

**Dissertação de Mestrado**

**AVALIAÇÃO DE SUSCEPTIBILIDADE A  
MOVIMENTOS DE MASSA E EROÇÃO NO  
MUNICÍPIO DE OURO PRETO/MG EM  
ESCALA REGIONAL**



**NUGEO**

**AUTOR: MARCO ANTÔNIO FERREIRA PEDROSA**

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Frederico Garcia Sobreira (UFOP)**

**ESCOLA DE MINAS / UFOP**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA DA UFOP**

**OURO PRETO - DEZEMBRO DE 2013**

**P372a Pedrosa, Marco Antônio Ferreira.**

Avaliação de susceptibilidade a movimentos de massa e erosão no município de ouro preto/mg em escala regional [manuscrito] / Marco Antônio Ferreira Pedrosa - 2013.

167f.: il., color.; grafs.; tab.; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Garcia Sobreira.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto.  
Escola de Minas. Núcleo de Geotecnia - NUGEO.

Área de concentração: Geotecnia Ambiental.

1. Solo - Erosão - Teses. 2. Massa - Transferência - Teses. 3. Ouro Preto (MG) - Teses. 4. Geologia de engenharia – Teses. I. Sobreira, Frederico Garcia. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 624.13:631.459(815.1)

Catálogo: [sisbin@sisbin.ufop.br](mailto:sisbin@sisbin.ufop.br)

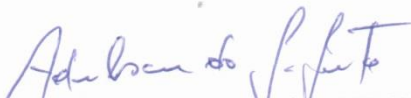
# AVALIAÇÃO DE SUSCEPTIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA E EROSÃO NO MUNICÍPIO DE OURO PRETO/MG EM ESCALA REGIONAL

Dissertação 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 **Mestre em Geotecnia**.

Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em 18 de dezembro de 2013, pela Banca Examinadora composta pelos membros:



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



Prof. Dr. Adilson do Lago Leite (UFOP)



Prof. Dra. Maria Giovana Parizzi (UFMG)

# DEDICATÓRIA

---

*A quem faz a vida valer a pena: esposa, filho, família e amigos.*

## AGRADECIMENTOS

---

Agradeço a Deus, por tudo.

Teca, minha Flor, meu Amor, que me deu os maior presente da minha vida, meu amado filho João Lucas. A vocês minha gratidão pela entrega, compreensão, amor, apoio e ajuda incondicionais.

Aos meus amados pais Adalberto e Lúcia e irmãos Rodrigo, Maria Gabriela e Pedro Paulo.

Ao professor e amigo Frederico Sobreira, cuja orientação e apoio foram fundamentais para realização deste trabalho. Obrigado por dividir sua experiência e sabedoria de maneira tão generosa.

A Prefeitura Municipal de Ouro Preto, na pessoa do Chales Murta, e ao IEF, na pessoa da Lúcia Bettoni, pela disponibilização das imagens de satélite. Ao Gabriel Mendes, que muito me ajudou nessa empreitada.

A minha amada família, em especial às tias Dora e Rose, cujas inúmeras conversas, apoio e incentivo me ajudaram em toda minha vida. Ao amado “Vovô Candin”, pelo exemplo de caráter, humildade e trabalho, que com suas atitudes e palavras moldou os valores de uma família.

Agradeço aos mestres de todas as épocas e etapas.

Aos amigos/irmãos de todas as horas: Diniz, Guerra, Val, Eltin, Wil e Felipe. Aos companheiros do DEMAM e DEPETRO da Fundação Gorceix.

A Republica Antares, amada casa de amigos e irmãos.

A todos os amigos, em especial aos companheiros do mestrado: André, Felipão e Amintas.

## RESUMO

---

Quando se trata dos estudos relacionados ao ordenamento territorial, muito se discute sobre a ocupação em áreas urbanas e limítrofes, uma vez que concentram a maior quantidade de pessoas. No Município de Ouro Preto faltam instrumentos de planejamento integrado, partindo da escala regional, que direcionem tomadas de decisão concisas e embasadas no conhecimento integrado dos principais problemas geodinâmicos identificados, realidade da maioria dos municípios brasileiros. Uma das grandes questões relacionadas a estes estudos se refere às abordagens aplicadas, geralmente embasadas puramente no conhecimento especialista, o que torna o resultado o espelho da experiência do operador e dados utilizados nas análises. Para este trabalho foram aplicadas duas metodologias distintas para a definição de susceptibilidade a erosão e movimentos de massa: A abordagem “clássica”, baseada em critérios geomorfológicos, geológico-geotécnicos, de uso do solo e declividade, e a abordagem estatística do valor informativo, fundamentada no inventário de evidências de instabilização do terreno, e com maior quantidade de temas, relacionados a fatores morfométricos, de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal, além de do comportamento geológico-geotécnico das áreas. Na sequência foram aplicadas avaliações qualitativa e quantitativa dos resultados, expressos nas curvas e taxas de sucesso e predição. O modelo estatístico do valor informativo foi o que apresentou os melhores resultados, obtendo 78% de aproveitamento global, contra 58% do heurístico. A técnica do valor informativo permite constante e sistemática atualização, reprocessamento, checagem e auditoria dos resultados, além da grande redução da subjetividade associada às análises de susceptibilidade.

Palavras Chave: Susceptibilidade; Movimentos de Massa; Erosão; Valor Informativo; Ouro Preto / MG

## ABSTRACT

---

When it comes to studies related to land use planning, much is discussed about occupation in urban and bordering areas, since they concentrate the largest number of people. In the municipality of Ouro Preto, there is lack of integrated planning tools starting from the regional scale, which leads to decision making based on the integrated knowledge of the main identified geodynamic problems, a reality of most Brazilian municipalities. One of the major issues related to these studies refers to applied approaches, usually based purely on expert knowledge, which makes the result the mirror of the operator's experience and data used in analyses. The "classical" approach, based on geomorphological, geological-geotechnical, land use and slope criteria, and the statistical approach of informative value, based on the inventory of land destabilization evidence with greater number of themes related to morphometric factors such as land use, occupancy and vegetation cover, as well as geological and geotechnical behavior of areas were used in this study. Qualitative and quantitative evaluations of results were then applied, expressed in curves and success and prediction rates. The statistical model of informative value was the one that presented the best results, obtaining 78% of global use against 58% of the heuristic model. The informative value technique allows constant and systematic updating, reprocessing, checking and auditing results, and allows great reduction of subjectivity associated to susceptibility analyses.

**Keywords:** Susceptibility; Landslides; Erosion; Informative Value; Ouro Preto / MG



## LISTA DE FIGURAS

---

Figura 1 - Metodologia CPRM - Fluxograma da avaliação de susceptibilidade a movimentos de massa. ....	17
Figura 2 - Metodologia CPRM - Fluxograma da avaliação de susceptibilidade a enchentes e inundações. ....	18
Figura 3 - Metodologia CPRM - Fluxograma da elaboração do mapa de susceptibilidade final. ....	19
Figura 4 - Perfil de análise do método do "talude infinito" (Gomes, 2010). ....	20
Figura 5 - Variação da Declividade em função da resolução espacial em MDT. Adaptado de Claessens <i>et al.</i> (2005). ....	25
Figura 6 - Variação das classes de declividade em função da escala. Observar a distribuição dos movimentos de massa de acordo com a declividade (linha) Van Westen <i>et al.</i> (2008). ....	26
Figura 7 – Relação entre escala temporal e espacial segundo Kirkby (1996). ....	29
Figura 8 - Curvas de Sucesso e Predição obtidas por Oliveira <i>et al.</i> (2009). ....	31
Figura 9 - Definição dos parâmetros para o cálculo de IA e IE. Modificado de Sorbino <i>et al.</i> (2010). ....	32
Figura 10- Mapa de divisão política dos distritos Ouropretanos (IGA, 2008). ....	36
Figura 11 – Rede Hidrográfica do Município de Ouro Preto. ....	39
Figura 12 - Mapa Geológico do Município de Ouro Preto. Adaptado de Lobato <i>et al.</i> , (2005). ....	41
Figura 13 - Mapa de unidades geomorfológicas de análise. Modificado de Vale (2009). ....	51
Figura 14 - Mapeamento de solos segundo (UFV, CETEC, <i>et al.</i> , 2010). ....	55
Figura 15 – Mapa da cobertura vegetal do Município de Ouro Preto. Adaptado de IEF (2009). ....	58
Figura 16 - Análise comparativa entre as informações de diferentes composições de bandas: A - R3G2B1 e B – R1G5B2 (Observar maior destaque de relevo em B) ....	62
Figura 17 – Análise conjunta do <i>hillshade</i> (A) e imagem de satélite (B) para delimitação de cicatrizes. ....	63

Figura 18 – Regiões de análise de susceptibilidade em função do processo geodinâmico predominante (erosão e movimentos de massa, respectivamente azul e laranja). A regioa em branco (03) foi desconsiderada devido à inexistência de dados geológicos.....	71
Figura 19 - Inventário de movimentos de massa no Município de Ouro Preto (áreas em vermelho: >4 evidências por km <sup>2</sup> . Em verde: < 1 evidência por km <sup>2</sup> ) .....	78
Figura 20 - Formas das vertentes no Município de Ouro Preto.....	81
Figura 21 - Distribuição de declividades no Município de Ouro Preto.....	82
Figura 22 - Mapa Hipsométrico 3D da área de estudo (exagero vertical de duas vezes). .....	82
Figura 23 – Sub-bacias de 3 <sup>a</sup> ordem e amplitudes topográficas; .....	83
Figura 24 - Mapa de unidades de relevo.....	85
Figura 25 – Mapa de localização e perfis topográficos das unidades de relevo. ....	88
Figura 26 - Resposta espectral de cada classe de uso e ocupação do solo (legenda na tabela 27).....	90
Figura 27 - Avaliação crítica e atualização do mapa de uso e ocupação do solo. Observar áreas indicadas como atividade agropastoril (amarelo) em “A” e atualização para vegetação natural de pequeno porte (verde claro) em “B”. .....	91
Figura 28 – Mapeamento de uso e ocupação do solo no Município de Ouro Preto. ....	93
Figura 29 - Normalized Difference Vegetation Index (NVDI) do Município de Ouro Preto.....	94
Figura 30 - Mapa de Susceptibilidade a Movimentos de Massa e Erosão do Município de Ouro Preto (Modelo Heurístico) .....	98
Figura 31 - Mapa de Susceptibilidade a Movimentos de Massa e Erosão do Município de Ouro Preto (Modelo Estatístico) .....	108
Figura 32 - Curvas de sucesso (modelo estatístico).....	110
Figura 33 - Curvas de predição (modelo estatístico) .....	110
Figura 34 - Curvas de predição (modelo heurístico) .....	111

## LISTA DE TABELAS

---

Tabela 1 - Caracterização dos principais tipos de movimento de massa no cenário geoambiental brasileiro. Modificado de Augusto Filho (1992).....	6
Tabela 2 - Agentes deflagradores de movimentos de massa. Modificado de USGS (2004) e Highland & Bobrowsky (2008).....	8
Tabela 3 – Quadro síntese das principais abordagens a questões geoambientais segundo Miranda (2005). .....	16
Tabela 4 - Modelos determinísticos para avaliação de áreas para susceptíveis a escorregamentos rasos (Andreis <i>et al.</i> , 2012; Florenzano, 2008; Pack <i>et al.</i> , 2005; Baum <i>et al.</i> , 2002; Vieira <i>et al.</i> , 2006)). .....	20
Tabela 5 - Representação esquemática dos dados necessários à avaliação de susceptibilidade, perigo e risco. Modificado de Van Westen <i>et al.</i> (2008). .....	28
Tabela 6 - Procedimentos para cálculo das curvas de sucesso e AAC. Adaptado de Meneses (2011). .....	30
Tabela 7 - Métodos estatísticos / probabilísticos e formatos de entrada utilizados por Oliveira <i>et al.</i> (2009). .....	31
Tabela 8 - Procedimentos para cálculos dos índices de acerto e erro. ....	33
Tabela 9 - População do Município de Ouro Preto (IBGE, 2010) .....	35
Tabela 10 - Área e população dos distritos de Ouro Preto no ano de 2010 (IBGE, 2010) .....	36
Tabela 11 - Coluna estratigráfica simplificada e ocorrência dos litotipos na área de estudo. ....	40
Tabela 12 - Parâmetros Geotécnicos no Município de Ouro Preto (Silva, 1990 <i>apud</i> Oliveira, 2010). .....	42
Tabela 13 - Ocorrência das unidades de caracterização geomorfológica na área de estudo. ....	52
Tabela 14 - Tipos de solos e ocorrência no Município de Ouro Preto segundo mapa FEAM/UFV (2010). .....	55
Tabela 15 - Áreas das tipologias vegetais no Municíio de Ouro Preto (IEF, 2009). .....	57
Tabela 16 – Softwares utilizados e respectivas aplicações. ....	59

Tabela 17 - Dados Espaciais utilizados na avaliação de susceptibilidade.....	60
Tabela 18 – Identificação de Indícios de Instabilização do Terreno. ....	64
Tabela 19 - Classes de declividade de acordo com Carvalho (1982). ....	65
Tabela 20 - Unidades de relevo. Adaptado de IPT (1981). ....	66
Tabela 21 - Classes utilizadas no mapeamento de uso e ocupação do solo.....	68
Tabela 22 - Características dos modelos de susceptibilidade aplicados na área de estudo. .....	70
Tabela 23 - Classificação geológico-geotécnica utilizada nos mapeamentos de susceptibilidade.....	80
Tabela 24 - Unidades de Relevo No Município de Ouro Preto. ....	84
Tabela 25 - Caracterização geomorfológica do Município de Ouro Preto. ....	86
Tabela 26 – Unidades de relevo em áreas não mapeadas por Vale (2009) .....	87
Tabela 27 - Classes do mapeamento de uso e ocupação do solo. ....	89
Tabela 28 - Classes de NVDI. ....	91
Tabela 29 - Classificação dos temas do modelo heurístico - Região 01.....	96
Tabela 30 - Classificação dos temas do modelo heurístico - Região 02.....	97
Tabela 31 - Probabilidades condicionadas e valores informativos das classes – Região 01. ....	102
Tabela 32 Probabilidades condicionadas e valores informativos das classes – Região 02. ....	103
Tabela 33 – Critério para definição de classes de susceptibilidade. ....	106
Tabela 34 – Quantitativo das evidências de instabilização utilizadas no modelo estatístico e validações.....	110
Tabela 35 - Áreas Abaixo da Curva (Modelo Estatístico).....	111
Tabela 36 - Áreas Abaixo da Curva (Modelo Heurístico).....	111

# LISTA DE NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

---

AAC – Área Abaixo da Curva  
AHP – Analytical Hierarchy Process  
DEM – Digital Elevation Model  
FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente  
IAEG – International Association for Engineering Geology and the Environment  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IEF – Instituto Estadual de Florestas / MG  
IGA - Instituto de Geociências Aplicadas  
JTC – Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes  
ISRM – International Society for Rock Mechanics  
ISSMGE – International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering  
LiDAR – Light Detection and Ranging  
MDT – Modelo Digital do Terreno  
MG – Minas Gerais  
NVDI – Normalized Difference Vegetation Index  
ONU – Organização das Nações Unidas  
PMOP – Prefeitura Municipal de Ouro Preto  
SEMAD – Secretaria de Estado de Meio-Ambiente e Desenvolvimento Sustentável  
SHALSTAB – Shallow Slope Stability  
SINMAP – Stability Index Approach to Terrain Stability Hazard Mapping  
SRTM – Shuttle Radar Topography Mission  
TRIGRS – Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope-Stability Analysis  
SIG – Sistema de Informações Geográficas  
SR – Sensoriamento Remoto  
UFLA – Universidade Federal de Lavras  
UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto  
UFV – Universidade Federal de Viçosa  
VI – Valor Informativo (Índice de Movimentos de Massa)

## **LISTA DE ANEXOS**

---

ANEXO I – Validações de AAC - Memória de Cálculo

ANEXO II – Mapa de Susceptibilidade de Ouro Preto (A0)

# ÍNDICE

---

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. OBJETIVO .....	3
1.1.1. Objetivo Geral.....	3
1.1.3. Objetivos Específicos .....	4
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	4
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	6
2.1. MOVIMENTOS DE MASSA E PROCESSOS EROSIVOS .....	6
2.2. SUSCEPTIBILIDADE, VULNERABILIDADE, PERIGO E RISCO .....	9
2.3. ABORDAGENS TÉCNICAS AOS FENÔMENOS GEOAMBIENTAIS .....	12
2.3.1. Modelos Heurísticos .....	14
2.3.2. Modelos Determinísticos .....	19
2.3.3. Modelos Estatísticos .....	23
2.4. ASPECTOS RELEVANTES SOBRE AS CARACTERÍSTICAS E QUALIDADE DOS DADOS ESPACIAIS .....	24
2.4.1. Escala de trabalho e Planos de Informação .....	24
2.4.2. Validação dos Mapeamentos de Susceptibilidade .....	29
3. CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE OURO PRETO (MG).....	34
3.1. CONTEXTUALIZAÇÃO .....	34
3.2. ASPECTOS GERAIS .....	35
3.3. CLIMA.....	37
3.4. HIDROGRAFIA .....	38
3.5. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA.....	40
3.5.1. Complexo do Bação.....	44

3.5.2. Complexo Santo Antônio do Pirapetinga .....	44
3.5.3. Grupo Nova Lima .....	45
3.5.4. Grupo Maquiné .....	45
3.5.5. Grupo Caraça .....	46
3.5.6. Grupo Itabira.....	46
3.5.7. Grupo Piracicaba.....	47
3.5.8. Grupo Sabará .....	48
3.5.9. Grupo Itacolomi.....	48
3.5.10. Tonalito Alto Maranhão.....	49
3.5.11. Depósitos Recentes .....	49
3.7. GEOMORFOLOGIA.....	50
3.8. SOLOS.....	54
3.9. VEGETAÇÃO .....	56
4. MATERIAIS E MÉTODOS .....	59
4.1. INVENTÁRIO DE DADOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	59
4.2. INVENTÁRIO DE EVIDÊNCIAS DE INSTABILIZAÇÃO DO TERRENO E RECONHECIMENTO DE CAMPO.....	61
4.3. ELABORAÇÃO, ADEQUAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS BASES CARTOGRÁFICAS .....	65
4.3.1. Geologia e Solos .....	65
4.3.2. Dados Derivados de Topografia .....	65
4.3.3. Dados Derivados de Sensores Orbitais.....	67
4.4. AVALIAÇÃO DE SUSCEPTIBILIDADE .....	69
4.4.1. Modelo Heurístico .....	72
4.4.2. Modelo Estatístico Valor Informativo (Índice de Movimentos de Massa) ..	73
4.5. VALIDAÇÃO DOS MODELOS .....	75



5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS .....	78
5.1. EVIDÊNCIAS DE INSTABILIZAÇÃO IDENTIFICADAS .....	78
5.2. CLASSIFICAÇÃO DOS TEMAS.....	79
5.2.1. Geologia e Solos .....	79
5.2.2. Curvatura, Declividade, Amplitude e Geomorfologia.....	81
5.2.3. Uso e Ocupação do Solo e Vegetação .....	89
5.3. MAPEAMENTO DE SUSCEPTIBILIDADE.....	95
5.3.1. Modelo Heurístico .....	95
5.3.2. Modelo Estatístico .....	100
5.3.3. Validação dos Resultados .....	109
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	113
6.1. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	115
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	116

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o crescimento demográfico aliado ao aumento do poder aquisitivo da população resultou em aumento da demanda por serviços e bens. Estes fatores resultaram na expansão de áreas urbanas, necessidade de áreas mais extensas para utilização agropastoril, além do aumento da produção da indústria primária, de transformação e de serviços.

Historicamente não há assistência técnica pública ou controle legal municipal na ocupação do espaço físico, excessivamente associada a decisões políticas, imediatistas ou de curto prazo e sem planejamento técnico. A maior necessidade por estudos do meio físico se concentra nas áreas urbanas, devido principalmente à migração proveniente da zona rural, resultando em maior concentração de pessoas. Em muitos casos, as áreas com maiores problemas geoambientais são ocupadas por população de baixa renda – o que cria um problema social de solução complexa e dispendiosa, agravado pela infraestrutura básica improvisada, ineficaz ou inexistente.

Neste sentido, o mapa de susceptibilidade é considerado como importante instrumento de ordenamento do território, a partir de definições de áreas favoráveis à ocupação e a possibilidade de identificação da relevância de cada tema em potencializar ou minimizar os problemas de movimentos de massas e erosão.

Há necessidade de avaliação técnica integrada do município, não só nas zonas urbanas, possibilitando o planejamento de curto, médio e longo prazo quanto às áreas mais adequadas à utilização antrópica, além da definição de pré-requisitos mínimos, por região, para diferentes cenários de utilização.

Uma das grandes vantagens em uma abordagem nestes moldes se refere à potencial redução dos incidentes relacionados a processos geodinâmicos, através da identificação prévia das potencialidades ou restrições de determinadas áreas quanto à ocupação. Desta forma é possível a assistência à população, redução de vítimas e economia financeira no médio-longo prazo.

O mapeamento básico disponível para maioria dos municípios brasileiros se encontra em pequenas/médias escalas (regionais), por vezes desatualizadas. Desta forma é imprescindível uma metodologia para avaliação de susceptibilidade sistemática e replicável, utilizando técnicas de relativa baixa complexidade, com informações amplamente disponíveis, de fácil acesso, baixo custo ou gratuitas.

A utilização das informações em escala regional deve ser utilizada como indicativo de áreas com boas características físicas, onde os estudos detalhados devem ser realizados, para definição das diferentes formas e premissas de ocupação das áreas. A boa prática recomendada neste caso, em que o planejamento parte da escala regional para local, é eficaz e serve como diretriz para os estudos técnicos e tomada de decisão do poder público.

Para este trabalho, foram identificadas várias possibilidades metodológicas e resultados obtidos por alguns autores em diferentes áreas e contextos de qualidade e quantidade de informação. É observado que invariavelmente a experiência do operador na escolha das premissas utilizadas em função dos dados disponíveis é importante para o sucesso dos mapeamentos.

A avaliação de susceptibilidade a movimentos de massa e erosão proposta se fundamenta no conhecimento das variáveis ambientais e do espaço físico que podem deflagrar ou agravar os processos geodinâmicos no Município de Ouro Preto. Foram aplicadas e avaliadas duas propostas metodológicas, para identificação da que melhor se adéqua ao mapeamento regional (escala 1:50.000).

Para tanto, optou-se pela utilização de dados abertos, disponíveis em sites do IBGE e SISEMA, além de imagens de satélite *Rapideye*, sistematicamente coletadas para o governo de Minas e disponíveis para órgãos públicos e entidades de ensino e pesquisa. Também se fez necessária a utilização de dados geológicos provenientes da compilação realizada por Lobato *et al.*(2005), fundamental para avaliação da variável geotécnica.

A escolha da metodologia aplicada para avaliação de susceptibilidade levou em conta principalmente a possibilidade de replicação, nível de subjetividade associado, além de utilização e tratamento de extensa quantidade de informação (aproximadamente 1.100 km<sup>2</sup> analisados no caso deste estudo).

Uma ação importante, pouco realizada nos mapeamentos de susceptibilidade no Brasil, são as validações dos resultados obtidos. No caso deste trabalho esta informação é expressa nas taxas de sucesso e predição, calculadas a partir do inventário de evidências de instabilização do terreno (movimentos de massa e erosão), elaborados a partir de imagens orbitais e dados derivados de topografia.

## **1.1. OBJETIVO**

### **1.1.1. Objetivo Geral**

O principal objetivo deste trabalho é avaliar diferentes propostas metodológicas para mapeamento de susceptibilidade a movimentos de massa e processos erosivos em escala regional (1:50.000) no município de Ouro Preto – Minas Gerais, Brasil. Para tanto são identificados as principais premissas, temas e metodologias utilizadas, além das restrições inerentes em cada caso. Objetiva-se a aplicação de dois modelos distintos, baseados nas descrições e experiências apresentadas por diferentes autores e descritas na literatura.

O primeiro em uma análise heurística “clássica”, amplamente utilizada no Brasil e fundamentada no conhecimento especialista, definida principalmente a partir de fatores geológicos-geotécnicos e geomorfológicos.

O segundo utiliza uma abordagem estatística, que se fundamenta no inventário de evidências de instabilização do terreno (movimentos de massa e processos erosivos). O inventário é utilizado para identificar, em cada tema, as principais componentes deflagradoras dos processos geodinâmicos (movimentos de massa e erosões) e posterior extrapolação para o restante da área.

### **1.1.3. Objetivos Específicos**

Com o mapeamento de susceptibilidade pretende-se avaliar o grau de influência das componentes naturais e antrópicas nos movimentos de massa e processos erosivos. Para tanto se devem elaborar previamente os seguintes mapeamentos e validações:

- Uso e ocupação do solo;
- Avaliação da vegetação;
- Inventário de movimentos de massa e cicatrizes;
- Identificação de componentes hidrográficas (rios principais, de terceira ordem e respectivas bacias hidrográficas);
- Definição de indicadores morfométricos (declividade, amplitude, curvatura)
- Identificação das unidades de relevo;
- Definição da metodologia mais eficiente na predição dos movimentos de massa, através de uma avaliação quantitativa.

## **1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

Para alcançar o objetivo proposto no estudo, a dissertação foi organizada de maneira a apresentar inicialmente os principais conceitos envolvidos no tema, além de uma caracterização do Município de Ouro Preto, que precede a aplicação metodológica.

O Capítulo 1 apresenta uma breve discussão sobre os principais fatores que motivaram a realização deste estudo, focado nas demandas identificadas, principalmente no tocante

da utilização destes dados no macro planejamento do ordenamento territorial do município.

No Capítulo 2 foram apresentados os conceitos utilizados no discorrer da dissertação, além de identificados as potencialidades e restrições das principais metodologias de mapeamento de susceptibilidade e erosão. É realizada ainda uma breve discussão das características relevantes relacionados à utilização dos dados espaciais e mapeamentos de susceptibilidade.

A caracterização física e socioambiental do município é apresentada no Capítulo 3, onde são identificados os principais estudos com conotação geológico-geotécnica realizados na área. É realizada também a contextualizado dos principais fatores que condicionam a deflagração de processos erosivos e movimentos de massa.

Os materiais e métodos aplicados na área de estudo estão descritos no Capítulo 4. São apresentadas algumas das principais premissas e adequações realizadas, devido às características dos dados utilizados e particulares dos processos geodinâmicos que ocorrem no Município de Ouro Preto.

O Capítulo 5 apresenta os resultados obtidos e, para cada tema estudado e proposto nos objetivos, foi realizada a apresentação dos resultados.

O Capítulo 6 expõe as principais conclusões e discussão sobre os resultados obtidos. São apresentadas ainda algumas recomendações e propostas de estudos posteriores.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. MOVIMENTOS DE MASSA E PROCESSOS EROSIVOS

Devido a grande importância do tema, muitos são os autores que estudaram a dinâmica e os diferentes níveis de influência dos agentes naturais e antrópicos atuantes nos movimentos de massa e processos erosivos. As análises desses temas são realizadas em diferentes perspectivas e por equipes multidisciplinares, objetivando resultados cada vez mais apurados na predição e quantificação destes tipos de processos geodinâmicos (Ramos *et al.*, 2011).

Os movimentos de massa, antropicamente induzidos ou não, são movimentações de solo/rocha em encostas/taludes (Varnes, 1984; JTC-1, 2008), e sua classificação depende das características do processo (velocidade, geometria e conteúdo de água, principalmente), além do tipo de material (solo/rocha/etc.), conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização dos principais tipos de movimento de massa no cenário geoambiental brasileiro. Modificado de Augusto Filho (1992).

Processo	Característica do Movimento, Material e Geometria
Rastejo (creep)	Vários planos de deslocamento (internos).
	Velocidades muito baixas (cms/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade.
	Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes.
	Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada.
Escorregamentos	Geometria indefinida (Indicadores: Inclinação de árvores, postes, cercas, etc.).
	Poucos planos de deslocamento (externos).
	Velocidades médias (m/h) a altas (m/s).

<b>Processo</b>	<b>Característica do Movimento, Material e Geometria</b>
(slides)	Pequenos a grandes volumes de material. Geometria e materiais variáveis (comuns em solos): Planares $\Rightarrow$ solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza; Circulares $\Rightarrow$ solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas; Em cunha $\Rightarrow$ solos e rochas com dois planos de fraqueza.
Quedas (falls)	Sem planos de deslocamento. Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado. Velocidades muito altas (vários m/s). Material rochoso. Pequenos a médios volumes. Geometria variável (lascas, placas, blocos, etc.): Rolamento de matacão Tombamento
Corridas (flows)	Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação) Movimento semelhante ao de um líquido viscoso. Desenvolvimento ao longo das drenagens. Velocidades médias a altas. Mobilização de solo, rocha, detritos e água. Grandes volumes de material. Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.

Os movimentos de massa são bastante condicionados pelas características geotécnicas do material, morfologia e clima, que deflagram e/ou potencializam estes fenômenos. Entretanto é bastante comum sua relação com atividades antrópicas ou a uma sequência/conjunto destes fatores (Tabela 2). Muitas vezes os movimentos de massa são resultado de um histórico de uso e ocupação do solo desordenado e intervenções no meio físico sem o necessário critério técnico, induzindo importantes modificações na dinâmica e estabilidade de encostas. Souza (2004) atribui ao planejamento inadequado alguns dos problemas mais graves relacionados aos processos geológicos, ressaltando a falta de assistência à população na ocupação e uso do espaço territorial.



Tabela 2 - Agentes deflagradores de movimentos de massa. Modificado de USGS (2004) e Highland & Bobrowsky (2008)

<b>Causa</b>	<b>Descrição</b>
<b>Geológica</b>	Materiais fracos (ex: materiais de baixa resistência ao cisalhamento) ou sensíveis (ex: argilas moles).
	Materiais intemperizados.
	Materiais fissurados ou cisalhados.
	Descontinuidades adversamente orientadas (contatos, falhas, xistosidades, estratificação, etc).
	Contraste de permeabilidade.
	Contraste de rigidez (ex: material denso e rígido, sobre material plástico).
<b>Morfológica / Hídrica</b>	Solapamento devido à ação fluvial (ondas, cheias, etc.).
	Saturação do material devido à chuva.
	Erosão subterrânea (dissolução, <i>piping</i> ).
	Deposições de cargas no talude ou na sua crista.
	Remoção da vegetação (por incêndios ou secas, etc.).
<b>Antrópica</b>	Cortes excessivamente inclinados ou na base de taludes.
	Uso de material instável para construção de aterros.
	Carregamentos (sobrecarga) no talude ou na sua crista.
	Rebaixamento e enchimento de reservatórios.
	Desvios de corpos hídricos (planejados ou não)
	Desmatamento.
	Irrigação.
	Mineração.
	Vibrações artificiais.
	Sistemas de drenagem mal dimensionados ou sem reparos.
Vazamentos de água (encanamentos, tubulações de água e esgoto, etc.).	

Outro processo fortemente associado à ocupação do solo e questões de ordenamento territorial são os processos erosivos, que constituem uma das principais causas de degradação do ambiente. Em estágios iniciais são de fácil controle, porém demandando soluções complexas e dispendiosas à medida que sua magnitude aumenta (Silva & Pasqualetto, 2007; Suratman, 2009). A classificação destes processos é baseada na dinâmica (movimentos rápidos ou lentos) e forma de atuação dos agentes erosivos em cada caso (escoamentos concentrados ou dispersos, influência não da água subterrânea, etc). Estes critérios definem os diferentes tipos de feições erosivas, tais como erosões laminares, lineares (sulcos, ravinas e voçorocas), internas e marginais.

Neste estudo é dada maior atenção às voçorocas, feições erosivas profundas (dezenas de metros), em forma de “u” e de grande porte, chegando extensão de vários hectares. As voçorocas podem ou não possuir ramificações, e geralmente estão associadas a outros processos, tais como escorregamentos, atuantes principalmente em suas bordas. Estas características tornam as voçorocas facilmente identificáveis em imagens de sensores orbitais (Magalhães, 2001 e Pinton & Cunha, 2008).

Dentre os principais impactos dos processos erosivos se destacam o assoreamento dos corpos hídricos, empobrecimento precoce de terras produtivas (remoção da camada fértil), riscos a obras civis, aceleração de modificações morfológicas na paisagem, além de impacto visual (Ribeiro & Alves, 2008; Farinasso *et al.*, 2006; Miranda, 2005; Silva *et al.*, 2009). No caso do transporte de sedimentos coloidais para os corpos hídricos, há ainda a diminuição de penetração de raios solares, reduzindo assim a atividade fotossintética e produção de oxigênio, impactando diretamente a fauna aquática (Guimarães *et al.*, 2011; Santos *et al.* 2010).

Os processos erosivos são importantes agentes modeladores do relevo e ocorrem naturalmente no meio físico, entretanto a ação antrópica é importante deflagradora e aceleradora destes processos. As saídas de drenagens mal dimensionadas e concentração das águas superficiais, desmatamentos, ocupação do solo e intervenções no relevo inadequadas provocam impactos relevantes a montante e jusante do ponto de intervenção (Jr. & Filho, 1998; Bertoni, 2008; Tucci & Collischonn, 2011).

## **2.2. SUSCEPTIBILIDADE, VULNERABILIDADE, PERIGO E RISCO**

Nos estudos dos fenômenos geológicos destrutivos (movimentos de massa, erosão, quedas de bloco, corridas, etc) são observadas variações entre as terminologias utilizadas para os mapeamentos, uma vez que os termos risco, perigo, susceptibilidade e vulnerabilidade são comumente utilizados indistintamente. Neste trabalho se buscou uma breve discussão sobre cada um destes termos, com foco à susceptibilidade a movimentos de massa e erosão.

Cerri & Amaral (1998) consideram a susceptibilidade como a possibilidade de ocorrência de um fenômeno geológico. Quando este fenômeno é acompanhado de dano e perda é chamado de risco, ou seja:

$$R = S \times C$$

Onde:

R = Risco;

S = Susceptibilidade (Possibilidade de ocorrência de um evento)

C = Consequência social e/ou econômica potenciais

Contraditoriamente, os autores fazem referencia ao “risco atual” e “risco potencial”. O primeiro caso é considerado o risco instalado em áreas já ocupadas, enquanto o segundo é considerado como sinônimo de susceptibilidade, uma vez que expressa a possibilidade de ocorrência de processos geológicos, mas restrito a áreas não ocupadas. Entretanto um fenômeno geológico em área não ocupada pode ter consequências econômicas e sociais para uma comunidade, como no caso de um deslizamento em área não ocupada às margens do leito de rio utilizado no abastecimento público, por exemplo.

Fernandes & Amaral (2009) indicam que os mapas de susceptibilidade a movimentos de massa devem ter informações sobre a probabilidade espacial e temporal, tipos, magnitudes e velocidades de avanço em uma determinada área. Os autores ressaltam que o este mapa não deve ser utilizado para avaliação de um talude específico, e sim de regiões com características similares que indiquem mesmo nível de susceptibilidade.

O guia para zoneamento de susceptibilidade, perigo e risco para planejamento de JTC-1 (2008) é fruto de uma extensa discussão envolvendo um conjunto de organizações técnicas internacionais (ISSMGE, IAEG e ISRM) e foi aplicado/validado por 40 profissionais de diferentes instituições de ensino superior e empresas. Esta publicação define a susceptibilidade a movimentos de massa (*Landslide susceptibility*) como “*uma avaliação qualitativa ou quantitativa da classificação, volume (ou área) e distribuição espacial de movimentos de massa existentes ou que podem ocorrer em uma área. A susceptibilidade pode ainda incluir a velocidade de avanço e intensidade dos*

*movimentos de massa existentes ou potenciais. É esperado que os movimentos de massa irão ocorrer em áreas de maior susceptibilidade e, nas análises de susceptibilidade, o tempo [para ocorrência dos movimentos de massa] não é levado em conta.”.*

O guia traz ainda definições para perigo, vulnerabilidade e risco. O perigo (*hazard*) é definido como “*uma condição com potencial de causar consequências indesejáveis*”. No caso de mapeamentos de perigo a movimentos de massa (*landslide hazard*), devem ser consideradas a localização, volume (ou área), classificação e velocidade de avanço dos possíveis movimentos de massa e materiais mobilizados. A diferenciação com relação à susceptibilidade se refere na determinação do período de tempo na probabilidade de ocorrência em um evento.

O termo vulnerabilidade (*vulnerability*) foi o mesmo utilizado por Varnes (1984), ou seja, o grau de perda de um dado elemento, ou conjunto de elementos, em uma área afetada por um movimento de massa. É representado pela escala de 0 (sem perdas) a 1 (perda total). Esta definição se difere da utilizada nas ciências ambientais, que indicam a vulnerabilidade como sinônimo de susceptibilidade, como no caso de EPA (2002), que considera vulnerabilidade como o grau de susceptibilidade/exposição de uma comunidade a desastres ambientais.

O risco (*risk*) é definido por JTC-1 (2008) como “*uma medida da probabilidade e severidade de um efeito adverso à saúde, bens materiais e meio ambiente*”. Neste contexto, o risco é o produto da probabilidade de ocorrência de um fenômeno de uma determinada magnitude vezes a consequência, ou seja:

$$R_1 = P \times C_1$$

Onde:

$R_1$  = Risco;

P = Probabilidade de ocorrência de um evento de determinada magnitude

$C_1$  = Consequência à saúde, economia e ao meio ambiente.

