

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Jocasta Lopes

**AVALIAÇÃO GEOTÉCNICA DE ÁREA DE MORADIAS
IRREGULARES DE PORTO ALEGRE:
ESTUDO NA VILA PEDREIRA**

Porto Alegre
dezembro 2011

JOCASTA LOPES

**AVALIAÇÃO GEOTÉCNICA DE ÁREA DE MORADIAS
IRREGULARES DE PORTO ALEGRE:
ESTUDO NA VILA PEDREIRA**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Luiz Antonio Bressani

Porto Alegre
dezembro 2011

JOCASTA LOPES

**AVALIAÇÃO GEOTÉCNICA DE ÁREA DE MORADIAS
IRREGULARES DE PORTO ALEGRE:
ESTUDO NA VILA PEDREIRA**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 19 de dezembro de 2011

Prof. Luiz Antonio Bressani
PhD pelo Imperial College, University of London, Grã Bretanha
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Luiz Antonio Bressani (UFRGS)
PhD pelo Imperial College, University of London, Grã Bretanha

Marcelo Heidemann
MSc. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Alexandra Passuelo
Dra. pela Università Politécnica delle Marche, Itália

Dedico este trabalho a meus pais, Teno e Léa, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Luiz Antonio Bressani, orientador deste trabalho, pelo apoio contínuo e amizade.

Agradeço a Profa. Carin Maria Schmitt, pela paciência, tolerância e por ter lido o meu trabalho infinitas vezes, sempre ajudando a melhorá-lo.

Agradeço aos meus amigos que sempre me apoiaram e pelas palavras de incentivo nos momentos mais difíceis, em especial ao meu namorado, Leonardo DeMartini, pela orientação, companhia, carinho e paciência.

Agradeço a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela oportunidade de aprender com grandes mestres.

Que ninguém se engane, só se consegue a simplicidade
através de muito trabalho.

Clarice Lispector

RESUMO

O presente trabalho visa, em sua primeira parte, buscar e nomear os principais aspectos de comunidades de moradias irregulares, tanto os sociais quanto os físicos, mostrando o porquê de serem consideradas áreas de risco, classificar os principais problemas geotécnicos de estabilidade de taludes e seus condicionantes e listar as etapas necessárias para uma investigação geotécnica bem sucedida. Na segunda parte deste trabalho é feita uma avaliação geotécnica da Vila Pedreira, localizada no bairro Cristal de Porto Alegre. Montando-se um roteiro para a investigação geotécnica efetuada no local, dividido em estudos iniciais e estudos de campo, nomearam-se os perigos geotécnicos a que esta área está sujeita, através de análises qualitativas do local, baseando-se em estudos preliminares quanto a provável natureza do solo ou rocha desta área. Durante os estudos iniciais foi previsto a existência de uma grande quantidade de descontinuidades nas rochas, devido à proximidade da comunidade a uma falha geológica, o que se comprovou nos estudos de campo. Após análise dos resultados dos estudos concluiu-se que o principal perigo geotécnico da Vila Pedreira seria queda de blocos rochosos.

Palavras-chave: Moradias Irregulares. Estabilidade de Taludes. Investigação de Campo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição anual do número de mortes por escorregamentos no Brasil no período de 1988 a 2008.....	12
Figura 2 – Diagrama de etapas da pesquisa.....	15
Figura 3 – Escorregamento em talude de corte, Jandira, SP, em 2009.....	22
Figura 4 – Construção de moradias muito próximas ao talude de corte em Jaraguá do Sul, SC, em 2008.....	22
Figura 5 – Lançamento e acúmulo de lixo no talude ou encosta em São Bernardo, SP, em 2005.....	23
Figura 6 – Construção em margens de córregos em Itapeva, SP, em 2007.....	23
Figura 7 – Perfil de encosta ou talude natural.....	26
Figura 8 – Perfil de encosta com taludes de corte e aterro.....	26
Figura 9 – Cálculo da inclinação de uma encosta.....	27
Figura 10 – Cálculo da declividade.....	27
Figura 11 – Perfil esquemático do processo de rastejo.....	30
Figura 12 – Árvores inclinadas e degraus de abatimento indicando processo de rastejo.....	30
Figura 13 – Deslizamentos planares induzidos pela ocupação.....	32
Figura 14 – Esquema de escorregamento planar ou translacional de solos.....	32
Figura 15 – Deslizamento circular ou rotacional.....	34
Figura 16 – Esquema de escorregamento rotacional.....	34
Figura 17 – Escorregamento rotacional em Jaraguá do Sul, SC, em dezembro 2008.....	35
Figura 18 – Esquema de escorregamento em cunha.....	35
Figura 19 – Escorregamento em cunha em talude de filito alternado com quartzito da Formação Cercadinho em Belo Horizonte, MG.....	36
Figura 20 – Escorregamento em cunha em quartzito em Rio Acima, MG.....	36
Figura 21 – Exemplos de queda de blocos rochosos em Santos, SP, em 1992 e 2009.....	36
Figura 22 – Situação de risco de tombamento de bloco rochoso.....	38
Figura 23 – Situação de risco de rolamento de bloco rochoso.....	38
Figura 24 – Perfil esquemático de rolamento de bloco rochoso.....	38
Figura 25 – Perfil esquemático de processos do tipo corrida.....	39
Figura 26 – Acidente associado ao processo do tipo corrida.....	39
Figura 27 – Esquema de corrida detrítica.....	39
Figura 28 – Exemplos da diversidade de materiais transportados pelos processos de corridas de detritos nos desastres que assolaram o estado de Santa Catarina em novembro de 2008, no município de Ilhota (Braço do Baú).....	40

Figura 29 – Esquema ilustrativo de escorregamento induzido por ação antrópica, no caso talude de corte.....	41
Figura 30 – Escorregamento em talude de corte, Jandira, SP, em 2009.....	42
Figura 31 – Localização da Vila Pedreira.....	58
Figura 32 – Vila Pedreira apontada no mapa geológico de Porto Alegre.....	58
Figura 33 – Histórico das imagens aéreas.....	59
Figura 34 – Divisão das zonas de estudo.....	60
Figura 35 – Imagem do direcionamento das fraturas na zona 1.....	61
Figura 36 – Vegetação crescendo nas fraturas da rocha na zona 1.....	61
Figura 37 – Blocos em perigo de queda vistos do topo do talude na zona 1.....	61
Figura 38 – Moradia precária posicionada próxima ao talude na zona 1.....	61
Figura 39 – Mergulho das fraturas em sentido favorável a estabilidade na zona 2.....	62
Figura 40 – Vegetação de médio porte no meio do talude na zona 2.....	62
Figura 41 – Bloco em perigo de queda e moradia precária localizada rente ao talude na zona 2.....	63
Figura 42 – Aterro com entulhos rente a moradia na zona 2.....	63
Figura 43 – Blocos em perigo de deslocamento na zona 3.....	64
Figura 44 – Blocos retirados pelos moradores na zona 3.....	64
Figura 45 – Concentração de água superficial na zona 3.....	64
Figura 46 – Bueiro obstruído na zona 3.....	64
Figura 47 – Fraturas do talude rochoso na zona 4.....	65
Figura 48 – Moradia precária construída sobre concentração de água superficial na zona 4.....	65
Figura 49 – Moradia construída próxima do talude na zona 4.....	66
Figura 50 – Moradia precária construída no meio do talude na zona 4.....	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Sequência de etapas de uma investigação ideal.....	47
Quadro 2 – Quadro resumo das observações feitas em estudo de campo nas quatro zonas.....	67

SUMÁRIO

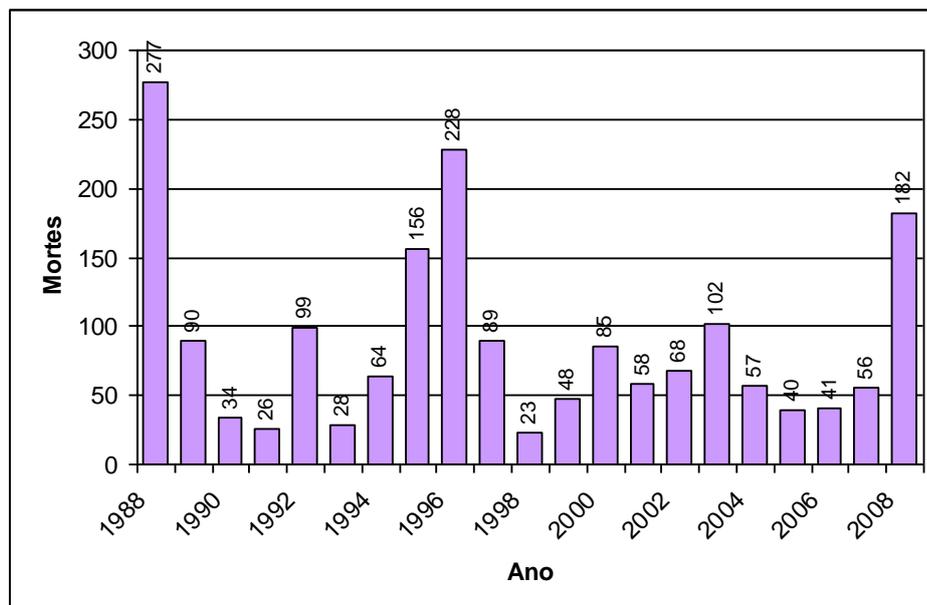
1 INTRODUÇÃO	12
2 MÉTODO DE PESQUISA	14
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA.....	14
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	14
2.2.1 Objetivo principal	14
2.2.2 Objetivos secundários	14
2.3 PREMISSA	14
2.4 DELIMITAÇÕES.....	14
2.5 LIMITAÇÕES.....	15
2.6 DELINEAMENTO.....	15
3 MORADIAS IRREGULARES	17
3.1 ASPECTOS FÍSICOS.....	17
3.2 ASPECTOS SOCIAIS.....	18
3.3 AÇÕES ANTRÓPICAS.....	20
3.4 ÁREAS DE RISCO.....	23
4 ESTABILIDADE DE TALUDES	25
4.1 CONCEITOS BÁSICOS.....	25
4.2 CLASSIFICAÇÕES DE MOVIMENTOS DE MASSA.....	28
4.2.1 Rastejo	29
4.2.2 Deslizamento ou escorregamento	30
4.2.2.1 Deslizamentos planares ou translacionais.....	32
4.2.2.2 Deslizamentos circulares ou rotacionais.....	34
4.2.2.3 Deslizamentos em cunha.....	35
4.2.3 Queda	36
4.2.4 Corrida	38
4.3 FATORES CONDICIONANTES DOS MOVIMENTOS DE MASSA.....	39
4.4 MEDIDAS PREVENTIVAS.....	42
5 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA	44
5.1 FORMULAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO.....	45
5.2 COLETA DE DADOS.....	47
5.2.1 Coleta de dados no escritório	47
5.2.2 Coleta de dados em campo	49

6 ELABORAÇÃO DE ROTEIRO INVESTIGATIVO.....	54
6.1 ESTUDOS INICIAIS.....	54
6.2 ESTUDO DE CAMPO.....	54
7 RESULTADOS E ANÁLISES.....	57
7.1 ESTUDOS INICIAIS.....	57
7.2 ESTUDOS DE CAMPO.....	59
7.2.1 Estudo da zona 1.....	60
7.2.2 Estudo da zona 2.....	62
7.2.3 Estudo da zona 3.....	63
7.2.4 Estudo da zona 4.....	65
7.2.5 Resumo das observações feitas nas quatro zonas.....	66
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	68
REFERÊNCIAS.....	70

1 INTRODUÇÃO

Os eventos ocorridos no Brasil nestes últimos anos, como os acidentes geotécnicos nos estados de Santa Catarina, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul, trazem consigo danos de todas as espécies: sócio-econômicas, sócio-ambientais e, até mesmo, a perda de vidas. A figura 1 mostra o número de mortes por escorregamentos nos últimos anos no Brasil. As pessoas mais vulneráveis a estes tipos de danos são aquelas sujeitas a um ambiente que carece de infraestrutura.

Figura 1 – Distribuição anual do número de mortes por escorregamentos no Brasil no período de 1988 a 2008



(fonte: IPT, 2009 apud TOMINAGA, 2009)

O crescimento demográfico e as correntes migratórias estão aumentando a população dos grandes centros urbanos que vivem em áreas instáveis e sem infraestrutura. A precariedade das estruturas e a falta de critérios técnicos na sua implantação e execução, as tornam mais vulneráveis aos danos causados por escorregamentos. No início de 2010, o escorregamento no Morro do Bumba, em Niterói, RJ, destruiu mais de quarenta casas (NOVO..., 2010) e matou quarenta e oito pessoas (MORRO..., 2010).

Este trabalho visa classificar os perigos geotécnicos encontrados na Vila Pedreira, comunidade do bairro Cristal, na cidade de Porto Alegre, que é uma área de moradias

irregulares. No capítulo 2 estão descritas as diretrizes adotadas para a pesquisa, comentando sobre os objetivos, premissa, delimitações, limitações e delineamento do trabalho. No capítulo 3 tem-se descritos os principais aspectos físicos e sociais de áreas de moradias irregulares que as tornam áreas de risco. No capítulo 4, aborda-se a estabilidade de taludes citando alguns conceitos básicos, a classificação de movimentos, alguns fatores condicionantes de movimentos taludares e medidas preventivas. O processo de investigação geotécnica é o tema do capítulo 5, em que se comentam as etapas de um processo de investigação geotécnica bem sucedida, citando os pontos a serem estudados durante o processo. No capítulo 6 é elaborado um roteiro para a investigação geotécnica a ser feita na área estudada, dividido em estudos iniciais e estudo de campo. Os resultados e análises destes são apresentados no capítulo 7, havendo uma subdivisão na área estudada para a melhor descrição dos resultados do estudo de campo. As considerações finais do trabalho foram apresentadas no capítulo 8.

2 MÉTODO DE PESQUISA

Neste capítulo serão apresentadas as diretrizes para a elaboração do trabalho.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho é: quais são os perigos geotécnicos que assomam a Vila Pedreira, área de moradias irregulares de Porto Alegre?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Os objetivos do trabalho estão classificados em principal e secundários e são apresentados nos próximos itens.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é a indicação dos perigos geotécnicos que assomam a Vila Pedreira, área de moradias irregulares de Porto Alegre.

2.2.2 Objetivos secundários

O objetivo secundário deste trabalho é a elaboração de um roteiro para uma investigação qualitativa de campo.

2.3 PREMISSA

O trabalho tem por premissa que problemas geotécnicos causam graves danos que são agravados quando ocorrem em áreas de moradias irregulares.

2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a Vila Pedreira, bairro da cidade de Porto Alegre.

