

MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA E EROSÕES NA CIDADE HISTÓRICA DE OURO PRETO, BRASIL

Mass movements and erosion processes in historical city Ouro Preto, Brazil

TERESINHA BONUCCELLI*
LÁZARO VALENTIM ZUQUETTE**

RESUMO - Apresenta-se neste trabalho, os resultados obtidos no inventário dos movimentos gravitacionais de massa e processos erosivos ocorridos na área urbana de Ouro Preto. Orientados pelas sugestões de Varnes (1978) e Unesco-WP/WLI (1993), as seguintes características foram levantadas: tipos de processos, dimensões, tipos de materiais envolvidos, estados de actividade. Os principais tipos de movimentos encontrados foram: processos complexos, processos onde predominam escorregamentos e processos onde predominam erosões. O tipo de material envolvido mais freqüente se refere a misturas de detritos e solos e também misturas de blocos de rochas, detritos e solos. Cerca de 82% dos processos foram considerados activos. As profundidades mais frequentemente alcançadas são superficiais e médias. A área atingida pelos processos representa cerca de 2,4% da área urbana total. A relação entre a ocorrência desses processos e os danos causados a população é discutida, com base no levantamento realizado junto a Defesa Civil. Para o período de 1988 a 1998 os danos pessoais levantados foram 21 mortes e 5 feridos.

SYNOPSIS - Mass movements and erosion processes inventory in historical city of Ouro Preto is presented. The mass movements features such as type, dimensions, materials related, state of activity are investigated, according to suggestions reported by Varnes (1978) and Unesco-WP/WLI (1993). Main process types found were complexes, landslides related, erosions related. The more frequently geological materials involved are: debris and soils mixed, and also rock blocks, debris and soils mixed. About 82% of the events are active processes. Main depth found was shallow and medium. The processes cover a surface close to 2.4% of total urban area. In addition, a discussion concerning with damage and process is carried out, based on investigations originated from Civil Defence data. During 1988-1998 period, 21 deaths and 5 injury persons were observed.

1 - INTRODUÇÃO

A cidade de Ouro Preto apresenta um histórico de ocorrências de movimentos gravitacionais de massa e processos erosivos que têm gerado danos materiais e humanos (inclusive vítimas fatais) incompatíveis com o nível de segurança desejado às actividades urbanas e econômicas. Esses processos naturais têm acontecido desde o início do seu povoamento nas minerações e nos garimpos, e, nas últimas décadas, na zona urbana. Por esse motivo, vários trabalhos já foram realizados, objectivando caracterizar e estabelecer soluções para situações de problemas localizados (Barbosa, 1961; Branco, 1979; Tecnosolo, 1979; Ribeiro, 1992; Gomes e Oliveira Filho, 1993), ou abrangendo parcela da área urbana (Carvalho, 1982; Sobreira, 1990 e Sobreira *et al.*, 1990).

* Prof. Assistente - Escola de Minas - Universidade Federal de Ouro Preto

** Prof. Doutor - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo

Este trabalho faz parte de uma pesquisa mais ampla (Souza, 1996 e Bonuccelli, 1999) que envolve a avaliação dos riscos decorrentes dos movimentos gravitacionais de massa e processos erosivos na área urbana (ocupada e em expansão) da cidade de Ouro Preto, totalizando aproximadamente 44 km², na escala 1:10.000. Apresenta-se nesse artigo, os resultados obtidos no inventário desses fenômenos ocorridos na área urbana de Ouro Preto. Orientados pelas sugestões de Varnes (1978) e Unesco-WP/WLI (1993), as seguintes características foram levantadas: tipos de processos, dimensões, tipos de materiais envolvidos e estados de actividade. Apresenta-se ainda os resultados obtidos no levantamento das ocorrências atendidas pela Defesa Civil de Ouro Preto para o período de 1988 a 1998, discutindo-se sua relação com os danos causados à população. O armazenamento, actualização e análises dos dados levantados, foram realizados através da utilização dos programas Ilwis 2.1 (sistema de informação geográfica), Excel e Access 95 (planilha de cálculo e banco de dados).

2 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

2.1 - Localização

A área em estudo localiza-se na zona urbana do município de Ouro Preto, região central do estado de Minas Gerais, Brasil. A cidade possui importância histórica, cultural e econômica. Ouro Preto é Patrimônio histórico da Humanidade desde 1977 (UNESCO), devido à preservação das construções barrocas do século XVIII, fase do apogeu da extração de ouro na região. Actualmente sua economia se concentra nas actividades turísticas e na indústria de extração e beneficiamento de minerais (hematita, bauxita e topázio).



Figura 1 – Mapa de localização de Ouro Preto

2.2 - Geologia

A cidade de Ouro Preto está situada em um dos flancos do Anticlinal de Mariana, que por sua vez, se insere na porção sudeste da estrutura geológica regional conhecida como Quadrilátero Ferrífero. Diversos trabalhos nos diferentes ramos da geologia foram realizados na região, pois essa área apresenta grandes mineralizações de ferro, ouro, manganês, alumínio e outros.

A área em estudo é composta por metasedimentos pré-cambrianos, divididos nas seguintes unidades estratigráficas, cujas subdivisões e litologias estão resumidas na Tabela 1.

Tabela 1 - Coluna estratigráfica simplificada (de Nalini Jr., 1993) para a área urbana de Ouro Preto

Supergrupo	Grupo	Formação	Principais litologias
Minas	Itacolomi		quartzitos, metaconglomerados, filitos
	Piracicaba	Sabará	clorita-xistos, filitos, metagrauvascas
		Barreiro	filitos e filitos grafitosos
		Tabões	quartzitos finos, algumas vezes friáveis
		Fecho do Funil	filitos dolomíticos, filitos, dolomitos impuros
		Cercadinho	quartzitos, filitos, quartzitos e filitos ferruginosos
	Itabira	Gandarela	dolomitos, itabiritos dolomíticos, filitos dolomíticos
		Cauê	itabiritos, itabiritos dolomíticos, filitos, horizontes manganésíferos
		Caraça	Batatal
	Moeda		quartzitos sericíticos de granulometria fina a grossa, filitos arenosos
Rio das Velhas	Nova Lima		quartzo-xistos, quartzo-filitos, quartzo-mica-xistos, metaconglomerados, formação ferrífera bandada

Quanto às características geotectônicas, Nalini Jr (1993) afirma que os terrenos polideformados do Quadrilátero Ferrífero têm suscitado diferentes interpretações para os vários pesquisadores que vêm trabalhando na região. Na área em análise, os aspectos geométricos e cinemáticos das estruturas, desde micro até mega-escalas, possibilitam verificar a presença de 2 eventos tectônicos principais: um de carácter extensivo, seguido de outro de carácter compressivo. Os dobramentos regionais e a foliação paralela ao acamamento estão relacionadas ao regime extensivo. As deformações com orientação EW, a foliação regional e milonítica, a lineação mineral, as falhas inversas e as falhas com orientação EW estão relacionadas ao regime compressivo.