Entretanto JTC-1 (*op. cit.*) ressalta que uma interpretação mais generalista do risco envolve a comparação entre probabilidade e consequências em uma forma mais qualitativa. Para análises quantitativas é recomendada a utilização de dados de intensidade dos movimentos de massa. O risco é ainda detalhado da seguinte forma:

- Risco de perdas de vidas: A probabilidade anual que uma pessoa tem de perder a vida devido a um movimento de massa, sua probabilidade espacial/temporal e vulnerabilidade da pessoa.
- Risco a bens materiais: A probabilidade anual de um determinado grau de perda a bens materiais ou as perdas anuais de um elemento em risco, sua probabilidade espacial/temporal e vulnerabilidade.

Existem ainda as terminologias definidas por outros autores, dentre os quais Einstein (1988), ONU (2004). Entretanto nestes casos os problemas geoambientais consideram os danos e perdas (risco/ perigo/ vulnerabilidade), ou seja, fogem do objetivo deste estudo, uma vez que dependem de escalas maiores que a aplicada e/ou maior quantidade de informação nas análises.

Para este trabalho será utilizado o conceito apresentado por JTC-1 (2008). Foi considerado que a abordagem apresentada pelo autor é mais atualizada, e se distingue melhor dos termos “perigo”, “risco” e “vulnerabilidade” utilizados no mapeamento de movimentos de massa.

Ressalta-se que na cartografia em geral, há ainda os termos designados em diferentes conotações e contextos, tais como “fragilidade”, “sensibilidade”, “predisponência”, “restrições”, dentre outros, mas estes são utilizados com menos frequência e/ou mais aplicados em outras áreas do conhecimento (Sobreira & Souza, 2012; Gimenes & Filho, 2013).

### **2.3. ABORDAGENS TÉCNICAS AOS FENÔMENOS GEOAMBIENTAIS**

Os primeiros mapas de susceptibilidade amplamente divulgados foram elaborados pela USGS através dos autores Radbruch & Crowther (1970), Nilsen & Wright (1979) e

Brabb et al. (1972). Os dois primeiros realizaram uma abordagem considerando um inventário de cicatrizes e eventos recentes, enquanto Brabb (1972) realizou uma abordagem semi-quantitativa, considerando, além do inventário, a geologia e declividade (de forma generalizada).

Observa-se que desde o início, quando se trata de fenômenos geoambientais, especificamente movimentos de massa, diversas são as abordagens para definição das áreas de maior susceptibilidade. O que basicamente difere cada uma destas abordagens (ou modelos) é a disponibilidade de dados (onde se inclui o histórico de ocorrências), escala de trabalho, além das premissas e critérios de análise estabelecidos em função da técnica aplicada.

Há diversas metodologias aplicadas ao tema, considerando principalmente a utilização de inventários e cruzamento de mapas para combinação de fatores relevantes à deflagração dos movimentos de massa. As análises também podem ser realizadas através das simulações de cenários, definidos com o intuito de identificação de situações pioradas ou extremas, como é o caso dos modelos hidrológicos com elevados períodos de retorno e análises de estabilidade de taludes com condições saturadas. Este tipo de abordagem também serve para a hierarquização dos problemas, através da determinação de níveis de alerta e ação nos casos em que a situação real se aproxima da dos cenários analisados.

Não exclusivo aos estudos de erosão e movimento de massa, os modelos podem ser definidos como heurísticos, determinísticos e estatísticos. Não obstante, há casos onde é utilizado mais de um tipo de modelo e, em cada etapa de análise, pode-se utilizar a abordagem que mais se adequa aos dados disponíveis e premissas utilizadas. Os mapas de susceptibilidade são representados principalmente por níveis (ou escalas) de maior ou menor susceptibilidade ou ainda em relações de “susceptível” e “não susceptível”, a depender da técnica aplicada.

### 2.3.1. Modelos Heurísticos

Os modelos heurísticos utilizam uma abordagem mais subjetiva sobre os fenômenos geoambientais, e dependem fortemente do fator interpretativo ou inferência, resultando em produtos que espelham a experiência e decisões realizadas pelo operador do estudo (Soeters & Van Westen, 1996). A escolha dos planos de informação (temas), respectivos graus de relevância e metodologias utilizadas nas análises são definidos principalmente em função do entendimento dos autores sobre os fatores físicos e deflagradores nos movimentos de massa.

São identificadas as principais variáveis que definem, influenciam ou potencializam as instabilizações dos materiais, obtidas através de observações diretas (caso se inicie de um conjunto de dados) ou indiretas, a partir do conhecimento e experiência. No caso do mapeamento direto, podem ser realizados inventários de escorregamentos (de um evento específico ou temporal), identificação de cicatrizes e levantamentos de campo. A partir destes dados o mapeamento é realizado em função dos principais agentes atuantes, através de uma contextualização das características do terreno, principalmente (Câmara *et al.*, 2001; Marcelino & Formagio, 2004; Barredo *et al.*, 2000; Zuquette & Gandolfi, 2004).

Os mapeamentos por métodos indiretos, abordagem bastante comum em estudos de movimentos de massa, se iniciam com a identificação dos agentes condicionantes de instabilização (mapas geológico-geotécnicos, uso e ocupação e geomorfológicos, principalmente). Em seguida são aplicadas técnicas booleanas (relações binárias, onde uma condição ou conjunto de condições é ou não atingido), médias ponderadas, lógica fuzzy, dentre outros para geração dos mapas de susceptibilidade, resultado do cruzamento das informações que são indicadores de maior predisposição a estes fenômenos (Câmara *et al.*, 2001).

Dentre as técnicas aplicadas, destaca-se o “Processo Analítico Hierárquico” (AHP), que integra diferentes planos de informações, em uma abordagem onde são atribuídos pesos em função da relevância do tema no contexto e objetivo do estudo. Gimenes & Filho

(2013) aplicaram a técnica para geração de mapas de fragilidade ambiental em uma área de 82,32 km<sup>2</sup>, considerada sob influência do Oleoduto São Paulo (municípios de São Simão, Cravinhos e Ribeirão Preto). Para identificação da fragilidade, os autores combinaram os mapas de susceptibilidade à erosão (elaborado a partir da declividade, concavidade, uso e tipo de solo), de fatores bióticos e socioeconômicos (elaborado a partir do uso do solo). Segundo a metodologia e conceitos aplicados, os resultados obtidos foram mais confiáveis em função da utilização do AHP, que assegurou que os julgamentos realizados para os pesos dos temas fossem coerentes.

Marcelino & Formagio (2004) realizaram uma comparação entre as técnicas booleana e média ponderada, para análise de susceptibilidade a escorregamentos em Caraguatatuba SP. Para as análises, os autores utilizaram os dados de topografia, drenagem, rede viária, geologia, lineamentos (falhas e fraturas), pedologia e uso do solo, hipsométrico, declividade, orientação das encostas, além das distâncias (buffers) dos temas de drenagem, rede viária e lineamentos. A partir do inventário de cicatrizes os temas foram reclassificados em “favorável” ou “não-favorável”, no caso da técnica booleana, e atribuídos os pesos para os temas, para o caso das médias ponderadas. Os autores reservaram ainda 100 registros de cicatrizes (20,1% do total) para validação e comparação dos métodos utilizados. Os resultados apresentaram melhor correlação para média ponderada, principalmente em classes de susceptibilidade mais altas, ressaltando a grande simplificação da análise booleana como fator preponderante para o resultado.

Para o embasamento teórico de seu trabalho, Miranda (2005) realizou o levantamento dos principais métodos de mapeamento aplicados aos movimentos de massa/erosão (risco, perigo, susceptibilidade, vulnerabilidade). Conforme apresentado no quadro síntese (Tabela 3), as metodologias analisadas foram organizadas em função das principais informações utilizadas em cada caso, do objetivo e forma de abordagem (realização de classificação quanto aos tipos de mapeamento, discussões sobre as escalas em função dos planos de informação e/ou metodologias, indicação ou não dos procedimentos metodológicos).



Tabela 3 – Quadro síntese das principais abordagens a questões geoambientais segundo Miranda (2005).

METODOLOGIA	OBJETIVO	ABORDAGEM				PRINCIPAIS INFORMAÇÕES UTILIZADAS
		Classificação dos mapeamentos*	Escala	Indicação de procedimentos metodológicos	Indicação de Planos de informação	
CENDRERO (1975)	Foco geoambiental				x	Processos geodinâmicos ativos, geomorfologia, propriedades físicas dos materiais rochosos, meio biótico, influência antrópica.
COTTAS (1983)	Questões relacionadas ao contexto urbano	x	x**			Características geológico-geotécnicas, geomorfologia, pedologia, geofísica, prospecção do solo, hidrologia, hidrogeologia, dentre outros.
EESC-USP	Ocupação do solo	x		x		Meio físico.
Francesa (SANEJOUND, 1972)	Mapeamentos geotécnicos regionais	x	x			Abordagem à geologia em função das características geotécnicas.
GRECHI (1998)	Susceptibilidade erosiva			x	x	Pedologia, geologia, declividade, hidrografia.
International Association of Engineering Geology (IAEG, 1976)	Mapeamento geotécnico em geral	x	x	x	x	Meio físico (geologia, hidrogeologia, geomorfologia e processos geodinâmicos).
IPT (PRANDINI et al., 1993) e DINIZ et al. (1999)	Questões relacionadas ao uso do solo e características geotécnicas	x				Meio físico e uso/ocupação do solo
PUCE (Pattern, Unity, Component, Evaluation)	Aplicações de Engenharia	x	x	x		Meio Físico (geologia, drenagem, vegetação, geomorfologia - principal, dentre outros). O nível de detalhamento aumenta em função da escala.
SOBREIRA (1995)	Ocupação do solo			x	x	Mapeamento geológico detalhado, geomorfologia, hidrogeologia, recursos minerais e de interesse científico

\*Finalidade, conteúdo/forma, etc

\*\* Escala definida 1:10.000

Em todos os casos observa-se que a utilização dos planos de informação é bastante dependente das interpretações do autor, que em alguns casos leva em conta a escala. A característica heurística das abordagens é intensificada nos trabalhos de Cottas (1983) *apud* Miranda (2005) e Sobreira (1995) que adaptaram outros trabalhos para uma demanda específica, ou, como no caso da EESC-USP, realizaram uma tentativa de generalização e padronização metodológica.

A metodologia CPRM (Sampaio *et al*, 2013) utiliza a média ponderada para elaboração de mapa de níveis de susceptibilidade. Nesta abordagem são utilizados os temas de geomorfologia, geologia, declividade e pedologia, que são reclassificados em função da favorabilidade (condicionante) aos processos de movimentos de massa, enchentes e inundações. A avaliação segue duas vertentes distintas, uma para movimentos de massa

e outra para enchentes e inundações, que são integradas em um mapa final ao término do processo.

Para os movimentos de massa (Figura 1), inicialmente é realizada a reclassificação e cruzamento dos temas de padrões de relevo e declividade. Na sequência este resultado é cruzado com os mapas reclassificados de geologia e solos. Sampaio *et al.* (*opt cit.*) ressalta a relevância destes temas em transmitir maior ou menor capacidade de resistência à deflagração de processos destrutivos.

Os topos e sopés de elevações que, devido à baixa declividade, podem mascarar situações de maior susceptibilidade a movimentos destrutivos. Para avaliação destas áreas e refino do mapa são utilizadas imagens, ortofotos e/ou plantas planialtimétricas. Por último, todas as informações são validadas por intermédio de trabalhos de campo

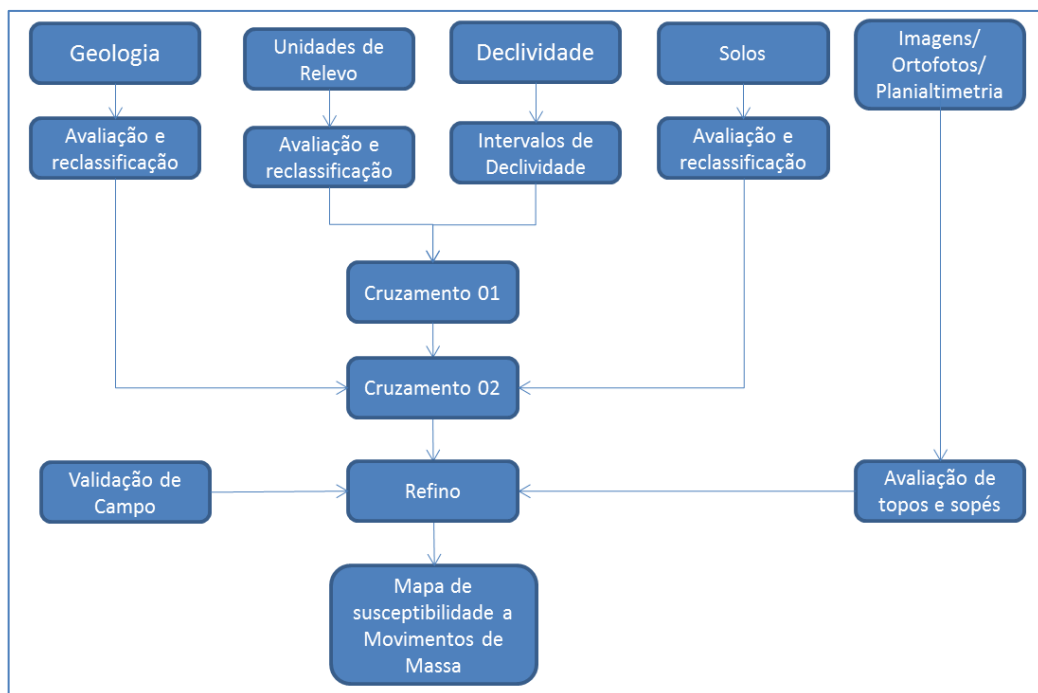


Figura 1 - Metodologia CPRM - Fluxograma da avaliação de susceptibilidade a movimentos de massa.

Na avaliação das áreas susceptíveis às enchentes e inundações (Figura 2) são utilizados os mapeamentos de solos e unidades do relevo. É relaciona a presença de solos úmidos

e relevos de baixa amplitude com a ocorrência de áreas susceptíveis a este tipo de processo.

Sampaio *et al.* (2013) indica que, para estes processos, são consideradas ainda variações de amplitude (até 10m) em relação à calha do rio para definição de susceptibilidades altas, médias e baixas, observando os solos contidos nestas áreas. No mapeamento de Santa Maria (RS), são citados exemplos de casos onde a amplitude foi  $< 3\text{m}$  e solos aluvionares (Neossolos Flúvicos) como alta susceptibilidade, amplitudes entre 3m e 10m e terraços fluviais como susceptibilidade média, além de amplitudes maiores que 10 e terraços fluviais como susceptibilidade baixa.

No caso das enxurradas, são consideradas drenagens encaixadas em terrenos montanhosos e escarpados como alta susceptibilidade. Foram utilizadas observações de campo para definir áreas de até 25m de distância da drenagem como atingíveis por este tipo de evento.

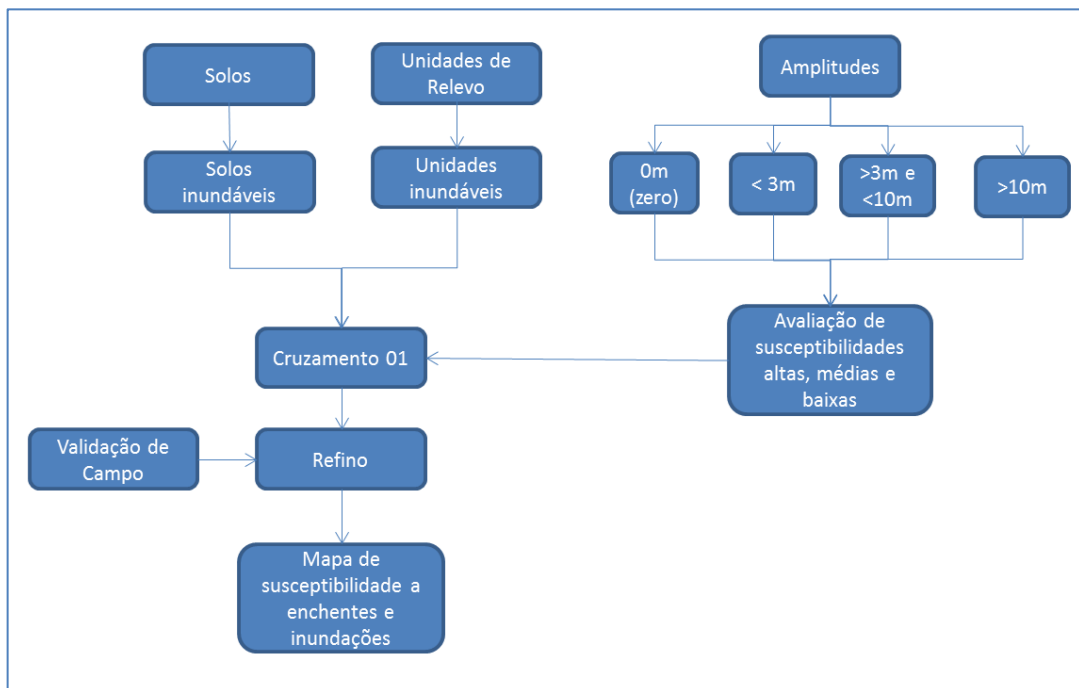


Figura 2 - Metodologia CPRM - Fluxograma da avaliação de susceptibilidade a enchentes e inundações.

Por fim as informações relativas aos dois grupos de processos são integradas em um mapa final, indicando a susceptibilidade aos principais processos destrutivos que ocorrem em um município (Figura 3).

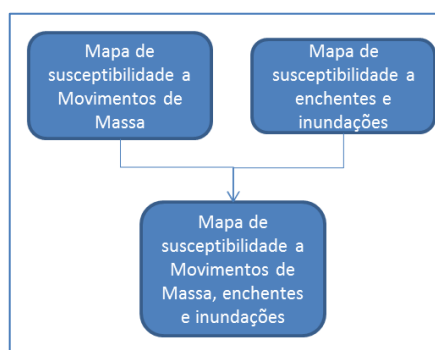


Figura 3 - Metodologia CPRM - Fluxograma da elaboração do mapa de susceptibilidade final.

Desta forma, cinco níveis hierarquizados de susceptibilidade à eventos destrutivos (Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta) indicam as áreas mais apropriadas para ocupação e as áreas que devem ser evitadas.

Ressalta-se que as análises heurísticas realizadas em conjunto com outros métodos podem reduzir a subjetividade e inferência, como no caso do trabalho de (Castellanos Abella, 2008) que obteve bons resultados no mapeamento de susceptibilidade e perigo na província de Guantánamo (Cuba) em escala regional, combinando modelos heurísticos, estatísticos e redes neurais.

### **2.3.2. Modelos Determinísticos**

Segundo Zuquette & Gandolfi (2004) e Terlien *et al.*, (1995), os modelos determinísticos são baseados em condições pré-estabelecidas de procedimentos de análise, onde há necessidade de coleta (campo ou laboratório) e definição de um grande número de atributos. Nestes modelos são aplicadas leis da física da conservação de massa, energia e momento para obtenção de fatores de segurança (ou índices indicativos), além da distribuição do nível freático e poro pressões atuantes. Este fato

exige condições de homogeneidade quanto à distribuição espacial dos atributos na área de estudo.

As abordagens de *Shallow Slope Stability - SHALSTAB* (Florenzano, 2008) e *Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope-Stability Analysis - TRIGRS* (Baum *et al.*, 2002) se propõem ao zoneamento de áreas susceptíveis a movimentos de massa translacionais rasos (Figura 4) utilizando parâmetros geotécnicos do solo e presença ou não de água. As abordagens utilizam o método do talude infinito, onde o comprimento do talude é bem maior que a profundidade de solo mobilizado, além de uma redução da resistência normal devido à poro pressão gerada pela água. As diferentes metodologias aplicadas estão apresentadas na tabela 4, que mostra também o *Stability Index Approach to Terrain Stability Hazard Mapping - SINMAP 2* que, por sua abordagem probabilística, é apresentado no tópico a seguir.

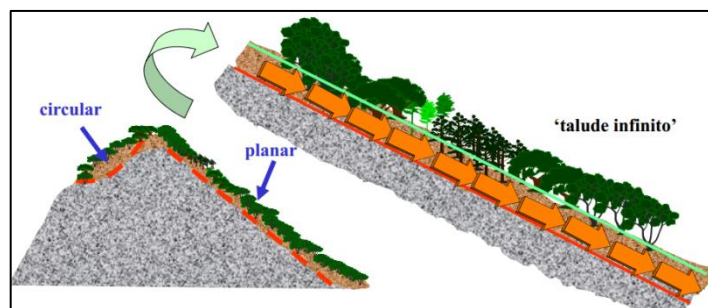


Figura 4 - Perfil de análise do método do "talude infinito" (Gomes, 2010).

Tabela 4 - Modelos determinísticos para avaliação de áreas para susceptíveis a escorregamentos rasos (Andreis *et al.*, 2012; Florenzano, 2008; Pack *et al.*, 2005; Baum *et al.*, 2002; Vieira *et al.*, 2006).

	<b>TRIGRS 2</b>	<b>SINMAP 2</b>	<b>SHALSTAB</b>
<b>Método Aplicado</b>	(Baum <i>et al.</i> , 2002)	(Montgomery & Dietrich, 1994)*	(Montgomery & Dietrich, 1994)
<b>Componente Temporal</b>	Dinâmico	Estático	Estático
<b>Componente Hidrológica</b>	Infiltração, escoamento superficial, carga hidráulica no menor FS	Umidade (Beven & Kirkby, 1979)**	Umidade (Beven & Kirkby, 1979)
<b>Premissas</b>	Condições transientes	Condições de fluxo laminar	Condições de fluxo laminar

	<b>TRIGRS 2</b>	<b>SINMAP 2</b>	<b>SHALSTAB</b>
	Massa mobilizada saturada ou não saturada.	Massa mobilizada saturada ou não saturada.	Massa mobilizada completamente saturada
	N.A paralelo ao talude	Fluxo de água paralelo ao talude	Fluxo de água paralelo ao talude
	Solo homogêneo com variação espacial	Solo homogêneo com variação espacial	Solo homogêneo com variação espacial
	Limites impermeáveis ou infinitos	Limites impermeáveis	Limites impermeáveis
<b>Modelo</b>	Linearização na equação de Richard	Balanço de massa <i>versus</i> FS	Balanço de massa <i>versus</i> FS
	- Intensidade de chuvas;	- Coesão (máximo e mínimo)	- Coesão efetiva
	- Condutividade hidráulica em condições saturadas;	- Peso específico do solo	- Peso específico do solo
	- Coesão;	- Ângulo de atrito (máximo e mínimo)	- Ângulo de atrito
	- Ângulo de atrito	- Transmissividade	- Transmissividade quando saturado
<b>Principais Parâmetros utilizados</b>	- Peso específico da água	- Profundidade do solo	- Profundidade do solo
	- Peso específico do solo	- Recarga (Precipitação efetiva)	- Recarga (Precipitação efetiva)
	- Profundidade inicial da água		
	- taxa de infiltração		
	- Profundidade de solo		
	- Carga hidráulica na profundidade máxima		

\* O modelo é considerado similar a (Montgomery & Dietrich, 1994). Entretanto a coesão pode ser modelada de modo equivalente a Wu & Sidle (1995) e houve a incorporação da "incerteza", que aplica probabilidade uniforme e limites inferiores e superiores para variação dos valores de parâmetros.

\*\* O modelo difere por não considerar que a condutividade hidráulica decresce com a profundidade.

O *Rock Slope Stability GIS* - RSS-GIS (Gunther, 2003; Gunther, 2008a; Gunther, 2008b) é uma aplicação computacional para identificação de áreas susceptíveis a movimentos de massa em rocha a partir da automação em ambiente SIG de análises cinemáticas.

Segundo a metodologia do autor, inicialmente é elaborado um “Modelo Digital Estrutural” (sigla DStM, do inglês *Digital Structural Model*), com as direções de mergulho e mergulho distribuídas continuamente em toda área de estudo. Neste caso o autor leva em conta as características geológicas e estruturais da área em estudo e a escala de trabalho, além da quantidade, distribuição espacial e qualidade das medidas de campo. A depender destas características, são possíveis três abordagens distintas: 1) as medidas de campo das estruturas geológicas planares (xistosidades, descontinuidades, etc) são estruturadas como vetores (pontos e linhas) e interpolados pelo inverso da distância ponderado (IDW), utilizando os dados de eventos tectônicos (linhas de sinclinais, anticlinais falhas de empurrões) como barreiras. 2) utilização da projeção geométrica variável elaborada por De Kemp (1998, 1999) e 3) a partir de uma análise estatística das famílias de descontinuidades em áreas homogêneas (Gunther *et al.*, 2012; Ghosh *et al.*, 2010).

São ainda utilizados os dados de aspecto e declividade derivados do MDT (Modelo Digital do Terreno) e ângulos de atrito – também espacializados através de interpolação para toda área de estudo. A partir destes dados o autor identifica as relações angulares e interseções entre duas descontinuidades e entre descontinuidades/interseções e faces de taludes, para realização das análises cinemáticas e identificação de movimentos planares, cunhas e tombamentos (Gunther, 2003).

Na sequência é possível a definição de cenários, baseados na redução da força normal pela existência de água. Neste caso são utilizados parâmetros hidrológicos/hidrogeológicos (recarga e condutividade hidráulica), coesão, densidade do material e espessura de camada potencialmente mobilizada para aplicação do critério de Mohr-Coulomb.

A abordagem pode ser aplicada na avaliação de estabilidade de encostas, mapeamento de estruturas, reconhecimento de fluxos hidrológicos e análises geomorfológicas da paisagem.

### 2.3.3. Modelos Estatísticos

Nos métodos estatísticos, as ocorrências passadas de movimentos de massa são utilizadas em uma análise combinada como os fatores e características do meio físico para determinação e quantificação dos movimentos de massa. São definidas, também, áreas onde os movimentos de massa não ocorreram (ou ocorreram em menor frequência e/ou quantidade), mas que possuem características similares às com riscos maiores (Soeters & Van Westen, 1996). Zêzere *et al.* (2009) ressaltam que os resultados destes métodos refletem o histórico de ocorrência em função das características condicionantes da área atingida, desta forma podem ser prejudicados no caso de mudanças (induzidas ou não) nos temas utilizados.

As análises estatísticas, demandam a utilização de uma variável dependente, que no caso são os registros de movimentos de massa já ocorridos (ativos, em estabilização, estabilizados ou em reativação). No caso das análises bivariadas, cada tema é avaliado separadamente em função dos registros encontrados, mas possuem como desvantagem o fato de não considerarem a auto-correlação entre os temas. Já na análise multivariada, há possibilidade de identificação de uma possível autocorrelação e a variabilidade existente nas propriedades estudadas (Landim, 2010; Zêzere, 2002).

O método *Weights of Evidence* é uma abordagem Bayesiana na forma log-linear que indica a probabilidade de ocorrência de um evento (movimento de massa) baseado na contribuição relativa de cada plano de informação condicionante nos eventos já deflagrados (*data-driven*). Em uma área, a associação de uma classe de um tema aos movimentos de massa é definida pelos valores de “W+” e “W-”, que indicam respectivamente maior ou menor correlação existente. Já valores próximos de zero (ou zero) indicam aleatoriedade entre os movimentos e classes dos temas (Bonham-Carter, 1994; Mathew *et al.*, 2007; Filho, 2006). Correia *et al.* (2013) ressaltaram que uma das maiores dificuldades para aplicação do modelo é a exigência de independência condicional entre os dados, ou seja, baixa correlação entre classes.



Uma abordagem probabilística implica em extrapolação dos limites de análise. O software SINMAP 2 - Stability Index Mapping (Pack *et al.*, 2005), é um modelo estocástico baseado na abordagem de Montgomery & Dietrich, (1994) *Apud* Pack *et al.* (2005) para o talude infinito, mas que se difere do modelo determinístico por implementar uma abordagem conservadora, uma vez que considera a possibilidade de variação espacial das características do solo. Desta forma o modelo incorpora uma "incerteza", que aplica probabilidade uniforme e limites inferiores e superiores para variação dos valores de parâmetros inseridos.

Outros métodos estatísticos, tais como probabilidade bayesiana, redes neurais artificiais, regressão logística, algoritmo genético, distância de *mahalanobis*, máxima entropia, máxima verosimilhança são discutidos e ou aplicados em Oliveira *et al.* (2009), Castellanos Abella (2008); Chung & Fabbri (1999), Brenning (2005) e Pradhan & Lee (2009).

## **2.4. ASPECTOS RELEVANTES SOBRE AS CARACTERÍSTICAS E QUALIDADE DOS DADOS ESPACIAIS**

### **2.4.1. Escala de trabalho e Planos de Informação**

A escolha do método e premissas a serem aplicados nos mapeamentos de susceptibilidade é condicionada pela precisão espacial e informação inerente à escala dos temas, ferramentas tecnológicas disponíveis para aquisição e processamento de dados e das observações realizadas em trabalhos de campo. Soeters & Van Westen (1996) indicam que a escolha e hierarquização das metodologias a serem aplicadas em função da escala também definem as relações de custos/benefícios aceitáveis em cada caso.

Zuidam (1982) *apud* Florenzano (2008) realizou um estudo em uma área no nordeste da Espanha para avaliar o grau de generalização entre mapeamentos geomorfológicos em diferentes escalas (1:200.000, 1:100.000 e 1:50.000). O autor concluiu que entre as informações dos mapas 1:100.000 e 1:50.000 há generalização de aproximada 15 a 20%

em alguns casos. Já quando comparadas as escalas 1:200.000 e 1:50.000 a perda de informação varia entre 45 e 55%.

Em avaliações de estabilidade de escorregamentos rasos (modelos determinísticos) Claessens *et al.* (2005) concluíram que a variação da resolução espacial (altimetria) do MDT de 10 m para escalas menores (100 m, 50 m e 25 m) tem uma grande influência no resultado das áreas ditas como instáveis, uma vez que as melhores resoluções apresentam maior variação de perigo com diferentes cenários de chuva. A declividade, plano de informação amplamente utilizado como condicionante em movimentos de massa, apresentou variação de até 20% (Figura 5).

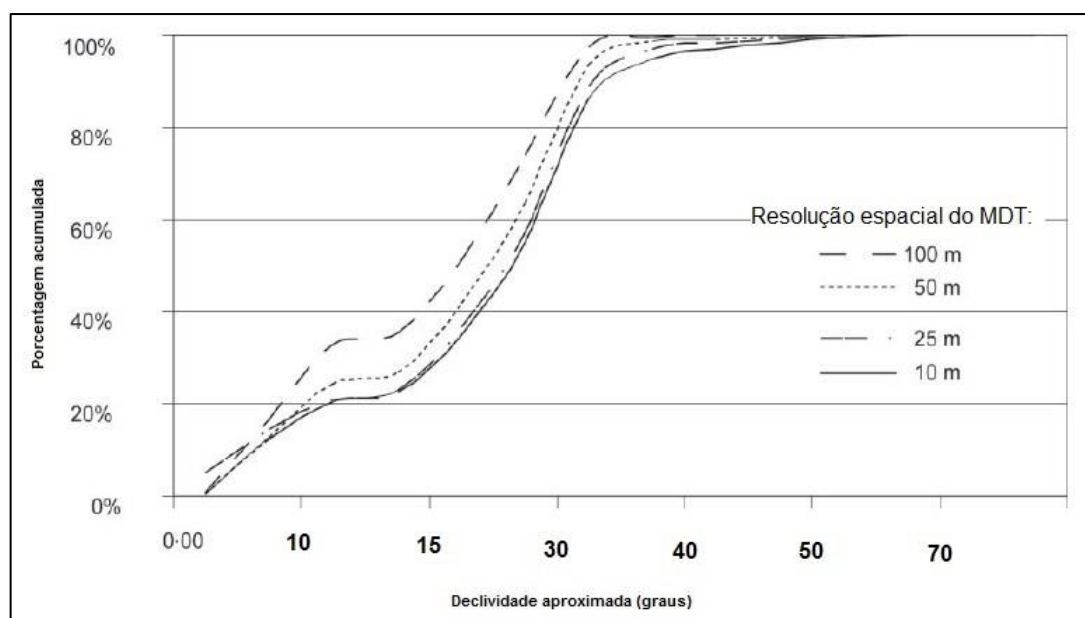


Figura 5 - Variação da Declividade em função da resolução espacial em MDT. Adaptado de Claessens *et al.* (2005).

As características das fontes utilizadas para geração de dados primários e derivados também influenciam os resultados dos modelos. Van Westen *et al.* (2008) compararam as declividades geradas a partir de diferentes fontes de dados. Conforme observado na Figura 6, os valores mais altos de declividades foram omitidos em escalas menores e “redistribuídas” para as classes mais baixas, conseqüentemente a maior variação entre as escalas ocorreu em classes menores de declividade. Entretanto a classe 10-15 indica as maiores frequências de movimentos de massa em praticamente todas as resoluções (com um desvio padrão associado).

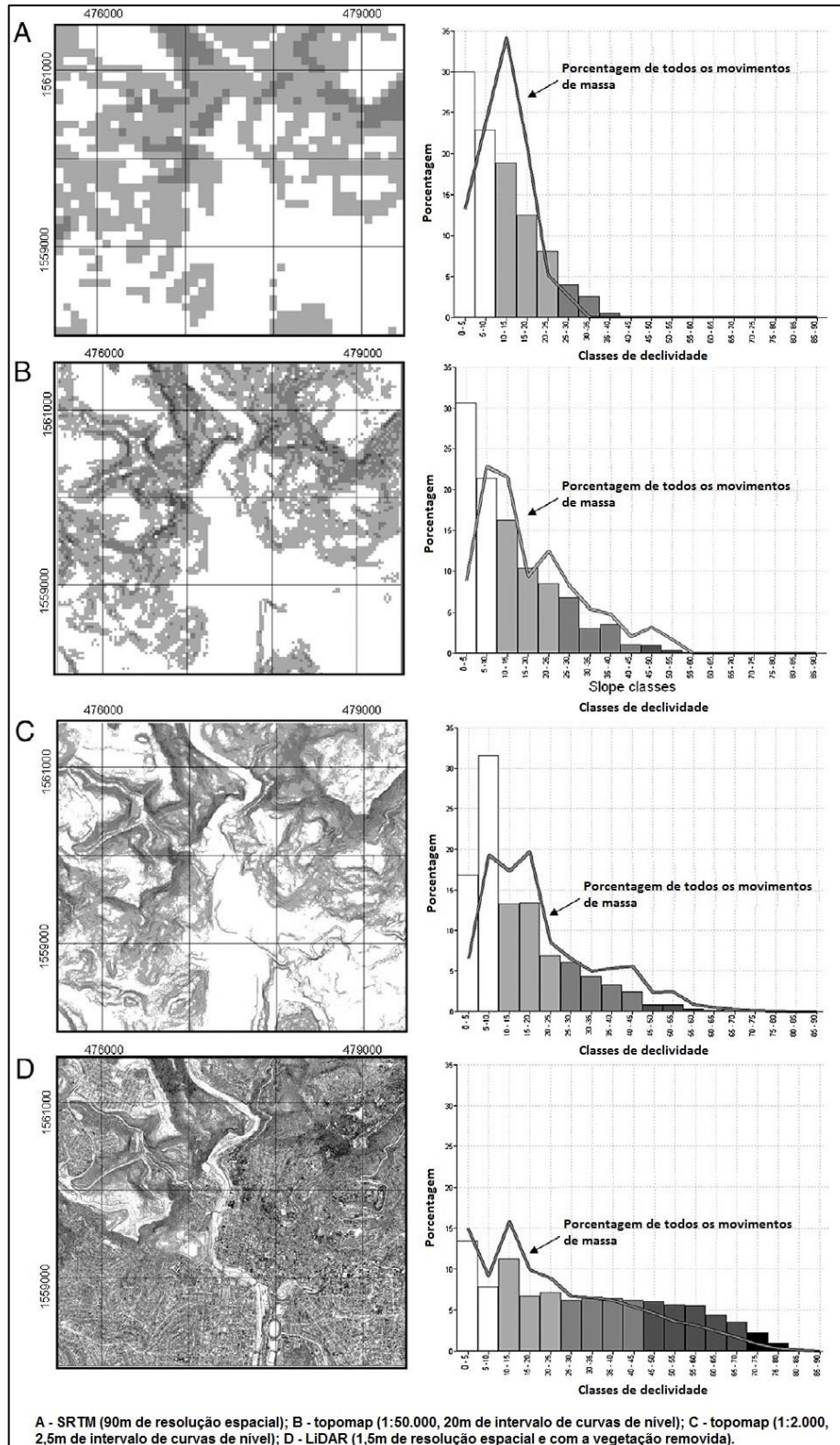


Figura 6 - Variação das classes de declividade em função da escala. Observar a distribuição dos movimentos de massa de acordo com a declividade (linha) Van Westen *et al.* (2008).

Ainda de acordo com a Figura 6, a distribuição de movimentos de massa em função da declividade é bastante diferente em cada escala. A grande maioria dos movimentos de massa indicados no caso SRTM (A) ocorre na classe 10-15 e está mais distribuído no caso do LiDAR (D). Observa-se que a variação da escala tem maior impacto nos casos de grande variação topográfica (regiões montanhosas e relevos escarpados, como no caso do Município de Ouro Preto), uma vez que a declividade tende a ser suavizada em função da maior escala.