2.5 LIMITAÇÕES

O trabalho ficou limitado em:

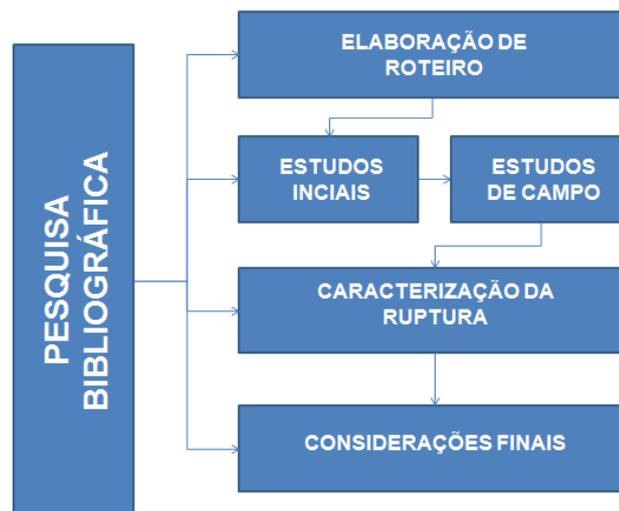
- a) uma análise qualitativa dos perigos geotécnicos;
- b) a análise se baseará em uma investigação de campo da superfície do terreno, não havendo ensaios de subsolo;
- c) os estudos de campo serão feitos ao longo do talude explorado para a extração do material utilizado pela antiga pedreira localizada na área.

2.6 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 2, e descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) elaboração de roteiro;
- c) estudos iniciais;
- d) estudos de campo;
- e) identificação dos modos de ruptura;
- f) considerações finais.

Figura 2 – Diagrama de etapas da pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

A pesquisa bibliográfica foi desenvolvida durante todo o decorrer do trabalho exceto durante os estudos de campo, buscou-se conhecimento sobre o tema abordado, principalmente sobre o processo de investigação geotécnica, estabilidade de taludes e características de áreas de moradias irregulares. A etapa elaboração de roteiro consistiu em desenvolver um roteiro para os estudos iniciais e um *check-list* para os estudos de campo, baseando-se na literatura.

Os estudos iniciais consistiram em uma pesquisa direcionada à caracterização do material encontrado no local, um levantamento do histórico geotécnico da área estudada e estudos de imagens aéreas buscando indicativos de movimentos taludares. O estudo de campo consistiu em uma coleta de informações sobre as encostas encontradas no local ao qual se delimita o trabalho (Vila Pedreira), para a caracterização de possíveis rupturas.

A caracterização da ruptura foi a identificação do modelo geomecânico que rege a instabilidade encontrada nas áreas investigadas, foi baseada nos dados coletados em campo em conjunto com a pesquisa bibliográfica realizada. Por fim, são apresentadas as considerações finais do trabalho.

3 MORADIAS IRREGULARES

O surgimento das áreas de moradias irregulares vem de um constante crescimento demográfico e de correntes migratórias que provocaram um intenso crescimento desordenado das cidades, ocasionados principalmente por faltas de políticas governamentais e agravado pelo estado de pobreza da população. Esta expansão urbana fez com que surgissem grandes ocupações irregulares em áreas impróprias, sujeitas a inundações, locais poluídos, com solos de baixa capacidade de suporte para fundações e áreas de encostas. Estas áreas apresentam extrema carência de infraestrutura básica, saúde, segurança, transporte e, especialmente no caso de ocupação de encosta, segurança física do terreno (OLIVEIRA; MÉLO, 2005). Em acordo com os autores anteriormente citados, Carvalho et al. (2007, p. 3) também ressaltam que "A ausência ou má aplicação de uma política de habitação e de desenvolvimento urbano levou boa parte da população a ocupar áreas ambientalmente frágeis, especialmente em margens de rios e encostas."

Nos próximos itens serão abordados os aspectos físicos, sociais e ações antrópicas típicos de áreas de moradias irregulares e uma breve descrição de áreas de risco.

3.1 ASPECTOS FÍSICOS

A combinação da susceptibilidade do local e da deficiência estrutural, para evitar que acidentes ocorram, faz com que as áreas de moradias irregulares tornem-se áreas de grande potencial para eventos como escorregamentos e inundações. Idéia reforçada por Carvalho et al. (2007, p. 3):

Em regiões marcadas por períodos chuvosos mais severos, tais ocupações, caracterizadas por baixo construtivo e pela ausência de infra-estrutura urbana, tornam-se extremamente vulneráveis a eventos como os deslizamentos de encostas e inundações que, por sua vez, implicam acidentes envolvendo danos materiais e perdas humanas.

Na verdade, não são somente áreas de moradias irregulares que estão sujeitas a perigos geotécnicos como escorregamentos, toda área de grande declividade, composta por materiais frágeis ou com formação desfavorável também está sujeita a estes tipos de eventos. Carvalho et al. (2007, p. 9) citam que:

De fato, apesar da possibilidade de ocorrência de escorregamentos atingir todas as áreas de maior declividade das cidades, é inegável que os acidentes são maiores e mais frequentes nas favelas, loteamentos irregulares e demais formas de assentamentos precários que abrigam a população de baixa renda.

Ratificando o que foi dito por Carvalho et al. (2007), Tominaga (2009, p. 37) afirma que:

Os escorregamentos e demais movimentos de massa são processos que dependem de vários fatores ambientais que atuam naturalmente na evolução das formas de relevo de morros e serras. Entretanto, nos últimos anos, o expressivo aumento do número de acidentes associados a escorregamentos nas encostas urbanas tem como principal causa a ocupação desordenada de áreas com alta suscetibilidade a escorregamentos [...].

Carvalho et al. (2007, p. 9) ainda ressaltam que:

A precariedade da ocupação (representada por aterros instáveis, taludes de corte em encostas íngremes, palafitas, ausência de redes de abastecimento de água e coleta de esgoto), aumenta a vulnerabilidade das áreas já naturalmente frágeis, fazendo com que surjam setores de alto risco que, por ocasião dos períodos chuvosos mais intensos, têm sido palco de graves acidentes.

A vulnerabilidade das áreas de moradias irregulares nasce, principalmente, da falta de métodos construtivos adequados na implantação de moradias e vias de acesso, que se dá de forma aleatória, e as ações governamentais que buscam o tratamento destas áreas são dificultadas pela forma espontânea com que estas são parceladas e ocupadas (MENDONÇA et al., 1998). A falta de métodos construtivos adequados causa insegurança quanto às condições de drenagem pluvial, lançamentos de águas residuais, possíveis rupturas de tubulações, dentre outros fatores. Por estes motivos utilizam-se parâmetros saturados de resistência ao cisalhamento dos solos quando se faz uma análise de estabilidade de taludes de áreas de moradias irregulares (OLIVEIRA; MÉLO, 2005).

3.2 ASPECTOS SOCIAIS

A fase inicial de todo projeto de Engenharia Geotécnica compreende no estudo do local no qual se pretende empreender a obra. Muitas vezes estes locais possuem características específicas diferentes das abordadas em projetos corriqueiros, como exemplo, se tem os aspectos sociais que são necessários na abordagem de projetos de áreas de moradias irregulares. Oliveira e Mélo (2005, p. 544-545), ao comentarem sobre obras nessas áreas, destacam que:

[...] é imprescindível que os profissionais envolvidos tenham perfeito conhecimento da situação que enfrentam e que para a máxima otimização dos recursos, os projetos devem englobar não somente obras de infraestrutura e contenções, mas todo um trabalho sócio-educativo das áreas para que os moradores perpetuem o sucesso das intervenções.

[...] a experiência demonstra que a exclusão das comunidades beneficiadas dos processos de decisão e implantação dos serviços e empreendimentos a eles destinados gera projetos inadequados e total descompromisso por parte dos beneficiários em relação às melhorias implantadas.

Os aspectos sociais das áreas de moradias irregulares intervêm na elaboração dos projetos nos quais, muitas vezes, são restringidas soluções mais baratas devido a alterações provocadas por moradores depois da obra concluída. Exemplo desta afirmação é a utilização de muros de arrimo em gabião, que algumas vezes, têm-se as pedras de mão (rachão) retiradas pelos moradores (OLIVEIRA; MÉLO, 2005).

Estes aspectos causam insegurança e indefinições na hora da execução do projeto, que conforme Oliveira e Mélo (2005, p. 551), "[...] conduzem a intervenções, do ponto de vista de contenções, mais custosas.". No entanto, com a finalidade de atender o maior número de áreas possível, o poder público deseja obras menos onerosas. Por estas razões, os mesmos autores indicam que "[...] torna-se importante o desenvolvimento de ações sócio-educativas para minimizar as inseguranças de projeto através da educação e conscientização da comunidade.".

Os mesmos autores reafirmam a importância da participação da comunidade atendida e o desenvolvimento de projetos sociais nas decisões técnicas de Engenharia do projeto de forma a possibilitar análises menos conservadoras, que reduzirão custos das obras e possibilitarão um maior número de intervenções. Oliveira e Mélo (2005, p. 552) complementam essa idéia ao citarem que:

Em consonância com esta visão, atualmente, a totalidade dos programas sociais sob gestão do Ministério das Cidades e operacionalizados pela CAIXA tem como componente obrigatório o desenvolvimento de atividades de mobilização e organização comunitária, educação sanitária e ambiental e geração de trabalho e renda.

Para o sucesso dos projetos em áreas de moradias espontâneas, deve-se analisar o problema não de forma pontual ou visando uma solução a curto prazo, mas sim buscar intervir nas suas raízes sociais e nas diversas áreas que o problema engloba, como as áreas de sistema viário, geotecnia, drenagem, saneamento, meio ambiente e questões sociais e fundiárias (MENDONÇA et al., 1998).

Um dos agravantes dos problemas encontrados nestas áreas é a falta de consciência ambiental por parte dos moradores locais. Como afirmam Mendonça et al. (1998, p. 462), "A separação da vida nas favelas do restante da cidade, o que se percebe de modo cada vez mais intenso, resulta numa falta de conscientização do valor ambiental, o que é a principal causa de ações antrópicas."

3.3 AÇÕES ANTRÓPICAS

Ações antrópicas são ações realizadas pelos homens. Conforme Oliveira e Mélo (2005), nas áreas de ocupação espontânea, boa parte dos riscos das encostas se devem a estas. Mendonça et al. (1998, p. 458-459) citam que as ações antrópicas agem de forma que "[...] promovem a diminuição da resistência dos materiais envolvidos e/ou elevam a magnitude das solicitações que contribuem para a deflagração de movimentos de massa.". Os mesmos autores ainda comentam que muitas vezes, nas favelas, as condicionantes naturais são favoráveis a ocupação da encosta, no entanto os fatores antrópicos são tão nocivos a estabilidade desta que acabam se sobrepondo aos condicionantes naturais. Mendonça e Guerra¹ (1997 apud MENDONÇA et al., 1998), apresentam as principais ações antrópicas que podem afetar a estabilidade de encostas e que serão descritas nos parágrafos a seguir:

- a) desmatamento, capina ou queimada;
- b) implantação de moradias em área sujeita a evolução natural da encosta;
- c) execução de cortes e aterro a meia encosta para implantação de moradias e acessos;
- d) abertura aleatória de vias de acessos;
- e) despejo de detritos (lixo, entulho, matérias de escavações e refugos) sobre a superfície da encosta;
- f) obstrução de cursos d'água naturais;
- g) despejo de águas pluviais e esgotos diretamente sobre o terreno e de forma concentrada e pontual;
- h) execução de redes de água, esgoto e drenagem de forma deficiente, provocando vazamentos;
- i) execução de fossas absorventes (sumidouros);
- j) plantação de vegetação não recomendadas, tais como bananeiras.

¹ MENDONÇA, M. B.; GUERRA, J. A. T. A problemática dos processos geodinâmicos frente a ocupação de encostas. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 2., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABMS; ABGE; ISSMGE, 1997.

O **desmatamento, capina ou queimada** é utilizado principalmente para controle de pragas, segurança, etc., favorece processos erosivos e pequenas rupturas superficiais devido à retirada de raízes, aumenta a infiltração e reduz efeitos benéficos da evapo-transpiração favorecendo a saturação do talude. Esta situação é facilmente remediada com reflorestamentos, no entanto, quanto a questão de **implantação de moradias em área sujeita a evolução natural da encosta**, recomenda-se que: "As moradias nesses locais, que se configurem como riscos ou como agentes instabilizadores devem ser removidas." (OLIVEIRA; MÉLO, 2005, p. 547) (figura 3).

Esses autores ainda indicam que na **execução de cortes e aterro a meia encosta para a implantação de moradias e acessos**, um dos problemas se apresenta na falta de critério técnico na execução dos aterros, criando superfícies de rupturas favoráveis, bem como dos cortes. Visto que, conforme Oliveira e Mélo (2005, p. 547):

Os aterros executados sem o devido controle técnico, apresentam-se muitas vezes fofo, pouco compactos ou consistentes, com elevada porosidade que, pela condição de não saturação, o executor tem a sensação de uma boa resistência que é perdida com a eliminação da sucção (saturação).

Nos casos de cortes, estes normalmente são executados para a implantação de casas e não muito raramente, os moradores executam paredes de alvenaria de blocos cerâmicos (sem função estrutural de contenção) encostadas aos cortes (figura 4). Por estes e outros motivos há a necessidade de conhecimento das implicações de crescimentos e ampliações na área por parte da população, para que as melhorias executadas nas favelas tenham sucesso. É importante que a própria comunidade tenha papel regulador no crescimento da área pois, após a execução de obras de saneamento e infraestrutura, a área tende a ser mais valorizada, tornando-se atraente para mais ocupações (OLIVEIRA; MÉLO, 2005).

Oliveira e Mélo (2005, p. 548) comentam sobre a **abertura aleatória de vias de acessos** que "[...] quando da implantação pelos moradores, normalmente não é executado nenhum tipo de sistema de drenagem, que com o aumento do escoamento superficial, aumenta-se o arraste de partículas de solos (processos erosivos)". Os autores ainda indicam que os projetos das vias de acessos devem suprir as necessidades de redes viárias da comunidade, mostrando a importância da participação dos beneficiados quando na elaboração dos projetos para que se evite a construção de futuras vias pelos próprios moradores. Deve-se considerar também que

estas vias funcionam como reguladores de drenagem pluvial bem como na delimitação de área para futuros crescimentos.

