



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciências
Faculdade de Engenharia

Fabiana Leão Chaves

**Proposta de correlação chuva vs escorregamento aplicada
à cidade do Rio de Janeiro**

Rio de Janeiro
2016

Fabiana Leão Chaves

Proposta de correlação chuva vs escorregamento aplicada à cidade do Rio de Janeiro



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Geotecnia.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Denise Maria Soares Gerscovich

Rio de Janeiro

2016

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

C512 Chaves, Fabiana Leão.
Proposta de correlação chuva vs escorregamento aplicada à cidade do Rio de Janeiro / Fabiana Leão Chaves. - 2016. 118f.

Orientador: Denise Maria Soares Gerscovich.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia Civil. 2. Taludes (Mecânica do solo) - Dissertações. 3. Escorregamentos (Geologia) - Dissertações. 4. Águas pluviais – Dissertações. 5. Chuvas - Solos - Erosão – Dissertações. I. Gerscovich, Denise Maria Soares. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. III. Título.

CDU 624.15(815.31)

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Fabiana Leão Chaves

Proposta de correlação chuva vs escorregamento aplicada à cidade do Rio de Janeiro

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Geotecnia.

Aprovado em: 24 de março de 2016.

Banca Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Denise Maria Gerscovich (Orientadora)

Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof^a. Dr^a. Ana Cristina Castro Fontenla Sieira

Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof. Dr. Marcos Barreto de Mendonça

Departamento de Construção Civil/Poli – UFRJ

Prof. Dr. Leonardo De Bona Becker

Departamento de Construção Civil/Poli – UFRJ

Rio de Janeiro

2016

DEDICATÓRIA

Aos meus irmãos, dos quais tenho muito orgulho, pela união, pela decisão de vencer, pela intrepidez, pela perseverança e força, por todas as dificuldades superadas e jornadas vencidas, e pela profissão tão nobre, cujo lema é "Missão dupla o dever nos aponta, Vida alheia e riquezas salvar E na guerra, punindo uma afronta, Com valor pela Pátria lutar".

AGRADECIMENTOS

A Deus, por se fazer presente em todos os momentos.

A meus pais por todas as lições de determinação, amor e coragem, e, em especial, a minha mãe, que mesmo com pouco conhecimento sobre o assunto, sempre esteve interessada no desenvolvimento deste trabalho.

A tia Angela pela presença em minha vida, pela amizade e principalmente por torcer que meus sonhos se tornassem realidade.

A Leonel Neto, por todos os momentos de dedicação, força, suporte e por me emprestar os ouvidos e me doar paciência.

À Prof^a Denise Gerscovich, por toda atenção e disposição dedicadas durante a Graduação e Mestrado, pela orientação, pelo direcionamento, observações, pontuações e correções sem os quais não seria possível que se concluísse este trabalho.

À amiga Eng^a Susana Muller que apoiou, incentivou e se entusiasmou toda vez que falamos sobre o tema.

Ao Coordenador, Arq^o Urbanista Régis Lopes, e ao chefe, Eng^o Carlos Alberto Cunha, que permitiram que esta jornada fosse iniciada e cumprida e, também, atuaram com compreensão e paciência durante estes anos.

Ao amigo Eng^o Luciano Salviano, que dividiu grande parte desta jornada comigo e compartilhou as dificuldades com bom humor e determinação.

Ao Eng^o Juliano Lima da Fundação Geo-Rio por contribuição na obtenção de dados.

Ao Eng^o Marcelo Aldaher Magalhães da Geo-Rio-DIP/GPE pela atenção e disponibilidade.

Education is an admirable thing,
but it is well to remember from time to time
that nothing that is worth knowing can be taught.

Oscar Wilde

RESUMO

CHAVES, Fabiana Leão. *Proposta de correlação chuva vs escorregamento aplicada à cidade do Rio de Janeiro*. 2016. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

Em março e abril de 2010 a cidade do Rio de Janeiro registrou números representativos de ocorrências de movimento de massa. Ao longo de 2010, segundo relatório de escorregamentos confeccionado pela Fundação Geo-Rio e disponibilizado no site Alerta Rio, foram registradas 627 ocorrências de movimento de massa, das quais 76% ocorreram no mês de abril e 8% no mês de março. O número de ocorrências de 2010, mais especificamente sua concentração nos meses de março e abril, nos quais foram registradas 84% das ocorrências, atraiu a atenção para os movimentos de massa desenvolvidos nestes meses, quando considerado que, em apenas dois meses, os eventos de chuva resultaram em aproximadamente 527 ocorrências de um total de 627 ocorrências registradas em 2010. Para o desenvolvimento da correlação de chuva vs escorregamentos, a que se propõe este trabalho, foi definida a Comunidade Formiga localizada em uma encosta pertencente ao Maciço da Tijuca, o qual está situado dentro da Cidade do Rio de Janeiro. O tratamento dos dados das ocorrências de escorregamentos registradas no ano de 2010, na Comunidade Formiga, e dos eventos de chuva registrados pela estação telepluviométrica da Tijuca permitiu análise gráfica, por meio de método de correlação empírica em que foram consideradas as chuvas acumuladas antecedentes aos escorregamentos de 1 hora (mm/h), de 24 h (mm/24h) e de 96h (mm/96h), bem como as acumuladas de chuva de 1 hora (mm/h), de 24 h (mm/24h) e de 96h (mm/96h), em que não foram desenvolvidos escorregamentos. Foram desenvolvidas graficamente três alternativas relacionando chuva horária (mm/h) vs diária (mm/24h), chuva horária (mm/h) vs acumulado de 4 dias (mm/96h) e chuva diária (mm/24h) vs acumulada de 4 dias (mm/96h), cujos resultados indicaram limiares pluviométricos a partir dos quais há grande probabilidade de ocorrência de escorregamentos. Adicionalmente ao estudo de correlação chuva vs escorregamento aplicado à Comunidade Formiga foi desenvolvida nova metodologia de correlação de chuva vs escorregamento na qual é considerada a chuva excedente à chuva média mensal histórica com aplicação para a cidade do Rio de Janeiro, com proposta de subdivisão da cidade em zonas para que sejam obtidos limiares pluviométricos que amparem o acionamento das sirenes de evacuação de áreas de risco.

Palavras-chave: Encostas; Escorregamentos; Pluviometria; Chuva acumulada.

ABSTRACT

CHAVES, Fabiana Leão. *Proposal of rainfall-landslide correlation applied to the city of Rio de Janeiro*. 2016. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

In March and April of 2010, the city of Rio de Janeiro registered representative numbers of mass movement occurrences. Throughout 2010, according landslide report made by Fundação Geo-Rio and posted on Alerta Rio website, 627 incidents were recorded, of which about 76% occurred in April and 8% in March. The number of 2010 events, specifically its concentration in the months of March and April, drew attention to the mass movements recorded during these months, when compared to other rain events and occurrences in 2010. For the development of a correlation between rainfall and landslides, was admitted, as study area, a hillside known by Comunidade Formiga belonging to the Maciço da Tijuca, which is located in the city of Rio de Janeiro. The processing of data of landslide incidents, recorded in 2010 in the Comunidade Formiga, and rainfall events, recorded by pluviometric station Tijuca, allowed graphical analysis through empirical correlation method. To developing the graphical analysis were considered rains accumulated in 1 hour (mm/h), 24 h (mm/24) and 96h (mm/96h) before the landslides incident and rains accumulated in 1 hour (mm/h), 24 h (mm/24h) and 96h (mm/96h) even when the rain event do not developed mass movements. Graphically it was developed three alternatives relating hourly rainfall (mm / h) vs. day (mm / 24) , hourly rainfall (mm / h) vs. accumulated 4 days (mm / 96h) and daily rainfall (mm / 24 hours) vs. accumulated 4 days (mm / 96h) , whose results indicated rainfall thresholds from which there is high probability of landslides . In addition to the study of correlation applied to the Comunidade Formiga, was developed a new rain correlation methodology vs landslide to the city of Rio de Janeiro, in what is considered excess rain at historical monthly average rain. The obtained rainfall thresholds would be used as reference to the activation of evacuation sirens.

Keywords: Slopes; Landslides; Rainfall; Accumulated rainfall.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Região Serrana do Rio de Janeiro - 2011 (http://www.usp.br).....	21
Figura 2 - Exemplos de movimentos de massa (Marshak, 2011).....	24
Figura 3 – Ilustração da zona fraca e superfície de cisalhamento (Gerscovich, 2012)	25
Figura 4 - Condição de ruptura por escorregamento (Gerscovich, 2012)	29
Figura 5 – Movimento de massa na Tijuca – Abril 2010. (blogs.estadao.com.br)	30
Figura 6 – Avenida Po Shan - Junho de 1972. (http://www.ugc.edu.hk)	31
Figura 7 – Correlação chuva e categorias dos deslizamentos (Lumb, 1975).....	32
Figura 8 – Distribuição espacial dos movimentos de massa registrados no período de 1982 a 1997 em Hong Kong (Pun et al 2003).	35
Figura 9 – Delimitação das áreas suscetíveis baseada nos escorregamentos registrados no período de 1982 a 1997 em Hong Kong (Pun et al 2003).	36
Figura 10 – Correlação entre a chuva de 24 horas e a densidade de escorregamentos registrados (Pun et al 2003).....	36
Figura 11 –Correlação-coeficiente C_c e movimentos de massa para o período de 1928-1976 (Guidicini e Iwasa 1976).....	38
Figura 12 –Proposta de correlação de Guidicini e Iwasa (1976) para a serra do Mar, SP.	39
Figura 13 – Correlação chuva e ruptura de taludes ocorridos em Serra do Mar, Cubatão – SP (Tatizana et al ,1987)	40
Figura 14. Gráfico de correlação entre intensidade de chuva acumulada horária (mm/h) e diária (mm /24h) (D' Orsi, 2011).....	43
Figura 15 – Distribuição geográfica de 1.950 pluviômetros (Rossi et al 2012).....	47
Figura 16 – Condições de intensidade-duração (pontos) dos escorregamento na Itália. (Rossi et al 2012).....	48
Figura 17 – Fluxograma do sistema de alerta italiano (a) precipitação e entrada para armazenamento de dados, (b) processamento e análise de dados, e (c) produção e entrega das previsões. (Rossi et al 2012)	50
Figura 18 – Transmissão e fornecimento de informações de alerta de movimentos de massa.(DESC et al,2005).....	53

Figura 19 – Localização das estações Telepluviométricas.(Sistema Alerta Rio/Google Earth, 2014)	57
Figura 20 – Níveis de decisão e de alerta até o mês de maio de 2005- Sistema Alerta Rio (D'ORSI, 2011)	58
Figura 21 – Mapa de localização do Maciço da Tijuca (Fernandes, 1998)	61
Figura 22 – Mapa de localização da Comunidade Formiga no Maciço da Tijuca.....	62
Figura 23 – Blocos de granito transportados.....	63
Figura 24 – Gnaisse facoidal (Roza,A. G. 2007).....	64
Figura 25 –Precipitação média mensal na cidade do Rio de Janeiro comparada com as chuvas de 2010	66
Figura 26. Ocorrências por Tipologia - (Relatório GEO-RIO/GEP/GPE nº 10, 2010)	73
Figura 27. Ocorrências por Volume.....	75
Figura 28. Relação entre tipologia e categoria de volume mobilizado	75
Figura 29. Pluviometria registrada para o mês de abril 2010 a cada 24 horas e acumulada mensal.	77
Figura 30. Número de eventos de chuva por mês em 2010.....	78
Figura 31 – Esquema da definição das acumuladas pluviométricas em eventos com ocorrência.....	79
Figura 32 – Esquema da definição das acumuladas pluviométricas em eventos sem ocorrência.....	80
Figura 33 – Gráfico de correlação entre mm/h e mm/24h	82
Figura 34 – Gráfico de correlação entre mm/h e mm/96h	82
Figura 35 – Gráfico de correlação entre mm/24h e mm/96h	82
Figura 36 – Aplicação da proposta de Tatizana et al (1987) ao banco de dados de 2010 da Comunidade Formiga.....	84
Figura 37 – Aplicação da proposta de D'Orsi (2011) ao banco de dados de 2010 da Comunidade Formiga.....	85
Figura 38 – Gráfico de correlação entre mm/h e mm/24h – Faixas de alerta.....	86
Figura 39 – Gráfico de correlação entre mm/h e mm/96h – Faixas de alerta.....	86
Figura 40 – Gráfico de correlação entre mm/24h e mm/96h – Faixas de alerta.....	87
Figura 41 – Gráfico Comparativo Média Mensal Geo-Rio vs Acumulado Mensal – Estação 04 – Tijuca.....	89
Figura 42 – Correlação chuva vs escorregamento período de 2010 a 2012.....	93
Figura 43 – Correlação chuva vs escorregamento período de 2010 a 2012.....	94

Figura 44 – Correlação chuva vs escorregamento período de 2010 a 2012.....	94
Figura 45 – Correlação chuva vs escorregamento período de 2010 a 2012.....	94
Figura 46 – Correlação chuva vs escorregamento período de 2010 a 2012.....	95
Figura 47 – Correlação chuva vs escorregamento período de 2010 a 2012.....	95
Figura 48 – Correlação chuva vs escorregamento período de 2010 a 2012 - compilação da 6 estações	96
Figura 49 – Aplicação da proposta – chuva 12/03/2016	97
Figura 50. Pluviometria registrada para janeiro de 2010.....	110
Figura 51. Pluviometria registrada para fevereiro de 2010.....	110
Figura 52. Pluviometria registrada para março de 2010.....	111
Figura 53. Pluviometria registrada para abril de 2010.....	111
Figura 54. Pluviometria registrada para maio de 2010.....	112
Figura 55. Pluviometria registrada para junho de 2010.....	112
Figura 56. Pluviometria registrada para julho de 2010.....	113
Figura 57. Pluviometria registrada para agosto de 2010.....	113
Figura 58. Pluviometria registrada para setembro de 2010.....	114
Figura 59. Pluviometria registrada para outubro de 2010	114
Figura 60. Pluviometria registrada para novembro de 2010.....	115
Figura 61. Pluviometria registrada para dezembro de 2010.....	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Padrões de ocorrência (Santos 2004).....	23
Tabela 2 – Características dos principais movimentos de massa em encostas.....	24
Tabela 3 – Classificação dos fatores deflagradores dos movimentos de massa (Adaptada de Varnes 1978)	28
Tabela 4 – Categorias de eventos: chuva 24h X chuva acumulada nos 15 dias que antecederam a ruptura. (Lumb, 1975).....	32
Tabela 5. Observações chuva x escorregamento em Hong Kong. (Au, 1993).....	33
Tabela 6. Observações chuva x escorregamento em Hong Kong.	34
Tabela 7. Definição de evento. (D' Orsi, 2011).....	41
Tabela 8 - Combinações testadas por D' Orsi (2011).	42
Tabela 9. Resumo das propostas de correlação chuva vs escorregamento	44
Tabela 10. Compilação dos limiares de correlação chuva vs escorregamento - sistemas de alerta.	45
Tabela 11 – Níveis de decisão - sistema de alerta de Hong Kong.....	51
Tabela 12 - Condições de risco e emissão de alerta propostos para o Município de Petrópolis, RJ.(ALMEIDA, 1993).....	54
Tabela 13 – Definições de risco da Defesa Civil (2008).....	55
Tabela 14 - Critérios pluviométricos de acionamento do sistema de Alerta Rio, no período 1996-2005.	59
Tabela 15 - Critérios pluviométricos operacionais em 2015 (Alerta Rio, 2015).....	60
Tabela 16 – Estações telepluviométricas próximas à Comunidade Formiga	66
Tabela 17 – Valores de β , a, b e c para a cidade do Rio de Janeiro (Pfafstetter 1957)	67
Tabela 18 – Valores de α (Pfafstetter 1957)	67
Tabela 19 – Resumo dos laudos de ocorrência – Janeiro à Maio de 2010.....	69
Tabela 20 – Tipologias para a classificação das ocorrências.....	71
Tabela 21 – Classificação das ocorrências em função das Tipologias	72
Tabela 22 – Categorias de Volume Mobilizado (Relatório GEO-RIO/GEP/GPE nº 10, 2010).....	74
Tabela 23 – Classificação das ocorrências em função dos Volume Mobilizado.....	74
Tabela 24 – Exemplo de definição de início e fim de evento	76

Tabela 25 – Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de janeiro de 2010.....	80
Tabela 26 – Valores de históricos de pluviometria vs registros de ocorrências na Comunidade Formiga no ano de 2010	90
Tabela 27 – Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Janeiro de 2010.....	116
Tabela 28 – Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Fevereiro de 2010...	116
Tabela 29 – Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Março de 2010.....	116
Tabela 30 – Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Abril de 2010.	117
Tabela 31 – Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Maio de 2010.....	117
Tabela 32 – Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Junho de 2010.....	117
Tabela 33 – Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Julho de 2010.....	118
Tabela 34 – Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Setembro de 2010. .	118
Tabela 35 – Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Outubro de 2010....	118
Tabela 36 – Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Novembro de 2010. .	118
Tabela 37 – Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Dezembro de 2010. .	119

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Alerta Rio	Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
CBMERJ	Corpo de Bombeiros Militar do Rio de Janeiro
Cemaden RJ	Centro Estadual de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais
CRT	Concessionária Rio Teresópolis
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
EMBRAPA	Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuária
Geo-Rio	Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro
ICOS Cidadania	Projeto que visa promover os valores de cidadania, fortalecimento comunitário e integração social na Comunidade Formiga.
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
SANF	Sistema Italiano de alerta para movimento de massa induzido por efeito de chuva
UPP	Unidade de Polícia Pacificadora

LISTA DE SÍMBOLOS

Cc	Razão de precipitação acumulada até o dia anterior do evento pela a chuva média anual
Cf	Razão de precipitação do evento de chuva pela a chuva média anual
I	Intensidades horárias de chuva
ID	Intensidade-duração
D	Duração da chuva
I	Intensidade média de chuvas Intensidade
H	Hora - unidade de medida de tempo adotada para os eventos de chuva
Km	Kilômetro - unidade de medida de espaço
FS	Fator de Segurança
Tf	Resistência ao Cisalhamento
Tmob	Tensões cisalhantes mobilizadas
P	Precipitação total máxima
A	Parâmetro de ajuste vinculado à precipitação da região
B	Parâmetro de ajuste vinculado à precipitação da região
C	Parâmetro de ajuste vinculado à precipitação da região
α	Parâmetro vinculado à duração da precipitação
β	Parâmetro vinculado à duração da precipitação
T	Período de recorrência ou tempo de retorno
γ	Parâmetro de ajuste da curva
Y	Acumulada em mm/h
X	Acumulada em mm/ 24h
I (Ac)	Limiar Pluviométrico
Ac	Chuva acumulada de 4 dias

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
1.1 Movimentos de Massa	21
1.1.1 Agentes e Causas de movimentos de massa	25
1.2 Correlações Chuvas X Movimentos de Massa	29
1.2.1 Modelos desenvolvidos para Hong Kong	31
1.2.1.1 Modelo de Lumb (1975).....	31
1.2.1.2 Modelo de Brand et al. (1984)	33
1.2.1.3 Modelo de Au (1993)	33
1.2.1.4 Modelo de Premchitt et al. (1994).....	34
1.2.1.5 Modelo de Pun et al (2003)	34
1.2.2 Modelos desenvolvidos para encostas brasileiras	37
1.2.2.1 Modelo de Guidicini e Iwasa (1976).....	37
1.2.2.2 Modelo de Tatizana et al. (1987)	39
1.2.2.3 Modelo de D’Orsi (2011).....	41
1.2.3 Resumo das propostas de correlação chuva vs escorregamento	43
1.2.4 Sistemas de Alerta.....	45
1.2.4.1 O sistema de Alerta na Itália.....	47
1.2.4.2 O sistema de Alerta em Hong Kong	51
1.2.4.3 O sistema de Alerta no Japão	52
1.2.4.4 Sistema de Alerta no Município de Petrópolis	53
1.2.4.5 Sistema de Sirenes do Estado do Rio de Janeiro – Cemaden RJ.....	54
1.2.4.6 Sistema de alerta na Cidade do Rio de Janeiro – Prefeitura do Rio.....	56
2 ÁREA DE ESTUDO: COMUNIDADE FORMIGA – MACIÇO DA TIJUCA ..	60
2.1 Aspectos Geomorfológicos do Maciço da Tijuca	62
2.1.1 Litologia	62
2.1.2 Tipo de Solo.....	64
2.2 Ação Antrópica	64
2.3 Chuvas e Escorregamento na cidade do Rio de Janeiro -Ano 2010	65
2.3.1 Registros pluviométricos.....	65

2.3.2	Registros de Movimentos de Massa na Cidade do Rio de Janeiro e na Comunidade Formiga	68
3	CORRELAÇÃO CHUVAS VS ESCORREGAMENTOS - COMUNIDADE FORMIGA.....	70
3.1	Movimentos de massa	70
3.1.1	Tipologia	70
3.1.2	Volume Mobilizado	74
3.2	Definição de Evento Pluviométrico	76
3.3	Correlação de Chuva vs escorregamento em 2010.....	81
3.3.1	Aplicação dos modelos de correlação	83
3.3.1.1	Modelo de Tatizana et al (1987)	83
3.3.1.2	Modelo de D’Orsi (2011).....	84
3.3.1.3	Sistema de alerta da Fundação Geo-Rio.....	85
4	PROPOSTA DE CORRELAÇÃO CHUVA VS ESCORREGAMENTO.....	88
4.1	Aplicação da proposta	91
4.2	Exemplo de aplicação da proposta – Evento de chuva de 12/03/2016	96
4.3	Sistema de Alerta	98
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	99
5.1	Conclusões.....	99
5.2	Sugestões para pesquisas futuras.....	102
	REFERÊNCIAS.....	103
	ANEXO A. REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS DA ESTAÇÃO TIJUCA - ACUMULADAS DIÁRIAS E MENSAIS DE 2010.....	110
	ANEXO B. EVENTOS DE CHUVA COM E SEM OCORRÊNCIA – ESTAÇÃO TIJUCA 2010.....	116

INTRODUÇÃO

A ocorrência de movimentos de massa durante ou após períodos de precipitação induziu o desenvolvimento de correlações entre chuvas e escorregamentos. Em 1975, Peter Lumb propôs modelo empírico de correlação a partir de estudo de dados de chuva e escorregamentos em Hong Kong. Desde então tem crescido o número de propostas de correlações aplicáveis a diversas regiões. O foco de aplicação das correlações está voltado para o desenvolvimento e acionamento de sistemas de alerta e evacuação de áreas de risco. Neste trabalho são apresentadas algumas propostas de correlação e também sistemas de alerta e evacuação de alguns países.

Em março e abril de 2010 a cidade do Rio de Janeiro registrou 527 ocorrências de movimento de massa. Ao longo de 2010 foram registradas 627 ocorrências e em março e abril de 2010 se concentraram 84% das ocorrências de movimento de massa, sendo 76% no mês de abril e 8% no mês de março, segundo relatório de escorregamento disponibilizado na página do Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro.

Com o propósito de se estudar uma das encostas do Maciço da Tijuca, foi admitida como área de estudo a Comunidade Formiga de forma que se obtivesse dados que permitissem o desenvolvimento da correlação de chuva vs escorregamento. Os dados de ocorrência de escorregamentos foram obtidos através da Fundação Geo Rio e os eventos de chuva se originaram da página do Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro. A análise gráfica da correlação chuva vs escorregamento culminou na observação de acumuladas de chuva que estão diretamente relacionadas com instabilidade da encosta.

A análise gráfica da correlação chuva vs escorregamento, para a Comunidade Formiga, permitiu a observação de que as precipitações dos meses de março e abril de 2010 fugiram à expectativa mensal de chuva. Por conseqüência deste excedente de chuva com relação à chuva média mensal, foram presenciados incrementos na quantidade de ocorrências na Comunidade Formiga.

Sendo assim, entendeu-se necessária à análise da correlação chuva vs escorregamento de outras regiões da Cidade do Rio de Janeiro, de forma que fosse possível averiguar o seu comportamento quando submetidas a excedentes de chuva média mensal de 2010. Para fins desta análise, foram tomadas mais cinco regiões da cidade do Rio de Janeiro com o intuito de se verificar o comportamento das ocorrências de escorregamentos.

Objetivos

De uma maneira geral, esta dissertação visa apresentar a aplicação de métodos de correlação chuva vs escorregamentos aplicados à Comunidade Formiga e visa propor uma nova correlação, que proporcione, de modo imediato, a avaliação do fenômeno de chuva que se precipita. A nova proposta de correlação utiliza a chuva média mensal como parâmetro indicativo da severidade da precipitação e apresenta uma correlação entre chuva média mensal e acumulada de 24 horas e de 96 horas.

O principal objetivo desta dissertação é o estudo das correlações chuva vs escorregamento e a apresentação de uma correlação que funcione como ferramenta de apoio ao acionamento das sirenes, que estão instaladas em áreas de risco existentes dentro da cidade do Rio de Janeiro.

Um dos objetivos é a determinação de limiar pluviométrico, que indique de modo expedito o tipo de precipitação que ocorre em tempo real e que proporcione, através de modelo empírico de proposta de correlação de chuva vs escorregamento, a observação do comportamento de regiões de comunidades e de encostas da cidade do Rio de Janeiro, a fim de promover a evacuação de áreas de risco.

Outro objetivo deste trabalho é o estudo e desenvolvimento de uma nova abordagem para a correlação de chuva vs escorregamento. Esta nova abordagem deve contabilizar a parcela de chuva média mensal e indicar o enquadramento do tipo de chuva que se precipita, quando se comparam suas acumuladas de 24h, 96h e chuva média mensal. A proposta da nova abordagem é que, em tempo real, seja verificada a magnitude da chuva que se precipita, quando comparada sua

acumulada de 96h com a chuva média mensal e que seja também observada a razão entre as suas acumuladas de 24h e de 96h.

Descrição dos capítulos

Após esta introdução, o capítulo 1 é destinado à revisão bibliográfica. Neste capítulo é definida a região dentro da cidade do Rio de Janeiro que é objeto de estudo, são revistas propostas relacionados à correlação de chuva com movimentos de massa a partir de modelos empíricos apresentados desde 1975 por Lumb, em 1987 por Tatizana, em 2011 por D'orsi dentre outras propostas de modelos empíricos, bem como são abordados sistemas de alerta para áreas de risco na Itália, Hong Kong, Japão e Rio de Janeiro.

No capítulo 2 é apresentada a área de estudo, a Comunidade Formiga situada no bairro Tijuca no Rio de Janeiro, e são descritos os meios de obtenção dos históricos de precipitação na cidade do Rio de Janeiro e no bairro Tijuca e de obtenção dos registros de ocorrências de movimento de massa no ano de 2010 na Comunidade Formiga. É feita uma análise dos fenômenos de chuva registrados em março e abril de 2010 bem como um estudo sobre seu tempo de recorrência.

O capítulo 3 contempla o tratamento dos dados de chuva e ocorrência, para fins de confecção da correlação chuva vs escorregamento baseada em propostas existentes e análise comparativa entre as linhas de tendência de D'orsi, Tatizana e dos critérios de alerta utilizados pela Geo-Rio com correlação chuva-escorregamento desenvolvida dentro dos critérios de cada proposta.

O capítulo 4 apresenta a proposta desenvolvida nesta pesquisa, que é baseada na análise de dados e resulta na correlação de chuva vs escorregamento com a consideração da parcela de chuva média para os meses de março e abril de 2010. São inseridas, para o desenvolvimento da proposta, seis regiões distintas da cidade do Rio de Janeiro, nas quais foram observados e registrados os maiores números de ocorrências nos meses de março e abril de 2010, quando comparadas às demais regiões da cidade do Rio de Janeiro para o mesmo período.

O capítulo 5 contém as principais conclusões e propostas para novos estudos e pesquisas neste assunto.

Após a apresentação dos capítulos principais seguem as Referências.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 Movimentos de Massa

Segundo Gerscovich (2012), movimento de massa é “qualquer deslocamento de um determinado volume de solo”. Em geral, a literatura trata os movimentos de massa como processos associados a problemas de instabilidade de taludes.

Por definição, talude é a superfície inclinada de um maciço de solo ou rocha, que pode ter sido construída pelo homem ou ser natural, neste último caso é chamado de encosta (Figura 1). Os taludes podem ser constituídos por solo residual e ou coluvionar, além da rocha. Os solos residuais são aqueles provenientes da decomposição das rochas que se encontram no próprio local em que se formaram, já os coluvionares são levados ao seu atual local por ação da gravidade. Em relação à forma, os taludes podem possuir superfície plana ou curvilínea (côncava ou convexa), fazendo variar a direção do fluxo de água superficial.



Figura 1 - Região Serrana do Rio de Janeiro - 2011 (<http://www.usp.br>)

Existem diversas propostas de sistemas de classificação de movimentos de massa (Varnes 1958 e 1978; Hutchinson 1968; Guidicini e Nieble 1983; Santos 2004), sendo a de Varnes (1978) a mais utilizada internacionalmente. Varnes subdivide os movimentos em queda, tombamento, escorregamento, expansão lateral, escoamento (corrida e rastejo) e complexo, e é aplicável tanto para solo como para rochas. Varnes também apresenta recomendações de classificação quanto à velocidade e profundidade da massa deslocada.

Há de se ressaltar que a maioria das classificações tem aplicabilidade regional e se baseia nas condições geológicas e climáticas locais. Há algumas propostas para adequar a classificação dos movimentos de massa a ambientes tropicais, é como o caso do Brasil (Vargas, 1985; Costa Nunes, 1969). Augusto Filho (1992) revisou a proposta de classificação de Vargas e ajustou as características dos principais grandes grupos de processos de escorregamento à dinâmica ambiental brasileira.

Álvaro Santos (2004), com base na observação de grande número de movimentos de massa desenvolvidos na Serra do Mar, tipificou os padrões de movimento de massa quanto ao modo de desenvolvimento do movimento de massa e comparou o modo de desenvolvimento com suas próprias causas do movimento de massa. O autor subdividiu as ocorrências de movimento de massa em 2 grandes grupos: naturais e induzidos. A partir dos 2 grupos, Santos estabeleceu uma nomenclatura em função da velocidade e tipo de movimento. Na Tabela 2 são apresentadas algumas nomenclaturas para os grupos Naturais e Induzido.

Tabela 1 – Padrões de ocorrência (Santos 2004)

Tipos		Características
Naturais	Rastejo	Movimentos de grande lentidão e intermitência no horizonte superior de solos superficiais
	Escorregamentos translacionais rasos (ou planares)	Desmonte hidráulico de solos superficiais especialmente associado a encostas retilíneas com inclinação acima de 300 e rupturas positivas de declive
	Corrida de lama	Violenta torrente fluida de massa de solo e rocha ao longo dos talvegues de vales encaixados, originada da confluência do material de inúmeros escorregamentos planares ocorrido nas vertentes desse vales.
	Movimentação de tálus e corpos coluvionares	Movimentação de grandes massas coluvionares, quando cortadas ou sobrecarregadas por algum tipo de intervenção humana.
Induzidos	Escorregamentos rotacionais profundos	Escorregamentos de grandes massas de solo, devidos especialmente a escavações de pé de talude, sobrepeso, alterações de drenagem, desmatamento, etc.
	Escorregamentos translacionais rasos (ou planares)	Por cortes no terreno, concentração de águas superficiais, desmatamento, sobrepesos de aterros ou lixos, etc.

Na Tabela 2 são apresentados as características dos principais movimentos de massa associados a taludes naturais. Características estas originadas da compilação de várias observações apresentadas na literatura. A Figura 2 exemplifica alguns dos movimentos de massa.

Tabela 2 – Características dos principais movimentos de massa em encostas.

Processos	Características do movimento
Escoamento	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se caracteriza como movimentos contínuos, com ou sem superfícies de deslocamento definida, não associados a uma velocidade específica. ✓ O mecanismo de deformação é semelhante à movimentação de um fluido viscoso. Nesse contexto, a velocidade dos movimentos de massa pode ser considerada como característica destes eventos (Oliveira, 2004). ✓ Quando o movimento é lento, dá-se o nome de rastejo, e a velocidade é medida em centímetros por ano ✓ Quando o movimento é rápido (velocidade ≥ 10 km/h) denomina-se corrida. Nestes casos há perda completa da resistência do solo e a massa de solo se comporta como um fluido, atingindo grandes extensões durante o deslocamento.
Escorregamento	<ul style="list-style-type: none"> ✓ São movimentos de massa de duração relativamente curta e com superfície de ruptura bem definida. ✓ A deflagração do movimento ocorre quando as tensões cisalhantes mobilizadas se igualam à resistência ao cisalhamento do solo. ✓ A ruptura ocorre a partir da formação de uma superfície de cisalhamento contínua na massa contínua de solo.

