

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**AVALIAÇÃO DO RISCO A ESCORREGAMENTOS  
DEVIDO A OCUPAÇÃO URBANA NA VILA BELA  
VISTA EM SANTA MARIA-RS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Guilherme La Flor Ziegler**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2013**

**AVALIAÇÃO DO RISCO A ESCORREGAMENTOS DEVIDO A  
OCUPAÇÃO URBANA NA VILA BELA VISTA EM SANTA  
MARIA-RS**

**Guilherme La Flor Ziegler**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

**Orientador: Rinaldo José Barbosa Pinheiro**  
**Co-orientadora: Andrea Valli Nummer**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2013**

La Flor Ziegler, Guilherme

Avaliação do risco a escorregamentos devido a ocupação urbana na vila Bela Vista em Santa Maria-RS / Guilherme La Flor Ziegler.-2013.

143 p.; 30cm

Orientador: Rinaldo José Barbosa Pinheiro

Coorientadora: Andréa Valli Nummer

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2013

1. Riscos 2. Encostas 3. Escorregamentos 4. Cadastro 5. Análise de Estabilidade I. Barbosa Pinheiro, Rinaldo José II. Valli Nummer, Andréa III. Título.

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

---

©2013

Todos os direitos autorais reservados a Guilherme La Flor Ziegler. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

---

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**AVALIAÇÃO DO RISCO A ESCORREGAMENTOS DEVIDO A  
OCUPAÇÃO URBANA NA VILA BELA VISTA EM SANTA MARIA-RS**

elaborada por  
**Guilherme La Flor Ziegler**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Civil**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Rinaldo José Barbosa Pinheiro, Dr. (UFSM)  
(Presidente/Orientador)**

---

**Andréa Valli Nummer, Dr<sup>a</sup>. (UFSM)  
(Co-Orientadora)**

---

**Luiz Antônio Bressani, Dr. (UFRGS)**

---

**Carlos Leite Maciel Filho, Dr. (UFSM)**

**Santa Maria, 05 de abril de 2013.**

Aos meus pais, Jaime e Marilene,  
aos meus irmãos, Fabiane e Rafael,  
a minha noiva Verônica, dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus e aos meus pais Jaime e Marilene pelo apoio, incentivo, confiança, exemplos de vida, humildade e solidariedade, aos quais eu devo tudo e tenho muito orgulho.

Aos meus irmãos, Fabiane e Rafael, pela atenção e carinho.

Ao meu padrasto Airton pela sua alegria irradiante.

A minha noiva, Verônica, companheira, amiga, incentivadora e musa inspiradora, que sempre entendeu meus momentos de ausência e ansiedade.

Aos meus colegas de trabalho Markus e Marcelo e ao professor José Mario pelas palavras de incentivo quanto a minha capacidade de realizar tarefas.

Ao laboratorista João e aos alunos de iniciação científica Daniel e Lennon os quais me auxiliaram na coleta de amostras e realização dos ensaios.

Ao Prof. Dr. Rinaldo e a Prof. Dr<sup>a</sup> Andrea, pela disponibilização de tempo, pelos momentos de compreensão, reflexão, exemplificação e discussão, durante esse período.

À Universidade Federal de Santa Maria, Instituição que viabilizou a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Temos a vida pela frente e queremos mudar o mundo  
 Mas também queremos namorar, dançar, rir e curtir amigos e a vida  
 Nascemos nos morros que circundam a boca do monte e num lugar com lembrança  
 ancestral dos trilhos e ruídos dos trens da gare.  
 Podemos ter vindo das barrancas de Uruguaiana, das grotas de Santiago, das  
 videiras de Jaguari, de Alegrete, São Sepé, Santa Rosa, São Gabriel, Dom Pedrito,  
 de cima da serra, não importa, Santa Maria somos todos nós  
 Cidade generosa e que nos acolheu  
 Sentimos o afago do vento norte e as tardes quentes de janeiro  
 Temos narinas abertas, ouvidos atentos, os sentidos despertos  
 para enxergarmos as novidades do mundo  
 Cidade cosmopolita, inquieta, convidando para a festa da vida  
 Por isso, celebramos, brincamos, bailamos  
 Avidez universitária do saber  
 As portas do desconhecido a nos cortejar, o despertar do conhecimento  
 Como não quereríamos viver  
 Entramos na boate e não temos mais voz, planos nem saída  
 Rogamos a todos que tentaram nos salvar  
 Queremos pedir socorro a quem puder nos acudir  
 Bênção Felipe de Oliveira  
 Bênção Iberê Camargo  
 Bênção todos os artistas e poetas da Boca do Monte  
 Precisamos de vocês para explicar o sentido do inexplicável  
 Explique-nos  
 Por que temos que findar  
 Como podemos adormecer se mal despertamos para o mundo  
 Como podemos abdicar se não brincamos nem amamos o suficiente  
 Deixamos incompleto o edifício da nossa história  
 Não choramos somente por nós, nem nosso pranto cai sozinho  
 Nossa cidade é hoje o Brasil em luto  
 Nossa juventude perdida é nosso país perplexo  
 e impotente a velar o nosso corpo  
  
 Santa Maria rogai por nós

HOMENAGEM (ADAPTADA DO VÍDEO DA TVCOM) ÀS VITIMAS E FAMÍLIARES  
 DA TRAGÉDIA DE 27/01/2013.

**FORÇA SANTA MARIA.**

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil  
Universidade Federal de Santa Maria

### **AVALIAÇÃO DO RISCO A ESCORREGAMENTOS DEVIDO A OCUPAÇÃO URBANA NA VILA BELA VISTA EM SANTA MARIA-RS**

AUTOR: GUILHERME LA FLOR ZIEGLER

ORIENTADOR: RINALDO JOSÉ BARBOSA PINHEIRO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 05 de abril de 2013.

O estudo das características geológicas e geotécnicas de encostas e indicação de desocupação daquelas consideradas geotecnicaamente de alto risco, podem evitar tragédias causadas por deslizamentos de materiais. Esta dissertação de mestrado teve o objetivo principal de avaliar o risco a escorregamentos na encosta da vertente oeste do morro Cechela devido à ocupação urbana localizada na vila Bela Vista do município de Santa Maria-RS. A metodologia aplicada neste trabalho consistiu no levantamento bibliográfico, investigações de campo, ensaios laboratoriais para a caracterização e determinação dos parâmetros de resistência das camadas dos solos, laudo de vistoria da área de intervenção, cadastro das moradias em condições de risco elevado a escorregamentos, análise de estabilidade da encosta da vertente oeste do morro Cechela e comparação do risco observado com aquele apresentado no Plano Municipal de Redução de Riscos de Santa Maria (PMRRSM). Os resultados do laudo de vistoria são: a encosta com declividades superiores a 30% está localizada em área não adequada à ocupação urbana; existem depósitos de colúvios de pequena espessura situados diretamente sobre substrato rochoso arenítico da formação Botucatu; os processos de instabilização mais significativos na encosta são os escorregamentos planares de solos coluvionares rasos. O cadastro das moradias indica que se não forem executadas obras de contenção duas casas deverão ser removidas. Os resultados dos ensaios de cisalhamento direto indicaram que o aumento da umidade e grau de saturação anula o intercepto coesivo e reduz significativamente o ângulo de atrito interno do colúvio e do arenito. No entanto, nas condições naturais não ocorre a saturação devido a condições geológicas do local. As análises de estabilidade com o uso de software obtiveram fatores de segurança (FS) de 1,40 e de 2,57 para os perfis das CASAS 07 e 17, evidenciando que os taludes da encosta são estáveis. O risco a escorregamentos observado na área em estudo é menor do que aquele indicado no PMRRSM. Este trabalho evidencia que devem ser construídos dispositivos de drenagem superficial e/ou de contenção do solo junto aos locais da CASA 07 e 17 e sugere que as atuais famílias sejam mantidas na encosta da vertente oeste do morro Cechela. Destaca-se que a comunidade da vila Bela Vista deve ser instruída com informações relevantes para a identificação de riscos e que o plano municipal de riscos deve ser revisto.

**Palavras-chave:** Riscos. Encostas. Escorregamentos. Cadastro. Análise de Estabilidade.

## **ABSTRACT**

Master's Thesis  
Programme of Post-Graduation in Civil Engineering  
National University of Santa Maria

### **EVALUATION OF THE LANDSLIDE RISK DUE TO URBAN OCCUPATION IN THE BELA VISTA VILLAGE IN SANTA MARIA-RS**

AUTHOR: GUILHERME LA FLOR ZIEGLER

CHAIR: RINALDO JOSÉ BARBOSA PINHEIRO

Date and place of the defence: Santa Maria, April 05th, 2013.

The study of geological and geotechnical characteristics of the slopes and indication of evictions those considered high risk geotechnically, can prevent tragedies caused by landslides materials. This dissertation was the main objective of evaluate the landslide risk due to urban occupation on the slope of strand west hill Cechela located in the Bela Vista village of the municipality of Santa Maria-RS. The methodology applied in this work consisted in review of the literature, field investigations, laboratory tests for characterization and determination of the resistance parameters of the soil layers, survey report of the intervention area, registration of housing under conditions of high risk to landslides, stability analysis of the slope of strand west hill Cechela and comparison of risk observed with that presented in the Municipal Plan of Reducing Risks of Santa Maria (PMRRSM). The results of inspection report are: the hillside with slopes greater than 30% is located in area not suited to urban occupation; there are deposits of small thickness colluviums situated directly on the substrate sandstone bedrock of the formation Botucatu; the most significant processes of instability on the slope are the landslides planar shallow colluvial soils. The register of homes indicates that if not done containment works two houses should be removed. The results of direct shear tests indicated that the increase of humidity and saturation degree cancels the cohesive intercept and significantly reduces the angle of internal friction of colluvium and sandstone. However, under natural conditions no saturation occurs due to the local geological conditions. The stability analysis with the use of software obtained safety factors (FS) of 1.40 and 2.57 for profiles of 07 and 17 HOUSES, showing that the slopes of the hill are stable. The landslide risk observed in the study area is less than that indicated in the PMRRSM. This work shows that must be constructed surface drainage devices and/or containment of the soil near the House 07 and 17 sites and suggests that today's families are kept in the slope of strand west hill Cechela. It is noteworthy that the village community Bela Vista should be instructed with relevant information to the identification of risks and the municipal plan risks should be reviewed.

**Keywords:** Risks. Slopes. Landslides. Cadastre. Stability Analysis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Favelas do Rio de Janeiro.....	21
Figura 2 – Talude natural, de corte e de aterro (IPT, 2004). .....	22
Figura 3 – Elementos geométricos básicos de um talude (IPT, 2004). .....	22
Figura 4 – Exemplo de queda e tombamento (GUIDICINI & NIEBLE, 1984). .....	26
Figura 5 – Tipos de escorregamento (CRUDEN & VARNES, 1996). .....	28
Figura 6 – (1) Ocupação de base de encosta; (2) evolução da ocupação; (3) Execução de cortes e aterros aflorando blocos rochosos; (4) Instabilização do bloco rochoso (GUIDICINI & NIEBLE, 1984). .....	28
Figura 7 – (1) Alguns exemplos de processos que instabilizam o bloco rochoso e criam uma situação de risco para a moradia; (2) seqüência dos processos de instabilização até a ruptura de um bloco rochoso fraturado (GUIDICINI & NIEBLE, 1984). .....	29
Figura 8 – Casos comuns no processo de instabilização de rochas (GUIDICINI & NIEBLE, 1984). .....	29
Figura 9 – Casos típicos encontrados nos morros do litoral paulista (GUIDICINI & NIEBLE, 1984). .....	31
Figura 10 – Exemplo de rastejo e seus indícios (GUIDICINI & NIEBLE, 1984).....	32
Figura 11 – Rastejo em corpo de tálus devido à ocupação urbana com corte (FARAH, 2003).....	34
Figura 12 – Corrida de areia em “Camaragibe-PE” (ALHEIROS, 2003). .....	35
Figura 13 – Ciclo Hidrológico (GUIDICINI & NIEBLE, 1984). .....	39
Figura 14 – Correlação chuvas versus escorregamentos na região de Cubatão (SP) (TATIZANA et al., 1987).....	41
Figura 15 – Deslizamento de encosta provocado por águas servidas – Ipojuca / PE (ALHEIROS, 2003).....	42
Figura 16 – Fendas no solo e fissuras na parede. ....	43
Figura 17 – Surgências de água. ....	43
Figura 18 – Degraus no solo. ....	43
Figura 19 – Postes inclinados. ....	43
Figura 20 – Embarrigamento no pé do talude (MCIDADES, 2006). .....	43
Figura 21 – Exemplo de material (proveniente de cortes, lixo, entulhos, etc) lançado no talude estabelecendo superfície de deslizamento favorável (OLIVEIRA & MÉLO, 2005).....	52
Figura 22 – (a) Seção transversal de situação tipicamente encontrada (b) Planta baixa da seção “a” normalmente gerada pelos programas computacionais de topografia sem os pontos “ignorados” (c) Planta baixa gerada quando considerados os pontos “ignorados” (OLIVEIRA & MÉLO, 2005). .....	53
Figura 23 – Organograma dos procedimentos metodológicos. ....	63
Figura 24 – Cicatriz de escorregamento planar junto a CASA 17 de onde foram retiradas as amostras deformadas e indeformadas. ....	67
Figura 25 – Localização da área de estudo (DAL’ASTA, 2005). .....	73
Figura 26 – Carta de Solos da R. A. Nordeste de Santa Maria – RS (NASCIMENTO, 2009). .....	77
Figura 27 – Carta Geotécnica da R.A. Nordeste de Santa Maria (adaptado de NASCIMENTO, 2009). .....	80
Figura 28 – Ocupação urbana da região central, norte e nordeste de Santa Maria-RS. FONTE: Google Earth, imagem de 17/08/2011. ....	82

