

ANDRÉ OLIVEIRA GUIMARÃES

**INFLUÊNCIA DO MEIO FÍSICO NA PREDISPOSIÇÃO A MOVIMENTOS DE
MASSA NO MUNICÍPIO DE IPATINGA, MG**

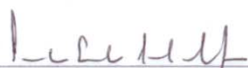
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2008**

ANDRÉ OLIVEIRA GUIMARÃES

**INFLUÊNCIA DO MEIO FÍSICO NA PREDISPOSIÇÃO A MOVIMENTOS DE
MASSA NO MUNICÍPIO DE IPATINGA, MG**

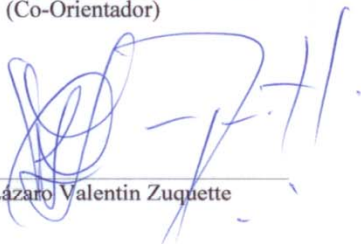
Aprovada: 29 de maio de 2008.



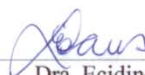
Prof. Carlos Ernesto Gonçalves R. Schaefer
(Co-Orientador)



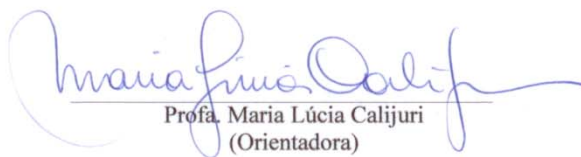
Prof. Dário Cardoso de Lima
(Co-Orientador)



Prof. Lázaro Valentin Zuquette



Dra. Ecidinéia Pinto Soares



Profa. Maria Lúcia Calijuri
(Orientadora)

*“E aquilo que neste momento se revelará aos povos,
surpreenderá a todos não por ser exótico,
mas pelo fato de poder ter sempre estado oculto quando terá sido o obvio”.*

Caetano Veloso.

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho às pessoas mais importantes da minha vida:
meus pais Nassib e Enyr, irmãos, Marina e Mateus e minha amada Suzanne.*

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar a cada dia fé, força e determinação nas minhas atitudes;

Aos meus amados pais, Nassib e Enyr, por me ensinarem os maiores valores que um ser humano pode ter, respeito, humildade e fé;

Aos meus também amados irmãos, Marina por sempre estar ao meu lado e iluminar os meus passos a cada dia e Mateus, com os mais simples e delicados atos de amor, me ensinar a ser um ser humano melhor;

À Suzanne pelas noites viradas fazendo cafezinho para a noite virar dia, pelas palavras de conforto, pela paciência na revisão da tese e principalmente pela incondicional e incomparável demonstração companheirismo e amor;

Aos familiares que estiveram sempre ao meu lado, acreditando no meu sucesso e na concretização deste sonho;

À professora Maria Lúcia pelas orientações, por embutir na minha pessoa um sentimento de que sempre serei capaz de superar as mais diversas situações e pelo companheirismo e dedicação;

Ao professor Carlos Ernesto que contribuiu de maneira fundamental em todo trabalho, sempre expondo de maneira preciosa suas opiniões;

Ao professor Dario por dispor do seu precioso tempo para contribuir com opiniões decisivas para o trabalho;

Aos membros avaliadores da tese pelas contribuições pertinentes e valiosas sugestões;

Aos sempre presentes amigos do SIGEO, Will, Pedro, Aníbal, Lelê, Romina, Thati, Sandrinha, Liana, Maurão, Adauri, Luís, em especial, Sam, Othávio e Rick pela forte amizade

que construímos ao longo desses anos, e todos outros amigos que passaram de maneira tão marcante na minha vida e foram peças chave na realização deste grande sonho;

Ao Lucas pelo apoio e disponibilidade do tempo ajudando na diagramação e revisão da tese e Ilka pelo grande incentivo sempre acreditando que tudo daria certo;

À prefeitura municipal de Ipatinga, nas pessoas de Mariza e Davi, que apoiaram de forma decisiva a execução do trabalho;

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudo em todo período do trabalho;

A todos os professores, funcionários e alunos, do Departamento de Engenharia Civil que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização desta pesquisa.

BIOGRAFIA

ANDRÉ OLIVEIRA GUIMARÃES, filho de José Nassib Gariff Guimarães e Enyr Pontes Oliveira Guimarães, nasceu no dia 11 de maio de 1980, na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais.

Em abril de 1998, ingressou no curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa e em agosto de 2003, graduou-se Engenheiro Civil pela mesma Instituição.

Em março de 2004, iniciou no curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa, Área de Concentração em Geotecnia Ambiental, sob a orientação da Profa. Maria Lúcia Calijuri. Em abril de 2005, ingressou dentro do mesmo Programa, para o nível de doutorado, submetendo-se à defesa da tese em maio de 2008.

LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE QUADROS	xiv
RESUMO	xivi
ABSTRACT	xivii
CAPÍTULO 01	1
INTRODUÇÃO	1
1.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
1.2 – OBJETIVOS	4
1.3 – ABRANGÊNCIA E LIMITAÇÕES	4
1.4 – JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA	6
1.5 – APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	7
CAPÍTULO 02	8
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1 – OCUPAÇÃO DESORDENADA E SUAS CONSEQÜÊNCIAS	8
2.2 - CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS	18
2.2.1 - Classificação granulométrica	18
2.2.2 – Classificação TRB	19
2.3 – PROCESSOS ATUANTES NAS ENCOSTAS	20
2.3.1 – Erosão	20
2.3.1.1 <i>Processos erosivos</i>	21
Infiltração, Armazenamento e Geração de Runoff.....	23
Escoamento superficial.....	24
Escoamento subsuperficial	25
Piping.....	26
Splash	26
Erosividade da chuva.....	27
Propriedades do solo.....	28

Cobertura vegetal.....	29
Características das encostas.....	30
2.4 – MOVIMENTOS DE GRAVITACIONAIS DE MASSA.....	31
2.5 – PROPOSTAS METODOLÓGICAS DE MAPEAMENTO.....	42
2.5.1 – Metodologia francesa.....	45
2.5.2 – Metodologia da International Association of Engineering Geology - IAEG.....	46
2.5.3 – Metodologia Pattern, Unity, Component, Evaluation – PUCE.....	46
2.5.4 – Metodologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT.....	46
2.5.5 – Metodologia do IG-UFRJ.....	48
2.5.6 – Metodologia ZERMOS (Zonas Expostas a Riscos de Movimentos de Solo).....	48
2.5.7 – Metodologia Gasp.....	49
CAPÍTULO 03	51
MATERIAL E MÉTODOS	51
3.1 – DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	51
3.2 – ÁREA DE ESTUDO.....	51
3.2.1 – Localização.....	51
3.2.2 - Histórico.....	52
3.2.3 – Clima.....	59
3.2.4 – Solos.....	62
3.2.5 – Vegetação.....	63
3.2.6 – Geomorfologia.....	64
Unidade Dissecada do Rio Doce.....	64
A Superfície Terciária com Retrabalimento no ciclo Velhas.....	64
A Unidade Maciços da Mantiqueira.....	65
3.2.7 – GEOLOGIA.....	66
3.3 METODOLOGIA.....	69
3.3.1 – Reconhecimento da área.....	69
3.3.2 – Levantamento de informações e dados.....	71
3.3.3 – Ensaio de caracterização e de parâmetros de resistência geotécnica.....	71
3.4 – MAPAS TEMÁTICOS.....	77

3.4.1 – Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC)	77
3.4.2 – Carta de declividade	80
3.4.3 – Mapa de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal.....	80
3.4.4 – Mapa pedológico	82
3.4.5 – Mapa de fraturas e falhas.....	84
3.4.6 – Mapa morfológico	85
3.5 – INVENTÁRIO.....	85
3.6 – MAPEAMENTO DE SUSCEPTIBILIDADE DE MOVIMENTOS DE MASSA	88
Perfil de alteração	90
CAPÍTULO 04	95
RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	95
4.1 – CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA.....	95
4.2 – MAPAS TEMÁTICOS	100
4.3 INVENTÁRIO DE OCORRÊNCIAS	108
4.3.1 Declividade.....	110
4.3.2 Solos	111
4.3.3 Uso e Ocupação do Solo e Cobertura Vegetal	113
4.3.4 Morfologia.....	114
4.3.5 Lineamento estrutural	116
4.3.6 Precipitação e Temperatura	117
4.4 – CARTA DE PREDISPOSIÇÃO A MOVIMENTO GRAVITACIONAL DE MASSA.....	119
CAPÍTULO 05	133
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	133
CAPÍTULO 06	136
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	136
CAPÍTULO 07	136
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	136

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Resultados possíveis de serem obtidos em estudos de movimentos de massa.	5
Figura 2.1 – Deslizamento.....	13
Figura 2.2 – Corte irregular	13
Figura 2.3 – Aterro mal executado	14
Figura 2.4 – Infiltração	14
Figura 2.5 – Despejo irregular de lixo.....	15
Figura 2.6 – Deslizamento em corte e aterro.....	15
Figura 2.7 – Ocupação coerente	16
Figura 2.8 – Ocupação inadequada.....	16
Figura 2.9 – Ocorrência de desastre	17
Figura 2.10 – Recuperação	17
Figura 2.11 - Escalas granulométricas (VARGAS, 1981).	18
Figura 2.12 - Diagrama triangular segundo Bueno & Vilar (1980).	19
Figura 2.13 – Ciclo Hidrológico	22
Figura 2.14 – Voçoroca.	26
Figura 2.15 – Classificação das formas de encostas adaptada de Troeh (1965).	31
Figura 3.1 –Localização geográfica da área de estudo, Ipatinga, Minas Gerais.	52
Figura 3.2 – Construção residencial dentro do corpo d’água.....	54
Figura 3.3 – Proteção do talude com lona plástica.....	55
Figura 3.4 – Ruína de edificação deflagrada por movimento de massa.	56

Figura 3.5 – Erosão marginal avançada, lançamento de esgoto e assoreamento do curso d'água em função da ocupação urbana inadequada.....	57
Figura 3.6 – Esquema da ocorrência de voçoroca e deslizamento em cunha	58
Figura 3.7 – Esquema de ocorrência de trincas em residências	58
Figura 3.8 – Voçoroca em talude na rua Saigon, Betânea, Ipatinga.....	59
Figura 3.9 - Mapa geológico na escala de 1:100.000 (OLIVEIRA & LEITE, 2000).	68
Figura 3.10 – Fluxograma representando as etapas do trabalho.....	70
Figura 3.11 – Mapa dos pontos de amostragens para ensaios laboratoriais.....	72
Figuras 3.12a e 3.12b – Modelagem de uma depressão espúria.....	78
Figura 3.13 - Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC).....	79
Figura 3.14 - Carta de declividades	81
Figura 3.15 – Vetorização em tela, criação de regiões e discriminação das classes do uso e ocupação do solo e cobertura vegetal, através da metodologia aplicada para o estudo. ..	82
Figura 3.16 – Digitalização em mesa digitalizadora, criação e discriminação de regiões das classes de solo como proposto na metodologia do presente estudo.	83
Figura 3.17 – Digitalização em mesa digitalizadora e criação de lineamentos como proposto na metodologia do presente estudo.....	84
Figura 3.18 – Planilha de campo utilizada para levantamento de movimento de massa	86
Figura 3.19– Exemplo de ocorrências sobrepostas a lineamento estrutural e <i>buffer</i>	87
Figura 4.1 - Mapa de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal.....	102
Figura 4.3 – Mapa de lineamentos estruturais de solos.....	106
Figura 4.4 – Mapa morfológico das áreas ocupadas.	107
Figura 4.5 – Inventário de ocorrências.	108
Figura 4.6 – Gráfico das ocorrências e área ocupada segundo classes de declividade.	111
Figura 4.7 – Gráfico de ocorrências e área ocupada segundo as classes de solo.	112

Figura 4.8 – Gráfico de ocorrências e área ocupada segundo as classes de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal.	113
Figura 4.9 – Gráfico de ocorrências segundo as feições morfológicas.	114
Figura 4.10 – Talude convexo com presença de movimentos de massa.....	116
Figura 4.11 – Relação entre ocorrências e áreas ocupadas em função do buffer.	117
Figura 4.12 – Precipitação mensal entre os anos de 1997 a 2007.	118
Figura 4.13 – Temperatura mensal entre os anos de 1997 a 2007.....	119
Figura 4.14 – Cenário 01	121
Figura 4.15 – Cenário 02.	122
Figura 4.16 – Cenário 03	123
Figura 4.17 – Cenário 04	124
Figura 4.18 – Cenário 05	125
Figura 4.19 – Cenário 06.....	126
Figura 4.20– Carta de predisposição a movimentos gravitacionais de massa.....	132

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 – Censo Demográfico 2000 – IBGE	2
Quadro 2.1 – Demandas típicas da ocupação urbana em encostas, inadequações geotécnicas e/ou de infra-estrutura e potencialização de deslizamentos (FARAH, 2003).	12
Quadro 2.2 – Classificação sintética dos movimentos de massa subterrâneos (HUTCHINSON, 1988).	37
Quadro 2.3 – Mecanismos de ruptura em deslizamentos (INFANTI JR. & FORNASARI FILHO, 1998).	38
Quadro 2.4 – Fatores deflagradores dos movimentos de encostas (VARNES, 1978).	39
Quadro 2.5 – Agentes e causas dos deslizamentos (GUIDICINI & NIEBLE, 1976).	40
Quadro 2.6– Vantagens e desvantagens das principais classificações dos movimentos gravitacionais de massa (AMARAL, 2007).	41
Quadro 2.7 – Escalas utilizadas para mapeamento de movimentos de massa (SOETERS & VAN WESTEN, 1996).	42
Quadro 3.1 – Precipitação mensal e precipitação anual acumulada (mm).	60
Quadro 3.2 – Temperatura mínima mensal (°C).	61
Quadro 3.3 – Temperatura média mensal (°C).	61
Quadro 3.4 – Temperatura máxima mensal (°C).	62
Quadro 3.5 – Informações topográficas, urbanas, hidrológicas e raster, georreferenciada pela Prefeitura Municipal de Ipatinga (PMI).	71
Quadro 3.6 – Mapas temáticos segundo natureza e tipo.	88
Quadro 3.7 – Classes de declividade (SIDLE et al., 1985 <i>apud</i> RODRIGUES, 2002).	88
Quadro 3.8 – Perfil das encostas(BONUCCELLI, 1999 – modificado).	89

Quadro 3.9 – Escala comparativa entre fatores que influenciam no movimento de massa (SAATY, 1977).	93
Quadro 4.1 – Avaliação dos limites de Atterberg (LL e LP), massa específica dos sólidos e granulometria das amostras dos solos.	96
Quadro 4.2 – Classificação das amostras de solo segundo diagrama triangular de Feret e classificação TRB.....	96
Quadro 4.3 – Caracterização química dos solos.	98
Quadro 4.4 – Caracterização química dos solos.	99
Quadro 4.5 – Cisalhamento direto	99
Quadro 4.6 – Classes de declividade.	101
Quadro 4.7 – Classes do mapa de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal.	101
Quadro 4.8- Características pedológicas das classes de solos.....	103
Quadro 4.9 – Área ocupada por cada classe de solo.	104
Quadro 4.10 – Feições morfológicas e área relativa a cada feição.	104
Quadro 4.11 – Sobreposição das ocorrências com os temas.	110
Quadro 4.12 – Pesos adotados nos cenários.	120
Quadro 4.13 – Ocorrências e áreas por classe de predisposição a movimento gravitacional de massa.	120
Quadro 4.14 – Frequência de ocorrências por km ² em cada classe de predisposição.....	120
Quadro 4. 15 – Comparação entre classes dos fatores e cenários obtidos.....	129

GUIMARÃES, André Oliveira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2008.

Influência do Meio Físico na Predisposição a Movimentos de Massa no Município de Ipatinga, MG. Orientadora: Maria Lúcia Calijuri. Co-Orientadores: Carlos Ernesto Reynauld Schaefer e Dario Cardoso de Lima.

Situado na macro-região de planejamento do Rio Doce/MG, o município de Ipatinga apresenta potenciais características ao surgimento de áreas com predisposição a movimento de massa devido aos condicionantes geológicos, pedológicos, geomorfológicos e antrópicos. O presente trabalho considerou como significativos ao surgimento destas áreas os temas declividade, morfologia, lineamentos estruturais, uso e ocupação do solo, cobertura vegetal e pedologia. Utilizando-se estes mapas temáticos, juntamente com ferramentas de geoprocessamento, foram obtidas simulações capazes de prever os graus de predisposição a movimentos gravitacionais de massa na área de estudo. Realizou-se um inventário de ocorrências de movimentos de massa e fez-se a sobreposição destes com os mapas temáticos e com a carta de predisposição a movimentos gravitacionais de massa. Observou-se nas feições côncavas e nas classes de solo CXbd1 e CXbd2 maior frequência de ocorrências, e os lineamentos estruturais apresentaram uma considerável influência nas ocorrências levantadas. O tema declividade apresentou um decréscimo quanto à predisposição a movimentos gravitacionais de massa quando seus valores ultrapassaram a 80%. O produto final fornece aos gestores municipais uma ferramenta capaz de nortear tecnicamente suas decisões.

ABSTRACT

GUIMARÃES, André Oliveira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, may, 2008. **The Influence of the Physical Environment in the Predisposition to Mass Movements in the Municipality of Ipatinga, MG.** Adviser: Maria Lúcia Calijuri. Co-Advisers: Carlos Ernesto Reynauld Schaefer and Dario Cardoso de Lima.

Located in the planning macro-region of Rio Doce/MG, the municipality of Ipatinga presents potential characteristics to the occurrence of areas predisposed to mass movement due to geologic, pedologic, geomorphologic and anthropic conditionants. The present thesis considered significant themes relative to the occurrence of these areas, such as declivity, morphology, structural alignments, soil usage and occupation, vegetal cover and pedology. By using these thematic maps, as well as geoprocessing tools, simulations were obtained, capable to predict the degrees of predisposition to the gravitational mass movements in the study area on a 1:20.000 scale. An inventory of mass movement occurrence was obtained and superposed with the thematic maps and the predisposition to gravitational mass movement letter. A greater frequency in the occurrence was observed in the concave forms and the classes of soil CXbd1 and CXbd2 (typical dystrophic haplic cambisol, according to Brazilian Classification of Soils), and the structural alignments presented expressive influence in these occurrences. The theme declivity presented a decrease relative to the predisposition to gravitational mass movement when its values were over 80%. The final results offer the municipal governors a tool that will be able to guide their technical decisions.

INTRODUÇÃO

1.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

A busca por recursos de subsistência e moradia vem sendo feita há milênios pelos seres humanos. A organização das famílias ou grupos era feita em pequenas áreas a fim de produzir bens para o próprio sustento e moradia. Segundo Carvalho & Prandini (1998) os melhores locais para assentamento destas famílias eram escolhidos em função de fatores geoderivados, como a presença de água, conformação do relevo, natureza e disponibilidade de materiais de construção.

As primeiras experiências conhecidas de urbanização datam de poucos milhares de anos e foram eventos isolados no tempo e no espaço. Frente aos ambientes originais esses fenômenos urbanos valeram-se de artifícios variados para viabilizar a aglomeração de seres humanos em níveis satisfatórios de qualidade de vida para as parcelas dominantes da população e de sobrevivência para as subalternas (CARVALHO & PRANDINI, 1998).

A urbanização no Brasil aparece em uma escala crescente a partir da década de 50. Segundo Bernardes (2007) em 1950 o índice de urbanização alcançava 36,16% sobre o total da população. Em 1970 registrava-se uma porcentagem de 56,80% e em 1990, chegava-se a 77,13%. Em 1991 a população urbana brasileira se aproximava do número total de habitantes correspondentes na década de 80, 115.700.000 e 119.099.000, respectivamente.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no censo de 2000, atualizado com estimativas do ano de 2006, cerca de 81,00% da população brasileira residiam em centros urbanos, enquanto que os 19,00% restantes situavam-se na zona rural. O Quadro 1.1 apresenta o avanço da urbanização no Brasil.

Brasil - População urbana e rural				
Urbana			Rural	
Ano	Nº de habitantes	Percentual sobre o total	Nº de habitantes	Percentual sobre o total
1950	18 784 642	36,20	33 157 125	63,80
1960	31 531 500	45,10	35 538 957	54,90
1970	52 084 984	55,92	41 054 053	44,08
1980	80 453 389	67,57	38 616 153	32,43
1991	110 875 826	75,20	36 429 698	24,80
2000	137 953 959	81,25	31 845 211	18,75
2006	152 521 460	81,00	35 776 639	19,00

Quadro 1.1 – Censo Demográfico 2000 – IBGE
 (Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000>>. Acesso: em 02 out. 2007).

Com o crescente aumento do contingente populacional nas cidades tem-se a necessidade de obter áreas para a implantação de novas edificações. Segundo FARAH (2003) inicialmente as ocupações foram feitas de maneira inadequada, porém ainda em pequena escala nas bases dos morros situados nas periferias das cidades. Posteriormente, tornou-se necessário a locação de novas moradias para atender as novas gerações e esse crescente aumento populacional forçou o assentamento em locais ambientalmente frágeis e de difícil urbanização, como encostas de morros, várzeas inundáveis e mangues.

Conforme Rodrigues (2002) tem-se no Brasil mais de 5.700 municípios e a grande maioria enfrenta problemas decorrentes da ação de processos geológicos que provocam perdas significativas na área urbana ou rural. Wachal (2001) identificou nessas áreas danos em redes de transportes, edificações, obras públicas e propriedades particulares acarretando grandes perdas financeiras. Segundo Amaral (1997) os deslizamentos em encostas trazem enormes prejuízos econômicos, bloqueiam vias expressas e, com frequência, levam à perda de muitas vidas.

Para regulamentar as ocupações, os municípios têm investido na criação de Leis de Uso e Ocupação do Solo. Estas Leis definem parâmetros mínimos de ocupação de lotes,

recuos, coeficientes de aproveitamento e usos permitidos, interferindo na forma da cidade e também em sua economia, mas na maioria das vezes, têm pouca utilidade pelo alto grau de complexidade em termos de interpretação e aplicação.

Com o crescimento do índice de ocupação inadequada, déficit de regulamentação e fiscalização em áreas susceptíveis a movimentos de massa, há o aumento de ocorrências de desastres, tornando-se necessário a realização de estudos técnicos nestes locais.

Em nível internacional, segundo Cerri & Amaral (1998) as cartas de susceptibilidade a movimentos de massa são reconhecidas há muito tempo como instrumentos de apoio ao Poder Público. No Brasil, a preocupação com a elaboração destas cartas iniciou-se de forma subjetiva. A importância das cartas de risco tornou-se uma realidade nos anos 80, e em 1990 já eram incluídas dentre as atividades mais procuradas no campo da Geologia.

Segundo Ercanoglu (2001) nas duas últimas décadas a avaliação de susceptibilidade de movimentos de massa e a escolha de áreas aptas à ocupação em regiões em desenvolvimento tem sido um importante assunto para engenheiros, cientistas da terra, planejadores e tomadores de decisões.

Devido à complexidade e inter-relacionamento espacial dos fatores envolvidos na análise e avaliação de riscos ligados aos processos naturais, torna-se essencial o desenvolvimento de um sistema que permita a consulta rápida às informações e a manipulação destes dados de maneira integrada numa análise multicriterial (RODRIGUES, 2002).

Segundo Varnes (1984) os três princípios básicos para todos os estudos de identificação de áreas suscetíveis a movimentos de massa são:

1. O passado e presente são as chaves para o futuro.
2. As condições principais causadoras de movimentos de massa podem ser identificadas.
3. Os graus de susceptibilidade de ocorrências de movimentos de massa podem ser calculados.

E ainda, de acordo com Chaco (2006) pode-se adicionar um quarto princípio:

4. É possível avaliar e quantificar os riscos derivados de movimentos de massa.

É vasto o número de propostas metodológicas de mapeamento de áreas susceptíveis a movimentos de massa (SANEJOUAND, 1972; IAEG, 1976; GRANT, 1970; PRADINI et al., 1995; ZUQUETTE, 2004; HUTCHINSON, 1988).

Assim, entender os aspectos da evolução e o dinamismo inerente da sociedade humana é de fundamental importância para alcançar uma sociedade planejada, bem como, avaliar os erros e analisá-los se torna imprescindível para uma futura e bem sucedida ocupação do espaço geográfico.

1.2 – OBJETIVOS

Este trabalho teve por objetivo contribuir para o melhor conhecimento das características dos fatores causadores dos movimentos de massa, e elaborar uma carta de susceptibilidade aos movimentos de massa, na escala de 1:20.000.

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Obtenção de uma base de dados (cartas pedológica, geomorfológica, uso e ocupação do solo, cobertura vegetal, lineamentos estruturais e declividade) em escala adequada para a realização do trabalho;
- Identificação de movimentos de massa na área de estudo por meio de trabalho de campo.

1.3 – ABRANGÊNCIA E LIMITAÇÕES

Conforme Amaral (2007) os estudos de movimentos de massa podem ser divididos conforme os resultados obtidos (Figura 1.1).

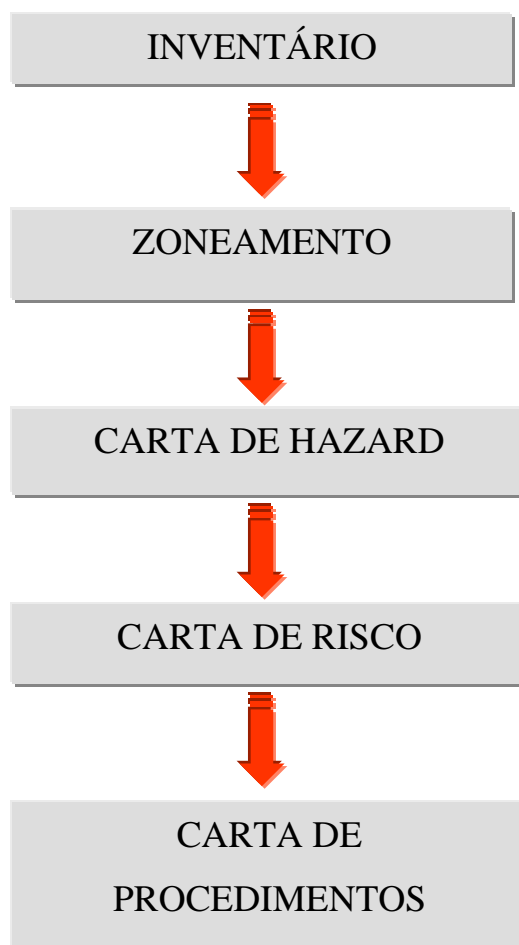


Figura 1.1 – Resultados possíveis de serem obtidos em estudos de movimentos de massa.

Estudos cujo objetivo final é um inventário de movimentos gravitacionais de massa são aqueles onde a preocupação é levantar, identificar e classificar cada feição encontrada em campo. Estudos de zoneamento estão voltados para identificação de características (atributos) que vão condicionar a predisposição a movimentos gravitacionais de massa e a individualização de áreas com mesmo nível de predisposição, devido à interação dos atributos entre si. A carta de *Hazard* (Perigo) tem uma característica de previsão de evento tanto espacial quanto temporalmente. A carta de risco é uma carta mais complexa, pois além de fornecer características probabilísticas de ocorrência de evento, relaciona os possíveis danos aos elementos do meio ambiente associados a esta ocorrência. E por fim, a carta de procedimentos, que orienta e pode evitar danos maiores causados por eventos naturais.

O presente trabalho limita-se até a fase do zoneamento em função dos dados e recursos disponíveis. No zoneamento proposto tem-se a delimitação das áreas predispostas à ocorrências de movimentos de massa em função de fatores físicos, biológicos e antrópicos da área estudada, não sendo possível a previsão temporal da ocorrência desses eventos.

Em nível mundial tem-se o estudo como uma ferramenta capaz de auxiliar futuros trabalhos devido à qualidade da base de dados gerada, tendo como contribuição científica o estudo de fatores potencialmente causadores dos movimentos gravitacionais de massa no município de Ipatinga, MG, sendo o produto final um suporte aos tomadores de decisão do meio público.

1.4 – JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA

O processo de ocupação das áreas urbanas vem crescendo de forma impetuosa. A maioria das cidades brasileiras caracteriza-se pelo crescimento e expansão de suas periferias, marcada pela presença de subhabitações e desordem urbana.

Infelizmente, a falta de gestão ou não dos responsáveis, juntamente com o desconhecimento dos condicionantes que visam à qualidade de moradia da população é extremamente comum no Brasil. Esta ingerência de alguns setores públicos e/ou políticos associados à falta de planejamento e diretrizes, colhe hoje os malefícios da ocupação desordenada do meio físico, uma vez que estes setores estão muito mais relacionados à assistência as vítimas dos desastres do que aos trabalhos de prevenção.

Na região do Vale do Aço, onde Ipatinga está inserida, a realidade não difere de outras regiões do país. A região caracteriza-se pelo seu grande potencial empregatício acarretando em um intenso crescimento urbano. A USIMINAS, maior empresa da região, está ampliando a sua estrutura em mais uma unidade em Santana do Paraíso, cidade divisa com Ipatinga e prevê um aumento populacional de aproximadamente 20.000 habitantes.

Neste cenário, o estudo da predisposição a movimentos de massa configura-se como uma importante ferramenta para o estabelecimento de diretrizes, aduzindo informações a

respeito da adequabilidade do uso e ocupação em função das condições do meio físico, bem como subsidia um planejamento físico-ambiental.

Através desta pesquisa o Poder Público poderá adquirir maior conhecimento a respeito das áreas que devem ser mantidas sob proteção, seja pela legislação municipal ou pela simples ação dos agentes administrativos responsáveis pela aprovação da ocupação destes locais, evitando-se, com isto, a degradação do meio físico e da qualidade de vida da população.

1.5 – APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho encontra-se dividido em sete capítulos, a saber:

- Na **introdução** apresenta-se uma abordagem geral sobre o inter-relacionamento existente entre a urbanização e o meio físico, além do objetivo, abrangências e limitações, justificativa e importância do trabalho;
- A **revisão bibliográfica** trata da fundamentação teórica dos temas: ocupação urbana e suas conseqüências, classificação dos solos, processos atuantes nas encostas, tipos de movimentos de massa e metodologias de mapeamento;
- Em **material e métodos** encontra-se dados referentes à área de estudo (localização, histórico, clima, solos, vegetação, geomorfologia, geologia) bem como, a metodologia empregada para o desenvolvimento da tese.
- Nos **resultados e discussão** apresenta-se uma carta de predisposição a movimentos de massa obtida segundo estudos topográficos, pedológicos, geológicos, de vegetação e antrópicos bem como, a análise da sobreposição dos levantamentos realizados em campo aos mapas temáticos.
- Nas **considerações finais** apresenta-se as conclusões do trabalho;
- Nas **sugestões para trabalhos futuros** tem-se algumas idéias a serem futuramente desenvolvidas;
- A **bibliografia** apresenta as referências utilizadas no trabalho.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – OCUPAÇÃO DESORDENADA E SUAS CONSEQÜÊNCIAS

Desde os primórdios da civilização, o Homem vem usando os recursos naturais sem as devidas cautelas. Primitivamente utilizou tais recursos com o intuito de se alimentar e se vestir de forma rudimentar. Tais necessidades tão elementares se comparam com as exigências atuais do Homem urbano, produzindo fortes impactos e incidências sobre o meio natural (RODRIGUES, 2002).

Nas últimas décadas a urbanização ocorreu de forma acelerada e intensa, formando assim aglomerados urbanos causadores de mudanças territoriais, econômicas, sociais e culturais nos países em desenvolvimento. No Brasil, a urbanização intensiva redesenhou a ocupação do território nacional, provocando grandes malefícios ao meio biótico e abiótico. Dentre eles destacam-se aqueles relacionados ao meio físico e às atividades antrópicas indiscriminadas, como a ocupação de áreas de várzeas, áreas com alta suscetibilidade aos processos de erosão e áreas com declividades acentuadas (FARAH, 2003; BERNARDES, 2007).

A maioria das cidades brasileiras cresce de forma desordenada e essa ocupação urbana ocorre na maioria das vezes sem maior consideração com o meio físico, interferindo negativamente na qualidade de vida da população e causando uma série de conseqüências danosas onde este processo pode ocorrer a curto, médio ou longo prazo.

Um dos maiores problemas enfrentados pelas cidades brasileiras é a falta de planejamento da expansão da mancha urbana e a sua interação com o meio físico, desencadeando grandes prejuízos econômicos e sociais.

No Brasil, são freqüentes os casos de movimentos gravitacionais de massa em regiões urbanizadas. A ocorrência deste processo se faz em função das variáveis como tipo de solo, índice pluviométrico, morfologia e declividade das encostas, presença ou ausência de vegetação, comportamento antrópico, dentre outros.

Segundo Farah (2003) a estabilidade de uma encosta, em seu estado natural, é condicionada concomitantemente por três fatores principais: características geométricas, geológicas (tipos de solos e rochas que a compõem) e ambientes fisiográficos (clima, cobertura vegetal, drenagens naturais, etc.).

O surgimento de ocupações desordenadas em encostas modifica as características do ambiente fisiográfico, através da execução de corte e aterro irregulares, alteração dos cursos de drenagem, remoção de cobertura vegetal, deposição de lixo e lançamento de águas servidas em locais impróprios, dentre outros.

Segundo Augusto Filho & Virgili (1998) a execução de corte em uma encosta provoca alterações no estado de tensões atuantes no maciço, que podem levar ao aparecimento de trincas de tração no topo e durante precipitações intensas estas trincas poderão ser preenchidas por água e levar o talude à ruptura.

De acordo com Guerra (2003) a cobertura vegetal pode influenciar os processos erosivos através dos efeitos espaciais da cobertura vegetal, dos efeitos na energia cinética da chuva e do papel da vegetação na formação de húmus, que afeta a estabilidade e teor de agregados.

Os efeitos favoráveis e desfavoráveis da cobertura vegetal segundo Augusto Filho & Virgili (1998) são:

- Efeitos favoráveis:
 - Redistribuição da água proveniente das chuvas: as copas das árvores impedem, em parte, o impacto direto da chuva na superfície do terreno; retardam e diminuem a quantidade efetiva de água que se infiltra no solo;

- Acréscimo da resistência do solo devido às raízes: as raízes da vegetação de porte arbóreo podem aumentar a resistência do solo pelo reforço mecânico e pelo escoramento;
- Efeitos desfavoráveis:
 - Efeito alavanca: força cisalhante transferida pelos troncos das árvores ao terreno, quando suas copas são atingidas por ventos;
 - Efeito cunha: pressão lateral causada pelas raízes ao penetrar em fendas, fissuras e canais do solo ou rocha;
 - Sobrecarga vertical: causada pelo peso das árvores. Pode ter um efeito benéfico ou não na estabilidade do talude em função da inclinação das encostas.

O Quadro 2.1 apresenta as demandas típicas, inadequações geotécnicas ou de infraestrutura e potencialização de deslizamentos causadas pelas ocupações desordenadas (FARAH, 2003).

Demandas típicas da ocupação	Inadequações geotécnicas ou de infra-estrutura	Potencialização de deslizamentos
Desmatamento	Retirada indiscriminada de vegetação	Exposição do solo e perda da estrutura superficial conferida pelas raízes; aumento da infiltração com favorecimento da elevação da carga piezométrica em chuvas; exposição à erosão, que pode evoluir para deslizamentos.
	Alteração inadequada de maciços	Desconfinamento do maciço, com possibilidade de aparecimento de fissuras e trincas a montante, possibilitando infiltrações e potencializando deslizamentos.
Execução de cortes	Cortes com inclinação e/ou altura excessiva	Possibilidade de ultrapassagem do limite natural de estabilidade do solo cortado, possibilitando deslizamentos.

Continua...

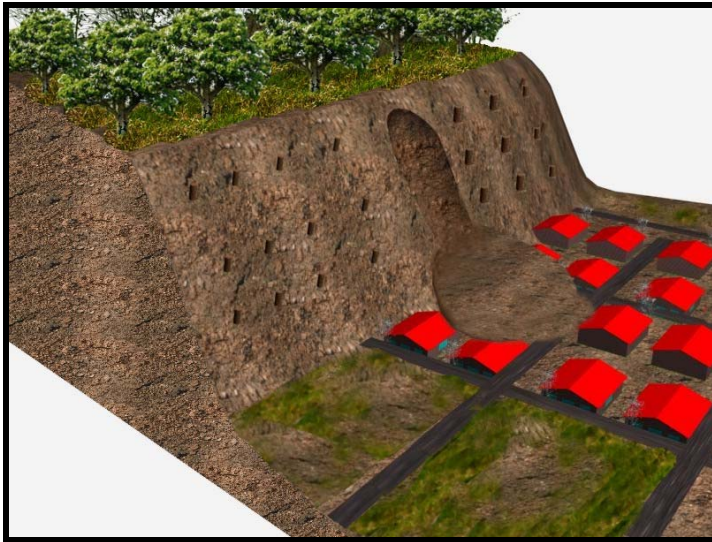
Demandas típicas da ocupação	Inadequações geotécnicas ou de infra-estrutura	Potencialização de deslizamentos
Execução de cortes	Cortes em descontinuidades de maciços	Possibilidade de deslizamentos pela quebra de situação anterior de equilíbrio de camadas de solos sobrepostas. Descontinuidades de maciços são comuns em estruturas residuais reliquiárias, manifestando-se em fraturas e em planos estruturais (xistosidades) herdados da rocha matriz. Verificam-se também em contatos solo-rocha.
	Cortes com ausência ou deficiência de proteção superficial ou drenagem	Possibilidades de deslizamentos, mesmo em declives suaves, pela saturação do solo, combinada ou não com a elevação do lençol freático. Favorecidos em terrenos com múltiplos lençóis suspensos, comuns em solos sedimentares.
	Cortes com erosões remontantes	Possibilidade de deslizamento pelo “descalçamento” do pé do talude de corte.
Execução de aterros	Aterros com fundações inadequadas	Possibilidade de deslizamentos originados pelo recalque do aterro, bastante freqüente em baixadas, principalmente durante obras. Ocorre também em aterros sobre rochas, por falta de aderência em interface não tratada adequadamente, principalmente sob ação de infiltrações d’água. Freqüente também em aterros diretamente executados sobre solo vegetado ou surgência d’água. Pode ocorrer também em aterros à meia-encosta, por excesso de carga.
	Deficiências do corpo de aterro propriamente dito	Deslizamentos devido à deficiência ou ausência de compactação ou à adoção de características geométricas (altura e/ou inclinação) inadequadas ao tipo de solo.
	Inadequações em aterros sobre linhas de drenagem	Necessários na implantação de vias para transportes de vales, em entalhes de encostas, os aterros devem possibilitar a travessia das águas, o que normalmente se consegue através de galerias. A não execução de galerias, ou seu subdimensionamento, ou ainda sua obstrução (acúmulo de lixo, entulho e demais materiais provenientes de montante) podem facilmente induzir a ocorrência de deslizamentos nos aterros.

Continua...

Demandas típicas da ocupação	Inadequações geotécnicas ou de infra-estrutura	Potencialização de deslizamentos
	Deficiências ou ausência de drenagens internas e superficiais e de proteção superficial	Taludes de aterro normalmente requerem sistemas de drenagem interna e superficial para estabilidade (filtros-dreno, escada d'água e canaletas de pé e de crista etc). A não adoção destes dispositivos ou sua concepção ou manutenção deficiente podem possibilitar deslizamentos ou ações erosivas mais pronunciadas, capazes de evoluir para deslizamentos. A ausência ou deficiência de proteção superficial (por vegetação ou outro sistema) expõe também os taludes a erosões e a deslizamentos.
Concentração de águas pluviais	Deficiência de concepção ou ausência se sistema de drenagem	Concentrações de fluxos e lançamentos de água pluviais podem causar deslizamentos ou erosões que evoluem para deslizamento tanto em taludes naturais quanto em taludes de corte e aterro.
Lançamento de águas servidas	Ausência de redes de esgotamento sanitário	Infiltrações contínuas de água, tendendo a saturar o solo e participando da elevação da carga piezométrica, principalmente quando somadas a chuvas, tendem a propiciar deslizamentos.
Tubulações de água e de esgotos	Vazamentos	Saturação do solo e/ou criação de fluxos subterrâneos, favorecendo deslizamentos.
Fossas negras ou sépticas	Ausência de redes de esgotamento sanitário	Saturação do solo e/ou criação de fluxos subterrâneos, favorecendo deslizamentos. Particularmente perigosas nas proximidades de taludes de corte ou aterro. Riscos de deslizamentos crescentes, de acordo com o número de fossas presentes.
Lançamento de lixo e entulho	Ausência ou deficiência de coleta de lixo e entulhos e/ou deficiências de educação ambiental	A massa heterogênea constituída pelos detritos e refugos com reduzidos parâmetros de resistência, é capaz de armazenar grande quantidade de água durante as chuvas e instabiliza-se, afetando ainda a estabilidade de porções variáveis do terreno de base.

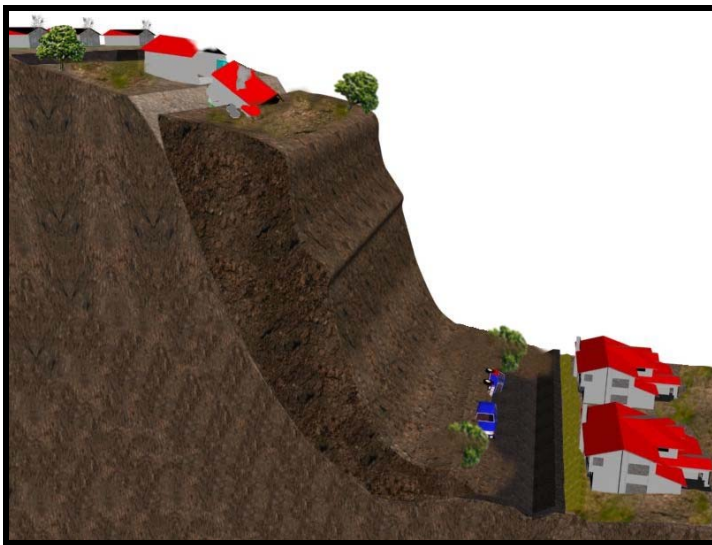
Quadro 2.1 - Demandas típicas da ocupação urbana em encostas, inadequações geotécnicas e/ou de infra-estrutura e potencialização de deslizamentos (FARAH, 2003).

As Figuras 2.1 a 2.6, adaptadas do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (2004) mostram cenários instáveis decorrentes de ocupações desordenadas, que proporcionam a ocorrência de deslizamentos de encostas.