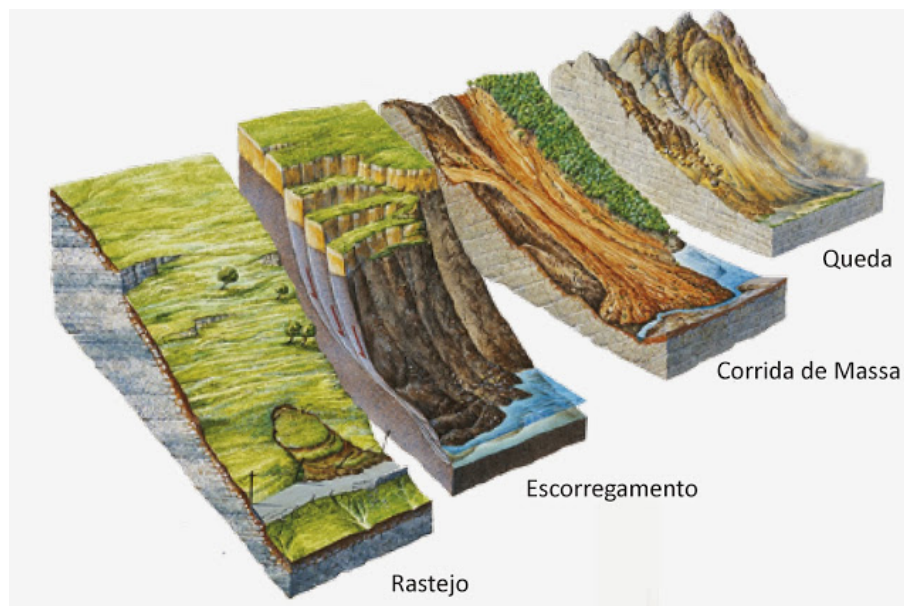


Figura 2 - Exemplos de movimentos de massa (Marshak, 2011)

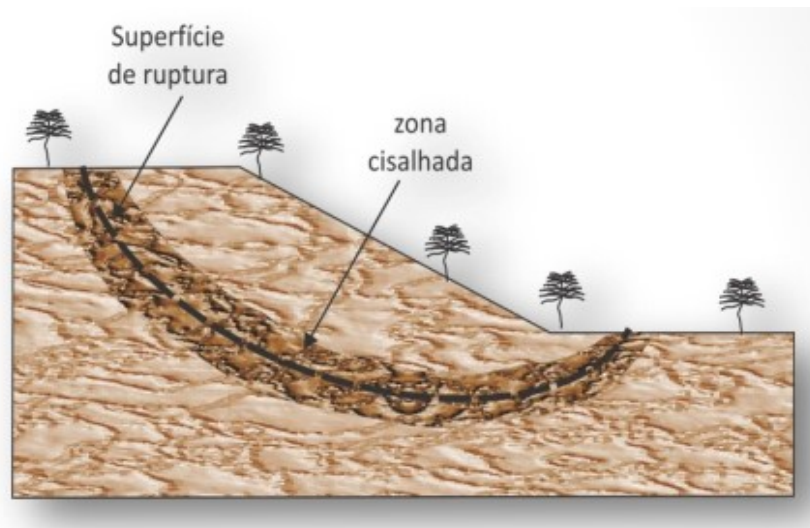


Figura 3 – Ilustração da zona fraca e superfície de cisalhamento (Gerscovich, 2012)

1.1.1 Agentes e Causas de movimentos de massa

No Brasil e no mundo, o aumento dos movimentos de massa não ocorre exclusivamente em razão dos fatores do meio físico como pluviosidade, declividade, formato da encosta, orientação da vertente, características pedológicas e geológicas que são determinantes nesse tipo de processo, mas também, principalmente, pela ação antrópica no uso do solo e em encostas desconsiderando o ambiente natural.

As ações antrópicas provocam interferências na rede de drenagem e no uso e ocupação do solo (eliminação da cobertura vegetal, cortes para abertura de novas estradas, construção de muros, taludes mal dimensionados, lançamento de lixo nas encostas etc). A remoção da cobertura vegetal da encosta com a ocupação desordenada é uma das principais responsáveis pela ocorrência desses movimentos de massa que ocasionam o acometimento das vidas de dezenas de pessoas a cada ano. Nesse ínterim os movimentos de massa necessitam de atenção especial por parte dos pesquisadores e governantes.

Os taludes naturais são suscetíveis a problemas de instabilidade devido às forças gravitacionais que contribuem para a deflagração do movimento. É comum observar encostas, que se mantinham estáveis por muitos anos, sofrerem processos de movimentação. Nestes casos a instabilidade é consequência da própria dinâmica de evolução das encostas. Com avanço dos processos físico-químicos de alteração

das rochas, o material resultante torna-se menos resistente e, dependendo da influência da topografia, geram-se condições propícias para deflagrar a ruptura.

Por outro lado, a análise da correlação entre agente e causa é importante para a compreensão dos movimentos de massa. Por exemplo, o agente “água” pode influenciar na estabilidade de várias formas, seja por umedecimento do solo, que resulta em aumento das cargas atuantes, seja pelo aumento da poropressão, que resulta na redução da resistência ao cisalhamento, entre outros.

Segundo Guidicini e Nieble (1983), os agentes podem ser divididos conceitualmente de duas maneiras: os predisponentes e os efetivos. Os agentes predisponentes referem-se ao conjunto de características intrínsecas onde o movimento de massa ocorre em função apenas das condições naturais, ou seja, sem a ação do homem e estes se subdividem em:

- ✓ Complexo Geológico: tipo de rocha, estrutura da rocha, estado de alteração, direção das camadas, grau de fraturamento, etc;
- ✓ Complexo Geomorfológico: declividade, forma da encosta, comprimento da encosta, orientação etc;
- ✓ Complexo Hidrológico: clima, volume e intensidade das precipitações, dinâmica da água no solo etc;
- ✓ Gravidade;
- ✓ Calor solar;
- ✓ Tipo de vegetação original;

Já os agentes efetivos referem-se ao conjunto de elementos diretamente responsáveis pelo desencadeamento do movimento de massa, neles se incluindo a ação humana. Esses podem ainda subdividir-se em razão de sua maneira de atuação:

- ✓ Efetivos preparatórios: pluviosidade, erosão pela água ou pelo vento, congelamento e degelo, variação de temperatura, ação humana, desflorestamento e etc;
- ✓ Efetivos imediatos: chuva intensa, fusão do gelo e neve, erosão, terremotos, ondas, vento, ação do homem e etc;

No tocante às causas, Terzaghi (1928,1950), citado por Guidicini e Nieble (1983) dividiu essas em razão das suas posições no talude da seguinte maneira:

- ✓ **Causas internas:** são as que levam a ruptura sem a constatação de qualquer alteração geométrica do talude e que ocasionam perda de resistência interna do material (aumento da pressão hidrostática, diminuição da resistência - coesão e do ângulo de atrito interno).
- ✓ **Causas externas:** provocam um aumento das tensões de cisalhamento, sem que haja diminuição da resistência do material (aumento da inclinação do talude por processos naturais ou artificiais, decomposição do material na parte superior do talude, abalos sísmicos e vibrações).
- ✓ **Causas intermediárias:** resultam de efeitos causados por agentes externos no interior do talude (liquefação espontânea, rebaixamento rápido, erosão retrogressiva).

A instabilidade do talude é deflagrada quando as tensões cisalhantes mobilizadas na massa do solo atingem a resistência ao cisalhamento do material, ao longo de uma superfície contínua (Figura 4). A condição de Fator de Segurança (FS) igual a 1, que ocorre quando as tensões resistentes se igualam às tensões mobilizadas (Figura 4), pode existir por aumento das tensões cisalhantes mobilizadas ou redução da resistência ao cisalhamento. Desta forma, os fatores deflagradores dos movimentos de massa podem ser separados em dois grupos, aumento da sollicitação e redução da resistência, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação dos fatores deflagradores dos movimentos de massa
(Adaptada de Varnes 1978)

Ação	Fatores	Fenômenos Geológicos/Antrópicos
Aumento da solicitação	Remoção de massa (lateral ou da base)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Erosão ✓ Escorregamentos ✓ Cortes
	Sobrecarga	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Peso da água, neve, granizo etc. ✓ Acúmulo natural de material (depósitos) ✓ Peso da vegetação ✓ Construção de estruturas, aterros etc.
	Solicitações dinâmicas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Terremotos, ondas, vulcões etc. ✓ Explosões, tráfego, sismos induzidos
	Pressões laterais	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Águas em trincas ✓ Congelamento ✓ Material expansivo
Redução da resistência ao cisalhamento	Características inerentes ao material (geometria, estruturas etc.)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Características geomecânicas do material
	Mudanças ou fatores variáveis	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ação do intemperismo provocando alterações físico-químicas nos minerais originais, causando quebra das ligações e gerando novos minerais com menor resistência. ✓ Processos de deformação em decorrência de variações cíclicas de umedecimento e secagem, reduzindo a resistência. ✓ Variação das poropressões. ✓ Elevação do lençol freático por mudanças no padrão natural de fluxo (construção de reservatórios, processos de urbanização etc.) ✓ Infiltração da água em meios não saturados, causando redução das pressões de águas negativas (sucção). ✓ Geração de excesso de poropressão, como resultado de implantação de obras. ✓ Fluxo preferencial através de trincas ou juntas, acelerando os processos de infiltração.

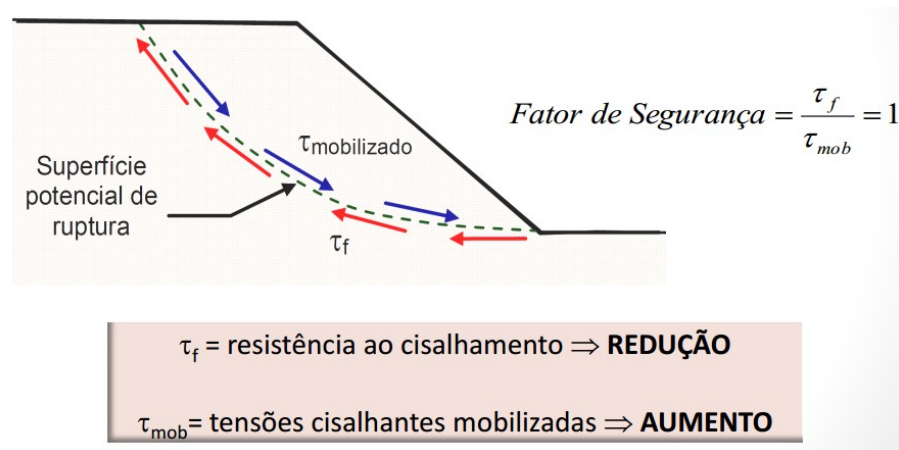


Figura 4 - Condição de ruptura por escorregamento (Gerscovich, 2012)

1.2 Correlações Chuvas X Movimentos de Massa

A maior parte dos movimentos de massa ocorre em áreas montanhosas. Há consenso geral, baseado na observação, relatos e registros de movimentos de massa, de que a quantidade de movimentos de massa sofre um incremento significativo quando se vivencia períodos de chuva.

Os efeitos que a água da chuva causa no solo têm sido observados e estudados há um longo período. Lumb (1975), Rahardjo & Fredlund (1993), Ng and Shi (1998), Fourie et al (1999) constataram que as rupturas de talude deveriam ser atribuídas ao avanço da frente de saturação, que causa redução na sucção matricial e, conseqüentemente, na resistência ao cisalhamento na superfície potencial de ruptura.

A ação antrópica, particularmente devido à ocupação desordenada das encostas, representa um fator potencializador na deflagração de movimentos de massa (Figura 5). A ocupação de modo irregular é caracterizada pela mudança na geometria dos taludes, que, em sua maioria, são cortados para a construção de moradias. Associa-se a isto a inexistência de infraestrutura necessária para que se observe a qualidade de vida e, principalmente, a segurança dos indivíduos.



Figura 5 – Movimento de massa na Tijuca – Abril 2010. (blogs.estadao.com.br)

Em áreas urbanas, os movimentos de massa podem causar sérios danos à sociedade, sejam estes materiais e/ou humanos. Há a necessidade, portanto, de estabelecimento dos limiares de intensidade de chuva capazes de deflagrar os movimentos de massa. Com isso, metodologias para gerenciamento de sistemas de alerta são implantadas nos municípios de forma que a população possa ser protegida. Tais metodologias requerem uma instrumentação de campo que no mínimo forneça, em tempo real, as intensidades de chuva incidindo na superfície do terreno (pluviógrafos ou pluviômetros).

Serão apresentadas, a seguir, algumas propostas de correlação chuva x escorregamento presentes na literatura. Há de se ressaltar que a definição do início da chuva varia entre as propostas. Em geral, o início da chuva ocorre quando se registram valores não nulos em pluviômetros. Há, entretanto, propostas mais recentes que definem o início da chuva a partir de determinado valor acumulado de 1h dentro dos critérios de cada modelo.

1.2.1 Modelo desenvolvidos para Hong Kong

1.2.1.1 Modelo de Lumb (1975)

Em 1975, Peter Lumb analisou escorregamentos ocorridos em Hong Kong, no período de 1950 a 1973. Em sua análise, Lumb considerou aspectos topográficos, características do solo, inclinação do talude, tipos de ruptura e chuvas características de Hong Kong, esta última devido a sua localização geográfica. Lumb concluiu que a melhor correlação, entre as rupturas estudadas e as intensidades de chuva, era o estabelecimento de correlação entre chuva acumulada ao longo do dia do evento (24 horas de chuva) versus chuva acumulada nos 15 dias que antecederam a ruptura. Os escorregamentos foram divididos em categorias; como mostram a Tabela 4 e a Figura 7.



Figura 6 – Avenida Po Shan - Junho de 1972. (<http://www.ugc.edu.hk>)

Tabela 4 – Categorias de eventos: chuva 24h X chuva acumulada nos 15 dias que antecederam a ruptura. (Lumb, 1975)

Nomenclatura	Descrição
Desastroso	Mais do que 50 rupturas de taludes em um dia
Severo	Entre 50 e 10 rupturas em um dia
Menor	Menos de 10 rupturas em um dia
Isolado	Um único evento
Nulo	Não houve escorregamento em dias de chuva diária maior do que 50 mm.
Nulo subsequente	Trata-se de chuva subsequente a escorregamento, quando durante a chuva subsequente não foram identificados escorregamentos, ou seja, houve escorregamento em um período de chuva anterior, mas não houve escorregamento na chuva considerada.

A Figura 7 mostra a proposta de Lumb (1975), onde são definidas regiões associadas a cada uma das categorias. Um evento severo, por exemplo, seria esperado quando a associação da chuva acumulada em 24h atingisse cerca de 100mm e, em 15 dias, 200mm.

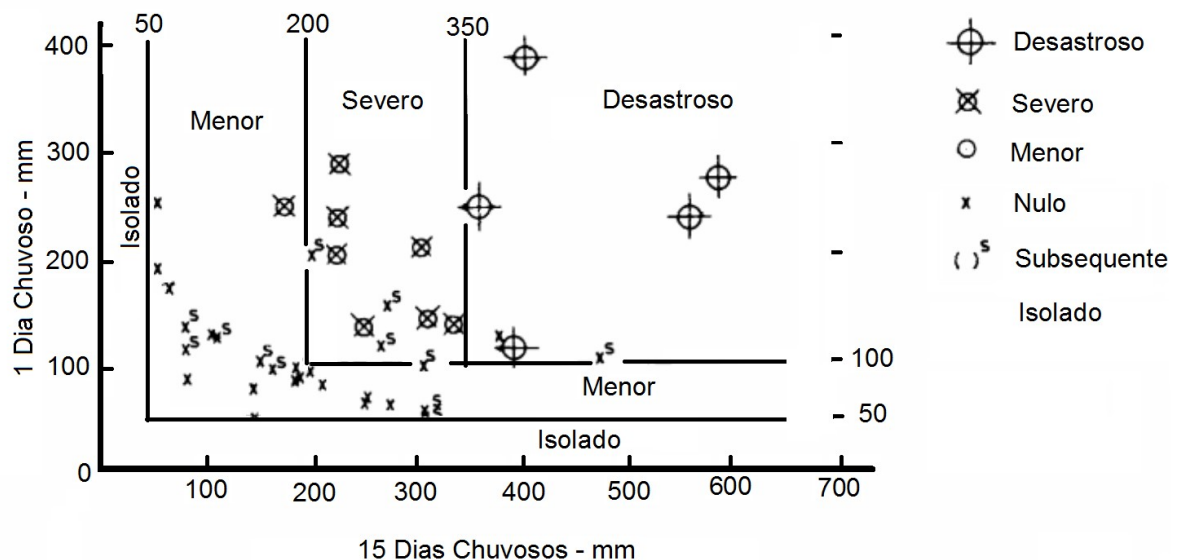


Figura 7 – Correlação chuva e categorias dos deslizamentos (Lumb, 1975)

1.2.1.2 Modelo de Brand et al. (1984)

Brand et al. (1984) examinaram a correlação proposta por Lumb (1975), usando dados de chuva coletados de 46 postos pluviométricos automatizados, distribuídos em Hong Kong, e dados dos horários das rupturas de talude. Os autores concluíram que a ocorrência de deslizamentos estava fortemente relacionada à precipitação de 24h ou, melhor, à chuva diária. Com isso, a chuva antecedente considerada por Lumb não se mostrou como fator principal, exceto nos casos menos frequentes de ruptura que ocorreram sob a ação de chuvas de pouca intensidade. A grande maioria dos escorregamentos ocorridos em Hong Kong foi ocasionada por chuvas localizadas de curta duração e alta intensidade. Adicionalmente, uma grande parte dos escorregamentos deu-se sob o mesmo pico horário de chuva, enquanto a menor parte ocorreu um pouco após o pico. Foi observado também que chuvas de intensidade próximas a 70mm/h mostraram-se como um limite a partir do qual a ocorrência de escorregamento, com vitima, deveria ser previsto; chuvas de 24h inferiores a 100mm provavelmente não acarretariam em escorregamentos que implicariam em perdas humanas ou bens materiais.

1.2.1.3 Modelo de Au (1993)

Ainda, tomando dados provenientes de 24 eventos de chuva, nos quais a acumulada de chuva de 24h varia de 50mm a 400 mm, e registros de movimentos de massa, em Hong Kong, durante o período de 1982 a 1989, Au (1993) observou que rupturas de taludes ocorreriam tipicamente quando se verificassem chuvas de 24 horas superiores a 70 mm, e algumas vezes para precipitações inferiores a 50 mm.

Tabela 5. Observações chuva x escorregamento em Hong Kong. (Au, 1993)

Ocorrência de escorregamento	Intensidade de chuva acumulada
Probabilidade Baixa	24 h < 50mm
Probabilidade Alta	24 h >70mm

1.2.1.4 Modelo de Premchitt et al. (1994)

Premchitt et al. (1994), analisando dados de chuva e de movimentos de massa de Hong Kong no período de 1972 a 1992, indicaram que uma chuva horária máxima de 70mm seria fator determinante na causa de uma média de 30 escorregamentos provenientes de uma gama de 551 escorregamentos. Para chuva de 24 horas cuja altura fosse menor do que 100 mm, escorregamentos seriam menos prováveis de ocorrerem, mas certamente ocorreriam se 175 mm de precipitação ocorressem em 24 horas. Foi, também, notado que eventos de chuva que causaram um grande número de escorregamentos estavam ligados a altas intensidades de precipitação ocorridas em uma hora, e que alguns eventos, embora houvesse baixa intensidade horária de precipitação, a altura de precipitação era considerável quando se considerava a chuva acumulada de 24 horas. A Tabela 6 resume as observações dos autores

Tabela 6. Observações chuva x escorregamento em Hong Kong.
(Premchitt et al. , 1994)

Ocorrência de escorregamento	Intensidade de chuva acumulada
Probabilidade Baixa	24 h <100mm
Probabilidade Alta	h > 70mm
	24 h >175mm

1.2.1.5 Modelo de Pun et al (2003)

Pun et al (2003) revisaram as correlações e os critérios de alerta de deflagração de movimentos de massa, propostos por Lumb (1975), Brand et al (1984), Premchitt (1991) e Kay & Chen(1995) para Hong Kong, para chuvas de 24 horas de duração com acumuladas iguais ou superiores a 100 mm, tomando como referência os dados do período de 1984 a 1996. Os principais estudos realizados foram:

- (i) Identificação visual de áreas com densidade (razão entre escorregamentos por unidade de área) relativamente alta de escorregamentos, tomando-se como referência a localização dos escorregamentos registrados em mapa. Na Figura 8, as áreas com alta densidade de escorregamentos são as mais escuras. A partir

da identificação visual destas áreas, houve a delimitação, no mapa, de regiões definidas como **áreas suscetíveis, A** (Figura 9);

- (ii) Estabelecimento de uma relação linear entre a **densidade de escorregamentos, ρ** , e a **precipitação de 24 horas, R24**, em uma escala log-log para cada área suscetível **A** (Figura 9). Os pontos plotados apresentados na Figura 10 correspondem a escorregamento registrado em uma áreas suscetíveis iguais ou superiores a 10 km²;
- (iii) Proposta: Que o critério de acionamento do alarme seja baseado no total de **escorregamentos previstos, N24**, e que seja considerado acionar o alarme toda vez que **N24** ultrapassar determinado valor limite, sendo este valor definido pela correlação apresentada na Figura 10. Em termos de funcionamento, cada área **A** possui pluviômetros, o quê significa que de posse da distribuição **R24**, que é fornecida pelo pluviômetro, pode-se relacionar **R24** a **ρ** através da relação gráfica apresentada na Figura 10. De posse de **ρ** e da área **A** em km² é possível calcular o numero de escorregamentos previstos, **N24**, para a chuva observada. Caso o **N24** supere o limite pré-definido de escorregamento para a área considerada, então o alarme deve ser acionado.



Figura 8 – Distribuição espacial dos movimentos de massa registrados no período de 1982 a 1997 em Hong Kong (Pun et al 2003).



Figura 9 – Delimitação das áreas suscetíveis baseada nos escorregamentos registrados no período de 1982 a 1997 em Hong Kong (Pun et al 2003).

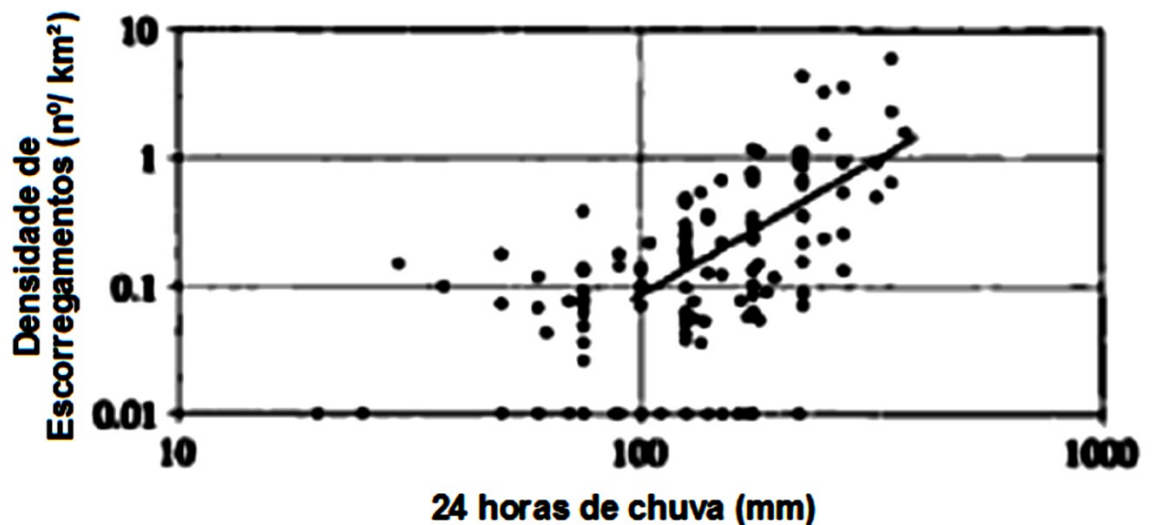


Figura 10 – Correlação entre a chuva de 24 horas e a densidade de escorregamentos registrados (Pun et al 2003).

A Figura 10 mostra uma razoável correlação entre as chuvas de 24 horas e a densidade de movimentos de massa registrados nas áreas suscetíveis. É possível observar que para chuvas de 24 horas superiores a 100 mm ocorre um incremento representativo da densidade de movimentos de massa.

Este modelo de correlação se apresentou mais realista do que os apresentados por Lumb (1975) e Brand (1984) em que são utilizadas apenas as

quantidades de chuva como fator principal dos deslizamentos. Pun et al (2003) mostraram que chuvas intensas de uma hora não são necessariamente condições suficientes para desencadear escorregamentos. O estudo também indicou que chuvas antecedentes de 15 dias ou 30 dias afetam o tamanho e proporção dos escorregamentos, mas não o número total de escorregamentos.

1.2.2 Modelos desenvolvidos para encostas brasileiras

1.2.2.1 Modelo de Guidicini e Iwasa (1976)

Guidicini e Iwasa (1976) analisaram dados de precipitação de nove regiões (8 no Estado de São Paulo e 1 região no Estado do Rio de Janeiro), com o propósito de desenvolver uma correlação entre chuvas e escorregamentos. Os dados de chuva utilizados são provenientes de pluviômetros, cujas leituras se limitavam a períodos de 24h, 48h e 72h. Para cada região foram selecionadas chuvas ocorridas em 48 anos, de 1928 a 1976. O critério de seleção adotado foi considerar somente eventos pluviométricos cuja precipitação fosse igual ou superior a $130 \text{ mm} \pm 7\%$. Para uma análise global, considerando todas as nove (9) regiões, foi adotado coeficiente C_c , definido como

$$C_c = \frac{\text{precipitação acumulada até o dia anterior do evento}}{\text{chuva média anual}} \quad (1.1)$$

Onde a precipitação acumulada é contada a partir do primeiro dia do ano até o dia anterior ao evento.

A Figura 11 mostra a correlação, entre as regiões estudadas, baseadas no coeficiente C_c . São apresentados 40 pontos representados por círculos e associados a escorregamentos e a eventos catastróficos, segundo os critérios de classificação de movimentos de massa do autor. Os eventos catastróficos são marcados com um círculo mais grosso.

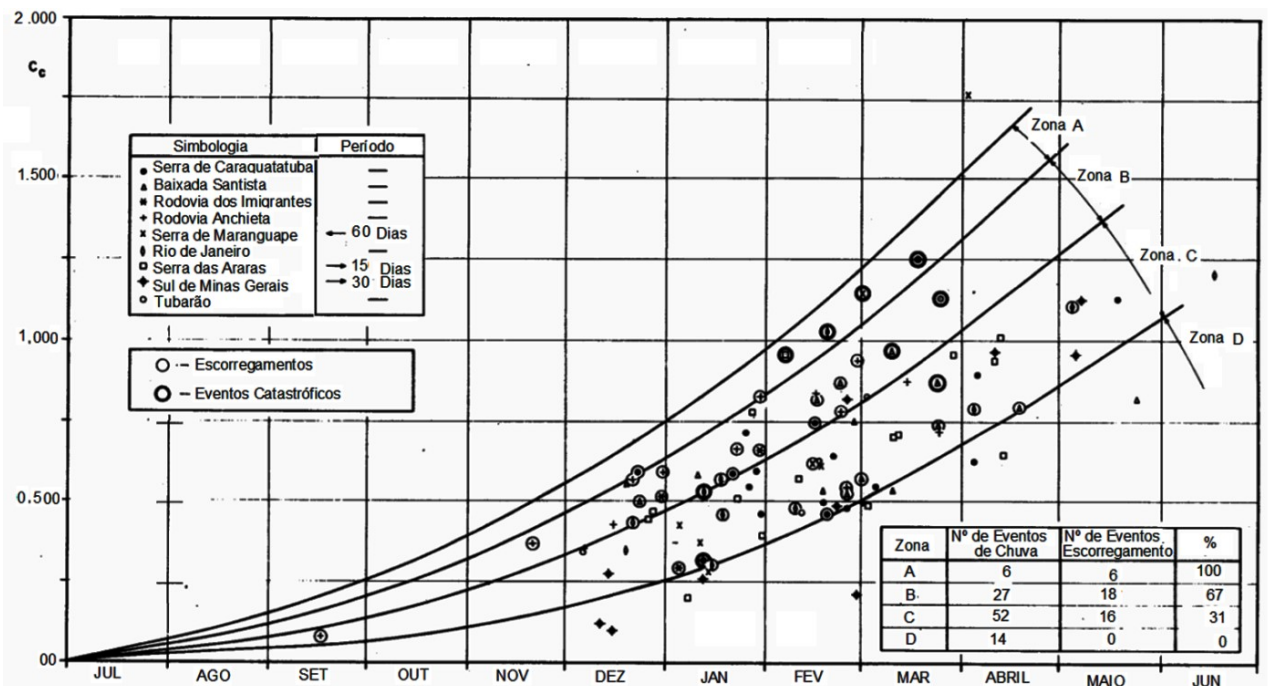


Figura 11 –Correlação-coeficiente C_c e movimentos de massa para o período de 1928-1976 (Guidicini e Iwasa 1976)

As zonas A, B, C e D são definidas em função da relação entre eventos pluviométricos, cujo valor mínimo registrado fosse igual a $130 \text{ mm} \pm 7\%$, e em função dos movimentos de massa desenvolvidos no período de precipitação do evento pluviométrico. A tabela apresentada na Figura 11 indica a relação entre o números de eventos pluviométricos e a quantidade de escorregamentos observados durante estes eventos. A Zona **A** define a condição mais crítica, em que 100% dos eventos pluviométricos causam ruptura, e na zona **D** o risco é nulo. A Figura 12 mostra a proposta de Guidicinni e Iwasa específica para a região de Caraguatatuba, na serra do mar, São Paulo.

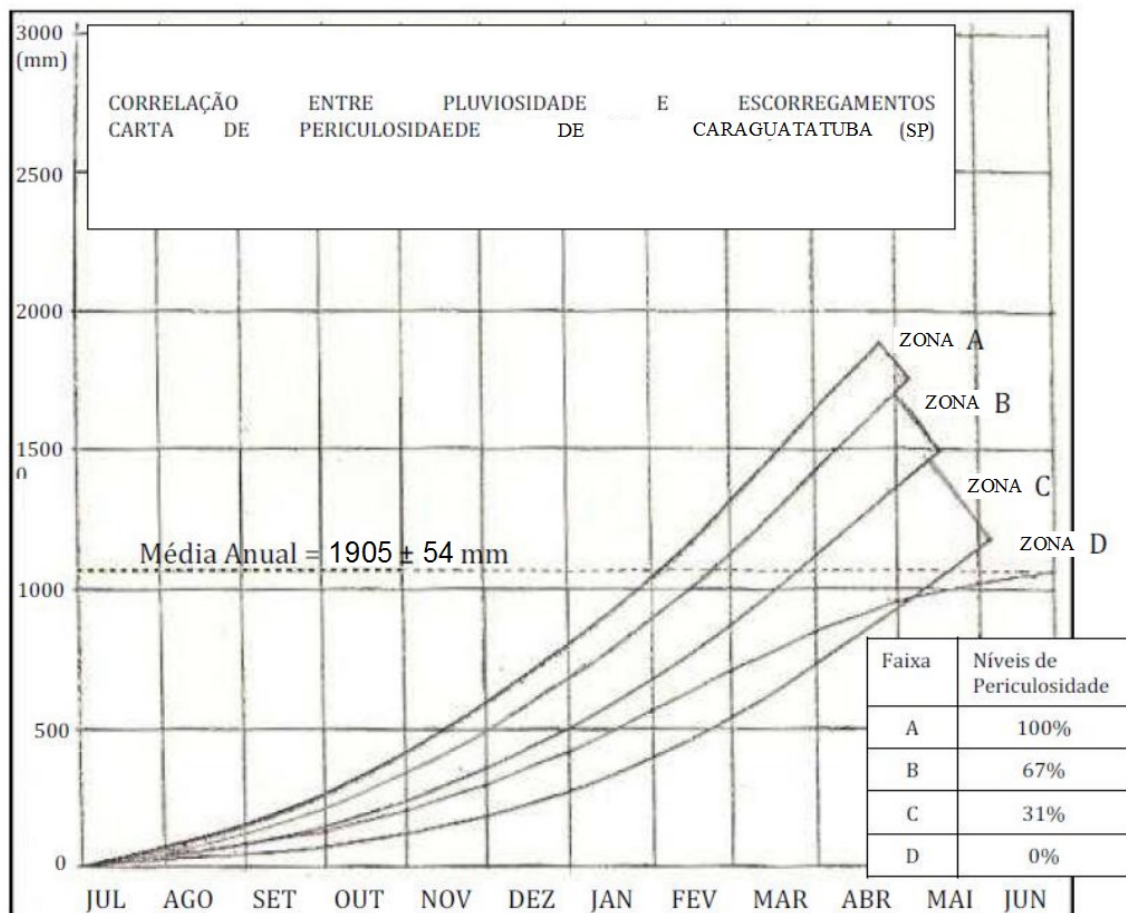


Figura 12 –Proposta de correlação de Guidicini e Iwasa (1976) para a serra do Mar, SP.

1.2.2.2 Modelo de Tatizana et al. (1987)

Tatizana et al. (1987) analisaram os eventos de chuvas de alta intensidade e movimentos de massa na Serra do Mar (região de Cubatão, SP) e se propuseram a definir o número de dias, anteriores ao evento, que apresentavam influência efetiva nos escorregamentos e, também, a relação numérica entre a chuva acumulada e a intensidade horária para os casos de escorregamento. Os estudos foram limitados a eventos de chuva no período de 1956 a 1986 (30 anos), cujos valores deveriam ser superiores a 100 mm em 1 (um) dia, 150 mm em 2 (dois) dias e 200 mm em 3 (três) dias. Foram então selecionados 35 (trinta e cinco) eventos, dentre os quais 17 (dezessete) não tinham registros de escorregamento. Para os 35 eventos, foram coletados dados horários de chuva relativos a um período de sete dias anteriores a cada evento e a um dia posterior.

Os autores analisaram os resultados considerando as intensidades de chuva acumuladas em 2, 3, 4 e 8 dias anteriores ao escorregamento. Para os 17 eventos de chuva sem registro de escorregamento foram admitidas intensidades (i) horárias mínimas iguais a 10mm/h, a partir das quais se calculou a acumulada de 3 dias antecedentes até a hora $i-1$. Adotou-se este procedimento, uma vez que não existindo escorregamento, não havia um ponto referencial horário para estabelecimento das intensidades de chuva acumuladas. Para os 18 eventos de chuva com registro de escorregamento, adotaram-se os pontos com as maiores relações de chuva horária com acumulada de 4 dias.