Quanto às características geotécnicas do substrato rochoso da área urbana de Ouro Preto, verifica-se que é composto predominantemente por rochas brandas, que podem estar (44% da área) ou não (33% da área) intercaladas ou associadas a rochas duras. A separação entre rochas brandas e duras seguiu a proposta de Franklin e Dusseault (1989). O restante da área (23%) é composta por rochas duras. Na Tabela 2 e na Figura 2, encontra-se um resumo das principais unidades do substrato rochoso e sua distribuição na área em estudo.

2.3 - Perfil de intemperismo e materiais inconsolidados

Com base na classificação de grau de alteração proposta pela ISRM (1981) foram considerados solos os materiais com grau de alteração V (rocha completamente alterada ou saprolitos) e VI (solo residual, pela classificação da ISRM).

Tabela 2 - Características das unidades do substrato rochoso

Código	Litologias principais do substrato rochoso	% área
r1	xistos sericíticos e quartzosos brandos	12,29
r2	xistos sericíticos e quartzosos duros	1,46
r3	filitos e xistos brandos associados a xistos duros	5,24
r4	Quartzitos e quartzitos sericíticos duros	2,30
r5	Quartzitos e quartzito-sericita-xistos, brandos e duros intercalados	5,97
r6	Quartzitos silicosos duros, quartzitos micáceos brandos, xistos sericíticos brandos, ora intercalados ora associados	4,24
r7	itabiritos intensamente alterados para canga e materiais lateríticos	2,10
r8	itabiritos e itabiritos dolomíticos duros e brandos intercalados; presença de canga e materiais lateríticos associados	5,90
r9	Dolomitos e itabiritos dolomíticos duros ora intercalados e ora associados com filitos e itabiritos dolomíticos brandos	2,24
r10	filitos brandos intercalados a quartzitos brandos; presença em associação de quartzitos duros intercalados com filitos sericíticos brandos	8,84
r11	Quartzitos e filitos duros	0,38
r12	Quartzitos friáveis e filitos grafitosos brandos intercalados; quartzitos brandos e duros intercalados com filitos sericíticos brandos. Níveis ferruginosos e manganésíferos	1,76
r13	Quartzitos e filitos ferruginosos, brandos, intercalados	1,19
r14	filitos e xistos brandos, intercalados com filitos grafitosos	6,41
r15	filitos e xistos brandos associados a filitos e xistos duros	10,70
r16	filitos, xistos e quartzitos brandos, ferruginosos e manganésíferos	10,06
r17	filitos grafitosos/sericíticos e quartzitos brandos	1,47
r18	filitos e xistos duros	5,97
r19	Quartzitos duros	10,99
r20	Quartzitos brandos, friáveis	0,49

Pode-se dizer que o perfil de alteração, na maior parte da área urbana de Ouro Preto, cerca de 40%, se caracteriza por apresentar solos (coluvionares, residuais e saprolíticos) com espessuras menores que 10m, sobrepostos a rochas intensamente alteradas (grau IV). Em segundo lugar, cerca de 30%, se verificam a presença de solos (colúvios e saprolitos) com espessuras menores que 2m, sobrepostos a rochas duras, levemente a moderadamente alteradas (graus II a III). A textura desses solos, são predominantemente siltosas, arenosas e silto-arenosas.

Outro tipo de material com presença importante, cerca de 16% da área, são os materiais lateríticos, originados da intemperização dos itabiritos (rocha composta essencialmente de quartzo e hematita), e dos quartzitos, filitos e xistos ferruginosos. Esses materiais se apresentam frequentemente endurecidos, formando cangas e concreções de tamanhos variados.

2.4 - Geomorfologia

A área urbana de Ouro Preto se assenta sobre terrenos com altitudes variando entre 800 e 1500m, apresentando relevo dissecado com densa rede de canais de drenagem.

Aproximadamente 58% da área possui declividades acima de 30% e apenas 10% da área apresenta declividades abaixo de 10%.

2.5 - Uso e ocupação do solo

Na área urbana de Ouro Preto, foram encontrados os seguintes tipos de uso do solo: ocupação urbana com diferentes densidades (baixa, média, alta), áreas ocupadas essencialmente por indústrias, áreas ocupadas essencialmente por escolas, áreas de preservação ambiental (Serra do Itacolomi e Cachoeira das Andorinhas), áreas de mineração activa, áreas de mineração inactiva, áreas vegetadas (matas mistas, campos cerrados, campos gramíneos, reflorestamentos). Quanto à classificação da densidade da ocupação urbana, deve-se esclarecer que: densidade alta se refere a 1 domicílio para áreas menores que 500 m²; média se refere a 1 domicílio para áreas entre 500 e 1500 m² e baixa se refere a 1 domicílio para áreas maiores que 1500m². Cada domicílio abriga em média 4 pessoas. A Figura 3 apresenta a distribuição dos tipos de uso do solo.

2.6 - Clima

O tipo climático predominante na região de Ouro Preto é Cwb, clima úmido com inverno seco e verão chuvoso, segundo a classificação de Köppen. De acordo com os dados fornecidos pelo 5º Distrito de Meteorologia, para os anos de 1981 a 1990, a insolação anual média registrada foi de 1754,1 horas de brilho solar/ano; a temperatura média anual foi 18,5 °C e a umidade relativa do ar média foi 80,7%; a precipitação pluviométrica anual média registrada foi de 1757,8 mm/ano, concentradas nos meses de Outubro a Março (89%).

3 - INVENTÁRIO DOS MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA E PROCESSOS CORRELATOS

O inventário ou caracterização dos movimentos gravitacionais de massa e processos correlatos que ocorrem na área em estudo é de fundamental importância na avaliação e análise dos riscos decorrentes. A avaliação das probabilidades de ocorrência dos eventos perigosos e dos danos, está baseada na comparação das condições que podem existir no futuro próximo, com as condições existentes no passado e no presente. Portanto, a acurácia e o nível de detalhamento das informações associadas a esse inventário devem ser tão altos quanto possível, sem esquecer, porém, a compatibilidade com a escala de trabalho adotada.

