



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO - ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



PLUVIOSIDADE E MOVIMENTOS DE MASSA NAS ENCOSTAS DE OURO PRETO

AUTORA: JEANNE MICHELLE GARCIA CASTRO

ORIENTADOR: PROF. FREDERICO GARCIA SOBREIRA, D.Sc.

CO-ORIENTADOR: PROF. ROMERO CÉSAR GOMES, D.Sc.

Ouro Preto, Junho de 2006.

RESUMO

Os movimentos de massa ocorrem em diversas cidades do mundo e do Brasil. Em Ouro Preto / MG o número de acidentes que ocorrem na área urbana é grande, provocando vários prejuízos e vítimas. As principais causas dos movimentos no município são as características geológicas e geomorfológicas, que proporcionam um ambiente favorável aos eventos, o processo de ocupação desordenado que ocorreu deste o seu povoamento e principalmente a precipitação, visto que a maioria ocorre na estação chuvosa.

Como a chuva é um dos principais agentes responsáveis pela deflagração dos movimentos, este trabalho objetivou o estudo da relação da precipitação com os escorregamentos. Como bases para esta correlação, foi elaborado um cadastro dos movimentos ocorridos em Ouro Preto, através dos boletins de ocorrência do Corpo de Bombeiros, e resgatados os dados pluviométricos diários durante o período de análise, registrados em uma estação dentro do município. O período analisado foi de 1988 a 2004 com 417 ocorrências relacionadas com as chuvas. Com base no cadastro foi realizado um mapeamento das áreas mais críticas da cidade, classificando-as em áreas de risco alto, médio ou baixo.

Como resultado obteve-se que as chuvas acumuladas de cinco dias são consideradas como as mais efetivas no processo de escorregamentos, sendo que precipitações acima de 22mm acumuladas em cinco dias podem provocar escorregamentos. Para precipitações acima de 128mm/5dias a probabilidade de ocorrência de escorregamentos mais severos se torna maior. A relação numérica encontrada entre a precipitação acumulada (PA) de cinco dias e a precipitação diária (PD) foi: $PD = 6386,6 \times PA^{-1,3847}$. Essa relação permite calcular a quantidade de chuva necessária para provocar os escorregamentos, utilizado-a nos procedimentos de prevenção dos riscos aos movimentos de massa. Ao final do trabalho são propostas diretrizes para a elaboração de um plano preventivo de defesa civil para Ouro Preto. O estudo teve o suporte financeiro da FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais.

Palavras chave: Movimentos de Massa, Pluviosidade, Ouro Preto, Plano Preventivo.

ABSTRACT

The mass movements occur in diverse cities of the world and Brazil. In Ouro Preto/MG the number of events that occur in the urban area is great, provoking many damages and victims. The main causes of the movements in the city are the geological and geomorphologic characteristics that provide an environment favorable to the events, the disordered process of urban settlement and mainly the local precipitation, since the movements occur in the rainy station.

As rain is one of the main responsible agents for the triggering of these movements, this work objectified the study of the relation between precipitation and landslides. As basis for the study was elaborated a cadastre of the movements occurred in Ouro Preto, through bulletins of occurrence of the Body of Firemen and reports of the daily rainfall data, registered in a station inside the city. The analyzed period was of 1988 the 2004 with 417 occurrences related with rains. With the occurrence cadastre was possible elaborate a mapping of the critical areas of the city, classifying them in high, medium or low risk.

As result was gotten that rains of five days with accumulated precipitation above of 22,0mm are more effective to trigger landslides. For precipitations above 128,0mm/5day the probability of occurrence of more severe landslides becomes greater. The founded numerical relation of the accumulated precipitation (PA) in five days and the daily precipitation (PD) was: $PD = 6386,6 \times PA^{-1,3847}$. This relation allows calculating the amount of rain necessary to provoke the landslides and this value can be used in the procedures of prevention of the risks to the mass movements. A proposal for the elaboration of a preventive plan of civil defense for Ouro Preto is presented. The study was supported by FAPEMIG.

Palavras chave: Landslides, Rainfall, Ouro Preto, Preventive Plan.

ÍNDICE

RESUMO	II
ABSTRACT	III
ÍNDICE	IV
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	IX
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.....	X
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - APRESENTAÇÃO.....	1
1.2 - OBJETIVOS	2
1.2.1 - Objetivo Geral.....	2
1.2.2 - Objetivos Específicos.....	3
1.3 - ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	3
2. BASES CONCEITUAIS	5
2.1 - OURO PRETO	5
2.1.1 - Histórico e Evolução da Ocupação Urbana.....	6
2.1.2 - Meio Físico	9
2.1.3 - O Problema dos Movimentos de Massa em Ouro Preto	14
2.2 - PLUVIOSIDADE VERSUS MOVIMENTOS DE MASSA.....	18
2.2.1 - Movimentos de Massa.....	18
2.2.2 - Pluviosidade	22
2.2.3 - Influência da Precipitação nos Movimentos de Massa	24
2.2.4 - Trabalhos Correlacionando Pluviosidade e Movimentos de Massa.....	27
3. METODOLOGIA	42
3.1 - INTRODUÇÃO.....	42
3.2 - COLETA DE DADOS.....	43
3.2.1 - Dados dos Movimentos de Massa.....	44
3.2.2 - Dados da Precipitação	46
3.3 - ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS.....	48

3.4 -	GEORREFERENCIAMENTO DOS DADOS DOS MOVIMENTOS	49
3.5 -	ZONEAMENTO DAS ÁREAS CRÍTICAS	51
3.6 -	CORRELAÇÃO ENTRE ESCORREGAMENTOS E PLUVIOSIDADE.....	52
3.6.1 -	Quantidade de dias de chuva acumulada na deflagração dos escorregamentos.....	53
3.6.2 -	Relação entre precipitação e escorregamentos.....	54
4.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	56
4.1 -	DADOS DO CADASTRO DE MOVIMENTOS DE MASSA	56
4.2 -	DADOS PLUVIOMÉTRICOS.....	59
4.3 -	ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA	61
4.3.1 -	Novelis x INMET.....	61
4.3.2 -	Novelis x Samarco	63
4.3.3 -	Discussão dos Resultados	66
4.4 -	GEORREFERENCIAMENTO DOS DADOS DOS MOVIMENTOS.....	67
4.4.1 -	Análise para o ano de 1989	67
4.4.2 -	Análise para o ano de 1991	68
4.4.3 -	Análise para o ano de 1992	69
4.4.4 -	Análise para o ano de 1995	70
4.4.5 -	Análise para os anos de 1996 / 1997.....	71
4.4.6 -	Análise para os anos de 2001 a 2003	72
4.5 -	ZONEAMENTO DAS ÁREAS CRÍTICAS	73
4.6 -	CORRELAÇÃO ENTRE ESCORREGAMENTOS E PLUVIOSIDADE.....	74
4.6.1 -	Análise do número de dias de chuva acumulada.....	75
4.6.2 -	Relação Numérica entre Precipitação e Escorregamentos	84
4.6.3 -	Discussão dos resultados.....	88
5.	PLANO PREVENTIVO DE DEFESA CIVIL - PPDC.....	89
5.1 -	CONCEITO	89
5.1.1 -	Plano Preventivo de Defesa Civil do Estado de São Paulo.....	90
5.1.2 -	Sistema de Alerta Rio.....	91
5.2 -	DIRETRIZES PARA ELABORAÇÃO DE PPDC	93
5.2.1 -	Fase de Elaboração.....	94
5.2.2 -	Fase de Implantação	96
5.2.3 -	Fase de Operação e Avaliação	97
5.3 -	PPDC APLICADO A OURO PRETO	97
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	100

6.1 - CONCLUSÕES	100
6.2 - SUGESTÕES PARA PESQUISAS ADICIONAIS.....	102
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
ANEXO I.....	111
A.1 - OCORRÊNCIAS UTILIZADAS PARA ANÁLISE DE CORRELAÇÃO.....	111
ANEXO II	112
A.2 - MAPA COM O ZONEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO	112
ANEXO III.....	113
A.3 - GRÁFICOS ELABORADOS	113
A.3.1 - Gráficos de Dispersão	113
A.3.2 - Curva de Correlação para Chuvas Acumuladas	113
A.3.3 - Eventos de Escorregamentos Classificados	113
ANEXO IV	114
A.4 - RELAÇÃO DOS VALORES DE CHUVAS DIÁRIAS E ACUMULADAS.....	114

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

<i>Figura 2.1– Evolução da ocupação em Ouro Preto (Modificado de Faria, 1996)</i>	8
<i>Figura 2.2– Ocupação atual de Ouro Preto</i>	9
<i>Figura 2.3– Índices Pluviométricos mensais de Ouro Preto</i>	10
<i>Figura 2. 4– Esboço Geológico da Região de Ouro Preto (Fonte: Sobreira & Fonseca, 2001)</i>	13
<i>Figura 2. 5 – Estatística de vítimas por escorregamentos (Fonte: Ministério das Cidades, 2004)</i>	19
<i>Figura 2. 6 – Casos típicos relativos ao método de Dupla Massa – (A) Dados sem inconsistência; (B) Dados com mudança de tendência; (C) Dados com erros de transcrição e (D) Dados de diferentes regimes (Tucci, 2002)</i>	24
<i>Figura 2.7 – Gráfico de Correlação da Precipitação Acumulada de 15 dias x Precipitação do dia para Hong Kong. (Modificado de Lumb, 1975)</i>	27
<i>Figura 2.8 – Correlação entre o Pico da Precipitação Horária x Precipitação Diária para Hong Kong. (Kay & Chen, 1995)</i>	28
<i>Figura 2. 9 – Curva de Chuva Acumulada x Duração do Evento para Espanha. (Modificado de Corominas & Moya, 1999)</i>	29
<i>Figura 2. 10 – Gráfico da Envoltória de Escorregamentos induzidos para Serra do Mar (modificado de Tatizana et al., 1987)</i>	32
<i>Figura 2. 11 – Gráfico da Chuva horária pela chuva acumulada de 96 horas (modificado de D’Orsi et al., 2000)</i>	35
<i>Figura 2. 12 – Gráfico da Chuva diária pela chuva acumulada de 96 horas (modificado de D’Orsi et al., 2000)</i>	35
<i>Figura 2. 13 – Correlação chuva x tipologia de acidentes geotécnicos (Modificado de Feijó et al, 2001)</i>	36
<i>Figura 2. 14 – Fluxograma para investigação dos aspectos meteorológicos e os escorregamentos (Ide, 2005)</i>	39

CAPÍTULO 3

<i>Figura 3. 1– Fluxograma das etapas do trabalho</i>	43
-------------------------------------------------------------	----

CAPÍTULO 4

<i>Figura 4. 1 – Distribuição das ocorrências ao longo do ano</i>	57
<i>Figura 4. 2 – Distribuição das ocorrências nos anos do período estudado</i>	57
<i>Figura 4. 3 – Índices anuais para a série de 1988 a 2004</i>	59
<i>Figura 4. 4 – Máximos e mínimos da média diária, da série de 1988 a 2004</i>	60
<i>Figura 4. 5 – Comparação das médias mensais entre os dados da Novelis e do INMET</i>	62
<i>Figura 4. 6 – Gráfico para correlação entre as médias mensais dos dados da Novelis e do INMET</i>	62
<i>Figura 4. 7 – Comparação das médias mensais dos dados da Novelis e da Samarco – 1ª análise</i>	64
<i>Figura 4. 8 – Gráfico para correlação dos dados da Novelis e Samarco – 1ª análise</i>	65
<i>Figura 4. 9 – Comparação das médias mensais dos dados da Novelis e Samarco – 2ª análise</i>	65
<i>Figura 4. 10 – Gráfico para correlação dos dados da Novelis e Samarco – 2ª análise</i>	66

Figura 4. 11 – Mapa de Ouro Preto com os registros de movimentos de massa para o ano de 1989.	68
Figura 4. 12 – Mapa de Ouro Preto com os registros de movimentos de massa para o ano de 1991.	69
Figura 4. 13 – Mapa de Ouro Preto com os registros de movimentos de massa para o ano de 1992.	70
Figura 4. 14 – Mapa de Ouro Preto com os registros de movimentos de massa para 1995.....	71
Figura 4. 15 – Registros de movimentos de massa para o ano hidrológico de 1996 / 1997.	72
Figura 4. 16 – Registros de movimentos de massa para os anos de 2001 a 2003.....	73
Figura 4. 17 – Distribuição das ocorrências por Bairros de Ouro Preto.	74
Figura 4. 18 – Gráfico de dispersão para chuvas acumuladas em 2, 3 e 4 dias.	76
Figura 4. 19 – Gráfico de dispersão para chuvas acumuladas em 5, 6 e 7 dias.	77
Figura 4. 20 – Gráfico de dispersão para chuvas acumuladas em 4, 5 e 6 dias do ano de 1996/1997.....	80
Figura 4. 21 – Gráfico de dispersão para cinco dias de chuvas acumuladas em 1989, 1991 e 1992.	82
Figura 4. 22 – Gráfico de dispersão para cinco dias de chuvas acumuladas em 1995, 2001/2002 e 2002/2003.	83
Figura 4. 23 – Curva de correlação entre precipitação diária e acumulada para cinco dias.	84
Figura 4. 24 – Curva de correlação entre precipitação diária e acumulada para cinco dias para escorregamentos generalizados.....	85
Figura 4. 25 – Evento de escorregamentos classificados de acordo com o número de registros.....	87

ANEXOS

Figura A.3. 1 - Gráfico de dispersão para chuvas acumuladas em 2, 3 e 4 dias do ano de 1989.....	1
Figura A.3. 2 - Gráfico de dispersão para chuvas acumuladas em 6, 7 e 8 dias do ano de 1989.....	2
Figura A.3. 3 - Gráfico de dispersão para chuvas acumuladas em 2, 3 e 4 dias do ano de 1991.....	3
Figura A.3. 4 - Gráfico de dispersão para chuvas acumuladas em 6, 7 e 8 dias do ano de 1991.....	4
Figura A.3. 5 - Gráfico de dispersão para chuvas acumuladas em 2, 3 e 4 dias do ano de 1992.....	5
Figura A.3. 6 - Gráfico de dispersão para chuvas acumuladas em 6, 7 e 8 dias do ano de 1992.....	6
Figura A.3. 7 - Gráfico de dispersão para chuvas acumuladas em 2, 3 e 4 dias do ano de 1995.....	7
Figura A.3. 8 - Gráfico de dispersão para chuvas acumuladas em 6, 7 e 8 dias do ano de 1995.....	8
Figura A.3. 9 - Gráfico de dispersão para chuvas acumuladas em 2, 3 e 7 dias do ano de 1996 / 1997.....	9
Figura A.3. 10 - Gráfico de dispersão para chuvas acumuladas em 2, 3 e 4 dias do ano de 2001 / 2002...	10
Figura A.3. 11 - Gráfico de dispersão para chuvas acumuladas em 6, 7 e 8 dias do ano de 2001 / 2002...	11
Figura A.3. 12 - Gráfico de dispersão para chuvas acumuladas em 2, 3 e 4 dias do ano de 2002 / 2003...	12
Figura A.3. 13 - Gráfico de dispersão para chuvas acumuladas em 6, 7 e 8 dias do ano de 2002 / 2003...	13
Figura A.3. 14 – Curva de Correlação da Chuva Diária com a Chuva Acumulada.....	14
Figura A.3. 15 - Evento de escorregamentos classificados de acordo com o número de registros.....	15

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

<i>Tabela 2. 1– Evolução da população de Ouro Preto</i>	5
<i>Tabela 2. 2 – Índices Pluviométricos de Ouro Preto (Série 1988 a 2004)</i>	11
<i>Tabela 2. 3 – Ocorrências com danos pessoais em Ouro Preto (Bonuccelli & Zuquette, 1999)</i>	17
<i>Tabela 2. 4– Classificação dos movimentos de massa (Augusto Filho, 1992)</i>	20
<i>Tabela 2. 5– Probabilidade de escorregamento por zonas de precipitação(Kay e Chen, 1995)</i>	28
<i>Tabela 2. 6 – Critérios de identificação de evento pluviométrico adotado pela GEORIO (Feijó et.al., 2001)</i>	34
<i>Tabela 2. 7 – Definição de classes para eventos de chuvas (D’Orsi et.al., 2000)</i>	35
<i>Tabela 2. 8 – Níveis e ações do plano de monitoramento proposto (Salaroli, 2003)</i>	38
<i>Tabela 2. 9– Etapas da metodologia proposta por Ide (2005)</i>	38
<i>Tabela 2. 10– Resumos de pesquisas internacionais realizadas sobre chuva e escorregamento (Ide, 2005)</i>	40
<i>Tabela 2. 11– Resumos de pesquisas nacionais realizadas sobre chuva e escorregamento (Modificado de Ide, 2005)</i>	41

CAPÍTULO 3

<i>Tabela 3. 1– Classificação do zoneamento das áreas críticas de Ouro Preto</i>	52
----------------------------------------------------------------------------------------	----

CAPÍTULO 4

<i>Tabela 4. 1 – Histórico das ocorrências dos Movimentos de Massa em Ouro Preto</i>	58
<i>Tabela 4. 2 – Médias diárias por mês e o máximo valor de cada mês com o respectivo ano de ocorrência (Série 1988 a 2004)</i>	60
<i>Tabela 4. 3 – Frequência das chuvas diárias (Série 1988 a 2004)</i>	60
<i>Tabela 4. 4 – Dados da Novelis e do INMET para análise de consistência</i>	61
<i>Tabela 4. 5 – Dados da Novelis e da Samarco para 1ª análise de consistência (Fonte: Samarco)</i>	63
<i>Tabela 4. 6 – Médias mensais dos dados da Samarco para 2ª análise de consistência (Fonte: Samarco)</i> ..63	
<i>Tabela 4. 7 – Valor mínimo e de atenção de precipitação para o desencadeamento de escorregamentos</i> ..	79
<i>Tabela 4. 8 – Classificação de acordo com o número de escorregamentos</i>	86
<i>Tabela 4. 9 – Classificação de acordo com o número de escorregamentos</i>	88

CAPÍTULO 5

<i>Tabela 5. 2 – Níveis do PPDC de São Paulo (Macedo, 2003)</i>	91
<i>Tabela 5. 3 – Descrição e procedimentos do Plano de Monitoramento de Chuvas Intensas da GEORIO</i> ..	92
<i>Tabela 5. 4 - Critérios para mudança de nível de probabilidade de escorregamentos da GEORIO</i>	93
<i>Tabela 5. 5 – Níveis do PPDC proposto para Ouro Preto</i>	99

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
IGA - Instituto de Geociências Aplicadas
MinC - Ministério da Cultura
SPHAN - Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ONU - Organização das Nações Unidas
DIRDN - Década Internacional de Redução de Desastres Naturais
AC - Chuva acumulada
D - Duração do evento
GEV - Generalized Extreme Value
I - Intensidade da chuva
R - Relação entre os níveis piezométricos e a precipitação (mm^2)
 P_{ac} - Precipitação acumulada desde o início da estação chuvosa (mm)
 I_i - Intensidade da chuva em 24 horas (mm).
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
CEFET/OP - Centro Federal de Educação Tecnológica de Ouro Preto
P - Precipitação diária
Min. - Valor Mínimo da Precipitação que causa escorregamentos
Aten.- Limite para Nível de Atenção
 R^2 - Coeficiente de Determinação da Curva
PD - Precipitação Diária no Dia da Ocorrência
PA - Precipitação Acumulada em Cinco Dias
PPDC - Planos Preventivos de Defesa Civil
IG / SP - Instituto Geológico de São Paulo
CEDEC / SP - Coordenadoria Estadual de Defesa Civil
COMDEC - Coordenadoria Municipal de Defesa Civil

1. INTRODUÇÃO

1.1 - APRESENTAÇÃO

Os movimentos gravitacionais de massa são os processos geodinâmicos superficiais que mais afetam as cidades brasileiras, manifestando-se quase sempre nos períodos chuvosos, sendo a chuva, um dos principais agentes de deflagração desses movimentos. Muitos são os exemplos de estudos correlacionando pluviosidade e movimentos de massa em encostas, tanto no Brasil como no mundo. Esses estudos procuram entender a influência da quantidade de chuva no desencadeamento dos escorregamentos.

A preocupação com os movimentos de massa se faz necessária devido ao grande número de cidade nas quais existem esses problemas. O monitoramento e a prevenção podem não evitar os escorregamentos, porém podem reduzir ou extinguir os danos materiais e as perdas de vidas. Para o monitoramento são necessários profissionais para atuarem nas áreas de risco. O principal instrumento de prevenção contra acidentes naturais ou induzidos pela ação do homem é o plano de defesa civil, que se baseia em critérios técnicos.

A cidade de Ouro Preto tem um vasto histórico de acidente, vários deles com vítimas fatais. No entanto, ainda não existe nenhum estudo relacionando a precipitação com os escorregamentos e o órgão de defesa civil do município está em fase de implantação atuando somente com vistorias nas residências que solicitam o atendimento. Diante disso, o estudo foi realizado na cidade buscando os critérios técnicos necessários para a elaboração e implantação de um plano preventivo de defesa civil, que possa atuar na prevenção contra os acidentes e no monitoramento das áreas de risco.

Para este estudo foi necessária a coleta de dados sobre os escorregamentos ocorridos em Ouro Preto, recorrendo-se ao Batalhão do Corpo de Bombeiros de Ouro Preto, que presta atendimento aos acidentes provocados por movimentos de massa, cadastrando as ocorrências destes acidentes ao longo de alguns anos.

A correlação dos escorregamentos com a precipitação foi possível devido à existência de uma estação pluviométrica da indústria ALCAN, atual NOVELIS, na área urbana de Ouro Preto, que registra os dados diários das chuvas na cidade há várias décadas, permitindo obter e trabalhar as informações pluviométricas. O estudo dessa correlação contribuirá cientificamente para a evolução dos conhecimentos sobre os mecanismos e processos de movimentos de massa em encostas de Ouro Preto.

Além da correlação da precipitação com os escorregamentos, o trabalho apresenta um zoneamento das áreas mais críticas de Ouro Preto, baseado no cadastro das ocorrências de movimentos de massa do Corpo de Bombeiros. Este mapa com as áreas de risco é um produto do trabalho de aplicação imediata na elaboração de plano preventivo de defesa civil na cidade.

O trabalho faz parte do projeto “Análise geoambiental aplicada à gestão territorial: Estudo do Alto Rio do Carmo, Sub-Bacia do Alto Rio Doce, com ênfase nas áreas urbanas de Ouro Preto e Mariana”, coordenado pelo Professor Frederico Sobreira e financiado pela FAPEMIG.

1.2 - OBJETIVOS

1.2.1 - Objetivo Geral

Os estudos sobre os movimentos de massa em Ouro Preto sempre buscam soluções para os problemas causados para a população, que normalmente é obrigada a abandonar suas moradias devido ao risco de acidentes.

Este trabalho tem o objetivo de entender a influência da precipitação no desencadeamento desses movimentos nas encostas urbanas da cidade, sendo a finalidade principal relacionar esses movimentos às chuvas diárias e acumuladas. Como resultado dessa análise, pretende-se obter valores de precipitação diária e acumulada para os quais começam a se desencadear os movimentos de massa em Ouro Preto.

A partir desses níveis de precipitação será possível monitorar os índices pluviométricos para evitar danos maiores causados por escorregamentos. Estes criam um suporte para um sistema de alerta, que servirá como instrumento preventivo de defesa civil para a população e os órgãos competentes.

1.2.2 - Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo principal, será necessário desenvolver outros trabalhos para servir de base para se obter o produto final da pesquisa, tais como:

- Elaboração de cadastro georreferenciado de movimentos em encostas em Ouro Preto;
- Aquisição e tratamento dos dados pluviométricos existentes;
- Zoneamento da área urbana segundo características dos movimentos e os índices pluviométricos alcançados;
- Diretrizes para elaboração de um plano preventivo de defesa civil para os escorregamentos da cidade.

Como um dos produtos da pesquisa obteve-se um mapa da área urbana contendo, os escorregamentos e as áreas de maior risco plotados, sendo criado níveis para as áreas de risco, de acordo com a quantidade de movimentos de massa, o tamanho da área atingida e as condições locais.

1.3 - ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O trabalho foi desenvolvido em seis capítulos e quatro anexos, que descrevem todos os procedimentos e dados adotados na pesquisa. Os conteúdos dos capítulos e dos anexos estão resumidamente descritos abaixo.

No capítulo 1 são apresentadas as considerações iniciais da pesquisa e uma introdução geral do assunto, os objetivos atingidos e a estruturação da dissertação.

Uma revisão bibliográfica foi realizada sobre os diversos assuntos que abrangem a pesquisa. A análise da ocupação de Ouro Preto desde a sua descoberta, a descrição do meio físico e a relação dos trabalhos já elaborados para a cidade teve como objetivo contextualizar a região onde será aplicada a pesquisa. Outros itens abordados foram a pluviosidade, os movimentos de massa e a ligação entre eles.

O capítulo 3 descreve detalhadamente todos os procedimentos adotados desde a aquisição dos dados, tratamento e a interpretação dos resultados.

A apresentação dos dados envolvidos na pesquisa e a análise dos resultados obtidos são apresentadas no capítulo 4.

O capítulo 5 apresenta uma explanação sobre o conceito de plano preventivo de defesa civil e apresenta como exemplo, dois sistemas de prevenção contra escorregamentos adotados para o Estado de São Paulo e para a Cidade do Rio de Janeiro. A partir dos resultados encontrados foram propostas as bases para a implantação de um plano de defesa civil para Ouro Preto.

O capítulo 6 descreve as conclusões obtidas a partir dos resultados encontrados, as sugestões para pesquisas futuras e as recomendações para a prevenção dos acidentes relacionados aos movimentos de massa para o município.

O Anexo I apresenta a relação dos dados cadastrados com as informações de cada ocorrência do Corpo de Bombeiros utilizadas para a correlação entre a pluviosidade e os escorregamentos.

No Anexo II se encontra o mapa com o zoneamento das áreas de risco, classificadas em baixo, médio e alto risco. Essas áreas foram delimitadas baseadas no cadastro das ocorrências do Corpo de Bombeiros de Ouro Preto.

Os gráficos para as análises das chuvas acumuladas que não foram apresentados no capítulo 4 se encontram no Anexo III.

A tabela do Anexo IV mostra os valores da chuva diária com a chuva acumulada em cinco dias que poderão servir de base para o monitoramento da precipitação que pode deflagrar os escorregamentos.

2. BASES CONCEITUAIS

2.1 - OURO PRETO

A área de estudo deste trabalho abrange a zona urbana do município de Ouro Preto, região central de Minas Gerais, Brasil. A cidade encontra-se na porção sudeste do Quadrilátero Ferrífero, possui uma área de 1.274 km² com as altitudes variando entre 989 (Foz do Rio Maracujá) e 1.772 (Pico do Itacolomi) metros. Segundo os dados do IBGE de 2000 sua população total é de aproximadamente 66.277 habitantes, sendo que a taxa de crescimento da população de Ouro Preto desde 1980 se mostrou significativa. A Tabela 2. 1 ilustra a evolução dos números da população urbana de Ouro Preto, no período de 1960 a 2000.

Tabela 2. 1– Evolução da população de Ouro Preto

ANOS	URBANA	RURAL	TOTAL
1960	-	-	33.927
1970	31.883	14.282	46.165
1980	37.964	15.446	53.410
1991	-	-	62.483
1992	-	-	63.800
1993	-	-	65.003
2000	56.292	9.985	66.277

Fonte: Fundação Instituto de Geografia e Estatística (IBGE).

A distância entre Ouro Preto e a capital do Estado, Belo Horizonte é de aproximadamente 100 km. A cidade possui como limite ao norte as cidades de Itabirito e Santa Bárbara, ao sul Ouro Branco, Catas Altas da Noruega, Piranga e Itaverava, a leste a cidade de Mariana e a oeste Belo Vale e Congonhas.

A cidade, em 1933, foi declarada Cidade Monumento Nacional, e desde 1982 é considerada pela UNESCO como Patrimônio Cultural da Humanidade, sendo isto importante fator para a preservação e manutenção das características históricas, culturais e econômicas provenientes da preservação das construções barrocas do século XVIII.

Na zona urbana de Ouro Preto existem muitos problemas relacionados com a movimentação de massa em suas encostas. Há vários anos, nos períodos de chuva, ocorrem movimentos de massa com diversos prejuízos materiais, sendo que em alguns casos houve vítimas fatais.

A alta incidência de movimentos de massa se deve a diversos fatores, que associados, criam um ambiente favorável para a sua deflagração. Alguns desses fatores estão ligados ao tipo de ocupação que ocorreu e vem ocorrendo na cidade e a estrutura geológica de Ouro Preto.

2.1.1 - Histórico e Evolução da Ocupação Urbana

A descoberta da existência de ouro nas margens do Rio das Velhas e nas Serras da região, na última década do século XVII (1698), foi o marco inicial do povoamento de Ouro Preto. A partir daí, formaram-se pequenos vilarejos às margens dos ribeirões em cotas mais baixas, para em seguida, após a construção de arruamentos, ocuparem os pontos mais altos.

Com a crescente exploração de novas lavras de mineração, os arraiais foram crescendo, sendo as igrejas construídas nos pontos mais altos e com grande ornamentação e as casas, em torno das lavras, de modo precário e rústico.

Em 08 de julho de 1711, foi fundada a Vila Rica de Albuquerque de Nossa Senhora do Pilar de Ouro Preto, tornando-se mais tarde a primeira capital da província. A partir desta data houve o crescimento dos núcleos e abertura de arruamento, aumentando a densidade populacional. A fase de consolidação e de expansão da população, no período de 1730 a 1765, foi marcada pela fase áurea no que se refere à urbanização (Faria, 1996).

Vale ressaltar que as atividades desenvolvidas na região eram exclusivamente em função da atividade mineradora, sendo assim totalmente dependente do sucesso do garimpo, inclusive o crescimento urbano, que se deslocava à medida que se exauria uma mina.

A partir da segunda metade do século XVIII, Vila Rica já configurava as edificações atuais, como o Palácio dos Governadores (atual Museu de Ciência e Tecnologia), a Casa da Câmara e Cadeia (Museu da Inconfidência) e a atual Casa dos Contos. Nesta época, a cidade tornou-se um dos maiores e mais prósperos centros urbanos da América (IGA, 1994).

Em 1823, Vila Rica passa para a categoria de cidade, recebendo o nome de Ouro Preto. A partir de 1888, com a construção da estação ferroviária, a expansão da cidade segue em direção ao Morro do Cruzeiro, ultrapassando os limites dos trilhos da ferrovia.

A decadência das atividades mineradoras do ouro provocou uma crise econômica em Vila Rica e uma redução no crescimento e expansão da cidade. A velocidade da crise econômica contribuiu para a preservação das características do conjunto arquitetônico da cidade.

A transferência da capital para Belo Horizonte, em 1897, provocou um esvaziamento econômico e político da cidade. Além disso, a queda acentuada da mineração acarretou um despovoamento da zona periférica da cidade, ocupada anteriormente por escravos e trabalhadores das minas.

Em 1934 houve a implantação da indústria Eletro Química Brasileira S/A, que em 1950 foi encampada pela ALCAN (Alumínio do Brasil S/A) e atualmente é denominada NOVELIS DO BRASIL. Com a implantação desta indústria houve uma recuperação econômica e um novo surto de ocupação urbana na cidade, voltando a se desenvolver.

O novo crescimento populacional da cidade, gerado pela industrialização, potencialidade ao turismo e a expansão dos centros acadêmicos (ensino técnico e superior), resultou em processos de ocupação das áreas periféricas, em um cenário totalmente desordenado, ocupando encostas e com edificações com baixos padrões construtivos.

Até os dias de hoje, o desenvolvimento da cidade e sua expansão vem ocorrendo de maneira desordenada, caótica e em locais não apropriados (encostas e antigas áreas mineradas), de difícil acesso, portanto menos valorizados e de fácil aquisição. Estes fatores somados as características morfológicas e geotécnicas desfavoráveis à ocupação propiciam um ambiente altamente susceptível aos processos de movimentação de encostas.

A Figura 2.1 apresenta a formação e evolução da malha urbana em Ouro Preto. Em (a) foi o início do povoamento no período da descoberta do ouro. Em (b) o crescimento da população em torno das áreas mineradas. A formação da atual Praça Tiradentes e o crescimento em torno de si podem ser visualizados em (c). A criação da estação ferroviária e a ocupação ao seu redor (d) e a ocupação do Morro do Cruzeiro e a expansão da malha urbana no Bairro Saramenha (e). A atual configuração da cidade pode ser visualizada na Figura 2.2.

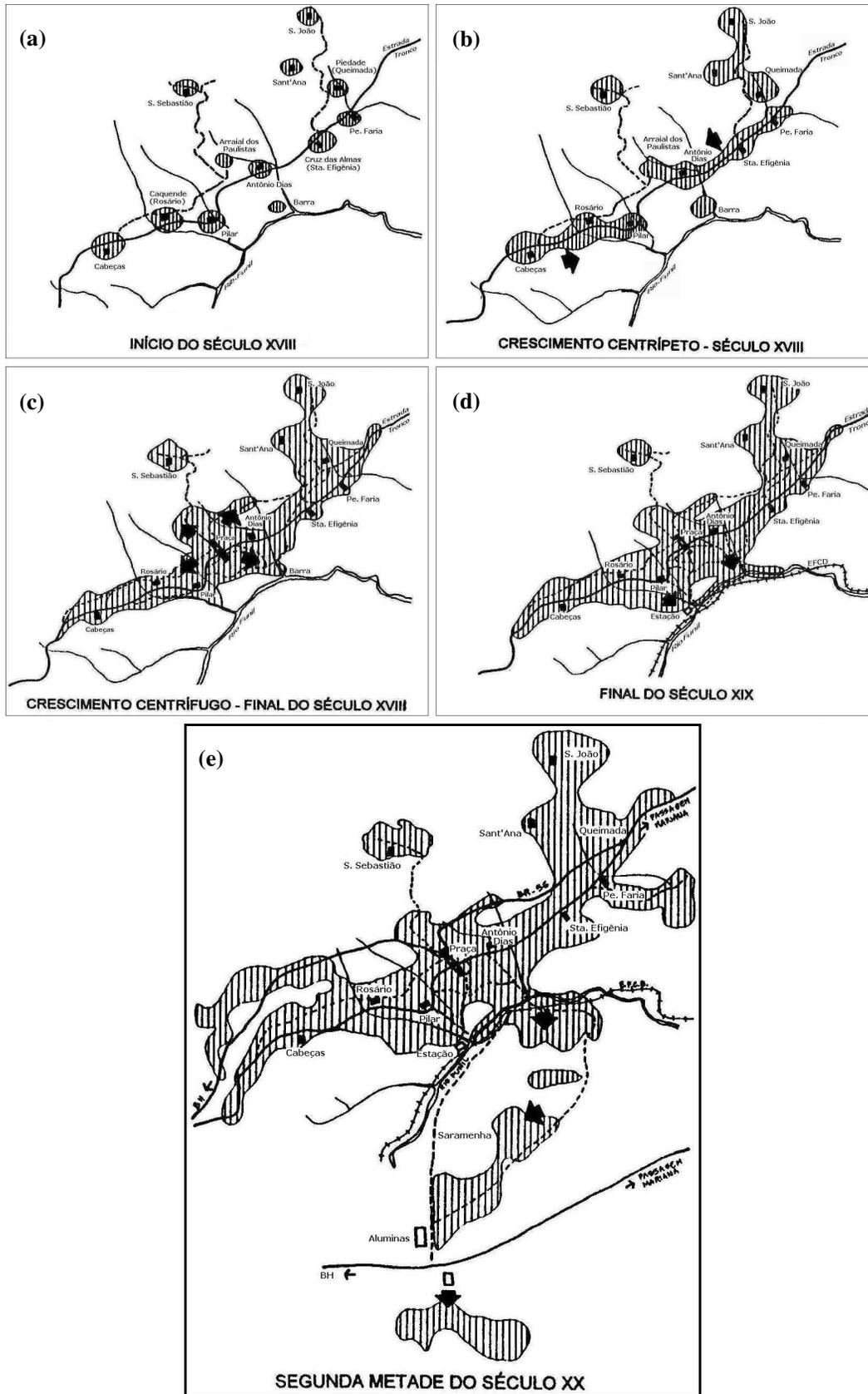


Figura 2.1– Evolução da ocupação em Ouro Preto (Modificado de Faria, 1996)

A média anual da temperatura em Ouro Preto é de 18,5°C, sendo o mês de janeiro o mais quente e o mês de julho o mais frio. As temperaturas mais elevadas coincidem com o período chuvoso enquanto as temperaturas mais baixas ocorrem no período seco.

A região de Ouro Preto possui alta pluviosidade, concentrada principalmente entre os meses de outubro e março (Figura 2.3), concentrando 87% da precipitação anual. O regime pluviométrico é caracterizado como tropical com uma média de 1.610,1 mm anuais (série de 1988 a 2004). A altitude elevada do município é um dos fatores responsáveis pelo alto índice pluviométrico (IGA, 1994).

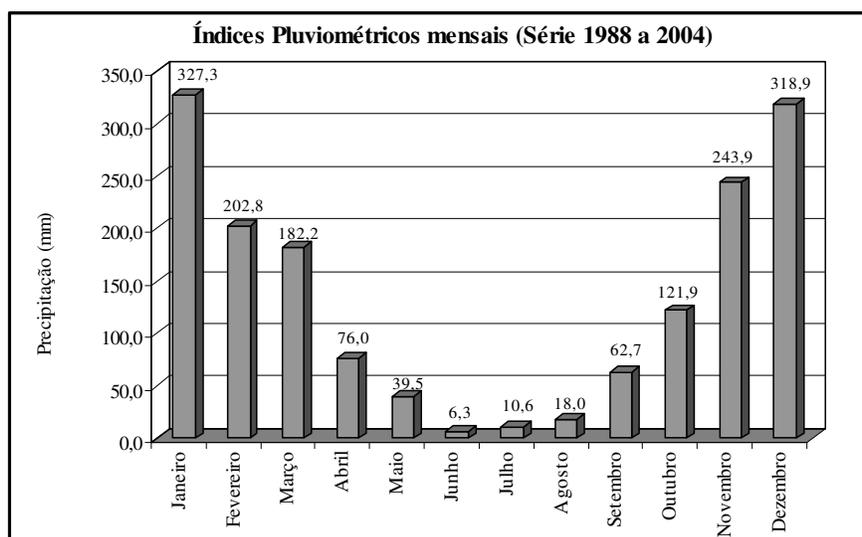


Figura 2.3– Índices Pluviométricos mensais de Ouro Preto

A Tabela 2. 2 apresenta as médias pluviométricas mensais do período analisado, 1988 a 2004. Para estes dados, o ano de 1992 aparece como o mais chuvoso com 2.512,4 mm e 1990 como o mais seco, com 1.005,1 mm. Em alguns anos houve períodos chuvosos excepcionais concentrando em poucos meses uma quantidade de chuva acumulada muito grande. Estes períodos mais significativos estão mostrados abaixo:

- 1989: nos meses de novembro e dezembro, com 767,9 mm ao total;
- 1991: de janeiro a março com 1.170,7 mm;
- 1992: um primeiro período chuvoso em janeiro e fevereiro com 999,0 mm de chuva e um segundo período em novembro e dezembro com 759,0 mm;
- 1996 / 1997: período chuvoso entre novembro de 1996 a janeiro de 1997 totalizando 1.380,7 mm;

- 2001 / 2002: chuvas concentradas de novembro de 2001 a fevereiro de 2002 acumulando 1.032,5 mm;
- 2002 / 2003: entre novembro de 2002 a março de 2003 ocorreram chuvas totalizando 1.319,5 mm.

Tabela 2. 2 – Índices Pluviométricos de Ouro Preto (Série 1988 a 2004).

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1988	290,6	278,5	99,5	205,4	53,0	0,8	0,0	0,0	33,4	80,2	127,7	177,7	1.346,8
1989	176,6	317,4	188,1	16,2	1,1	40,9	49,5	28,1	93,7	154,2	212,8	555,1	1.833,7
1990	88,8	141,5	109,3	75,0	61,9	12,2	30,7	52,4	44,9	69,8	159,4	159,2	1.005,1
1991	604,5	256,1	310,1	65,1	37,0	7,5	2,6	2,0	93,4	115,0	158,1	277,5	1.928,9
1992	694,2	304,8	91,0	116,6	95,2	2,7	29,4	38,4	186,4	194,7	347,7	411,3	2.512,4
1993	144,8	204,0	162,3	165,1	40,4	8,9	0,0	11,6	67,1	200,4	136,2	284,7	1.425,5
1994	367,0	59,5	206,1	60,8	35,6	3,9	2,0	0,0	1,2	119,6	130,0	329,5	1.315,2
1995	152,1	188,5	225,1	64,7	24,3	4,5	1,7	0,0	15,7	178,3	198,3	514,5	1.567,7
1996	148,0	275,3	167,4	51,6	49,4	0,0	0,0	5,6	96,5	153,2	407,3	400,5	1.754,8
1997	572,9	138,1	208,0	96,5	20,8	0,0	0,0	3,1	90,6	194,3	189,0	165,6	1.678,9
1998	322,4	299,3	114,9	70,0	70,5	0,7	3,2	41,4	18,8	164,3	233,5	166,7	1.505,7
1999	152,9	120,2	336,0	23,0	1,5	3,9	0,1	0,0	37,8	87,6	298,6	252,8	1.314,4
2000	490,5	131,9	179,4	20,4	4,0	0,0	12,3	29,7	75,9	77,2	337,1	272,5	1.630,9
2001	251,9	75,4	188,8	24,0	38,9	0,0	2,5	16,2	60,8	114,2	341,2	347,7	1.461,6
2002	343,6	280,1	112,3	25,8	71,5	0,0	1,0	44,5	127,4	30,6	368,3	449,1	1.854,2
2003	502,1	59,0	158,0	61,6	15,8	0,0	1,4	33,5	22,4	70,1	279,1	265,5	1.468,5
2004	261,4	318,0	241,7	149,6	50,3	21,6	43,4	0,0	0,0	68,9	221,7	390,9	1.767,5
Média	327,3	202,8	182,2	76,0	39,5	6,3	10,6	18,0	62,7	121,9	243,9	318,9	1.610,1

Fonte: *Novelis do Brasil*

Segundo relatório do IGA (1994), em 1º de fevereiro de 1979 ocorreu a maior altura de chuva registrada, chegando a 161,0 mm. Neste ano ocorreram chuvas muito intensas e prolongadas, causando sérios fenômenos de deslizamentos de taludes, intenso ravinamento, aceleração de processos normalmente lentos de escoamentos superficiais, queda de blocos, desmoronamentos e colapsos de muros de arrimo, resultando em grandes transtornos à população, principalmente aos ocupantes das encostas e consequentemente ao poder público (Carvalho, 1982).

2.1.2.2 - Geomorfologia e Geologia

A cidade de Ouro Preto se encontra em um grande vale, tendo como limite a norte a Serra de Ouro Preto e a sul a Serra do Itacolomi. A Serra de Ouro Preto está situada no flanco sul do Anticlinal de Mariana. Essa estrutura regional orienta-se na direção leste-oeste, possuindo as camadas com mergulhos gerais para o sul, na ordem de 30° (Sobreira & Fonseca, 2001).

