvio
 - Colúvio inferido
 - Refletores presentes na rocha
 - Refletores presentes na rocha inferidos
 - Contato inferido - perda de sinal



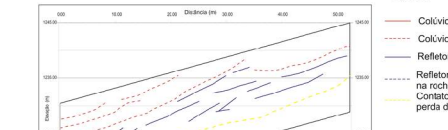
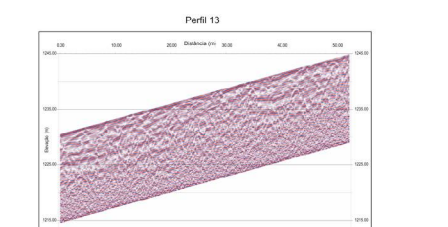
- Legenda
- Colúvio
 - Colúvio inferido
 - Refletores presentes na rocha
 - Refletores presentes na rocha inferidos
 - Contato inferido - perda de sinal



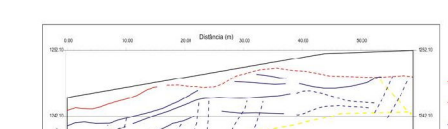
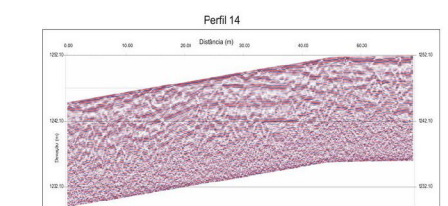
- Legenda
- Colúvio
 - Colúvio inferido
 - Refletores presentes na rocha
 - Refletores presentes na rocha inferidos
 - Contato inferido - perda de sinal



- Legenda
- Colúvio
 - Colúvio inferido
 - Refletores presentes na rocha
 - Refletores presentes na rocha inferidos
 - Contato inferido - perda de sinal



- Legenda
- Colúvio
 - Colúvio inferido
 - Refletores presentes na rocha
 - Refletores presentes na rocha inferidos
 - Contato inferido - perda de sinal



- Legenda
- Colúvio
 - Colúvio inferido
 - Refletores presentes na rocha
 - Refletores presentes na rocha inferidos
 - Contato inferido - perda de sinal