Van Westen et al. (2008) também idealizaram um procedimento mínimo de avaliação de movimentos de massa, além de uma discussão sobre questões relativas às escalas de trabalho, planos de informações e respectivas frequências de atualização nos mapeamentos de susceptibilidade, perigo, risco e vulnerabilidade (segundo as definições de JTC-1, 2008). Conforme Tabela 5, os temas foram ainda hierarquizados (Crítico, alto, médio e baixo) em função da importância de utilização nas escalas de mapeamento e/ou método aplicado, além da aplicabilidade dos dados de sensoriamento remoto (SR) para aquisição/elaboração dos temas.

Os inventários de movimentos de massa possuem grande importância na abordagem e foram considerados em todas as escalas e métodos como dado de entrada e validador dos modelos aplicados. A elaboração deste inventário deve considerar o maior número de informações possível, principalmente relacionadas à localização, tipo, agente e data de deflagração.

Tabela 5 - Representação esquemática dos dados necessários à avaliação de susceptibilidade, perigo e risco. Modificado de Van Westen *et al.* (2008).

Dado		Frequência de Atualização (anos)	SR	Escala				Perigo / Vulnerabilidade (MÉTODOS)			
Tipo	Plano de informação	10..... 1..... 0,002 (dia)	Sensoriamento Remoto	Pequena	Média	Grande	Detalhada	Heurístico	Estatístico	Determinístico	Probabilístico
Inventário de Movimentos de Massa	Inventário	↔	A	C	A	A	A	C	A	A	A
	Atividade	↔	A	M	C	C	C	A	C	C	C
	Monitoramento	↔	M	M	M	M	C	-	-	A	A
Fatores Ambientais	DEM	↔	A	A	C	C	C	A	C	C	C
	Declividade / Aspecto / etc	↔	A	B	A	A	A	A	A	A	A
	Amplitude	→	A	A	M	B	B	A	B	-	-
	Fluxo Acumulado	→	A	B	M	A	A	B	M	A	A
	Litologia	→	M	A	A	A	A	A	A	A	A
	Estrutura	→	M	A	A	A	A	A	A	A	A
	Falhas	→	M	A	A	A	A	A	A	-	-
	Tipos de Solo	→	M	M	A	C	C	A	A	C	A
	Profundidade de Solos	→	-	-	B	C	C	-	-	C	A
	Parâmetros hidrológicos	↔	-	-	-	C	C	-	-	C	A
	Principais Unidades Geomorfológicas	→	A	C	A	B	B	C	M	B	B
	Unidades Geomorfológicas Detalhadas	→	A	A	A	B	B	A	A	M	B
Uso e Ocupação do Solo	↔	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Modificações no uso do solo	↔	A	M	A	C	C	A	A	A	C	
Agentes deflagradores	Chuva	←	B	M	M	C	C	A	A	C	C
	Evapotranspiração	←	M	-	-	A	A	-	-	A	B
	Terremotos	↔	-	M	M	C	C	-	-	-	C
	Groud Acceleration	↔	B	B	M	A	A	A	A	A	B

Importância relativa: C - Crítica; A - Alta; M - Média; B - Baixa

A metodologia da UNESCO/IAEG (1976) indica uma abordagem bastante fundamentada no meio físico, que inclui condições geomorfológicas, fatores relacionados à hidrogeologia e fenômenos geodinâmicos. Além da classificação quanto à finalidade e conteúdo, são indicadas escalas mais adequadas aos casos de mapeamentos aplicados à geologia de engenharia (>1:5.000), tipos (1:5.000 a 1:10.000), complexos (1:10.000 a 1:200.000) e suítes geológicas (<1:200.000). Já na Metodologia Francesa Sanejound, 1972 *apud* Miranda (2005) a escala é tratada em função da finalidade, sem uma definição do nível de detalhamento da informação associada a cada escala de trabalho.

Em seus estudos sobre geomorfologia, Kirkby (1996) indica uma relação entre planos de informação, resolução espacial e temporal para observação das mudanças de formas de relevo. Como qualquer modelo (neste caso uniformemente linear), são realizadas simplificações da realidade para possibilitar a correlação entre tempo, escala e tipos de estudo. Conforme a Figura 7, para os estudos em escala global as mudanças ocorreriam

no tempo geológico, enquanto estudos de processos (ex. erosão) necessitariam de maior resolução espacial e frequência de atualização.

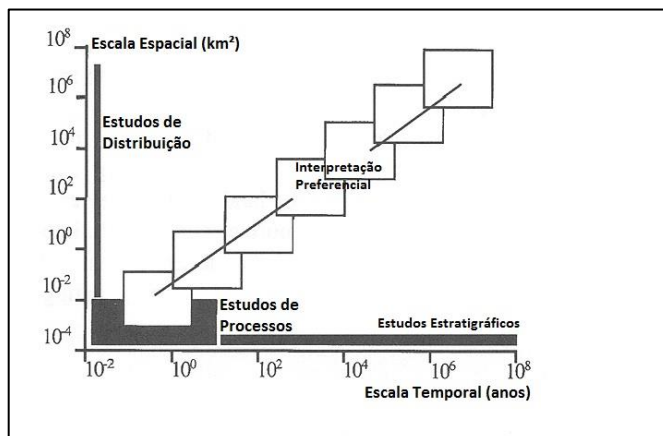


Figura 7 – Relação entre escala temporal e espacial segundo Kirkby (1996).

Muitas vezes as aplicações de determinadas metodologias são limitadas pela disponibilidade de mapeamento básico sistemático, já que no cenário brasileiro muitas informações necessárias não existem, não estão disponíveis ou estão disponíveis, mas em escala inadequada.

#### 2.4.2. Validação dos Mapeamentos de Susceptibilidade

Uma forma de validação dos mapeamentos de susceptibilidade a movimentos de massa são as curvas de sucesso e de predição (Chung & Fabbri, 1999, 2003), o primeiro utilizado somente para métodos estatísticos/probabilísticos. Para definição das curvas de sucesso, o mapa de movimentos de massa (utilizado como entrada no método estatístico/probabilístico) é cruzado com o mapa de susceptibilidade final. São calculadas as áreas dos deslizamentos em cada classe de susceptibilidade, além das áreas totais das classes.

Na sequência os dados são organizados de forma decrescente e definidas as frequências acumuladas das áreas de deslizamento e totais. A curva de predição é calculada com os mesmos procedimentos, mas tem como intuito de avaliar a capacidade de acerto do

mapeamento para novos registros, ou seja, os registros de instabilização utilizados na geração do mapa de susceptibilidade não são utilizados.

Desta forma um grupo de registros é separado, principalmente a partir de uma determinada data de ocorrência (no caso de possibilidade de análise temporal) ou aleatoriamente (no caso de um banco de dados sem a componente temporal) (Melo *et al.*, 2010).

Para mensurar quantitativamente o desempenho do modelo é utilizada a “Área Abaixo da Curva” - AAC (Van Den Eeckhaut *et al.*, 2009). O AAC pode ser utilizado para comparar diferentes modelos aplicados em uma área, considerando os valores mais próximos de um como indicativo de melhores taxas de sucesso e/ou predição. Os procedimentos para o cálculo da taxa de sucesso e AAC, estão apresentados na Tabela 6.

SUSCEPTIBILIDADE (ordenado do maior para o menor)	Área (m <sup>2</sup> )	Área instabilizada (m <sup>2</sup> )	Curvas de sucesso		Determinação de AAC		
			Área do VI acumulada	Área instabilizada acumulada	...	...	AAC
			0	0			
I3	A1	B1	A1/E = G1	B1/F = H1	G1 - 0 = K1	(H1+0)/2 = Y1	Y1*K1 = Z1
I2	A2	B2	(A1+A2)/E = G2	(B1+B2)/F = H2	G2 - G1 = K2	(H2+H1)/2 = Y2	Y2*K2 = Z2
I1	A3	B3	(A1+A2+A3)/E = G3	(B1+B2+B3)/F = H3	G3 - G2 = K3	(H3+H2)/2 = Y3	Y3*K3 = Z3
	$\Sigma(A1:A3)=E$	$\Sigma(B1:B3)=F$					$\Sigma(Z1:Z3)$

Tabela 6 - Procedimentos para cálculo das curvas de sucesso e AAC. Adaptado de Meneses (2011).

Oliveira *et al.* (2009) avaliaram a influência dos diferentes métodos estatísticos/probabilísticos e formatos de dados na elaboração de mapas de susceptibilidade a movimentos de massa. Para tanto os autores aplicaram oito métodos estatísticos em uma área a norte da Cidade de Lisboa, utilizando o inventário de 64 escorregamentos, além dos temas de declive, exposição, litologia, uso do solo, tipo de solo e curvatura das vertentes. Ainda em três dos métodos foi variado o formato de entrada dos escorregamentos, totalizando onze análises (Tabela 7).

Sigla	Método estatístico/ Probabilístico	Formato de entrada dos escorregamentos
VI	Valor informado	Pontos (Centróides) / Áreas
PB	Probabilidade Bayesiana	Pontos (Centróides) / Áreas
LD	Lógica Fuzzy	Pontos (Centróides) / Áreas
RL	Regressão Logística	Pontos (Centróides)
WofE	<i>Weights of evidence</i>	Pontos (Centróides)
Maxente	Máxima Entropia	Áreas
GARP	Algoritmo Genético	Áreas
DM	Distância de <i>Mahalanobis</i>	Áreas

Tabela 7 - Métodos estatísticos / probabilísticos e formatos de entrada utilizados por Oliveira *et al.* (2009).

Para cada método foi calculada a curva de predição, e sucesso nos casos pertinentes (Figura 8). Na sequência foram calculadas as AAC, indicando melhores resultados de sucesso para os métodos de Valor informativo e Lógica Fuzzy quando os escorregamentos foram abordados como áreas (polígonos).

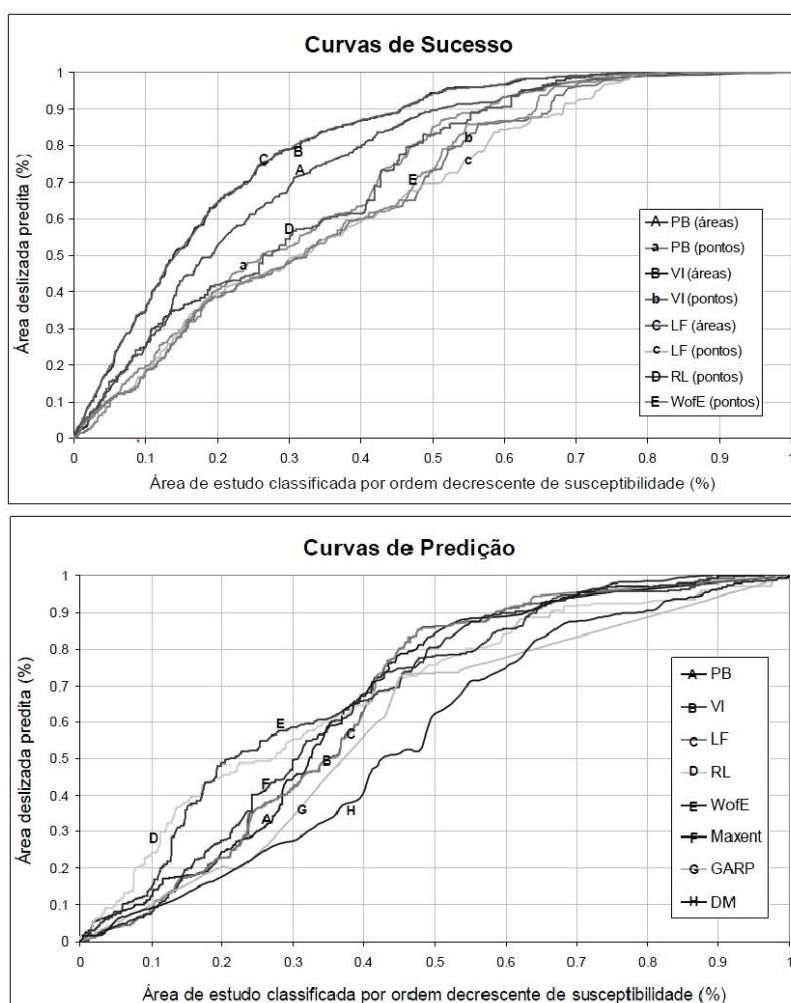


Figura 8 - Curvas de Sucesso e Predição obtidas por Oliveira *et al.* (2009).



Para análise comparativa de modelos determinísticos, Sorbino *et al.* (2010) utilizaram os “Índices de Acerto” (IA) e “Índices de erro” (IE) de uma área de estudo na Campânia, Itália. O valor de IA é definido como a porcentagem das áreas de movimentos de massa do inventário em relação às áreas definidas como instáveis pelo modelo. O valor de IE representa a relação entre as áreas de movimentos de massa do inventário em relação às áreas definidas como estáveis pelo modelo (Figura 9).

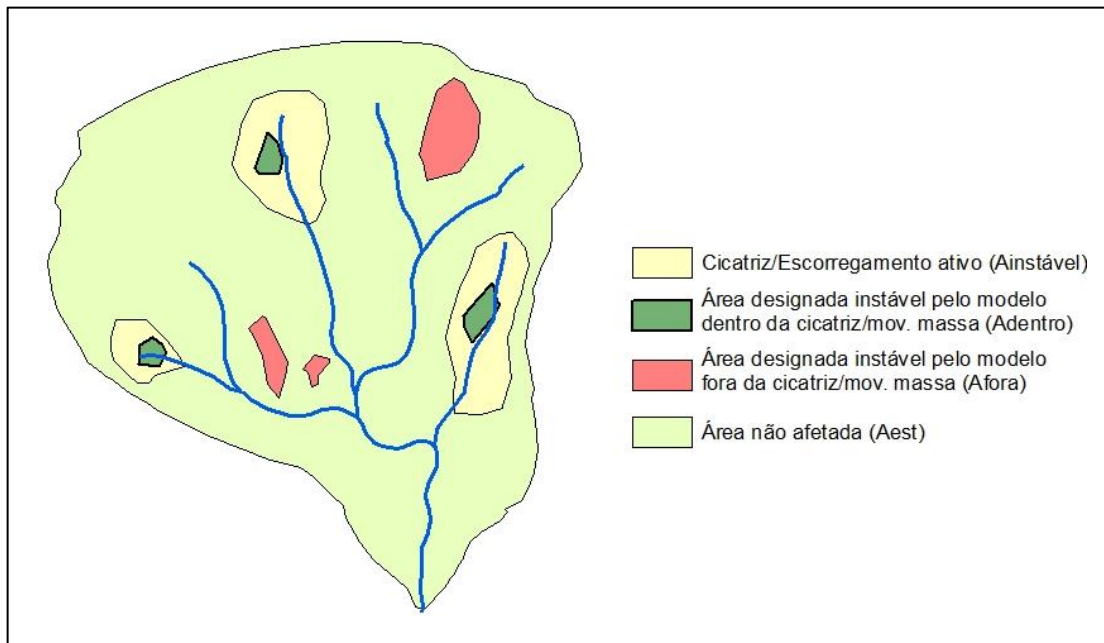


Figura 9 - Definição dos parâmetros para o cálculo de IA e IE. Modificado de Sorbino et al. (2010).

O autor calcula vários índices de acertos e erros na área de estudo, que são ponderados em função do número de cicatrizes e bacias hidrográficas, respectivamente. Então, conforme Tabela 8:

Tabela 8 - Procedimentos para cálculos dos índices de acerto e erro.

<b>Cálculo individual</b>	<b>Cálculo da Ponderação</b>
$IA = \frac{A_{dentro}}{A_{instável}}$	$IA_{médio} = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{A_{dentro}}{A_{instável}} \right)}{n}$ <p>n = Número de cicatrizes/movimentos de massa</p>
$IE = \frac{A_{fora}}{A_{instável}}$	$IE_{médio} = \frac{\sum_{j=1}^m \left( \frac{A_{fora}}{A_{instável}} \right)}{m}$ <p>m = Número de bacias hidrográficas</p>

Quanto maior o valor obtido entre  $IA_{médio}$  e  $IE_{médio}$ , mais adequado será o modelo para a área de estudo.

Esta metodologia foi aplicada por Michel *et al.* (2012) para comparar os modelos SINMAP e SHALSTAB na Bacia Hidrográfica do Rio Cunha, no Município de Rio dos Cedros (SC). O objetivo foi identificar áreas susceptíveis a escorregamentos rasos, considerados como importantes agentes de geração de sedimentos na área. Para a determinação dos parâmetros de entrada, foram realizadas medidas de campo (topografia), ensaios de laboratório (cisalhamento direto, análise granulométrica e densidade do solo) e dados de chuva para cálculo da taxa de recarga. Também foi realizado um inventário de movimentos de massa para calibração e validação dos modelos.

Os referidos autores obtiveram resultados similares de  $IA_{médio} / IE_{médio}$  nos dois modelos, entretanto concluíram que o SINMAP se aplica melhor aos estudos de áreas urbanas e perigo, enquanto o SHALSTAB é mais adequado aos estudos de erosão. Isto se deve ao fato de que na abordagem probabilística do SINMAP foram definidas mais áreas susceptíveis a movimentos de massa, enquanto o SHALSTAB (após calibração com o mapa de inventários) identificou melhor pontualmente os locais de instabilização.

## 3. CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE OURO PRETO (MG)

### 3.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O Município de Ouro Preto se insere em um contexto de notável diversidade de variáveis geotécnicas e geoambientais. Trata-se de uma área com grande pluviosidade média anual relativa e existência de litotipos com características morfoestruturais e comportamentais distintas, que indicam cuidados técnicos específicos a cada área que, via de regra, não são levados em conta no momento da ocupação e utilização do solo.

Na área urbana da sede de Ouro Preto e adjacências, foram realizados vários estudos, destacando-se os trabalhos de Carvalho (1982), Sobreira (1989, 1991), IGA (1995), Silva (1995), Souza (1996), Sobreira & Fonseca (2001), Castro (2006) e Fontes (2011). Estes autores discorrem sobre os diversos fatores do meio físico, formas de ocupação, agentes deflagradores e variáveis envolvidas nos processos de movimentos de massa, além do histórico de ocupação da cidade.

Sobreira (2000), Bacellar (2000), Bacellar *et al.* (2001) e Moraes *et al.* (2004) realizaram seus estudos nas áreas associadas ao Complexo do Bação, principalmente nos distritos de Cachoeira do Campo e Santo Antônio do Leite, região de desenvolvimento de erosões aceleradas (voçorocas).

Observa-se a ausência de estudos que compreendam todo o Município de Ouro Preto, e integrem as principais questões geoambientais presentes nos diferentes contextos geológicos/geomorfológicos da área. A grande questão se refere à complexidade e

variabilidade dos fatores envolvidos na deflagração e evolução dos problemas geoambientais encontrados na região.

Entretanto a evolução do conhecimento do meio físico, além da identificação das variáveis que interferem diretamente nos processos de movimento de massa, não têm nenhum sentido se não forem implementadas políticas públicas adequadas de gestão e ordenamento do território, além de planos de monitoramento sistemáticos nos locais onde há o conhecimento do risco geológico elevado. Pinheiro *et al.* (2004) ressaltou a omissão e falta de amparo legal de documentos técnicos de conotação geológico-geotécnica na ocupação das encostas da sede de Ouro Preto.

### 3.2. ASPECTOS GERAIS

O município possui aproximadamente 1.245,00 km<sup>2</sup> e está localizado na porção sudeste do quadrilátero ferrífero, com sua sede a cerca de 98 km de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais (Figura 10). A partir da capital mineira o acesso principal é realizado pela BR-040 (30 km), na sequência a BR 356 (68 km), passando pela Cidade de Itabirito.

A cidade de Ouro Preto é considerada patrimônio histórico e cultural da humanidade pela UNESCO e possui 70.281 habitantes (Tabela 9), dos quais 58,2% habitam a sede municipal (IBGE , 2010). O município é subdividido em 13 distritos, conforme Tabela 10 e a Figura 10.

Tabela 9 - População do Município de Ouro Preto (IBGE, 2010)

<b>Situação Domiciliar</b>	<b>1970</b>	<b>1980</b>	<b>1991</b>	<b>2000</b>	<b>2010</b>
Urbana	31999	37996	48150	56292	61120
Rural	14166	15417	14364	9985	9161
Total	46165	53413	62514	66277	70281

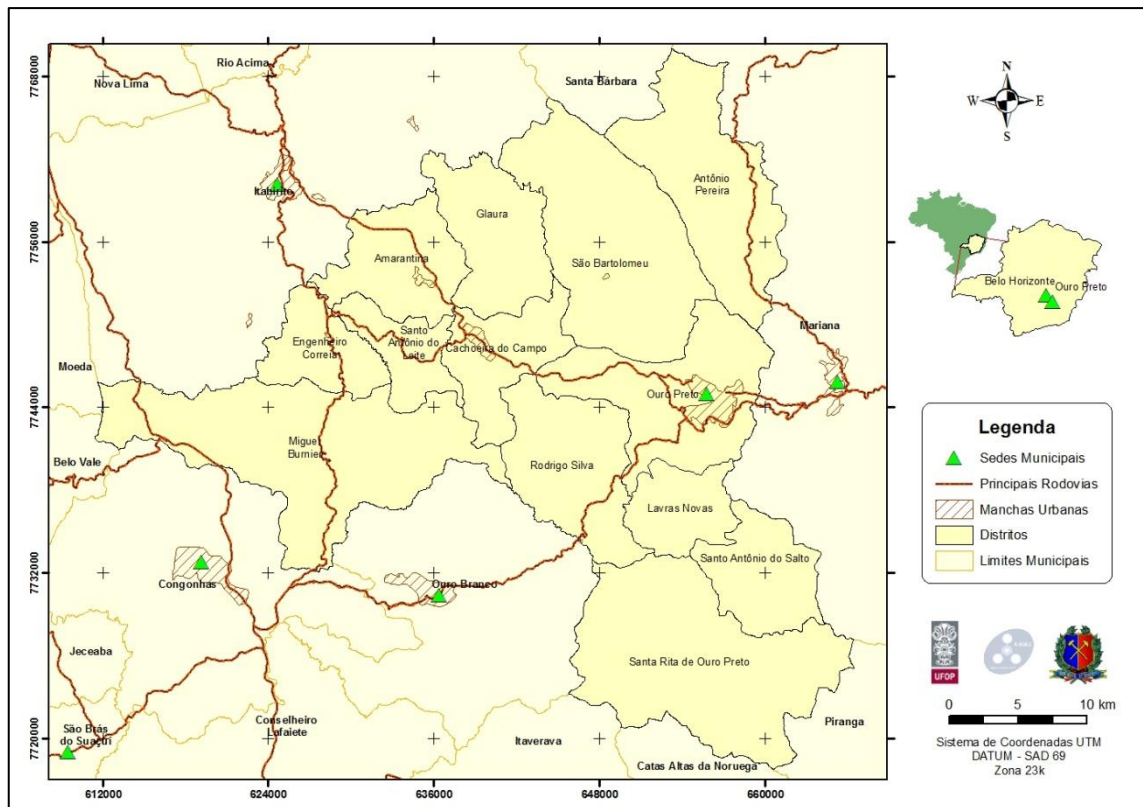


Figura 10- Mapa de divisão política dos distritos Ouropretanos (IGA, 2008).

Tabela 10 - Área e população dos distritos de Ouro Preto no ano de 2010 (IBGE, 2010)

Nome	Situação Domiciliar	População (2010)	Área	
			Km <sup>2</sup>	%
Ouro Preto	Total	40916	112,31	9,02
	Urbana	40214		
	Rural	702		
Amarantina	Total	3577	65,92	5,29
	Urbana	2384		
	Rural	1193		
Antônio Pereira	Total	4480	119,72	9,62
	Urbana	4479		
	Rural	1		
Cachoeira do Campo	Total	8923	57,35	4,61
	Urbana	7637		
	Rural	1286		
Engenheiro Correia	Total	403	45,57	3,66
	Urbana	283		
	Rural	120		

Nome	Situação Domiciliar	População (2010)	Área	
			Km <sup>2</sup>	%
Glaura	Total	1418	72,29	5,81
	Urbana	695		
	Rural	723		
Lavras Novas	Total	929	42,74	3,43
	Urbana	828		
	Rural	101		
Miguel Burnier	Total	809	196,21	15,76
	Urbana	233		
	Rural	576		
Rodrigo Silva	Total	1080	90,33	7,26
	Urbana	724		
	Rural	356		
Santa Rita de Ouro Preto	Total	4243	185,66	14,91
	Urbana	1432		
	Rural	2811		
Santo Antônio do Leite	Total	1705	37,79	3,04
	Urbana	1564		
	Rural	141		
Santo Antônio do Salto	Total	1068	57,76	4,64
	Urbana	480		
	Rural	588		
São Bartolomeu	Total	730	161,4	12,96
	Urbana	167		
	Rural	563		

### 3.3. CLIMA

A classificação de Koppen-Geiger atualizada insere o município de Ouro Preto nas zonas Cwa e Cwb, ou seja, climas úmidos de inverno seco e verões com temperaturas variando de quente a brando (Kottek *et al.*, 2006). A temperatura média está em torno dos 17,4°C, com média máxima anual de 22,6°C. A pluviosidade média anual está em torno de 1.610,1 mm (série de 1988 a 2004), com a maior parte das precipitações ocorrendo entre os meses de outubro a março (Castro, 2006).

Os índices pluviométricos e o clima Oupretano sofrem grande influência da topografia, em específico da Serra do Espinhaço, que delimita o município a norte. O

movimento das massas de ar advindas do oceano que se deslocam para o interior do continente encontram a barreira natural da serra em altas altitudes . Como resultado há ocorrência de chuvas orográficas, muitas vezes de grande índice pluviométrico (Rodrigues, 1966 *apud* Souza, 1996). Em menor grau de influência há a Serra do Siqueira, na porção central do município, que impõe condições particulares de clima à área do núcleo urbano do município.

### **3.4. HIDROGRAFIA**

A área do município é região contribuinte das bacias hidrográficas do Rio São Francisco e Rio Doce (Figura 11), duas importantes macrobacias nacionais, que possuem seu interflúvio localizado nas serras do Espinhaço e Serra Geral.

Os principais contribuintes da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco são os rios Itabira e das Velhas, que possuem direção geral de escoamento noroeste. As exceções são córregos afluentes do Rio Maranhão, localizados na região de Miguel Burnier, que possuem direção geral sul. O Rio Doce recebe contribuição dos rios Gualaxo do Norte e Gualaxo do Sul, que possuem direção geral de escoamento leste.

Na região das nascentes, o sistema de drenagem possui padrão variando de retangular-dendrítico a paralelo, condicionado pelas resistências, estruturas e descontinuidades das rochas dos grupos Nova Lima, Piracicaba, Caraça e Maquiné. Na área do Complexo do Bação (região centro-oeste) os padrões de drenagem são dendríticos, refletindo a geomorfologia arrasada de vertentes suaves da região.



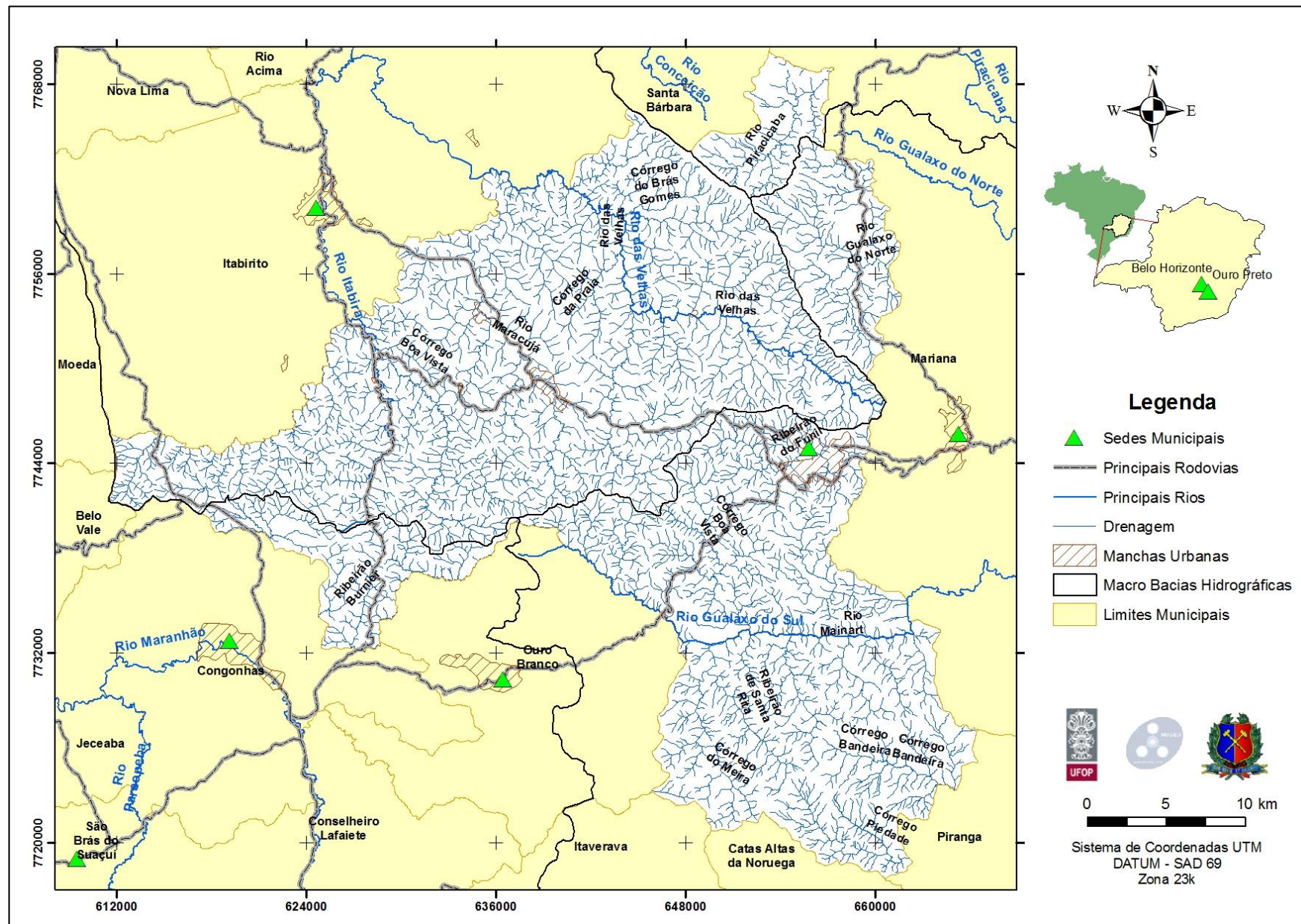


Figura 11 – Rede Hidrográfica do Município de Ouro Preto.



### 3.5. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

O mapa geológico do Município de Ouro Preto e a coluna estratigráfica simplificada estão apresentados na Figura 12 e a Tabela 11, respectivamente. As descrições e levantamentos geológicos da área de estudo disponíveis em escala 1:50.000 são originadas do trabalho de compilação de dados geológicos realizado por Lobato *et al.* (2005) e Baltazar *et al.* (2005). A caracterização do comportamento geológico-geotécnico apresentada nos tópicos deste capítulo foi realizada de acordo com Carvalho (1982), Souza (2004), Souza (1996), Sobreira (1989, 1991, 2001), Silva (1995), Gomes (1986) *apud* Costa & Sobreira (2001), Morais *et al.* (2004), Bacellar (2000) e Drumond & Bacellar (2006). Para cada caso, foram identificadas as principais características geotécnicas de cada litotipo que indiquem predisponência a movimentos de massa e/ou processos erosivos. Silva (1990) *apud* Oliveira (2010), realizou uma compilação das principais características geotécnicas de alguns litotipos, conforme apresentado na Tabela 12.

Tabela 11 - Coluna estratigráfica simplificada e ocorrência dos litotipos na área de estudo.

Supergrupo	Grupo	Ocorrência no Município de Ouro Preto *	
		Km <sup>2</sup>	%
Coberturas Recentes (Laterita, Tálus, Aluvião, Mudstone, canga)		53,30	4,28
Tonalito Alto Maranhão (Tonalito, graniodiorito)		0,04	<0,01
Grupo Itacolomi		97,59	7,83
Supergrupo Minas	Grupo Sabará	58,41	4,69
	Grupo Piracicaba	215,45	17,31
	Grupo Itabira	76,08	6,12
	Grupo Caraça	34,87	2,8
	Grupo Maquiné	51,31	4,12
Supergrupo Rio das Velhas	Grupo Nova Lima	190,99	15,34
Complexo Santo Antônio do Pirapetinga		73,95	5,94
Complexo do Bação		239,01	19,20
Área sem mapeamento geológico em escala 1:50.000		153,99	12,37
*Área recoberta pelo levantamento de Lobato <i>et al.</i> (2005): 1.091,15 km <sup>2</sup> .			

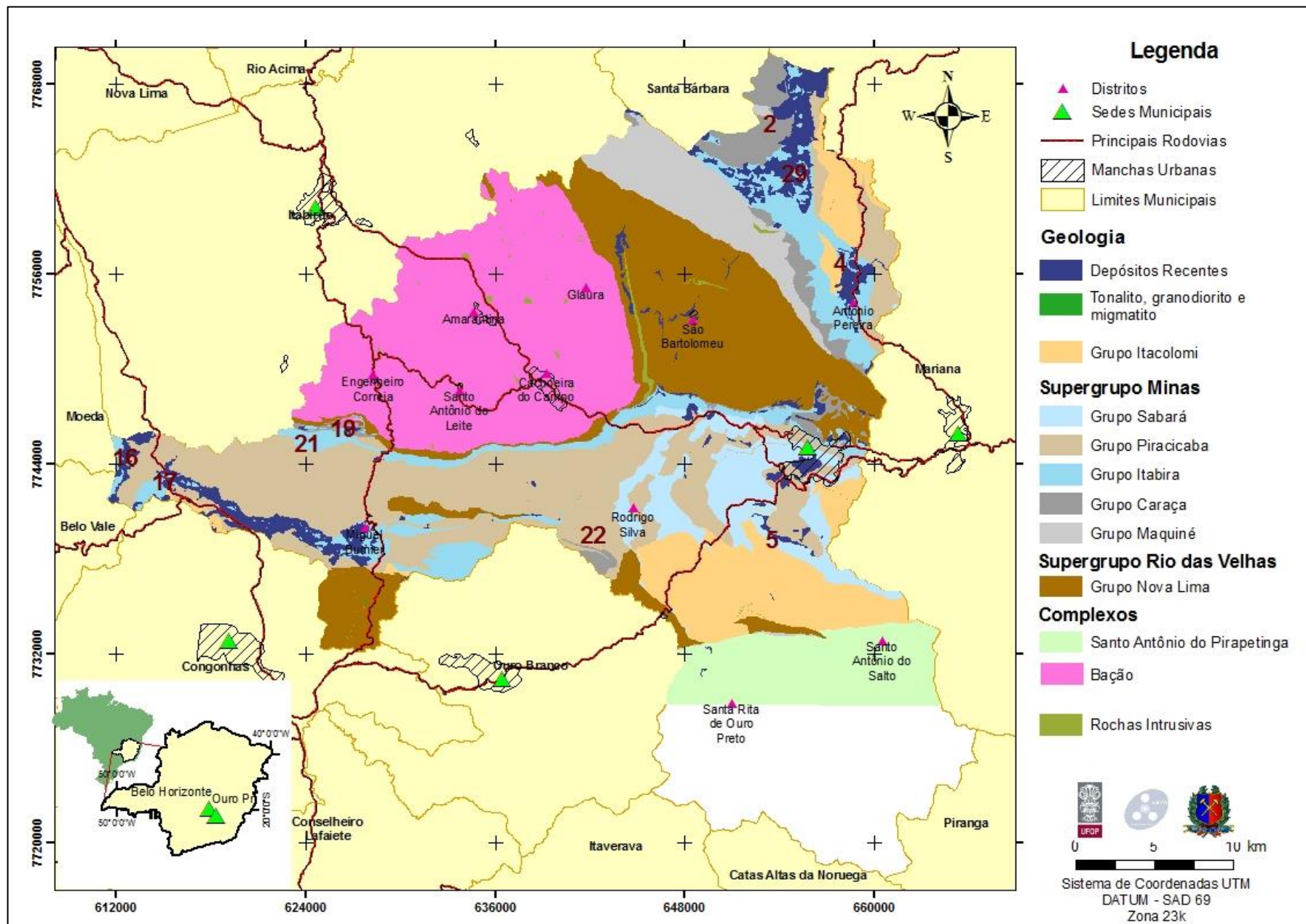


Figura 12 - Mapa Geológico do Município de Ouro Preto. Adaptado de Lobato *et al.*, (2005).

Tabela 12 - Parâmetros Geotécnicos no Município de Ouro Preto (Silva, 1990 *apud* Oliveira, 2010).