Figura 3 – Escorregamento em talude de corte, Jandira, SP, em 2009



(fonte: TOMINAGA, 2009)

Figura 4 – Construção de moradias muito próximas ao talude de corte em Jaraguá do Sul, SC, em 2008



(fonte: TOMINAGA, 2009)

O principal problema no **despejo de detritos (lixo, entulho, matérias de escavações e refugos) sobre a superfície da encosta** é que "[...] o despejo de materiais de forma não controlada estabelece superfícies de ruptura favoráveis, principalmente por se tratar de materiais não consolidados ou compactados [...]" (OLIVEIRA; MÉLO, 2005, p. 548) (figura 5). Outra ação antrópica encontrada nas áreas de moradias irregulares é a **obstrução de cursos d'água naturais** (figura 6) por moradias que, devido a falta de espaço, ocupam locais inapropriados. Sobre esses casos, Oliveira e Mélo (2005, p. 550) comentam que é "[...] importante a execução de elementos reguladores desses cursos d'águas, bem como a retirada, se necessária, de moradias."

É importante lembrar que justamente pelo caráter clandestino das ocupações, muitas vezes "[...] verifica-se a inexistência de redes de esgoto e drenagem nas áreas de ocupação desordenada.". No entanto, quando estas existem, muitas vezes são executadas sem levarem em conta critérios técnicos de Engenharia ao fazerem o **despejo de águas pluviais e esgotos de forma concentrada**. Assim, "O lançamento de águas pluviais e/ ou esgotos de forma concentrada favorece uma maior infiltração localizada e conseqüentemente a saturação do

solo na região, podendo provocar a instabilização do talude."(OLIVEIRA; MÉLO, 2005, p. 550).

Figura 5 – Lançamento e acúmulo de lixo no talude ou encosta em São Bernardo, SP, em 2005



(fonte: TOMINAGA, 2009)

Figura 6 – Construção em margens de córregos em Itapeva, SP, em 2007



(fonte: TOMINAGA, 2009)

Esta é a mesma natureza dos problemas causados pelos **vazamentos das redes de água, esgoto e drenagem**, que quando ocorrem provocam um despejo de águas de forma concentrada, e da **execução de fossas absorventes (sumidouros)**. O princípio de funcionamento dessas fossas é melhorar a qualidade do esgoto ali despejado através de processos bioquímicos que ocorrem através da absorção do esgoto pelo solo ao redor da fossa. O problema deste tipo de tratamento de esgoto é que quando estas fossas são executadas em encostas, elas se tornam uma fonte de despejo de águas concentrado, podendo, como visto anteriormente, diminuir a resistência do maciço. Outra ação antrópica que também age aumentando o nível d'água no solo é a **plantação de vegetação não recomendadas, tais como bananeira**, Oliveira e Mélo (2005, p. 550) explicam que: "É comum verificar nos locais vegetações não recomendadas para taludes tais como bananeira, que tendem a coletar uma determinada área de águas pluviais e despejar de forma concentrada pela raiz."

3.4 ÁREAS DE RISCO

A definição de áreas de risco geológico, segundo o art. 28 da Lei 7.165, de 27 de agosto de 1996, são aquelas sujeitas a sediar evento geológico natural ou induzido ou a serem por ele

atingidas (CAMPOS et al., 2010). Para a Engenharia Geotécnica, áreas de risco são definidas como áreas passíveis de serem atingidas por fenômenos ou processos naturais e/ou induzidos que causem efeito adverso. Usualmente, nas cidades brasileiras, essas áreas correspondem a núcleos habitacionais de baixa renda (CARVALHO et al., 2007).

As áreas de risco necessitam de constante observação e Carvalho et al. (2007, p. 17, grifo do autor) explicam a base do gerenciamento de áreas urbanas:

O gerenciamento de áreas urbanas com risco de deslizamentos, enchentes e inundações tem como base quatro questões, a partir das quais o trabalho é desenvolvido.

A primeira questão é relativa ao tipo de processo a ser mapeado/identificado. Deve-se definir quais são os processos presentes e como eles ocorrem, identificando quais são seus condicionantes naturais e/ou antrópicos.

Definidos os processos, o mapeamento identificará onde estes ocorrem e, por meio de estudos de correlação e monitoramento, serão definidos os momentos de maior probabilidade de deflagração do processo.

Sabendo o **tipo** de processo, **como**, **onde** e **quando** ele poderá ocorrer, serão definidas as medidas a serem tomadas, sejam de caráter estrutural ou não-estrutural e quem será o responsável por elas.

Para a correta caracterização dos perigos em que certas áreas estão sujeitas, se faz necessário o conhecimento preliminar das possíveis ameaças à estabilidade de taludes e encostas. Isto será tratado no próximo capítulo.

4 ESTABILIDADE DE TALUDES

Neste capítulo serão abordados alguns pontos essenciais para a análise de estabilidade de taludes. O assunto foi subdividido da seguinte maneira:

- a) conceitos básicos;
- b) classificação de movimentos;
- c) fatores condicionantes;
- d) medidas preventivas.

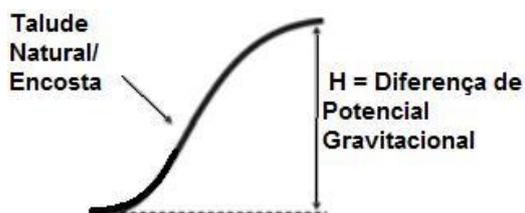
4.1 CONCEITOS BÁSICOS

Alguns conceitos básicos devem ser conhecidos para que se tenha uma linguagem única entendida por todos. Desta maneira, seguem-se alguns conceitos definidos por diferentes autores e que durante o percorrer do trabalho serão utilizados:

- a) talude;
- b) inclinação;
- c) declividade;
- d) movimento de massa;
- e) evento;
- f) perigo;
- g) vulnerabilidade;
- h) suscetibilidade;
- i) risco.

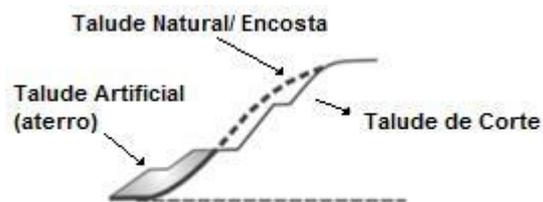
Carvalho et al. (2007) definem **taludes naturais** como encostas de maciços de solo, rocha ou mistos que possuem superfície não horizontal e que tem sua origem dada por agentes naturais (figura 7). Por sua vez, **talude de corte**, como um talude resultante de escavação executada pelo homem e, **talude de aterro**, como taludes originados pelo depósito de materiais, como solo, rocha e rejeitos industriais ou de mineração (figura 8).

Figura 7 – Perfil de encosta ou talude natural



(fonte: CARVALHO et al., 2007)

Figura 8 – Perfil de encosta com taludes de corte e aterro



(fonte: CARVALHO et al., 2007)

É importante saber diferenciar o conceito de **inclinação** e **declividade**. A **inclinação** é o ângulo médio da encosta ou talude, medido a partir de sua base, com o eixo horizontal (CARVALHO et al., 2007) (figura 9), e é calculada pela fórmula 1:

$$I = \arctan (H/L) \quad (\text{fórmula 1})$$

Onde:

I= inclinação da encosta ou talude;

H= altura da encosta ou talude;

L= comprimento na horizontal da encosta ou talude.

E, **declividade**, é definida por Carvalho et al. (2007, p. 30) como "[...] o ângulo de inclinação em uma relação percentual entre o desnível vertical (H) e o comprimento na horizontal (L) da encosta [...]" (figura 10), ou seja:

$$D = (H/L) \times 100 \quad (\text{fórmula 2})$$

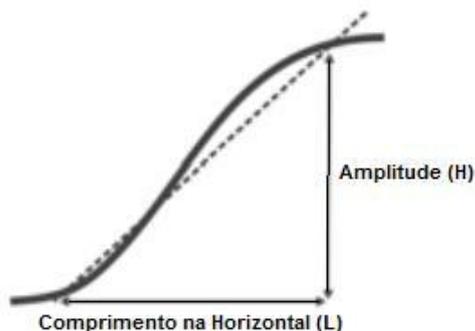
Onde:

D= declividade da encosta ou talude;

H= altura da encosta ou talude;

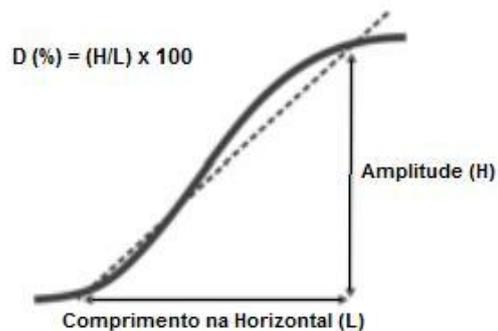
L= comprimento na horizontal da encosta ou talude.

Figura 9 – Cálculo da inclinação de uma encosta



(fonte: CARVALHO et al., 2007)

Figura 10 – Cálculo da declividade



(fonte: CARVALHO et al., 2007)

Muitas vezes utiliza-se os termos genéricos escorregamentos ou deslizamentos para se referir a um movimento de massa de forma geral. Tominaga (2009, p. 27) define que **movimento de massa**:

[...] é o movimento do solo, rocha e/ou vegetação ao longo da vertente sob a ação direta da gravidade. A contribuição de outro meio, como água ou gelo se dá pela redução da resistência dos materiais de vertente e/ou pela indução do comportamento plástico e fluido dos solos.

Carvalho et al. (2007, p. 25) definem **evento** como "[...] fenômeno com características, dimensões e localização geográfica registrada no tempo, sem causar danos econômicos e/ou sociais.", obviamente, os autores, ao conceituarem evento desta maneira, referem-se a evento adverso. Os mesmos autores ainda definem **perigo** (*hazard*) como o fenômeno ou condição que possui potencial para causar consequências desagradáveis.

Vulnerabilidade, suscetibilidade e risco são muitas vezes confundidos em suas definições. Neste trabalho **vulnerabilidade** será conceituada como o grau de perda de um dado elemento, podendo ser um elemento único ou um grupo, localizado em uma certa área passível de ser afetada por um fenômeno ou processo. A palavra **suscetibilidade** será utilizada para indicar "[...] a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em uma dada área, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência.". E a palavra **risco** para indicar "[...] relação entre a possibilidade de ocorrência de um dado processo ou fenômeno, e a magnitude de danos ou consequências sociais e econômicas sobre um dado elemento, grupo ou comunidade. Quanto maior a vulnerabilidade, maior o risco.". Os autores ainda indicam que para se compreender cada tipo de ameaça, deve-se buscar entender, primeiramente, os

fatores condicionantes, os agentes deflagradores e os elementos sob risco (CARVALHO et al., 2007, p. 26).

4.2 CLASSIFICAÇÕES DE MOVIMENTOS DE MASSA

Movimentos de massa podem ser induzidos, principalmente, pelas ações antrópicas listadas anteriormente que modificam as condições naturais do relevo, o que torna a ocorrência de deslizamentos mais comum em zonas com ocupações precárias de baixa renda (CARVALHO et al., 2007). Normalmente separam-se os movimentos de massas em diferentes classes, diferenciadas conforme a dinâmica, geometria e material do movimento.

Durante este trabalho será adotada a classificação proposta por Augusto Filho (1992), que também foi utilizada por Carvalho et al. (2007), no entanto são várias as opções de classificações relacionadas a deslizamentos. A classificação adotada separa, basicamente em quatro grupos, os movimentos de massa: rastejos, escorregamentos, quedas e corridas. Pode-se destacar para as diferentes classes de movimentos de massas adotadas os itens abaixo e esses serão detalhados a seguir (AUGUSTO FILHO, 1992):

- a) rastejos,
 - vários planos de deslocamento (internos);
 - velocidades muito baixas (cm/ano) e decrescentes com a profundidade;
 - movimentos constantes, sazonais ou intermitentes;
 - solo, depósitos, rocha alterada/fraturada;
 - geometria indefinida;
- b) escorregamentos,
 - poucos planos de deslocamento (externos);
 - velocidades médias (m/h) a altas (m/s);
 - pequenos a grandes volumes de material;
 - geometria planar em solos pouco espessos e solos e rochas com um plano de fraqueza;
 - geometria circular em solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas;
 - geometria de cunha em solos e rochas com dois planos de fraqueza;
- c) quedas,
 - sem planos de deslocamento;
 - movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado;

- velocidades muito altas (vários m/s);
 - material rochoso;
 - pequenos a médios volumes;
 - geometria variável: lascas, placas, blocos, etc.;
 - rolamento de matacão;
 - tombamento;
- d) corridas,
- muitas superfícies de deslocamento;
 - movimento semelhante ao de um líquido viscoso;
 - desenvolvimento ao longo das drenagens;
 - velocidades médias a altas;
 - mobilização de solo, rocha, detritos e água;
 - grandes volumes de material;
 - extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.

4.2.1 Rastejo

Os rastejos são movimentos lentos e contínuos, que envolvem grandes volumes de materiais, cujo deslocamento resultante ao longo do tempo é mínimo (mm a cm/ano), não apresentando uma diferenciação visível entre o material em movimento e o estacionário. Esse processo atua sobre os horizontes superficiais do solo, bem como, nos horizontes de transição solo/rocha e até mesmo em rocha, em profundidades maiores (figura 11). Também é incluído neste grupo o rastejo em solos de alteração (solos originados através do intemperismo de rochas do próprio local) ou em corpos de tálus (tipo de solo proveniente de outros locais, transportado para a situação atual por grandes movimentos gravitacionais de massa, apresentando uma disposição caótica de solos e blocos de rocha, geralmente, em condições de baixa declividade) (CARVALHO et al., 2007; TOMINAGA, 2009).

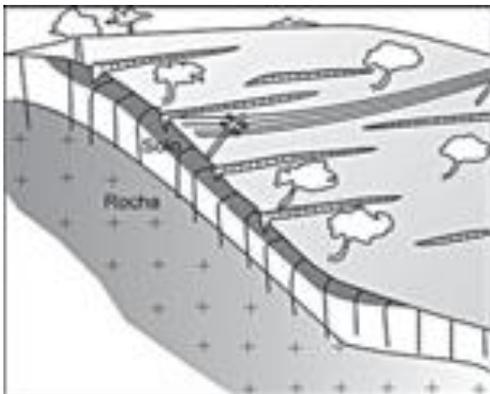
A principal causa de movimentação em rastejos é a ação da gravidade ligada com os efeitos das variações de temperaturas e umidade. Como ressalta Tominaga (2009, p. 34), "A causa da movimentação nos rastejos é a ação da gravidade, associada também aos efeitos das variações de temperatura e umidade. O processo de expansão e contração da massa de material, devido à variação térmica, provoca o movimento, vertente abaixo."