3.1 - Metodologia

O levantamento e cadastramento dos movimentos gravitacionais de massa e processos correlatos ocorridos na área urbana de Ouro Preto, seguiu os procedimentos descritos a seguir:

- levantamento das feições visíveis nas fotos aéreas nas escalas 1:10.000, ano 1969 e 1:8.000, ano 1978;
- verificação em campo das feições observadas nas fotos aéreas e cadastramento das novas;
- caracterização das feições cadastradas: localização no mapa topográfico, tipo de processo, dimensões, avaliação do estado de actividade, materiais envolvidos;
- arquivamento das informações levantadas no sistema de informação geográfica Ilwis 2.1.

A determinação dos tipos de movimentos gravitacionais de massa foi orientada pelas sugestões de Varnes, 1978 e Unesco-WP/WLI, 1993, com adaptações. Os principais tipos de

movimentos gravitacionais de massa e processos associados encontrados na área em estudo, são:

- movimentos gravitacionais de massa: escorregamentos (rotacionais e/ou translacionais); quedas e rolamentos; escoamentos (rastejos e corridas);
- processos associados ou correlatos: erosões superficiais e médias; erosões de grandes dimensões ou "boçorocas"; inundações e assoreamentos;
- processos mistos: processos onde se verificam a ocorrência de 2 tipos de movimentos. Exemplos: escorregamentos e corridas; escorregamentos e erosão; corridas e rolamento de blocos;
- processos mistos complexos: processos que envolvem a ocorrência de mais do que 2 tipos diferentes de movimentos. Exemplo: escorregamentos associados a erosões e corrida de materiais.

Em relação à determinação do estado de actividade das feições dos movimentos gravitacionais de massa e erosões, foi necessário executar uma adaptação à proposta da Unesco-WP/WLI, 1993. Assim, foram consideradas as seguintes classes de estado de actividade, obtidas através de levantamento nas fotos aéreas disponíveis, trabalhos de campo e dados de ocorrências atendidas pelos bombeiros:

- activa: as características da feição sugerem que ela se encontra em franco desenvolvimento, pelo menos nos últimos 24 meses;
- inactiva dormente: embora estável nos últimos 24 meses, as características da feição sugerem que o movimento pode ser reactivado por algum agente deflagrador;
- inactiva estabilizada: a feição se encontra estabilizada naturalmente ou através de medidas correctivas.

Os tipos de materiais envolvidos nos processos em análise foram agrupados nas seguintes classes: blocos de rocha; detritos; solo; detritos e solo; detritos e blocos de rocha; e blocos de rocha, detritos e solo. Deve-se esclarecer que foram considerados solos os materiais que apresentam partículas menores que 1cm; os detritos se referem aos materiais com diâmetro médio acima de 1cm e abaixo de 25cm; por fim os blocos de rochas se referem a materiais com dimensões médias acima de 25cm e que podem atingir valores métricos.

Quanto às dimensões dos movimentos gravitacionais de massa e processos associados, sua avaliação foi realizada através da determinação da área de ruptura e acumulação. Para o caso da estimativa da profundidade atingida em cada feição, estabeleceu-se 3 classes: superficial, para feições com profundidades de até 2m; média, para profundidades entre 2 e 10m; e profunda, para profundidades maiores que 10m.

3.2 - Resultados e análises

Para cada feição levantada foram estabelecidas e determinadas as seguintes características: código da feição, tipos de processo, tipo de material envolvido, estado de actividade, profundidade atingida e área envolvida (m^2). Todas essas informações foram arquivadas em mapas e tabelas no sistema de informação geográfica Ilwis v.2.1. A área atingida foi calculada através do Ilwis v.2.1, a partir da feição digitalizada sobre o mapa topográfico.

Cabe aqui alguns esclarecimentos quanto ao significado das feições levantadas. Em vários casos elas representam um conjunto de processos de mesmo tipo ou de diferentes tipos; não são movimentos individuais e sim uma zona ou conjunto de cicatrizes, muito próximas, difíceis de serem individualizadas para a escala de trabalho, e que foram formadas ao longo do tempo. As Figuras 4 e 5 apresentam fotografias de locais exemplificando essa situação; a foto da Figura 4 se encontra dentro de uma zona de mineração ativa, e se refere a uma feição com movimentos

complexos; a foto da Figura 5 se refere a uma feição com processos erosivos localizados em um talude de corte de estrada.



Figura 4 – Foto parcial de feição classificada como complexa, representando um conjunto de vários movimentos e processos, mineração do Taquaral, extracção de quartzito

As Figuras 6 a 9 apresentam, em escala reduzida, a localização e contornos das feições catalogadas na área urbana de Ouro Preto, de acordo com suas características: tipo de movimento, material envolvido, profundidade atingida, estado de actividade. O número total de feições levantadas foi de 442.

As Tabelas 3 a 6 apresentam o número de feições, a porcentagem da área com determinada característica em relação a soma das áreas de todas as feições, e também em relação a área urbana total, para cada um dos tipos de processos, para cada tipo de material envolvido, para cada estado de actividade e para cada tipo de profundidade atingida.

Os tipos de processos que predominam nas feições encontradas na área em estudo são: processos complexos, (31 feições ou 36% em área), escorregamentos puros ou mistos (181 feições ou 20,5% em área), erosões (88 feições ou 20,5% em área).

Os tipos de materiais predominantemente envolvidos nos movimentos gravitacionais de massa e processos correlatos levantados, se referem a: detritos e solos (189 feições ou 40% em área) e também a mistura de blocos de rochas, detritos e solos (92 feições, 36% em área).

Observa-se ainda que a maioria dos processos em estudo apresentam-se superficiais (348 feições ou 43% em área) ou com profundidades médias (82 feições ou 38% em área).

Quanto ao estado de actividade, 364 feições foram classificadas como activas, representando 82% em área, do total de feições.