A geomorfologia local é caracterizada por diversos níveis altimétricos, variando entre 800 e 1.500 m, com relevo acidentado com vertentes bem íngremes e vales profundos e

encaixados. Cerca de 40% da área urbana exhibe feições com declividades entre 20 e 45% e apenas 30% com declividades entre 5 e 20%. Zonas escarpadas são comuns em toda área urbana (Gomes *et al*, 1998).

Na região, destacam-se dois tipos básicos de encostas (Carvalho, 1982):

- Aquelas elaboradas sobre as rochas pouco coesas, muito alteradas e com o pendore concordante com o mergulho das rochas. Estas são as mais instáveis e apresentam processos de erosão acelerada.
- Aquelas que possuem pendore oposto ao mergulho, mesmo apresentando declividades mais acentuadas, são menos instáveis e menos susceptíveis à ação dos processos erosivos.

Ainda segundo IGA (1994), a ocorrência de rochas mais resistentes como os itabiritos da Formação Cauê ou a existência da proteção de crosta limonítica proveniente de sua alteração “*in situ*” criam uma situação de maior estabilidade, resistindo melhor aos processos erosivos e aos movimentos de massa.

Em relação à geologia, Ouro Preto apresenta rochas pertencentes a três grandes unidades metasedimentares: Supergrupo Rio das Velhas (Grupo Nova Lima), Supergrupo Minas e Grupo Itacolomi. O Supergrupo Minas é o predominante na área urbana da cidade.

As formações geológicas presentes em Ouro Preto apresentam comportamento geotécnico com grande vulnerabilidade a problemas ambientais. Entre as unidades que apresentam este tipo de comportamento pode-se citar (Sobreira, 1992):

- Os xistos do Grupo Nova Lima: alto grau de alteração, tendência a ravinamentos e escorregamentos superficiais; ocorrem no Bairro São Sebastião e na encosta aos fundos da Santa Casa de Misericórdia;
- Os filitos da Formação Batatal: baixas características de resistência e alta impermeabilidade, favorecendo o solapamento de blocos de itabirito e canga e a conseqüente formação de depósitos de meia encosta, pressões de percolação e descalçamento de blocos. Ocorre na porção norte da cidade;
- O quartzito ferruginoso e o filito cinzento e prateado da Formação Cercadinho: baixa resistência aos processos denudacionais e sobre os quais se instalaram muitos

dos antigos bairros de Ouro Preto, tais como, Cabeças, Rosário, Centro, Antônio Dias, Santa Efigênia e Praça Tiradentes;

- Quartzitos da Formação Barreiro: ocorrem de forma descontínua, são alterados e de baixa resistência, além de coesos, o que favorece os ravinamentos. Ocorrem na Vila São José, Novo horizonte e Buraco Quente.

Além destas unidades, ocorrem também outras mais estáveis, como os itabiritos, revestidos de contínua couraça limonítica, denominada canga, da Formação Cauê do Grupo Itabira (IGA, 1994). A Figura 2. 4 mostra um esboço da geologia local.

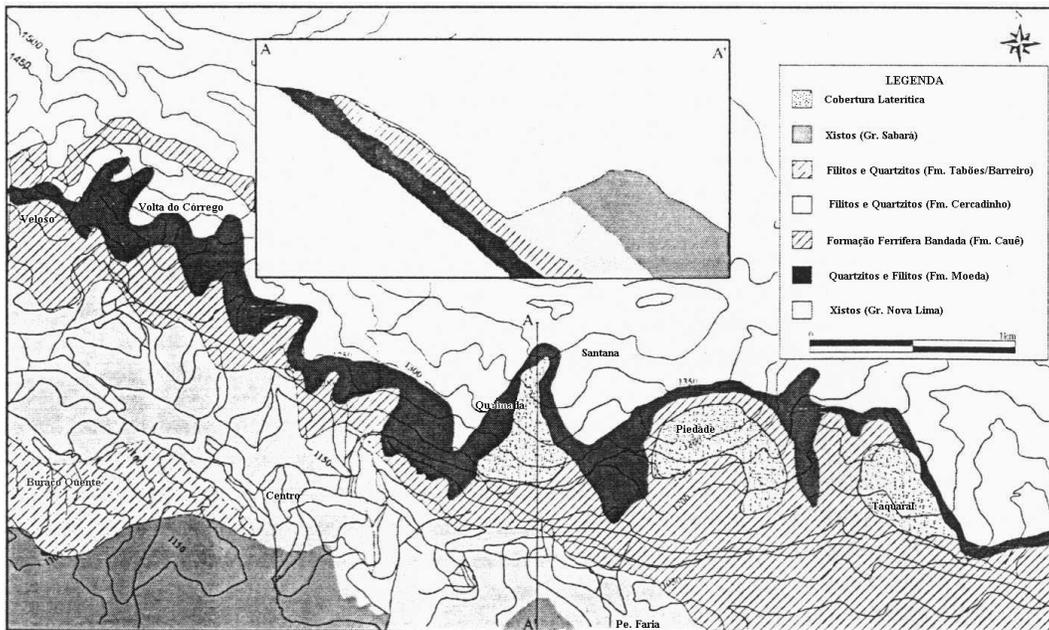


Figura 2. 4– Esboço Geológico da Região de Ouro Preto (Fonte: Sobreira & Fonseca, 2001)

O substrato rochoso da área urbana é composto predominantemente por rochas brandas, que podem estar intercaladas ou associadas a rochas duras (Bonuccelli & Zuquette, 1999). O estado de alteração e o fraturamento intenso das rochas contribuem para o fraco comportamento geotécnico dos terrenos do local.

2.1.2.3 - Vegetação e Hidrografia

Em posição mais elevada a vegetação é de campos naturais, compostas essencialmente de gramíneas, com subarbustos disseminados. De acordo com Souza (1996) é comum encontrar áreas desmatadas, resultado de diversas atividades, como minerações, implantações de núcleos urbanos e obras de engenharia.

Mesmo com a devastação, ainda ocorrem matas naturais, que através de decreto estadual, foram declaradas de preservação permanente. Além disso, foi criada a Estação Ecológica do Tripuí, onde existe cobertura florestal densa. (IGA, 1994). Algumas áreas foram reflorestadas por eucaliptos.

Ouro Preto é constituída por uma densa rede de drenagens formada por diversos rios, ribeirões e córregos; além de um grande número de nascentes e fontes naturais. Portanto, apresenta um pequeno número de poços tubulares (Souza, 1996).

2.1.3 - O Problema dos Movimentos de Massa em Ouro Preto

Em Ouro Preto, devido aos altos índices de acidentes relacionados aos movimentos de massa, foram realizados diversos trabalhos ao longo dos anos abordando as questões de uso e ocupação do solo e os problemas de natureza geotécnica.

Os primeiros planos de intervenção urbana foram desenvolvidos a partir do início da década de 1970, quando foram apresentados o plano Vianna de Lima e um estudo da Fundação João Pinheiro denominado “Plano de Conservação, Valorização e Desenvolvimento de Ouro Preto e Mariana”, que propunha a busca de soluções para o ordenamento do uso e da ocupação do espaço urbano (Faria, 1996).

O estudo da Fundação João Pinheiro (1975) abordou aspectos físicos, sócio-econômicos e administrativos, não tendo, entretanto, desenvolvido com maior profundidade o aspecto geológico, limitando-se a considerações gerais sobre ocupação e uso do solo, ao nível do município, com referências e zonas de afloramento, áreas susceptíveis a erosão, características gerais da rede de drenagem, restrições à ocupação de encostas íngremes e de áreas inundáveis (Carvalho, 1982). No entanto, as soluções apresentadas não foram implantadas.

A Tecnosolo (1979) realizou um inventário completo dos deslizamentos ocorridos em Ouro Preto no ano de 1979, ano em que houve altos índices pluviométricos. Os acidentes ocorridos no ano de 1979 envolveram grandes áreas habitadas, provocando grandes perdas materiais, como a ruína parcial e total de algumas residências, obstruções de ruas e rupturas nos sistemas de abastecimento de água. Em cada deslizamento vistoriado foram contemplados os aspectos geológicos envolvidos, volumes mobilizados, danos causados e sugestões de soluções. Além do inventário, foram

realizadas diversas obras de contenção do tipo cortinas atirantadas e suavização de encostas.

Em 1982, Carvalho elaborou a Carta Geotécnica de Ouro Preto na escala de 1:2000, que foi um excelente orientador para a expansão da cidade, mas que foi pouco utilizada. Neste trabalho foram descritas as características físicas e geológicas locais. O estudo preparou uma Carta de Qualidade de Terrenos, resultado de análises da situação geológica-geomorfológica, estado de alteração e estrutura geológica, a partir de fotointerpretação e trabalhos de campo. As classes da qualidade do terreno foram divididas em boa, média ou má. Foi elaborada também uma carta de declividades, a partir das curvas de níveis da planta cadastral (escala 1:2000), sendo definidas seis classes com os limites máximos de declividades de 10%, 20%, 40%, 60% e 100%. A Carta de Risco, produto final do trabalho, foi elaborada a partir do cruzamento da Carta de Declividades com a Carta de Qualidade do Terreno. As combinações possíveis foram agrupadas em três classes (Risco nulo a desprezível, Risco Moderado e Risco Elevado). As classes obtidas foram testadas em campo, principalmente aquelas que o resultado não foi o que se esperava.

Apesar de ter sido um documento eficaz para a orientação da expansão urbana da cidade, este trabalho não foi seguido nem pelos moradores, nem pelo poder público municipal. Nos últimos anos, a cidade cresceu para além dos limites mapeados pela Carta Geotécnica de Ouro Preto, tornando-a insuficiente para orientação da expansão da área urbana.

Sobreira (1989) já alertava sobre as situações de risco causadas pela acelerada urbanização na cidade. Neste trabalho foram apontados os pontos mais críticos da cidade em termos de instabilidade. Alguns desses pontos são: a Serra de Ouro Preto, que constituía os Bairros Veloso (atualmente denominado São Cristóvão), São João e Piedade; Alto da Cruz e Padre Faria. O autor cita a importância de estudos mais detalhados nos pontos críticos da cidade e os locais com melhor potencial para futura ocupação. Destaca ainda que os frequentes movimentos em encostas são oriundos de fortes e prolongados chuvas associadas às características geológicas, geomorfológicas e climáticas.

Em 1989, novamente fortes chuvas assolaram a cidade, ocasionando vários danos materiais à população, inclusive perdas de vida. Houve a necessidade de estudos para levantamento das áreas afetadas e mais instáveis. Foi então firmado um convênio entre a UFOP e o MinC/SPHAN, que resultou em dois relatórios, sendo um definindo as principais áreas de risco e outro apontando algumas soluções estruturais.

Sobreira (1990) produziu o levantamento das áreas de risco geológico e das áreas afetadas após as chuvas de 1989. Neste trabalho foram apresentados os locais mais problemáticos da zona urbana e o traçado da evolução da ocupação. O autor afirma ainda que, apesar das características geológicas e morfológicas desfavoráveis, a principal causa para a ocorrência dos processos de movimentação é o mau uso e a ocupação inadequada do meio físico. Além da ocupação, há uma abordagem a respeito dos desmontes e terraplanagem, bota fora e aterros clandestinos e processos erosivos ativos. O trabalho de Sobreira (1992) enfatiza a questão da ocupação em antigas áreas de mineração, o que provocou e ainda provoca vários processos de movimentação de massa nas encostas já mineradas de Ouro Preto.

Neste mesmo ano, Sobreira *et al* (1990) apontaram algumas soluções para as áreas problemáticas de Ouro Preto. A metodologia utilizada consistiu de visitas de campo, lançamento das ocorrências em mapas e registro fotográfico. As soluções para as encostas mais problemáticas foram esboçadas em mapas de uma forma conceitual. No trabalho foi proposta uma metodologia para o enfrentamento dos problemas das encostas de Ouro Preto, que consistia em:

- Cadastramento detalhado das áreas de risco (local, tipo de problema, descrição dos riscos, medidas indicadas para estabilização, sugestão de ação e prioridade técnica);
- Criação de um setor de geotecnia na prefeitura para decidir sobre problemas geotécnicos;
- Implantação de um sistema de defesa civil municipal;
- Investigações geotécnicas;
- Definição do modelo de crescimento de Ouro Preto.

Souza (1996) produziu documentos cartográficos referentes ao mapeamento geotécnico da área urbana de Ouro Preto e avaliou os movimentos de massa e processos correlatos. No estudo foi utilizada a escala 1:10.000. Além do mapeamento geotécnico, foi

proposta uma carta de zoneamento geotécnico voltada para a susceptibilidade à ocorrência de movimentos de massa. Os documentos cartográficos produzidos foram os mapas do substrato rochoso, de materiais inconsolidados, de feições dos movimentos de massa e processos correlatos e as cartas de declividade e de zoneamento – susceptibilidade aos movimentos de massa e processos correlatos. A autora, assim como diversos pesquisadores dessa área, afirma que os principais problemas estão relacionados com a ocupação desordenada e em regiões de antigas minerações abandonadas.

Bonuccelli (1999) e Bonuccelli & Zuquette (1999) elaboraram um estudo sobre os movimentos gravitacionais de massa e os processos erosivos em Ouro Preto, descrevendo os tipos de processos envolvidos, dimensões, materiais e estados de atividade. Um levantamento dos movimentos foi realizado através de fotografias aéreas e trabalhos de campo, sendo também elaborado um cadastro dos movimentos de massa baseado nas ocorrências atendidas pelo Corpo de Bombeiros de Ouro Preto. Os autores apontam a urgência da criação de um plano de gerenciamento e minimização dos riscos associados aos movimentos de massa. A Tabela 2. 3 mostra as ocorrências com danos pessoais atendidas pelo Corpo de Bombeiros de Ouro Preto e cadastradas no trabalho de Bonuccelli & Zuquette (1999).

Tabela 2. 3 – Ocorrências com danos pessoais em Ouro Preto (Bonuccelli & Zuquette, 1999).

Data	Danos pessoais	Material envolvido	Área atingida (m²)	Local
14/12/89	3 mortes e 2 feridos	Rocha e detritos	457	Centro
23/01/92	2 mortes	Detritos e solo	305	Volta Córrego
14/12/95	3 mortes e 1 ferido	Rocha, detritos e solo	472	São Cristóvão
02/01/97	1 morte	Rocha, detritos e solo	219	Taquaral
04/01/97	12 mortes e 1 ferido	Rocha, detritos e solo	3860	Piedade
02/04/98	1 ferido	Rocha	277	Taquaral
TOTAL	21 mortes e 5 feridos			

Sobreira & Fonseca (1998) estudaram os riscos geológicos decorrentes do uso impróprio dos solos devido às antigas minas de ouro no Bairro Piedade, gerando um mapa de risco, para o bairro com três classes distintas.

Em 2001, Sobreira & Fonseca realizaram um novo estudo abordando os impactos físicos e sociais atuais decorrentes da antiga atividade mineradora. O estudo

contextualiza as intervenções antrópicas no meio físico nos bairros onde houve maior incidência das atividades mineradoras, sendo eles: Morro da Queimada, Piedade, Veloso, Taquaral, Santana e Volta do Córrego. Fonseca *et al* (2001) pesquisaram especificamente o Morro da Queimada, que possui várias ruínas do tempo da mineração do século XVIII e que hoje se encontram ameaçadas devido à ocupação imprópria.

Além desses trabalhos, outros estudos foram desenvolvidos em Ouro Preto, tais como, Gomes *et al* (1998), Sobreira (1991), Sobreira (1992a), Sobreira & Araújo (1992), Fernandes (2000), Carvalho (2001), Fernandes *et al* (2002) e Pinheiro *et al* (2003).

2.2 - PLUVIOSIDADE VERSUS MOVIMENTOS DE MASSA

A seguir serão descritos os principais conceitos de movimentos de massa e de pluviosidade, a inter-relação entre os dois e os trabalhos já realizados na área de correlação entre pluviosidade e movimentos de massa.

2.2.1 - Movimentos de Massa

Os movimentos de massa em zonas urbanas são responsáveis por numerosos problemas que resultam em danos materiais significativos e algumas vezes, em vítimas fatais. Diversos estudos sobre o assunto, em vários países, têm a finalidade de mapear as áreas mais susceptíveis aos movimentos e estudar os fatores que desencadeiam o processo.

No Brasil, existem alguns locais que já possuem um plano de defesa civil para evitar e/ou minimizar os transtornos causados por movimentos de massa. Isto se intensifica devido ao histórico de acidentes ocorridos no Brasil com vítimas fatais, dentre os quais, segundo Fernandes (2000), pode-se destacar: Santos (SP) em 1928 com 60 mortes; Santos (SP) em 1956 com 43 mortes e 100 casas destruídas; Rio de Janeiro (RJ) em 1966 com 100 mortes; Serra das Araras em 1967 com 1200 mortes e destruição de dezenas de casas; Caraguatatuba (SP) em 1967 com 120 mortes e 400 casas destruídas; Salvador (BA) em 1971 com 104 mortes e destruição de 60 moradias; Petrópolis (RJ) em 1988 com 171 mortes e 1100 casas interditadas; Contagem (MG) em 1992 com 36 mortes e Ouro Preto (MG) em 1997 com 12 mortes. A Figura 2. 5 mostra uma estatística com os dados do IPT das vítimas de escorregamentos no Brasil.

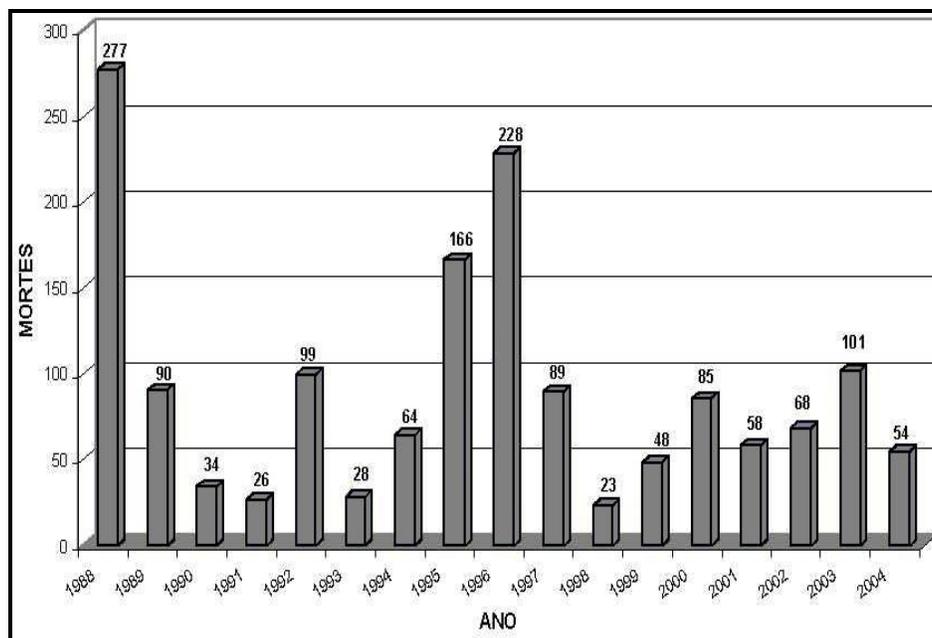


Figura 2. 5 – Estatística de vítimas por escorregamentos (Fonte: Ministério das Cidades, 2004)

A gravidade que envolve o assunto mobilizou a ONU (Organização das Nações Unidas), que decretou a década de 1990-2000 como a Década Internacional de Redução de Desastres Naturais (DIRDN), que teve como principal objetivo reduzir as perdas de vidas, danos materiais e problemas sócio-econômicos causados por eles. A ONU propôs a elaboração de um levantamento dos diversos movimentos gravitacionais de massa que ocorrem no mundo todo. Deste levantamento resultaram várias sugestões para cadastramento dos tipos de movimentos, suas causas e características.

Como tentativas de solucionar ou minimizar os problemas relacionados aos movimentos de massa deve-se proceder primeiramente ao levantamento dos processos, levantamento das características do meio físico, zoneamento ou hierarquização das áreas sujeitas à ocorrência de movimentos de massa e processos correlatos, permitindo assim, uma previsão de futuros problemas e intervenções (Bonuccelli, 1999).

Existem diversos tipos de classificações e descrições para os movimentos de massa. As classificações tentam agrupar o tipo de movimento a um conjunto de características, tais como, o material envolvido, velocidade e direção do movimento, profundidade e extensão, a geomorfologia local e ambiente climático, entre outros. Os principais tipos de movimentos de massa podem ser: queda (“fall”); tombamento (“topple”); escorregamentos (“slide”); espalhamento (“spread”); escoamentos (“flow”) e ainda pode ser do tipo complexo (mais de um tipo de movimento).

Existem diversas classificações que propõem uma correlação entre os diferentes tipos de movimento de massa, sendo as mais usuais as propostas de Varnes (1978), Guidicini & Nieble (1983), Hutchinson (1988) e Augusto Filho (1992). A classificação de Augusto Filho (*op.cit.*) é a mais utilizada devido a sua simplicidade. Ela tem ênfase na descrição do tipo de processo do movimento, com as principais características do material e da encosta. Na Tabela 2. 4 mostra esta classificação.

Tabela 2. 4– Classificação dos movimentos de massa (Augusto Filho, 1992)

Processos	Características do Movimento/Material/Geometria
Rastejo ("creep")	<ul style="list-style-type: none"> - Vários planos de deslocamento (internos) - Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade - Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes - Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada - Geometria indefinida
Escorregamentos ("slides")	<ul style="list-style-type: none"> - Poucos planos de deslocamento (externos) - Velocidades médias (m/h) a altas (m/s) - Pequenos a grandes volumes de material - Geometria e materiais variáveis Planares ⇒ solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza Circulares ⇒ solos espessos, homogêneos e rocha muito fraturada Em cunha ⇒ solos e rochas com dois planos de fraqueza
Quedas ("falls")	<ul style="list-style-type: none"> - Sem planos de deslocamento - Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado - Velocidades muitas altas (vários m/s) - Material rochoso - Pequenos a médios volumes - Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc. - Rolamento de matação - Tombamento
Corridas ("flows")	<ul style="list-style-type: none"> - Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação) - Movimento semelhante ao de um líquido viscoso - Desenvolvimento ao longo das drenagens - Velocidades médias a altas - Mobilização de solo, rocha, detritos e água - Grandes volumes de material - Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

Os escorregamentos podem ser classificados de acordo com seu plano de ruptura em: rotacional (superfície circular, côncava para cima) e translacional (superfície de ruptura planar).

Alguns fatores influenciam no desencadeamento dos movimentos de massa, sendo eles elementos do meio físico e/ou externos. Porém, segundo Varnes (1978), estes processos apresentam em geral uma série contínua de causas e efeitos; raramente ocorrendo devido a um único e determinado fator.

Varnes (1978) explica que, para os movimentos de massa em solos, todos os fatores condicionantes estão ligados à resistência ao cisalhamento do material, subdividindo-se em:

- Fatores que promovem aumento das tensões cisalhantes (ou solicitações), tais como, remoção de suporte lateral ou subjacente, sobrecarga, solicitações dinâmicas e pressões laterais;
- Fatores que promovem uma diminuição na resistência ao cisalhamento, como exemplo: propriedades inerentes do material (composição, textura; discontinuidades, orientação do talude); e propriedades que variam com o tempo (ação do intemperismo, causando diminuição da coesão e atrito, elevação do nível d'água, mudanças na estrutura).

Para Augusto Filho & Virgili (1998), os principais condicionantes dos movimentos de massa na dinâmica ambiental são:

- Características climáticas, principalmente o regime pluviométrico;
- Características e distribuição dos materiais que compõe o substrato rochoso das encostas/talude. Exemplos: solos, rochas, depósitos e estruturas geológicas, tais como, xistosidade, fratura, etc;
- Características geomorfológicas, principalmente inclinação, amplitude e forma do perfil das encostas;
- Regime das águas de superfície e subsuperfície;
- Características de uso e ocupação, na qual se incluem cobertura vegetal e intervenções antrópicas nas encostas.

Vários trabalhos, no Brasil e no exterior, foram realizados sobre os fatores condicionantes dos movimentos de massa. Temoteo (1993) descreve os principais

fatores associando os movimentos de massa com as diversas condições do meio físico. Amaral (1996) analisou a importância da geologia na deflagração, tipologia e distribuição dos movimentos. Smyth & Royle (2000) investigaram a vulnerabilidade de ocupação urbana aos escorregamentos.

2.2.2 - Pluviosidade

2.2.2.1 - Conceitos

- Precipitação: É toda a água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. Pode ocorrer sob diversas formas, diferenciada pelo estado em que a água se encontra, tais como: neblina, chuva, granizo, saraiva, orvalho, geada e neve. São classificadas em convectivas (grande intensidade, pequena duração e restrita a pequenas áreas); orográficas (pequena intensidade, grande duração cobrindo pequenas áreas) e ciclônicas (grande duração, atingindo grandes áreas com intensidade média).
- Pluviometria: Aborda as grandezas estabelecidas para caracterizar uma chuva: altura, duração, intensidade e frequência. São medidas nas estações pluviométricas, equipadas com pluviômetros e os pluviógrafos.
- Altura pluviométrica: É a medida vertical do volume da chuva ocorrido e acumulado em um recipiente cilíndrico. É medido em milímetros, definido como a quantidade de precipitação correspondente ao volume de um litro por metro quadrado de superfície.
- Pluviômetro: Equipamento que mede a quantidade de chuva caída num local. Trata-se de um reservatório no qual a chuva é recolhida e acumulada, sob condições bem determinadas, e depois medida através de um cilindro graduado, que indica a sua quantidade em milímetros de chuva.
- Pluviógrafo: Instrumento que mede, continuamente, a quantidade e intensidade da chuva, determinando a hora do início e do fim da precipitação. A unidade de medida é em mm. Possui um sifão capaz de esgotar o recipiente coletor de chuva até um conteúdo mínimo de água armazenada, fazendo assim um registro de precipitação acumulada entre períodos de tempo.
- Duração: Intervalo de tempo que dura a precipitação. É expressa em minutos, horas ou dias.

- Intensidade: Altura de chuva na unidade de tempo, isto é, o quociente entre a altura e a duração. Expressa em mm/h ou mm/min.
- Tempo de recorrência: Número médio de anos durante o qual se espera que a precipitação analisada seja igualada ou superada.
- Frequência de probabilidade: É o inverso do tempo de recorrência, e significa a probabilidade de ocorrer um fenômeno igual ou superior ao analisado em um ano qualquer.
- Chuva acumulada: Somatório das chuvas em mais de um período. Neste trabalho serão estudadas as influências das chuvas acumuladas de 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25 e 30 dias.

2.2.2.2 - Análise de Consistência dos dados de Precipitação

Espera-se que os dados coletados em um posto de medição de chuvas seja uma série ininterrupta de precipitações, sem falhas ao longo do tempo medido. Mesmo com certos cuidados para se evitar falhas nas leituras pluviométricas, podem ocorrer nas observações alguns períodos sem informações ou com falhas. Segundo Tucci (2002), as causas mais comuns de falhas e erros são o preenchimento errado da caderneta de campo; soma errada do número de provetas, quando a precipitação é alta; valor estimado pelo observador, por não se encontrar no local da amostragem; crescimento da vegetação ou outra obstrução próxima ao posto de observação; danificação do aparelho e problemas mecânicos no registrador gráfico.

Ao se iniciar um estudo com dados pluviométricos deve-se inicialmente detectar possíveis erros existentes, tais como: registros em dias que não existem; quantidades absurdas, erros de transcrição; erros de somatório e digitação. Após a identificação de possíveis erros devem-se preencher as falhas existentes com os métodos de preenchimentos de falhas. Também se deve estudar a consistência dos dados, dentro de uma visão regional, ou seja, comparar o grau de homogeneidade dos dados disponíveis no posto coletado com relação às observações registradas em postos vizinhos (Tucci, 2002). A análise de consistência permite verificar se houve alguma anormalidade na estação pluviométrica, tal como mudança de local ou das condições do aparelho ou modificação no método de observação.

O método mais utilizado para esta análise é o de Dupla Massa, que consiste em um gráfico no sistema cartesiano relacionando, nas ordenadas, os totais mensais (ou anuais) acumulados do ponto a consistir e, nas abscissas, a média acumulada dos totais mensais (ou anuais) de outros postos da região, que servirá como base para comparação. Se os valores forem consistentes, os pontos gerados se alinham segundo uma reta e a declividade desta determina o fator de proporcionalidade entre as séries. Se os pontos não se alinharem, significa que existe algum problema de consistência dos dados. Os casos típicos de resultados da análise de dupla massa podem ser visualizados na Figura 2. 6.

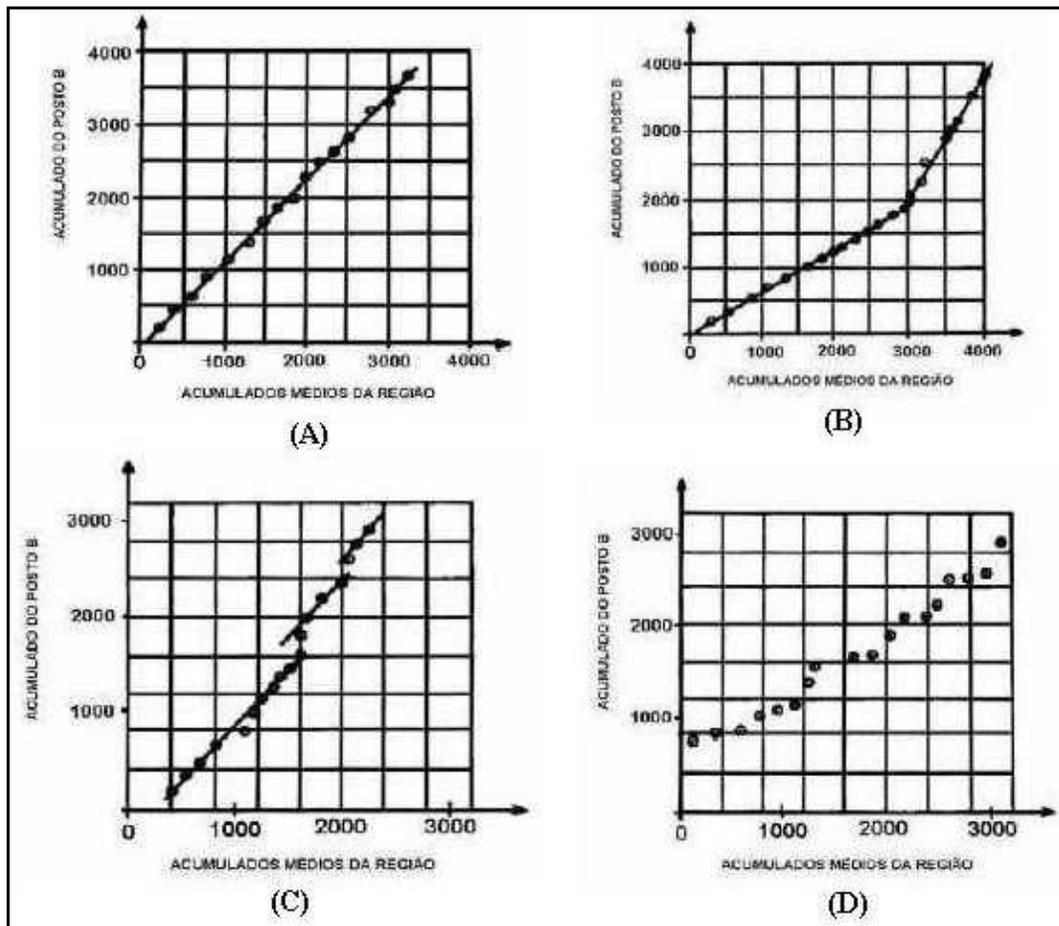


Figura 2. 6 – Casos típicos relativos ao método de Dupla Massa – (A) Dados sem inconsistência; (B) Dados com mudança de tendência; (C) Dados com erros de transcrição e (D) Dados de diferentes regimes (Tucci, 2002)

2.2.3 - Influência da Precipitação nos Movimentos de Massa

A influência da quantidade e distribuição da precipitação nos movimentos de massa tem sido estudada e avaliada por muitos pesquisadores. Segundo Tatizana *et al* (1987) e Delmonaco *et al* (1995), as ações das precipitações nas encostas são as seguintes:

- Alteração dos parâmetros de resistência dos materiais: diminuição da coesão aparente, eliminação das tensões capilares (ou poropressões negativas), dissolução da cimentação;
- Aumento da sollicitação externa: aumento do peso específico dos materiais que formam a encosta;
- Avanço da frente de saturação no maciço, provocando o desenvolvimento de poropressões positivas nos solos, subpressões nas descontinuidades rochosas e forças de percolação;
- Alteração do perfil da encosta por erosão de materiais.

A maioria dos casos de escorregamento em encostas ocorre na época de chuvas, sendo que grande parte no final da estação. A partir disso é comum apresentar a hipótese de que o mecanismo de escorregamento está relacionado com o aparecimento de poropressões positivas, provenientes da formação de nível d'água na proximidade da superfície ou na mesma das encostas.

Outro mecanismo de ruptura das encostas está relacionado à infiltração da água através dos solos não saturados com a conseqüente redução da coesão aparente por eliminação da sucção previamente existente no solo não saturado. Em muitos escorregamentos, o nível freático se encontra abaixo da superfície de ruptura, não podendo ser explicado o deslizamento pelo aparecimento de poropressões positivas. Neste caso, considera-se o fluxo de água definido pela infiltração, sendo que o escorregamento ocorre ao longo da superfície definida pela frente de saturação.

Campos (1984) estudou a influência da sucção na instabilidade de taludes naturais em solos residuais. O autor determinou as pressões neutras mobilizadas no momento da ruptura através de retroanálise de casos históricos de escorregamentos brasileiros.

Em solos parcialmente saturados há o aparecimento de pressões neutras negativas, a sucção, que se pode dizer que é o aumento da coesão aparente. A velocidade de avanço da água infiltrada pelas chuvas é tanto menor quanto mais seco for o solo. À medida que o grau de saturação aumenta, maior é essa velocidade. Com o início das chuvas, a camada superior do solo absorve água, saturando-a e aumentando a condutividade hidráulica (velocidade do avanço da água). Com isso inicia-se o avanço da frente de

saturação no solo. Este avanço depende do grau de saturação inicial do solo, assim como, de seu índice de vazios e da intensidade e duração da chuva.

Quando cessa a chuva, a água infiltrada se redistribui no subsolo aumentando o seu teor de umidade inicial. Se ocorrer uma nova chuva, o avanço da frente de saturação será mais rápido, sendo as conseqüências piores. Quando a frente de saturação atinge uma determinada profundidade, ocorre então uma diminuição da resistência ao cisalhamento da região acima desta frente. Isto pode ocasionar uma ruptura desta zona.

Este tipo de processo de instabilização provoca rupturas superficiais, de pequena profundidade. Segundo Lumb (1962), a quantidade de água que se infiltra no solo nunca é suficiente para saturar um espesso manto de solo, restringindo o efeito da precipitação apenas aos seis primeiros metros, explicando assim a ruptura superficial. É interessante notar que a ruptura em muitos casos pode ser atribuída a diversos outros fatores, como planos de fraqueza, caminhos preferenciais de água, ruptura de algum tipo de tubulação, por exemplo. O reconhecimento do processo de instabilização é importante para decidir os melhores métodos de estabilidade dos taludes que serão adotados nos projetos.

Delmonaco *et al* (1995) afirmam que, de forma geral, os movimentos de massa profundos estão relacionados a chuvas antecedentes acumuladas de vários dias, enquanto que movimentos de massa superficiais são mais dependentes da intensidade e duração da chuva em períodos mais curtos. De acordo com Brand (1992), a acumulada de chuva antecedente ao desencadeamento do processo não é tão importante quanto às chuvas de curta duração e grande intensidade. Isto ocorre em solos com permeabilidade relativamente alta. Para solos com baixa permeabilidade, a chuva antecedente acumulada apresenta grande importância (Bonuccelli, 1999).

Para Tatizana *et al* (1987), “a distribuição de chuva é uma importante variável no ciclo hidrológico, com influências na taxa de saturação do solo e no desenvolvimento de fenômenos instantâneos, como desenvolvimento de linhas de fluxo, subpressão e erosão”.

De uma maneira geral, os processos de instabilização em solos parecem depender de forma significativa dos valores pluviométricos acumulados nos dias anteriores à ruptura. Esses valores seriam os responsáveis pela preparação do terreno à ocorrência do movimento com o aumento da umidade e avanço das linhas de saturação.

Devido à grande influência da precipitação na deflagração dos movimentos, estudar a correlação entre eles, se torna de grande utilidade para criação de sistemas de alerta e informação à população. Porém, segundo Temoteo (1993), a correlação entre a pluviosidade e movimento de massa é extremamente complexa, visto que outros fatores, tais como, tipo de material, forma e declividade da encosta, drenagem natural, vegetação e ação antrópica, têm grande influência como agentes condicionantes.

2.2.4 - Trabalhos Correlacionando Pluviosidade e Movimentos de Massa

As principais referências sobre o assunto buscaram correlacionar a pluviosidade aos movimentos de massa para encontrar alguns valores limites para o início da deflagração dos movimentos. Existem vários trabalhos relacionados ao assunto no mundo e no Brasil.

Lumb (1975) analisou os escorregamentos ocorridos em Hong Kong entre 1950 e 1973. Foram construídos gráficos para a correlação da precipitação acumulada de 15 dias e a precipitação do dia do evento. Determinaram-se faixas de intensidade de número de ocorrências de escorregamentos para cada evento. As faixas foram divididas em eventos isolados (pouco ou nenhum evento), pequeno porte (poucos eventos), severo (dezenas de eventos) e desastroso (centenas de eventos). A causa principal dos escorregamentos observados, segundo o autor, é a perda da coesão devido à saturação do solo. A Figura 2.7 mostra o gráfico apresentado por Lumb (1975).

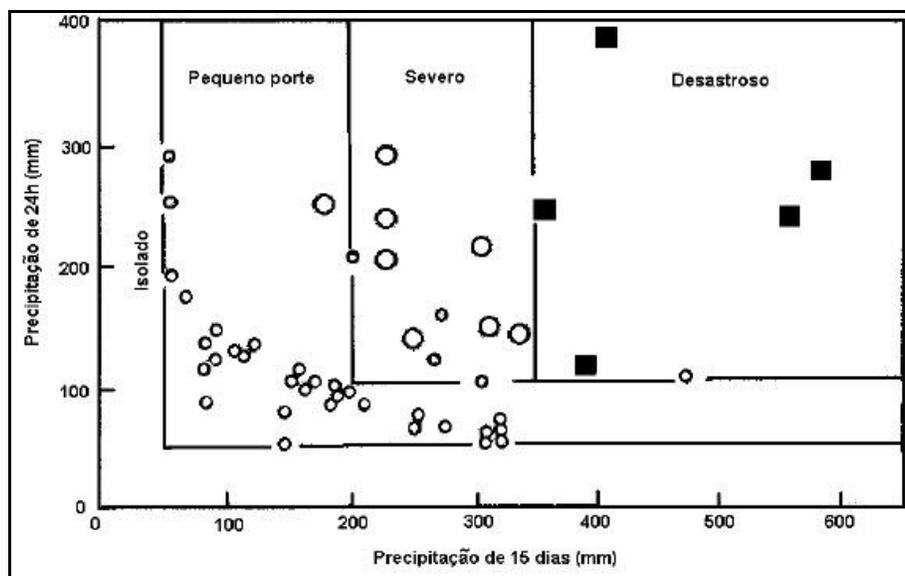


Figura 2.7 – Gráfico de Correlação da Precipitação Acumulada de 15 dias x Precipitação do dia para Hong Kong. (Modificado de Lumb, 1975)

Kay & Chen (1995) realizaram um estudo, também em Hong Kong, onde foram consideradas todas as ocorrências de precipitação diária acima de 50 mm, incluindo aquelas nas quais não houve escorregamento. Foi elaborado um gráfico do pico da precipitação horária pela precipitação de 24h (Figura 2.8). Com base neste gráfico, os autores estabeleceram zonas de intensidade do número de escorregamentos, semelhante ao de Lumb, e calcularam a probabilidade de ocorrência de escorregamentos. Este método é uma análise qualitativa da probabilidade associada a cada zona. Os resultados dos valores de probabilidade estão apresentados na Tabela 2. 5.

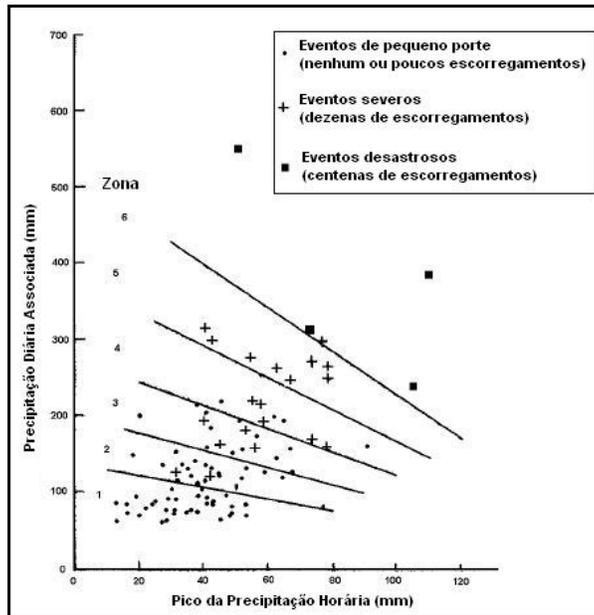


Figura 2.8 – Correlação entre o Pico da Precipitação Horária x Precipitação Diária para Hong Kong. (Kay & Chen, 1995)

Tabela 2. 5– Probabilidade de escorregamento por zonas de precipitação(Kay e Chen, 1995)

Zona	Probabilidade de ocorrência de escorregamentos
1	Desprezível para ocorrências severas de escorregamento
2	5 – 25% para ocorrências severas de escorregamento
3	25 – 45% para ocorrências severas de escorregamento
4	45 – 75% para ocorrências severas de escorregamento
5	75 – 95% de para ocorrências severas de escorregamento
6	70-90% para ocorrências desastrosas de escorregamento

Au (1998) estudou a instabilidade dos taludes induzidos pela chuva em Hong Kong. O estudo baseou-se na influência da chuva na ruptura de taludes da área urbana e não

urbana. Segundo o autor, em Hong Kong, a chuva acumulada tem pouca influência nas rupturas, sendo estas mais influenciadas pelas chuvas intensas de curta duração. A dimensão das rupturas está diretamente relacionada à intensidade, extensão regional, posição e duração da chuva que deflagra os escorregamentos.