As principais marcas de ocorrência de rastejo são trincas observadas pelo terreno e diferentes inclinações em elementos fixos encontrados no local (figura 12), Carvalho et al. (2007, p. 33-34) comentam sobre este movimento:

Este processo (rastejo) não apresenta uma superfície de ruptura definida (plano de movimentação), e as evidências da ocorrência deste tipo de movimento são trincas observadas em toda a extensão do terreno natural, que evoluem vagarosamente, e árvores ou qualquer outro marco fixo, que apresentam inclinações variadas.

Sua principal causa antrópica é a execução de cortes em sua extremidade média inferior, o que interfere na sua precária instabilidade.

Figura 11 – Perfil esquemático do processo de rastejo



(fonte: CARVALHO et al., 2007)

Figura 12 – Árvores inclinadas e degraus de abatimento indicando processo de rastejo



(fonte: CARVALHO et al., 2007)

4.2.2 Deslizamento ou escorregamento

Deslizamentos ou escorregamentos são movimentos rápidos (na ordem de m/h a m/s), com volumes e superfícies de rupturas bem definidos (limites laterais e profundidades bem delimitadas). As porções de terrenos deslocam-se sob a ação da gravidade movimentando seu centro de massa para baixo e para fora do talude ou encosta (TOMINAGA, 2009). Carvalho et al. (2007, p. 34) resumem deslizamentos da seguinte maneira:

Os deslizamentos são processos marcantes na evolução das encostas, caracterizando-se por movimentos rápidos (m/h a m/s), com limites laterais e profundidade bem definidos (superfície de ruptura). Os volumes instabilizados podem ser facilmente identificados, ou pelo menos inferidos. Podem envolver solo, saprolito, rocha e depósitos. São subdivididos em função do mecanismo de ruptura, geometria e material que mobilizam.

As velocidades com que se dá o movimento do tipo deslizamento variam no tempo e as velocidades máximas atingidas variam conforme as características da ruptura e do terreno. Guidicini e Nieble (1983, p. 28-29) explicam que:

[...] durante a primeira fase do escorregamento, a massa em movimento avança com velocidade acelerada [...] à medida que o escorregamento se efetua, tendem a diminuir as forças que determinam o movimento e a massa vai atingindo posições cada vez mais estáveis. O movimento se torna assim retardado e para, ou assume caráter de rastejo.

A velocidade máxima do movimento depende da inclinação da superfície de escorregamento, da causa inicial de movimentação e da natureza do terreno. Os movimentos mais bruscos ocorrem em terrenos relativamente homogêneos, que combinam coesão com atrito interno elevado e nos quais a superfície de escorregamento é mais inclinada.

Carvalho et al. (2007) comentam que o principal agente deflagrador do processo de deslizamento são as chuvas. Os índices pluviométricos críticos, ou seja, os volumes de chuvas suficientes para desencadear o movimento, variam de acordo com a região, sendo menores para os deslizamentos induzidos e maiores para os generalizados. Guidicini e Nieble (1983, p. 28) comentam sobre a mecânica deste movimento:

Para que ocorra um escorregamento é necessário que a relação entre a resistência média ao cisalhamento do solo ou da rocha e as tensões médias de cisalhamento na superfície potencial de movimentação tenha decrescido, de um valor inicial maior que 1 (um) até a unidade, no instante do escorregamento.

Tominaga (2009, p. 28-29) complementa a explicação anterior com:

Ou seja, no momento em que a força gravitacional vence o atrito interno das partículas, responsável pela estabilidade, a massa de solo movimenta-se encosta abaixo. Normalmente, a infiltração de água no maciço de solo provoca a diminuição ou perda total do atrito entre as partículas. Quando o solo atinge o estado de saturação com perda total do atrito entre as partículas, em processo conhecido como solifluxão, passa a se mobilizar encosta abaixo, formando os movimentos de escoamento do tipo corridas.

Os deslizamentos induzidos, ou causados pela ação antrópica, são aqueles cuja deflagração é causada pelas ações listadas anteriormente (execução de cortes e aterros inadequados, pela retirada da vegetação, etc.). Muitas vezes, estes deslizamentos induzidos mobilizam materiais produzidos pela própria ocupação, envolvendo massas de solo de dimensões variadas, lixo e entulho (CARVALHO et al., 2007, p. 37).

As características encontradas no terreno ocasionadas pela ocorrência deste tipo de movimento são fendas de tração, embarrigamento de estruturas de contenção, inclinação de

elementos rígidos do local, trincas no terreno e estruturas. Características comentadas por Carvalho et al. (2007, p. 37), são:

Em geral, a evolução da instabilização das encostas acaba por gerar feições que permitem analisar a possibilidade de ruptura. As principais feições de instabilidade, que indicam a iminência de deslizamentos, são representadas por fendas de tração na superfície dos terrenos ou pelo aumento de fendas preexistentes, devido ao embarrigamento de estruturas de contenção, pela inclinação de estruturas rígidas, como postes, árvores, etc., pelo surgimento de degraus de abatimento e trincas no terreno e nas moradias.

Os deslizamentos podem ser subclassificados conforme a geometria dos seus planos de fraqueza e materiais instabilizados, sendo: planares ou translacionais, circulares ou rotacionais, ou em cunha (CARVALHO et al., 2007; TOMINAGA, 2009). Essas subclasses são detalhadas nos próximos itens.

4.2.2.1 Deslizamentos planares ou translacionais

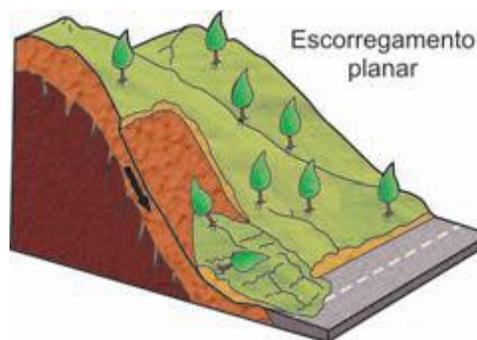
Deslizamentos planares caracterizam-se por possuir uma geometria de pequena espessura e forma retangular estreita (comprimentos bem superiores às larguras) (figuras 13 e 14). Este tipo de deslizamento pode ocorrer associado a solos saprolíticos, saprolitos e rocha, condicionados por um plano de fraqueza desfavorável à estabilidade, relacionado a estruturas geológicas diversas (foliação, xistosidade, fraturas, falhas, etc.) (CARVALHO et al., 2007).

Figura 13 – Deslizamentos planares induzidos pela ocupação



(fonte: CARVALHO et al., 2007)

Figura 14 – Esquema de escorregamento planar ou translacional de solos



(fonte: TOMINAGA, 2009)

Tominaga (2009, p. 30) ressalta as características de escorregamentos planares comentando que:

Os escorregamentos translacionais são os mais frequentes entre todos os tipos de movimentos de massa. Formam superfícies de ruptura planar associadas às heterogeneidades dos solos e rochas que representam descontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas derivadas de processos geológicos, geomorfológicos ou pedológicos.

Posteriormente, Tominaga (2009) subdivide os escorregamentos translacionais nos seguintes grupos:

- a) de rocha;
- b) de solo;
- c) de solo e rocha.

As superfícies de rupturas de escorregamentos translacionais de rocha ocorrem em planos de fraquezas do maciço rochoso, idéia reforçada por Tominaga (2009, p. 30, grifo do autor):

Nos **escorregamentos translacionais de rocha**, a movimentação se dá em planos de fraqueza que correspondem às superfícies associadas à estrutura geológica, tais como, estratificação, xistosidade, gnaissificação, acamamento, falhas, juntas de alívio de tensões e outras.

Tominaga (2009, p. 30, grifo do autor) comenta que:

Escorregamentos translacionais de solo são movimentos ao longo de uma superfície plana condicionada a alguma feição estrutural do substrato. Ocorrem dentro do manto de alteração, com forma tabular e espessuras que dependem da natureza das rochas, do clima e do relevo. Em geral, o movimento é de curta duração, de velocidade elevada e grande poder de destruição. Os escorregamentos translacionais associados com maior quantidade de água podem passar a corridas, ou podem se converter em rastejo, após a acumulação do material movimentado no pé da vertente.

Os escorregamentos do tipo translacionais de solo e rocha envolvem materiais como tálus/colúvio que se encontram nos sopés das escarpas. Tominaga (2009, p. 30-31, grifo do autor) complementa:

Nos **escorregamentos translacionais de solo e rocha**, a massa transportada pelo movimento apresenta um volume de rocha significativo. O que melhor representa tais movimentos é a que envolve massas de tálus/colúvio. Os depósitos de tálus/colúvio que, em geral, encontram-se nos sopés das escarpas, são constituídos por blocos rochosos e fragmentos de tamanhos variados envolvidos em matriz terrosa, provenientes do mesmo processo de acumulação.

Tominaga (2009) comenta que o movimento do tipo escorregamento translacional é mais comum ocorrer após períodos intensos de chuva e ter sua superfície de ruptura ocorrendo na

interface solo-rocha, que apresenta uma importante descontinuidade mecânica e hidrológica (devido a diferença de permeabilidade dos materiais).

4.2.2.2 Deslizamentos circulares ou rotacionais

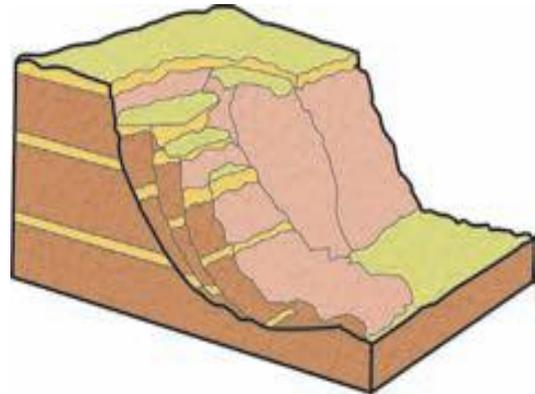
Os deslizamentos do tipo circular ou rotacional são caracterizados por possuírem uma superfície de ruptura curva e é comum a ocorrência de uma série de rupturas combinadas e sucessivas. Estão associadas, normalmente, a aterros, pacotes de solo ou depósitos mais espessos, rochas sedimentares ou cristalinas intensamente fraturadas. Possuindo um raio de alcance relativamente menor que os deslizamentos translacionais (CARVALHO et al., 2007), o início do movimento está muitas vezes ligado à execução de cortes na base dos taludes ou encostas ou então a erosão fluvial nos sopés das vertentes (figuras 15 a 17) (TOMINAGA, 2009).

Figura 15 – Deslizamento circular ou rotacional



(fonte: CARVALHO et al., 2007)

Figura 16 – Esquema de escorregamento rotacional



(fonte: TOMINAGA, 2009)

Figura 17 – Escorregamento rotacional em Jaraguá do Sul, SC, em dezembro 2008

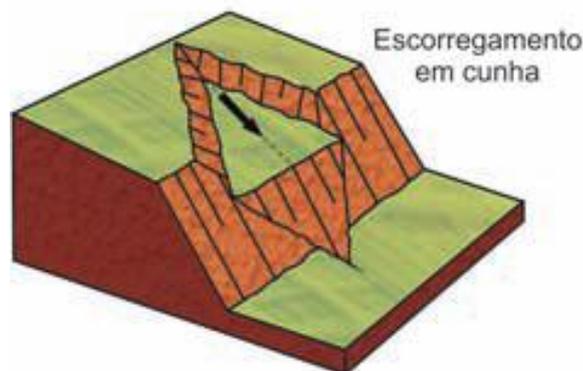


(fonte: TOMINAGA, 2009)

4.2.2.3 Deslizamentos em cunha

Os deslizamentos em cunha estão associados a saprolitos e maciços rochosos, relevos fortemente controlados por estruturas geológicas nas quais a existência de dois planos de fraqueza desfavoráveis à estabilidade condicionam o deslocamento ao longo do eixo de intersecção destes planos. Estes processos são mais comuns em taludes de corte ou encostas que sofreram algum processo natural ou antrópico de desconfinamento, como erosão, deslizamentos pretéritos ou em taludes de corte (CARVALHO et al., 2007) (figuras 18 a 20).

Figura 18 – Esquema de escorregamento em cunha



(fonte: TOMINAGA, 2009)

Figura 19 – Escorregamento em cunha em talude de filito alternado com quartzito da Formação Cercadinho em Belo Horizonte, MG



(fonte: TOMINAGA, 2009)

Figura 20 – Escorregamento em cunha em quartzito em Rio Acima, MG



(fonte: TOMINAGA, 2009)

4.2.3 Queda

Os movimentos do tipo queda são extremamente rápidos (da ordem de m/s) e envolvem blocos ou lascas de rocha em movimento de queda livre, com ausência de superfície de movimentação, que caem pela ação da gravidade. Instabilizando um volume de rocha relativamente pequeno (CARVALHO et al., 2007; TOMINAGA, 2009) (figuras 21).

Figura 21 – Exemplos de queda de blocos rochosos em Santos, SP, em 1992 e 2009



(fonte: TOMINAGA, 2009)

Carvalho et al. (2007, p. 37) comentam as principais causas e condicionantes dos movimentos do tipo queda:

A ocorrência deste processo está condicionado à presença de afloramentos rochosos em encostas íngremes, abruptas ou taludes de escavação, tais como, cortes em rocha, frentes de lavra, etc., sendo potencializados pelas amplitudes térmicas, por meio da dilatação e contração da rocha. As causas básicas deste processo são a presença de descontinuidades no maciço rochoso, que propiciam isolamento de blocos unitários de rocha; a subpressão por meio do acúmulo de água, descontinuidades ou penetração de raízes. Pode ser acelerado pelas ações antrópicas, como, por exemplo, vibrações provenientes de detonações de pedreiras próximas. Ressalta-se que as frentes rochosas de pedreiras abandonadas podem resultar em áreas de instabilidade decorrentes da presença de blocos instáveis remanescentes do processo de exploração.

Guidicini e Nieble (1983) também comentam as principais causas do movimento do tipo queda, sendo: variação térmica do maciço rochoso, perda de sustentação dos blocos por ação erosiva da água, alívio de tensões de origem tectônica, vibrações, entre outras. As quedas podem ser divididas em dois tipos de movimento:

- a) tombamento;
- b) rolamento.

Carvalho et al. (2007) explicam que tombamento, também denominado basculamento, ocorre em taludes ou encostas íngremes formados de material rochoso com falhas (fraturas, diáclases) verticais. São movimentos mais lentos que quedas livres e ocorrem principalmente em taludes de corte, nos quais a mudança de geometria acaba provocando o desconfinamento destas descontinuidades e provocando o tombamento das paredes do talude (figura 22).