Figura 29 – Ocupação urbana horizontal da vila Bela Vista (oeste do morro Cechela). FONTE: Google Earth, imagem de 21/12/2007. ....	83
Figura 30 – Ocupação urbana horizontal da vila Bela Vista (oeste do morro Cechela). Setas vermelhas indicando casas situadas na parte mais alta da encosta da vertente oeste do morro. FONTE: Google Earth, imagem de 09/02/2012. ....	83
Figura 31 – Bela Vista, primeiro setor - edificação 005 - ver mapa do Anexo A (PMRRSM,2006).....	85
Figura 32 – Vista oeste da ocupação urbana da encosta da vertente oeste do morro Cechela na Vila Bela Vista. FONTE: Google Earth, imagem de 09/02/2012. ....	87
Figura 33 – Perfil para CASA07 que dista menos de 40 cm da base do talude.....	89
Figura 34 – Perfil para CASA17 onde já ocorreram dois escorregamentos planares do solo coluvionar com tálus. ....	91
Figura 35 – Percentual dos graus de risco para a probabilidade de ocorrência de escorregamentos após Cadastro. ....	92
Figura 36 – Percentual de indicação para remoção de moradias após Cadastro. ....	92
Figura 37 – CASA 07 de madeira (mal estado de conservação) que dista menos de 0,50m do corte. ....	92
Figura 38 – CASA 12: amplitude e declividade elevadas e lançamento de águas servidas.....	92
Figura 39 – CASA 16 sobre aterro lançado e com contenção feita de pneus. ....	92
Figura 40 – Detalhe da cicatriz de escorregamento planar de solo coluvionar ocorrido na CASA 17. ....	93
Figura 41 – À esquerda e em frente da CASA16 foram executados muros de pneus e lançamento de rejeitos basálticos como se fossem bermas de equilíbrio.....	95
Figura 42 – Vista da porção intermediária a partir da base da encosta (Rua 14 de Julho). ....	96
Figura 43 – Curvas granulométricas obtidas com defloculante.....	99
Figura 44 – Curvas tensão cisalhante por deformação horizontal e variação volumétrica por deformação horizontal para as amostras do colúvio (AM01). .	102
Figura 45 – Curvas tensão cisalhante por deformação horizontal e variação volumétrica por deformação horizontal para as amostras do arenito (AM03). .	103
Figura 46 – Envoltórias de ruptura ao cisalhamento do Colúvio para os ensaios realizados na umidade natural e inundada.....	104
Figura 47 – Envoltórias de ruptura ao cisalhamento do Arenito para os ensaios realizados na umidade natural e inundada.....	105
Figura 48 – FS calculado para o perfil da CASA 07 na condição de umidade natural. .....	107
Figura 49 – FS calculado para o perfil da CASA 17 na condição de umidade natural. .....	107
Figura 50 – Variação do FS versus coesão e ângulo de atrito interno na condição de umidade natural. ....	108
Figura 51 – Variação do FS versus coesão e ângulo de atrito interno na condição de umidade natural e com parâmetros do arenito alterado.....	109
Figura 52 – Inclinação e distância da moradia à base do talude de corte.....	123
Figura 53 – Concentração de água em superfície (enxurrada). Lançamento de água servida em superfície. ....	124
Figura 54 – À direita puxadinho sobre pilotis nos fundos da CASA 03. Moradia mista (madeira e alvenaria não estruturada) do lado esquerdo da CASA03 possui muro de pedras com 3,0 m de altura. ....	126

Figura 55 – À esquerda fundos da CASA05 que dista menos de 1,00m de um muro de pedras amarradas com altura de 1,70m. À direita, percebe-se a parte de madeira da CASA05 e o terreno baldio do lado direito. ....	127
Figura 56 – Corte na elevação 195 m, onde pode ser percebido a espessura do solo coluvionar de 50 cm e do saprólito de arenito da formação Botucatu (rocha alterada).....	128
Figura 57 – CASA 07 de madeira em mal estado de conservação que dista menos de 0,50m do corte. ....	130
Figura 58 – Vista desde a parte alta da encosta destacando o local das quatro casas executadas sobre patamares sem distanciamento adequado. Existem muros de pedras para contenção entre as casas. ....	133
Figura 59 – Parede de alvenaria da CASA 12 dista 4,00 m da base do talude.....	135
Figura 60 – Volume de solo coluvionar com corpo de tálus e raízes escorregado em 2011 junto a CASA 17.....	139

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Relação entre declividade e inclinação. ....	23
Quadro 2 – Principais classes de movimento de massa propostas por Freire (1965), Guidicini e Nieble (1984), IPT (1991) e Augusto Filho (1992). ....	24
Quadro 3 – Características dos principais grupos de movimentos de massa (AUGUSTO FILHO, 1994). ....	25
Quadro 4 – Inventário de causas de movimentos de massa (CRUDEN & VARNES, 1996). ....	37
Quadro 5 – Fatores deflagradores dos movimentos de massa (VARNES, 1978). ....	38
Quadro 6 – Classificação dos perigos (adaptado de ISDR, 2004). ....	45
Quadro 7 – Critérios para a definição do grau de probabilidade de ocorrência de processos destrutivos do tipo deslizamentos (escorregamentos) em encostas ocupadas e desbarrancamento (solapamento) de margens de córregos (adaptado de MCIDADES, 2006). ....	47
Quadro 8 – Classificação de danos em estruturas provocados pela movimentação de taludes (CHIOCCHIO ET AL, 1997). ....	58
Quadro 9 – Nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas (ABNT, 2009). ....	69
Quadro 10 – Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais (ABNT, 2009). ....	70
Quadro 11 – Resumo do cadastro para as CASAS 07 e 17. ....	90
Quadro 12 – Condicionantes e potencialidade dos processos de instabilização da encosta. ....	96

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fatores de segurança mínimos para deslizamentos (ABNT, 2009). .....	70
Tabela 2 – Setorização e mapeamento de risco da vila Bela Vista (PMRRSM, 2006). .....	84
Tabela 3 – Pontos da encosta da vertente oeste do morro Cechela. FONTE: Google Earth, imagem de 09/02/2012. ....	88
Tabela 4 – Graus de risco para a probabilidade de ocorrência de escorregamentos definidos após cadastro das moradias. ....	91
Tabela 5 – Resultados dos ensaios de peso específico real dos grãos e limites de consistência. ....	97
Tabela 6 – Resumo dos ensaios de granulometria e classificação dos solos. ....	98
Tabela 7 – Propriedades e índices do solo. ....	100
Tabela 8 – Resultados dos ensaios de cisalhamento direto na umidade natural e inundado. ....	104

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>19</b>
<b>1.1 O processo de urbanização brasileira e a ocupação de áreas vulneráveis .....</b>	<b>19</b>
<b>1.2 Processos gravitacionais de massa .....</b>	<b>21</b>
1.2.1 Classificação dos movimentos gravitacionais de massa.....	23
1.2.2 Mecanismos dos movimentos de massa .....	36
1.2.3 Fatores agravantes relativos à água em encostas.....	39
1.2.4 Indicadores de movimentos de massa.....	42
<b>1.3 Riscos em áreas de encostas vulneráveis .....</b>	<b>44</b>
<b>1.4 Ocupações espontâneas de encostas e considerações sobre projetos .....</b>	<b>50</b>
<b>1.5 Avaliação do nível de danos em construções devido à instabilidade de encostas.....</b>	<b>57</b>
<b>2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>61</b>
<b>2.1 Procedimentos de escritório .....</b>	<b>61</b>
2.1.1 Revisão bibliográfica .....	61
2.1.2 Informações da área de estudo .....	62
<b>2.2 Procedimentos de campo .....</b>	<b>64</b>
2.2.1 Cadastro das moradias em condições de alto risco (R4).....	64
2.2.2 Laudo de vistoria de acordo com a NBR 11682/2009.....	65
<b>2.3 Análises de estabilidade .....</b>	<b>66</b>
2.3.1 Coleta de amostras deformadas e indeformadas .....	66
2.3.2 Ensaios laboratoriais.....	67
2.3.3 Análise de estabilidade da encosta.....	68
<b>2.4 Comparação do risco observado com aquele apresentado no PMRRSM .....</b>	<b>71</b>
<b>3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>72</b>
<b>3.1 Informações da área de estudo.....</b>	<b>72</b>
3.1.1 Informações geológicas, geotécnicas e pedológicas .....	74
3.1.2 Dados topográficos e limitações à expansão urbana.....	78
3.1.3 Ocupação urbana e mapeamento de riscos de acordo com o Plano Municipal de Redução de Riscos de Santa Maria-RS .....	81
<b>3.2 Cadastro das moradias em condições de alto risco .....</b>	<b>86</b>

<b>3.3</b>	<b>Laudo de vistoria de acordo com a NBR 11682/2009.....</b>	<b>93</b>
<b>3.4</b>	<b>Ensaio de caracterização.....</b>	<b>97</b>
<b>3.5</b>	<b>Ensaio de cisalhamento direto.....</b>	<b>100</b>
<b>3.6</b>	<b>Análise de estabilidade da encosta – software “SlopeW” .....</b>	<b>105</b>
<b>3.7</b>	<b>Comparação do risco observado com aquele apresentado no PMRRSM .....</b>	<b>110</b>
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>111</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>115</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>120</b>
	<b>ANEXO .....</b>	<b>141</b>

## INTRODUÇÃO

O processo de urbanização brasileira deu origem a cidades em regiões com importante presença de morros, onde os eventuais trechos planos foram logo comprados e especulados pela indústria imobiliária, restando principalmente para a população mais pobre, justamente os terrenos mais problemáticos, situados em encostas, que são progressivamente ocupados por setores habitacionais formais ou informais.

O crescimento das cidades brasileiras com a apropriação dos espaços urbanos provocou o desencadeamento dos problemas sociais das áreas de riscos.

Os deslizamentos de encostas são fenômenos que fazem parte da dinâmica natural do planeta, independentemente da presença do homem. No entanto, com a intensificação das atividades humanas, muitos processos geológicos passaram a ocorrer com mais frequência, sendo induzidos e potencializados pelas alterações decorrentes do uso e ocupação do solo.

A reportagem da Conselho em Revista - Crea-RS (2011) menciona que levantamentos de riscos realizados em encostas de vários municípios brasileiros indicam que a falta de infraestrutura urbana é uma das principais causas dos fenômenos de deslizamentos no Brasil.

O estudo das encostas e indicação de desocupação daquelas consideradas geotecnicamente de alto risco, poderiam ter evitado ou amenizado as tragédias ocorridas em Santa Catarina no ano de 2008, Angra dos Reis em 2010 e na região serrana do Rio em 2011. Nota-se a importância de se ter em conta as características geológicas e geotécnicas dos terrenos na regulação técnica do uso do solo urbano.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo principal avaliar o risco a escorregamentos devido à ocupação urbana na encosta da vertente oeste do morro Cechela localizada na vila Bela Vista. Pretende-se contribuir tecnicamente quanto à avaliação do nível de risco que esta comunidade está submetida.

A vila Bela Vista é uma unidade residencial urbana do bairro Itararé localizada na porção nordeste da cidade de Santa Maria-RS, a 29, 670567° de latitude sul e a 53, 793994° de longitude oeste.

A área estudada tem declividades acentuadas, que associadas à ocupação humana e ao tipo de solos e substrato rochoso, podem potencializar fenômenos de desestabilização de encostas como os escorregamentos.

O estudo foi operacionalizado por meio de pesquisas bibliográficas e levantamento de informações técnicas da área estudada; por meio de idas a campo para coleta de amostras de solos, para montagem de um laudo de vistoria da área de intervenção e para o cadastro das moradias em condições de risco elevado a escorregamentos; por meio de ensaios laboratoriais para a caracterização e determinação dos parâmetros de resistência dos solos; por meio da análise da estabilidade da encosta da vertente oeste do morro Cechela e da comparação do risco observado com aquele apresentado no Plano Municipal de Redução de Riscos de Santa Maria - RS.

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi elaborado um plano de trabalho, dividindo seu escopo em quatro capítulos. A revisão da literatura apresentada no capítulo 1 enfatiza os conceitos dos principais processos gravitacionais de massa associados a desastres naturais, com destaque para os escorregamentos de solos em áreas de riscos ocupadas. Também são abordados temas relacionados com as ocupações urbanas de encostas.

O Capítulo 2 aborda os procedimentos metodológicos aplicados no desenvolvimento desta dissertação, consistindo de procedimentos de escritório, de campo e de análises de estabilidade. Já o Capítulo 3 aborda a apresentação dos resultados, através da descrição detalhada de informações sobre a área de estudo, do cadastro das moradias em condições de alto risco, do laudo de vistoria, dos resultados dos ensaios realizados, da análise da estabilidade da encosta e por meio da comparação do risco observado com aquele apresentado no Plano Municipal de Riscos de Santa Maria. As conclusões são apresentadas no Capítulo 4.

# **1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A presente revisão tem o objetivo de contextualizar aspectos e características da urbanização brasileira, dos principais processos gravitacionais de massa associados a desastres naturais, das ocupações urbanas em áreas de riscos com considerações sobre projetos, dos riscos a escorregamentos e do nível de danos em construções devido à instabilidade de encostas.

## **1.1 O processo de urbanização brasileira e a ocupação de áreas vulneráveis**

Neste item será abordado o processo de crescimento das cidades brasileiras e como a apropriação dos espaços urbanos provocou o desencadeamento dos problemas sociais das áreas de riscos.

Ribeiro (2005) comenta que a cidade é o resultado da interação social, do conhecimento de técnicas que permitem a manipulação de recursos naturais e da cultura em suas diversas manifestações. A maior característica de uma cidade é justamente a concentração populacional. O conceito de cidade está relacionado ao desenvolvimento físico, social e econômico, considerando suas inter-relações, marcadas por interesses e realidades distintas, como comportamentos sociais, ação do mercado com suas estratégias imobiliárias e ação do estado por meio de políticas públicas urbanas.

A paisagem urbana pode ser entendida como um conjunto de elementos que se encontram inter-relacionados numa dinâmica urbana-antrópica-ambiental, sofrendo modificações, sendo (re)criada através do processo evolutivo do sistema econômico vigente, tornando-a vulnerável a tais modificações econômicas existentes e às intervenções antrópicas dos agentes atuantes nesse cenário urbano (NASCIMENTO, 2009).