O estudo de Corominas & Moya (1999), realizado na Espanha, consistiu no levantamento dos escorregamentos, através de uma análise dendrogeomorfológica, que analisa as cicatrizes de ruptura em troncos de árvore. Esta análise fornece a idade da reativação do escorregamento, com a acurácia de um ano, não definindo exatamente a data da reativação. A partir do levantamento dos escorregamentos, foi analisada a correlação da chuva para a deflagração dos mesmos. Para isso foi gerado um gráfico de chuva acumulada (mm) x duração do evento (semanas), para os eventos com precipitações acima de 40 mm em 24 horas, distinguindo aqueles que causaram e não causaram escorregamentos. Foi traçada uma linha dada por: $AC = 32 \times D + 133$, onde AC = chuva acumulada e D = duração do evento. Esta linha divide os eventos que reativaram os escorregamentos daqueles que não causaram a reativação. A partir dessa equação foi possível calcular o valor de chuva que pode desencadear um escorregamento para a região estudada. A Figura 2. 9 mostra o resultado obtido pelos autores.

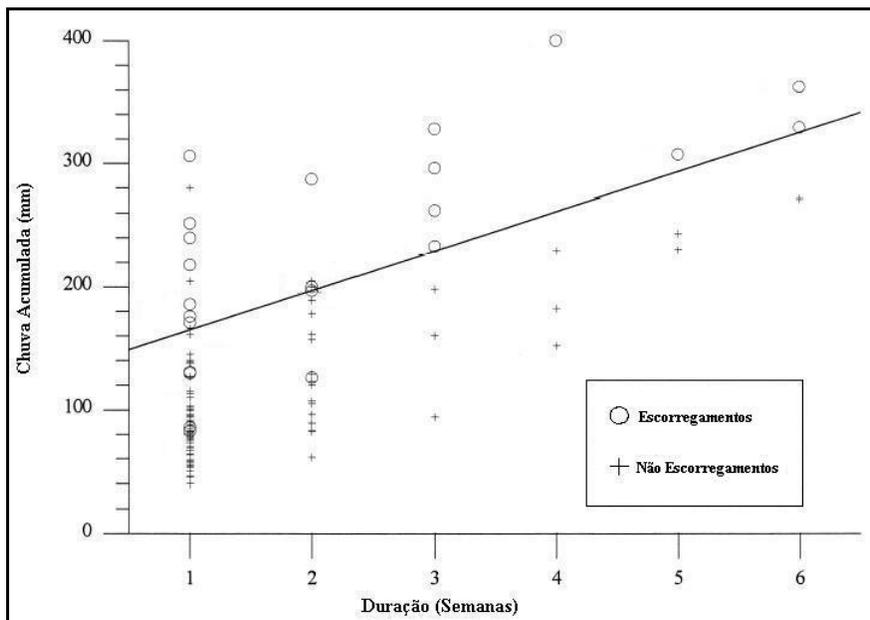


Figura 2. 9 – Curva de Chuva Acumulada x Duração do Evento para Espanha. (Modificado de Corominas & Moya, 1999)

Fiorillo & Guadagno (2002) estudaram a relação entre chuvas e escorregamentos com dados do século passado em Ferrandina no sul da Itália. Eles utilizaram uma análise estatística – hidrológica para entender o papel da chuva na reativação dos escorregamentos. Os movimentos na região, normalmente dormentes (movimento inativo, mas que pode ser reativado por diversas causas), se tornavam ativos após um período de chuvas concentradas. Os autores (*op. cit*) utilizaram uma função de distribuição generalizada (GEV – Generalized Extreme Value) para analisar a relação entre o tempo de recorrência da chuva acumulada (1, 2, 5, 10, 30, 60, 90 e 120 dias) e a quantidade necessária para desencadear os movimentos de massa.

Outros autores também estudaram a correlação entre a precipitação e movimentos de massa, Flageollet *et al* (1999) estudaram os escorregamentos e as condições climáticas nos Alpes Franceses do Sul.

Quinta Ferreira *et al* (2005) analisaram a influência da precipitação na ocorrência de deslizamentos para a cidade de Coimbra. Os dados sobre os escorregamentos foram recolhidos a partir dos jornais da cidade, no período de 1864 a 2003. Os registros pluviométricos diários foram obtidos na própria cidade, considerando o valor das chuvas acumuladas dentro do ano hidrológico (1º de agosto a 31 de julho). Foram estudados os tipos de distribuição da precipitação, os tempos de recorrência das chuvas que causaram grandes escorregamentos e a relação entre a precipitação anterior com os escorregamentos. Os resultados encontrados foram que a curva de distribuição de frequências dos valores de precipitação acumulada no ano hidrológico se assemelha a uma distribuição normal e que os escorregamentos não estão diretamente relacionados à precipitação acumulada ao longo do ano hidrológico, e sim aos picos de intensidade pluviométrica.

No Brasil, Guidicini & Iwasa (1976) estudaram a ocorrência de movimentos de massa na Serra do Mar e Mantiqueira, Serra do Maranguape e Vale do Tubarão e os índices pluviométricos correspondentes. As conclusões assumidas foram: para precipitações acima de 250-300 mm há ocorrência sistemática de movimentos; precipitações acima de 20% da média anual tendem a deflagrar movimentos catastróficos e para precipitações acima de 12% da média anual tendem a saturar o substrato até um grau crítico, podendo a partir daí, deflagrar movimentos, independentes da acumulada de chuva anterior.

Os autores criaram ainda o conceito de coeficiente de ciclo, que representa a porcentagem da precipitação acumulada até a data do escorregamento em relação à média pluviométrica anual e o coeficiente de episódio, que determina a relação entre a precipitação do episódio e a média anual.

Algumas destas conclusões foram contestadas por Bonuccelli (1999), citando algumas limitações quanto à duração de cada evento chuvoso, as características geológicas e morfológicas diferentes para as áreas analisadas e ao tempo muito grande da acumulada de chuva, da ordem de meses.

Vargas (1971) e Costa Nunes *et. al.* (1983) estudaram a correlação entre a estabilidade de taludes e a intensidade de chuva. Os estudos foram baseados em observações de campo, sendo que os índices encontrados pelos autores, foram, respectivamente, 50 mm/h e 10 mm/15min. Estes índices foram determinados sem levar em consideração o histórico de pluviosidade e a época de sua ocorrência.

Tatizana *et al* (1987) analisaram a correlação entre chuvas e escorregamentos na Serra do Mar, município de Cubatão, a partir do estudo dos eventos de alta pluviosidade, da definição do número de dias anteriores que influenciaram efetivamente os escorregamentos, e da relação numérica entre a acumulada de chuva e intensidade horária para os casos de escorregamentos. Foram selecionados os eventos superiores a 100 mm em um dia, 150 mm em 2 dias e 200 mm em 3 dias, totalizando 35 eventos. Foram também considerados os dados pluviográficos de 7 dias anteriores e um dia posterior. Esses dados foram lançados em diagramas de dispersão para acumulados de 2, 3, 4 e 8 dias. Os 35 eventos selecionados também tiveram seus dados pluviográficos horários lançados em gráficos de acumulada e intensidade horária ao longo do tempo.

Os autores concluíram que a melhor dispersão de acumulada foi de 4 dias e que a análise da distribuição horária das chuvas é de extrema importância para explicar alguns pontos discorrentes do diagrama de 4 dias, estabelecendo uma função entre a intensidade horária e a acumulada da chuva, definida como: $I = 2603 \times AC^{-0,933}$, sendo I a intensidade horária (mm/h) e AC a acumulada de chuvas em 4 dias anteriores (mm).

Esta função foi denominada de envoltória de escorregamento. A partir desta envoltória, pode-se notar que, ao aumentar a saturação do solo, a intensidade da precipitação

suficiente para deflagrar os escorregamentos diminui. A Figura 2. 10 mostra o gráfico obtido por Tatizana *et al* (1987).

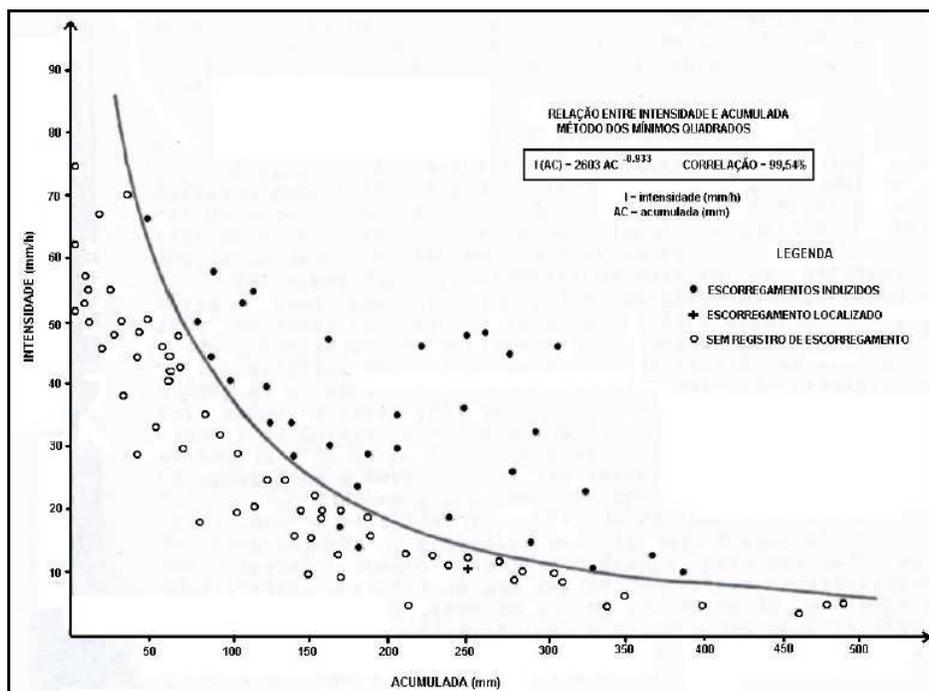


Figura 2. 10 – Gráfico da Envoltória de Escorregamentos induzidos para Serra do Mar (modificado de Tatizana *et al.*, 1987)

Elbachá *et al* (1992) desenvolveram um estudo semelhante ao de Tatizana *et al* (1987) para a cidade de Salvador, Bahia. O estudo da correlação entre precipitação e escorregamento foi realizado em dois níveis, sendo no primeiro relacionando precipitação diária e escorregamentos e no segundo relacionando os escorregamentos à precipitação horária. Os autores concluíram que não foi possível definir um valor limite para precipitação que provoca um desencadeamento dos escorregamentos, porém a faixa de sua ocorrência é entre 0 a 150 mm. O número de dias de chuvas que apresenta influência nos escorregamentos é de 4 dias acumulados, sendo encontrada a seguinte equação para a envoltória de escorregamento: $I = 1873,06 \times AC^{-1,258}$.

Almeida *et al* (1993) realizou o estudo de correlação da pluviosidade e escorregamentos no município de Petrópolis, RJ. Para as análises foram coletados 1131 ocorrências de escorregamentos e classificados em cinco tipos, de acordo com o número de ocorrência para um mesmo episódio de chuvas.

Foi feita uma abordagem da ocorrência de escorregamentos por década, chegando-se à conclusão de que houve alteração ao longo das décadas de 40 a 70, tais como o aumento

do número de escorregamento, diminuição dos valores de intensidade pluviométrica suficientes para deflagrarem os escorregamentos e desordem na distribuição dos escorregamentos.

Para determinar o melhor período de acumulada de chuvas para o desencadeamento de escorregamentos foram confrontados períodos de acumulada de chuvas de 1 a 5 dias, utilizando uma análise probabilística de ocorrência dos eventos. O melhor resultado de acumulada foi de 4 dias, cujo gráfico não apresentou nenhuma incoerência nas curvas. Foram definidos os seguintes itens para a análise de correlação entre chuvas e escorregamentos: período de análise (1976 a 1989); período de chuvas acumuladas (4 dias); tipo de abordagem (probabilística); dois postos pluviométricos (Itamarati e Petrópolis) com coleta dos dados de episódios de chuvas superiores a 30 mm em 4 dias acusados em qualquer um dos dois postos e tipo de evento (sem escorregamento e qualquer dos 5 tipos). Adotaram-se faixas de pluviosidade de 10 mm variando de 0 a 230 mm.

Foram encontrados os valores de probabilidade de escorregamentos e estabelecidos três estados de alerta ao risco de escorregamento:

- Estado 1: caracteriza-se por risco a escorregamentos isolados, em regiões mais susceptíveis a escorregamentos. É ativado quando a acumulada de chuvas alcança 40 mm no posto Petrópolis e 30 mm no posto Itamarati.
- Estado 2: caracterizado por ser um estado preparatório para eventos de maior porte. Acumuladas de 90 mm para o posto Petrópolis e 60 mm para o Itamarati.
- Estado 3: caracterizado pela existência de risco de eventos de maior porte, com possibilidades de eventos catastróficos. Ativado para acumuladas de 150 mm no posto Petrópolis e 130 mm para o posto do Itamarati.

Xavier (1996) estudou os aspectos geográficos dos escorregamentos em Belo Horizonte (MG), no período entre 1990 a 1995. Também foi realizada uma análise em que o autor demonstrou que os escorregamentos ocorrem com maior frequência nos meses de maior pluviometria (período de outubro a março). O autor concluiu que quando os volumes de chuva superam 30 mm em 24 horas a suscetibilidade ao escorregamento aumenta e é ainda maior quando ocorrem 50 mm em 48 horas.

O município do Rio de Janeiro implantou o Sistema de Alerta Rio, para a prevenção dos acidentes relacionados aos movimentos de massa. Para a adoção de níveis pluviométricos capazes de deflagrar os movimentos, a GEORIO baseou-se no trabalho desenvolvido por D’Orsi *et al* (1997).

Os critérios empíricos adotados para os níveis de precipitação acumulada de quatro dias que podem deflagrar os escorregamentos consideravam as taxas de precipitação diária e horária, sendo adotado como nível máximo de precipitação horária o valor de 50 mm. A proposta de D’Orsi *et al.* (op. cit.) difere do trabalho apresentado por Tatizana *et al.* (1987), no sentido de que o valor da chuva acumulada durante as 96 horas anteriores são consideradas até o tempo atual. No trabalho de Tatizana *et al.* (op.cit.) a precipitação da hora atual é excluída.

D’Orsi *et.al.* (2000) utilizaram dados do Sistema Alerta Rio adquiridos através de laudos e vistorias técnicas efetuadas pelos técnicos da GEORIO para diversos estudos. Como o Sistema Alerta Rio tem uma rede de pluviômetros extensa, no total de 30, houve a necessidade de se criar critérios para identificar o início e o final de um evento pluviométrico para a realização dos estudos planejados. Os critérios adotados pela GEORIO para a definição desses eventos estão apresentados na Tabela 2. 6.

Tabela 2. 6 – Critérios de identificação de evento pluviométrico adotado pela GEORIO (Feijó *et.al.*, 2001)

Início de um evento pluviométrico (ocorrência de pelo menos uma das situações ao lado)	Horário a partir do qual, no mínimo, 20 estações pluviométricas registram pelo menos 5,0 mm/h.
	Horário a partir do qual, no mínimo, 10 estações pluviométricas registram pelo menos 15,0 mm/h ou 52,5 mm/24h.
	Horário a partir do qual, no mínimo, 3 estações pluviométricas registram pelo menos 25,0 mm/h ou 87,5 mm/24h.
	Horário a partir do qual, no mínimo, 2 estações pluviométricas registram pelo menos 30,0 mm/h ou 105,0 mm/24h.
	Horário a partir do qual, no mínimo, 1 estação pluviométrica registra pelo menos 37,5 mm/h ou 131,0 mm/24h.
Fim de um evento pluviométrico	Horário a partir do qual todas as estações pluviométricas registram menos de 2,0 mm/h ou 8,8 mm/24h.
Mínimo intervalo de tempo entre 2 eventos pluviométricos	Mínimo de 12 horas, nas quais todas as estações pluviométricas devem satisfazer o critério de “Fim de um evento pluviométrico”.

Em seu trabalho, D’Orsi *et al.* (2000) realizou uma investigação da correlação entre chuva e escorregamento com os novos dados de 1998 e 1999, para a cidade do Rio de Janeiro. Para esses estudos estabeleceram quatro categorias de eventos de chuva, baseados na quantidade de eventos ocorridos. Esta divisão se apresenta na Tabela 2. 7.

Tabela 2. 7 – Definição de classes para eventos de chuvas (D’Orsi *et al.*, 2000)

Categoria do Evento de Chuva	Número de Acidentes Geotécnicos
Fraco	Até 25
Moderado	25 a 125
Forte	125 a 250
Catastrófico	> que 250

Foram plotados dois gráficos das chuvas horária e diária pela chuva acumulada de 96 horas (incluindo a chuva do instante do acidente), diferenciando os eventos de acordo com as classes apresentadas na Tabela 2. 7. As Figura 2. 11 e Figura 2. 12 mostram estes gráficos.

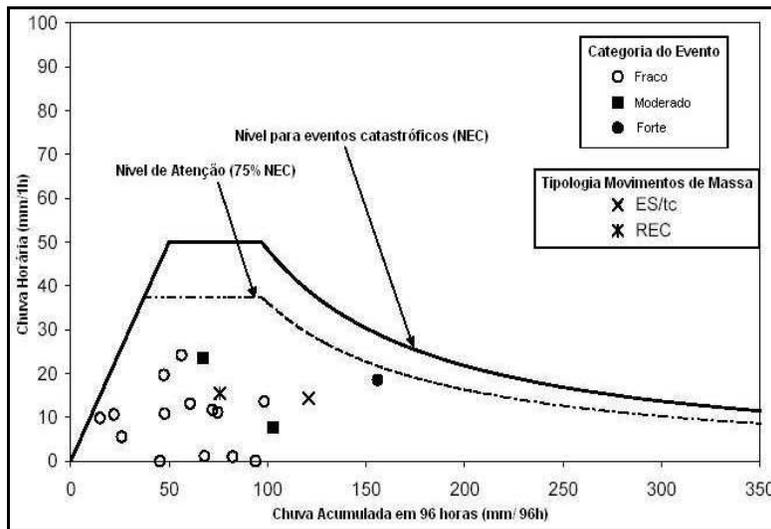


Figura 2. 11 – Gráfico da Chuva horária pela chuva acumulada de 96 horas (modificado de D’Orsi *et al.*, 2000)

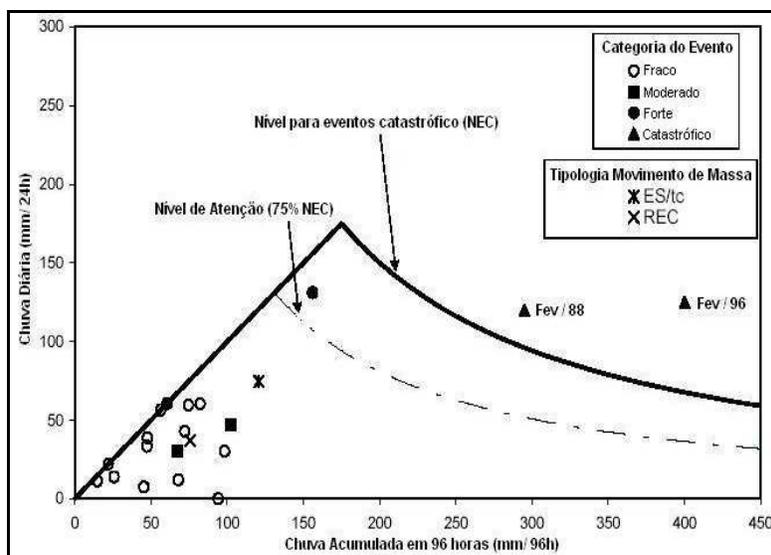


Figura 2. 12 – Gráfico da Chuva diária pela chuva acumulada de 96 horas (modificado de D’Orsi *et al.*, 2000)

D’Orsi *et al.* (2000) concluíram, através de análise dos gráficos, que os acidentes mais freqüentes são os classificados como fracos. Para as tipologias mais recorrentes (escorregamentos de solo em taludes de corte e ruptura de estrutura de contenção) os valores de pluviosidade críticos que podem deflagrar esses movimentos são baixos. Ainda baseados na análise desses gráficos, a GEORIO alterou o nível crítico para chuva diária, antes estabelecido em 117 mm/24h (D’Orsi *et al.*, 1997), para 175 mm/24h. O nível de chuva horária foi mantido o mesmo.

No ano seguinte, 2001, Feijó *et al.* realizaram um novo estudo, também baseado nos dados do Alerta Rio, para identificar as áreas com maior probabilidade de ocorrência de movimentos de massa, a tipologia mais freqüente e os índices críticos de precipitação que deflagram esses movimentos. O trabalho utilizou 542 laudos técnicos provenientes das vistorias de campo executadas pela Fundação GEORIO entre 1998 a 2000, em diversos tipos de movimentos de massa ocorridos no município do Rio de Janeiro. Os acidentes geotécnicos que apresentaram maior incidência foram os escorregamentos de solo em talude de corte, ruptura de estruturas de contenção e escorregamentos de lixo e entulho, que juntos somaram 70,3% dos registros. Nos estudos de correlação entre os registros de movimentos de massa e a pluviosidade, os autores apresentaram a relação do nível pluviométrico para cada tipo de ocorrência e para cada bacia. Os níveis médios encontrados para o município do Rio de Janeiro foram de 26,1 mm/h, 67,6 mm/24h e 99,6 mm/96h. Para as diversas tipologias, os níveis estão apresentados na Figura 2. 13.

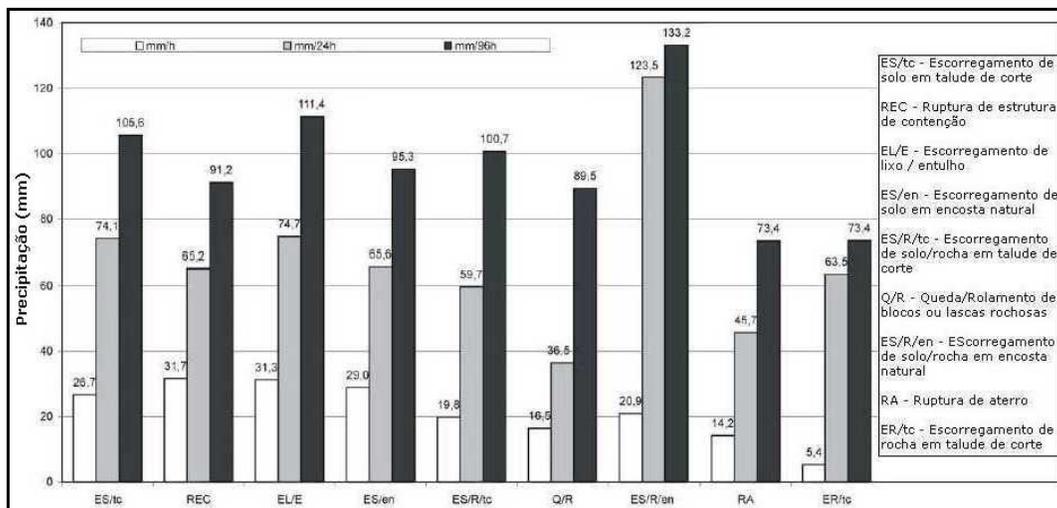


Figura 2. 13 – Correlação chuva x tipologia de acidentes geotécnicos (Modificado de Feijó *et al.*, 2001)

Alheiros *et al.* (2003) descrevem a relação entre a precipitação e a instabilidade de encostas nos morros de Olinda, elaborada a partir do monitoramento, no período de 1985 e 1986. Foi estabelecido um parâmetro para definir esta relação:

$$R = P_{ac} \cdot I_i$$

Onde: R = Relação entre os níveis piezométricos e a precipitação (mm²)

P_{ac} = Precipitação acumulada desde o início da estação chuvosa (mm)

I_i = Intensidade da chuva em 24 horas (mm).

O valor limite para R, que corresponde ao início para a ocorrência de escorregamento, encontrado foi de 60.000 mm². Este valor representa o nível d'água máximo suportado, em condições de estabilidade. O acompanhamento dos níveis piezométricos pode onerar os custos deste método, tornando-o impraticável em certas localidades.

Salaroli (2003), utilizando a metodologia proposta por Tatizana *et al* (1987), estudou a correlação entre precipitação e movimentos de massa para o município de Vitória / ES no período de 1999 a 2001. A associação dos movimentos de massa com a precipitação diária foi realizada separando-se os registros de ocorrência que contém a data exata do movimento de massa e identificando os níveis de precipitação correspondentes à data do movimento de massa, juntamente com o histórico de chuvas equivalente ao período de sete dias anteriores.

Na primeira etapa do estudo de Salaroli (2003), os registros das ocorrências foram separados em grupos de acordo com o episódio de chuva, definido pelo IPT (1991) como sendo um evento único de chuva caracterizado por um fenômeno meteorológico definido, que apresenta uma duração, podendo ser um dia até vários dias e uma intensidade em mm, ou seja, episódio de chuva sem interrupção. Foi criado um histórico de chuvas acumuladas de sete dias anteriores às ocorrências, e a soma dos dias de chuva sem interrupção. As conclusões obtidas através de gráficos correlacionando os valores de precipitação e os movimentos de massa foram de que as chuvas contínuas (sem interrupção) acima de 106,9 mm parecem capazes de desencadear movimentos de massa, a menos que ela seja dispersa por vários dias, e de que abaixo desta faixa de 106,9 mm, as chuvas podem ou não desencadear os movimentos. Na etapa seguinte, foi definido o número de dias de chuva que influencia os movimentos de massa. O diagrama de quatro dias de acumulada foi o que apresentou os melhores resultados. Como resultado final de seu estudo, Salaroli (*op. cit*) encontrou valores para níveis de

controle para o desencadeamento dos movimentos de massa. Esses níveis foram divididos em três classes como mostra a Tabela 2. 8.

Tabela 2. 8 – Níveis e ações do plano de monitoramento proposto (Salaroli, 2003)

Classe	Índice 4 dias (mm)	Nível do Plano	Ações
Classe 1	0,0 – 36,0 mm	Observação	Acompanhamento dos índices pluviométricos e da previsão meteorológica
Classe 2	36,0 – 86,7 mm	Atenção	Vistorias de campo nas áreas de risco anteriormente identificadas
Classe 3	Acima de 86,7 mm	Alerta	Remoção preventiva da população instalada nas áreas de risco iminente, indicadas pelas vistorias de campo.

Vieira (2004) estudou os aspectos naturais e sociais de áreas que ocorrem muitos deslizamentos na região de Blumenau / SC. Em seu trabalho também concluiu que as chuvas acumuladas de três a quatro dias possuem uma tendência maior na influência dos escorregamentos. Estes geralmente ocorrem entre os meses de março e outubro.

Ide (2005) realizou um trabalho de correlação entre escorregamento, meteorologia e precipitação para Campinas / SP. Em seu trabalho foi proposta uma metodologia para investigações dos aspectos meteorológicos mais favoráveis à deflagração dos movimentos de massa e da correlação chuva-escorregamento.

Na Tabela 2. 9 é apresentada a descrição das etapas propostas por Ide (*op. cit*) para a correlação entre os aspectos meteorológicos e os movimentos de massa. A Figura 2. 14 mostra o fluxograma apresentado em seu trabalho, identificando a seqüência dos estudos e a interdependência entre as etapas.

Tabela 2. 9– Etapas da metodologia proposta por Ide (2005)

Etapas	Procedimento	Descrição
1	Planejamento	Definição da área de estudo e coleta de dados preliminares.
2	Levantamento de informações de escorregamento	Período da coleta, pré-filtragem, informações na Defesa Civil e / ou mídia.
3	Levantamento de informações meteorológicas	Período de coleta coincidente com os dados de escorregamentos, verificar a confiabilidade dos dados.
4	Filtragem	Eliminação dos casos não ligados à precipitação.
5	Diagnóstico meteorológico	Identificação do sistema meteorológico vigente.
6	Caracterização da precipitação	Caracterização do tipo de regime pluviométrico e do processo de instabilização de massa
7	Circulação Atmosférica	Caracterização dos cenários meteorológicos mais favoráveis ao processo na região.
8	Relação entre a precipitação e os escorregamentos	Correlação numérica da precipitação com os escorregamentos.

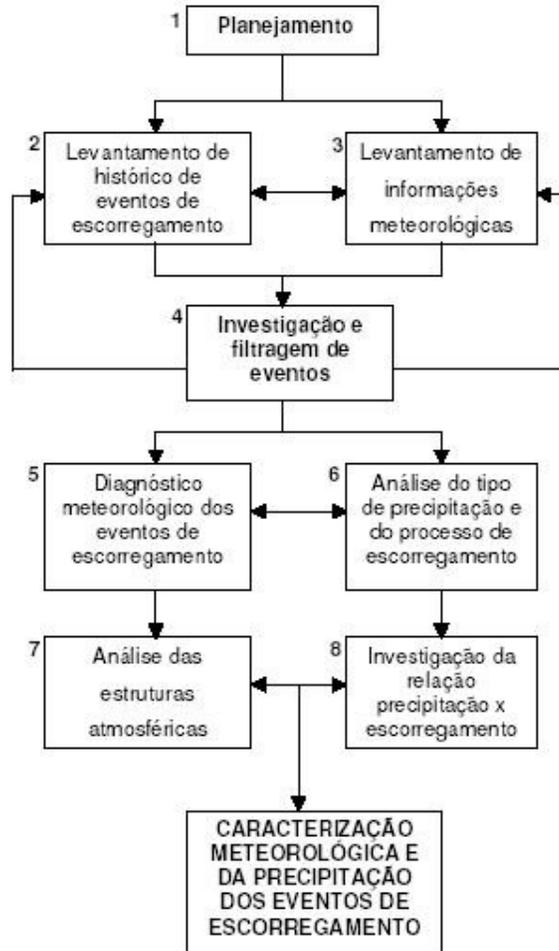


Figura 2. 14 – Fluxograma para investigação dos aspectos meteorológicos e os escorregamentos (Ide, 2005)

Ide (2005) aplicou o roteiro proposto em Campinas / SP, com dados de 1997 a 2004, seguindo todas as etapas descritas anteriormente. O resultado da correlação entre a precipitação e os escorregamentos foi realizado com os dados diários devido à ausência de dados de intensidade pluviométrica. O valor encontrado para os dias de chuva antecedente foi de 50 mm em 7 dias. No entanto, segundo a autora, os resultados não foram satisfatórios. Como forma para melhorar os resultados, os dados foram separados segundo a litologia local. Os novos resultados foram mais satisfatórios, apresentando novamente o melhor resultado para 7 dias de chuva acumulada com 78 mm de precipitação.

Para ilustrar melhor todos os trabalhos já realizados correlacionando chuva com escorregamentos, na Tabela 2. 10 mostra os principais trabalhos internacionais sobre o tema, com seus respectivos resultados. Na Tabela 2. 11 apresenta-se os trabalhos nacionais já realizados.

Tabela 2. 10– Resumos de pesquisas internacionais realizadas sobre chuva e escorregamento (Ide, 2005)

Autor e ano	Local	Característica associada a escorregamento
Endo, 1970	Hokkaido	Limite de 200 mm/dia
Campbel, 1975	Los Angeles	Limite de 262 mm/evento de chuva
Nielsen et al., 1976	Alameda Country, Califórnia	Limite de 180 mm/ evento de chuva
Govi, 1976	Bacino Padano, Itália	Limite de 100 mm/3 dias
Eyles, 1979	Wellington City, Nova Zelândia	Limite de 50-90 mm/evento de chuva. Escorregamentos de grande porte com 100 mm/evento de chuva.
Brand <i>et al.</i> , 1984	Hong Kong	Limite de 100 mm/24 horas 70 mm /hora
Kay e Chen, 1995	Hong Kong	Relação: $d = (180-h)/s$ Onde d é a chuva diária (mm), h é a chuva horária (mm) e s é o coeficiente de inclinação da reta que limita as zonas de probabilidade de ocorrência de escorregamento
Finlay <i>et al.</i> , 1997	Hong Kong	Boa relação com chuva de 1 a 12 horas anteriores. Limite de 8 a 17 mm /hora
Zêzere et al., 2003	Lisboa, Portugal	Limite de 220 mm/15 dias para escorregamentos de pequeno porte/ translacionais rasos Limite de 130 mm/dia para escorregamentos múltiplos translacionais Limite de 459 mm/40 dias a 690 mm/75 dias (chuvas prolongadas) para movimentos de massa profundos

Tabela 2. 11– Resumos de pesquisas nacionais realizadas sobre chuva e escorregamento (Modificado de Ide, 2005)

Autor e ano	Local	Característica da precipitação associada ao escorregamento
Guidicini e Iwasa, 1977	Costa Ocidental, Brasil	Limite de 8 a 17% de pluviosidade anual. Com 20% da pluviosidade anual, desenvolvem-se fenômenos catastróficos.
Tatizana et al., 1987	Serra do Mar, Brasil	Boa relação com precipitação acumulada de 4 dias; $I (AC) = 2.603 Ac - 0.933$ I = intensidade da precipitação, Ac = precipitação acumulada de 4 dias
Elbachá et al., 1992	Salvador, Bahia	Limite indicativo de 120 mm/ 4 dias.
Xavier, 1996	Belo Horizonte, Minas Gerais	Limite de 30 mm/24 horas e 50 mm em 48 horas.
GEO-RIO, 2000	Rio de Janeiro, Rio de Janeiro	Boa relação com chuva acumulada de 4 dias.
Alheiros, 2003	Olinda, Pernambuco	Maior chance de instabilidade de massa para $R > 60.000 \text{ mm}^2$ sendo: $R = P_{ac} \cdot I$ I = intensidade da chuva P_{ac} = precipitação acumulada desde o início da estação chuvosa
Salaroli, 2003	Vitória, Espírito Santo	36,00 mm para nível de Atenção. 87,5 mm para nível de Alerta.
Vieira, 2004	Blumenau, Santa Catarina	Boa relação com chuva acumulada de 3 a 4 dias, somando em torno de 50 mm.
Ide, 2005	Campinas, São Paulo	78,0 mm para 7 dias de acumulada.

3. METODOLOGIA

3.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresenta-se a metodologia empregada neste trabalho para a investigação da correlação entre chuva e movimentos de massa. Este capítulo consiste de uma explanação ordenada dos procedimentos adotados desde a aquisição dos dados, tratamento e a interpretação dos resultados. Este estudo foi desenvolvido em três etapas, apresentadas a seguir.

- Fase de pesquisa bibliográfica e inventário de dados – Levantamento do material técnico bibliográfico e cartográfico existente sobre a área. Levantamento dos dados sobre os movimentos de massa e dos dados pluviométricos, sendo criado um cadastro.
- Fase de análise dos dados – Reconhecimento da área alvo, verificação e mapeamento no campo dos movimentos cadastrados. Análise temporal das ocorrências correlacionando-as com as condições de chuvas diárias e acumuladas.
- Elaboração dos produtos finais – Interpretação final dos dados. Delimitação das áreas mais afetadas segundo o número de movimentos de massa e a quantidade de chuva necessária para a sua deflagração. Elaboração de carta com zoneamento dos movimentos de massa. Proposições de medidas preventivas e ações que dêem base para a implantação de um plano de Defesa Civil.

As etapas podem ser visualizadas no fluxograma da Tabela 2. 1. Cada etapa será descrita com detalhes nos itens seguintes.

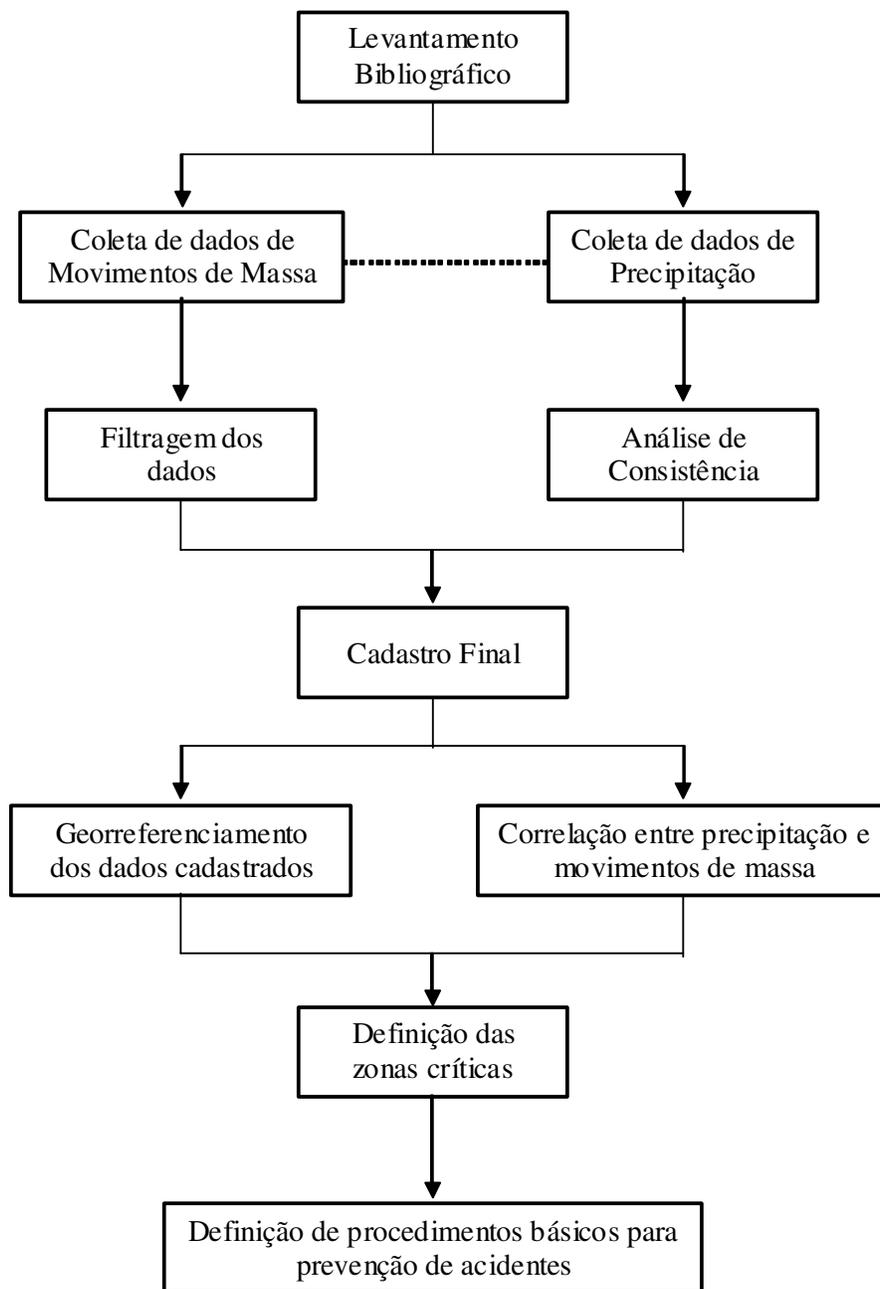


Figura 3. 1- Fluxograma das etapas do trabalho

3.2 - COLETA DE DADOS

O levantamento de dados dos movimentos de massa e da pluviosidade ocorreram de forma a coincidir as datas e os locais, devido à interdependência entre esses dados. O período de estudo do trabalho compreendeu entre 1988 a 2004, portanto foi importante a coleta dos dados tanto de precipitação quanto de movimentos de massa dentro desse período.

A coleta destes dados foi dividida em duas partes. A primeira consistiu na compilação dos dados contidos na tese de doutorado da Prof^a. Teresinha Bonuccelli (1999). Neste trabalho a autora elaborou um cadastro referente tanto às ocorrências de movimentos de massa registrados pelo Corpo de Bombeiros de Ouro Preto, quanto dos dados de precipitação cedidos pela indústria local Alcan, hoje denominada Novelis, entre os anos de 1988 a 1998.

A segunda parte da pesquisa consistiu no complemento do cadastro de Bonuccelli (*op.cit.*) até o ano de 2004, tanto dos dados de movimentos de massa quanto os dados pluviométricos.

3.2.1 - Dados dos Movimentos de Massa

O levantamento dos dados realizado por Bonuccelli (1999), para os movimentos de massa através das ocorrências atendidas pelo Corpo de Bombeiros de Ouro Preto, teve como objetivo subsidiar as análises do estado de atividade dos processos, dos danos materiais e pessoais decorrentes, da relação entre chuvas e deflagração dos processos. O início do cadastro de escorregamentos em 1988 se deve a não existência de registro das ocorrências anteriores a esta data pelo Batalhão do Corpo de Bombeiros.

O objetivo deste trabalho se difere do trabalho de Bonuccelli, mas os procedimentos para o cadastramento das ocorrências foram os mesmos, podendo assim dar continuidade e favorecer a utilização do cadastro já existente. A coleta dos dados para o cadastro seguiu os seguintes procedimentos:

- Levantamento das ocorrências atendidas pelo Corpo de Bombeiros de Ouro Preto, selecionando apenas aquelas relacionadas a movimentos de massa e erosões;
- Verificação das datas e locais das ocorrências para certificação que foram atendidas na área urbana de Ouro Preto;
- Arquivamento das informações levantadas, tanto do trabalho de Bonuccelli quanto do Corpo de Bombeiros, em uma planilha Excel.

Foi realizada uma triagem inicial na pesquisa das ocorrências, evitando assim os acidentes não relacionados diretamente à precipitação. Quando identificados, os casos em que o rompimento se dera por falhas na construção civil, rompimento de tubulações

de água e esgoto, escavação ou cortes inadequados do terreno, entre outros, a ocorrência era excluída.

Foram realizadas visitas de campo para o reconhecimento da área atingida pelos acidentes geotécnicos, confirmando-o e realizando o seu mapeamento em um mapa viário do município, cedido pela prefeitura. O objetivo deste mapeamento é o complemento do mapa já existente de Bonuccelli (1999), permitindo a delimitação das áreas de risco.

O número de movimentos de massa que ocorreram no período da pesquisa, provavelmente é maior do que os cadastrados. Isto se deve ao fato de que os bombeiros são chamados pela população, para atender as áreas habitadas. Na área urbana de Ouro Preto existem lugares não habitados, onde ocorrem movimentos, mas estes não atingem moradias. Assim o Corpo de Bombeiros não é chamado para registrar a ocorrência.

Por atender uma extensa área na região de Ouro Preto, Mariana, Itabirito, Ponte Nova, entre outras cidades menores, a solicitação ao Corpo de Bombeiros pode ser atendida no dia posterior ao ocorrido. Porém, nas ocorrências não se consegue identificar esta falha. Podem ocorrer casos em que os próprios moradores só solicitam a vistoria no dia seguinte da ocorrência.

Outra dificuldade na coleta dos dados é entender qual o fenômeno que realmente ocorreu através do boletim de ocorrência, devido aos termos utilizados serem muitas vezes confusos e generalizados. A utilização de termos populares pode tornar confusa a identificação da tipologia do movimento de massa. A confiabilidade dos dados fica restrita à interpretação desses boletins de ocorrências.

No cadastro de Bonuccelli, além dos registros de escorregamentos, erosões e inundações, foram considerados também alguns registros de possibilidade de ocorrência. Como não há informações suficientes para entender a gravidade deste problema, estas ocorrências foram excluídas do cadastro final. Na captação das ocorrências do Corpo de Bombeiros para atualização do cadastro, também não foram considerados esses tipos de ocorrência.