Rolamento é um processo mais comum em áreas de rochas graníticas e ocorrem quando agentes naturais ou antrópicos removem o apoio de sua base (figura 23 e 24), conforme é explicado por Carvalho et al. (2007, p. 39):

O rolamento de blocos, ou rolamento de matacões, é um processo comum em áreas de rochas graníticas, onde existe maior predisposição a origem de matacões de rocha sã, isolados e expostos em superfície. Estes ocorrem naturalmente quando processos erosivos removem o apoio de sua base, condicionando um movimento de rolamento de bloco. A escavação e a retirada do apoio, decorrente da ocupação desordenada de uma encosta, é a ação antrópica mais comum no seu desencadeamento.

Figura 22 – Situação de risco de tombamento de bloco rochoso



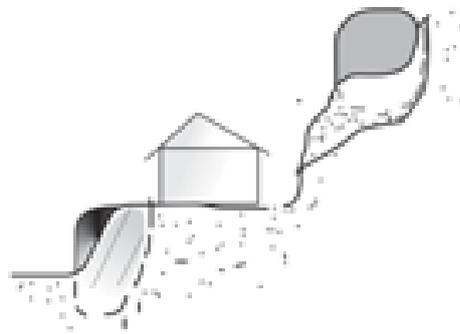
(fonte: CARVALHO et al., 2007)

Figura 23 – Situação de risco de rolamento de bloco rochoso



(fonte: CARVALHO et al., 2007)

Figura 24 – Perfil esquemático de rolamento de bloco rochoso



(fonte: CARVALHO et al., 2007)

4.2.4 Corrida

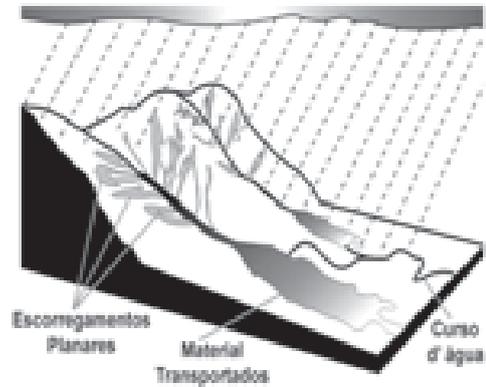
As corridas são movimentos com comportamento líquido viscoso ocasionado pela perda de atrito interno das partículas de solo, em virtude da destruição de sua estrutura interna, na presença de excesso de água. Mobilizam grandes volumes de material, possuindo um alto poder de transporte e extenso raio de alcance. São fenômenos mais raros do que os deslizamentos, porém podem provocar consequências de magnitudes superiores (CARVALHO et al., 2007; TOMINAGA, 2009) (figuras 25 e 26).

Figura 25 – Perfil esquemático de processos do tipo corrida



(fonte: CARVALHO et al., 2007)

Figura 26 – Acidente associado ao processo do tipo corrida



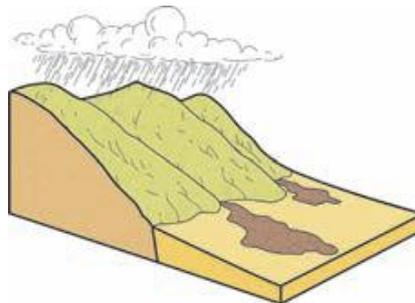
(fonte: CARVALHO et al., 2007)

Esses movimentos possuem a capacidade de deslocamento em altas velocidades, até mesmo em locais planos (baixa declividade), e carregam os mais variados tipos de materiais consigo (figuras 27 e 28).

4.3 FATORES CONDICIONANTES DOS MOVIMENTOS DE MASSA

Fatores condicionantes dos movimentos de massa correspondem principalmente aos elementos do meio físico e, secundariamente, do meio biótico, que contribuem para o desencadeamento do processo. Estes elementos, também chamados de agentes predisponentes, são partes da dinâmica dos processos naturais. A ação humana exerce importante influência, favorecendo a ocorrência do processo ou minimizando seus efeitos (GUIDICINI; NIEBLE, 1983; TOMINAGA, 2009).

Figura 27 – Esquema de corrida detrítica



(fonte: TOMINAGA, 2009)

Figura 28 – Exemplos da diversidade de materiais transportados pelos processos de corridas de detritos nos desastres que assolaram o estado de Santa Catarina em novembro de 2008, no município de Ilhota (Braço do Baú)



(fonte: TOMINAGA, 2009)

Podem-se separar os condicionantes naturais em dois grupos distintos de agentes:

- a) predisponentes;
- b) efetivos.

Os agentes predisponentes são o conjunto das características intrínsecas do meio físico natural, podendo ser diferenciados em complexo geológico-geomorfológico (comportamento das rochas, perfil e espessura do solo em função da maior ou menor resistência da rocha ao intemperismo) e complexo hidrológico-climático (relacionado ao intemperismo físico-químico e químico). É o conjunto de condições geológicas, topográficas e ambientais da área na qual se desenvolve o movimento de massa. São, portanto as condições naturais dadas pelas características intrínsecas dos materiais, sem a ação do homem. A gravidade e a vegetação natural também podem estar inclusos nesta categoria (CARVALHO et al., 2007; TOMINAGA, 2009).

Guidicini e Nieble (1983) classificam os agentes efetivos como os fatores diretamente responsáveis pelo desencadeamento dos escorregamentos, incluindo-se as ações antrópicas. São subdivididos em agentes efetivos:

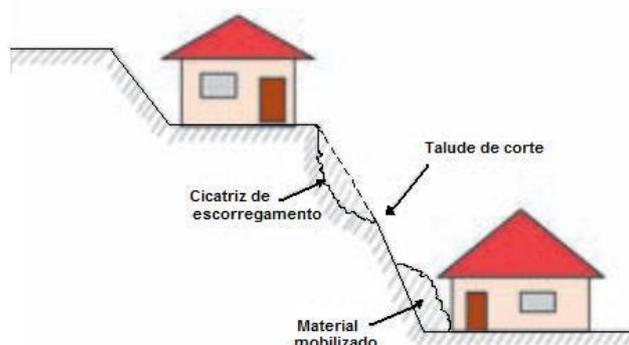
- a) preparatórios: pluviosidade, erosão pela água ou vento, oscilação de nível dos lagos, e marés e do lençol freático, ação de animais e ação humana como desmatamento, entre outros;
- b) imediatos: chuva intensa, erosão, terremotos, ondas, vento, interferência do homem, etc.

As ações antrópicas são vistas por muitos autores como as principais agentes modificadores, podendo intervir de várias maneiras. As ações mais comuns já foram listadas no capítulo anterior, por serem muito comuns e um dos principais condicionantes separa-se estas ações como condicionantes antrópicas (figura 29 e 30).

Carvalho et al. (2007, p. 41-42) ressaltam novamente as principais ações antrópicas classificadas como condicionantes antrópicas:

Com relação aos condicionantes antrópicos, pode se citar como principais agentes deflagradores de deslizamentos a remoção da cobertura vegetal, lançamento e concentração de águas pluviais e/ou servidas, vazamento na rede de água e esgoto, presença de fossas, execução de cortes com alturas e inclinações acima de limites tecnicamente seguros, execução deficiente de aterros (compactação, geometria, fundação), execução de patamares (“aterros lançados”) com o próprio material de escavação dos cortes, o qual é simplesmente lançado sobre o terreno natural, lançamento de lixo nas encostas/taludes, retirada do solo superficial expondo horizontes mais suscetíveis, deflagrando processos erosivos, bem como elevando o fluxo de água na massa do solo.

Figura 29 – Esquema ilustrativo de escorregamento induzido por ação antrópica, no caso talude de corte



(fonte: TOMINAGA, 2009)

Figura 30 – Escorregamento em talude de corte, Jandira, SP, em 2009



(fonte: TOMINAGA, 2009)

No entanto, é importante destacar que estes condicionantes não agem sozinhos, os escorregamentos são fruto de uma complicada combinação de fatores, idéia ressaltada por Carvalho et al. (2007, p. 42):

Raramente um deslizamento pode ser associado a um único e definitivo fator condicionante, devendo ser observado como o produto de uma cadeia de fatores e efeitos que acabam determinando sua deflagração. A identificação precisa dos elementos responsáveis pela deflagração dos deslizamentos e dos processos correlatos é fundamental para a adoção de medidas corretivas ou preventivas, o que garante maior acerto do ponto de vista técnico e econômico.

4.4 MEDIDAS PREVENTIVAS

Como foi comentado anteriormente, muitas vezes os danos recorrentes de escorregamentos podem ser mitigados ou até mesmo evitados, simplesmente tomando-se algumas medidas preventivas. Usualmente, estas podem ser divididas em dois grupos distintos, ou seja, medidas:

- a) estruturais;
- b) não estruturais.

Vedovello e Macedo² (2007 apud TOMINAGA, 2009, p. 37-38, grifo do autor) as definem como:

² VEDOVELLO, R.; MACEDO, E. S. Deslizamento de Encostas. In: SANTOS, R. F. (Org.) **Vulnerabilidade Ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: MMA, 2007.

As **medidas estruturais** envolvem obras de engenharia, em geral de alto custo, tais como obras de contenção de taludes, implantação de sistemas de drenagem, reurbanização de áreas.

Quanto às medidas **não estruturais**, estas se referem às ações de políticas públicas voltadas ao planejamento do uso do solo e ao gerenciamento, como o zoneamento geoambiental, planos preventivos de defesa civil, educação ambiental.

*Federal Emergency Management Agency*³ (2004 apud KOBİYAMA et al., 2006), recomendam algumas medidas a serem tomadas pelos moradores ou pela defesa civil:

- a) evitar construir em encostas muito íngremes e próximo a cursos d'água em vales muito profundos;
- b) não realizar cortes em encostas sem licença da prefeitura, pois poderá contribuir ainda mais para intensificar o efeito da declividade;
- c) entrar em contato com órgãos municipais, estaduais e federais, buscando informações sobre ocorrências deste fenômeno na região. Os técnicos locais são as pessoas mais capazes para avaliar o perigo potencial;
- d) exigir junto às prefeituras estudos sobre a região, além de planos de controle e monitoramento das áreas de risco;
- e) discutir e promover junto a comunidade e associações, ações preventivas para aumentar a segurança em relação aos escorregamentos;
- f) nunca desmatar as encostas dos morros, principalmente em locais nos quais já existam casas e outras construções;
- g) não amontoar sujeira e lixo em lugares inclinados porque eles entopem a saída de água, aumentam o peso e desestabilizam os terrenos;
- h) conversar com a família acerca dos escorregamentos e tentar elaborar algumas medidas preventivas;
- i) checar a estrutura da casa, muros e terreno, verificando se não existem rachaduras e fissuras que possam estar comprometendo a casa ou propriedade. Lembrar-se de chamar um técnico competente para fazer uma avaliação urgente;
- j) estar atento aos boletins meteorológicos e as notícias de rádio e TV da região. Lembrar que as chuvas intensas podem facilmente desencadear os escorregamentos.

³FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY. **Are you ready?:** an in-depth guide to citizen preparedness. Emmitsburg, USA: FEMA, 2004.

5 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA

A investigação geotécnica é essencial na elaboração de projetos de Engenharia Geotécnica devido a necessidade de se conhecer as propriedades dos materiais envolvidos no projeto, no entanto muitas vezes esta etapa é negligenciada. Turner e McGuffey (1996) comentam que apesar de a maioria dos engenheiros trabalharem com materiais que possuem propriedades conhecidas e empreenderem projetos que refletem estas propriedades, geólogos e engenheiros geotécnicos devem utilizar um processo de investigação estruturado para deduzir as propriedades de materiais que ocorrem naturalmente e suas relações geométricas.

Uma investigação detalhada antes do projeto pode mostrar como prevenir, ou ao menos minimizar, futuros movimentos, e podem sugerir rotas alternativas que estão menos sujeitas a escorregamentos. Mas, para isso, a investigação deve ser direcionada tanto para reconhecimento de movimento real ou potencial do talude, quanto a identificação do tipo e causas do movimento. Ambos aspectos são importantes em identificar procedimentos apropriados para a prevenção ou correção de escorregamentos (TURNER; MCGUFFEY, 1996).

Apesar de muitas vezes se dar o devido valor a etapa de investigação geotécnica, muitas vezes estas não são bem sucedidas. Osterberg⁴ (1979 apud TURNER; MCGUFFEY, 1996) indicou que existem cinco razões gerais para o fracasso de uma investigação:

- a) conhecimento geral do processo geológico não foi utilizado no planejamento do programa de exploração e na avaliação dos achados da investigação;
- b) o investigador tinha uma noção preconcebida do que a avaliação de campo deveria ser e demonstrou relutância, ou mesmo recusou, em considerar evidência que contradisse a ideia preconcebida;
- c) nem todas as ferramentas disponíveis foram usadas para avaliação de campo mesmo que tenham sido simples e óbvias;
- d) o investigador falhou em discutir apropriadamente os objetivos do programa de exploração com todas as pessoas envolvidas;
- e) não foram criadas linhas abertas e livres para comunicação.

⁴ OSTERBERG, J. O. Failures in exploration programs. In: DOWDING, C. H. **Site characterization and exploration**. New York: American Society of Civil Engineers, 1979.

Para evitar o fracasso de uma investigação, se faz necessário o planejamento antecipado desta. Ao longo deste capítulo serão abordados alguns aspectos que exigem uma atenção extra, conforme é enfatizado pela literatura.

5.1 FORMULAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO

A formulação da investigação está ligada a eficiência da sua condução, se não lhe é dada a atenção adequada, ela pode levar mais tempo e custar mais para ser completada, e, em alguns casos, a informação apropriada pode não ser obtida (TURNER; MCGUFFEY, 1996). De acordo com Johnson e DeGraff⁵ (1988 apud TURNER; MCGUFFEY, 1996), a formulação da investigação é o elemento mais frequentemente esquecido ou negligenciado. Esta formulação envolve dois componentes:

- a) a identificação da questão ou questões que a investigação deve responder e uma definição clara do objetivo da investigação;
- b) identificação de outros aspectos da investigação, incluindo seu escopo, a área e profundidade a ser investigada, e sua duração.

O escopo sugerido por Clayton et al.⁶ (1982 apud TURNER; MCGUFFEY, 1996) de uma investigação ideal é composto por uma sequência de onze etapas (ou eventos) como definido no quadro 1.

Complementando a ideia de desses autores, Dowding⁷ (1979 apud TURNER; MCGUFFEY, 1996) sugeriu mais tarde que os resultados de cada etapa devem ser integrados com o processo de projetar para identificar o que é desconhecido e o que deve ser descoberto na próxima etapa ou evento.

Turner e McGuffey (1996) citam que a área de uma investigação é controlada pelo tamanho do projeto e a extensão da topografia e características geológicas que estão envolvidas nos escorregamentos. No entanto, a área estudada deve ser consideravelmente maior que a área que compreende a suspeita atividade ou movimentos conhecidos por duas razões:

⁵ JOHNSON, R. B.; DEGRAFF, J. V. **Principles of engineering geology**. New York: John Wiley and Sons, 1988.