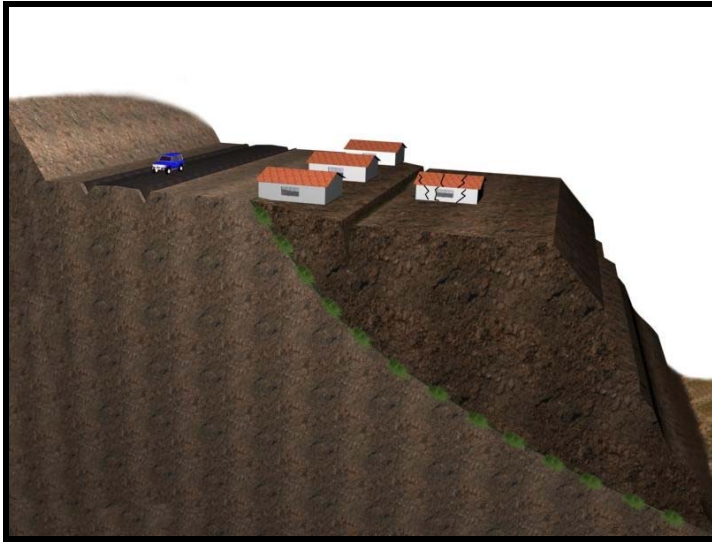
- Remoção da cobertura vegetal do corpo do talude, deixando o local susceptível à erosão;
- Construção das edificações próximas à base do talude;
- Se houver presença de bananeiras deve-se tomar cuidado por esse cultivo favorecer a infiltração da água ter uma alta demanda hídrica.

Figura 2.1 – Deslizamento



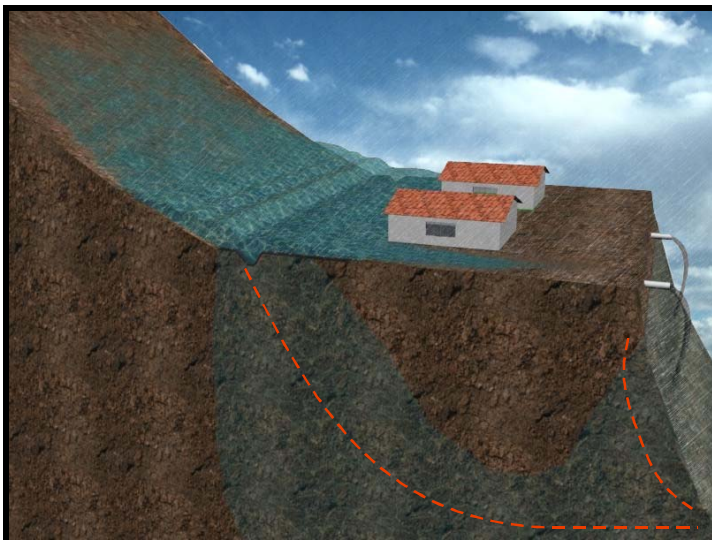
- Altura excessiva do talude;
- Inclinação excessiva do talude;
- Ausência de drenagem;
- Remoção da vegetação.

Figura 2.2 – Corte irregular



- Lançamento do aterro sobre a vegetação;
- Ausência de preparo da base para lançamento do aterro;
- Geração de caminho preferencial para percolação da água;
- Ausência de drenagem.

Figura 2.3 – Aterro mal executado



- Canaleta subdimensionada e/ou entupida;
- Ausência de separação entre águas pluviais e águas servidas;
- Lançamento do esgoto sobre o corpo do talude.

Figura 2.4 – Infiltração

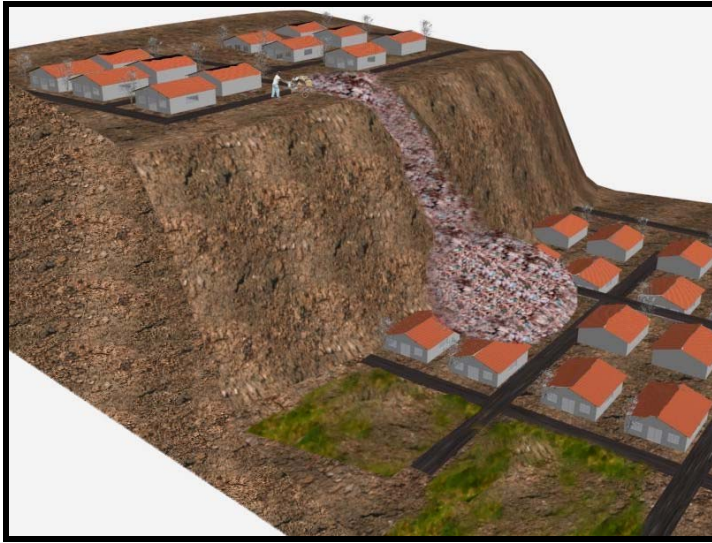


Figura 2.5 – Despejo irregular de lixo

- Despejo do lixo em local inadequado;
- Acúmulo de lixo próximo ao talude aumentando significativamente a sobrecarga sobre o mesmo;
- Ausência de cobertura vegetal no corpo do talude.

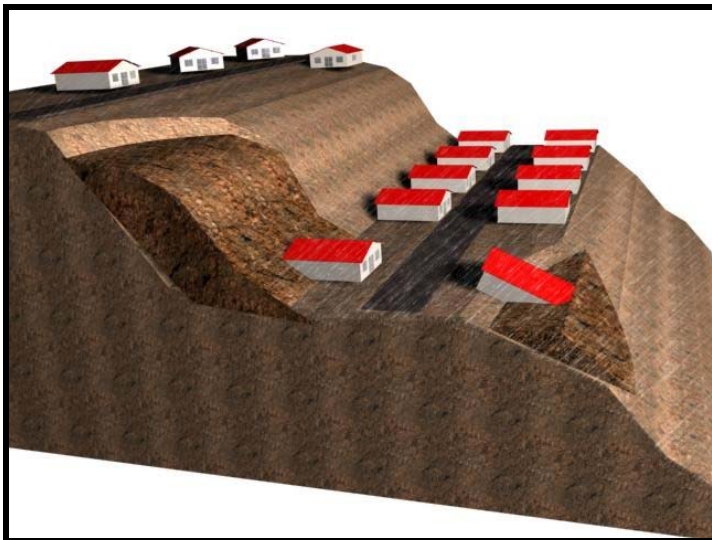
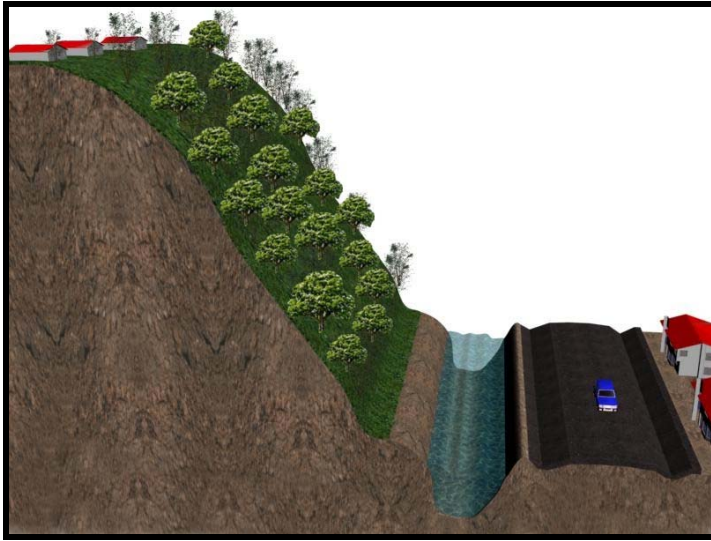


Figura 2.6 – Deslizamento em corte e aterro

- Ausência de drenagem;
- Remoção da cobertura vegetal do corpo do talude;
- Altura excessiva do corte e do aterro;
- Inclinação excessiva do corte e do aterro.

A evolução da ocupação desordenada em uma encosta pode ser dividida em quatro etapas: ocupação coerente, ocupação inadequada, ocorrência de desastre e recuperação. As Figuras 2.7 a 2.10 apresentam as etapas de uma ocupação inadequada.

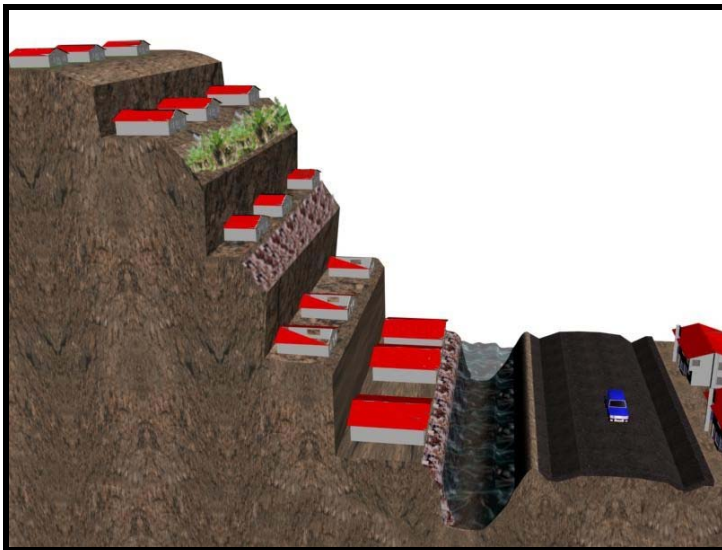
ETAPA 1 – Ocupação coerente



- Altura coerente do talude;
- Inclinação coerente do talude;
- Presença de cobertura vegetal;
- Ausência de erosão;
- Margens do corpo d'água estabilizadas;
- Ausência de sujeira no corpo d'água;
- Ausência de assoreamento no corpo d'água.

Figura 2.7 – Ocupação coerente

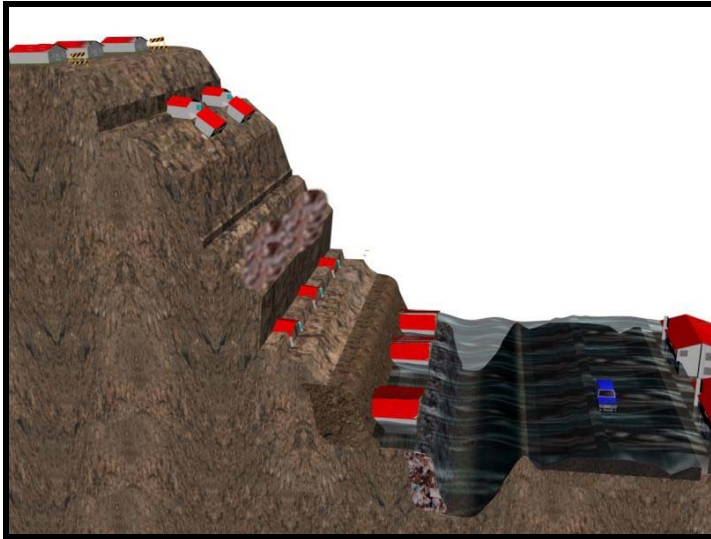
ETAPA 2 – Ocupação inadequada



- Retirada da cobertura vegetal;
- Realização de cortes com altura irregular;
- Realização de cortes com inclinação irregular;
- Ausência de contenção nos cortes;
- Cultivo de bananeiras;
- Presença de fossa séptica em local impróprio;
- Acúmulo de lixo;
- Lançamento de esgoto e lixo no corpo d'água;
- Assoreamento do corpo d'água.

Figura 2.8 – Ocupação inadequada

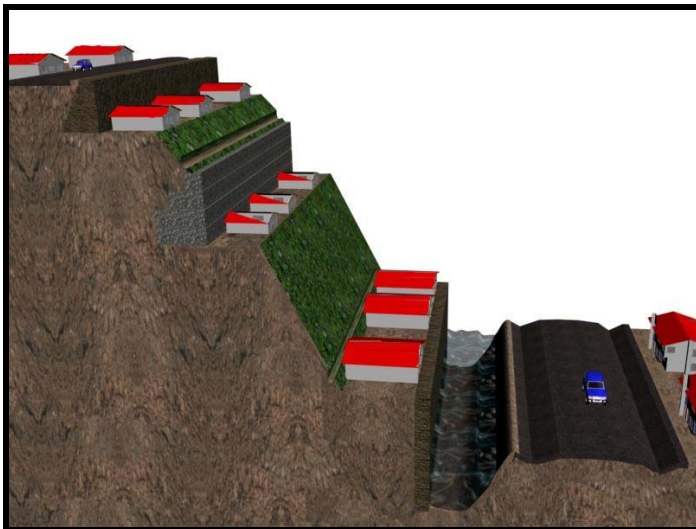
ETAPA 3 – Ocorrência de desastre



- Interdição das vias públicas;
- Desabamento de edificações;
- Exposição da população ao lixo e entulhos;
- Deslizamento de encostas;
- Soterramento de edificações;
- Inundação das vias públicas.

Figura 2.9 – Ocorrência de desastre

ETAPA 4 – Recuperação



- Execução de meio fio com canaletas;
- Execução de estruturas de contenção;
- Reposição da cobertura vegetal;
- Drenos para coleta das águas pluviais;
- Retaludamento com altura e inclinação que proporcionam estabilidade ao talude;
- Distanciamento das edificações dos cortes executados;
- Recuperação do corpo d'água;
- Proteção das margens do rio.

Figura 2.10 – Recuperação

2.2 - CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

2.2.1 - Classificação granulométrica

Com maior ênfase à agricultura, costuma-se classificar o solo pela sua distribuição granulométrica ou textura. Adota-se comumente uma divisão em três grupos texturais (areia, silte e argila), e empregam-se escalas lineares ou diagramas triangulares para fins de classificação dos solos (AZEVEDO, 1999).

A escala granulométrica é uma escala de grandeza dos diâmetros dos grãos das frações constituintes dos solos. Em geral, diferentes organizações técnico-científicas adotam escalas granulométricas específicas, como se mostra na Figura 2.11.

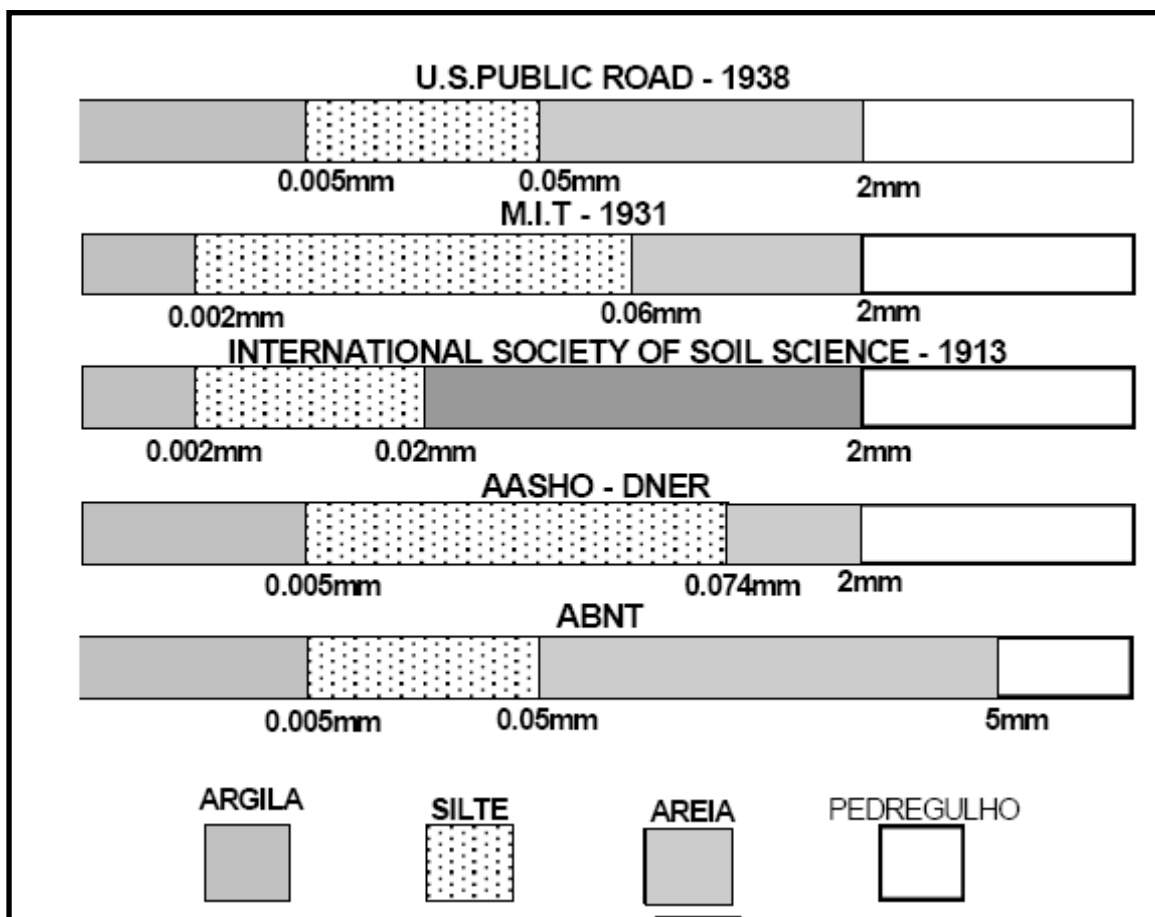


Figura 2.11 - Escalas granulométricas comumente adotadas em geociências (VARGAS, 1981).

Outra escala comumente adotada é o diagrama triangular. Nesta escala o solo é dividido nas três classes tradicionais, isto é, areia, silte e argila, correspondendo aos três lados

do triângulo equilátero, como se mostra na Figura 2.12. Cada lado é subdividido em segmentos que representam as porcentagens de 0 a 100 de cada classe num sentido pré-estabelecido. Um ponto nesse diagrama determinado pelas coordenadas triangulares das porcentagens das várias frações fornece a classificação do solo (AZEVEDO, 1999).

Cabe ressaltar que a utilização das classificações granulométricas é, em geral, recomendada mais para os solos grossos, cujo tamanho de grão é tão grande que impede o aparecimento de propriedades correlacionadas com a plasticidade (AZEVEDO, 1999).

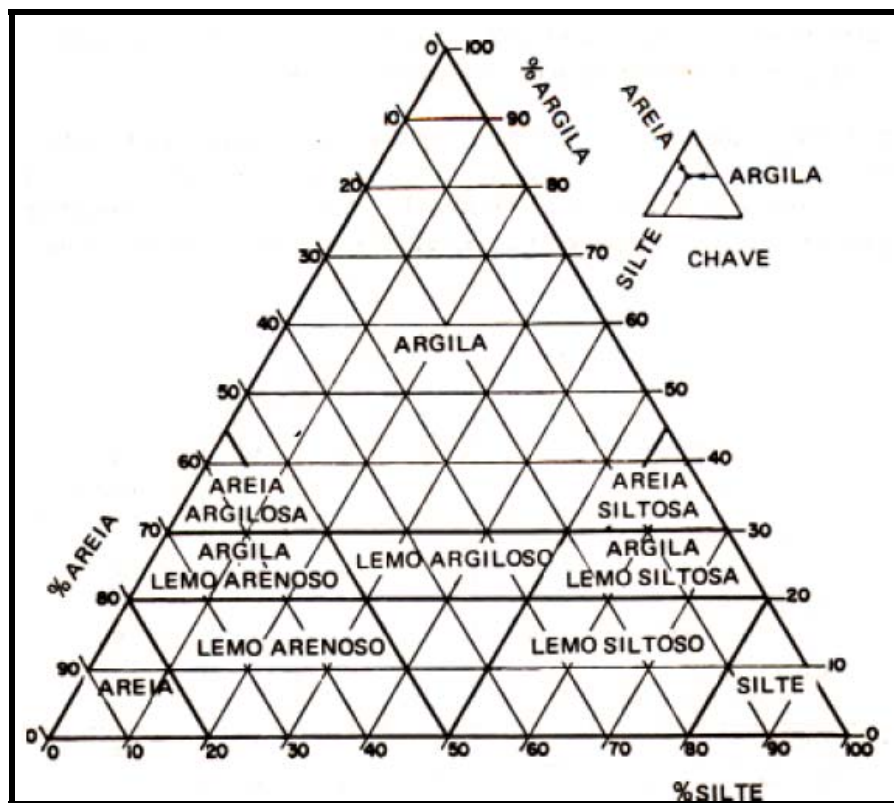


Figura 2.12 - Diagrama triangular segundo Bueno & Vilar (1980).

2.2.2 - Classificação TRB

A classificação preconizada pelo Transportation Research Board (TRB) teve por base o sistema criado nos Estados Unidos na década de 1920 pelo Public Roads Administration. Essa classificação relaciona os solos em grupos e subgrupos, de acordo com critérios de granulometria e plasticidade (ASTM, 1990).

Nesse sistema, os solos são divididos em materiais granulares e materiais siltosos e argilosos, de acordo com a quantidade de material que passa na peneira de nº 200, seja esta menor ou maior do que 35%, respectivamente. Os solos granulares compreendem os grupos A-1 subdividido em A-1-a e A-1-b), A-2 (subdividido em A-2-4, A-2-5, A-2-6 e A-2-7), e A-3. Os solos siltosos e argilosos pertencem aos grupos A-4, A-5, A-6, A-7 (subdividido em A-7-5 e A-7-6) (ASTM, 1990).

Para utilização do sistema TRB, executam-se ensaios de granulometria por peneiramento, limites de liquidez e de plasticidade, devendo-se determinar também o índice de grupo (IG) que de acordo com esta classificação, informa sobre a possível capacidade de suporte do terreno de fundação de uma estrada. Utilizam-se os dados de granulometria (curva granulométrica), limite de liquidez, índice de plasticidade para obter-se o grupo ao qual o solo ensaiado pertence (ASTM, 1990).

Essa classificação possui limitações quando aplicada em regiões de clima tropical devido às peculiaridades já mencionadas dos solos recorrentes nessas regiões.

2.3 – PROCESSOS ATUANTES NAS ENCOSTAS

2.3.1 – Erosão

A erosão foi um dos fatores mais importantes que causaram a queda das primeiras civilizações e impérios, cujas cidades arruinadas estão agora como despojos estéreis das terras mais férteis do mundo. Os desertos do Norte da China, Pérsia (Irã), Mesopotâmia e Norte da África, contam todos a mesma história do gradual esgotamento do solo à medida que as exigências crescentes, relativamente a ele, pela progressiva civilização, excediam seu poder recuperativo. A decadência do Império Romano também pode ser contada como uma história de desflorestamento do solo e da erosão (MIRANDA, 2005).

Erosão é o conjunto de processos geológicos que implicam na retirada e transporte do material solto (solo e regolito) da superfície do terreno, provocando o desgaste do relevo. Os principais agentes de transporte são: água; vento e gelo. O material transportado recebe o

nome de sedimento e vai dar origem aos depósitos aluvionares e às rochas sedimentares (DICIONÁRIO LIVRE DE GEOCIÊNCIAS, 2007).

Segundo Guerra (2005) o processo erosivo causado pela água das chuvas tem abrangência em quase toda a superfície terrestre, em especial nas áreas com clima tropical onde os totais pluviométricos são bem mais elevados do que em outras regiões do planeta. Além disso, em muitas dessas áreas as chuvas concentram-se em certas estações do ano, o que agrava ainda mais a erosão.

Segundo Guerra (2003) a erosão dos solos é um processo que ocorre em duas fases: uma que constitui a remoção (*detachment*) de partículas, e outra que é o transporte desse material, efetuado pelos agentes erosivos. Quando não há energia suficiente para continuar ocorrendo o transporte, ocorre a deposição desse material transportado, que é a terceira fase.

Os processos resultantes da erosão pluvial estão intimamente relacionados aos vários caminhos tomados pela água da chuva na sua passagem através da cobertura vegetal e ao seu movimento na superfície do solo. A erosão ocorre a partir do momento em que as forças que removem e transportam materiais excedem aquelas que tendem a resistir à remoção.

De acordo com Infanti Jr. & Fornasari Filho (1998) em geral, distingue-se duas formas de abordagem para os processos erosivos: erosão natural ou geológica – é aquela que se desenvolve em condições de equilíbrio com a formação do solo, e erosão acelerada ou antrópica - cuja intensidade é superior à da formação do solo, não permitindo a sua recuperação natural.

2.3.1.1 Processos erosivos

Segundo Guerra (2003) o ciclo hidrológico (Figura 2.13) é o ponto de partida do processo erosivo. Durante um evento chuvoso parte da água cai diretamente no solo, ou porque não existe vegetação, ou porque, a água passa pelos espaços existentes na cobertura vegetal. Parte da água da chuva é interceptada pela copa das árvores, sendo que parte dessa água interceptada volta à atmosfera, por evaporação, e outra parte chega ao solo, ou por gotejamento das folhas, ou escoando pelo tronco. A ação das gotas de chuva diretamente ou por meio do gotejamento das folhas causa a erosão por salpicamento (*splash*). A água que

chega ao solo pode ser filtrada ou armazenada em pequenas depressões, aumentando a umidade do solo e abastecendo o lençol freático. Quando o solo não consegue mais absorver água o excesso começa a se mover em superfície ou subsuperfície, podendo provocar erosão, através do escoamento.

Para se compreender melhor a erosão, dividiu-se os principais processos controladores deste fenômeno, levando-se em consideração as características relativas à infiltração, armazenamento e geração de *runoff*; como se dá o escoamento superficial e subsuperficial, bem como os processos de *piping* e *splash*.

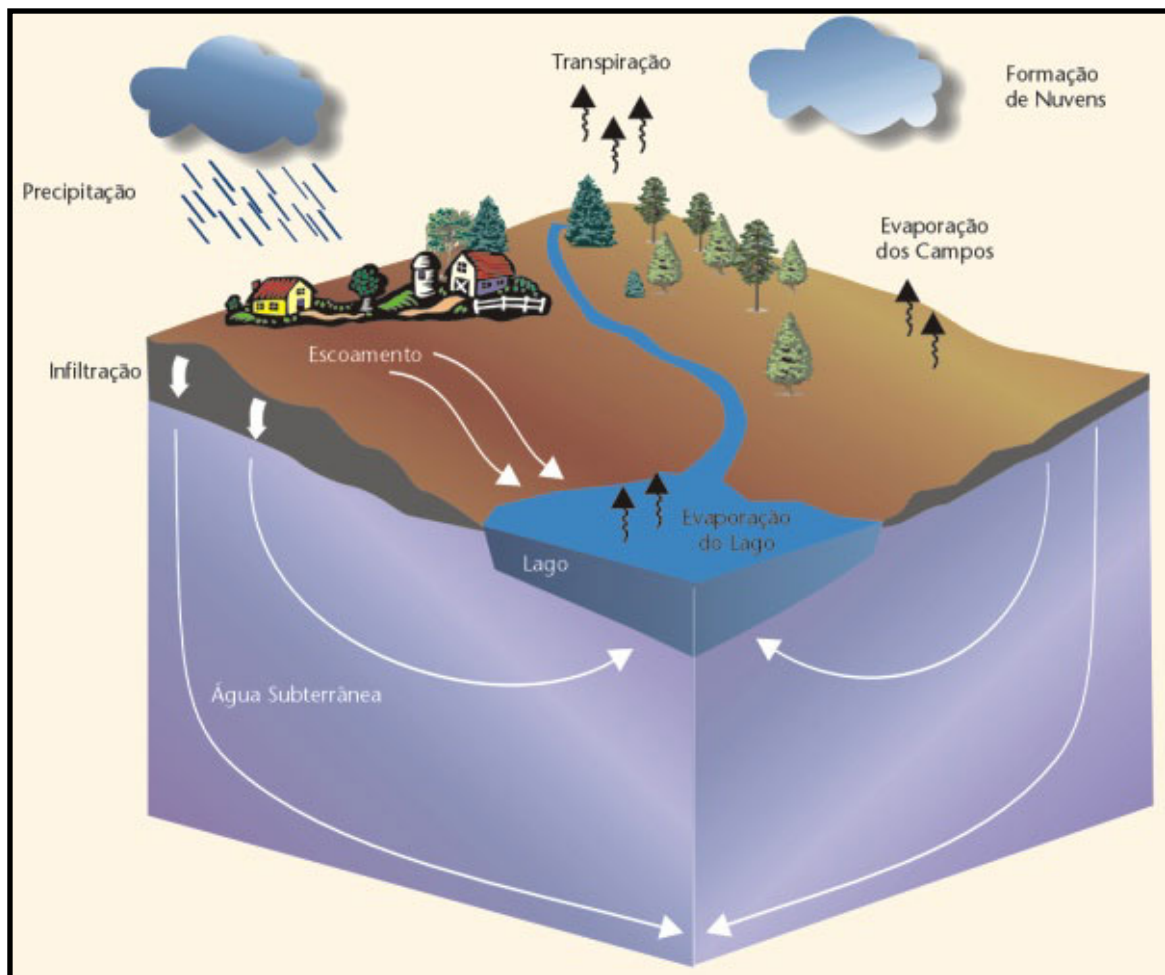


Figura 2.13 – Ciclo Hidrológico disponível em <http://e-geo.ineti.pt/geociencias>. Acesso dia 09/10/2007.

Infiltração, Armazenamento e Geração de Runoff

Segundo Morgan (1986) a taxa de infiltração é o índice que mede a velocidade com que a água da chuva infiltra no solo.

Segundo Guerra & Cunha (1996) essa água infiltra no solo por força da gravidade e capilaridade e cada partícula do solo é envolvida por uma fina película de água. Durante um evento chuvoso, os espaços entre as partículas são preenchidos por água e as forças capilares decrescem. Conseqüentemente, as taxas de infiltração são mais rápidas no começo da chuva e diminuem até atingir o máximo que o solo pode absorver. Essa taxa máxima é a capacidade de infiltração, que corresponde à condutividade hidráulica saturada do solo. Acredita-se que é a condutividade hidráulica real da zona molhada que controla a capacidade de infiltração, que é geralmente um pouco mais baixa do que a condutividade hidráulica saturada, pois existe sempre um pouco de ar nos poros dos solos (GUERRA, 2003).

Segundo Guerra (2003) as taxas de infiltração podem variar num mesmo local em função de diferenças de estrutura ao longo do perfil, diferenças em graus de compactação e teor de umidade antecedente.

O armazenamento da água da chuva que chega ao solo pode ser influenciado pelas propriedades do solo, características das chuvas, tipo de cobertura vegetal, uso e manejo do solo, características das encostas e microtopografia do terreno (GUERRA, 2005).

Segundo Carvalho et al. (2006) o *runoff* (escoamento superficial) está diretamente relacionado com as condições de infiltração da água do solo. De acordo com Guerra (2003) se a intensidade da chuva for menor do que a capacidade de infiltração do solo não haverá *runoff*. Porém, se a intensidade da chuva exceder a capacidade de infiltração, ocorrerá *runoff*.

Guerra (2003) relata que a comparação entre intensidade da chuva e capacidade de infiltração nem sempre se aplica. Em certos casos, o fator controlador da produção do *runoff* é o teor limitante de umidade dos solos, que resulta no encharcamento dos mesmos. De acordo com Guerra (2005) à medida que a umidade aumenta vai dificultando a ação da infiltração, resultando na saturação e conseqüentemente, na formação de poças.

Segundo Guerra (2005) as formações de poças ocupam as irregularidades existentes na superfície e se interligam uma vez que essas irregularidades estejam preenchidas por água. Nesse momento inicia-se o *runoff*, que a principio é difuso, podendo tornar-se concentrado à medida que o processo tenha continuidade espacial e temporal.

Escoamento superficial

Segundo Guerra (2003) o escoamento superficial ocorre durante um evento chuvoso, quando a capacidade de armazenamento de água no solo é saturada, podendo ocorrer quando a capacidade de infiltração for excedida. O fluxo que escoar sobre o solo se apresenta quase sempre como uma massa de água com pequenos cursos anastomosados e raramente na forma de um lençol de água de profundidade uniforme. Esse fluxo de água tem que transpor vários obstáculos, que podem ser fragmentos rochosos e cobertura vegetal, os quais fazem diminuir sua energia. O aumento da energia ocorre quando há interação entre o fluxo de água e as gotas de chuva que caem sobre esse fluxo.

De acordo com Morgan (1986) os trabalhos sobre transporte de partículas do solo em fluxos não canalizados e rasos têm indicado que apenas uma parte dos sedimentos é transportada em suspensão, e que os mais grosseiros e os agregados são transportados como carga de fundo. A quantidade de perda de solo resultante do escoamento superficial depende da velocidade e turbulência do fluxo.

Segundo Horton (1945) durante o pico de um evento chuvoso o escoamento superficial recobre dois terços ou mais das encostas de uma bacia de drenagem. Para o referido autor, o fluxo resulta da intensidade ser maior do que a capacidade de infiltração do solo e é distribuído da seguinte maneira na encosta: o topo da encosta é uma zona sem fluxo que forma uma área sem erosão; a uma distância crítica do topo, ocorre o acúmulo suficiente de água, onde o fluxo começa; um pouco mais abaixo, na encosta, a profundidade do fluxo aumenta, e ele se torna canalizado formando ravinas.

Horton (1945) diz que a evolução das ravinas baseia-se no fato de que quando a precipitação excede a capacidade de infiltração do solo inicia-se o escoamento superficial. A água acumula-se em depressões na superfície do solo e começa a descer a encosta através de

um lençol que pode evoluir para uma ravina. Nesse processo o fluxo passa a ser linear, evolui para microravinas, e depois para microravinas com cabeceira. Ao mesmo tempo em que essa evolução vai se estabelecendo na superfície do terreno, pode ocorrer o desenvolvimento de bifurcações, através dos pontos de ruptura das ravinas.

Escoamento subsuperficial

O escoamento subsuperficial, além de controlar o intemperismo, afeta diretamente a erodibilidade dos solos através de suas propriedades hidráulicas, influenciando o transporte de minerais em solução. A ocorrência do escoamento subsuperficial quando em fluxos concentrados em túneis ou dutos possui efeitos erosivos, que podem provocar o colapso da superfície resultando na formação de voçorocas (Figura. 2.14) (GUERRA, 2003).

Segundo Oliveira (2005) ravinas e voçorocas podem ser consideradas como incisões que resultam da tendência de sistemas naturais a atingir um estado de equilíbrio entre energia disponível e eficiência do sistema em dissipar energia. Quando um sistema natural (encosta, bacia hidrográfica, etc.) não é eficiente para dissipar a energia disponível, o sistema se adapta de forma a atingir um novo estado de equilíbrio. No caso dos solos, tanto a mudança na quantidade de energia disponível (intensidade e frequência de precipitações, teor de umidade dos solos, etc.) quanto à alteração das características do sistema (uso do solo, cobertura vegetal, grau de estruturação, etc.) podem levar a uma situação de desequilíbrio entre a energia disponível e capacidade de dissipação de energia.



Figura 2.14 – Voçoroca provocada pelo escoamento subsuperficial no município de Ipatinga.

Piping

Segundo Guerra (2003) os dutos (*piping*) ou túneis são grandes canais abertos em subsuperfície, com diâmetros que variam de poucos centímetros até vários metros. O processo de formação desses dutos está relacionado ao próprio intemperismo, sob condições especiais geoquímicas e hidráulicas, havendo a dissolução e carreamento de minerais em subsuperfícies.

De acordo com Bertoni & Lombardo Neto (1990) o *piping* ocorre quando a água da superfície se movimenta dentro do solo até encontrar uma camada menos permeável, arrastando as partículas finas nas camadas mais porosas.

Splash

A erosão por *splash*, também conhecida no Brasil como erosão por salpicamento, ocorre basicamente como um resultado das forças causadas pelo impacto das gotas de chuva. Uma gota de chuva quando bate em um solo molhado remove partículas que estão envolvidas por uma película de água. A gota descreve uma curva parabólica que se move lateralmente mais ou menos quatro vezes a altura do deslocamento. O *splash* ocorre tanto para baixo como

para cima de uma encosta, mas quase sempre as partículas são transportadas para baixo três vezes mais distante do que para cima. Além das partículas serem transportadas pelo impacto causado pelas gotas de chuva, algumas são deslocadas pelo choque proporcionado por sedimentos que se batem uns contra os outros (GUERRA, 2003).

Segundo Guerra (2005) a erosão por *splash* é o estágio inicial do processo erosivo, pois prepara as partículas que compõe o solo, para serem transportadas pelo escoamento superficial.

2.3.1.2 – Fatores controladores da erosão

Segundo Guerra (2003) os fatores controladores da erosão são aqueles que determinam as variações nas taxas de erosão (erosividade da chuva, propriedades do solo, cobertura vegetal e características das encostas). É por causa da interação desses fatores que certas áreas erodem mais do que outras. A intervenção do homem pode alterar esses fatores e conseqüentemente, apressar ou retardar os processos erosivos.

Erosividade da chuva

Segundo Infanti Jr. & Fornasari Filho (1998) erosividade é o índice que expressa a capacidade da chuva provocar erosão.

Embora a definição seja simples, segundo Guerra (2003) a determinação do potencial erosivo da chuva é assunto muito complexo, porque depende em especial, dos parâmetros de erosividade e também das características das gotas de chuva, que variam no tempo e no espaço.

Segundo Moreira & Pires Neto (1998) a mecânica da erosão pelas chuvas deve-se à combinação do tamanho e da velocidade das gotas de chuva com a duração das precipitações e a velocidade do vento. Quando as gotas de chuva atingem o solo, deslocam grãos e agregados, que podem então ser carregados pelo escoamento superficial ou pelo vento. A velocidade terminal das gotas de chuva é função do seu tamanho: quanto maiores, maior a velocidade.

O *momentum* ou quantidade de movimento de uma gota, que é o produto entre sua massa e sua velocidade, é relacionado com a desagregação de partículas do solo e considerado como uma boa medida para a erosividade da chuva, uma vez que é uma medida de força por unidade de área (MOREIRA & PIRES NETO, 1998).

Conforme Moreira & Pires Neto (1998) a energia cinética, que é a energia do número total de gotas em chuvas de determinada intensidade, é freqüentemente considerada como o parâmetro mais importante para determinação da erosividade.

Segundo Guerra (2003) os parâmetros abordados têm sido utilizados com maior ou menor freqüência para prever perda de solo, mas na realidade, devem ser considerados juntamente com outras variáveis que também afetam o processo erosivo.

A avaliação do histórico de chuvas apresenta-se como papel importante na avaliação dos movimentos gravitacionais de massa. Segundo Elbachá et al. (1992) estes movimentos tendem a ocorrer quando o ciclo de chuva apresenta altos valores acumulados. No estudo obteve-se que para a cidade de Salvador, BA, a influência nos escorregamentos é de quatro dias acumulados de precipitação.

Propriedades do solo

As propriedades do solo, juntamente com outros fatores são de grande importância para determinar a maior ou menor susceptibilidade à erosão (GUERRA, 2003).

Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1985) entre as principais propriedades que conferem a maior ou menor resistência à ação erosiva das águas destacam-se: a textura, a estrutura e a permeabilidade.

De acordo com Infanti Jr. & Fornasari Filho (1998) a textura, ou seja, o tamanho das partículas influi na capacidade de infiltração e absorção de água chuva, interferindo no potencial de enxurradas no solo e também na maior ou menor coesão entre as partículas. Assim, solos de textura arenosa são normalmente porosos, permitindo rápida infiltração das chuvas e dificultando o escoamento superficial; entretanto, como possuem baixa proporção de

partículas argilosas, apresentam maior facilidade para a erosão, que se verifica mesmo em pequenas enxurradas.

Segundo Infanti Jr. & Fornasari Filho (1998) a estrutura, ou seja, o modo como se arranjam as partículas do solo, influi na capacidade de infiltração e absorção da água da chuva e na capacidade de arraste de partículas do solo. A permeabilidade determina a maior ou menor capacidade de infiltração das águas de chuva, estando diretamente relacionada com a porosidade do solo. Em geral, os solos arenosos são mais permeáveis que os solos argilosos, por serem mais porosos. Entretanto, segundo Salomão & Iwasa (1972) em alguns casos, dependendo da estruturação do solo, solos argilosos podem se apresentar mais porosos e até mais permeáveis que solos arenosos.

Cobertura vegetal

Segundo Guerra (2003) os fatores relacionados à cobertura vegetal podem influenciar os processos erosivos de várias maneiras. Dentes elas: os efeitos espaciais da cobertura vegetal, os efeitos na energia cinética da chuva, e o papel da vegetação na formação de húmus, que afeta a estabilidade e teor de agregados.

A densidade da cobertura vegetal é fator importante na remoção de sedimentos, no escoamento superficial e na perda de solo. O tipo e percentagem de cobertura vegetal podem reduzir os efeitos dos fatores erosivos naturais. A cobertura vegetal pode também reduzir a quantidade de energia que chega ao solo durante uma chuva e dessa forma, minimiza os impactos das gotas, diminuindo a formação de crostas no solo, reduzindo a erosão. A cobertura vegetal em uma floresta pode atuar de duas maneiras: primeiro reduzindo o volume de água que chega ao solo, através da interceptação, e, segundo, alterando a distribuição do tamanho das gotas, afetando, com isso, a energia cinética da chuva (GUERRA, 2003).

A cobertura vegetal, além de influenciar na interceptação das águas da chuva, atua também de forma direta na produção de matéria orgânica, que por sua vez, atua na agregação das partículas constituintes do solo. Além disso, as raízes podem ramificar-se no solo e, assim, ajudar na formação de agregados. Essas raízes atuam mecanicamente e ao se decompor fornecem húmus, aumentando a estabilidade dos agregados do solo. Dessa forma, a

estabilidade pode reduzir as taxas erosivas, uma vez que as partículas do solo são mantidas juntas e conseqüentemente, com maior resistência ao cisalhamento (GUERRA, 2003).

Características das encostas

Segundo Guerra (2003) os fatores relativos às encostas podem afetar a erodibilidade dos solos de diferentes maneiras: por meio da declividade, do comprimento e da forma da encosta.

A perda total de solo representa uma combinação da erosão por ravinamento causada pelo *runoff* (escoamento), juntamente com a erosão entre ravinas (*interrill*), causada pelo impacto das gotas de chuva. Esses processos são influenciados pela declividade das encostas devido ao efeito na velocidade do *runoff* (HADLEY et al., 1985).

Segundo Morgan (1986) em encostas muito íngremes a erosão pode diminuir devido ao decréscimo de material disponível. Luk (1979) concluiu após estudos realizados em solos na região de Alberta (Canadá), que os solos com maior erodibilidade eram aqueles situados em encostas com 30° de declividade. Assim, segundo Guerra (2003) a declividade das encostas não deveria ser analisada separadamente, mas sim em conjunto com as características da superfície do solo que, igualmente, afetam a remoção do solo e a quantidade de *runoff*.

Para Bertoni & Lombardi Neto (1985) o comprimento da rampa é um dos mais importantes fatores na erosão do solo, pois com o aumento do comprimento da rampa, ocorre um aumento no volume de escoamento superficial, produzindo um aumento na intensidade de erosão, principalmente sob a forma de sulcos.

A forma das encostas é outro fator que tem papel importante na erodibilidade dos solos. Hadley et al. (1985) destaca que a forma das encostas pode ser mais importante do que a declividade, na erosão dos solos.

Segundo Rodrigues (1982) o desenvolvimento de erosão por voçoroca ocorre principalmente em encostas convexas coletoras e secundariamente, em encostas convexas dispersoras, portanto, são menos propensas à erosão por voçoroca as encostas côncavas

(dispersoras e coletoras). A classificação das formas de encostas de Troeh (1965) foi utilizada por Rodrigues (1982) conforme a figura 2.15.