O Brasil apresentou intenso processo de urbanização, especialmente na segunda metade do século XX (entre 1940 e 1980). Nesse período, Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte, que representavam a possibilidade de melhoria das péssimas condições da vida da população residente na zona rural, sofria com o forte e acelerado movimento migratório, resultando na explosão da população urbana. Em 1940 a população urbana era de 26,3% do total. Em 2000 ela era de 81,2% (MARICATO, 2001).

Os centros urbanos ao longo do seu processo de formação têm se deparado com graves problemas que interferem na garantia do direito à cidade. As cidades que fazem parte das regiões metropolitanas foram ocupadas sofrendo as influências relacionadas às interações sociais que interferiram na paisagem natural. Esses espaços têm sido alvo de estudos e preocupações, tanto do ponto de vista dos fatores geradores de risco ambientais, quanto à forma como o ser humano se relaciona, percebe e se comporta frente a esse processo. Somada à falta de planejamento urbano e a escassez de equipamentos públicos, a forma de ocupação em áreas inadequadas e ambientalmente frágeis tem causado modificações significativas no ecossistema, acelerando riscos ambientais que ameaçam a segurança da população.

O problema da urbanização acelerada que transformou o Brasil Rural em Urbano e promoveu uma enorme deterioração dos recursos naturais, aumento dos bolsões de pobreza, contribuindo para a segregação social, aumentou a concentração de assentamentos precários como favelas ou áreas de risco a exemplo das margens de rios ou a ocupação de morros, ambientes sem infraestrutura adequada, com pouca ou praticamente nenhuma condição de habitabilidade.

A Figura 1 evidencia a concentração de moradias executadas sem planejamento em favelas do Rio de Janeiro.

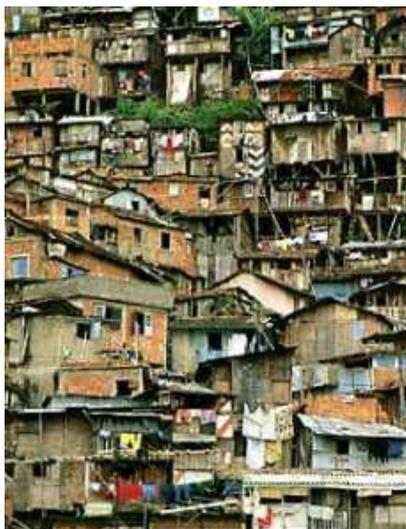


Figura 1 – Favelas do Rio de Janeiro (FONTE: <http://www.sempretops.com/informacao/favelas-do-rio-de-janeiro> acessado em 12/03/2012).

## 1.2 Processos gravitacionais de massa

Os principais processos associados a desastres naturais são os movimentos de massas (gravitacionais e de transporte) e as inundações. Existem duas categorias de processos existentes: endógenos e exógenos. Os processos endógenos são os que agem de dentro para fora da superfície da Terra e tem como fonte de energia a geotectônica (ex: vulcanismos e movimentos tectônicos). Já os exógenos agem no sentido inverso, provêm da atmosfera e hidrosfera e tem como fonte de energia a gravidade (intemperismo, maremotos, movimentos gravitacionais de massa, como os deslizamentos de terra em encostas, e de transporte de massa, como erosões nas superfícies de terrenos) (IPT, 1991).

Neste trabalho será considerado movimento de massa todo e qualquer movimento de materiais terrosos (solos) ou rochosos que ocorrem em encostas com qualquer inclinação, sob ação da gravidade, na presença, ou não, de água, não importando sua forma, velocidade e nem o processo que o gerou. Escorregamentos e deslizamentos de solos em encostas, quedas de blocos, corridas de detritos e lama, são exemplos de movimentos de massa.

A palavra encosta pode ser entendida como toda superfície natural inclinada (declive), que une duas outras superfícies caracterizadas por diferentes energias potenciais gravitacionais. Os taludes naturais são encostas de maciços terrosos, rochosos ou mistos, de solo e rocha, de superfície não horizontal, originados por agentes naturais. Já talude de corte é definido como um talude, resultante de algum processo de escavação promovido pelo homem, enquanto que talude de aterro refere-se aos taludes originados pelo aporte de materiais, tais como, solo, rocha e rejeitos industriais ou de mineração. Esses elementos geomorfológicos são apresentados na Figura 2 (IPT, 2004).

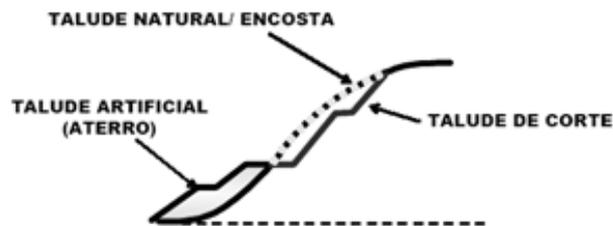


Figura 2 – Talude natural, de corte e de aterro (IPT, 2004).

Inclinação (declividade), amplitude (altura) e comprimento na horizontal são os principais elementos geométricos de uma encosta ou talude. Na Figura 3 estão apresentados esses elementos.

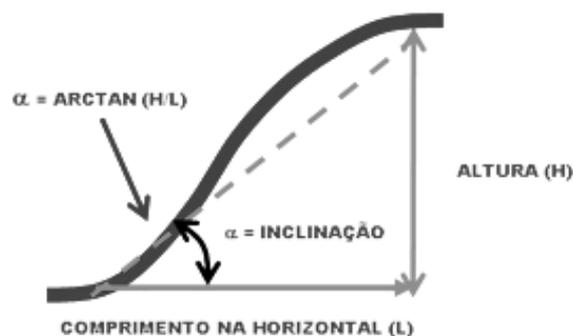


Figura 3 – Elementos geométricos básicos de um talude (IPT, 2004).

No Quadro 1 está mostrada a relação entre os valores de declividade e inclinação. Ressalta-se que esta relação não é proporcional.

DECLIVIDADE	INCLINAÇÃO	
$D(\%) = (H/L) \times 100$	$\alpha = \text{ARCTAN}(H/L)$	$\text{tg } \alpha$
100%	45°	1,00
50%	~ 27°	0,50
<b>30%</b>	<b>~ 17°</b>	<b>0,30</b>
20%	~ 11°	0,20
12%	~ 7°	0,12
6%	~ 3°	0,06

Quadro 1 – Relação entre declividade e inclinação.

### 1.2.1 Classificação dos movimentos gravitacionais de massa

Nummer (2003) cita que de modo geral, as classificações de movimentos de massa baseiam-se na combinação dos seguintes critérios básicos:

- (i) velocidade, direção e recorrência dos deslocamentos;
- (ii) natureza do material, textura, estrutura e conteúdo de água;
- (iii) geometria da massa movimentada;
- (iv) taxa de deformação do movimento.

Uma das classificações dos movimentos de massa é proposta por Cruden & Varnes (1996). Nesta classificação são descritos o tipo de movimento, o tipo de material e a atividade de um movimento de massa. Os tipos de materiais considerados nesta classificação são: solo, rocha e detritos; e os tipos de movimentos são: quedas, tombamentos, escorregamentos, expansões laterais/espraiamento, corridas e a combinação destes tipos básicos. Nesta classificação os materiais são caracterizados como:

a) **ROCHA**: massa dura ou firme que se apresenta intacta antes de iniciar o movimento;

b) SOLO: agregado de partículas sólidas (minerais e rochas), que foram transportadas ou sofreram processos de intemperismo. Representam materiais que possuem 80% ou mais de partículas < 2mm;

c) DETRITOS: contem significativa proporção de material “grosso”, com 20 a 80% de partículas > 2mm.

Outras classificações para movimentos de massa foram apresentadas por Freire (1965), Guidicini e Nieble (1984), IPT (1991) e Augusto Filho (1992) e estão resumidas no Quadro 2, apresentado por Fernandes e Amaral (1998).

Freire (1965)	Guidicini e Nieble (1984)	IPT (1991)	Augusto Filho (1992)
<b>Escoamentos:</b> Rastejos e Corridas	<b>Escoamentos:</b> Rastejos e Corridas	<b>Rastejos</b>	<b>Rastejos</b>
		<b>Corridas de Massa</b>	<b>Corridas</b>
<b>Escorregamentos:</b> Rotacionais e Translacionais	<b>Escorregamentos:</b> Rotacionais Translacionais Queda de Blocos Queda de Detritos	<b>Escorregamentos</b>	<b>Escorregamentos</b>
<b>Subsidências e Desabamentos</b>	<b>Subsidências:</b> Subsidências Recalques Desabamentos	<b>Quedas/Tombamentos</b>	<b>Quedas</b>
	Formas e Transição Movimentos Complexos		

Fonte: Adaptado de Fernandes e Amaral (1998).

Quadro 2 – Principais classes de movimento de massa propostas por Freire (1965), Guidicini e Nieble (1984), IPT (1991) e Augusto Filho (1992).

Augusto Filho (1992) descreve de forma sucinta os principais tipos de movimentos gravitacionais de massa que ocorrem com maior freqüência no Brasil, relativos à dinâmica de ambientes tropicais. Este autor classifica os tipos de movimentos em quedas, escorregamentos, rastejos e corridas. No Quadro 3 estão descritas características destes quatro tipo de movimentos.

PROCESSOS	CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO/MATERIAL/ GEOMETRIA
Rastejos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vários planos de deslocamento (internos);</li> <li>• Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade;</li> <li>• Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes;</li> <li>• Solo, depósitos, rocha alteradas/fraturadas;</li> <li>• Geometria indefinida.</li> </ul>
Escorregamentos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poucos planos de deslocamento (externos);</li> <li>• Velocidades médias (m/h) a altas (m/s);</li> <li>• Pequenos a grandes volumes de material;</li> <li>• Geometria e materiais variáveis:</li> <li>• Planares: solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza;</li> <li>• Circulares: solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas;</li> <li>• Em cunha: solos e rochas com dois planos de fraqueza.</li> </ul>
Quedas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sem planos de deslocamento;</li> <li>• Queda livre ou rolamento através de plano inclinado;</li> <li>• Velocidades muito altas (vários m/s);</li> <li>• Material rochoso;</li> <li>• Pequenos e médios volumes;</li> <li>• Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc.;</li> <li>• Rolamento de matacão e tombamento.</li> </ul>
Corridas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação);</li> <li>• Movimento semelhante ao de um líquido viscoso;</li> <li>• Desenvolvimento ao longo das drenagens;</li> <li>• Velocidades médias a altas;</li> <li>• Mobilização de solo, rochas, detritos e água;</li> <li>• Grandes volumes de material;</li> <li>• Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.</li> </ul>

Quadro 3 – Características dos principais grupos de movimentos de massa (AUGUSTO FILHO, 1994).

Abaixo é apresentado conceitos de Augusto Filho (1992) juntamente com conceitos de outros autores para os quatro tipos de movimentos: quedas, escorregamentos, rastejos e corridas.

**a) Quedas:** são movimentos do tipo queda livre (desde blocos isolados a grandes massas rochosas, de solo e detritos) que ocorrem em velocidades muito altas. Nas quedas (Figura 4a), materiais rochosos diversos e de volumes variáveis se destacam de encostas muito íngremes, num movimento tipo queda livre, ou em

plano inclinado (rolamento de matacões). Estes processos possuem velocidades muito altas e podem atingir grandes distâncias. Os processos de quedas possuem um forte condicionante litológico e estrutural, e sua deflagração pode estar intimamente associada a processos erosivos, como na queda de detritos em taludes de rochas sedimentares, ou rolamento de matacões em rochas graníticas (AUGUSTO FILHO, 1994).

Quando o material desprendido da encosta (solo, detrito ou rocha) rotaciona em torno de um ponto, alguns autores consideram como um movimento de tombamento. Guidicini & Nieble (1984) explica que o tombamento é condicionado pela presença de estruturas geológicas com grande mergulho. Os tombamentos (Figura 4b) podem ser definidos como um tipo de movimento de massa em que ocorre a rotação de um bloco de solo ou rocha em torno de um ponto ou abaixo do centro de gravidade da massa desprendida. Este processo está condicionado pela ação da água ou do gelo em planos de fraqueza existentes no maciço rochoso. Os tombamentos podem conduzir a movimentos tipo quedas ou escorregamentos dependendo da geometria da massa movimentada, da geometria da superfície de separação e da orientação e extensão das descontinuidades existentes. A velocidade deste tipo de movimento pode variar de extremamente lenta a extremamente rápida.

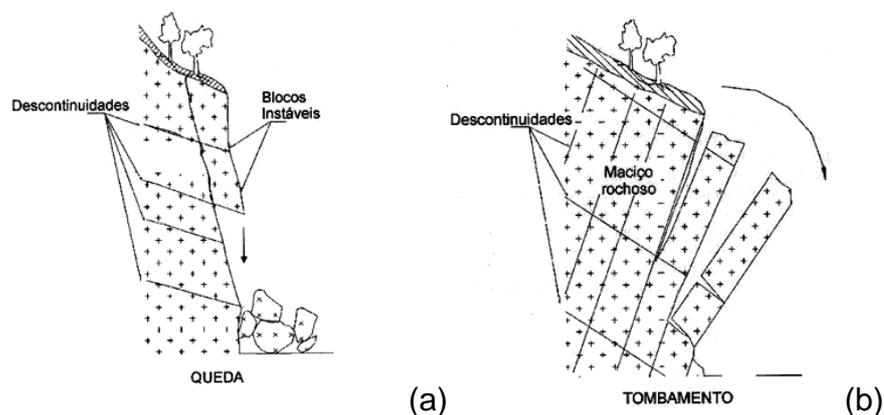


Figura 4 – Exemplo de queda e tombamento (GUIDICINI & NIEBLE, 1984).

**b) Escorregamentos:** também chamado de deslizamentos, são movimentos rápidos, apresentando superfície de ruptura bem definida, de duração relativamente

curta, de massas de terreno geralmente bem definidas quanto ao seu volume, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora do talude (GUIDICINI & NIEBLE, 1984). Eles podem ser translacionais (planar), rotacionais (circular) e em cunha (Figura 5).