⁶ CLAYTON, C. R. I.; SIMONS, N. E.; MATTHEWS, M. C. **Site investigation: a handbook for engineers**. New York: Halsted Press, 1982.

⁷ DOWDING, C. H. Perspective and challenges of site characterization. In: _____. **Site characterization and exploration**. New York: American Society of Civil Engineers, 1979.

- a) o escorregamento ou o escorregamento potencial deve ser referenciado pela área estável cercado-o;
- b) a maioria dos escorregamentos aumenta com a passagem do tempo, e, além disso, muitos escorregamentos são muito maiores do que suspeitado inicialmente a partir das indicações evidentes de atividades.

Quadro 1 – Sequência de etapas de uma investigação ideal

Evento	Descrição
1	Estudo de mesa preliminar ou pesquisa de averiguação
2	Interpretação de fotos aéreas
3	Pesquisa no local
4	Exploração preliminar do subsolo e testes de campo
5	Classificação de solo por descrição e ensaios simples
6	Exploração detalhada de subsolo e ensaios de campo
7	Levantamento físico (ensaios de laboratório)
8	Avaliação de dados
9	Projeto geotécnico
10	Ensaio de campo
11	Ligação de engenheiro geotécnico com equipe de campo durante construção do projeto.

(fonte: CLAYTON et al.⁸, 1982 apud TURNER; MCGUFFEY, 1996, p. 123)

De modo geral, recomenda-se que a área estudada seja duas a três vezes maior do que a área suspeita de movimentação (TURNER; MCGUFFEY, 1996).

Outro aspecto de uma investigação que deve ser ponderado durante a formulação desta é a sua duração. Turner e McGuffey (1996) indicam que idealmente, a investigação deve continuar por períodos de tempo adequados para avaliar as mudanças nos fatores ambientais e topografias deslocadas, mas frequentemente a duração destas investigações são restringidas pela necessidade de projetos preventivos ou corretivos.

⁸ CLAYTON, C. R. I.; SIMONS, N. E.; MATTHEWS, M. C. **Site investigation**: a handbook for engineers. New York: Halsted Press, 1982.

A duração de uma investigação deve durar um período mínimo de um ciclo sazonal, o que seria um ano na maior parte do mundo. Considerando que a maioria dos escorregamentos são influenciados por mudanças climáticas, investigações feitas durante um período em que as condições climáticas são menos severas que o máximo, se provarão muito otimistas, e aquelas feitas durante um período de más condições climáticas, poderão parecer muito pessimistas (TURNER; MCGUFFEY, 1996).

5.2 COLETA DE DADOS

A parte essencial de uma investigação é a coleta de dados em si, no entanto algumas considerações sobre esta etapa devem ser feitas. Primeiramente deve-se entender que, conforme afirmado por Turner e McGuffey (1996), a coleta de dados envolve tanto estudo de escritório quanto de campo. Uma investigação é incompleta sem a interpretação dos dados de estudos de escritório e de campo.

Turner e McGuffey (1996) comentam que a interpretação de dados coletados durante as etapas iniciais de uma investigação normalmente irão sugerir a necessidade de volumes e tipos de dados adicionais e uma modificação no processo de investigação. Um processo eficiente de investigação requer revisão e interpretação contínuas dos dados enquanto são reunidos. É importante citar que para a maioria das investigações de escorregamentos, comparações espaciais e temporais dos dados são de grande interesse.

Algumas das fontes de dados são exemplificadas por Carvalho et al. (2007, p. 46):

Além da ficha que contempla campos para preenchimento sobre a caracterização do local, sobre a presença de evidências de movimentação, presença de água e vegetação, são utilizadas plantas, mapas, ou mesmo guia de ruas para identificação e delimitação correta da área a ser mapeada.

5.2.1 Coleta de dados no escritório

Turner e McGuffey (1996) salientam que estudos de escritório envolvem a descoberta e reunião de toda informação pertinente existente. O uso apropriado de tais informações pode auxiliar o investigador antes e durante uma visita de campo inicial e guiar o planejamento dos primeiros passos na coleta de dados em campo. Estes dados são comumente achados em

diferentes fontes governamentais e podem incluir mapas, relatórios, fotografias aéreas e documentos históricos.

Algumas dessas informações a serem coletadas são sobre a geologia regional e informações tectônicas, que fornecem um entendimento do contexto geológico, que será útil em antecipar fatores que serão importantes em controlar a estabilidade do talude. Mapas topográficos existentes também são de interesse do investigador por fornecerem informações para avaliar acessos locais e condições gerais (KEATON; DEGRAFF, 1996). Carvalho et al. (2007, p. 46) citam algumas fontes de dados coletados durante o trabalho de escritório: "Para se obter melhor representação do local são utilizadas fotografias aéreas, imagens de satélite e fotografias oblíquas de baixa altitude (obtidas a partir de sobrevôo por helicóptero), onde serão representados os setores identificados."

Na etapa de interpretação de imagens aéreas, as informações de escorregamentos extraídas de imagens de sensoriamento remoto são relacionadas principalmente a morfologia, vegetação e condições de drenagem do talude. A interpretação de movimentos de taludes a partir de imagens de sensoriamento remoto é baseada no reconhecimento ou identificação de elementos associados ao movimento de taludes e a interpretação de seu significado para o processo de instabilização do talude (SOETERS; VAN WESTEN, 1996).

Soeters e van Westen (1996) explicam que a implicação da interpretação de movimentos de taludes, a partir de imagens, serem feitas baseadas na identificação de elementos associados ao movimento é de que um tipo particular de falhas no talude é raramente reconhecida diretamente. Interpreta-se sua existência pela análise de certo número de elementos pertencentes a características de instabilidade de taludes que são observados em imagens de sensoriamento remoto.

Soeters e van Westen (1996) comentam que o estudo de variações em tons e texturas ou de padrões, formas e alinhamentos devem ser relacionados com as condições esperadas do solo ou geomorfologia associadas a processos de instabilidade de taludes. Como exemplo, citam os processos de quedas, que são controladas em sua maioria por descontinuidades nas rochas (juntas e fraturas), dando ao talude de rocha uma aparência áspera. Essas descontinuidades são expressas nas imagens por uma textura grosseira. Padrões lineares na vegetação são indicativos dos caminhos nos quais as quedas dos blocos ocorrem, assim como a acumulação

de talús ao pé do talude, que resulta em uma aparência de textura grosseira na imagem, também é indicativo do processo de queda.

Soeters e van Westen (1996) também citam o exemplo do processo de tombamentos, que são favorecidos pela presença de juntas muito inclinadas ligadas e mergulhos aproximadamente alinhados paralelos a face do talude. Portanto, nas imagens, lineamentos finos na crista que são orientados paralelamente a face livre podem ser relacionados com juntas abertas atrás de blocos de tombamentos.

5.2.2 Coleta de dados em campo

Os dados coletados em campo podem ser divididos em quatro grupos distintos:

- a) parâmetros básicos;
- b) condições de drenagem;
- c) vegetação;
- d) feições.

Na coleta de dados em campo, Carvalho et al. (2007, p. 44) comentam que os parâmetros básicos a serem observados, são:

- a) declividade/inclinação;
- b) tipologia dos processos;
- c) posição da ocupação em relação à encosta;
- d) qualidade da ocupação (vulnerabilidade).

Cravalho et al. (2007, p. 44-45) citam:

A declividade/inclinação pode variar de acordo com o tipo de solo, rocha, relevo, ou de acordo com as intervenções antrópicas, como cortes e aterros. Existem valores de referência para este parâmetro, acima dos quais a deflagração do processo de deslizamento é iminente. Como referências temos:

- a) 17° (30%) Lei Lehman (Lei Federal 6766/79), que determina que áreas com declividades acima de 30% devem ter sua ocupação condicionada a não existência de riscos (verificado por laudo geológico-geotécnico);
- b) 20°-25° é a declividade onde já se iniciam os deslizamentos na Serra do Mar no litoral paulista; [...].

A inclinação do talude é um importante parâmetro a ser observado, que além de ser um dos principais parâmetros para a determinação de estabilidade de uma área, juntamente com a tipologia do processo de movimento, "[...] está intimamente ligada ao tipo de solo, rocha, relevo da área e varia de acordo com as intervenções antrópicas, como cortes e aterros." (CARVALHO et al., 2007, p. 45).

Sobre as ocupações das áreas de moradias irregulares, busca-se informações da posição da ocupação em relação à encosta pois esta "[...] indica a possibilidade de queda ou atingimento. As moradias localizadas no alto da encosta apresentam possibilidade de queda e as localizadas na base apresentam possibilidade de atingimento. As moradias localizadas em meia encosta apresentam tanto a possibilidade de queda como atingimento." (CARVALHO et al., 2007, p. 45).

Carvalho et al., (2007, p. 53) indicam que a vulnerabilidade da ocupação é um parâmetro importante e justificam esta declaração ao afirmarem:

A necessidade de levantar o tipo de moradia se deve às diferentes resistências que cada tipo (madeira ou alvenaria) tem com relação ao impacto dos materiais mobilizados pelos deslizamentos. Pressupõe-se que casas em alvenaria apresentem maior resistência que as de madeira. Esse fator pode influenciar a classificação dos graus de risco a que a moradia está submetida.

Em exemplos de planilhas para investigação de campo, Carvalho et al. (2007) citam os seguintes dados para a caracterização do local da moradia ou grupo de moradias:

- a) tipo de talude,
 - natural;
 - corte;
- b) tipo de material,
 - solo;
 - aterro;
 - rocha;
- c) presença de materiais,
 - blocos de rocha e matacões;
 - bananeiras;
 - lixo e entulho;
- d) inclinação da encosta ou corte;
- e) distância da moradia ao topo ou base dos taludes.

É amplamente reconhecido que a água é um dos principais agentes deflagradores de deslizamentos. Em áreas de moradias irregulares, "A presença da água pode se dar de diversas formas, como água das chuvas, águas servidas e esgotos. A origem e destino dessas águas são fatores que devem ser levantados durante os cadastramentos." (CARVALHO et al., 2007, p. 57).

Nas planilhas de campo exemplificadas por Carvalho et al. (2007), os dados referentes a presença de água no local são abordados da seguinte forma:

- a) se há concentração de água de chuva em superfície (enxurrada);
- b) se há lançamento de água servida em superfície (a céu aberto ou no quintal);
- c) a classificação do sistema de drenagem superficial poderia ser dada como inexistente, precária ou satisfatória;
- d) o destino final do esgoto seria fossa, canalizado ou lançamento em superfície (céu aberto);
- e) a origem da água para uso na moradia seria da Prefeitura ou de mangueira;
- f) se existe vazamento em tubulação e se sim, de qual tipo (esgoto ou água);
- g) se há minas de água no barranco (talude) e onde seria sua localização, no pé do talude, no meio deste ou no topo do talude ou aterro.

A presença e efeito de vegetações em taludes tem sido amplamente estudados no meio acadêmico, Gusmão Filho et al.⁹ (1997 apud CARVALHO et al., 2007, p. 57) afirmaram que nas encostas do Recife, "[...] as áreas com cobertura vegetal menor que 30%, tiveram 46% dos deslizamentos registrados."

Apesar dos dados coletados por esses autores nas encostas do Recife, sabe-se que "[...] nem toda vegetação traz acréscimo de estabilidade para as encostas. Discute-se, e é largamente aceito, que as bananeiras são prejudiciais à estabilidade, por facilitar a infiltração de água." (CARVALHO et al., 2007, p. 57). Mas também citam que "Paradoxalmente, a bananeira é o cultivo preferencial das populações que ocupam encostas, seja para a produção destinada à venda, seja como fonte de alimento."

Ao discutir as feições que se buscam em investigações de campo, Carvalho et al. (2007, p. 58) afirmam que "As feições principais se referem às juntas de alívio, fendas de tração, fraturas de

⁹ GUSMÃO FILHO, J. A.; ALHEIROS, M. M.; GUSMÃO, A. D. Estudo das encostas ocupadas do Recife. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 2., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABMS; ABGE; ISSMGE, 1997.

alívio, trincas, e os degraus de abatimento, segundo os diversos autores que trataram do assunto.". É importante salientar que trincas ocorrem em terrenos e moradias, por isso que "Quando ocorrem em construções, é interessante o concurso de profissional especializado em patologia de construções, para determinar a causa precisa dessas trincas."

As inclinações de estruturas rígidas são de grande importância no processo de investigação pois podem prover muitas informações, no entanto as feições serão mais úteis quanto mais lentos forem os processos de instabilização. Carvalho et al. (2007, p. 58-59) reafirmam esta idéia ao citar:

Outra feição importante é a inclinação de estruturas rígidas como árvores, postes e muros e o "embarrigamento" de muros e paredes. A inclinação pode ser fruto de um longo rastejo, denotando que a área tem movimentação antiga. É interessante a avaliação da inclinação de árvores. Quando o tronco for reto e estiver inclinado demonstra que o movimento é posterior ao crescimento da árvore. Já quando o tronco for torto e inclinado, o crescimento é simultâneo com o movimento.

É muito importante que se façam croquis dos locais visitados, Carvalho et al. (2007, p. 67) reforçam esta ideia ao afirmar:

Planta da situação da moradia ou moradias. Devem ser desenhados os caminhos que levam à moradia, lembrando sempre que, normalmente os trabalhos são realizados em áreas com pouca ou nenhuma organização do sistema viário. Assim, uma planta bem ilustrativa facilita muito o retorno ao local. Tudo o que for possível deve ser anotado no desenho, principalmente fatores importantes para classificação de riscos, como, por exemplo, trincas, degraus, inclinação de estruturas, embarrigamento de muros e paredes e cicatrizes de deslizamentos;[...]

Carvalho et al. (2007, p. 67) afirmam que "Os desenhos visam dar à equipe de trabalho uma melhor visão da situação, permitindo a discussão, mesmo com quem não participou do cadastro.". Obviamente, imagens de fotografias são igualmente eficientes nestes quesitos.

Taludes em rocha possuem alguns aspectos a serem observadas em campo que influenciam na sua estabilidade. Carvalho et al. (2007, p. 75) citam os seguintes aspectos:

- [...] talude em rocha: (superfície do plano basal em rocha)
- a) classificar se o talude é vertical, inclinado ou negativo;
 - b) verificar os planos da fratura e se possível medir os ângulos basais de inclinação e sua direção (acima de 30 graus);
 - c) verificar se há percolação de água pelas fraturas;
 - d) determinar o nível de alteração;

- e) identificar se há intercalações de rocha mais alteradas;
- f) identificar se há blocos em “balanço”; [...]
- g) verificar a dimensão do bloco rochoso, ou talude rochoso instável, pois normalmente o volume envolvido de material é fundamental para se ter uma idéia do poder de destruição no caso de ruptura, bem como questão de custo e dificuldades associadas a sua remoção ou estabilização.