O cadastro final foi criado em um banco de dados em planilha EXCEL, armazenando e ordenando os dados. No cadastro constam a data da ocorrência, endereço (logradouro e

bairro), morador da residência e o tipo de processo. O armazenamento e o ordenamento seguiram o padrão definido por Bonuccelli (1999).

Para a correlação entre pluviosidade e movimentos de massa, os escorregamentos apresentaram melhores resultados. Isto se deve pelo maior número de ocorrências e pela maior influência da precipitação na deflagração destes.

A bibliografia existente, sobre este assunto, aconselha a procurar nos meios de comunicação, em jornais e revistas locais, as notícias de escorregamentos, para apurar maiores detalhes como o horário e tipos de perdas ocorridas no geotécnico. No caso de Ouro Preto não foi possível essa busca devido à falta de jornais e fontes confiáveis na cidade. A única fonte segura foi o cadastro de ocorrências do Corpo de Bombeiros.

Deste modo, o cadastro utilizado para as análises incluiu somente os escorregamentos e estes não puderam ser analisados a partir de horários da ocorrência, mas somente pelo dia em que foi feito o boletim do Corpo de Bombeiros, isto porque na ocorrência não se menciona o horário exato do acidente.

3.2.2 - Dados da Precipitação

Os dados de precipitação devem ser considerados de forma que sejam representativos para toda a área em estudo. O mais apropriado é que se tenha uma rede de pluviômetros na cidade para captar as leituras em vários pontos distintos.

Em Ouro Preto não há essa disponibilidade de uma rede de pluviômetros nos pontos mais críticos. Há alguns anos atrás, existia uma estação meteorológica administrada pelo INMET, implantada no Campus do CEFET OP. Esta estação foi desativada em 1º de janeiro de 1993.

A opção de aquisição dos dados de pluviosidade para Ouro Preto foi da estação meteorológica da Indústria Novelis, situada no Bairro Saramenha em Ouro Preto. Os dados de pluviosidade disponíveis nesta estação nos foram gentilmente cedidos para a continuidade da pesquisa. As leituras realizadas nesta estação são provenientes de um pluviômetro, onde as leituras são realizadas diariamente pela manhã, coletando o valor da chuva do dia anterior. Portanto não há dados horários de precipitação para as análises de correlação com movimentos de massa.

Semelhante ao cadastro de movimentos de massa, os dados das precipitações também foram compilados do trabalho de Bonuccelli (1999) de 1988 até o ano de 1992 e completado com dados fornecidos pela Novelis até 2004.

Para as análises, o período dos dados pluviométricos coletados foi idêntico aos dados do cadastro de movimentos de massa. A série final do cadastro pluviométrico elaborado foi de 1988 a 2004, e para esta série foram calculadas as médias diárias, mensais e anuais para Ouro Preto.

Baseado no cadastro final dos escorregamentos procedeu-se ao cruzamento das informações dos escorregamentos com a precipitação, sendo então determinado o período de chuvas. Como a maioria dos escorregamentos ocorreu entre outubro e março, o período de dados pluviométricos também foi este.

Para os estudos de correlação, é importante saber os valores das chuvas acumuladas nos dias anteriores. A partir da planilha EXCEL foram calculadas as chuvas acumuladas de 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25 e 30 dias.

Para verificar se os dados pluviométricos coletados na Estação da Novelis (bairro Saramenha) são homogêneos, ou seja, podem ser utilizados em todo o território da cidade, foi realizada uma análise de consistência dos dados.

Para esta análise, procuraram-se outros dados da região que poderiam ser comparados aos dados da Estação da Novelis. Como não existe nenhum outro ponto de medição de chuva na área urbana de Ouro Preto, foi necessária a procura por outros locais mais distantes. O local onde há um posto pluviométrico mais próximo de Ouro Preto foi a Barragem do Germano da Samarco Minerações S/A, onde há leituras diárias das chuvas.

Como os dados da Samarco são mais recentes, a partir de 1995, a análise de consistência só pode ser feita a partir deste ano até 2004. Para uma maior confiabilidade, foi necessário à procura dos dados da antiga Estação Meteorológica de Ouro Preto do INMET. Os dados resgatados do INMET foram dos anos de 1989 a 1992.

A análise de consistência foi realizada em duas partes: a primeira comparando-se os dados da Novelis com os dados do INMET, de 1989 a 1992, e a segunda comparando-se os dados da Novelis com os da Samarco, no período de 1995 a 2004.

3.3 - ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Ao iniciar uma análise de consistência existe a necessidade da verificação dos dados que se deseja consistir, no sentido de corrigir falhas e/ou erros de leitura ou digitação. Os dados do INMET possuíam muitas falhas, sendo alguns meses sem leitura em nenhum dia. Os dados da Samarco possuíam poucas falhas em alguns dias esparsos.

Para corrigir estas falhas seria necessário estudo mais aprofundado, o que não é escopo deste trabalho. Como as precipitações diárias tanto do INMET quanto da Samarco não se correlacionam bem com os dados diários da Novelis, para a devida correção, foram excluídas as leituras da Novelis dos dias com falha do INMET e da Samarco.

Para o primeiro estudo, da Novelis com o INMET, foi considerado os seguintes períodos: 1989, 1990 (exceto de outubro a dezembro), 1991 (setembro a novembro) e 1992 (março e abril) para comparação dos dados diários de pluviosidade.

Foram elaborados gráficos para comparação das médias mensais para avaliar se a tendência é a mesma. Neste gráfico foram consideradas as médias mensais dos dados da Novelis somente no mesmo período em que existiam dados do INMET.

Em um segundo gráfico analisou-se a correlação entre as médias mensais, dos dois pontos de coleta, para se conhecer a relação entre esses valores coletados em locais diferentes. A correlação será satisfatória se o R^2 da curva de tendência adicionada aos pontos se aproximar do valor unitário.

Para a comparação com os dados da Samarco, os períodos considerados foram: 1996, 1997, 2001, 2002 e 2003 para leituras diárias das chuvas. No período de 1995 a 2004 obtiveram-se apenas as médias mensais de chuva.

Para os dados da Samarco foram elaborados os mesmos gráficos da análise do INMET, porém foram realizadas duas comparações para cada gráfico. Uma comparação considerando somente as médias mensais dos dados diários e a outra considerando o período em que possui somente os dados das médias mensais.

3.4 - GEORREFERENCIAMENTO DOS DADOS DOS MOVIMENTOS

Atualmente, o mapeamento das áreas de riscos geológicos é um importante meio de gestão territorial e ambiental, sendo aplicado como um mecanismo de prevenção aos acidentes geológicos (Gomes, 2005).

O geoprocessamento tornou-se uma ferramenta importante na análise de atributos do meio físico. Com a elaboração da Carta de Risco a Movimentos de Massa de Ouro Preto pôde ser visualizada a real situação de perigo da população que habita nos locais mais susceptíveis aos movimentos.

Para a elaboração desta Carta de Risco, foi necessária a criação de uma base cartográfica digital da área urbana de Ouro Preto, juntamente com a elaboração de um sistema de informações geográficas utilizando recursos de geoprocessamento. Este desenvolvimento cartográfico foi elaborado por Gomes (2005).

Esta base cartográfica da área urbana de Ouro Preto, obtida a partir do mapa viário da cidade, foi georreferenciada, sendo posteriormente feita à locação das ocorrências dos movimentos de massa cadastrados. A partir disto, foram realizadas análises temporais das ocorrências dos movimentos.

Segundo Gomes (2005), a primeira etapa da produção das bases cartográficas consistiu no reconhecimento da área em estudo por meio de mapas produzidos anteriormente em outros trabalhos. O primeiro mapa inventariado foi o mapa topográfico da cidade de Ouro Preto, na escala 1:50.000, com as principais drenagens, as curvas de nível distanciadas de 20 em 20 metros e escorregamentos desde 1988 até 1998, extraído do trabalho de Bonuccelli (1999). Alguns outros mapas temáticos também serviram de base para a análise e síntese dos atributos do meio físico, como os mapas anexos ao trabalho de Carvalho (1982), Sobreira (1990) e Sobreira & Fonseca (2001).

O mapa cadastral de Ouro Preto, contendo o arruamento, edifícios, nomes das ruas, escolas, igrejas, dentre outros atributos foi gentilmente cedido pela Prefeitura Municipal. Foi necessária uma limpeza ou filtragem do mapa para torná-lo mais simples e somente com os atributos necessários. A limpeza foi feita retirando-se aqueles dados que não possuíam informações de interesse para a pesquisa.

O mesmo mapa cadastral da Prefeitura englobava todo o município de Ouro Preto, uma área bastante extensa. Foi necessário realizar um corte no mapa, demarcando somente a área urbana da cidade. Deste modo, foi obtido um novo mapa, somente da área urbana, que foi referenciado geograficamente.

O mapa topográfico da cidade de Ouro Preto do trabalho de Bonuccelli (1999), contendo os escorregamentos de 1988 a 1998, foi utilizado como base para a localização dos escorregamentos na cidade. Como em todo trabalho realizado em um SIG, foi necessário fazer o georreferenciamento da carta topográfica também para que a imagem deste mapa permanecesse exatamente sobreposta ao mapa cadastral cortado e georreferenciado.

Após o georreferenciamento dos dois mapas básicos para o trabalho, a etapa seguinte foi a digitalização, sobre o mapa cadastral, de todos os escorregamentos contidos no mapa topográfico, diferenciados de acordo com o ano em que ocorreram.

Após a digitalização das ocorrências cadastradas por Bonuccelli (1999), foi realizada a plotagem dos escorregamentos mais recentes (1998 a 2004), inseridos no cadastro de ocorrências neste trabalho. Para melhor visualização temporal dos escorregamentos digitalizados, eles foram separados por ano e analisada a evolução ao longo dos anos.

O software utilizado nesta pesquisa foi o Arc Map (versão 9.0). Este programa foi elaborado para fazer análise e tratamento de feições geográficas de uma maneira bastante didática, permitindo análises temporais e espaciais com rapidez e precisão (Gomes, 2005). Os mapas digitalizados foram exportados para o Arc Map, permitindo assim, trabalhar as ocorrências no espaço e no tempo.

Foram realizadas análises anuais dos escorregamentos, destacando os anos em que houve um maior número de registros durante o período estudado. Destacaram-se os locais mais afetados pelas ocorrências, os bairros mais críticos e quais as ruas mais problemáticas. Foram gerados mapas de Ouro Preto para cada ano em estudo, onde foram plotados as ocorrências. Desta forma, foi possível analisar a evolução dos escorregamentos pela cidade.

Em um mapa geral de Ouro Preto, foram plotados todos os escorregamentos do cadastro, de 1988 a 2004. Neste mapa foi possível visualizar as regiões em que as

condições são mais críticas, onde ocorrem mais escorregamentos. A partir deste mapa, foi realizado o zoneamento das áreas de maior incidência aos movimentos, portanto de maior risco.

3.5 - ZONEAMENTO DAS ÁREAS CRÍTICAS

O zoneamento das áreas críticas foi elaborado a partir do mapa onde foram locados todos os pontos de movimentos de massa do cadastro. Esse zoneamento diz respeito aos escorregamentos das encostas e, pelas condições em que o cadastro foi realizado, os pontos atingem somente as áreas urbanas ocupadas. Devido a isso poderá haver áreas, dentro da malha urbana, que tenham risco significativo de ocorrência de acidentes, mas por não estarem ocupadas, não foram incluídas neste mapa.

Outra ressalva em relação ao mapa refere-se aos tipos dos movimentos cadastrados, sendo eles escorregamentos, quedas e rolamento de blocos, erosões e inundações. No entanto, não houve distinção em relação aos tipos de movimentos em cada área zoneada. O rastejo, que é um tipo de movimento de massa, não foi inserido no banco de dados, mas ocorre em alguns pontos da cidade. Portanto algumas áreas que tem susceptibilidade ao rastejo não foram incluídas nas zonas de risco.

As zonas foram divididas em três áreas distintas: áreas de alto risco, áreas de risco médio e áreas de baixo risco. Na elaboração desta divisão foram estabelecidos alguns critérios para a definição destas áreas. Esses critérios estão relacionados à concentração de ocorrência registrado na região, às dimensões da área atingida e ao histórico das condições geológicas do local.

A concentração das ocorrências no local foi estipulada em relação ao número de pontos no local. Se houve muitos registros de ocorrências, a zona foi considerada como de alta concentração e se houve poucos registros a zona foi definida como de pequena concentração. As áreas que envolvem um grupo de ocorrências foram definidas como sendo grande ou pequena, de acordo com sua extensão.

Foram realizadas visitas ao campo onde ocorreram os registros de ocorrências dos movimentos. De acordo com essas visitas ao campo, foi possível aprimorar o conhecimento da região em relação aos seus aspectos gerais, tais como, o declive da encosta, a densidade de ocupação no local, qualidade do terreno e o nível das práticas

construtivas. Estes aspectos, juntamente com a Geologia, tiveram importância fundamental na classificação do zoneamento das áreas.

A divisão do zoneamento e as suas principais características estão na Tabela 3. 1.

Tabela 3. 1– Classificação do zoneamento das áreas críticas de Ouro Preto

Nível	Risco	Concentração	Área
1	Baixo	Pequena	Pequenas
2	Médio	Pequena	Grandes
3	Alto	Grande	Grandes

3.6 - CORRELAÇÃO ENTRE ESCORREGAMENTOS E PLUVIOSIDADE

Após os estudos iniciais, triagem dos dados de escorregamentos e análise de consistência dos dados pluviométricos, investigou-se a correlação entre a chuva e os escorregamentos. Esta correlação tem por objetivo estabelecer uma relação numérica entre os dois, sendo de grande utilidade para a previsão dos movimentos de massa e tendo aplicação direta nos planos de defesa civil dos municípios, através das previsões meteorológicas e acompanhamento dos índices pluviométricos.

O estudo de correlação consiste na comparação, através de diversos gráficos, entre os valores da precipitação que causaram escorregamentos e aqueles valores em que não causaram nenhum tipo de movimento.

Para os estudos dessa correlação, foram utilizados os dados de alguns anos específicos em que a quantidade de ocorrências de movimentos de massa foi mais significativa e em relação à gravidade dos acidentes ocorridos na época. Esses anos foram escolhidos de acordo com o período hidrológico (de outubro a março), para representar melhor o período chuvoso e as conseqüências das chuvas acumuladas. Portanto alguns períodos foram constituídos de dois anos, ou seja, o final de um ano juntamente com o início do ano seguinte. Esses anos são: 1989, 1991, 1992, 1995, 1996/1997, 2001/2002 e 2002/2003.

Inicialmente, foram estudados os dias de chuva acumulada que influencia nos movimentos de massa, sendo esta análise importante para verificar qual a quantidade de dias antecedentes que têm maior influência nos movimentos, isto é, a importância da saturação do solo no desencadeamento dos escorregamentos.

Posteriormente, tentou-se elaborar uma curva, semelhante à envoltória de Tatizana *et al.* (1987), para através desta fornecer uma relação numérica entre a chuva acumulada na quantidade de dias antecedentes aos escorregamentos, encontrado no item anterior, e a chuva ocorrida no dia da ocorrência.

3.6.1 - Quantidade de dias de chuva acumulada na deflagração dos escorregamentos

A verificação da quantidade de dias de chuvas acumuladas que influencia no desencadeamento dos escorregamentos consistiu na comparação dos valores das chuvas acumuladas que causaram ou não escorregamentos, através da construção de diagramas de dispersão.

Para melhorar os resultados, foram selecionados apenas os dados de escorregamentos no período chuvoso dos anos hidrológicos em que houve um número significativo de movimentos de massa. Portanto foram excluídos os registros em datas fora destes períodos, além dos dados em que houve escorregamentos sem registro de chuva no dia do ocorrido e nos dias antecedentes a ele ou ocorrências com chuvas abaixo de 3,0mm/24 horas.

Para os dados pluviométricos que não causaram escorregamentos, também foi necessário adotar restrições quanto ao período, para melhorar os resultados. O período foi considerado o mesmo adotado para os dados de escorregamentos, restringido somente aos períodos chuvosos.

Para a escolha do número de dias de acumulada que mais influencia nos escorregamentos, foram comparados os diagramas de dispersão para as chuvas acumuladas de 2 a 10 dias. Acima de 10 dias de acumulada, a análise não se mostra aplicável à finalidade do estudo, que é a previsão dos movimentos de massa. A análise consiste em definir o diagrama de menor número de dias que apresenta uma separação mais nítida dos pontos com e sem escorregamentos.

Para a elaboração desse diagrama, foram plotados os pontos com e sem escorregamentos pela data de sua ocorrência. Portanto, foram elaborados diagramas para cada período escolhido para se realizar as análises de correlação separadamente.

Através deste diagramas é possível estabelecer um valor limite da precipitação que inicia o processo de movimentação. Estes limites foram obtidos para cada período escolhido e no menor dia de chuva acumulada encontrada para definir a influencia na deflagração dos escorregamentos.

3.6.2 - Relação entre precipitação e escorregamentos

Para estudar a relação numérica entre as chuvas e os escorregamentos foi construído um gráfico, semelhante à envoltória de escorregamento. Este gráfico fornece uma equação que correlaciona a chuva acumulada com a chuva diária do dia da ocorrência, e pode ser usada como auxílio à prevenção aos acidentes.

A construção do gráfico tem por objetivo estudar os pontos em situações adversas, ou seja, aqueles dias em que ocorreu um baixo volume de chuva, mas houve movimentos e aqueles que com alto valor de chuva diária que não causaram escorregamentos.

Para a construção deste gráfico foram utilizados todos os dados de escorregamentos dos anos escolhidos para as análises, pois uma quantidade maior de dados proporciona um melhor ajuste para a curva. Foram utilizadas 270 ocorrências entre escorregamentos isolados ou generalizadas, sendo respectivamente, uma única ocorrência no dia e mais de uma ocorrência em um mesmo dia. Portanto, os 270 registros ocorreram em 87 datas distintas, considerando os anos de 1989, 1991, 1992, 1995, 1996, 1997 e 2001 a 2003, somente no período hidrológico.

O conhecimento prévio do resultado do melhor número de dias de chuva acumulada que influencia na deflagração dos escorregamentos é importante para a construção deste gráfico. Segundo Tatizana *et al.* (1987), a envoltória é obtida através dos dados horários da precipitação do local. Quando se têm estes dados, a curva é desenhada correlacionando o valor da chuva ocorrida na hora da ocorrência com a chuva acumulada em X dias (encontrados a partir dos diagramas de dispersão) até uma hora antes do horário do escorregamento.

Quando não existem dados pluviográficos (valores de intensidade horária da chuva) o gráfico pode ser construído com os valores diários da chuva, assim como no trabalho de Lumb (1975) e de Ide (2005). Para este tipo de gráfico, utiliza-se o valor da chuva em 24 horas correlacionando-o com a chuva acumulada em X dias, excluindo o valor da

precipitação do dia da ocorrência. Como em Ouro Preto, não há os dados horários das chuvas, o gráfico elaborado utilizou os dados diários.

Foram lançados todos os pontos com e sem escorregamentos no gráfico da chuva diária pela chuva acumulada, definindo uma curva que mostra a melhor separação desses pontos. A equação que melhor se ajusta a esta curva será a relação numérica entre essas duas variáveis. Para se obter a melhor curva com o melhor ajuste foi realizada várias tentativas.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Serão apresentados neste capítulo os dados e os resultados das análises realizadas ao longo deste trabalho.

4.1 - DADOS DO CADASTRO DE MOVIMENTOS DE MASSA

O cadastro final dos movimentos de massa consta das ocorrências de Bonuccelli (1999) acrescidas das ocorrências levantadas nesta pesquisa. Este cadastro, antes da triagem inicial, teve ao todo 662 ocorrências de diversos tipos de movimentos, entre escorregamentos, inundações, erosões, queda e rolamento de blocos, além de possibilidades de escorregamentos e inundações.

A triagem inicial foi realizada retirando-se as ocorrências relativas à inundação e possibilidade tanto de escorregamentos quanto de inundação. Restaram 422 ocorrências. Destas, foram retiradas aquelas em que o processo não estava diretamente ligado a pluviosidade. O critério utilizado para este fim, foi analisar as chuvas dos últimos 30 dias antecedentes à ocorrência, caso não houvesse chuva registrada neste período, a ocorrência era excluída.

Finalmente, restaram 417 ocorrências para o cadastro final. Destas ocorrências 81,1% foram escorregamentos ou início de escorregamento, 3,8% foram queda e rolamento de blocos e 4,1% foram movimentos complexos envolvendo escorregamento e queda de bloco. As ocorrências de erosão (em ravinas, fluvial, entre outras) somaram 5,5%.

Os registros de movimentos de massa têm maior ocorrência no período entre novembro e fevereiro, sendo facilmente explicável devido ao período de chuva também ser concentrado nestes meses. A maior concentração dos registros ocorreu em janeiro (47,7%), seguido de dezembro com 21,1%. A Figura 4. 1 mostra a distribuição das ocorrências ao longo do ano.

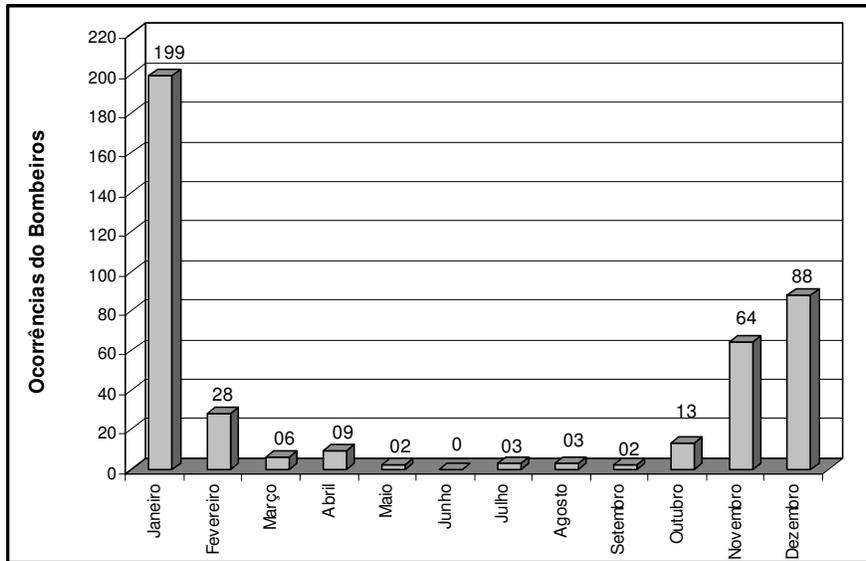


Figura 4. 1 – Distribuição das ocorrências ao longo do ano.

As ocorrências do banco de dados foram no período de 1988 a 2003. O ano de 2004 não entrou no banco de dados, pois não foi possível o acesso aos boletins de ocorrência originais, somente ao banco de dados do Corpo de Bombeiros. Neste banco de dados as ocorrências estavam em um padrão em que não se conseguia distinguir o tipo do movimento ocorrido. Porém estas ocorrências foram incorporadas ao mapa para o zoneamento das áreas de risco.

Os anos que tiveram maior número de ocorrência foram os de 1997 (21,1%), seguido de 1992 (12,9%) e 2003 com 11,8%. No ano de 1999 não foi registrada nenhuma ocorrência. A Figura 4. 2 mostra a distribuição das ocorrências no período estudado. A Tabela 4. 1 resume todo o histórico das ocorrências no longo do período analisado.

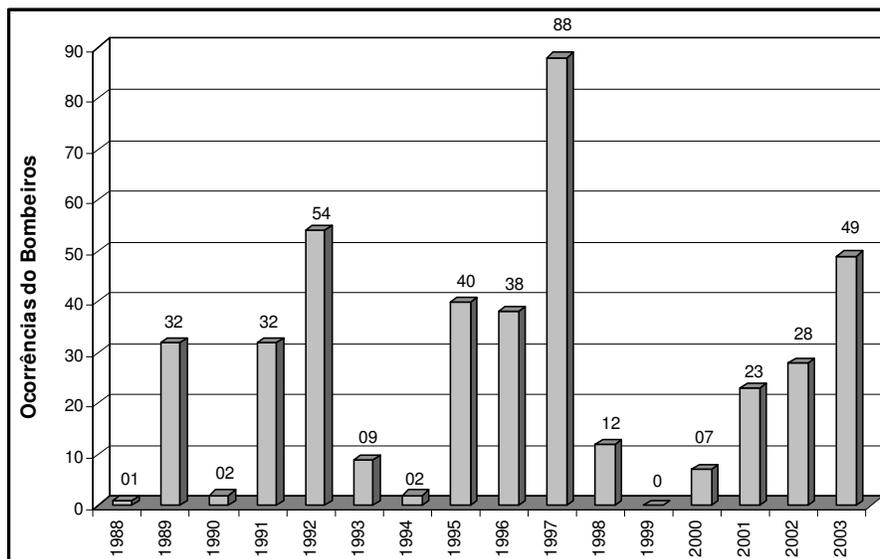


Figura 4. 2 – Distribuição das ocorrências nos anos do período estudado.

Tabela 4. 1 – Histórico das ocorrências dos Movimentos de Massa em Ouro Preto

Ano	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Total
1988	-	-	-	01	-	-	-	-	-	-	-	-	01
1989	-	-	-	-	-	-	-	02	-	05	10	15	32
1990	-	-	-	-	-	-	01	-	-	-	-	01	02
1991	28	01	-	02	-	-	01	-	-	-	-	-	32
1992	33	14	01	01	01	-	-	-	-	-	03	01	54
1993	01	02	-	-	01	-	-	-	-	04	-	01	09
1994	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	01	01	02
1995	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	40
1996	04	-	-	02	-	-	-	-	-	02	24	06	38
1997	81	04	-	01	-	-	-	01	01	-	-	-	88
1998	03	02	01	01	-	-	-	-	-	01	04	-	12
1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
2000	01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	05	01	07
2001	-	-	-	-	-	-	01	-	-	01	13	08	23
2002	04	05	01	-	-	-	-	-	01	-	04	13	28
2003	44	-	03	01	-	-	-	-	-	-	-	01	49
Total	199	28	06	09	02	00	03	03	02	13	64	88	417

Para a correlação entre chuva e pluviosidade, as ocorrências do cadastro foram restritas somente aos escorregamentos. Esta restrição foi necessária, para melhorar os resultados, pois os escorregamentos sofrem maior influência da precipitação no seu desencadeamento. Com essa restrição o número de ocorrências total para a análise foi de 270 em 87 datas distintas.

Foram realizados dois tipos de análises com dois grupos distintos das ocorrências. Na primeira consideraram-se todas as ocorrências cadastradas de escorregamentos, totalizando os 270 pontos. Na segunda análise, consideraram-se as ocorrências de escorregamentos generalizados (mais de um escorregamento em um mesmo dia), excluindo as ocorrências isoladas. Nesta análise foram consideradas 228 ocorrências em 45 dias distintos.

Com esta separação foram obtidos resultados melhores, tendo a possibilidade de estudar os escorregamentos que provocam maiores prejuízos à cidade. Essa eliminação também ajuda a descartar possíveis erros quanto à data do acidente ou ocorrências devido a outros fatores adversos à pluviosidade.

A relação dos registros e seus dados utilizados para a correlação com a precipitação se encontram no Anexo I.

4.2 - DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Os dados pluviométricos considerados foram coletados na estação meteorológica da Novelis, no bairro de Saramenha em Ouro Preto. A estação coleta diariamente os dados da precipitação em um aparelho pluviométrico.

O período da série completa dos dados foi de 1988 a 2004. Para esta série a média pluviométrica anual encontrada foi 1.610,1 mm, variando entre 1.005,1 a 2.512,4 mm. A Figura 4. 3 mostra os índices anuais para toda a série.

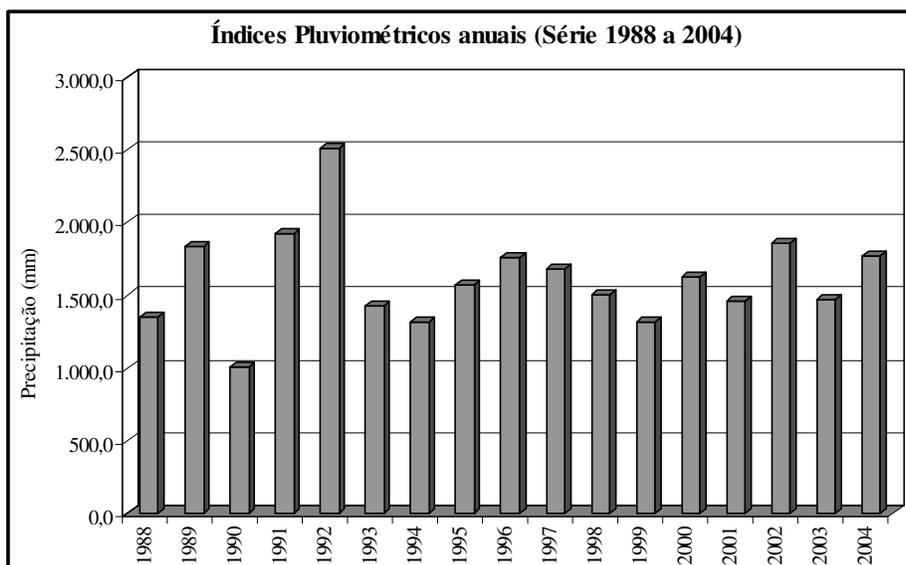


Figura 4. 3 – Índices anuais para a série de 1988 a 2004.

Como demonstra a Figura 4. 3 alguns anos tiveram o índice pluviométrico acima da média. Estes anos foram os escolhidos para os estudos de correlação entre os escorregamentos e a pluviosidade, pois os números de registros de movimentos foram maiores. Estes anos são: 1989, 1991, 1992, 1995, 1996, 1997, 2001, 2002 e 2003. Estes anos foram analisados considerando a estação chuvosa de cada período.

A média diária de chuva encontrada para a série em estudo foi de 4,4 mm, sendo que o máximo de precipitação diária, no decorrer do período analisado, foi de 115,2 mm em 18 de janeiro de 1991. As maiores médias diárias do ano ocorrem nos meses entre novembro e fevereiro. A Tabela 4. 2 mostra as médias pluviométricas diárias em cada mês, assim como a máxima de cada mês e o ano de ocorrência deste valor. Na Figura 4. 4 estão representadas as médias, máximos e mínimos dos valores médios diários.

Tabela 4. 2 – Médias diárias por mês e o máximo valor de cada mês com o respectivo ano de ocorrência (Série 1988 a 2004).

Ano	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
Média	10,6	7,1	5,9	2,5	1,3	0,2	0,3	0,6	2,1	3,9	8,1	10,3	4,4
Máximo	115,2	67,7	91,2	97,8	33,0	19,0	23,4	39,0	55,5	60,8	72,3	114,3	-
Ano	1991	1998	2004	1988	1990	1989	1989	2002	1992	1997	1996	2000	-

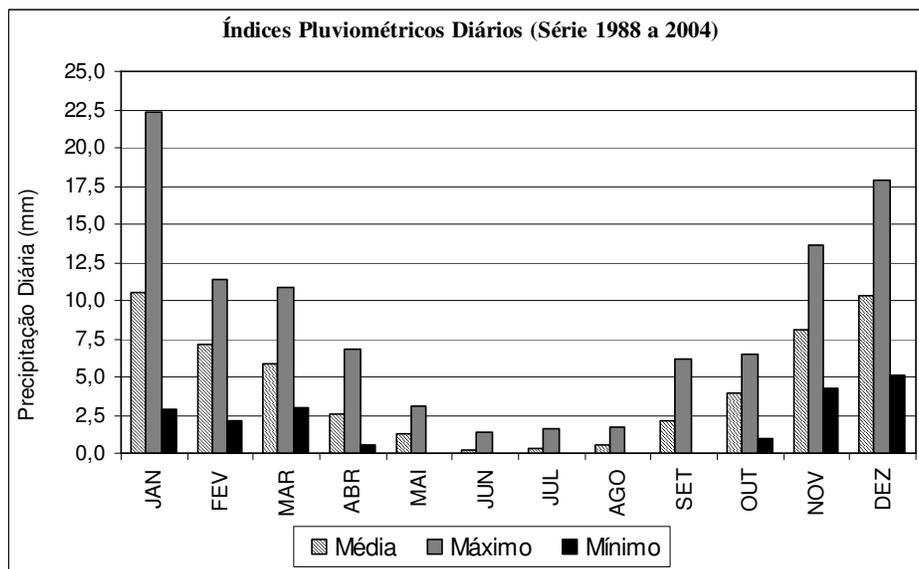


Figura 4. 4 – Máximos e mínimos da média diária, da série de 1988 a 2004.

Assim como no trabalho de Ide (2005), foram calculadas as freqüências de observação para seis intervalos de precipitação diária: menores que 1,0 mm, entre 1,0 e 5,0 mm, entre 5,0 e 10,0 mm, entre 10,0 e 25,0 mm, entre 25,0 e 50,0 mm e acima de 50,0 mm. O objetivo deste estudo é verificar a freqüência e a época da ocorrência de certos valores de precipitação diária. Os resultados estão mostrados na Tabela 4. 3.

Tabela 4. 3 – Freqüência das chuvas diárias (Série 1988 a 2004).

Mês	P ≤ 1 mm	1 < P ≤ 5 mm	5 < P ≤ 10 mm	10 < P ≤ 25 mm	25 < P ≤ 50 mm	P > 50 mm
Janeiro	47,4%	12,0%	9,5%	15,4%	12,0%	3,8%
Fevereiro	55,5%	11,9%	6,7%	16,0%	8,7%	1,2%
Março	60,5%	12,0%	7,6%	12,3%	6,1%	1,5%
Abril	77,6%	8,8%	4,7%	7,1%	1,0%	0,8%
Mai	86,9%	5,5%	3,0%	3,4%	1,1%	0,0%
Junho	95,7%	3,3%	0,6%	0,4%	0,0%	0,0%
Julho	95,1%	2,5%	1,1%	1,3%	0,0%	0,0%
Agosto	91,5%	4,7%	1,7%	1,7%	0,4%	0,0%
Setembro	80,0%	8,4%	4,7%	4,5%	2,2%	0,2%
Outubro	70,4%	11,0%	5,3%	8,5%	4,2%	0,6%
Novembro	50,0%	13,9%	8,8%	17,3%	7,5%	2,5%
Dezembro	41,4%	15,2%	12,5%	19,4%	7,6%	4,0%

P = Precipitação diária

Pode-se notar que as chuvas diárias abaixo de 1,0 mm são mais frequentes, principalmente na estação seca do ano (abril a setembro). Já as chuvas acima de 50,0mm são raras e ocorrem mais no verão. Os escorregamentos utilizados na correlação tiveram chuvas diárias variando entre 3,2mm a 115,2mm, sendo que 46% foram chuvas diárias acima de 50,0mm.

4.3 - ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA

Os índices pluviométricos da antiga estação do INMET e da Samarco foram utilizados para verificar a consistência dos dados coletados na Novelis. Para os anos de 1989 a 1992 foram utilizados os dados do INMET e os dados utilizados da Samarco são de 1996, 1997, 2001 a 2003.

4.3.1 - Novelis x INMET

Os dados do INMET utilizados para a análise de consistência estão apresentados na Tabela 4. 4. Pela tabela podem-se notar os meses em que os dados do INMET não estavam disponíveis, portanto foram excluídos os dados da Novelis do mesmo período.

Tabela 4. 4 – Dados da Novelis e do INMET para análise de consistência.

Mês	Novelis					INMET				
	1989	1990	1991	1992	Média	1989	1990	1991	1992	Média
Janeiro	176,6	88,8	-	-	132,7	167,1	83,7	-	-	125,4
Fevereiro	194,3	114,8	-	-	154,5	129,6	54,7	-	-	92,2
Março	188,1	109,3	-	91,0	129,5	264,8	35,8	-	49,4	116,7
Abril	16,2	75,0	-	116,6	69,3	51,8	28,3	-	77,1	52,4
Mai	1,1	61,9	-	-	31,5	0,0	31,2	-	-	15,6
Junho	40,9	12,2	-	-	26,6	39,2	2,4	-	-	20,8
Julho	49,5	30,7	-	-	40,1	38,4	49,1	-	-	43,8
Agosto	28,1	52,4	-	-	40,3	3,4	54,5	-	-	29,0
Setembro	93,7	44,9	89,3	-	76,0	69,8	40,8	100,4	-	70,3
Outubro	154,2	-	115,0	-	134,6	116,7	-	94,7	-	105,7
Novembro	212,8	-	158,1	-	185,5	219,9	-	177,7	-	198,8
Dezembro	555,1	-	-	-	555,1	622,2	-	-	-	622,2

Foi elaborado um gráfico de barras para a comparação das médias mensais, analisando as tendências de cada posto de coleta. Na Figura 4. 5 estão apresentados estes resultados. Através de sua análise, podemos verificar que as tendências das médias estão equivalentes para os dois postos de coleta dos dados. Os meses mais chuvosos são os mesmos em ambos, assim como os meses mais secos. A tendência de aumentar ou

diminuir a quantidade de chuva em relação ao mês anterior, também é similar nas duas estações pluviométricas.

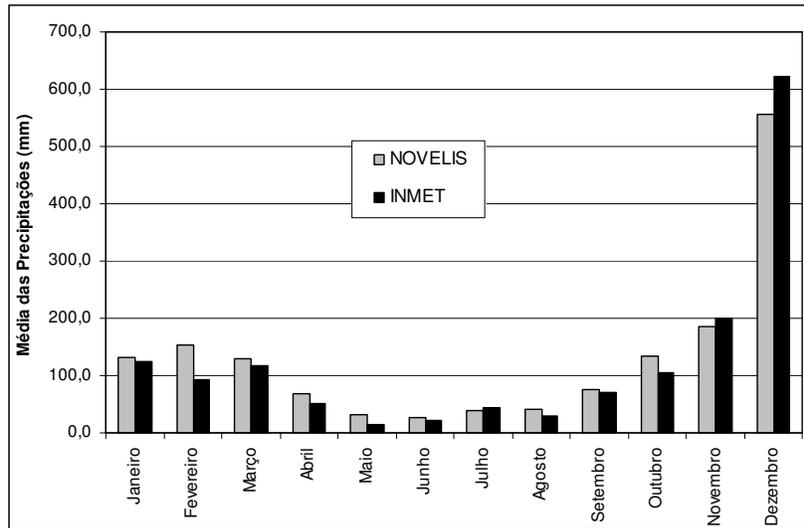


Figura 4. 5 – Comparação das médias mensais entre os dados da Novelis e do INMET.

Observa-se na Figura 4. 5 duas discrepâncias entre os dois postos de coleta. Uma no mês de Fevereiro, onde o dado do INMET apresenta uma diferença maior entre o valor da média mensal da Novelis. Isto pode ser reflexo da falha nos dados em alguns dias deste mês dos dados do INMET. Outro mês que apresenta uma variação significativa é o mês de Outubro.

Para conhecer a relação entre os dois postos de coleta foi elaborado um gráfico (Figura 4. 6) para verificar se a correlação existente entre os dados das duas estações de coleta de chuva é satisfatória. Esta correlação pode ser analisada através do valor do R^2 da curva de tendência adicionada aos pontos.

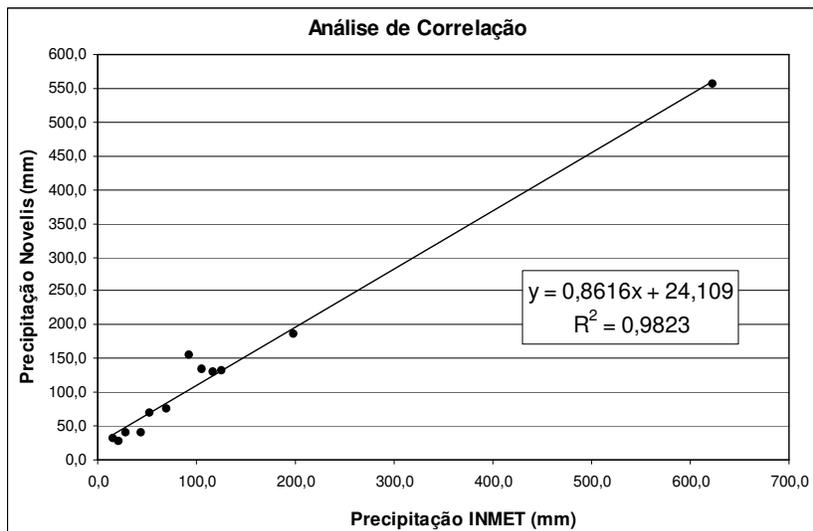


Figura 4. 6 – Gráfico para correlação entre as médias mensais dos dados da Novelis e do INMET.

Nota-se através da Figura 4. 6 a boa correlação entre os dois postos de coleta, visualizados no valor de R^2 igual a 0,9823, este valor é melhor quanto mais próximo de um. Os dois pontos mais afastados da linha de tendência são os meses de Fevereiro e Outubro, já comentados anteriormente.

4.3.2 - Novelis x Samarco

A análise realizada com os dados da Samarco teve duas etapas. A primeira considerando somente as médias mensais do período em que as medidas pluviométricas diárias são conhecidas e uma segunda análise considerando apenas as médias mensais do período entre 1995 a 2004, em que não foram fornecidas as precipitações diárias, sendo assim impossível desconsiderar os dados da Novelis nos dias de possíveis falhas dos dados da Samarco. Os dados da primeira análise se encontram na Tabela 4. 5, sendo os dados da segunda análise apresentados na Tabela 4. 6.

Tabela 4. 5 – Dados da Novelis e da Samarco para 1ª análise de consistência (Fonte: Samarco).

Mês	Novelis						Samarco					
	1996	1997	2001	2002	2003	Média	1996	1997	2001	2002	2003	Média
Janeiro	135,0	572,9	251,9	343,6	498,1	360,3	73,5	402,4	243,7	681,1	511,8	382,5
Fevereiro	187,3	138,1	75,4	280,1	58,4	147,9	191,9	122,9	33,9	379,9	77,3	161,2
Março	167,4	208,0	188,8	112,3	154,4	166,2	104,1	163,0	127,2	103,1	278,2	155,1
Abril	51,6	96,5	24,0	25,8	61,6	51,9	95,1	100,3	37,9	22,9	61,0	63,4
Mai	49,4	20,8	38,9	71,5	15,8	39,3	43,9	21,9	54,1	59,3	10,5	37,9
Junho	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	16,5	1,2	0,0	0,0	3,7
Julho	0,0	0,0	2,5	1,0	1,4	1,0	3,2	0,0	12,5	2,6	6,2	4,9
Agosto	5,6	3,1	13,1	44,5	33,5	20,0	14,6	2,5	41,0	4,6	47,8	22,1
Setembro	96,5	56,1	60,8	127,4	22,4	72,6	126,1	152,2	72,9	137,3	37,0	105,1
Outubro	153,2	194,3	114,2	30,6	70,1	112,5	195,9	134,4	127,3	56,3	60,3	114,8
Novembro	407,3	189,0	337,8	368,3	279,1	316,3	402,8	305,2	329,4	386,4	307,0	346,2
Dezembro	400,5	165,6	266,9	449,1	265,5	309,5	363,7	535,3	348,4	500,5	398,2	429,2

Tabela 4. 6 – Médias mensais dos dados da Samarco para 2ª análise de consistência (Fonte: Samarco).