- Escorregamentos Translacionais: o movimento é predominantemente acompanhado por uma translação. Estes movimentos são condicionados às descontinuidades ou planos de fraqueza existentes.

- Escorregamentos Rotacionais: o movimento é predominantemente acompanhado por uma rotação. Estes movimentos possuem superfícies de deslizamentos curvas. Ocorrem em materiais mais ou menos homogêneos e coesivos.

- Escorregamentos em Cunha: estes movimentos estão associados a saprólitos (parte do perfil de alteração de um solo em que aparece a rocha alterada, mas ainda mantendo muitas de suas estruturas e restos de minerais em processo de alteração, principalmente os feldspatos) e maciços rochosos, nos quais a existência de duas estruturas planares, desfavoráveis à estabilidade, condicionam o deslocamento de um prisma ao longo do eixo de intersecção destes planos. São mais comuns em taludes de corte ou em encostas que sofreram algum tipo de desconfinamento, natural ou antrópico.

Pelas características da área estudada, será dada ênfase para encostas onde afloram blocos e maciços rochosos. As áreas de encostas com blocos rochosos têm sido ocupadas por moradias originando diversas situações de risco. Nestes locais, o intenso intemperismo e as intervenções humanas ao longo do processo de ocupação têm dado origem a grandes afloramentos e exposição de blocos rochosos que se movimentam ao longo do tempo.

Os casos mais comuns de instabilidade ocorrem conforme mostra a Figura 6, na qual os sucessivos cortes na encosta produzidos pelo processo desordenado de ocupação podem causar o afloramento e a instabilização de matacões inicialmente imersos no solo.

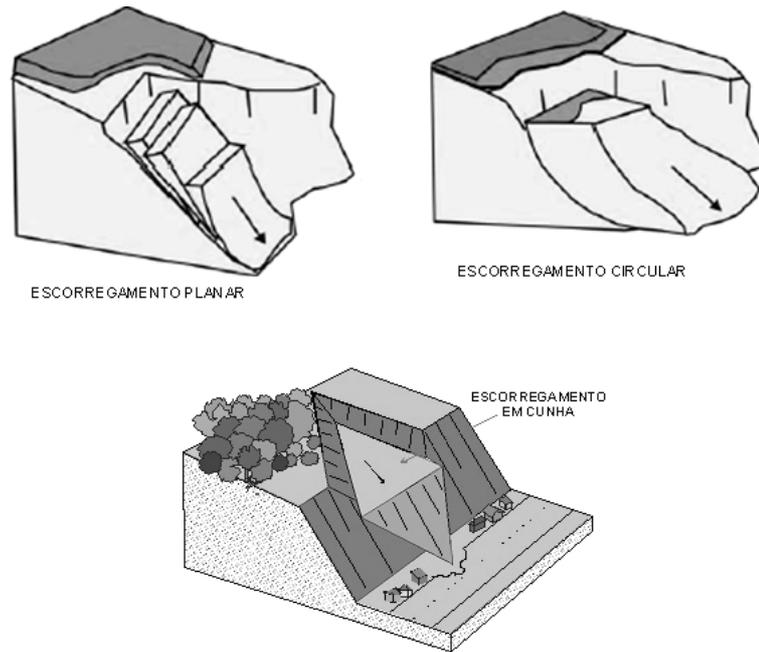


Figura 5 – Tipos de escorregamento (CRUDEN & VARNES, 1996).

A partir da geração de uma situação potencialmente instável, a ação posterior de águas pluviais e servidas pode deflagrar processos erosivos e mudanças na condição de estabilidade do bloco rochoso, provocando sua movimentação ao longo do tempo, até sua ruptura (queda). A Figura 7 mostra um perfil esquemático com os processos mais comuns de instabilização de blocos rochosos e o risco para moradias. A situação se agrava quando o bloco possui descontinuidades ou fraturas (GUIDICINI & NIEBLE, 1984).

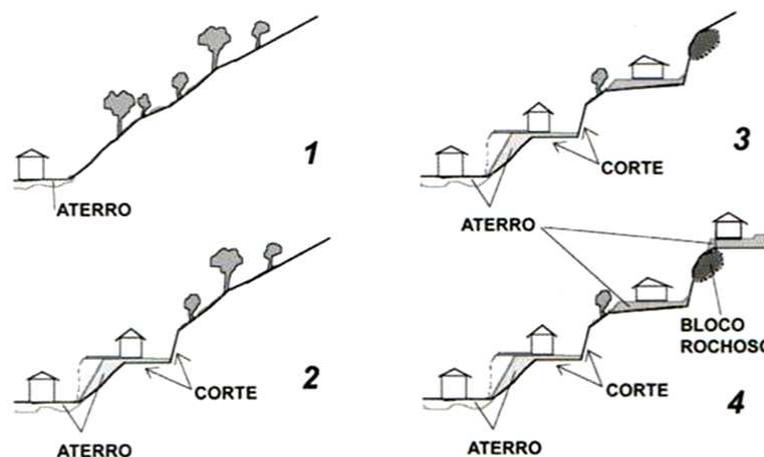


Figura 6 – (1) Ocupação de base de encosta; (2) evolução da ocupação; (3) Execução de cortes e aterros aflorando blocos rochosos; (4) Instabilização do bloco rochoso (GUIDICINI & NIEBLE, 1984).

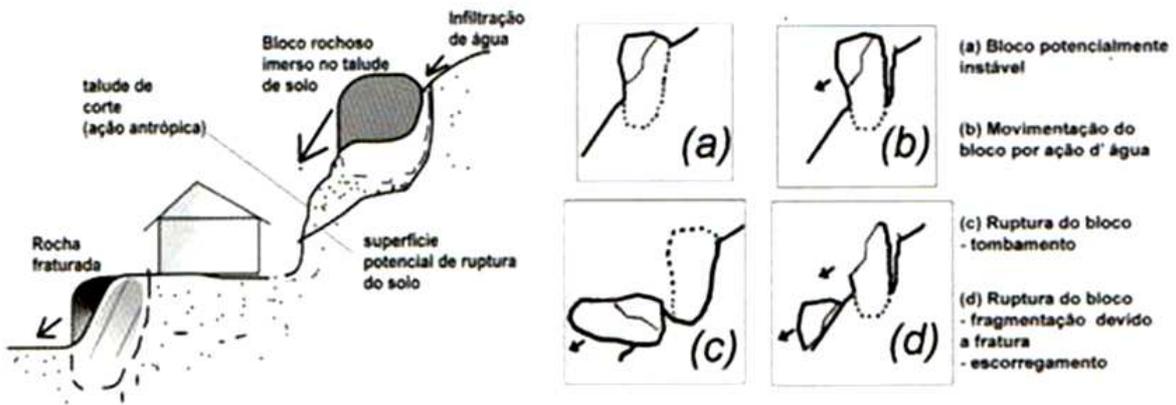


Figura 7 – (1) Alguns exemplos de processos que instabilizam o bloco rochoso e criam uma situação de risco para a moradia; (2) seqüência dos processos de instabilização até a ruptura de um bloco rochoso fraturado (GUIDICINI & NIEBLE, 1984).

Os casos mais comuns de instabilidade em rocha são mostrados esquematicamente na Figura 8.

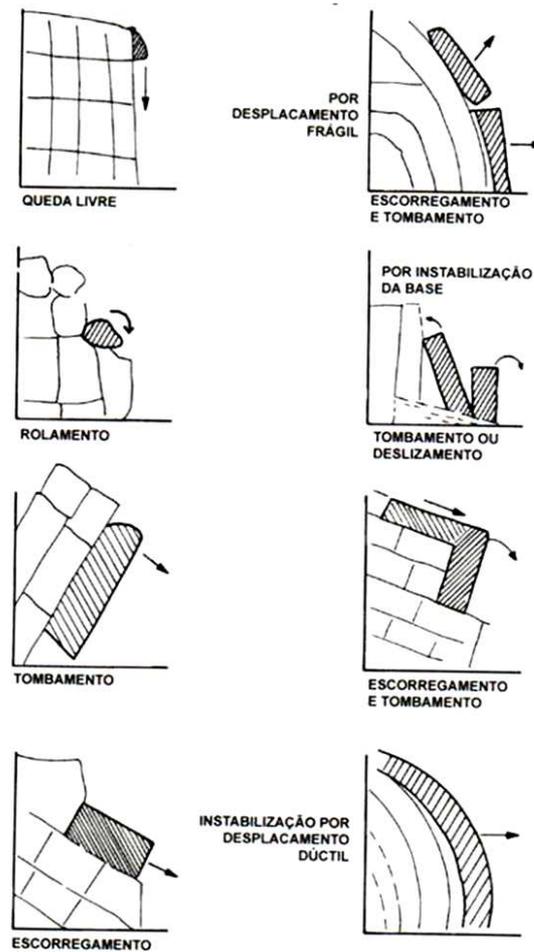


Figura 8 – Casos comuns no processo de instabilização de rochas (GUIDICINI & NIEBLE, 1984).

Nas rochas, frescas ou alteradas, os principais condicionantes dos escorregamentos são as estruturas (fraturas, xistosidades, falhas). Assim, em maciços rochosos que apresentam um único padrão estrutural ocorrem escorregamentos planares, enquanto que a presença de dois sistemas de estruturas possibilita a ocorrência de escorregamentos em cunha. Em geral a ocorrência de escorregamentos em rocha está associada a chuvas intensas de curta duração. A presença de argilas expansivas e a variação térmica também podem contribuir para o registro de escorregamento de rocha (MINISTERIO DAS CIDADES, 2006).

Geralmente a ruptura em rocha, seja qual for a natureza do processo mecânico, ocorrerá somente nos casos onde o Fator de Segurança (FS) já se encontra baixo (próximo de 1,0). Em uma análise, para se garantir que a situação não se encontre nesta condição, conforme Guidicini & Nieble (1984), devido às incertezas presentes na avaliação de encostas com afloramento de blocos e maciços rochosos, deve-se ter como referência um FS determinado bem acima de 1,0 (em torno de 3,5).

O processo de ruptura pode ser somente por queda de blocos, porém, na maioria dos casos, o processo termina com o rolamento nas encostas até encontrar uma barreira suficiente para impedir sua progressão. A queda sempre ocorre por um desequilíbrio do corpo rochoso, deflagrado por presença de água ou movimentos de solo. Pelo fato da rocha encontrar-se com um fator de segurança baixo, este se desequilibra e cai.

Segundo Guidicini & Nieble (1984), o deslizamento de rocha é deflagrado sempre que as condições de atrito são vencidas por influência da água e pela alteração do material de contato. No entanto, na maioria dos casos em que ocorrem estes processos de ruptura, observam-se condições de fraturamento, bem como ângulos de mergulho destes planos desfavoráveis às características do material. A pressão neutra provocada pela percolação de água sempre é um fator desencadeador de um processo de ruptura.

No caso em que a rocha encontra-se em talude de solo, há que se verificar a forma geométrica, as condições de drenagem, e se a base do talude é vertical ou negativa.

No caso de talude em rocha, deve-se verificar primordialmente o ângulo de contato, o tipo de rocha, o grau de alteração e a presença de percolação de água nas fraturas.

Em taludes de rocha mediana a muito alterada com condições de drenagem desfavoráveis, ocorre processo de intemperização muito rápido. Assim, há que se identificar e barrar a percolação de água e verificar o ângulo de inclinação do talude, que não poderá ultrapassar  $45^\circ$ .

A Figura 9 evidencia casos típicos encontrados nos morros do litoral paulista.

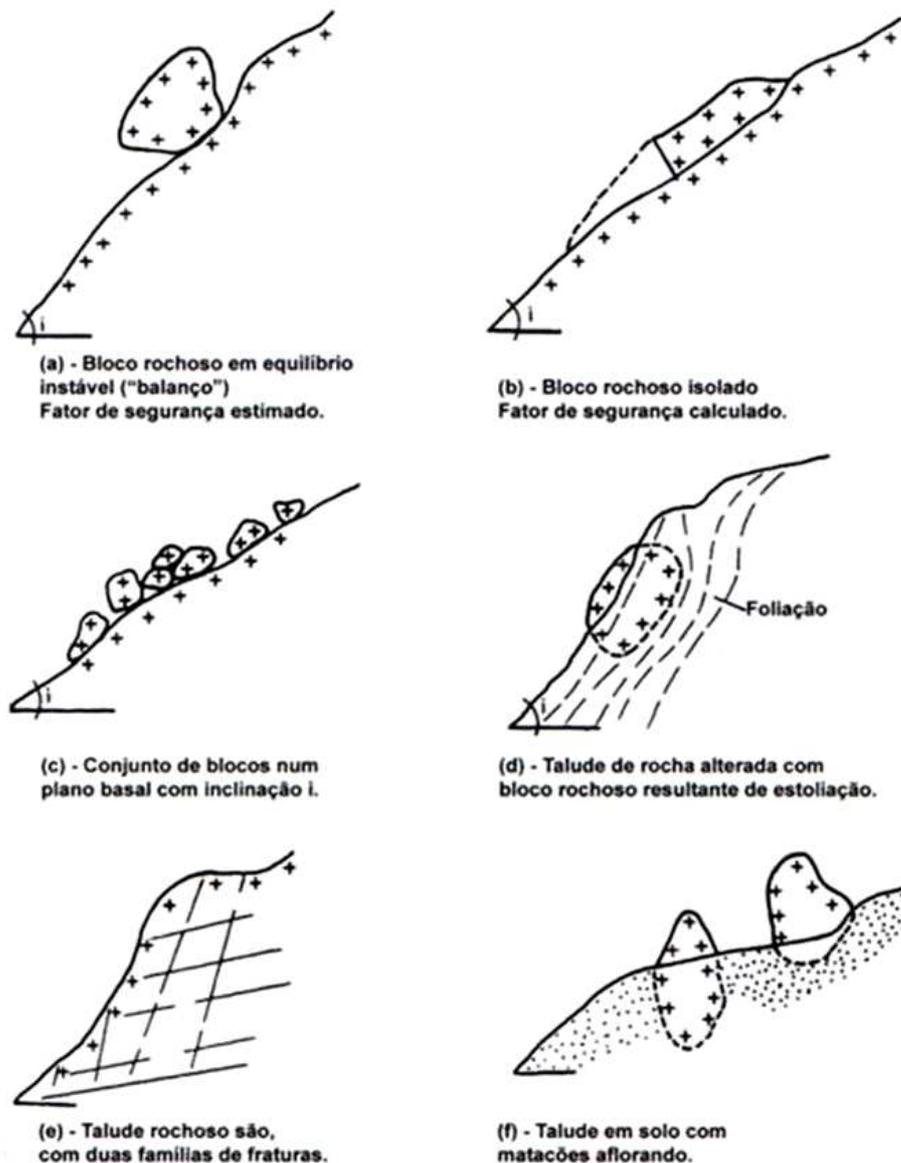


Figura 9 – Casos típicos encontrados nos morros do litoral paulista (GUIDICINI & NIEBLE, 1984).