<b>DESCRIÇÃO GERAL DE ALGUNS PARÂMETROS GEOTÉCNICOS</b>						
	<b>Escavação</b>	<b>Perfuração</b>	<b>Infiltração</b>	<b>Escoamento superficial</b>	<b>Erodibilidade</b>	<b>Estabilidade da encosta</b>
<b>Canga</b>	Muito difícil, geralmente requer o uso de dinamites.	Muito difícil	Moderadamente rápido para muito rápido	Devagar para moderado	Muito devagar	Pobre para boa. Estabilidade controlada pelas fraturas e tipo de material subjacente. É arriscado fazer cortes que exponha o itabirito friável ou outro material de baixa capacidade de carga
<b>Xisto Sabará</b>	Fácil a moderadamente difícil	Fácil	Insignificante na rocha ou nas fraturas	Moderado para rápido	Moderadamente resistente	Se o material estiver intemperizado ele pode suportar estruturas leves. Estruturas pesadas devem assentar sobre a rocha sã.
<b>Filito Barreiro</b>	Geralmente fácil	Fácil	Devagar na rocha e fraturas	Rápido	Moderadamente erodível	Pobre a normal e controlada pela posição da foliação e grau de intemperismo. Há risco quando a foliação mergulha no corte, ou quando a rocha é muito fraturada ou muito intemperizada.
<b>Quartzito Taboões</b>	Muito fácil	Fácil a moderadamente difícil	Moderado a rápido na rocha e nas fraturas	Moderado a devagar	Muito erodível	Muito pobre devido a alta friabilidade dessa rocha.
<b>Filito Fecho do Funil</b>	Fácil	Fácil	Insignificante na rocha ou nas fraturas	Rápido a moderado	Moderadamente erodível	Pobre a boa. Controlado pela direção da foliação e das fraturas.
<b>Filito e quartzito Cercadinho</b>	Difícil	Moderadamente difícil a muito difícil	Moderado a rápido	Moderado a devagar	Moderadamente erodível	Apresenta risco devido ao alto grau de fraturamento dessas rochas
<b>Dolomito Gandarela</b>	Difícil, geralmente requer explosivos.	Muito difícil	Insignificante na rocha, devagar nas fraturas	Rápido	Muito resistente Boa a excelente, controlado pela direção dos estratos e fraturas.	Boa a excelente, controlado pela direção dos estratos e fraturas.

**DESCRIÇÃO GERAL DE ALGUNS PARÂMETROS GEOTÉCNICOS**

	<b>Escavação</b>	<b>Perfuração</b>	<b>Infiltração</b>	<b>Escoamento superficial</b>	<b>Erodibilidade</b>	<b>Estabilidade da encosta</b>
<b>Itabirito Cauê</b>	Fácil com equipamento adequado quando o itabirito está friável. Caso contrário, a escavação é muito difícil e requer explosivos.	Fácil para o itabirito friável, difícil para o itabirito são.	Moderado a rápido através das fraturas.	Moderado a devagar	Geralmente muito erodível quando friável	Pobre a boa. Controlado pela direção da foliação, fraturas e friabilidade. É potencialmente perigoso quando a camada superficial mergulha na direção do corte, ou quando a rocha é muito fraturada ou friável.
<b>Filito Batatal</b>	Quebra facilmente paralelo a foliação	Fácil	Devagar próximo a superfície através de fraturas, insignificante em profundidade.	Moderado a rápido.	Erodível quando intemperizado, moderadamente resistente quando a rocha é nova.	Pobre a boa. Controlado pela direção da foliação, fraturas e grau de intemperismo. Oferece risco quando a foliação mergulha no corte ou quando a rocha é muito fraturada ou intemperizada.
<b>Quartzito Moeda</b>	Difícil com rippers scrapers no quartzito são. Requer explosivos nesse caso.	Muito difícil	Moderado a rápido	Moderado a devagar	Resistente	Boa a excelente para o quartzito são. Nesse caso, alto fraturamento na rocha e encostas íngremes podem causar a queda de blocos.
<b>Xisto Nova Lima</b>	Quebra facilmente paralelo a foliação, escavação fácil a moderadamente difícil.	Fácil a moderadamente difícil	Insignificante na rocha ou nas fraturas	Rápido a moderado	Moderadamente erodível a muito erodível	Normal a arriscado; moderado a alto risco de escorregamentos. Salvo onde o ângulo de corte na encosta é controlado pela direção da foliação e fraturas.

### **3.5.1. Complexo do Bação**

O Complexo do Bação (A3b) é caracterizado como uma estrutura dômica arqueana, que representa o embasamento cristalino, formado por rochas graníticas e granidioríticas, migmatitos, gnaisses, granitos gnaiss e xistos, além de intrusivas de diabásio. Ocupa a porção oeste da área de estudo, englobando a maior parte dos distritos de Cachoeira do Campo, Glaura, Santo Antônio do Leite e Engenheiro Correia, além da totalidade do distrito de Amarantina.

Os afloramentos de rocha com menor erodibilidade ocorrem com maior frequência nos fundo dos vales, drenagens, regiões de alta declividade e topos de morro. Nestes pontos a rocha passa a ser forte condicionante do nível freático e do sistema de drenagem como um todo, influenciando os processos naturais atuantes. Há ainda segmentos onde a rocha se apresenta alterada e pode deflagrar movimentos planares e pequenos escorregamentos rotacionais.

Bacellar (2005) realizou uma compartimentação dos gnaisses para a Bacia Hidrográfica do Maracujá, identificados como Funil, Amarantina e Praia. O autor ressalta as pequenas variações composicionais e texturais entre estes gnaisses, que indicam diferenças comportamentais em relação aos processos erosivos, tanto da rocha em si quanto dos solos formados a partir destas rochas.

### **3.5.2. Complexo Santo Antônio do Pirapetinga**

Localizado na parte sul do município de Ouro Preto (distritos de Santa Rita de Ouro Preto e Santo Antônio do Salto), o Complexo Santo Antônio do Pirapetinga (A34sap) é composto por rochas metabásicas e metaultrabásicas (talco-clorita xisto e serpentinito), ortognaisses tonalítico-trondhjemítico e granítico, com possibilidade de ocorrência em estruturas bandadas.

### **3.5.3. Grupo Nova Lima**

Este grupo pertence ao Supergrupo Rio das Velhas, períodos Mesoarqueano quando indiviso (A34rn) e Neoarqueano para as unidades identificadas (Córrego do Sítio - A4rn, Catarina Mendes - A4rncm, Fazenda Velha - A4rnfv e Córrego da Paina - A4rn cp).

Ocorrem no sul e leste do distrito de Miguel Burnier, noroeste de Rodrigo Silva, sul de lavras novas, Serra de Ouro Preto (no Bairro São Sebastião, sede municipal) e em área limítrofe à borda oriental do domo do Complexo do Bação.

O Grupo Nova Lima é majoritariamente constituído por xistos e filitos em diferentes graus de alteração, mas que, no geral, se apresentam bastante alterados. As rochas deste grupo não possuem direção preferencial de mergulho, apresentam grande variabilidade composicional e anisotropia, além de forte diaclasamento e intercalação com litotipos variados (quartzitos, dolomitos, formações ferríferas, grauvaca).

No contexto geológico-geotécnico, as rochas deste grupo retém umidade e possuem erodibilidade elevada, características favoráveis a movimentos de massa e processos erosivos, embora se apresentem mais resistentes nos fundos dos vales.

### **3.5.4. Grupo Maquiné**

Composto por rochas metassedimentares aluviais-fluviais não marinhas, o Grupo Maquiné se subdivide, da base para o topo, nas formações Palmital (Unidade Rio de Pedras) e Casa Forte (unidades Chica Dona, Jaguará, Córrego do Engenho e Capanema), todas pertencentes ao período Neoarqueano.

O grupo é caracterizado por sericitas xistos e quartzitos sericíticos (granulação variada), intercaladas com xistos, filitos e filitos quartzosos com estratificação gradacional e cruzada. Possui pequenas ocorrências a sul dos distritos de Rodrigo Silva e Lavras

Novas (limítrofe ao Grupo Nova Lima) e em toda área norte do distrito de São Bartolomeu, região norte do município.

### **3.5.5. Grupo Caraça**

O Grupo Caraça (Supergrupo Minas) é pertencente ao período Paleoproterozóico e inclui, quando não indiviso, a Formação Moeda e Batatal.

Nas áreas noroeste do distrito de Antônio Pereira (Serras do Caraça e do Espinhaço) e sudoeste de Engenheiro Correia há ocorrências das Formações Moeda (PP1mcm) e Batatal (PP1mcb). A sequência ocorre também de forma indivisa na face Nordeste da Serra de Ouro Preto, nas proximidades da Serra Água Fria (Rodrigo e Silva), parte do Bairro São Sebastião (sede municipal), e em uma faixa que se inicia no topo na Serra do Veloso, se estendendo até a Serra do Catete, Distrito de Santo Antônio do Leite.

As rochas deste grupo são constituídas de quartzitos, quartzitos filíticos, quartzos-muscovita com xistos intercalados, além de filitos e filitos carbonosos de granulação fina. Podem também ocorrer como quartzitos com xistosidade bem definida, quartzo sericita xisto e algum conglomerado.

Os quartzitos desta sequência apresentam comportamento variado, podendo se apresentar mais íntegros e condicionados à xistosidade e fraturação, mas com possibilidade de ocorrência mais arenosa e de menor resistência. Os filitos se apresentam geralmente muito alterados, de espessura variada e persistência lateral. São impermeáveis, de fácil deslocamento e comportamento plástico.

### **3.5.6. Grupo Itabira**

O Grupo Itabira ocorre nas áreas norte (Distrito de Antônio Pereira) e sudoeste (Distrito de Miguel Burnier), zona urbana da cidade de Ouro Preto e em uma faixa que se estende da Serra do Veloso até o limite oeste do município, nas proximidades da Serra das Serrinhas.

A Formação Cauê (PP1mic) consiste de itabiritos, itabiritos hematíticos (compacto ou friável), magnetíticos e dolomitos. A Formação Gandarela (PP1mig) é composta por xistos, filitos, calcários magnesianos, além de dolomitos, itabiritos, itabiritos dolomíticos e quartzito. As ocorrências indivisas (PP1mi) são caracterizadas por itabiritos, itabiritos filíticos e dolomíticos.

Os itabiritos apresentam naturalmente uma cobertura de canga limnolítica, que atua como uma proteção quanto à erosão. Entretanto, sob esta camada, os itabiritos são encontrados bastante friáveis, com estruturas xistosas e fraturados. Podem ser considerados materiais permeáveis, tanto devido à estrutura matricial quanto à fraturação, mas são condicionados pela camada de filitos da Formação Batatal impermeável subjacente. Os dolomitos apresentam menor erodibilidade, diaclasamento e planos de xistosidade com presença de micas.

### **3.5.7. Grupo Piracicaba**

Pertencente ao Supergrupo Minas, esta sequência pode ser observada na sede do município (centro histórico) e região nordeste do distrito de Antônio Pereira. Há ainda ocorrências significativas em uma faixa leste-oeste, de aproximadamente 4,5 km de largura, na área central do município.

A Formação Cercadinho (PP1mpc) é caracterizada por filitos, quartzitos, quartzitos ferruginosos, sericita xisto além de dolomito. A Formação Fêcho do Funil (PP1mpf) é representada por filitos, filitos dolomíticos, além de quartzitos e formações ferríferas subordinadas. Há também ocorrências indivisas (PP1mp), identificadas como filitos com quartzito e grauvaca, dolomitos, quartzitos ferruginosos e formações ferríferas.

As rochas destas formações possuem grande variabilidade litologia e de comportamento dos materiais, se apresentando mais alteradas e, portanto com maior erodibilidade, nas zonas superficiais. Os processos erosivos tendem a se iniciar nas camadas com menor resistência (filitos físseis) e são limitados pelas camas mais resistentes (quartzitos e



estruturas coesas). Nas encostas os movimentos de massa são condicionados pela xistosidade, grau de alteração do material (principalmente dos quartzitos), e condições topográficas, tais como forma da vertente (convexo ou côncavo).

A Formação Barreiro (PP1mpb) é caracterizada por grafita xisto, mica xistos, filitos, com possibilidade de ocorrência de quartzitos bastante intemperizados. Possuem comportamento sofrível quanto à resistência à erosão: os quartzitos se apresentam arenizados e com baixíssima coesão e os filitos incoerentes, erodíveis e pouco resistentes.

### **3.5.8. Grupo Sabará**

Encontrado principalmente na área da sede municipal e com ocorrências pontuais nas proximidades do distrito de Antônio Pereira, o Grupo Sabará consiste de rochas metavulcanossedimentares com diferentes graus de metamorfismo, compostas por mica xistos e clorita xistos com intercalações de metagravauca, filitos, quartzitos com lentes de conglomerados, além de rochas alumino-ferruginosas.

O conjunto apresenta majoritariamente alta coesão e resistência erosiva. Em condições favoráveis de mergulho da camada, drenagem e estrutura pode suportar taludes em cortes verticais e de altura elevada, conforme observado nos taludes da Avenida Rodrigo Silva, popularmente conhecida como “Curva do Vento”.

Esta sequência pode apresentar variações estruturais e litológicas locais, que resultam em materiais de menor resistência. Há possibilidade de pequenos focos erosivos e escorregamentos superficiais, condicionados ao grau de intemperismo e exposição da xistosidade a situações desfavoráveis.

### **3.5.9. Grupo Itacolomi**

O Grupo Itacolomi possui sua principal ocorrência na área sul do município (distritos de Rodrigo e Silva e Lavras Novas), podendo ser identificado na área nordeste, no Distrito

de Antônio Pereira e pequenas ocorrências no em Miguel Burnier. É caracterizado por quartzitos sericítico e filitos com camadas de conglomerados e rochas ferríferas quando referentes à Formação Santo Antônio (PP2isa), e ainda quartzito com lentes de conglomerados e filitos quando indiviso (PP2i).

### **3.5.10. Tonalito Alto Maranhão**

Os tonalitos, granodioritos e migmatitos do Alto Maranhão (PP2gram) são rochas do riaciano, com pouca ocorrência na área de estudo. Há somente uma pequena área mapeada a sul do distrito de Miguel Burnier.

### **3.5.11. Depósitos Recentes**

As coberturas recentes possuem suas principais ocorrências nas áreas norte, leste e próximos à sede municipal. São caracterizadas por alúvios (N34al), depósitos tálus e coluvionares (N34co), lateritas, bauxita e detritos ferruginosos não cimentados (N34dl), capeamentos limnolíticos de cangas (Eca e N23ca) e mudstone (Ems).

As cangas e lateritas, associadas às formações ferríferas (Cauê, Gandarela, principalmente), são observadas com frequência na área urbana de Ouro Preto, principalmente nos bairros Bauxita e Saramenha. No restante do município as principais ocorrências estão localizadas nos distritos de Miguel Burnier e Antônio Pereira

Os depósitos aluvionares são mais significativos na região de São Bartolomeu (Córrego Mapa-Pau e Rio das Velhas) e Antônio Pereira (Córrego D'água Suja). Os depósitos de material coluvionar ocorrem de forma mais expressiva a extremo norte do município, enquanto que os depósitos tálus estão localizados principalmente no sopé da Serra de Ouro Preto. Estes materiais possuem ocorrência com bastante frequência na área de estudo, mas geralmente ocorrem em depósitos de menores dimensões, não identificáveis em escala 1:50.000.

### 3.7. GEOMORFOLOGIA

O Município de Ouro Preto integra grande diversidade geomorfológica, o que reflete as características e complexidade do Quadrilátero Ferrífero quanto às variações litológicas, estruturais, altimétricas e de declividade. As variações morfoestruturais são observadas quando são comparados os relevos das cotas mais altas, moldados em quartzitos e itabiritos que formam cadeias de serras complexas, escarpadas e íngremes, com as cotas mais baixas, onde o relevo é caracterizado por topos convexos e com vertentes longas e suaves (RADAMBRASIL, 1983).

Medina *et al.* (2005) realizaram mapeamento em escala 1:50.000 para APA Sul (região metropolitana de Belo Horizonte). Os autores elaboraram uma compartimentação baseada em características lito-estruturais e tectônicas regionais, considerados como principais condicionantes de formação do relevo. Estas unidades geomorfológicas mostram correlação com a distribuição das famílias de solos, comportamento hidrológico e hidrogeológico (Vale, 2009).

O mapa geomorfológico utilizado na caracterização do município foi proposto por (Vale, 2009) e está apresentado na Figura 13. Na área de estudo a altitude varia de 700m na região do Córrego dos prazeres, jusante da Bacia do Custódio (distrito de Santo Antônio do Salto) até 1.900m, na Serra do Caraça, limite norte do município. São observadas declividades e formas de relevo diversas, a depender principalmente das características das rochas e sistemas de descontinuidades.

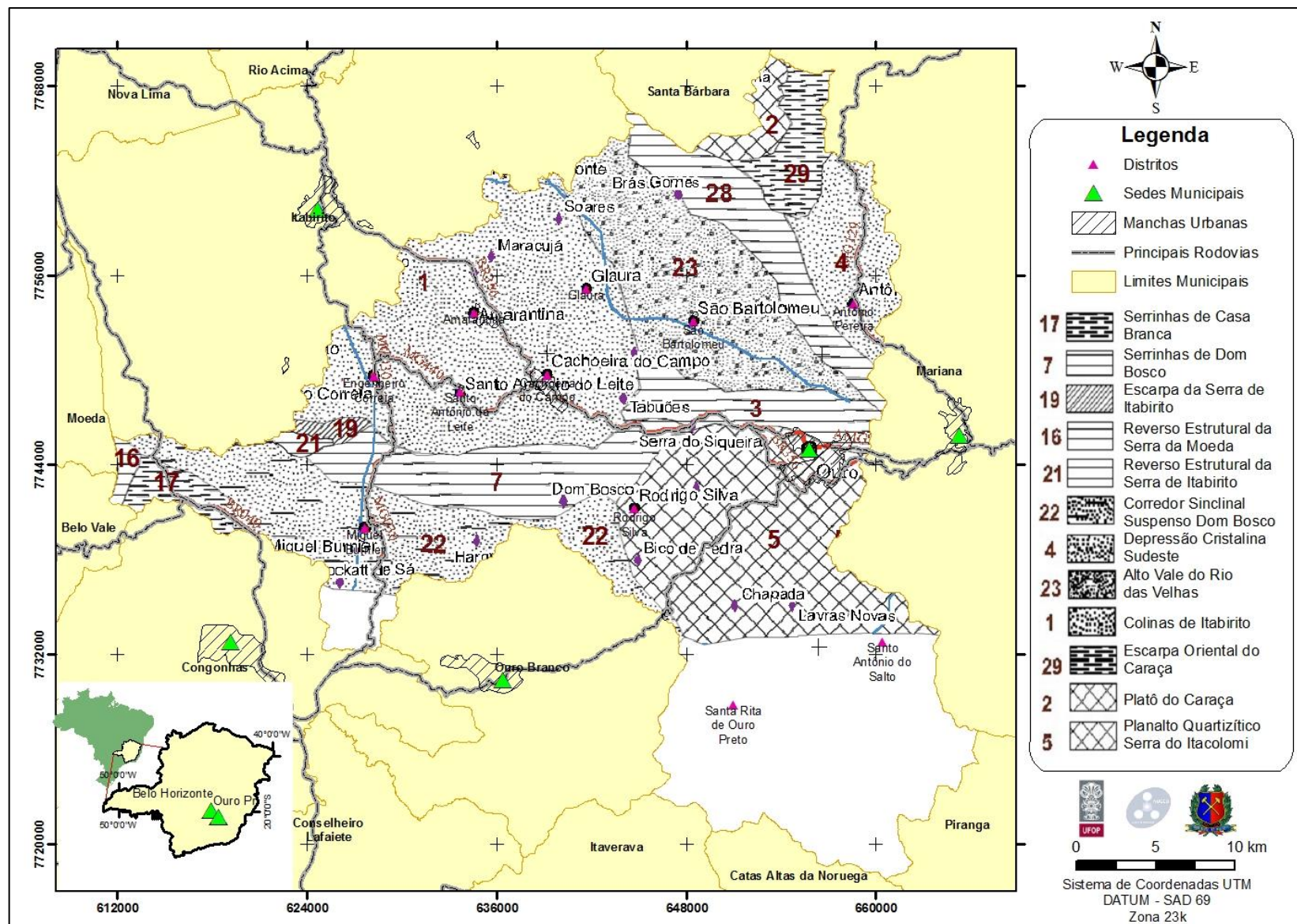


Figura 13 - Mapa de unidades geomorfológicas de análise. Modificado de Vale (2009).

A ocorrência espacial das unidades geomorfológicas de análise está apresentada na Tabela 13.

Tabela 13 - Ocorrência das unidades de caracterização geomorfológica na área de estudo.

Unidade de Terreno	Ocorrência	
	(km <sup>2</sup> )	(%)
Alto Vale do Rio das Velhas	134,3	10,65
Colinas de Itabirito	53,9	4,28
Corredor Sinclinal Suspenso Dom Bosco	126,5	10,03
Cristas da Serra de Brás Gomes	60,0	4,75
Cristas da Serra do Siqueira	46,3	3,68
Depressão Cristalina Sudeste	245,0	19,43
Escarpa da Serra de Itabirito	5,0	0,40
Planalto Quartzítico Serra do Itacolomi	182,5	14,47
Platô do Caraça	16,0	1,27
Platô do Vale do Sol	45,9	3,64
Reverso Estrutural da Serra da Moeda	4,8	0,38
Reverso Estrutural da Serra de Itabirito	4,0	0,31
Serrinhas de Casa Branca	16,3	1,29
Serrinhas de Dom Bosco	79,3	6,29
Não Mapeado	241,2	19,13

A Depressão Cristalina corresponde à área do Complexo do Bação e se caracteriza por relevo predominantemente suave-ondulado, formado por morros poli-convexos e com vertentes longas (Drumond & Bacellar, 2006). Nas regiões de maior altitude são encontrados relevos mais escarpados e de interflúvios agudos relacionados às rochas menos intemperizadas do embasamento.

O Platô do Caraça possui relevo escarpado e aparência maciça, uma vez é constituído majoritariamente por quartzitos de alta resistência ao intemperismo. Os sistemas de drenagem superficial e subsuperficial (zonas de recarga) são condicionados pelas descontinuidades, que modelam fendas e gargantas profundas nas falhas ocupadas por diques de menor resistência (VALE, 2009).

O Platô Vale do Sol é caracterizado por um relevo montanhoso de transição entre as serras orientais do Quadrilátero Ferrífero e as áreas arrasadas e homogêneas a leste (Oliveira *et al.*, 2011).

A unidade geomorfológica do Alto Vale do Rio das Velhas está delimitada pelas serras do Espinhaço e Ouro Preto e grande parte de sua área se insere em rochas do Grupo Nova Lima e Maquiné. Já o Planalto Quartzítico Serra do Itacolomi é delimitado a norte pela Serra de Ouro Preto e a sul pela Serra da Chapada. Compreende relevo acidentado, com vertentes íngremes e vales profundos e encaixados (Fujaco *et al.*, 2010).

A unidade Geomorfológica da Crista da Serra Brás Gomes corresponde ao topo da Serra do Espinhaço, de direção NW-SE. A Crista da Serra do Siqueira possui direção E-W e se refere à morfoestrutura da Serra de Ouro Preto.

As colinas de Itabirito correspondem à área nordeste do município. No geral é caracterizada por relevo aplainado de baixa declividade, com existência de morros suaves com topos convexos, e maior declividade nas encostas, que por vezes se apresentam escarpadas.

O Corredor Sinclinal Suspenso, Serrinhas de Dom Bosco e Serrinhas de Casa Branca também são denominados como Morrarias de Dom Bosco (Oliveira *et al.*, 2011), esta unidade é caracterizada majoritariamente por rochas do Grupo Piracicaba, direção geral E-W e está locada entre a borda do Baçõ a norte, Serra da Moeda e Serra de Itabirito a oeste, Serra de Itacolomi a leste e a sul pelas áreas arrasadas da cabeceira do Rio Maranhão. Ocorrem variações de relevo que podem ser atribuídas às alterações de erodibilidade e estrutura das diferentes formações deste grupo. As Serrinhas do Dom Bosco estão locadas em rochas da Formação Cercadinho e apresenta relevo suave a ondulado, com estruturas escarpadas ocorrendo no contato com rochas do Grupo Nova Lima (sul) e Formação Fecho do Funil (leste).

O Corredor Sinclinal Suspenso Dom Bosco e as Serinhas de Casa Branca possuem relevo forte ondulado a montanhoso, associado a rochas do Piracicaba indiviso, Itabira e Gandarela, além de coberturas lateríticas e ferruginosas recentes.

Escarpas e Reverso Estrutural da Serra de Itabirito corresponde às estruturas da borda sudoeste do domo do Complexo do Bação. São encostas íngremes, muitas vezes formando paredões.

### **3.8. SOLOS**

Em 2010 o Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa em parceria com a FEAM realizou uma atualização do mapa estadual de solos 1:600.000 do CETEC (2007), com objetivo de complementação das descrições e reavaliação dos limites entre os tipos de solo (Figura 14). Neste sentido foi realizada uma amostragem complementar em regiões pouco detalhadas, tais como as regiões das bacias hidrográficas dos rios Doce, Grande e Paraíba do Sul.

Segundo este estudo são observadas quatro categorias de solos no município, conforme apresentado na Tabela 14 e respectivas descrições a seguir (UFV, CETEC, *et al.*, 2010).

Os cambissolos háplicos ocorrem na porção central do município, em uma faixa N-S de aproximadamente 5 km de largura, e na região sudoeste, no distrito de Miguel Burnier. São descritos como solos distróficos com horizonte A moderado e textura argilosa (CXbd1) a média/argilosa com presença ou não de pedregulhos (CXbd21). Este último pode ainda estar associado a ocorrências de neossolos litólicos ou latossolos vermelho-amarelos.

Os Latossolos Vermelho-Amarelos (LVAd1) possuem maior ocorrência no município e são caracterizados como distróficos com horizonte A moderado e textura argilosa. Com menor ocorrência no município estão os Latossolos Vermelhos (LVAd8), identificados como distróficos, horizonte A moderado e textura argilosa. Podem estar associados a Cambissolos Háplicos de textura silto-argilosa com presença ou não de cascalho.

Tabela 14 - Tipos de solos e ocorrência no Município de Ouro Preto segundo mapa FEAM/UFV (2010).

Tipo de solo	Sigla	Área (km <sup>2</sup> )	Ocorrência (%)
Cambissolo Háplico	CXbd1	114,89	9,2
	CXbd21	33,43	2,7
Latossolo Vermelho-Amarelo	LVA d1	431,70	34,7
Latossolo Vermelho	LVd8	3,08	0,2
Neossolo Litólico	RLd4	371,04	29,8
	RLd5	290,91	23,4

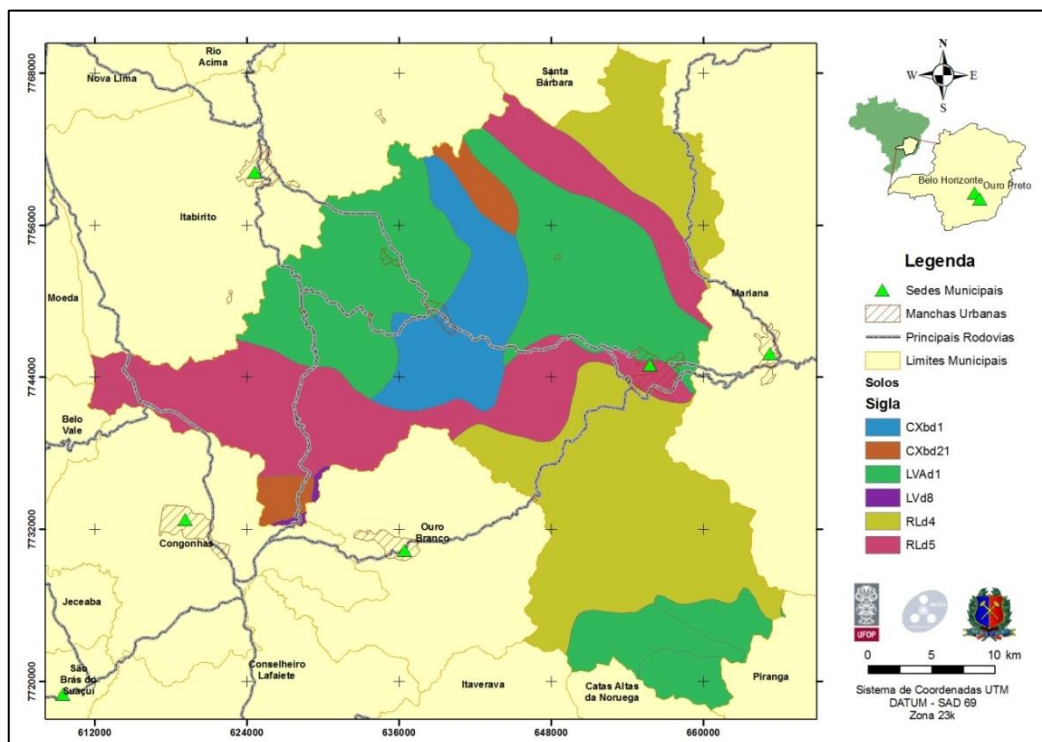


Figura 14 - Mapeamento de solos segundo (UFV, CETEC, *et al.*, 2010).

Os Neossolos Litólicos possuem horizonte A fraco a moderado e se apresentam associados a afloramentos rochosos (RLd4) ou Cambissolos Háplicos e, ou, Latossolos Vermelho-Amarelo (RLd5).

Observa-se que para determinadas unidades os autores indicam a possibilidade de ocorrência de dois ou mais tipos de solos, indiferenciação provavelmente relacionada a pouca disponibilidade de levantamentos de campo e incertezas na escala de trabalho.



Conforme apresentado, a escala de mapeamento realizado pela UFV/FEAM é incompatível com o objetivo deste trabalho, mas será utilizado devido à grande importância do tema.

Outros autores realizaram descrições do solo associando-os principalmente com a geologia, levando em conta as particularidades litoestruturais e texturais dos materiais. Segundo Bacellar (2000), a área do Complexo do Bação apresenta solos residuais espessos e desenvolvidos, identificados como latossolos distróficos. Nestes solos os horizontes superficiais (areno-argilosos), principalmente o horizonte B, são menos susceptíveis à erosão que o saprólito (areno-siltoso). Entretanto, há variação na erodibilidade do material mesmo dentro de um mesmo tipo de rocha, a depender da composição mineralógica e textura. A maior erodibilidade ocorre na presença de quartzo e maior proporção de silte.

Parzanese (1991) *Apud* Bacellar (2000) descreveu os saprólitos provenientes dos Gnaisses Funil da área da Bacia do Maracujá como areno-siltosos ou silto-arenosos, com predomínio da fração areia grossa, seguido por areia fina, silte e argila.

### **3.9. VEGETAÇÃO**

Existem cinco tipologias vegetais predominantes no Município de Ouro Preto (Tabela 15), sendo caracterizadas por espécies nativas em seus diversos estágios fisionômicos (pioneiro ou de regeneração, secundarizado ou primário). A Figura 15 mostra o mapa da cobertura vegetal em Ouro Preto, segundo o trabalho realizado pelo Instituto Estadual de Florestas (IEF) do Estado de Minas Gerais (2009).

Tabela 15 - Áreas das tipologias vegetais no Município de Ouro Preto (IEF, 2009).

<b>Descrição</b>	<b>Ocorrência (km<sup>2</sup>)</b>
Campo	119,8
Campo Rupestre	31,6
Cerrado	3,1
Eucalipto	6,8
Floresta Estacional Semidecidual Montana	460,8

Os cerrados possuem dois estratos, identificados como campestre (herbáceo-subarbusivo) e o lenhoso (arbóreo-arbusivo). O estrato lenhoso é caracterizado por troncos tortuosos, ramificações irregulares e tortuosas, cascas espessas e altura de até 1,5 metros. O estrato Campestre é menos denso e formado, também, por gramíneas (Ferreira, 2008). Sua ocorrência é limitada à porção sudoeste do município, distrito de Miguel-Burnier, em altitudes de aproximadamente 1.000 metros e sobre rochas do Grupo Nova Lima.

O termo genérico “Campo” pode indicar várias possibilidades de ocorrências de formações campestres, tais como campos limpo, sujo de cerrado e de altitude. Estes biótopos são característicos de áreas com altas altitudes e possuem adaptações morfológicas e fisiológicas a solos rasos ou inexistentes, períodos de excesso ou baixa disponibilidade hídrica, além de resistência a baixas temperaturas, o que resulta em grande variedade de espécies endêmicas. A denominação Campo Rupestre foi a única tipologia diferenciada no mapeamento, devido principalmente às suas características fisionômicas e representatividade na área. É caracterizado por estrato herbáceo-arbusivos e relacionado a afloramentos areníticos, quartzíticos, hematíticos e cangas (Viana & Lombardi, 2007; Filho *et al.*, 2006).

A Floresta Estacional Semidecidual Montana é caracterizada por plantas de dossel com tamanho variado. São observados dosséis de até 4 metros em solos rasos ou litolíticos e superiores a 25 metros e, solos de maior espessura. Geralmente é mais desenvolvida e densa quando nos vales e galerias (Filho *et al.*, 2006). Possui grande distribuição e maior ocorrência geográfica no município de Ouro Preto.

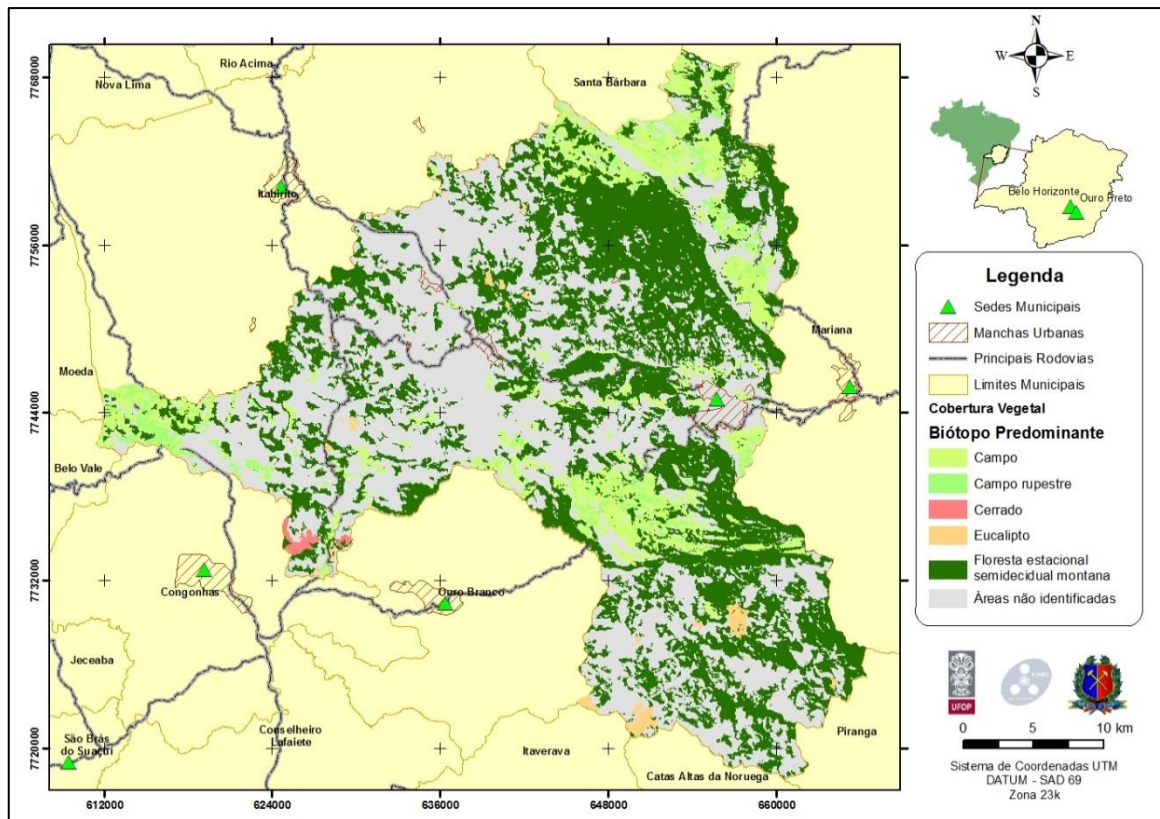


Figura 15 – Mapa da cobertura vegetal do Município de Ouro Preto. Adaptado de IEF (2009)

São observadas também plantações de eucalipto, principalmente na região sul do município. Os eucaliptos são espécies originárias da Oceania, principalmente Austrália, que possuem alta taxa de crescimento e grande aplicabilidade, principalmente para produção de carvão vegetal, aplicações na construção civil e mourões de cercas. Geralmente é cultivado de forma extensiva em solos de maiores espessuras e clima quente (Wilcken *et al.*, 2008). Há outras ocorrências de outras plantações de eucalipto no município, conforme constatado por Fujaco *et al.* (2010) na área do Parque do Itacolomi, mas que não estão representadas na figura 15 devido à escala.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. INVENTÁRIO DE DADOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A fundamentação teórica e reconhecimento da área de estudo indicaram os procedimentos metodológicos, premissas, ferramentas e formatos de dados utilizados em ambiente SIG. Foi elaborado um banco de dados (*geodatabase*), utilizado para realização das análises espaciais, avaliação e classificação dos temas quanto às características geotécnicas e produção dos mapas finais. Para tanto foram utilizados os softwares indicados na Tabela 16.

Tabela 16 – Softwares utilizados e respectivas aplicações.