Figura 5 – Foto parcial de feição classificada como erosões, representando um conjunto de várias cicatrizes, talude de estrada próxima a indústria Alcan Alumínio do Brasil

Tabela 3 - Número de feições e porcentagem relativa (em área) dos tipos de movimentos gravitacionais de massa e processos correlatos

Tipo de processo	Número de feições	Área atingida / área com processos (%)	Área atingida / área urbana total (%)
Escorregamento	79	3,70	0,09
Escorregamento translacional	54	6,64	0,16
Quedas e rolamentos de blocos	78	5,52	0,14
Escoamentos rápidos ou corridas	10	0,67	0,02
Erosões	88	20,59	0,51
Erosão de grandes dimensões	11	7,53	0,19
Inundação e assoreamento	6	4,39	0,11
Complexo	31	36,02	0,89
Escorregamento e corrida	12	1,10	0,03
Escorregamento e erosão	14	3,21	0,08
Escorregamento translacional e corrida	31	5,85	0,15
Corridas e rolamentos de blocos	25	4,55	0,11
Inundação e erosão fluvial	3	0,24	0,01

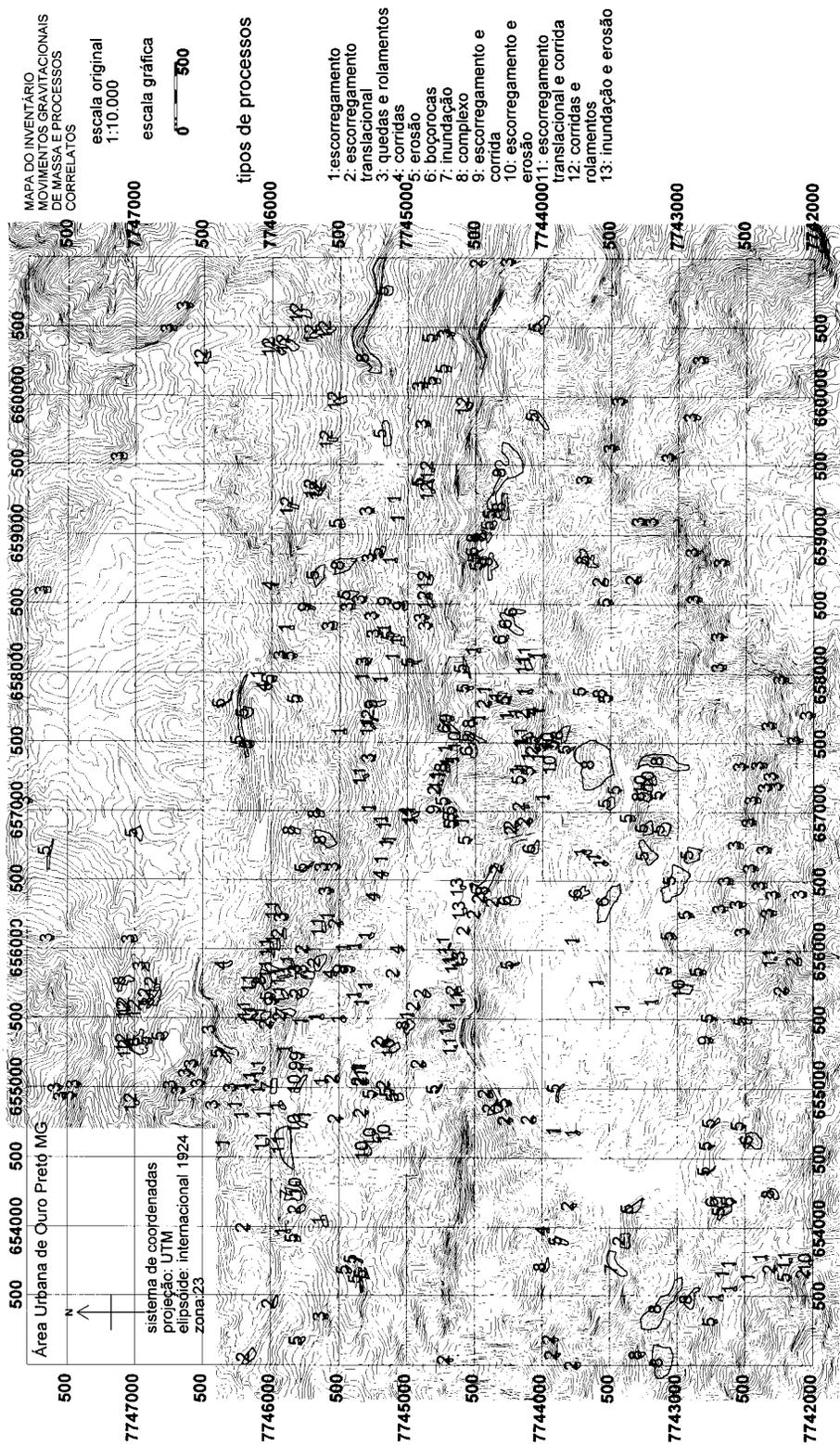


Figura 6 - Mapa do inventário dos tipos de movimentos gravitacionais de massa e processos correlatos da área urbana de Ouro Preto