**c) Rastejos:** consiste em movimento descendente, lento e contínuo da massa de solo de um talude, caracterizando uma deformação plástica, sem geometria e superfície de ruptura definidas. Semelhante aos demais movimentos de massa, podendo mobilizar qualquer tipo de material: solo, rocha ou a mistura dos dois. Geralmente os movimentos de rastejo (creep) envolvem materiais coluvionares. A Figura 10 exemplifica o movimento de rastejo.

Este tipo de movimento apresenta velocidades de deslocamento muito baixas, com taxas de deslocamento decrescentes gradualmente com a profundidade. Podem ser associados a mecanismos de movimentos contínuos, resultantes da deformação sob uma tensão constante e a mecanismos pulsantes, avançando com velocidade não-uniforme, associado a alterações climáticas sazonais.

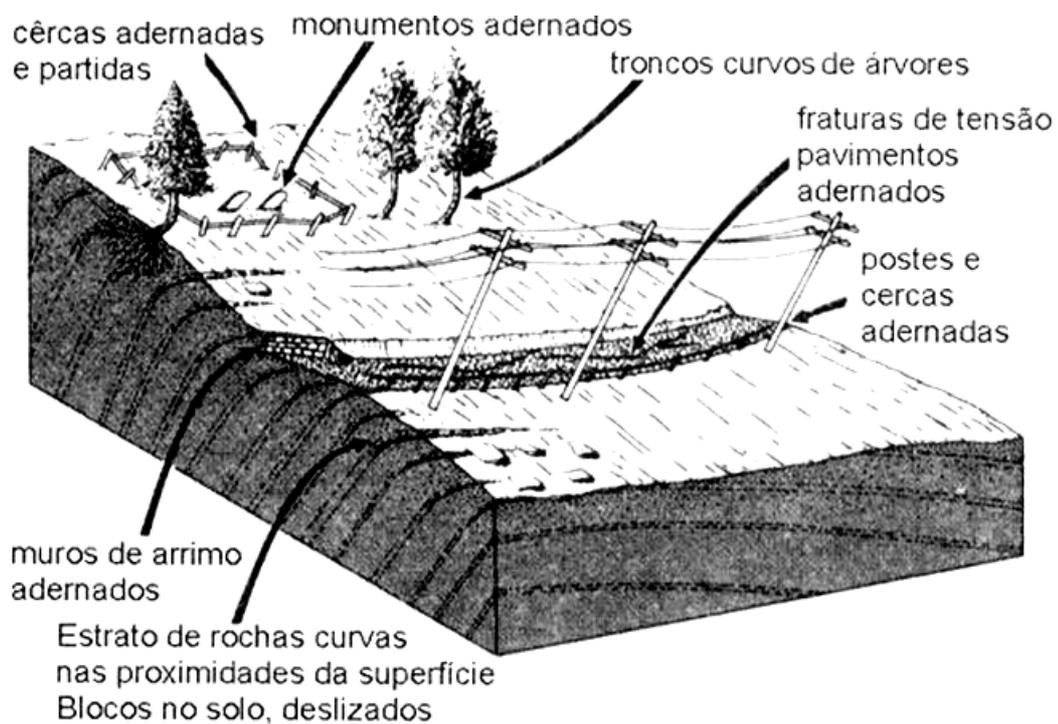


Figura 10 – Exemplo de rastejo e seus indícios (GUIDICINI & NIEBLE, 1984).

Lacerda (1985) enfatiza que colúvios são depósitos compostos por blocos e/ou grãos de quaisquer dimensões, transportados principalmente por gravidade e acumulados no pé ou a pequena distância de taludes. O autor acrescenta que, quando há a existência de escarpas rochosas a montante, o desprendimento e

queda de blocos ou lascas contribuem para a formação de colúvio ou tálus. O autor ainda ressalta que os tálus são casos particulares de colúvio, nos quais os blocos de rocha não estão envolvidos por uma matriz de solo.

Segundo Pinheiro (2000), os tálus ocorrem com certa frequência nas porções intermediárias das encostas da Serra do Mar, oriundos de escorregamentos primários nas encostas situadas à montante. Em alguns casos, essas massas soterram drenagens preexistentes (linhas de ravina) ou bloqueiam nascentes d'água, provocando uma infiltração das águas de drenagem aprisionadas dentro da massa de tálus. Em tais condições estas massas apresentam movimentos lentos de escoamento sazonal (creep ou rastejo), intensificados durante as épocas chuvosas.

Pinheiro (2006) cita que na subida da serra do Rio Grande do Sul ocorrem espessos e amplos depósitos de solos coluvionares/tálus de basalto. Os solos são constituídos por materiais argilo-arenosos, com blocos de tamanhos variados, de baixa consistência e geralmente saturados de água. Os fenômenos de instabilidade que ocorrem nestes materiais estão geralmente associados ao aumento da poropressão. Rastejos em colúvios ocorrem devido ao progressivo cisalhamento de minerais e criação de numerosas superfícies de cisalhamento. O mesmo autor ainda destaca que na estação seca estas massas geralmente são mais estáveis.

Segundo Rodrigues (1992), os rastejos dessas massas são essencialmente visco-plásticos e as velocidades de deformação são aceleradas na época das chuvas, iniciando um processo de movimentação com velocidade não constante. Os deslocamentos maiores ocorrem na parte mais central da massa, sendo que a camada mais superficial tende a se deslocar com maior velocidade. A zona superficial das massas coluvionares está sujeita a rastejo do tipo sazonal ou periódico, enquanto a zona inferior está submetida a rastejo constante, conforme definido por Terzaghi (1960).

O rastejo desses colúvios ocorre ao longo de uma superfície bem nítida caracterizada pela massa coluvionar e pela superfície in situ do terreno subjacente. Deslocam-se com velocidade não uniforme, às vezes até mesmo apresentando saltos, acompanhando a inclinação das encostas, movidas pela ação da gravidade e acompanhando a topografia mais favorável ao seu deslocamento, de tal forma que se pode ter inclusive direções variáveis de deslocamento em partes diferentes de uma massa coluvionar em processo de rastejo (PINHEIRO, 2006).

Rastejos podem ser induzidos pela ocupação urbana e, na literatura brasileira, este tipo de movimento é mais relacionado à presença de corpos de tálus. Mencionam-se, por exemplo, o efeito de cortes na região média inferior de corpos de tálus, assim como a execução de aterros sobre tais depósitos, como alguns dos fatores agravantes da condição de instabilidade natural que já os caracteriza, favorecendo sua movimentação mais generalizada em função do processo de ocupação (FARAH, 2003).

Corpos de tálus sofrem igualmente instabilizações decorrentes de elevações de cargas piezométricas, podendo assim apresentar incrementos de instabilização em chuvas. As infiltrações de água típicas da ocupação urbana, tais como vazamentos de tubulações de água e de esgotos ou a presença generalizada de fossas, tendem a colaborar neste processo.

Cortes, em encostas de declividades acentuadas, podem também originar rastejos, que às vezes evoluem para escorregamentos, em chuvas mais críticas. A Figura 11 mostra, esquematicamente, a indução de um rastejo pela ocupação, em corpo de tálus, por corte na sua região média inferior.

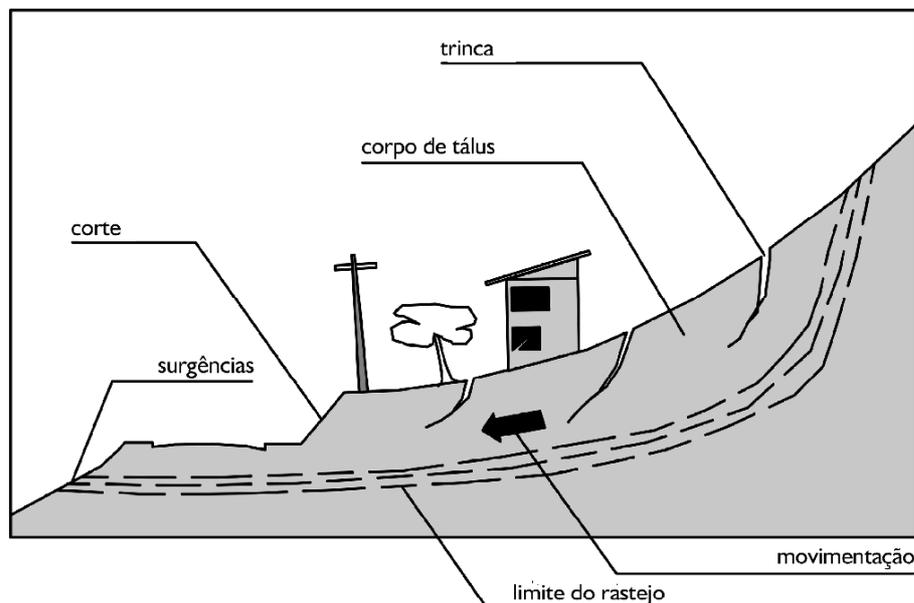


Figura 11 – Rastejo em corpo de tálus devido à ocupação urbana com corte (FARAH, 2003).

**d) Corridas:** são formas rápidas de escoamento, de caráter essencialmente hidrodinâmico, ocasionadas pela perda de atrito interno, em virtude da destruição da estrutura, em presença de excesso de água (GUIDICINI & NIEBLE, 1984).

Estes fenômenos são bem mais raros que os escorregamentos, porém, podem provocar consequências de magnitudes muito superiores, devido ao seu grande poder destrutivo e extenso raio de alcance mesmo em áreas planas. Nas áreas sujeitas ao fenômeno de corridas e enxurradas não se pode mais utilizar como dimensionamento só o fator hidráulico (chuva), porque a vazão não é mais comandada só pela água, mas também pelos detritos. A Figura 12 apresenta um exemplo de corrida de areia em Camaragibe-PE, no ano de 2000, na qual assoreou toda linha de drenagem do local.



Figura 12 – Corrida de areia em “Camaragibe-PE” (ALHEIROS, 2003).

Conforme descrito na reportagem da Conselho em Revista – Crea-RS (2011), durante os períodos de chuvas prolongadas (em geral superiores a 3 dias), é comum o registro de escorregamentos planares de solo em encostas de áreas urbanas, principalmente em locais de “aterros lançados” e em cortes de pequena altura muito inclinados. “Aterros lançados” e cortes são executados em áreas inclinadas, para produzir patamares sobre os quais são construídas as moradias.

A denominação “aterro lançados” é adotada porque os materiais utilizados em sua execução não são compactados, sendo lançados pela encosta muitas vezes sem limpeza da superfície dos terrenos, ou seja, sem critérios técnicos adequados. É muito comum que estes aterros apresentem composição heterogênea, sendo constituídos, além do solo, por lixo e entulhos de construção. Também podem ser

executados sobre antigos bota-foras. Deste modo, acabam por apresentar alta porosidade e elevada permeabilidade, fatores que acentuam seu potencial de instabilidade (MCIDADES, 2006).

Outro tipo de escorregamento que é muito comum em áreas de elevada declividade, especialmente em períodos de chuvas prolongadas, é o escorregamento de lixos e materiais depositados na superfície das encostas.

### 1.2.2 Mecanismos dos movimentos de massa

Para definir uma solução adequada de redução de risco é necessário ter um claro entendimento dos mecanismos e fatores dos movimentos. Os processos de movimentos de massa podem ocorrer devido a três grandes situações:

**a) Aumento das tensões cisalhantes:** relacionado à remoção do suporte lateral (escavações; erosões; fluxos d'água; erosão interna ao nível do lençol freático, conhecida como "pipping"), adição de materiais no topo da encosta (sobrecargas), explosões, passagem de veículos pesados, forças tectônicas (soerguimentos e choques sísmicos), etc.

**b) Contribuição para baixas resistências ao cisalhamento:** relacionado tanto a características inerentes do material envolvido quanto à presença de fissuras, falhas e/ou descontinuidades na massa de rocha / solo.

**c) Redução na resistência do material:** relacionado principalmente aos materiais argilosos que podem sofrer processos de intemperismo, reações físico-químicas (hidratação de argilominerais - diminuição da coesão e ângulo de atrito interno por alteração), saturação (aumento da pressão hidrostática).

As causas e características que contribuem para os movimentos de massa estão sumarizadas no Quadro 4, agrupados em quatro grupos (geológicos, morfológicos, físicos e humanos) de acordo com as ferramentas e procedimentos necessários para uma investigação (CRUDEN & VARNES, 1996).