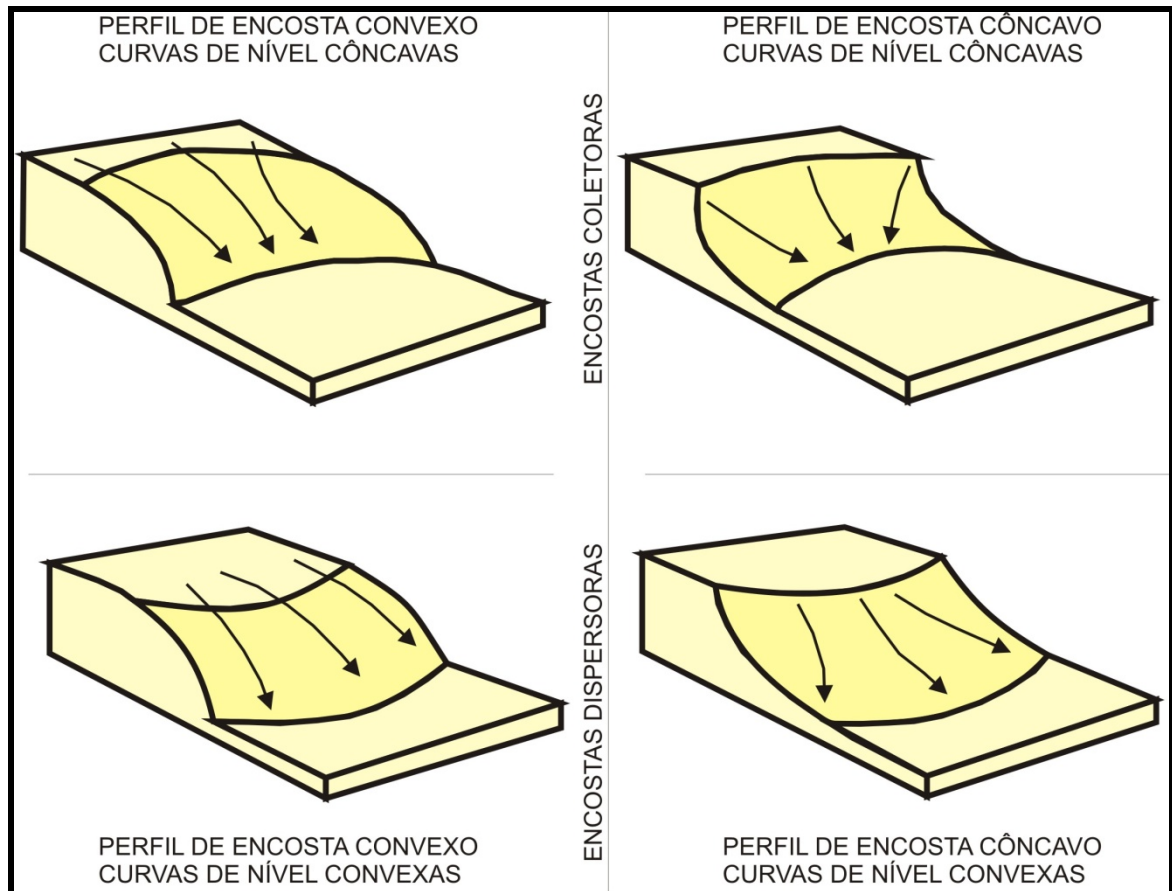


Figura 2.15 – Classificação das formas de encostas adaptada de Troeh (1965).

2.4 – MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

Os primeiros estudos sobre movimentos de massa, segundo Augusto Filho & Virgili (1998) remontam a mais de 2000 anos em países como China e Japão. A análise e o controle de instabilizações de taludes e encostas têm seu amplo desenvolvimento com as grandes obras civis modernas, em paralelo à consolidação da Engenharia e da Geologia de Engenharia.

Segundo Amaral (2007) as classificações de movimentos gravitacionais de massa são baseadas em alguns fatores:

- Material Geológico: rocha, solo, litologia, estruturas, propriedades geotécnicas;

- Atributos Geomórficos: *landforms*, declividade;
- Geometria dos deslizamentos: profundidade, longitude, altura;
- Tipo de movimento: queda, escoamento, escorregamento, tombamento, etc.
- Clima: tropical, periglacial, etc.
- Umidade: seco, molhado, saturado
- Velocidade do movimento: muito lento, lento, moderado, rápido, muito rápido.
- Tipo de deflagrador: terremotos, chuvas, fluviais.

De acordo com Infanti Jr. & Fornasari Filho (1998) as paisagens compreendem vertentes ou encostas com declividades e formas muito variadas. As mudanças de forma dessas encostas estão relacionadas aos processos dominantes de intemperismo, erosão e escorregamentos.

Hutchinson (1988) relata que a diversidade de fatores que interferem no processo de movimentos gravitacionais de massa resulta numa variedade de tipos e processos que impossibilitam uma total discretização de tipos na classificação, assim, ele propôs uma classificação quanto estes movimentos (Quadro 2.2). Tem-se no Quadro 2.2 a inserção de outras metodologias segundo Oliveira (2004).

**Classificação de movimentos sub-aéreos em encostas
(OLIVEIRA, 2004 – adaptado de HUTCHINSON, 1988)**

Elevações (<i>rebounds</i>):	1. Escavações feitas pelo homem;
	2. Erosão natural de vales.

Continua...

**Classificação de movimentos sub-aéreos em encostas
(OLIVEIRA, 2004 – adaptado de HUTCHINSON, 1988)**

Subsidências
(FREIRE, 1965 apud
WOLLE, 1980):

1. Subsidência propriamente dita;
2. Recalques;
2. Desabamentos.

1. Abatimento simples, de uma das vertentes de uma montanha, associado com os estágios iniciais de um escorregamento:

(a) Rotacional (essencialmente circular),
R-depressão;

(b) Composto - lítricas (CL);
(marcadamente não circular), C-depressão:

Rastejos (*creep*):

- bi-planar (CB).

2. Abatimento duplo, de duas vertentes de uma montanha, associado com os estágios iniciais de um duplo escorregamento, causa um alargamento do topo da montanha:

(a) Rotacional (essencialmente circular),
DR-depressão;

(b) Composto - lítricas (DCL);
(marcadamente não circular):

- bi-planar (DCB).

3. Abatimento associado com múltiplos tombamentos,
T-depressão.

Escorregamentos
(*slumping*) e
Deslizamentos (*sliding*):

1. Rupturas confinadas:

(a) Em encostas naturais;

Continua...

Classificação de movimentos sub-aéreos em encostas
(OLIVEIRA, 2004 – adaptado de HUTCHINSON, 1988)

(b) em taludes artificiais.

2. Escorregamentos rotacionais: (a) Escorregamentos rotacionais simples;

(b) Escorregamentos rotacionais sucessivos;

(c) Escorregamentos rotacionais múltiplos.

3. Escorregamentos compostos (marcadamente não circulares com superfície de ruptura lítrica ou biplanar): (a) Escorregamentos deflagrados por cisalhamento interno contra a parte posterior: - Quando a massa escorregada é moderadamente a pouco frágil;

- Quando a massa escorregada é muito frágil;

(b) Escorregamentos progressivos compostos, envolvendo um escorregamento rotacional na parte posterior e escorregamento translacional frontal.

4. Escorregamentos translacionais ou deslizamentos (*sliding*): (a) Escorregamentos laminares;

(b) Escorregamentos em placas;

(c) Escorregamentos em turfa;

Continua...

**Classificação de movimentos sub-aéreos em encostas
(OLIVEIRA, 2004 – adaptado de HUTCHINSON, 1988)**

		(d) Escorregamentos em rochas:	- escorregamentos planares; - escorregamentos de blocos; - escorregamentos em degraus;
<hr/>			
			- escorregamentos em cunhas.
		(e) Escorregamentos de detritos:	- escorregamentos de detritos; avalanches de detritos (não-periglaciais); -escorregamentos de camadas ativas (periglaciais); - rupturas repentinas com espraiamento.
Movimentos de detritos na forma de escoamentos:	1. Escoamentos de lama (não-periglaciais):	(a)	Lâminas superficiais;
		(b)	Lóbulos (lobulares ou alongados).
	2. Escoamentos de lama periglaciais (liquefação de argilas):	(a)	Lâminas superficiais;
		(b)	Lóbulos (lobulares ou alongados, ativos e reliquiares).
	3. Escoamentos após escorregamentos:	(a)	em materiais soltos sem coesão;

Continua...

Classificação de movimentos sub-aéreos em encostas
(OLIVEIRA, 2004 – adaptado de HUTCHINSON, 1988)

(b) em siltes fracamente cimentados e bastante porosos;

(c) em rochas frágeis bastante porosas.

4. Corridas de detritos, escoamentos de detritos saturados em grande a extrema velocidade: (a) envolvendo detritos de rochas intemperizadas (exceto em vulcões): - corridas de detritos em encostas;

- corridas de detritos canalizadas;

- corridas de lama; corridas de lama e fragmentos de rocha.

(b) envolvendo turfa; escoamento em pântanos; ruptura em pântanos.

(c) associados a vulcões; lahars: - lahars quentes; - lahars frios.

5. *Sturzstroms*, escoamentos extremamente rápidos de detritos secos, avalanches de fragmentos de rocha.

Tombamentos:

1. Tombamentos limitados por descontinuidades pré-existentes: (a) Tombamentos simples;

(b) Tombamentos múltiplos.

Continua...

Classificação de movimentos sub-aéreos em encostas
(OLIVEIRA, 2004 – adaptado de HUTCHINSON, 1988)

2. Tombamentos causados por rupturas de tração na parte posterior da massa.

Quedas (*Rockfall*):

1. Primárias - destacamentos recentes de material; quedas de solo e fragmentos de rocha.

Rolamentos (*Rolling*)

Movimentos complexos em encostas:

1. Curvatura de encostas e levantamento do fundo de vales;

2. Movimentos de encosta constituída de blocos;

3. Argilas abandonadas em penhascos;

4. Movimentos de massa colapsando em corridas de lama ou escoamentos no sopé de encostas:

(a) Escorregamentos e corridas de terra;

(b) Escorregamentos rotacionais múltiplos de argilas sensíveis;

(c) Escorregamento por degelo.

5. Escorregamentos causados por erosão devido à exfiltração;

6. Escorregamentos em múltiplas camadas;

7. Escorregamentos em múltiplos níveis.

Quadro 2.2 – Classificação sintética dos movimentos de massa subterrâneos segundo Hutchinson (1988).

O Quadro 2.3 apresenta os mecanismos de ruptura nos deslizamentos, de acordo com Infanti Jr. & Fornasari Filho (1998).

Mecanismo de ruptura	Características
Planar (translacionais)	Envolve solos superficiais, frequentemente até o contato com a rocha subjacente, alterada ou não. Também ocorrem em taludes, mobilizando solo saprolítico, saprolitos e rochas, sendo condicionados por estruturas planares desfavoráveis à estabilidade, relacionados a feições geológicas diversas (foliação, xistosidade, fraturas, falhas, etc.).
Circular (rotacionais)	Possuem superfícies de deslizamentos curvas, sendo comum a ocorrência de uma série de rupturas combinadas e sucessivas. Estão associados a aterros, pacotes de solo ou depósitos mais espessos, rochas sedimentares ou cristalinas intensamente fraturadas.
Cunha	Está associado à saprolitos e maciços rochosos, nos quais a existência de duas estruturas planares, desfavoráveis à estabilidade, condicionam o deslocamento de um prisma ao longo do eixo de intersecção destes planos. São comuns em taludes de corte ou encostas que sofreram algum tipo de desconfinamento, natura ou antrópico.

Quadro 2.3 – Mecanismos de ruptura em deslizamentos segundo Infanti Jr. & Fornasari Filho (1998).

De maneira geral, pode-se afirmar que a deflagração das instabilizações de taludes e encostas é controlada por uma cadeia de eventos, muitas vezes de caráter cíclico, que tem sua origem com a formação da própria rocha e toda sua história geológica e geomorfológica subsequente, como movimentos tectônicos, intemperismo, erosão, ação antrópica, etc. (AUGUSTO FILHO & VIRGILI, 1998).

Os Quadros 2.4 e 2.5 apresentam os principais fatores deflagradores dos movimentos de encosta, conforme Varnes (1978) e os agentes e causas dos deslizamentos, de acordo com Guidicini & Nieble (1976).

Ação	Fatores	Fenômenos naturais/antrópicos
	Remoção de massa (lateral ou da base)	- Erosão, deslizamentos
Aumento da solicitação		- Cortes

Continua...

Ação	Fatores	Fenômenos naturais/antrópicos
	Sobrecarga	- Peso da água, neve, granizo, etc. - Acúmulo natural de material (depósitos).
	Solicitações dinâmicas	- Terremotos, ondas, vulcões. etc. - Explosões, tráfego, sismos induzidos
Redução da resistência	Características inerentes ao material - textura, estrutura, geometria, etc.	- Características geomecânicas do material, estado de tensões iniciais - Intemperismo, redução da coesão, ângulo de atrito
	Mudanças ou fatores variáveis – mudanças nas características do material	- Elevação do nível de água (NA)

Quadro 2.4 – Fatores deflagradores dos movimentos de encostas (VARNES, 1978).

Agentes e causas de deslizamentos		
	Predisponentes	- Complexo geológico, complexo morfológico, complexo climático-hidrologógico, gravidade, calor solar, tipo de vegetação original
Agentes	Efetivos	Preparatórios - Pluviosidade, erosão pela água e pelo vento, congelamento e degelo, variação de temperatura, dissolução química, oscilação de nível do lençol freático, ação de animais e humana, inclusive desflorescimento.
		Imediatos - Chuvas intensas, fusão do gelo e neve, erosão, terremotos, ondas, ventos, ação do homem, outros.
	Internas	- Efeitos de oscilações térmicas. - Redução dos parâmetros de resistência por intemperismo.

Continua...

Agentes e causas de deslizamentos	
Externas	<ul style="list-style-type: none"> - Mudanças na geometria do sistema - Efeitos de vibração - Mudanças naturais na inclinação das camadas
	<ul style="list-style-type: none"> - Elevação do nível piezométrico em massas “homogêneas” - Elevação da coluna d’água em descontinuidade
Intermediárias	<ul style="list-style-type: none"> - Rebaixamento rápido do lençol freático - Erosão subterrânea retrogressiva (piping) - Diminuição do efeito de coesão aparente

Quadro 2.5 – Agentes e causas dos deslizamentos (GUIDICINI & NIEBLE, 1976).

Amaral (2007) apresentou as vantagens e desvantagens das principais classificações dos movimentos gravitacionais de massa (Quadro 2.6).

Autores	Vantagens	Desvantagens
Sharpe	Número de Processos Associação Velocidade/Geologia	Não empregável em Meios Tropicais
Terzaghi	Detalhe Das Causas Mecânicas De Escorregamentos	Enfoca Fenômenos Geológicos em Termos Meramente Mecânicos
Magalhães Freire	Detalhada Baseada Em Sharpe e Varnes	Algumas Classes de Movimentos não são Empregadas em Regiões Tropicais
Nemcok	Modelos Dos Tipos	Não Relaciona Modelo e Mecanismo
Zaruba & Mencl	Detalhada	Considera os Tipos De Movimentos Basicamente Em Função Do Tipo De Material, Tornando-se Às Condições Locais Semelhantes.

Continua...

Autores	Vantagens	Desvantagens
Varnes	Clareza Subdivisão Básica Mais Adotado Mundialmente Associação Velocidade/Geologia	Não Considera Processos Induzidos Não Apresenta Correlações
Hasegawa	Atributos Considerados	Não considera Eventos Complexos
Sassa	Baseada Em Varnes Modelos Dos Mecanismos	Condições Tectônicas e Sísmicas Diferente do Brasil
Hutchinson	Considera Natural/Induzido E Processos Correlatos Mais Completa	Classificação Completa
Yagi	Voltada Para Identificação Em Fotografia Aérea	Baseada Somente Em <i>Landforms</i>
Augusto Filho	Fácil Entendimento Fácil Classificação Em Campo	Baseada Em Eventos Ocorridos Em Uma Região Específica
Lansheng	Relações Estruturais Do Maciço	Meio Predominante Rochoso
Antoine & Giraud	Detalhamento Do Terreno Detalhamento Litoestrutural	Não Considera Eventos Complexos Não Considera Escorregamento Em Cunha

Quadro 2.6– Vantagens e desvantagens das principais classificações dos movimentos gravitacionais de massa (AMARAL, 2007).

Segundo Amaral (2007) as classificações dos movimentos de massa encontram-se agrupadas conforme a seguir:

- Classificações globais: apresentam um conjunto de características que permitem aplicação em todas as situações, como as de Varnes (1958, 1978) e Hutchinson (1988);

- Classificações adaptadas: são aquelas que mantiveram características básicas de outras e adaptaram para situações locais, como as de Freire (1965), Guidiccini & Nieble (1976) e Sassa (1985);
- Classificações básicas: são desenvolvidas com bases em condições próprias de cada área e serviram de fonte para outras modificações, como: Sharpe (1938); Zaruba & Mencl (1976); Augusto Filho (1994);
- Classificações específicas: apresentam características para aplicação em condições especiais do meio físico e/ou critérios específicos, como as de Nemcok (1972); Hasegawa (1985); Lansheng (1995); Yagi (1995); Terzaghi (1928 e 1950) e Antoine & Giraud (1995).

2.5 – PROPOSTAS METODOLÓGICAS DE MAPEAMENTO

Segundo Soeters & Van Westen (1996) pode-se definir a escala e área mínima de estudo para mapeamento de movimentos de massa de acordo com a abrangência do mesmo, conforme se apresenta no Quadro 2.7.

Caracterização	Escala	Área mínima de estudo
Nacional	1:1.000.000	250.000 km ²
Regional	1:100.000 a 1:50.000	2.500 a 62.500 km ²
Média	1:25.000 a 1:15.000	156,25 a 625 km ²
Grande	1:5.000 a 15.000	6,25 a 56,25 km ²
Local	1:5.000 ou maiores	-

Quadro 2.7 – Escalas utilizadas para mapeamento de movimentos de massa (SOETERS & VAN WESTEN, 1996).

Conforme Amaral (2007) o zoneamento em áreas de escala nacional é feito com objetivo de fazer um inventário geral de áreas problemáticas para o país inteiro. Em escala regional serve para planejamento regional de áreas urbanas e rurais. A escala média pode ser utilizada para áreas com poucas centenas de quilômetros quadrados que possuem construções de grandes estruturas, como rodovias. A escala grande pode ser usada para uma área de investigação de algumas dezenas de quilômetros quadrados e exigem um número grande de

informações. A escala local é aplicada quando se necessita de um detalhamento maior que o empregado na escala grande e é utilizada na resolução de problemas locais/pontuais.

A área mínima de estudo pode ser obtida através de várias técnicas, dentre elas o grid regular, em que se tem a delimitação de uma malha regular com dimensões que variam de acordo com o objetivo requerido. O critério para a definição das dimensões depende da escala de trabalho, do tamanho da área de estudo e do tipo de problema representado. Este método é muito utilizado como delimitação da área mínima por contar com o auxílio do sistema de informações geográficas, sendo que esta ferramenta individualiza a área em pixels, tendo-se a precisão diretamente ligada às dimensões de 1 pixel, sendo que quanto menor o pixel, maior a precisão.

Tratando-se das definições, pretende-se primeiramente diferenciar os termos *hazard* e *risk*, ambos vindos da língua inglesa. Segundo Ragozin (1994) o termo *hazard* está diretamente ligado ao termo *risk*. Defini-se o termo *hazard* como a probabilidade do retorno de um evento com características definidas em certo tempo, desconsiderando-se a possibilidade de perdas, pode-se traduzi-lo para o português como Evento Perigoso. A Carta de Zoneamento de Eventos Perigosos é um documento que registra as diferentes probabilidades ou potencialidades existentes para que ocorra um ou mais eventos perigosos em uma área num determinado período de tempo e com um nível de intensidade. O termo *risk* é a avaliação de um evento ou um sistema exposto a um *hazard*. Ou seja, *risk* é a ameaça da ocorrência de um evento em um local com tempo definido considerando-se possíveis perdas sociais, econômicas e ambientais, traduzido-o para português como Risco. A Carta de Zoneamento de Risco é o documento elaborado a partir da Carta de Zoneamento de Eventos Perigosos e da vulnerabilidade dos elementos do sistema (naturais ou antrópicos) que registra os diferentes níveis de riscos que a região está sujeita.

A avaliação da probabilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa em uma determinada área, dentro de um período de tempo, é possível somente quando se determina a sua relação de ocorrência com a frequência de fatores desencadeantes do processo, tais como chuvas intensas ou sismos (RODRIGUES, 1998).

Existem muitos trabalhos com diferentes abordagens e propostas metodológicas que podem ser encontrados na literatura relacionados à obtenção de cartas de “*hazards*” e cartas de “*risk*”, para áreas com ocorrência de movimentos gravitacionais de massa e processos correlatos (SANEJOUAND, 1972; IAEG, 1976; GRANT, 1970; PRADINI et al., 1995; ZUQUETTE, 2004; HUTCHINSON, 1988).

Rodrigues (1998) analisa e resume as principais propostas metodológicas utilizadas em diferentes países no Quadro 2.8.

Metodologia	M.G.M.	Escala	Cartas	Risco	Hazard	Estat	Sig
Zermos (Humbert, 1977; Sanejouand, 1972).	Geral	1:50.000 1:2.000	H/R	R	R	Não	Não
Hinojosa & Leon (1978).	Geral	1:200	H		R	Não	Não
Gasp (Brand et al 1982, Burnett et al 1985, Burnett & Styles , 1982).	Específica /geral	1:20.000 1:2.500	H/R	R	P	Sim	Geotecs
Seshagiri et al. (1982).	Específica	-	H		R	Não	Não
Brabb (1984,1985).	Específica	1:24.000	H/R	A	p	Sim	Não
Stevenson (1978).	Específica	1:2.400	R				Não
Kienholz (1985).	Geral	1:25.000 1:10.000	H		P	Sim	Não
Choubey & Litoria (1990), Índia.	Específica	1:50.000	H		R	Não	Não

Continua...

Metodologia	M.G.M.	Escala	Cartas	Risco	Hazard	Estat	Sig
Barisone & Botino (1990), Itália.	Específica		H		R	Sim	Não
Augusto Filho (1994), Brasil.	Geral	1:10.000	H			sim	Banco Dados
Berggren et al. (1991).	Específica	-	H	R		Sim	Não
Ambagalan (1991,1992), Índia.	Específica	1:50.000 1:1.000	H		R	Não	Não

Quadro 2.8 - Principais características das propostas metodológicas para avaliação de hazard e risk segundo Rodrigues (1998).

Onde:

M.G.M.: gera, quando todos os tipos de movimentos gravitacionais de massa são considerados; específica, quando 1 ou mais (mas não todos) são considerados;

Escala: escala final das cartas de “Harzads” e risco;

Cartas: documentos finais são cartas de “Harzads” (H), cartas de Risco (R), ou ambas (H/R);

Risco: verifica se os resultados das cartas de risco são do tipo absoluto ou relativo;

Hazard: verifica se os resultados obtidos nas cartas de hazard são probabilísticos ou relativos;

Estat: verifica se os recursos estatísticos são utilizados em alguma etapa da metodologia;

SIG: verifica se algum sistema de informação geográfica é utilizado.

A seguir apresenta-se com mais detalhes algumas propostas metodológicas.

2.5.1 – Metodologia francesa

Essa metodologia foi apresentada por Sanejouand (1972) a partir de resultados de levantamento e análises de trabalhos realizados na França e em outros países considerando as condições geológicas, geomorfológicas e geotécnicas.

A maioria dos trabalhos baseados nesta metodologia foram realizados em áreas com menos de 1.500 km² e em escalas maiores que 1:50.000 (ZUQUETE & NAKAZAWA, 1998).

Segundo Zuquete & Nakazawa (1998) esta metodologia preocupa-se com a posição espacial das diferentes unidades de terreno e neles as variações verticais são representadas pelo sistema de bandas e seções cruzadas. Cabe assinalar que a metodologia não estabelece os princípios e limites de cada informação que devem ser considerados para definir as áreas que são homogêneas e não indica classificações e símbolos que possam ser usados durante a elaboração do trabalho, ficando a critério dos mapeadores.

2.5.2 – Metodologia da International Association of Engineering Geology - IAEG

Elaborada pela International Association of Engineering Geology (IAEG), essa metodologia tem como objetivo formular orientações para o mapeamento adequado à maioria dos países, na qual os meios para sua confecção também se adequem socioeconomicamente e tecnicamente.

Como fatores e feições, são considerados: o caráter da rocha e dos solos, as condições hidrogeológicas, as condições geomorfológicas e os fenômenos geodinâmicos.

Como princípios técnicos considera-se a fotogeologia, geofísica, sondagens, amostragens, ensaios *in situ* e laboratoriais.

2.5.3 – Metodologia Pattern, Unity, Component, Evaluation – PUCE

A metodologia PUCE apresentada por Grant (1970) e Grant & Finlayson (1978) segundo ZUQUETE & GANDOLFI (2004) está centrada na divisão da área em classes de terreno hierarquizadas a partir de características gerais (geológico-geomorfológicas), uso do solo e geotécnicas. Os terrenos são divididos e classificados em quatro classes hierárquicas: província, padrão do terreno, unidades e componentes de terreno.

2.5.4 – Metodologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT

Esta metodologia baseia-se em Pradini et al. (1995) e sintetiza os resultados a partir da aplicação da cartografia geotécnica no IPT.

Entende-se por carta o documento cartográfico que apresenta as interpretações de informações contidas em mapas para uma finalidade específica (Zuquete & Nakazawa, 1998).

Assim, a carta geotécnica é o produto obtido a partir da interpretação de informações relacionadas à geotecnia do local de estudo.

Segundo Zuquete & Nakazawa (1998) os produtos cartográficos produzidos através desta metodologia podem ser agrupados nas seguintes categorias:

- Cartas geotécnicas propriamente ditas: quando expõem limitações e potencialidades dos terrenos e definem diretrizes de ocupação para um ou vários tipos de uso do solo;
- Carta de risco: prepondera a avaliação de dano potencial à ocupação, ante uma ou várias características ou fenômenos naturais ou ainda induzidos pela ocupação;
- Cartas de susceptibilidade: apresentam gradações de probabilidade de desencadeamento de um ou mais fenômenos naturais ou induzidos pela ocupação;
- Cartas de atributos ou parâmetros: quando se limitam a apresentar a distribuição espacial de uma ou mais características do terreno (geotécnicas, geológicas, etc.).

As cartas geotécnicas obtidas fornecem subsídios necessários para a concepção e implantação de projetos de ocupação do solo em áreas que apresentam problemas de escorregamentos, erosões, etc. Isso possibilita ao poder público utilizá-las no planejamento do crescimento urbano e nas obras estruturais, diminuindo os eventos que causam prejuízos materiais, humanos e danos ao meio ambiente (MIRANDA, 2005).

Segundo Miranda (2005) o produto final visa sua aplicação em inventário cartográfico, em um SIG que pode ser atualizado constantemente, constituindo importante instrumento para subsidiar as ações de planejamento e uso do solo, tais como: seleção de áreas para implantação de empreendimentos industriais ou residenciais, planos diretores, planos de defesa civil, estudos de impacto ambiental, planejamento e fiscalização de obras, elaboração de cartas de riscos e suscetibilidades, aptidões e seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos.

2.5.5 – Metodologia do IG-UFRJ

Esta metodologia proposta por Barroso et al. (1986) foi desenvolvida no Departamento de Geologia do IG-UFRJ, que realiza trabalhos na cidade do Rio de Janeiro e em outras áreas próximas. Os trabalhos são relacionados a movimentos de massa e processos de ocupação e apresentam-se em escalas que variam de 1:50.000 a até maiores que 1:10.000. É o grupo brasileiro com maior experiência em trabalhos em escala maiores que 1:10.000 (ZUQUETE & NAKAZAWA, 1998).

2.5.6 – Metodologia ZERMOS (Zonas Expostas a Riscos de Movimentos de Solo)

Segundo Rodrigues et. al. (1999) esta metodologia foi desenvolvida na Franca para riscos de solo em escalas 1:25000, 1:20000 e 1:5000, sendo que a ultima é denominada planta Zermos e é utilizada em situação de movimento de massa, erosão, abatimento, problemas sísmicos , cuja representação aos riscos se dá por intermédio de cores. Onde:

- Verde: áreas sem problemas;
- Laranja: indica a potencialidade, mas sem precisar o nível, natureza e amplitude do risco;
- Vermelho: indica áreas instáveis com chances reais de risco;
- Preto: representa caracteres que traduzem a dinâmica da instabilidade observada.

A análise de instabilidade dos terrenos é feita por levantamentos dos fatores naturais permanentes (litologia, estrutura, drenagem) e dos temporais (vegetação e sobrecarga), sendo que o trabalho é dividido em três fases:

1. Levantamento bibliográfico e oral sobre a existência ou não de movimentos do terreno;
2. Estudos geomorfológicos executados por foto interpretação;
3. Estudo e controle dos principais fatores que afetam a estabilidade.

As notas explicativas devem conter comentários indispensáveis a boa compreensão e interpretação da carta, como: as indicações gerais sobre a situação geográfica, morfológica, geológica, tipológica de movimentos, definição de zoneamento adotada e suas conseqüências.

2.5.7 – Metodologia Gasp

Devido às condições particulares do meio físico, típicas da região de Hong-Kong, foi desenvolvido um sistema de avaliação dos terrenos que apresentam aspectos diferentes dos conhecidos, até o final da década de 80 (ZUQUETE & NAKAZAWA, 1998).

A metodologia (BURNETT & STYLES, 1982) normalmente é aplicada para três situações:

- Estudos regionais: em escala próxima a 1:20.000 e para áreas entre 50 e 100 km²;
- Estudos distritais: Estágio 1 – Detalhamento em escalas 1:2.500 de áreas entre 2 e 4 km²;
- Estudos distritais: Estágio 2 – Avaliações mais detalhadas do que as do Estágio 1.

Os produtos obtidos com esta metodologia correspondem aos mapas de classificação dos terrenos e aos mapas de uso geotécnicos.

O mapa de classificação dos terrenos, normalmente é baseado em seis atributos: declividade, componentes do terreno, morfologia dos terrenos, erosão, condições das encostas e hidrologia. Este mapa representa as unidades de terreno por códigos alfa-numéricos e a partir deste, pode-se obter um grupo de documentos denominados derivados, oriundos da seleção e combinação de atributos. Mapas interpretativos podem ser elaborados a partir da combinação de atributos para finalidades específicas (ZUQUETE & NAKAZAWA, 1998).

O mapa de uso geotécnico do terreno define e classifica as unidades de terreno em classes quanto às possibilidades de ocupação.

Segundo Zuquete & Nakazawa, (1998) o mapa geotécnico é preparado com base em quatro grupos de atributos:

- Informações derivadas do mapa de classificação dos terrenos (densidade de drenagem, feições de escorregamentos, erosão, etc.);
- Dados geotécnicos existentes (sondagens, ensaios, análises);

- Geológicos (litologia, descontinuidades, análises estruturais, grau de intemperismo);
- Dados morfológicos (quebras do relevo, declividades, formas das encostas).

Zuquete & Nakazawa (op. cit.) citam outras metodologias nacionais e estrangeiras utilizadas para o mapeamento geotécnico:

- Metodologia UFRGS – Dias (1995);
- Metodologia IG/USP – Pereira et al. (1995) e Pires Neto & Pereira (1995).

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 – DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Diante dos processos de industrialização e do crescimento populacional, Ipatinga é hoje uma das cidades mais prósperas do leste de Minas Gerais. Tais processos, com o passar do tempo, tem mudado a estrutura da paisagem local deteriorando no que diz respeito à salubridade, funcionalidade e estética de alguns pontos da cidade.

Algumas conseqüências resultantes do falta de planejamento e organização do uso e ocupação da terra como o aumento do índice de ocorrências de deslizamentos, vêm sendo freqüentemente registrados pela defesa civil e pela equipe de campo que realizou os trabalhos desta pesquisa.

O município de Ipatinga foi escolhido, como estudo de caso, com o intuito de estabelecer diretrizes para o uso e ocupação do solo e dar subsídios para o planejamento físico-ambiental e melhoria na qualidade de vida da população ao Poder Público.

A região estudada compõe toda a zona urbana e parte da zona rural do município e abrange uma área total de 75,48 km², definidos em função dos dados disponibilizados pela Prefeitura Municipal de Ipatinga.

3.2 – ÁREA DE ESTUDO

3.2.1 – *Localização*

O município de Ipatinga está localizado na macro-região de planejamento do Rio Doce, região administrativa do Vale do Aço, no estado de Minas Gerais. Possui limites com os municípios de Santana do Paraíso ao Norte/Leste, Coronel Fabriciano a Oeste, Timóteo ao Sul e Caratinga a Leste. A Figura 3.1 mostra a localização do município no estado de Minas Gerais.

Ipatinga situa-se a 19° 28' 46" latitude Sul e 42° 31' 18" longitude Oeste e possui área total de 169,50 km².

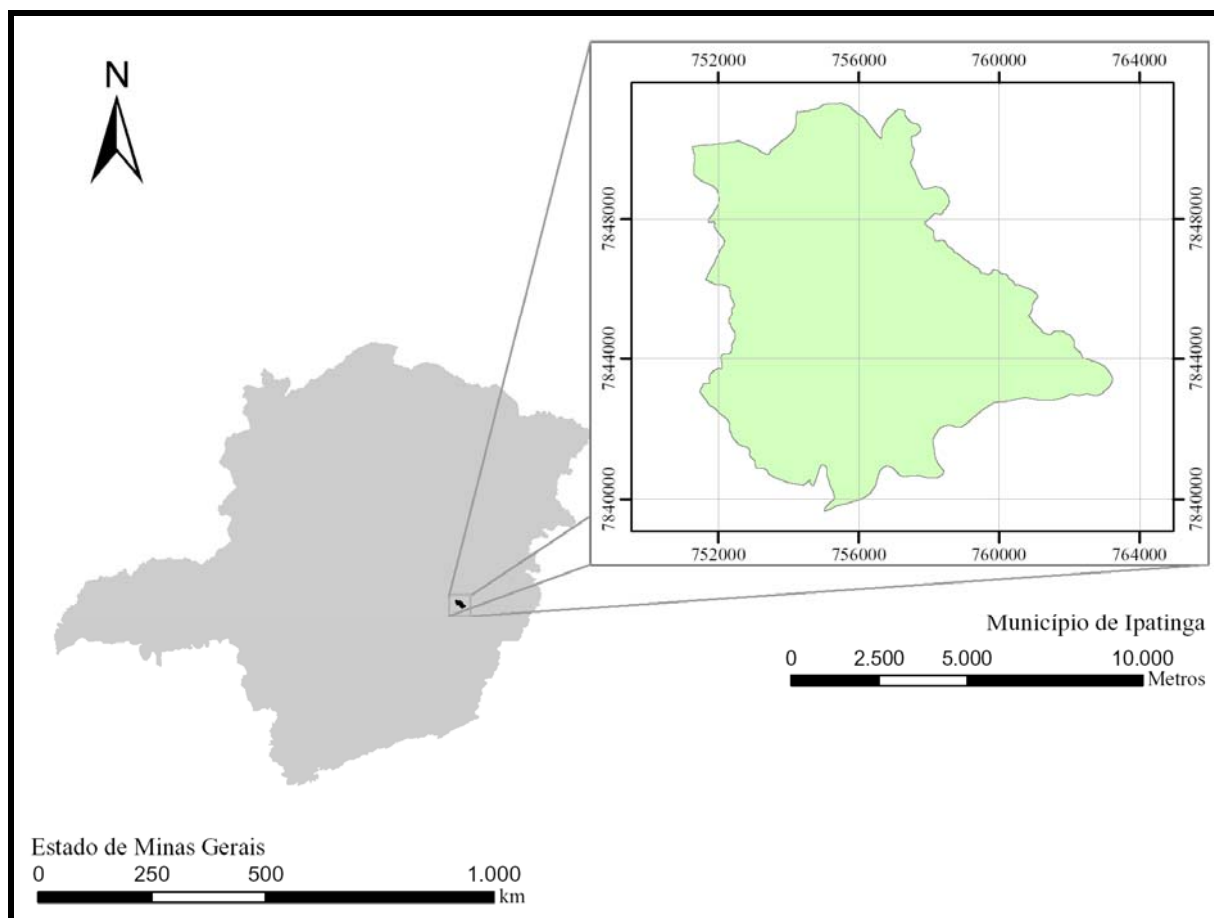


Figura 3.1 – Mapa representando a localização geográfica da área de estudo, Ipatinga, Minas Gerais.

3.2.2 - Histórico

A região metropolitana do Vale do Aço apresentada na Figura 3.2, criada pela lei Complementar n°. 51/98 é um aglomerado urbano formado por quatro cidades, Coronel Fabriciano, Ipatinga, Santana do Paraíso e Timóteo, que se unem para buscar soluções inovadoras para seus problemas comuns (PERFIL DO MUNICÍPIO DE IPATINGA, 2006).

A implantação, em 1962, da Usina Intendente Câmara, USIMINAS, tornou-se um atrativo pela capacidade de absorção de mão-de-obra. A USIMINAS, segundo Gomes (2002) destinou grandes áreas para fins residenciais, privilegiadas e resguardadas da poluição e de

possíveis ocorrências de inundações e movimentos de massa. Estas áreas planejadas e dotadas de toda infra-estrutura urbana foram destinadas aos seus funcionários.

Segundo Gomes (2002) a população prevista para a primeira fase da USIMINAS era de 40.000 habitantes, e hoje esta população já ultrapassa 250.000 habitantes.

Com o aumento populacional cresceu a especulação imobiliária e a valorização das partes planas da cidade. A população de menor renda migrou para as encostas onde o custo do terreno era menor. Nessas ocupações, não foram considerados os cuidados necessários a uma edificação segura, insurgindo áreas em condições geotecnicamente instáveis.

Esta situação se evidenciou entre o final de 2003 e início de 2004, quando registrou-se diversos deslizamentos de encostas devido ao excesso de chuvas.

Apresenta-se nas Figuras 3.2 a 3.8 situações críticas decorrentes de ocupações inadequadas no município de Ipatinga.

A Figura 3.2 apresenta a construção de uma edificação com sua base executada dentro do corpo d'água.



Figura 3.2 – Construção residencial dentro do corpo d'água, Vila Celeste, Ipatinga.

Tem-se na Figura 3.3 o uso de lona plástica como medida paleativa adotada pela defesa civil a fim de minimizar os efeitos erosivos da chuva no talude.



Figura 3.3 – Proteção do talude com lona plástica reduzindo o potencial erosivo da chuva, Bom Jardim, Ipatinga.

A Figura 3.4 ilustra destroços de edificação construída próxima ao corpo d'água após deflagração de movimentos gravitacionais de massa.



Figura 3.4 – Ruína de edificação deflagrada por movimento de massa.

A Figura 3.5 apresenta algumas conseqüências da ocupação urbana inadequada: lançamento de esgoto diretamente no corpo d'água, erosão marginal avançada e assoreamento do corpo d'água.



Figura 3.5 – Erosão marginal avançada, lançamento de esgoto e assoreamento do curso d'água em função da ocupação urbana inadequada.

Apresenta-se nas Figuras 3.6 e 3.7 respectivamente, a vista frontal e corte lateral da rua Saigon, onde encontra-se alguns indícios de movimento de massa como: deslizamento em cunha e fissuras nas edificações indicando recalque do terreno, respectivamente.

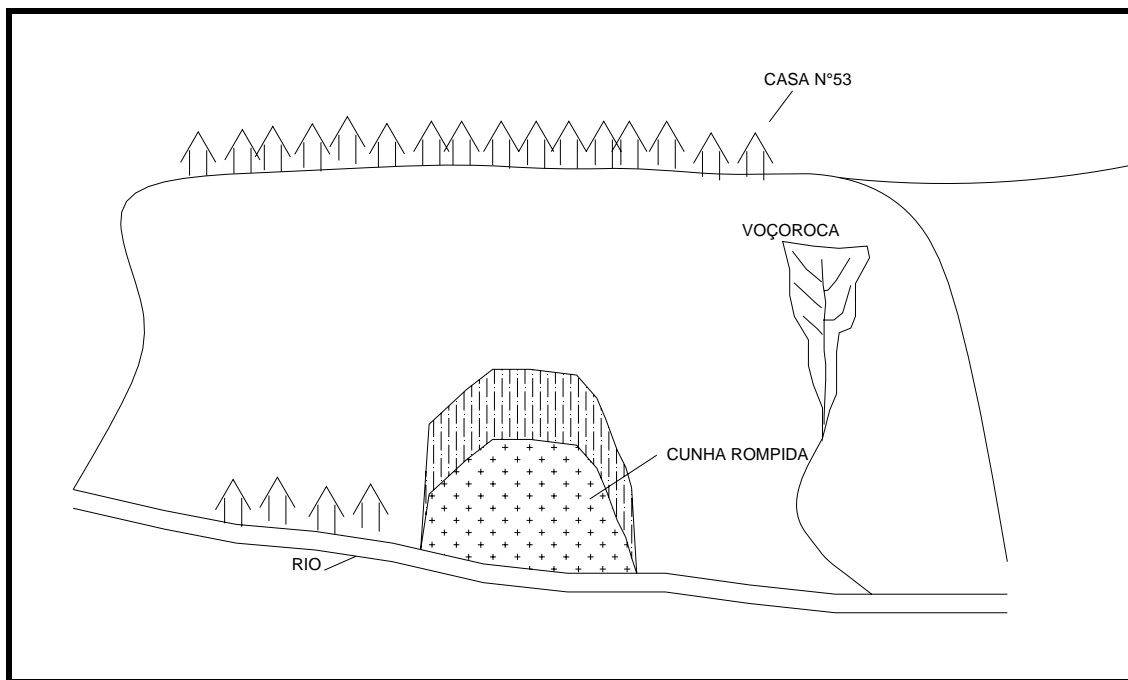


Figura 3.6 – Esquema da ocorrência de voçoroca e deslizamento em cunha na Rua Saigon, Betânea, Ipatinga.

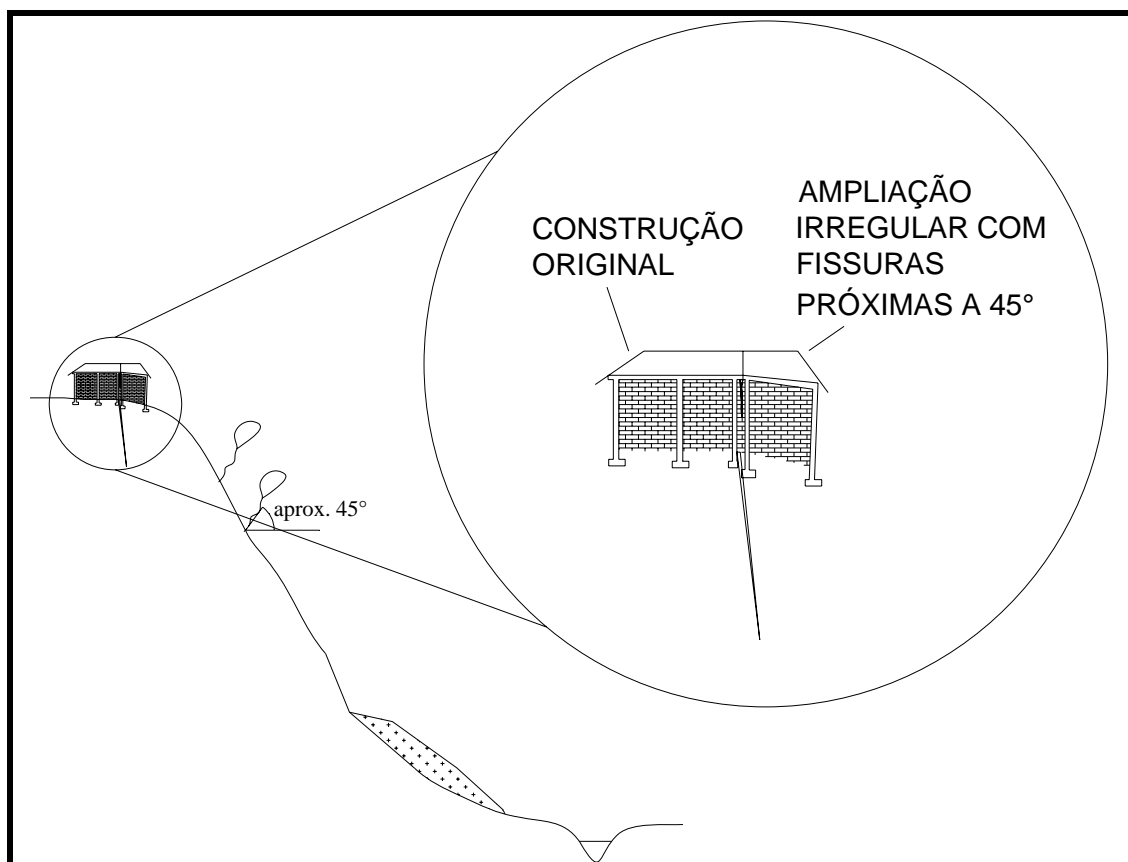


Figura 3.7 – Esquema de ocorrência de trincas em residências devido à ampliação inadequada e movimento do talude na Rua Saigon, Betânea, Ipatinga.