Ano	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1995	153,7	103,9	236,1	79,2	9,4	0,0	0,1	0,0	70,3	135,3	145,9	509,2
1996	73,5	191,9	101,1	95,1	43,9	1,0	3,2	14,6	126,1	198,6	402,8	363,7
1997	402,4	122,9	163,0	100,3	32,7	16,5	0,0	2,5	152,4	134,4	305,2	531,3
1998	345,7	418,9	90,2	58,9	98,7	3,9	2,2	70,8	19,9	266,9	324,6	214,1
1999	103,6	119,4	182,9	8,4	7,4	1,0	11,6	0,0	90,4	144,8	300,8	461,2
2000	649,3	163,6	287,6	36,6	4,1	6,7	7,2	36,7	188,3	53,7	215,2	338,9
2001	243,7	33,9	127,2	37,9	54,1	1,2	12,5	41,0	72,9	127,3	329,4	348,4
2002	681,1	379,9	103,1	22,9	59,3	0,0	2,6	4,6	137,3	56,3	386,5	500,5
2003	511,8	77,3	278,2	61,0	10,5	0,0	6,2	47,8	37,0	60,3	307,8	398,2
2004	372,0	422,6	187,8	324,0	63,7	33,8	61,8	0,0	0,0	142,7	185,6	425,2
Média	353,7	203,4	175,7	82,4	38,4	6,4	10,7	21,8	89,5	132,0	290,4	409,1

Semelhante ao estudo realizado com os dados do INMET, foi elaborado um gráfico de barras para analisar as tendências de cada posto de coleta, com a comparação das médias mensais. O gráfico para a primeira análise (médias dos anos com os dados diários) está apresentado na Figura 4. 7.

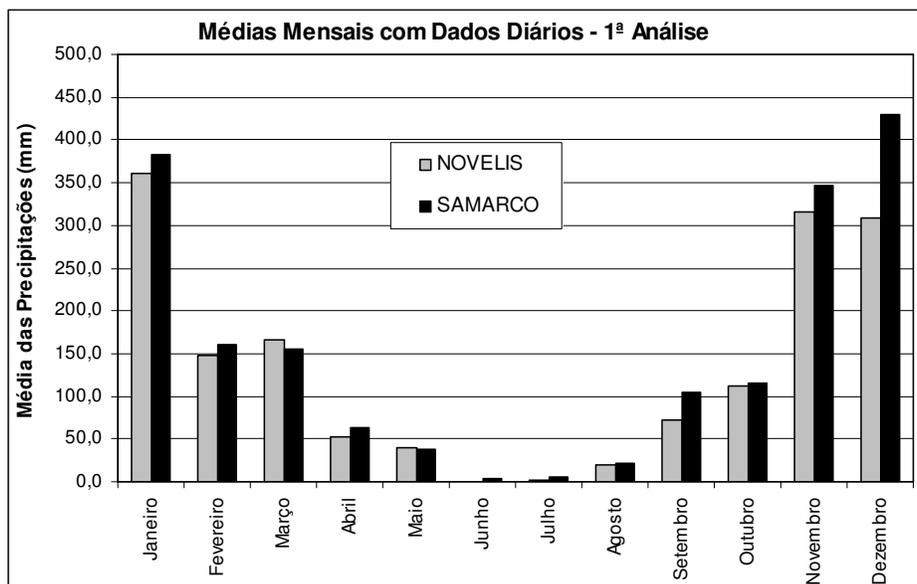


Figura 4. 7 – Comparação das médias mensais dos dados da Novelis e da Samarco – 1ª análise.

Através do gráfico, percebe-se que as médias mensais dos dois postos de coletas pluviométricas têm comportamentos semelhantes, porém em alguns meses a diferença entre os postos é expressiva. As maiores diferenças são nos meses de Setembro, Novembro e Dezembro, sendo este último a maior diferença.

Essas diferenças podem ser visualizadas na Figura 4. 8 através do gráfico de correlação entre as duas estações. Os pontos neste gráfico estão mais afastados da linha de tendência adicionada, em relação à análise com os dados do INMET, podendo ser comprovado pela redução no valor do R^2 .

Mesmo com os pontos adversos, relativos aos meses citados anteriormente, a correlação entre as duas estações de coleta da chuva pode ser considerada satisfatória, com o valor de R^2 igual a 0,9727. Isso significa que os dois postos de coleta dos dados pluviométricos possuem uma boa correlação.

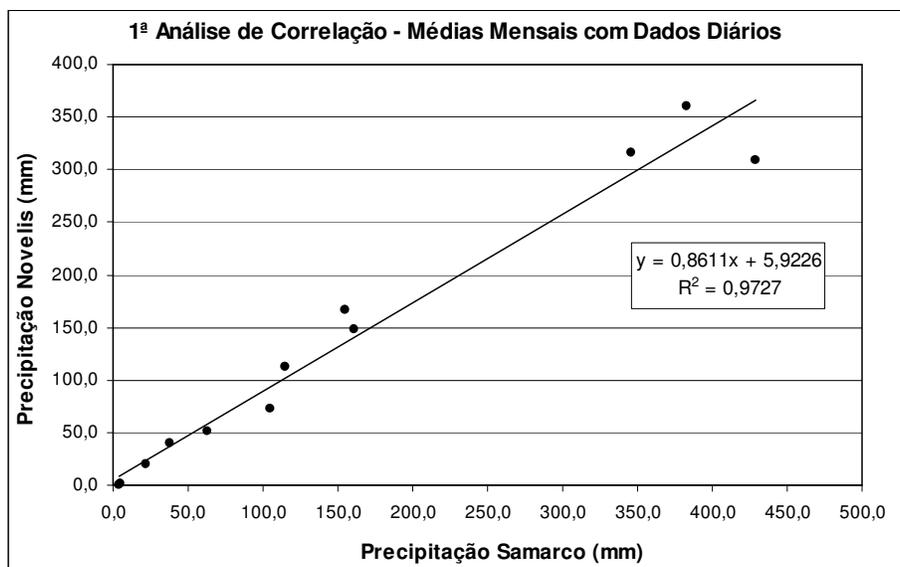


Figura 4. 8 – Gráfico para correlação dos dados da Novelis e Samarco – 1ª análise.

Para a segunda análise com as médias dos anos 1995 a 2004, as chuvas diárias não são conhecidas, não podendo serem retirados os dias com falhas dos dados da Novelis. O gráfico de barras para esta análise está apresentado na Figura 4. 9.

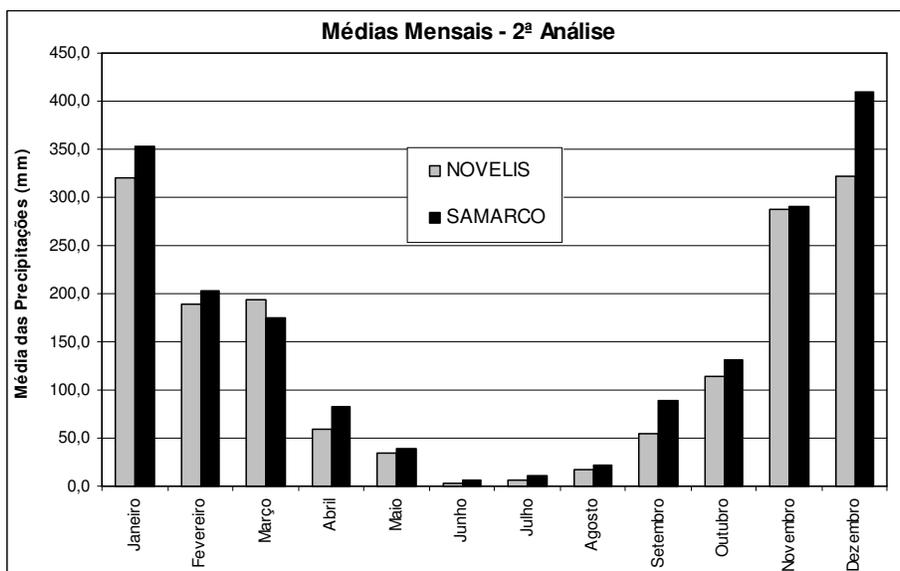


Figura 4. 9 – Comparação das médias mensais dos dados da Novelis e Samarco – 2ª análise.

Nota-se através do gráfico acima o comportamento semelhante entre os postos de coleta de dados, repetindo a tendência da análise anterior. Os meses que tiveram as maiores diferenças foram Janeiro, Abril, Setembro e Dezembro, sendo a maior diferença em Dezembro.

Para verificar a correlação entre as duas médias, utilizou-se o gráfico de correlação da Figura 4. 10. Os pontos dessa análise também tiveram bons ajustes pela linha de tendência adicionada, sendo os menos coerentes foram Fevereiro, Novembro e Dezembro. No entanto, os valores das médias mensais para Fevereiro e Novembro tiveram bons resultados através do gráfico de barras. O valor de R^2 encontrado para esta análise foi de 0,9713.

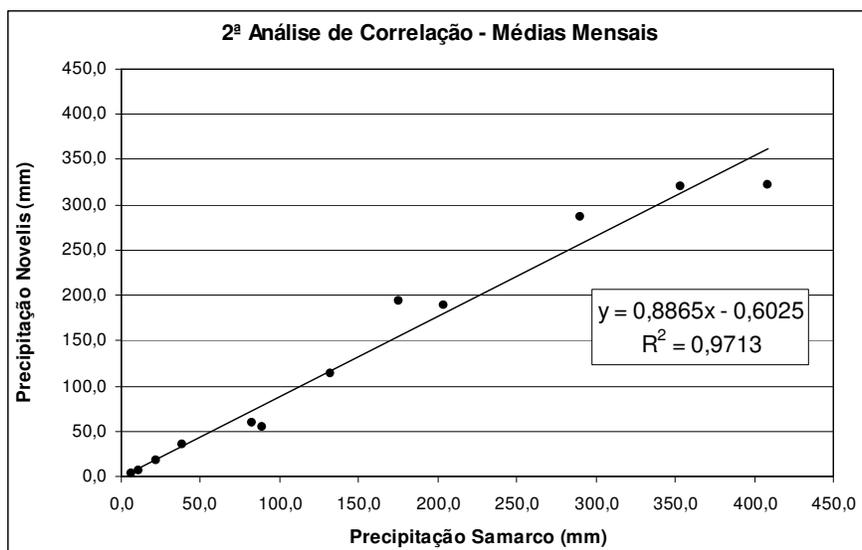


Figura 4. 10 – Gráfico para correlação dos dados da Novelis e Samarco – 2ª análise.

4.3.3 - Discussão dos Resultados

A análise de consistência com os dados pluviométricos da Novelis em relação aos do INMET e da Samarco obtiveram resultados satisfatórios. Em termos de chuvas totais com médias mensais, os dados podem ser considerados homogêneos e sendo assim, com uma certa consistência entre eles. Em termos de chuvas diárias, a correlação entre as estações não foi satisfatória.

Os melhores resultados obtidos foram as comparações com os dados do INMET. Isso pode ser facilmente justificado pela proximidade desta com a estação do Bairro de Saramenha da Novelis. Os resultados com os dados da Samarco, apesar de serem satisfatórios, necessitam de maior precaução na sua utilização devido à distância entre as duas estações.

Com os resultados obtidos concluiu-se que os dados pluviométricos da Estação de Saramenha da Novelis constituem uma boa fonte para pesquisa de correlação entre

escorregamentos, podendo ser utilizada com segurança para pesquisa, em todo o Município de Ouro Preto.

4.4 - GEORREFERENCIAMENTO DOS DADOS DOS MOVIMENTOS

No mapa geral dos movimentos de massa para Ouro Preto foram plotados todas as ocorrências do cadastro elaborado neste trabalho. Através deste mapa, foi possível visualizar os principais pontos da cidade onde ocorrem os maiores problemas relacionados aos acidentes de movimentos de massa.

Com a utilização do software Arc Map (versão 9.0) pôde ser realizada a visualização da evolução dos acidentes de movimentos, permitindo assim a análise temporal ao longo dos anos do cadastro. Com o georreferenciamento também foi possível acompanhar a ocupação irregular da população na cidade, criando novas áreas de riscos.

Os movimentos de massa foram analisados separadamente em cada ano, sendo que estes foram escolhidos de acordo com o número de registros durante o período estudado. Para cada um destes anos foi gerado um mapa com os escorregamentos ocorridos ao longo do ano. Com essa análise foi possível destacar quais os bairros de Ouro Preto possuem maior susceptibilidade a movimentos de massa.

No mapa com todos os registros de movimentos de massa plotados foi realizado o zoneamento das áreas mais críticas. Este mapa se encontra no Anexo II. Este mapa produzido com as áreas de maior risco aos movimentos poderá ser utilizado como subsídio para a implantação de melhorias e como auxílio para tomada de decisão dos órgãos públicos.

4.4.1 - Análise para o ano de 1989

No ano de 1989 foram registrados 32 movimentos de massa em Ouro Preto, a maior parte concentrada nos meses de outubro a dezembro, que tiveram altos índices pluviométricos.

Os bairros mais atingidos pelos movimentos foram São Cristóvão (anteriormente chamado Veloso), Padre Faria e alguns registros no Taquaral e Piedade. Neste ano ainda não existia o Bairro Santa Cruz, porém já havia alguns registros de escorregamentos no local. O mapa com os registros de escorregamentos para o ano de 1989 encontra-se na Figura 4. 11.

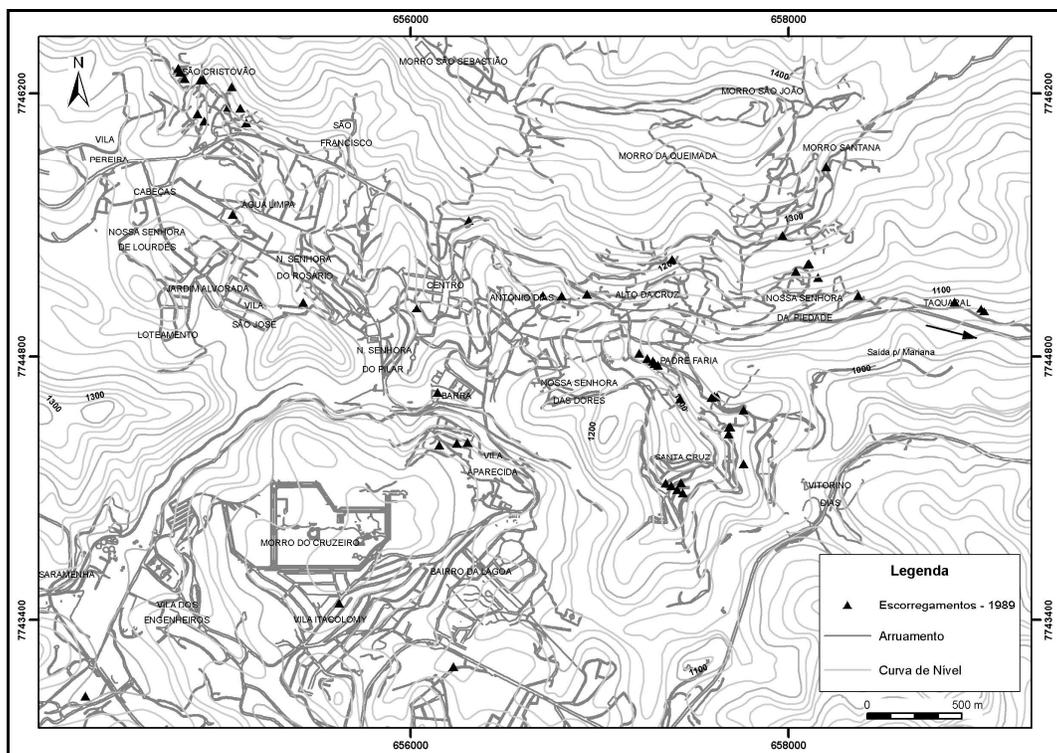


Figura 4. 11 – Mapa de Ouro Preto com os registros de movimentos de massa para o ano de 1989.

4.4.2 - Análise para o ano de 1991

No ano de 1991 foram registradas 32 ocorrências, sendo 28 somente em janeiro. O índice pluviométrico do mês de janeiro foi de 604,5 mm, justificando o alto número de acidentes ocorrido neste período, evidenciando a relação existente entre a precipitação e os movimentos de massa.

Um dos pontos mais afetados foi o Bairro São Francisco, na Serra de Ouro Preto, próximo à rodoviária e que vinha sendo ocupado rapidamente. Outros bairros afetados localizados na área central foram Antônio Dias e Pilar. Além desses, os bairros Alto da Cruz, Piedade e Padre Faria também foram severamente afetados pelos acidentes relacionados com movimentos de massa.

Na Figura 4. 12 mostra a distribuição das ocorrências pela área urbana de Ouro Preto no ano de 1991.

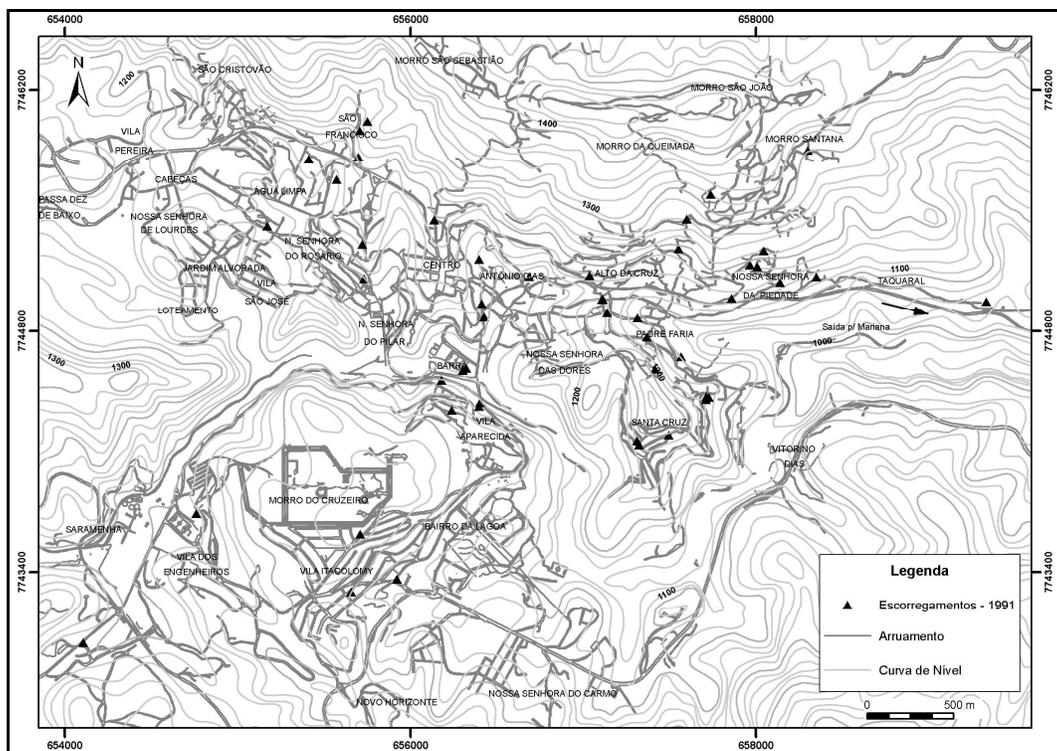


Figura 4. 12 – Mapa de Ouro Preto com os registros de movimentos de massa para o ano de 1991.

4.4.3 - Análise para o ano de 1992

No ano de 1992 ocorreram 54 movimentos, sendo que a maioria em Janeiro e Fevereiro, nos quais a precipitação acumulou quase 1.000mm de chuva, sendo precedida de grandes quantidades pluviométricas advindas de novembro e dezembro de 1991. Em 1992, ocorreram acidentes de grandes proporções ocasionando perdas de vida, sendo registradas duas mortes em decorrência de movimentos de massa.

Os bairros mais atingidos pelas ocorrências foram os localizados na Serra de Ouro Preto, sendo que os movimentos de massa foram espalhados pelos bairros desta região. Os bairros mais atingidos foram São Francisco, Piedade, Alto da Cruz e Padre Faria (Figura 4. 13).

Pode-se se notar que a ocupação do local onde surgiu o bairro Santa Cruz, nas proximidades do Padre Faria, provocou um aumento do número de acidentes naquele local, se tornando mais um bairro problemático de Ouro Preto.

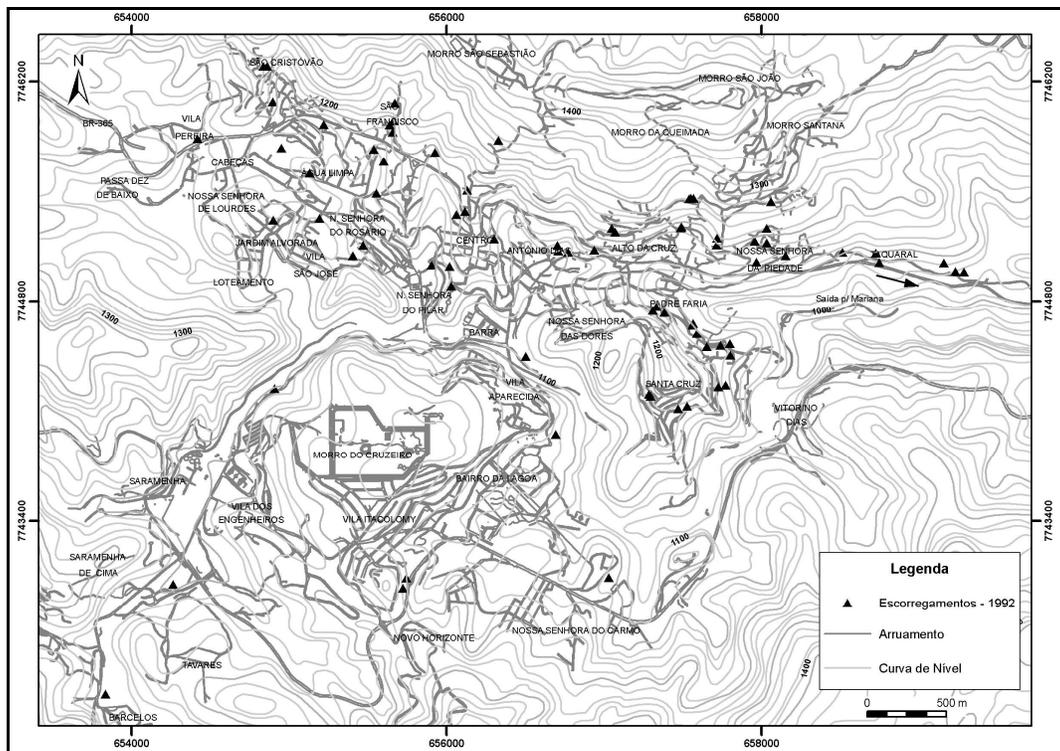


Figura 4. 13 – Mapa de Ouro Preto com os registros de movimentos de massa para o ano de 1992.

4.4.4 - Análise para o ano de 1995

O ano de 1995 foi marcado por índices pluviométricos mensais abaixo da média, porém em dezembro ocorreram fortes chuvas, chegando a acumular 514,5mm no mês. Isto acarretou um alto número de acidentes, com 40 registros de movimentos de massa somente em dezembro de 1995.

Os acidentes ocorreram nos locais problemáticos do município, sendo eles os Bairros São Cristóvão, Piedade, Padre Faria, Santa Cruz e Antônio Dias. Houve registros no Bairro Água Limpa, surgindo assim, mais uma área com pequenos acidentes localizados.

Além desses houve ocorrências em alguns bairros onde o problema de movimentos de massa não é tão significativo, tais como Bauxita e Nossa Senhora das Dores. Estes movimentos podem ter sido provocados pela má ocupação da população na cidade e obras executadas (cortes e aterros) de forma incorreta.

O mapa com os movimentos de massa ocorridos em 1995 está representado na Figura 4. 14.

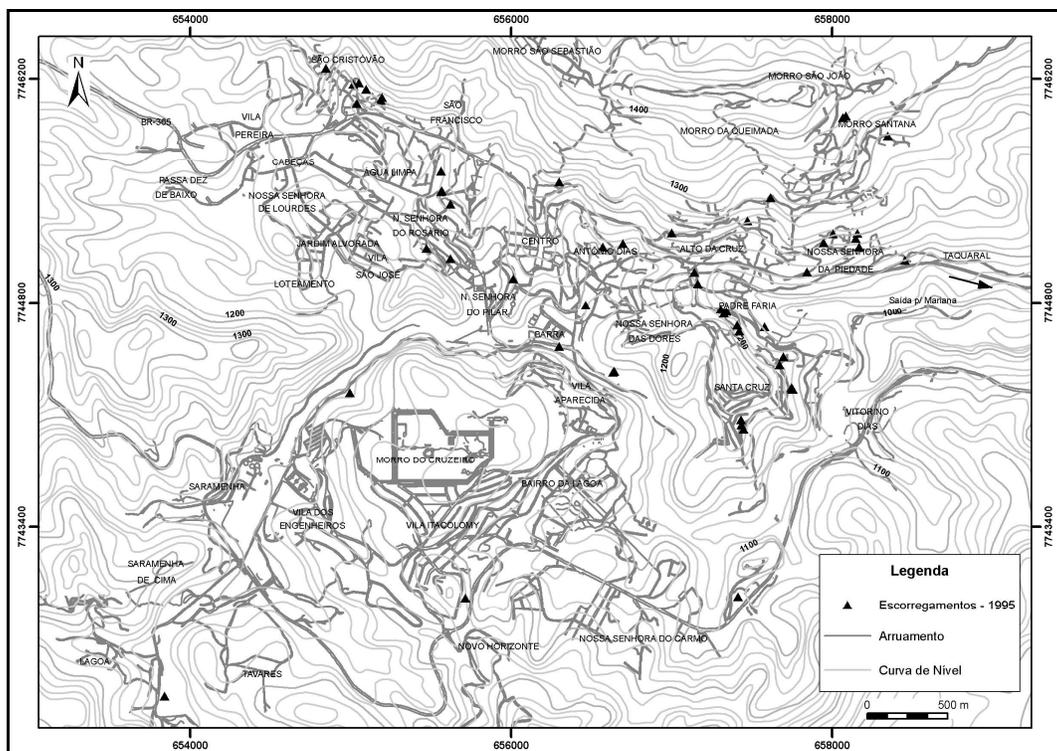


Figura 4. 14 – Mapa de Ouro Preto com os registros de movimentos de massa para 1995.

4.4.5 - Análise para os anos de 1996 / 1997

A análise conjunta para estes anos foi feita adotando como base o ano hidrológico que se inicia em outubro de 1996 e termina em março de 1997. A maior parte dos registros de movimentos de massa deste período ocorreu nessa época, totalizando 117 registros contra nove ocorrências nos outros meses de 1996 e 1997 (Figura 4. 15).

Neste ano hidrológico houve acidentes com vítimas fatais, o pior já ocorrido em Ouro Preto, totalizando 13 mortes em Janeiro de 1997, onde os índices pluviométricos diários nos dias dos acidentes superaram 100mm/dia. Os acidentes ocorreram nos Bairros Taquaral e Piedade.

Novamente os bairros mais atingidos foram os localizados na Serra de Ouro Preto, englobando São Cristóvão, São Francisco, Alto da Cruz, Piedade e Taquaral, além dos Bairros Padre Faria e Santa Cruz. Uma nova região com grande número de ocorrência de acidentes foi o Bairro Vila Aparecida.

O ano de 1997 foi atípico em relação à série estudada, o índice pluviométrico acumulado nos três meses anteriores a janeiro foi o equivalente a 85% do valor da

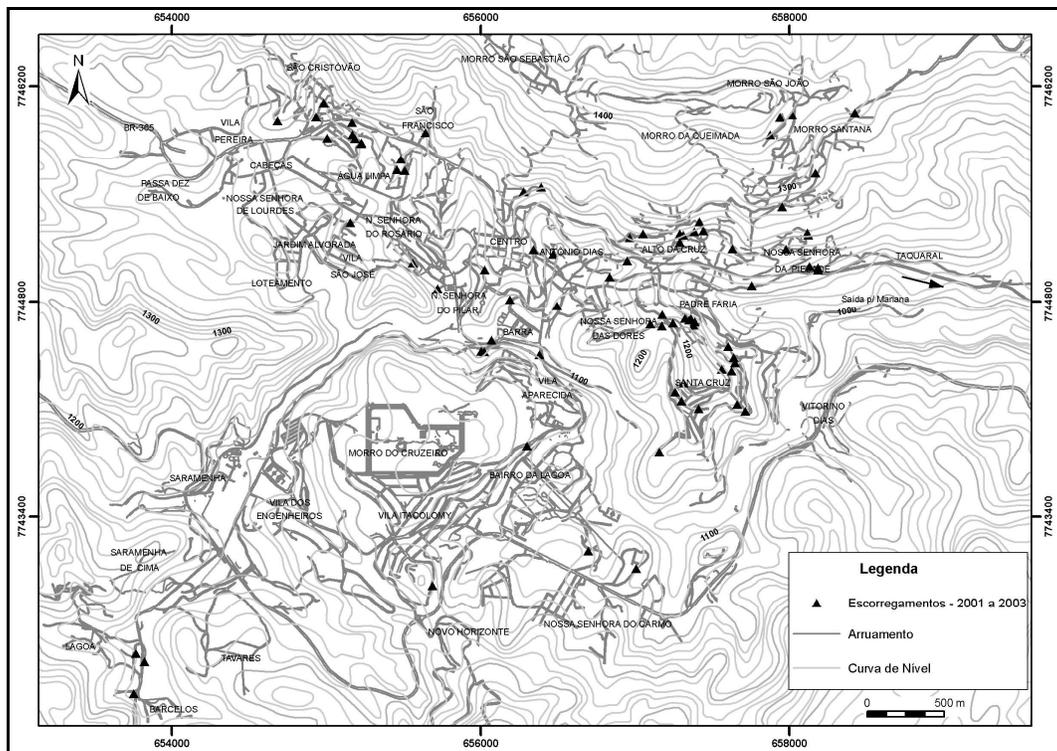


Figura 4. 16 – Registros de movimentos de massa para os anos de 2001 a 2003.

4.5 - ZONEAMENTO DAS ÁREAS CRÍTICAS

As zonas críticas em relação aos movimentos de massa foram definidas de acordo com o número de registros ocorridos na região, a área atingida e as características locais reconhecidas ao longo das visitas de campo.

Os bairros mais atingidos pelos acidentes de movimentos de massa foram Alto da Cruz, São Cristóvão, Padre Faria e Santa Cruz. A identificação através dos bairros muitas vezes se torna difícil, pois uma mesma rua pertence a dois bairros distintos. Apesar desta dificuldade a distribuição das ocorrências por bairros pode ser visualizada na Figura 4. 17.

As zonas de risco foram divididas em três níveis de acordo com a concentração de movimentos na região, as dimensões da área atingida e o histórico das condições geológicas do local. As classificações adotadas foram: Risco Baixo (pequena concentração em pequenas áreas), Risco Médio (pequenas concentrações em grandes áreas) e Risco Alto (grandes concentrações em grandes áreas). A maioria das zonas classificadas como de alto risco foram localizadas na Serra de Ouro Preto, nos bairros Piedade, Alto da Cruz, São Francisco e São Cristóvão, além dos bairros Padre Faria e Santa Cruz. Nestes locais a ocorrência de acidentes e a extensão da área atingida são

maiores. Isto ocorre devido à intensa atividade de mineração ocorrida no século XVIII, que modificou toda a estabilidade natural da encosta.

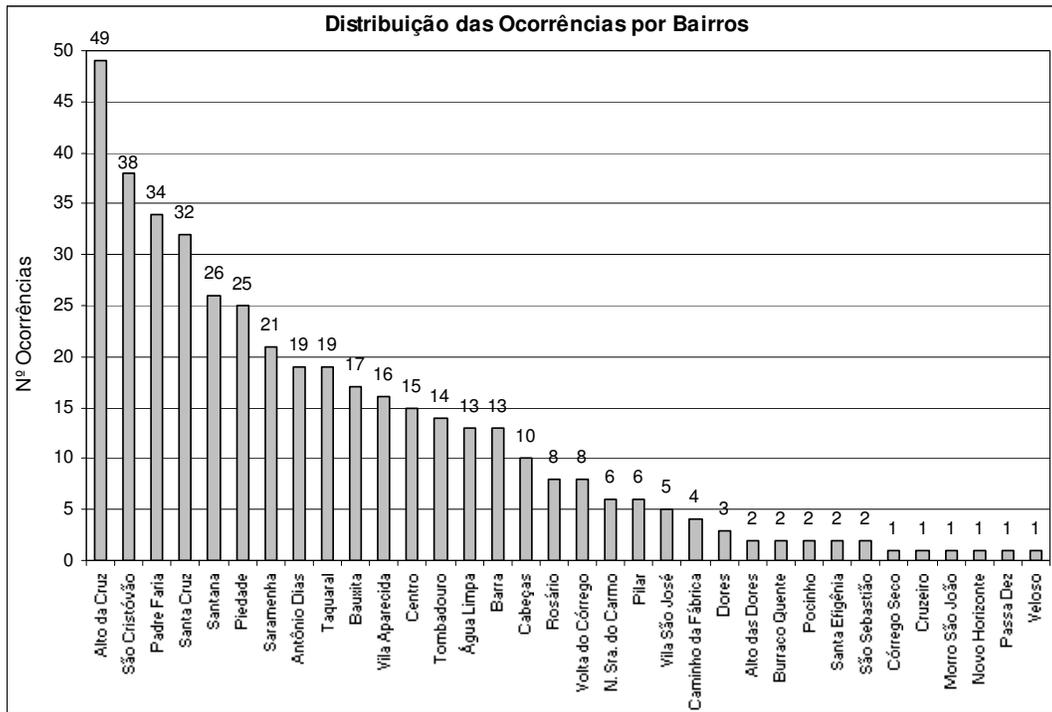


Figura 4. 17 – Distribuição das ocorrências por Bairros de Ouro Preto.

As zonas com risco médio ocorrem nos bairros Morro de Santana, Taquaral, Água Limpa, Antônio Dias e Vila Aparecida. As áreas de baixo risco na área mais central da cidade e mais ao sul, podendo ser relacionada a cortes e aterros mal feitos, ocupação irregular e com algumas exceções, relacionadas à instabilidade do terreno. O mapa contendo o zoneamento das áreas críticas relacionadas aos movimentos de massa consta no Anexo II deste trabalho.

4.6 - CORRELAÇÃO ENTRE ESCORREGAMENTOS E PLUVIOSIDADE

Para a correlação entre escorregamentos e pluviosidade foram testadas diversas metodologias encontradas na literatura. Porém as mais adequadas aos dados coletados e que foram utilizadas para o trabalho foram a de Lumb (1975), Tatizana et al. (1987) e Ide (2005).

Inicialmente, foram verificados os dias de chuvas antecedentes ao acidente que têm influência direta sobre ele. Isto possibilita a verificação da quantidade de chuva acumulada necessária para saturar o solo, de modo que ele se torne instável e venha a

romper, provocando os escorregamentos. A partir desta análise foi possível determinar o limite pluviométrico para o desencadeamento dos escorregamentos.

Posteriormente, buscou-se uma relação matemática entre os escorregamentos e a chuva acumulada nos dias anteriores, que determinou uma equação que correlaciona as duas variáveis. Os resultados destas etapas do estudo serão detalhados nos itens seguintes.

4.6.1 - Análise do número de dias de chuva acumulada

Para a análise do número de dias de chuva acumulada foram feitos diversos gráficos de dispersão cruzando a data do acidente e a precipitação acumulada de 2 a 10 dias antecedentes ao escorregamento. Para os gráficos acima de oito dias de acumulada o resultado pouco se alterou, portanto trabalhou-se com os gráficos com precipitações acumuladas de até sete dias antecedentes ao acidente.

Os gráficos de dispersão foram baseados na metodologia de Tatizana et al. (1987), também utilizada por Elbachá et al. (1992), Vieira (2004) e Ide (2005). Para a elaboração dos gráficos no trabalho de Tatizana et al. (op.cit.) foram utilizadas apenas os dados de chuva acima de 100mm em um dia, 150mm em dois dias e 200mm em três dias. Neste trabalho foram utilizados todos os dados com precipitações diárias acima de 3,0mm que causaram escorregamentos.

Esta análise consistiu em cruzar as informações da data da ocorrência com o valor da precipitação acumulada variando o número de dias antecedentes e comparando com os dados pluviométricos acumulados que não causaram escorregamentos. O gráfico que melhor demonstrou a separação destes pontos foi considerado como representativo do número de dias de chuva acumulada mais efetivo no desencadeamento dos escorregamentos.

Estes gráficos foram elaborados para os anos de 1989, 1991, 1992, 1995, 1996/1997, 2001/2002 e 2002/2003 em um estudo simultâneo em um mesmo gráfico e separadamente para cada um destes períodos escolhidos para realizar as análises. O período de estudo de cada ano variou de acordo com a época chuvosa que provocou maior número de acidentes. As Figura 4. 18 e Figura 4. 19 apresentam os gráficos das chuvas acumuladas de 2 a 7 dias elaborados para todos os anos de estudo simultaneamente.

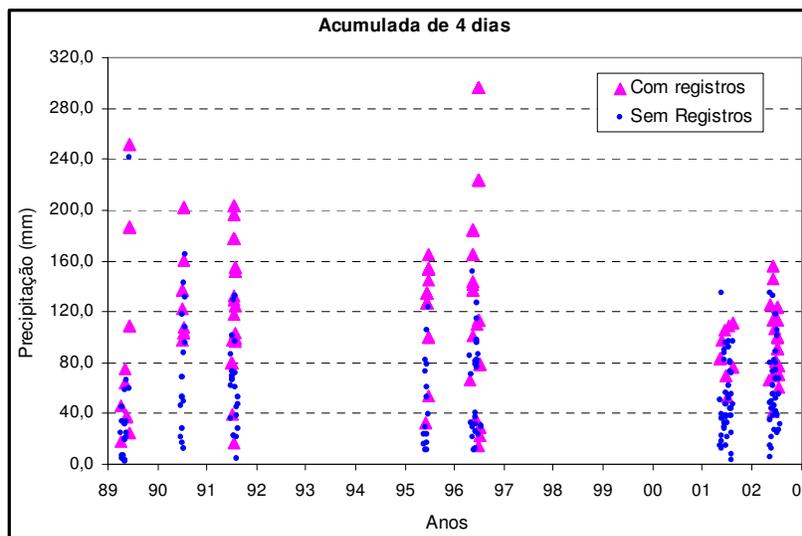
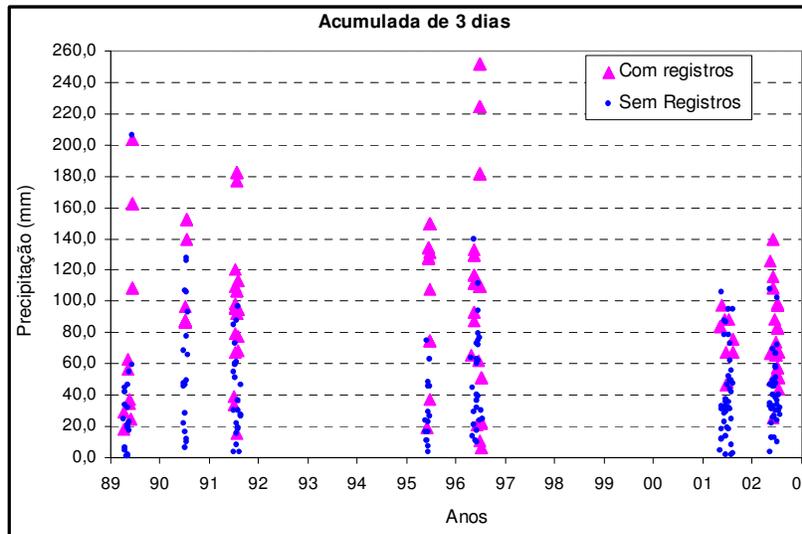
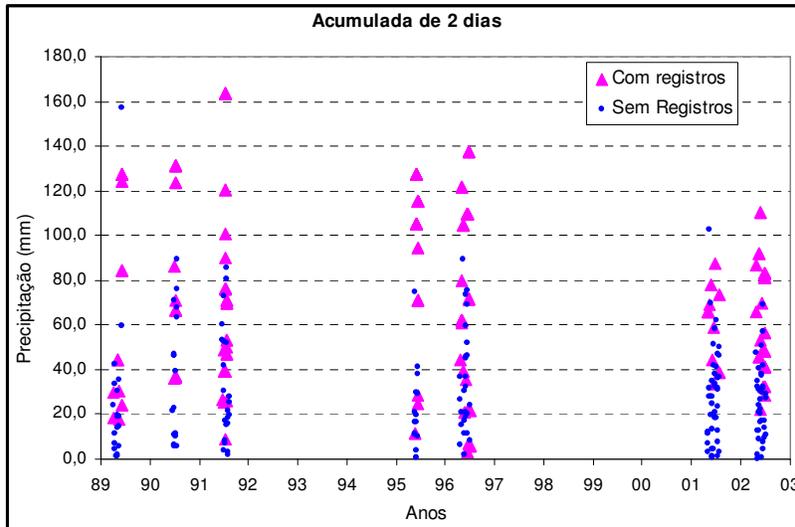


Figura 4. 18 – Gráfico de dispersão para chuvas acumuladas em 2, 3 e 4 dias.