1. Causas Geológicas
<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Materiais Fracos</li> <li>b. Materiais sensíveis</li> <li>c. Materiais desgastados (intemperizados)</li> <li>d. Materiais cisalhados</li> <li>e. Materiais articulados ou fissurados</li> <li>f. Massa descontínua orientada adversamente (estratificação, xistosidade, etc.)</li> <li>g. Estrutura descontínua orientada adversamente (falha, contato, sem conformidade, etc.)</li> <li>h. Contraste na permeabilidade</li> <li>i. Contraste na dureza (duro, material denso sobre material plástico)</li> </ul>
2. Causas Morfológicas
<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Subpressão tectônica ou vulcânica</li> <li>b. Reação glacial</li> <li>c. Erosão fluvial de pé de talude</li> <li>d. Erosão de onda de pé de talude</li> <li>e. Erosão glacial de pé de talude</li> <li>f. Erosão das margens laterais</li> <li>g. Erosão subterrânea (solução, "piping")</li> <li>h. Deposição de carga no talude ou na sua crista</li> <li>i. Remoção da vegetação (por fogo na floresta, seca)</li> </ul>
3. Causas Físicas
<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Chuvas intensas</li> <li>b. Derretimento rápido de neve</li> <li>c. Precipitação excepcional prolongada</li> <li>d. Rebaixamento rápido (de inundações e marés)</li> <li>e. Terremoto</li> <li>f. Erupção vulcânica</li> <li>g. Descongelamento</li> <li>h. Intemperismo/desgaste devido ao congelamento-e-descongelamento</li> <li>i. Intemperismo/desgaste devido à contração-e-inchamento</li> </ul>
4. Causas humanas
<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Escavação de talude ou do seu pé</li> <li>b. Carregamento de talude ou de sua crista</li> <li>c. Rebaixamento (de reservatórios)</li> <li>d. Desmatamento</li> <li>e. Irrigação</li> <li>f. Mineração</li> <li>g. Vibração artificial</li> <li>h. Vazamentos de águas servidas</li> </ul>

Quadro 4 – Inventário de causas de movimentos de massa (CRUDEN & VARNES, 1996).

O Quadro 5 relaciona os principais mecanismos de deflagração de movimentos de massa, reconhecendo os fatores que aumentam as solicitações e os que diminuem a resistência dos terrenos, com os respectivos fenômenos naturais e antrópicos (humanos) a que estão associados.

<b>Ação</b>	<b>Fatores</b>	<b>Fenômenos Naturais / Antrópicos</b>
<b>AUMENTO DA SOLICITAÇÃO</b>	Remoção de massa	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Erosão, escorregamentos;</li> <li>▪ Cortes</li> </ul>
	Sobrecarga	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Peso da água de chuva, neve, granizo, etc.;</li> <li>▪ Acúmulo natural de material;</li> <li>▪ Peso da vegetação;</li> <li>▪ Construção de estruturas, aterros, etc.</li> </ul>
	Solicitações dinâmicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Terremotos, ondas, vulcões, etc.;</li> <li>▪ Explosões, tráfego, sismos induzidos.</li> </ul>
	Pressões laterais	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Água em trincas, congelamento, expansão, etc.</li> </ul>
<b>REDUÇÃO DA RESISTÊNCIA</b>	Características inerentes ao material	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Características geomecânicas do material, estado de tensões iniciais.</li> </ul>
	Mudanças ou fatores variáveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Intemperismo, redução da coesão, ângulo de atrito;</li> <li>▪ Elevação do nível d'água.</li> <li>▪ Aumento do grau de saturação</li> </ul>
	Outras causas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Enfraquecimento devido ao rastejo progressivo;</li> <li>▪ Ação das raízes das árvores e buracos de animais.</li> </ul>

Quadro 5 – Fatores deflagradores dos movimentos de massa (VARNES, 1978).

### 1.2.3 Fatores agravantes relativos à água em encostas

As águas de subsuperfície, as provenientes de chuvas e/ou as águas servidas, representam, de um modo geral, o fator de maior influência nos deslizamentos. Na Figura 13 está apresentada como a água se movimento nas interfaces da terra, conhecida como ciclo hidrológico.

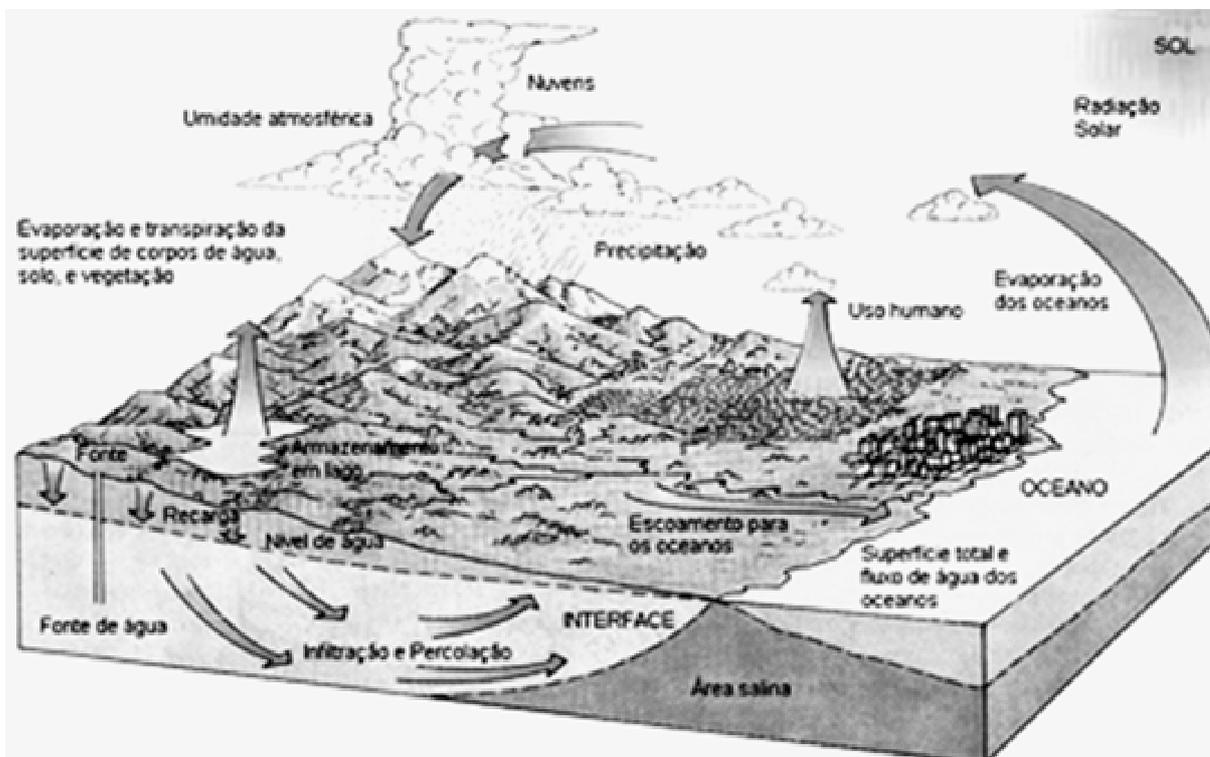


Figura 13 – Ciclo Hidrológico (GUIDICINI & NIEBLE, 1984).

De acordo com Pinheiro (2000), os principais processos de instabilização ocasionados pelo modo de atuação da água nas encostas são devidos ao fluxo de água dentro do talude, o que provoca forças de percolação, elevação de poropressões, erosão interna (piping) e saturação com diminuição da coesão aparente.

As chuvas relacionam-se diretamente com a dinâmica das águas de subsuperfície, atuando, de um modo geral, como o principal fator de escorregamento. A maioria dos deslizamentos registrados está associada a

episódios de elevada pluviosidade, de duração compreendida entre algumas horas até alguns dias (GUIDICINI & NIEBLE, 1984).

Os índices pluviométricos críticos para ocorrência dos movimentos de massa variam com o regime de infiltração no solo, a dinâmica das águas subterrâneas no maciço e o tipo de instabilização. Como por exemplo, podemos citar:

- Os escorregamentos em rocha tendem a ser mais suscetíveis a chuvas concentradas, pois as forças de percolação geram maiores pressões neutras nas fraturas e descontinuidades dos materiais rochosos;
- Os processos em solo dependem também dos índices pluviométricos acumulados nos dias anteriores, pois o processo de saturação diminui a coesão e o ângulo de atrito interno dos solos;
- Processos tipo corridas estão associados a índices pluviométricos muito intensos (acima de 50 mm/hora), pois as elevadas forças de percolação provocam rupturas internas e anulam a resistência ao cisalhamento dos materiais;
- As rupturas em áreas modificadas pelo homem com desmatamentos, cortes, aterros, etc., chamados de escorregamentos induzidos, podem ocorrer com valores de precipitações considerados normais.

A associação entre deslizamentos e o índice pluviométrico tem levado alguns pesquisadores a tentarem estabelecer correlações empíricas, probabilísticas ou físico-matemáticas. A correlação entre chuva e os escorregamentos é utilizada em muitos municípios brasileiros como critérios técnicos para implantação de planos de contingência.

A Figura 14, obtida a partir de estudos de correlação chuvas versus escorregamentos na região de Cubatão (SP), foi proposto por Tatizana et al. (1987). Está baseado em levantamento de eventos de escorregamentos e em dados pluviométricos horários.

Em IPT (2004) foi mostrado que ocorreram acidentes para os valores de precipitação acumulada em 3 dias em algumas cidades do estado de São Paulo: 100 mm - Baixada Santista; 120 mm - Litoral Norte; 100 mm - Vale do Paraíba; 80 mm - Campos do Jordão; 80 mm - Campinas; 80 mm – ABC e 80 mm – Sorocaba.

### CHUVAS X ESCORREGAMENTOS EM CUBATÃO, SÃO PAULO

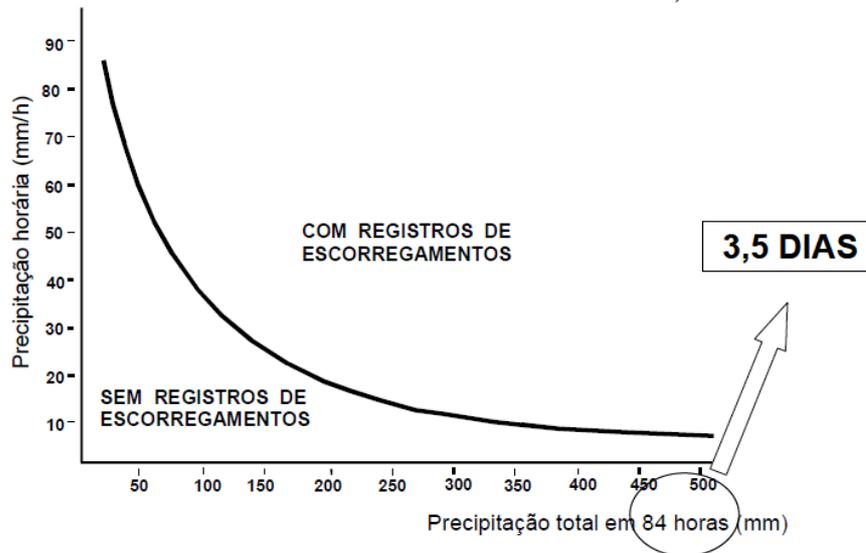


Figura 14 – Correlação chuvas versus escorregamentos na região de Cubatão (SP) (TATIZANA et al., 1987).

Martins (2006) determinou um índice crítico de erosividade da chuva ( $EI_{30}$ ) para o município de Santa Maria-RS com dados do período de 1980 a 2002 e correlacionou este índice com o registro de ocorrências de eventos de inundações, alagamentos e deslizamentos na mesma cidade. Na correlação entre os dados de erosividade da chuva e os eventos registrados, considerou-se a chuva acumulada e respectivo índice crítico de erosividade da chuva ( $EI_{30}$ ) relativos a quatro dias antecedentes ao evento. A definição de chuva acumulada esteve apoiada em Tatizana et al (1987) que definiram este número de dias de chuva antecedentes quando analisaram ocorrências de escorregamentos na Serra do Mar em Cubatão-SP.

Os resultados obtidos mostram que há uma correlação positiva, ou seja, quanto maior a intensidade da chuva num intervalo de 30 minutos, maior é a presença de ocorrências desses eventos. Constatou-se que os maiores valores para o índice de erosividade da chuva ( $EI_{30}$ ) ocorrem nos meses de dezembro, janeiro, março e fevereiro respectivamente. Isso evidencia que as precipitações nesses meses, dadas às condições de tempo locais, apresentam-se mais erosivas. Conforme o estudo, chuvas com intensidade de 31,21 mm/h em eventos de precipitação acumulados em quatro dias, são susceptíveis de desencadear inundações, alagamentos e deslizamentos (MARTINS, 2006).

O lançamento de águas servidas diretamente no solo também pode deflagrar processos de instabilização de encostas (erosões e deslizamentos). De um modo geral, a maioria da população de baixa renda ao ocupar as encostas, o fazem de forma desordenada, desconhecendo critérios técnicos de construção. A população carente ao projetar loteamentos na maioria das vezes em relevos íngremes, associado à realização de cortes, aterros e construção de fossas nas bordas do talude, propicia a ocorrência de movimentos de massa nestas áreas. Outro agravante diz respeito à ausência de serviços de esgotamento sanitário e drenagem na área, o que leva a população a seguir práticas rudimentares e inadequadas para o destino dos seus efluentes domésticos. A Figura 15 apresenta exemplo de uma área com escorregamento provocado pela ação das águas servidas.



Figura 15 – Deslizamento de encosta provocado por águas servidas – Ipojuca / PE (ALHEIROS, 2003).

Embora, em geral, seja apenas a chuva associada a movimentos de massa, em áreas de encostas ocupadas, desprovidas de infraestrutura, de esgotamento sanitário e drenagem, as águas servidas (precipitação antrópica) podem, em conjunto com as precipitações pluviométricas, agravar o ambiente a processos erosivos e de instabilizações de encostas.

#### 1.2.4 Indicadores de movimentos de massa

Alguns sinais presentes nas encostas são indícios de movimentos iniciados (Figuras 16 a 20 apresentadas em MCIDADES, 2006). Podem ser exemplos de inícios de movimentos: fendas no solo; desníveis ou degraus no solo; estalos e fissuras nas paredes; surgências de água; árvores, cercas e postes inclinados e embarrigamento no pé do talude.



Figura 16 – Fendas no solo e fissuras na parede.



Figura 17 – Surgências de água.



Figura 18 – Degráus no solo.



Figura 19 – Postes inclinados.



Figura 20 – Embarrigamento no pé do talude (MCIDADES, 2006).

### 1.3 Riscos em áreas de encostas vulneráveis

Neste tópico serão explicados os tipos de riscos e a susceptibilidade aos mesmos das áreas com declividade elevadas.

Embora as últimas décadas tenham assistido a um crescente avanço técnico-científico em relação à área de conhecimentos sobre riscos naturais ou não, a terminologia usualmente empregada pelos profissionais que atuam com o tema, ainda encontra muita variação em sua definição.