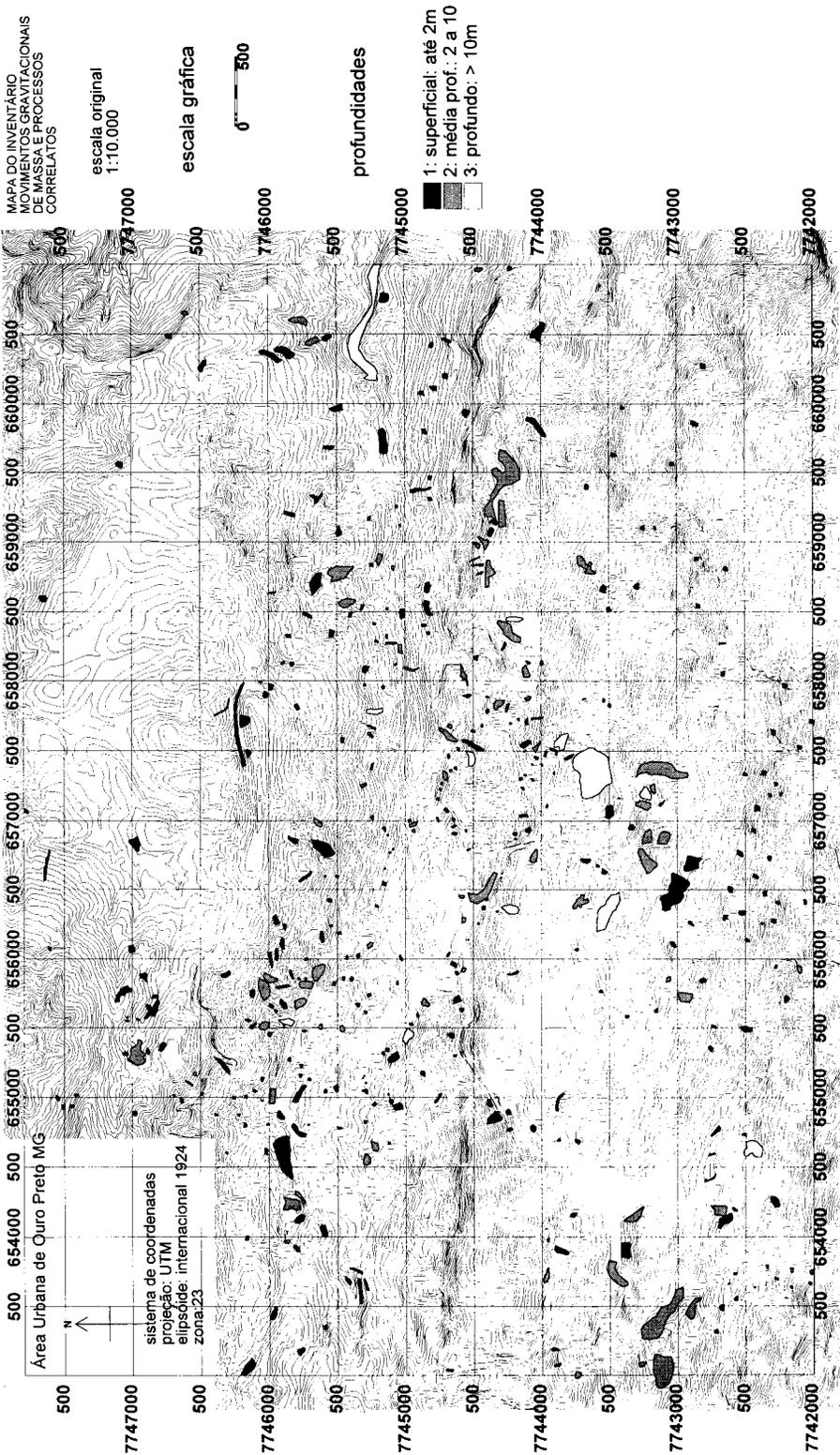


Figura 8 - Mapa das profundidades atingidas pelos movimentos gravitacionais de massa e processos correlatos da área urbana de Ouro Preto

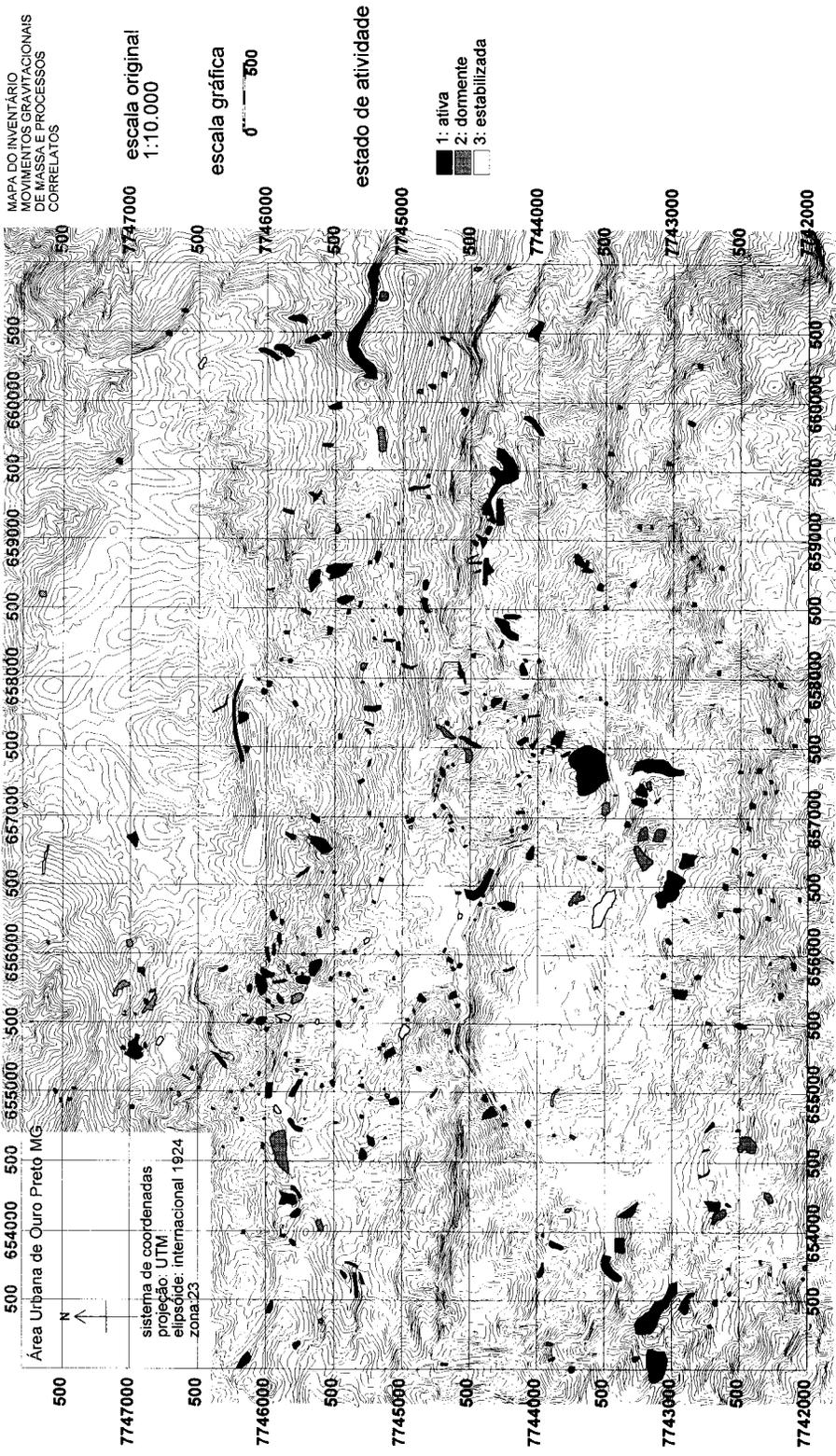


Figura 9 - Mapa do estado de actividade dos movimentos gravitacionais de massa e processos correlatos da área urbana de Ouro Preto

estão relacionadas a cicatrizes com áreas da ordem de 100 a 500m² (31% do número de feições) e, em segundo lugar, de 500 a 1000m² (25% do número de feições).

Verificou-se que, para um total de 442 feições, 364 foram avaliadas como activas e 65 como dormentes, todas elas dentro da área de 44 km². Isso fornece uma média de 9,75 feições por km². A área atingida por essas feições perfaz um total de 23700 m²/km² ou 2,4 % da área total. Considerando que na região estudada existem vazios urbanos, esse índice sobe para 2,8% da área urbana efectivamente ocupada.