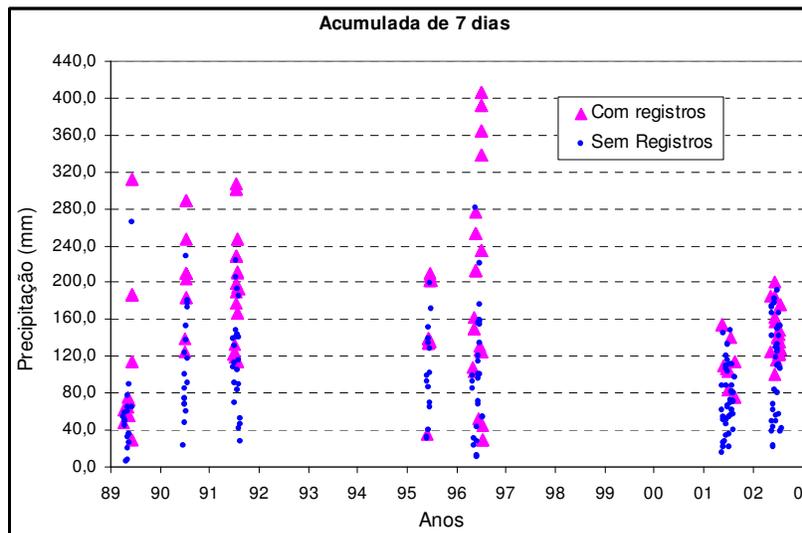
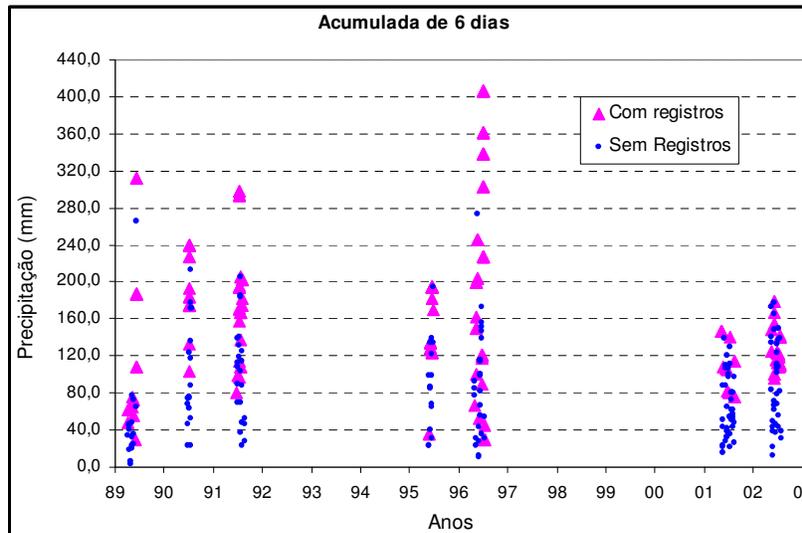
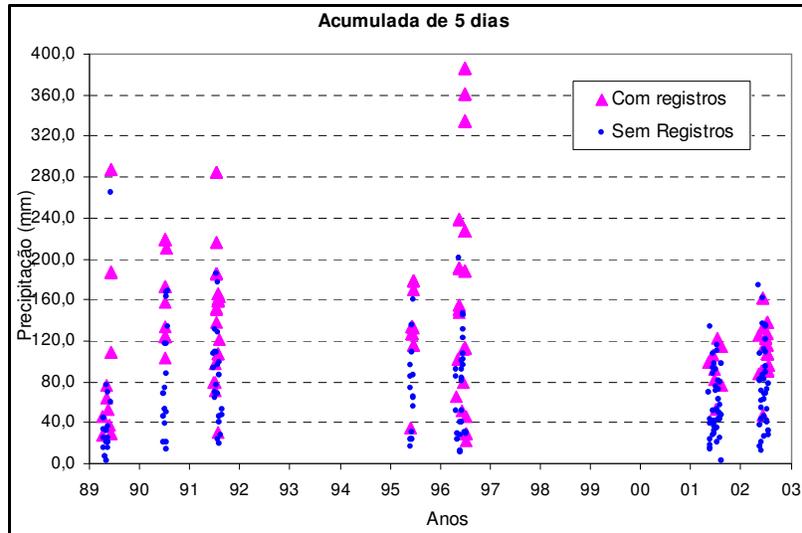


Figura 4. 19 – Gráfico de dispersão para chuvas acumuladas em 5, 6 e 7 dias.

Através dos gráficos acima, pode-se perceber uma separação clara dos pontos com e sem escorregamentos somente para valores muito elevados de chuva acumulada. No entanto, para baixos valores de precipitação acumulada ocorrem pontos com registros de acidentes juntamente com pontos sem acidentes. Nos gráficos apresentados acima não é possível separar esses pontos com nitidez, não sendo possível determinar um valor correspondente para o início da deflagração dos escorregamentos. A visualização dos pontos no gráfico não ficou muito clara, ressaltando a necessidade do estudo isolado de cada ano.

Para cada ano analisado o resultado encontrado foi diferente, sendo que nenhum ano apresentou uma separação nítida dos pontos com e sem escorregamentos. No entanto eles apresentaram algumas faixas distintas, sendo uma em que os pontos sem registros de escorregamentos são predominantes, uma segunda em que esses pontos com e sem escorregamentos ocorrem simultaneamente e uma terceira em que os pontos com registros de escorregamentos são predominantes. Em alguns anos não se distingue bem a segunda faixa (com os pontos ocorrendo ao mesmo tempo) e em outros não há a terceira faixa.

A separação dessas faixas se diferencia para cada ano em relação ao número de dias de chuva acumulada. Porém, em todos os gráficos, a partir do quinto dia de chuva acumulada ocorre a melhor visualização da separação das faixas, podendo, em alguns anos, acontecer antes. Portanto serão admitidos cinco dias como o número de dias de chuva acumulada que contribui efetivamente para o desencadeamento do escorregamento.

A separação por faixas do gráfico construído para cada ano de estudo contribuiu para estimar alguns valores significativos. Um deles é um valor mínimo de precipitação para o qual começa a desencadear os escorregamentos e o outro é um valor limite de chuva acumulada do qual a partir dele torna-se evidente a predominância dos pontos de escorregamentos.

Esses valores foram estabelecidos para todos os anos utilizados para a análise e encontram-se na Tabela 4. 7. Foi retirado do gráfico o valor do menor índice pluviométrico necessário para o desencadeamento dos escorregamentos, designado como valor mínimo da precipitação (Min.) e um outro valor que a partir dele a probabilidade de ocorrência de escorregamentos se torna maior, sendo denominado como nível de atenção (Aten.).

Tabela 4. 7 – Valor mínimo e de atenção de precipitação para o desencadeamento de escorregamentos.

	2 Dias		3 Dias		4 Dias		5 Dias		6 Dias		7 Dias	
	Min.	Aten.										
1989	18,5	44,6	18,5	59,4	18,5	59,4	28,0	76,5	29,5	77,8	29,5	88,8
1991	36,2	76,3	86,6	126,0	97,2	142,2	102,9	169,2	103,6	176,9	125,6	180,7
1992	8,7	72,7	15,5	87,6	16,8	101,2	30,5	131,7	79,7	139,8	114,3	192,7
1995	11,6	41,0	19,1	74,6	32,5	105,4	35,3	108,9	35,3	138,4	35,3	151,2
1996/1997	3,3	75,2	6,4	111,2	14,8	127,0	22,7	147,0	29,1	172,9	29,1	176,7
2001/2002	33,3	62,1	46,7	-	52,7	-	52,7	-	76,4	-	76,4	-
2002/2003	22,1	56,8	25,9	71,9	42,1	105,6	47,8	111,2	95,4	150,1	100,0	182,9
Todos anos	3,3	80,6	6,4	107,4	14,8	134,2	22,7	169,2	29,1	176,9	29,1	185,0
Média	19,1	61,2	31,2	88,5	39,2	106,8	45,7	124,1	64,1	142,7	72,9	162,2
Minimo	3,3	41,0	6,4	59,4	14,8	59,4	22,7	76,5	29,1	77,8	29,1	88,8
Maximo	36,2	80,6	86,6	126,0	97,2	142,2	102,9	169,2	103,6	176,9	125,6	192,7

Os valores obtidos mostram uma grande variação de um ano para o outro do valor mínimo de precipitação necessário para desencadear escorregamentos. Essa diferença pode ser devido ao histórico anterior de chuvas no ano, mês ou dias que antecederam a época chuvosa no ano de estudo. O baixo valor de chuva acumulada em dois dias no ano de 1996/1997 (3,3mm) para a ocorrência de escorregamentos pode ser explicado pelo histórico de chuvas nos dias antecedentes. Isto comprova que a precipitação acumulada na deflagração dos escorregamentos é de grande importância.

O valor mínimo de chuva acumulada de cinco dias foi de 22,7mm e a média encontrada para todos os anos foi de 45,7mm, porém somente dois anos estão acima da média. Portanto, poderá ser utilizado o valor mínimo de 22,0mm/5dias como parâmetro de início do desencadeamento dos escorregamentos.

O limite para o nível de atenção estabelecido como o nível pluviométrico acumulado que pode proporcionar grandes quantidades de acidentes de escorregamentos também foi estimado a partir dos valores encontrados nos gráficos. O valor mínimo encontrado foi de 76,5mm/5dias que ocorreu em 1989, o valor máximo em 1991 de 169,2mm/5dias e a média foi de 128,2mm/5dias. O valor estimado para o nível de atenção foi de 128,0mm/5dias.

Foi escolhido o período de 1996/1997 como exemplo para poder visualizar as faixas de separação dos pontos. Esse ano foi escolhido por ter sido o que mostrou o melhor resultado. Pode-se visualizar na Figura 4. 20 os gráficos para chuva acumulada de quatro, cinco e seis dias deste ano. No gráfico de cinco dias os limites das faixas mencionadas estão destacados.

Em 1996/1997 escorregamentos iniciaram-se para precipitações acumuladas em cinco dias acima de 22,7mm. Para chuvas com intensidade abaixo de 45,0mm/5dias existe a possibilidade de ocorrência de escorregamentos, porém esta probabilidade é baixa, com poucos registros. Para precipitações acima de 147,0mm/5dias os pontos encontrados são predominantemente de escorregamentos. Na faixa intermediária entre 45,0 e 147,0 mm de chuva acumulada em cinco dias ocorrem registros tanto de escorregamentos como sem escorregamentos.

As Figura 4. 21 e Figura 4. 22 mostram o gráfico de cinco dias de chuva acumulada para os outros anos utilizados na análise. Os limites das faixas de separação dos pontos estão destacados.

Em 1989 a quantidade de chuva acumulada em cinco dias capaz de deflagrar escorregamentos foi baixa. No entanto a média da chuva diária do mês dos escorregamentos (dezembro) foi alta, atingindo 17,9mm, valor muito acima da média da série em estudo de 4,4mm. Isto evidencia que quando ocorre chuva acumulada de baixo valor, o escorregamento pode ser deflagrado a partir de um alto valor de chuva diária.

Já em 1991 o valor inicial de chuva que causa escorregamentos foi alto, o maior obtido para os anos em estudo. Em 1990, ano anterior ao estudado, foi o ano mais seco da série. Isso influencia no valor de chuva que provoca os escorregamentos, pois será necessária uma quantidade maior de chuva para saturar o solo até o ponto em que cause a sua ruptura.

O gráfico de 1992 mostra claramente a separação das faixas mencionadas anteriormente, separando a faixa em que não ocorre escorregamento ou em pequena quantidade (abaixo de 71,3mm), a faixa em que acontece o aparecimento dos pontos simultaneamente e a terceira com a maioria dos pontos de escorregamentos (acima de 131,7mm).

No gráfico de 1995, o menor valor de chuva acumulada que causou escorregamentos foi de 35,3mm, porém outros escorregamentos que ocorreram na mesma época foram somente com precipitações acima de 116,2mm. Devido a essa diferença no gráfico não foi demarcada a limitação da faixa a partir do valor mínimo, e sim a partir do valor de chuva do nível de atenção.

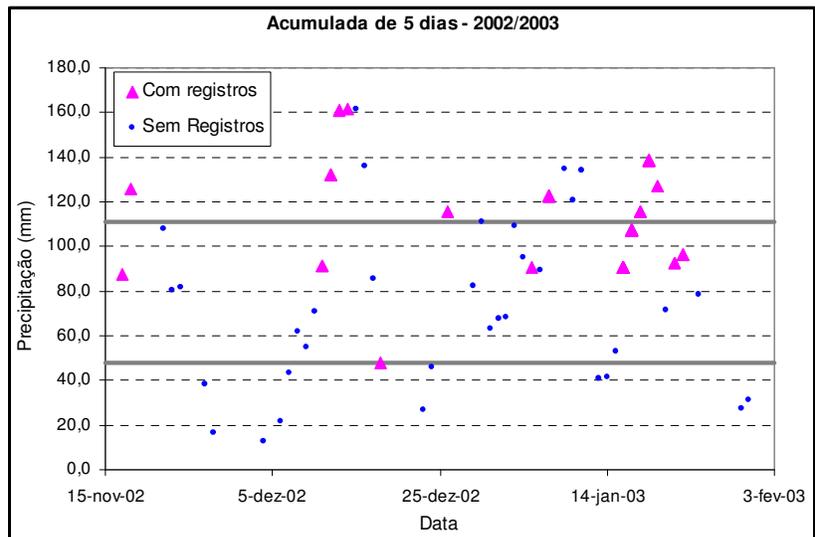
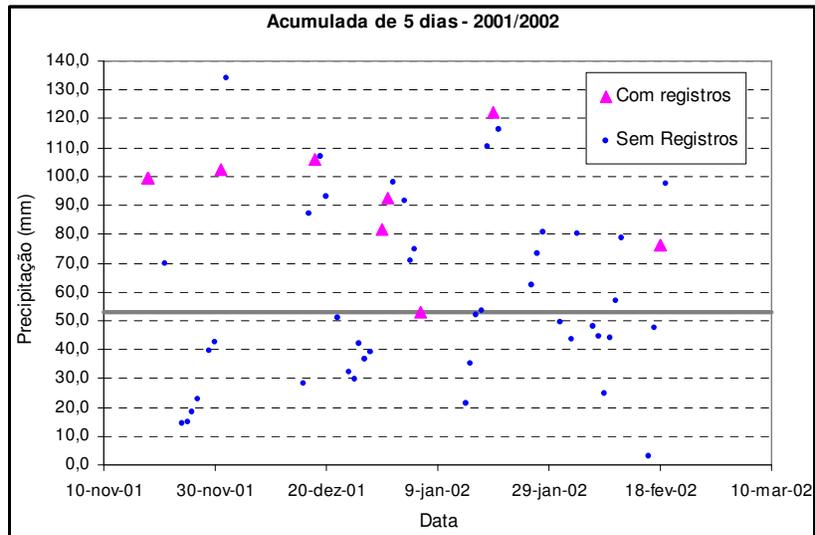
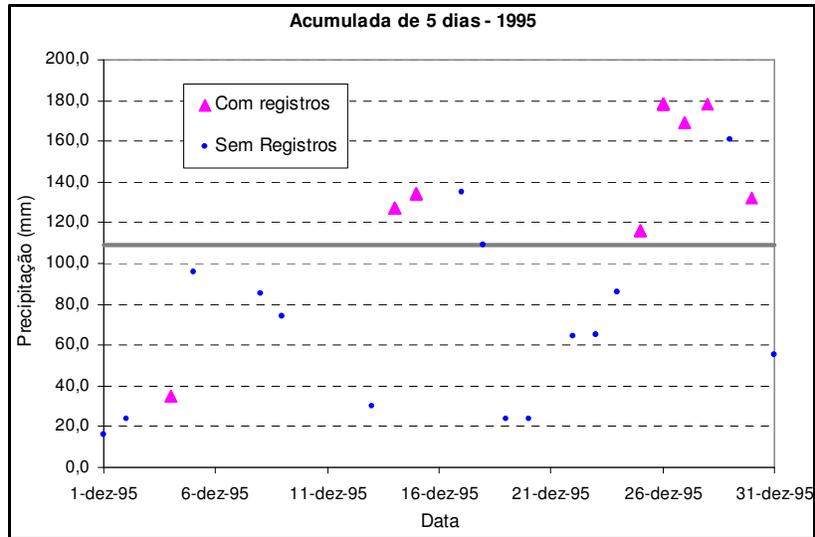


Figura 4. 22 – Gráfico de dispersão para cinco dias de chuvas acumuladas em 1995, 2001/2002 e 2002/2003.

No gráfico de 2001/2002 não foi possível identificar um limite a partir do qual ocorrem escorregamentos, somente a faixa em que os pontos com e sem registros ocorrem simultaneamente. Já no gráfico de 2002/2003 ocorrem as três faixas nitidamente.

4.6.2 - Relação Numérica entre Precipitação e Escorregamentos

A curva que correlaciona a precipitação acumulada e a precipitação diária foi definida para se obter uma relação numérica entre esses dois parâmetros. Essa curva foi obtida através de um gráfico com todos os pontos de escorregamentos e os pontos de chuvas que não provocaram escorregamentos.

A equação foi obtida através da adição de uma linha de tendência aos pontos que definem uma separação dos pontos de escorregamentos daqueles sem registro de escorregamentos. O gráfico foi feito a partir dos dados da chuva acumulada de quatro, cinco, seis e sete dias anteriores ao registro de escorregamentos. Só foi analisado o gráfico para cinco dias, número de dias de chuva acumulada que influencia na deflagração dos escorregamentos, definido no item anterior. Este valor também foi o que apresentou o melhor resultado.

Inicialmente foram utilizados todos dados do cadastro dos anos analisados na correlação, sendo eles, 1989, 1991, 1992, 1995, 1996, 1997, 2001, 2002 e 2003. A Figura 4. 23 mostra a curva encontrada para cinco dias de chuva acumulada.

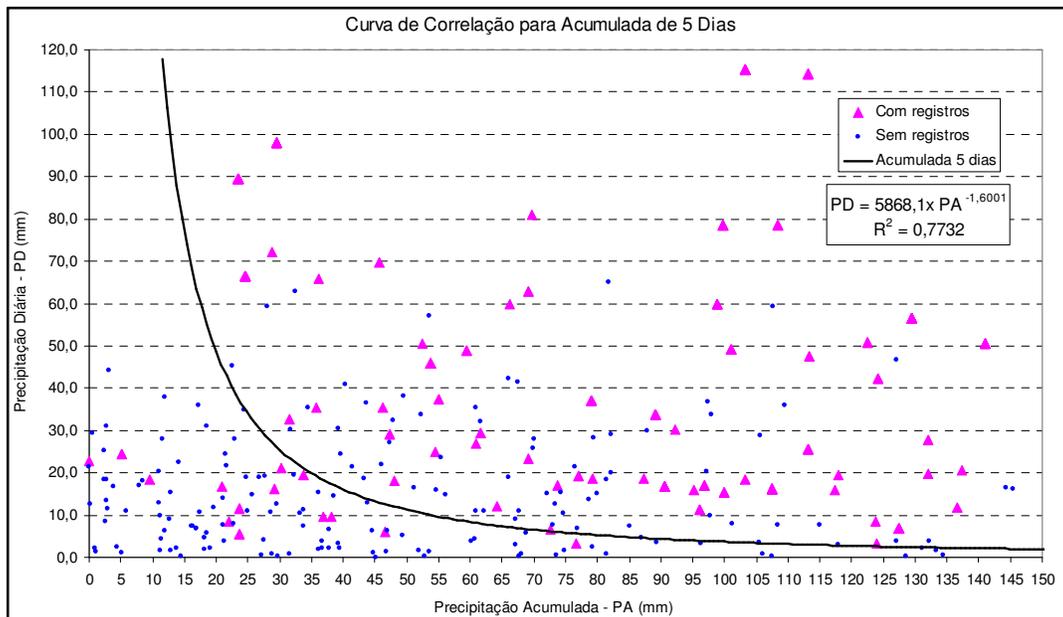


Figura 4. 23 – Curva de correlação entre precipitação diária e acumulada para cinco dias.

Como pode ser visto na Figura 4. 23, não se obteve uma curva que deixasse claro a separação dos pontos com e sem escorregamentos. Diversos pontos com escorregamentos ficaram abaixo da curva e o valor do coeficiente de determinação da curva (R^2) também não foi satisfatório, atingindo apenas 0,7732.

Diante do resultado, um novo estudo foi realizado para melhorar a qualidade da curva e conseqüentemente da equação obtida da relação entre a chuva acumulada e diária. Uma nova tentativa foi realizada retirando-se os casos de escorregamento isolado, ou seja, as ocorrências onde só tiveram um registro por dia eliminando registros de natureza antrópica, ocasionada pelo mau uso do solo e possíveis erros em relação à data ou o valor da chuva registrada no dia. Portanto este novo gráfico apresenta somente os registros de escorregamentos generalizados, ou seja, casos em que houve mais de uma ocorrência no mesmo dia. Este novo gráfico permite visualizar os registros mais severos, aqueles que podem causar grandes prejuízos em toda a cidade. O gráfico é apresentado na Figura 4. 24.

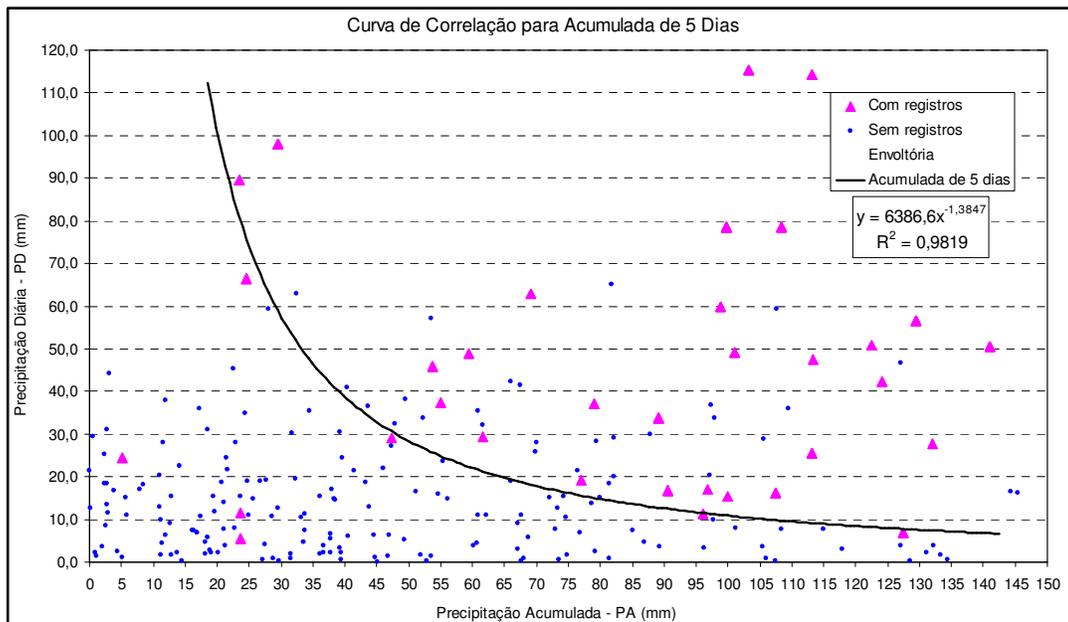


Figura 4. 24 – Curva de correlação entre precipitação diária e acumulada para cinco dias para escorregamentos generalizados.

No gráfico da Figura 4. 24 a separação dos pontos com e sem escorregamento já se encontra mais clara, sendo possível visualizar a região onde os escorregamentos aparecem com mais freqüência. O valor do R^2 foi satisfatório atingindo 0,9819, significando boa concordância dos pontos com a linha de tendência adicionada. A

equação obtida do gráfico foi: $PD = 6386,6 \times PA^{-1,3847}$, sendo que PD é a precipitação diária no dia da ocorrência e PA a precipitação acumulada em cinco dias, excluindo a precipitação do dia do escorregamento.

Com a equação estabelecida pode-se calcular a quantidade de chuva que pode ocasionar escorregamentos, a partir do valor de chuva acumulada ocorrida nos dias anteriores. Para isso é necessário o acompanhamento da chuva ocorrida nos dias antecedentes, favorecendo a prevenção dos acidentes.

Na Figura 4. 24, percebe-se que ainda existem alguns pontos de escorregamentos abaixo da curva. Porém esses pontos são poucos, menos que 10% do total. Em um dos pontos, em 11/dez/1989, os registros são de início de escorregamento e houve uma quantidade pequena de chuva nos dias antecedentes (5,1mm/5dias) e uma chuva diária alta (24,4mm) provocando pequenos deslocamentos de terra, considerado pelo Corpo de Bombeiros como um princípio de escorregamento. Em 16/jan/1997, outro ponto abaixo da curva, ocorreu o inverso de 1989. Para este dia houve uma chuva acumulada razoável (23,6 mm/5dias), após um histórico de grandes chuvas nos dias antecedentes e uma chuva no dia de apenas 5,5mm, o que provocou escorregamentos.

Para um estudo mais aprofundado, foi elaborado um gráfico com todos os registros, classificando-os de acordo com o número de escorregamentos ocorrido no mesmo dia. Esta classificação permitiu uma divisão dos escorregamentos, obtendo-se os valores pluviométricos para cada classificação. Os escorregamentos foram divididos conforme a Tabela 4. 8 e estão apresentados na Figura 4. 25.

Tabela 4. 8 – Classificação de acordo com o número de escorregamentos.

Classificação	Quantidade de Ocorrências
Eventos Isolados	Uma única por dia
Eventos de Pequeno Porte	De duas a cinco
Eventos de Médio Porte	De seis a nove
Eventos de Grande Porte	Acima de 10

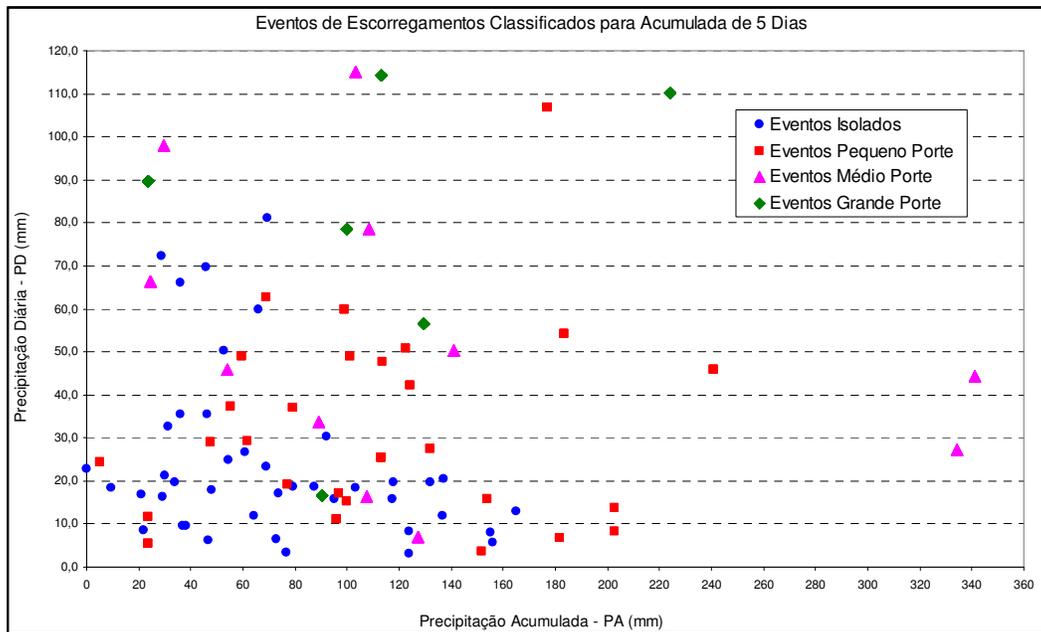


Figura 4. 25 – Evento de escorregamentos classificados de acordo com o número de registros.

De acordo com a Figura 4. 25, percebe-se que a maioria os escorregamentos isolados ocorrem para precipitações diárias até 35mm e para precipitações acumuladas em cinco dias no máximo 160mm, porém quando ocorrem valores elevados de precipitação acumulada, o valor da chuva diária é baixo. No entanto existem alguns pontos acima deste valor de chuva diária.

Para os escorregamentos de pequeno porte, em geral, a precipitação acumulada em cinco dias é acima de 45mm. No entanto à medida que aumenta a precipitação acumulada, diminui a precipitação diária capaz de provocar escorregamentos. Os pontos de registros de médio porte variam entre grandes precipitações diárias e baixas acumuladas até grandes precipitações acumuladas e baixa diária.

Os pontos de escorregamentos de grande porte, em sua maioria, ocorreram para chuvas diárias acima de 55mm com 129mm de chuva acumulada. Porém um ponto teve um valor abaixo do esperado de 90,5mm de chuva acumulada em cinco dias com uma chuva diária de 16,7mm, valores próximos de escorregamentos de pequeno porte. Isto pode ser explicado devido ao histórico pluviométrico dos dias anteriores aos cinco dias estudados, que tiveram grandes quantidades de chuvas.

Através do estudo, percebe-se que a ocorrência de escorregamentos isolados é a minoria entre os tipos de escorregamentos, com apenas 15,6% dos acidentes, com os outros três

tipos tendo praticamente a mesma incidência. A Tabela 4. 9 mostra a quantidade de cada classe de escorregamentos adotada e a sua probabilidade de ocorrência.

Tabela 4. 9 – Classificação de acordo com o número de escorregamentos.

Classificação	Quantidade de Ocorrências	Nº de acidentes.	Probabilidade
Eventos Isolados	Uma única por dia	42	15,6%
Eventos de Pequeno Porte	De duas a cinco	79	29,3%
Eventos de Médio Porte	De seis a nove	77	28,5%
Eventos de Grande Porte	Acima de 10	72	26,7%
Total:		270	100%

4.6.3 - Discussão dos resultados

Diante das análises realizadas com os registros de ocorrências de escorregamentos para a cidade de Ouro Preto, chegou-se a conclusão de que a chuva acumulada é de grande influência no desencadeamento dos escorregamentos. As análises demonstraram que o melhor indicador do início da deflagração dos escorregamentos são as chuvas acumuladas em cinco dias anteriores ao acidente.

O valor mínimo de precipitação acumulada em cinco dias foi de 22,0mm, valor pluviométrico em que começam a desencadear os escorregamentos. O valor de chuva acumulada em cinco dias, cuja possibilidade de ocorrer os escorregamentos se torna maior, foi de 128,0mm. Este valor foi designado como um patamar para a entrada em um nível de atenção em épocas de chuvas.

A equação que correlaciona a chuva diária com a chuva acumulada foi uma equação do tipo potência, devido ao melhor ajuste à curva. A equação encontrada foi: $PD = 6386,6 \times PA^{-1,3847}$, sendo PD a precipitação diária do dia do escorregamento e PA a precipitação acumulada, excluindo a precipitação do dia do acidente. Essa equação pode ser utilizada no monitoramento das chuvas acumuladas para a prevenção aos escorregamentos.

Nos dados de escorregamentos analisados, os casos de eventos isolados (apenas um escorregamento no dia) foi minoria, atingindo apenas 15,6%, ocorrendo para precipitações diárias até 35,0mm e acumuladas até 160,0mm/5dias. Os eventos de escorregamentos de grande porte ocorreram a partir de chuvas diárias 55,0mm com 129mm de chuva acumulada em cinco dias.

5. PLANO PREVENTIVO DE DEFESA CIVIL - PPDC

5.1 - CONCEITO

Os planos preventivos de defesa civil (PPDC) e os sistemas de alerta são instrumentos de prevenção de acidentes naturais e/ou tecnológicos induzidos ou não pela ação antrópica. Sua concepção prevê o planejamento de ações (que não dependem da execução de obras) que deverão ser tomadas antes, durante e depois de situações de risco, a fim de que se possam reduzir os prejuízos sócio-econômicos e o número de vítimas fatais nessas ocasiões.

Os planos podem e devem ser elaborados a partir do risco eminente de cada cidade. Podem-se ter planos de risco a escorregamentos, a enchentes, inundações, terremotos, entre outros. Os mais comuns no Brasil objetivam a prevenção contra escorregamentos, enchentes e inundações. O plano baseia-se na divisão de funções, entre as diversas instâncias do poder público em conjunto com a comunidade, para tornar possível uma convivência com o risco presente nas áreas urbanas. No entanto, o sucesso de um plano de defesa civil consiste na capacidade de integração das diversas equipes que o compõe e em sua aceitação pela comunidade, que deverá participar de todo o processo de implantação e monitoramento do plano (Alheiros *et al.*, 2003).

Os procedimentos adotados nos planos preventivos de defesa civil devem ser realizados continuamente, ao longo de todo o ano, evitando a atuação somente quando ocorrem os eventos geotécnicos, em situações emergenciais. Os períodos de seca são propícios para a realização de obras para reabilitação ou reconstrução de áreas, atualização das áreas de risco e treinamentos das equipes e populações para emergências.

As medidas a serem tomadas se baseiam na previsão das condições favoráveis à ocorrência das situações de risco. Portanto é necessária uma gestão de risco adaptada a cada município para a identificação e análise do risco eminente, avaliação das opções de intervenções (aceitação do risco, ação emergencial, relocação da população), escolha e implementação da solução e monitoramento permanente.

Para o gerenciamento do risco nas estações chuvosas é necessário estabelecer critérios para tomada de decisões, baseados nos indicadores das condições climáticas, condições de campo e estudos elaborados anteriormente em relação ao risco. No caso de escorregamentos, os parâmetros que deverão ser acompanhados são os índices pluviométricos locais, as previsões meteorológicas e observações regularmente a partir de vistorias de campo.

A adoção e continuidade dos planos de defesa civil é um instrumento de segurança para as cidades onde a ocorrência de eventos geotécnicos afeta a população. As medidas preventivas podem inibir ou reduzir os danos dos movimentos de massa, evitando prejuízos e perdas de vida. Nos próximos itens serão descritos dois dos principais sistemas de alerta contra escorregamentos atualmente em atividade no Brasil.

5.1.1 - Plano Preventivo de Defesa Civil do Estado de São Paulo

No início de 1988, após diversos acidentes de deslizamentos no Brasil, o Governo de São Paulo juntamente com o IPT, IG/SP, Instituto Florestal e o Instituto de Botânica iniciaram alguns estudos sobre as áreas de risco de escorregamento e algumas soluções para minimizá-los (Macedo, 2003).

Uma das propostas apresentadas foi a elaboração do Plano Preventivo de Defesa Civil (PPDC) em quatro cidades da região da Baixada Santista e mais quatro do Litoral Norte, tendo sido implantado no final de 1988. Atualmente o PPDC abrange 51 municípios de São Paulo (Ministério das Cidades, 2004).

Segundo Macedo (2003), o PPDC em São Paulo consiste na constante atualização das áreas de risco, criação de critérios e acompanhamento de parâmetros adequados a cada município, além da capacitação de equipes técnicas municipais através de cursos ministrados pelo IPT.

O plano é estruturado em quatro níveis: observação, atenção, alerta e alerta máximo, sendo que cada nível tem seus procedimentos diferenciados e critérios estabelecidos para alteração de um nível para outro. A Tabela 5. 1 mostra os níveis estabelecidos, os procedimentos adequados a cada nível e os critérios de alteração de um nível para outro.

Tabela 5.1 – Níveis do PPDC de São Paulo (Macedo, 2003)

Nível	Critério de Entrada	Ações específicas
Observação	Início do PPDC	Acompanhamento dos índices pluviométricos e da meteorologia
Atenção	Chuva acumulada em três dias e previsões meteorológicas	Vistorias de campo nas áreas de risco
Alerta	Registros de aspectos de instabilidade nas áreas de riscos ou em proximidades	Remoção preventiva dos moradores das áreas de risco iminente observadas pela vistoria
Alerta Máximo	Registro de deslizamento nas áreas de risco ou em proximidades e previsão meteorológica	Remoção dos habitantes de todas as áreas de risco.

Os técnicos municipais fazem vistorias nas áreas de risco (monitorando as estruturas das casas, surgimento de trincas, deslizamentos, entre outros), coletam diariamente os índices pluviométricos do local e acompanham as previsões meteorológicas fornecidas pelo CEDEC / SP (Coordenadoria Estadual de Defesa Civil).

Se os níveis de chuva alcançarem o valor crítico estabelecido anteriormente, o município entra em estado de atenção e os técnicos municipais realizam vistorias no local. Se for necessário, a população é removida. Os órgãos do governo (IPT/IG) acompanham a situação de cada município através de comunicação e quando ocorrem situações de emergência, há um deslocamento da equipe do IPT para a cidade, a fim de que possa fazer vistorias mais especializadas.

5.1.2 - Sistema de Alerta Rio

O sistema de alerta para escorregamentos do município do Rio de Janeiro foi idealizado pela equipe técnica da GEORIO e começou suas atividades no final de 1996. Iniciaram com levantamento geofísico e topográfico, foto interpretação geológica e mapeamento da superfície, furos de sondagem e instalação de instrumentação de campo automatizada. A instrumentação consistiu na implantação de piezômetros, inclinômetros, marcos de superfície e pluviômetros (Ortigão & Sayão, 2004).

Depois de dois anos de pesquisa, esta instrumentação se mostrou obsoleta para o uso no sistema de alerta, pois os escorregamentos se desenvolviam em uma certa velocidade que restringia a utilização dos inclinômetros, marcos de superfície e piezômetros na obtenção de dados para a prevenção dos acidentes. Foram utilizados então somente os pluviômetros.

Atualmente, o funcionamento do sistema de alerta é baseado em 32 estações de registros pluviométricos, sendo duas também estações meteorológicas, espalhados pela cidade, cujos dados são transmitidos via rádio a cada 15 minutos para a estação central. São também utilizados dados de um radar meteorológico e sistema de detecção de raios, além da consulta de imagens de satélites e análises meteorológicas. Todos esses equipamentos e dados são importantes para a previsão das chuvas.

Em sua concepção inicial, o Alerta Rio foi planejado para um sistema de prevenção contra escorregamentos. Em estudos preliminares (D’Orsi *et al.*, 1997) foram estabelecidos níveis críticos para pluviosidade capaz de deflagrar movimentos de massa. Quando atingido esses níveis são emitidos alertas nos meios de comunicação da cidade.

Em 1999 o Alerta Rio passou a ser também um sistema de prevenção contra chuvas intensas, sendo estabelecidos níveis críticos para este fim. Quando estes níveis são alcançados, é emitido um boletim de alerta aos serviços públicos que cuidam da defesa civil, do trânsito, da limpeza, entre outros. Para este novo papel do sistema houve a necessidade da contratação de equipes de meteorologistas para o sistema funcionar 24 horas (D’Orsi *et al.*, 2004).

A Tabela 5. 2 mostra a descrição dos níveis de alerta para escorregamento e para chuvas intensas e os procedimentos adotados para cada estágio de condições de chuva. Além dos procedimentos descritos, em todos os níveis há atualização dos dados na página do sistema de alerta na internet, que possibilita acesso livre aos dados. Na Tabela 5. 3 são apresentados os critérios para mudança de nível para a probabilidade de escorregamento.

Tabela 5. 2 – Descrição e procedimentos do Plano de Monitoramento de Chuvas Intensas da GEORIO

Probabilidade de Escorregamento		Condição das Chuvas		Procedimentos
Nível	Descrição	Estágio	Descrição	
Baixo	Possibilidade de ocorrências de escorregamentos circunstanciais	Vigilância	Ausência de chuva ou chuva leve nas próximas 6 horas	Verificação dos dados meteorológicos
Médio	Possibilidade de ocorrências de escorregamentos ocasionais	Atenção	Possibilidade de chuva moderada, ocasionalmente forte, nas próximas horas	Comunicação oral (telefone/rádio) para os departamentos municipais (defesa civil, controle de tráfego, saneamento, manutenção de sarjetas, etc)

Alto	Ocorrências de escorregamentos esparsos	Alerta	Chuva forte nas próximas horas podendo causar alagamentos e deslizamentos isolados	Boletim de Alerta (por fax) para as principais estações de rádio e TV
Muito Alto	Ocorrências de escorregamentos generalizados	Alerta Máximo	Chuva muito forte nas próximas horas podendo causar alagamentos e deslizamentos generalizados	Comunicação oral para os departamentos municipais e boletim de alerta máximo (por fax) para principais estações e TV

Fonte: D'Orsi et al., 2004

Tabela 5. 3 - Critérios para mudança de nível de probabilidade de escorregamentos da GEORIO

Nível	Critérios: Pelo menos 2 pluviômetros / área registrada durante a crise
Médio	10 a 30 mm/h ou 50 a 100 mm/24h
Alto	30 a 50 mm/h ou 100 a 175 mm/ 24h
Muito Alto	> 50mm/h ou 175 mm/ 24h

Fonte: D'Orsi et al., 2004

5.2 - DIRETRIZES PARA ELABORAÇÃO DE PPDC

Os planos preventivos de defesa civil devem ser elaborados pelo poder público municipal, juntamente com os poderes estadual e federal para atuar na prevenção e remediação nos eventos geotécnicos naturais ou induzidos pela própria população, sendo uma importante ferramenta de atuação da defesa civil.

As etapas de concepção e atuação da defesa civil são importantes para proporcionar o suporte para a implantação e continuidade aos planos de defesa civil. Estas etapas são o planejamento, que se insere a criação do PPDC; a preparação, quando tomadas as providências operacionais; a resposta ao desastre nas horas emergenciais dos acidentes, que corresponde ao socorro às vítimas; reabilitação e reconstrução das áreas afetadas pelos eventos; e monitoramento permanente ao longo de todas as fases.

Para a elaboração do PPDC é necessário buscar as informações sobre os tipos de eventos que podem ocorrer, estabelecer procedimentos para todas as estações do ano, tais como intervenções em épocas de chuva e treinamento ou atualização das áreas de risco em épocas de seca. Para este planejamento é aconselhável que se desenvolvam diretrizes baseadas nas seguintes perguntas:

- Porque? Quais os tipos de processos que ocorrem;
- Onde? Quais as áreas que são afetadas pela alta incidência dos movimentos de massa (mapeamento das áreas críticas);
- Quando ocorrem? Correlação com os índices pluviométricos, monitoramento das áreas e estabelecimento de níveis gradativos para tomadas de decisões;
- Quem? Quais as equipes que deverão ser formadas e quem participará delas;
- O que fazer? Medidas estruturais (obras de recuperação) ou não-estruturais (PPDC).

As etapas para a montagem do PPDC constituem de quatro fases, sendo elas a elaboração, a implantação, a operação e a avaliação. Para a montagem de um plano preventivo para movimentos de massa cada fase será discriminada nos itens abaixo, seguindo o modelo adotado pelo Ministério das Cidades (2004), que juntamente com o IPT, elaborou um curso de gerenciamento de áreas de risco para a capacitação de técnicos municipais. O Ministério das Cidades vem atuando junto com os municípios para a implantação de planos de redução de riscos.

5.2.1 - Fase de Elaboração

Nesta fase deverão ser levantados todos os documentos existentes sobre os movimentos de massa, definidos todos os critérios técnicos e os sistemas que serão utilizados, as instituições participantes, suas funções e responsabilidades. É importante que se tenha um suporte legal para a implantação e operação do PPDC, respaldado pelo poder legislativo do município.

Para a prevenção dos movimentos de massa é importante a elaboração dos seguintes itens: modelo geológico/geotécnico do local; identificação, análise e cartografia dos riscos; critérios técnicos para deflagração de ações preventivas; sistemas de monitoramento de parâmetros e definições de ações e medidas preventivas.

A partir da definição do modelo geológico/geotécnico e da identificação e cartografia dos riscos espera-se realizar o mapeamento das áreas de risco, que contenha as áreas com risco eminente, o zoneamento de acordo com a vulnerabilidade aos riscos e cadastro dos pontos mais críticos.

Na avaliação dos critérios técnicos para deflagração devem-se monitorar os sinais de movimentação nos terrenos e analisar o principal agente deflagrador dos movimentos de massa, a chuva. Para isto é necessário conhecer a correlação entre a chuva e os escorregamentos para identificar a quantidade necessária de água que é capaz de provocar os eventos geotécnicos. Esta correlação pode ser obtida através da curva que relaciona a chuva acumulada com a chuva ocorrida no dia do movimento de massa, construída a partir de levantamento do histórico dos eventos no local. Outro parâmetro que deverá ser considerado para os critérios de deflagração é o acompanhamento pluviométrico e as previsões meteorológicas, que poderá prevê a quantidade de chuva que poderá cair sobre a área. As vistorias de campo também auxiliam nos critérios de deflagração através do acompanhamento da evolução das feições de instabilidade do terreno. Em épocas chuvosas essas feições poderão indicar o início de movimentação do terreno.