A Figura 3.8 apresenta voçoroca em estágio avançado estendendo-se verticalmente ao longo do talude.



Figura 3.8 – Voçoroca em talude na rua Saigon, Betânea, Ipatinga.

3.2.3 – *Clima*

A área em estudo está inserida na zona tropical quente e úmida que se submete a forte radiação solar.

Suas precipitações aumentam, sobretudo quando é atingida por frentes frias e outros fenômenos de ascendência dinâmica. No período de verão, a precipitação máxima atinge 1000 a 1300mm quando a temperatura média varia de 24° a 26° C. O período mais seco compreende os meses de junho-julho-agosto com precipitação total de 200 mm, geralmente no inverno, quando a temperatura média oscila em torno de 18° a 19°C (OLIVEIRA & LEITE, 2000).

Apresenta-se nos Quadros 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4 os valores de precipitação acumulada, temperaturas mínimas, média e máxima referentes aos anos de 1990 a 2007 (USIMINAS, 2008).

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1990	85,2	135,7	40,7	76,1	52,5	30,8	21,9	45,4	36,9	114,1	133,6	84,6	857,5
1991	382,6	286,9	293,7	66,4	36,4	8,8	14,5	16,0	72,1	75,9	250,6	212,9	1716,8
1992	471,4	170,5	60,4	40,7	26,8	10,7	15,1	12,2	92,3	196,9	424,5	315,3	1836,8
1993	274,0	40,0	3,9	31,8	8,3	6,3	1,9	22,1	27,9	117,5	75,3	349,0	958,0
1994	265,5	6,7	436,2	70,8	93,3	15,3	13,4	0,0	0,4	82,4	166,3	192,7	1343,0
1995	52,5	0,0	121,2	90,9	74,9	0,0	3,9	1,0	2,6	116,6	218,4	565,1	1247,1
1996	65,1	57,8	49,8	133,3	15,3	4,3	17,4	5,0	129,6	116,5	366,3	373,2	1333,6
1997	259,6	103,1	239,6	145,8	26,2	12,3	0,2	10,3	85,5	59,0	176,7	253,1	1371,4
1998	213,3	224,9	73,9	26,1	47,3	8,9	0,0	38,4	0,0	146,9	382,1	273,7	1435,5
1999	196,2	141,5	168,1	41,7	21,1	4,0	1,7	4,0	6,0	93,5	414,7	202,6	1295,1
2000	294,1	163,0	231,6	76,7	0,0	0,0	7,5	23,6	66,6	35,4	255,3	380,9	1534,7
2001	50,5	22,6	117,1	30,1	63,5	20,5	8,3	23,1	29,7	80,8	302,0	421,4	1169,6
2002	262,0	205,1	62,6	10,8	14,5	0,7	6,3	15,0	113,0	114,7	191,5	324,8	1321,0
2003	411,6	0,5	41,3	34,5	38,4	0,0	1,4	24,1	35,0	74,3	120,9	268,1	1050,1
2004	495,6	321,3	281,9	255,4	32,0	26,9	31,3	0	0	75,2	126,2	635,4	2281,2
2005	319,2	294,6	242,4	84,8	38,2	13,8	2,2	5,6	68,6	33,6	327,6	327	1757,6
2006	13,6	65,6	380,2	99	19,0	34,4	3,8	25,4	106,8	110,6	256,6	321	1436,0
2007	233,8	191,4	94,8	137,2	9,8	0,6	1,8	0,6	16	40,6	101,5	120	948,1

Quadro 3.1 – Precipitação mensal e precipitação anual acumulada (mm).

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1990	19,2	20,0	20,6	18,1	10,0	13,3	12,5	13,0	13,3	15,9	19,2	17,0
1991	19,5	20,6	18,8	16,6	15,0	14,0	11,4	10,3	11,7	10,6	19,4	19,1
1992	19,5	18,5	17,3	19,3	16,5	12,2	11,3	11,4	14,8	16,4	17,4	18,9
1993	16,0	19,4	20,3	18,6	13,2	10,6	11,6	12,6	15,2	15,6	18,6	18,0
1994	19,6	19,6	18,0	15,6	16,0	10,8	11,6	10,0	14,6	15,1	16,6	19,0
1995	20,0	20,0	17,8	17,2	12,0	10,8	13,2	14,0	12,2	15,2	17,2	19,0
1996	18,6	18,0	20,0	15,4	11,4	-	9,9	11,4	15,4	17,2	18,3	18,4
1997	20,0	20,0	18,0	16,6	12,8	8,8	10,8	9,2	14,6	16,2	19,6	20,0

Continua ...

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1998	20,2	20,4	19,0	17,0	14,4	10,4	9,6	13	14,2	17,0	17,8	20,0
1999	20,8	20,2	20,0	17,8	9,8	13,4	12,0	10,6	10,8	15,8	16,4	19,6
2000	20,0	19,8	20,4	14,0	12,8	9,8	8,4	9,4	15,6	17,6	18,0	19,8
2001	19,4	21,6	18,8	17,0	12,6	13,8	11,4	12,6	12,2	18,0	18,2	18,6
2002	19,4	19,8	19,0	17,6	12,2	13,6	12,4	13,0	13,2	19,0	16,4	19,6
2003	18,4	20,6	19,8	17,0	12,2	12,0	10,6	12,4	15,6	14,6	18,0	18,2
2004	19,2	17,4	18,4	16,2	14,2	12,4	9,6	10	12,8	15,6	18,0	18,1
2005	19,8	18,1	19,5	17,2	14,6	13,6	10,4	11,9	16,7	17,7	16,0	18,1
2006	19,3	20,9	18,9	16,9	12,5	11,1	11,0	12,9	12,6	16,9	16,3	20,7
2007	20,5	18,6	17,9	18,3	14,0	12,3	9,3	10,2	15,6	17,5	18,6	19,3

Quadro 3.2 – Temperatura mínima mensal (°C).

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1990	26,2	26,0	26,5	25,2	21,3	20,7	20,2	20,2	21,8	24,2	26,0	24,9
1991	24,2	24,9	24,6	23,2	21,1	20,5	19,7	20,3	21,5	23,2	24,4	25,1
1992	23,6	24,0	24,7	24,6	23,1	20,7	19,9	21,0	21,9	23,1	23,8	23,9
1993	25,0	25,6	26,4	24,4	21,8	20,1	20,6	20,9	24,1	25,0	26,1	24,6
1994	25,1	27,0	24,2	23,4	22,3	20,1	19,9	20,1	22,6	24,7	24,1	25,1
1995	25,7	25,7	25,4	23,7	22,4	19,8	20,9	22,2	23,4	24,6	23,3	24,3
1996	25,7	27,1	26,5	23,7	20,7	21,1	19,6	20,3	22,3	24,7	26,8	24,5
1997	25,1	25,6	23,9	23,1	20,6	19,5	19,9	20,6	23,9	24,7	26,4	25,8
1998	26,3	27,3	25,9	24,8	21,8	19,5	19,6	22,4	24,3	24,0	23,5	25,3
1999	26,2	26,5	25,0	23,9	20,8	20,4	21,2	19,9	23,4	23,1	22,8	24,9
2000	25,6	25,8	24,7	23,4	21,3	19,9	19,8	21,0	22,2	25,8	23,8	25,5
2001	26,0	28,0	26,0	25,5	22,4	21,1	20,3	21,5	22,8	23,7	24,7	24,7
2002	25,4	24,9	25,6	24,8	22,8	21,1	21,1	22,4	22,3	25,4	24,7	25,5
2003	25,3	26,7	26,1	24,4	21,7	20,8	20,2	21,5	23,3	24,6	25,1	25,6
2004	24,6	24,2	23,8	22,9	21,4	19,3	18,9	20,3	22,8	24,2	24,7	24,4
2005	24,7	24,7	24,7	23,9	21,4	20,1	19,4	21,7	22,4	25,1	23,0	23,8
2006	26,0	27,2	24,7	23,3	20,0	19,0	18,6	21,0	21,4	23,8	23,9	24,7
2007	25,5	25,1	25,3	24,1	21,3	19,7	20,3	21,43	22,9	26,0	26,0	26,3

Quadro 3.3 – Temperatura média mensal (°C).

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1990	37,3	35,5	35,0	34,8	32,1	29,7	32,2	29,5	30,8	32,8	34,0	35,3
1991	32,2	33,0	32,2	31,1	29,6	28,8	29,0	32,6	32,0	33,2	33,6	34,0
1992	31,6	32,0	32,0	33,5	32,5	30,6	29,8	30,1	29,6	34,3	32,8	32,5
1993	34,2	32,8	36,2	34,4	30,4	29,8	32,2	32,6	35,8	36,8	38,9	36,8
1994	32,8	34,6	33,5	31,4	30,0	29,2	28,6	33,0	32,0	35,4	36,2	33,9
1995	37,4	33,6	34,0	30,8	30,8	29,4	29,4	30,8	35,2	35,2	33,6	34,2
1996	34,6	36,6	35,7	34,8	30,0	31,8	31,6	32,4	32,8	35,4	34,0	34,0
1997	34,2	32,6	32,2	38,8	29,4	29,6	29,4	34,2	37,8	34,8	38,0	34,8
1998	36,8	38,4	35,4	36,4	37,2	30,4	30,6	32,8	35,0	34,6	35,0	35,6
1999	35,8	37,6	35,0	33,0	30,6	30,6	30,6	32,4	34,6	35,8	33,0	34,2
2000	34,8	31,0	29,4	29,1	27,4	29,6	30,0	32,8	33,8	37,8	33,4	34,8
2001	34,4	37,8	35,2	35,2	34,4	29,4	33,6	30,2	36,0	37,2	33,6	38,8
2002	37,2	34,2	33,2	34,2	33,4	29,6	31,6	33,2	35,8	35,6	32,8	36,0
2003	35,0	35,0	35,0	34,8	33,0	30,6	31,0	31,4	37,2	36,0	34,0	35,0
2004	32,4	32,4	31,6	29,8	28,6	26,4	26,8	31,6	32,2	32,2	35,1	33,2
2005	34,1	33,5	32,8	32,3	29,7	28,2	31,7	30,7	30,6	36,1	32,2	35,1
2006	37,2	37,5	33,3	31,8	30,3	27,9	31,3	31,0	31,3	35,5	33,4	35,5
2007	37,3	35,5	35,0	34,8	32,1	29,7	32,2	29,5	30,8	32,8	34,0	35,3

Quadro 3.4 – Temperatura máxima mensal (°C).

3.2.4 – Solos

O solo que recobre as litologias do Complexo Mantiqueira e da Suíte Borrachudos é do tipo Latossolo Amarelo de composição argilo-arenosa. O relevo deste domínio é montanhoso com cotas altimétricas que variam de 700 a 900 m. As drenagens que recortam o modelado são alongadas e encaixadas, em forma de V. O solo que se desenvolve nas porções mais rebaixadas é profundo e formado por material de coloração amarela (OLIVEIRA & LEITE, 2000).

Quando se ascende às partes mais elevadas, principalmente nas encostas, o solo apresenta porções coluvionares com restos de rochas não alteradas e matacões de tipos mais frescos. Nas porções mais elevadas das encostas, em geral, há presença de maciços rochosos

que sustentam um solo onde a contribuição orgânica é elevada, de coloração cinza oriunda de vegetal saprolitizado. Quando se atinge o topo dos morros nos interflúvios, tem-se um solo espesso, amarelo-ocre e rico em alumínio, fruto de uma exposição prolongada em que a contribuição orgânica é também expressiva (OLIVEIRA & LEITE, 2000).

Nas faixas de ocorrência de rochas anfibolíticas, pertencentes ainda a estas unidades, há o desenvolvimento de um solo avermelhado escuro. Os solos hidromórficos são raros e localizados principalmente nas aluviões do rio Santo Antônio e de seus tributários. Os solos que recobrem os micaxistos São Tomé constituem uma estreita faixa de direção nordeste, definido como Argissolo Vermelho-escuro. Entretanto, neste domínio há desenvolvimento de solo hidromórfico, ocupando as zonas mais rebaixadas do terreno em forma de aluviões (OLIVEIRA & LEITE, 2000).

Ainda no extremo sudeste, o Complexo Mantiqueira ocupa uma pequena área bastante dissecada. O solo dominante nessa região é o tipo Argissolo Vermelho que poderá ser usado na agricultura, embora toda a área seja utilizada como pastagem. Neste domínio da Mantiqueira, em que o solo é hidromórfico, todos os cursos d'água encerram expressivos aluviões (OLIVEIRA & LEITE, 2000).

3.2.5 – Vegetação

A vegetação natural é caracterizada pela formação de Floresta Estacional Semidecidual. O conceito ecológico deste tipo de vegetação está condicionado pela dupla sazonalidade climática: verão chuvoso e inverno seco, em que ocorre a perda de 20 a 50% de suas folhas no conjunto florestal (VELOSO et al., 1991).

Essa formação apresenta como característica o aparecimento de três estratos: dois arbóreos, formando um dossel contínuo com seu limite superior em torno de 25 metros de altura e um herbáceo-arbustivo composto por espécies próprias e indivíduos jovens do primeiro estrato (SILVA, 2000).

Em Minas Gerais, os resquícios florestais encontram-se representados por paisagens fragmentadas e imersas em uma matriz de terras dominadas por pastagens, agricultura, silvicultura, mineração e urbanização (ARAÚJO, 2000).

No município de Ipatinga a situação não é diferente, imagem satélite Ikonos II demonstra a situação que se têm atualmente, 21,64% da área total do município está rerepresentada por fragmentos florestais isolados, 2,86% por pastagem e 29,75% por capoeira.

3.2.6 – Geomorfologia

Segundo Oliveira & Leite (2000) a geomorfologia divide-se da seguinte forma:

Unidade Dissecada do Rio Doce

Essa unidade constitui um domínio morfológico que vem sendo retrabalhado pelo ciclo atual da bacia do rio Doce. Trata-se de uma área amplamente rebaixada, cujas cotas oscilam entre 250 e 350 m, com picos que chegam a 450 m.

Apresenta um modelado bem característico que aparece orlando os principais afluentes do rio Doce, tais como: os rios Itambacuri, Urupuca e Suaçuí Grande. Essa feição, que possivelmente teve início no ciclo Velhas (KING, 1956 *apud* OLIVEIRA & LEITE, 2000), vem passando por um intenso processo de retrabalhamento no ciclo atual. São incisões em forma de saliências e reentrâncias que os principais afluentes do rio Doce vêm provocando em toda região e que estão amplamente condicionadas ao tipo rochoso existente. Nota-se que o processo fica mais vigoroso no âmbito das rochas xistosas e atenuado nas porções mais graníticas.

A Superfície Terciária com Retrabalhamento no ciclo Velhas

Refere-se a uma área mais elevada, onde as cotas oscilam em torno de 900 a 1000 m, ocupando parte do município de Ipatinga. Constitui uma região que foi amplamente dominada pela superfície Sul-Americana de King (op. cit.), mas que vem sendo retrabalhada tanto no ciclo atual quanto no ciclo Velhas, guardando um ligeiro aplainamento. Em toda a área são ainda observados restos daquela superfície terciária.

Uma característica de toda a unidade é a presença de drenagens de fundo chato, interflúvios abaulados, aluviões expressivas e alongadas. Nesse domínio nota-se o desenvolvimento de drenagens sub-retangulares que são amplamente controladas por fraturamento em rochas graníticas. Nesse caso, volta a ocorrer formas aplainadas havendo a formação de drenagens principais alongadas e de fraco declive dominadas por alvéolos expressivos e com vegetação que se desenvolve nas aluviões.

Todas as feições encontradas são reflexos da atividade dos ciclos geomorfológicos sobre os diferentes litotipos, imprimindo-lhes características diferentes, com formas próprias de relevo. Os vários modelados são, portanto, produtos da devastação da floresta sub-higrófila que introduz profundas modificações no equilíbrio morfogenético; da exposição e ressecamento dos solos durante os períodos de estiagem, que modificam a sua textura e capacidade de retenção d'água, acarretando maior facilidade de ação sobre o modelado.

A Unidade Maciços da Mantiqueira

Ao longo do Complexo Mantiqueira e Suíte Borrachudos, representados por gnaisses e granitóides tem-se um modelado diferenciado com morros rebaixados, numa paisagem de morros arredondados, alguns com o formato de “meia laranja” até alçados tipo “pão-de-açúcar”, de flancos desnudados. Neste domínio é muito comum destacarem-se grandes extensões de escarpas rochosas abruptas e vales mais ou menos profundos.

Esta unidade possui uma característica muito peculiar de apresentar um modelado com cotas variando de 450 a 900 m, podendo chegar, em alguns pontos, a 1045 m. Todas as feições encontradas são reflexos da atividade dos ciclos geomorfológicos sobre os diferentes litotipos, imprimindo-lhes características diferenciadas, com formas próprias de relevo. A área vem sendo retrabalhada por uma profusa rede de drenagens que conforme suas características e diversidades dos tipos litológicos esculpem o modelado em formas diversas.

Toda esta área possui a sua litologia orientada norte-sul, fruto de intensos esforços dinâmicos. Assim a paisagem ostenta feições superficiais alongadas na qual as drenagens principais se orientam para o noroeste. Essa área constitui um relevo montanhoso que mostra um declive acentuado tanto para leste como para oeste, com forma ligeiramente dômica, até

atingir a região de Ipatinga, onde a dissecação aumenta denotando a influência da Unidade Dissecada do rio Doce. Todo o sistema é formado por uma densa rede de drenagens dendrítico-retangulares que elabora cristas e cumeadas, modulando o relevo deste domínio.

Esta paisagem está de certo modo condicionada aos lineamentos que são observados na região. Quando se desloca para leste a dissecação aumenta, o relevo vai assumindo formas mais suaves e os cursos d'água tomam aspectos meandriformes, como os do rio Doce e seus tributários.

3.2.7 – Geologia

Oliveira & Noce (1999) situam a cidade de Ipatinga, geologicamente, em terrenos arqueanos, intensamente retrabalhados por eventos proterozóicos.

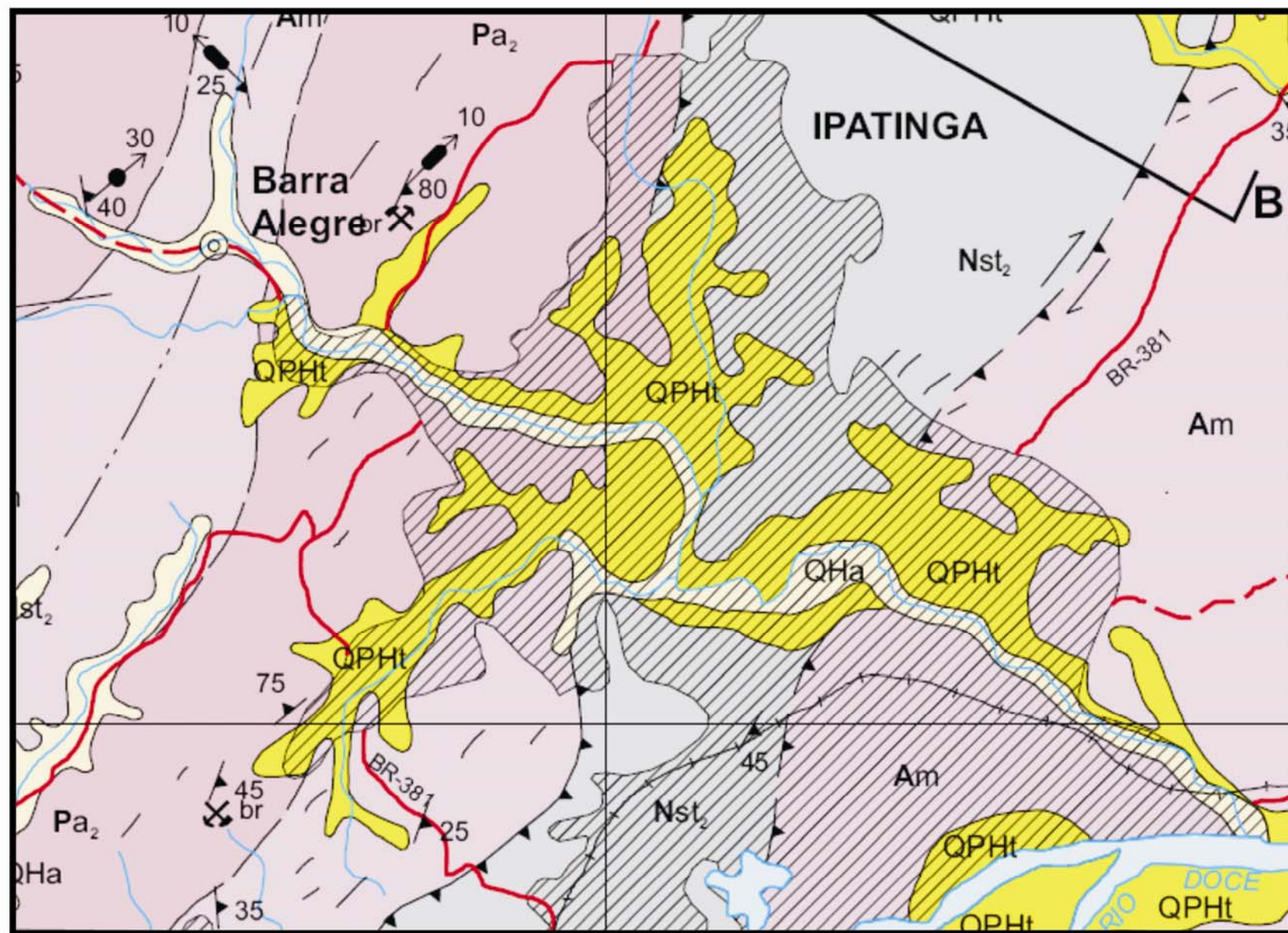
Representam-se rochas de idade arqueana pelo embasamento gnáissico-migmatítico do Complexo Basal e apresentam aspecto bandado ou finamente laminado (foliação com direção NNE a N-S e mergulhos com 25° a 45° SE). Constituem o substrato da parte sudoeste e a metade da porção leste da cidade, incluindo a planície ocupada pela Usiminas. Tratando-se da petrografia, os gnaisses são compostos por quartzo, plagioclásio, K-feldspato, biotita e hornblenda, allanita, tritanita, apatita, zircão e opacos são apresentados como minerais acessórios e carbonato. Já o epidoto, clorita e mica branca, apresentam-se como minerais de alteração. Sobre esta unidade, foram depositadas as rochas do Grupo Guanhães, compostas por formação ferrífera, quartzitos, xistos e paragnaisses, que não afloram na área de estudo (OLIVEIRA & NOCE, 1999).

Segundo Gomes (2002) as colinas, a oeste da cidade, estão sobre granitóide do tipo Borrachudos, que criam um empecilho para a expansão urbana por ser de difícil ocupação devido a sua natureza geológica. Estes granitos são constituídos por quartzo, K-feldspato, biotita, plagioclásio e hornblenda, e ainda por fluorita, allanita, titanita, zircão, monazita e opacos que aparecem como minerais acessórios. Apresentam pronunciada foliação tectônica, com direção oscilando entre NNW e NNE e mergulhos variando de 20° a 45°, além de bolsões de biotita.

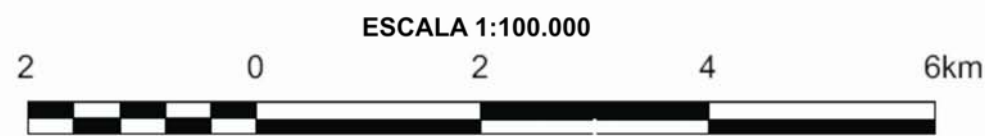
A parte central do município está sobre o substrato rochoso do Grupo Rio Doce, apresentando xistos quartzosos e quartzitos com granulação grossa e textura sacaróide. A mineralogia principal é dada por quartzo e mica branca, e também por granada, turmalina, zircão apatita e opacos que são minerais acessórios. Como consequência do contato junto aos Granitos do tipo Borrachudos por falha de empurrão, com movimentação oblíqua detral, a foliação se dá com direção NNE e mergulho de 30° a 45° a ESE.

A área de estudo caracteriza-se por uma tectônica compressiva que gerou empurrões frontais e oblíquos, com sentido de transporte aproximado de E para W. Esses empurrões colocam em contato unidades de diferentes idades em arranjo imbricado, afetando-as também internamente, ocasionando o empilhamento tectônico de camadas. Predominam os empurrões de direção NNE com mergulhos para ESE, embora ocorram, secundariamente, empurrões de direção NW (OLIVEIRA & LEITE, 2000).

Apresenta-se na Figura 3.9 o mapa geológico na escala de 1:100.000 da região do Vale do Aço, com destaque para o município de Ipatinga.



- PLEISTOCENO**
- QPHt** Sedimentos arenosos com níveis de cascalho associados, parcialmente litificados e limonizados
- NEOPROTEROZÓICO**
- GRUPO RIO DOCE
- Nst₂** Formação São Tomé - unidade 2: xisto e quartzito muscovíticos, localmente com silimanita, finos e médios, friáveis, laminados e bandados
- PALEOPROTEROZÓICO**
- SUÍTE BORRACHUDOS
- Pa₂** Granito Açucena: hornblenda-biotita granito médio a grosso, porfírico foliado com fluorita
- ARQUEANO**
- COMPLEXO MANTIQUEIRA
- Pa₂** (Anfibólio) - biotita gnaiss bandado com composição tonalítica, granodiorítica e granítica. Subordinadamente anfibolito, migmatito e biotito
- CONVENÇÕES GEOLÓGICAS**
- Contato definido
 - - - Contato aproximado
 - ▲▲ Falha contracional (empurrão/reversa) aproximada
 - Fratura
 - - - Falha ou zona de cisalhamento aproximada
 - ↔ Falha contracional com componente oblíqua definida
 - ≡≡≡ Lineamentos estruturais: traços de superfícies
 - 45° Foliação com mergulho medido
 - ↑ Foliação vertical
 - 30° Lineação B com caimento medido
 - 30° Lineação mineral com caimento medido
 - 40° Lineação de estiramento com caimento medido
 - × Afloramento descrito
 - Ocorrência mineral
 - ↗ Lavra rudimentar/garimpo ativo
 - ✓ Lavra rudimentar/garimpo paralisado
 - ⊗ Mina em atividade



PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
 DATUM VERTICAL: Marégrafo de Imbituba - Santa Catarina
 DATUM HORIZONTAL: SAD-69

Figura 3.9 - Mapa geológico na escala de 1:100.000 do município de Ipatinga. (OLIVEIRA & LEITE, 2000).

3.3 METODOLOGIA

Para a obtenção do mapeamento das áreas predispostas à ocorrência de movimentos de massa dividiu-se o trabalho em três etapas conforme apresentado no fluxograma da Figura 3.10.

Na primeira etapa iniciou-se o reconhecimento da área através de visitas a campo e identificou-se fatores necessários à realização do trabalho. Teve-se na segunda etapa a aquisição e geração das informações a serem utilizadas no mapeamento de predisposição a movimentos de massa. E na terceira etapa avaliou-se os fatores obtidos a partir do levantamento de campo e das análises laboratoriais, a fim de obter o melhor cenário que representasse a predisposição a movimentos de massa.

3.3.1 – Reconhecimento da área

Com a finalidade de reconhecimento *in loco* da área de estudo, realizou-se uma campanha de campo com acompanhamento de representantes da Defesa Civil.

Nesta etapa, os membros da Defesa Civil apresentaram as regiões com maiores índices de ocorrências de deslizamentos de encostas, devido à ocupação desordenada, em áreas potencialmente instáveis.

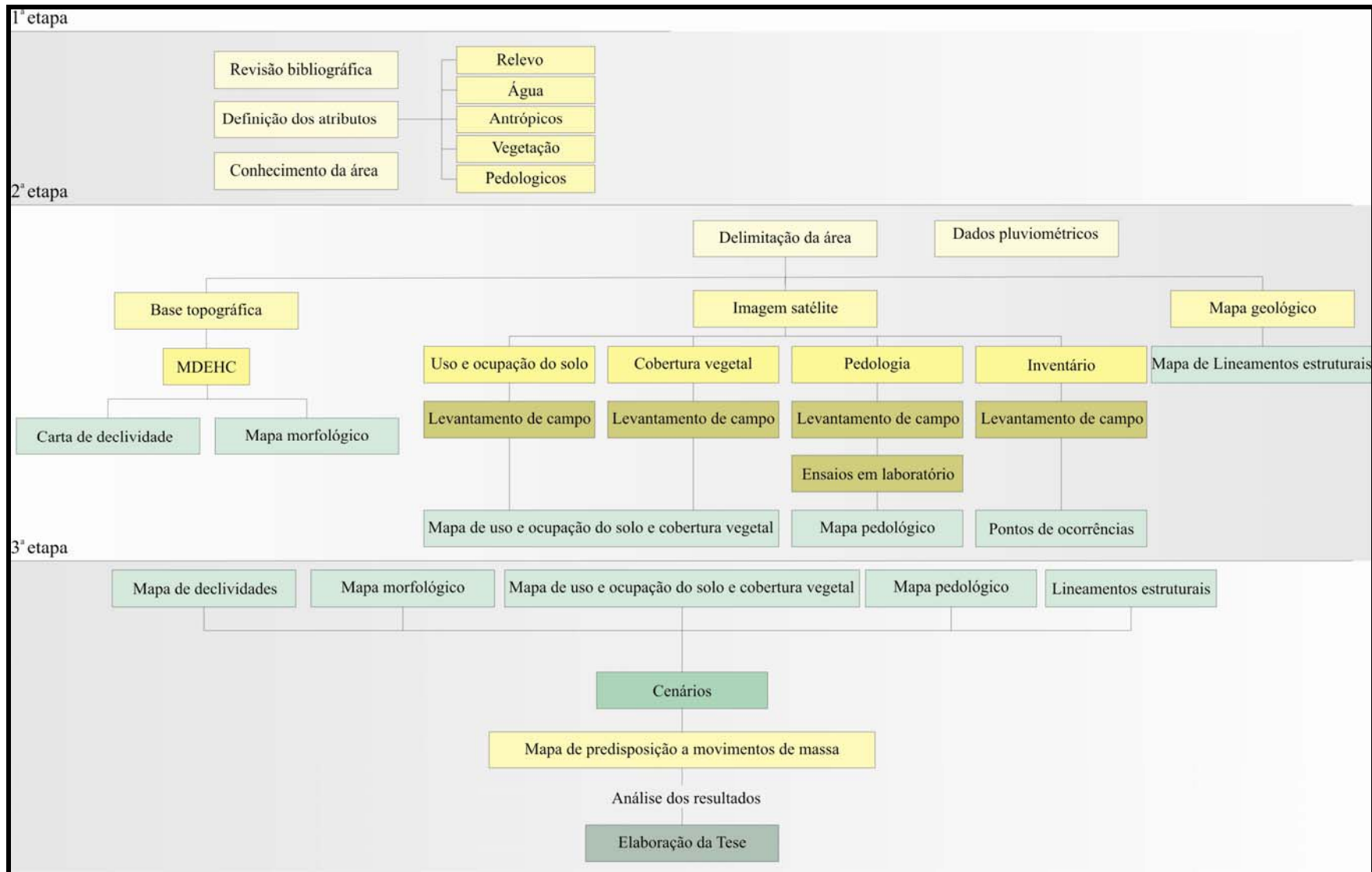


Figura 3.10 – Fluxograma representando as três etapas metodológicas do trabalho.

3.3.2 – Levantamento de informações e dados

O levantamento de dados consistiu em uma revisão bibliográfica e conhecimento da situação do município quanto à ocorrência de deslizamentos com representantes da Defesa Civil municipal.

O Quadro 3.5 apresenta os dados obtidos junto à Prefeitura Municipal de Ipatinga.

Item	Descrição	Ano	Resolução	Formato	Fonte
1	Arquivos digitais				
1.1	Topografia com curvas de nível equidistantes de 1 m	2003		shp	PMI
1.2	Arruamento	2003		shp	PMI
1.3	Limites dos bairros	2003		shp	PMI
1.4	Hidrografia	2003		shp	PMI
2	Imagem satélite				
2.2	Ikonos II	2003	4 metros	GeoTIFF	PMI

Quadro 3.5 – Dados fornecidos pela Prefeitura Municipal de Ipatinga (PMI).

3.3.3 – Ensaios de caracterização e de parâmetros de resistência geotécnica

Durante a primeira campanha de campo coletou-se 13 amostras deformadas em seis locais representativos das feições pedológicas, nos quais havia a existência de deslizamentos de encostas. Posteriormente, foi-se a campo e coletou-se três amostras indeformadas para obtenção de parâmetros de resistência geotécnica, conforme apresentado na Figura 3.11.

- Presença de casas na crista e no pé do talude;
- Rua na crista do talude.

Amostras: 03 – Horizonte C – Saprolito de rocha granitizada e **04** – Horizonte B – vermelho com alto grau de silte / material movimentado no escorregamento.

Local – Bairro: Bom Jardim Rua: Genipapo, próximo ao nº 161.

Características do local:

- A pedoforma dominante na área instável é côncava, com formação de sulcos e ravinas. Não existem problemas nas formas convexas, que são raras.
- Há cicatrizes de deslizamento na meia encosta;
- Presença de casas na crista e no pé do talude;
- Rua no pé do talude.

Amostras: 05 – Horizonte C – aproximadamente 7 m de profundidade, **06** – Horizonte B a 40 cm e **07** – Fragmento de rocha (Migmatita).

Local – Bairro: Vila Celeste Rua: Tucanuçu.

Características do local:

- Deslizamento da cunha com espelhamento de aprox. 10m;
- Presença de sub-cunhas;
- Região altamente instável;
- Presença de casas na crista e no pé do talude;
- Rua no pé do talude.

Amostras: 08 – Horizonte B com alta presença de xisto na profundidade de 4,00 metros e amostra **09** na profundidade de 6,00 metros

Local – Bairro: Barra Alegre Rua: Um.

Características do local:

- Alta presença de xisto;
- Região com alto grau de instabilidade;
- Os terraços têm alto nível de assoreamento decorrentes da erosão dos montes de xisto;
- Comprometimento das residências acima e abaixo da rua.

Amostras: 10 – Horizonte B e **11** – Horizonte C.

Local – Bairro: Betânea Rua: Saigon.

Características do local:

- Formação de cunha de ruptura ao longo de parte da rua;
- Inclinação das arvores de aproximadamente 45°;
- Formação de grande voçoroca;
- O rio meandra a escarpa acelerando o processo de erosão;
- Fissuras presentes nas residências sinalizando o movimento do talude;
- A rua está na crista do talude;
- Presença de casas na crista e no pé do talude.

Amostras: 12 – Horizonte C aproximadamente a 12 m profundidade e **13** – Horizonte B com aproximadamente a 7 m de profundidade.

Local – Bairro: Bom Jardim Rua: Francisco Constâncio.

Características do local:

- Aumento de ocupação inadequada;
- Rua no pé do talude;
- Ocupação na crista do talude.

Ensaiou-se as amostras indeformadas no Laboratório de Mecânica dos Solos e no Laboratório de Química dos Solos da Universidade Federal de Viçosa.

- Laboratório de Mecânica dos Solos (caracterização geotécnica):
 - Granulometria;
 - Massa específica;
 - Limites de liquidez;
 - Limite de plasticidade.

- Laboratório de Química dos Solos (caracterização química):
 - pH em água, KCl e CaCl₂ - Relação 1:2,5;
 - P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich 1;
 - Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L;
 - H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0;
 - B - Extrator água quente;
 - S - Extrator - Fosfato monocálcico em ácido acético;
 - SB - Soma das Bases Trocáveis;
 - CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva;
 - CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0;
 - V = Índice de Saturação de Bases;
 - m = Índice de Saturação de Alumínio;
 - SNa - Índice de Saturação de Sódio;
 - Mat. Org. (MO) = C.Org x 1,724 (Walkley-Black);
 - P-rem = Fósforo Remanescente.

As amostras deformadas foram preparadas segundo as Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 6457/86 (ABNT, 1986a), assim como o ensaio de granulometria (NBR 7181/84, ABNT, 1984d), determinação de massa específica dos grãos (NBR 6508/ 84, ABNT, 1984b), determinação do limite de plasticidade (NBR 7180/84, ABNT, 1984c) e determinação do limite de liquidez (NBR 6459/84, ABNT 1984a).

Definiu-se a localização da coleta de amostras indeformadas a partir do conhecimento da região de estudo. As características das amostras foram:

Amostra: Indeformada **01** – Horizonte B com profundidade de 4,00 metros

Local – Bairro: Barra Alegre Rua: Um.

Características do local:

- Região com alto grau de instabilidade;
- Os terraços têm alto nível de assoreamento decorrentes da erosão dos montes de xisto;
- Comprometimento das residências acima e abaixo da rua.

Amostra: Indeformada **02** – Horizonte B

Local – Bairro: Betânea Rua: Saigon.

Características do local:

- Formação de cunha de ruptura ao longo de parte da rua;
- Inclinação das árvores de aproximadamente 45°;
- Formação de grande voçoroca;
- O rio meandra a escarpa acelerando o processo de erosão;
- Fissuras presentes nas residências sinalizando o movimento do talude;
- A rua está na crista do talude;
- Presença de casas na crista e no pé do talude.

Amostra: Indeformada **03** – Horizonte B com aproximadamente 4,00 metros de profundidade

Local – Bairro: Canaã Rua: Tucumã.

- Amostra situada na parte plana do município;
- Presença de fissuras no corpo do talude.

Realizou-se nas amostras indeformadas ensaios de Cisalhamento Direto, Adensamento e Permeabilidade.

3.4 – MAPAS TEMÁTICOS

3.4.1 – *Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC)*

Conforme Baptista (2005) o Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC) tem por objetivo a representação do relevo de forma fidedigna para assegurar a convergência do escoamento superficial ao longo da drenagem mapeada, garantindo a sua consistência hidrológica.

Para a obtenção do MDEHC foi necessário, primeiramente, identificar-se as curvas de nível equidistantes de 1 metro.

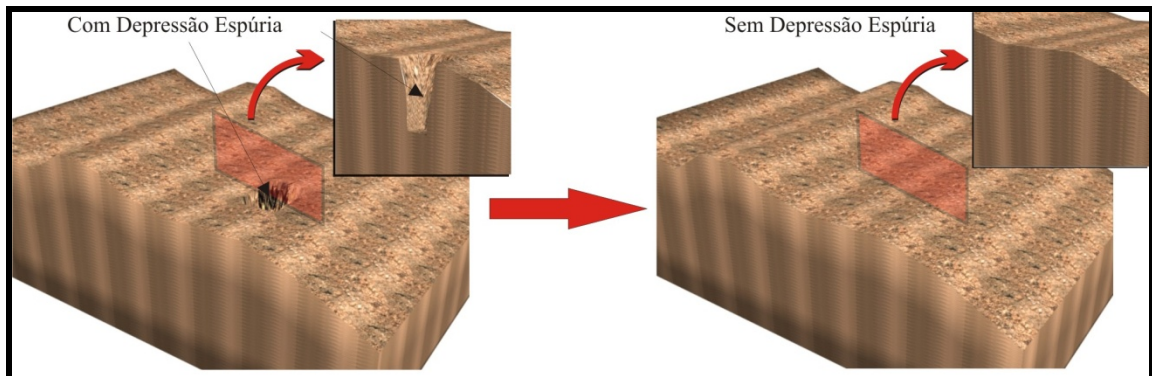
A carta hipsométrica equidistante de 1 metro não estava identificada. Possuía a informação gráfica referente às curvas de nível, sem conter os valores da altimetria referentes às essas curvas no banco de dados.

Para a identificação (preenchimento do banco de dados) da altimetria de 1 em 1 metro utilizou-se o software ArcView 3.2 - © Enviromental Systems Research Institute, Inc (1992-2000). Identificou-se todas as curvas de nível de 1 em 1 metro dentro do limite municipal.

Para obtenção do MDEHC utilizou-se o software ArcInfo - © Enviromental Systems Research Institute, Inc (1999-2004) – através do módulo TOPOGRID/ArcGRID.

Após a geração do MDEHC preencheu-se as depressões espúrias, que segundo Baptista (2005) são células cercadas por células com maiores valores de elevação e sua presença em um MDEHC produz a descontinuidade do escoamento superficial descendente para uma célula vizinha, conforme apresentado nas Figuras 3.12a e 3.12b. Segundo Chaves (2002) as depressões incluem áreas planas e depressivas. Algumas dessas depressões podem ser naturais, como os sumidouros observados em região de Carste, mas a maioria delas é considerada espúria, decorrentes do próprio processo de geração do MDE (amostragem e

interpolação) e da truncagem dos valores interpolados para números inteiros na saída do modelo.



Figuras 3.12a e 3.12b – Modelagem de uma depressão espúria

O modelo de sombreamento foi obtido a partir do MDEHC com o objetivo de melhorar a visualização das classes dos mapas temáticos.

A Figura 3.13 apresenta o MDEHC referente à área de estudo.