Tabela 4 - Número de feições e percentagem relativa (em área) dos tipos de material envolvidos

Tipo de material envolvido	Número de feições	Área atingida / área com processos (%)	Área atingida / área urbana total (%)
Rocha	83	5,95	0,15
Solo	41	11,89	0,29
Rocha e detritos	37	6,12	0,15
Detritos e solo	189	39,59	0,98
Rocha, detritos, solo	92	36,45	0,90

Tabela 5 - Número de feições e percentagem relativa (em área) quanto ao estado de actividade

Estado de actividade	Número de feições	Área atingida/área com processos	Área atingida / área urbana total (%)
Activa	364	81,68	2,03
Inactiva dormente	65	13,90	0,34
Estabilizada	13	4,43	0,11

Tabela 6 - Número de feições e percentagem relativa (em área) da profundidade atingida

Profundidade	número de feições	Área atingida/área com processos	Área atingida / área urbana total (%)
Superficial (até 2m)	348	43,13	1,07
Média: 2 a 10m	82	38,40	0,95
Profunda: acima 10m	12	18,47	0,46

Tabela 7 - Número de feições para cada classe de área atingida pelos movimentos de massa e processos correlatos

Área atingida m ²	Número de feições	Área atingida m ²	Número de feições
Até 100	9	1000 a 2000	76
100 a 500	138	2000 a 5000	58
500 a 1000	110	5000 a 10000	33
		acima 10000	18
Total			442

4 - CADASTRO DAS OCORRÊNCIAS ATENDIDAS PELA DEFESA CIVIL

4.1 - Objectivos e metodologia

O levantamento das ocorrências atendidas pela Defesa Civil de Ouro Preto teve como objectivo subsidiar as análises do estado de actividade dos processos, dos danos materiais e pessoais decorrentes e da relação entre chuvas e deflagração dos processos. O cadastramento dessas ocorrências seguiu os seguintes procedimentos:

- levantamento das ocorrências atendidas pela Defesa Civil de Ouro Preto, através da selecção das ocorrências relacionadas a movimentos gravitacionais de massa, erosões, inundações;
- verificação em campo dos locais onde a Defesa Civil foi chamada;
- para o caso das ocorrências atendidas pela Defesa Civil, verificou-se também: data de ocorrência, danos materiais e danos pessoais produzidos;
- registro das informações levantadas no banco de dados desenvolvido no programa Access e no sistema de informação geográfica Ilwis 2.1.

4.2 - Resultados e análises

Os dados colectados junto à Defesa Civil de Ouro Preto se referem às ocorrências atendidas no período de 17/01/1988 a 02/04/1998, que eram os únicos disponíveis nos arquivos desse órgão. Nesse período foram atendidas 488 ocorrências na área urbana de Ouro Preto, relacionadas a movimentos gravitacionais de massa (escorregamentos, corridas, queda de blocos) e processos correlatos (erosões e inundações).

É evidente que o número de processos desencadeados durante esse período deve ter sido bem maior, pois a Defesa Civil é chamada para verificar ocorrências em áreas habitadas, onde e quando os moradores se sentem ameaçados ou atingidos. Como na área em estudo existem vazios urbanos, e ainda, quando os moradores, apesar da ocorrência dos processos, não se sentem ameaçados, não há registro de ocorrência junto à Defesa Civil. Constatou-se também que, com frequência, a Prefeitura Municipal e/ou os próprios moradores resolvem os problemas relacionados aos movimentos de massa, e assim a Defesa Civil não é comunicada.

Apesar dessas limitações, uma informação interessante que pode ser obtida dos atendimentos da Defesa Civil se refere à reincidência de problemas no mesmo local, em diferentes ocasiões. Isso ajudou na avaliação do estado de actividade das feições.

Outro dado importante é a data da ocorrência, que pode ser relacionada a dados de chuva diários, de modo a verificar a influência da precipitação pluviométrica na deflagração dos processos. Em outros tipos de levantamentos, como por exemplo fotográfico e reportagens, não é possível associar com exactidão a data de ocorrência e localização dos movimentos gravitacionais de massa e processos correlatos.

Durante o levantamento das ocorrências atendidas pela Defesa Civil, foi necessário executar uma selecção ou triagem dos casos, de forma que as seguintes situações foram constatadas:

- ocorrências que se referiam a locais muito próximos, por exemplo 2 casas vizinhas, inseridas em uma mesma feição, foram consideradas como uma só, para datas muito próximas;
- chamadas referentes a "risco de ocorrência" dos processos em análise e sua não efectivação, além vistorias técnicas após a data de ocorrência do evento, foram excluídas.

Assim, para um total de 488 ocorrências levantadas, restaram 315 que estariam efectivamente relacionadas a movimentos gravitacionais de massa, inundações e erosões que foram atendidas pela Defesa Civil. Na Figura 10 são apresentadas a localização das ocorrências para cada ano. Devido à escala de apresentação do mapa ser reduzida, e também, devido à

proximidade e reactivação das ocorrências, há uma acentuada superposição de pontos. A Tabela 8 resume o número de ocorrências totais e efectivas para cada ano. Os anos mais críticos foram 1997 com 28% e 1992 com 17% das ocorrências. Os anos de 1988, 1990 e 1994 foram os que apresentaram menor quantidade de atendimentos relacionados aos processos em estudo.

Em relação aos danos causados por esses movimentos gravitacionais de massa, erosões e inundações atendidas pela Defesa Civil, constatou-se que os danos materiais ocorrem com frequência, mas são difíceis de serem avaliados com precisão, porque faltam informações detalhadas, e em muitos casos, não há nenhuma informação. Além disso, há ainda as perdas indirectas associadas a cada reconstrução de bens imóveis, a cada aquisição de bens móveis destruídos, a cada via de comunicação interrompida. Mesmo levando em conta essas limitações, a Tabela 9 apresenta uma estimativa de prejuízo (em valores) calculados para os danos materiais citados pela Defesa Civil.