Tatizana et al. (1987) concluíram que as relações, considerando 4 dias (96h) de chuva acumulada, mostraram uma melhor diferenciação entre os eventos com e sem registro de escorregamento. Como mostra a Figura 13, os autores propuseram uma curva limite que diferencia as intensidades de chuva **com** e **sem** potencial de deflagração de escorregamento, definida por:

$$i(\text{mm/dia}) = 2603 A_c^{-0,933} \quad (1.2)$$

Onde A_c corresponde à chuva acumulada nos últimos 4 dias (mm)

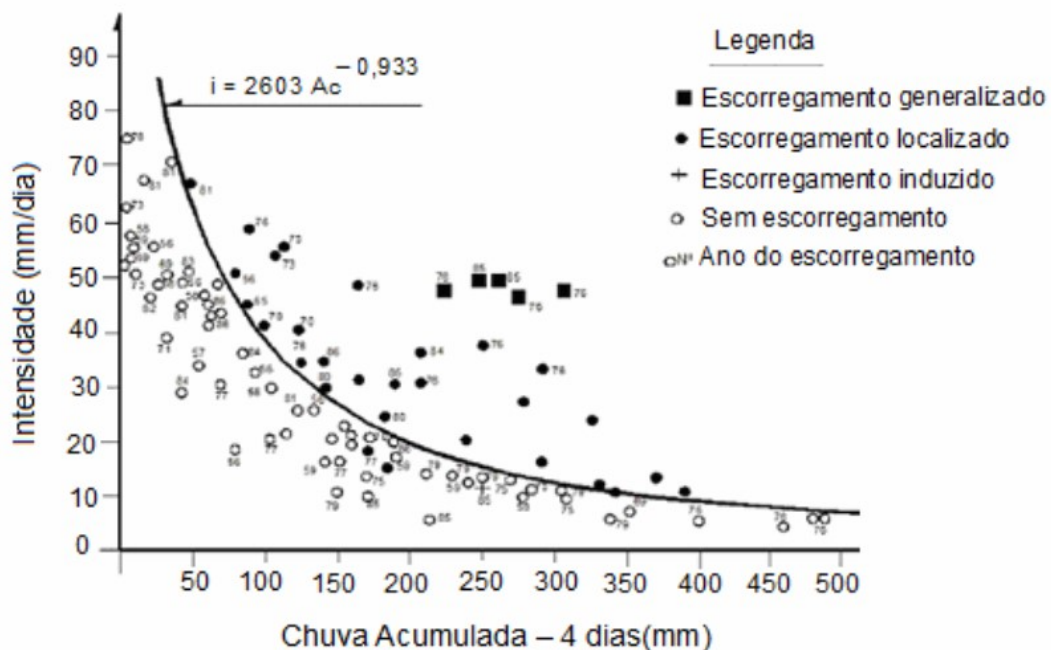


Figura 13 – Correlação chuva e ruptura de taludes ocorridos em Serra do Mar, Cubatão – SP (Tatizana et al ,1987)

1.2.2.3 Modelo de D'Orsi (2011)

D'Orsi (2011) estudou os eventos de chuvas de alta intensidade e movimentos de massa na região serrana do Rio de Janeiro, mais precisamente, no trecho da Serra dos Órgãos, ao longo das pistas de rolamento da Rodovia Federal BR116RJ, entre os quilômetros 86km e 104km. Para tal, foram coletados dados de sobre os movimentos de massa com base nos relatórios de obras do DNER (posto da ANTT - no km 106 da rodovia - município de Guapimirim), no banco de dados da Concessionária Rio-Teresópolis (CRT) e em fontes diversas, como periódicos, sites na internet e artigos técnicos. Já os dados de precipitação foram oriundos de registros das estações pluviométricas da CRT, da estação automática Teresópolis (A618) do INMET e da estação convencional Teresópolis (Nº. 83744), também integrante da rede de estações do INMET.

Uma das questões que permeia os trabalhos na área de correlação chuva x escorregamento é a definição do período do evento pluviométrico; isto é, a data/hora de início e fim. Em seus estudos, D'Orsi definiu como início do evento pluviométrico aquele momento em que, em 1 hora, o registro foi maior do que 20mm e o final do evento pluviométrico (data/hora) foi definido no momento em que a pluviometria acumulada em 4 horas consecutivas fosse menor do que 5 mm, como mostra a Tabela 7.

Tabela 7. Definição de evento. (D' Orsi, 2011).

Evento (data / hora)	Intensidade de chuva acumulada	Valor
Início	1 hora	$\geq 20\text{mm}$
Fim	4 horas	$\leq 5\text{mm}$

Para a proposta de correlação foram fixados os valores de pluviometria horária (mm/h) e de pluviometria diária (mm/24h) e variadas as correspondentes acumuladas pluviométricas em 1h, 12h, 24h, 48h, 72h e 96h (Tabela 8), para se obter uma melhor configuração de tendência na curva que separa a pluviometria com e sem registro de escorregamento associada.

Tabela 8 - Combinações testadas por D' Orsi (2011).

Pluviometria acumulada	mm/1h	mm/12h	mm/24h	mm/48h	mm/72h	mm/96h
mm/1h		1h x 12h	1h x 24h	1h x 48h	1h x 72h	1h x 96h
mm/12h			12h x 24h	12h x 48h	12h x 72h	12h x 96h
mm/24h				24h x 48h	24h x 72h	24h x 96h
mm/48h					48h x 72h	48h x 96h
mm/72h						72h x 96h
mm/96h						

O tratamento dos dados levou à conclusão de que dentre às 15 possibilidades de combinação entre acumuladas pluviométricas, apenas a correlação entre a intensidade pluviométrica horária (mm/h) e a acumulada pluviométrica diária (mm/24h) apresentou resultados coerentes e consistentes, que permitissem o desenvolvimento de análises mais aprofundadas. Com isso, D'Orsi (2011) observou a possibilidade de se estabelecer zonas passíveis de ocorrência de deslizamentos. A partir da Figura 14, o autor estabeleceu uma curva limite, definida por:

$$I_{(mm/h)} = 620,7 I_{(mm/dia)}^{-0.71} \quad (1.3)$$

Abaixo da curva, quase a totalidade dos eventos pluviométricos não gerou qualquer problema de instabilidade, sendo apenas observadas poucas exceções. D'orsi classifica, também, as ocorrências de escorregamento em eventos simples, eventos importantes e eventos muito importantes, seguindo como orientação as informações dos boletins de ocorrência da CRT.

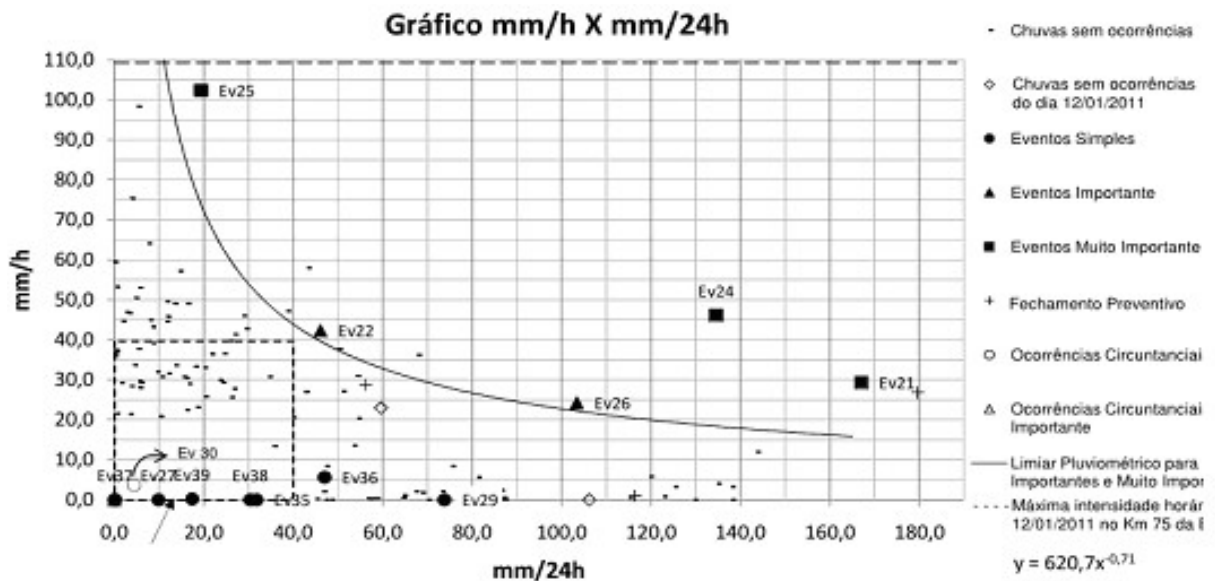


Figura 14. Gráfico de correlação entre intensidade de chuva acumulada horária (mm/h) e diária (mm /24h) (D' Orsi, 2011)

1.2.3 Resumo das propostas de correlação chuva vs escorregamento

A Tabela 9 resume as propostas apresentadas nos itens 1.2.1 e 1.2.2. A Tabela 10 compila algumas propostas de correlações utilizadas em sistemas de alerta, que são apresentados no item 1.2.4.

Em algumas propostas não foi possível estabelecer a definição do autor para caracterização de início de evento. Acredita-se que, nesses casos, não houve um limite mínimo de intensidade de chuva para o início do evento. Dado as diferentes possibilidades de consideração da chuva acumulada, há uma tendência de utilização de intensidade de chuva horária e de chuvas de 24 horas.

Tabela 9. Resumo das propostas de correlação chuva vs escorregamento

Referência	Local	Período	Critério para definição de evento pluviométrico	Análises / Correlação
Lumb (1975)	Hong Kong	1950 – 1973 (23 anos)		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Correlação: mm/24h X mm/15dias ✓ Evento severo :mm/24 \geq 100 e mm/15dias \geq 200
Guidicini e Iwasa (1976)	São Paulo (9 áreas) e Rio de Janeiro (1 área)	1928 a 1976 (48 anos)	Acumuladas de chuva a partir de 130mm \pm 7%.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Definição de zonas A, B, C e D em função da média de chuva anual e as precipitações até o dia anterior ao evento (Cc).
Brand et al. (1984)	Hong Kong			<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fortemente relacionada à precipitação de 24h (mm/24h), ✓ Pouca influência da acumulada de 15 dias ✓ Evento severo mm/h \geq 70 mm. ✓ Evento sem escorregamentos: mm/24h < 100 mm
Tatizana et al. (1987),	Serra do Mar Cubatão – SP	1956 a 1986 (30 anos),	1dia \geq 100mm 2dias \geq 150 mm 3dias \geq 200 mm	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Correlação: mm/24h X mm/4 dias ✓ $I(\text{mm/dia}) = 2603 A_c^{-0,933}$
Au (1993)	Hong Kong	1982 a 1989 (7 anos)		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Risco elevado para mm/24h \geq 70mm ✓ Risco provável para 50mm < mm/24h
Premchitt et al. (1994)	Hong Kong	1972 a 1992 (20 anos)		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Risco elevado para: mm/h \geq 70mm mm/24h \geq 175mm
Pun et al (2003)	Hong Kong	1984 – 1996 (12 anos)		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Correlação: mm/24h X densidade de deslizamento ✓ Probabilidade alta de escorregamentos: mm/ 24h > 100 mm ✓ Observada a influencia da acumulada de 15 dias ou 30 dias
D'Orsi (2011)	Serra do Orsi Órgão Teresópolis, RJ	1956 a 1986 (30 anos),	Início: 1h \geq 20mm Fim: 4h \leq 5mm	<ul style="list-style-type: none"> ✓ D'Orsi (2011) ✓ mm/h X mm/24h ✓ $I(\text{mm/h}) = 620,7 I(\text{mm/dia})^{-0,71}$

Tabela 10. Compilação dos limiares de correlação chuva vs escorregamento - sistemas de alerta.

Sistema de Alerta-Itália (SANF)	Itália			$\log I_{(média)} = 7,74 \log D^{-0,64}$ ✓ I é a intensidade média da chuva e D é a duração da chuva
Sistema de Alerta- Petrópolis	Petrópolis			Para acumuladas pluviométricas de 4 dias (A): ✓ Estado de Risco 1: A ≥ 40 mm (posto Petrópolis) ou A ≥ 30 mm (posto de Itamarati). ✓ Estado de Risco 2: A ≥ 90 mm no posto de Petrópolis ou A ≥ 60 mm no posto de Itamarati. ✓ Estado de Risco 3: A ≥ 150 mm no posto de Petrópolis ou A ≥ 130 mm no posto de Itamarati.
Sistema de Alerta- Município do Rio de Janeiro.	Município do Rio de Janeiro			Probabilidade de ocorrência de escorregamento: ✓ Média: mm/h = 10 a 30 mm ou mm/24h = 50 a 100 mm ou mm/96h = (100 a 175 mm e 10 a 30 mm/24h). ✓ Alta: mm/h = 30 a 50 mm ou mm/24h = 100 a 175 mm ou mm/96h = (175 a 250 mm e 30 a 50 mm/24h). ✓ Muito Alta: mm/h > 50 ou mm/24h > 175 ou mm/96h = (> 250mm e > 100mm/24h).

1.2.4 Sistemas de Alerta

O sistema de alerta utiliza a base de dados das correlações entre chuvas e escorregamento para emissão de alarmes à população. O sinal é acionado quando existe alta probabilidade de ocorrência de escorregamento, durante um evento de chuva. Dessa forma, os sistemas de alerta são baseados na previsão de chuva e na chuva acumulada. O intervalo de tempo para emitir o alarme deve ser suficiente para permitir a evacuação de pessoas e, se possível, mais dirigido para a área de risco

em potencial, evitando assim a mobilização desnecessária de pessoas e a percepção por parte da população de que o toque da sirene é algo banal.

A eficácia do sistema de alarme é baseada na confiabilidade dos serviços de meteorologia, pois é necessário obter informações sobre a previsão de chuvas para emitir o sinal de alarme, e na relação entre o número de acertos da previsão de ocorrências de escorregamentos, nas quais foram exigidas mobilizações da população. Alarmes “falsos”, ou a alta frequência de acionamento das sirenes, baseada em valores de baixa intensidade pluviométrica, geram desconfiança e reduzem a credibilidade da população no sistema.

As informações de alerta de desastres que envolvem movimentos de massa têm o objetivo de auxiliar os administradores locais na tomada de decisões e de amparar as respostas emergenciais adequadas e no menor tempo possível, tais como atividades de combate a desastres e a advertência de refúgio para a população quando a iminência de ocorrência de escorregamentos for elevada. Além disso, estas informações oferecem dados que podem ser utilizados pela população ao decidir por conta própria evacuar uma área.

Se por um lado compreende-se a relação científica de atuação do sistema de alerta, por outro não se pode negligenciar a percepção de risco por parte da sociedade receptora das orientações de evacuação. Vasconcellos (2015) aborda em seu estudo a importância da percepção de risco e expõe fatores como a influência de experiências passadas, influência da frequência, influência da familiaridade com a situação e influência da expectativa de vida, que orientam e balizam a avaliação subjetiva do risco.

Em específico, apontando para a área de estudo objeto deste trabalho, segundo Vasconcellos (2015) a população da Comunidade Formiga possui percepção de risco deficiente, provavelmente devido à relativização feita frente a outras ameaças vividas em sua realidade e relata a evidência de que são necessárias ações socioeducativas que mostrem aos moradores a importância da percepção de risco, usando como exemplo casos reais ocorridos na comunidade. Vasconcellos (2015) aponta também para importância de trabalhos que os ensinem a contribuir significativamente para a redução dos riscos, minimizando e/ou

revertendo as ações antrópicas nocivas à estabilidade das encostas e participando efetivamente na gestão dos riscos, incentivando o seu engajamento em atividades de prevenção.

1.2.4.1 O sistema de Alerta na Itália

Na Itália foi desenvolvido e implementado um sistema de aviso de movimento de massa, chamado SANF (Sistema Nacional de Alerta para movimentos de massa induzidos por chuva), para prever a possível ocorrência de escorregamentos. O sistema é baseado nos seguintes parâmetros:

- (i) Limiares de precipitação para possível ocorrência movimentos de massa;
- (ii) Medidas pluviométricas sub-horárias obtidas por uma rede nacional com 1.950 pluviômetros, mostrada na Figura 15;
- (iii) Previsões de precipitação quantitativa;

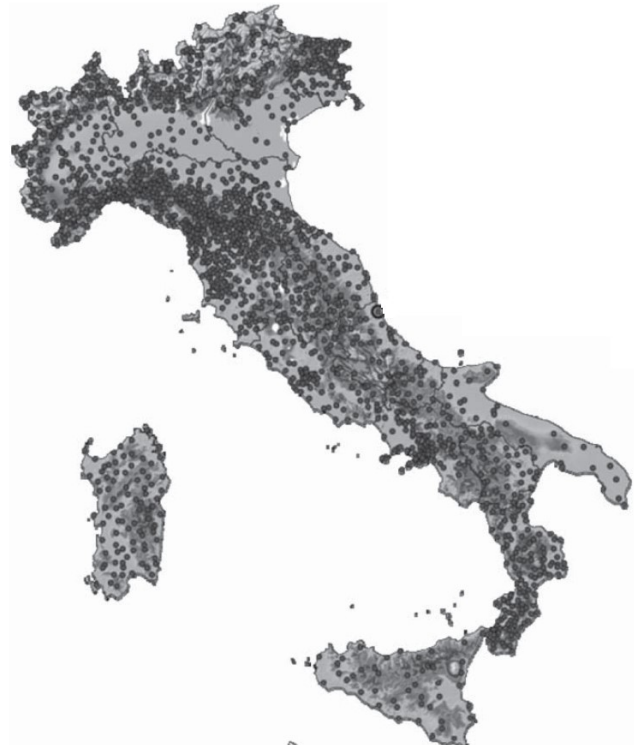


Figura 15 – Distribuição geográfica de 1.950 pluviômetros (Rossi et al 2012)

Os procedimentos para definir e validar os limiares empíricos foram baseados em estudos estatístico de eventos de chuvas que resultaram em movimento de massa. Para cada evento de deslizamento, registrou-se, na base de dados, a duração (D) e a intensidade média de chuva (I), a partir dos dados do pluviômetro mais representativos, cuja seleção depende da localização geográfica, incluindo distancia do talude, condições topográficas e morfológicas locais.

O sistema de alerta (SANF) está operacional desde outubro de 2009 e, atualmente, o sistema utiliza um único limiar para todo o território italiano, mostrado na Figura 16, e definido como:

$$\log I_{(m\u00e9dia)} = 7,74 \log D^{-0,64} \quad (1.4)$$

Onde I é a intensidade média de chuva e D a duração da chuva.

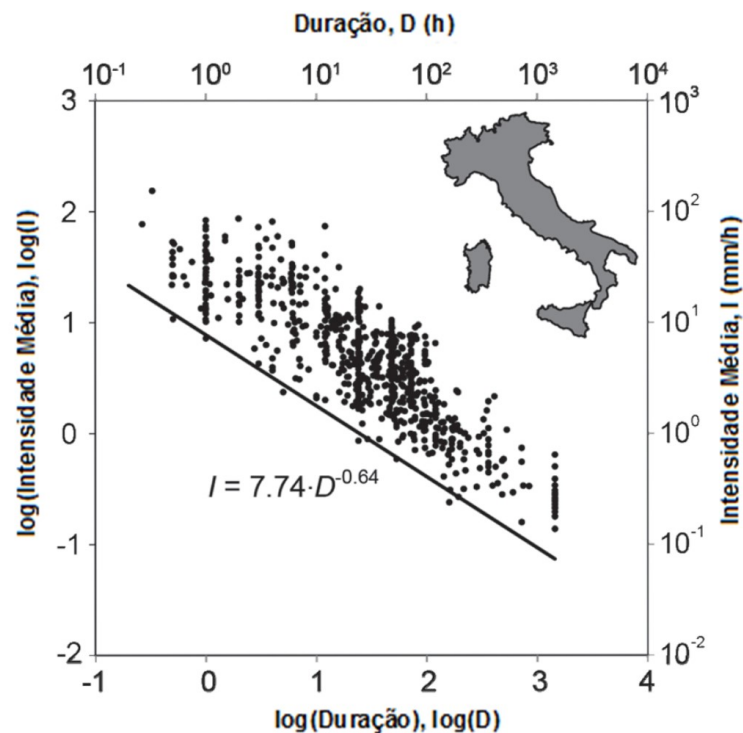


Figura 16 – Condições de intensidade-duração (pontos) dos escorregamento na Itália. (Rossi et al 2012)

Duas vezes por dia, o sistema compara a precipitação prevista com os limiares de intensidade-duração (ID) pré-definidos e atribui a cada chuva uma probabilidade de ocorrência de escorregamento, utilizando para tal o algoritmo do sistema de previsão de alerta e escorregamento. A Figura 17 mostra o fluxograma do sistema de alerta italiano.

A probabilidade de ocorrência de escorregamento, dada pelo algoritmo, é usada para preparar cartas sinóticas em escala delimitando áreas com maior incidência de deflagração de escorregamentos. Sendo estes provocados pelo efeito de chuva previsto para as próximas 24 horas.

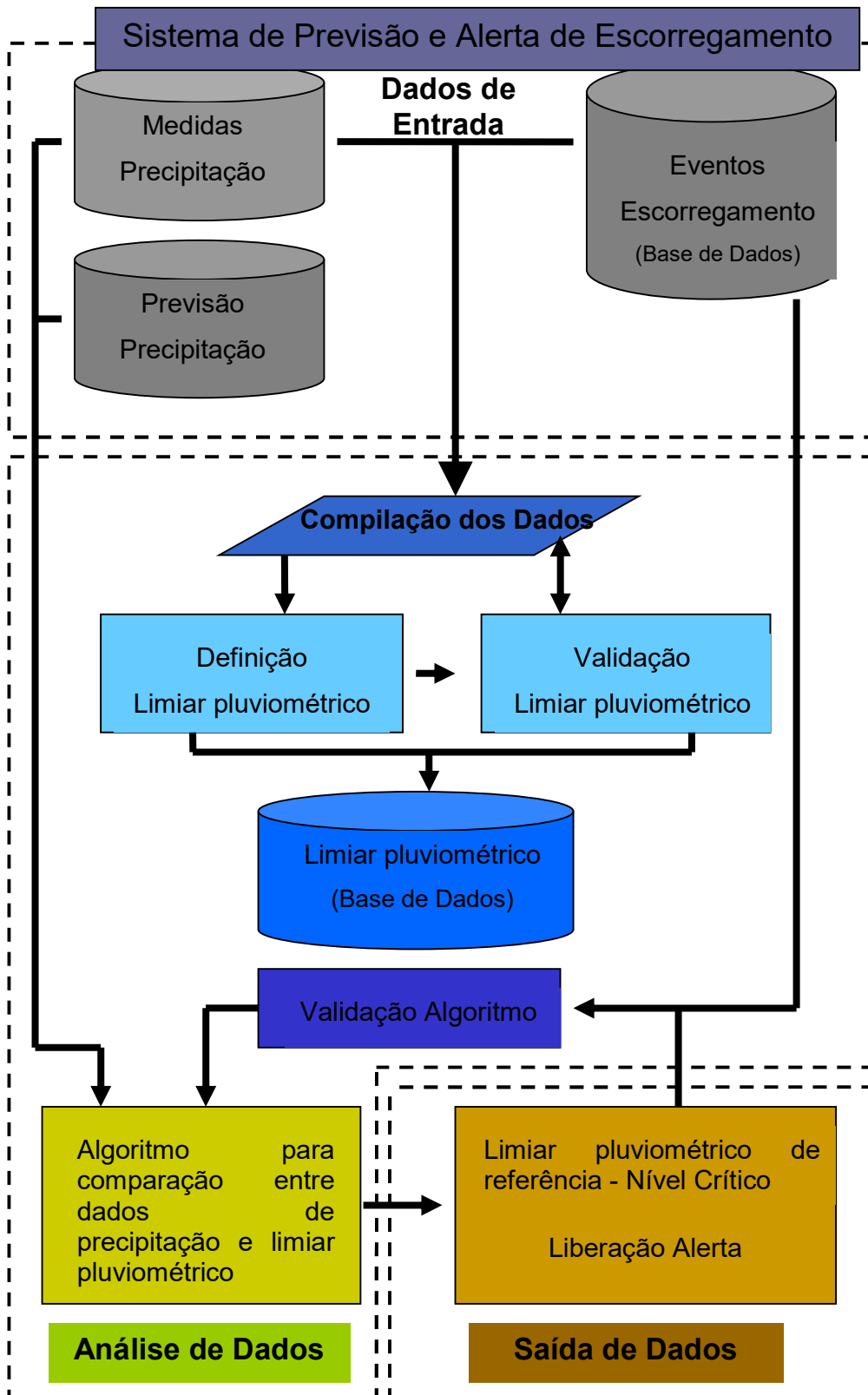


Figura 17 – Fluxograma do sistema de alerta italiano (a) precipitação e entrada para armazenamento de dados, (b) processamento e análise de dados, e (c) produção e entrega das previsões. (Rossi et al 2012)

1.2.4.2 O sistema de Alerta em Hong Kong

O sistema de alerta de Hong Kong está baseado nos registros de chuvas dos postos pluviográficos. Esses equipamentos registram a intensidade das chuvas, continuamente, através de um mecanismo capaz de traçar a curva representativa da evolução da chuva com o tempo.

O sinal de alerta é emitido 4 horas antes do evento significativo (entendendo-se como evento significativo aquele que desencadear mais do que dez escorregamentos em 1 dia, baseado em registros anteriores). A emissão do sinal é baseada no acumulado de chuva no período de 24 horas que antecede ao evento e na previsão das chuvas. A decisão utilizada para emissão segue critérios em dois níveis, como mostra a Tabela 11.

Tabela 11 – Níveis de decisão - sistema de alerta de Hong Kong

Nível	Descrição
Decisão (Nível D)	o alerta será emitido quando o índice pluviométrico atingir 100mm em 24 horas e o nível de deslizamento for alcançado em uma projeção de evolução de chuva inserida dentro de um período de até 4 horas;
Deslizamento (Nível L)	o alerta será emitido quando o registro de chuva atingir 175mm em 24 horas.

Tendo em vista que o sistema baseia-se nos registros extraídos de pluviógrafos, a decisão de se emitir um alerta ocorre quando uma ou outra das seguintes condições ocorrer:

- Dez ou mais pluviógrafos na Ilha de Hong Kong registrarem níveis chuva de iguais ou superiores a 100mm em 24 horas;
- A intensidade de chuva em qualquer pluviógrafos exceda 70mm em 1hora;

1.2.4.3 O sistema de Alerta no Japão

No Japão, em 2005, segundo DESC et al, o Ministério dos Transportes e Infraestrutura, a Agência de Meteorologia do Japão e as províncias colaboram na publicidade e divulgação das metas e das informações de alerta de desastres de deslizamentos. Com isso, visa-se criar condições para que, tanto as administrações locais, quanto a população estejam preparadas para se adequar a uma situação emergencial. É considerada, inclusive, a possibilidade do uso destes dados pela população para evacuação voluntária.

A Figura 18 mostra a organização do sistema de alerta, que segue os procedimentos abaixo:

- i) Em relação às informações, cabe às províncias a definição dos objetivos e dos demais itens de seu programa regional de prevenção de desastres. Este programa é elaborado com base no Artigo 40 da Lei Básica de Medidas contra Desastres do Japão. Quando um alarme de chuva forte é emitido, as províncias transmitem essas informações aos administradores locais. As medidas mitigadoras estão contidas no documento "Desastres de movimentos de massa previstos e medidas sugeridas", elaborado com base no Artigo 55 da Lei Básica de Medidas contra Desastres
- ii) Quando fortes chuvas e outras intempéries são esperadas, a Agência de Meteorologia do Japão repassa a advertência e o alerta de chuva forte com base no Artigo 13 da Lei de Serviços Meteorológicos (Previsão e Alarme; aplicação do Artigo 15), e ao mesmo tempo, em conjunto com dados meteorológicos baseados no Artigo 11 da mesma lei (Anúncio de Resultados de Previsões), transmite às entidades relacionadas as informações de alerta de desastres de movimentos de massa. Após o alarme, as informações são elaboradas e anunciadas definindo-se um nível de periculosidade de ocorrência de movimentos de massa. Tal nível é estabelecido em função da previsão de chuvas, emitida pela Agência de Meteorologia do Japão.

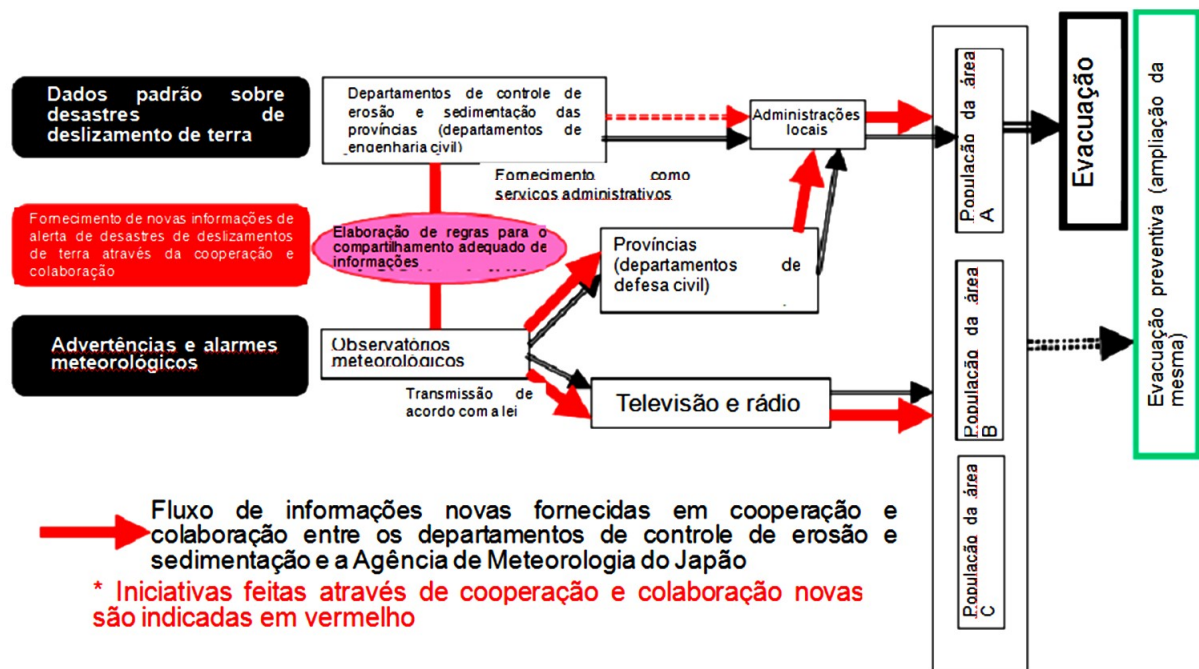


Figura 18 – Transmissão e fornecimento de informações de alerta de movimentos de massa.(DESC et al,2005)

É necessário um entendimento preciso da condição pluviométrica, a fim de se evitar a ocorrência de movimentos de massa devido a chuvas localmente concentradas. Para tal, além dos dados da Agência de Meteorologia do Japão, são aproveitadas as informações pluviométricas detalhadas dos departamentos de controle de erosão e sedimentação das províncias.

1.2.4.4 Sistema de Alerta no Município de Petrópolis

Com base nos estudos dos registros pluviométricos do Município de Petrópolis e análise dos 1131 escorregamentos ocorridos no período entre 1940 e 1980, Almeida (1993) estabeleceu limiares pluviométricos para emissão de alertas em 3 condições de estados de riscos. Os estudos tiveram como base os registros dos postos pluviométricos de Petrópolis e de Itamarati. As condições de risco para emissão de alerta, propostas por Almeida, estão resumidas na Tabela 12:

Tabela 12 - Condições de risco e emissão de alerta propostos para o Município de Petrópolis, RJ.(ALMEIDA, 1993)

Condição de Risco	Acumulada pluviométrica em 4 dias (apenas para acumuladas > 30 mm)	Consequências	Número de escorregamentos esperados
Estado 1	≥ 40 mm no posto de Petrópolis	Escorregamentos isolados a esparsos em regiões mais susceptíveis a escorregamentos	1 a 5
	≥ 30 mm no posto de Itamarati		
Estado 2	≥ 90 mm no posto de Petrópolis	Estado preparatório para evento de maior porte	6 a 30
	≥ 60 mm no posto de Itamarati		
Estado 3	≥ 150 mm no posto de Petrópolis	Risco de evento de maior porte, com possibilidade de eventos catastróficos	Acima de 30
	≥ 130 mm no posto de Itamarati		

1.2.4.5 Sistema de Sirenes do Estado do Rio de Janeiro – Cemaden RJ

O CEMADEN/RJ, Centro Estadual de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais-RJ, foi criado pela Secretaria de Estado de Defesa Civil, após o mega desastre ocorrido da região serrana do Rio de Janeiro, em 2011. Na ocasião foi identificada a necessidade da Defesa Civil de aprimorar suas ações, deixando apenas de atuar na remediação e passando a atuar significativamente na prevenção e preparação de ações mitigadoras.

O Centro surgiu da necessidade de um monitoramento mais efetivo e abrangente, de forma a atender igualmente todos os 92 (noventa e dois)

municípios do Estado do Rio de Janeiro. A condição peculiar para que um município seja monitorado pelo CEMADEN/RJ, é possuir um mapeamento das suas áreas de risco de escorregamentos, de alagamentos e enxurradas, de inundações, além da estimativa da extensão dos prováveis danos decorrentes de um desastre natural.