O sistema de monitoramento dos parâmetros estabelecidos consiste no acompanhamento das chuvas acumuladas, nas previsões meteorológicas e nas vistorias de campo. Para o acompanhamento das chuvas acumuladas é necessário que se tenha instalado na área pelo menos um pluviômetro, registrando a chuva diária, para comparação baseada em valores de referências retirada de estudos anteriores. As previsões meteorológicas poderão ser acompanhadas através da rede eletrônica (Internet) com a observação de previsão de chuvas prolongadas. As vistorias de campo deverão ser realizadas antes dos períodos de chuva para atualização das áreas de risco e durante para acompanhar os indícios de movimentação. Essas vistorias poderão ser realizadas pelos técnicos da prefeitura treinados especialmente para identificar as áreas de risco e decidir pela remoção da população em casos extremos.

A definição das ações e medidas preventivas estabelece os níveis de atuação do PPDC, seus procedimentos e os critérios de entrada e saída de cada nível. Normalmente os níveis estabelecidos para o PPDC são: Observação, Atenção, Alerta e Alerta Máximo. Os critérios de cada nível variam de acordo com os índices pluviométricos e duração das chuvas. As ações de cada nível podem variar de apenas observação até remoção total da população das áreas de risco.

Deverão ser propostas as ações e medidas preventivas ou corretivas emergenciais nas áreas instabilizadas, que deverão ser implantadas antes do próximo período chuvoso.

Estas intervenções podem ser pequenas obras públicas, serviços de manutenção em drenagens, demolições de edificações condenadas, entre outras.

5.2.2 - Fase de Implantação

Na fase de implantação do PPDC deverão ser alocados todos os dispositivos necessários para o bom funcionamento da defesa civil e ser organizada toda a parte burocrática para o funcionamento correto do plano. Nesta fase devem ser estabelecidos os procedimentos operacionais, as atribuições e responsabilidades, organização do sistema de comunicação, determinação dos recursos necessários, treinamento de técnicos municipais e população envolvida e divulgação e informações à população.

Deverão ser constituídas diversas equipes, que se responsabilizarão pela operação do plano e deverão ter suas funções determinadas. Deve-se ter uma equipe administrativa responsável pelo monitoramento dos índices pluviométricos; recebimento e interpretação da meteorologia; recebimento de chamadas; manutenção de arquivos e tomada de decisões. Uma equipe técnica deverá ficar com a responsabilidade das vistorias, auxiliando no mapeamento prévio das áreas; nas vistorias durante a operação do Plano e nas informações para remoção da população, caso necessário. Também deverá haver pessoal responsável pela parte social da população em caso de emergências, elaborando o cadastro dos moradores das áreas de risco, cadastro e manutenção de abrigos e a remoção dos moradores e de seus bens, quando necessário. Uma outra equipe técnica deverá cuidar da reabilitação das áreas acidentadas, com a recuperação de vias, rios, sistemas de drenagem, utilização de máquinas e decisões sobre obras. O número de pessoas para formar as equipes pode variar de acordo com o tamanho das áreas de risco de cada município.

Para o sistema de comunicação poderão ser utilizados os equipamentos comuns existentes no mercado, tais como, o telefone (celular, fax), rádio comunicador e as estações de rádio da cidade e a internet. Deverão ser instituídos procedimentos de comunicação interna (entre as equipes da defesa civil) e externa (população). A cada alteração de nível do PPDC deverá acontecer um comunicado para os responsáveis técnicos para acionar a vistoria. Se com a análise dos parâmetros for constatado o nível de alerta, a população deverá ser avisada. Isto poderá ser realizado com convênios com as estações de TV e rádio local.

Deverão ser alocados os materiais, equipamentos e os recursos financeiros e pessoais para a operação do plano. Deverão também ser estocado, por precaução, materiais para abrigo da população em caso de remoção das áreas de risco. Esses materiais consistem em: cestas básicas, colchonetes, cobertores, roupas, material para atendimentos médicos, lona plástica e produtos de limpeza.

Para a capacitação dos funcionários que atuarão junto à população deverão ser ministrados cursos preparatórios para a identificação das áreas de risco, sinais de ruptura do solo, tratamento com a população, leituras dos equipamentos que vierem a ser instalados e exercícios de simulações. A comunidade deverá ser orientada sobre o plano e seus benefícios através de palestras, folders, cartazes e cartilhas.

5.2.3 - Fase de Operação e Avaliação

A fase de operação deverá ocorrer com plantões permanentes, especialmente em períodos de chuva, vistorias de campo regulares, participação da população e manutenção dos sistemas de comunicação. Em todas as etapas da operação deverão ser identificados eventuais problemas e suas causas.

Durante a operação deverão ser testadas as mudanças de níveis e seus procedimentos, a viabilidade da comunicação de perigo, os atendimentos preventivos e emergenciais, evacuações das áreas de risco e os serviços de urgências. À medida que forem ocorrendo os procedimentos, estes deverão ser analisados quanto a sua funcionalidade e a adequação à população.

A cada saída dos níveis de alerta e alerta máximo, os itens acima deverão se ajustados e aprimorados para melhorar e extinguir alguma falha existente. O balanço e revisão crítica do PPDC ao final de cada período chuvoso são necessários para o seu melhoramento.

5.3 - PPDC APLICADO A OURO PRETO

Ouro Preto, apesar de possuir diversas áreas vulneráveis a movimentos de massa, ainda não possui um órgão de defesa civil instituído. A implantação já está em andamento, com a votação do projeto de Lei que cria a Coordenadoria Municipal de Defesa Civil (COMDEC). Enquanto aguarda a legitimação da sua criação, a COMDEC atua apenas

com vistorias nas residências que solicitam o atendimento. Com a criação do COMDEC, um plano preventivo deverá ser elaborado, pois como visto nos tópicos anteriores, muitos itens que são necessários para a elaboração de um plano preventivo de defesa civil já existem para Ouro Preto.

Neste trabalho foram elaborados alguns desses itens, sendo um deles o mapa (Anexo II) com as principais áreas de risco em relação a escorregamentos, baseado em um banco de dados de mais de 17 anos e com 415 ocorrências registradas pelo Corpo de Bombeiros. O mapa indica as áreas classificadas em três níveis entre alto, médio e baixo risco de acordo com o número de movimentos, o tamanho da área afetada e as condições de campo.

Neste trabalho também foi obtida a correlação entre chuvas e escorregamentos, inclusive com valores de precipitação acumulada em cinco dias que podem provocar escorregamentos. A curva e a equação que mostram a relação numérica entre a chuva diária e a chuva acumulada em cinco dias foram mostradas no tópico 4.6.2.

As áreas de risco de Ouro Preto são vistoriadas pelo Corpo de Bombeiro do município, responsável pelo registro das ocorrências de eventos relacionadas a movimentos de massa. A equipe não tem conhecimentos técnicos adequados para a identificação do movimento ou para previsões de ocorrência, porém possui a experiência de atuarem na região e conhecer os locais onde ocorre o maior número de incidências. Deve haver um treinamento específico para o atendimento às áreas de risco.

Como parâmetros de análises para a prevenção dos escorregamentos, poderão ser monitoradas as chuvas de cinco dias de acumulada, tendo um valor mínimo para a entrada de um nível de atenção de 22,0mm. Para um nível de alerta o valor encontrado foi de 128,0mm acumulados em cinco dias. A equação encontrada para a relação numérica entre a chuva acumulada e a chuva diária foi: $PD = 6386,6 \times PA^{-1,3847}$, sendo PD a precipitação diária do dia do escorregamento e PA a precipitação acumulada, excluindo a precipitação do dia do evento. Os valores encontrados através desta relação poderão ser utilizados no monitoramento das chuvas diárias, sendo uma aplicação prática da equação encontrada. A tabela do Anexo IV mostra os valores da chuva diária e a chuva acumulada em cinco dias que poderão servir de base para intervenções e mudanças de níveis do PPDC. Como exemplo desta aplicação, de acordo com a tabela do Anexo IV,

para uma chuva acumulada em cinco dias de 35,0mm qualquer chuva adicional de 46,5mm já tem alta probabilidade de ocorrer escorregamentos.

Na Tabela 5. 4 está proposto uma relação dos níveis de PPDC aplicado a Ouro Preto, baseado nos resultados encontrados neste trabalho. Junto à proposição dos níveis estão expostos os critérios de entrada com os valores de chuva acumulada e as ações específicas relacionadas a cada nível, baseadas nos PPDC existentes na literatura.

Tabela 5. 4 – Níveis do PPDC proposto para Ouro Preto

Nível	Índice Pluviométrico	Critério de Entrada	Ações específicas
Observação	0,0 a 22,0 mm/5 dias	Início do PPDC	Acompanhamento dos índices pluviométricos e da meteorologia
Atenção	22,0 a 128,0 mm/5dias	Início das chuvas prolongadas e previsões meteorológicas	Vistorias de campo nas áreas de risco e acompanhamento dos índices pluviométricos
Alerta	Acima de 128,0 mm/5dias	Aspectos de instabilidade nas áreas de riscos ou em proximidades; previsão da continuidade das chuvas.	Vistorias de campo nas áreas de risco, remoção da população

Diante dos aspectos técnicos já elaborados, seria necessária a criação por parte da prefeitura de um órgão de defesa civil para a operação de um plano preventivo de defesa civil em Ouro Preto. No entanto seria necessário estipular os recursos materiais, humanos e financeiros para a sua operação.

Para o monitoramento das chuvas seria necessária a instalação de uma rede de pluviômetros capaz de medir a precipitação ocorrida em pontos estratégicos nas áreas mais afetadas pelos movimentos de massa. Para a capacitação do Corpo de Bombeiros, permitindo-os identificar melhor o tipo de movimento e fazer o monitoramento das feições de instabilidades, deverá ser feito um treinamento através de cursos e palestras, além da capacitação de pessoas da comunidade para atuar como voluntários para a defesa civil.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 - CONCLUSÕES

O principal objetivo deste trabalho foi entender a influência da precipitação no desencadeamento dos movimentos de massa nas encostas urbanas da cidade. Além do estudo para o objetivo principal foram elaborados os seguintes itens:

- Cadastro georreferenciado dos movimentos de massa de 1988 a 2004;
- Zoneamento da área urbana de acordo com o número de acidentes relacionados aos movimentos de massa;
- Diretrizes para a elaboração de um plano preventivo de defesa civil para os escorregamentos da cidade.

A partir deste trabalho foi possível estudar a evolução das áreas críticas em relação aos movimentos de massa ao longo do tempo acompanhando a urbanização de Ouro Preto, analisar a influência da pluviosidade no desencadeamento dos escorregamentos e fornecer ferramentas técnicas para a defesa civil do município desenvolver um monitoramento dos eventos pluviométricos que causam grandes prejuízos na cidade.

O geoprocessamento mostrou-se uma ferramenta importante na análise temporal dos registros de movimentos de massa, permitindo a visualização da situação de perigo ao longo dos anos, proporcionada pela ocupação desordenada do município nas últimas décadas. A cada nova área ocupada cresce o número de situações de risco aos escorregamentos, evidenciando a relação entre a má ocupação e os movimentos de massa. O mapeamento das áreas críticas em relação aos riscos geológicos permitiu o zoneamento dos locais de risco aos movimentos de massa, que podem ser considerados como prioritários para intervenções preventivas e corretivas.

O mapa com as principais áreas de risco em relação a escorregamentos teve como base um banco de dados de 17 anos, com 415 ocorrências registradas pelo Corpo de Bombeiros. Através do zoneamento das áreas críticas da cidade, obteve-se uma classificação destas áreas em alto, médio e baixo risco, de acordo com a quantidade de

registros de ocorrências, tamanho da área afetada e as condições locais verificadas em trabalhos de campo. As áreas mais problemáticas se localizam na Serra de Ouro Preto, além dos bairros Padre Faria e Santa Cruz. Os acidentes ocorridos nestes locais se agravam devido às práticas inadequadas de construção, tais como cortes impróprios nos taludes, ocupação de antigos depósitos de mineração, deposição inadequada de lixo e resíduos de construção, esgoto e águas servidas sem canalizações, baixa qualidade das construções residenciais, entre outros. Alguns locais necessitam de intervenções para melhoria da infra-estrutura dos bairros e em outros pode ser necessário até remoção da população.

Baseado nos estudos realizados de correlação da pluviosidade com os escorregamentos conclui-se que a chuva acumulada é de grande importância no desencadeamento deste tipo de movimento de massa. Ela é responsável pela saturação do solo até o ponto de ruptura do talude.

O valor da chuva acumulada e os dias que mais interferem no processo de instabilização podem variar de um ano para outro. Baseado no cadastro elaborado neste trabalho foi possível determinar como cinco dias de chuva acumulada que mais influencia na deflagração dos escorregamentos.

O valor mínimo de precipitação acumulada necessária para provocar a ruptura das encostas de Ouro Preto também varia muito de ano para ano e tem relação direta com as chuvas acumuladas anteriores. Este valor mínimo foi estimado pelas análises realizadas em 22,0mm de chuva acumulada em cinco dias e pode ser utilizado como parâmetro para tomada de decisões em um plano de monitoramento dos movimentos de massa.

O valor encontrado de chuva acumulada em cinco dias em que aumenta a probabilidade de ocorrência de acidentes mais severos foi de 128,0mm. Este valor poderá ser utilizado como um patamar para uma maior atenção em épocas de chuvas.

Encontrou-se uma equação do tipo potência que correlaciona a precipitação diária (PD) com a precipitação acumulada (PA) em cinco dias, excluindo a precipitação do dia do acidente. Os valores obtidos através desta equação, $PD = 6386,6 \times PA^{-1,3847}$, têm uma aplicação prática no monitoramento das chuvas para a prevenção dos escorregamentos, servindo de base para intervenções da defesa civil.

De acordo com o cadastro realizado e com os resultados obtidos, pode-se concluir que os escorregamentos que provocam maiores prejuízos a cidade e que ocorrem com maior frequência, chamados de eventos generalizados, são aqueles em que são registrados mais de um acidente em locais diferentes no mesmo dia. Para este tipo de evento, os valores pluviométricos que desencadeiam esses movimentos são altos, da ordem de 129,0mm de chuva acumulada em cinco dias com chuvas diárias de 55,0mm. Os eventos isolados (apenas um escorregamento por dia) ocorrem em pequena quantidade, apenas 15,6%, e dispersos pela cidade. Sua causa pode ser atribuída diretamente à ação humana, tais como cortes inadequados nas encostas.

Neste trabalho não foi possível elaborar uma correlação dos movimentos de massa com a litologia local. Isto se deve ao cadastro anterior de Bonuccelli (1999) não apresentar estes dados e pela falta de uma base cartográfica geológica de maior detalhe.

Os resultados encontrados para as análises de correlação entre a pluviosidade e escorregamentos podem ter sido afetados pela distância entre o posto de coleta dos dados pluviométricos e as áreas onde ocorrem o maior número de movimentos de massa, a Serra de Ouro Preto. Apesar do resultado satisfatório da análise de consistência dos dados mensais de precipitação, a comparação dos dados diários não foi satisfatória.

A partir dos resultados técnicos produzidos neste trabalho, podem-se implantar sistemas para a prevenção de movimentos de massa na cidade. Para isto seria necessária a implantação de postos pluviométricos para um melhor monitoramento da chuva acumulada e treinamento da equipe que trabalha com a defesa civil de Ouro Preto.

6.2 - SUGESTÕES PARA PESQUISAS ADICIONAIS

Com o propósito de se estabelecer pesquisas e procedimentos complementares aos estudos desenvolvidos no presente trabalho, propõem-se algumas sugestões:

- Instalação de uma rede de pluviômetros para leituras diárias da precipitação, permitindo o acompanhamento das chuvas acumuladas;
- Instalação de pelo menos um pluviógrafo para leituras horárias da precipitação de Ouro Preto e, com estes dados, o desenvolvimento de novos estudos correlacionando os escorregamentos com as chuvas horárias;

- Recadastramento das ocorrências examinando a geologia de cada acidente ocorrido, permitindo uma correlação da precipitação de acordo com a litologia local de cada escorregamento;
- Tratamento estatístico dos dados pluviométricos e de escorregamentos, analisando a distribuição de frequência de cada parâmetro;
- Elaboração e aplicação de um plano preventivo de defesa civil para prevenção e monitoramento dos movimentos de massa que ocorrem em Ouro Preto;
- Estudo de reurbanização das áreas mais críticas em relação aos movimentos de massa, para adequação ao risco que apresentam.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALHEIROS, M.M.; SOUZA, M.A.A.; BITOUN, J.; MEDEIROS, S.M.G.M.; AMORIM JÚNIOR, W.M. (2003). *Manual de ocupação de morros da Região Metropolitana de Recife*. Recife: Fundação de Desenvolvimento Municipal (Recife). 384p. Disponível em <<http://www.proventionconsortium.org/toolkit.htm>>. Acesso em 27 de dezembro de 2005.

ALMEIDA, M. C. J.; NAKAZAWA, V. A.; TATIZANA, C. (1993). *Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos no Município de Petrópolis, RJ*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 7., Poços de Caldas. Anais... Poços de Caldas: ABGE, 1993, p. 129-137.

AMARAL, C.P. (1996). *Escorregamentos no Rio de Janeiro: inventário, condicionantes geológicas e redução do risco*. Dissertação (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Pontífice Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

AU, S.W.C. (1998) *Rain- induced slope instability in Hong Kong*. Engineering Geology, Hong Kong, v. 51, p. 1-36.

AUGUSTO FILHO, O & VIRGILI, J.C. (1998). Estabilidade de taludes. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Edit.). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Cap. 15, p. 243-269.

AUGUSTO FILHO, O. (1992). *Cartas de risco de escorregamento: uma proposta metodológica e sua aplicação no Município de Ilha Bela*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, USP.

BONUCCELLI, T. & ZUQUETTE, L.V. (1999), *Movimentos gravitacionais de massa e erosões na cidade histórica de Ouro Preto, Brasil*. Revista Portuguesa de Geotecnia, nº 85, p. 59-80.

- BONUCCELLI, T. (1999). *Estudos dos movimentos gravitacionais de massa e processos correlatos da área urbana de Ouro Preto / MG*. Tese de Doutorado em Engenharia Civil: Área de Geotecnia. USP / São Carlos.
- BRAND, E.W. (1992). *Slope Instability in Tropical Areas*. Keynote paper. Proc. 6th International Symposium Landslides. Christchurch, New Zealand, vol.3, p.2031-2051.
- CAMPOS, L.E.P. (1984). *Influência da sucção na estabilidade de taludes naturais em solos residuais*. Dissertação de mestrado em Geotecnia. Pontifícia Universidade Católica – PUC / RJ.
- CARVALHO, E. T. (1982). *Carta Geotécnica de Ouro Preto*. Dissertação de Mestrado. Universidade Nova Lisboa. Lisboa.
- CARVALHO, R.A.G. (2001). *Hierarquização de áreas susceptíveis a movimentos gravitacionais de massa e processos erosivos no Bairro Santa Cruz em Ouro Preto – MG, na escala 1: 2.000*. Dissertação de Mestrado. Escola de Minas, UFOP.
- COROMINAS, J. & MOYA, J. (1999). *Reconstructing recent landslide activity in relation to rainfall in the Llobregat River basin, Eastern Pyrenees, Spain*. *Geomorphology*, [S.I.], v. 30, p. 79-93.
- COSTA NUNES, A.J.; BRANDÃO, C.A.; DIAS, P.H.V.; FERNANDES, C.E.D.M. (1983). *Landslides due to intense tropical rainfall in Brazil*. VII Panamerican Conference on soil Mechanics and Foundation Engineering, Vancouver. Vol. I, pp.291-304.
- D'ORSI R.N., FEIJÓ R.L. and PAES, N.M. (2000). *Rainfall and Mass Movements in Rio de Janeiro*. Proceedings of 31nd International Geological Congress, Rio de Janeiro, Brasil.
- D'ORSI, R.; D'Ávila, C.; ORTIGÃO, J.A.R.; DIAS, A.; MORAES, L.; SANTOS, M.D. (1997). *Rio-Watch: The Rio de Janeiro landslide watch system*. 2^a Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas (2^a COBRAE). Rio de Janeiro. Vol. I, pp. 21-30.
- D'ORSI, R.N.; FEIJÓ, R.L.; PAES, N.M. (2004). *2.500 Operational days of Alerta Rio System: History and Technical Improvements of Rio de Janeiro Warning System for Severe Weather*. In: Ninth International Symposium on Landslides. Rio de Janeiro.

DELMONACO, G., IPPOLITO, F., MARGOTTINI, C. (1995). *The CEC Project. Meteorological Factors influencing slope stability and slope movement type: evaluation of hazard prone areas*. Proc. 1st Review Meeting of Hydrological and Hydrogeological Risks. Brussels, p. 259-283, editado por R. Casale, Official Publications of European Communities. Bruxelas.

ELBACHÁ, A.T., CAMPOS, L.E.P., BAHIA, R.F.C. (1992). *Tentativa de correlação entre precipitação e deslizamentos na cidade de Salvador*. 1ª Conferência Brasileira sobre estabilidade de Encostas. 1ª COBRAE

FARIA, M.A.S. (1996). *Reabilitação Urbana: Política habitacional de intervenção em Centros Históricos*. Monografia de Especialização em Cultura e Arte Barroca. IFAC. UFOP. 60p.

FEIJÓ R.L., D'ORSI R.N., and PAES, N.M. (2001). *Chuvas e Movimentos de Massa no Município do Rio de Janeiro*. Proceedings of 3rd COBRAE, Brazilian Conference on Slope Stability, Brasil.

FERNANDES, G. (2000). *Caracterização Geológica – Geotécnica e propostas de estabilização da Encosta do Morro do Curral – Centro de Artes e Convenções de Ouro Preto*. Dissertação de Mestrado. Escola de Minas, UFOP.

FERNANDES, G.; SOBREIRA, F.G.; GOMES, R.C. (2002). *Caracterização e Classificação Geomecânica da Encosta do Morro do Curral-Centro de Artes e convenções de Ouro Preto*. In: 10º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2002, Ouro Preto / MG, 2002.

FIORILLO, F. & GUADAGNO, F.M. (2002). *Rainfall induced landslides: the example of Ferrandina (Southern Italy)*. Engineering Geology for Developing Countries – Proceedings of 9th Congress of the International Association for Engineering Geology and the Environment. Durban, South Africa.

FLAGEOLLET, J.C.; MAQUAIRE, O.; MARTIN, B.; WEBER, D. (1999). *Landslides and climatic conditions in the Barcelonnette and Vars basins (Southern French Alps, France)*. Geomorphology, [S.I], v. 30, p.65-78.

FONSECA, M.A.; SOBREIRA, F.G.; RAINHO, M.E.; OLIVEIRA, M. (2001). *Unbridled Development of Urban Space and its Implications for the Preservation of Landmarks: The Morro da Queimada Archaeological Site, Ouro Preto, Brazil*. Cities. Vol. 18, nº 6, pp. 381-389.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. (1975). *Plano de Conservação, Valorização e Desenvolvimento de Ouro Preto e Mariana*. Relatório Síntese. Belo Horizonte, IPHAN / IEPHA / MG / Prefeitura Municipal de Ouro Preto / Prefeitura Municipal de Mariana. 69p.

GOMES, G.J.C. (2005). *Análise temporal e espacial do risco de escorregamento em Ouro Preto – MG utilizando um Sistema de Informação Geográfica*. Trabalho de Graduação. Engenharia Ambiental, Escola de Minas, UFOP. 45p.

GOMES, R.C., ARAÚJO, L.G., BONUCCELLI, T. e SOBREIRA, F.G. (1998). *Condicionantes Geotécnicas do Espaço Urbano de Ouro Preto / MG*. XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. pp. 363-370

GUIDICINI, G. & IWASA, O. Y. (1976). *Ensaio de Correlação entre Pluviosidade e Escorregamentos em Meio Tropical Úmido*. In: SIMPÓSIO “LANDSLIDES AND OTHERS MASS MOVEMENTS”, Praga-Checoslováquia. Anais... Praga: IAEG, 1977.

GUIDICINI, G. & NIEBLE, C. (1983). *Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação*. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda.

HUTCHINSON, J.N. (1988). *Morphological and Geotechnical Parameters of Landslides in Relation to Geology and Hidrogeology*. General Report. Proceedings of 5th International Symposium on Landslides Lausanne, vol 1, 3-35.

IDE, F.S. (2005). *Escorregamento, meteorologia e precipitação: uma proposta de método de investigação para a prevenção e monitoramento de riscos, aplicado em Campinas/SP*. Dissertação de mestrado em Tecnologia Ambiental. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. 153p

IGA – Instituto de Geociências Aplicadas. (1994). *Desenvolvimento Ambiental de Ouro Preto – Microbacia do Ribeirão do Funil*. Relatório técnico.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. (1991) *Correlação entre chuvas e escorregamentos – Município de Petrópolis*. São Paulo: Divisão de Geologia.

KAY, J.N. & CHEN, T. (1995). *Rainfall-landslide relationship for Hong Kong*. Proc. ICE. Geotechnical Engineering, Bangkok, vol. 113, pp. 117-118.

LUMB, P. (1962). *The properties of decomposed granite*. Geotechnique, vol. 12, nº 3, pp. 226-243.

LUMB, P. (1975). *Slope failures in Hong Kong*. Quarterly Journal of Engineering Geology, London, vol. 8, pp. 31-35.

MACEDO, E.S. (2003). *Plan Preventivo de Defesa Civil (PPDC)*. In: FERRERO, A. Hábit em Riesgo, Experiencias Latinoamericanas. Argentina. pp. 89 a 95.

Ministério das Cidades: Material básico para o mapeamento e gerenciamento de áreas de riscos de escorregamentos, enchentes e inundações. (2004). Disponível em www.cidades.gov.br. Acesso em: 20 de abril de 2005.

ORTIGÃO, J.A.R. & SAYO, A.S.F.J. (2004). *Handbook of slope stabilisation*. Editora Springer. pp. 444-464.

PINHEIRO, A.L.; SOBREIRA, F.G.; LANA, M.S. (2003). *Influência da expansão urbana nos movimentos em encostas na cidade de Ouro Preto, MG*. REM: Revista da Escola de Minas. Vol. 56, nº 3. Julho. pp. 169-174.

QUINTA FERREIRA, M.; LEMOS, L.J.L.; PEREIRA, L.F.M. (2005). *Influência DA Precipitação na ocorrência de deslizamentos em Coimbra, nos últimos 139 anos*. Revista Portuguesa de Geotecnia nº 104, p. 17-30.

SALAROLI, I.S. (2003). *Movimentos de Massa no Município de Vitória – ES: Inventário, caracterização e indicativos de um modelo comportamental*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES.

SMYTH, C. G. & ROYLE, S.A. (2000). *Urban landslide hazards: incidence and causative factors in Niterói, Rio de Janeiro State, Brazil*. Applied Geography, [S.I.], v. 20, p. 95-117.

SOBREIRA, F. G. (1989). *A ocupação desordenada de encostas na cidade de Ouro Preto*. Revista da Escola de Minas, Ouro Preto, v. 42, n. 4, p. 12-16.

SOBREIRA, F. G. (1991). *Riscos Geológicos: definição de pontos críticos em Ouro Preto*. REM - Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v. 44, n. 3 e 4, p. 213-223.

SOBREIRA, F.G. & FONSECA, M.A. (1998). *Geologic risk resulting from the land use of old mining sites in the Piedade Neighborhood*. Ouro Preto – MG. Brazil. In: 8th International IAEG Congress. Balkema, Rotterdam, p.2025-2029.

SOBREIRA, F.G. & FONSECA, M.A. (2001). *Impactos físicos e sociais de antigas atividades de mineração em Ouro Preto, Brasil*. Revista Portuguesa de Geotecnia nº 92, p. 5-28.

SOBREIRA, F.G. (1990). *Levantamento de áreas de riscos no espaço urbano de Ouro Preto – MG*. . Relatório técnico. Convênio IPHAN/UFOP/MinC, Ouro Preto. 87p.

SOBREIRA, F.G. (1992). *Urban landslides as a consequence of old mining in Ouro Preto, Brazil*. In: Landslides Symposium, 6^o, 1992, Christchurch. Proceedings, New Zealand; p.1419-1422.

SOBREIRA, F.G. (1992a). *Obras de contenção em Ouro Preto: o abandono e o perigo*. REM – Revista Escola de Minas, vol. 45, nº 1/2, pp. 205-207.

SOBREIRA, F.G.; ARAÚJO, L.G. (1992). *Proposta de metodologia para o enfrentamento do problema das encostas em Ouro Preto*. REM – Revista Escola de Minas, vol. 45, nº 1/2, pp. 208-209.

SOBREIRA, F.G.; ARAÚJO, L.G.; BONUCCELLI, T. (1990). *Levantamento de soluções estruturais para a contenção de encosta em Ouro Preto*. Relatório técnico. Convênio IPHAN/UFOP/MinC, Ouro Preto, MG. 91p.

SOUZA, M.L., (1996). *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, USP.

TATIZANA, C., OGURA, A.T., CERRI, L.E.S., ROCHA, M.C.M. (1987). *Análise de Correlação entre Chuvas e Escorregamentos – Serra do Mar, Município de Cubatão*. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 5., São Paulo. Anais...São Paulo: ABGE, 1987. v. 2, p. 225-236.

TECNOSOLO. (1979). *Mapeamento geotécnico localizado*. Rio de Janeiro. (Relatório Técnico – 0826/79).

TEMOTEO, J.P.S. (1993). *Condicionantes Geológicas – Geotécnicas na estabilidade dos taludes (Maciço da Tijuca)*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociência, UFRJ.

TUCCI, C.E.M. (Org.). (2002). *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: Ed. Universidade - UFRGS: ABRH. 944p.

VARGAS, M. (1971). *Discussion IV Panamerican Conference on soil Mechanics and Foundation Engineering*, pp. 135-143.

VARNES, D. J. (1978). *Landslides Types and Processes*. In *Landslides and Engineering Practice*. E.B. Eckel (ed). Special Report nº 29, Highway Research Board, p.20-47.

VIEIRA, R. (2004). *Um olhar sobre a paisagem e o lugar como expressão do comportamento frente ao risco de deslizamento*. Tese (Doutorado) – Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 197p.

XAVIER, H. (1996). *Percepção geográfica dos deslizamentos de encostas em áreas de risco no município de Belo Horizonte, MG*. Tese (Doutorado) em Geografia. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro / SP. 222f.

ANEXO I

A.1 - OCORRÊNCIAS UTILIZADAS PARA ANÁLISE DE CORRELAÇÃO

A.2 - MAPA COM O ZONEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO

A.3 - GRÁFICOS ELABORADOS

A.3.1 - Gráficos de Dispersão

A.3.2 - Curva de Correlação para Chuvas Acumuladas

A.3.3 - Eventos de Escorregamentos Classificados

A.4 - RELAÇÃO DOS VALORES DE CHUVAS DIÁRIAS E ACUMULADAS

4.3.1 - Gráficos de Dispersão

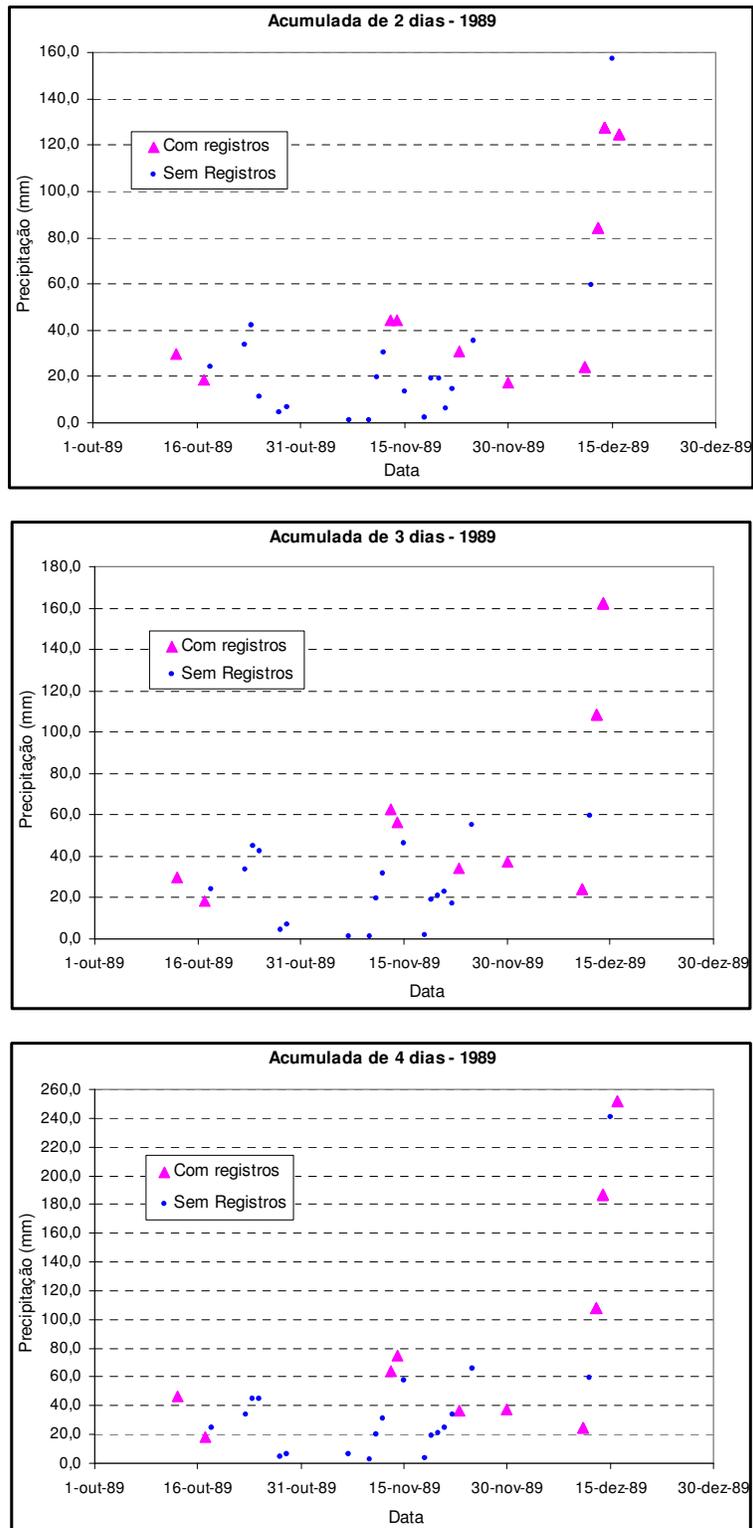


Figura A.3. 1 - Gráfico de dispersão para chuvas acumuladas em 2, 3 e 4 dias do ano de 1989

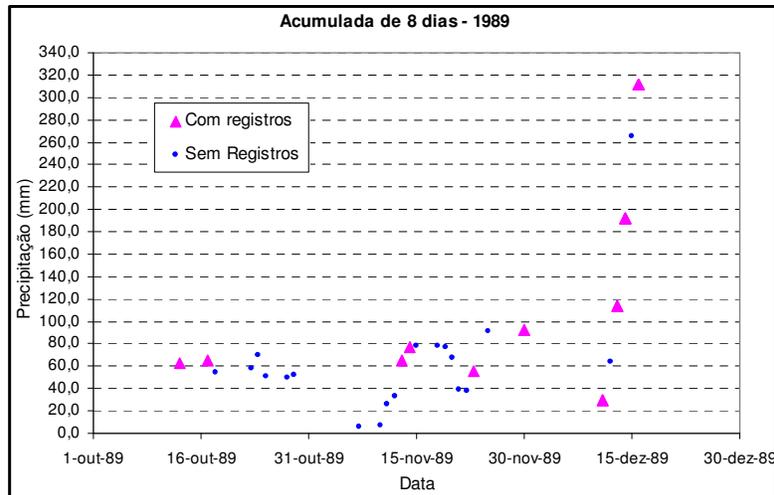
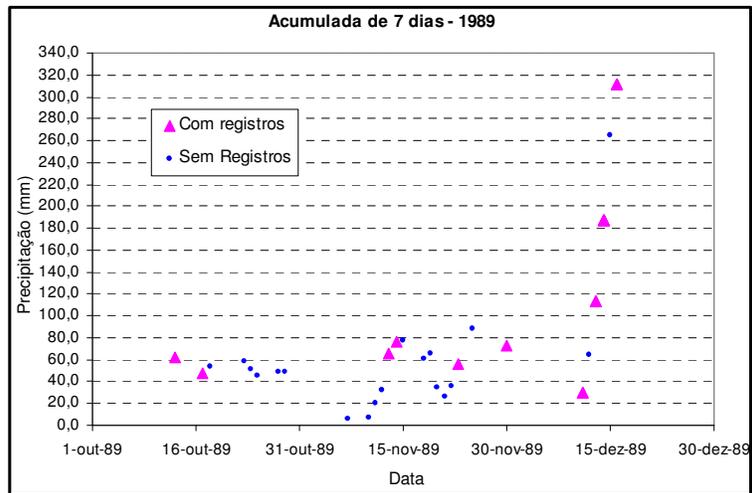
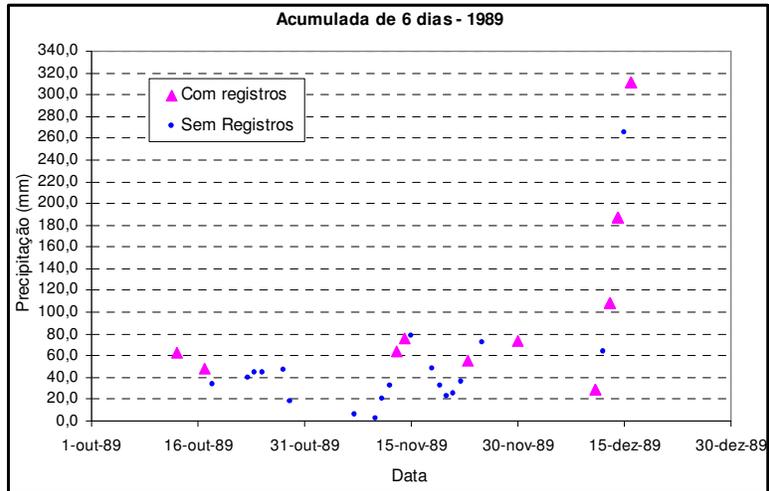


Figura A.3. 2 - Gráfico de dispersão para chuvas acumuladas em 6, 7 e 8 dias do ano de 1989

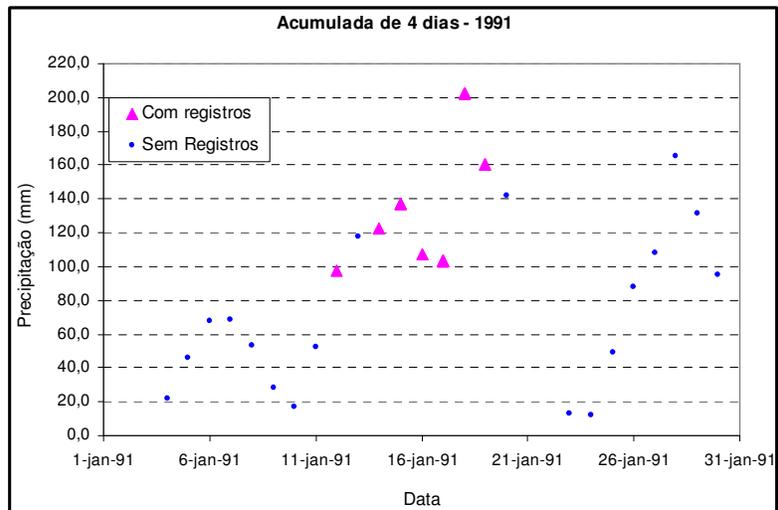
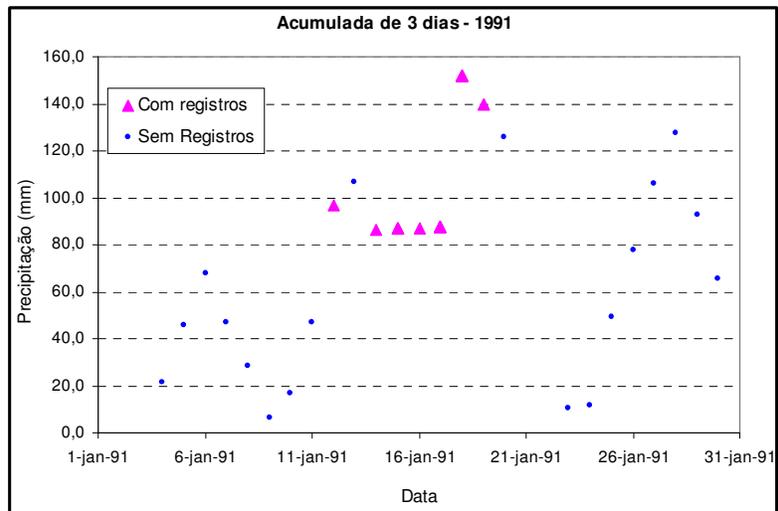
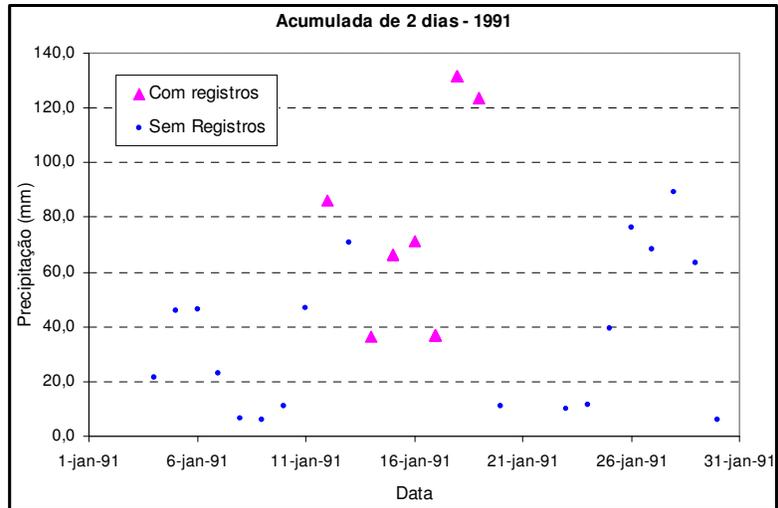


Figura A.3. 3 - Gráfico de dispersão para chuvas acumuladas em 2, 3 e 4 dias do ano de 1991