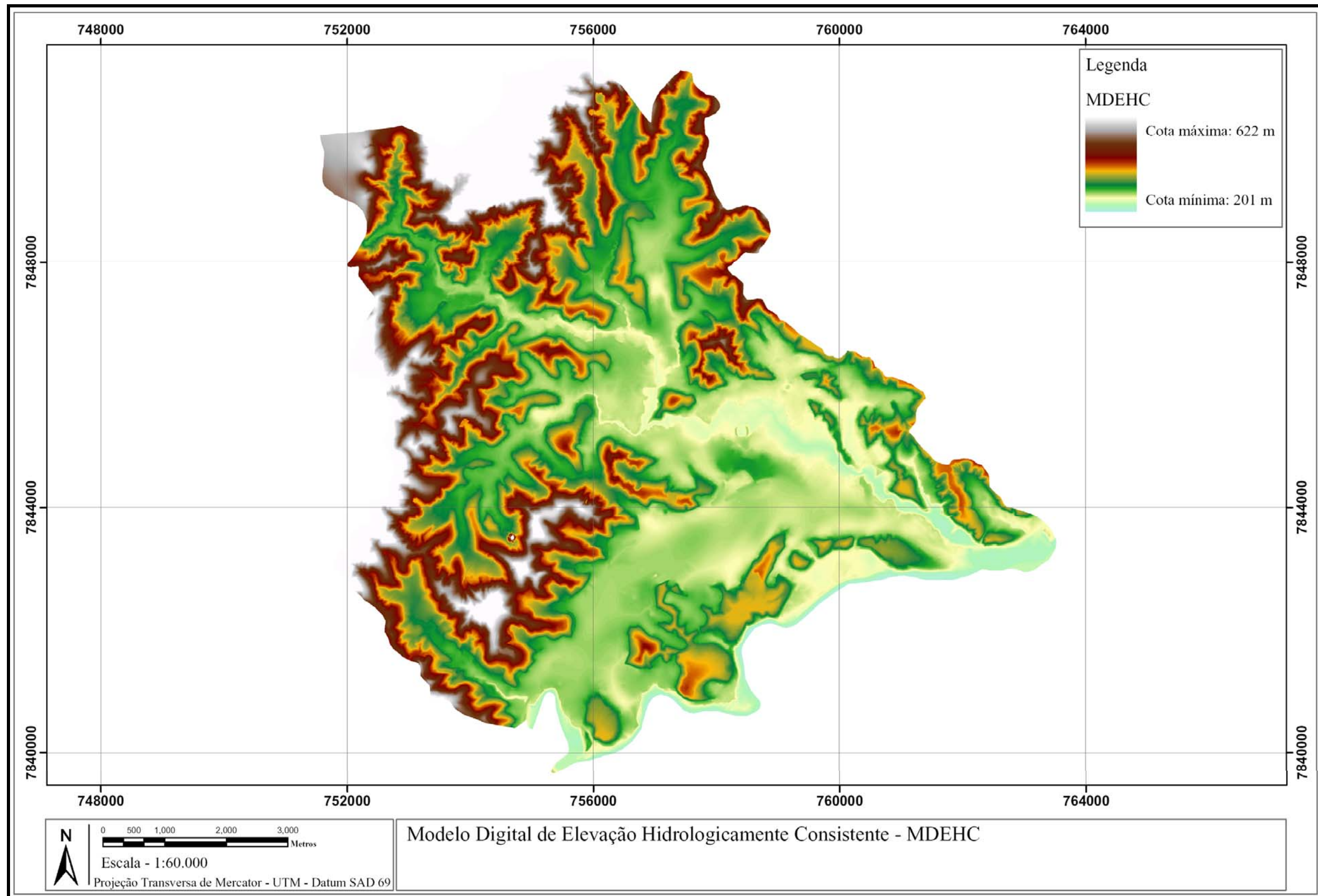


Figura 3.13 - Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC) referente à área de estudo.

3.4.2 – Carta de declividade

A carta de declividade foi obtida a partir do MDEHC, utilizando o software ArcGis (Figura 3.14). Ela foi classificada em dez classes, divididas em percentagem de dez em dez unidades, sendo a última classe com declividades superiores a 90%.

3.4.3 – Mapa de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal

O mapa de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal foi obtido da vetorização da imagem de satélite Ikonos II e uso do software AutoCAD 2005, © Autodesk, Inc (1982-1999). A vetorização delimita regiões com características semelhantes segundo um padrão específico. Para este trabalho dividiu-se a área de estudo segundo as feições:

- Área urbana;
- Área de especial interesse social;
- Áreas urbanas não mapeadas;
- Mata;
- Pastagem;
- Capoeira;
- Solo exposto;
- USIMINAS.

Dividiu-se a área de ocupação antrópica em três subáreas segundo a prefeitura municipal: área urbana, área de especial interesse social e áreas urbanas não mapeadas.

A área urbana é composta de toda área ocupada antropicamente, excetuando-se as áreas de especial interesse social e áreas urbanas não mapeadas. As áreas de especial interesse social correspondem aos locais com maiores índices de ocupação desordenada e ausência de infraestrutura. As áreas urbanas não mapeadas foram definidas a partir da imagem de satélite Ikonos II.

Após a delimitação das áreas de interesse no AutoCAD 2005, o software Cartalinx 1.2, © The Clark Labs (1998-99) foi utilizado para realizar o fechamento dos polígonos.

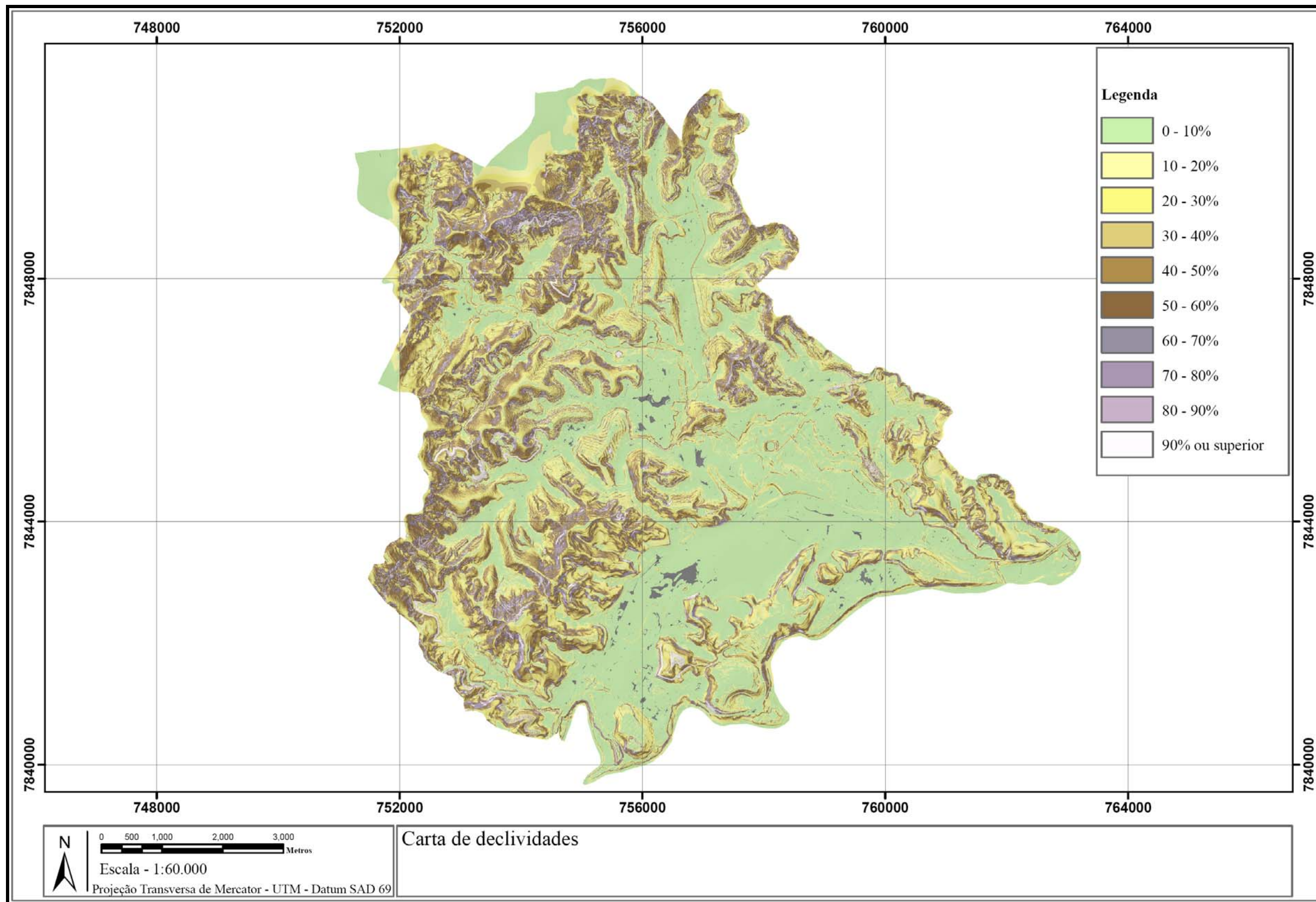


Figura 3.14 - Carta de declividade obtida a partir do MDEHC, utilizando o software ArcGis.

Posteriormente utilizou-se o software ArcView 3.2, © Environmental Systems Research Institute, Inc (1992-2000) para nomear as feições segundo sua classificação. Este procedimento poderia ter sido feito no Catalinx 1.2, porém optou-se pelo ArcView 3.2 pela interface agradável e maior agilidade, conforme exemplo apresentado na Figura 3.15.

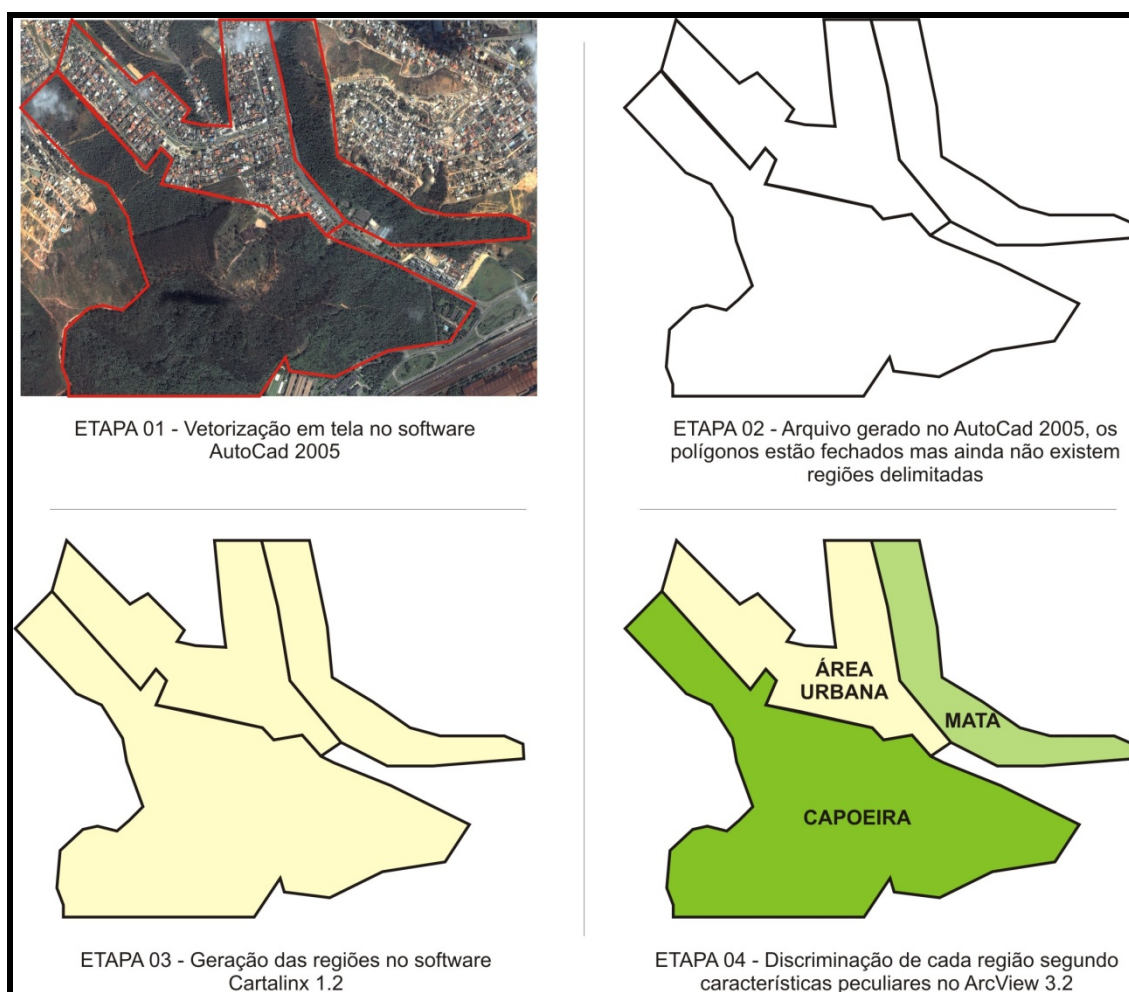


Figura 3.15 – Exemplo de vetorização em tela, criação de regiões e discriminação das classes do uso e ocupação do solo e cobertura vegetal, através da metodologia aplicada para o estudo.

3.4.4 – Mapa pedológico

O mapa pedológico foi obtido por meio de visita a campo, ensaios de laboratório, levantamento planialtimétrico e imagem de satélite Ikonos II.

Padronizou-se as classes de solos conforme a classificação proposta pela Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária (EMBRAPA, 1999).

O mapa de solos foi obtido analogicamente da imagem Ikonos II impressa em papel. A conversão digital foi feita por meio do software Cartalinx 1.2. As feições de cada classe de solo foram delimitadas com o objetivo de formar regiões fechadas conforme exemplo apresentado na Figura 3.16.

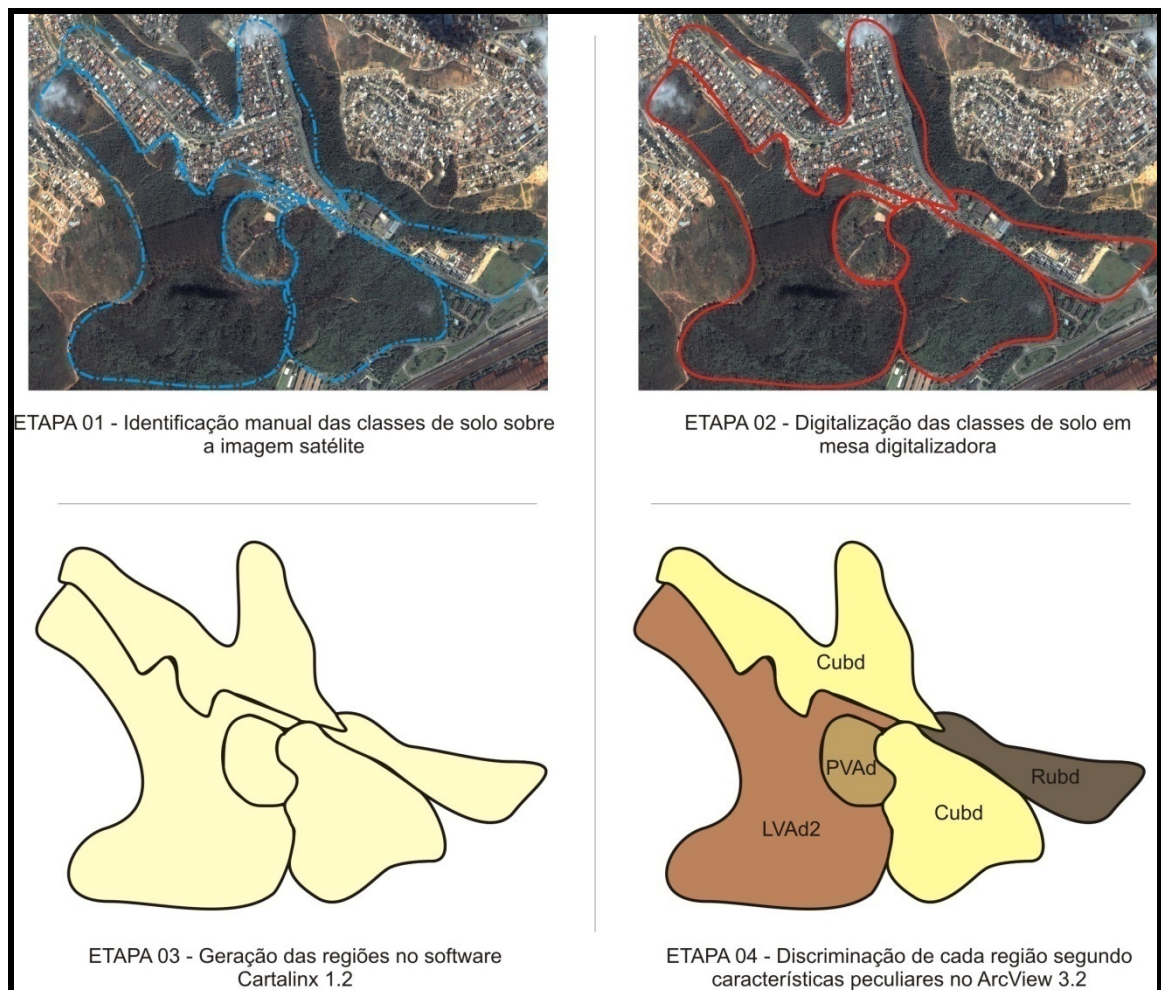


Figura 3.16 – Exemplo de digitalização em mesa digitalizadora, criação e discriminação de regiões das classes de solo como proposto na metodologia do presente estudo.

Não foi realizado o mapeamento das classes de solos presentes nas áreas da USIMINAS e nos bairros Imbaúbas, Bom Retiro, Bela Vista, Águas, Cariru e Castelo. Ao considerar o objetivo do trabalho, sabe-se que estas áreas são estáveis quanto à problemática

de deslizamentos de encostas, por estarem em regiões planas e possuírem um histórico de ocupação ordenada.

3.4.5 – Mapa de fraturas e falhas

O mapeamento das linhas de fraturas e falhas foi realizado a partir do mapa geológico, do conhecimento dos padrões estruturais da área de estudo, da avaliação visual da ocorrência destas linhas na imagem Ikonos II, e de padrões estruturais obtidos a partir do MDEHC, na escala de 1:100.000 conforme detalhado na Figura 3.17.

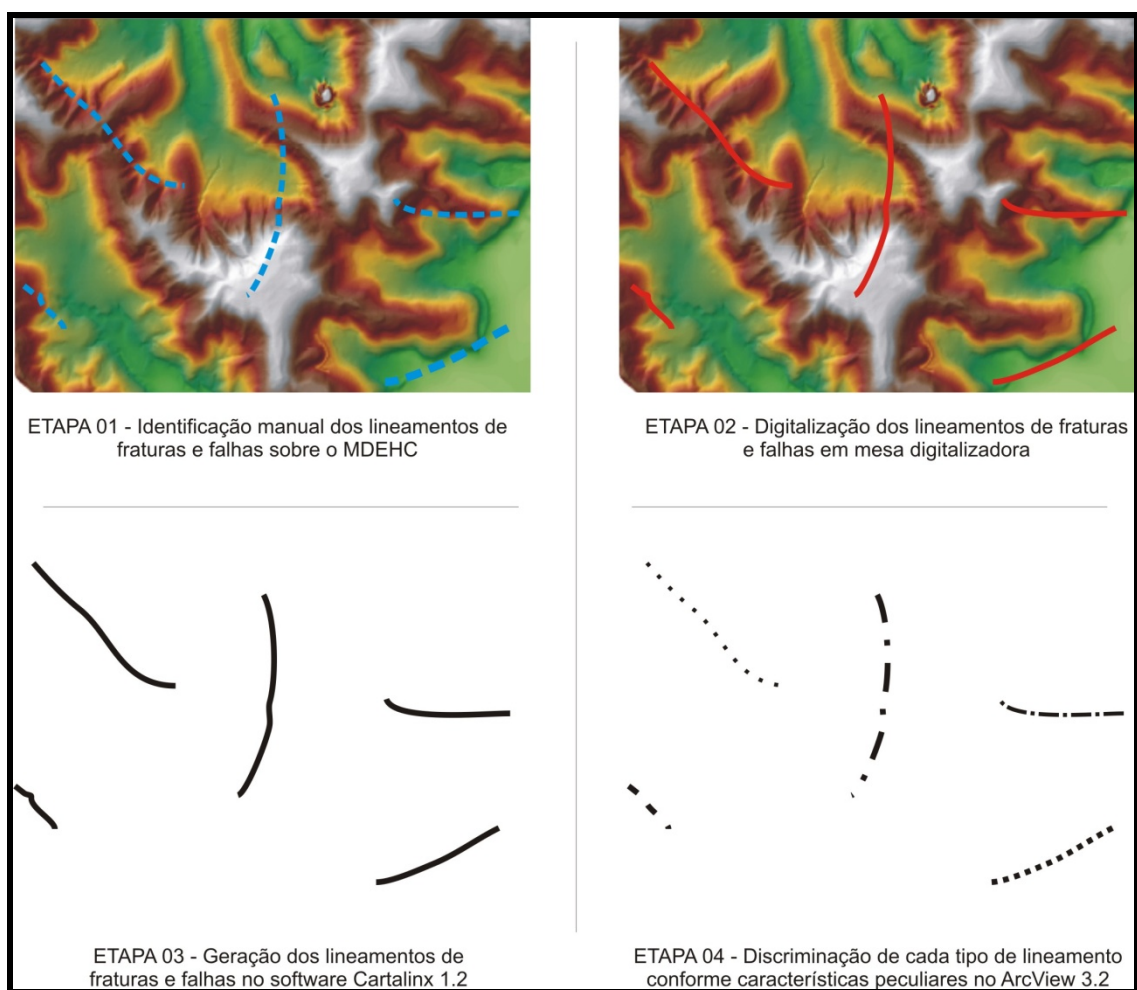


Figura 3.17 – Exemplo de digitalização em mesa digitalizadora e criação de lineamentos como proposto na metodologia do presente estudo.

3.4.6 – Mapa morfológico

O mapa morfológico foi obtido do MDEHC com o módulo *curvature* do ArcINFO, segundo as feições côncavas, convexas, retilíneas, convexo-côncavas e convexo-retilíneas.

3.5 – INVENTÁRIO

No inventário de ocorrências de movimentos de massa considerou-se os locais com características potenciais para a aplicação do estudo, escolhidos conforme os fatores:

- Topografia acidentada;
- Declividade acentuada;
- Presença de ação antrópica;
- Ocupações inadequadas que apresentassem situações de perigo;
- Indicação da Defesa Civil dos locais mais críticos.

Para padronizar os dados, criou-se uma planilha de campo para anotações pertinentes às ocorrências encontradas, conforme apresentado na Figura 3.18.

Planilha de Campo		
Data:	Hora:	Ficha N°:
Cidade: Ipatinga	Bairro:	Rua:
Equipe:		
GPS :		
Fotos:		
Descrição do Problema		
1) Há acidentes?		
<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não		
2) Ocorrência:		
<input type="checkbox"/> Deslizamento Superficial	<input type="checkbox"/> Rolamento de blocos	<input type="checkbox"/> Erosão
<input type="checkbox"/> Deslizamento Profundo	<input type="checkbox"/> Colapso de estrt. Construída	
<input type="checkbox"/> Desplacamento de Rocha	<input type="checkbox"/> Outros	
3) Causas prováveis		
<input type="checkbox"/> Cortes	<input type="checkbox"/> Percolação	<input type="checkbox"/> Erosão
<input type="checkbox"/> Drenagem deficiente	<input type="checkbox"/> Chucas intensas	<input type="checkbox"/> Outros
<input type="checkbox"/> Contenção deficiente	<input type="checkbox"/> Lixo ou entulho	
<input type="checkbox"/> Estrutura geológica	<input type="checkbox"/> Desmatamento	
<input type="checkbox"/> Construções mal localizadas	<input type="checkbox"/> Aterros	
4) Talude:		
<input type="checkbox"/> Natural <input type="checkbox"/> Artificial		
5) Danos previsíveis:		
<input type="checkbox"/> Pessoas	<input type="checkbox"/> Construções/Moradias envolvidas	
<input type="checkbox"/> Logradouros	<input type="checkbox"/> Infra-estrutura	
<input type="checkbox"/> N° de moradias	<input type="checkbox"/> Nenhum	
6) Obras de estabilização:		
<input type="checkbox"/> Existente	<input type="checkbox"/> Inexistente	
<input type="checkbox"/> Eficiente	<input type="checkbox"/> Deficiente	
7) Riscos:		
<input type="checkbox"/> Baixo	<input type="checkbox"/> Alto	
<input type="checkbox"/> Médio	<input type="checkbox"/> Muito Alto - necessita retirada dos	
8) Tipo de ocupação:		
<input type="checkbox"/> Ordenada	<input type="checkbox"/> Densa	<input type="checkbox"/> Esparsa
<input type="checkbox"/> Desordenada	<input type="checkbox"/> Média	<input type="checkbox"/> Inexistente
9) Croqui		

Figura 3.18 – Planilha de campo utilizada para levantamento de movimento de massa no município de Ipatinga, Minas Gerais.

Os pontos de ocorrências levantados foram georreferenciados com Global Positioning System - GPS de navegação e fotografados. Os pontos foram espacializados em software de sistema de informações geográficas.

Analisou-se o índice de ocorrências em cada mapa temático com vistas a avaliar a influência de cada classe destes mapas no movimento gravitacional de massa.

Para avaliar a influência dos lineamentos estruturais na ocorrência dos movimentos de massa gerou-se *buffers* (região equidistante das bordas da feição mapeada) com largura variando de 0 a 450 metros e intervalos de 5 m. Este intervalo de valores garantiu toda sobreposição da área de estudo. Sobrepôs-se aos *buffers* as ocorrências levantadas em campo. Quantificou-se a variação do número de ocorrências em função dos aumentos da largura dos *buffers*, conforme apresentado na Figura 3.19.

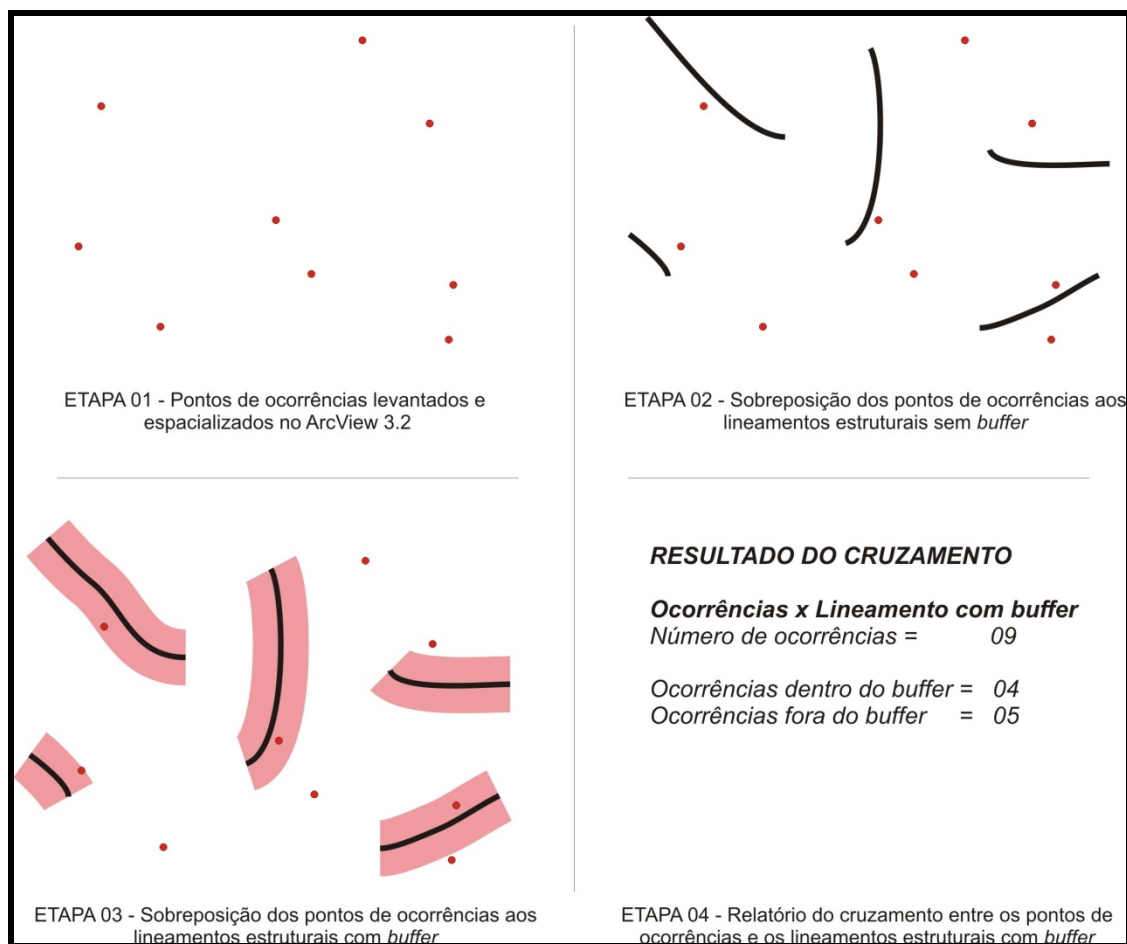


Figura 3.19– Exemplo de ocorrências sobrepostas a lineamento estrutural e *buffer* como proposto na metodologia do presente estudo.

3.6 – MAPEAMENTO DE SUSCEPTIBILIDADE DE MOVIMENTOS DE MASSA

A ocorrência de movimentos de massa é regida por fatores de diversas naturezas.

Neste trabalho foram utilizados mapas temáticos de natureza geológica, pedológica, topográfica e antrópica, conforme Quadro 3.6.

Mapas temáticos	
Natureza	Tipo
Topográfica	Declividade
Topográfica	Morfologia
Geológica	Fraturas e falhas
Antrópica	Uso e Ocupação do Solo
-	Cobertura Vegetal
Pedológica	Solos dominantes

Quadro 3.6 – Mapas temáticos segundo natureza e tipo.

Para a obtenção da susceptibilidade de ocorrências de movimentos de massa, atribuiu-se graus de probabilidade para ocorrência do mesmo.

Segundo Sidle et al. (1985) *apud* Rodrigues (2002) pode-se associar classes de declividades a alguns tipos de movimentos de massa em relação (Quadro 3.7).

Na carta de declividade, considerou-se que quanto maior a declividade maior é a predisposição à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa.

Tipos de movimento gravitacional de massa	Classes de declividade	
Rastejo em solos	1,3 a 25 graus	2,8 a 55,5%
Escoamento rápido em solo	4 a 20 graus	8,8 a 44,4%
Escorregamentos rotacionais	7 a 18 graus	15,5 a 40%
Escoamento rápido em solos e detritos sobrejacentes a rocha	Maior que 25 graus	maior que 55,5%

Quadro 3.7 – Classes de declividade relacionadas aos diferentes tipos de movimentos de massa (SIDLE et al., 1985 *apud* RODRIGUES, 2002).

Segundo Ross (1996) para a avaliação morfológica na análise de risco em escalas maiores que 1:25.000 deve-se considerar as formas das vertentes (feições côncavas, planas e convexas).

Segundo Bonuccelli (1999) pode-se caracterizar a susceptibilidade de ocorrência de movimentos de massa conforme essas feições (Quadro 3.8).

Perfil da encosta	Característica do evento
Encostas Côncavas	São geralmente mais evoluídos em termos geológicos e estariam menos sujeitos a esses processos.
Encostas Convexas	Menos evoluídos e, portanto mais sujeito a ocorrência desses processos.
Encostas Retilíneas	Estaria na situação intermediária entre os dois casos anteriores.
Encostas Convexo-Côncovas	Nessa do topo para base, seriam mais propensas.
Encostas Convexo-Retilíneas	Do topo para base, também seriam mais propensas.

Quadro 3.8 – Características do perfil das encostas relacionadas a ocorrência de movimentos de massa gravitacional (BONUCELLI, 1999 – modificado).

No mapeamento de lineamentos estruturais considerou-se de risco muito alto as feições mapeadas, que segundo Magalhães & Cella (1998) são descontinuidades ao longo dos quais os blocos separados sofrem deslocamentos, atritando-se um contra o outro impondo fragmentação e cominuição das rochas, levando em consideração que o distanciamento dessas feições diminui o grau de risco.

Para a definição da susceptibilidade de ocorrência de movimentos de massa no mapa de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal considerou-se as características da intervenção antrópica na área urbana e os tipos de vegetação.

Quanto à intervenção antrópica na área urbana, delimitou-se com apoio da prefeitura as áreas de especial interesse social, considerando o avançado grau de ocupação desordenada, a ausência de infra-estrutura urbana, lançamento irregular de lixo e entulhos e ausência de cobertura vegetal. As áreas urbanas não identificadas caracterizam-se pela ausência de cobertura vegetal e lotes não edificadas. Definiu-se como área urbana toda a área ocupada

antropicamente nesse setor desconsiderando as áreas de especial interesse social e as áreas urbanas não mapeadas. A classe USIMINAS representa a área ocupada pela Usina Intendente Câmara, caracterizada por uma ocupação ordenada.

O grau de risco da cobertura vegetal foi definido quanto à densidade de cobertura. Segundo Guerra (2003) a ausência de cobertura é um importante fator na remoção de sedimentos, no escoamento superficial e na perda de solo. O tipo e percentagem de cobertura vegetal podem reduzir os efeitos dos fatores erosivos naturais, além de funcionar como agente redutor na quantidade de energia que chega ao solo durante uma chuva e, dessa forma, minimizar os impactos das gotas, diminuir a formação de crostas no solo e reduzir a erosão. A densidade de cobertura vegetal além de influenciar a interceptação das águas da chuva, atua de forma direta na produção de matéria orgânica, que, por sua vez, atua na agregação das partículas constituintes do solo. As raízes podem ramificar-se no solo e ajudar na formação de agregados. Essas raízes atuam mecanicamente e ao se decomporem fornecem húmus, aumentando a estabilidade dos agregados do solo. Dessa forma, a estabilidade pode reduzir as taxas erosivas, uma vez que as partículas do solo são mantidas juntas e conseqüentemente, com maior resistência ao cisalhamento. Dessa forma, a cobertura vegetal foi classificada em matas, capoeira, pastagem e solo exposto.

Segundo Rodrigues (2002) todos os atributos de uma encosta constituída de materiais inconsolidados que influenciam na sua resistência ao cisalhamento, influenciam na possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa. Assim sendo, pode-se dizer que quanto menor a resistência ao cisalhamento, maior a "susceptibilidade" aos processos em estudo. Além disso, outros atributos relacionados aos materiais inconsolidados são semelhantes àqueles relacionados ao substrato rochoso. São eles:

Perfil de alteração

A caracterização dos materiais inconsolidados quanto a sua variabilidade vertical e lateral é de fundamental importância. As principais características a serem levantadas são:

- Gênese: residual (rocha de origem); transportado: talus, colúvio, aluvião.
- Textura e plasticidade; composição mineralógica.

- Índices físicos: umidade, peso específico natural e peso específico dos sólidos.
- Espessura e extensão areal (continuidade lateral).

A influência dos fatores que interferem na resistência ao cisalhamento dos materiais inconsolidados é descrita pela mecânica dos solos clássica. Assim, é possível afirmar que:

- Quanto maior a compactação ou consistência, maior a resistência ao cisalhamento;
- Solos saturados apresentam valores de poro-pressão positivas, portanto menor resistência ao cisalhamento;
- Solos parcialmente saturados apresentam-se com poro-pressões negativas (devido à sucção), aumentando ainda que temporariamente, sua resistência ao cisalhamento;
- Para solos arenosos, quanto mais bem graduados, maior o entrosamento entre as partículas, maior a resistência ao cisalhamento; quanto mais esféricos e arredondados os grãos, menor a resistência ao cisalhamento;
- Em relação à composição mineralógica: quanto mais resistentes os grãos individuais, maior a resistência ao cisalhamento;
- O histórico das tensões que o solo esteve submetido: argilas pré-adensadas apresentam resistência ao cisalhamento maiores que argilas normalmente adensadas;

Conforme Nogami & Villibor (1995) pode-se dividir os solos tropicais em duas categorias:

- Solos Lateríticos - Constituem as camadas mais superficiais das áreas bem drenadas, caracterizadas pela cor, com predominância dos matizes vermelho e amarelo, com espessuras que podem atingir mais de 2 m, podendo mesmo ultrapassar 10 m. Mineralogicamente caracterizam-se pela presença de grãos muito resistentes mecânica e quimicamente na fração areia e pedregulho, e elevada porcentagem de partículas constituídas de hidróxidos e óxidos de Fe e Al na fração argila; a caulinita está geralmente presente nesta fração. Os grãos

mais finos estão agregados formando uma massa de aspecto esponjoso cujos elementos constituintes lembram pipocas. Nessa estrutura contínua na escala macroscópica, nota-se a presença de torrões que podem ser bastante resistentes à ação hídrica e grande quantidade de vazios preenchidos de ar, o que justifica a sua baixa massa específica e elevada permeabilidade.

- Solos Saprolíticos - São camadas subjacentes às lateríticas ou outros solos pedogenéticos ou solos sedimentares ou transportados. Possuem espessuras de camadas variadas e cores de diversas matizes, com aparência macroscópica geralmente caracterizada pela presença de camadas, manchas, xistosidades, vazios, etc. em grande parte herdadas da rocha matriz. São genuinamente residuais. Sua constituição mineralógica é caracterizada pela presença freqüente de grande número de minerais decorrentes do processo de intemperismo em parte herdados da rocha matriz. Os minerais neoformados constituem associações muitas vezes pseudomorfas. Na fração argila pode ocorrer grande variedade de argilominerais e a fração silte pode ter mineralogia muito variada e peculiar, como os macrocristais de caulinita e micas, que podem impor comportamentos peculiares a estes solos.

Os cenários potenciais da susceptibilidade de ocorrência de movimentos de massa foram obtidos com o módulo de análise de decisão do Idrisi (MCE). Utilizou-se na análise o processo de agregação da combinação linear ponderada (WLC) que fornece a máxima compensação entre os fatores e risco médio.

Os critérios foram divididos em fatores e restrições. Os fatores são limitações relativas que definem graus de aptidão às diversas classes, enquanto as restrições são limitações absolutas que restringem o espaço de análise. Tem-se como fatores: a declividade, o mapa de solos, o uso e ocupação do solo e cobertura vegetal, os lineamentos estruturais e a morfologia. A restrição utilizada foi o limite da área estudada.

Os fatores foram padronizados com o algoritmo *fuzzy*, segundo a escala de adequabilidade de zero (menor risco) a 255 (maior risco). Em alguns casos, os fatores foram escalonados para valores categóricos de adequabilidade. Para padronização dos dados fez-se

comparações entre as características das classes de cada fator a fim de obter a influência de cada classe na predisposição a movimentos gravitacionais de massa.

Cada cenário foi dividido segundo a predisposição a movimentos de massa em quatro classes: predisposição baixa, média, alta e muito alta.

No primeiro cenário utilizou-se pesos iguais para todos os fatores analisados. A declividade foi priorizada no segundo cenário, enquanto no terceiro cenário priorizou-se o mapa de solos. Teve-se no quarto cenário a priorização do uso e ocupação do solo e cobertura vegetal, ficando o quinto cenário com os lineamentos estruturais. Por fim no sexto cenário foi priorizado o mapa morfológico.

Para a comparação entre os fatores utilizou-se a comparação pareada proposta por Saaty (1977), em que se tem a comparação par a par entre os fatores considerando um critério de importância relativa. O Quadro 3.9 apresenta a escala de importância proposta.

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Importância igual	As duas atividades contribuem diretamente para o objetivo.
3	Pequena Importância de uma sobre a Outra	O julgamento favorece levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande	O julgamento favorece fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra.
9	Importância absoluta	Mais alto grau de certeza de favorecimento de uma atividade em relação à outra.
2,4,6,8	Valores intermediários entre julgamento	Quando se procura uma condição intermediária entre duas definições.

Quadro 3.9 – Escala proposta por Saaty (1977) para comparação entre fatores que influenciam no movimento de massa.

Obteve-se cenários entre pares de fatores em termos de sua importância relativa e depois de todas as combinações possíveis, calculou-se a razão de consistência entre os fatores e o conjunto de pesos cujo somatório é 1.

Comparou-se os cenários obtidos com as classes dos mapas temáticos a fim avaliar a influência destas na predisposição a movimentos gravitacionais de massa.

A carta de susceptibilidade a movimentos de massa foi obtida em escala de 1:20.000 e realizou-se a formatação final no software ArcGIS.

Utilizou-se os softwares Idrisi e ArcGIS pela facilidade de interação com o usuário e transferência de arquivos entre os mesmos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente trabalho teve como finalidade a obtenção da carta de predisposição a movimentos de massa na escala 1:20.000 da área estudada a partir de fatores topográficos, geológicos, pedológicos e antrópico. Utilizou-se imagens de satélite, trabalhos laboratoriais e visitas a campo como auxílio na obtenção e/ou validação das informações geradas.

A pesquisa forneceu resultados que podem ser divididos em quatro segmentos: caracterização geotécnica; produção de mapas temáticos; análise do inventário de ocorrências e elaboração e análise da carta de predisposição a movimentos gravitacionais de massa. Aqui ok

As informações obtidas neste trabalho contemplam toda área urbana do município de Ipatinga e parte da área rural, totalizando uma área de 75,48km².

4.1 – CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA

A avaliação dos limites de Atterberg (LL e LP), massa específica dos sólidos e granulometria das amostras de solo foram obtidas através de ensaios de caracterização dos solos e estão representadas no Quadro 4.1.

Amostra	Limites de Atterberg			Granulometria				ME sólidos G/cm ³
	LL %	LP %	IP %	Argila %	Silte %	Areia %	Cascalho %	
01	-	-	-	38	19	24	19	2,70
02	38,80	29,94	8,96	34	11	42	13	2,74
03	43,50	24,90	18,60	27	30	41	01	2,86
04	58,00	34,87	23,13	43	18	32	07	2,77
05	41,50	22,15	19,35	22	25	50	03	2,80
06	48,70	33,60	15,10	49	10	33	08	2,69

Continua...

Amostra	Limites de Atterberg				Granulometria			ME sólidos G/cm ³
	LL	LP	IP	0,75	0,425	0,25		
07	-	-	-	-	-	-	-	-
08	40,00	24,00	16,00	25	06	64	05	2,76
09	24,25	-	-	05	09	78	08	2,81
10	49,00	38,00	11,00	51	07	42	00	2,78
11	46,00	38,00	8,00	19	28	49	04	2,75
12	47,00	29,48	17,52	50	10	40	00	2,71
13	48,75	33,43	15,32	48	10	39	03	2,78

Quadro 4.1 – A avaliação dos limites de Atterberg (LL e LP), massa específica dos sólidos e granulometria das amostras dos solos.

Onde:

LL = Limite de liquidez / LP = Limite de plasticidade / IP = Índice de Plasticidade;

ME sólidos = Massa específica dos sólidos;

Os valores de LL, LP e IP da amostra 01 não foram obtidos.

A amostra 07 é uma rocha migmatítica, portanto, não foram realizados os ensaios de caracterização geotécnica. De acordo com os resultados obtidos classificou-se as amostras segundo o diagrama triangular de Ferret e a classificação TRB (Quadro 4.2).

	Amostra	Classificação Ferret	TRB
LVA	01	Argila arenosa	-
LVA	02	Argila arenosa	A-4
CXB	03	Areia argilosa	A-7-5
CXB	04	Argila arenosa	A-7-5
CXB	05	Areia argilosa	A-7-6
CXB	06	Argila arenosa	A-7-5
-	07	-	-
CXB	08	Areia argilosa	A-2-6
CXB	09	Areia	-
LVA	10	Argila	A-7-5
LVA	11	Areia siltosa	A-2-7
CXB	12	Argila arenosa	A-7-5
CXB	13	Argila arenosa	A-7-6

Quadro 4.2 – Classificação das amostras de solo segundo diagrama triangular de Ferret e classificação TRB.