A metodologia do CEMADEN/RJ baseia-se na literatura nacional, como, por exemplo, o Manual de Planejamento em Defesa Civil - Volume I (Castro, 1999) onde o estudo sistematizado dos fenômenos premonitórios, relacionados com determinados desastres cíclicos, facilita a estruturação de sistemas de predição de desastres e as atividades de monitorização, alerta e alarme.

Nesse contexto os objetivos deste sistema são: direcionar e priorizar as ações preventivas, estabelecer os níveis de atuação em planos preventivos, delimitar com maior precisão as áreas de risco geotécnico, ou seja, um mapeamento das regiões para instalação do sistema de alerta, evitar as perdas humanas, alertar a população em caso de risco iminente e operar nos meses de estação chuvosa (Pedrosa 1994).

Preliminarmente para o entendimento do sistema de sirenes gerenciado pelo CEMADEN/RJ é necessário fixar algumas definições extraídas do glossário de Defesa Civil de 2008, citado por Martins Vaz (2014), na elaboração do mapa de desastres naturais do Estado do Rio de Janeiro, como mostra a Tabela 13.

Tabela 13 – Definições de risco da Defesa Civil (2008)

Nível	Descrição
Risco imediato de desastre	prenúncio ou indício de um evento desastroso
Evento Adverso	provocador de desastre, quando ainda em potencial
Estimativa de ocorrência	é a magnitude de um evento desastroso, expressa em termos de probabilidade estatística de concretização do evento (ou acidente e da provável magnitude de sua manifestação)

A equipe do CEMADEN/RJ informou que o sistema de sirenes é baseado no monitoramento (automático ou semi automático) dos índices pluviométricos de 85 (oitenta e cinco) estações telepluviométricas, distribuídas no estado da seguinte forma: 8 (oito) em Bom Jardim, 18 (dezoito) em Petrópolis, 24 (vinte e quatro) em Teresópolis e 35 (trinta e cinco) em Nova Friburgo. Os registros pluviométricos dessas estações são enviados para a estação central do sistema, a cada 15 minutos, via rádio, internet ou outra forma de envio dos dados, possibilitando análises do acumulado de chuva em mm/15 minutos.

A decisão para acionar as sirenes é tomada com base nos estágios de alerta dos boletins estaduais de defesa civil e nos índices pluviométricos críticos, obtidos a partir de dados históricos de escorregamentos, ocorridos em cada uma das macrobacias hidrográficas que comportam os municípios supracitados.

Os boletins são confeccionados pela equipe técnica do CEMADEN/RJ de acordo com o monitoramento meteorológico, acompanhamento hidrológico e geológico, em caráter permanente, bem como o monitoramento situacional de quaisquer incidentes ou desastres, de origem natural ou tecnológica, não relacionados a área nuclear ou radiológica, que ocorram no território do Estado do Rio de Janeiro, para as próximas 24 horas, confrontando esses dados com o mapeamento das áreas de risco de deslizamento em encostas dos municípios monitorados.

1.2.4.6 Sistema de alerta na Cidade do Rio de Janeiro – Prefeitura do Rio

O Sistema Alerta-Rio, da Prefeitura do Município do Rio de Janeiro, foi criado em 1996. O sistema baseia-se no monitoramento automático dos índices pluviométricos de 33 estações telepluviométricas, distribuídas no município como mostra a Figura 19.



Figura 19 – Localização das estações Telepluviométricas.(Sistema Alerta Rio/
Google Earth, 2014)

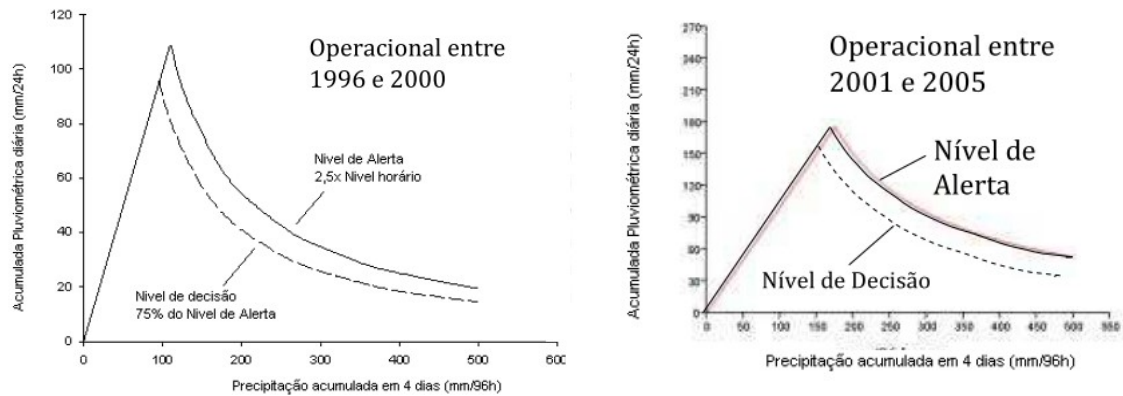
Os registros pluviométricos são enviados para a “estação central do sistema” via rádio, em intervalos regulares de 15 minutos, possibilitando análises de intensidades de até mm/15 minutos.

Com os dados das estações a equipe de geólogos e engenheiros da Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro, lideradas por D’Orsi, estabeleceu critérios de chuvas horárias para a emissão dos “Boletins de Alerta de Escorregamento”. Para a confecção desses critérios foram utilizadas:

- i) Envoltória de escorregamentos, adaptada às condições do Município do Rio de Janeiro, e;
- ii) Proposta de limiares pluviométricos para a Serra de Cubatão-SP, apresentadas no trabalho de Tatizana et al. (1987).

No período de 1996 à 2005 a decisão de emitir o sinal era tomada em função dos níveis de atenção e de alerta da envoltória de escorregamentos, como mostram as curvas da Figura 20. No primeiro momento quando a intensidade horária ou a acumulada em 24h atingisse, em pelo menos 3 estações pluviométricas de uma das quatro macro bacias hidrográficas, 75% do valor da envoltória, a equipe responsável pelo Sistema Alerta Rio se reunia para decidir se o Boletim de Alerta seria ou não emitido. No segundo momento, se uma das duas envoltórias fosse atingida em pelo

menos 3 estações de uma mesma macrobacia hidrográfica, então o Boletim de Alerta seria imediatamente emitido. A Tabela 14 resume os critérios de decisão.



(a) 1996-2000

(b) 2001 - 2005



(c) 1996 - 2005

Figura 20 – Níveis de decisão e de alerta até o mês de maio de 2005- Sistema Alerta Rio (D'ORSI, 2011)

Tabela 14 - Critérios pluviométricos de acionamento do sistema de Alerta Rio, no período 1996-2005.

Critério	Nível de decisão
Em um mínimo de 3 estações na mesma macro bacia hidrográfica: a intensidade (mm/24h) =75% do valor da envoltória	Acionamento do alerta a ser decidido
Em um mínimo de 3 estações na mesma macro bacia hidrográfica: A intensidade (mm/24h) = envoltória de alerta e/ou =75% do valor da envoltória	Alerta imediato

Ao longo dos anos, com a ampliação do banco de dados, a equipe da Fundação Geo-Rio foi alterando os limites operacionais para o estabelecimento dos níveis de alerta. Entretanto, os critérios de decisão foram sempre baseados nas chuvas acumuladas diárias (mm/24h) e horárias (mm/h), ambas em relação às acumuladas em 96 horas (4 dias), como observado na Figura 20.

A partir de 2005, com a adição ao Sistema Alerta Rio, de uma nova rede de pluviômetros automáticos, distribuídos pela cidade do Rio de Janeiro, os novos registros de escorregamentos puderam ser analisados, com a vantagem de se contar com registros de índices pluviométricos mais precisos face à proximidade entre a ocorrência e o posto pluviométrico.

Com o detalhamento dos laudos de ocorrência de escorregamentos e o fácil acesso aos registros pluviométricos digitalizados, permitiu-se à equipe do Sistema Alerta Rio aferir e ajustar as envoltórias propostas no início da operação do Sistema em 1996.

A Tabela 15 apresenta os critérios pluviométricos operacionais atuais utilizados pelo Sistema Alerta Rio, para definição dos níveis risco (probabilidade e ocorrência de escorregamentos) no Município do Rio de Janeiro. Caso uma das condições pluviométricas definidas na Tabela 15 seja satisfeita, então obtêm-se a probabilidade de ocorrência de escorregamento.

Tabela 15 - Critérios pluviométricos operacionais em 2015 (Alerta Rio, 2015).

Intensidade/acumuladas pluviométricas	Probabilidade de ocorrência de escorregamento		
	MÉDIA	ALTA	MUITO ALTA
mm/h	10 a 30 mm	30 a 50 mm	> 50 mm
mm/24h	50 a 100 mm	100 a 175 mm	> 175 mm
mm/96h	100 a 175 mm e 10 a 30 mm/24h	175 a 250 mm e 30 a 50 mm/24h	> 250mm e > 100 mm/24h

Cabe ressaltar que o Sistema Alerta-Rio disponibiliza à comunidade o acesso a seu banco de dados contendo dados de chuva desde o ano de 1997 e relatórios anuais de chuva, compreendendo o período de 2001 até 2014.

2 Área de Estudo: Comunidade Formiga – Maciço da Tijuca

No Município do Rio de Janeiro, inúmeros bairros e comunidades se desenvolveram no entorno do Maciço da Tijuca. Como mostra a Figura 21, este maciço localiza-se numa região central da cidade e é circundado pelos bairros da Barra da Tijuca, Jacarepaguá, Madureira, Engenho novo, Grajaú, Tijuca, Catumbi Laranjeiras, Jardim Botânico e São Conrado.

O Maciço da Tijuca, possui uma área de 118,7 km², marcada por um relevo montanhoso, que pode ser subdividido em cinco grandes sub-sistemas hidrográficos (Figura 21) e é caracterizado por um clima definido como tropical de altitude. Até 500 metros de altura o clima é tropical e, acima desta altitude, a temperatura é do tipo climático temperado. A temperatura média anual é 22°C com precipitação média anual em torno de 2.200mm. (Fernades,2006)

Sua cobertura vegetal compreende formações florestais de grande porte, densas, de áreas de clima mesotérmico, onde, dependendo da duração do período seco, algumas espécies perdem as folhas. (Lumbreras,2004)



Figura 21 – Mapa de localização do Maciço da Tijuca (Fernandes, 1998)

O presente estudo foi concentrado na vertente norte, particularmente na encosta ocupada pela Comunidade Formiga. A escolha desta área teve como motivações o fato de ter sofrido inúmeros eventos movimento de massa em 2010 e de pertencer a um grupo de comunidades pacificadas, apresentando baixa periculosidade.

A Comunidade Formiga, localizada no bairro Tijuca (Figura 22), ocupa uma área de 199,255 m² (Fonte: Página UPP – Formiga), na encosta norte do Maciço da Tijuca. A comunidade possui população estimada de 4.132 pessoas, com base no Censo 2010 do IBGE (Fonte: Instituto Pereira Passos,).

Dentre os últimos anos, o ano 2010 foi marcado por uma série de escorregamentos em diversas localidades no Município do Rio de Janeiro, em decorrência de períodos de precipitação intensa. Na Comunidade Formiga, os escorregamentos se concentraram, principalmente, no fim do mês de março e início do mês de abril.

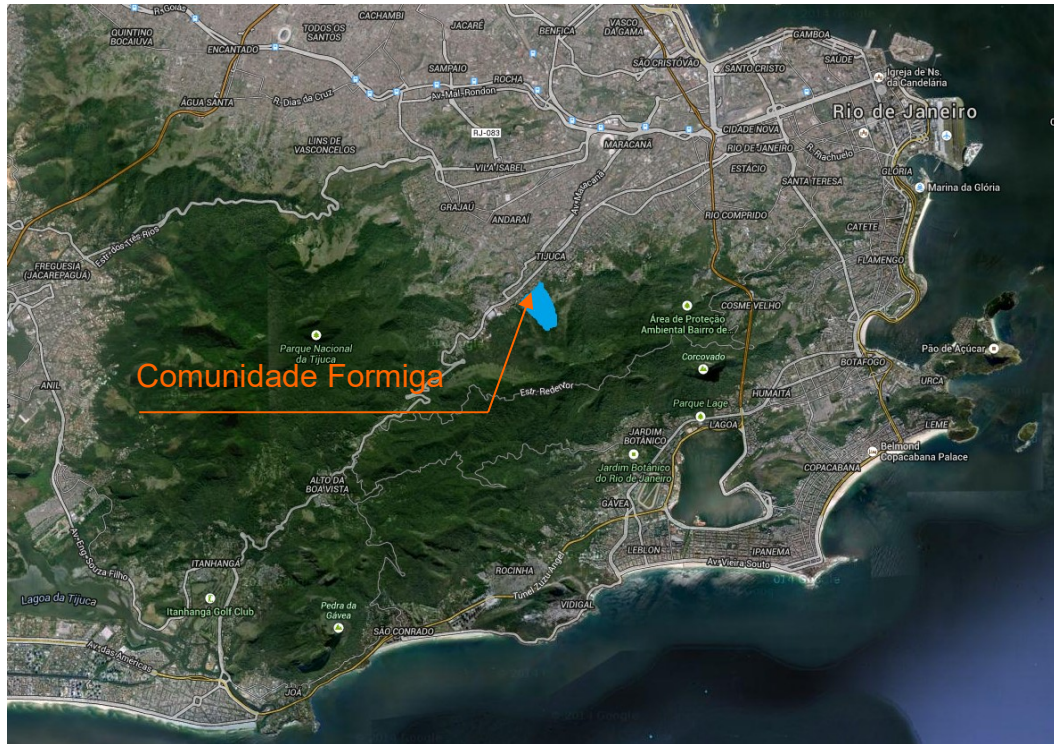


Figura 22 – Mapa de localização da Comunidade Formiga no Maciço da Tijuca.

2.1 Aspectos Geomorfológicos do Maciço da Tijuca

2.1.1 Litologia

A litologia aflorante encontrada no maciço, em sua maioria, foi gerada na colagem de placas no período Neoproterozoico/Cambriano, estando associados aos granitos, gnaisses e pegmatitos.

A massa granítica presente na área de estudo é constituída basicamente por quartzo, k-feldspato e biotita e pode ser encontrada na forma de afloramento ou em blocos e matacões, quando transportados (Figura 23). O granito, denominado de Granito Favela, apresenta granulação fina e encontra-se sobre forma de diques. (Roza, 2007)



Figura 23 – Blocos de granito transportados

O gnaissé presente na área de estudo foi formado por metamorfismo regional de alto grau. No metamorfismo regional à medida que a pressão e a temperatura aumentam distinguem-se os graus baixo, médio e alto. Dependendo da rocha de origem, pode ser chamada de paragnaisse, se for originário de rocha sedimentar, ou pode ser chamada de ortognaisse, se for produto de rocha ígnea. O gnaissé facoidal (Figura 24) encontrado na Floresta da Tijuca é assim descrito devido aos feldspatos estirados que se assemelham à lente de olho. A biotita gnaissé é classificada como paragnaisse com uma quantidade grande de biotita.

Já os pegmatitos são rochas constituídas de feldspatos, quartzos e micas. Possuem granulometria mais grossa sob a forma de veios ou outras formas mais complexas.

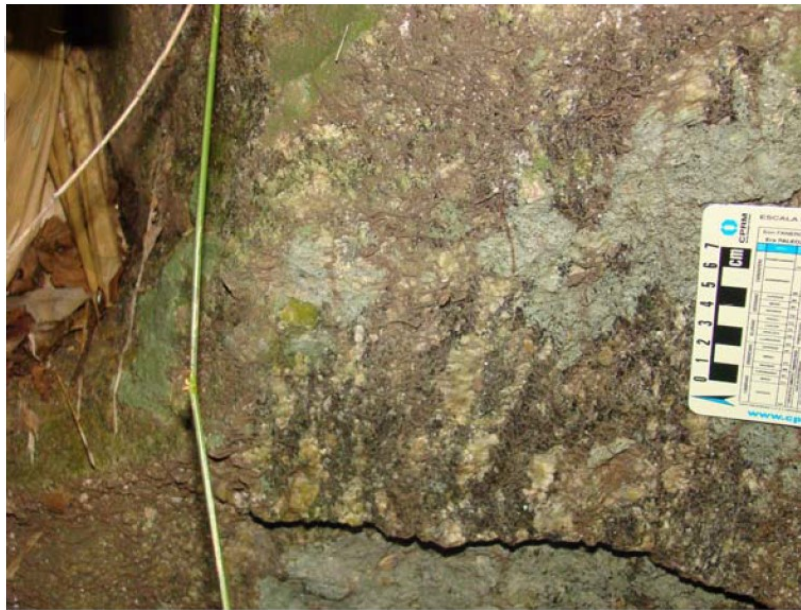


Figura 24 – Gnaiss facoidal (Roza, A. G. 2007)

2.1.2 Tipo de Solo

Os solos derivados de granitos e gnaisses apresentam-se como argilosos ou argilo-arenosos, geralmente de cor vermelha, constituído de grãos de quartzo, feldspatos, partículas micáceas, argilas caoliniticas atacadas por substancias ferricas. Os solos derivados de diabásio e basaltos dão origem praticamente a terras roxas. Estes se situam nos vales entre as montanhas. Solos originados de dioritos são de alto grau de teor de cálcio e fósforo.

Na região do maciço da Tijuca, em algumas áreas de encostas, observa-se o afloramento de rocha, exposto pela erosão. Nas áreas onde a vegetação começa a se recompor encontram-se concentrações arenosas de granulação grosseira.

2.2 Ação Antrópica

Segundo CAES - PUCRS, a partir da reforma urbana promovida pelo prefeito Pereira Passos, entre 1902 e 1906, a disposição das habitações na cidade do Rio de Janeiro sofreu transformações profundas. Um grande contingente de pessoas pertencentes a extratos sociais desprivilegiados (em boa parte ex-escravos e seus descendentes) foi removido das regiões mais nobres, que seriam totalmente reconstruídas. Como isso, essa população passou a ocupar os, até então, desabitados morros da cidade, erguendo moradias precárias e irregulares. O

processo de modernização urbanística empreendido pelo prefeito Pereira Passos foi acompanhado pelo crescimento das favelas. A demolição de habitações empobrecidas da área central da cidade e a construção de moradias populares, sobretudo na periferia da cidade, não foi suficiente para absorver toda a população que antes residia na área central. Parte dos antigos moradores do centro permanece na região, ocupando encostas de morros, provocando o crescimento acelerado das favelas, que passaram a fazer parte da paisagem carioca.

Não há consenso sobre as raízes da Comunidade Formiga. De acordo com levantamento realizado pelo ICOS, imigrantes alemães e portugueses teriam iniciado construções na região no ano de 1911. Anos depois, em 1934, o surgimento de um loteamento nas imediações teria suscitado um número considerável de novas edificações no morro. Por fim, a ocupação teria se expandido com base na presença de um grande número de operários que chegaram à região motivados pelo eventual emprego de sua mão de obra na construção das novas moradias. Ademais, visualizando no morro vastas porções de terra ainda despovoadas, tais operários teriam optado pela instalação de suas próprias famílias no local.

2.3 Chuvas e Escorregamento na cidade do Rio de Janeiro -Ano 2010

Os dados de precipitação e escorregamentos relativos à região da Tijuca, mais precisamente, Comunidade Formiga, formaram a base de dados necessária à análise da correlação de chuva com escorregamento.

2.3.1 Registros pluviométricos

O Sistema Alerta-Rio disponibiliza em seu site dados de chuva registrados na rede de pluviógrafos, desde o ano de 1997, além dos relatórios anuais, elaborados a partir de 2001. Dentre as estações telepluviométricas distribuídas pelo município do Rio de Janeiro, mostradas na Figura 19, foram selecionadas àquelas mais próximas à Comunidade Formiga, mostradas na Tabela 16. Dentre estas, compreendeu-se que a Estação 04 – Tijuca estaria mais próxima e representaria de forma mais coerente às precipitações ocorridas no ano de 2010.

Tabela 16 – Estações telepluviométricas próximas à Comunidade Formiga

Numero da estação	Local
04	Tijuca
07	Grajaú
28	Alto da Boa Vista (antiga Sumaré)

A Figura 25 compara os registros de chuva média mensal para a cidade do Rio de Janeiro em 2010 (Sistema Alerta Rio) com as médias históricas. A média histórica de 1966/1990 foi extraída do site do INMET e é correspondente a estação pluviométrica instalada no Forte de Copacabana. A média histórica de 1997/2009 foi obtida a partir dos Relatórios de Chuva e disponibilizados no site do Alerta Rio e é originada da rede de pluviômetros distribuídos na cidade do Rio de Janeiro. Observa-se que as precipitações em março e abril de 2010 atingiram picos de chuva acumulada de cerca de 350mm e superaram em mais de 100 % as médias históricas da cidade.

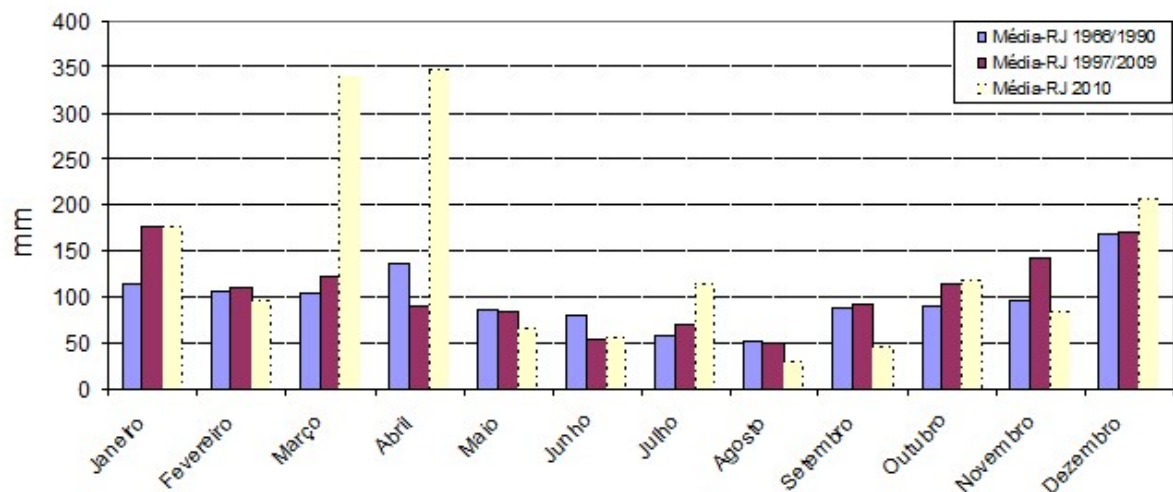


Figura 25 –Precipitação média mensal na cidade do Rio de Janeiro comparada com as chuvas de 2010

Em função dos elevados valores de chuva em março e abril e de sua concentração em determinados dias do mês, foi desenvolvido estudo de tempo de retorno. Nesse estudo foi considerado 150mm de chuva, o máximo valor registrado correspondente a um evento de chuva, cuja duração foi de oito (8) horas, ocorrido

no dia 06 de abril de 2010, data próxima ao registro da maioria das ocorrências, na estação 04 – Tijuca.

Segundo Tucci (2009), a expressão proposta por Otto Pfafstetter (1957) para a definição do tempo de retorno é dada por:

$$P = \left\{ T^{\left(\alpha + \frac{\beta}{T^{0,25}} \right)} \right\} \times \{ a \times t + b \times \log(1 + c \times t) \} \quad (2.1)$$

Onde P é a precipitação total máxima (mm); a, b e c são parâmetros do local; α e β são parâmetros que dependem da duração da precipitação; t é a duração da precipitação; T é o período de recorrência (anos); γ pouco influencia no ajuste da curva ($\gamma = 0,25$ para todos os postos);

Os parâmetros β , a, b e c são obtidos em tabela desenvolvida por Pfafstetter (1957) e são função do local. Os parâmetros relativos ao Rio de Janeiro estão mostrados na Tabela 17. Já o parâmetro α (Tabela 18) é definido de acordo com a duração da chuva.

Tabela 17 – Valores de β , a, b e c para a cidade do Rio de Janeiro (Pfafstetter 1957)

Posto	Valores de β - Duração				a	b	c
	5 minutos	15 minutos	30 minutos	1h- 6 dias			
Rio de Janeiro	-0,04	0,12	0,12	0,20	0,0	35	10

Tabela 18 – Valores de α (Pfafstetter 1957)

Duração	α	Duração	α	Duração	α
5 minutos	0,108	15 minutos	0,122	30 minutos	0,138
1h	0,156	2h	0,166	4h	0,174
8h	0,176	14h	0,174	24h	0,170
48h	0,166	3dias	0,160	4 dias	0,156
6 dias	0,152				

A equação de Pfafstetter (1957) conduziu a um tempo de retorno de 27 anos para um evento de chuva de 150 mm ocorrido no Rio de Janeiro com oito (8) horas de duração.

2.3.2 Registros de Movimentos de Massa na Cidade do Rio de Janeiro e na Comunidade Formiga.

Sempre que ocorre um evento significativo de movimento de massa na cidade do Rio de Janeiro, são acionadas a Defesa Civil do Município do Rio e a Prefeitura do Rio de Janeiro, esta representada pela Fundação Geo-Rio. Cabe à Defesa Civil realizar ações de socorro e resgate e à Fundação Geo-Rio produzir boletins de ocorrências que procuram descrever detalhadamente o movimento de massa e suas consequências, tais como destruição de moradias e perdas humanas.

Os boletins de ocorrência têm sido extremamente importantes para geração de um banco de dados com relação aos escorregamentos ocorridos na cidade do Rio de Janeiro. Entretanto há algumas ressalvas quanto à precisão das informações registradas. A descrição e a análise do evento são subjetivas, já que dependem, de certa forma, da experiência do técnico responsável pela vistoria do local. Adicionalmente, nem todos os boletins possuem a hora e data dos movimentos de massa; dados esses fundamentais no emprego dos sistemas de alerta. A Geo-Rio identificou estes pontos de fragilidade na confecção dos boletins e tem atuado em função de reduzir a falta de informações registradas para que se aumente a confiabilidade dos dados históricos.

Para o presente trabalho, os dados dos escorregamentos na Comunidade Formiga foram inicialmente definidos a partir do banco de dados da Geo-Rio. Em 2010, a Geo-Rio atendeu a vinte e sete (27) ocorrências, resumidos na Tabela 19, na qual são indicados os meses dias e horários de cada ocorrência.

Tabela 19 – Resumo dos laudos de ocorrência – Janeiro à Maio de 2010

Laudo	Data	Horário	Laudo	Data	Horário
1	15/01/2010	20 h	14	06/04/2010	21:30h
2	07/03/2010	2 h	15	06/04/2010	22:30h
3	06/04/2010	8 h	16	06/04/2010	22:30h
4	06/04/2010	8:30 h	17	06/04/2010	22:30h
5	06/04/2010	8:30h	18	06/04/2010	22:30h
6	06/04/2010	10:30h	19	06/04/2010	22h
7	06/04/2010	11:30h	20	06/04/2010	23:00h
8	06/04/2010	14h	21	06/04/2010	23:30h
9	06/04/2010	15 h	22	07/04/2010	0 h
10	06/04/2010	15 h	23	07/04/2010	1 h
11	06/04/2010	15h	24	09/05/2010	8:00h
12	06/04/2010	20h	25	09/05/2010	22 h
13	06/04/2010	21 h	26	09/05/2010	8:00h
			27	09/05/2010	9:30h

Os laudos das ocorrências, obtidos a partir da Geo-Rio, contém a localização, descrição e possível data da ocorrência. Entretanto, há indicativa, nos laudos, de incertezas quanto à hora/data do evento. Para suprir tais deficiências e confrontar algumas informações, contatou-se o Corpo de Bombeiros Militar do Rio de Janeiro- CBMERJ, o qual cedeu seus dados de chamadas de socorro relativas aos chamados telefônicos de emergência (número 193) na Comunidade Formiga, nos meses de março e abril de 2010, permitindo assim a avaliação das datas e horas informadas nos laudos.

Adicionalmente, ainda devido falta de informação a respeito da hora em que os eventos ocorreram, foi necessário contatar a associação de moradores da comunidade com a finalidade de obtenção dos horários de deflagração dos escorregamentos. A associação de moradores da Comunidade Formiga, mediante a visita à comunidade feita pelo Major Luciano Salviano, pertencente ao Corpo de Bombeiros do Estado do Rio de Janeiro - CBMERJ, entrou em contato com os moradores responsáveis pelos chamados feitos à Fundação Geo-Rio para que os mesmos dessem parecer a respeito dos horários dos eventos de escorregamento que afetaram suas residências e proximidades.

A importância de obtenção destes horários dá-se ao fato de se buscar a correlação das chuvas com maior certeza com relação ao momento de deflagração

dos movimentos de massa. De posse do horário exato ou ao menos aproximado do evento, é possível que se contabilize as chuvas horárias e acumuladas que estão ligadas diretamente à deflagração dos eventos de escorregamento.

3 Correlação Chuvas vs Escorregamentos - Comunidade Formiga

A partir dos históricos de chuva e escorregamentos ocorridos na Comunidade Formiga no ano de 2010 foi necessária à tomada de diretrizes que resultassem em um melhor aproveitamento dos dados para que fosse possível desenvolver as correlações entre as chuvas e os escorregamentos.

Objetivando adotar a mesma abordagem da Geo-Rio e também de D'orsi (2011), que estabelecem um limiar pluviométrico a partir do qual ocorre a expectativa de escorregamentos, fez-se necessário estabelecer algumas premissas.

3.1 Movimentos de massa

3.1.1 Tipologia

No que tange à classificação das ocorrências por tipologias, adotou-se neste trabalho a mesma nomenclatura da Fundação Geo-Rio. Como mostra a Tabela 20, o sistema de classificação subdivide as ocorrências em função da natureza do talude (corte ou aterro), tipo de material (solo, rocha, lixo), tipo de movimento (escorregamento, queda, corrida, processos erosivos), etc.

Tabela 20 – Tipologias para a classificação das ocorrências
(Relatório GEO-RIO/GEP/GPE nº 10, 2010)

Tipologia das ocorrências		Classificação
Não se trata de ocorrências pertencentes à Geo-Rio		0
Talude de corte	Escorregamento de solo	1
	Escorregamento de solo/rocha	2
	Escorregamento de rocha	3
Ruptura de aterro		4
Encosta natural	Escorregamento de solo	5
	Escorregamento de solo/rocha	6
	Escorregamento de rocha	7
Queda/Rolamento de blocos ou lascas rochosos		8
Escorregamento de tálus		9
Ruptura de estrutura de contenção		10
Escorregamento de lixo/entulho		11
Corrida		12
Processos erosivos/ assoreamento		13
Ameaçã		-

Dependendo do número de tipologias uma mesma ocorrência pode ser classificada como Simples ou Composta. Em casos de ocorrência composta, o laudo de vistoria, presente no boletim de ocorrência, indica a tipologia predominante, a qual também contribuiu para deflagração e que, certamente, prevaleceu sobre as demais.

A partir dos registros nos boletins de ocorrência, os escorregamentos ocorridos na Comunidade Formiga, no ano de 2010, foram classificados segundo suas tipologias predominantes (Tabela 21).

Tabela 21 – Classificação das ocorrências em função das Tipologias

Laudo	Classificação da Tipologia	Descrição	Laudo	Classificação da Tipologia	Descrição
1	1	Talude de corte	14	5	Encosta natural
2	10	Ruptura de contenção	15	10	Ruptura de contenção
3	1	Talude de corte	16	1	Talude de corte
4	5	Encosta natural	17	1	Talude de corte
5	5	Encosta natural	18	12	Corrida
6	1	Talude de corte	19	1	Talude de corte
7	5	Encosta natural	20	5	Encosta natural
8	1	Talude de corte	21	5	Encosta natural
9	4	Ruptura de aterro	22	1	Talude de corte
10	1	Talude de corte	23	5	Encosta natural
11	1	Talude de corte	24	1	Talude de corte
12	5	Encosta natural	25	10	Ruptura de contenção
13	10	Ruptura de contenção	26	5	Encosta natural
			27	13	Processos erosivos

Os registros indicaram que maior parte dos movimentos de massa se deu em taludes de corte, como mostra a

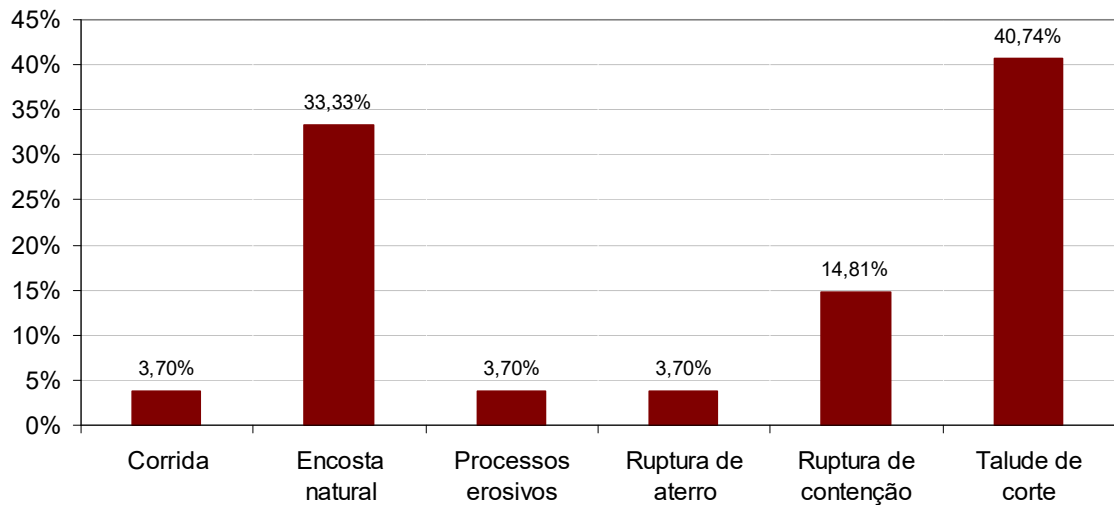


Figura 26. Entende-se que a ação antrópica, por meio de cortes e aterros para a implantação de residências e intervenções na encosta e também remoção da camada vegetal, que amplifica os processos erosivos, foi responsável por 63% das ocorrências na Comunidade Formiga em 2010, assumindo como inerente à geomorfologia os movimentos de massa classificados como corrida e encosta natural.