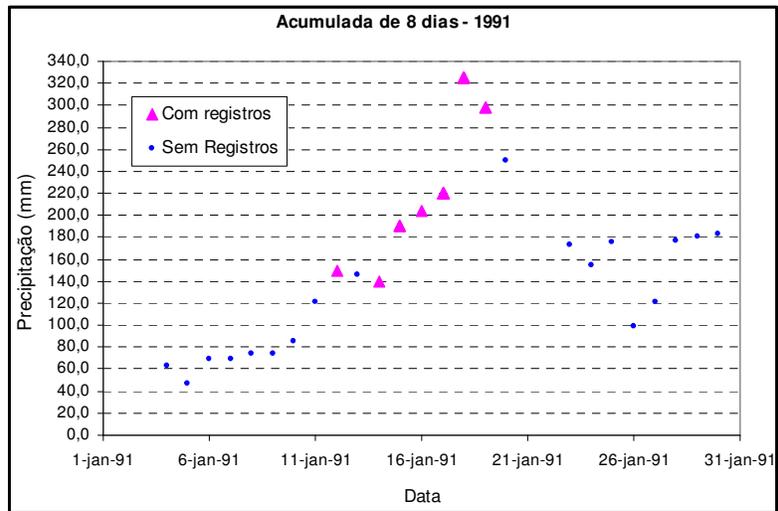
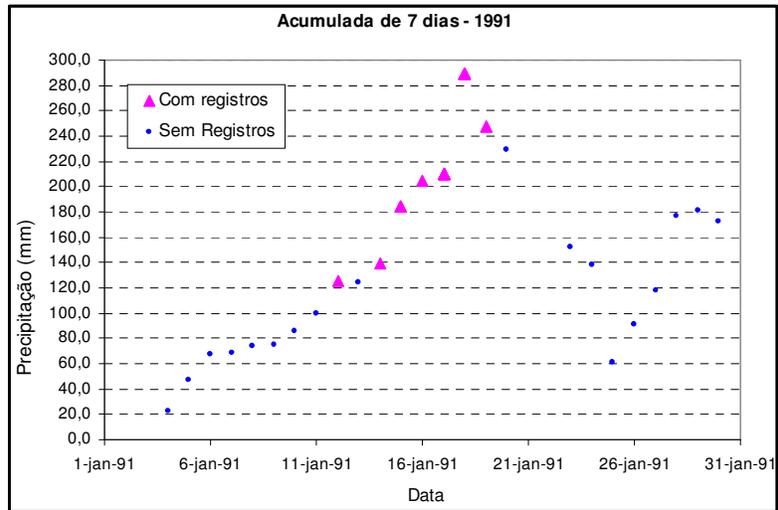
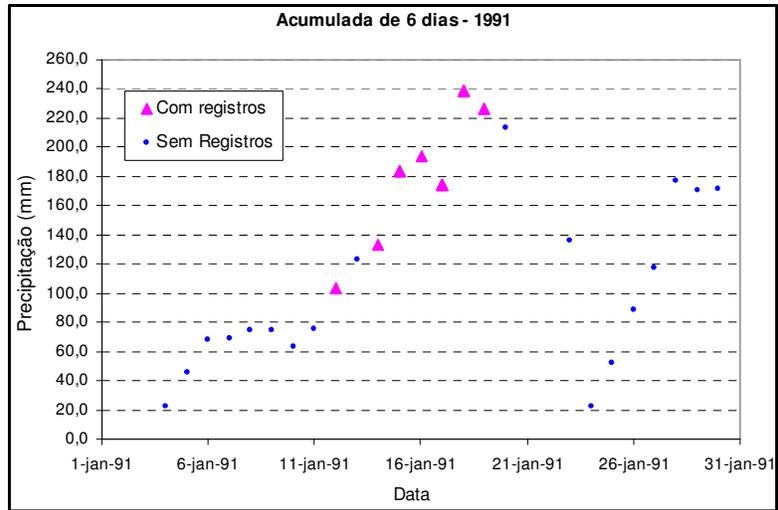


Figura A.3. 4 - Gráfico de dispersão para chuvas acumuladas em 6, 7 e 8 dias do ano de 1991

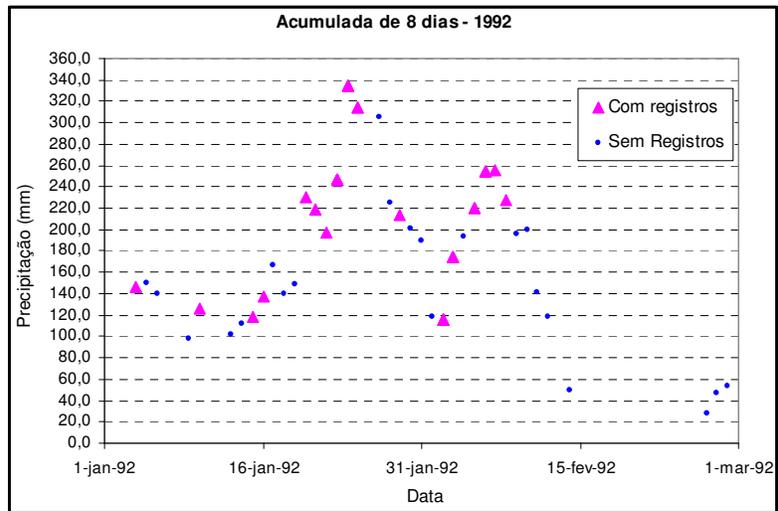
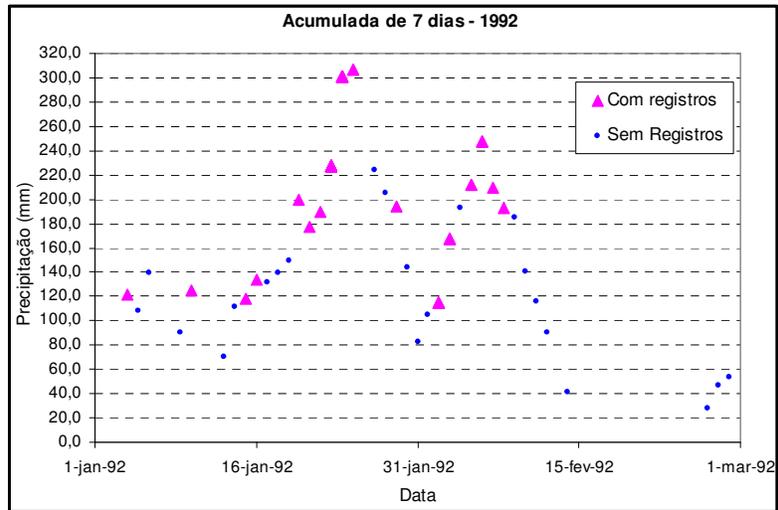
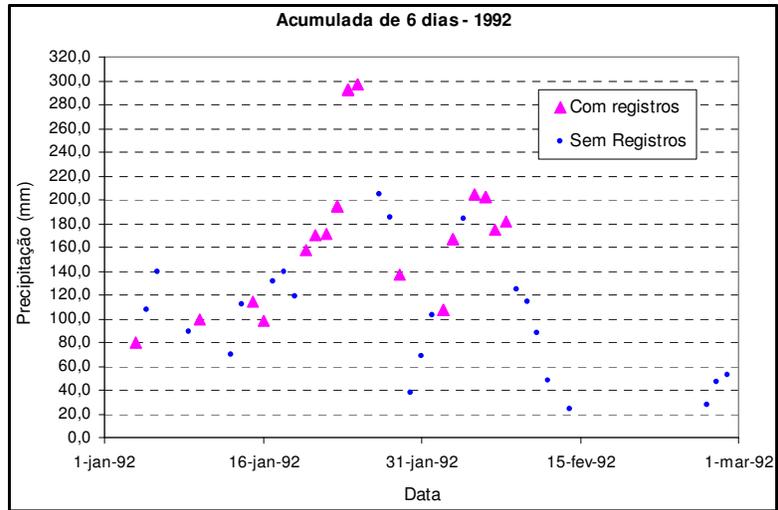


Figura A.3. 6 - Gráfico de dispersão para chuvas acumuladas em 6, 7 e 8 dias do ano de 1992

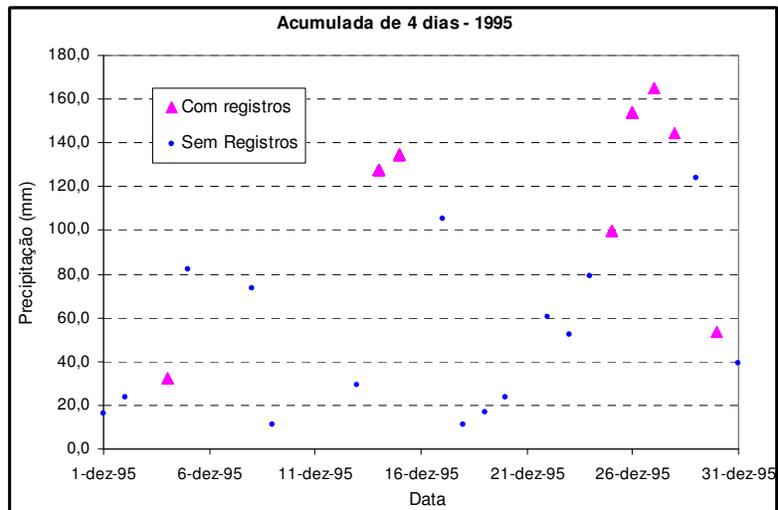
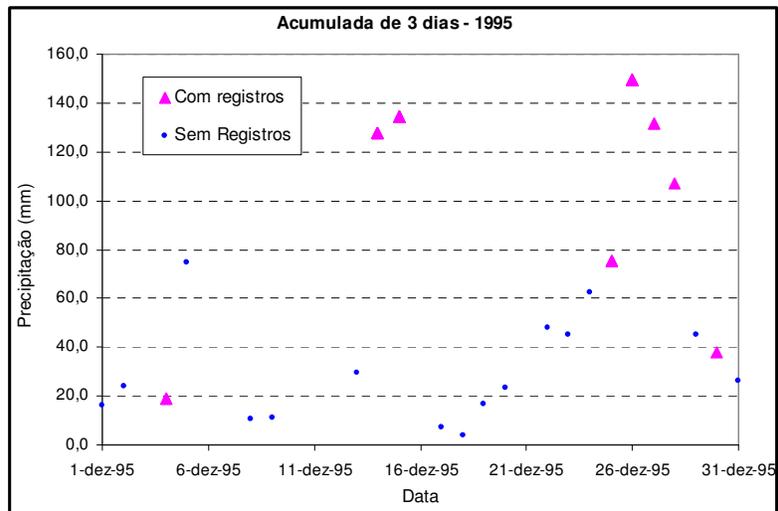
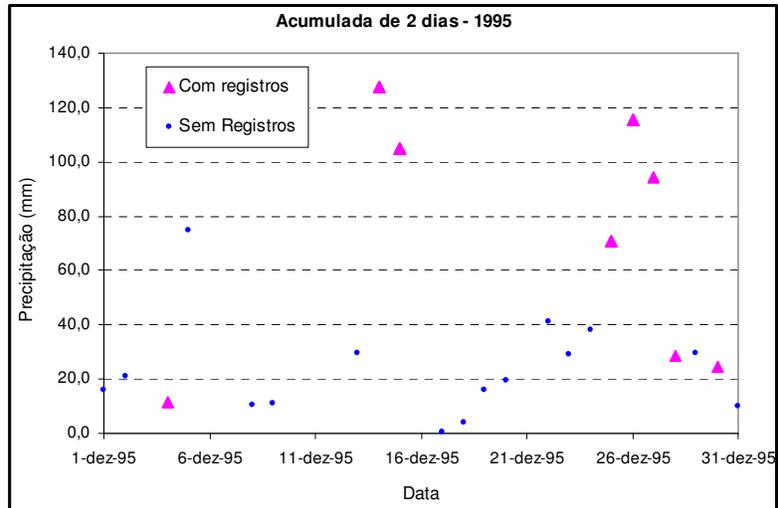


Figura A.3. 7 - Gráfico de dispersão para chuvas acumuladas em 2, 3 e 4 dias do ano de 1995

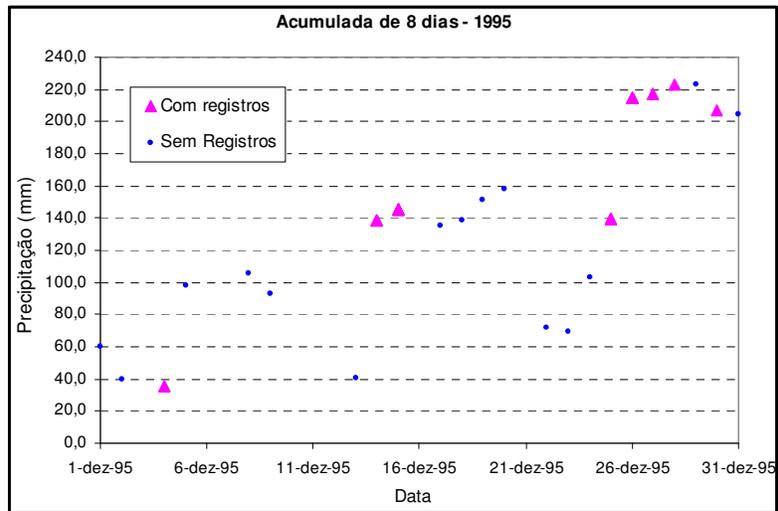
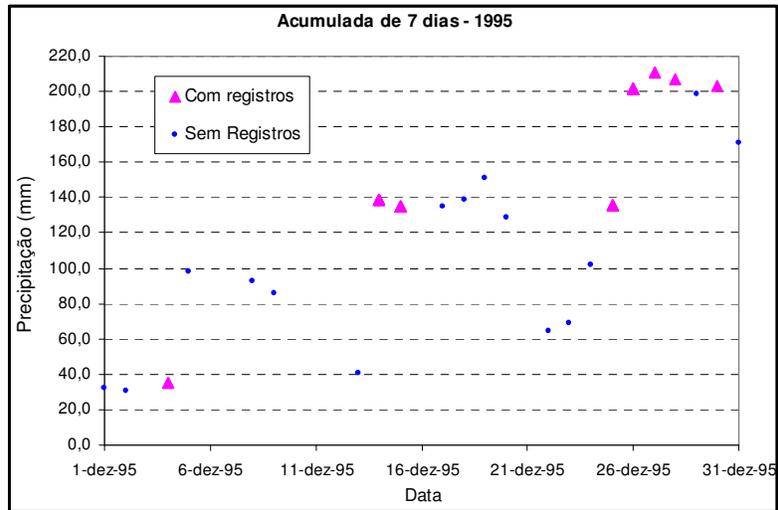
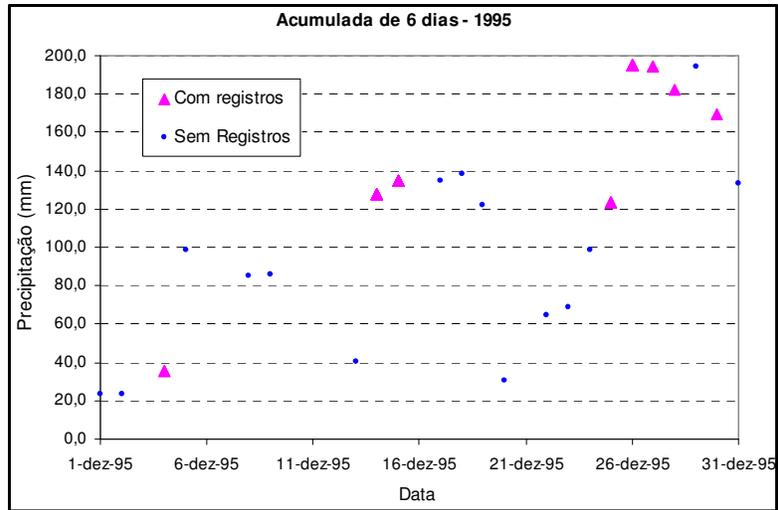


Figura A.3. 8 - Gráfico de dispersão para chuvas acumuladas em 6, 7 e 8 dias do ano de 1995

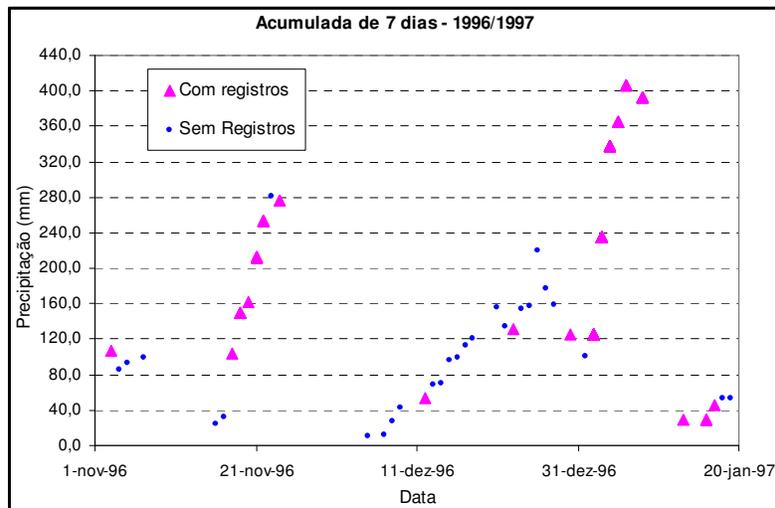
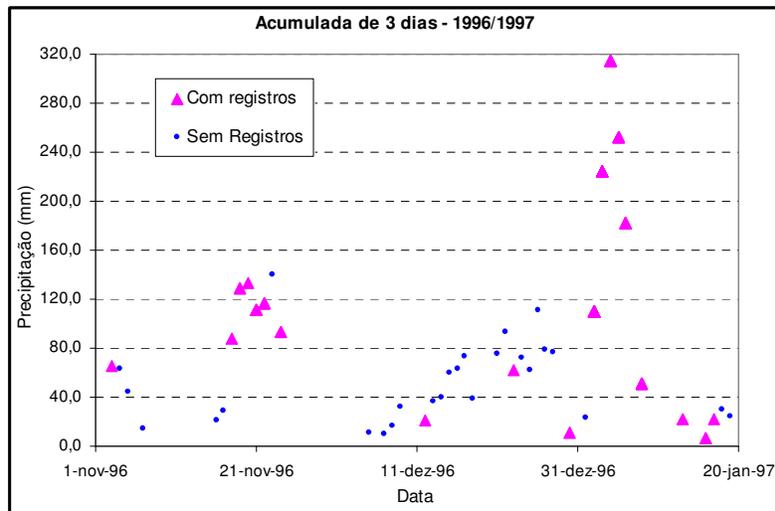
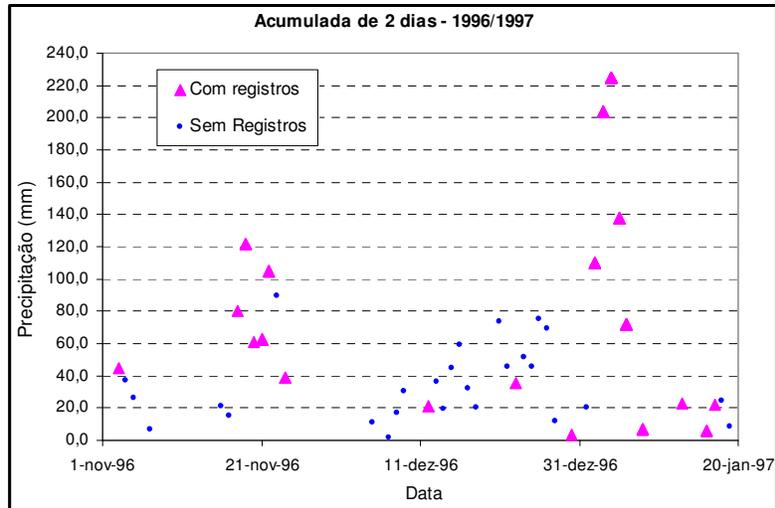


Figura A.3. 9 - Gráfico de dispersão para chuvas acumuladas em 2, 3 e 7 dias do ano de 1996 / 1997

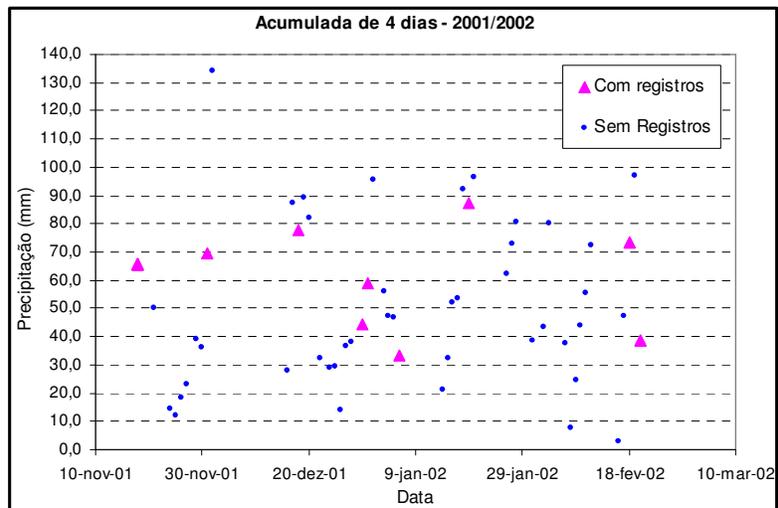
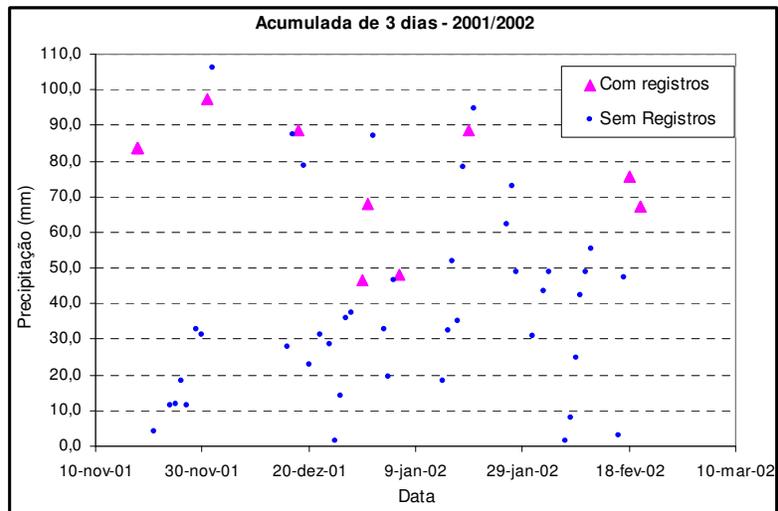
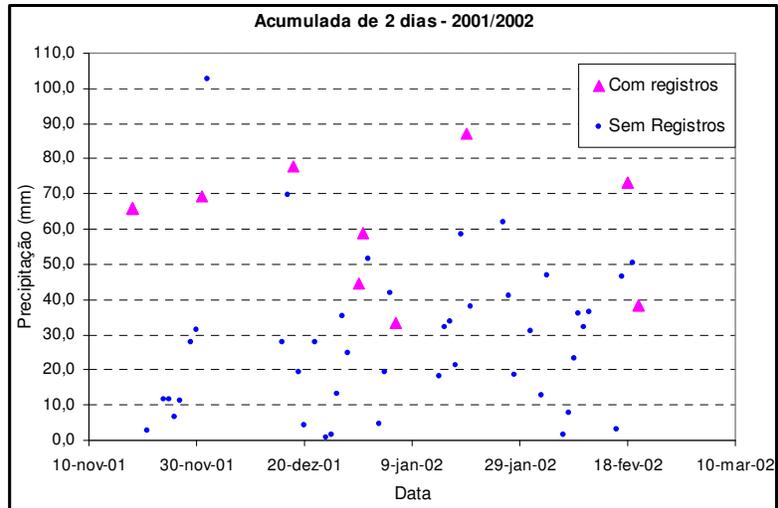


Figura A.3. 10 - Gráfico de dispersão para chuvas acumuladas em 2, 3 e 4 dias do ano de 2001 / 2002

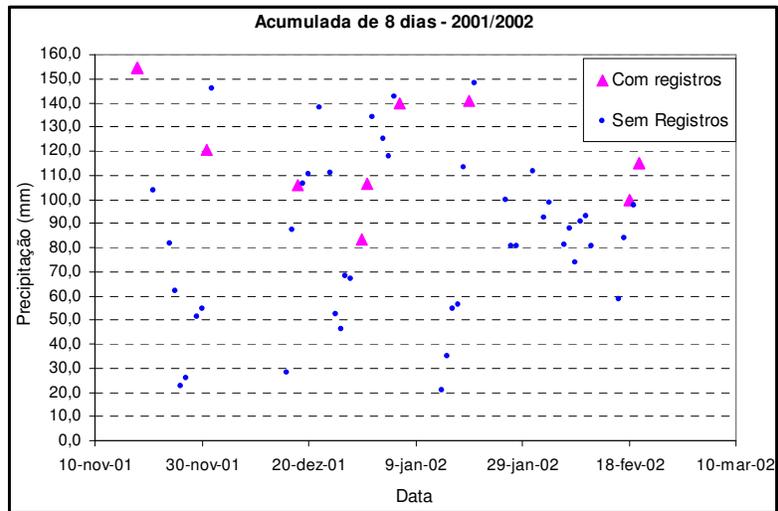
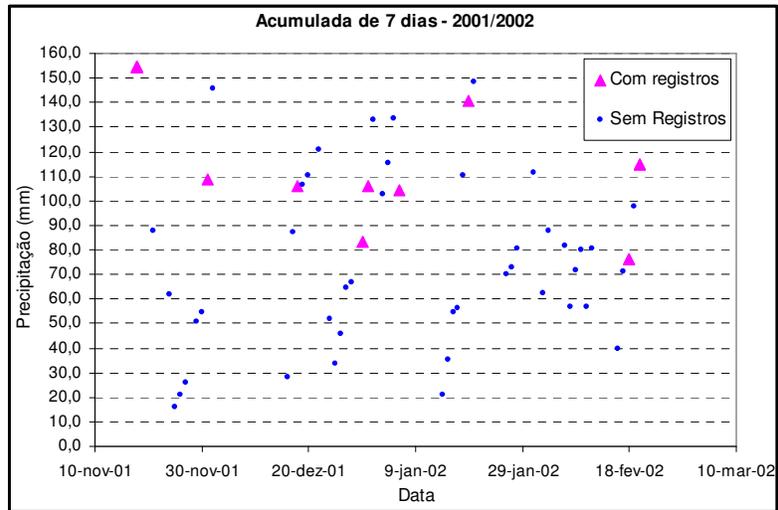
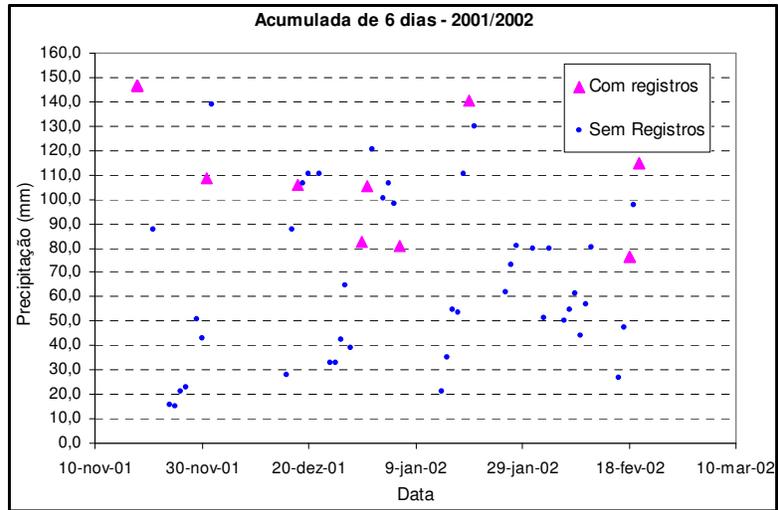


Figura A.3. 11 - Gráfico de dispersão para chuvas acumuladas em 6, 7 e 8 dias do ano de 2001 / 2002

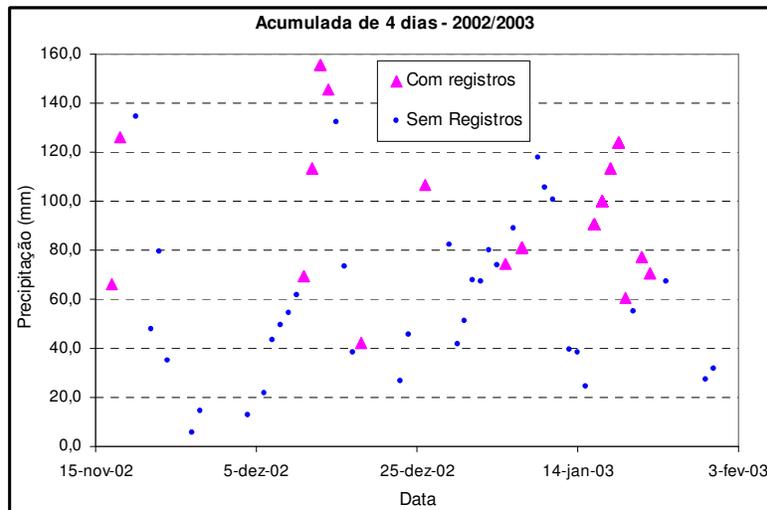
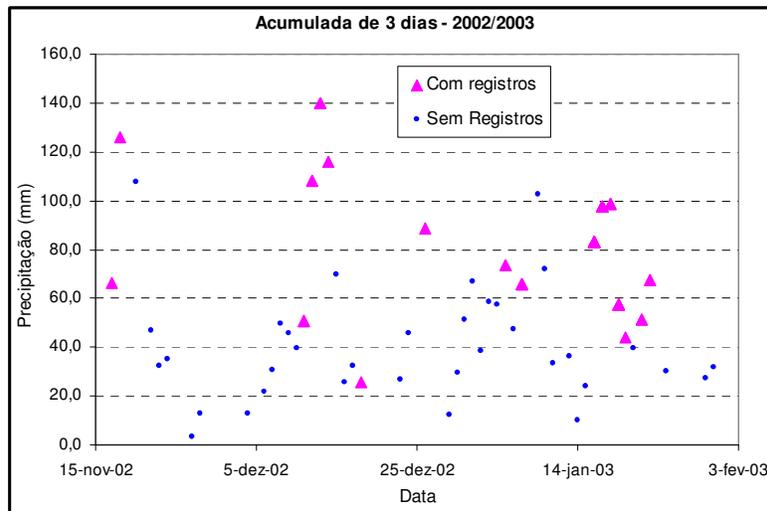
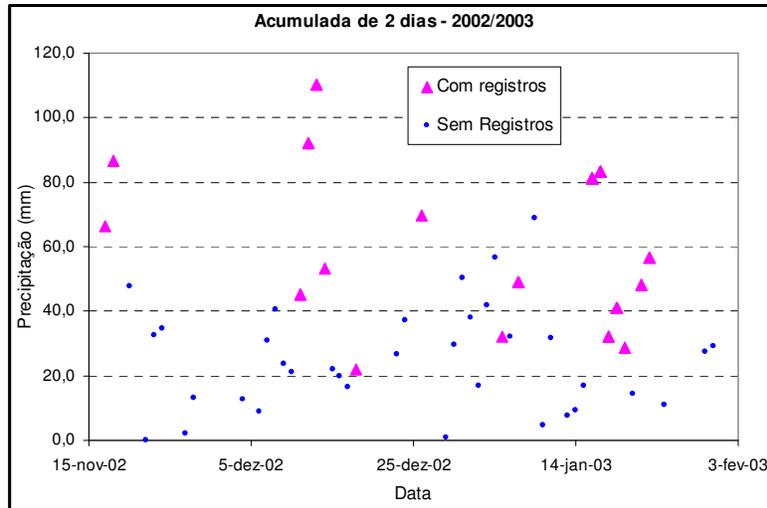


Figura A.3. 12 - Gráfico de dispersão para chuvas acumuladas em 2, 3 e 4 dias do ano de 2002 / 2003

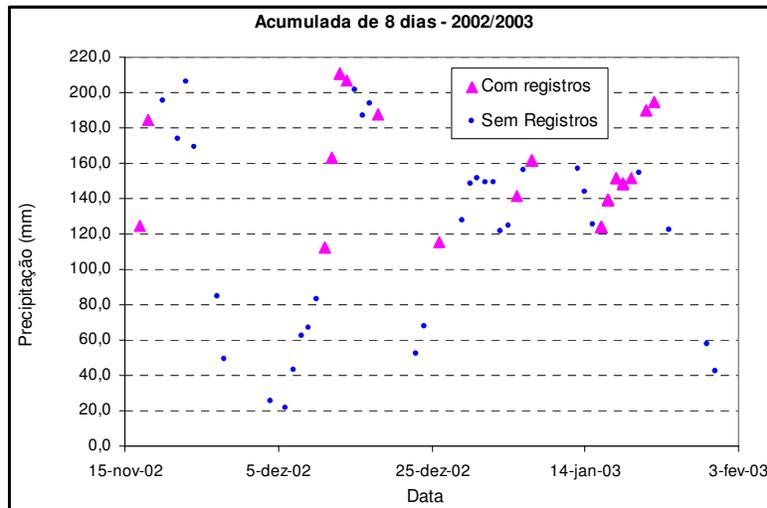
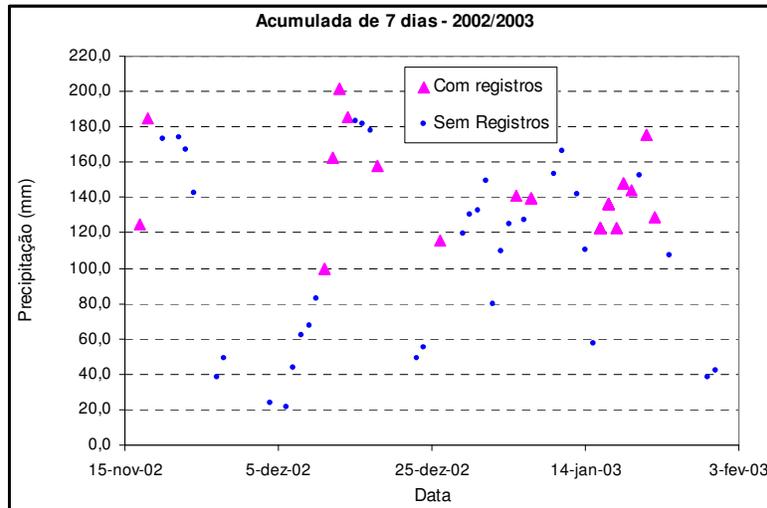
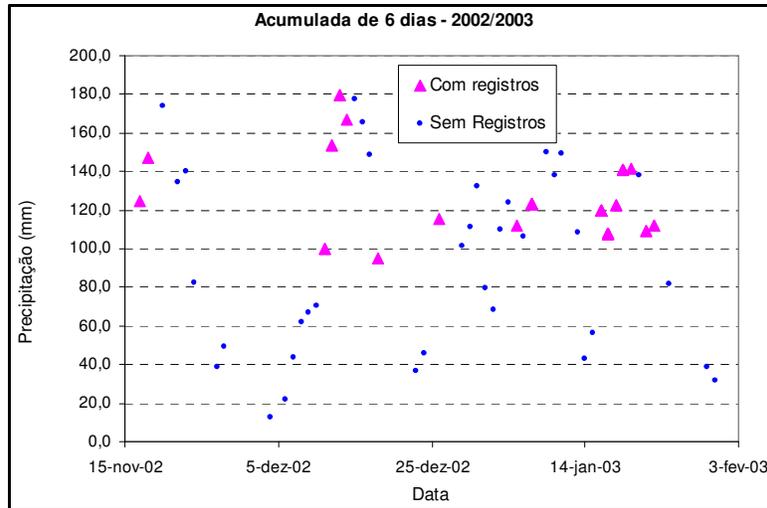


Figura A.3. 13 - Gráfico de dispersão para chuvas acumuladas em 6, 7 e 8 dias do ano de 2002 / 2003

4.3.2 - Curva de Correlação para Chuvas Acumuladas

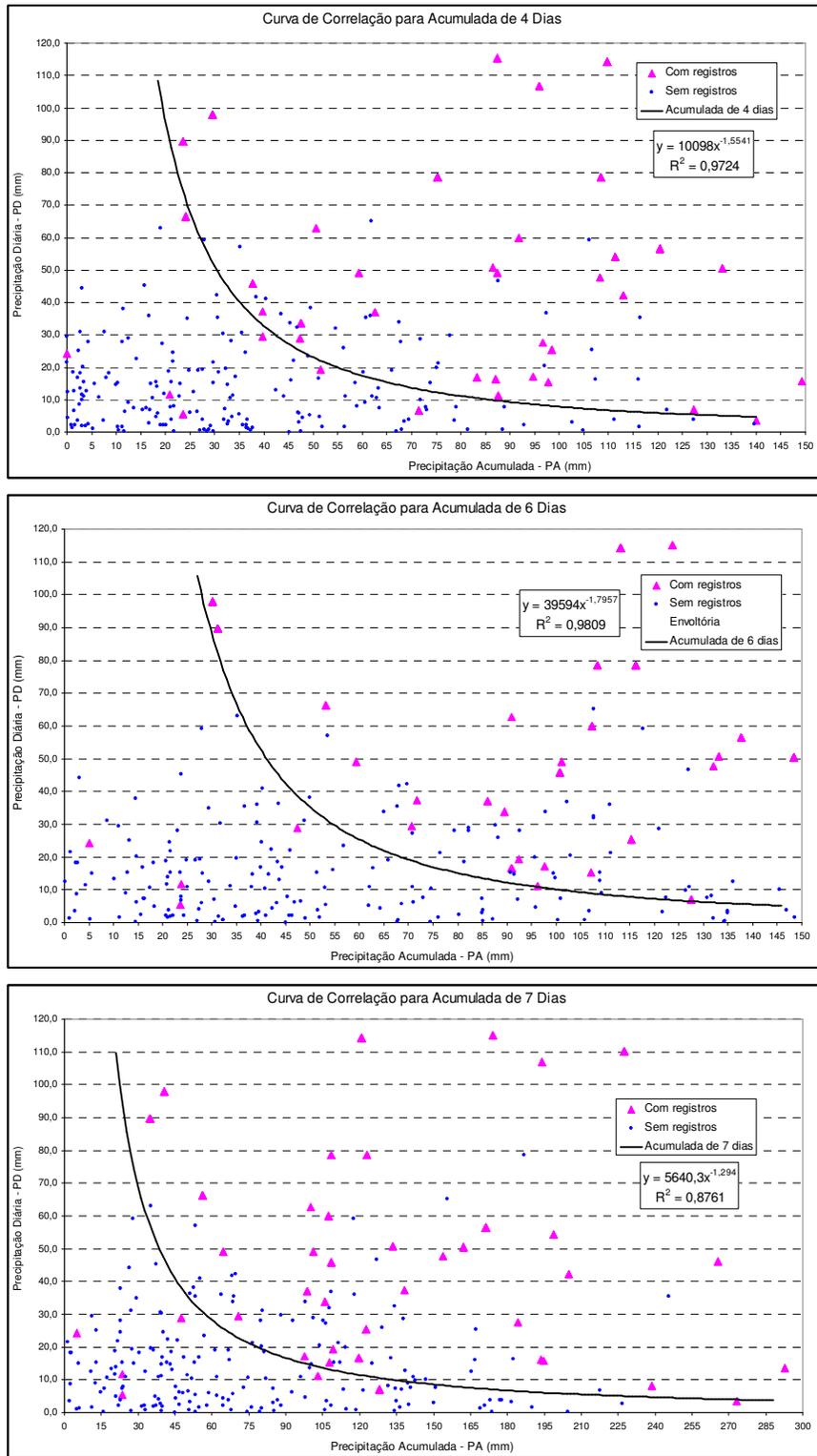


Figura A.3. 14 – Curva de Correlação da Chuva Diária com a Chuva Acumulada

4.3.3 - Eventos de Escorregamentos Classificados

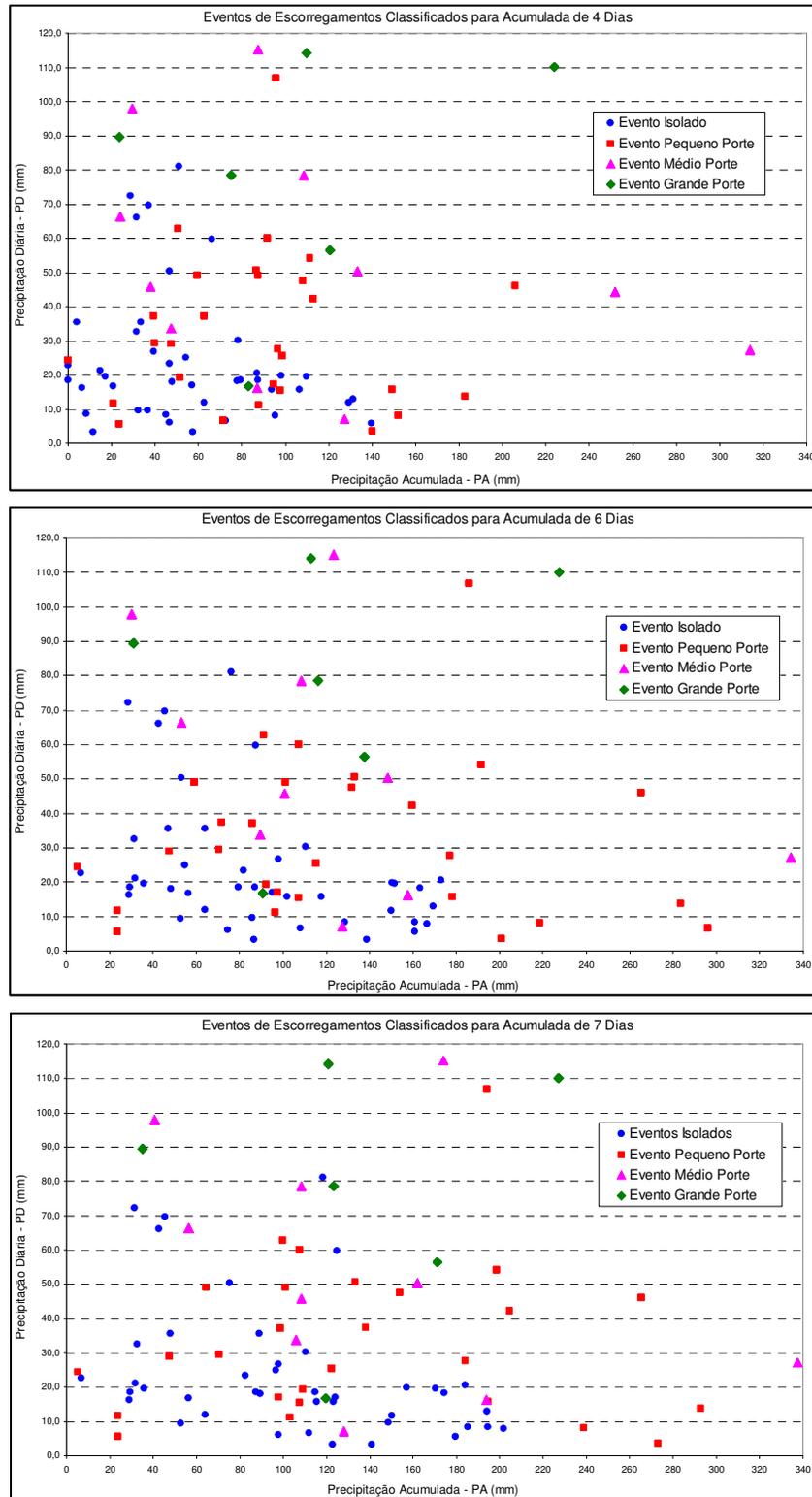


Figura A.3. 15 - Evento de escorregamentos classificados de acordo com o número de registros