6 ELABORAÇÃO DE ROTEIRO INVESTIGATIVO

Neste capítulo é descrito o delineamento da investigação geotécnica realizada na Vila Pedreira, área de moradias irregulares da cidade de Porto Alegre. É detalhada cada uma das etapas do processo de investigação desde os estudos iniciais realizados em escritório até a relação de características buscadas em campo na forma de roteiro de estudo de campo. Todo o processo de investigação geotécnica foi feito em conjunto com a equipe do Programa de Áreas de Risco da Prefeitura Municipal de Porto Alegre, composta pela engenheira civil Vânia Silva Krigger e a geóloga Juliana Dubois Ferreira. Muitas das informações citadas sobre o histórico do local e caracterização deste e do material encontrado em campo foram dadas pela equipe de Áreas de Risco.

6.1 ESTUDOS INICIAIS

Na etapa de estudos iniciais buscaram-se informações sobre os tipos de materiais geotécnicos encontrados na Vila Pedreira, registros de acidentes geotécnicos no local e o tamanho da área estudada através de pesquisa bibliográfica, entrevistas com engenheiros responsáveis pelo Programa de Áreas de Riscos da Prefeitura de Porto Alegre e análises de imagens aéreas do local.

As informações buscadas na bibliografia foram basicamente indicações dos tipos de solos e rochas possíveis de se encontrar no local. Na entrevista com os engenheiros da Prefeitura de Porto Alegre, teve-se acesso a informações sobre acidentes geotécnicos registrados no local assim como do levantamento topográfico e cadastral da área para auxílio no estudo de campo.

Durante a análise de imagens aéreas procurou-se feições indicativas de movimentos nos taludes do local, como fissuras e trincas, se estudou os avanços das moradias através da análise de imagens antigas e atuais do local. As imagens analisadas foram retiradas a partir do Google Earth.

6.2 ESTUDO DE CAMPO

O estudo de campo foi feito através de visitas ao local, nos dias 24, 25 de outubro e 1 de novembro de 2011. Buscou-se relatar, com a maior verossimilhança possível, os perigos

geotécnicos encontrados lá. Durante a visita ao local, baseando-se na pesquisa feita anteriormente, tentou-se registrar as seguintes características:

- a) inclinação do talude;
- b) posição da ocupação em relação à encosta;
- c) qualidade da ocupação (vulnerabilidade);
- d) tipo de talude,
 - natural;
 - corte;
- e) tipo de material,
 - solo;
 - aterro;
 - rocha;
- f) presença de materiais,
 - blocos de rocha e matacões;
 - bananeiras;
 - lixo e entulho;
- g) se há concentração de água de chuva em superfície (enxurrada);
- h) a classificação do sistema de drenagem superficial poderia ser dada como inexistente, precária ou satisfatória;
- i) o destino final do esgoto seria fossa, canalizado ou lançamento em superfície (céu aberto);
- j) a origem da água para uso na moradia seria da Prefeitura ou de mangueira;
- k) se existe vazamento em tubulação e se sim, de qual tipo (esgoto ou água);
- l) se há minas de água no barranco (talude) e onde seria sua localização, no pé do talude, no meio deste ou no topo do talude ou aterro.
- m) presença de juntas de alívio, fendas de tração, fraturas de alívio, trincas e degraus de abatimento;
- n) inclinações de estruturas rígidas ou "embarrigamento" de muros e paredes;
- o) croquis e fotos do local.

Em taludes rochosos observaram-se alguns outros detalhes, que conforme a revisão bibliográfica, também são importantes em taludes deste tipo:

- a) planos da fratura e os ângulos basais de inclinação e sua direção (acima de 30 graus);
- b) se há percolação de água pelas fraturas;

- c) nível de alteração da rocha;
- d) se há intercalações de rocha mais alteradas;
- e) se há blocos em “balanço”;
- f) a dimensão do bloco rochoso, ou talude rochoso instável.

7 RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos nos estudos iniciais e nos estudos de campo juntamente com as análises feitas a partir destes resultados.

7.1 ESTUDOS INICIAIS

A Vila Pedreira, comunidade do bairro Cristal da cidade de Porto Alegre (figura 31), foi descrita pela Eng. Vânia Silva Krigger, funcionária do departamento de Áreas de Risco da Prefeitura de Porto Alegre, como uma pedreira desativada que foi invadida pelos moradores da área. Neste local já se teve registros de duas quedas de blocos, uma ocorrendo no ano de 2001 e outra em 2002, e neste mesmo ano o Programa Áreas de Risco executou uma quebra de bloco e um retaludamento no local.

Estima-se que a área estudada meça 13.048 m², possui ponto médio locado em 30° 05' 19,56" S de altitude e 51° 13' 55,58" W de longitude, correspondentes em coordenadas UTM, a zona 22J, 477.702,04 m E e 6.671.445,84 m S. Nesta área, de acordo com o Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre, encontra-se o Granito Ponta Grossa, material descrito como "Em afloramento, é um leucogranito de cor rosa a avermelhada com textura equigranular grossa a média (5mm-10mm). Apresenta estrutura maciça e grande homogeneidade composicional e estrutural." (PHILIPP, 2008, p. 22).

No mapa geológico da cidade de Porto Alegre é possível ver uma falha que passa bem próximo a área estudada, esta falha pode ter ocasionado uma desordem nas famílias de fraturas da rocha devido ao excesso de tensões no momento da sua criação (figura 32).

No estudo de imagens aéreas não foi possível identificar a falha próxima ao local de estudo devido a intensa urbanização da área, contudo, utilizando um recurso do Google Earth, foi possível comparar as imagens aéreas do mesmo local capturada em diferentes anos. Desta maneira foi possível ver o avanço da população da área se aproximando cada vez mais do talude e a pavimentação dos acessos, o que, por consequência do caráter impermeabilizante do concreto asfáltico, diminuiu a infiltração no local (figura 33).

Figura 33 – Histórico das imagens aéreas

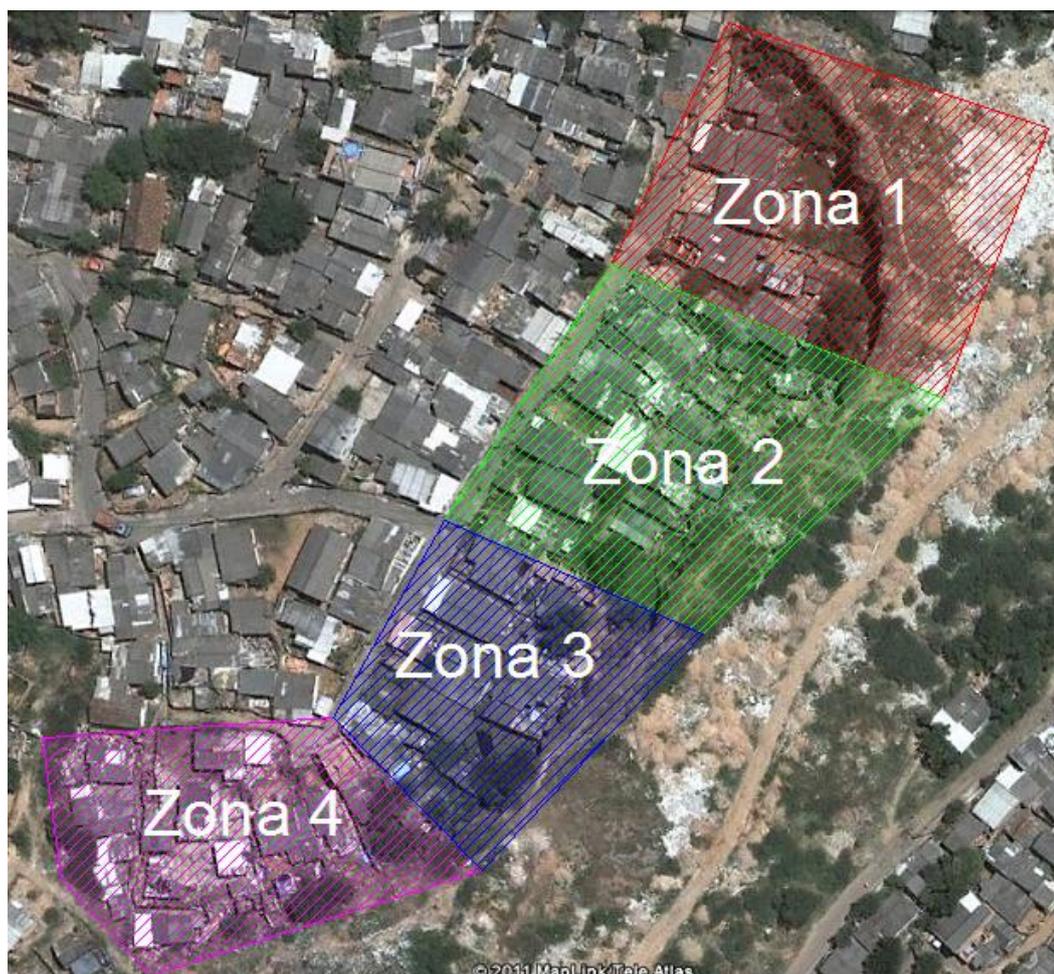


(fonte: imagens do Google Earth, 2011)

7.2 ESTUDOS DE CAMPO

Para uma melhor descrição do local visitado, optou-se por dividir a área em quatro zonas de estudo conforme figura 34. O principal critério na divisão da área foi manter a orientação do talude uniforme em uma mesma zona, no entanto apenas este critério resultaria em três zonas sendo que uma delas possuiria uma área muito grande. Então resolveu-se dividir esta zona aproximadamente pela metade, o que resultou nas zonas 2 e 3. Ao final deste capítulo é feito um resumo das observações feitas nas quatro zonas.

Figura 34 – Divisão das zonas de estudo



(fonte: adaptado de imagem do Google Earth, 2011)

7.2.1 Estudo da zona 1

Na área chamada de zona 1 encontrou-se taludes de corte rochosos de inclinação de aproximadamente 90° , alturas variando entre 3,5 a 5 m, medianamente alterados com uma família principal de fraturas verticais e outra de mergulho SW, desfavorável para a estabilidade do talude (figura 35). As fraturas possuem espessura variando de 0,5 a 2 cm, sendo que as maiores, em sua maioria, são preenchidas com vegetações de pequeno a médio porte (figura 36).

Na zona 1 observou-se quatro situações de possíveis queda de blocos devido a falta de apoio na base destes, os blocos tem dimensões variando aproximadamente entre 0,5 e 1,5 m (figura 37). Não foi observado sinais de percolação nas fraturas, de minas de água ou vazamento nas tubulações. O esgoto destina-se ao encanamento construído pelo Departamento Municipal de

Água e Esgoto e o sistema de drenagem superficial, construídos pelos mesmos, é constituído de bueiros localizados em diferentes pontos.

Figura 35 – Imagem do direcionamento das fraturas do talude na zona 1



(fonte: imagem do autor)

Figura 36 – Vegetação crescendo nas fraturas da rocha na zona 1



(fonte: imagem do autor)

As moradias desta zona encontram-se em sua maioria a uma distância de 0 a 2 m da base do talude, apenas uma das moradias guardava mais de 10 m do talude. A maioria é de alvenaria razoavelmente bem construída, excetuando uma que apresenta defeitos estruturais graves mostrando-se tão vulnerável quanto uma moradia constituída por madeira, no entanto, todas apresentaram telhados precários (figura 38).

Figura 37 – Blocos em perigo de queda vistos do topo do talude na zona 1



(fonte: imagem do autor)

Figura 38 – Moradia precária posicionada próxima ao talude na zona 1



(fonte: imagem do autor)

7.2.2 Estudo da zona 2

Na zona 2 foram encontrados taludes de corte rochosos com inclinações próximas a 90°, com aproximadamente 5 m de altura e apresentando duas famílias de fraturas, uma vertical e outra com mergulhos no sentido SW. Devido a orientação do talude este não é um sentido de mergulho desfavorável a estabilidade do talude (figura 39), no entanto, devido a densidade das fraturas nesta zona, notou-se vários pontos de deslocamento. As espessuras das fraturas variam entre 2 a 5 cm e são preenchidas por vegetações de pequeno e médio porte (figura 40) ou, em alguns casos, com pedaços de rocha e madeira.

Figura 39 – Mergulho das fraturas em sentido favorável a estabilidade do talude na zona 2



(fonte: imagem do autor)

Figura 40 – Vegetação de médio porte no meio do talude na zona 2

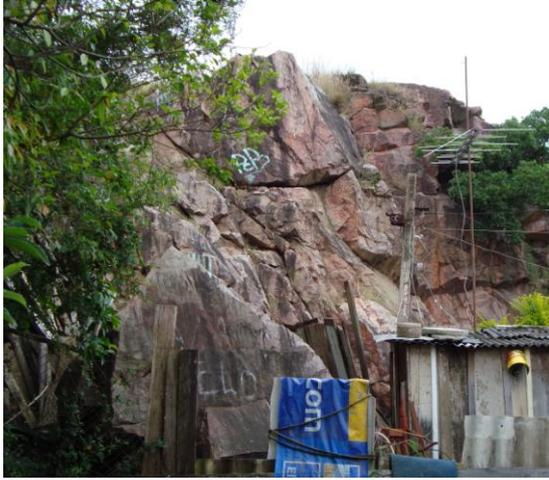


(fonte: imagem do autor)

Nesta área foi encontrada uma situação de perigo de deslocamento da rocha, com placa de dimensões de aproximadamente 1,5 m (figura 41) e um aterro de 1 m de altura, composto por solo e entulhos apoiando-se diretamente na parede de alvenaria de uma das moradias (figura 42). Não se encontrou sinais de percolação de água pelas fraturas, vazamento de tubulações ou minas de água. O esgoto destina-se ao encanamento construído pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto e o sistema de drenagem superficial, construídos pelos mesmos, é constituído de bueiros localizados em diferentes pontos.

As moradias desta área eram constituídas de madeira e alvenaria, em sua maioria construída de maneira precária, guardando distância de 0 a 2 m da base do talude.