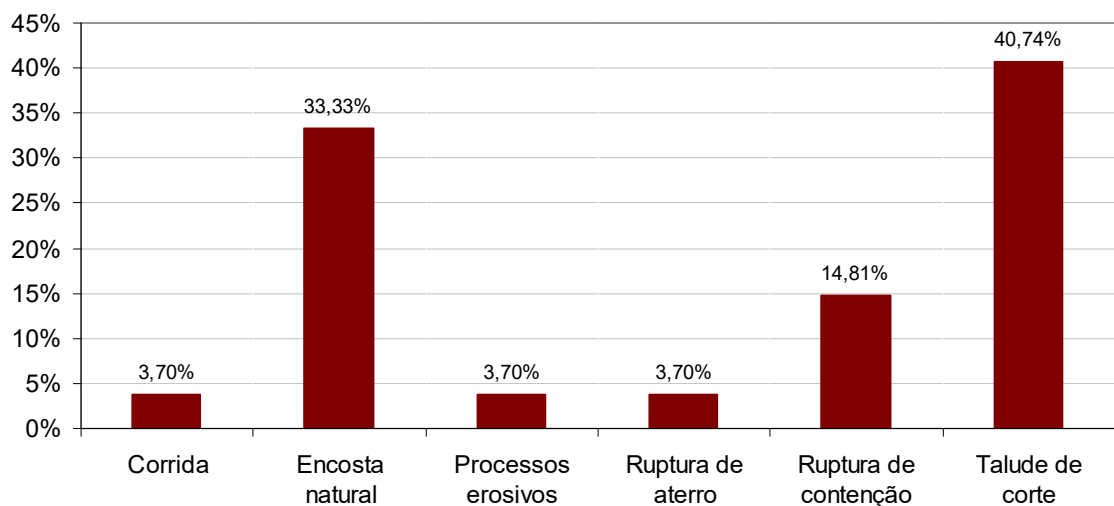


Figura 26. Ocorrências por Tipologia - (Relatório GEO-RIO/GEP/GPE nº 10, 2010)

3.1.2 Volume Mobilizado

No que tange à classificação das ocorrências segundo o volume mobilizado nos acidentes geológico-geotécnicos, mais uma vez manteve-se como referência as categorias propostas pela Fundação Geo-Rio, descritas na Tabela 22.

Tabela 22 – Categorias de Volume Mobilizado (Relatório GEO-RIO/GEP/GPE nº 10, 2010)

Volume Mobilizado (m ³) (solo, rocha, vegetação, etc.)	Categoria
1 a 10	A
11 a 100	B
101 a 1000	C
> 1000	D
Não Disponível	ND

Com base nos boletins de ocorrência de 2010, os escorregamentos ocorridos na Comunidade Formiga foram classificados segundo os volumes mobilizados, como mostra a Tabela 23.

Tabela 23 – Classificação das ocorrências em função dos Volume Mobilizado

Laudo	Volume mobilizado [m ³]	Classificação	Laudo	Volume mobilizado [m ³]	Classificação
1	4	A	14	4	A
2	15	B	15	1	A
3	50	B	16	30	B
4	300	C	17	10	A
5	50	B	18	30	B
6	3	A	19	20	B
7	20	B	20	4	A
8	5	A	21	12	B
9	40	B	22	3	A
10	3	A	23	15	B
11	6	A	24	1	A
12	500	C	25	10	A
13	3	A	26	10	A

			27	10	A
--	--	--	----	----	---

Observa-se, a partir da Figura 27 que a maior parte das ocorrências envolveu volumes relativamente baixos, inferiores a 10m^3 . Segundo observações da Geo-Rio, as perdas materiais e/ou humanas significativas estão em geral associadas a volumes superiores a 10m^3 .

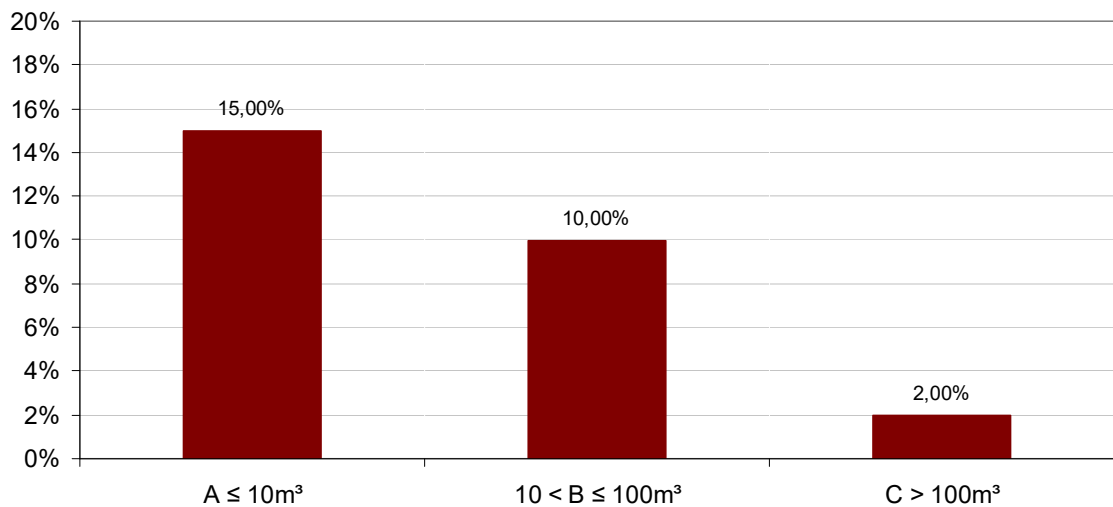


Figura 27. Ocorrências por Volume

Na Figura 28 é apresentada a relação entre tipologia e a categoria de volume mobilizado para as ocorrências da Comunidade Formiga no ano de 2010.

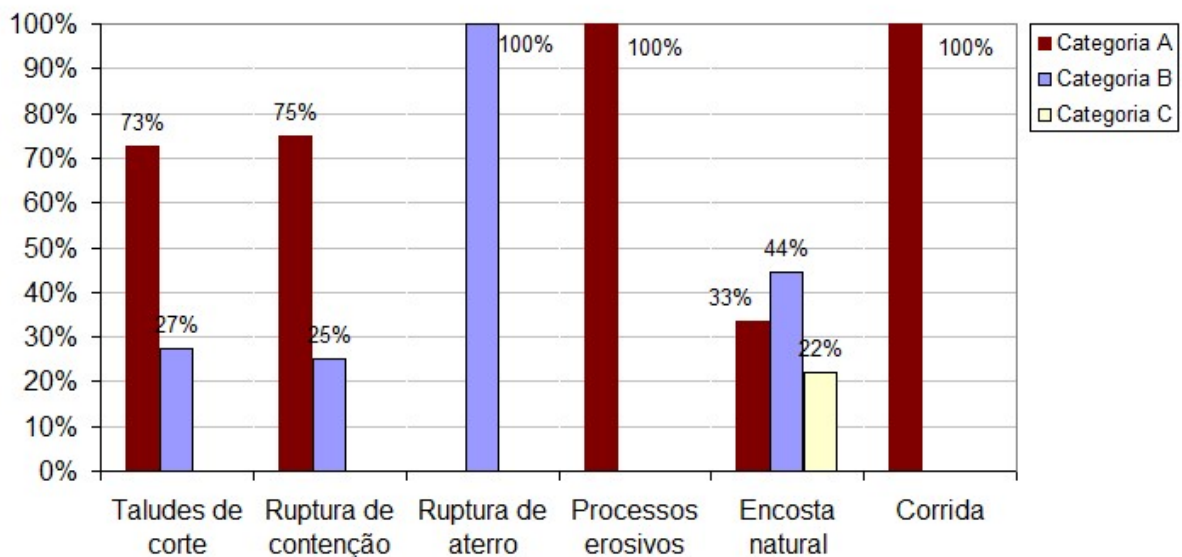


Figura 28. Relação entre tipologia e categoria de volume mobilizado

3.2 Definição de Evento Pluviométrico

A Figura 29, a título de exemplo, mostra os registros pluviométricos coletados na estação 04-Tijuca, no mês de abril. Os demais meses encontram-se no Anexo A. A partir destes dados de precipitação, foram estabelecidos as durações (início e fim) e valores acumulados de cada evento. A definição do início e fim de um determinado evento seguiu as instruções adotadas pela Fundação Geo-Rio, definidas como:

1. Início do Evento Pluviométrico: Determinado quando o acumulado pluviométrico em uma hora for maior ou igual a 1mm/h, para cada estação (Tabela 24);
2. Fim do Evento Pluviométrico: Determinado quando o acumulado pluviométrico em uma hora for inferior ou igual a 1mm/h e houver a permanência dessa condição por no mínimo 6h (seis horas), para cada estação. (Tabela 24).

Tabela 24 – Exemplo de definição de início e fim de evento

Estação 04 - Tijuca / Janeiro 2010							
Evento	Dia da ocorrência	Hora da ocorrência	Acumulada de 15 minutos	Acumulada de 01 hora	Acumulada de 04 horas	Acumulada de 24 horas	Acumulada de 96 horas
Início	14/01/2010	19:45:20	7,4	8,2	8,2	8,2	8,2
Fim	15/01/2010	06:45:20	0	0,6	15,2	75,4	75,4

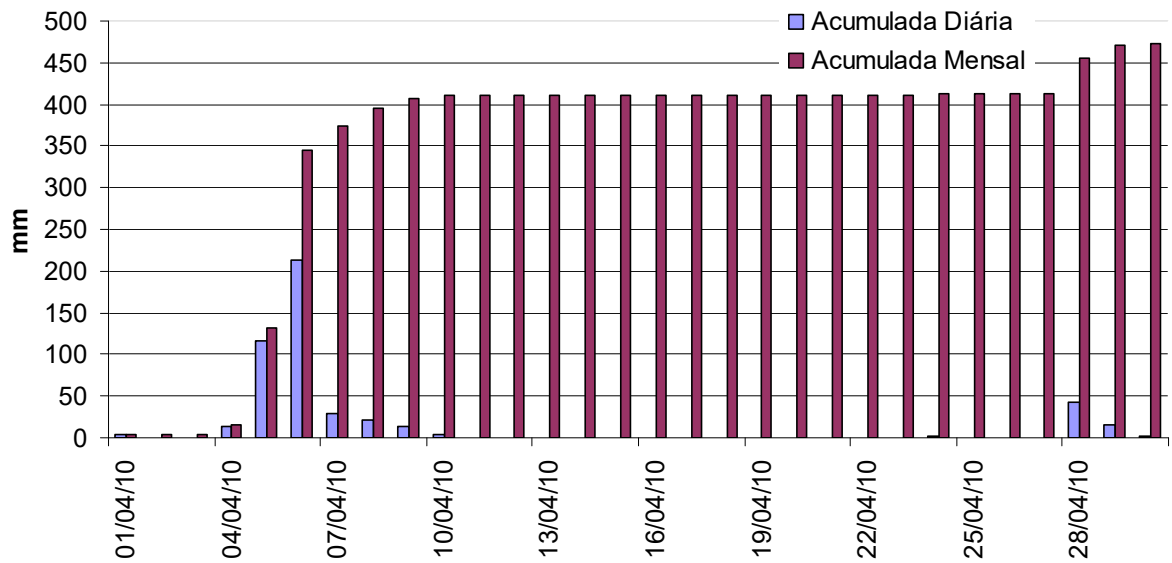


Figura 29. Pluviometria registrada para o mês de abril 2010 a cada 24 horas e acumulada mensal.

A partir da análise dos registros do sistema Alerta-Rio foi identificado um total de 56 eventos de chuva em 2010, registrados na Estação 04 – Tijuca, cuja distribuição mensal esta apresentada na Figura 30. Em fevereiro e nos meses de junho a dezembro não foram identificados ou registrados movimentos de massa. Quanto a registros de precipitação mensal, como pode ser observado, somente no mês de agosto não foi registrado evento pluviométrico na Estação 04 – Tijuca.

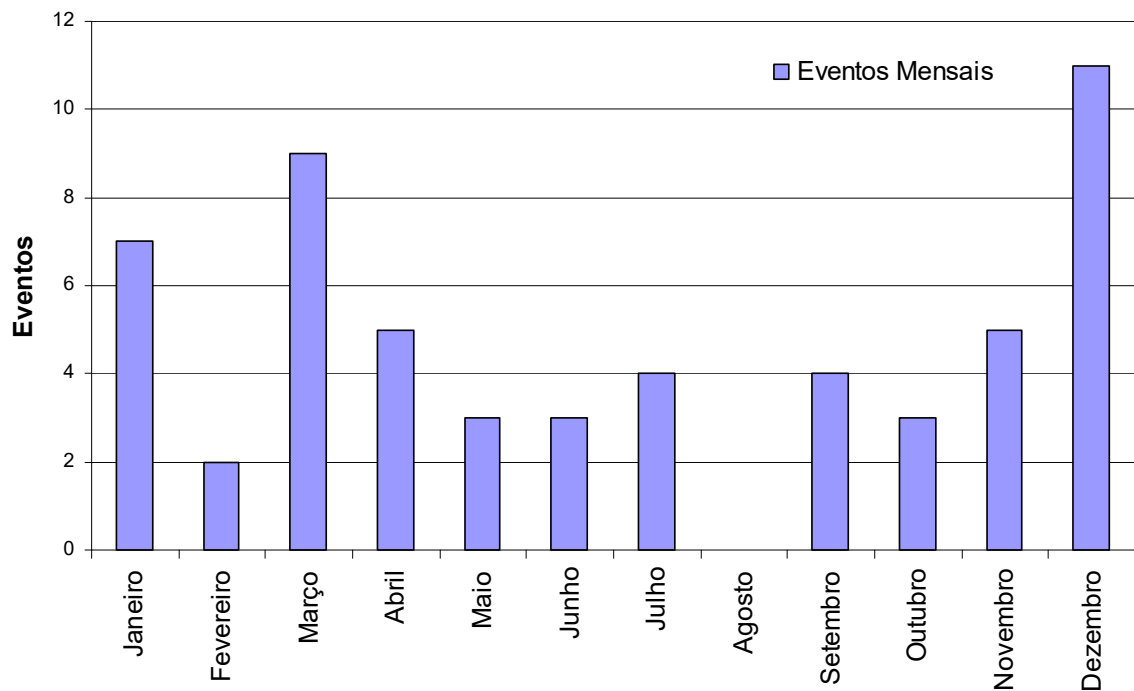


Figura 30. Número de eventos de chuva por mês em 2010.

Para fins de análise do banco de dados, fez-se necessário estabelecer o dia e a hora, dentro de um determinado evento, para serem adotados como referência para fins de cálculo das chuvas acumuladas antecedentes a este ponto temporal.

No caso de eventos pluviométricos com ocorrência, a própria ocorrência serviu como ponto de referência para cálculo das chuvas acumuladas em mm/h, mm/24h e mm/96h, como mostra a Figura 31. Assim sendo para cada ocorrência definia-se 1 ponto para fins de correlação entre intensidades de chuva (por exemplo: mm/h vs mm/24h). Foram desenvolvidos três gráficos de correlação, mm/h vs mm/24h, mm/h vs mm/96h e mm/24h vs mm/96h. A Figura 31 explicita a forma como as acumuladas de 24 h e 96h foram tomadas para confecção das correlações mm/h vs mm/24h e mm/h vs mm/96h e, também, para a confecção das correlações mm/24h vs mm/96h.

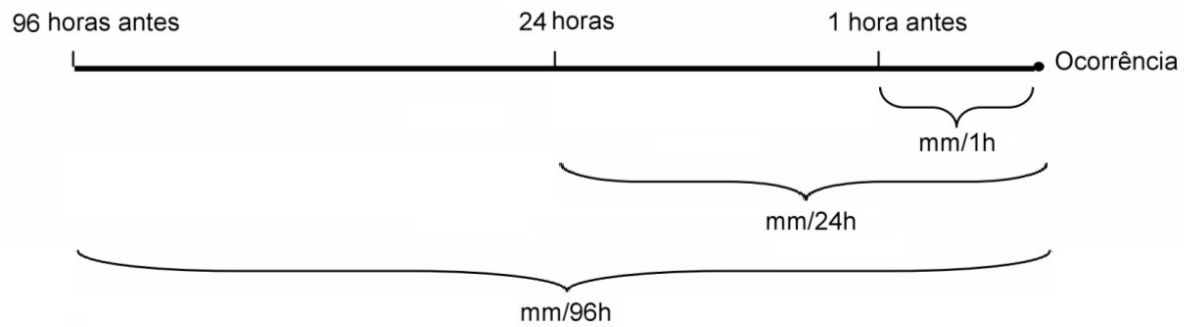
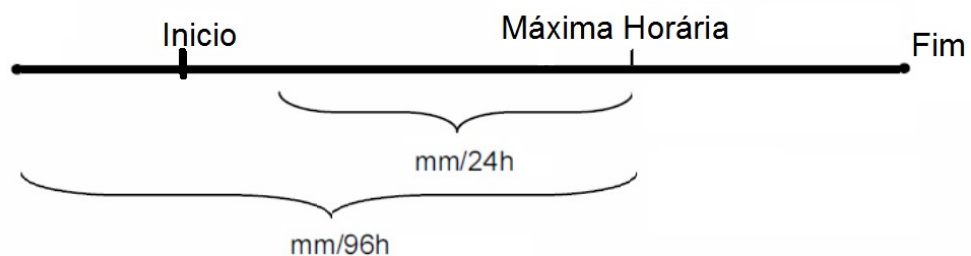


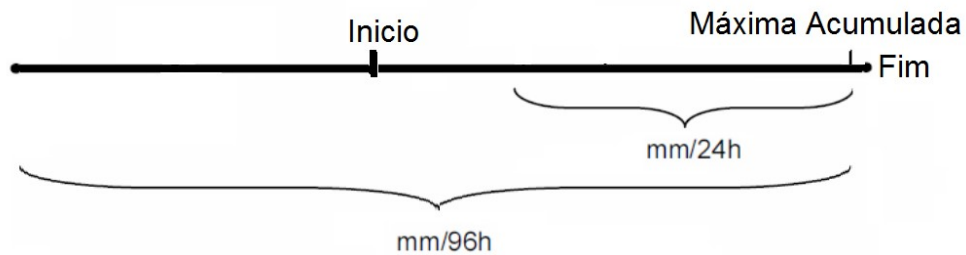
Figura 31 – Esquema da definição das acumuladas pluviométricas em eventos com ocorrência.

Cabe ressaltar que das 27 ocorrências reportadas na Tabela 19, há casos em que foram atribuídos o mesmo horário, ou seja há duas ou mais ocorrências superpostas. Com isso, os eventos pluviométricos associados às ocorrências ficaram reduzidos a 19 pontos.

No caso de eventos pluviométricos sem ocorrência, foram estabelecidos 2 pontos para serem incluídos nas correlações entre intensidades de chuva. Sendo estes pontos representados pelo maior valor de precipitação ocorrida em uma hora (máxima horária) e pelo maior valor de precipitação do evento pluviométrico (máxima acumulada). Como mostra a Figura 32, foram considerados como referência os picos de máxima horária e de máxima acumulada. O pico de máxima horária pode ocorrer em qualquer hora ao longo do evento. Já o pico de máxima acumulada coincide com o fim do evento.



(a) Ponto 1 – Pico de Máxima Horária



(b) Ponto 2 – Pico de Máxima Acumulada

Figura 32 – Esquema da definição das acumuladas pluviométricas em eventos sem ocorrência

Detalhes sobre os valores calculados de acumulados de chuva para todos os eventos, com ou sem ocorrências, estão apresentados no Anexo B. A título de informação, a Tabela 25 mostra um exemplo dos dados obtidos para o mês de Janeiro de 2010. Para cada ponto do gráfico de correlação entre intensidades de chuva estão listados os dados sobre os registros pluviométricos, incluindo as referências adotadas como ponto de máxima precipitação horária e acumulada dos eventos sem ocorrência, além dos dados relativos aos eventos com ocorrências de escorregamento. Por exemplo, em 15/01 houve um evento sem ocorrência, cujo pico de chuva horária ocorreu às 2:00 h e o pico de chuva acumulada às 6:45 h. Nesta mesma data, foi definido um outro evento e, neste houve escorregamento às 20 h.

Tabela 25 – Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de janeiro de 2010.

Evento	Pontos máximos	Dia	Hora de início	Acumulados		
				01 h	24 h	96 h
1	Horário	15/01/2010	02:00:20	35,8	58,4	58,4
	Acumulado	15/01/2010	06:45:20	0,6	75,4	75,4
2	Ocorrência	15/01/2010	20:00:20	3,8	68	85,4
3	Horário	15/01/2010	23:00:20	21	88,6	109
	Acumulado	16/01/2010	00:45:20	0,6	94,2	116,4
4	Horário	19/01/2010	19:30:20	4,6	4,6	36
	Acumulado	19/01/2010	20:15:20	0,6	4,8	36
5	Horário	22/01/2010	00:45:20	6,2	6,8	11,8
	Acumulado	22/01/2010	01:30:20	0,4	7	12
6	Horário	22/01/2010	18:15:20	57	63,6	69,2
	Acumulado	22/01/2010	21:30:20	0,8	75	80,6
7	Horário	25/01/2010	17:45:20	10,6	14	89,2
	Acumulado	25/01/2010	21:15:20	0,8	20,8	96,4

3.3 Correlação de Chuva vs escorregamento em 2010

A partir dos eventos pluviométricos ocorridos em 2010 procurou-se estudar a melhor combinação entre evento chuva e escorregamento de modo a estabelecer um limiar pluviométrico específico para a Comunidade Formiga.

Foram analisadas três alternativas: Primeira: relaciona chuva horária (mm/h) vs diária (mm/24h), Segunda: relaciona chuva horária (mm/h) vs acumulado de 4 dias (mm/96h) e Terceira relaciona chuva diária (mm/24h) vs acumulada de 4 dias (mm/96h), cujos resultados estão apresentados a seguir.

Os resultados (Figura 33 a Figura 35) mostraram não ser possível definir as 2 regiões com e sem escorregamento. Independentemente da alternativa adotada, há quatro ocorrências que se localizam na zona em que as expectativas de escorregamento seriam muito pequenas. Estas ocorrências, por se mostrarem inseridas em características distintas de acumuladas de chuva, são objeto de estudo de Sales(2016) e na conclusão deste trabalho estão inseridas as observações e conclusões desenvolvidas por Sales (2016). Em todos os casos, pode-se observar a existência de um intervalo extenso separando os pontos de ocorrência dos pontos de não ocorrência. O entendimento é que no período estudado (2010) não houve chuvas com características de acumuladas tais que as inserissem neste intervalo, logo devesse ter em mente que chuvas com estas características podem ter acontecido no passado ou irão acontecer futuramente, embora não tenham ocorrido em 2010. Sendo assim, a linha de limiar pluviométrico será posicionada próxima à nuvem de pontos sem ocorrência, admitindo-se a favor da segurança seu posicionamento antes do intervalo.

A Figura 33 mostra que, na correlação mm/h vs mm/24h, a chuva horária tem pouca influencia na deflagração das ocorrências estudadas do período de 2010. Os escorregamentos ocorrem a partir de chuvas superiores a 200mm/24h. Já no caso da correlação mm/h vs mm/96h (Figura 34) os escorregamentos estão associados a chuvas acumuladas superiores a 270mm/96h. Por fim, no caso da correlação mm/24h vs mm/96h (Figura 35), independente da chuva acumulada em 4 dias (mm/96h), há uma tendência de ocorrência de escorregamentos quando as intensidades de chuva são superiores a 105mm/24h e 270mm/96h.

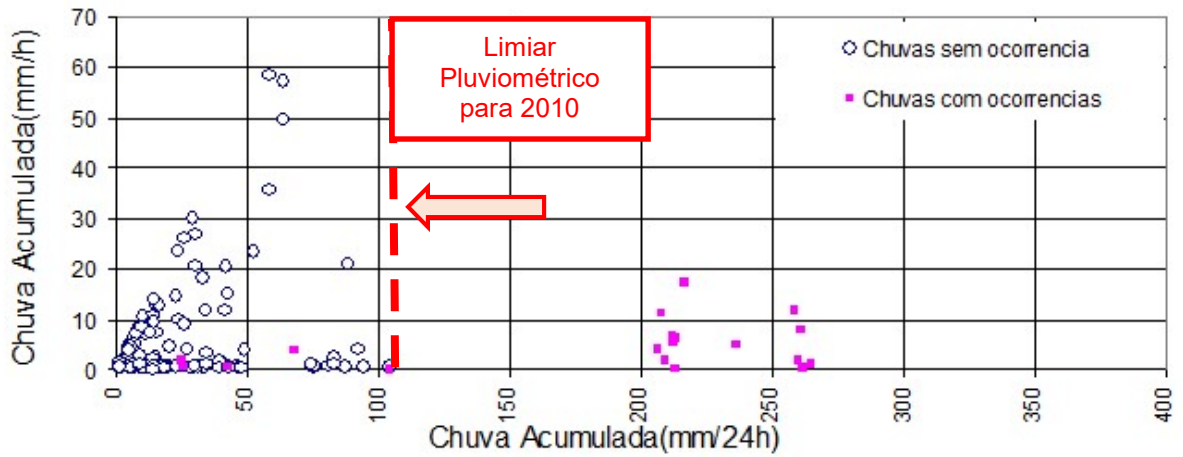


Figura 33 – Gráfico de correlação entre mm/h e mm/24h

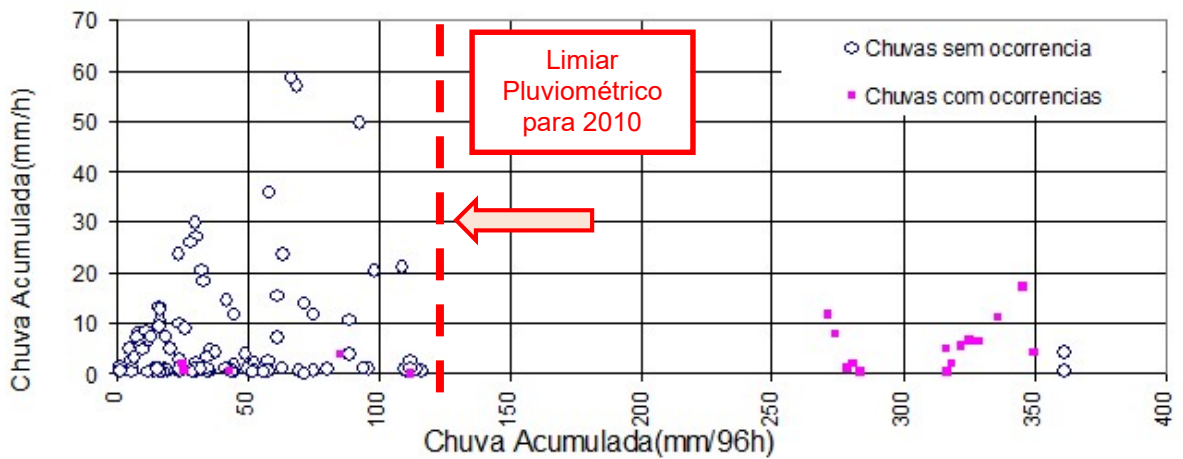


Figura 34 – Gráfico de correlação entre mm/h e mm/96h

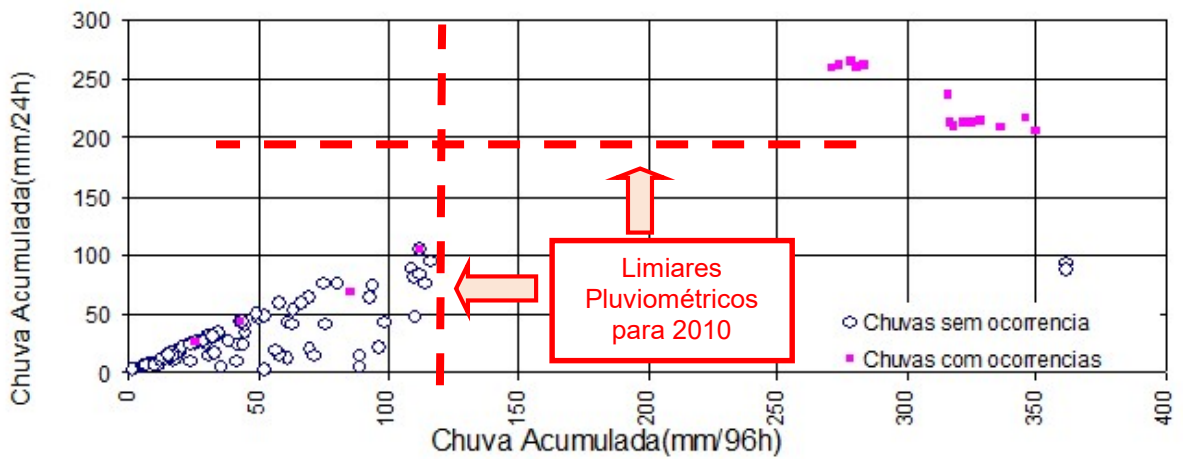


Figura 35 – Gráfico de correlação entre mm/24h e mm/96h

Por outro lado, os resultados mostram que as chuvas acumuladas de 24h e de 96h, no período estudado, foram mais significativas do que as chuvas horárias na deflagração das ocorrências registradas. Ou seja, a partir da condição prévia de saturação do solo, escorregamentos foram deflagrados para chuvas horárias inferiores a 20mm.

3.3.1 Aplicação dos modelos de correlação

Para fins de análise e comparação com modelos de correlação desenvolvidos para algumas regiões do Brasil e oriundos de estudos antecedentes, como foi apresentado item 1.2.2 deste trabalho, foram desenvolvidos gráficos a partir dos modelos e propostas de correlação de Tatizana (1987), D'Orsi (2011) e do Sistema Alerta Rio (2015). Cabe destacar que o modelo de Guidicinni e Iwasa não foi adotado devido a dificuldade de se definir as curvas que delimitam as zonas **A** a **D**, já que não foram encontradas equações que as descrevessem nos estudos e artigos de Guidicinni e Iwasa, onde os mesmos abordaram e apresentaram seu modelo de correlação.

3.3.1.1 Modelo de Tatizana et al (1987)

Em sua análise de escorregamentos na Serra do Mar, Tatizana et al (1987) observaram que as chuvas acumuladas de 4 dias representavam um perfil de distribuição dos pontos com melhor posicionamento entre os casos de chuva com e sem registro de escorregamento.

Para avaliar esta proposta, foi necessário readequar o banco de dados da Comunidade Formiga de forma a se adotar a mesma definição de evento de chuva. Sendo assim, para a plotagem dos pontos, foi considerada a maior intensidade horária pertencente a cada evento de chuva e sua respectiva acumulada de 96h, subtraindo-se desta o valor em mm da chuva horária máxima.

Os resultados, apresentados na Figura 36, indicaram que a proposta de Tatizana et al (1987) não se mostrou adequada para encosta da Comunidade Formiga. Todos os eventos encontraram-se abaixo da curva proposta independente das conseqüências de ter ou não havido escorregamento.

Cabe ratificar que a proposta de Tatizana et al (1987) foi desenvolvida para a Serra do Mar, de forma que aplicação de sua proposta com relação aos escorregamentos da Comunidade Formiga possibilitou a observação gráfica de que a deflagração de movimentos de massa ocorre de forma diferenciada para regiões distintas.

Por outro lado, verifica-se que as observações feitas por Tatizana et al (1987) de que o aumento da saturação do solo provoca diminuição da intensidade horária necessária para o desencadeamento de escorregamentos é aplicável à situação observada nos casos de estudo deste trabalho, uma vez que os escorregamentos foram desenvolvidos para chuvas horárias de aproximadamente 20mm.

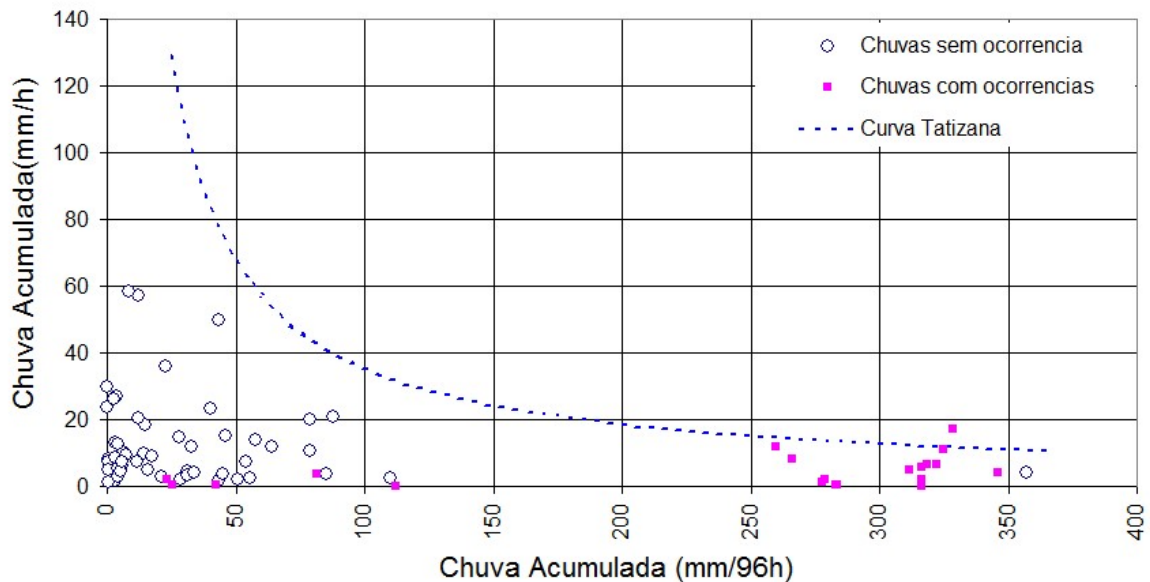


Figura 36 – Aplicação da proposta de Tatizana et al (1987) ao banco de dados de 2010 da Comunidade Formiga.