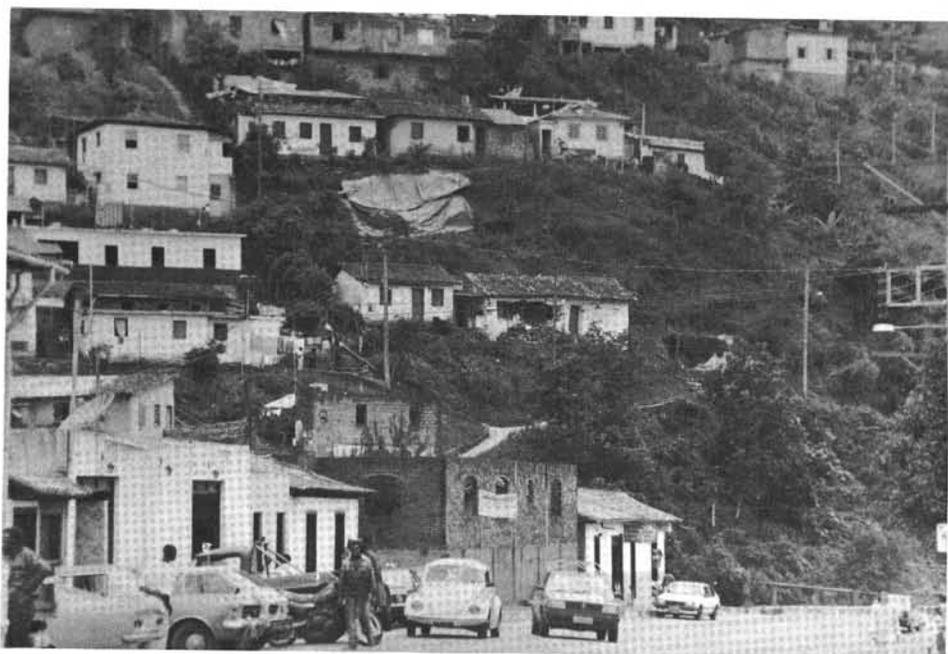


Figura 11 – Foto parcial da cicatriz relativa ao acidente de 14/12/95 no bairro de São Cristóvão

Quanto aos danos pessoais, incluindo mortos e feridos nos acidentes, encontram-se resumidos na Tabela 10, totalizando 21 mortes e 5 feridos.

É interessante observar que as áreas e profundidades atingidas pelos processos com vítimas fatais e feridos, foram relativamente pequenas. A explicação para isso, está relacionada às peculiaridades dos locais afectados: ocupação urbana de alta densidade, declividades acima de 45%, tipo de processo e material envolvido. As Figuras 11 e 12 apresentam as fotografias dos locais onde ocorreram os movimentos referentes aos bairros São Cristóvão e Piedade.

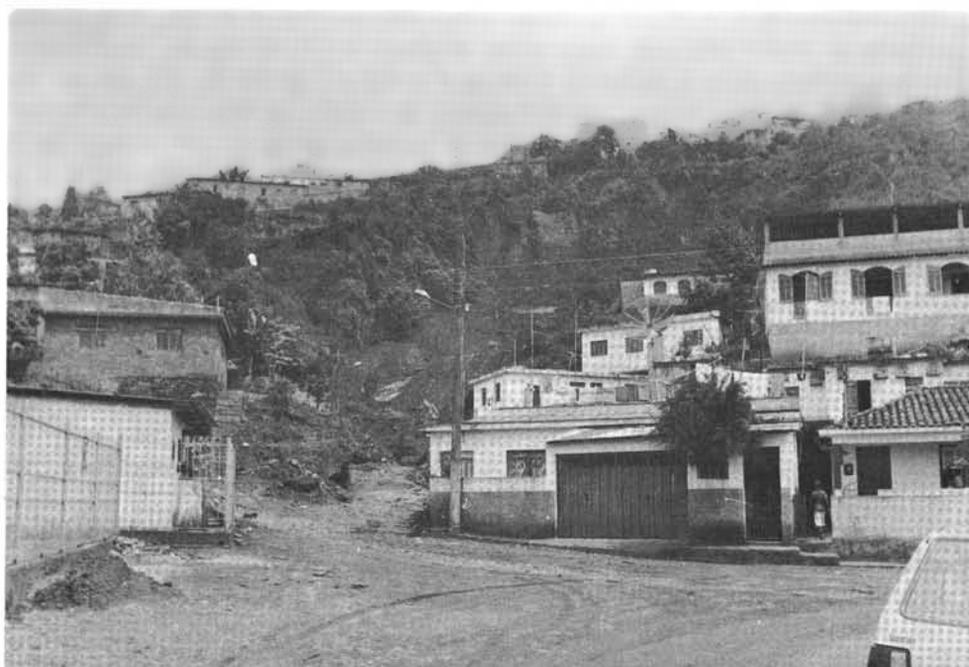


Figura 12 – Foto parcial da cicatriz do acidente de 04/01/97 no bairro Piedade

Tabela 8 - Ocorrências atendidas pela Defesa Civil para diferentes anos na área estudada

Ano	Número de ocorrências totais	Número ocorrências efetivas	Ano	Número de ocorrências totais	Número ocorrências efetivas
1988	7	6	1994	6	2
1989	58	35	1995	60	39
1990	9	4	1996	58	39
1991	51	30	1997	128	88
1992	80	54	1998	12	7
1993	18	11			

Tabela 9: Estimativa dos valores (em dólares) relativos aos danos materiais citados pela Defesa Civil, para o período de 1988 a 1998

Tipo de dano material	Número de ocorrências	valor médio por dano (US\$)	valor total (US\$)
Ruptura parcial da residência	69	5000	345000
Perda total da residência	8	50000	400000
Perda de automóveis	4	7000	28000
Perda de móveis	35	1000	35000
Ruptura de muro de arrimo	69	3000	207000
Interrupção de vias de comunicação	23	2000	46000
Ruptura de aterro estrada	1	1500000	1500000

Para uma população de 50 mil habitantes e uma área estudada de 44 km², uma estimativa simplificada da probabilidade de danos fatais, resultaria em 0,047 mortes / km² / ano; ou ainda, cada indivíduo estaria submetido a um risco de 4,2 10⁻⁵ perdas de vida por ano. Esses valores são apenas valores médios, calculados para a área como um todo, sem levar em conta, portanto, a distribuição e os diferentes níveis de susceptibilidade de cada parcela da área estudada. De acordo com Fell e Hartford (1997) o nível de risco individual aceitável para mortes/ano, verificado em toda a literatura, varia entre 10⁻⁵ e 10⁻⁶ mortes/ano. No caso de alguns eventos de instabilização de encostas naturais, sem intervenção antrópica, esse risco aceitável aumenta para valores da ordem de 10⁻² a 10⁻³ mortes/ano. Entretanto, mesmo nesses casos, os autores citados constataram que o público deseja e espera valores de risco menores, da ordem 10⁻⁵ e 10⁻⁶ mortes/ano.