SOFTWARE	EXTENSÃO	UTILIZAÇÃO
ArcGIS	Spatial Analyst	Geração de mapas derivados (declividade, <i>hillshade</i> , forma das vertentes), generalizações, reclassificações e análises espaciais.
	3D Analyst / ArcScene	MDT e visualização de mapas 3D
	TauDEM	Amplitudes e bacias de 3ª ordem.
MS Excel	-	Análises estatísticas e validações.

Os dados espaciais primários utilizados estão apresentados na Tabela 17 a seguir:

Tabela 17 - Dados Espaciais utilizados na avaliação de susceptibilidade.

<b>TEMA</b>	<b>ESCALA / RESOLUÇÃO ESPACIAL</b>	<b>FORMATO</b>	<b>UTILIZAÇÃO</b>	<b>FONTE</b>
Cartas IBGE *	1:50.000	Vetorial / Raster	Geração de MDT e mapas derivados	IBGE (1976)
Limites políticos (2008)	1:50.000	Vetorial	Delimitação da área de estudo	IGA (2008)
Principais vias de acesso	1:50.000	Vetorial	Localização da área de estudo	SEMAD (2011)
Hidrografia	1:50.000	Vetorial	Delimitação de bacias hidrográficas de 3ª ordem	IBGE (1976)
Inventário Florestal (2009)	1:100.000	Vetorial	Identificação de tipologias vegetais	UFLA & IEF (2009)
Solos	1:650.000	Vetorial	Utilização direta nos modelos de avaliação de movimentos de massa	FEAM & UFV (2010)
Geológico	1:50.000	Vetorial	Utilização direta no modelo de avaliação de movimentos de massa	Lobato <i>et al.</i> (2005)
Imagens Rapideye (2010)	5m	Raster	Inventário de movimentos de massa, avaliação da Vegetação e Uso e Ocupação do Solo	IEF
QuickBird (2006)	2,4m	Raster	Inventário de movimentos de massa	PMOP

\*Conselheiro Lafaiete (2609-1), Itabirito (2573-3), Mariana (2574-3), Ouro Branco (2609-2), Ouro Preto (2573-4), Piranga (2610-1), Rio Acima (2573-1)

A escolha das informações espaciais levou em conta a disponibilidade, escala prevista neste estudo (1:50.000) e influência dos temas na avaliação dos fenômenos geoambientais.

Outro aspecto considerado fundamental é a possibilidade de replicação do método em outras áreas, para tanto foi indicada preferência às informações espaciais disponíveis gratuitamente, tanto em sites quanto em órgãos governamentais (estados e municípios, principalmente).

#### **4.2. INVENTÁRIO DE EVIDÊNCIAS DE INSTABILIZAÇÃO DO TERRENO E RECONHECIMENTO DE CAMPO**

O inventário de evidências de instabilização do terreno é definido como um levantamento, realizado através de reconhecimento qualitativo de campo e interpretação de dados orbitais, dos principais indícios de instabilidade, antrópicas ou não, tais como movimentos de massa, processos erosivos de grande porte (voçorocas e ravinas) ou evidências que integrem as duas situações, caso comumente identificado. São também identificadas cicatrizes de eventos passados, mas já estabilizados ou em processo de estabilização.

Para elaboração do inventário foram utilizadas imagens de satélite Quickbird, ano 2006, em composição de cores do visível (não foram disponibilizadas as bandas do infravermelho próximo ou pancromática) e, principalmente, imagens Rapideye, tanto na composição do visível, quanto em composição 1-5-2. Essa última composição destaca melhor as variações topográficas, sendo portanto um bom indicador da localização e delimitação das evidências (Figura 16).

Inicialmente o município foi dividido em uma grade de 86 blocos de aproximadamente 4,0 x 5,5 km. Em escala 1:25.000 foram identificadas as áreas onde se observam claramente as diferenças de textura e cores (solo exposto/movimentado, mudanças bruscas no terreno e vegetação) que indicam alterações recentes no terreno. No caso das cicatrizes (alterações antigas) foi realizada uma avaliação do entorno para identificação

de variações no padrão do relevo, que evidenciem alterações ocorridas devido aos movimentos de massa e/ou processos erosivos acelerados. Em ambos os casos a vetorização foi realizada em escalas maiores, para melhor definição dos limites e formas das evidências.

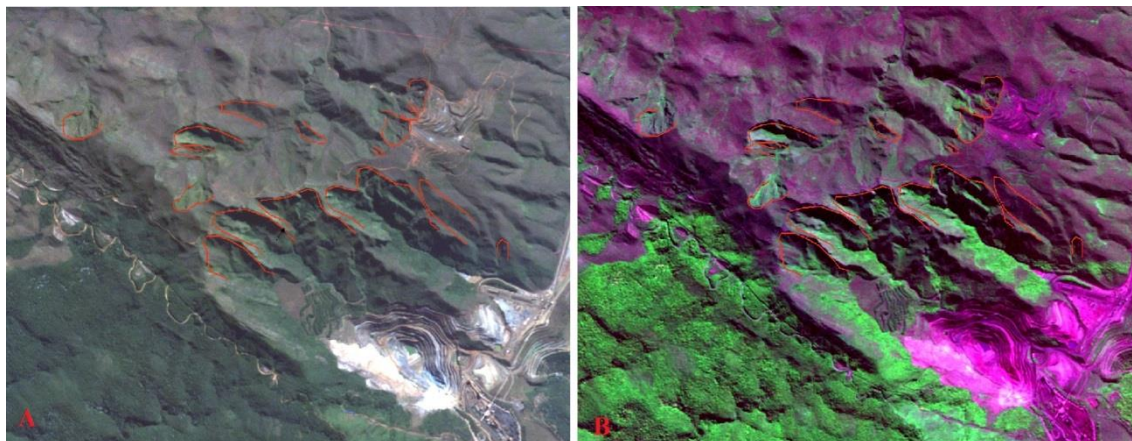


Figura 16 - Análise comparativa entre as informações de diferentes composições de bandas: A - R3G2B1 e B – R1G5B2 (Observar maior destaque de relevo em B)

Nos casos dos movimentos de massa de maiores proporções e antigos (anteriores a 1976, data de elaboração das cartas topográficas IBGE) foram utilizadas as informações das imagens de satélite, topografia e os dados secundários de *hillshade*, (iluminação do relevo) para melhor identificação das diferenciações no terreno (Figura 17). As informações provenientes deste tipo de mapa devem ser complementares à interpretação de imagem de satélite e trabalhos de campo, e não devem ser utilizadas como única fonte de informação para elaboração do inventário de movimentos de massa (Van Den Eeckhaut *et al.*, 2004).

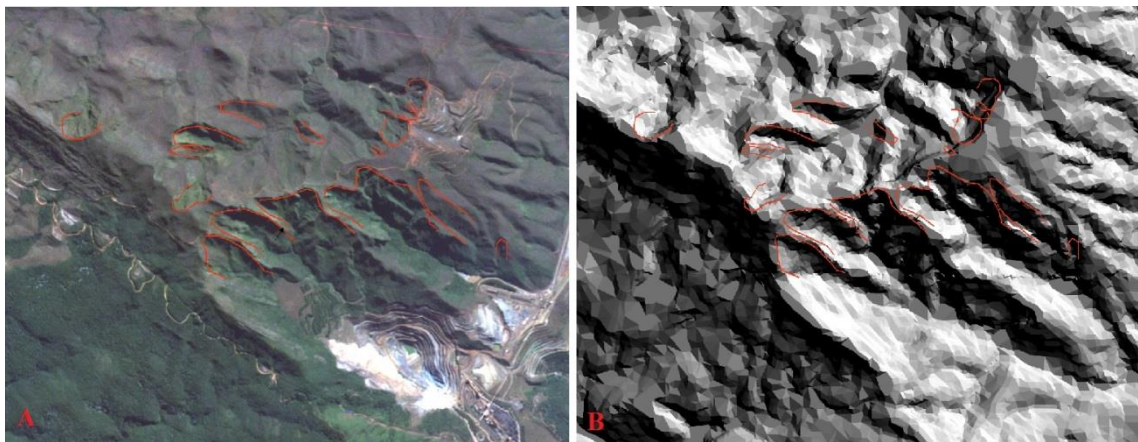






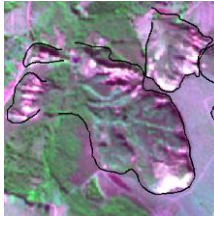
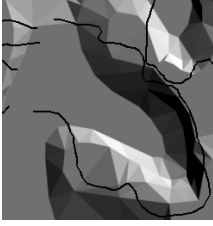

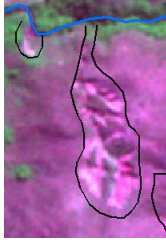




Figura 17 – Análise conjunta do *hillshade* (A) e imagem de satélite (B) para delimitação de cicatrizes.

Além da delimitação das cicatrizes e áreas instabilizadas, foram coletadas informações sobre o entorno, que permitam contextualizar o registro ao uso e ocupação do solo. Desta forma foram armazenadas informações sobre a proximidade a obras lineares (estradas e linhas férreas), drenagens/corpos hídricos, minerações, dentre outros. As informações sobre cobertura vegetal, importante indício do processo de estabilização, também foram coletadas de forma qualitativa.

Com base nas informações descritas acima, foi elaborado um *geodatabase* contendo a classificação das áreas quanto aos indicativos de estabilidade (ativo, parcialmente ativo ou estabilizado), contexto do entorno (Em estradas/Linha Férrea, Áreas Desmatadas, Mineração, Margens de rios/drenagens, Áreas Urbanas) e Vegetação (vegetado, parcialmente vegetado, não vegetado). Conforme algumas amostras apresentadas na Tabela 18, os dados de *hillshade* podem ou não indicar ganhos na interpretação dos limites dos indícios de instabilização (um pré-requisito é que o mapeamento topográfico de origem seja posterior à data de surgimento do processo geodinâmico. Outro fator preponderante se refere à escala de trabalho).



Tabela 18 – Identificação de Indícios de Instabilização do Terreno.

CONTEXTO DE ENTORNO	AMOSTRA		
	Composição	Composição	<i>hillshade</i>
	321	152	
Estradas/Linha Férrea			
Vegetado (parcialmente)			
Margens de rios/drenagens			
Áreas Urbanas			

Os trabalhos de campo foram realizados com o intuito tanto de reconhecimento, quanto de validação dos resultados obtidos. Esta validação foi realizada qualitativamente, considerando aspectos relevantes no contexto de movimentos de massa e erosão. Devido à escala de trabalho proposta, não foram considerados os movimentos de massa e erosões descritos por Castro (2006), Fontes (2011), Costa & Sobreira (2001) e Bacellar (2000). Foram cadastradas somente as evidências passíveis de identificação nas imagens de satélite.

### 4.3. ELABORAÇÃO, ADEQUAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS BASES CARTOGRÁFICAS

A partir dos temas apresentados na Tabela 17 foram geradas informações derivadas de bases topográficas e imagens sensoriais, através da utilização do software *ArcGIS*, em conjunto com a extensão *spatial analyst*. As curvas de nível das cartas IBGE foram avaliadas e as cotas espúrias corrigidas, para possibilitar a geração destas informações de forma coerente.

#### 4.3.1. Geologia e Solos

Para cada plano de informação, os mapas foram reclassificados de acordo com as características geotécnicas que possam indicar maior susceptibilidade a movimentos de massa e/ou adequados ao formato necessário nos procedimentos metodológicos. A classificação foi embasada no comportamento geotécnico apresentado no item 3.5.

#### 4.3.2. Dados Derivados de Topografia

A partir das curvas de nível extraídas das cartas IBGE, foram elaborados o MDT, declividade, hipsometria e curvatura. Estas informações foram geradas diretamente no software *ArcGIS*, a partir de ferramentas do *3D Analyst* e *Spatial Analyst*.

A curvatura foi diferenciada entre côncava, retilínea e convexa e as classes de declividade foram separadas de acordo com Carvalho (1982) - Tabela 19.

Tabela 19 - Classes de declividade de acordo com Carvalho (1982).

TEMA	CLASSE
Declividade (%)	0-10
	10-20
	20-40
	40-60
	60-100
	>100

A geomorfologia foi definida segundo uma adaptação da metodologia utilizada no mapa geomorfológico de São Paulo (IPT, 1981) e descrito por Seabra (2012). Para tanto foram identificadas as bacias hidrográficas principais e de 3ª ordem, a partir da classificação dos corpos hídricos apresentados nas cartas topográficas do IBGE pelo método de Strahler. A amplitude foi calculada através da subtração da cota local pela cota mínima de cada sub-bacia.

Para o Município de Ouro Preto, o limiar de declividade originalmente definido na metodologia IPT (1981), foi alterado de 15% para 30%, devido à grande variação de relevo quando considerada a totalidade do município. Este fator indica condições intrínsecas à região no contexto geomorfológico, e se diferencia de outras áreas com menores variações morfológicas. Os dados de amplitude e a declividade modificada foram então utilizados para a definição das unidades de relevo, conforme apresentado na Tabela 20 a seguir:

Tabela 20 - Unidades de relevo. Adaptado de IPT (1981).

<b>SISTEMAS DE RELEVO</b>	<b>DECLIVIDADE</b>	<b>AMPLITUDE DO RELEVO</b>
Colinas	<30%	< 100m
Morrotes	> 30%	< 100m
Morros com Vertentes Suavizadas	< 30%	De 100m a 300m
Morros de Altitude	> 30%	De 100m a 300m
de Altitude	<30%	>300m
Montanhoso e/ou Escarpado	> 30%	> 300m

Considerando os limiares definidos para amplitude e declividade, temos as seguintes caracterizações dos tipos de relevo:

- Relevo de Colinas: baixas elevações do terreno e baixas declividades, geralmente de topos arredondados;

- Relevo de Morrote: baixas elevações do terreno e altas declividades, geralmente de topos arredondados;
- Relevo de Morros com Vertentes Suavizadas: elevações intermediárias e baixas declividades, com topos irregulares ou arredondados.
- Relevo de Morros: elevações intermediárias e altas declividades, com topos irregulares ou arredondados.
- Relevo de Altitude: altas elevações e baixas declividades, localizado nos topos das elevações mais altas, caracterizado por afloramentos rochosos, vegetação geralmente arbustiva e morfologia irregular.
- Relevo Montanhoso e/ou Escarpado: altas elevações e altas declividades. Comumente indica locais de rocha aflorante ou rasa.

#### **4.3.3. Dados Derivados de Sensores Orbitais**

Além da identificação dos movimentos de massa e cicatrizes, os dados das imagens de satélite Rapideye foram aplicados para avaliação do uso e ocupação do solo e indicativo de vegetação, através do índice NVDI (Normalized Difference Vegetation Index). A utilização destas imagens precedeu o ajuste espacial, realizado com o intuito de compatibilizar minimamente o georreferenciamento das imagens com as cartas topográficas IBGE. Para tanto, foram utilizados pontos de controle definidos principalmente nos topos das elevações mais altas.

O mapa de uso e ocupação do solo foi elaborado de forma semiautomática, onde inicialmente são definidas “amostras” de áreas (vetores) com caracterização conhecida. Neste caso foram utilizadas as descrições apresentadas por UFLA e IEF (2009), além da identificação textural e de cores de áreas urbanas, solos expostos e pastagens (Tabela 21) em composições de falsa cor (azul, infra-vermelho próximo e verde - bandas 1,5 e 2, respectivamente) e no visível (vermelho, verde e azul – bandas 2, 3 e 1, respectivamente). No procedimento foi utilizada a composição de falsa cor, que realça as diferenças entre vegetação, devido principalmente à melhor resposta da banda do infra vermelho próximo

A partir destes dados é definida uma assinatura espectral de cada tema, em todas as bandas, para posterior classificação do restante da imagem.

O NVDI representa um indicativo de cobertura vegetal (biomassa fotossintética verde ativa, ou seja, há uma diferenciação entre as plantas verdes e secas ou áreas descampadas), obtida da reflectância entre medidas de bandas de satélite na faixa espectral do vermelho (visível) e infravermelho próximo (Ozdemir & Turoglu, 2007; Meneses, 2011). Mesmo que uma cicatriz de movimento de massa ou erosão (anfiteatro) esteja vegetada não há garantia de estabilidade, uma vez que este fator individualmente não indica condições seguras de ocupação urbana. O cálculo do NVDI é definido pela fórmula a seguir.


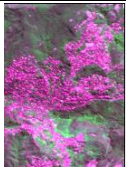

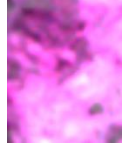

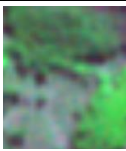
$$NVDI = \frac{(IFP - VRM)}{(IFP + VRM)}$$

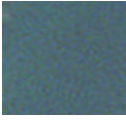


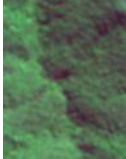
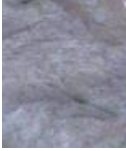

Onde:

IFP é a banda do infravermelho próximo; e,

VRM é banda do vermelho

Tabela 21 - Classes utilizadas no mapeamento de uso e ocupação do solo.

COMPONENTES	IDENTIFICAÇÃO DO TEMA	AMOSTRA	
		Composição 321	Composição 152
Antrópicas	Área Urbana		
	Solo Exposto		
	Pastagens/Plantações		

COMPONENTES	IDENTIFICAÇÃO DO TEMA	AMOSTRA	
		Composição 321	Composição 152
Antrópicas/ Naturais	Água (lagos, lagoas e barragens)		
Naturais	Floresta Estacional Semidecidual de Montana		
	Campos		

#### 4.4. AVALIAÇÃO DE SUSCEPTIBILIDADE

Foram escolhidas duas abordagens distintas para avaliação de susceptibilidade 1:50.000, levando em conta a extensa área, variabilidade espacial das informações no município e o grande número de fatores envolvidos na deflagração dos movimentos de massa. Foi considerado ainda que um dos principais objetivos deste estudo é a identificação de metodologia replicável e utilizando técnicas de relativa baixa complexidade.

A primeira abordagem (heurística) foi realizada através das características do relevo em conjunto com a variável geológica ou uso do solo. A segunda utiliza ferramentas estatísticas e considera um maior número de variáveis, além da utilização do inventário de movimentos de massa como um dado de entrada (Valor Informativo/Índice de Movimentos de Massa).

Em ambos os casos, a seleção dos temas utilizados leva em conta o reconhecimento de campo realizado, as experiências apresentadas por outros autores em casos de sucesso (item 2.3, notadamente as tabelas Tabela 3 e Tabela 5) e fatores deflagradores de movimentos de massa, apresentados na Tabela 2. Os trabalhos de campo foram

utilizados para balizar os dados de entrada, e desta forma potencializar os resultados dos mapeamentos. Resumidamente, a abordagem utilizada em cada modelo é apresentada na Tabela 22.

Para a avaliação de susceptibilidade, um dos fatores de maior influência se refere ao agrupamento dos processos geodinâmicos em tipos (exemplos: erosão, cunhas, planares e tombamentos), para possibilitar a identificação dos agentes deflagradores e agravadores de forma independente. Entretanto, observa-se que no Município de Ouro Preto os movimentos de massa e erosões são geralmente complexos, que combinam mais de um tipo de processo geodinâmico e são influenciados por um grande conjunto de fatores.

Tabela 22 - Características dos modelos de susceptibilidade aplicados na área de estudo.

	<b>MODELO</b>	
	<b>Heurístico</b>	<b>Estatístico (Valor informativo)</b>
<b>ESCOLHA DOS TEMAS</b>	Experiência do operador, estudos anteriores e verificação de campo.	
<b>PESOS DAS CLASSES DE CADA TEMA</b>	Experiência do operador, estudos anteriores e verificação de campo.	Definidos por análise de frequência, baseado no inventário de movimentos de massa.
<b>GERAÇÃO DO MAPA</b>	Análises espaciais	Relações estatísticas e análises espaciais
<b>VALIDAÇÃO</b>	Adaptação da taxa de predição	Taxa de sucesso e predição

Não obstante se observam dois grandes grupos de processos, que são considerados fundamentais para o mapeamento de susceptibilidade de forma coerente e representativa (Figura 18): A região do Baçõ (região 01), caracterizada por erosões aceleradas de grande porte, muitas vezes associadas a pequenos movimentos de massa, e os movimentos complexos identificados no restante do município (região 02).

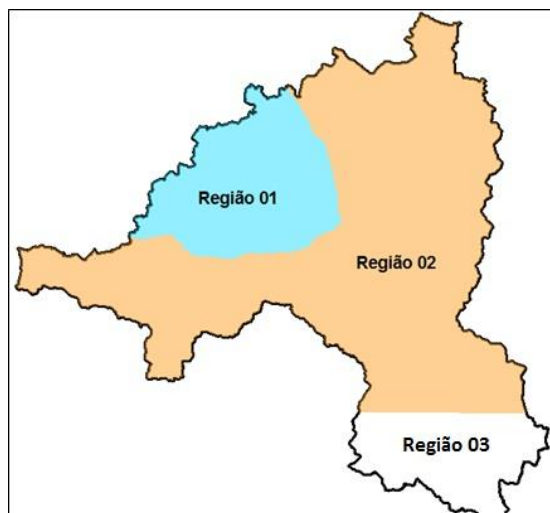


Figura 18 – Regiões de análise de susceptibilidade em função do processo geodinâmico predominante (erosão e movimentos de massa, respectivamente azul e laranja). A região em branco (03) foi desconsiderada devido à inexistência de dados geológicos.

As análises e interpretações não foram extrapoladas para área sudeste (Região 03), já que esta área não possui levantamento geológico compatível com a escala de trabalho. Desta forma, a descrição geológica do município abrange 1.091,01km<sup>2</sup>, equivalente a 87,6% da área total prevista.

No município de Ouro Preto, com destaques para região do Bação e área urbana, vários autores identificaram e discutiram diversos fatores físicos, ambientais e socioeconômicos envolvidos na deflagração e agravamento dos processos geodinâmicos.

A região do Bação foi analisada com uma abordagem distinta, devido principalmente à grande diferença no conjunto de fatores deflagradores dos processos geodinâmicos identificados na nesta área. Para análise são consideradas as condicionantes de processos erosivos acelerados descritas por Bacellar *et al.* (2001):

- Os fatores pedológicos são irrelevantes;
- Atividades antrópicas (estradas, cercas, etc.) são uma das importantes causas da deflagração destes processos. Entretanto, algumas áreas pouco perturbadas



apresentam maior frequência de voçorocas que outras sob menor influência antrópica;

- A geologia é uma das condicionantes preponderantes. Conforme apresentado por Bacellar (2000), um dos fatores de grande influência se referem a variações de textura (porcentagem de silte), relacionado a variações litoestruturais, principalmente nos saprólitos. Entretanto estas variações não são identificadas na escala 1:50.000.
- A geomorfologia é considerada como principal fator condicionante, sendo que os relevos suaves em divisores de águas apresentam grande concentração de voçorocas.

Na região 02 a grande maioria dos estudos previamente realizados no contexto dos movimentos de massa e processos erosivos se concentra na área urbana do município. Estas informações foram extrapoladas para o restante da área, considerando os principais agentes deflagradores:

- Fatores morfométricos (Curvatura e, principalmente, declividades).
- Componente geomorfológica
- Geologia e respectivo comportamento geotécnico.
- Uso do Solo;
- Cobertura Vegetal

#### **4.4.1. Modelo Heurístico**

A abordagem heurística foi baseada na avaliação de susceptibilidade realizada por Sampaio *et al.* (2013), e reconhecimento de campo, onde foram identificadas as principais características do terreno que indicam maior susceptibilidade a movimentos de massa e erosão.

Os temas das regiões 01 e 02 foram hierarquizadas, separadamente, conforme importância no processo dominante de cada área (erosão e movimento de massa, respectivamente), indicando notas maiores para os temas que inferem maior susceptibilidade. Após a reclassificação, os mapas foram integrados através de soma e ponderados na escala de susceptibilidade de 0 a 1.

Para Região 01 o modelo de Sampaio *et. al.* (2013) foi adaptado segundo as considerações de Bacelar *et al.* (2001) e Bacellar (2000). Desta forma foram utilizados os mapeamentos de uso e ocupação do solo, geomorfologia e declividade. Conforme anteriormente exposto, não foi possível utilizar o dado geológico, uma vez que nesta área o mapeamento só apresenta uma classe, definida como “Complexo do Bação” (rochas graníticas e granodioríticas, migmatito, gnaiss, granito gnáissico), além de algumas poucas ocorrências de rochas intrusivas e xistos.

No caso da Região 02 foi utilizado o detalhamento das características geomorfológicas e declividades, além do mapa litológico classificado de acordo com comportamento geotécnico semelhante. Estes fatores foram identificados por vários autores, com destaque para Carvalho (1982) e Sobreira (1989, 1991). As unidades de relevo foram consideradas uma vez que integram um conjunto de características no tempo que refletem os processos intempéricos, resistências dos materiais (rochas e solos), clima e histórico de ocupação (Florenzano, 2008). A declividade também foi identificada como forte condicionante dos movimentos de massa. Estes dados foram integrados ao mapa geológico, cujas litologias foram agrupadas em cinco classes de comportamento geotécnico similar.

#### **4.4.2. Modelo Estatístico Valor Informativo (Índice de Movimentos de Massa)**

A avaliação de susceptibilidade a movimentos de massa pela técnica Bayesiana do Valor Informativo – VI, também conhecido como Índice de Movimentos de Massa, (na literatura inglesa: *landslide index*, *statistical index* ou *information value method*) é fundamentada em uma análise de frequência, onde é atribuída uma pontuação para cada variável independente (classes dos temas) em função da variável dependente

(movimentos de massa e cicatrizes). Desta forma a importância relativa de cada classe é definida de acordo com a frequência com que os eventos presentes e passados ocorreram naquela classe. Baseado nesta análise, outras áreas com condições similares são identificadas e classificadas quanto à susceptibilidade (Yin & Yan, 1988 *apud* Zêzere, 2002; Piedade *et al.*, 2011), Oliveira *et al.*, 2009; Seixas *et al.*, 2006; Melo *et al.*, 2010)

A aplicação do método estatístico possibilita a redução de parte da subjetividade relacionada à avaliação dos processos geodinâmicos, além de permitir a utilização e avaliação prática conjunta de um maior número de temas de forma mais rápida. Estes fatores são de grande relevância, já que é possível avaliar a influência relativa de cada tema, ou seja, sua contribuição individual na deflagração destes processos.

Para o cálculo do valor informativo da classe ( $v_i$ ) em cada variável independente ( $X_i$ ) é considerado o logaritmo da relação entre a probabilidade condicionada ( $P_c$ ) e a probabilidade *a priori* ( $P_p$ ), ou seja, cada classe é ponderada a partir de todos os movimentos de massa/ erosões evidenciados em toda área de estudo, conforme apresentado nas fórmulas a seguir.

$$P_p = \frac{S}{N}$$

Para cada classe de cada tema ( $X_i$ ):

$$P_c = \frac{S_i}{N_i}$$

$$v_i = \log \frac{P_c}{P_p}$$

Onde:

S é a área total (ou número total de pixels) com movimentos de massa na área de estudo;

N é a área total (ou número total de pixels) de estudo;

$S_i$  é a área (ou número de pixels) com movimentos de massa na variável  $X_i$ ;

$N_i$  é a área (ou número de pixels) da variável  $X_i$ ;

O valor Informativo final ( $VI$ ) é a soma dos valores informativos de cada variável independente ( $vi$ ), quanto maior o valor, maior a predisposição aos movimentos de massa. Valores negativos indicam que os movimentos de massa são pouco influenciados pela variável independente. Então:

$$VI_j = \sum_{i=1}^m vi_i$$

Se nenhum movimento de massa ocorrer em uma determinada variável  $X_i$ , o valor de  $VI(i)$  será o menor encontrado em todas as classes daquele tema.

Na região 01, considerando a irrelevância das variações dos tipos de solo e a incompatibilidade do mapeamento 1:50.000 utilizado, foram selecionados cinco temas para avaliação de susceptibilidade a erosão: declividade, curvatura, relevo, NVDI e uso e ocupação do solo.

Já na região 02, foram utilizados 07 temas, que representam a influencia de diferentes fatores relevantes identificados na deflagração de movimentos de massa e processos erosivos: declividade, curvatura, unidade de relevo, solos, geologia, NVDI e uso e ocupação do solo.

#### **4.5. VALIDAÇÃO DOS MODELOS**

Conforme apresentado na fundamentação teórica, há vasta gama de possibilidades metodológicas para elaboração de mapas de processos geodinâmicos, cuja aplicação é limitada pela disponibilidade e escala das informações, além das ferramentas tecnológicas utilizadas. Considerando a relevância destes fatos, são apresentados os seguintes pontos que podem influenciar sensivelmente os resultados de susceptibilidade:

- A partir de um mesmo grupo de informações podem ser definidas diferentes abordagens metodológicas para geração dos mapas de susceptibilidade/ perigo/ risco/ vulnerabilidade;
- Os modelos heurísticos, estatísticos e probabilísticos, em maior ou menor grau, são influenciados pela experiência do operador na definição dos fatores preponderantes dos processos geodinâmicos de uma área, parâmetros utilizados e adequações nos dados;
- Há várias possibilidades de generalização e/ou interpolação de parâmetros para espacialização dos dados;
- As escalas e fontes dos mapeamentos indicam maior ou menor detalhamento das informações. As informações primárias e derivadas dos dados topográficos (declividade, hipsometria, amplitude, aspecto, etc) são fundamentais para os mapeamentos e variam muito de acordo com estas características;
- No geral as ferramentas para o zoneamento de movimentos de massa são de fácil acesso e aplicação em ambiente SIG, além de possuírem muitas possibilidades de softwares disponíveis para utilização. Ressaltam-se os incontáveis formatos de dados e ferramentas de geoprocessamento.

Uma das principais aplicações dos zoneamentos de movimento de massa é a definição de formas “otimizadas” de uso e ocupação do solo em contexto urbano. É considerado que neste caso as áreas indicadas como de menor susceptibilidade a movimentos de massa são as que possuem melhores condições de ocupação e, comumente, maior estabilidade geotécnica. A utilização de mapeamentos geotécnicos sem a devida validação pode resultar em informações inverídicas ou omissas, novos movimentos de massa e outros problemas geoambientais, além de um problema socioeconômico.

Tais fatores indicam grande importância às validações dos mapeamentos relacionados a fenômenos geoambientais. Um método avaliativo seria a realização de trabalhos de campo sistemáticos, com o intuito de comprovar os zoneamentos realizados a partir de observações de indicativos de instabilização do terreno. Para susceptibilidade, é necessária uma análise dos conjuntos de fatores que causam a instabilização de forma relativa ao restante da área. Apesar de indispensável, a utilização exclusiva deste

procedimento denotaria uma validação bastante subjetiva, mas quando agregado a técnicas quantitativas torna a mensuração dos resultados mais factível, principalmente em grandes áreas.

Para este trabalho, a validação do modelo estatístico foi realizada através do inventário de evidências de movimentos de massa e erosões, utilizado para o cálculo das taxas de sucesso e de predição, conforme Chung & Fabri (1999 e 2003) - item 2.4.2. Cerca de 20% das evidências identificadas no inventário de movimentos de massa e processos erosivos, foram reservadas para a realização da taxa de predição.

No caso do modelo heurístico foi realizada uma adaptação da taxa de predição, utilizando as mesmas evidências reservadas para o método estatístico.

## 5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

### 5.1. EVIDÊNCIAS DE INSTABILIZAÇÃO IDENTIFICADAS

Foram identificados 1.070 evidências de erosão e movimentos de massa no Município de Ouro Preto (Figura 19), mapeados conforme metodologia apresentada no item 4.2.

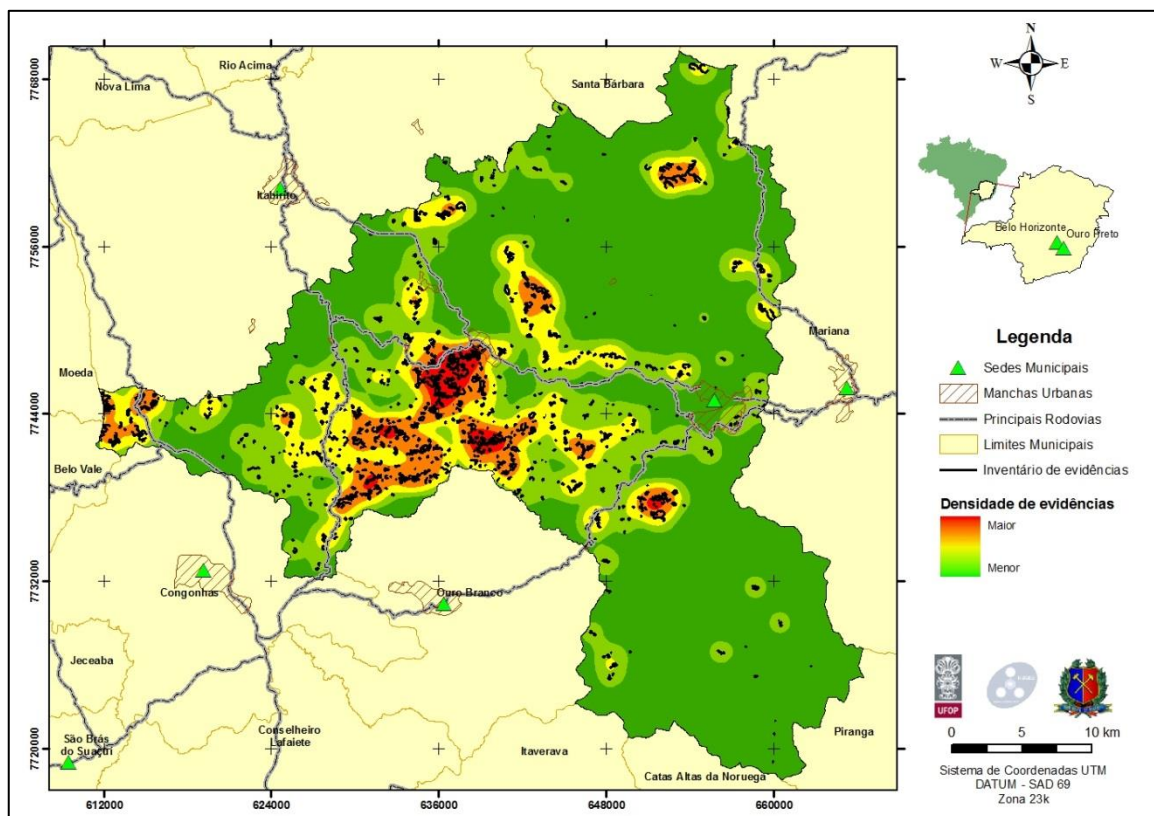


Figura 19 - Inventário de movimentos de massa no Município de Ouro Preto (áreas em vermelho: >4 evidências por km<sup>2</sup>. Em verde: < 1 evidência por km<sup>2</sup>)

Como principal critério, foram mapeadas as evidências de instabilização do terreno que puderam ser identificadas nas imagens de satélite, com o intuito principal de simular a

situação de um município sem um grupo de registros identificados pela defesa civil ou outro órgão público responsável. A metodologia utilizada não foi eficiente no caso da identificação de instabilizações nas áreas urbanas, devido principalmente às pequenas dimensões das evidências (maioria dos casos) e rápida ocupação das áreas previamente instabilizadas.

## **5.2. CLASSIFICAÇÃO DOS TEMAS**

### **5.2.1. Geologia e Solos**

No caso dos materiais rochosos, a atribuição de notas levou em conta as caracterizações geológico-geotécnicas identificadas no levantamento bibliográfico e descrições disponíveis para cada unidade geológica do trabalho de Lobato *et al.* (2005). Para esta análise se optou por uma abordagem mais conservadora, considerando a escala de trabalho e complexidade litológica e estrutural da área do Município de Ouro Preto, além das incertezas associadas aos mapeamentos geológicos, principalmente na definição dos limites e representatividade das descrições geológicas, muitas vezes baseadas em caracterizações pontuais e generalizadas para o restante da unidade.

As principais caracterizações do comportamento geotécnico das rochas e solos disponíveis para região foram realizadas em áreas específicas, como caso do mapeamento de Carvalho (1982) e Souza (1996), que praticamente se restringem à área urbana de Ouro Preto, e Bacellar (2000) que descreve com detalhes a área do Bação. Não obstante, a atribuição de notas às unidades geológicas fora da área urbana foi extrapolada para o restante do município, considerando o comportamento similar das rochas e solos dentro de uma mesma descrição litológica dos grupos ou complexos, além de processos recentes, tais como depósitos em encosta.

A área do Complexo do Bação é caracterizada por solos bem desenvolvidos, cujo comportamento pouco depende das estruturas reliquias, com exceção dos limites de bacias hidrográficas, onde o gnaiss está aflorante ou em menor profundidade. Há grande ocorrência de processos erosivos (voçorocas), muitas vezes de grande porte e



associados a movimentos de massa (a maioria destes processos se correlaciona com a atividade antrópica). Entretanto as variações litoestruturais não estão identificadas no mapeamento utilizado, não sendo suficiente para uma análise adequada.

Para o restante do município, cada unidade foi avaliada segundo características e descrições que indicassem fatores de predisposição a movimentos de massa, posteriormente as unidades foram agrupadas de acordo com um comportamento geotécnico similar. Estes grupos foram hierarquizados em cinco classes, com valores crescentes segundo a maior predisponência, conforme apresentado na Tabela 23.