3.3.1.2 Modelo de D'Orsi (2011)

D'Orsi (2011) propôs uma relação (equação (1.3)) que define o limiar pluviométrico para o trecho da Região Serrana do Rio de Janeiro, no qual está implantada a rodovia BR-116/RJ – Rio Teresópolis.

A linha de tendência, definida por D'orsi (Figura 37), encontra-se acima da grande maioria dos pontos de escorregamento da Comunidade Formiga do ano de 2010. Partindo do princípio de que se tratam de regiões distintas, a expectativa é de que a linha de tendência não se aplique como limiar pluviométrico para a Comunidade Formiga.

Na análise da Figura 37 fica explícito o comportamento distinto de deflagração de movimentos de massa para as duas regiões comparadas. Comportamento este que corresponde à expectativa inicial. Cabe pontuar que para a Região Serrana, no período analisado por D'Orsi, havia registros de chuva horária acima de 30mm/h, para os escorregamentos analisados, enquanto que, para a Comunidade Formiga, as chuvas horárias antecedentes aos escorregamentos estiveram sempre abaixo de 20mm/h.

Logo, concluí-se ser inadequado o estabelecimento de um mesmo limiar pluviométrico para as diferentes regiões.

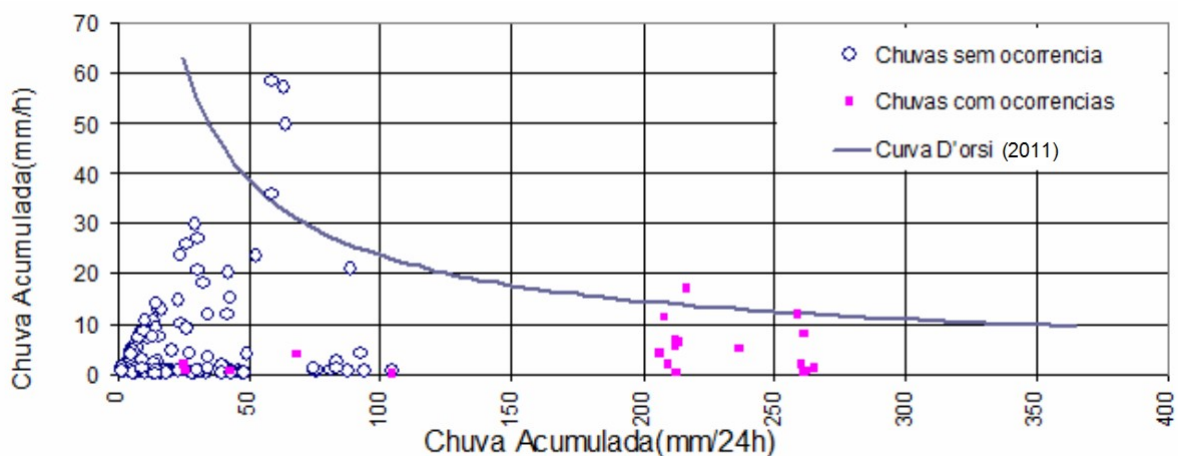


Figura 37 – Aplicação da proposta de D'Orsi (2011) ao banco de dados de 2010 da Comunidade Formiga

3.3.1.3 Sistema de alerta da Fundação Geo-Rio

Com base nos estudos feitos com escorregamentos que compõem a base de dados da Geo-Rio, a Fundação Geo-Rio estabeleceu um quadro de nível de alerta (Tabela 15) sobre expectativa de acidentes geotécnicos e/ou geológicos para a cidade do Rio de Janeiro. Graficamente, esse quadro fica representado por 3 gráficos, mostrados da Figura 38 a Figura 40.

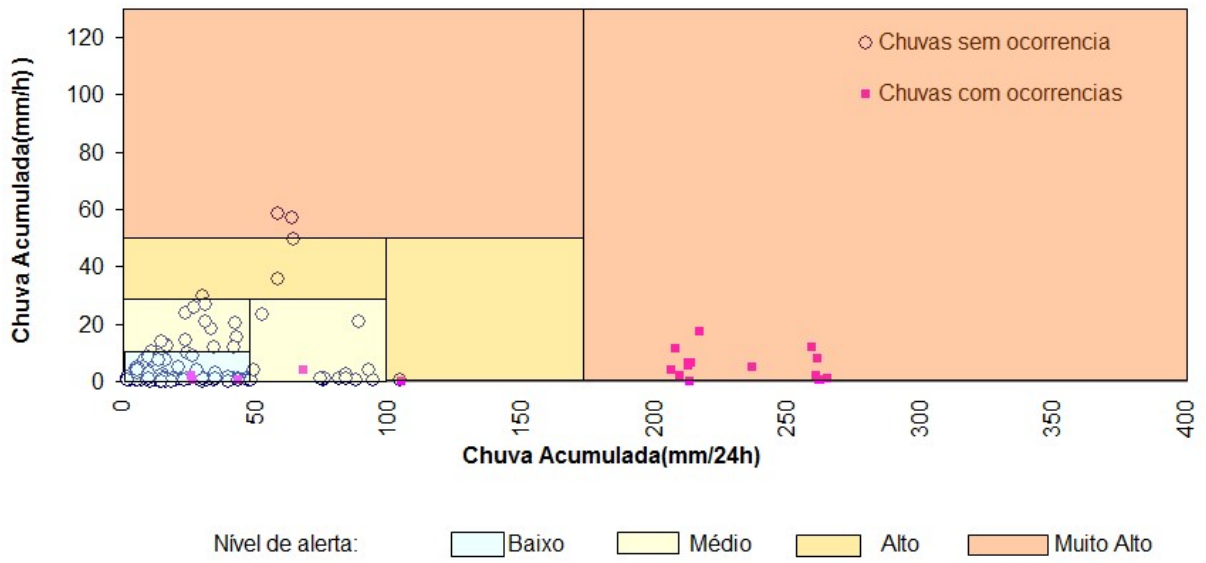


Figura 38 – Gráfico de correlação entre mm/h e mm/24h – Faixas de alerta.

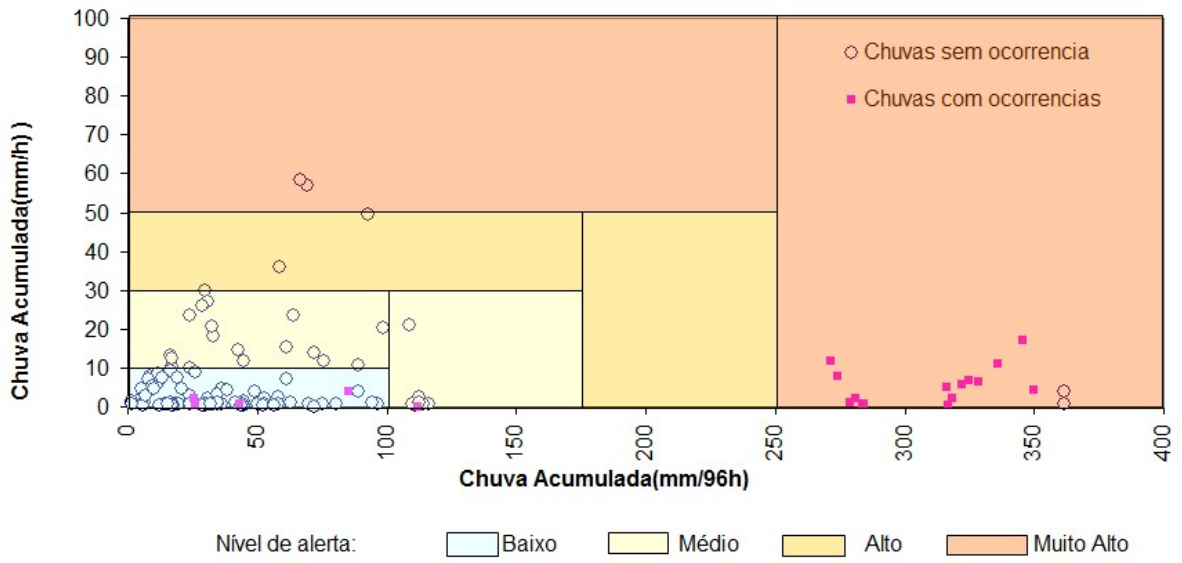


Figura 39 – Gráfico de correlação entre mm/h e mm/96h – Faixas de alerta.

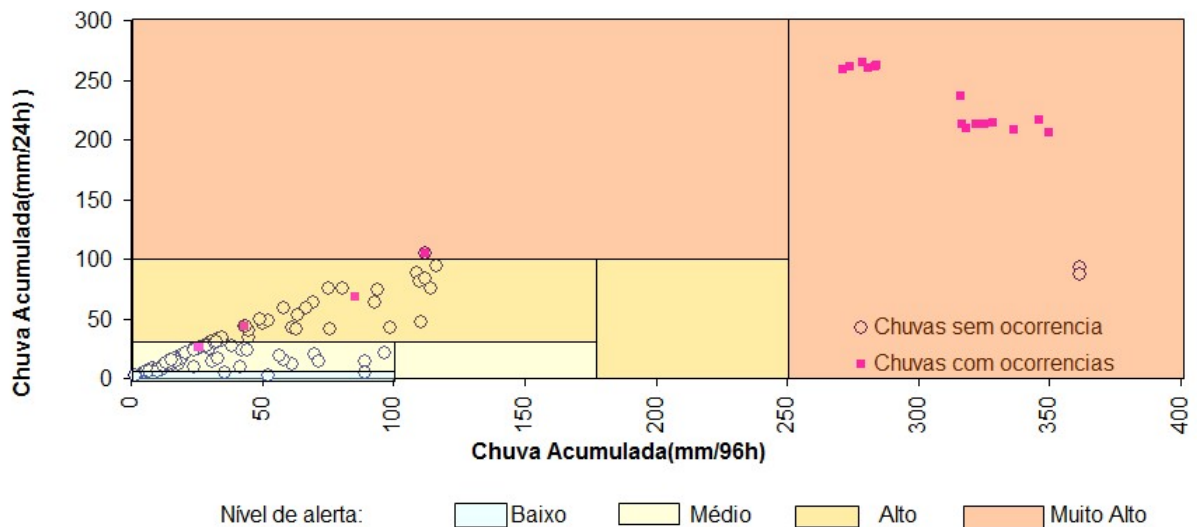


Figura 40 – Gráfico de correlação entre mm/24h e mm/96h – Faixas de alerta.

A análise comparativa, entre o quadro de nível de alertas e a correlação entre chuva e escorregamento da Comunidade Formiga, no que concerne aos pontos cheios, os quais estão destacados da nuvem de não ocorrência, verificou que todos os pontos de ocorrência de escorregamento se desenvolveram para acumulados de 1h inferiores aos parâmetros adotados pela Geo-Rio, entretanto todos os pontos estão enquadrados dentro dos parâmetros que compõem os intervalos de nível muito alto quando se adotam as acumuladas de 96h e de 24h, respectivamente.

A visualização das faixas de alerta permitiu a comparação entre os pontos de ocorrência e não ocorrência plotados graficamente e expostos na Figura 33, Figura 34 e Figura 35.

O comportamento de escorregamentos da Comunidade Formiga, para os casos estudados, quando são verificadas as posições dos pontos de ocorrência dentro das faixas de alerta, indica que:

- Para correlações mm/h versus mm/24h a maioria das ocorrências está dentro da faixa de nível muito alto de alerta, com exceção dos quatro pontos que se distribuem nos níveis alto, médio e baixo.
- Para correlações mm/h versus mm/96h a maioria das ocorrências está dentro da faixa de nível muito alto de alerta, com exceção dos quatro pontos que se distribuem nos níveis médio e baixo.

- Para correlações mm/24h versus mm/96h a maioria das ocorrências está dentro da faixa de nível muito alto de alerta, com exceção dos quatro pontos que se distribuem nos níveis muito alto, alto e médio.

Tomando como referência os níveis de alerta apresentados na Tabela 15, compreende-se que as acumuladas de 24h e de 96h se mostraram mais realistas em indicar os níveis de alerta, uma vez que foram fatores determinantes para o enquadramento das ocorrências dentro das faixas, pois as máximas horárias, definidas na Tabela 15, não indicaram risco de escorregamento.

4 Proposta de Correlação Chuva vs Escorregamento

Como mostrado no item 2.3.1 (Figura 25), independentemente da fonte de dados (Geo-Rio - 1997 a 2009 ou INMET - 1966 a 1990), a qual permite comparações, as chuvas de março e abril de 2010 são representativamente superiores à média obtida a partir das séries históricas. Paralelamente, das 27 ocorrências cadastradas pela Geo-Rio, em 2010 (Tabela 19), a maioria ocorreu no mês de abril.

A Prefeitura possui uma rede de pluviômetros distribuídos na cidade do Rio de Janeiro, a partir da qual são extraídos os dados que geram a média mensal apresentada nos Relatórios de Chuva e disponibilizados no site do Alerta Rio. É apresentado, na

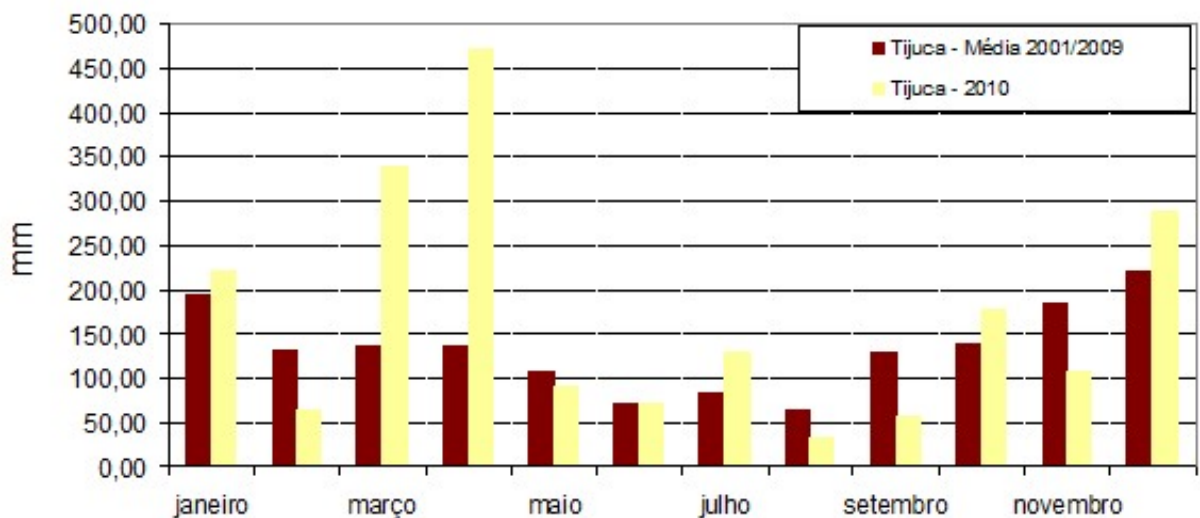


Figura 41, o gráfico com a precipitação média histórica (2001 a 2009) da estação da Tijuca e com a precipitação mensal de 2010 para análise e comparação.

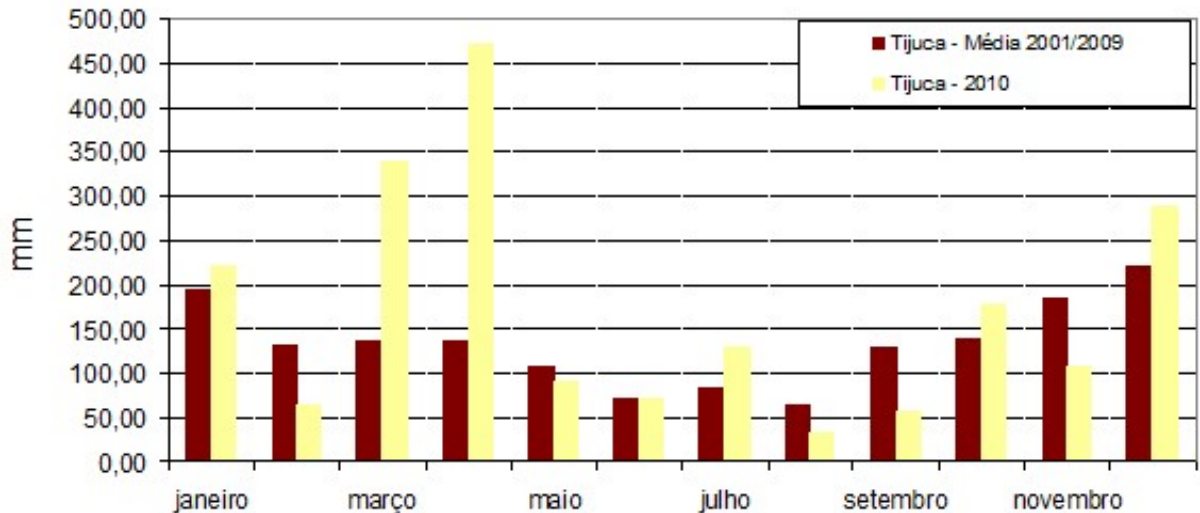


Figura 41 – Gráfico Comparativo Média Mensal Geo-Rio vs Acumulado Mensal – Estação 04 – Tijuca.

Analisando, exclusivamente, as correlações entre chuva mensal, chuva média histórica e quantitativos de ocorrência dos meses em que ocorreram movimentos de massa (Tabela 26), entendeu-se existir uma relação entre os movimentos de massa e chuva excedente à média histórica. Em outras palavras, observou-se que a chuva mensal média histórica poderia ser usada como referência e que a severidade do evento pluviométrico não estaria associada apenas ao evento de chuva em si, mas sim à quantidade de chuva precipitada em relação à média histórica, bem como ao intervalo de precipitação.

Nos casos em que a chuva mensal supera a chuva mensal histórica, definiu-se que esta diferença será considerada chuva excedente. Em março, foi observada uma quantidade representativa de chuva excedente, entretanto houve apenas um escorregamento na Comunidade Formiga, este fato é atribuído à dispersão da precipitação ao longo do mês, ou seja, mesmo que haja uma quantidade excedente mensal representativa, a mesma não resultará em escorregamento se sua precipitação não se der em intervalos concentrados, nos quais se observa a saturação do solo e aumento da poropressão, sem interrupção de chuva que permita a percolação e escoamento de água no solo e por sua vez a redução da poropressão e diminuição da altura da camada de saturação.

Tabela 26 – Valores de históricos de pluviometria vs registros de ocorrências na Comunidade Formiga no ano de 2010

Laudo	Nº de Eventos	Média Mensal Estação Tijuca - Geo-Rio	Acumulado mensal	Acumulado mensal/média a Geo-Rio (%)
Janeiro	1	193,6	220,2	1,14
Marco	1	136,6	338,6	2,48
Abril	21	136,9	472	3,45
Maiο	4	107,9	89,8	0,83

Os eventos ocorridos em maio se desenvolveram para acumuladas de 24h e 96h muito pequenas, desta forma foram estudadas as circunstâncias em que se desenvolveram os escorregamentos. As informações coletadas na comunidade indicaram que o escorregamento ocorreu durante uma execução de corte de talude para a implantação de residência, o que nos leva a identificar como fator desencadeador preponderante destes escorregamentos a ação antrópica na encosta.

As conclusões aqui apresentadas levaram ao desenvolvimento de uma nova proposta de correlação que contemplasse não só os valores médios históricos, mas também alguma informação sobre a distribuição temporal da chuva. Os conceitos principais são:

- i) **Fator Distribuição:** Relação entre as chuvas acumuladas de 24h e de 96h anteriores ao instante analisado.

O uso desta relação, em substituição à magnitude de chuva acumulada em determinado período (mm/h, mm/24h ou mm/96h), permite que se tenha uma informação indireta da distribuição da chuva. Se, por exemplo, esta relação é próxima de 1, tem-se que a maior intensidade foi concentrada nas 24h antecedentes. Por outro lado, quando próximo

de zero, significa que não houve evento pluviométrico nas 24h que antecederam o instante analisado.

- ii) **Fator severidade:** Relação entre a chuva acumulada nas 96h anteriores ao instante analisado e a média histórica mensal. O uso desta relação indica a severidade do fenômeno de chuva. No site do Sistema Alerta Rio são encontradas as chuvas acumuladas mensais para cada estação pluviométrica desde o ano de 1997. Cabe ressaltar que, a cada ano, a média histórica vai sendo corrigida com a ampliação do banco de dados.

4.1 Aplicação da proposta

Para avaliar esta nova abordagem, optou-se por ampliar o estudo para que, além da estação 04 (Tijuca), fossem incluídas as estações pluviométricas localizadas em outras vertentes do maciço da Tijuca, e também a estação da Ilha do governador. De fato, se comparados à média histórica dos 13 anos anteriores a 2010, os excessos de chuva deflagraram inúmeras ocorrências tanto nas encostas do maciço da Tijuca como para outras regiões, como Ilha do Governador. Adicionalmente, o banco de dados foi ampliado incluindo os anos de 2011 e 2012.

Com base no banco da Geo-Rio foram levantadas as informações relativas a registros de ocorrência e pluviometria nos anos de 2010, 2011 e 2012 (Geo-Rio). Em função da concentração de ocorrências de 2010, foram selecionadas seis estações pluviométricas, próximas às regiões onde foram registrados os maiores números de movimentos de massa. Estas estações são:

1. Tijuca
2. Grajaú
3. Jacarepaguá
4. Madureira
5. Piedade
6. Ilha do Governador

Os registros das chuvas acumuladas mensais para as seis estações adotadas foram coletados e originaram as chuvas médias para cada ano, para cada estação correspondente a região de estudo. Para o ano de 2010, a média histórica de chuva mensal considerou os registros do período de 1997 a 2009. Já para 2011, a média histórica foi corrigida de forma a incluir os registros de 2010. O mesmo processo foi adotado para os eventos de 2012.

A definição do início e fim de um determinado evento seguiu as mesmas instruções adotadas pela Fundação Geo-Rio (item 3.2); isto é, o início do evento é caracterizado quando o acumulado pluviométrico atingir 1mm/h e o fim caracterizado quando o acumulado pluviométrico for inferior a 1mm/h e houver a permanência dessa condição por no mínimo 6h (seis horas).

No caso de eventos pluviométricos com ocorrência, o instante analisado refere-se à data e hora do escorregamento. Nesta análise, foram adotadas somente as ocorrências classificadas pela Geo-Rio como de Confiabilidade 1, ou seja, onde são conhecidas e registradas as datas e horas das ocorrências. Para os eventos sem ocorrência, foram estabelecidos 2 pontos associados aos picos de máxima horária e de máxima acumulada, mostrados na Figura 32 (Item 3.2).

A Figura 42 mostra o resultado desta nova abordagem de correlação para a estação pluviométrica da Tijuca. A partir dos pontos com ocorrência é possível estabelecer manualmente um limiar acima do qual concentram-se os pontos com ocorrência. Existem pontos de exceção na região crítica e na região segura, os quais são indicados por setas. Cabe observar que, na abordagem tradicional, relacionando mm/24h e mm/96h, 4 ocorrências ficaram abaixo do limiar pluviométrico (Figura 35) e não se ajustaram a nenhuma das propostas de correlação.

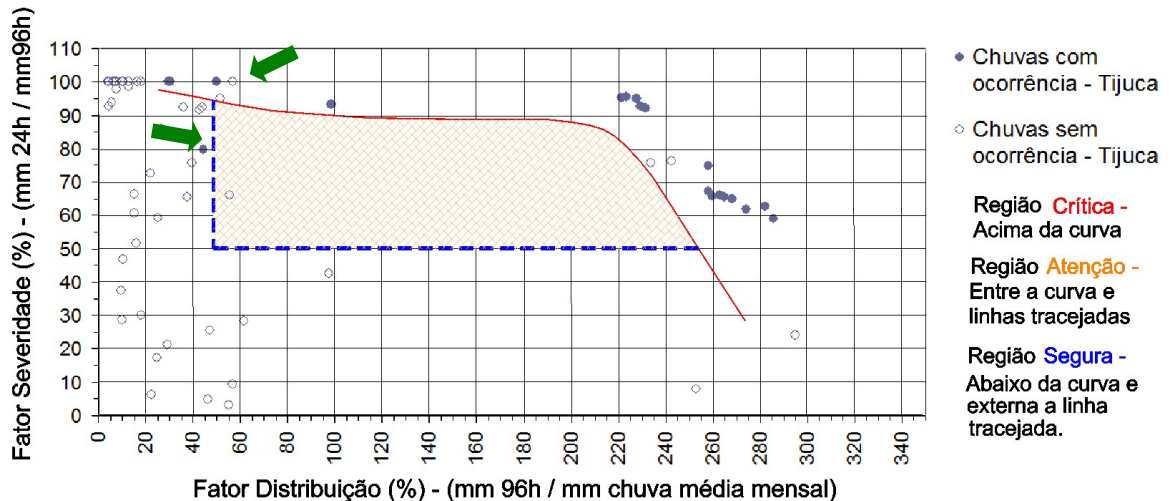


Figura 42 – Correlação chuva vs escorregamento período de 2010 a 2012 Estação Tijuca

O estudo das correlações chuva vs escorregamento nas 6 estações pluviométricas (Figura 43 à Figura 47) indicou que a maioria das ocorrências se deu em função de uma elevada concentração da precipitação de 24h bem como para precipitação de 96 h que superou, no mínimo, 50% da expectativa de chuva mensal.

A partir da análise conjunta de todos os resultados das 6 estações pluviométricas (Figura 38 a Figura 47) observou-se a possibilidade de se definir 3 regiões indicativas de possibilidade ou não de ocorrência de escorregamentos:

1. Região 1: Crítica, acima da curva traçada manualmente e estabelecida como limiar pluviométrico, onde ocorre elevada concentração de ocorrências;
2. Região 2: Atenção, estabelecida entre a curva e as linhas tracejadas, onde podem ser ou não observadas chuvas com ocorrências;
3. Região 3: Segura, abaixo da curva estabelecida como limiar pluviométrico e externo à região 2, onde as ocorrências praticamente inexistem;

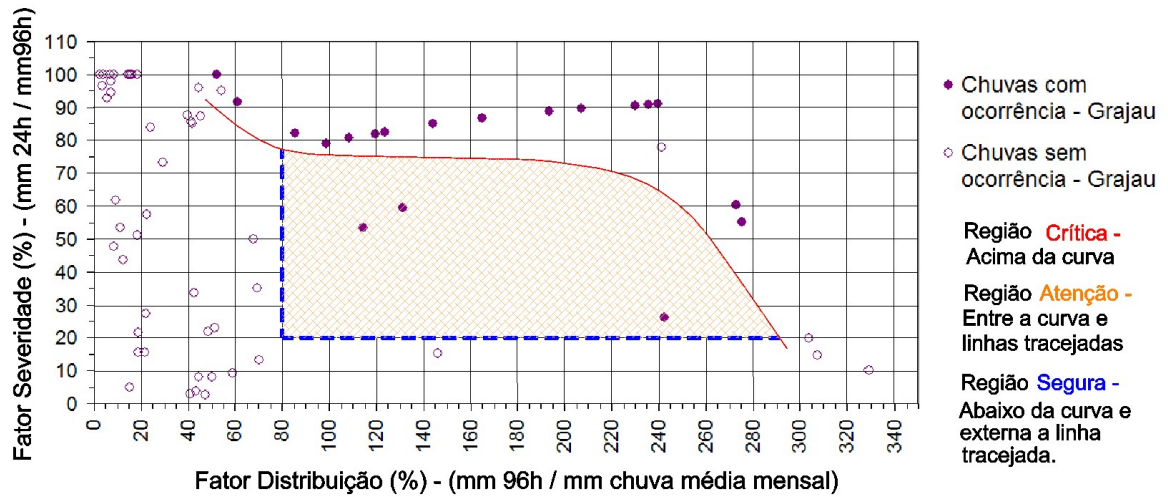


Figura 43 – Correlação chuva vs escorregamento período de 2010 a 2012 Estação Grajaú.

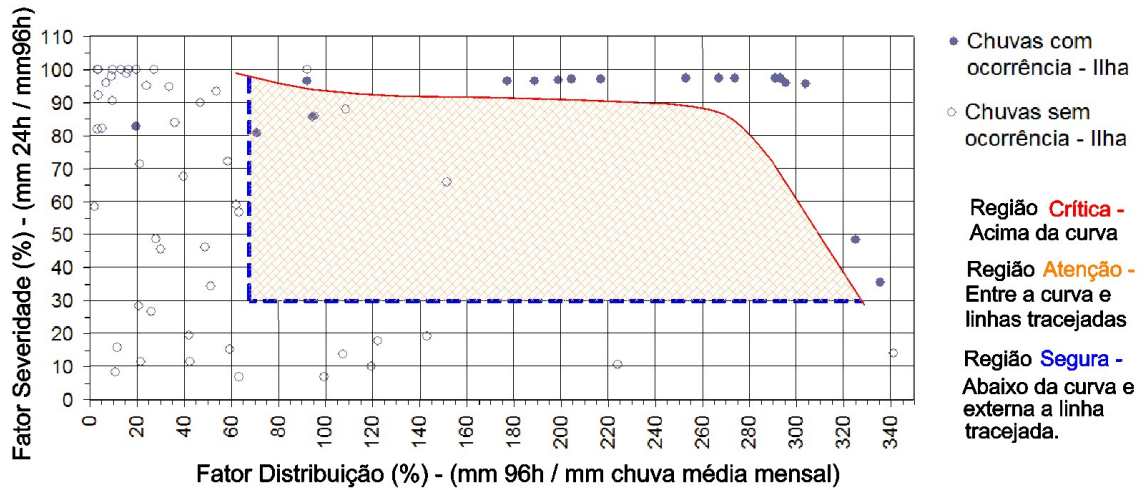


Figura 44 – Correlação chuva vs escorregamento período de 2010 a 2012 Estação Ilha do Governador.

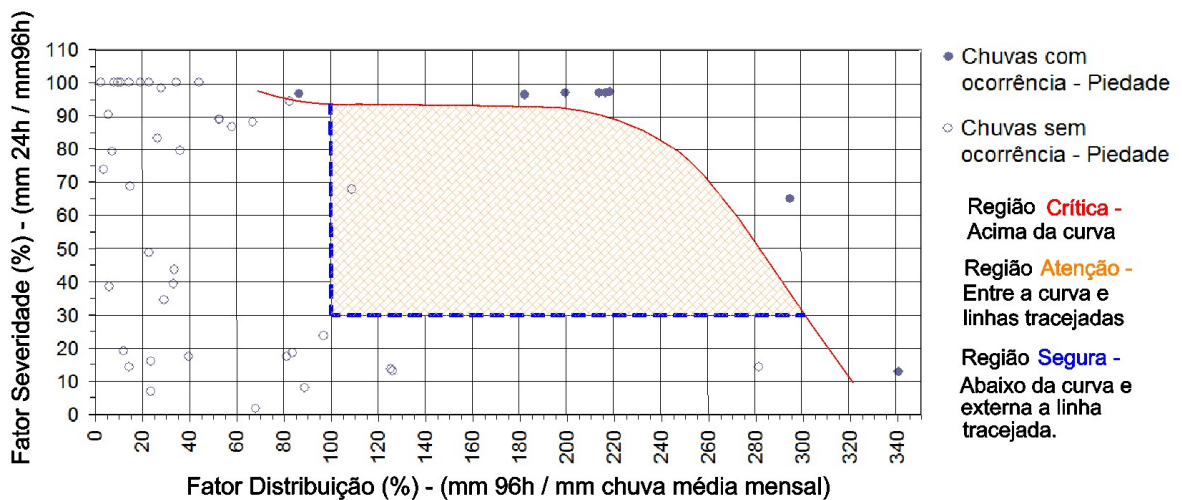


Figura 45 – Correlação chuva vs escorregamento período de 2010 a 2012 Estação Piedade.

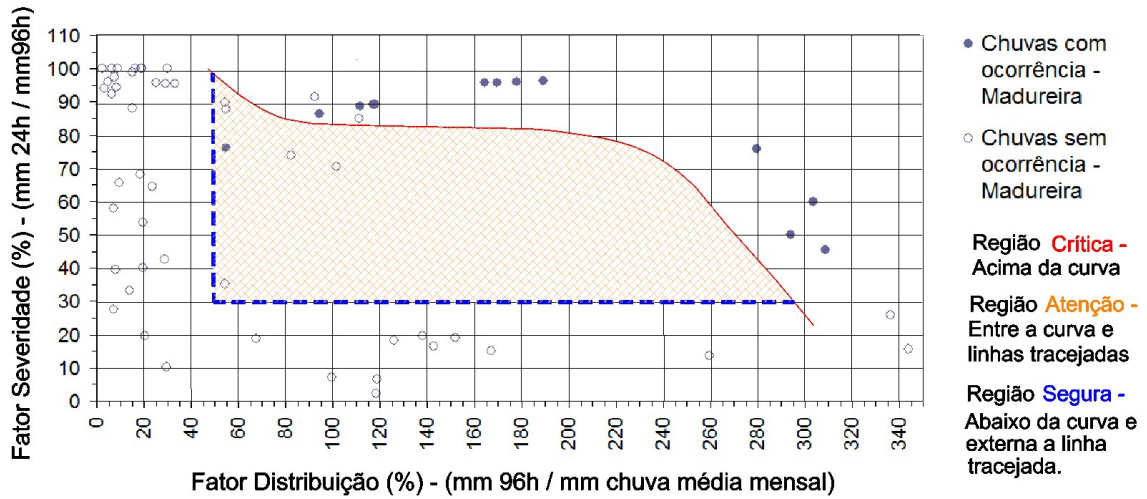


Figura 46 – Correlação chuva vs escorregamento período de 2010 a 2012 Estação Madureira.