Na classificação obtida a partir do diagrama triangular de Ferret tem-se seis classes de solo do tipo argila arenosa. Esta classe caracteriza-se por estar sujeita a variações de volume e drenagem relativamente facilitada. Três amostras foram do tipo areia argilosa, que representam solos com baixa plasticidade onde seus processos erosivos são facilitados. Obteve-se também uma amostra da classe areia, caracterizada por ser facilitadora dos processos erosivos devido ao fácil desprendimento das partículas.

A classificação TRB apresentou sete classes do tipo A-7, caracterizada pela alta plasticidade e comportamento regular a péssimo quanto a qualidade no uso em rodovias. A amostra 02 foi classificada como A-4, indicando solos siltosos não plásticos. Obteve-se também a classe A-2-6 na amostra 08, caracterizada também pela presença de silte não plástico, com bom comportamento para subleito.

Os solos CXbd1, CXbd2 e CXbd3 apresentam comportamento saprolítico que segundo Nogami & Villibor (1995) são solos com características de elevada erodibilidade, com emprego restrito devido às suas características de elevada expansibilidade, plasticidade, compressibilidade e contração quando submetidos à secagem.

A classe LVAd2 apresenta comportamento laterítico bastante resistentes à ação hídrica, reduzindo o efeito dos processos erosivos e conseqüentemente as ocorrências de movimentos de massa.

Tem-se nove associações pedológicas representativas da área de estudo, destacando-se os cambissolos háplicos, latossolos vermelho amarelos, argissolo vermelho amarelo, neossolo litólico e neossolo flúvico.

Os Quadros 4.3 e 4.4 mostram os resultados dos ensaios da caracterização química. Os solos, em geral, possuem baixos valores de pH, CTC, V (% saturação de bases), e apresentam um manto de intemperismo com a ausência de minerais primários facilmente intemperizáveis.

Amostra	pH	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + al
	H ₂ O		mg/dm ³			cmol _c /dm ³		
01	7,36	0,5	01	-	0,91	0,63	0,00	0,0
02	7,14	0,4	08	-	1,91	0,97	0,00	0,2
03	5,18	0,1	78	-	0,04	0,04	0,78	2,0
04	5,11	0,4	05	-	0,00	0,01	0,24	1,3
05	4,70	0,0	05	-	0,00	0,00	0,39	1,2
06	4,66	1,1	26	-	0,41	0,10	0,39	3,6
07	4,37	1,4	06	-	0,00	0,00	0,00	0,8
08	4,17	1,0	22	-	0,00	0,03	2,10	6,7
09	4,99	0,2	09	-	0,00	0,00	0,29	0,2
10	4,45	0,4	33	-	0,06	0,13	0,73	4,6
11	5,08	0,1	03	-	0,00	0,00	0,15	1,0
12	5,31	0,4	11	-	0,39	0,15	0,00	0,9
13	4,86	0,1	09		0,00	0,03	0,00	1,0

Quadro 4.3 –Caracterização química dos solos.

Onde:

pH em água, Kcl e CaCl₂ - Relação 1:2,5;

P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich 1;

Ca²⁺ - Mg²⁺ - Al³⁺ - Extrator: KCl - 1 mol/L;

H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0.

Amostra	Sb	(t)	(T)	V	M	P-rem
	cmol _c /dm ³				%	mg/L
01	1,54	1,54	1,54	100,0	0,0	23,3
02	2,90	2,90	3,10	93,5	0,0	27,4
03	0,28	1,06	2,28	12,3	73,6	15,1
04	0,02	0,26	1,32	1,5	92,3	8,4
05	0,01	0,40	1,21	0,8	97,5	25,6
06	0,58	0,97	4,18	13,9	40,2	24,3
07	0,02	0,02	0,82	2,4	0,0	32,1
08	0,09	2,19	6,79	1,3	95,9	21,9
09	0,02	0,31	0,22	9,1	93,5	52,2
10	0,27	1,00	4,87	5,5	73,0	22,6

Continua...

Amostra	Sb	(t)	(T)	V	M	P-rem
	cmol _e /dm ³			%		mg/L
11	0,01	0,16	1,01	1,0	93,8	30,7
12	0,57	0,57	1,47	38,8	0,0	16,2
13	0,05	0,05	1,05	4,8	0,0	13,9

Quadro 4.4 –Caracterização química dos solos.

Onde:

SB = Soma das Bases Trocáveis;

CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva;

CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0V = Índice de Saturação de Bases;

M = Índice de Saturação de Alumínio;

Is. Na - Índice de Saturação de Sódio;

(MO) = Matéria Orgânica C.Org x 1,724 - Walkley-Black;

P-rem = Fósforo Remanescente;

B - Extrator água quente;

S - Extrator - Fosfato monocálcico em ácido acético.

Obeve-se com os ensaios realizados nas amostras indeformadas os resultados apresentados no Quadro 4.4. Destaca-se o fato de no decorrer da realização dos ensaios a ocorrência do extravio da amostra 01, e não se obteve para esta os resultados do ensaio de cisalhamento direto.

O ensaio de cisalhamento direto foi realizado sob tensões normais de 50, 100 e 200 kPa.

AMOSTRA	CISALHAMENTO DIRETO		CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA
	c (kPa)	ϕ	cm/s
Indeformada 01	-	-	$2,38 \times 10^{-4}$
Indeformada 02	48	26	$4,38 \times 10^{-4}$
Indeformada 03	28	41	$8,70 \times 10^{-4}$

Quadro 4.5 – Resultados dos ensaios de cisalhamento direto realizado nas amostras indeformadas de solos.

As três amostras apresentam resultados próximos quanto à condutividade hidráulica. Pode-se referenciar estes resultados aos obtidos por Azevedo (1999) para os solos de Viçosa, MG. Ambos os trabalhos obtiveram valores na casa de 10^{-4} para classes de solos semelhantes. Azevedo (1999) obteve para a classe de solo Cambissolo-Latossólico, semelhante à da amostra indeformada 02 (LVAd2), o valor de $3,94 \times 10^{-4}$ e para o solo Latossolo-Vermelho $2,37 \times 10^{-4}$, que tem características semelhantes à da amostra indeformada 03 (CXBd1).

Segundo Fernandes et al. (2001) a condutividade hidráulica do solo, em termos específicos de deslizamentos, assume importância tanto na recarga da água superficial (velocidade da infiltração), quanto na geração de descontinuidades hidráulicas no interior do perfil de alteração, as quais poderão atuar localmente como camadas de impedimento ao fluxo vertical, favorecendo conseqüentemente, a geração de elevadas poro-pressões positivas. Os resultados obtidos por eles nas bacias dos rios Quitite e Papagaio são semelhantes aos obtidos no presente trabalho para o horizonte B com profundidades próximas a 60 cm, na ordem de 10^{-4} cm/s.

Os valores de coesão e ângulo de atrito obtidos para as amostras 02 e 03 foram 48 kPa e 26° e 28 kPa e 41° , respectivamente. Para solos da região de Viçosa, MG, Azevedo (1999) encontrou para os mesmos padrões de solo os valores 39 kPa e 39° e 69 kPa e 42° . Verifica-se uma variação no valor de coesão (c) em ambas as amostras. Ao avaliar a amostra indeformada 03 observa-se uma semelhança no valor do ângulo de atrito (ϕ), enquanto manteve-se a discrepância na comparação dos ângulos de atrito da amostra 02. A discrepância entre os resultados pode estar relacionada ao fato das amostras analisadas apresentarem fissuras que poderiam ter interferido nos valores finais.

4.2 – MAPAS TEMÁTICOS

Os mapas temáticos foram obtidos de acordo com o apresentado na metodologia.

O Quadro 4.6 apresenta as áreas ocupadas pelas várias classes de declividade.

Classes	Área %
0 – 10%	38,30
10 – 20%	12,11
20 – 30%	10,76
30 – 40%	10,12
40 – 50%	9,68
50 – 60%	7,90
60 – 70%	4,85
70 – 80%	2,99
80 – 90%	1,39
90% ou maior	1,89

Quadro 4.6 – Classes de declividade.

O Quadro 4.7 apresenta as classes e a porcentagem das áreas ocupadas no mapa de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal.

Classes	Área %
Área urbana	30,20
Área de especial interesse social	3,80
Áreas urbanas não mapeadas	4,80
Mata	21,40
Pastagem	2,60
Capoeira	29,50
Solo exposto	0,40
USIMINAS	5,30

Quadro 4.7 – Classes do mapa de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal.

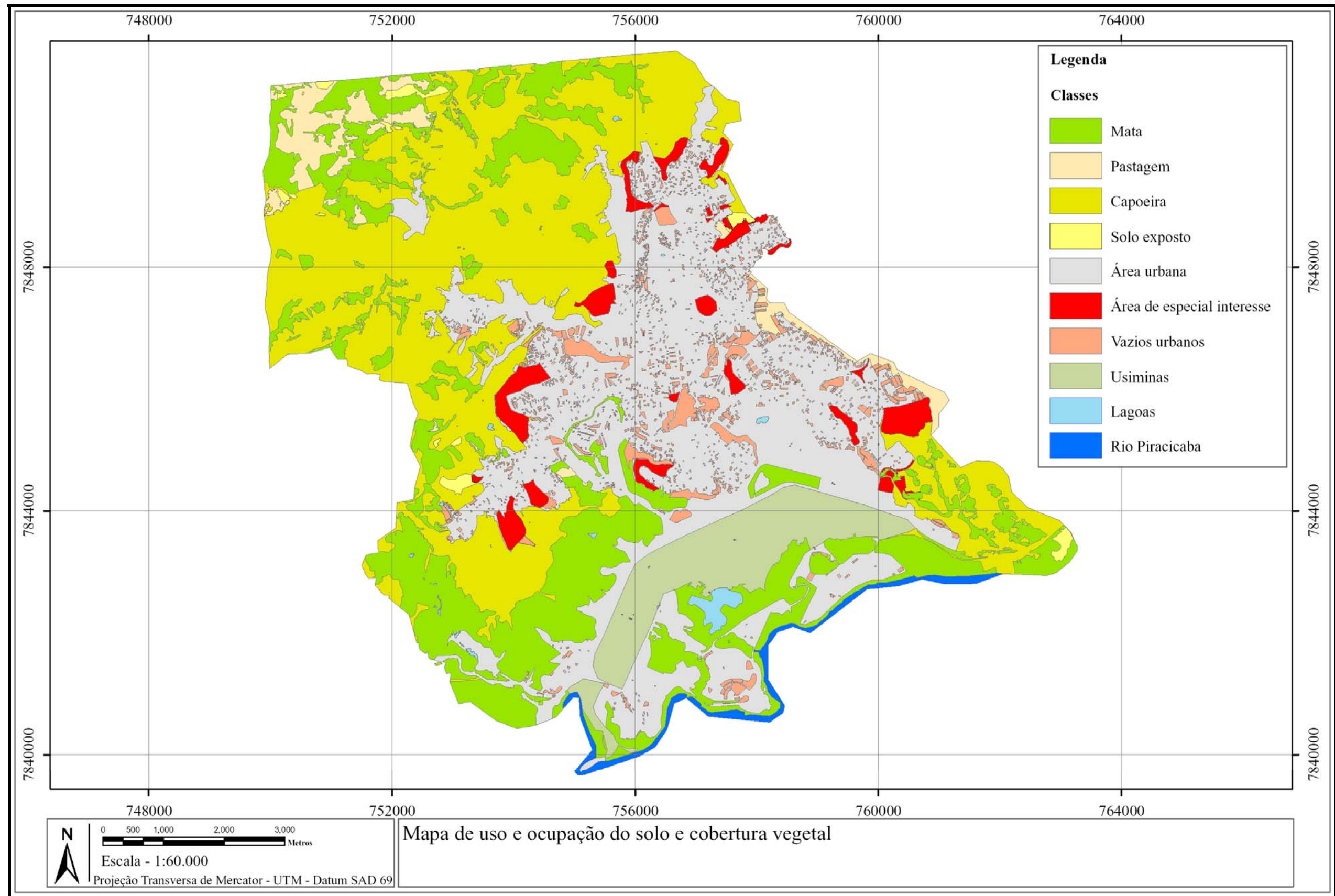


Figura 4.1 - Mapa de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal.

Classe	Descrição	Características
CUbd	Cambissolo Flúvico tb distrófico típico + Cambissolo Háplico tb distrófico típico	<ul style="list-style-type: none"> • Horizonte superficial com alteração pouco avançada evidenciada pelo desenvolvimento da estrutura do solo, ausência ou quase ausência da estrutura da rocha; • Não apresenta cimentação, endurecimento ou consistência quebradiça quando úmido; • Solos aluviais, formados a partir da deposição de sedimentos provenientes dos corpos d'água e encostas; • Baixa atividade de argila.
CXbd1	Cambissolo Háplico tb distrófico Latossólico + Cambissolo Háplico tb distrófico típico	<ul style="list-style-type: none"> • Horizonte superficial com alteração pouco avançada evidenciada pelo desenvolvimento da estrutura do solo, ausência ou quase ausência da estrutura da rocha; • Não apresenta cimentação, endurecimento ou consistência quebradiça quando úmido; • Baixa atividade de argila; • Apresentam pequeno grau de estruturação.
CXbd2	Cambissolo Háplico tb distrófico típico + Cambissolo Háplico tb distrófico léptico	<ul style="list-style-type: none"> • Horizonte superficial com alteração pouco avançada evidenciada pelo desenvolvimento da estrutura do solo, ausência ou quase ausência da estrutura da rocha; • Não apresenta cimentação, endurecimento ou consistência quebradiça quando úmido; • Baixa atividade de argila.
CXbd3	Cambissolo Háplico tb distrófico argissólico + Argissolo Vermelho distrófico câmbico	<ul style="list-style-type: none"> • Formado pela combinação de dois horizontes, um superficial com alteração pouco avançada evidenciada pelo desenvolvimento da estrutura do solo, ausência ou quase ausência da estrutura da rocha, e outro, onde há baixa atividade de argila com boa drenagem interna dos perfis; • Não apresenta cimentação, endurecimento ou consistência quebradiça quando úmido.
LVAd 1	Latossolo Vermelho Amarelo distrófico câmbico + Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico	<ul style="list-style-type: none"> • São solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo; • Boa drenagem; • Resistentes à erosão, em decorrência da baixa mobilidade da fração argila, do alto grau de flocculação de grande permeabilidade e porosidade.
LVAd 2	Latossolo Vermelho Amarelo distrófico câmbico + Cambissolo Háplico tb distrófico latossólico	<ul style="list-style-type: none"> • Formado pela combinação de dois horizontes, um em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo, e outro superficial com alteração pouco avançada evidenciada pelo desenvolvimento da estrutura do solo, ausência ou quase ausência da estrutura da rocha; • A combinação dos horizontes reduz a resistência à erosão.
PVAd	Argissolo Vermelho Amarelo distrófico câmbico + Cambissolo Háplico tb distrófico típico	<ul style="list-style-type: none"> • Combinação de dois horizontes, um com baixa atividade de argila com boa drenagem interna dos perfis e outro com alteração pouco avançada evidenciada pelo desenvolvimento da estrutura do solo, ausência ou quase ausência da estrutura da rocha; • Parte do solo apresenta incremento de argila. A natureza coloidal da argila a torna suscetível de mobilidade com a água no solo e a percolação é aí relevante. Na deposição em meio aquoso, as partículas de argilominerais usualmente lamelares, tendem a repousar aplanadas no local de apoio; • Não apresenta cimentação, endurecimento ou consistência quebradiça quando úmido.
RLd3	Neossolo Litólico distrófico típico	<ul style="list-style-type: none"> • Horizonte constituído por material mineral ou por material orgânico pouco espesso com pequena expressão dos processos pedogenéticos; • Possui drenagem variando de moderada a acentuada e são, comumente, bastante susceptíveis à erosão, em decorrência de sua reduzida espessura.
RUbd	Neossolo Flúvico tb distrófico típico + Cambissolo Flúvico tb distrófico típico	<ul style="list-style-type: none"> • Combinação de dois horizontes, um constituído por material mineral ou por material orgânico pouco espesso com pequena expressão dos processos pedogenéticos, e outro com alteração pouco avançada evidenciada pelo desenvolvimento da estrutura do solo, ausência ou quase ausência da estrutura da rocha; • Solos aluviais; • Baixa atividade de argila.

Quadro 4.8- Características pedológicas das classes de solos.

O Quadro 4.9 apresenta a área ocupada pelas classes de solo.

CLASSES	ÁREA %
CUbd	20,71
CXbd1	31,53
CXbd2	6,83
CXbd3	6,20
LVAd1	2,44
LVAd2	7,23
PVAd	4,81
RLd3	0,09
RUbd	1,47

Quadro 4.9 – Área ocupada por cada classe de solo.

O somatório das áreas não é igual a 100% devido ao não mapeamento da área da USIMINAS e dos bairros Imbaúbas, Bom Retiro, Bela Vista, Águas, Cariru e Castelo.

As figuras 4.2 e 4.3 mostram, respectivamente, o mapa de solos e o mapa de lineamentos estruturais.

O Quadro 4.10 apresenta as feições morfológicas e a percentagem de áreas ocupadas.

Morfologia	Área %
Côncava	20,56
Convexa	21,28
Retilíneas	27,44
Côncavo-retilíneas	17,34
Convexo-retilíneas	13,38

Quadro 4.10 – Feições morfológicas e área relativa a cada feição.

A Figura 4.4 apresenta o mapa morfológico segundo as feições apresentadas no Quadro 4.10.

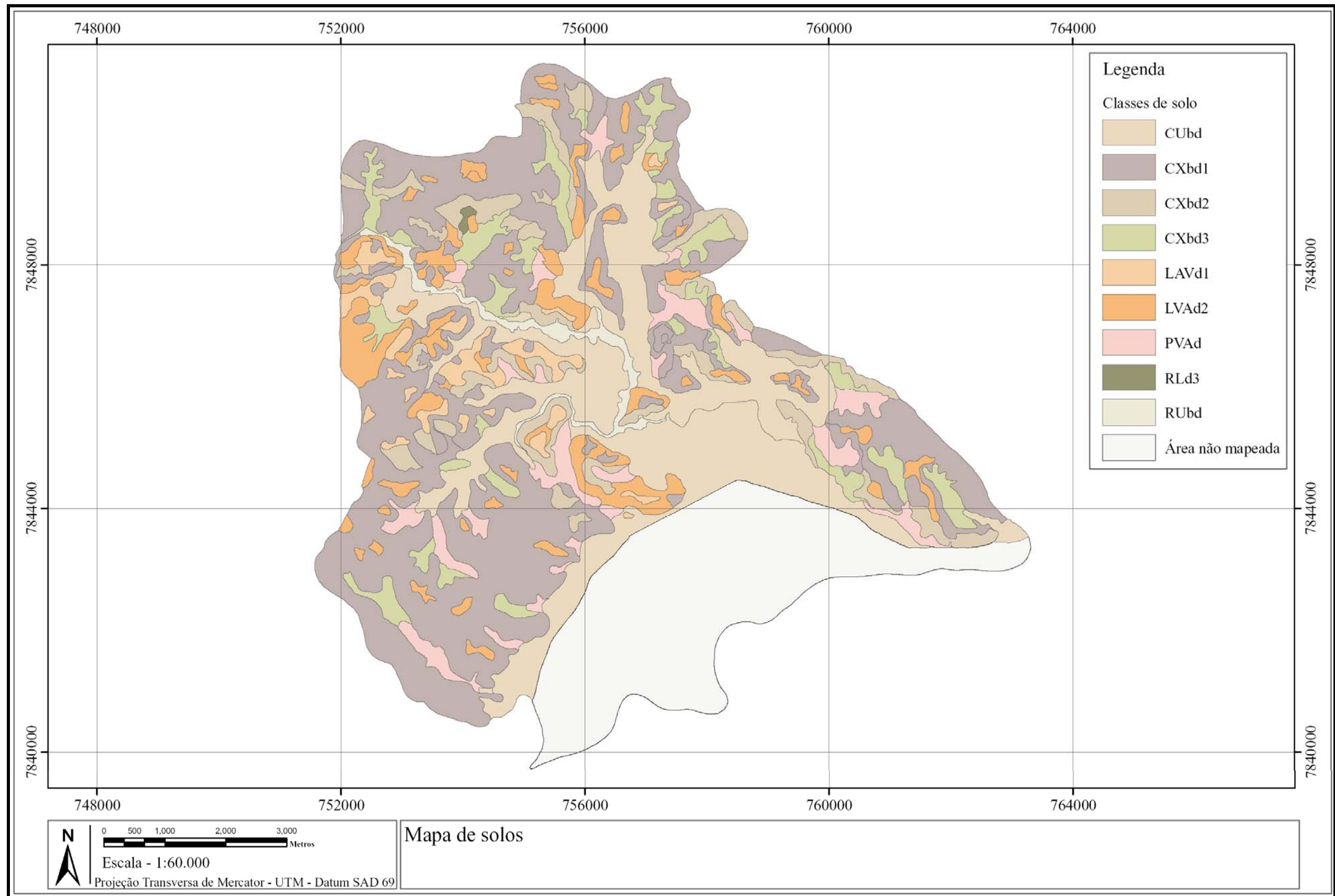


Figura 4.2 – Mapa de Solos.

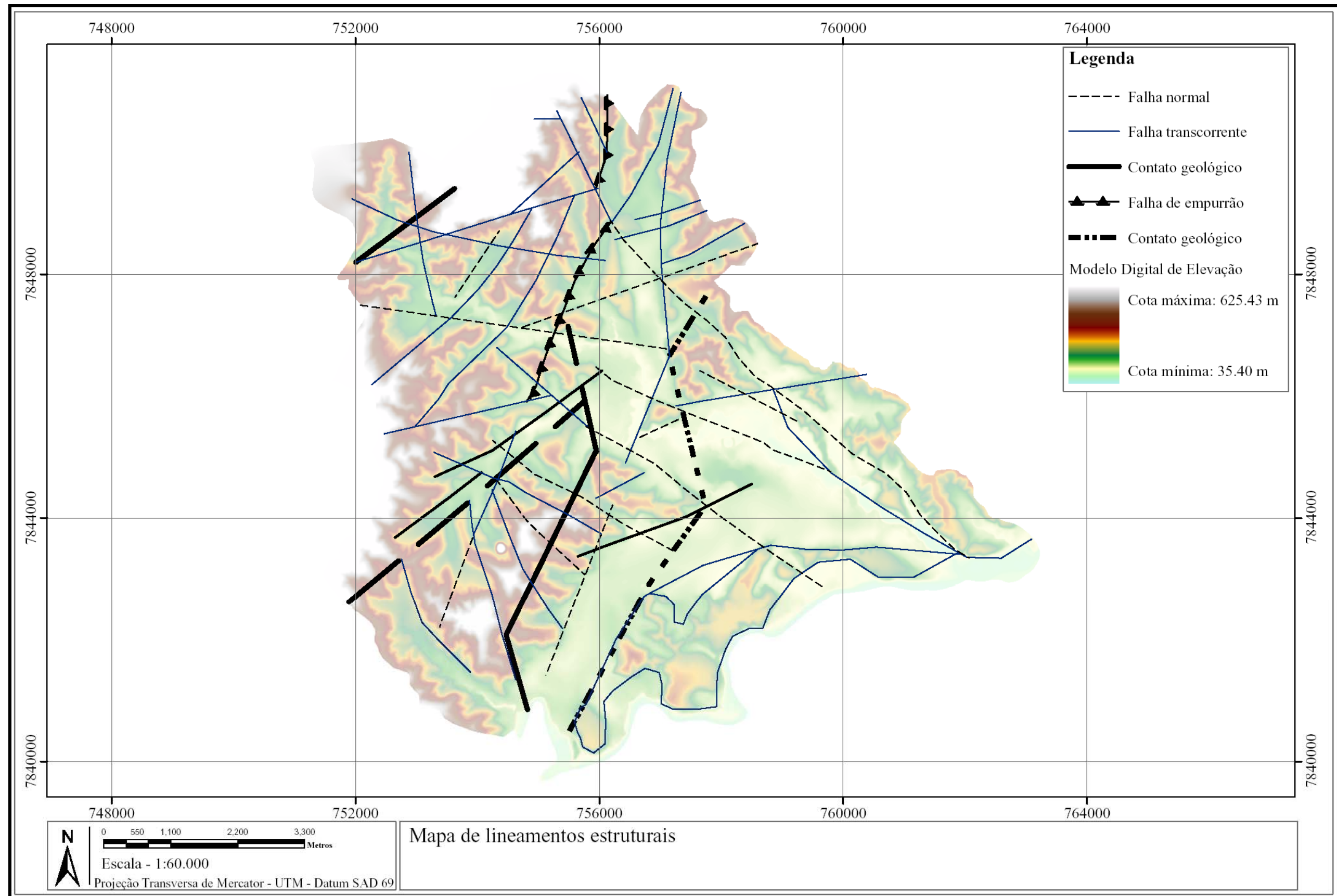


Figura 4.3 – Mapa de lineamentos estruturais de solos.

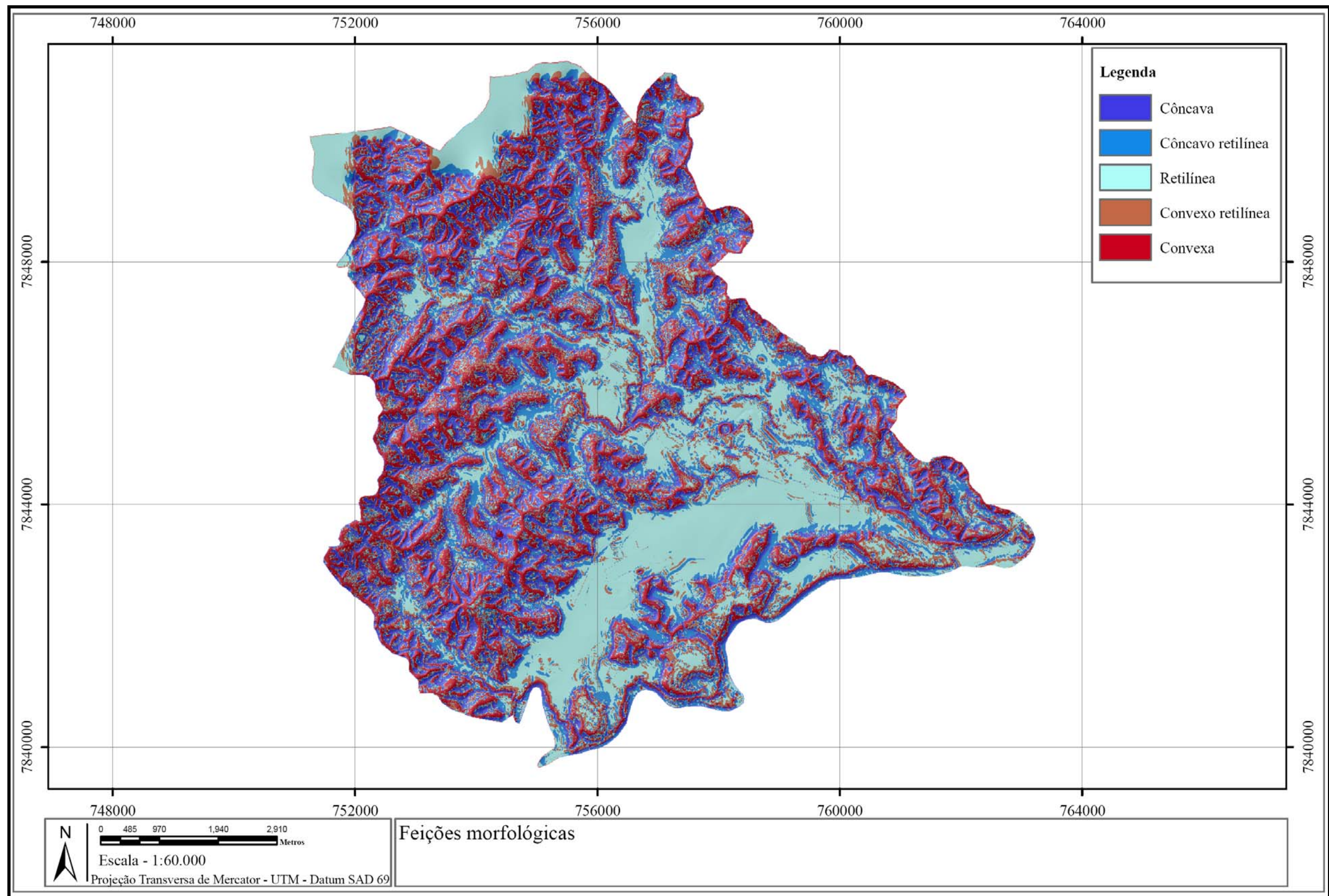


Figura 4.4 – Mapa morfológico das áreas ocupadas.

4.3 INVENTÁRIO DE OCORRÊNCIAS

No inventário de ocorrências de movimentos de massa obteve-se o mapeamento de 102 pontos conforme apresentado na Figura 4.5. Do total, 77 pontos foram obtidos a partir de levantamento de campo e os 25 pontos restantes foram obtidos segundo análise da imagem de satélite impressa na escala de 1:20.000.

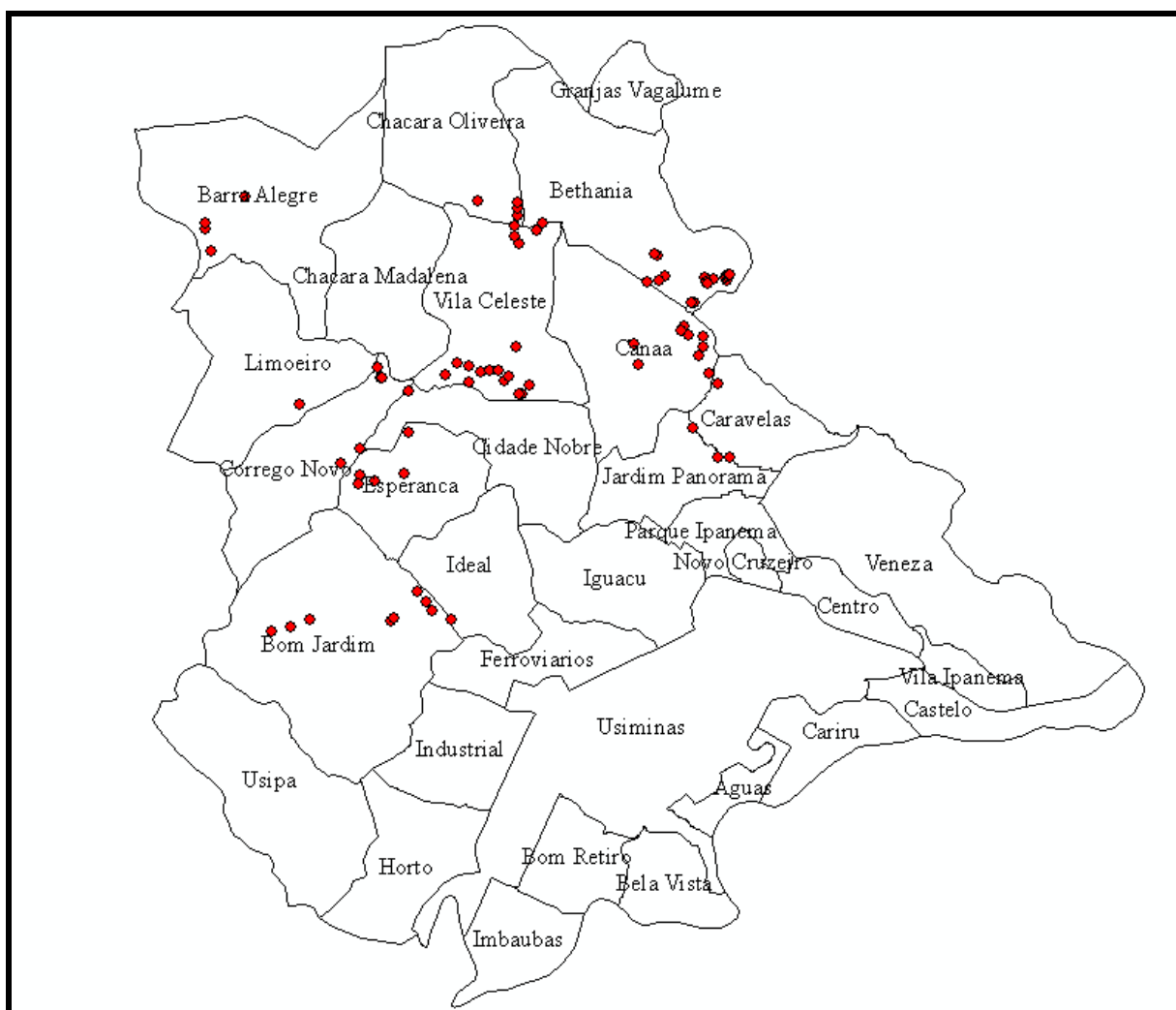


Figura 4.5 – Inventário de ocorrências.

Realizou-se a sobreposição das ocorrências mapeadas com os mapas temáticos.

O Quadro 4.11 mostra o resultado da sobreposição das ocorrências com os mapas temáticos.

Tema	Classe	Ocorrências
	0 – 10%	15
	10 – 20%	12
	20 – 30%	7
	30 – 40%	10
	40 – 50%	12
Declividade	50 – 60%	16
	60 – 70%	15
	70 – 80%	9
	80 – 90%	3
	90% ou maior	3
	CUbd	8
	CXbd1	49
	CXbd2	27
	CXbd3	6
	LVAAd1	5
Solos	LVAAd2	6
	PVAd	0
	RLd3	0
	RUbd	0
	Área não mapeada (ANM)	0
	Mata	0
Uso e ocupação do solo e cobertura vegetal	Capoeira	29

Continua...

Tema	Classe	Ocorrências
Uso e ocupação do solo e cobertura vegetal	Pastagem	6
	Solo exposto	0
	Áreas urbanas não mapeadas	5
	Área urbana	53
	Área de especial interesse social (AEIS)	8
	USIMINAS e Bairros não mapeados	0
Morfologia	Côncava	48
	Convexa	12
	Retilíneas	3
	Côncava-retilíneas	12
	Convexo-retilíneas	27

Quadro 4.11 – Sobreposição das ocorrências com os temas.

4.3.1 Declividade

A Figura 4.6 mostra o gráfico da percentagem de ocorrências obtidas segundo as classes de declividade.

A carta de declividades foi dividida em nove classes para englobar o maior número possível das ocorrências levantadas. Observou-se que 43,13% das ocorrências estão situadas nas classes de 0 e 40% ocupando uma área correspondente a 62,29% do total, obtendo-se uma relação entre ocorrências e área ocupada de 0,69. Tem-se segundo Rodrigues (2002), nas classes de menor declividade, como fator deflagrador aos movimentos de massa, a permissão de maior infiltração da água facilitando a saturação do solo. Nas classes com declividades oscilando de 40 a 80% obteve-se 50,98% das ocorrências ocupando uma área de 25,42% com uma relação entre ocorrências e área de 2,01%. Nas classes mais altas tem-se como principal fator na predisposição à ocorrência de movimentos de massa a maior inclinação do talude gerando um aumento das componentes tangencial e normal em relação à força.

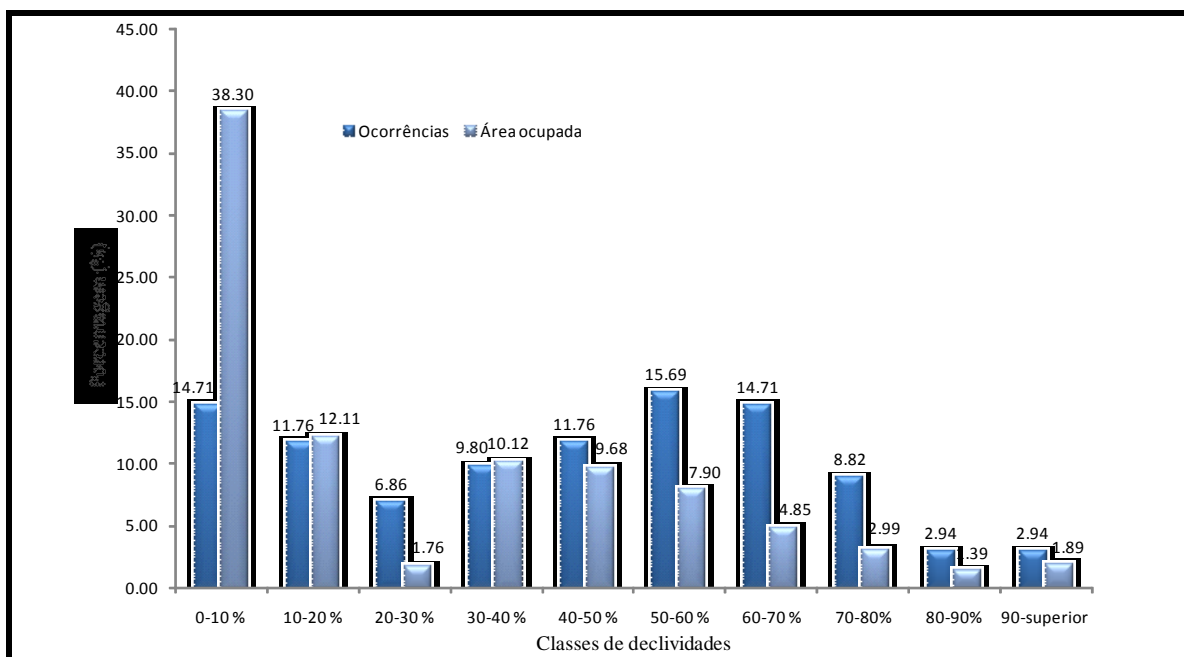


Figura 4.6 – Gráfico das ocorrências e área ocupada segundo classes de declividade.

Observou-se que após um crescente aumento do número de ocorrências em função da classe de declividade iniciou-se um decréscimo quantitativo dessas ocorrências. Esse fenômeno foi descrito também por Fernandes et al. (2001), Gao (1993), Larsen e Torres-Sanchez (1998), entretanto, segundo Fernandes et al. (2001) sabe-se que a análise isolada do papel desempenhado pela declividade na deflagração de deslizamentos é tarefa difícil de ser alcançada. Como observado nos mapeamentos de campo realizados nessas bacias, torna-se evidente a existência de relações entre a declividade e outros parâmetros, tais como espessura do solo, foliação metamórfica e fraturas de alívio de tensão, os quais também exercem influência na estabilidade das encostas.

4.3.2 Solos

A Figura 4.7 apresenta o percentual de ocorrências registrado em cada classe do mapa de solos.

O gráfico da Figura 4.7 mostra que 89,11 % das ocorrências estão presentes no solo do tipo cambissolo (classes CUbd, CXbd1, CXbd2 e CXbd3) e que a maior concentração de ocorrências está presente na classe Cbd1, com 48,51%. Tem-se que as quatro classes de cambissolo ocupam 65,27% de toda área estudada. Os cambissolos detêm características saprolíticas sendo que na fração argila pode ocorrer grande variedade de argilominerais e a

fração silte pode ter mineralogia muito variada e peculiar, como os macrocristais de caulinita e micas, que podem impor comportamentos peculiares a estes solos (NOGAMI & VILLIBOR, 1995).

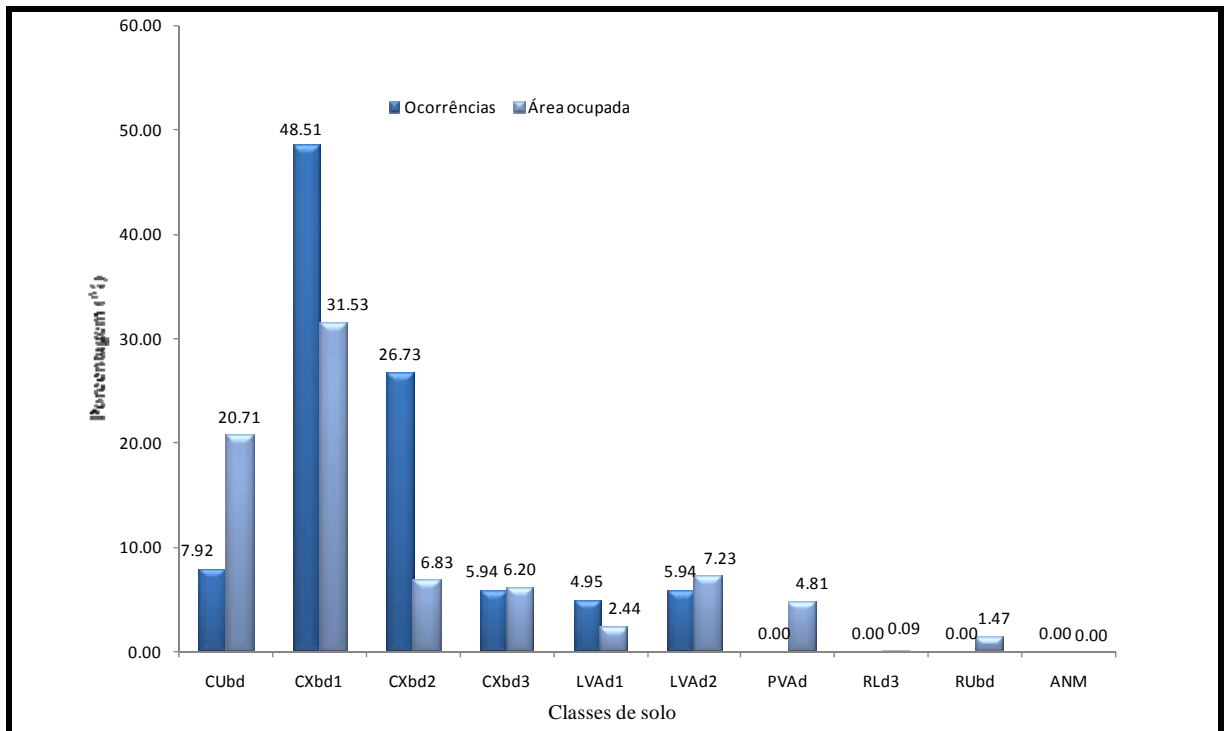


Figura 4.7 – Gráfico de ocorrências e área ocupada segundo as classes de solo.

Os latossolos (LVAd1 e LVAd2) correspondem aos 10,89% das ocorrências restantes, cobrindo uma área de 9,67%. Os latossolos possuem características lateríticas que indicam significativa resistência aos efeitos da atividade hídrica, tornando-se mais resistente aos efeitos erosivos e menos susceptível aos movimentos de massa. Nas demais classes não se registrou ocorrências.

Analisando-se os tipos de solo e as classes de uso e ocupação, tem-se 74,43% das Áreas de Especial Interesse Social (AEIS) estão situadas em solos do tipo cambissolo e 19,54% em latossolos. Do total das AEISs 5,64% estão locadas em solo do tipo argissolo e apenas 0,39% em neossolos.

4.3.3 Uso e Ocupação do Solo e Cobertura Vegetal

Tem-se na Figura 4.8 a relação de ocorrências de acordo com a classe de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal.