Tabela 23 - Classificação geológico-geotécnica utilizada nos mapeamentos de susceptibilidade.

<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>CLASSE</b>	<b>Área (%)</b>
Cangas, itabiritos, formações ferríferas (Minas, Rio das Velhas), lateritas, quartzitos e quartzitos ferruginosos (Minas)	1	4,2
Itabiritos, itabiritos dolomíticos, hematitas (Minas), quartzitos com lentes de material geotecnicamente menos competentes (Minas e Rio das Velhas)	2	17,8
Rochas intrusivas, dolomitos (Itabira e Piracicaba), granitóides, itabiritos dolomíticos e hematíticos com lentes de material de baixa capacidade geotécnica (filitos, xistos, etc), itabiritos filíticos	3	45,8
Carbonatos e xistos (Nova Lima), xistos (Piracicaba, Gandarela e Indivisos)	4	19,5
Depósitos recentes e antigos (aluviões, coluviais e tálus), filitos (Piracicaba, Caraça e Itacolomi), xistos (Maquiné e Paracicaba)	5	12,7

Esta classificação foi utilizada tanto para o modelo heurístico quanto para o estatístico, mas há de se ressaltar que essa classificação não tem conotação hierárquica no caso do modelo estatístico do valor informativo.

No caso dos solos, um fator preponderante para o comportamento geotécnico de cada material é a identificação das variações texturais e, dependendo do caso, a possibilidade

de ponderações referentes ao estágio de desenvolvimento dos solos (solos rasos ou espessos possuem comportamento geotécnico distinto). Não obstante a escala do mapeamento disponível, foram consideradas seis classes de solo para as análises, conforme apresentado na Tabela 14.

### 5.2.2. Curvatura, Declividade, Amplitude e Geomorfologia

A curvatura indica o formato da vertente, classificada em côncavo, convexo e plano (Figura 20). Esta informação foi utilizada na avaliação de susceptibilidade por ser um indicativo de maior ou menor propensão tanto a movimentos de massa quanto a processos erosivos. Comumente as vertentes de formato côncavo indicam situações de menor estabilidade.

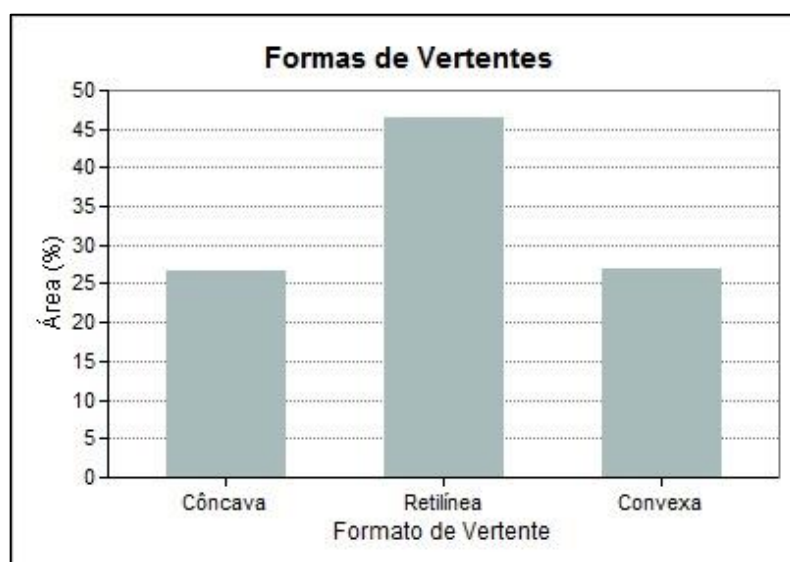


Figura 20 - Formas das vertentes no Município de Ouro Preto.

De acordo com a metodologia anteriormente apresentada, foram gerados temas relativos à declividade (Figura 21), hipsometria (apresentado em perspectiva 3D na Figura 22), amplitude (Figura 23).

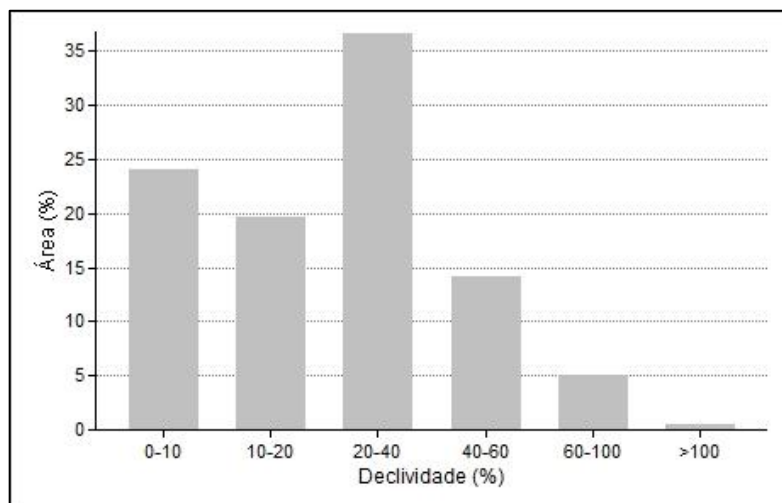


Figura 21 - Distribuição de declividades no Município de Ouro Preto.

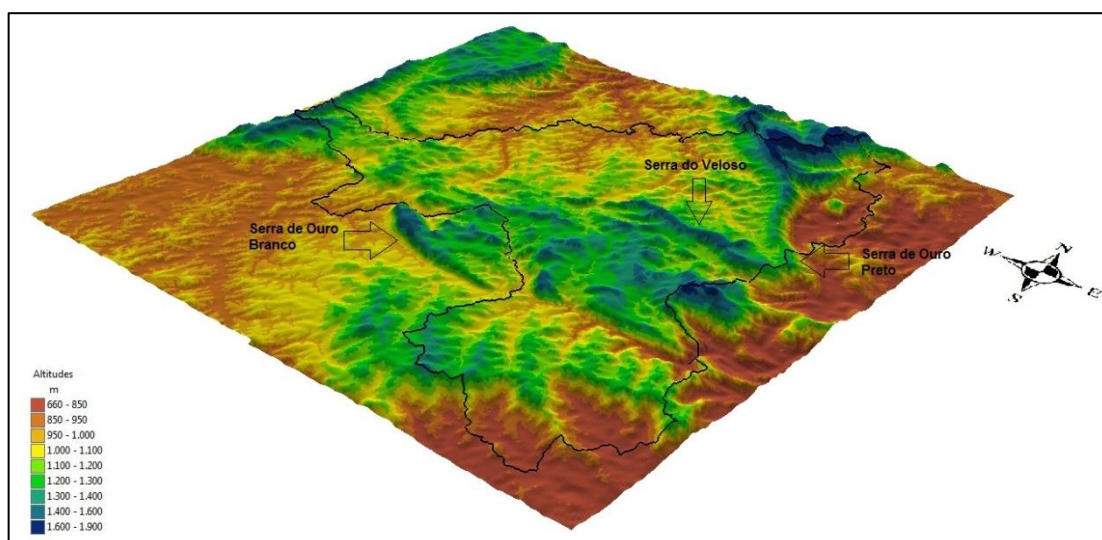


Figura 22 - Mapa Hipsométrico 3D da área de estudo (exagero vertical de duas vezes).

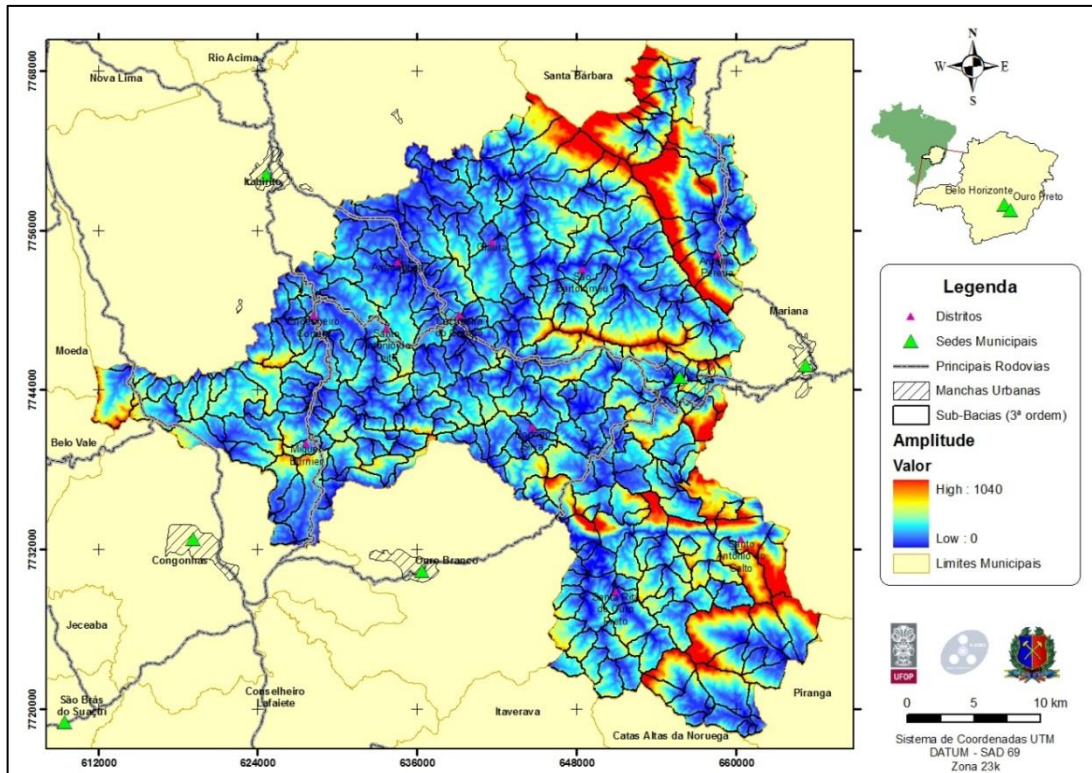


Figura 23 – Sub-bacias de 3ª ordem e amplitudes topográficas;

Os limites do mapa geomorfológico apresentado pela Vale (2009) foram ajustados de acordo com as respectivas características morfológicas, definidas pelas unidades do relevo da metodologia IPT (1981) (Figura 24). Desta forma foi possível uma caracterização do relevo semi-quantitativa de cada classe geomorfológica, levando em conta as características do meio físico. Estas informações estão apresentadas nas tabela 25 e Tabela 26, que também integram informações sobre geologia, declividade e amplitude. Os perfis topográficos referentes às unidades de relevo estão apresentados na Figura 25.

Conforme apresentado na Tabela 24, o município de Ouro Preto apresenta cerca de 32% de seus terrenos classificados como “colinosos”. Entretanto, quando avaliadas as classes definidas por Vale (2009), esta unidade de relevo é predominante nas unidades geomorfológicas “Depressão Cristalina Sudeste” e “Colinas de Itabirito”.

Os morros com vertentes suavizadas ocorrem em 28% da área de estudo e são caracterizados por declividades menores que 30% e amplitudes entre 100 e 300. Este tipo de relevo ocorre na maior parte das áreas referentes às unidades geomorfológicas do Planalto Quartzítico Serra do Itacolomi, Serrinhas de Dom Bosco, Corredor Sinclinal Suspenso e Serrinhas de Casa Branca, Escarpas e Reverso Estrutural da Serra de Itabirito.

Considerando os dois casos, aproximadamente 60% do município é caracterizado por áreas com declividades menores que 30%.

Tabela 24 - Unidades de Relevo No Município de Ouro Peto.

<b>Unidade de Relevo (declividade-%, amplitude-m)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Ocorrência no Município (%)</b>
Relevo Colinoso (0-30, 0-100)	395,19	32
Morrotos (>30, 0-100)	134,52	11
Morros com Vertentes Suavizadas (0-30, 100-300)	345,76	28
Morros (>30, 100-300)	237,57	19
Campos de Altitude (0-30, >300)	55,73	4
Montanhoso e/ou Escarpado (>30, >300)	76,29	6

Os morros e morrotos correspondem a aproximadamente 30% da área de estudo e ocorrem com mais frequência nas unidades geomorfológicas do Platô do Vale do Sol, Alto Vale do Rio das Velhas, Cristas da Serra do Siqueira e Reverso Estrutural da Serra da Moeda.

Os campos de altitude e relevos montanhosos/ escarpados predominam nas unidades “Platô do Caraça” e “Cristas da Serra Brás Gomes”, identificadas respectivamente por área norte do município e Serra de Ouro Preto.



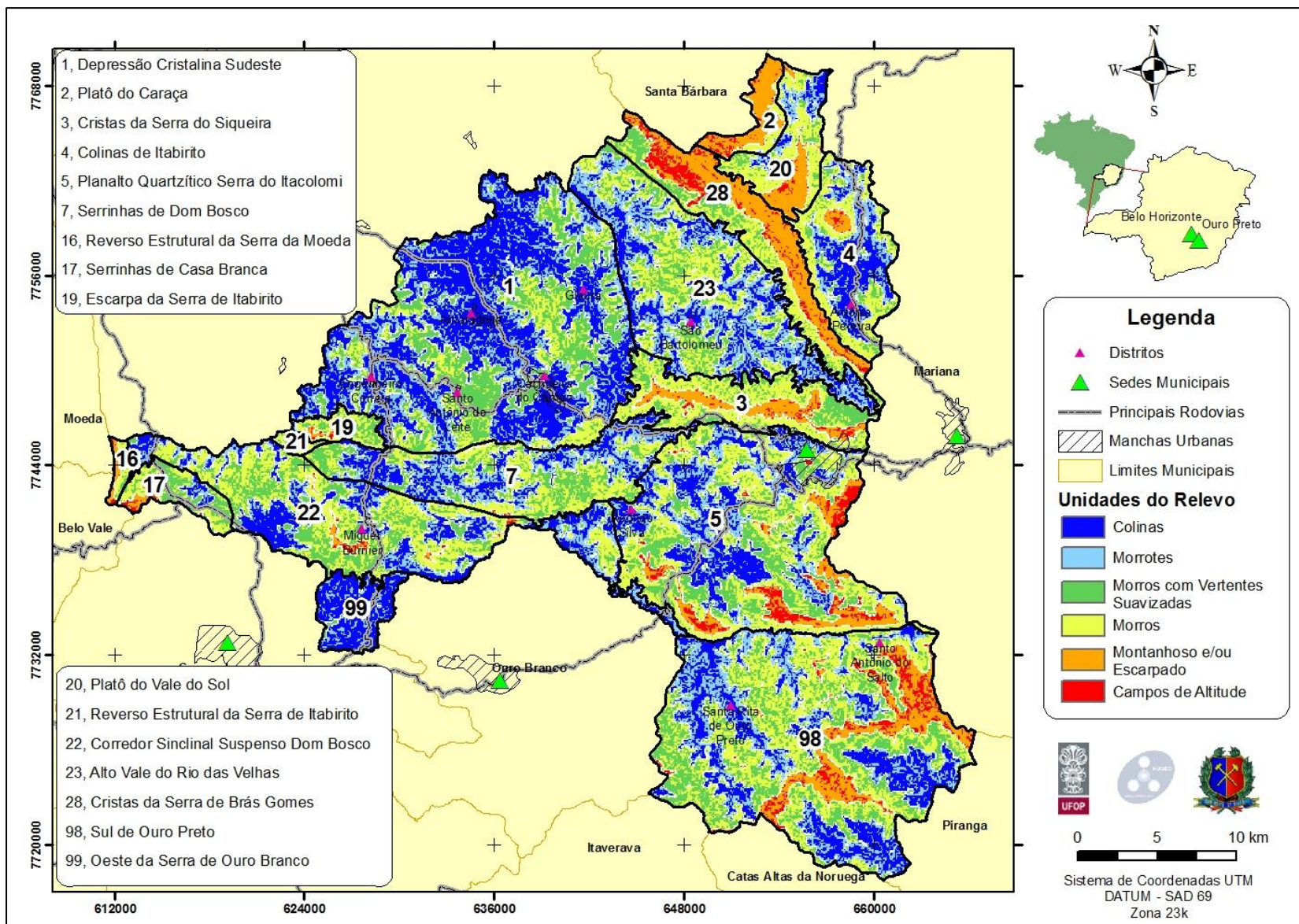


Figura 24 - Mapa de unidades de relevo.

Tabela 25 - Caracterização geomorfológica do Município de Ouro Preto.

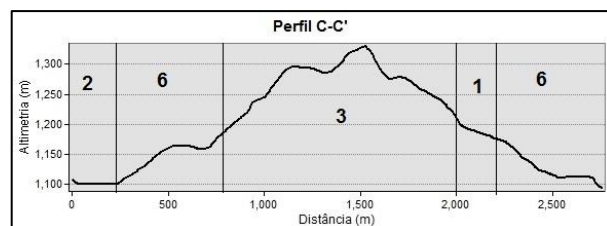
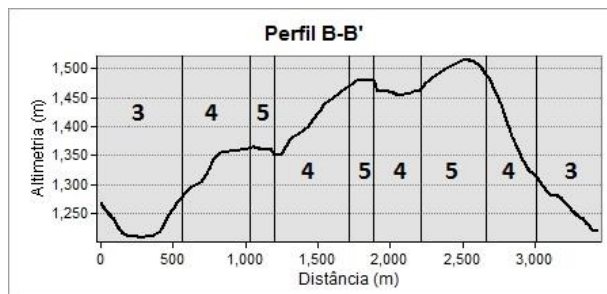
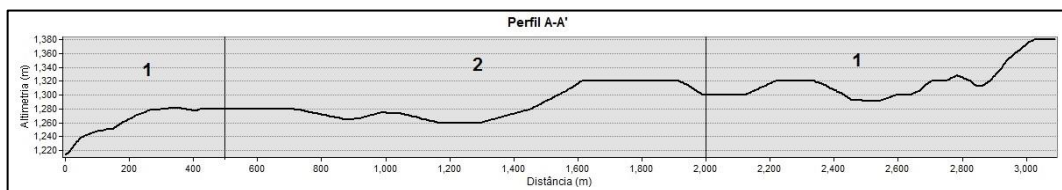
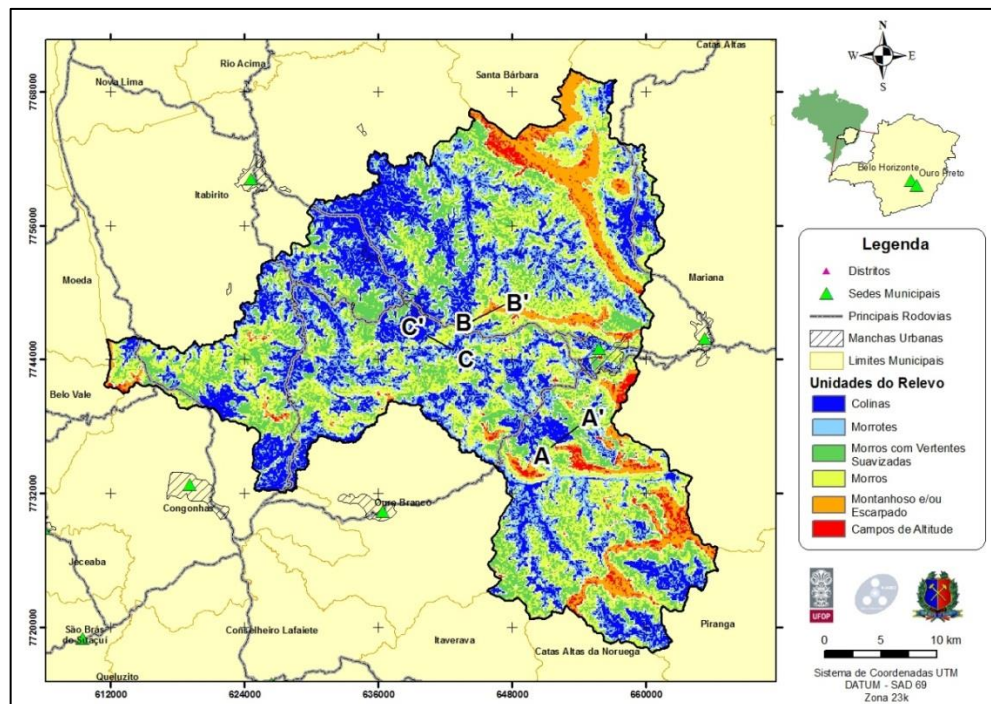
UNIDADE GEOMORFOLÓGICA (AJUSTADA DE VALE, 2009)	UNIDADES DE RELEVO PREDOMINANTE	GEOLOGIA PREDOMINANTE	DECLIVIDADE (%)		ALTITUDE (m)	
			Variação Aproximada	Média	Variação Aproximada	Média
Depressão Cristalina	Relevo Colinoso	Complexo do Bação	No geral, menores que 40	18	880 a 1.360	1.034
Platô do Caraça	Montanhoso e/ou Escarpado	Grupos Caraça e Maquiné	40 a >100	45	1.033 a 1.900	1.508
Platô Vale do Sol	Morros	Depósitos elúvio- coluviais	20 a >100	38	880 a 1.540	1.174
Alto Vale do Rio das Velhas	Morrotos	Grupo Nova Lima	10 a 50	26	920 a 1.300	1.093
Planalto Quartzítico Serra do Itacolomi	Morros com Vertentes Suavizadas	Grupos Itacolomi e Sabará	05 a >100	26	680 a 1.680	1.262
Cristas da Serra Brás Gomes	Campos de Altitude	Grupos Nova Lima e Caraça	No geral, maiores que 40	34	1.016 a 1.820	1.306
Cristas da Serra do Siqueira	Morros	Grupos Nova Lima e Caraça	No geral, maiores que 40	33	1.019 a 1.600	1.303
Colinas de Itabirito	Relevo Colinoso	Grupos Itacolomi e Itabira	No geral, menores que 45	27	700 a 1.300	857
Serrinhas de Dom Bosco,	Morrotos / Morros	Grupo Piracicaba	20 a > 100	24	960 a 1.560	1.204

UNIDADE GEOMORFOLÓGICA (AJUSTADA DE VALE, 2009)	UNIDADES DE RELEVO PREDOMINANTE	GEOLOGIA PREDOMINANTE	DECLIVIDADE (%)		ALTITUDE (m)	
			Varição Aproximada	Média	Varição Aproximada	Média
Corredor Sinclinal Suspenso e Serrinhas de Casa Branca	com Vertentes Suavizadas					
Escarpas e Reverso Estrutural da Serra de Itabirito	Morros com Vertentes Suavizadas	Grupos Itabira e Caraça	No geral, maiores que 30	30	960 a 1.320	1.140
Reverso Estrutural da Serra da Moeda	Morros	Depósitos elúvio- coluviais	30 a >45	34	1.219 a 1.580	1.373

Tabela 26 – Unidades de relevo em áreas não mapeadas por Vale (2009)

UNIDADE GEOMORFOLÓGICA	UNIDADES DE RELEVO PREDOMINANTE	GEOLOGIA PREDOMINANTE	DECLIVIDADE (%)		ALTITUDE (m)	
			Varição Aproximada	Média	Varição Aproximada	Média
Oeste da Serra de Ouro Branco (99)	Relevo Colinoso	Grupo Nova Lima	5 e 30	14	900 a 1.047	977
Sul de Ouro Preto (98)	Morros com Vertentes Suavizadas	Grupo Santo Antônio do Pirapetinga (Não recobre toda área)	10 - 40	25	720 a 1.440	1.067





- 1 - Morros com vertentes suavizadas.
- 2 - Relevo Colinoso.
- 3 - Morros.
- 4 - Montanhoso e/ou Escarpado.
- 5 - Campos de Altitude.
- 6 - Morrotes

Figura 25 – Mapa de localização e perfis topográficos das unidades de relevo.

### 5.2.3. Uso e Ocupação do Solo e Vegetação

Os diferentes tipo de utilização do espaço físico indicam fatores de influência e agentes deflagradores específicos, devido principalmente às praticas ocupacionais aplicadas em cada caso. O mapeamento de uso do solo foi elaborado a partir da possível influência de cada classe nos processos geodinâmicos identificados, além da respectiva representatividade espacial no município (área e frequência de ocorrência). Desta forma foram definidas 7 classes de uso do solo, conforme apresentado na Tabela 27.

Tabela 27 - Classes do mapeamento de uso e ocupação do solo.

<b>CLASSE</b>	<b>USO DO SOLO</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
A	Áreas de ocupação/atividade antrópica	Estão incluídas as áreas urbanas, estradas de maior porte e minerações.
B	Água	Lagos e lagoas de maior porte
C	Vegetação natural densa	Classe referente à floresta estacional semidecidual de montanha.
D	Vegetação natural de pequeno porte	Incluem-se nesta classe o cerrado, campos e campos rupestre, além de vegetação, pioneira ou secundária, de menor porte.
E	Solos expostos e regiões de vegetação inexistente	Regiões onde o solo encontra-se exposto e a vegetação muito espaçada ou inexistente.
F	Áreas de utilização agropastoril	Classe referente às áreas utilizadas como pastos e atividades agrícolas (exceto silvicultura).
G	Áreas de silvicultura	Classe que integra as plantações de eucaliptos.

A partir das áreas “piloto”, ou áreas cuja utilização do solo é previamente conhecida, foram definidas as assinaturas espectrais (Figura 26) para cada classe de uso do solo. Observa-se que a banda do infravermelho próximo foi fundamental para distinção e classificação da imagem. As classes vegetais, como eram esperadas, resultaram em maior refletância nesta banda quando comparado a outras classes.

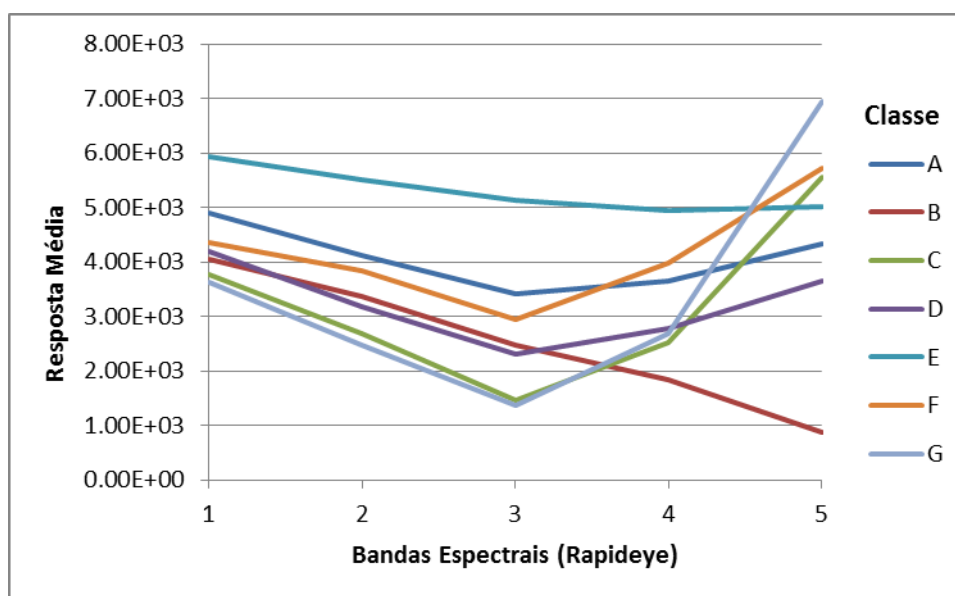


Figura 26 - Resposta espectral de cada classe de uso e ocupação do solo (legenda na tabela 27)

Foi realizado um tratamento no produto da classificação supervisionada, com o intuito de generalização de pequenas áreas (< 2 hectares) e dados espúrios (pixels classificados erroneamente ou irrelevantes). Este processo resultou no mapeamento de áreas mais homogêneas e contínuas, levando em conta a utilização do solo mais representativa, além da escala de trabalho aplicada.

Na sequência foi realizada uma avaliação crítica do mapa, uma vez que muitas das classes possuem assinaturas espectrais próximas, o que incorre em classificações errôneas. Este tipo de problema ocorre nos alvos com características físicas parecidas e, no caso do Município de Ouro Preto, são observados em áreas de vegetação pioneira ou esparsa, principalmente em locais de solo raso, como no caso da região do Parque do Itacolomi - imediações da sede municipal. Nestes casos o mapeamento de uso do solo foi alterado (Figura 27) através de interpretações manuais de imagens de satélite,

descrições realizadas por outros autores e trabalhos de campo. Os resultados estão apresentados na Figura 28.

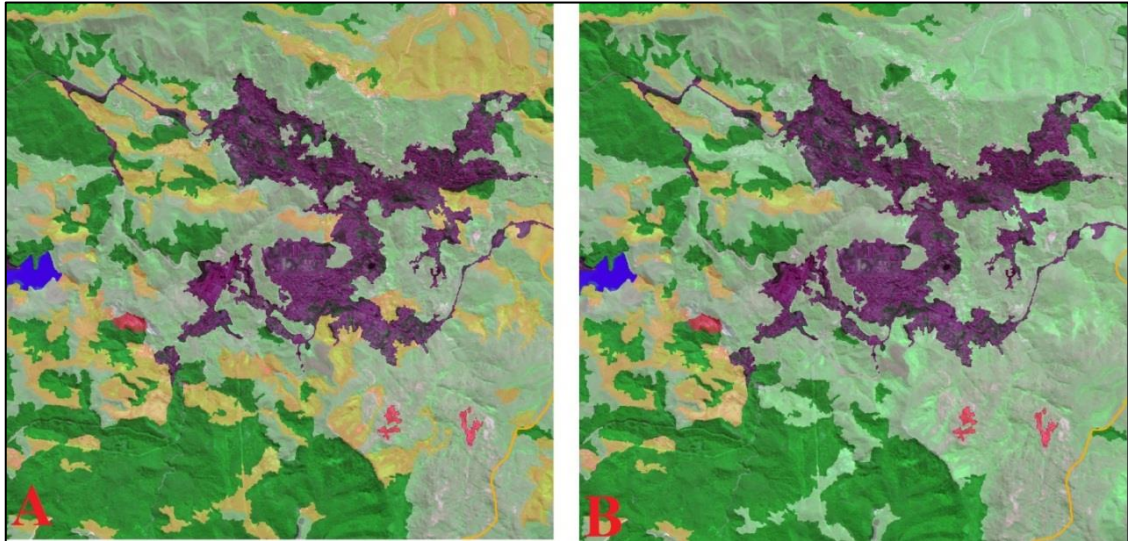


Figura 27 - Avaliação crítica e atualização do mapa de uso e ocupação do solo. Observar áreas indicadas como atividade agropastoril (amarelo) em “A” e atualização para vegetação natural de pequeno porte (verde claro) em “B”.

O NVDI (Tabela 28 e Figura 29) foi utilizado como um índice quali-quantitativo de cobertura vegetal, indicando as áreas onde a vegetação encontra-se mais ativa e densa, fator muito importante no contexto dos processos erosivos e movimentos de massa. A depender do caso, pode ser considerado um agente protetor contra deflagração de processos geodinâmicos, mas em contrapartida influencia diretamente na retenção e infiltração de água para o solo e, desta forma, pode resultar em instabilidade.

Tabela 28 - Classes de NVDI.

CLASSE	NVDI	VEGETAÇÃO
1	<-0.2	 Ausente ou seca
2	-0.2 - 0.1	
3	-0.1 - 0.25	
4	0.25 - 0.4	
5	0.4 - 0.55	
6	0.55 - 1	

No Município de Ouro Preto as maiores precipitações médias ocorrem no período de novembro a janeiro e reduzem gradualmente até junho, quando ocorre a menor média pluviométrica mensal (Castro, 2006). As imagens Rapideye são da primeira quinzena de junho de 2010, desta forma, quando se considera a média histórica simples dos 02 meses anteriores a junho (57,75 mm), obtemos cerca de 17% da precipitação média mensal máxima (dezembro: 327,3 mm).

Desta forma, a vegetação foi avaliada em período baixa pluviosidade média, ou seja, uma situação onde a vegetação não se encontra completamente seca (situação extrema).



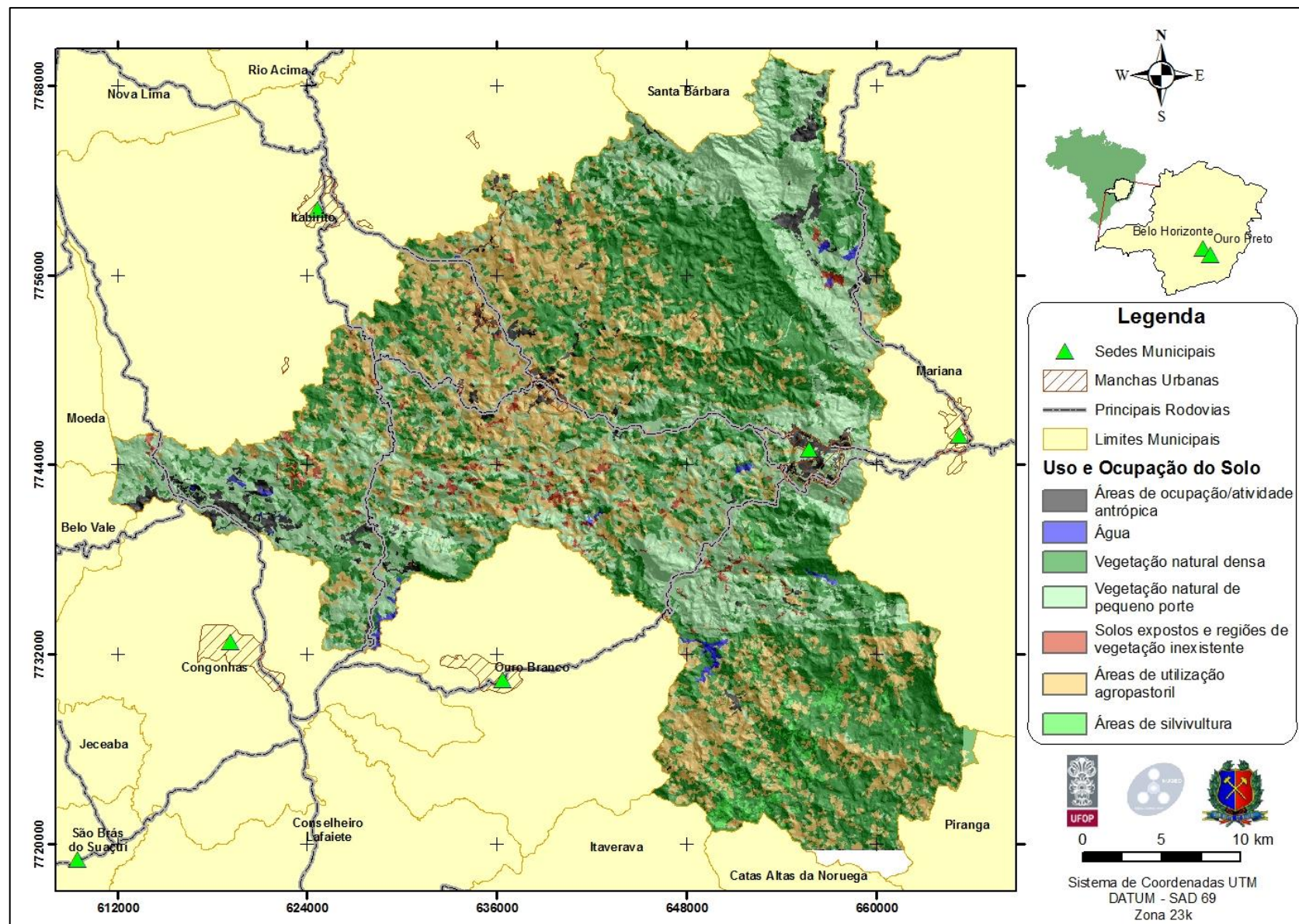


Figura 28 – Mapeamento de uso e ocupação do solo no Município de Ouro Preto.