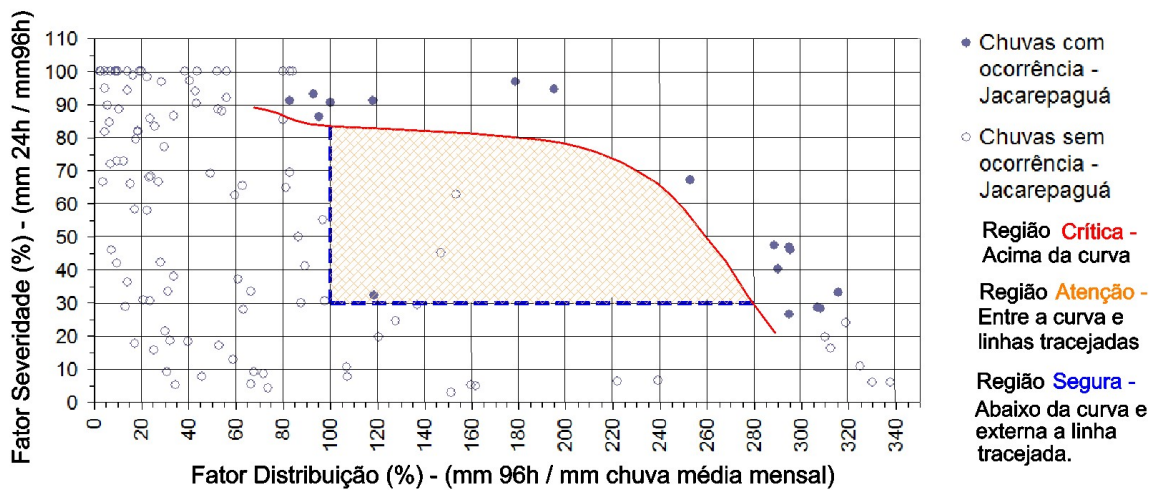


Figura 47 – Correlação chuva vs escorregamento período de 2010 a 2012 Estação Jacarepaguá.

A título de informação, na Figura 48, são apresentados os pontos de chuvas com ocorrência e sem ocorrência relativos às 6 estações pluviométricas. A partir do fator de distribuição igual a 40%, são observadas chuvas com ocorrência, enquanto em gráficos distintos para cada estação, tem-se limites da região segura para valores de fator de distribuição que variam de 50% a 100%.

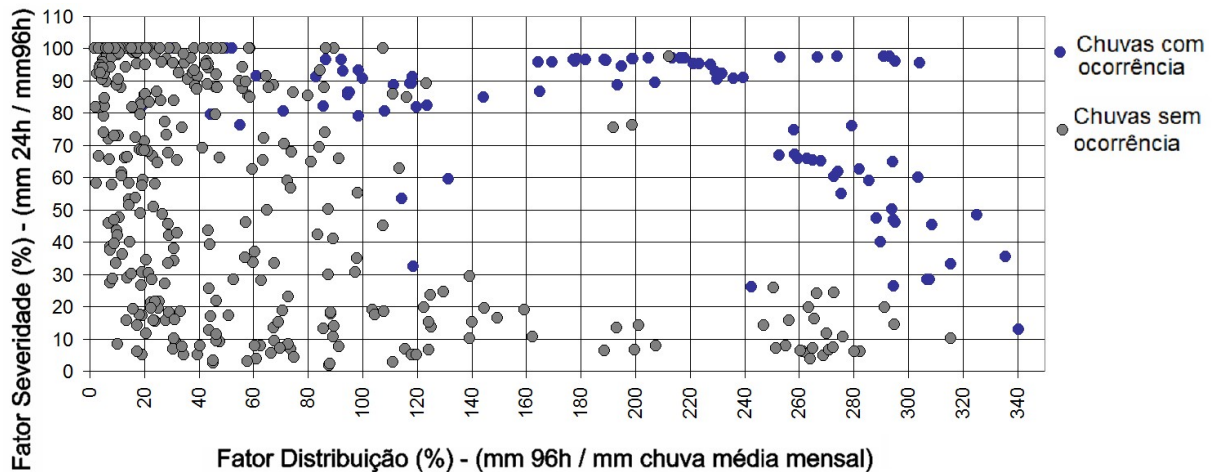


Figura 48 – Correlação chuva vs escorregamento período de 2010 a 2012 - compilação da 6 estações

4.2 Exemplo de aplicação da proposta – Evento de chuva de 12/03/2016

No dia 12 de março de 2016, o Centro de Operações da Prefeitura do Rio informou que o **município entrou em ESTÁGIO DE ATENÇÃO às 19h15**, devido à atuação de uma frente fria sobre o Estado do Rio, com núcleos de chuva moderada a forte sobre a cidade, principalmente sobre as Zonas Norte e Sul. Ainda, **às 20h o município entrou em ESTÁGIO DE CRISE** devido à atuação de núcleos de chuva forte e muito forte nas Zonas Norte, Sul e parte da Zona Oeste da cidade do Rio.

Com a finalidade de se apresentar um exemplo de aplicação da proposta de correlação chuva vs escorregamento, foi acompanhado, em tempo real, o desenvolvimento do evento de chuva do dia 12/03/2016.

Para aplicação da correlação foram coletadas, às 20:20h, para a Estação Tijuca, as acumuladas de chuva de 24h e 96h na página do Alerta Rio, bem como o cálculo da chuva média mensal para o mês de março. A seguir são apresentados os dados para aplicação da proposta de correlação.

- Acumulada 24 h = 138 mm
- Acumulada 96 h = 140,2 mm
- Média Mensal = 125,9 mm

A partir das acumuladas de 24h, 96h e média mensal foram calculados os fatores de distribuição e severidade.

Fator severidade (24h/96h) = 98 %

Fator Distribuição (96h/ média) = 111%

Na Figura 49, é apresentado o gráfico com o ponto referente aos fatores distribuição e severidade calculados.

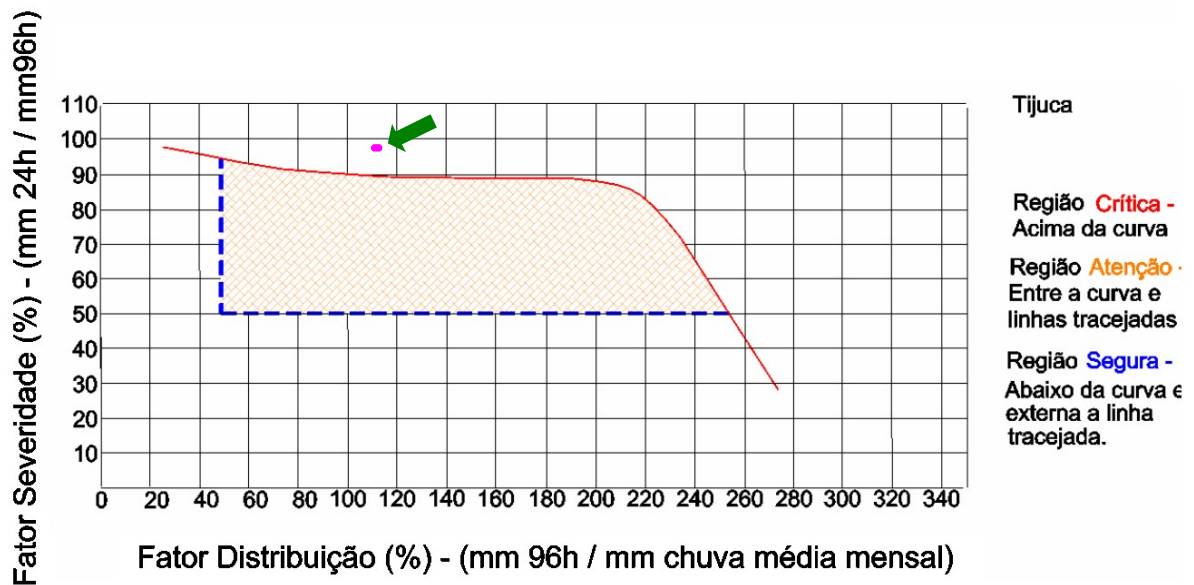


Figura 49 – Aplicação da proposta – chuva 12/03/2016

A localização do ponto na região crítica foi condizente com as conseqüências observadas na cidade do Rio de Janeiro. Foram observados alagamentos na cidade do Rio de Janeiro e em regiões mais suscetíveis houve escorregamentos.

Ainda com relação a este evento de chuva, embora os fatores severidade e distribuição indicassem que a probabilidade de escorregamentos fosse alta, houve, aproximadamente, quatro escorregamentos registrados em áreas de susceptibilidade.

Observou-se que as acumuladas de 1h e 4h se relacionaram diretamente com o desenvolvimento de escoamento superficial. Fato este que resultou em alagamentos em vários pontos da cidade do Rio de Janeiro e culminou na declaração de Estágio de Crise por parte das autoridades.

4.3 Sistema de Alerta

As chuvas de março e abril de 2010, que ocorreram na cidade do Rio de Janeiro, precipitaram em até 4 dias toda a expectativa de chuva esperada para cada mês. Este comportamento da precipitação desencadeou uma série de movimentos de massa, seja em comunidades alocadas em regiões de encosta do maciço da tijuca, como a Comunidade Formiga, ou em regiões da cidade do Rio de Janeiro em que a ocorrência de movimentos de massa não é tipicamente observada, como Ilha do Governador.

A análise da correlação entre as chuvas vs escorregamentos, indicou concentração da precipitação nas 24h antecedentes ao evento e o fato da existência de uma expectativa de chuva mensal muito inferior à ocorrida. Como resultado, esse trabalho propõe a caracterização do fenômeno de chuva contemplando não só os valores médios históricos, mas também alguma informação sobre a distribuição temporal da chuva.

Dadas as diferenças encontradas nas análises das diferentes estações pluviométricas, recomenda-se que, para fins de Sistema de Alerta, a definição das 3 regiões gráficas (1 - crítica, 2 - atenção e 3 - segura) seja feita individualmente para diferentes zonas ou encostas na cidade do Rio de Janeiro.

O acionamento de sirenes de alerta para cada região estaria associado exclusivamente à Região 1, considerada região crítica e delimitada inferiormente pela curva traçada manualmente. Com relação à região 2 - atenção, na qual podem ou não ser observadas ocorrências, são necessárias a coleta de mais dados e cabidas futuras análises e estudos mais aprofundados dos fatores deflagradores dos escorregamentos observados, para que se compreenda o comportamento das ocorrências e seja possível a determinação do acionamento ou não das sirenes.

Atualmente, considera-se um único critério de limiares pluviométricos para toda a cidade. A proposta da implementação de limiares pluviométricos para zonas distintas propicia maior certeza na tomada de decisão por parte do poder público quanto ao acionamento das sirenes.

O acionamento das sirenes é uma decisão que deve ser tomada com cautela, pois resulta na evacuação das comunidades afetadas. Para tal é necessário que haja credibilidade por parte dos moradores. Conseqüentemente, é importante que os parâmetros que amparam o sistema sejam fundamentados em registros de ocorrências e precipitação, pois estes proporcionam uma referência, embora empírica, fidedigna da correlação chuva vs escorregamento.

5 Conclusões e Sugestões para Futuras Pesquisas

O objetivo desta pesquisa foi correlacionar os escorregamentos com os eventos de chuva do ano de 2010. Para tanto foi escolhida uma comunidade pertencente à encosta do Maciço da Tijuca e através da coleta e análise das ocorrências de movimentos de massa e eventos de chuva ocorridos em 2010, pode-se observar que os eventos de chuva cujas ocorrências estavam inseridas superaram a altura de chuva esperada para todo o mês de abril, mês em que houve a maior concentração de ocorrências.

Após a observação de que as acumuladas de 96h de chuva superaram a expectativa de chuva mensal, entendeu-se haver a necessidade da inserção da parcela de chuva média mensal. Para que fossem analisados os comportamentos das ocorrências mediante as chuvas de março e abril de 2010, meses em que houve o maior registro de ocorrências e nos quais as chuvas médias mensais foram superadas, foram tomadas cinco regiões distintas da cidade do Rio de Janeiro. A coleta e análise dos dados de ocorrência e de chuva, para cada região, mostrou que as ocorrências de escorregamentos, também, foram desenvolvidas para acumuladas de 96h que superaram a expectativa de chuva mensal.

Foi proposta uma nova metodologia que abrange a inserção da parcela de chuva média, de forma que sua contabilização permitisse uma avaliação do fenômeno de chuva que se precipita e por correlação que se tenha um limiar pluviométrico que trata de chuvas de grande período de retorno e seu impacto no desencadear de ocorrências de escorregamentos.

5.1 Conclusões

Destacam-se as principais conclusões da pesquisa:

- i) Os registros da Comunidade Formigam indicaram que maior parte dos movimentos de massa se deu em taludes de corte. Desta forma entende-se que a ação antrópica, por meio de cortes e aterros para a implantação de residências e intervenções na encosta que amplificam os processos erosivos, foi responsável por 63% das ocorrências na Comunidade Formiga em 2010.
- ii) Embora tenham sido percebidos limiares pluviométricos para a região estudada, graficamente, os resultados mostraram não ser possível definir as 2 regiões distintas, as quais seriam com e sem escorregamento. Adicionalmente, observa-se, em todos os casos, a existência de um intervalo extenso separando os pontos de ocorrência dos pontos de não ocorrência (Figura 33 a Figura 35).
- iii) Independentemente da alternativa adotada foram observadas quatro ocorrências (Figura 33 a Figura 35) que se localizam na zona em que as expectativas de escorregamento seriam muito pequenas, segundo os critérios da Geo-Rio. Estas ocorrências, por se mostrarem inseridas em características distintas de acumuladas de chuva, são objeto de estudo apresentado por Sales (2016). Segundo Sales (2016), os volumes mobilizados nestas ocorrências são classificados em categorias A e B o que reforça a hipótese dos pequenos movimentos de massa de solo e, em relação ao fato de estarem inseridas em acumulados de chuva distintos, pode-se inferir que este fenômeno pluviométrico foi o deflagrador dos movimentos de massa, entretanto não foi o agente efetivo destes escorregamentos, tendo em vista que a maior parte destas ocorrências se mostraram produto de ações antrópicas, enquanto uma ocorrência é classificada como corrida e ,provavelmente, foi fruto de outro movimento de massa à montante.
- iv) Os resultados da análise gráfica da correlação de chuva vs escorregamentos da Comunidade Formiga mostraram que as chuvas

acumuladas de 24h e de 96h possuem significância maior do que as chuvas horárias nos escorregamentos observados em março e abril de 2010. Ou seja, a partir da condição prévia de saturação do solo, escorregamentos podem ser deflagrados para chuvas horárias inferiores a 20mm, fato este que vai ao encontro às observações de feitas por Tatizana et al (1987) de que o aumento da saturação do solo provoca diminuição da intensidade horária necessária para o desencadeamento de escorregamentos é aplicável à situação observada nos casos de estudo deste trabalho;

- v) Nas aplicações dos modelos propostos por D'Orsi (Figura 37), para trecho da região serrana-RJ, e Tatizana (Figura 36), para Cubatão-SP, comparativamente aos eventos de chuva vs escorregamentos da Comunidade Formiga, observou-se que os pontos plotados se situaram abaixo das curvas de limiares propostas, indicando desta forma que a utilização de curvas típicas ou de apenas um limiar para toda a cidade pode levar à conclusão equivocada de segurança;
- vi) As acumuladas de 24 h e de 96h das ocorrências, quando comparadas com a chuva média mensal demonstram qualitativamente a representatividade do incremento no número de ocorrências;
- vii) A contabilização da chuva média mensal para a confecção do limiar pluviométrico é capaz de indicar expeditamente qual o tipo de fenômeno de chuva que se precipita em tempo real e permitir a avaliação do seu impacto na geração de movimentos de massa;
- viii) A chuva média mensal inserida na análise dos fenômenos de chuva, que desencadeiam ocorrências, permite a definição da região gráfica na qual está inserido o fenômeno de chuva e por conseqüência ampara a tomada de decisão das autoridades competentes no acionar das sirenes de evacuação das regiões de risco;

5.2 Sugestões para pesquisas futuras

- i) Proceder ao desenvolvimento de zonas de influência para cada estação telepluviométrica;
- ii) Ampliar o intervalo temporal de estudo e proceder a uma nova coleta de dados de chuva e ocorrências para regiões da cidade do Rio de Janeiro e, por conseqüência, a construção gráfica de limiares pluviométricos com contabilização da chuva média;
- iii) Proceder a uma análise estatística e probabilística na definição da chuva média mensal;
- iv) Proceder à análise e verificação quantitativa do incremento do número de ocorrências registradas para precipitações que ultrapassam a média mensal;
- v) Proceder à análise de chuvas acumuladas de 4h e seu impacto na geração de escoamento superficial para fins de melhor definição gráfica de regiões críticas quanto a deslizamentos e quanto a alagamentos.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M.C.J, NAKAZAWA, A e TATIZANA, C. (1993) “Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos no Município de Petrópolis, RJ”. In: Anais do 7º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, pp. 129-137, Poços de Caldas (MG), ABGE.
- AU, S. W. C.(1993) “ Rainfall and slope failure in Hong Kong”, Engineering Geology, Hong Kong v. 36, pp. 141-147.
- AUGUSTO FILHO, O. (1992), Caracterização Geológica-geotécnica voltada à Estabilização de Encostas: Uma proposta Metodológica. In Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas, Rio de Janeiro. ABMS-ABGE-ISSMGE, Vol. 2, pp.721-733.
- AZEVEDO, GEORGE FERNANDES (2011), Análise da Relação Chuva-Escorregamentos em Regiões Tropicais Montanhosas Urbanas, Caso de Estudo Rio de Janeiro, Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília – UnB
- BRAND, E. W., PREMCHITT, J. and PHILIPSON, H.B. (1984). Relationship between rainfall and landslides in Hong Kong. Proceedings of the Fourth International Symposium on Landslides, Toronto, vol. 1, pp 377-384.
- CAES - PUCRS (2013), Relatório de Pesquisa Infância e Violência: Cotidiano de crianças pequenas em favelas do Rio de Janeiro - Morro da Formiga. Centro de Análises Econômicas e Sociais Pontifícia Universidade católica do Rio Grande do Sul.
- CASTRO, COIMBRA. (2008). Glossário de Defesa Civil, Ministério da Integração Nacional, Brasília, DF.
- CASTRO, COIMBRA. (1999). Manual sobre planejamento em defesa civil, volume I, Ministério da Integração Nacional, Brasília, DF.

- CEMADEN-RJ (2015). Estrutura Organizacional, Equipe e Monitoramento, disponível em: <http://cemadenrj.defesacivil.rj.gov.br/>, acesso em 17/03/15 às 14:00.
- CEMADEN-RJ (2015). Boletins Estaduais de Defesas Civas, disponíveis em: <http://cemadenrj.defesacivil.rj.gov.br/>, acesso em 17/03/15 às 14:00.
- CHEUNG, P.Y., WONG, M.C., YEUNG, & H.Y. (2003) Application of Rainstorm Nowcast to Real-time Warning of Landslide Hazards in Hong Kong. WMO PWS Workshop on Warnings of Real-Time Hazards by Using Nowcasting Technology, Sydney, Australia 9-13 October 2006. Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering and Development Department, Hong Kong, China.
- COSTA NUNES, A. J. (1969), Landslides in Soils of Decomposed Rock due to Intense Rainstorms. In International Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering, México, SMMS, Vol. 2, pp. 547-554.
- DAI, F.C., LEE, C.F. (2001), Frequency-volume relation and prediction of rainfall-induced landslides. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101. Department of Civil and Structural Engineering, The University of Hong Kong, Pokfulam Road, Hong Kong, People's Republic of China. *Engineering Geology* 59 (2001) 253-266.
- DESC - Department of Erosion and Sediment Control, MLIT - Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, JMA - Japan Meteorological Agency and NILIM - National Institute for Land and Infrastructure Management (2005): Manual for the method of setting for mass-movement disasters warning criterion based on rainfall indices (Draft), 21p. (in Japanese).
- D'ORSI, R.N. (2011) Correlação entre pluviometria e escorregamentos no trecho da serra dos órgãos da rodovia federal BR-116RJ(Rio-Teresópolis). Tese de Doutorado, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 287 p.
- D'ORSI, R.N. PAES, N.M., MAGALHÃES, M. A. COELHO, R. S. (2012) Relatório Anual de Chuvas 2010. Relatório GEO-RIO/DEP/GPE – Nº 01/2012, Diretoria de Estudos e Projetos – Gerência de Programas Especiais – Prefeitura do Rio de Janeiro.

- D'ORSI, R, PAES, N.M., MAGALHÃES, M. A. COELHO, R. S. (2012) Relatório de Correlação entre Chuvas e Escorregamentos para a Cidade do Rio de Janeiro no ano de 2010. Relatório GEO-RIO/DEP/GPE – Nº 10/2012. Diretoria de Estudos e Projetos – Gerência de Programas Especiais – Prefeitura do Rio de Janeiro.
- D'ORSI, R.N., PAES, N.M., MAGALHÃES, M. A., COELHO, R. S., (2012) Relatório Anual de Chuvas 2011. Relatório GEO-RIO/DEP/GPE – Nº 02/2012, Diretoria de Estudos e Projetos – Gerência de Programas Especiais – Prefeitura do Rio de Janeiro.
- D'ORSI, R.N., PAES, N.M., MAGALHÃES, M. A., COELHO, R. S., COSTA, I. C (2013) Relatório de Correlação entre Chuvas e Escorregamentos para a Cidade do Rio de Janeiro no ano de 2011. Relatório GEO-RIO/DEP/GPE – Nº 02/2013. Diretoria de Estudos e Projetos – Gerência de Programas Especiais – Prefeitura do Rio de Janeiro.
- D'ORSI, R.N., PAES, N.M., MAGALHÃES, M. A., COELHO, R. S., COSTA, I. C.(2013) Relatório Anual de Chuvas 2012. Relatório GEO-RIO/DEP/GPE – Nº 06/2013, Diretoria de Estudos e Projetos – Gerência de Programas Especiais – Prefeitura do Rio de Janeiro.
- D'ORSI, R.N., PAES, N.M., MAGALHÃES, M. A., COELHO, R. S., COSTA, I. C (2013) Relatório de Correlação entre Chuvas e Escorregamentos para a Cidade do Rio de Janeiro no ano de 2012. Relatório GEO-RIO/DEP/GPE – Nº 05/2013. Diretoria de Estudos e Projetos – Gerência de Programas Especiais – Prefeitura do Rio de Janeiro.
- FERNANDES, M. C. (1998). Geoecologia do maciço da Tijuca-RJ: uma abordagem Geo-Hidroecológica. Dissertação de mestrado, Departamento de Geografia, IGEO/UFRJ, Rio de Janeiro, 141p.
- FERNANDES, M. C., AVELAR, A. S., NETTO, A. L. C. (2006). Domínios Geo-Hidroecológicos do Maciço da Tijuca, RJ: Subsídios ao Entendimento dos Processos Hidrológicos e Erosivos. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ ISSN 0101-9759 Vol. 29 - 2 / 2006 p. 122-148.

- FOURIE, A. B., BLIGHT, G. E. & PINHEIRO, J. (1999). Subsurface contamination by leachate at six unlined landfill sites in South Africa. 7th Int. Waste Man. & Landfill Symp. Cagliari, Italy, 1, 133-140.
- GERSCOVICH, DENISE (2012), Estabilidade de Taludes. Primeira Edição. Oficina de Textos.
- GUIDICINI, G. e IWASA, O.Y., (1976). “Ensaio de Correlação entre Pluviometria e Deslizamentos em Meio Tropical Úmido”. In: Simpósio Landslides and other Mass Moviment da IAEG, 1977, Praga, Publicação 1080 IPT.
- GUIDICINI, G. & NIEBLE, C.M. (1984). Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação. Edgard Blücher, São Paulo, 1 vol. 50-51
- GUIDICINI GUIDO, CERRI. L. E. S.(1987), Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos, Serra do mar, Município de Cubatão. Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo – IPT
- HUTCHINSON, J. N. (1968) “Mass movement”. In: encyclopedia of Geomorphology. E. Fairbridge, R.W.(2ed). Reinhold Book Co. New York.
- KAY, J.N., CHEN, T. (1995) Rainfall- Landslide relationship for Hong Kong. Proceedings of Institution of Civil Engineer, Geotechnical Engineering, vol. 113, 117-118.
- KIM, J., JEONG, S., PARK, S., SHARMA, J. (2004), Influence of rainfall-induced wetting on the stability of slopes in weathered soils. Engineering Geology. Science Direct 2004.
- LACERDA, W.A., PALMEIRA, E.M., EHRLICH, M., NETTO, A.L.C. (2012) Extreme rainfall induced landslides: an international perspective.
- LUCIANI, S., FIORUCCI, F., MONDINI, A.C. & SANTANGELO, M. (2012). National warning system for rainfall-induced landslides in Italy, Università degli Studi di Perugia, Perugia, Italy
- LUMB, P. (1975) Slope failures in Hong Kong. Department of civil engineering, University of Hong Kong. Engineering Geology 1975 vol 8 pp. 38-65.

- LUMBRERAS, J. F., GOMES, J. B. V.(2004). Mapeamento Pedológico e Interpretações Úteis ao Planejamento Ambiental do Município do Rio de Janeiro, Ministério da cultura, pecuária e abastecimento.
- MARSHAK, S (2011) Earth: Portrait of a Planet. Quarta Edição. Universidade de Illinois. W. W Norton & Company, Inc.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES E INFRAESTRUTURA E AGÊNCIA DE METEOROLOGIA DO JAPÃO (2005). Orientações para Colaboração entre Províncias e Agência de Meteorologia do Japão na Elaboração e Anúncio de Informações de Alerta de Desastres de Deslizamentos de Terra, Japão.
- NG, C.W.W., SHI, Q. (1998) Influence on rainfall intensity and duration on slope stability in unsaturated soils. Quarterly journal of Engineering Geology 31: 105-113.
- OLIVEIRA, L.C.D. (2004). Análise Quantitativa de Risco de Movimentos de Massa com Emprego de Estatística Bayesiana. Tese de Doutorado, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 509 p.
- PFAFSTETTER, O. (1957). Chuvas intensas no Brasil. Ministério da Viação e Obras Públicas - Departamento Nacional de Obras e Saneamento.
- PANG, P.L.R., PUN, W.K. and YU, Y.F. (2000). Estimation of failure frequency of soil cut slopes using rainfall and slope information, Proceedings of GeoEng2000 - International Conference on Geotechnical and Geological Engineering, Melbourne, Australia.
- PEDROSA, M.G.A. (1994). Análise de Correlações entre Pluviometria e Escorregamentos de Taludes. Tese de Doutorado, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 343 p.
- PREMCHITT, J. (1991). Salient aspects of landslides in Hong Kong. Proceedings of the ninth Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Bangkok, vol. 2, 497-502.

- PREMCHITT, J., BRAND, E. W., CHEN, P. Y. M. (1994) "Rain induced landslides in Hong Kong, 1972-1992", *Asia Engineer*.
- PUN, W.K., WONG, A.K.W. and PANG, P.L.R. (2003). A review of the relationship between rainfall and landslides in Hong Kong. *Proceedings of the Asian Technical Committee (ATC 3) workshop on rain-induced landslides, Hong Kong, vol. 3, pp 211-217.*
- RAHARDJO, H. and FREDLUND, D. G.(1993), " Stress Paths for shear Strength Testing of unsaturated Soils, " *Proc. Of the 11th S.E.A.G.C.(Singapore), May 4-8.*
- ROSSI, M., PERUCCACCI, S., BRUNETTI, M.T., MARCHESINI, I., LUCIANI, S., ARDIZZONE, F., BALDUCCI, V., BIANCHI, C., CARDINALI, M., FIORUCCI, F., MONDINI, A.C., REICHENBACH, P., SALVATI, P., SANTANGELO, M., BARTOLINI, D., GARIANO, S.L., PALLADINO, M., VESSIA, G., VIERO, A., ANTRONICO, L., BORSELLI, L., DEGANUTTI, A.M., IOVINE, G., LUINO, F., PARISE, M., POLEMIO, M., GUZZETTI, F., LUCIANI, S., FIORUCCI, F., MONDINI, A.C., SANTANGELO, M., TONELLI, G. (2012). SANF: National warning system for rainfall-induced landslides in Italy, *Landslides and Engineered Slopes: Protecting Society through Improved Understanding, proc. of the 11th Int. Symp. on Landslides, Banff, Alberta, Canada.*
- ROZA, A. G. (2007), *Geocoturismo Aplicado a Floresta da Tijuca, Rio de Janeiro. Projeto Final de Graduação. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro*
- SALES, L. S. (2016) *Contribuição aos estudos de correlação chuva vs escorregamentos – Aplicação às ocorrências da comunidade da Formiga no ano de 2010. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, UERJ, Rio de Janeiro, RJ.*
- SANTOS, A. R. (2004) *A grande barreira da Serra do Mar: Trilha dos imigrantes. O Nome da Rosa, São Paulo, 39-45*
- SOARES, E. P., MARTON, E. (2008) *Relação entre precipitação e deslizamentos de encostas na região de Angra dos Reis. Congresso Nacional de Meteorologia.*

- TATIZANA, C., OGURA, A. T., CERRI, L. E. S.(1987), Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos, Serra do mar, Município de Cubatão. Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo – IPT.
- TERZAGHI, K. (1928). Landslides in Central América. Technol. Ver., 31: 12-16.
- TERZAGHI, K. (1950). Mechanism of Landslides. In: S. Paige (Editor), Application of Geology to Engineering Practice(Berkey Volume). Geological Society of America, Washington, D. C., pp. 83-123.
- TUCCI, C. E. M. (2009), Hidrologia: Ciência e Aplicação, Editora UFRGS, Porto Alegre – RS.
- VARGAS, Jr. E., COSTA FILHO e PRADO CAMPOS, L. E. (1986), A Study of the Relationship Between the Stability of Slopes in Residual Soils and Rain Intensity. International Symposium on Environmental Geotechnology, Leigh, pp.491-500.
- VARNES, D. J. (1958), Landslide types and processes, in Eckel, E., ed., Landslides and Engineering Practice: Washington, D. C., Highway Research Board Special Report 29, p. 20-47.
- VARNES, D. J. (1978), Slope Movement Types and Processes. Landslides Analysis and Control, WASHINGTON , D. C., National Academy of Sciences, pp.11-33.
- VASCONCELLOS, D. B.(2015), Percepção de Risco associados a deslizamentos de terra da Comunidade do Morro da Formiga, Rio de Janeiro. Projeto de Graduação em Engenharia Civil, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- VAZ, MARTINS (2014). Mapa de Ameaça Naturais do Estado do Rio de Janeiro, Secretaria de Estado de Defesa Civil, Rio de Janeiro, RJ.