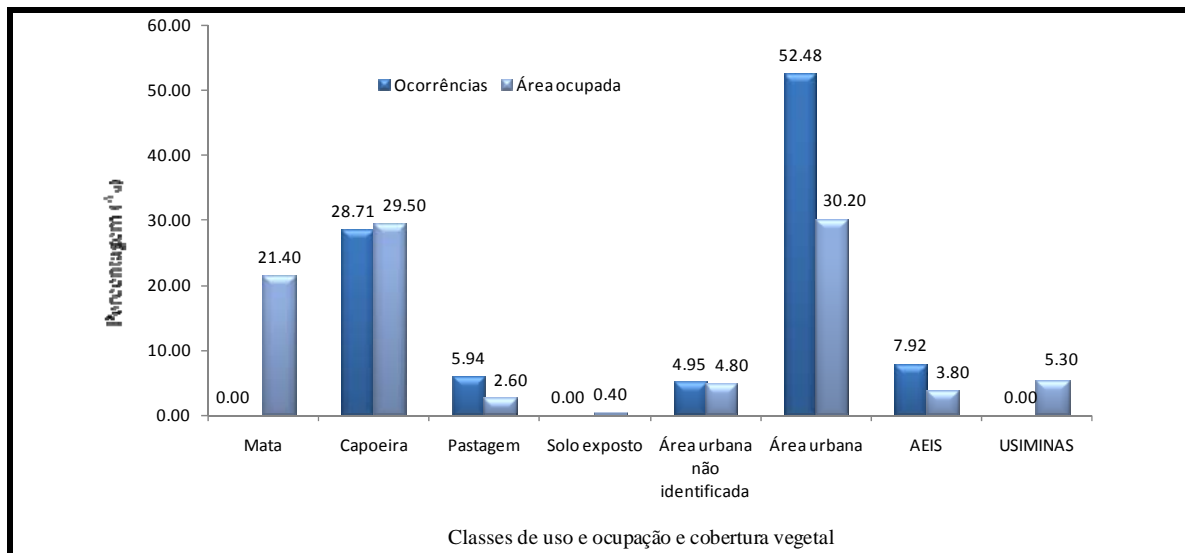


Figura 4.8 – Gráfico de ocorrências e área ocupada segundo as classes de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal.

A Figura 4.8 mostra a ocorrência de 28,71% dos movimentos gravitacionais de massa levantados na classe capoeira e 5,94% na pastagem e nenhuma na classe de matas, tem-se assim, a influência do grau de cobertura vegetal nas ocorrências mostrando que o menor índice de cobertura acarreta em uma maior susceptibilidade a movimentos de massa. A classe solo exposto não obteve nenhuma ocorrência, entretanto, apenas 0,40% da área estudada encontra-se neste cenário. No âmbito urbano, indicando a significativa influência antrópica, nas ocorrências de movimentos gravitacionais de massa, obteve-se 52,48% na área urbana, 7,92% nas áreas de especial interesse social, onde se tem um elevado índice de ocupação de forma inadequada, e 4,95% nas áreas urbanas não identificadas. Destacam-se as ausências de ocorrências na classes Usiminas, por ser esta área de propriedade particular e não autorizar o levantamento em suas dependências, analisando-se a imagem de satélite não verificou-se ocorrências nesta classe.

4.3.4 Morfologia

Os resultados referentes à sobreposição de ocorrências com as feições morfológicas estão representados na Figura 4.9.

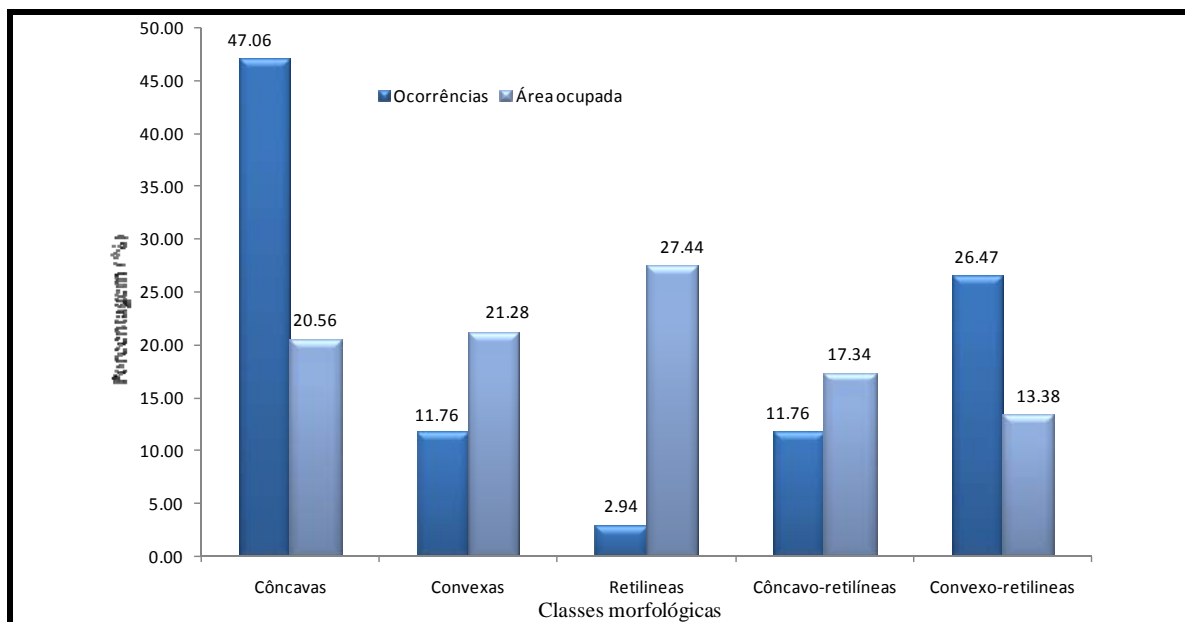


Figura 4.9 – Gráfico de ocorrências segundo as feições morfológicas.

As ocorrências segundo as feições morfológicas podem ser apresentadas da seguinte forma:

- Feições côncavas – tem-se nessa classe 47,06% das ocorrências em uma área coberta de 20,56%, obtendo-se 3,09 ocorrências por km²;
- Feições convexas – nesta classe teve-se de 11,76% das ocorrências levantadas para uma área de correspondente a 21,28% da total. A partir destes dados encontrou-se uma frequência de 0,75 ocorrências por km²;
- Feições retilíneas – apenas 2,94% das ocorrências totais estavam presentes na área de 27,44%, do total, desta classe. Obteve-se uma densidade de ocorrências no valor 0,14 unidades por km²;
- Côncavo-retilíneas – tem-se 11,76% das ocorrências presentes nesta classe, e esta cobre uma área referente a 17,34% do total. A frequência das ocorrências nesta classe é de 0,92 unidades por km²;

- Convexo-retilíneas – esta classe ocupou 13,38% da área total do trabalho englobando 26,47% das ocorrências totais. Para esta classe obteve-se uma densidade de 2,67 ocorrências por km².

Segundo Bonuccelli (1999) espera-se um maior potencial a ocorrência de movimentos gravitacionais de massa na classe convexa, por serem menos evoluídas quanto ao grau de evolução morfológica. Entretanto, observou-se no presente estudo uma maior frequência dessas ocorrências na classe côncava. A morfologia foi obtida a partir do modelo digital de elevação hidrologicamente consistente com células de 4 m² e altimetria com curvas equidistantes de 1 metro. Obteve-se assim uma precisão significativa do mapa morfológico e conseqüentemente das feições mapeadas. A precisão pode ter modelado os movimentos gravitacionais de massa de forma que mesmo em encostas convexas a região da ocorrência torne-se côncava, conforme apresentado na Figura 4.10. Tem-se nesta figura o talude delimitado em preto e duas regiões onde ocorreram movimentos gravitacionais de massa indicadas em vermelho, nota-se que o talude é predominantemente convexo, entretanto, os movimentos de massa local, onde as ocorrências foram levantadas, apresentam feições côncavas.

Estudo realizado para deslizamentos nas bacias dos rios Quitite e Papagaio, no estado do Rio de Janeiro, Fernandes et al. (2001) apresentaram resultados semelhantes aos encontrados. As feições côncavas apresentaram potencial de deslizamento cerca de três vezes maior que as feições convexas e retilíneas.



Figura 4.10 – Talude convexo com presença de movimentos gravitacionais de massa côncavos.

4.3.5 Lineamento estrutural

Para avaliar a influência dos lineamentos estruturais gerou-se buffers (região equidistante das bordas da feição mapeada) com larguras variando de 0 a 450 metros, com distância de 5 m. Este intervalo de valores garantiu toda sobreposição da área de estudo. Sobrepôs-se aos buffers as ocorrências levantadas em campo. Quantificou-se a variação do número de ocorrências em função do aumento da largura dos buffers.

Na Figura 4.11 tem-se a relação entre ocorrências levantadas e largura do buffer. Observa-se uma relação entre o aumento das ocorrências em função do aumento da largura. A largura de parada foi a 445m, onde 100% da área encontra-se totalmente ocupada pelos buffers.

Previa-se um crescimento linear das áreas ocupadas por cada buffer em função da largura dos mesmos, entretanto não verificou-se este fenômeno devido à sobreposição de áreas entre os buffers.

Observa-se em uma área de 12,48% ocupada com largura de 30m, 11,76% das ocorrências de movimentos gravitacionais de massa. Com 100 metros e uma área ocupada de 40,95% tem-se o índice de 46,08% das ocorrências encontradas. Estes números talvez possam mostrar que os lineamentos estruturais têm uma relação direta com a ocorrência de movimentos de massa.

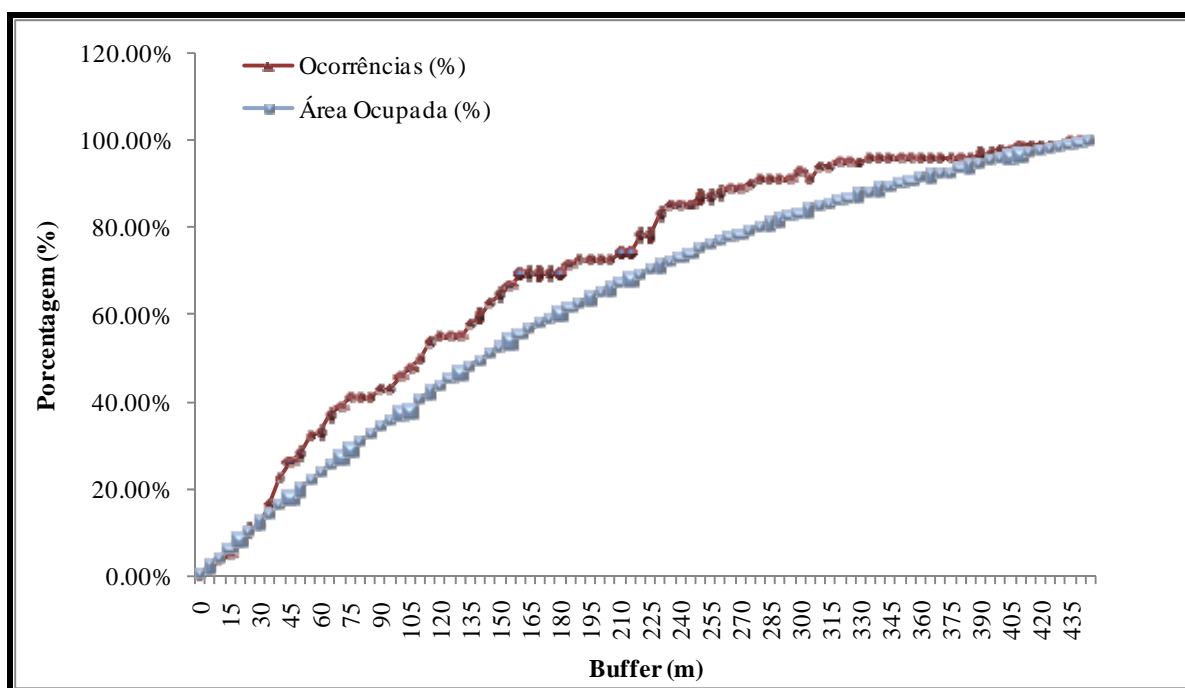


Figura 4.11 – Relação entre ocorrências e áreas ocupadas em função da distância do buffer.

4.3.6 Precipitação e Temperatura

Segundo Augusto Filho & Virgili (1998) as chuvas relacionam-se diretamente com a dinâmica das águas de superfície e subsuperfície e, portanto, influenciam a deflagração dos processos de instabilização de taludes e encostas. Pinheiro et al. (2005) apresentaram dados para a cidade de Blumenau, SC, em que o aumento das ocorrências de deslizamentos acompanham o aumento das chuvas no período estudado.

Apresenta-se na Figura 4.12 as intensidades mensais de precipitação para a área de estudo entre os anos de 1997 e 2007. Os meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro apresentam maiores valores de precipitação, tendo oscilações entre 13 e 495 mm. Os anos de 2006 e 2007 foram os que apresentaram os menores valores de precipitação para o mês de janeiro. O período de seca compreende os meses de maio a agosto, apresentando valores máximos de precipitação variando entre 0 a 63,5 m. Os anos de 2000 e 2007 apresentaram os menores valores de precipitação para este período, 7,5 e 12,2 m, respectivamente. No período avaliado obteve-se a média anual de 1418,21 mm. O ano de 2007 foi o que apresentou menor valor de precipitação acumulada, 948,1 mm enquanto 2004 foi o ano que teve o maior valor de precipitação, 2281,0 mm.

O inventário de ocorrências de movimentos de massa foi realizado no mês de maio de 2006, data inicial do período de seca. Entretanto, as conseqüências dos altos índices pluviométricos registrados no mês de março do mesmo ano eram nítidas, observando a existência de diversas ocorrências relacionadas a movimentos gravitacionais de massa.

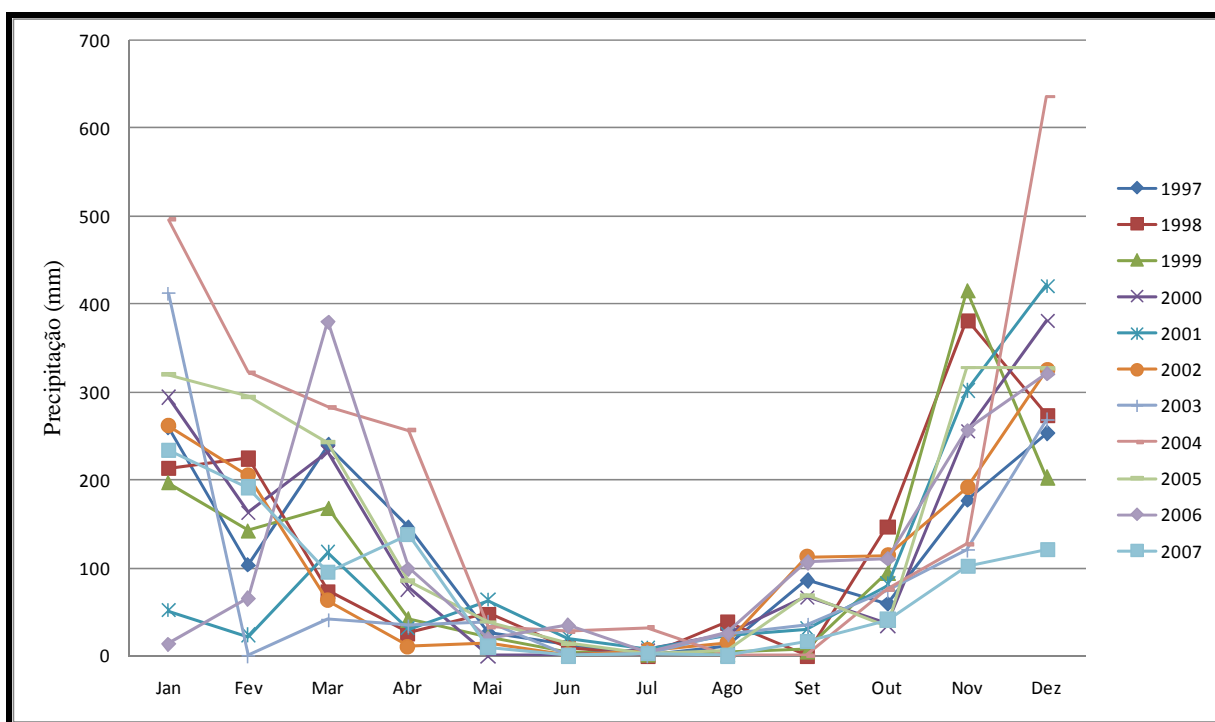


Figura 4.12 – Precipitação mensal entre os anos de 1997 a 2007.

A Figura 4.13 refere-se as temperaturas médias mensais entre os anos de 1997 e 2007. Tem-se no mês de janeiro valores oscilando entre 24,7 e 26,0 °C. No mês de julho os valores variam entre 18,6 e 21,2°C, sendo este o mês com menores temperaturas na área de estudo. Tem-se que as temperaturas mais elevadas estão diretamente relacionadas aos períodos chuvosos (Figura 4.12), e conseqüentemente às ocorrências de movimentos de massa.

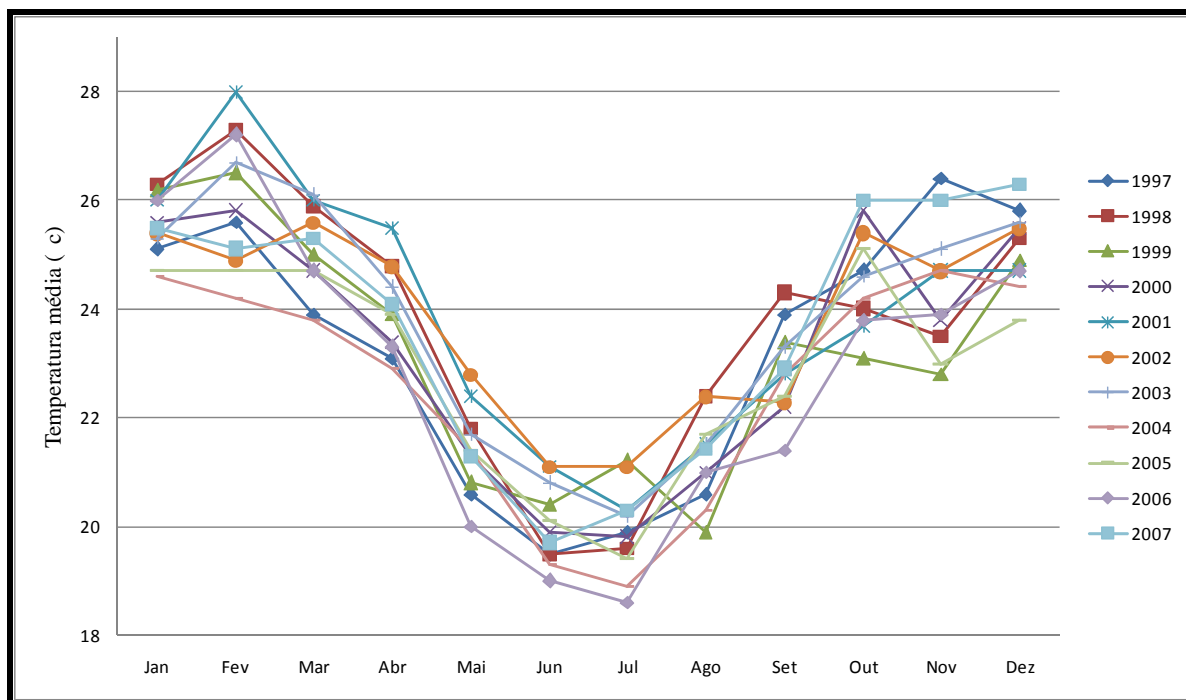


Figura 4.13 – Temperatura mensal entre os anos de 1997 a 2007.

4.4 – CARTA DE PREDISPOSIÇÃO A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

Segundo os resultados obtidos no item 4.3 observa-se que em todos os fatores têm-se classes com maiores ou menores índices de predisposição aos movimentos gravitacionais de massa.

Desta forma, para avaliar-se a melhor solução para a carta de predisposição a movimentos gravitacionais de massa na área de estudo, obteve-se seis cenários em função da comparação pareada proposta por Saaty (1977) entre os fatores declividade, solos, uso e ocupação e cobertura vegetal, lineamentos estruturais e morfologia.

O Quadro 4.12 mostra os pesos adotados nos cinco cenários analisados.

Fatores	Cenários					
	01	02	03	04	05	06
Carta de declividades	0,2000	0,3850	0,0786	0,1188	0,1739	0,2437
Mapa de solos	0,2000	0,2437	0,3850	0,0786	0,1188	0,1739
Mapa de lineamentos estruturais	0,2000	0,1188	0,1739	0,2437	0,3850	0,0786
Mapa de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal	0,2000	0,1739	0,2437	0,3850	0,0786	0,1188
Mapa morfológico	0,2000	0,0786	0,1188	0,1739	0,2437	0,3850
Razão de consistência	0,00	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04

Quadro 4.12 – Pesos adotados nos cenários.

Nos Quadros 4.13 e 4.14 apresenta-se as áreas e o número de ocorrências e a frequência de ocorrências por km², respectivamente, obtidas nas classes de risco dos cenários.

Cenários	Ocorrências				Área ocupada (km ²)			
	Predisposição				Predisposição			
	Baixo	Médio	Alto	M. Alto	Baixo	Médio	Alto	M. Alto
01	1	20	71	10	8,37	30,94	34,25	2,37
02	1	27	49	25	11,34	31,54	27,22	5,85
03	1	11	82	8	9,63	24,21	40,41	1,74
04	1	41	52	8	6,77	42,48	24,40	2,30
05	1	1	68	32	3,90	21,32	41,42	9,31
06	1	29	64	8	15,18	27,23	30,28	3,27

Quadro 4.13 – Ocorrências e áreas por classe de predisposição a movimento gravitacional de massa.

Cenários	Frequência (ocorrências/km ²)			
	Predisposição			
	Baixo	Médio	Alto	M. Alto
01	0.12	0.65	2.07	4.22
02	0.09	0.86	1.80	0.46
03	0.10	0.45	2.03	4.60
04	0.15	0.97	2.13	3.48
05	0.26	0.05	1.64	3.44
06	0.07	1.07	2.11	2.45

Quadro 4.14 – Frequência de ocorrências por km² em cada classe de predisposição.

Para a seleção do melhor cenário, entre os seis obtidos, considerou-se a influência dos fatores na predisposição a movimentos de massa e o inventário de ocorrências. No

comparativo entre o inventário e os cenários, assumiu-se que quanto maior a frequência de ocorrências por km² nas classes de predisposição (Quadro 4.14), mais adequado é o cenário.

Na comparação entre os seis cenários, obteve-se uma variação da área de cobertura de cada classe de predisposição a movimentos gravitacionais de massa. Observa-se, entretanto, que o foco central de surgimento das classes é o mesmo nos seis cenários propostos, não havendo em nenhum deles variação na posição das classes e sim na área ocupada por elas.

No primeiro cenário (Figura 4.14) utilizou-se pesos iguais para todos os fatores, considerando que todos exercem a mesma influência na predisposição da ocorrência de movimentos gravitacionais de massa na área estudada.

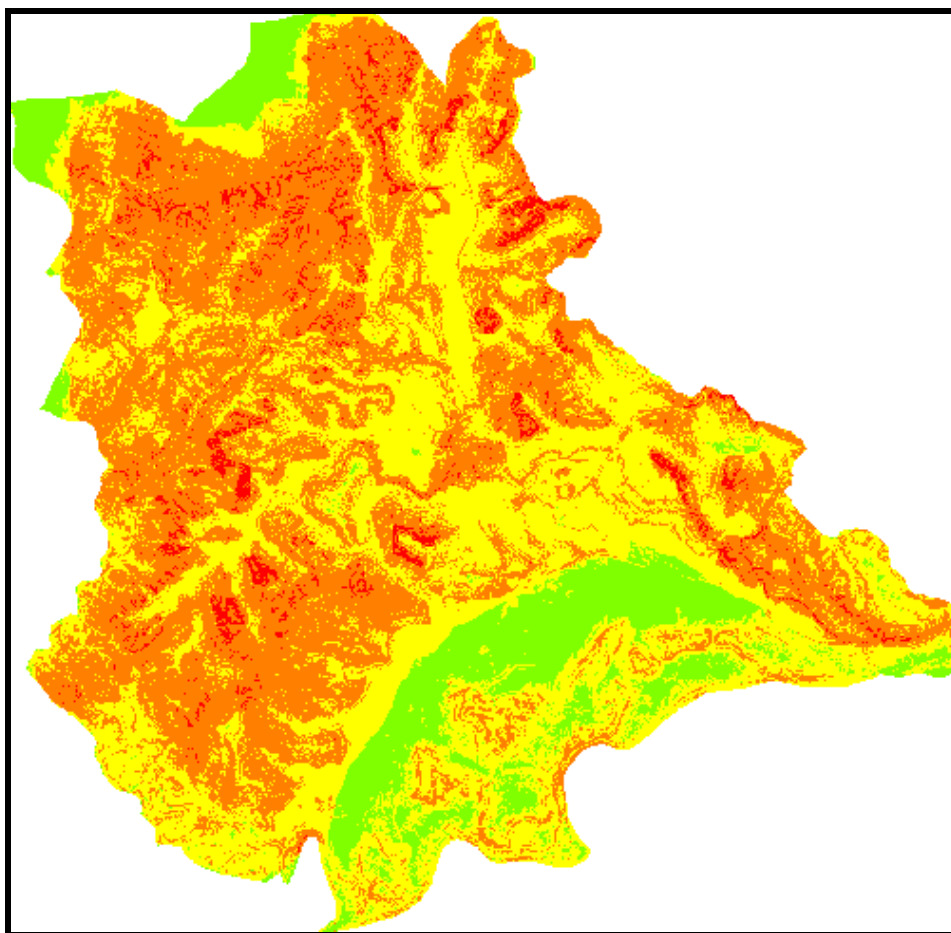


Figura 4.14 – Cenário 01 – Fatores com pesos iguais (Verde – baixa predisposição; Amarelo – média predisposição; Laranja – alta predisposição; Vermelho – muito alta predisposição).

Apresenta-se na Figura 4.15 o segundo cenário. Neste, o fator declividade foi o de maior influência na predisposição à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa.

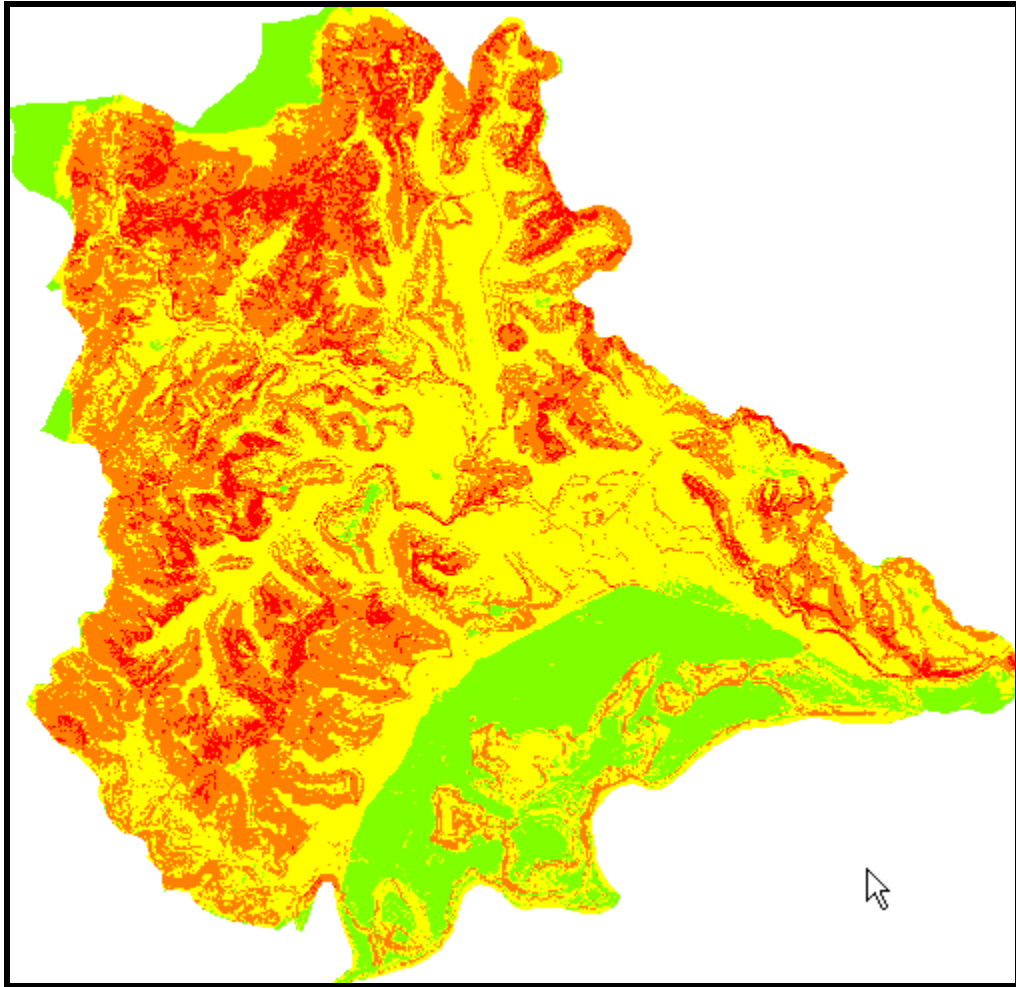


Figura 4.15 – Cenário 02 – declividade com maior peso (Verde – baixa predisposição; Amarelo – média predisposição; Laranja – alta predisposição; Vermelho – muito alta predisposição).

A Figura 4.16 apresenta o cenário número 3 que foi obtido utilizando-se como fator de maior predisposição ao movimento de massa o mapa de solos.

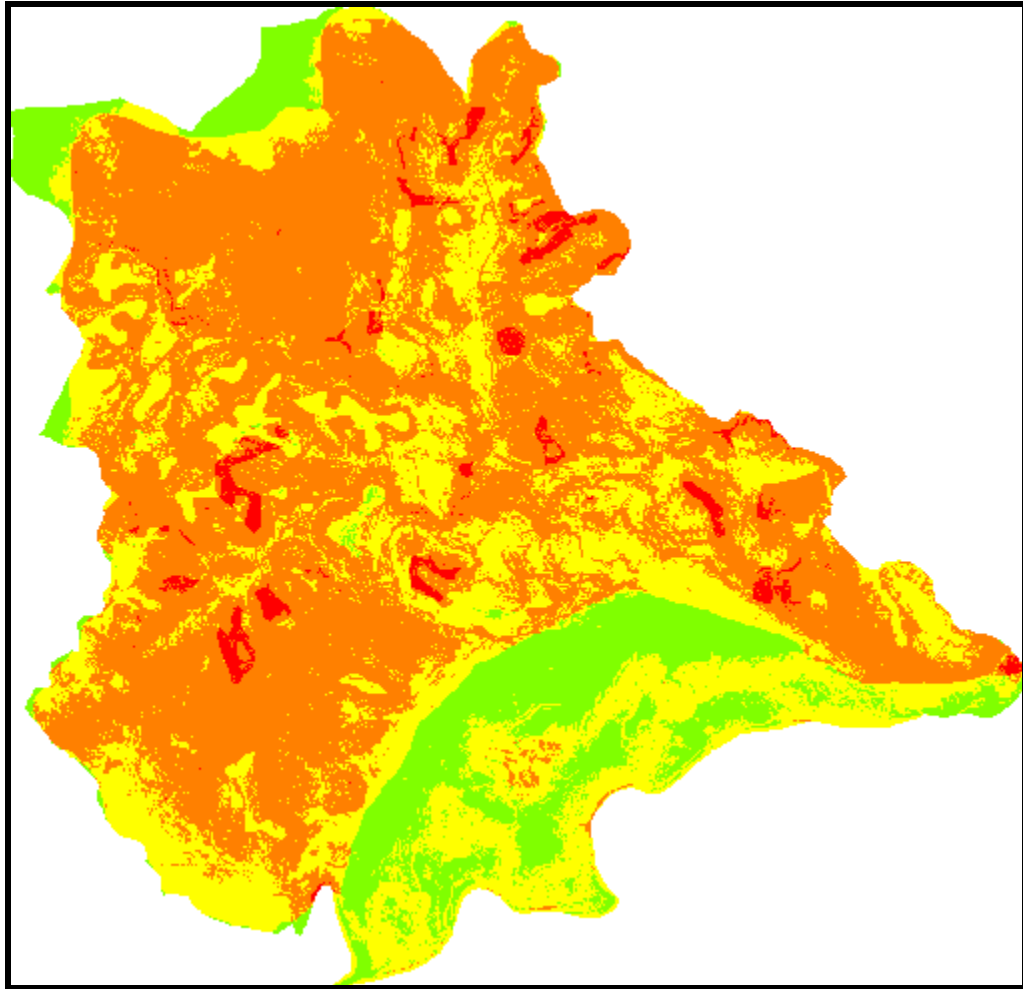


Figura 4.16– Cenário 03 – solos com maior peso (Verde – baixa predisposição; Amarelo – média predisposição; Laranja – alta predisposição; Vermelho – muito alta predisposição).

A Figura 4.17 apresenta o quarto cenário. Considerou-se como maior fator de predisposição o uso e ocupação do solo e cobertura vegetal.

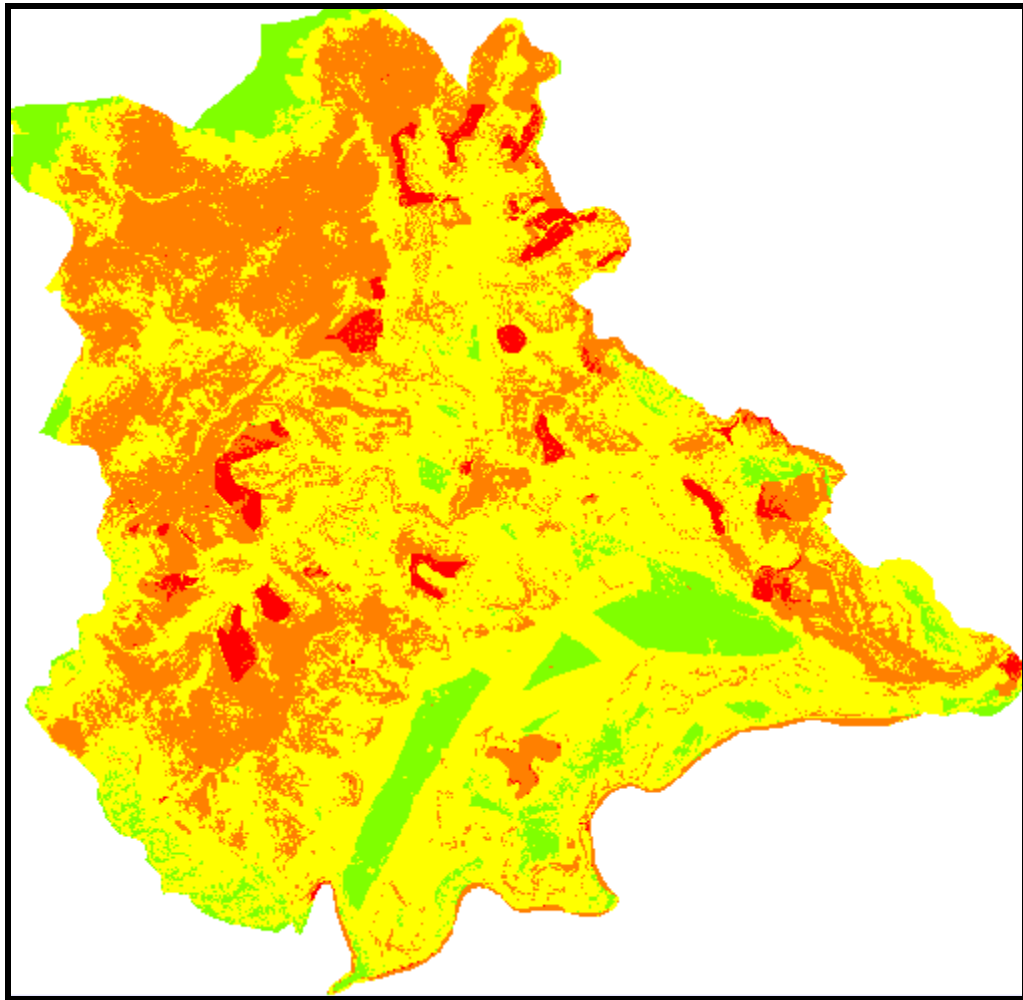


Figura 4.17– Cenário 04 – uso e ocupação do solo e cobertura vegetal com maior peso (Verde – baixa predisposição; Amarelo – média predisposição; Laranja – alta predisposição; Vermelho – muito alta predisposição).

A Figura 4.18 apresenta o cenário 05 com os lineamentos estruturais como o fator de maior predisposição aos movimentos de massa.

A Figura 4.19 apresenta o cenário 06 com a morfologia como o fator de maior predisposição aos movimentos de massa.

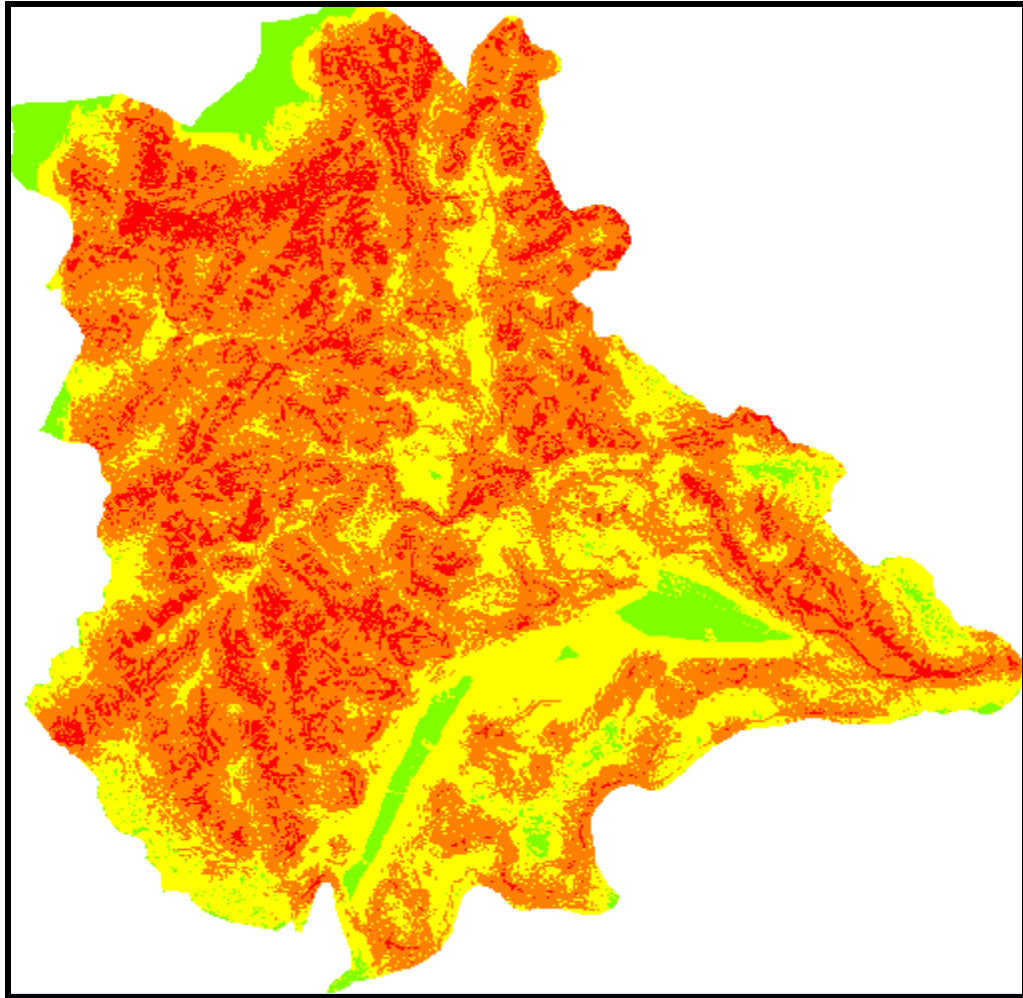


Figura 4.18– Cenário 05 – lineamentos estruturais com maior peso (Verde – baixa predisposição; Amarelo – média predisposição; Laranja – alta predisposição; Vermelho – muito alta predisposição).

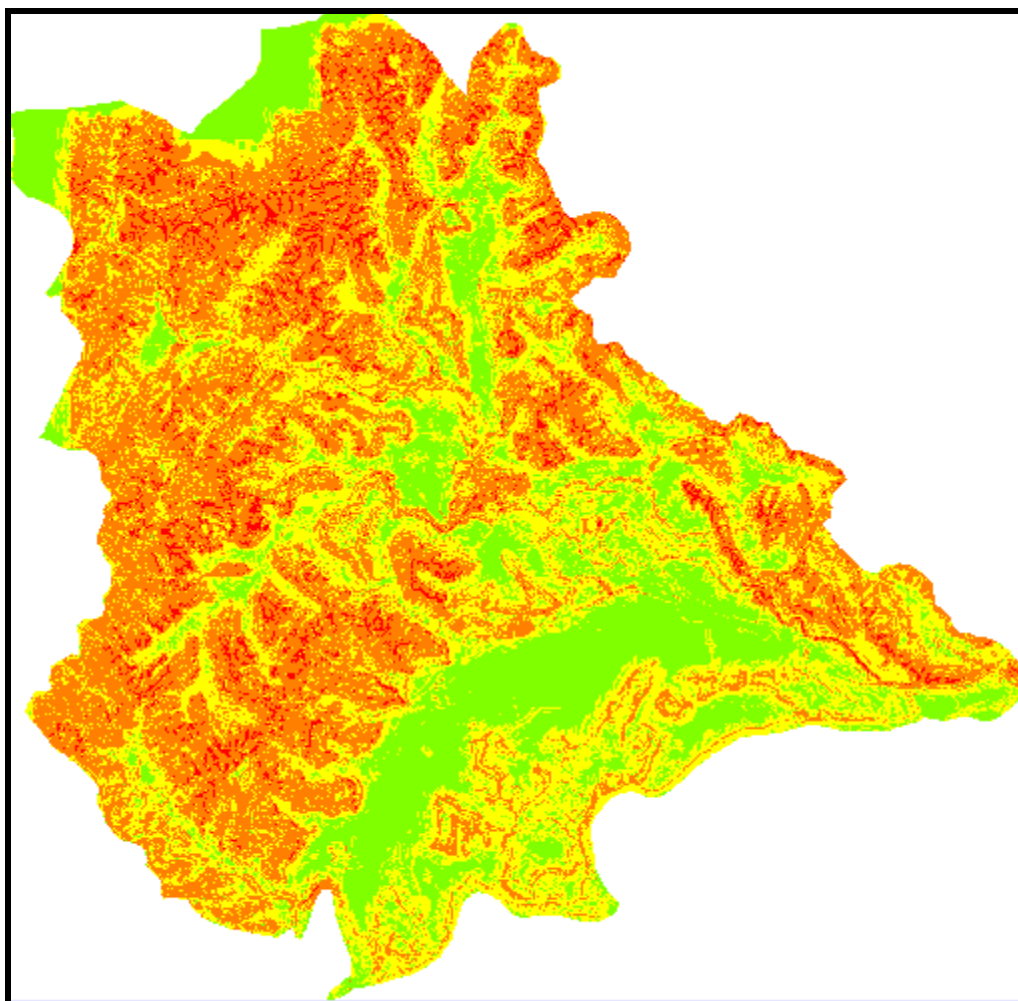


Figura 4.19– Cenário 06 – morfologia com maior peso (Verde – baixa predisposição; Amarelo – média predisposição; Laranja – alta predisposição; Vermelho – muito alta predisposição).