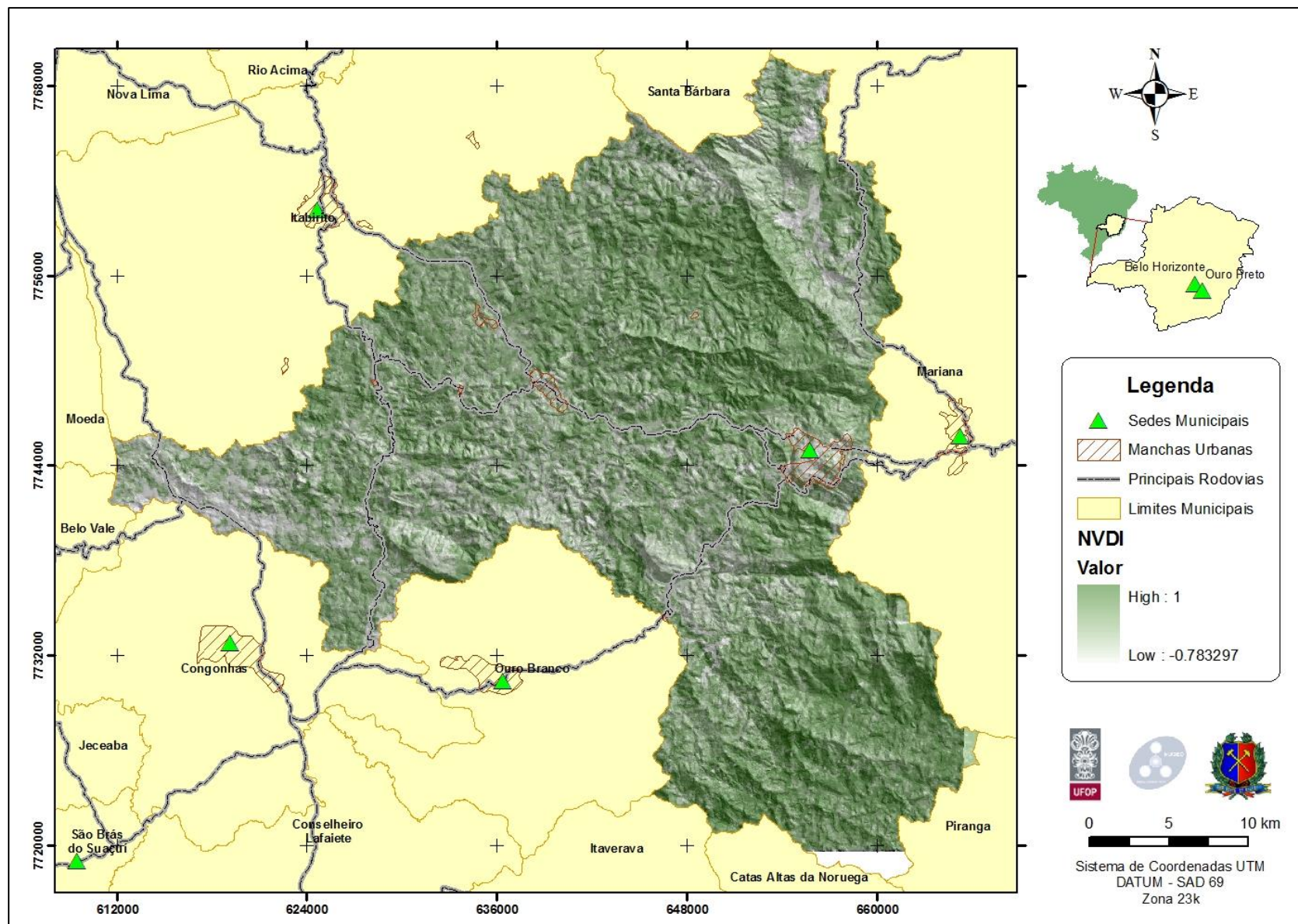


Figura 29 - Normalized Difference Vegetation Index (NVDI) do Município de Ouro Preto.

## **5.3. MAPEAMENTO DE SUSCEPTIBILIDADE**

### **5.3.1. Modelo Heurístico**

Conforme apresentado, tanto para região 01 quanto para região 02, foram avaliados os temas e respectivas classes para atribuição de notas de susceptibilidade aos processos geodinâmicos dominantes em cada caso (erosões e movimentos de massa, respectivamente).

A região 01 possui um grupo de fatores preponderantes do meio físico e ocupação do solo que resultam na classificação dos temas apresentado na Tabela 29. As declividades mais baixas foram definidas como de grande susceptibilidade a processos erosivos, conforme considerações de Bacellar *et al.* (2001).

No caso das unidades de relevo, foram atribuídas as maiores notas às classes que se encontravam a maiores amplitudes e menores declividades, ou seja, os morros com vertentes suavizadas. Entretanto a classe de colinas também recebeu uma nota relativamente alta (Bacellar, 2000). A classe de campos de altitude, apesar da baixa declividade, recebeu uma nota baixa por geralmente ser caracterizada por rochas de pouca susceptibilidade a erosão.

Ainda conforme a Tabela 29, as notas do uso e ocupação do solo foram atribuídas em análise conservadora, considerando os vários fatores envolvidos no manejo e utilização do solo que podem influenciar na deflagração e desenvolvimento dos processos erosivos.



Tabela 29 - Classificação dos temas do modelo heurístico - Região 01.

<b>TEMA</b>	<b>CLASSE</b>	<b>VALOR</b>
Declividade (%)	0-10	5
	10-20	4
	20-40	3
	40-60	2
	60-100	1
	>100	1
Unidade de Relevo (Declividade e Amplitude)	Colinoso (0-30, 0-100)	4
	Morrotes (>30, 0-100)	3
	Morros com Vertentes Suavizadas (0-30, 100-300)	5
	Morros (>30, 100-300)	2
	Campos de Altitude (0-30, >300)	1
	Montanhoso e/ou Escarpado (>30, >300)	3
Uso e Ocupação do Solo	Áreas de ocupação/atividade antrópica	5
	Água	-
	Vegetação natural densa	1
	Vegetação natural de pequeno porte	3
	Solos expostos e regiões de vegetação inexistente	5
	Áreas de utilização agropastoril	4
	Áreas de silvicultura	3

Para a análise de susceptibilidade da região 02 os temas foram classificados de acordo com a Tabela 30. Neste caso as maiores declividades indicam maior importância, e a partir de 60% é considerada susceptibilidade máxima. As unidades de relevo foram classificadas de acordo com uma inspeção visual, realizada com o inventário de evidências de instabilização, para identificação das classes onde os processos são mais frequentes. A geologia foi agrupada e classificada de acordo com comportamento geotécnico semelhante, conforme apresentado no 4.3.1.

Tabela 30 - Classificação dos temas do modelo heurístico - Região 02.

TEMA	CLASSE	VALOR
Declividade (%)	0-10	1
	10-20	2
	20-40	3
	40-60	4
	60-100	5
	>100	5
Unidade de Relevo (Declividade e Amplitude)	Relevo Colinoso (0-30, 0-100)	2
	Relevo de Morrotes (>30, 0-100)	3
	Relevo de Morros com Vertentes Suavizadas (0-30, 100-300)	2
	Relevo de Morros (>30, 100-300)	4
	Relevo de Campos de Altitude (0-30, >300)	2
	Relevo Montanhoso e/ou Escarpado (>30, >300)	5
Geologia	Cangas, Itabiritos, Formações ferríferas (Minas, Rio das Velhas), lateritas, quartzitos e quartzitos ferruginosos (Minas)	1
	Itabiritos , itabiritos dolomíticos, hematitas (Minas), quartzitos com lentes de material geotecnicamente menos competentes (Minas e Rio das Velhas)	2
	Rochas intrusivas, dolomitos (Itabira e Piracicaba), granitóides, itabiritos dolomíticos e hematíticos com lentes de material de baixa capacidade geotécnica (filitos, xistos, etc), itabiritos filíticos	3
	Carbonatos e xistos (Nova Lima), xistos (Piracicaba, gandarela e indivisos)	4
	Depósitos recentes e antigos (aluviões, coluviais e tálus), filitos (Piracicaba, Caraça e Itacolomi), xistos (Maquiné e Paracicaba)	5

A Figura 30 mostra o mapa de susceptibilidade a erosão (região 01) e movimentos de massa (região 02) obtidos pelo método heurístico. Para divisão das classes, foram definidas como classe “alta”, os valores maiores que 0,7, de 0,7 a 0,4 como “média” e valores menores que 0,4 como “baixa”, ajustadas de forma aproximada.

O mapeamento heurístico refletiu bem a componente conservadora adotada na classificação dos temas utilizados. Na região 01 às áreas identificadas como alta susceptibilidade a processos erosivos estão concentradas principalmente nos distritos de Santo Antônio do Leite e Cachoeira do Campo, apesar de serem identificadas em toda área do Complexo do Bação.

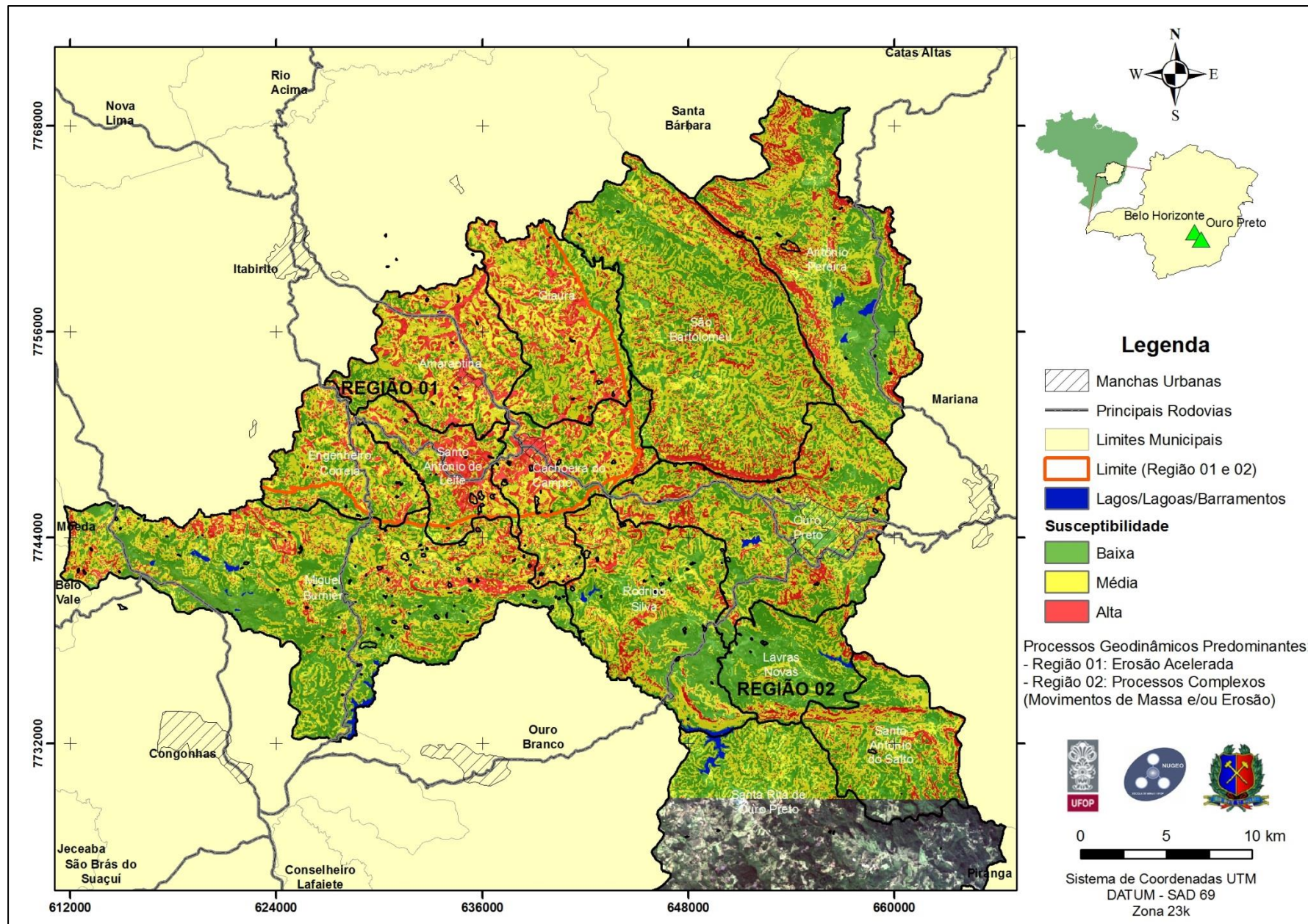


Figura 30 - Mapa de Susceptibilidade a Movimentos de Massa e Erosão do Município de Ouro Preto (Modelo Heurístico)

As áreas de média susceptibilidade indicam principalmente variações de amplitude, identificadas no mapeamento geomorfológico, mas que possuem declividade e forma de ocupação propícias à deflagração dos processos erosivos. As classes baixas, identificadas principalmente a sul de Glaura, oeste de Amarantina e em Engenheiro Correia, são caracterizadas por baixa predisponência em pelo menos dois temas, o que incorre em menores notas para estas áreas.

Na região 2, as classes altas, bastante condicionadas pela declividade e geologia, são identificadas em Antônio Pereira (Grupos Caraça, Itacolomi e Itabira, cujas descrições litológicas indicam lentes de materiais de baixa competência geotécnica), na região central (onde ocorrem os filitos, quartzitos e xistos Piracicaba), e sul do município (neste caso a classificação foi bastante condicionada pela geomorfologia).

Em São Bartolomeu a atribuição da nota “4” à geologia levou em conta a presença de xistos, carbonatos e outros materiais (Grupo Nova Lima) que comumente indicam maior predisponência a movimentos de massa, a depender do grau de alteração e direção e mergulho da camada em relação às elevações de cada local. Este fator somado às variações de declividade e geomorfologia indicaram várias áreas com susceptibilidade alta ou média.

As classes médias também podem ser identificadas com frequência em Miguel Burnier e a sul do município, principalmente nos distritos de Santo Antônio do Salto e Santa Rita de Ouro Preto.

Lavras Novas e Rodrigo Silva possuem boa parte de sua área inserida na classificação baixa, devido às menores declividades e à geologia favorável (quartzitos do Grupo Itacolomi). Estes fatores também foram identificados em Miguel Burnier, mas associado à presença de lateritas e quartzitos. A sul deste distrito são identificados xistos e filitos, mas a área possui baixa declividade e geomorfologia favorável.

### 5.3.2. Modelo Estatístico

A região 01 (Bação) apresentou probabilidade *a priori* de 0,02187. Este valor indica a probabilidade de uma unidade do terreno (pixel) conter os processos geodinâmicos, sem considerar os fatores condicionantes (Thiery *et al*, 2007 *apud* Meneses, 2011).

Os valores informativos de cada classe (Tabela 31) mostraram boa correlação dos resultados com as premissas indicadas e bibliografia consultada. A declividade que demonstrou maior importância no processo é a 10-20%, seguido pela 20-40%. As outras classes de declividade se apresentaram como relevantes na deflagração das erosões. A curvatura se mostrou pouco relevante.

Os relevos de morros com vertentes suaves indicaram maior importância relativa, entretanto, a baixas amplitudes os morrotes apresentam maior influência que os relevos colinosos. A maior influência da vegetação é observada à medida que o NVDI diminui. No caso do uso do solo, a vegetação de pequeno porte indica maior susceptibilidade, juntamente com os solos expostos.

Para região 02, o valor da probabilidade *a priori* foi de 0,01531, ou seja, há menor probabilidade de um pixel conter um processo geodinâmico que na região 01. A Tabela 32 mostra os valores obtidos para as prioridades condicionadas e valor informativo de cada classe utilizada. Conforme esperado, o aumento gradativo das declividades também aumenta sua contribuição na deflagração dos movimentos de massa nesta região, ou seja, as maiores declividades resultaram em maiores notas de  $V_i(i)$ . Nesta escala, o formato da curvatura da vertente ser côncava ou convexa praticamente não indica maior ou menor influência predisposição aos processos, somente no caso de retilínea (plana) há indicação de estabilização.

Os relevos de baixa amplitude (Colinosos e Morrotes) indicam menor susceptibilidade, enquanto que em amplitudes maiores que 100 metros, somente os casos onde a declividade é superior a 30% mostraram maior susceptibilidade (Morros e Montanhosos/Escarpados).

No caso dos solos os Cambissolos Háplicos de textura argilosa e Neossolos litólicos apresentaram maior importância na deflagração dos deslizamentos. Estes tipos de solo são pouco profundos e geralmente apresentam estruturas reliquiares, o que indica grande influência das características rocha geradora. Estes fatores não são identificados nos Cambissolos Háplicos de textura média/argilosa, uma vez que esta classe pode estar associada a latossolos. Os latossolos apresentam baixa importância no processo e os Neossolos Litólicos, conforme esperado, também apresentaram baixa influência devido ausência/irrelevância da massa de solo.

A geologia indica importância nas classes 1, 3 e 5. Foi observado que muitas vezes as evidências dos movimentos de massa estavam inseridos nos contatos entre as diferentes unidades geológicas, o que pode ter influenciado muito o resultado. No caso das formações ferríferas e materiais itabiríticos (classe 1) as variações texturais e mineralógicas que podem inferir ao material maior susceptibilidade à erosão e movimentos de massa. Para estes materiais, ressalta-se ainda o grande interesse econômico, que torna estas áreas mais antropizadas e, conseqüentemente, submetidas a modificações (cangas, por exemplo, podem confinar camadas de material geotecnicamente menos competente).

Na classe “3” há presença de lentes com materiais geotecnicamente menos competentes e os diferentes graus de alteração das rochas influenciaram diretamente o resultado. Os depósitos recentes e antigos, filitos e xistos (classe “5”) possuem comportamento geotécnico notadamente ruim e as evidências de movimentos de massa e processos erosivos indicam importância para esta classe. A classe “2”, formada pelos itabiritos, hematitas e quartzitos, apresentam baixa importância nos movimentos de massa e as poucas evidências de instabilização são pouco representativas em relação à área total. Os carbonatos e xistos (classe “4”) estão localizadas majoritariamente sob latossolos e exercem pouca importância na deflagração dos processos.

O NVDI indica maior importância às classes intermediárias, e aumenta sua influência gradativamente até a quase completa ausência de vegetação. Na classe mais baixa a

importância cai vertiginosamente, fator relacionado à reflectância dos corpos hídricos. A vegetação exuberante (próxima da máxima) indica pouca susceptibilidade às áreas.

No uso e ocupação do solo, as áreas urbanas indicam pouca influência na susceptibilidade, resultado bastante influenciado pela não identificação das evidências de movimento de nestas áreas. Como premissa, foi considerada a necessidade de identificação das evidências de instabilização nas imagens de satélite, resultando em baixa importância do valor informativo desta classe. O pequeno porte da vegetação e os solos expostos são as classes que possuem maior influência nos processos geodinâmicos superficiais deste tema.

Tabela 31 - Probabilidades condicionadas e valores informativos das classes – Região 01.

Tema	Classe	Valor	Nº de Pixels		Pc	Vi(i)
			Total	Erosão		
Declividade (%)	0-10	1	3252259	61906	0,01903	-0,13903
	10-20	2	2500267	61741	0,02469	0,12126
	20-40	3	2952699	69504	0,02354	0,07337
	40-60	4	712614	13981	0,01962	-0,10878
	60-100	5	164453	2515	0,01529	-0,35789
	>100	6	6438	96	0,01491	-0,38316
Curvatura	Côncava	1	2323977	55752	0,02399	0,09234
	Retilínea	2	4943778	99558	0,02014	-0,08268
	Convexa	3	2320975	54433	0,02345	0,06969
Unidade de Relevô (Declividade e Amplitude)	Colinoso (0-30, 0-100)	1	5193940	104851	0,02019	-0,08025
	Morrotos (>30, 0-100)	2	1154411	25583	0,02216	0,01304
	Morros com Vertentes Suavizadas (0-30, 100-300)	3	2378419	61908	0,02603	0,17392
	Morros (>30, 100-300)	4	858874	17401	0,02026	-0,07663
	Campos de Altitude (0-30, >300)	5	972	0	0,00000	-0,08025
	Montanhoso e/ou Escarpado (>30, >300)	6	2107	0	0,00000	-0,08025
NVDI	< -0.2	1	13282	389	0,02929	0,29188
	-0.2 - 0.1	2	389904	24827	0,06367	1,06849
	-0.1 - 0.25	3	1448324	49802	0,03439	0,45235
	0.25 - 0.4	4	2921386	74979	0,02567	0,15986

Tema	Classe	Valor	Nº de Pixels		Pc	Vi(i)
			Total	Erosão		
	0.4 - 0.55	5	3452453	52364	0,01517	-0,36616
	0.55 - 1	6	1339476	6828	0,00510	-1,45654
Uso e Ocupação do Solo	Áreas de ocupação/ atividade antrópica	1	402358	8862	0,02203	0,00689
	Água	2	1397	-	-	-
	Vegetação natural densa	3	2979443	5320	0,00179	-2,50556
	Vegetação natural de pequeno porte	4	1057195	53809	0,05090	0,84453
	Solos expostos e regiões de vegetação inexistente	5	148792	11359	0,07634	1,24992
	Áreas de utilização agropastoril	6	4989441	130393	0,02613	0,17793
	Áreas de silvicultura	7	10104	0	0,00000	-2,50556

\*Valores em amarelo não tiveram ocorrência de erosão, desta forma receberam a menor nota da respectiva classe.

Tabela 32 Probabilidades condicionadas e valores informativos das classes – Região 02.

Tema	Classe	Value	Nº de Pixels		Pc	Vi(i)
			Área	Mov. Massa		
Declividade (%)	0-10	1	7567147	85194	0,01126	-0,30728
	10-20	2	5807979	74857	0,01289	-0,17205
	20-40	3	12746042	189017	0,01483	-0,03178
	40-60	4	5571266	104106	0,01869	0,19939
	60-100	5	2154459	57344	0,02662	0,55313
	>100	6	202704	10723	0,05290	1,24001
Curvatura	Côncava	1	9360571	156596	0,01673	0,08877
	Retilínea	2	15317589	211958	0,01384	-0,10101
	Convexa	3	9371437	152687	0,01629	0,06233
Unidade de Relevô (Declividade e Amplitude)	Colinoso (0-30, 0-100)	1	8926811	114511	0,01283	-0,17678
	Morrotos (>30, 0-100)	2	3738991	42400	0,01134	-0,30006
	Morros com Vertentes Suavizadas (0-30, 100-300)	3	9389185	124612	0,01327	-0,14275
	Morros (>30, 100-300)	4	7575413	153130	0,02021	0,27799
	Campos de Altitude (0-30, >300)	5	1818221	15102	0,00831	-0,61143



Tema	Classe	Value	Nº de Pixels		Pc	Vi(i)
			Área	Mov. Massa		
	Montanhoso e/ou Escarpado (>30, >300)	6	2600936	71486	0,02748	0,58524
Solos	Cambissolo Háptico - Textura Argilosa (CXbd1)	1	1902768	53172	0,02794	0,60183
	Cambissolo Háptico - Textura Média /Agilosa com presença ou não de Pedregulhos (CXbd21)	2	1186068	11515	0,00971	-0,45539
	Latossolo Vermelho-Amarelo (LVAd1)	3	6935894	57052	0,00823	-0,62114
	Latossolo Vermelho (LVd8)	4	123357	445	0,00361	-1,44540
	Neossolo Litólico c/ Afloramentos (RLd4)	5	12267438	131614	0,01073	-0,35547
	Neossolo Litólico c/ Cambissolos ou Latossolo Vermelho-Amarelo (RLd5)	6	11634072	267443	0,02299	0,40657
	Geologia	Cangas, Itabiritos, Formações ferríferas (Minas, Rio das Velhas), Lateritas, Quartzitos e quartzitos ferruginosos (Minas)	1	1839128	48199	0,02621
Itabiritos , itabiritos dolomíticos, hematitas (Minas), quartzitos com lentes de material geotecnicamente menos competentes (Minas e Rio das Velhas)		2	7789917	102809	0,01320	-0,14835
Rochas intrusivas, dolomitos (Itabira e Piracicaba), granitóides, itabiritos dolomíticos e hematíticos com lentes de material de baixa capacidade geotécnica (filitos, xistos, etc.), itabiritos filíticos		3	10447729	180599	0,01729	0,12150
Carbonatos e xistos (Nova Lima), xistos (Piracicaba, gandarela e indivisos)		4	8450582	41935	0,00496	-1,12651
Depósitos recentes e antigos (aluviões, coluviais e tálus), filitos (Piracicaba, Caraça e Itacolomi), xistos (Maquiné e Paracicaba)		5	5522241	147699	0,02675	0,55800
NVDI	< -0.2	1	228895	499	0,00218	-1,94905
	-0.2 - 0.1	2	2885601	118355	0,04102	0,98556

Tema	Classe	Value	Nº de Pixels		Pc	Vi(i)
			Área	Mov. Massa		
	-0.1 - 0.25	3	7154773	182571	0,02552	0,51097
	0.25 - 0.4	4	6784903	133991	0,01975	0,25468
	0.4 - 0.55	5	10253863	73623	0,00718	-0,75709
	0.55 - 1	6	6648398	11087	0,00167	-2,21700
Uso e Ocupação do Solo	Áreas de ocupação/atividade antrópica	1	1219779	12738	0,01044	-0,38247
	Água	2	225378	0	0	-2,07640
	Vegetação natural densa	3	13068843	31743	0,00243	-1,84095
	Vegetação natural de pequeno porte	4	13611875	377513	0,02773	0,59427
	Solos expostos e regiões de vegetação inexistente	5	576929	42458	0,07359	1,57016
	Áreas de utilização agropastoril	6	5168609	56447	0,01092	-0,33770
	Áreas de silvicultura	7	178184	342	0,00192	-2,07640

\*Valores em amarelo não tiveram ocorrência de movimentos de massa, desta forma receberam a menor nota da respectiva classe.

A Figura 31 mostra o mapa de susceptibilidade gerado a partir do modelo estatístico. Foram definidas três classes de susceptibilidade, separadas de acordo com o quantitativo de evidências identificadas no inventário (Tabela 33).

Como critério principal, 70% das evidências de instabilização do terreno devem estar inseridas na classe de susceptibilidade “alta”, ou seja, considerando esta premissa, aproximadamente 25 % do município apresentam condições do meio físico e ocupação antrópica, que indicam atenção máxima. O restante das evidências foi distribuído entre as outras duas classes, considerando aproximadamente 20% das evidências na classe média e 10% na classe baixa, o que indica aproximadamente 20% e 55% da área, respectivamente.

Tabela 33 – Critério para definição de classes de susceptibilidade.

CLASSE	VALOR INFORMATIVO		EVIDÊNCIAS (%)		ÁREA (%)	
	Região 01	Região 02	Por Classe	Acumuladas	Região 01	Região 02
	Alta	>0,5	>0,33	70	100	25
Média	0,13-0,50	-0,37-0,33	20	30	19	18
Baixa	<0,13	<-0,37	10	10	56	59

No geral, a região 01 é bastante sensível a variações de uso do solo e vegetação (NVDI), resultado concordante com os trabalhos de Bacellar (2000) e Bacellar *et al.* (2001). Desta forma, as áreas demarcadas como de susceptibilidade “baixa” comumente possuem boa cobertura vegetal, mesmo quando contemplam fatores de declividade e geomorfológicos que indiquem maior susceptibilidade. Nesta região, a classe de susceptibilidade “média” geralmente se insere em relevo colinoso ou morros com vertentes suavizadas e utilização agropastoril. A classe “alta” ocorre comumente em áreas de pouca vegetação e relevos de morrotes e morros com vertentes suavizadas.

Neste contexto, os distritos de Engenheiro Correia, parte de Glaura e Amarantina indicam menor susceptibilidade aos processos erosivos. As áreas de Cachoeira do Campo e Santo Antônio do Leite contém boa parte das evidências identificadas no inventário e possuem a maior parte de sua área inserida nas classes “alta” e “média”, classes também observadas a norte de Amarantina e Glaura.

Na região 02, os distritos de São Bartolomeu e as áreas recobertas pelo mapeamento geológico em Santa Rita de Ouro Preto e Santo Antônio do Salto são as que apresentaram as maiores áreas contínuas classificadas como susceptibilidade “baixas”, também identificadas em Engenheiro Correia, Glaura e a sul de Miguel Burnier.

No caso do distrito de São Bartolomeu os principais fatores que influenciam a área quanto à estabilidade são a geologia e a cobertura vegetal, responsáveis pela maior parte

da nota relativa desta área. Já em Santo Antônio do Salto e Santa Rita de Ouro Preto o conjunto total dos fatores indica a maior estabilidade, com variações de notas correlacionadas principalmente ao uso do solo e NVDI. Nestes distritos, as classes indicadas como médias e altas são resultado de uma combinação de fatores geológicos, vegetação inexpressiva ou inexistente e uso do solo.

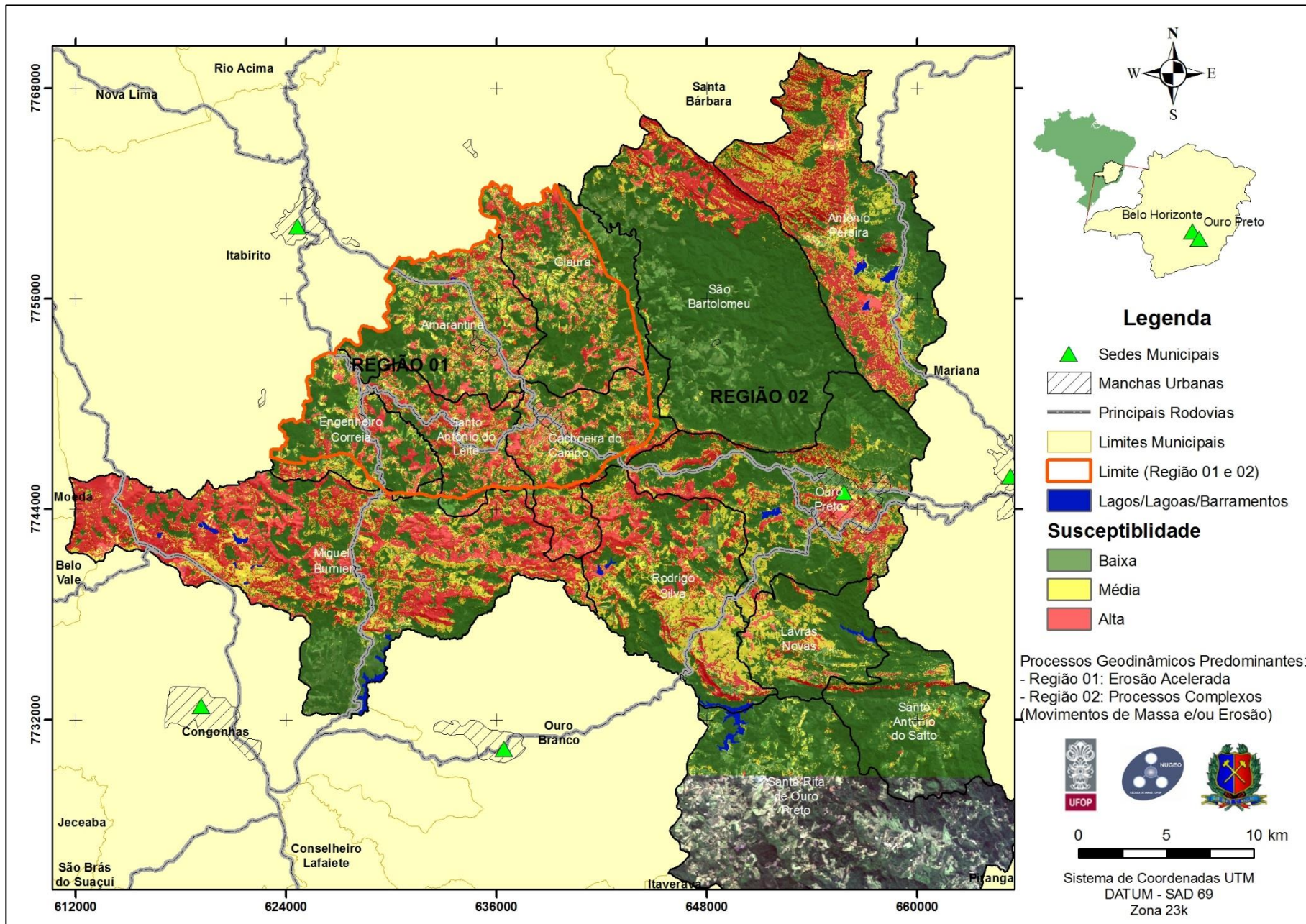


Figura 31 - Mapa de Susceptibilidade a Movimentos de Massa e Erosão do Município de Ouro Preto (Modelo Estatístico)

Em Lavras Novas e Rodrigo Silva são observadas áreas classificadas como “média” susceptibilidade, o que indica a necessidade de medidas preventivas de controle aos processos erosivos, principalmente. A nota observada nesta área é resultado do conjunto completo de fatores analisados, ou seja, todos os temas exerceram influência para atribuição da nota final. Ressalta-se que foram identificadas no inventário aproximadamente 50 evidências de processos geodinâmicos em aproximadamente 35 km<sup>2</sup>.

As áreas de susceptibilidade “alta” são identificadas principalmente em Miguel Burnier, norte de Cachoeira do Campo e Ouro Preto. Nestas áreas houve influência do fator geológico, associado às declividades e vegetação. Em Antônio Pereira a classificação foi bastante condicionada pelos fatores geológico e geomorfológico.

### **5.3.3. Validação dos Resultados**

Para uma avaliação semi-quantitativa dos resultados recorreu-se às curvas e taxas de sucesso e predição, que indicam a possibilidade de avaliação visual (curvas) e numérica (taxas) dos resultados obtidos. As curvas e taxas de sucesso são calculadas somente para o método estatístico e utiliza as evidências de instabilização utilizadas para o cálculo dos valores informáticos de cada classe dos temas. As curvas e taxas de predição foram calculadas com cerca de 20% dos registros do inventário, não utilizados no modelo do valor informativo (Tabela 34).

Para o modelo estatístico, as curvas e taxas de sucesso e predição estão apresentadas nas figuras 32 e 33 e Tabela 35. No caso do modelo heurístico, as curvas e taxas de predição estão apresentadas respectivamente na Figura 34 e Tabela 36.

Tabela 34 – Quantitativo das evidências de instabilização utilizadas no modelo estatístico e validações.

	<b>Evidências de Instabilização (nº)</b>	<b>Evidências de Instabilização (%)</b>
<b>Elaboração do Mapa de Susceptibilidade (VI)</b>	852	79,6
<b>Validação</b>	218	20,4
<b>Total</b>	1070	100,0

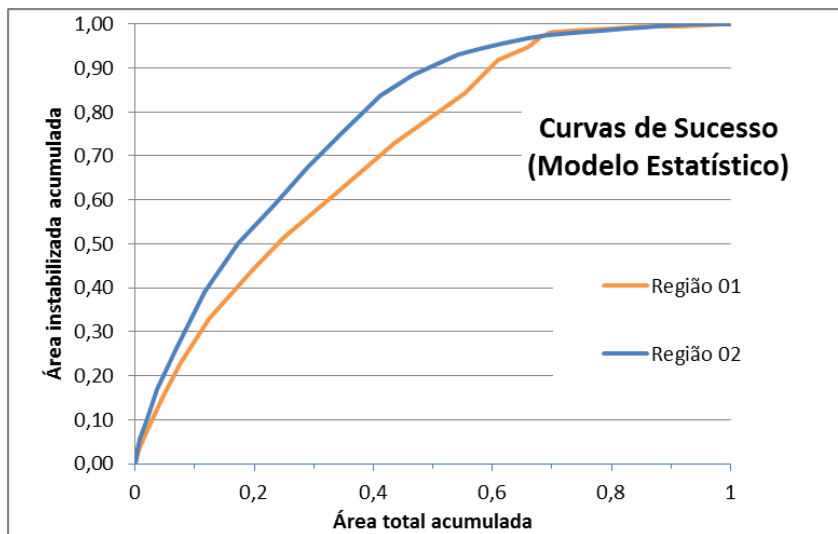


Figura 32 - Curvas de sucesso (modelo estatístico)

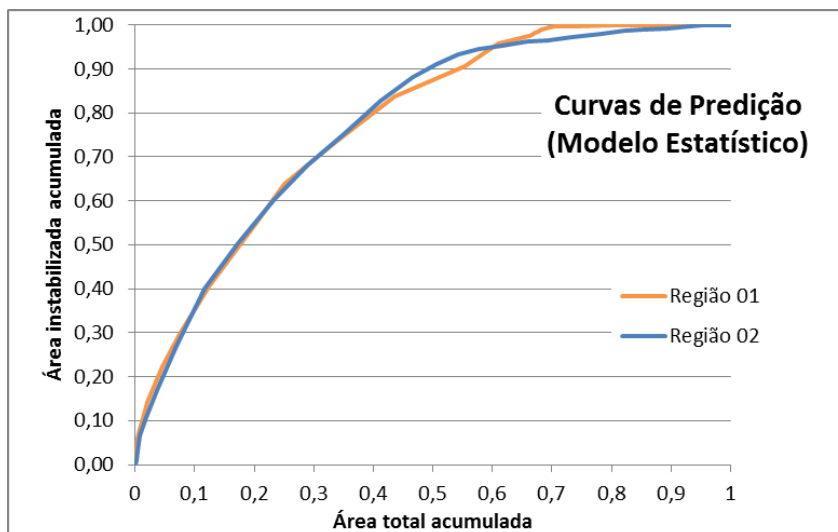


Figura 33 - Curvas de predição (modelo estatístico)

Tabela 35 - Áreas Abaixo da Curva (Modelo Estatístico)

	<b>Região 01</b>	<b>Região 02</b>	<b>Média Geral</b>
Taxa de Sucesso	0,72	0,78	0,75
Taxa de Predição	0,78	0,78	0,78

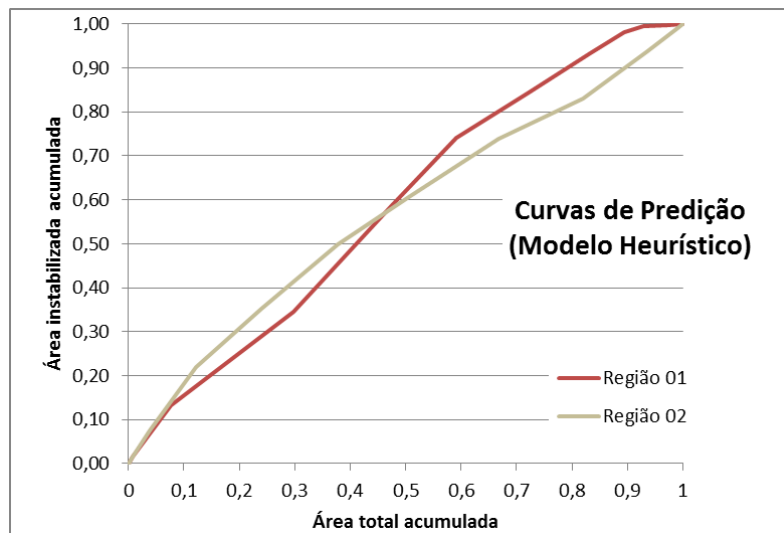


Figura 34 - Curvas de predição (modelo heurístico)

Tabela 36 - Áreas Abaixo da Curva (Modelo Heurístico)

	<b>Região 01</b>	<b>Região 02</b>	<b>Média Geral</b>
Taxa de Predição	0,57	0,58	0,58



No modelo estatístico a região 02 apresentou taxa de sucesso ligeiramente melhor que a região 01, entretanto as taxas de predição são iguais (78%). Mesma situação ocorre no modelo heurístico, com uma diferença irrisória entre as taxas de predição das duas regiões. No caso da região 01, a utilização de escalas mais detalhadas e mapeamento geológico adequado podem melhorar tanto as taxas de sucesso e predição, quanto indicar como mais precisão as áreas de maior susceptibilidade.