653000

654000

7746000

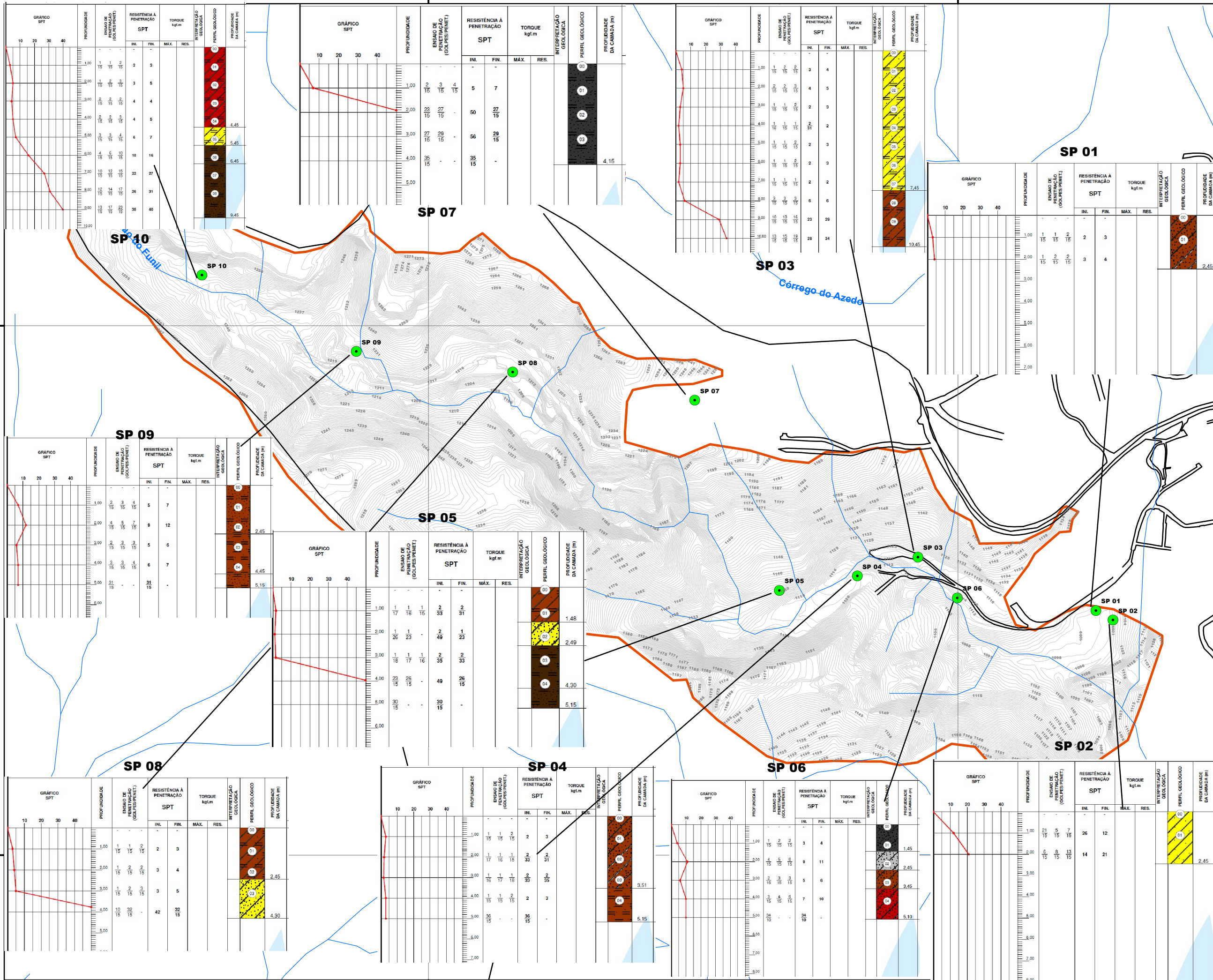
7745000

653000

654000

7746000

7745000



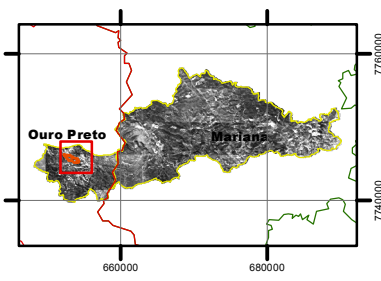
Mapa de Pontos de Sondagem

Projeção: UTM Zona 23 S
Córrego Alegre

Representação do Norte da Quadricula

Fonte: UFOP/
Ministério das Cidades

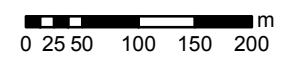
Localização



Legenda:

- Pontos de Sondagem
- ~ Rede Hidrográfica
- ~ Curvas de Nivel
- Vias de Acesso
- Area de Investigação

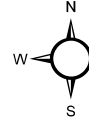
Escala Gráfica



Setores de Perigo de Deslizamento e Inundação - Sede do Município de Mariana - MG

Projeção: UTM Zona 23 S

WGS 84



Representação do Norte da Quadricula

Fonte: IGAM, IBGE, Imagem ESRI - ARCGIS acessado: 14/04/2015

Localização



Legenda:

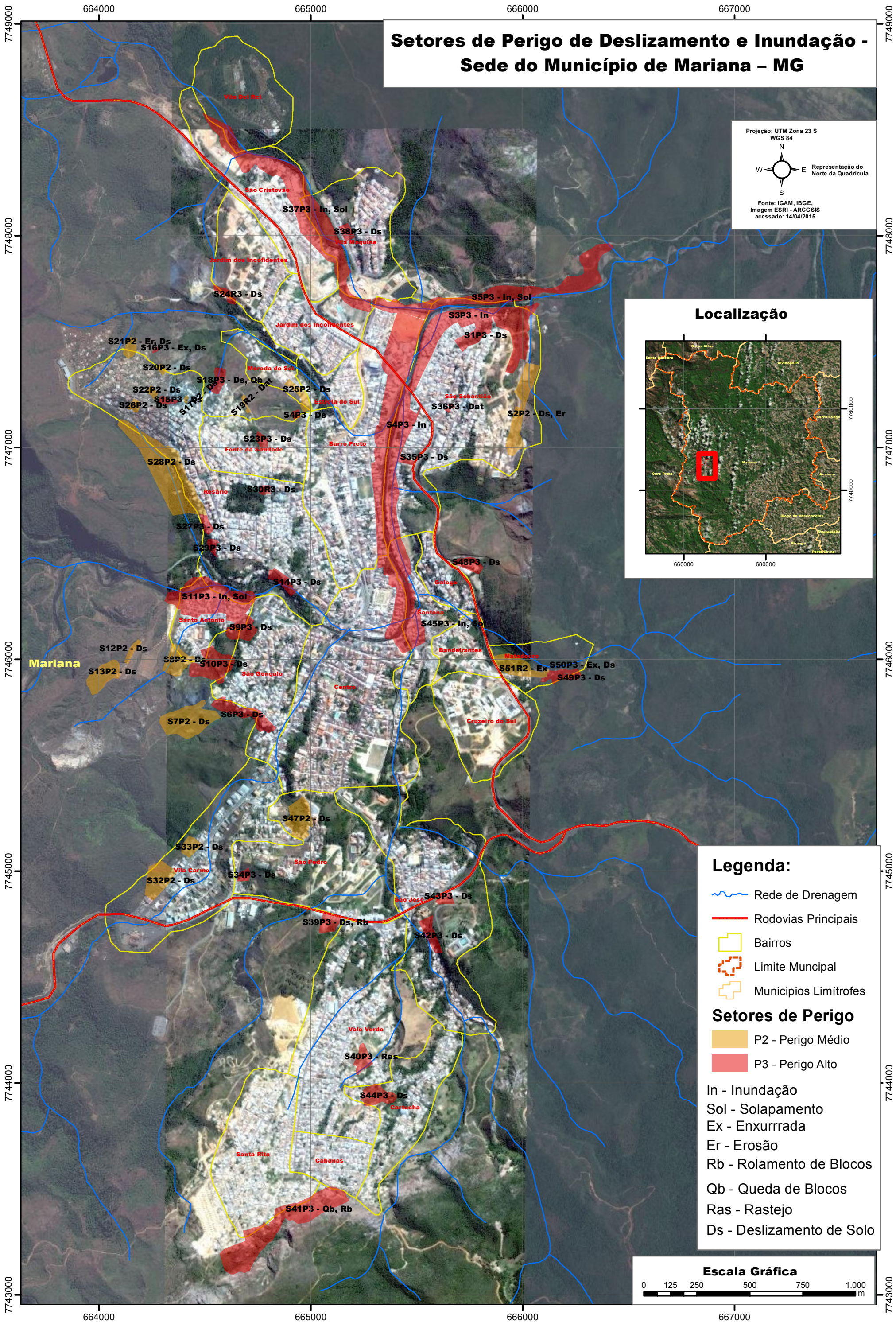
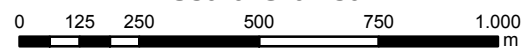
- Rede de Drenagem
- Rodovias Principais
- Bairros
- Limite Municipal
- Municípios Limitrofes

Setores de Perigo

- P2 - Perigo Médio
- P3 - Perigo Alto

- In - Inundação
- Sol - Solapamento
- Ex - Enxurrada
- Er - Erosão
- Rb - Rolamento de Blocos
- Qb - Queda de Blocos
- Ras - Rastejo
- Ds - Deslizamento de Solo

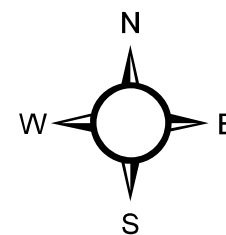
Escala Gráfica



664000

666000

Mapa do Histórico de Ocorrências de Deslizamentos e Inundações em Mariana - MG



Projeção: S UTM 23
D WGS 1984

Fontes de Informações:
IGAM, IBGE
Imagem: ARCGIS-ESRI
Acesso: Fevereiro 2015

7748000

7748000

7746000

7746000

7744000

7744000

Legenda:

- Rodovias Principais
- Área Urbana
- Limite Municipal

- Distritos
- Sub-distritos
- Localidades

Ocorrências / Ano

- 1997
- 2000
- 2001
- 2002
- 2003
- 2011
- 2012
- 2013
- 2014

Suscetibilidade

- Deslizamento
- Inundação

Bairros

- Bandeirantes
- Barro Preto
- Cabanas
- Cartucha
- Centro
- Cruzeiro do Sul
- Estrela do Sul
- Fonte da Saudade
- Galego
- Jardim dos Incofidentes
- Matadouro
- Morada do Sol
- Rosário
- Santa Rita
- Santana
- Santo Antonio
- São Cristovão
- São Gonçalo
- São José
- São Pedro
- São Sebastião
- Vale Verde
- Vila Carmo
- Vila Del Rei
- Vila Maquine



Escala Gráfica



664000

666000