Outra informação importante obtida na pesquisa mais ampla (Bonuccelli, 1999), se refere à relação entre a precipitação pluviométrica e a ocorrência dos processos em estudo. Selecionando-se os períodos de maior número de ocorrências, constatou-se que:

- todas as ocorrências com mortes estão relacionadas a períodos de chuvas intensas e grande número de ocorrências dos processos em estudo;
- a grande quantidade de ocorrências está relacionada com as chuvas diárias acima de 70mm e acumulada de 8 dias acima de 280mm;
- o maior número de ocorrências (1997) está associado à chuva diária de 114mm e acumulada de 3 dias acima de 300mm.

O que agrava ainda mais esse quadro, é que o período de retorno calculado para as chuvas diárias e acumulada semelhantes àsquelas de 1997, foi de aproximadamente 6 anos.

Tabela 10 - Ocorrências com danos pessoais atendidas pela Defesa Civil no período 1988/98

Data	Danos pessoais	Tipo processo	Material envolvido	Área atingida (m ²)	Local
14/12/89	3 mortes e 2 feridos	escorregamento translacional	Rocha e detritos	457	Centro
23/01/92	2 mortes	escorregamento e corrida	detritos e solo	305	Volta Córrego
14/12/95	3 mortes e 1 ferido	escorregamento translacional e corrida	Rocha, detritos, solo	472	São Cristóvão
02/01/97	1 morte	escorregamento	Rocha, detritos, solo	219	Taquaral
04/01/97	12 mortes e 1 ferido	escorregamento e corrida	Rocha, detritos e solo	3860	Piedade
02/04/98	1 ferido	queda e rolamento bloco	rocha	277	Taquaral
total	21 mortes e 5 feridos				

5 - CONCLUSÃO

Diante da perspectiva de que, para qualquer tipo de análise de risco, a primeira etapa de inventário dos processos atuantes no meio físico é de fundamental importância, executou-se o

Verificou-se que os principais processos que atuam na área são: processos complexos, processos onde predominam escorregamentos e processos onde predominam erosões. As feições levantadas são ainda predominantemente activas, com profundidades superficiais e médias, envolvendo misturas de detritos e solos, além de misturas de blocos de rochas, detritos e solos.

Os processos complexos estão associados a minerações activas e inactivas e áreas de disposição de resíduos, com declividades acima de 30% e substrato rochoso constituído de rochas brandas e duras intercaladas. Os processos onde predominam escorregamentos são mais frequentes em áreas de ocupação urbana (alta e média) e minerações inactivas, áreas com declividades acima de 45%, áreas com substrato rochoso constituído de rochas brandas e duras intercaladas e áreas com rochas duras. Os processos onde predominam erosões superficiais e médias estão associados a áreas com rochas brandas.

A área atingida por esses processos representa 2,4 % da área total. Em 10 anos de ocorrências atendidas pela Defesa Civil de Ouro Preto, constatou-se 21 mortes e 5 feridos relacionados aos processos estudados; isso fornece uma estimativa do risco que cada indivíduo da população estaria submetido: $4,2 \cdot 10^{-5}$ perdas de vida por ano. A densidade de feições e a quantidade de danos decorrentes, obtidos para o período de análise, sugerem um quadro preocupante e inaceitável em termos dos riscos à que a população e as actividades urbanas estão submetidas. É urgente, portanto, a realização de um plano de gerenciamento e minimização desses riscos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro oferecido a essa pesquisa pela FAPESP (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo) e FAPEMIG (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, A.L.M. - *Considerações geológicas sobre a execução de obras rodoviárias em Ouro Preto*. Relatório para o DER-MG, 1961.
- BONUCCELLI, T. - *Estudo dos movimentos gravitacionais de massa e processos erosivos na área urbana de Ouro Preto*. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, no prelo, 1999.
- BRANCO, J.J.R. - *Via periférica de Ouro Preto*. Relatório Geológico-Geotécnico, Relatório para o DER-MG, 81p, 1979.
- CARVALHO, E.T. - *Carta geotécnica de Ouro Preto*. Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, 95p, 1982.
- FRANKLIN, J. A. e DUSSEAUULT, M.B. - *Rock engineering*. Mc-Graw-Hill, 1989, 600p.
- FELL, R. e HARTFORD, H. - *Landslide risk management*. Proceedings of the International Workshop on Landslides Risk Assessment. Honolulu, Hawai, 1997, p.p. 51-109.
- GOMES, R.C. e OLIVEIRA FILHO, W.L. - *Lauda geotécnico do grupo escolar em alti-plano de encosta no Bairro São Cristóvão*. Relatório do Convênio PMOP/UFOP, 11p, 1993.
- ILWIS v.2.1, LTC - *Integrated land and water information system*. 2.1 version, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences. Netherlands, 1997.
- NALINI JÚNIOR, H. A. - *Análise estrutural descritiva e cinemática do flanco sul e terminação periclinal do anticlinal de Mariana e adjacências, região sudeste do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil*. Belo Horizonte. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 1993.

- RIBEIRO, S.G.S. - *Igreja São Francisco de Assis - Diagnóstico dos problemas geotécnicos*. Relatório do convênio IBPC/CVRD/UFOP, 12p, 1992.
- SOBREIRA, F.G. - *Levantamento das áreas de risco geológico no espaço urbano de Ouro Preto*. Relatório Final do Projeto - convênio E.M./UFOP - MinC, 90p, 1990.
- SOBREIRA, F.G., ARAÚJO, L.J., BONUCCELLI, T. - *Levantamento de soluções estruturais para a contenção de encostas em Ouro Preto*. Relatório Final do Projeto - convênio E.M./UFOP - MinC, 99p, 1990.
- SOUZA, M.L. - *Mapeamento geotécnico da cidade de Ouro Preto/ MG (escala 1:10.000). Susceptibilidade aos movimentos de massa e processos correlatos*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1996.
- TECNOSOLO - *Mapeamento geotécnico localizado*. Relatório RE0826/79(20.2), Rio de Janeiro, 1979.
- UNESCO, WP/WLI. - *Multilingual landslide glossary*. The International Geotechnical Societies, UNESCO, Working Party for World Landslide Inventory, BiTech Publishers Ltd, Richmond, Canadá, 54p, 1993.
- VARNES, D.J. - *Landslides types and processes*. In: *Landslides and Engineering Practice*. E.B.Eckel (ed.). Special Report n.º 29, Highway Research Board, p.20-47, 1978.