Em uma análise comparativa, as melhores taxas de predição foram encontradas no modelo estatístico, que apresentou melhor eficiência no prognóstico de evidências de instabilização do terreno. As taxas de sucesso e predição são expressas em escala de 0 (pior caso) e 1 (melhor caso), desta forma considera-se um aproveitamento global de aproximadamente 78%, bastante superior ao modelo heurístico, de aproximadamente 58%.

O modelo estatístico do valor informativo foi o que apresentou os melhores resultados, portanto é definido como o mapa de susceptibilidade final do Município de Ouro Preto (Figura 31). Os menores valores obtidos no mapeamento heurístico são atribuídos à classificação de áreas como altas em locais de pouca ocorrência de evidências de instabilização e, principalmente, devido à atribuição de classes menores em locais onde há ocorrência de evidências. Não obstante, o valor de 0,58 obtido no modelo heurístico é considerado como um bom resultado, levando em conta as incertezas relacionadas aos mapeamentos utilizados, definição de classes e o fator subjetivo associado à análise.

As curvas e taxas de sucesso e predição indicam que os temas foram adequados às premissas utilizadas nos mapeamentos de susceptibilidade de cada região, obtendo-se, entretanto, resultados melhores para o modelo estatístico. Deve-se atentar que cada modelo utilizou uma abordagem distinta, embora ambos tenham partido da identificação dos temas relevantes, potencialidades e restrições da aplicação de cada metodologia.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Há um grande grupo de variáveis envolvidas nos mapeamentos de susceptibilidade a processos geodinâmicos, correlacionadas aos fatores do meio físico, atividade antrópica e agentes deflagradores, o que indica a necessidade de avaliação de um grande grupo de variáveis. Racionalmente os estudos de susceptibilidade devem ser realizados a partir das escalas regionais, para definição de áreas com melhores características geotécnicas e direcionamento dos estudos detalhados.

A técnica estatística do valor informativo se mostrou adequada para grandes áreas e escala regional, uma vez que é possível a análise de maior quantidade de variáveis de forma mais dinâmica, além de reduzir o fator empírico em relação à técnica heurística. Estes fatores são considerados extremamente importantes, levando em conta a baixa disponibilidade de dados de qualidade em escala adequada, além de ausência de corpo técnico municipal dedicado à gestão de riscos geológicos, realidade de muitos municípios brasileiros.

Optou-se pela realização do modelo heurístico com menos variáveis, para que o resultado seja similar ao comumente realizado e apresentado na literatura, inclusive a recente metodologia CPRM apresentada por Sampaio *et al.* (2013). O modelo heurístico apresentou menor taxa de predição, fator relacionado à atribuição de notas altas em áreas mais extensas e existência de evidências de instabilização em áreas de baixa susceptibilidade.

Já o método do valor informativo pode ser utilizado para avaliação de cenários (por exemplo, através da variação do uso do solo e vegetação), permitindo sua inserção na gestão municipal, em questões de ordenamento territorial regional.

Metodologicamente, outra grande vantagem se refere à utilização de inventário de evidências de instabilização, elaborado a partir de imagens de satélite e levantamentos de campo. Este fato permite constante e sistemática atualização, reprocessamento, checagem e auditoria dos resultados, além da grande redução da subjetividade. Outro fator relevante se refere à possibilidade de validação, que permite uma avaliação tanto qualitativa quanto quantitativas, relacionadas respectivamente às curvas e taxas de sucesso e predição.

Boa parte do sucesso obtido nas validações realizadas é creditado à extensa disponibilidade bibliográfica e ao profundo conhecimento das condicionantes e agentes deflagradores identificados nas diferentes regiões. Baseado nestas informações foi possível a definição das premissas principais em cada caso, indicando as adequações necessárias, como, por exemplo, a definição de regiões distintas baseado no tipo de processo predominante. Outro fator relevante foi a compartimentação da geologia em classes de comportamento geotécnico similar, que indicou boa resposta nos dois métodos. A validação de campo de forma qualitativa foi considerada satisfatória para a escala de trabalho proposta.

O mapeamento de susceptibilidade apresentado deve ser interpretado com o devido cuidado, respeitando-se as limitações de escala e dados, e não deve ser utilizado para ocupações ou intervenções pontuais, mas sim como um indicador de regiões com melhores características em relação à susceptibilidade a movimentos de massa e processos erosivos. No caso de ocupação, deve-se atentar ao fato da necessidade de avaliação de outros processos geodinâmicos (queda de blocos e corrida), delimitação de restrições legais, socioeconômicas e ambientais (grau de degradação da área, utilização anterior), geológicas (planícies de inundação, regiões pantanosas ou de lençol freático raso, etc), além de outros aspectos do meio físico.

## **6.1. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Fundamentado na metodologia aplicada, conjunto de dados utilizados e resultados obtidos no desenvolvimento deste trabalho, foram identificadas as seguintes sugestões para trabalhos futuros e manutenção do mapa de susceptibilidade.

- Correção do georreferenciamento das bases de dados e integração com outros estudos realizados na área.
- Atualização sistemática e contínua do inventário de evidências de instabilização do terreno;
- Avaliação sistemática e contínua das mudanças de ocupação do solo;
- Atualização do mapa de susceptibilidade a movimentos de massa e processos erosivos com frequência mínima anual;
- Realização de mapeamentos geológico-geotécnicos e elaboração de mapa de susceptibilidade para região não contemplada pelo estudo (parte da área dos distritos de Santa Rita de Ouro Preto e Santo Antônio do Salto);
- Realização de estudos em escalas maiores para regiões externas a cede municipal, considerando os diferentes objetivos dos mapeamentos e demandas do município. Neste caso é recomendada a avaliação das evidências identificadas em cada região, o que podem permitir uma análise ainda mais específica e separada para cada tipo de movimento de massa (cunha, tombamento, planar) e erosão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

ABDO, M. T., VIEIRA, S. R., MARTINS, A. L., & SILVEIRA, L. C. (2008). Estabilização de uma Voçoroca no Polo Apta Centro Norte - Pindorama, SP. Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária , I (1), 135-141.

ALBUQUERQUE, A. W., FILHO, G. M., SANTOS, J. R., COSTA, J. P., & SOUZA, J. L. (2005). Determinação de fatores da equação universal de perda de solo em Sumé, PB. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental , 9 (2), 153-160.

ANDREIS, D., ANDREA, A., GHESLA, E., ANDREA, C., SILVIA, F., SILVANO, P., ET AL. (2012). Shalstab - A version of the Shalstab stability model. Disponível em jgrasstools - uDig's geospatial toolbox: <https://code.google.com/p/jgrasstools/wiki/Shalstab>. Acesso em 11 de Janeiro de 2013

ARAGÃO, R. D., ALMEIDA, J. A., FIGUEIREDO, E. E., & SRINIVASAN, V. S. (2011). Mapeamento do potencial de erosão laminar na Bacia do Rio Japarutuba, SE, via SIG. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental , 15, 731-740.

AUGUSTIN, C. H., & ARANHA, P. R. (2006). Piping em Área de Voçorocamento, Noroeste de Minas Gerais. Revista Brasileira de Geomorfologia (1), 09-18.

AUGUSTO FILHO, O. (1992). Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. 1ª Conf. Bras. Estabil. Encostas. ABMS/ABGE (pp. 721-733). Rio de Janeiro: ABMS/ABGE.

AZEVEDO, A. A., & FILHO, J. L. (1998). Águas Subterrâneas. In: V. Autores, A. M. Oliveira, & S. N. Brito (Eds.), Geologia de Engenharia (1ª ed., pp. 111-130). São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia.

BACELLAR, L. (2000). Condicionantes geológicos, geomorfológicos e dos mecanismos de voçorocamento na bacia do Rio Maracujá. Ouro Preto, MG. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BACELLAR, L., NETTO, A., & LACERDA, W. (2001). Fatores Condicionantes do Voçorocamento na Bacia Hidrográfica do Rio Maracujá, Ouro Preto, Minas Gerais. VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Goiânia (GO), (pp. 1-8).

BALTAZAR, O.F.; BAARS F.J.; LOBATO, L.M.; REIS, L.B.; ACHTSCHIN, A.B.; BERNI, G.V.; SILVEIRA, V.D. (2005). Mapa Geológico na Escala 1: 50.000 (Blocos Ouro Preto, Casa de Pedra, Gandarela e Mariana) 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.

BARREDO, J. I., BENAVIDES, A., HERVÁS, J., & WESTEN, C. J. (2000). Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* , 2, 9-23.

BAUM, R. L., SAVAGE, W. Z., & GODT, J. W. (2002). TRIGRS—A Fortran Program for Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope-Stability Analysis. USGS Open-file Report number 02-424 , 1-61.

BERTONI, J. (2008). Conservação do Solo (6ª ed.). São Paulo: Icone Editora.

BONHAM-CARTER, G. F. (1994). Tools for Map Analysis: Multiple Maps. In: *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*. OXFORD: PERGAMON PRESS.

BOSZCZOWSKI, R. B. (2008). Avaliação de propriedades mecânicas e hidráulicas de um perfil de alteração de granito-gnaiss de Curitiba, PR . PUC-Rio, Rio de Janeiro.

Brenning, A. (Novembro de 2005). Spatial prediction models for landslide hazards: review, comparison and evaluation. *Natural Hazards and Earth System Sciences* , pp. 853–862.

BRABB, E. E., PAMPEYAN, E. H. , BONILLA, M. G. (1972) Landslide susceptibility in San Mateo County, California: U.S. Geol. Survey Misc. Field Studies Map 360.

CÂMARA, G., MOREIRA, F. R., BARBOSA, C., ALMEIDA FILHO, R., & SIMONE, B. (2001). Técnicas de inferência geográfica. (G. Câmara, C. Davis, & A. M. Monteiro, Editores). Disponível em Introdução à ciência da geoinformação: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap9-inferencia.pdf>. Acesso em 23 de Novembro de 2011

CARVALHO, E. T. (1982). Carta Geotécnica de Ouro Preto. Dissertação de Mestrado na Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

CASTELLANOS ABELLA, E. A. (2008). Provincial Landslide Risk Assessment. In: E. A. Castellanos Abella, Multi-scale Landslide risk assessment in Cuba (ITC Dissertation ed., pp. 101-152). Utrecht: Utrecht University.

CASTRO, J. M. (2006). Pluviosidade e Movimentos de Massa nas Encostas de Ouro Preto. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas.

CERRI, L. E., & AMARAL, C. P. (1998). Riscos Geológicos. In: A. M. Oliveira, & S. N. Brito (Eds.), *Geologia de Engenharia* (1ª ed., pp. 301-310). São Paulo / SP: ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia.

CHUNG, C.-J. F., & FABBRI, A. G. (Dezembro de 1999). Probabilistic Prediction Models for Landslide Hazard Mapping. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* (Vol. 65, No. 12) , pp. 1389-1399.

CHUNG, C.J. F., & FABBRI, A. G. (2003). Validation of Spatial Prediction Models for Landslide Hazard Mapping. *Natural Hazards* (30), 451-472.

CLAESSENS, L., HEUVELINK, G. B., SCHOORL, J. M., & VELDKAMP, A. (2005). DEM resolution effects on shallow landslide hazard and soil redistribution modelling. *Earth Surface Processes and Landforms - John Wiley & Sons, Ltd* , pp. 461-477.

CONFORTI, M., AUCELLI, P. P., ROBUSTELLI, G., & SCARCIGLIA, F. (2010). Geomorphology and GIS analysis for mapping gully erosion susceptibility in the Turbolo stream catchment (Northern Calabria, Italy). *Natural Hazards (Springer)* , pp. 1-18.

CORREIA, M. R., NOGUEIRA, R. E., FILHO, C. R., & POZZOBON, M. (2013). Aplicação da técnica Pesos de Evidência (Weights of Evidence - WofE) para o mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos na região do baixo vale do Itajaí-SC. *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, (pp. 6010-6017). Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

COSTA, F. M., & SOBREIRA, F. G. (03 de Maio de 2001). Estudo Preliminar das Voçorocas da Bacia do Rio Carioca, Quadrilátero Ferrífero, MG. *Anais do VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão* , p. 7.

CPRM. (2006). Mapa Estadual de Minas Gerais 1:1.000.000 Recorte da Geologia do Estado Gerado a Partir da União das Folhas do GIS - Brasil. . Fonte: CPRM BRASIL: [www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br)

DE KEMP, E. A. (1998). Three-Dimensional Projection Of Curvilinear Geological Features Through Direction Cosine Interpolation Of Structural Field Observations. *Computers & Geosciences* , 24, 269-284.

DE KEMP, E. A. (1999). Visualization of complex geological structures using 3-D Bézier construction tools. *Computers & Geosciences* , 25, 581-597.



DRUMOND, F. N., & BACELLAR, L. D. (2006). Caracterização Hidrossedimentológica e dos Processos Evolutivos de Voçoroca em Área de Rochas Gnáissicas do Alto Rio das Velhas (MG). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 2, 87-96.

EINSTEIN, H.H. (1988). Landslides risk assessment procedure. In: *International Symposium on Landslides*, 5, Lausanne, 1988. Vol. 2. p. 1075-1090.

EPA (2002). Vulnerability Assessment Factsheet. Disponível em [http://www.epa.gov/watersecurity/pubs/va\\_fact\\_sheet\\_12-19.pdf](http://www.epa.gov/watersecurity/pubs/va_fact_sheet_12-19.pdf). Acesso em 20 de julho de 2012.

FARINASSO, M., JÚNIOR, O. A., GUIMARÃES, R. F., GOMES, R. A., & RAMOS, V. M. (2006). Avaliação Qualitativa do Potencial de Erosão Laminar em Grandes Áreas por Meio da EUPS – Equação Universal de Perdas de Solos Utilizando Novas Metodologias em SIG para os Cálculos dos Seus Fatores na Região do Alto Parnaíba – PI-MA. *Revista Brasileira de Geomorfologia* (2), 73-85.

FEAM, & UFV. (2010). Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais. Disponível em Departamento de Solos - Centro de Ciências Agrárias - CCA: <http://www.dps.ufv.br/docs/Folha%204.pdf>. Acesso em 21 de Janeiro de 2012

FERNANDES, N. F., & AMARAL, C. P. (2009). *Geomorfologia e Meio Ambiente* (7ª ed.). (A. J. Guerra, & S. B. Cunha, Eds.) Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.

Ferreira, I. M. (2008). *Bioma Cerrado - Um Estudo das Paisagens do Cerrado*. UNESP (Tese de Doutorado), Rio Claro - SP.

FILHO, A. T., SCOLFORO, J. R., OLIVEIRA, A. D., & CARVALHO, L. M. (2006). Definição e delimitação de domínios e subdomínios das paisagens naturais do estado de Minas Gerais. In: J. R. Scolforo, & L. M. Carvalho (Eds.), *Mapeamento e Inventário da Flora e dos Reflorestamentos de Minas Gerais*. (1 ed., pp. 14-35). Lavras: UFLA.

FILHO, C. R. (2006). Arc-WofE User Guide. Disponível em Weights of Evidence Extension for ArcView/Spatial Analyst: <http://www.ige.unicamp.br/wofe/documentation/wofeintr.htm> Acesso em 17 de novembro de 2012

FLORENZANO, T. G. (2008). Geomorfologia: Conceitos e Tecnologias Atuais (1ª ed.). (T. G. Florenzano, Ed.) São Paulo: Oficina de Textos.

FONTES, M. M. (2011). Contribuição para o Desenvolvimento da Metodologia de Análise, Gestão e Controle de Riscos Geotécnicos para a Área Urbana da Cidade de Ouro Preto. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas.

FUJACO, M. A., LEITE, M. G., & MESSIAS, M. C. (2010). Análise multitemporal das mudanças no uso e ocupação do Parque Estadual do Itacolomi (MG) através de técnicas de geoprocessamento. Revista Escola de Minas - REM , 4 (63), 695-701.

GHOSH, S., GUNTHER, A., CARRANZA, E. J., WESTEN, C. J., & JETTEN, V. G. (2010). Rock slope instability assessment using spatially distributed structural orientation data in Darjeeling Himalaya (India). EARTH SURFACE PROCESSES AND LANDFORMS , 35, 1773-1792.

GIMENES, F. B., & FILHO, O. A. (Abril de 2013). Mapas de fragilidade ambiental utilizando o processo de análise hierárquica (AHP) e sistema de informação geográfica (SIG). sistema de informação geográfica (SIG). Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR , 6564-6571.

GOMES, R. C. (2010). Notas de Aula, Aula 3 – Método das Fatias das Análises de Estabilidade. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

GUERRA, A. J., & CUNHA, S. B. (2009). Geomorfologia e Meio Ambiente (7 ed., Vol. II). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil Ltda.

GUIMARÃES, R. Z., LINGNAU, C., RIZZI, N. E., SCHEICHI, R. G., & BIANCHI, R. D. (2011). Espacialização da Perda de Solo por Erosão Laminar na Microbacia do Rio Campinas, Joinville Sc. RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise , 534-554.

GUNTHER, A. (2008a). Rock Slope Stability GIS - Documentation. Hannover, Germany: BGR (Bundesanstalt Bur Geowissenschaftler und Rohstoffe).

GUNTHER, A. (2008b). RockStab Tutorial - Introducing the Use of RSS-GIS. Hannover, Germany: BGR - Bundesanstalt Fur Geowissenschaften und Rohstoffe.

GUNTHER, A. (2003). SLOPEMAP: programs for automated mapping of geometrical and kinematical properties of hard rock hill slopes. Computer Geosciences , 29, 865-875.

GUNTHER, A., WIENHOFER, J., & KONIETZKY, H. (2012). Automated mapping of rock slope geometry, kinematics and stability with RSS-GIS. Natural Hazards , 61, 29-49.

HERMUCHE, P. M., GUIMARÃES, R. F., CARVALHO, A. F., MARTINS, É. D., DRUCK, S., CARVALHO JÚNIOR, O. A. (2002). Morfometria como suporte para elaboração de mapas pedológicos: I. Bacias hidrográficas assimétricas. (1ª ed.). (J. F. Oliveira, Ed.) Planaltina, DF: Embrapa Cerrados.

HIGHLAND, L. M., & BOBROWSKY, P. (2008). O Manual de Deslizamento - Um Guia para a Compreensão de Deslizamentos. (P. R. Rogério, & J. J. Aumond, Eds.) Reston, Virginia: U.S. Geological Survey Circular.

IBGE, I. B. (2010). CENSO 2010. Disponível em Sistema IBGE de Recuperação Automática, SIDRA: <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em 10 de Julho de 2012

IBGE, I. B. (1976). Índice de /mapeamento\_sistematico/topograficos/escala\_50mil/. Disponível em FTP IBGE: [ftp://geofp.ibge.gov.br/mapeamento\\_sistematico/topograficos/escala\\_50mil](ftp://geofp.ibge.gov.br/mapeamento_sistematico/topograficos/escala_50mil). Acesso em 02 de setembro de 2007.

IEF (2009). Banco de dado Geoambiental. Disponível em Sisamanet: <http://geosisemanet.meioambiente.mg.gov.br/>. Acesso em 12 de Agosto de 2012

IGA. (1995). Desenvolvimento Ambiental de Ouro Preto - Microbacia do Ribeirão do Funil. Belo Horizonte: Secretaria de Estado e Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente.

IGA (2008). Divisões Políticas do Estado de Minas Gerais. Instituto de Geociências Aplicadas (IGA), Belo Horizonte.

IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1981). Mapa geomorfológico do estado de São Paulo. São Paulo, SP.

JR., N. I., & FILHO, N. F. (1998). Processos de Dinâmica Superficial. Geologia de Engenharia. A. m. Oliveira, & S. N. Brito (Eds.). Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), São Paulo/SP, pp. 131-152.

JTC-1 (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology* (102), 85-98.

KIRKBY, M. J. (1996). A Role for Theoretical Models in Geomorphology? In: B. L. Rhoads, & C. E. Thorn (Eds.), *The Scientific Nature of Geomorphology: Proceedings of the 27th Binghamton Symposium in Geomorphology held (1<sup>a</sup> ed., pp. 257-272)*. John Wiley & Sons Ltd.

KOTTEK, M., GRIESER, J., BECK, C., RUDOLF, B., & RUBEL, F. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15, pp. 259-263.

LANDIM, P. M. (2010). Introdução à Análise Estatística de Dados Multivariados. (DGA, IGCE,UNESP - Rio Claro). Disponível em Texto Didático15: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>. Acesso em 13 de Julho de 2013

LEINZ, V., & LEONARDS, O. H. (1977). Glossário Geológico (2 ed.). São Paulo: Nacional.

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

MAGALHÃES, R. A. (2001). Erosão: Definições, Tipos e Formas de Controle. VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão , 11.

MARCELINO, E. V., & FORMAGIO, A. R. (2004). Análise Comparativa entre Métodos Heurísticos de Mapeamento de Áreas Susceptíveis a Escorregamentos. Anais do Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais , 392-407.

MATHEW, J., JHA, V. K., & RAWAT, G. S. (2007). Weights of evidence modelling for landslide hazard zonation mapping in part of Bhagirathi valley, Uttarakhand. CURRENT SCIENCE , pp. 628-638.

MEDINA, A. I., DANTAS, M. E., & SAADI, A. (2005). Projeto APA Sul RMBH: geomorfologia, mapa geomorfológico, escala 1:50.000. Belo Horizonte: SEMAD/CPRM.

MELO, R., ZÊZERE, J. L., OLIVEIRA, S., PIEDADE, A., & HENRIQUES, C. (2010). Avaliação e validação temporal da susceptibilidade à ocorrência de deslizamentos rotacionais e translacionais superficiais (área-amostra de Calhandriz). V Congresso Nacional de Geomorfologia, (pp. 321-326). Porto, Portugal.

MENESES, B. M. (2011). Susceptibilidade e Risco de Movimentos de Vertente no Concelho de Tarouca. Lisboa, Portugal. Dissertação de Mestrado. Universidade de Lisboa - Instituto de Geografia e Ordenamento do Território.

MICHEL, G. P., KOBAYAMA, M., & GOERL, R. F. (2012). Análise Comparativa Entre os Modelos Shalstab e Sinmap na Identificação de Áreas Susceptíveis a Escorregamentos Translacionais. Anais do X Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos , pp. 1-21.

MIRANDA, J. G. (2005). Mapeamento geotécnico e estudo de susceptibilidade à erosão na Bacia do Ribeirão Ponte de Pedra (MT), escala 1:100.000. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Carlos /SP.

MORAIS, F., BACELLAR, L. A., & SOBREIRA, F. G. (2004). Análise da erodibilidade de saprolitos de gnaiss. Revista Brasileira de Ciência do Solo , 28 (6), 8.

MORAIS, F., BACELLAR, L. A., & SOBREIRA, F. G. (2004). Análise da Erodibilidade de Saprolitos de Gnaiss. Revista Brasileira de Ciências do Solo (28), 1055-1062.

NETO, J. F. (2010). Elaboração de Mapas de Vulnerabilidade Natural à Erosão Como Subsídio ao Zoneamento Ambiental em Bacias Hidrográficas com o Uso de Geoprocessamento. Revista brasileira de espeleologia - RBE , I (1), 9.

NILSEN, T. H. AND WRIGHT, R. H. (1979) Relative slope stability and land-use planning in the San Francisco Bay region, California: U.S. Geol. Survey Prof. Paper 944, 16–55.

OLIVEIRA, L. D (2010). Ocupação Urbana de Ouro Preto de 1950 a 2004 e Atuais Tendências. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas.

OLIVEIRA, O. A., OLIVITO, J. P., & RODRIGUES-SILVA, D. (2011). Caracterização da Unidade Espelológica e das Unidades Geomorfológicas da Região Do Quadrilátero Ferrífero - MG. 22, nro 1.

OLIVEIRA, S. C., ROCHA, J., ZÊZERE, J. L., GARCIA, R. A., & PIEDADE, A. (2009). Avaliação da Susceptibilidade a Deslizamentos Rotacionais Através da Aplicação de Métodos Estatísticos. VI Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia – Conhecer o Território, Sustentar o Desenvolvimento. Caldas da Rainha.

ONU (2004). Living with Risk. A global review of disaster reduction initiatives. Inter-Agency Secretariat International Strategy for Disaster Reduction (ISDR), Genebra, Suíça. Disponível em <http://www.unisdr.org/we/inform/publications/657>. Acesso em 03 de janeiro de 2013.

OZDEMIR, H., & TUROGLU, H. (2007). Landslide Susceptibility Assessment Using GIS and RS in the Havran River Basin (Balikesir-Turkey). PROCEEDINGS- IAGM - CD-ROM EDITION - 12th Conference of the International Association on Mathematical Geology.

PACK, R. T., TARBOTON, D. G., GOODWIN, C. N., & PRASAD, A. (2005). SINMAP 2 - A Stability Index Approach To Terrain Stability Hazard Mapping (User's Manual) (1ª ed.). Logan, Utah - U.S.A.: Forest Renewal B.C. - U.S. Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

PIEADADE, A., ZÊZERE, J. L., GARCIA, R. A., & OLIVEIRA, S. C. (2011). Modelos de Susceptibilidade a Deslizamentos Superficiais Translacionais Na Região a Norte de Lisboa. FINISTERRA , 91, 9-26.

PIERSON, T. (1983). Soil pipes and slope stability. Q. J. Eng. , 16, 1-11.

PINHEIRO, A. L., SOBREIRA, F. G., & LANA, M. S. (2004). Riscos Geológicos na Cidade de Ouro Preto. Anais do Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais (1), 87-101.

PINTON, L. d., & CUNHA, C. M. (2008). Avaliação da Dinâmica dos Processos Erosivos Lineares e sua Relação com a Evolução do Uso da Terra. *Geociências* , 27 (3), 329-343.

PRADHAN, B., & LEE, S. (2009). Landslide risk analysis using artificial neural network model focussing on different training sites. *International Journal of Physical Sciences - Vol.4* , pp. 001-015.

RADBRUCH, D. H. AND CROWTHER, K. C. (1970) Map showing areas of relative amounts of landslides in California: U.S. Geol. Survey, Open-file Report OF 70-270, 36 pp.

RADAMBRASIL. (1983). Folhas SF 23/24 Rio de Janeiro/Vitória: Geomorfologia (1ª ed., Vol. 32). Rio de Janeiro/RJ.

RAMOS, M., J. J. CUBILLAS, C, F., & A.J.GIL. (2011). Software for Detecting 3D movements: The case of olive tree displacements in an olive grove located on sloping land. *Journal of Computers & Geosciences (ELSEVIER)* , pp. 143-151.

RIBEIRO, L. S., & ALVES, M. D. (2008). Análise de Suscetibilidade à Erosão Laminar no Município de Campos dos Goytacazes/RJ através de Técnicas de Geoprocessamento. *Estudos Geográficos* , 6 (1), 89-100.

SALOMÃO, F., & IWASA, O. Y. (1995). Erosão e a ocupação rural e urbana. In: O. BITAR, Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. (pp. 31-57). São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).

SAMPAIO, T. D., PIMENTEL, J., SILVA, C. R., & MOREIRA, H. F. (2013). A Atuação do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) na Gestão de Riscos e Resposta a



Desastres Naturais. VI Congresso CONSAD de Gestão Pública, (pp. 1-27). Brasília, DF.

SANTOS, G. G., GRIEBELER, N. P., & OLIVEIRA, L. F. (2010). Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14 (2), 115–123.

SEABRA, V. D. (2012). Uso de modelos digitais de elevação para mapeamento de variáveis morfométricas do relevo na bacia hidrográfica do Rio São João. *Rev. Tamoios*, 68-79.

SEIXAS, A., BATEIRA, C., HERMENEGILDO, C., SOARES, L., & PEREIRA, S. (2006). Definição de critérios de susceptibilidade geomorfológica a movimentos de vertentes na Bacia Hidrográfica da Ribeira da Meia Léguas (Bacia do Douro - Peso da Régua). *Jornada sobre Terraços e Prevenção de Riscos Naturais*, (pp. 94-104). Palma de Maiorca, Portugal.

SEMAD (2011). GEO - Sisemanet: Dados Cartográficos, disponível em <http://geosisemanet.meioambiente.mg.gov.br/>. Acesso em 16 de Agosto de 2011

SILVA, A. J., & PASQUALETTO, A. (2007). Análise da Voçoroca na Cabeceira do Córrego Grota, no Município de Joviânia – GO. Programa de Pós-Graduação - CPGSS PUC/Goiás. disponível em : <http://www.ucg.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/Continua/AN%C3%81LISE%20DA%20VO%C3%87OROCA%20NA%20CABECEIRA%20DO%20C%C3%93RREGO%20GROTA,%20NO%20MUNICIPIO%20DE%20JOVI%C3%82NIA-GO.pdf> Acesso em 12 de Março de 2012

SILVA, J. T. (1995). Generalized Description of Engineering Geologic Aspects in Ouro Preto Municipality. Ouro Preto.

SILVA, S. A., CABRAL, J. B., FERNANDES, L. A., & BECEGATO, V. A. (2009). Erosividade na Bacia de Drenagem do Reservatório de Cachoeira Dourada - GO/MG.

Geofocus - Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de La Información Geográfica (9), 290-316.

SINGH, U. B., GREGORY, J. M., & WILSON, G. R. (2010). Erosion Analysis Model: Theory and Validation. Wind Erosion: An International Symposium/Workshop. Disponível em Texas <http://www.weru.ksu.edu/symposium/proceedings/singh.pdf>. Acesso em 02 de Fevereiro de 2012

SOBREIRA, F. G. (1989). A Ocupação Desordenada de Encostas em Ouro Preto, MG. Revista Escola de Minas , 42 (04), 12-15.

SOBREIRA, F. G. (1991). Riscos Geológicos: Definição dos Pontos Críticos em Ouro Preto. Revista Escola de Minas , 44, 213-223.

SOBREIRA, F.G. (1995). Estudo Geoambiental do Conselho de Sesimbra. Lisboa, 347p. Tese de Doutorado. Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

SOBREIRA, F.G. (2000). Processos Erosivos Acelerados (Voçorocas): O Exemplo de Cachoeira do Campo, Ouro Preto, MG. Solos e Rochas, 23(3): 217-233.

SOBREIRA, F.G. (2001). Susceptibilidade a Processos Geológicos e Suas Consequências na Área Urbana de Mariana, MG. Disponível em [http://www.degeo.ufop.br/geobr/artigos/artigos\\_completos/volume1/sobreira1.pdf](http://www.degeo.ufop.br/geobr/artigos/artigos_completos/volume1/sobreira1.pdf). Acesso em 15 de maio de 2013.

SOBREIRA, F. G., & SOUZA, L. A. (2012). Cartografia Geotécnica Aplicada ao Planejamento Urbano. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental , 2 (2), 79-97.

SOBREIRA, F., & FONSECA, M. (2001). Ação Antrópica e Processos em Encostas em Ouro Preto, Brasil. VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, (pp. 1-11). Goiânia (GO).

SOETERS, R., & VAN WESTEN, C. J. (1996). Slope instability recognition, analysis and zonation. In: A. S. Turner (Ed.), Landslides, investigation and mitigation. (1ª ed., pp. 129-177). Washington D.C., U.S.A.: National Academy Press.

SORBINO, G., SICA, C., & CASCINI, L. (2010). Susceptibility analysis of shallow landslides source areas using physically based models. *Natural Hazards*, 53, 313-332.

SOUZA, L. A. (2004). Diagnóstico do Meio Físico Como Contribuição ao Ordenamento Territorial do Município de Mariana. Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Ouro Preto.

SOUZA, M. L. (1996). Mapeamento Geotécnico da Cidade de Ouro Preto-MG (Escala 1:10.000) - Susceptibilidade aos Movimentos de Massa e Processos Correlatados. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Carlos /SP.

SURATMAN, T. B. (2009). Soil Erosion Analysis for EIA Studies using GIS, disponível em: <http://www.malaysiagis.com/index.php/local-gis/articles/44-gis/318-soil-erosion-analysis-for-eia-studies-using-gis>. Acesso em 13 de Julho de 2012

TERLIEN, M. T., VAN WESTEN, C. J. ASCH, T. W. (1995). Deterministic Modelling in Gis-Based Landslide Hazard Assessment. In: A. Carrara, & F. Guzzetti (Eds.), *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards* (1ª ed., pp. 57-77). Springer Netherlands.

TUCCI, C. E., & COLLISCHONN, W. (2011). Drenagem Urbana e Controle De Erosão. Arroio Dilúvio. disponível em: [http://www.ufrgs.br/arroidiluvio/a-bacia-hidrografica/sobre-o-arroio-diluvio/DRENAGEM%20URBANA-CONTROLE%20DA%20EROSaO\\_TUCCI\\_COLLISCHONN.PDF](http://www.ufrgs.br/arroidiluvio/a-bacia-hidrografica/sobre-o-arroio-diluvio/DRENAGEM%20URBANA-CONTROLE%20DA%20EROSaO_TUCCI_COLLISCHONN.PDF). Acesso em 25 de Março de 2012

UFLA, & IEF. (2009). GEO - Inventário Florestal. Disponível em Inventário Florestal de Minas Gerais: <http://geosisemanet.meioambiente.mg.gov.br/inventarioFlorestal/#>. Acesso em 07 de 07 de 2012

UFV, CETEC, UFLA & FEAM (2010). Mapa de solos do Estado de Minas Gerais: legenda expandida. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM.

UNESCO/IAEG (1976). Engineering Geological Maps: A guide to their preparation. UNESCO press, Paris, 79 p.

USGS (2004). Landslide Types and Processes. Fact Sheet - 3072 , pp. 1-4.

VALE (2009). Diagnóstico Ambiental do Meio Físico - Mina de Apolo. Ampla, Consultoria e Treinamento.

VAN DEN EECKHAUT, M., POESEN, J., VERSTRAETEN, G., VANACKER, V., MOEYERSONS, J., NYSSSEN, J. (2004). The effectiveness of hillshade maps and expert knowledge in mapping old deep-seated landslides. *Geomorphology (Elsevier)* , 67, 351–363.

VAN DEN EECKHAUT, M., REICHENBACH, P., GUZZETTI, F., ROSSI, M., & POESEN, J. (2009). Combined landslide inventory and susceptibility assessment based on different mapping units: an example from the Flemish Ardennes, Belgium. *Natural Hazards* , 507–521.

VAN WESTEN, C. J., CASTELLANOS, E., & KURIAKOSE, S. (2008). Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. *Engineering Geology* (102), 112-131.

VARNES, D. J. (1984). Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. UNESCO, Paris / France.

VIANA, P. L., & LOMBARDI, J. A. (2007). Florística e Caracterização dos Campos Rupestres Sobre Canga na Serra da Calçada, Minas Gerais, Brasil. *Rodriguésia – Revista do Jardim Botânico do Rio de Janeiro*, 58, 159-177.

VIEIRA, B., FERNANDES, N., AUGUSTO FILHO, O., & SANTOS, W. (2006). Avaliação da Eficiência dos Modelos SHALSTAB e TRIGRS Na Previsão de Escorregamentos Translacionais Rasos na Serra de Cubatão (SP). *Anais do VI Simpósio Nacional de Geomorfologia*.

WILCKEN, C. F., LIMA, A. C., DIAS, T. K., MASSON, M. V., FILHO, P. J., & POGETTO, M. H. (2008). Guia Prático de Manejo de Plantações de Eucalipto. UNESP/FEPAF. Botucatu - SP: FEPAF/UNESP.

YIN, K. L., & YAN, T. Z. (1988). Statistical prediction models for slope instability of metamorphosed rocks. In: C. Bonnard (Ed.), *Landslides. Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides (Vol. 2, pp. 1269-1272)*. Balkema, Rotterdam.

ZÊZERE, J. L. (2002). Landslide susceptibility assessment considering landslide typology. A case study in the area north of Lisbon (Portugal). *Natural Hazards and Earth System Sciences* (2), 73–82.

ZÊZERE, J.; FALEH, A.; SADIKI, A.; GARCIA, R.; & OLIVEIRA, S. (2009). Modelação da Susceptibilidade a Deslizamentos na Bacia do Oued Sra (Rif central, Marrocos) com Métodos Estatísticos Bi-variados. *Associação Portuguesa de Geomorfólogos, Vol. VI, APGEOM, Braga: 203-210*.

ZUQUETTE, L. V., & GANDOLFI, N. (2004). *Cartografia Geotécnica (1ª ed.)*. São Paulo/SP: Oficina de Textos.