Em IPT (2004) são propostas as seguintes definições dos termos mais utilizados:

- **EVENTO:** Fenômeno com características, dimensões e localização geográfica registrada no tempo;
- **PERIGO (HAZARD):** Condição com potencial para causar uma consequência desagradável;
- **VULNERABILIDADE:** Grau de perda para um dado elemento ou grupo dentro de uma área afetada por um processo;
- **SUSCETIBILIDADE:** Indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em áreas de interesse ao uso do solo, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência;
- **RISCO:** Probabilidade de ocorrer um efeito adverso de um processo sobre um elemento. Multiplicação entre perigo e vulnerabilidade, pressupondo sempre a perda;
- **ÁREA DE RISCO:** Área passível de ser atingida por processos naturais e/ou induzidos que causem efeito adverso. As pessoas que habitam essas áreas estão sujeitas a danos à integridade física, perdas materiais e patrimoniais.

A classificação internacionalmente adotada para os perigos é a da ISDR – “International Strategy for Disaster Reduction” (2004) de acordo com o Quadro 6.

CLASSIFICAÇÃO DOS PERIGOS	
<b>PERIGOS NATURAIS</b>	
Processos ou fenômenos naturais que ocorrem na biosfera e podem resultar em danos. Podem ser classificados de acordo com sua origem em: geológicos, hidrometeorológicos ou biológicos.	
ORIGEM	FENÔMENOS
<b>Perigos Hidrometeorológicos</b> Processos naturais ou fenômenos de ordem atmosférica, hidrológica e oceânica.	inundações, fluxos de detritos ou de lama erosão hídrica e costeira ciclones tropicais, tempestades, ventos, chuvas e outros eventos climáticos severos, raios, relâmpagos secas, desertificação, incêndios florestais, temperaturas extremas, tempestade de areia e poeira solos congelados (permafrost), avalanches de neve
<b>Perigos Geológicos</b> Fenômenos terrestres naturais associados a processos endógenos tectônicos ou exógenos, como os movimentos de massa.	terremotos, maremotos (tsunamis) atividade e emissões vulcânicas movimentos de massa: deslizamentos, queda de rochas, corridas de lama, deslizamentos submarinos colapsos e atividades de falhas geológicas
<b>Perigos Biológicos</b> Processos de origem orgânica decorrentes de vetores biológicos, incluindo exposição a microrganismos patogênicos, toxinas e substâncias bioativas.	surto de doenças epidêmicas, contágio por planta ou animal e infestações extensivas (pragas de gafanhotos)
<b>PERIGOS TECNOLÓGICOS</b>	
Perigo associado a acidentes tecnológicos ou industriais, falhas estruturais ou humanas que possam causar perdas de vidas, ferimentos, danos à propriedade, ruptura social ou econômica, ou danos ambientais, quase sempre associados a perigos antropogênicos. Exemplos: poluição industrial, emissão nuclear e radioatividade, lixo tóxico, ruptura de barragens, acidentes de transportes ou acidentes tecnológicos (explosões, incêndios, derramamentos)	
<b>DEGRADAÇÃO AMBIENTAL</b>	
Processos induzidos por comportamentos e atividades humanas (às vezes combinados com perigos naturais) que causam danos aos recursos naturais, impactam adversamente processos naturais e ecossistemas. Os efeitos potenciais são variados e podem contribuir para o aumento da vulnerabilidade, frequência ou intensidade dos perigos naturais. Exemplos: degradação da terra, desflorestamento, desertificação, incêndios florestais, perda da biodiversidade, poluição do ar e das águas, mudanças climáticas, subida do nível do mar, depleção de ozônio.	

Quadro 6 – Classificação dos perigos (adaptado de ISDR, 2004).

Podemos expressar o risco a escorregamento por meio da seguinte fórmula:

$$R = P \times C \quad (1)$$

Sendo que:

R = Risco da área sob influência do escorregamento;

P = Probabilidade de ocorrência do escorregamento;

C = Consequência (número de moradias inseridas no setor de risco);

Segundo Pereira et al. (2008), o risco (R) é igual ao produto do perigo (H) pelos elementos submetidos ao risco (E) e pela vulnerabilidade (V) destes elementos:

$$R = H \times E \times V \quad (2)$$

Sendo que:

Perigo = Probabilidade de ocorrência de um evento em um local específico e em um período específico de tempo;

Elementos em risco = Pessoas e propriedades;

Vulnerabilidade = Grau de perda de um determinado elemento.

Para se determinar a probabilidade de ocorrência do processo, geralmente utiliza-se uma escala de 4 graus (níveis) de probabilidade de ocorrência dos processos, com base nas informações geológico-geotécnicas: baixo ou sem risco (R1), médio (R2), alto (R3) e muito alto (R4) (MCIDADES, 2006). Os critérios de julgamento da probabilidade de ocorrência de escorregamentos são apresentados no Quadro 7.

GRAU DE PROBABILIDADE	DESCRIÇÃO
<p style="text-align: center;"><b>R1</b> <b>Baixo a Inexistente</b></p>	<p>Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens. É a condição menos crítica. Mantidas as condições existentes, não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período de um ciclo chuvoso.</p>
<p style="text-align: center;"><b>R2</b> <b>Médio</b></p>	<p>Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Observa-se a presença de alguma(s) evidência(s) de instabilidade (encosta e margens de drenagens) porém incipiente(s). Mantidas as condições existentes, é reduzida a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de um ciclo chuvoso.</p>
<p style="text-align: center;"><b>R3</b> <b>Alto</b></p>	<p>Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Observa-se a presença de significativa(s) evidência(s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, etc.). Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante um episódio de chuvas intensas e prolongadas, no período de um ciclo chuvoso.</p>
<p style="text-align: center;"><b>R4</b> <b>Muito Alto</b></p>	<p>Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. As evidências de instabilidade (trinca no solo, degrau de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de escorregamentos, feições erosivas, proximidade da moradia em relação ao córrego, etc.) são expressivas e estão presentes em grande número e/ou magnitude. É a condição mais crítica. Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódio de chuvas intensas e prolongadas, no período de um ciclo chuvoso.</p>

Quadro 7 – Critérios para a definição do grau de probabilidade de ocorrência de processos destrutivos do tipo deslizamentos (escorregamentos) em encostas ocupadas e desbarrancamento (solapamento) de margens de córregos (adaptado de MCIDADES, 2006).

É correto afirmar que a classificação do grau de probabilidade de ocorrência de evento destrutivo (R1 a R4) consiste na determinação do perigo (H) (PEREIRA et al., 2008).

As áreas vulneráveis de encostas podem ter ocupação consolidada, parcialmente consolidada, parcelada ou mista. As primeiras são densamente ocupadas e possuem infraestrutura básica. Aquelas em processos de ocupação possuem densidade variando de 30% a 90% e com razoável infraestrutura básica. Já as áreas parceladas são de expansão, periféricas, distantes de núcleo urbanizado, com baixa densidade de ocupação (até 30%) e desprovidas de infraestrutura básica. As áreas mistas devem ser caracterizadas quanto à densidade de ocupação e quanto à implantação de infraestrutura básica.

As áreas de risco podem ser mapeadas em dois níveis de detalhe: o zoneamento (setorização ou mapeamento) de risco e o cadastramento de risco.

No zoneamento de risco são delimitados setores nos quais, em geral, encontram-se instaladas várias moradias. Desta forma, admite-se que todas as moradias do setor se encontram em um mesmo grau de risco, como por exemplo, risco alto. Entretanto, em meio às moradias deste setor pode haver algumas edificações que não apresentam situação de risco tão elevada. Assim, pode-se considerar que, no zoneamento de risco, há uma generalização. O zoneamento compreende a identificação dos processos destrutivos atuantes, a avaliação do risco de ocorrência de acidentes e a delimitação e distribuição espacial de setores homogêneos em relação ao grau de probabilidade de ocorrência de risco, estabelecendo tantas classes quantas necessárias. Permite individualizar e caracterizar cada um dos setores, fornecendo informações sobre aos diversos níveis de suscetibilidade ao qual estão submetidos.

Segundo o Plano Municipal de Redução de Riscos de Santa Maria-RS (PMRRSM, 2006), o zoneamento de risco geológico se inicia com a pré-setorização da área, utilizando-se a percepção (experiência e à vivência do profissional), e parâmetros básicos: declividade/inclinação, tipologia dos processos, posição da ocupação em relação à encosta e qualidade da ocupação (vulnerabilidade).

Pereira et al.(2008) cita que o mapeamento de risco é um instrumento que permite determinar a potencialidade de ocorrência de acidentes, através de vistorias realizadas em campo com o objetivo de identificar as situações de risco.

Já no cadastramento de risco os trabalhos de mapeamento são executados em grau de detalhe bem maior quando comparados aos casos de zoneamento. No cadastramento de risco não se faz qualquer generalização, já que os riscos são identificados e analisados moradia por moradia. É aconselhável que se execute o cadastramento de risco após a realização do zoneamento, devendo o cadastramento se limitar aos setores de risco mais alto.

Pereira et al. (2008) ressalta que uma informação de suma importância na classificação dos setores de risco, levantada em campo e conferida em escritório, com base em imagem de satélite, foi a determinação do nível de consequências potenciais de determinado evento destrutivo, ou seja, a quantificação do dano gerado por cada instabilidade potencial. Para tal, foram determinados três níveis de consequências potenciais:

(i) Nível Alto: o processo destrutivo afeta mais de 15 habitações ou afeta severamente a infraestrutura urbana implantada;

(ii) Nível Médio: o processo destrutivo afeta de 5 a 15 habitações ou afeta moderadamente a infraestrutura urbana implantada;

(iii) Nível Baixo: o processo destrutivo afeta de 1 a 5 habitações ou afeta de forma pouco significativa a infraestrutura urbana implantada.

Levantamentos de riscos realizados em encostas de vários municípios brasileiros e tragédias ocorridas recentemente como as de Santa Catarina em 2008, Angra dos Reis em 2010 e na região serrana do Rio em 2011, indicam que, em todas elas, a falta de infraestrutura urbana é uma das principais causas dos fenômenos de deslizamentos no Brasil. Dessa forma, uma política eficiente de prevenção de riscos de deslizamentos em encostas deve considerar como áreas prioritárias de atuação os assentamentos precários e deve também fazer parte das políticas municipais de habitação, saneamento e planejamento urbano.

Em Crea-RS (2011) foi mencionado que, além da desocupação das áreas consideradas geotecnicamente de alto risco, é indispensável a produção de Cartas de Riscos, reassentando seus ocupantes em condições dignas e seguras em outras áreas. Os municípios com conhecido potencial de risco devem elaborar o instrumento indispensável para um eficaz planejamento do crescimento urbano, a Carta Geotécnica. Esse mapa do município mostrará tanto as áreas que não poderão ser ocupadas de forma alguma e as liberadas, desde que sejam adotados critérios técnicos e explicitados na Carta, a qual deverá ter força de lei.

Especialistas são unânimes ao defender a atuação preventiva do Estado e da sociedade para evitar a ocorrência de novos desastres, pois se as chuvas intensas realmente forem mais frequentes nos próximos anos, o impacto delas deverá ser ainda pior se a ocupação de áreas de risco continuar crescendo desordenadamente no Brasil. Para retirar todas as pessoas e evitar novas ocupações, é preciso oferecer opção de moradia segura e controlar efetivamente o uso e a ocupação do solo. Deve haver fiscalização e cumprimento das leis e contenção da especulação imobiliária.

#### **1.4 Ocupações espontâneas de encostas e considerações sobre projetos**

O estudo de Oliveira & Mélo (2005) evidencia alguns fatores agravantes de instabilização relativos às ocupações espontâneas de encostas e respectivas considerações a serem levadas em conta nos projetos técnicos de estabilização de encostas, conforme descrito abaixo:

##### **a) Desmatamento, capina ou queimada**

Desmatamentos constantes podem ser verificados nas áreas de ocupação espontânea em encostas. A retirada por completo ou queima da vegetação, elimina o efeito favorável de “reforço” provocado pelas raízes na camada superficial dos

taludes, sujeitando o local a processos erosivos e pequenas rupturas superficiais. Outro ponto importante sobre a questão é a maior infiltração de chuvas e a redução do efeito benéfico da evapo-transpiração oriundo da vegetação, fator que favorece a frente de saturação do talude e conseqüentemente impondo maiores perigos. Torna-se então importante, a redefinição dessas áreas verdes nos projetos, com vegetações adequadas e com a devida conscientização da população, através dos trabalhos sócio-educativos.

#### **b) Implantação de moradias em área sujeita a evolução natural da encosta**

É importante identificar as áreas de evolução natural, ou seja, que estão em processos de conformação natural por processos de rastejos, falhas geológicas, etc. As moradias nesses locais, que se configurem como riscos ou como agentes instabilizadores devem ser removidas.

#### **c) Execução de corte e/ou aterro a meia encosta para implantação de moradias e/ou acessos**

O problema se constitui na falta de critério técnico na execução dos aterros, de forma similar a apresentada na Figura 21, criando superfícies de rupturas favoráveis, bem como dos cortes, conforme apresentada na Figura 22a. 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). Deve-se atentar também para pesquisas, nas análises de estabilidade de taludes, de superfícies não circulares, estabelecidas por uma interface desfavorável. Assim a questão trata-se também de uma abordagem importante que deve ser contemplada nas ações sócio-educativas do projeto, potencializando a gestão comunitária, pois mesmo após intervenções de melhorias,

a área estará sujeita a crescimentos e ampliações, requisitando o perfeito conhecimento de suas implicações pela população.

Outra questão relevante que deve ser ressaltada é a deficiência dos levantamentos topográficos das áreas de ocupação intensa, quer seja pela pouca quantidade de pontos quer pela não consideração de pontos importantes. É comum a execução de cortes nos taludes para a implantação das casas, sendo também comum encostar a parede de alvenaria de blocos cerâmicos, ou seja, sem função estrutural de contenção, neste corte (ver Figura 22a). Devido à utilização de softwares que facilitam a geração das superfícies e curvas de níveis da área levantada, é comum a obtenção de pontos de forma “irradiada”, acontecendo por vezes, principalmente em áreas intensamente ocupadas, o não levantamento de pontos fundamentais a correta topografia, como os apontados também na Figura 22a. A não consideração desses pontos implica em superfícies que por vezes mascaram a situação real de risco da área (ver Figuras 22b e 22c), devendo-se estar atento a tais situações.