Figura 41 – Bloco em perigo de queda e moradia precária localizada rente ao talude na zona 2



(fonte: imagem do autor)

Figura 42 – Aterro com entulhos rente a moradia na zona 2



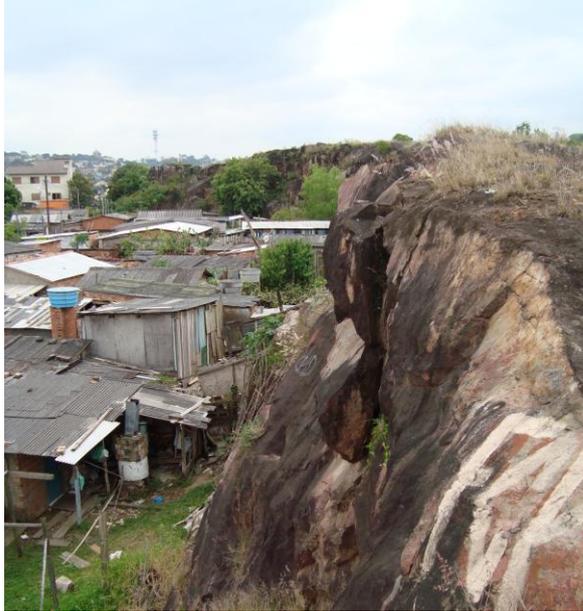
(fonte: imagem do autor)

7.2.3 Estudo da zona 3

Na zona 3 foi encontrado taludes de corte rochosos com altura e inclinação de aproximadamente 6 m e 90° , respectivamente. As famílias de fraturas principais eram uma vertical e outra com mergulho no sentido SW, no entanto, devido ao intenso fraturamento nesta área, há uma certa dificuldade em visualizar a segunda família de fraturas e notou-se alguns pontos de deslocamento. As espessuras das fraturas variam entre 1 a 3 cm sendo que em alguns pontos estas eram preenchidas com vegetação de baixo porte.

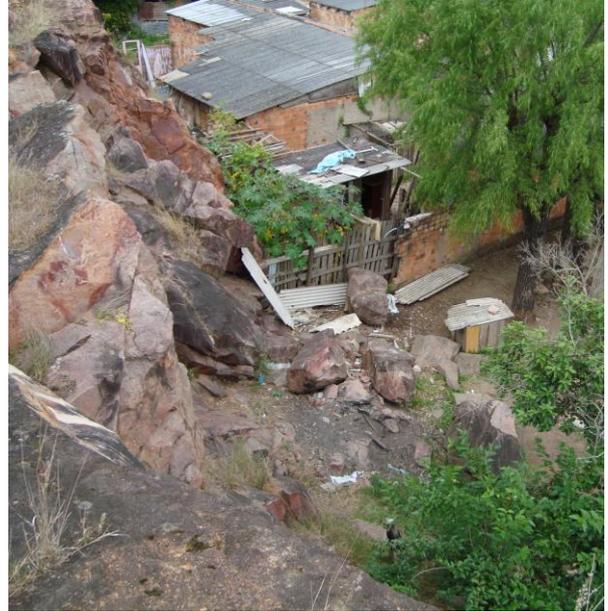
Nesta área foi encontrada uma situação de perigo de deslocamento da rocha com placa de dimensões próximas a 1 m (figura 43) e vários blocos que, por estarem em perigo de queda, foram retirados pelos próprios moradores da área (figura 44). Não se encontrou sinal de percolação de água nas fraturas ou vazamento nas tubulações, no entanto, há um empoçamento que não interfere na estabilidade do talude estudado pois encontra-se a alguns metros da base deste (figura 45). O esgoto destina-se a rede de esgoto construída pela Prefeitura, e a rede de drenagem superficial, como vista nas outras áreas estudadas, também é composta apenas por bueiros (figura 46).

Figura 43 – Blocos em perigo de deslocamento na zona 3



(fonte: imagem do autor)

Figura 44 – Blocos retirados pelos moradores na zona 3



(fonte: imagem do autor)

Figura 45 – Concentração de água superficial na zona 3



(fonte: imagem do autor)

Figura 46 – Bueiro obstruído na zona 3



(fonte: imagem do autor)

As moradias mantêm uma distância do talude que varia de 2 a 8 m, algumas construídas com alvenaria e outras, madeira. Nesta área encontraram-se dois pés de bananeira, no entanto, estas não interferiam no talude estudado por se localizarem na base destes.

7.2.4 Estudo da zona 4

Na zona 4, os taludes estudados eram todos de corte em rocha com inclinação próxima aos 90° e altura variando desde 5 a 2 m. Nesta área só foi possível identificar uma família de fraturas verticais devido a intensa vegetação e a proximidade das residências ao talude, dificultando a visualização deste. As fraturas visualizadas apresentavam espessura de 1 a 5 cm, sendo algumas preenchidas com vegetação de pequeno a médio porte (figura 47).

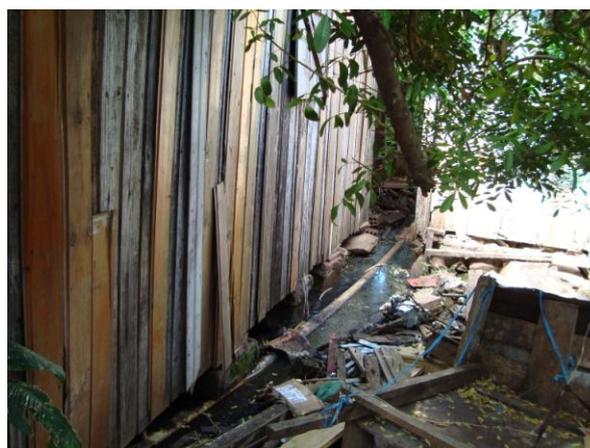
Foram encontradas, nesta área, quatro situações de perigo de queda de blocos com dimensões entre 0,5 a 1,5 m. Não se encontrou sinal de percolação de água nas fraturas ou vazamento nas tubulações, no entanto, uma das moradias encontrava-se construída sobre um empoçamento que, assim como o visto anteriormente, não interfere na estabilidade do talude estudado (figura 48). O destino do esgoto e a rede de drenagem superficial são os mesmos que os vistos nas outras áreas estudadas.

Figura 47 – Fraturas do talude rochoso na zona 4



(fonte: imagem do autor)

Figura 48 – Moradia precária construída sobre concentração de água superficial na zona 4



(fonte: imagem do autor)

As moradias são constituídas de madeira ou alvenaria e apresentavam-se muito próximas aos taludes, sendo que em um dos casos, encontrava-se no meio deste (figuras 49 e 50).

Figura 49 – Moradia construída próxima do talude na zona 4



(fonte: imagem do autor)

Figura 50 – Moradia precária construída no meio do talude na zona 4



(fonte: imagem do autor)

7.2.5 Resumo das observações feitas nas quatro zonas

Durante o estudo de campo observou-se que alguns aspectos eram comuns a toda área estudada, podendo-se citar como exemplo que em toda a área o talude era classificado como rochoso e de corte, com inclinação próxima aos 90°, o sistema de drenagem instalado era composto apenas por bueiros na base do talude, o destino do esgoto é o sistema de redes de esgoto construído pela Prefeitura de Porto Alegre e em todas as zonas foi identificada uma primeira família de fraturas com orientação vertical. A seguir apresenta-se o quadro 2 com o resumo das observações feitas em cada zona durante o estudo de campo.

Quadro 2 – Quadro resumo das observações feitas em estudo de campo nas quatro zonas

Aspectos observados	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Inclinação do talude	~ 90°	~ 90°	~ 90°	~ 90°
Altura do talude	3,5 a 5 m	~ 5 m	~ 6 m	2 a 5 m
Posição da ocupação	0 a 2 m da base do talude	0 a 2 m da base do talude	2 a 8m da base do talude	Muito próximas ao talude
Vulnerabilidade das moradias	Alvenaria bem construídas com telhados precários	Madeira e alvenaria, precárias	Madeira e alvenaria	Madeira e alvenaria
Tipo de talude	Corte	Corte	Corte	Corte
Material geotécnico	Rocha	Rocha	Rocha	Rocha
Outros materiais	Não	Aterro de ~1 m de altura	Bananeiras na base do talude	Não
Água superficial	Não	Não	Sim	Sim
Destino do esgoto	Rede de esgoto	Rede de esgoto	Rede de esgoto	Rede de esgoto
Drenagem	Bueiros na base do talude	Bueiros na base do talude	Bueiros na base do talude	Bueiros na base do talude
Fraturas	Orientação desfavorável (SW)	Orientação favorável (SW), deslocamento	Orientação favorável (SW), deslocamento	Não foi possível identificar a orientação da segunda família de fraturas
Espessura das fraturas	0,5 a 2 cm	2 a 5 cm	1 a 3 cm	1 a 5 cm
Preenchimento das fraturas	Vegetação de pequeno e médio porte	Vegetação de pequeno e médio porte, entulhos e madeira	Vegetação de pequeno porte	Vegetação de pequeno e médio porte
Nível de alteração da rocha	Mediano	Mediano	Mediano	Mediano
Blocos "em balanço"	4 blocos "em balanço"	1 perigo de deslocamento	1 perigo de deslocamento	4 blocos "em balanço"
Dimensões dos blocos	0,5 a 1,5 m	~1,5 m	~ 1 m	0,5 a 1,5 m

(fonte: elaborado pelo autor)

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Vila Pedreira é uma comunidade composta por moradias irregulares situada no bairro Cristal, em Porto Alegre. A área estudada nesta comunidade é a mesma na qual era feita a extração do material comercializado pela antiga pedreira que havia no local. Após os estudos feitos na área, concluiu-se que o principal perigo geotécnico nesta área é queda de blocos.

Durante os estudos iniciais e de campo, algumas informações pertinentes à avaliação geotécnica do local foram levantados. Nos estudos iniciais verificou-se que o Granito Ponta Grossa é o material geotécnico predominante nesta área, e também que muito próximo ao local estudado há uma falha geológica, o que deve ter uma influência nas fraturas das rochas. Esta influência ficou clara no estudo de campo da zona 3, onde se teve grande dificuldade de identificar a orientação de uma das famílias de fraturas. Outro agravante foi o processo de desmonte de rocha para a exploração de material pela antiga pedreira, que também contribuíram para o aumento do número de fraturas no local.

Apesar da variabilidade na orientação das famílias de fraturas do talude de rocha, as fraturas que foram identificadas não eram desfavoráveis para a estabilidade do talude, excetuando na zona 1, onde a orientação do talude é diferente do resto das zonas estudadas. No entanto, em todas as zonas foram encontrados blocos ou placas de rocha em perigo de queda, em função do grau de fraturamento do maciço e não pela orientação das fraturas.

Durante o estudo de campo, foram levantadas a presença de alguns materiais que não possuíam relevância para a análise de estabilidade do talude estudado pois suas localizações não interferem na estabilidade (bananeiras e água superficial na base).

A precariedade das moradias e sua proximidade com o talude de corte estudado, juntamente com os blocos em perigo de queda são os principais fatores que tornam a Vila Pedreira uma área de risco. A maneira que esta comunidade se formou, com suas casas precárias próximas ao talude rochoso, evidencia a capacidade da ação antrópica de criarem situações de risco, considerando que, ao se posicionarem nesta antiga área de exploração, inseriram o fator dano nesta área suscetível à queda de blocos.

A metodologia da investigação adotada no trabalho foi fortemente baseada na sugerida por Carvalho, et al. (2007) e adotada pelo Ministério das Cidades. Nos levantamentos de campo

foi percebida a necessidade de desenvolver uma melhor metodologia para a avaliação da vulnerabilidade das moradias. É incompleto considerar que as moradias de madeira são sempre mais vulneráveis que as de alvenaria. Em alguns casos, as moradias de alvenaria são também muito vulneráveis.

REFERÊNCIAS

- AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1., 1992, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABMS; ABGE; Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro; Secretaria Municipal de Obras; Fundação GEO-Rio, 1992.
- CAMPOS, L. C.; MENEZES, L. O.; SAMPAIO, S. S.; MOREIRA, T. B. G.; VIANNA, C. S.; DELGADO, L. Pequenas intervenções para redução dos processos de instabilização de encostas em vilas e favelas do município de Belo Horizonte-MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 15., 2010, Gramado. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2010. 1 CD-ROM.
- CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; OGURA, A. T. (Org.). **Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios**. Brasília: IPT, 2007.
- GOOGLE EARTH. Rua Ursa Maior, Porto Alegre, Brasil. [S. I.], 2011.
- GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 1983.
- KEATON, J. R.; DEGRAFF, J. V. Surface observation and geologic mapping. In: TURNER, A. K.; SCHUSTER, R. L. (Org.). **Landslides: investigation and mitigation**. Washington, DC. National Academy Press, 1996, p. 129-177
- KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F. M. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006.
- MENDONÇA, M. B.; POMPEI, M.; SARAMAGO, R. P. A preservação de encostas por meio da urbanização de favelas no município do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 11., 1998, Brasília. **Anais...** São Paulo: ABMS, 1998.
- MORRO do Bumba registra 48 mortes por deslizamento. Agência Estado, 15 abr. 2010. Disponível em: <<http://g1.globo.com/Noticias/Brasil/0,,MUL1570485-5598,00-MORRO+DO+BUMBA+REGISTRA+MORTES+POR+DESLIZAMENTO.html>>. Acesso em: 24 out. 2010.
- NOVO deslizamento atinge dezenas de casas em Niterói. Agência Estado, 7 abr. 2010. Disponível em: <<http://g1.globo.com/Noticias/Brasil/0,,MUL1561245-5598,00-NOVO+DESLIZAMENTO+ATINGE+DEZENAS+DE+CASAS+EM+NITEROI.html>>. Acesso em: 24 out. 2010.
- OLIVEIRA, D. A. F.; MÉLO, T. C. Considerações de projetos de estabilização de encostas em áreas de ocupação espontânea: uma visão conjunta de engenharia e social. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 4., 2005, Salvador. **Anais...** Salvador: Escola Politécnica [da] Universidade Federal da Bahia, 2005.

PHILIPP, R. P. Geologia. In: HASENACK, H. (Coord.). **Diagnóstico ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2008, p. 12-23. Disponível em: <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/arquivos/Publicacoes/Livros_ou_capitulos/diagnostico_ambiental_de_Porto_Alegre.pdf>. Acesso em: 3 nov. 2011.

SOETERS, R.; VAN WESTEN, C. J. Slope instability recognition, analysis, and zonation. In: TURNER, A. K.; SCHUSTER, R. L. (Org.). **Landslides: investigation and mitigation**. Washington, DC. National Academy Press, 1996, p. 129-177

TOMINAGA, L. K. Escorregamentos. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. p. 25-38. Disponível em: <<http://www.igeologico.sp.gov.br/>>. Acesso em: 24 set. 2010.

TURNER, A. K.; MCGUFFEY, V. C. Organization of investigation process. In: TURNER, A. K.; SCHUSTER, R. L. (Org.). **Landslides: investigation and mitigation**. Washington, DC. National Academy Press, 1996, p. 121-128