Anexo A. Registros Pluviométricos da Estação Tijuca - Acumuladas diárias e mensais de 2010

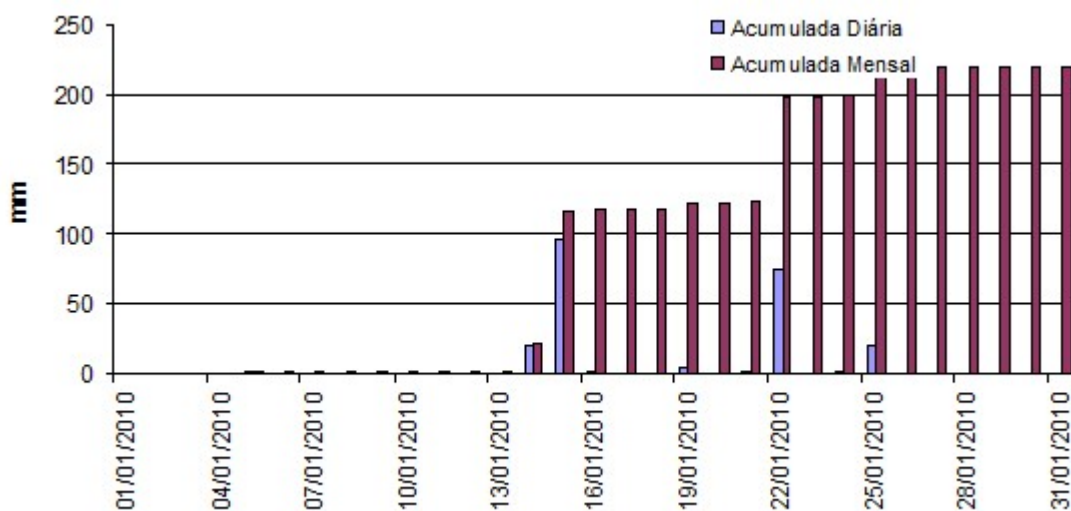


Figura 50. Pluviometria registrada para janeiro de 2010

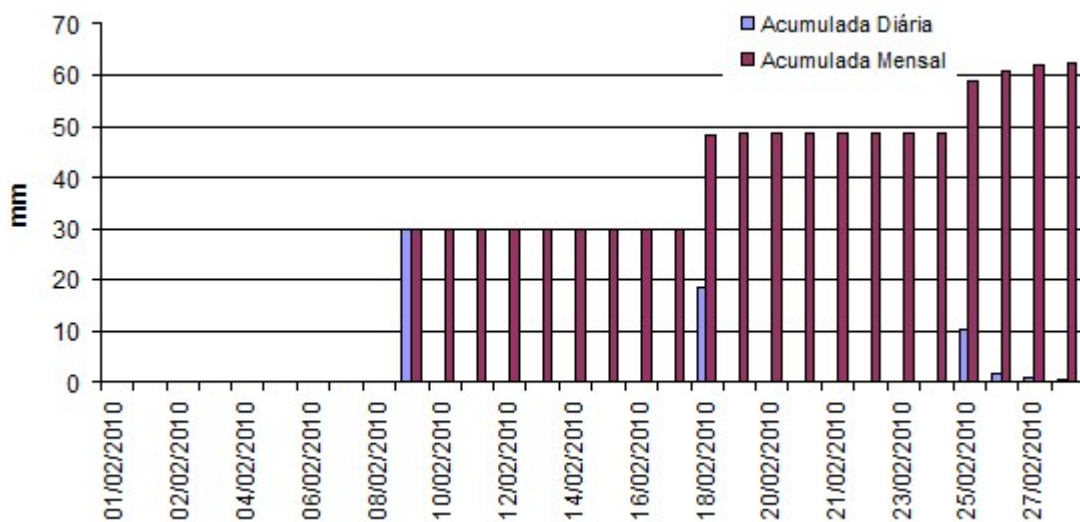


Figura 51. Pluviometria registrada para fevereiro de 2010

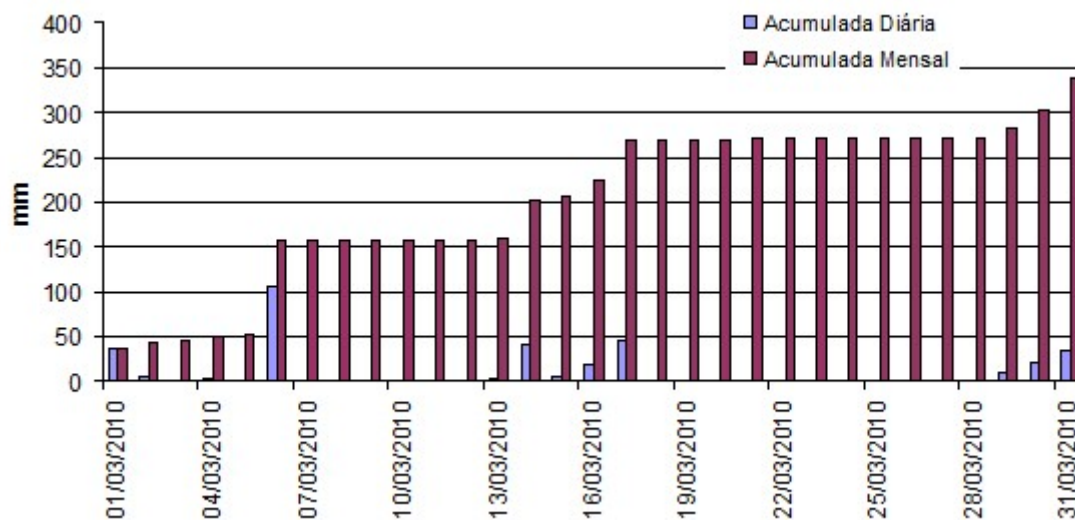


Figura 52. Pluviometria registrada para março de 2010

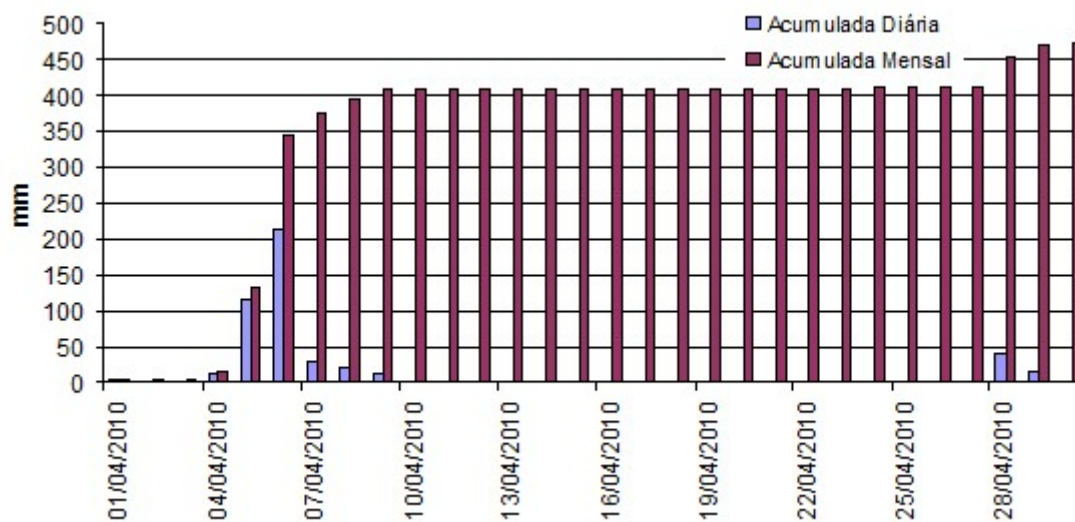


Figura 53. Pluviometria registrada para abril de 2010

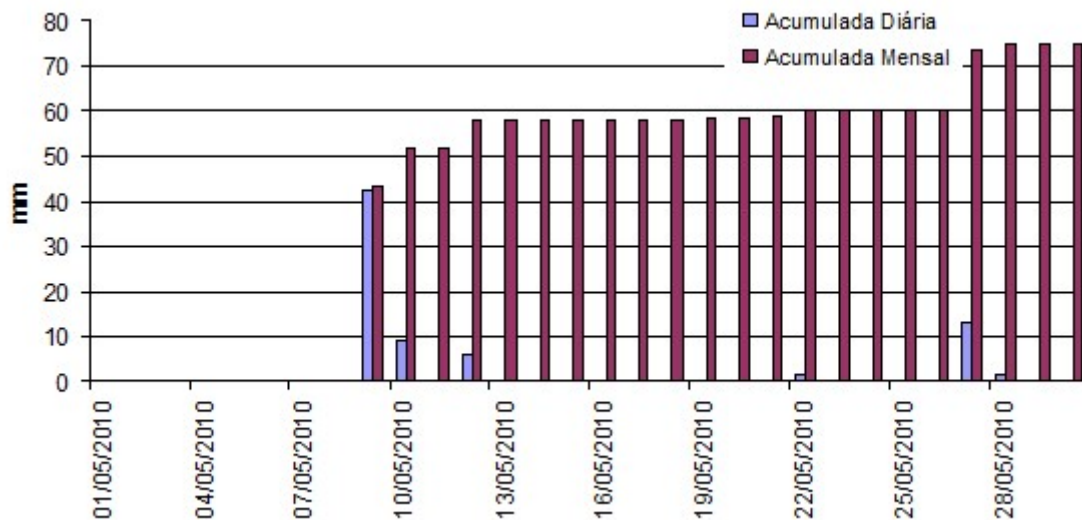


Figura 54. Pluviometria registrada para maio de 2010

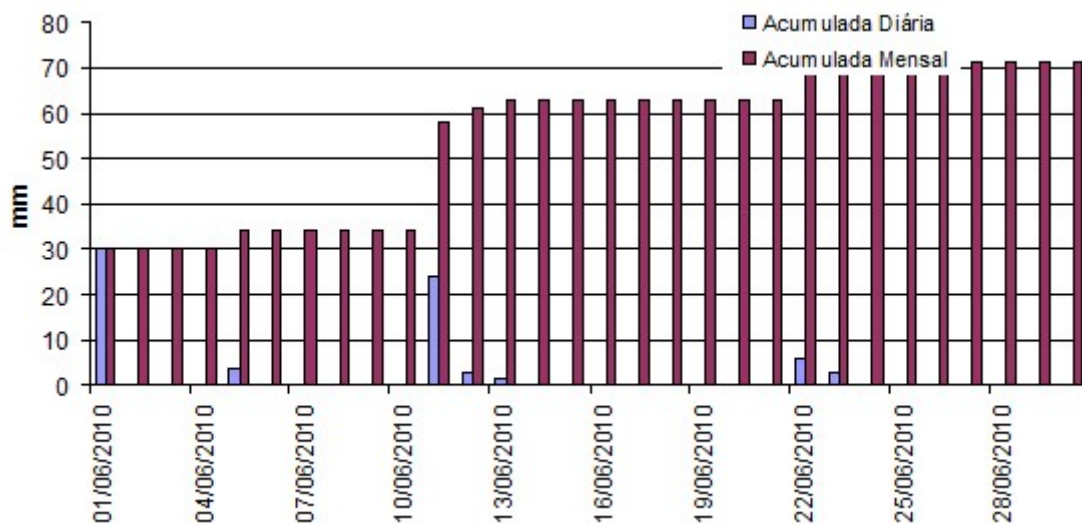


Figura 55. Pluviometria registrada para junho de 2010

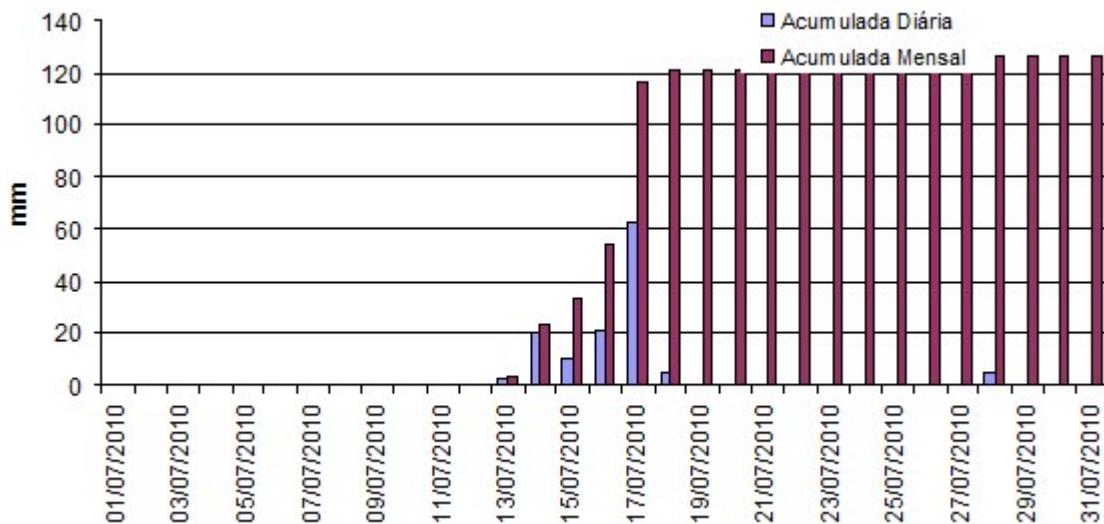


Figura 56. Pluviometria registrada para julho de 2010

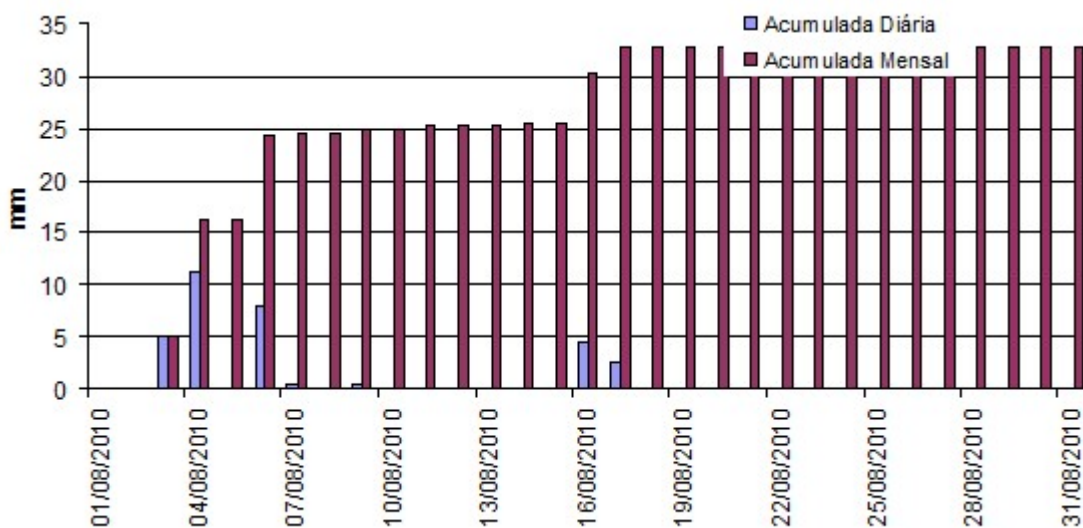


Figura 57. Pluviometria registrada para agosto de 2010

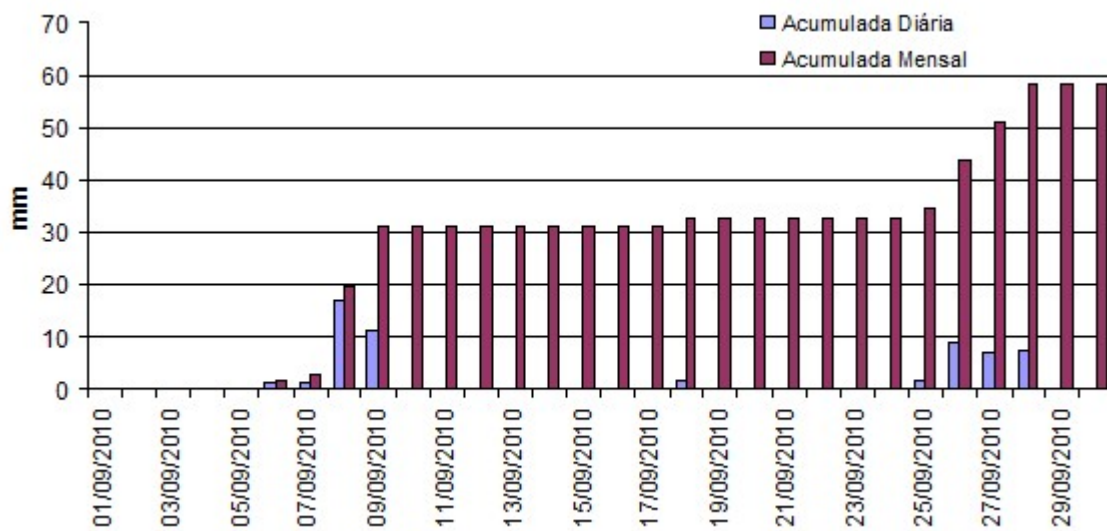


Figura 58. Pluviometria registrada para setembro de 2010

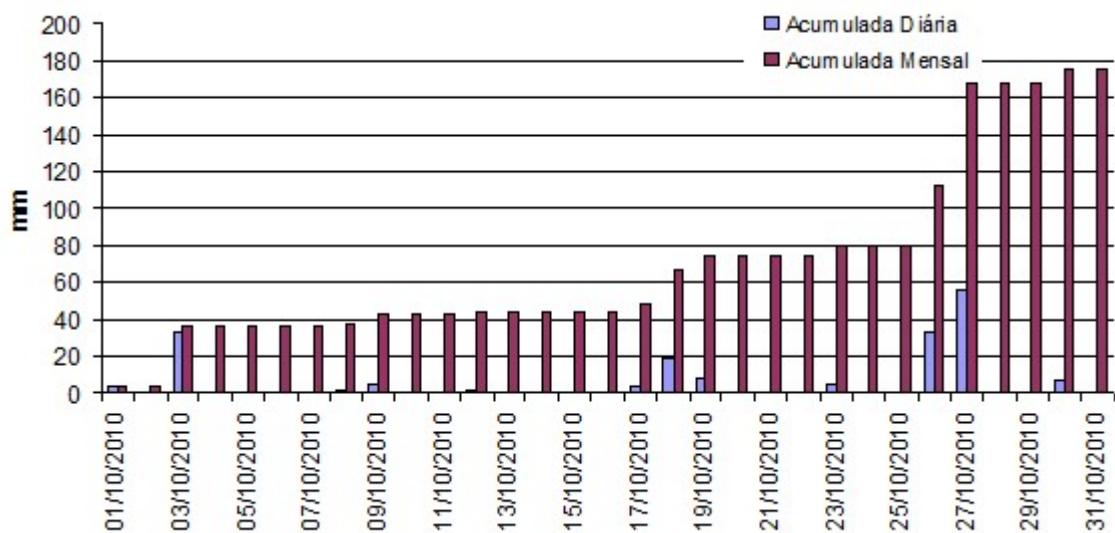


Figura 59. Pluviometria registrada para outubro de 2010

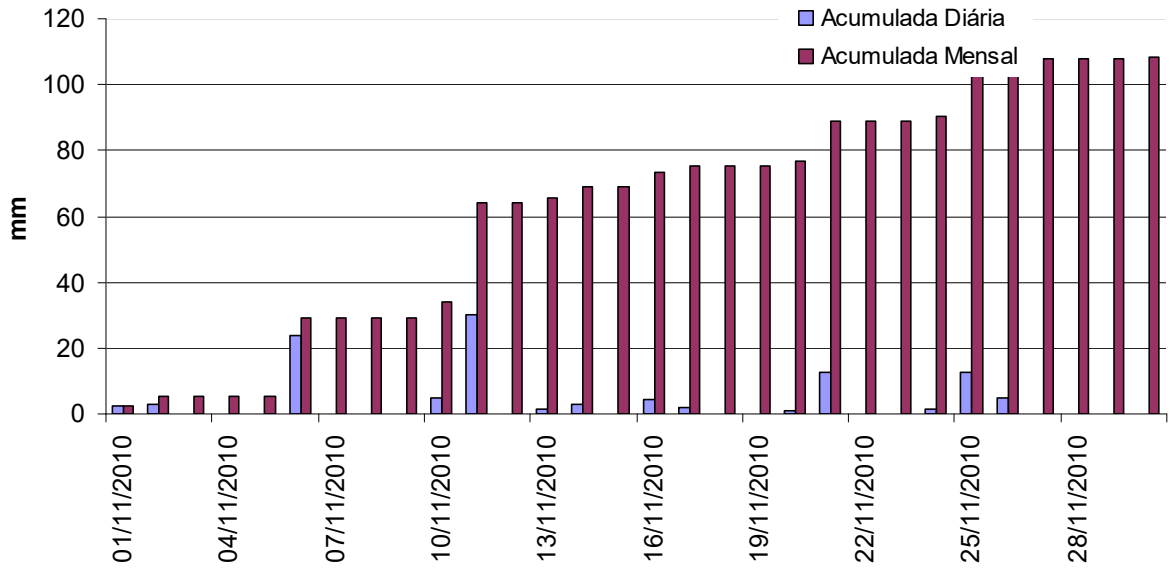


Figura 60. Pluviometria registrada para novembro de 2010

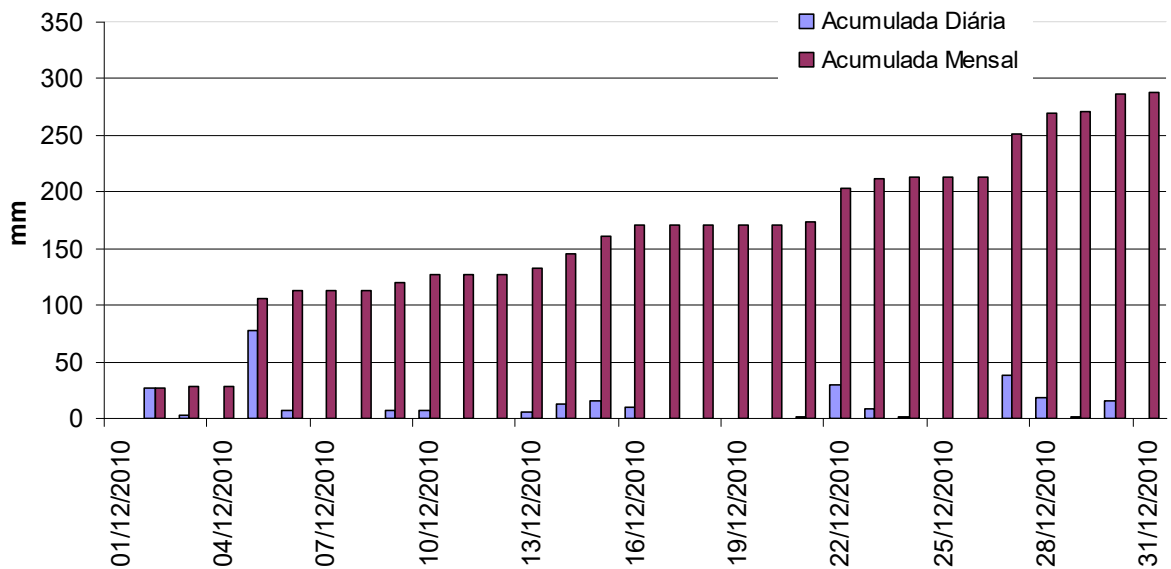


Figura 61. Pluviometria registrada para dezembro de 2010

Anexo B. Eventos de chuva com e sem ocorrência – Estação Tijuca 2010

Tabela 27 – Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Janeiro de 2010.

	Pontos máximos	Dia	Hora	15 min	01 h	04 h	24 h	96 h
Janeiro	Horária	15/01/2010	02:00:20	10,8	35,8	38,4	58,4	58,4
	Acumulada	15/01/2010	06:45:20	0	0,6	15,2	75,4	75,4
	ocorrência	15/01/2010	20:00:20	0,2	3,8	9,4	68	85,4
	Horária	15/01/2010	23:00:20	3,2	21	27,4	88,6	109
	Acumulada	16/01/2010	00:45:20	0	0,6	31	94,2	116,4
	Horária	19/01/2010	19:30:20	0,4	4,6	4,6	4,6	36
	Acumulada	19/01/2010	20:15:20	0	0,6	4,8	4,8	36
	Horária	22/01/2010	00:45:20	0,2	6,2	6,2	6,8	11,8
	Acumulada	22/01/2010	01:30:20	0	0,4	6,4	7	12
	Horária	22/01/2010	18:15:20	21,4	57	57	63,6	69,2
	Acumulada	22/01/2010	21:30:20	0	0,8	62,4	75	80,6
	Horária	25/01/2010	17:45:20	1	10,6	10,6	14	89,2
Acumulada	25/01/2010	21:15:20	0	0,8	12	20,8	96,4	

Tabela 28 – Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Fevereiro de 2010.

	Pontos máximos	Dia	Hora	15 min	01 h	04 h	24 h	96 h
Fevereiro	Horária	09/02/2010	22:45:20	0,2	29,8	29,8	29,8	29,8
	Acumulada	09/02/2010	23:30:20	0	0,2	29,8	29,8	29,8
	Horária	18/02/2010	05:30:20	1,6	8	8,4	8,4	8,4
	Acumulada	18/02/2010	07:45:20	0,2	0,8	14,4	14,8	14,8

Tabela 29 – Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Março de 2010.

	Pontos máximos	Dia	Hora	15 min	01 h	04 h	24 h	96 h
Março	Horária	06/03/2010	19:15:20	4,20	58,40	58,40	58,40	66,80
	Acumulada	06/03/2010	23:15:20	0,00	0,60	46,00	104,40	112,00
	ocorrência	07/03/2010	02:00:20	0,00	0,00	1,60	104,60	112,20
	Horária	14/03/2010	19:00:20	6,60	27,00	27,00	30,80	30,80
	Acumulada	15/03/2010	02:30:20	0,00	0,80	12,00	46,20	50,00
	Horária	16/03/2010	06:00:20	0,40	2,00	2,60	2,60	52,60
	Acumulada	16/03/2010	06:30:20	0,00	0,60	2,60	2,60	52,60
	Horária	16/03/2010	19:30:20	1,00	7,20	8,60	11,40	61,40
	Acumulada	17/03/2010	00:30:20	0,00	0,60	5,20	19,80	69,80
	Horária	17/03/2010	18:45:20	3,60	20,20	27,00	42,40	98,80
	Acumulada	17/03/2010	22:00:20	0,00	0,40	27,80	47,00	110,80
	Horária	29/03/2010	23:15:20	0,80	7,20	7,80	7,80	7,80
	Acumulada	30/03/2010	06:15:20	0,00	0,80	8,40	18,60	18,60
	Horária	31/03/2010	02:15:20	1,20	11,80	15,20	34,40	44,60
	Acumulada	31/03/2010	03:15:20	0,20	0,40	14,40	34,00	45,00
	Horária	31/03/2010	16:00:20	8,20	15,20	15,80	42,60	61,40
Acumulada	31/03/2010	17:15:20	0	1	17,4	41,6	63	

Tabela 30 – Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Abril de 2010.

	Pontos máximos	Dia	Hora	15 min	01 h	04 h	24 h	96 h
Abril	Horária	04/04/2010	20:00:20	0,60	10,40	10,80	10,80	17,00
	Acumulada	04/04/2010	21:15:20	0,00	0,80	12,00	12,20	18,40
	ocorrência	06/04/2010	08:00:20	2,60	11,80	56,20	258,80	271,40
	ocorrência	06/04/2010	08:30:20	1,00	8,00	53,80	261,40	274,00
	ocorrência	06/04/2010	10:30:20	0,20	1,20	28,40	265,00	279,00
	ocorrência	06/04/2010	11:30:20	0,60	2,00	15,00	260,40	281,00
	ocorrência	06/04/2010	14:00:20	0,00	0,40	5,00	261,60	283,60
	ocorrência	06/04/2010	15:00:20	0,20	0,60	4,40	262,20	284,20
	ocorrência	06/04/2010	20:00:20	0,20	5,00	22,60	236,60	316,40
	ocorrência	06/04/2010	21:00:20	0,20	0,20	17,80	213,00	316,60
	ocorrência	06/04/2010	21:30:20	1,40	2,00	15,60	209,60	318,40
	ocorrência	06/04/2010	22:00:20	1,00	5,60	15,20	212,60	322,20
	ocorrência	06/04/2010	22:30:20	1,40	6,60	16,80	212,40	325,00
	ocorrência	06/04/2010	23:00:20	0,80	6,40	17,20	213,80	328,60
	ocorrência	06/04/2010	23:30:20	5,80	11,20	20,00	208,00	336,20
	ocorrência	07/04/2010	00:00:20	4,20	17,20	29,40	216,80	345,80
	ocorrência	07/04/2010	01:00:20	0,00	4,20	33,40	206,40	350,00
	Horária	07/04/2010	07:45:20	0,40	4,00	7,40	92,60	361,40
	Acumulada	07/04/2010	08:30:20	0,00	0,60	7,40	87,60	361,60
	Horária	28/04/2010	21:45:20	5,20	18,20	28,60	33,00	33,00
Acumulada	29/04/2010	08:45:20	0,00	0,40	3,40	48,00	52,40	
Horária	30/04/2010	00:00:20	0,20	2,40	2,80	15,20	58,00	
Acumulada	30/04/2010	00:30:20	0,00	0,60	2,60	14,80	58,00	

Tabela 31 – Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Maio de 2010.

	Pontos máximos	Dia	Hora	15 min	01 h	04 h	24 h	96 h
Maio	ocorrência	09/05/2010	08:00:20	0,20	2,00	7,60	25,40	25,40
	ocorrência	09/05/2010	09:30:20	0,20	0,60	4,00	26,00	26,00
	ocorrência	09/05/2010	22:00:20	0,00	0,60	7,60	43,00	43,00
	Horária	31/05/2010	23:30:00	1,20	9,20	14,40	14,60	16,40
	Acumulada	01/06/2010	13:15:00	0	0,8	10,6	43	43,2

Tabela 32 – Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Junho de 2010.

	Pontos máximos	Dia	Hora	15 min	01 h	04 h	24 h	96 h
Junho	Horária	01/06/2010	21:45:00	0	1,6	1,6	39,6	44,8
	Acumulada	01/06/2010	22:15:00	0	0,2	1,8	39,6	45
	Horária	12/06/2010	00:00:00	0,2	9,8	21,2	24,2	24,2
	Acumulada	12/06/2010	01:30:00	0	1	11,6	25	25,4
	Horária	22/06/2010	23:00:00	0,6	1,8	3	5	5
	Acumulada	23/06/2010	00:15:00	0	1	4,2	6,2	6,2

Tabela 33 – Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Julho de 2010.

	Pontos máximos	Dia	Hora	15 min	01 h	04 h	24 h	96 h
Julho	Horária	14/07/2010	02:15:00	0,8	13	14,2	15,8	16,4
	Acumulada	14/07/2010	03:00:00	0	1	13,6	16	16,6
	Horária	15/07/2010	07:30:00	0,4	2,2	5,4	14	30,8
	Acumulada	15/07/2010	10:00:00	0	0,8	4,8	16,2	33
	Horária	17/07/2010	03:15:00	2,4	11,8	22,8	41,6	75,6
	Acumulada	17/07/2010	18:15:00	0,2	0,8	3	75,8	114,2
	Horária	28/07/2010	04:45:00	1	4,8	5	5,2	5,4
	Acumulada	28/07/2010	05:45:00	0,2	0,4	5,4	5,6	5,8

Tabela 34 – Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Setembro de 2010.

	Pontos máximos	Dia	Hora	15 min	01 h	04 h	24 h	96 h
Setembro	Horária	06/09/2010	11:45:00	0,20	1,40	1,40	1,80	1,80
	Acumulada	06/09/2010	12:15:00	0,00	0,60	1,40	1,80	1,80
	Horária	08/09/2010	05:30:00	0,00	5,20	6,40	7,60	9,40
	Acumulada	08/09/2010	16:45:00	0,00	0,60	4,80	17,80	19,60
	Horária	26/09/2010	19:15:00	0,80	3,00	5,40	5,40	7,00
	Acumulada	27/09/2010	10:00:00	0,00	0,20	3,40	16,20	17,80
	Horária	28/09/2010	07:30:00	0,20	2,80	5,80	9,60	24,20
	Acumulada	28/09/2010	08:00:00	0,00	0,60	5,40	9,00	24,20

Tabela 35 – Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Outubro de 2010.

	Pontos máximos	Dia	Hora	15 min	01 h	04 h	24 h	96 h
Outubro	Horária	03/10/2010	07:30:00	2.0	7.4	15.8	16.0	19.2
	Acumulada	03/10/2010	12:45:00	0.0	0.6	10.8	31.4	34.6
	Horária	18/10/2010	22:30:00	1.4	4.8	10.8	20.6	20.6
	Acumulada	19/10/2010	03:30:00	0.0	0.8	7.6	25.2	29.8
	Horária	27/10/2010	02:00:00	7.8	23.4	26.2	52.6	63.8
	Acumulada	27/10/2010	07:45:00	0.0	1.0	14.0	74.4	94.2

Tabela 36 – Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Novembro de 2010.

	Pontos máximos	Dia	Hora	15 min	01 h	04 h	24 h	96 h
Novembro	Horária	06/11/2010	17:15:00	1.8	12.6	15.4	16.8	16.8
	Acumulada	06/11/2010	23:15:00	0.2	0.8	5.0	23.8	23.8
	Horária	11/11/2010	05:30:00	2.0	9.0	18.2	26.2	26.2
	Acumulada	11/11/2010	07:30:00	0.2	0.8	18.6	30.2	30.2
	Horária	11/11/2010	16:15:00	1.0	3.2	3.2	34.6	34.6
	Acumulada	11/11/2010	17:00:00	0.0	1.0	3.2	34.6	34.6
	Horária	21/11/2010	00:45:00	1.8	8.6	9.8	9.8	11.8
	Acumulada	21/11/2010	02:15:00	0.0	0.6	12.2	12.2	14.2
	Horária	25/11/2010	00:45:00	0.6	4.6	5.2	6.0	10.0
	Acumulada	25/11/2010	02:45:00	0.0	0.2	9.4	10.4	12.2

Tabela 37 – Resumo dos Eventos Pluviométricos do Mês de Dezembro de 2010

	Pontos máximos	Dia	Hora	15 min	01 h	04 h	24 h	96 h
Dezembro	Horária	02/12/2010	20:15:00	1,8	23,6	23,6	23,6	23,8
	Acumulada	03/12/2010	01:15:00	0	0,4	5	28,6	28,8
	Horária	05/12/2010	22:15:00	9,2	49,6	64	64	92,8
	Acumulada	06/12/2010	01:15:00	0,2	0,8	66,8	81,2	110
	Horária	06/12/2010	17:30:00	1	2,4	2,4	83,6	112,4
	Acumulada	06/12/2010	18:15:00	0	1	2,4	83,6	112,4
	Horária	09/12/2010	19:45:00	1,4	3,8	5,2	5,2	89
	Acumulada	10/12/2010	09:45:00	0	0,2	1,8	14	17
	Horária	14/12/2010	17:30:00	1,4	7,4	7,4	13,2	13,2
	Acumulada	14/12/2010	19:00:00	0	0,8	9,8	14,8	15,6
	Horária	16/12/2010	00:30:00	4	14,6	18	23,4	42,4
	Acumulada	16/12/2010	03:15:00	0	0,6	17,6	23,2	44,2
	Horária	22/12/2010	21:00:00	2,8	26	26,6	26,6	28,6
	Acumulada	22/12/2010	22:45:00	0,2	0,8	30	30	32
	Horária	23/12/2010	20:15:00	1	4,2	5,2	27,6	38,2
	Acumulada	24/12/2010	01:15:00	0,2	1	2,6	9,4	41,4
	Horária	27/12/2010	22:15:00	6,4	20,6	30,8	30,8	32,6
	Acumulada	28/12/2010	03:30:00	0	0,4	5,6	43,4	43,6
	Horária	28/12/2010	19:45:00	1	3,8	5,6	49	49
	Acumulada	29/12/2010	00:00:00	0	0,2	6,4	18,4	56,6
Horária	30/12/2010	02:00:00	2	14	14	14,6	71,8	
Acumulada	30/12/2010	03:00:00	0	0	14	14,4	71,8	