Para determinação do cenário que melhor representasse a carta de predisposição a movimentos de massa, considerou-se de maneira criteriosa o grau de influência dos fatores em cada cenário, o inventário de ocorrências de movimentos de massa e o conhecimento pessoal da área de estudo.

Os seis cenários apresentaram resultados compatíveis para a predisposição a movimentos de massa.

No primeiro cenário obteve-se que 21 ocorrências estavam presentes nas classes baixa e média, ocupando uma área de 39,31 km². As classes alta e muito alta, com 36,62 km²,

apresentaram 81 ocorrências. Entretanto, no fator uso e ocupação do solo e cobertura vegetal, a delimitação das áreas de especial interesse social (AEIS) foi obtida a partir do banco de dados da Prefeitura Municipal de Ipatinga, não sendo possível através de visita a campo, a validação de todas as feições mapeadas. A classe área urbana não foi dividida quanto aos padrões de ocupação, com exceção das AEIA, obtendo um único grau de predisposição em toda sua extensão. Assim, o fator uso e ocupação do solo e cobertura vegetal não foi considerado como de alta predisposição. Estende-se esta justificativa também ao cenário 04.

No cenário 02 a declividade, seguida pelo mapa de solos, foram os fatores de maior importância. Obteve-se uma baixa frequência de ocorrências na classe baixa (0,09) e na classe média (0,86), ressaltando que a área ocupada por essa classe foi a segunda maior encontrada para os cenários propostos, 31,54 km². Na classe alta obteve-se 49 ocorrências para uma área de 27,22 km², com uma frequência de 1,80 ocorrências/km², enquanto que na classe muito alta teve-se 25 ocorrências para uma área de 5,85 km², sendo a segunda maior área para esta classe, ficando atrás apenas do quinto cenário. Neste cenário as classes alta e muito alta corresponderam a uma área total de 33,05 km² (43,53%).

A frequência para as classes alta e muito alta no cenário 03 foi de 2,03 e 4,06 ocorrências/km², respectivamente, com um total de 90 ocorrências em uma área de 42,15 km². A classe muito alta apresentou 1,74 km², apenas 2,29% da área total.

No cenário 05, o fator de maior influência foi os lineamentos estruturais, seguido pela morfologia. A classe baixa e alta apresentaram apenas uma ocorrência e ocuparam juntas uma área de 25,22 km². As classes de risco alto e muito alto obtiveram respectivamente, 68 e 32 ocorrências registradas para áreas de 41,42 e 9,31 km². Apesar do significativo número de ocorrências, tem-se 50,73 km² (67%) da área como classe alta e muito alta. Entretanto, observa-se que o elevado valor de área dessas classes não reflete a realidade encontrada no local.

O cenário 06 apresentou para as classes alta e muito alta uma cobertura de 33,55 km² englobando 72 ocorrências, com uma frequência de 2,15 ocorrências/km². Neste cenário considerou-se a morfologia com maior influência, seguida pela declividade e pelo mapa de solos.

O Quadro 4.15 apresenta a ocorrência das classes dos fatores em função dos graus de predisposição a movimentos gravitacionais de massa nos seis cenários.

A sobreposição do inventário de movimentos de massa ao tema declividade apresentou uma faixa entre 30 e 80% com 60,78% das ocorrências levantadas cobrindo uma área referente a 35,54% do total. Os cenários 02 e 05 apresentaram, respectivamente, 32,88% e 31,87% de área coberta pelas classes alta e muito alta na faixa de declividade entre 30% e 80%. Os demais cenários apresentaram valores inferiores, porém próximos aos obtidos nesses. O cenário 01 apresentou 30,45%, enquanto o terceiro cenário obteve 27,18%. O quarto cenário contou com o menor valor entre os analisados, 22,73% e o cenário 06 apresentou 30,56% da área ocupada pelas classes alta e muito alta entre as declividades 30 e 80% e com predisposição na classe alta e muito alta.

O tema solos apresentou em função do inventário de ocorrências que as classes CXbd1 e CXbd2 foram as de maior frequência de ocorrências com 75,24% para uma área coberta de 38,36% da total. Entre os seis cenários, cinco apresentaram valores próximos, destacando-se o terceiro com 33,31% e o quinto com 32,99% da área coberta pelos solo CXbd1 e CXbd2 nas classes com predisposição alta e muito alta. Os cenários 01, 02 e 06 apresentaram 31,52%, 31,25% e 30,52%, respectivamente. O cenário 04 apresentou o menor valor, 22,68%.

Quanto ao tema uso e ocupação do solo e cobertura vegetal, destacam-se as classes área urbana e capoeira, com respectivamente, 52,48% e 27,71% das ocorrências ocupando a área urbana 30,20% e capoeira 29,50% da área total. Quanto à área urbana, destacam-se os cenários 03 com 18,13% da área inserida na classe alta e o cenário 05 com 20,99% de área na mesma classe. Os cenários 01, 03 e 04 apresentaram, respectivamente, 19,12%, 20,58% e 19,48% de área com predisposição alta na classe capoeira.

No tema morfologia, as feições côncavas incorporaram o maior porcentual de ocorrências com 47,06%, em uma área referente a 20,56% do total. A feição convexo-retilínea apresentou uma área de 13,38% englobando 26,47% das ocorrências totais. Acerca da feição côncava o cenário 05 apresentou 15,91% das áreas coberta por esta em predisposição alta. O cenário 03 obteve 14,69%. Quanto à feição convexo-retilínea o cenário 5 apresenta 17,30% da área nas classes alta e muito alta.

		CENÁRIO 01				CENÁRIO 02				CENÁRIO 03			
		Predisposição a movimentos de massa				Predisposição a movimentos de massa				Predisposição a movimentos de massa			
		Baixa	Média	Alta	Muito Alta	Baixa	Média	Alta	Muito Alta	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
Declividade	0 - 10%	10.00%	24.51%	3.78%	0.00%	13.60%	24.21%	0.48%	0.00%	10.60%	15.35%	12.06%	0.28%
	10 - 20%	0.64%	6.71%	4.72%	0.04%	1.00%	9.59%	1.52%	0.00%	1.10%	4.20%	6.57%	0.24%
	20 - 30%	0.10%	4.09%	6.45%	0.13%	0.05%	4.99%	5.72%	0.00%	0.35%	3.53%	6.59%	0.28%
	30 - 40%	0.02%	2.47%	7.37%	0.25%	0.00%	2.00%	7.95%	0.17%	0.16%	2.82%	6.80%	0.34%
	40 - 50%	0.01%	1.37%	7.84%	0.46%	0.00%	0.54%	8.43%	0.71%	0.09%	2.24%	6.98%	0.37%
	50 - 60%	0.00%	0.68%	6.32%	0.90%	0.00%	0.08%	5.36%	2.46%	0.05%	1.55%	5.97%	0.33%
	60 - 70%	0.00%	0.33%	3.91%	0.61%	0.00%	0.02%	2.88%	1.95%	0.02%	0.87%	3.74%	0.21%
	70 - 80%	0.00%	0.21%	2.42%	0.37%	0.00%	0.01%	1.77%	1.21%	0.01%	0.54%	2.31%	0.13%
80 - 90%	0.00%	0.10%	1.13%	0.17%	0.00%	0.01%	0.84%	0.55%	0.01%	0.25%	1.07%	0.06%	
90% ou superior	0.00%	0.17%	1.50%	0.22%	0.00%	0.01%	1.16%	0.71%	0.01%	0.44%	1.38%	0.06%	
Solos	CUbd	0.33%	15.91%	4.29%	0.12%	0.26%	17.75%	2.39%	0.25%	0.00%	9.85%	10.49%	0.31%
	CXbd1	0.12%	6.33%	23.34%	1.92%	0.04%	6.31%	20.45%	4.89%	0.00%	4.99%	25.47%	1.24%
	CXbd2	0.00%	0.55%	5.38%	0.88%	0.00%	0.90%	3.80%	2.11%	0.00%	0.21%	6.01%	0.59%
	CXbd3	0.03%	2.66%	3.38%	0.12%	0.02%	3.63%	2.18%	0.35%	0.00%	1.00%	5.06%	0.12%
	LVAd1	0.03%	1.18%	1.21%	0.01%	0.20%	1.24%	0.99%	0.01%	0.11%	2.15%	0.16%	0.00%
	LVAd2	0.01%	2.52%	4.61%	0.12%	0.06%	2.90%	4.17%	0.12%	0.00%	4.24%	3.02%	0.00%
	PVAd	0.00%	3.00%	1.71%	0.04%	0.03%	3.80%	0.87%	0.10%	0.00%	1.28%	3.48%	0.03%
	RLd3	0.00%	0.00%	0.07%	0.02%	0.00%	0.01%	0.03%	0.04%	0.00%	0.00%	0.09%	0.00%
RUBd	0.00%	0.32%	1.11%	0.04%	0.00%	0.74%	0.58%	0.15%	0.00%	0.00%	1.38%	0.09%	
ANP	8.34%	8.63%	1.67%	0.00%	12.13%	4.82%	1.69%	0.00%	10.05%	8.34%	0.24%	0.00%	
Uso e ocupação do solo e cobertura vegetal	Mata	2.28%	9.06%	9.39%	0.00%	3.16%	7.25%	10.15%	0.17%	2.99%	9.28%	8.47%	0.00%
	lagoas	0.00%	0.22%	0.29%	0.00%	0.00%	0.43%	0.08%	0.00%	0.00%	0.26%	0.24%	0.02%
	Área de especial interesse social	0.00%	0.20%	1.91%	1.38%	0.00%	0.42%	1.72%	1.35%	0.00%	0.10%	1.43%	1.96%
	Capoeira	0.93%	4.62%	19.12%	1.35%	1.24%	6.03%	13.64%	5.11%	1.12%	4.27%	20.58%	0.04%
	Pastagem	0.02%	0.08%	0.48%	0.11%	0.02%	0.08%	0.36%	0.22%	0.02%	0.02%	0.57%	0.07%
	rio piracicaba	0.01%	0.49%	0.20%	0.01%	0.04%	0.62%	0.04%	0.01%	0.00%	0.61%	0.09%	0.02%
	Solo exposto	0.00%	0.06%	0.21%	0.11%	0.00%	0.08%	0.19%	0.12%	0.00%	0.06%	0.15%	0.17%
	USIMINAS	5.29%	1.51%	0.10%	0.00%	6.02%	0.74%	0.14%	0.00%	5.46%	1.38%	0.06%	0.02%
Vazios urbanos	0.01%	1.32%	3.03%	0.17%	0.07%	2.03%	1.87%	0.56%	0.01%	0.99%	3.51%	0.02%	
Área urbana	2.47%	23.19%	10.36%	0.02%	4.39%	23.86%	7.57%	0.22%	2.98%	14.92%	18.13%	0.00%	
Morfologia	Côncava	0.14%	7.06%	12.98%	0.34%	0.56%	6.69%	11.05%	2.23%	0.49%	4.78%	14.69%	0.57%
	Côncavo retilíneas	0.26%	9.15%	7.78%	0.19%	1.66%	9.69%	5.14%	0.89%	0.69%	4.54%	11.77%	0.38%
	Retilíneas	10.39%	15.15%	1.98%	0.01%	10.87%	13.66%	2.83%	0.16%	10.55%	12.79%	4.12%	0.06%
	Convexo retilíneas	0.20%	5.74%	7.19%	0.25%	1.39%	5.84%	5.14%	1.01%	0.67%	4.16%	8.18%	0.37%
	Convexa	0.01%	3.63%	15.23%	2.35%	0.44%	5.63%	11.71%	3.44%	0.25%	5.57%	14.48%	0.92%

Quadro 4.15 – Comparação entre classes dos fatores e cenários obtidos (continua).

		CENÁRIO 04				CENÁRIO 05				CENÁRIO 06			
		Predisposição a movimentos de massa				Predisposição a movimentos de massa				Predisposição a movimentos de massa			
		Baixa	Média	Alta	Muito Alta	Baixa	Média	Alta	Muito Alta	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
Declividade	0 - 10%	7.29%	27.46%	3.17%	0.37%	4.30%	18.94%	15.04%	0.02%	18.26%	18.32%	1.72%	0.00%
	10 - 20%	0.86%	8.39%	2.49%	0.37%	0.57%	2.96%	8.48%	0.10%	0.99%	7.92%	3.20%	0.00%
	20 - 30%	0.30%	6.45%	3.58%	0.43%	0.12%	1.98%	8.04%	0.62%	0.26%	4.50%	6.00%	0.01%
	30 - 40%	0.15%	4.88%	4.62%	0.47%	0.05%	1.38%	7.12%	1.57%	0.04%	2.30%	7.65%	0.14%
	40 - 50%	0.07%	3.49%	5.65%	0.47%	0.02%	1.00%	6.05%	2.61%	0.00%	1.29%	7.76%	0.63%
	50 - 60%	0.04%	2.18%	5.28%	0.40%	0.00%	0.67%	4.21%	3.02%	0.00%	0.73%	5.80%	1.37%
	60 - 70%	0.02%	1.22%	3.36%	0.26%	0.00%	0.35%	2.52%	1.98%	0.00%	0.39%	3.48%	0.98%
	70 - 80%	0.01%	0.76%	2.06%	0.15%	0.00%	0.22%	1.58%	1.20%	0.00%	0.24%	2.16%	0.59%
80 - 90%	0.01%	0.37%	0.94%	0.07%	0.00%	0.10%	0.75%	0.54%	0.00%	0.11%	1.01%	0.27%	
90% ou superior	0.01%	0.61%	1.20%	0.07%	0.00%	0.17%	1.03%	0.69%	0.00%	0.17%	1.39%	0.34%	
Solos	CUbd	1.27%	17.26%	1.81%	0.31%	0.39%	9.06%	10.64%	0.55%	7.57%	10.16%	2.80%	0.12%
	CXbd1	0.85%	13.01%	16.43%	1.40%	0.32%	4.85%	18.92%	7.60%	0.30%	6.69%	21.79%	2.91%
	CXbd2	0.01%	1.94%	4.25%	0.60%	0.00%	0.34%	4.01%	2.46%	0.01%	0.98%	4.71%	1.10%
	CXbd3	0.15%	3.64%	2.27%	0.12%	0.10%	1.09%	4.46%	0.53%	0.27%	3.40%	2.37%	0.15%
	LVAd1	0.01%	1.00%	1.29%	0.12%	0.00%	0.40%	1.89%	0.14%	0.08%	0.96%	1.39%	0.01%
	LVAd2	0.03%	3.21%	3.51%	0.50%	0.05%	1.19%	5.14%	0.88%	0.20%	2.22%	4.77%	0.07%
	PVAd	0.14%	3.33%	1.28%	0.05%	0.13%	1.23%	3.27%	0.17%	0.57%	3.24%	0.93%	0.06%
	RLd3	0.00%	0.00%	0.09%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%	0.05%	0.00%	0.02%	0.06%	0.02%
	RUBd	0.00%	0.90%	0.55%	0.02%	0.00%	0.06%	1.21%	0.20%	0.00%	0.73%	0.70%	0.04%
ANP	4.60%	12.64%	1.35%	0.03%	2.05%	9.77%	6.63%	0.18%	9.13%	7.70%	1.80%	0.00%	
Uso e ocupação do solo e cobertura vegetal	Mata	2.86%	14.30%	3.59%	0.00%	1.80%	5.43%	11.66%	1.84%	2.70%	7.69%	9.99%	0.35%
	lagoas	0.00%	0.00%	0.47%	0.04%	0.00%	0.20%	0.32%	0.00%	0.17%	0.28%	0.07%	0.00%
	Área de especial interesse social	0.00%	0.04%	0.80%	2.65%	0.04%	0.35%	1.75%	1.35%	0.00%	0.45%	2.31%	0.72%
	Capoeira	0.57%	5.97%	19.48%	0.00%	0.91%	3.53%	15.30%	6.27%	1.27%	6.24%	15.99%	2.51%
	Pastagem	0.00%	0.10%	0.48%	0.11%	0.03%	0.19%	0.31%	0.16%	0.02%	0.07%	0.49%	0.10%
	rio piracicaba	0.01%	0.06%	0.62%	0.03%	0.06%	0.35%	0.29%	0.01%	0.17%	0.50%	0.04%	0.00%
	Solo exposto	0.00%	0.00%	0.16%	0.22%	0.00%	0.07%	0.22%	0.09%	0.03%	0.07%	0.22%	0.06%
	USIMINAS	3.23%	3.63%	0.03%	0.00%	1.61%	4.53%	0.75%	0.01%	5.78%	0.99%	0.13%	0.00%
	Vazios urbanos	0.00%	1.26%	3.26%	0.00%	0.03%	0.65%	3.00%	0.84%	0.16%	1.82%	2.28%	0.26%
Área urbana	2.14%	30.54%	3.35%	0.00%	0.64%	12.72%	20.99%	1.68%	9.73%	17.74%	8.27%	0.30%	
Morfologia	Côncava	0.49%	11.11%	8.24%	0.69%	0.11%	3.18%	15.91%	1.32%	0.12%	9.50%	10.91%	0.00%
	Côncavo retilíneas	0.38%	11.60%	4.93%	0.46%	0.12%	2.79%	13.22%	1.24%	0.03%	11.09%	6.20%	0.05%
	Retilíneas	7.66%	18.30%	1.47%	0.09%	4.76%	17.77%	4.99%	1.76%	19.75%	7.44%	0.32%	0.00%
	Convexo retilíneas	0.28%	7.90%	4.71%	0.49%	0.12%	2.32%	9.18%	7.95%	0.00%	6.19%	7.06%	0.13%
	Convexa	0.07%	7.01%	12.82%	1.31%	0.01%	1.96%	11.30%	0.00%	0.00%	1.63%	15.45%	4.13%

Quadro 4.15 – Comparação entre classes dos fatores e cenários obtidos.

Segundo a avaliação realizada, o cenário 05 é o que melhor representa a carta de predisposição a movimentos de massa, uma vez que este cenário obteve maior relação entre o inventário de ocorrências e os mapas temáticos. Neste cenário, o tema lineamentos estruturais foi o de maior influência a movimentos gravitacionais de massa, seguido pela morfologia, carta de declividades, mapa de solos e por último o uso e ocupação do solo e cobertura vegetal. Tem-se no cenário 05 que 55,05% da área caracteriza-se por predisposição alta e 12,37% por predisposição muito alta. Destaca-se neste cenário o total de 100 ocorrências nas classes alta e muito alta, restando apenas duas ocorrências para as classes baixa e média.

A Figura 4.20 apresenta a carta de risco a movimentos gravitacionais de massa.

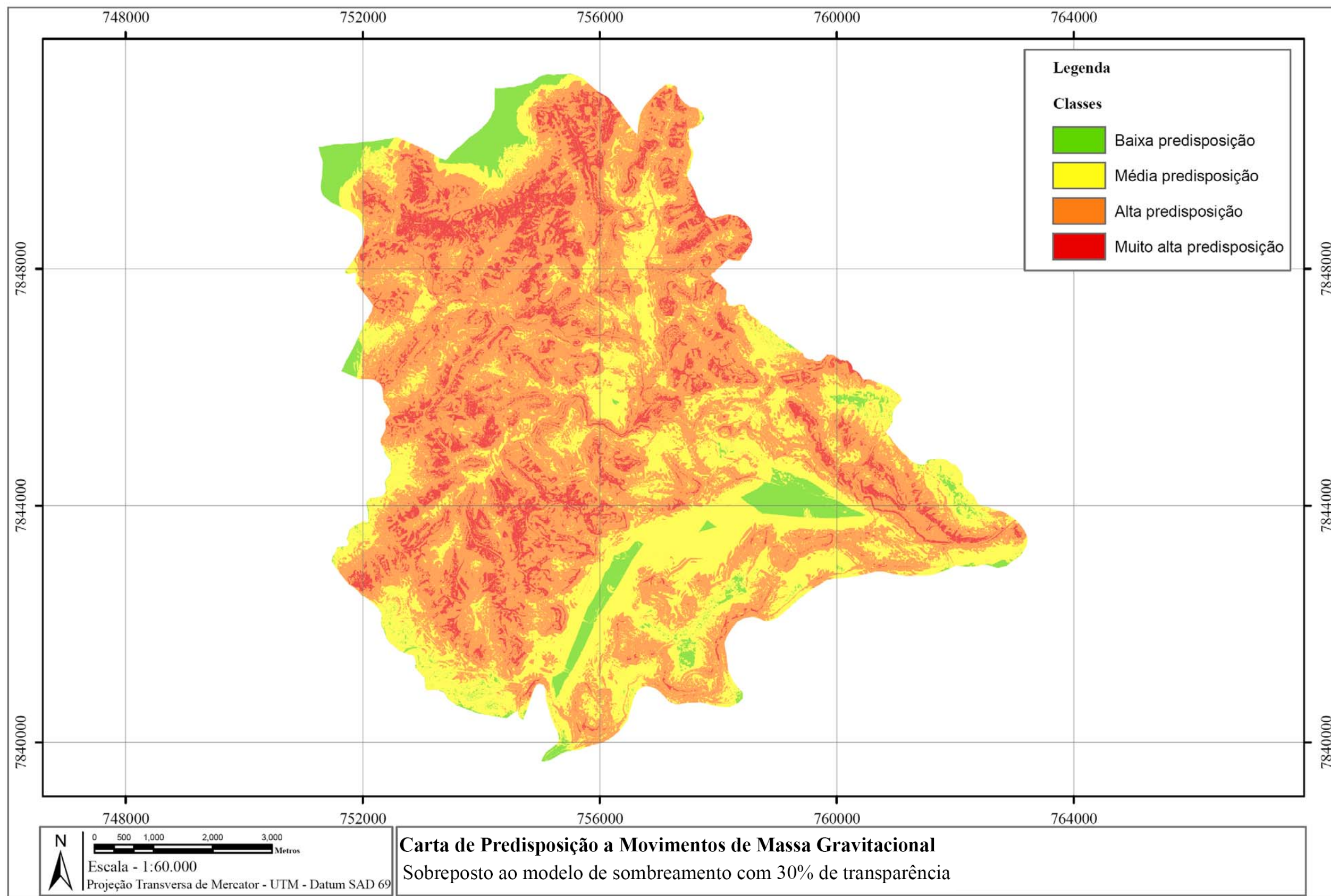


Figura 4.20 – Carta de predisposição a movimentos gravitacionais de massa

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Para a análise de uma região quanto à predisposição a movimentos gravitacionais de massa é necessária uma base de dados em escala coerente aos objetivos propostos. Se algum tema não estiver na escala ideal, ele deve ser removido da análise ou deve-se buscar um refinamento a fim de padronizá-lo com os demais;
- Quanto maior o grau de informação de um tema, mais cuidado deve-se ter com o mesmo de forma a usufruir de todas informações sem perder a qualidade do trabalho;
- Os softwares de sistemas de informação geográfica, a técnica de combinação pareada, juntamente com o conhecimento da área de estudo, fornecem análises de cenários alternativos capazes de prever as classes de predisposição a movimentos gravitacionais de massa;
- As feições côncavas apresentaram-se mais susceptíveis aos movimentos gravitacionais de massa que as feições convexas;
- Os lineamentos estruturais apresentam considerável influência na predisposição a movimentos gravitacionais de massa;
- A declividade apresentou redução na influência na predisposição a movimentos gravitacionais de massa em declividades superiores 80%;
- As classes de solo CXbd1 e CXbd2 apresentaram grande predisposição à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa;

- A carta de predisposição a movimentos gravitacionais de massa poderá ser utilizada pelo poder público como ferramenta auxiliadora na tomada de decisões tanto acerca de questões em áreas atualmente ocupadas quanto na avaliação de vetores de crescimento urbano;

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realização de trabalhos desta natureza em outras regiões para compor um banco de dados que seja capaz de subsidiar a elaboração de metodologias de zoneamento em áreas urbanas com o uso de ferramentas e técnicas acessíveis aos órgãos responsáveis pela tomada de decisões;
- Estudos detalhados das variáveis socioeconômicas para avaliação de suas influências na predisposição a ocorrência de movimentos gravitacionais de massa juntamente com condicionantes pedológicos, geotécnicos e geomorfológicos;
- Aumento do inventário de ocorrências para avaliar com maior precisão a influência da declividade e dos lineamentos estruturais na ocorrência de movimentos gravitacionais de massa conforme exposto nas considerações finais;
- Correlacionar as ocorrências de movimentos gravitacionais de massa aos índices diários de pluviosidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Solo:** análise granulométrica de solos. NBR 7181/84, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro: 1984a. 6p.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Solo:** determinação da massa específica dos grãos. NBR 6508/84, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro: 1984b. 2p.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Solo:** determinação do limite de plasticidade e do índice de plasticidade. NBR 7180/84, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro: 1984c. 6p.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Solo:** determinação de limite de liquidez. NBR 6459/84, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro: 1984d. 4p.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Solo:** amostras de solo - preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. NBR 6457/86, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro: 1986. 7p.
- AMARAL, C. **Landslides disasters management in Rio de Janeiro.** II COBRAE Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, ABMS, ABGE e ISSMGE. Rio de Janeiro, 1997. p. 209-212.
- AMARAL JR., A. F. **Mapeamento geotécnico aplicado à análise de processos de movimentos de massa gravitacionais:** Costa Verde-RJ – escala: 1:10.000. 2007. 231p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos: 2007.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. Annual book of ASTM standards. Section 4: **Construction**, v. 04.08: Soil and rock; dimension stone; geosynthetics. Philadelphia, 1990.
- ANTOINE, P. & GIRAUD, A. Typologie des mouvements de versants dans un contexte opérationne. **Bulletin of the International Association of Engineering Geology**, v. 51, p. 57-62, 1995.
- ARAÚJO, M. A. R. **Conservação da biodiversidade em Minas Gerais:** em busca de uma estratégia para o século XXI. Coleção Minas XXI, Unicentro Newton Paiva. Belo Horizonte, 2000. 36 p.

- AUGUSTO FILHO, O. **Cartas de risco de escorregamento**: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilha Bela-SP. 1994. 168p. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1994.
- AUGUSTO FILHO, O., VIRGILI, J.C. 1998. Estabilidade de taludes In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Eds.). **Geologia de Engenharia**: ABGE, 1998. p. 15-38.
- AZEVEDO, M. A. A. **Contribuição ao estudo geotécnico de solos de Viçosa-MG**. 1999. 169 p. Dissertação(Mestrado) – Geotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.
- BAPTISTA, A. C. **Análise da Paisagem e Identificação de Áreas Suscetíveis a movimentos de Massa na APA Petrópolis – RJ**: Subsídio ao Planejamento Urbano. 2005. 110p. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2005.
- BARISONE, G.,BOTTINO, G. **A practical approach for hazard evaluation of rock slopes in mountainous areas**. In: 6th International I.A.E.G. Congress, 1990. V.3, pp.1509-1516, Amsterdam.
- BARROSO, J.; CABRAL, S.; PEDROTO, A.E.S.; LINO, G.L.S..**Geological-Geotechnical Mapping of Rio de Janeiro Metropolitan Region**. V International IAEG Congress, Buenos Aires, v. 6 , 1986. p.1715-1724.
- BERNARDES, A. **Construção da Nação – Ocupação do Território**. Disponível em: <<http://www.mre.gov.br/cdbrasil/itamaraty/web/port/consnac/ocupa/procurb/>>. Acesso em: 17 set. 2007.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Livroceres, 1985. 392 p.
- BERTONI, J.; LOMBARDO NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990. 355p.
- BONUCCELLI, T. **Estudo dos movimentos gravitacionais de massa e processos erosivos com aplicação na área urbana de Ouro Preto/MG – Escala 1:10.000**. 1999. Tese (Doutorado) – Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1999.
- BRABB, E.E.O.**Innovate Approaches to Landslide Hazard and Risk Mapping**. In: IV International Symposium on Ladslides, Toronto, 1984. vol.1, pp.307-323.
- BRAND,E.W.;BURNETT,A.D.;STYLES,K.A.O. **Geotechnical land use maps for planning in Hong Kong. Proceedings...IV Congress International of the IAEG**, 1982. vol.1,p.145-153
- BUENO, B.S., VILAR, O.M. **Mecânica dos solos**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1980. 131p. (Publicação, 69).

- BURNETT, A.D.; STYLES, K.A. **An Approach to Urban Engineering Geological Mapping as Used in Hong Kong**. IV Congress International Association of Engineering Geology, v.1, New Delhi, 1982. p.1-167- 176.
- CARVALHO, E. T.; PRANDINI, F. L. Áreas urbanas. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S.N. A. **Geologia de engenharia**. ABGE, São Paulo: 1998. p. 487.
- CARVALHO, J. C., SALES, M. M., MORTARI, D., FÁZIO, J. A., MOTTA, N. O. e FRANCISCO, R. A. Processos Erosivos. In: CARVALHO, J. C., SALES, M. M., SOUZA, N. M., MELO, M. T. S (Orgs.). **Processos erosivos no Centro-Oeste Brasileiro – Brasília**: UNB: FINATEC, 2006.
- CERRI, L. E. S.; AMARAL, C. P. Riscos Geológicos. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S.N. A.(Orgs.). **Geologia de engenharia**. ABGE, São Paulo: 1998. p. 487.
- CHACO, J., IRIGARAY, C., FERNÁNDEZ, T. Engineering geology maps: landslides and geographical information systems. Bull Eng Geol Environ, 2006.
- CHAVES, M. A. **Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a Bacia Amazônica**. 2002. 115p. Tese (Doutorado) – Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2002.
- CHOUBEY, V.D., LITORIA, P.K.O. **Landslide hazard zonation in the Garhwal Himalaya: A terrain evaluation approach**. In: 6th International I.A.E.G. Congress, 1990, V.1, pp.65-72, Amsterdam.
- CUNHA, M.A (Coord.). **Ocupação de encostas**. São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1991. 216p.
- DIAS, R.D. Proposta de metodologia de definição de carta geotécnica básica em regiões tropicais e subtropicais. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. especial, p. 51-55, 1995.
- DICIONÁRIO LIVRE DE GEOCIÊNCIAS. Disponível em <http://dicionario.pro.br/dicionario/index.php?title=Eros%C3%A3o>, acesso em 07 de outubro de 2007.
- ELBACHÁ, A.T, CAMPOS,L.E.P. & BAHIA, R.F.C . **Tentativa de Correlação entre precipitação e deslizamento na cidade de Salvador**. I COBRAE - Conferencia Brasileira sobre estabilidade de Encosta, Rio de Janeiro, v. 3, 1992. p. 647 - 656.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Centro Nacional de Pesquisas de Solos**. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, 1999. p. 412.

- ERCANOGLU M; GOKCEOGLU, C. Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment** , v. 41, n. 6, p.720–730. 2001.
- FARAH, F. **Habitação e encostas**. São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2003. 312p.
- FERNANDES, N. F., GUIMARÃES, R. F., GOMES, R. A. T., VIEIRA, B. C., MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicação de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.2, n. 1, p. 51-71. 2001
- FIGUEIREDO, R. B. **Engenharia Social: Soluções para áreas de risco** – Makron Books, São Paulo: 1994.
- FREIRE, E.S.M. Movimentos coletivos de solos e rochas e sua moderna sistemática. Rio de Janeiro, **Revista Construção**, p. 10-18, 1965.
- GAO, J. Identification of topographic settings conducive to landsliding from DEM in Nelson County, Virginia, U.S.A. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 18, p. 579- 591. 1993
- GOMES, M. F. de A. **Caracterização e Mapeamento da Instabilidade de Encosta do Município de Ipatinga/Mg para Geração do Mapa de Conflito de Uso e Ocupação do Solo Urbano**. 2002. 96p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2002.
- GRANT, K. **The PUCE programme for terrain evaluation for engineering purposes**. CSIRO-Division of applied geomechanics technical paper, Austrália, n. 15. 1970.
- GRANT, K.;FINLAYSON.A. **The application of terrain analysis to urban and regional planning**. III International Congress of the IAEG, Madrid. 1978. p. 79 - 91.
- GUERRA, A. J. T., CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro: 1996. 394p.
- GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. *In*: GUERRA, A. J. T., CUNHA, S. B. **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. 5ª ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro: 2003. 472 p.
- GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. *In*: GUERRA, A. J. T., SILVA, A. S., BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 2ª ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro: 2005. 340p.
- GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976. 167p.

- HADLEY, R. F.; LAL; ONSTAD, C.A., WALING, D.E.; YAIR, A. **Recent developments in erosion and sediment yield studies**. Technical documents in hidrology. International Hydrological Programme, UNESCO, Paris, 1985. 127p.
- HASEGAWA, S. Classification of slope movement forms – their description and interpretation. *In: IV International Conference and Field Workshop on Landslides, Tokyo: Proceedings...Tokyo, 1985.* p. 11-16.
- HINOJOSA J.A.; LEON C.O. **Unstable soil mapping in Spain**. In: Proceedings of 3rd International Cong. IAEG, Madrid, section I, (I), 1978 pp. 217–227
- HORTON R. E. Erosional Development of Streams and their Drainage Basins; Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. **Geological Society of America Bulletin**: v. 56, n. 3, p. 275–370, 1945.
- HUMBERT, M. **La cartographie em France des zones exposées a des risques lies aux mounvements Ddu sol: cartes Zermos**. Bull. IAEG, nº 16, 1977. P.80-81
- HUTCHINSON, J.N. General Report: Morphological and Geotechnical Parameter of Landslides in Relation to Geology and Hydrogeology. *In: BONNARD, C. (Ed.). Landslides, Proceedings of The Fifth International Symposium on Landslides* Lausanne, Switzerland, v.1, 1988. p.3-35.
- INFANTI JR. N., FORNASARI FILHO, N. Processos de Dinâmica Superficial. *In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. Geologia de engenharia*. ABGE, São Paulo: 1998. p. 487.
- IAEG - INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR ENGINEERING GEOLOGY AND THE ENVIRONMENT. **Engineering geological maps**. A guide to their preparation. Unesco Press, Paris: 1976. 79p.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2000. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/tabelabrasil111.shtm>>. Acesso em: 02 out. 2007.
- IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Treinamento de Técnicos Municipais para o Mapeamento e Gerenciamento de Áreas Urbanas com Risco de Escorregamentos, Enchentes e Inundações**. Ministério das Cidades, 2004.
- KING, L. C. A geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 147-265, 1956.
- LANSHENG, W.; ZHUOYUAN, Z.; MINDONG, C.; JIN, X.; TIANBIN, L.; XIAOBI, D. **Suggestion on the systematical Classification for slope deformation and failure**. Landslides. Balkema: p. 1995. p.1869-1877.

- LARSEN, M. C.; TORRES-SANCHEZ, A. J. The frequency and distribution of recent landslides in three montane tropical regions of Puerto Rico. **Geomorphology**, v. 24, p. 309-331. 1998
- LUK, S.H. Effect of soil properties on erosion by wash and splash. **Earth Surface Processes**, v.4, p241-255, 1979.
- MAGALHÃES, F.S., CELLA, P. R. C. Estruturas dos maciços rochosos. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Orgs.). **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p. 487.
- MIRANDA, J. G. 2005. **Mapeamento geotécnico e estudo da susceptibilidade à erosão na bacia do Ribeirão Ponte de Pedra (MT), escala: 1:100.000**. 2005. 278p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos: 2005.
- MOREIRA, C. V. R., PIRES NETO, A. G. Clima e relevo. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Orgs.). **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p. 487.
- MORGAN, R.P.C. **Soil erosion and conservation**. Longman Group, Inglaterra, 1986. 298p.
- NEMCOK, A., PASEK, J., AND RYBAR, J. **Classification of Landslides and other Mass Movements**. Rock Mechanics, Springer-Verlag, Wien, v.. 4, n.. 2, pp. 71-78. 1972.
- NOGAMI, J. S., VILLIBOR, D. F. - **Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos**. São Paulo: Editora Villibor, 1995.
- OLIVEIRA, A. A. K. ; NOCE, C. M. . Estruturação tectônica do embasamento da Faixa Araçuaí na região de Ipatinga, MG. In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 1999, Lençóis. **Anais...** Lençóis : Sociedade Brasileira de Geologia, 1999. p. 38-41.
- OLIVEIRA, A.A.K, LEITE, A.S. **Projeto Leste: Folha Ipatinga – SE.23-Z-D-II, escala 1:100.000 –SEME/COMIG/CPRM**, Belo Horizonte: 2000. 58p.
- OLIVEIRA, I.S.D. **A contribuição do zoneamento ecológico econômico na avaliação de impacto ambiental: bases e propostas conceituais**. 2004. 111 p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.
- OLIVEIRA, M. A. T. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: GUERRA, A. J. T., SILVA, A. S., BOTELHO, R. G. M.(Orgs.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 340p.
- PEREIRA, S. Y. ; FERNANDES, A. J. ; NOGUEIRA, S. A. A. ; HASSUDA, S. ; PIRES NETO, A. G. . Subsidios Ao Planejamento Territorial de Campinas: A Aplicação da Abordagem de Tipos de Terrenos. Revista do Instituto Geológico, Sao Paulo, v. 15, p. 71-75, 1995.

- PINHEIRO A., TACHINI M.; RIEKMANN C. G. Estudo das correlações entre precipitações e os escorregamentos em áreas de risco em Blumenau – SC. *In: VIEIRA R.; PINHEIRO A.; VIBRANS A. C.; ZENI, A. L. B., XAVIER, F. F., REFOSCO, J. C., TACHINI, M (Orgs.). Um olhar sobre as áreas de risco de escorregamento no município de Blumenau: em busca da prevenção.* 2005. 96p.
- PIRES NETO, A.G.; PEREIRA, S. O planejamento territorial no Instituto Geológico: revisão e avaliação da experiência. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, p. 37-43. 1995.
- PRADINI, F.L. et al. Cartas geotécnicas nos planos diretores regionais e municipais. In BITAR, O.Y. **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente.** ABGE/IPT, São Paulo: 1995. p. 187 – 202.
- RAGOZIN, A.L. Basic principles of natural hazard risk assessment and management. In: 7th **International IAEG Congress, Balkema, Rotterdam.** Lisbon: vol.3, 1994, p.1277-1286.
- RODRIGUES, B. B. **Inventário e Análise de Susceptibilidade aos Movimentos de Massa Gravitacionais e Processos Correlatos na Região de Águas de Lindóia -SP - escala 1:10.000.** 1998. 142p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1998.
- RODRIGUES, B.B.; PEJON, O.J.; ZUQUETTE, L.V. Metodologia para elaboração de cartas de risco decorrentes de movimentos de massa gravitacionais: análise crítica. **Geociências**, v.16, n.2, p. 525-564, 1999.
- RODRIGUES, B. B. **Proposta de sistemática para tomada de decisão relativa a movimentos de massa gravitacionais: aplicação em Ouro Preto (MG).** 2002. 322 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2002.
- RODRIGUES, J. E. **Estudo de fenômenos acelerados: Boçorocas.** 1982. 162p. Tese (Doutorado)- Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1982.
- ROSS, J. L. S. Geomorfologia aplicada aos EIAs-RIMAs. *In: GUERRA, A. J. T., CUNHA, S. B. Geomorfologia e meio ambiente.* Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 394p.
- SAATY, T.L. A scaling method for priorities in hierarch structures. **Jornal of Mathematical Psychology**, 1977. p.234-281.
- SALOMÃO, F. X. T.; IWASA, O.Y. Erosão e a ocupação rural e urbana. *In: BITAR, O.Y. SANEJOUAND, R. (Orgs.). La cartographie Géotechnique en France.* Paris: Ministère de l'Équipement et du Logement. D.A.F.U.; A.R.M.I.N.E.S.; L.C.P.C. 1972. 96p.
- SANEJOUAND, R. **La cartographie géotechnique em France.** Paris: Laboratoire Central Ponts et Chaussées. 1972

- SASSA, K. The Geotechnical Classification of Landslides. *In: IV International Conference and Field Workshop on Landslides, Tokyo: Proceedings...Tokyo, 1985. p. 31-40.*
- SESHAGIRI, D.N. et al **Landslide Zonation in Nilgiri Plateau, Tamil Nadu, India** *In: International Congress of the I.A.E.G. 1982. Proceedings, V.1, Thenu 1, pp. I, 379-390.*
- SHARPE, C.F.S. **Landslide and Related Phenomena.** Pageant, New Jersey, 1938. 137p.
- SIDLE, R. C., PEARCE, A. J.; O'LOUGHLIN, C.L. **Hillslope stability and land use:** American Geophysical Union, Water Resources Monograph Series 11, 1985. 140 p.
- SILVA, A.F. da. Floresta Atlântica. *In: MENDONÇA, M. P.; LINS, L.V. (Org). **Lista vermelha das espécies ameaçadas de extinção da flora de Minas Gerais.*** Fundação Biodiversitas, Fundação Zôo-Botânica de Belo Horizonte. Belo Horizonte: 2000. p. 45-53.
- SOETERS, R., VAN WESTEN, C.J. Slope instability Recognition, analyses, and zonation. *In: A. K. & Schuster, R. L.(ed.). **Landslides investigation e mitigation, turner.*** National Academy Press, Washington, D.C. Special Report 247. Transportation research board, 1996.
- STEVENSON, P.C. **The Evolution of a Risk-Zoning System for Landslide Areas.** Geol.Survey Tasmania, Australia. 1978, 14p.
- TERZAGHI, K. Landslides in Central America. **The Technology Review**, v.31, n.1, p. 12-16. 1928.
- TERZAGHI, K. **Mecanismos de escorregamentos de terra.** Trad. De Ernesto Pichler. São Paulo: Grêmio Politécnico. 1950. 41p.
- USIMINAS – Usina Siderúrgica de Minas Gerais, Estação meteorológica, 2008.
- VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos.** São Paulo: McGraw-Hill,1981. 509p.
- VARNES, D.J. Landslides Types and Processes. . *In: ECKEL, E. B. (ed.). **Landslides and engineering practice:*** Highway Research board, Special Report, v. 29, 1958. p.20-47.
- VARNES, D. J. Slope movements types and processes. *In: **Landslides analysis and control.*** National Academy of Sciences, Washington: 1978. p. 11-33
- VARNES, D.J - Landslide hazard zonation: a review of principles and practice International Association of Engineering Geology. Paris: UNESCO, Natural Hazards, 1984. 63p.
- VELOSO, H.P.; RANGEL-FILHO, A. L. R. & LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal.** IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro: 1991. 124 p.

- WOLLE, C.M. **Taludes Naturais – Mecanismos de Instabilização e Critérios de Segurança**. Dissertação de Mestrado São Paulo, USP, 1980.
- WACHAL, D. J.; HUDAK, P. F., Mapping landslide susceptibility in Travis County, Texas, USA – **GeoJournal**, 2001
- YAGI, R. Classification of landslides based upon landform units ascribed from landslide activity in and around central Ohu backbone range, northeast Japan. *In: Landslides – Seventh International Conference & Field Workshop*. Czech and Slovak, Balkema, 1995. 57-62pp.
- ZÁRUBA, Q., MENCL, V. **Landslides and Their Control**. New York, Elsevier/Prague, Academia, 1969. 205p.
- ZUQUETE, L.V., GANDOLFI, N. **Cartografia geotécnica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 190p.
- ZUQUETE, L.V., NAKAZAWA, V.A. Cartas de geologia de engenharia. *In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. Geologia de engenharia*. ABGE, São Paulo: 1998. 487 p.