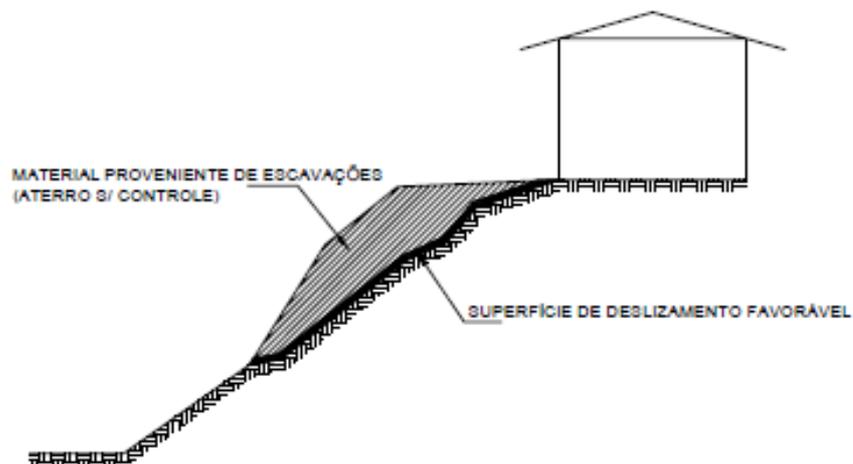


Figura 21 – Exemplo de material (proveniente de cortes, lixo, entulhos, etc) lançado no talude estabelecendo superfície de deslizamento favorável (OLIVEIRA & MÉLO, 2005).

#### **d) Abertura aleatória de vias de acessos**

Este tópico tem implicações semelhantes ao item anterior, podendo-se acrescentar ainda que quando da implantação pelos moradores, normalmente não é executado qualquer tipo de sistema de drenagem, que com o aumento do escoamento superficial, aumenta-se o arraste de partículas de solos (processos erosivos). Assim quando da elaboração dos projetos deve-se buscar rede de vias de acesso que seja suficiente à comunidade, momento fundamental de sua participação, evitando futuras vias executadas pelos moradores. Deve-se considerar também que estas vias funcionam como reguladores da drenagem pluvial bem como na delimitação de área para futuros crescimentos.

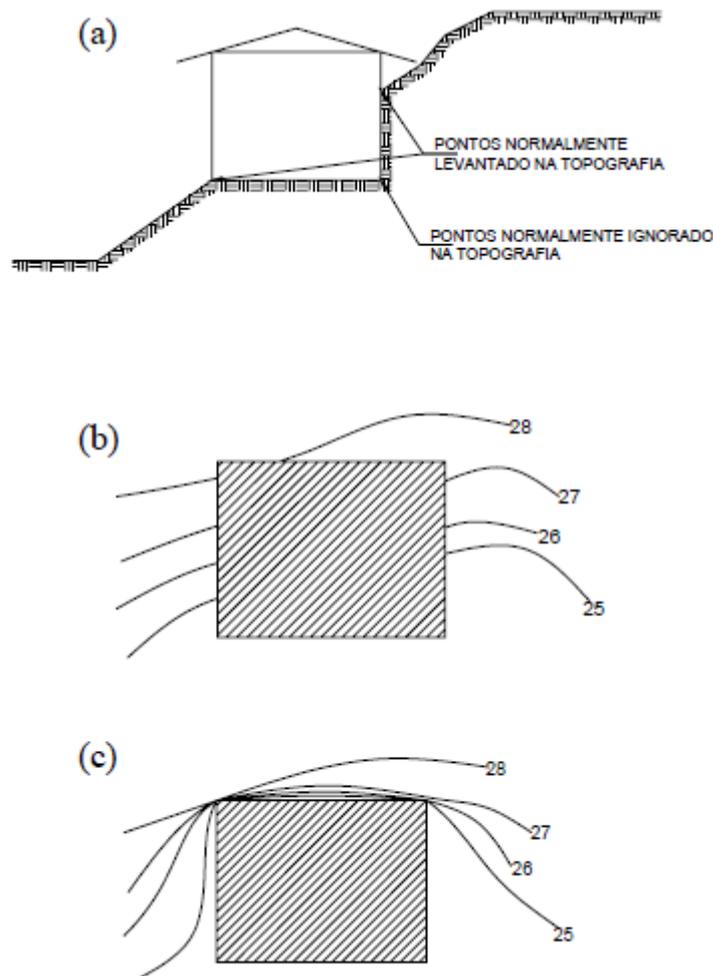


Figura 22 – (a) Seção transversal de situação tipicamente encontrada (b) Planta baixa da seção “a” normalmente gerada pelos programas computacionais de topografia sem os pontos “ignorados” (c) Planta baixa gerada quando considerados os pontos “ignorados” (OLIVEIRA & MÉLO, 2005).

### **e) Despejo de detritos (lixo, entulho, matérias de escavações e refugos) sobre a superfície da encosta**

Tratando-se inicialmente do ponto de vista similar ao do item “c”, o despejo de materiais de forma não controlada estabelece superfícies de ruptura favoráveis, principalmente por se tratarem de materiais não consolidados ou compactados, conforme já apresentado na Figura 21. É importante definir corretamente, na fase inicial do projeto, os perfis corretos, detalhando prováveis interfaces desfavoráveis, nas análises de estabilidade de taludes. Um aspecto de relevância, na fase de levantamentos e diagnóstico dos projetos, é a dificuldade de identificar nas sondagens de simples reconhecimento (SPT) as corretas profundidades das camadas de lixos domésticos. Oliveira (2002) cita que em ensaios SPT realizados em aterros sanitários, usualmente não são recuperadas amostras. Desta forma, deve-se alertar os sondadores para tal situação, bem como devem ser frisados possíveis plásticos e outros materiais nas amostras.

Com relação a camadas de lixos domésticos nas ocupações de encostas, a fração predominante é de solo e as análises de estabilidades podem, com certos cuidados, ser procedidas pelos métodos convencionais utilizados na Mecânica dos Solos. Entretanto cabe ressaltar que a inclusão de materiais plásticos no interior da camada, quando expressiva, implica em uma situação de “reforço”, que resulta em uma espécie de “coesão”, conforme apresenta Oliveira (2002) para aterros sanitários. Dessa forma, torna-se importante a pesquisa de superfície de ruptura na interface entre a camada de aterro com lixo e o terreno natural. É importante a criação de um sistema de coleta de resíduos sólidos na área, que possivelmente pode implicar em necessidades de modificações de vias de acesso.

### **f) Despejo de águas pluviais e esgotos diretamente sobre o terreno e de forma concentrada e pontual**

Normalmente, verifica-se a inexistência de redes de esgoto e drenagem nas áreas de ocupação desordenada. O lançamento de águas pluviais e/ou esgotos de forma concentrada favorece uma maior infiltração localizada e conseqüentemente a saturação do solo da região, podendo provocar a instabilização do talude.

### **g) Execução de redes de água, esgoto e drenagem de forma deficiente, provocando vazamentos**

É comum verificar esta situação nas redes de água e esgotos, que mais uma vez pode provocar a saturação do solo ou até mesmo erosões internas. Devem ser previstas revisões, rebaixamentos e correções de tais redes pré-existentes. Salienta-se que estas redes devem ser construídas ou restauradas com todo rigor técnico para que não ocorra a indução de rastejos.

### **h) Execução de fossas absorventes (sumidouros)**

Esta é uma situação desfavorável (devido a saturações) para unidades implantadas em encostas e deve ser evitada quando possível, executando-se redes coletoras em substituição. Entretanto, devido aos altos custos de implantação de novas redes, caso sejam necessárias as fossas absorventes ou sumidouros, deve-se fazer a consideração destas nas análises de estabilidade de taludes, através da obtenção de fatores de segurança e utilização de parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo inundados/saturados.

### **i) Plantação de vegetações não recomendadas, tais como bananeiras**

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. Este tipo de vegetação deve ser retirado da área, sendo importante o esclarecimento da população a respeito através do projeto social.

Oliveira & Mélo (2005) enfatiza que, de forma conservadora, o engenheiro geotécnico que se depara com uma elaboração de projeto de estabilização de encostas em áreas de baixa renda, devido a inseguranças a respeito das perfeitas condições de drenagem pluvial, lançamentos de águas residuais, possíveis rupturas

de tubulações, dentre outros fatores apontados anteriormente, utiliza nas análises de estabilidade de taludes parâmetros saturados ou inundados de resistência ao cisalhamento dos solos.

Esta insegurança é mantida mesmo após a implantação de redes de esgoto, drenagem e das demais intervenções, principalmente devido a grande dinâmica dessas áreas, com constantes alterações e problemas gerados, por exemplo, da falta de manutenção dos sistemas. Esta tomada de atitude resulta em estruturas mais robustas, com espaçamentos menores e mais profundos nos casos de ancoragens ou grampos, portanto mais onerosas.

É comum também na elaboração dos projetos, devido a algumas experiências não exitosas, principalmente ocasionadas por alterações provocadas por moradores, a restrição de alguns tipos de soluções técnicas de contenções por vezes mais baratas. Como exemplo, pode-se citar a utilização de muros de arrimo em gabião, que certas vezes, têm as pedras de mão (rachão) retiradas pelos moradores.

O mesmo autor ainda destaca que do ponto de vista técnico, minimizadas as inseguranças de projeto, podem ser adotados, nas análises de estabilidade de taludes, fatores de segurança diferenciados para as condições de saturação do solo e condições naturais, ou seja, como exemplo, fatores de segurança mais próximos da unidade, a exemplo  $FS=1,2$ , para análises utilizando parâmetros do solo saturado e maiores para a condição natural ( $FS \geq 1,5$ ). Pode também ser considerada nas análises uma frente de saturação do solo, admitindo que somente camadas superficiais tendem a saturar.

É importante ressaltar que na fase de projeto é bastante dificultada a avaliação dos parâmetros utilizados de forma realista. A adoção de parâmetros menos conservadores, a partir da minimização de inseguranças no projeto frente às colocações anteriormente expostas, deve-se basear também na experiência profissional do projetista bem como em projetos similares exitosos.

## **1.5 Avaliação do nível de danos em construções devido à instabilidade de encostas**

A análise da distribuição dos danos nas residências do local em estudo, e quando possível, das informações históricas sobre as áreas urbanas que podem ser afetadas por instabilidades, podem ajudar a compreender os efeitos da movimentação de taludes nas estruturas.

Schneider (2010) lembra que para que seja feita uma correta interpretação dos danos nas edificações é necessário ter conhecimento da técnica de construção (alvenaria, concreto armado, etc.) e também do tipo de fundação utilizada (estaca, sapata, etc.), pois um mesmo tipo de patologia em diferentes processos construtivos nos leva a diferentes graus de gravidade do movimento de encosta.

Construções localizadas em um mesmo talude instável podem sofrer danos de diferentes intensidades, dependendo da sua localização. Edificações localizadas na base do corpo do talude (na borda, na escarpa, nos flancos ou no pé) geralmente se encontram em condições mais desfavoráveis; já as edificações localizadas dentro do corpo do talude podem se movimentar de forma rígida em blocos e usualmente sofrem danos leves ou negligenciáveis. Edificações localizadas na parte superior do talude, geralmente possuem trincas em forma de parábola ou verticais, cuja abertura cresce de baixo para cima. Entretanto, fissuras que aumentam sua abertura na direção de cima para baixo são tipicamente encontradas em edificações sob a ação predominantemente de deformações horizontais. É comum receber o carregamento do talude com efeitos de balanço em edificações com fundações rígidas ou conectadas. Edificações situadas no corpo da massa instável, se sofrerem deformações diferenciais, estarão sujeitas a um desenvolvimento de trincas mais acentuado (IOVINE e PARISE, 1998 apud SCHNEIDER, 2010).

No estudo de Pinheiro (2006) foi realizada uma avaliação do nível de danos nas residências situadas em encostas constituídas por depósitos coluvionares na cidade de Santa Cruz do Sul-RS, em função das patologias das edificações provocadas pela movimentação da massa de solo com o estabelecimento de uma escala de intensidade de danos como proposto por Chiocchio et al (1997). O Quadro

8 mostra a classificação de danos em estruturas provocados pela movimentação de taludes proposta por Chiochio et al (1997) e usada no estudo citado.

De acordo com Pinheiro (2006), os critérios utilizados para classificar as principais causas das patologias foram as características destas patologias, como: inclinação das trincas, abertura, posição das trincas na residência, quantidade de trincas, posição de afundamentos, entre outras. As patologias provocadas pela movimentação da massa de solo (colúvio) foram classificadas como negligenciáveis, leves, moderadas e sérias.

A escala proposta por Chiochio et al (1997) apresenta danos provocados por subsidência, movimentos translacionais e rotacionais ou empuxos lentos da massa de solo. Devemos observar que a reconstrução dos danos nas construções vai depender primeiramente da capacidade de deter, drenar e estabilizar o escorregamento, e segundo do uso de um nível apropriado de tecnologia e dos custos dos reparos.

<b>Grau</b>	<b>Nível de dano</b>	<b>Estrutura resist. à carga</b>	<b>Recalque (cm)</b>	<b>Medidas imediatas</b>
<b>0</b>	<b>sem dano</b>	alvenaria	0	sem
		conc. armado	0	sem
<b>1</b>	<b>negligenciável</b>	alvenaria	0	sem
		conc. armado	0	sem
<b>2</b>	<b>leve</b>	alvenaria	2-3	sem
		conc. armado	2-3	sem
<b>3</b>	<b>moderado</b>	alvenaria	10-15	evacuação sugerida
		concreto armado	10-15	evacuação sugerida
<b>4</b>	<b>sério</b>	alvenaria	15-20	evacuação e escoramento
		concreto armado	15-20	evacuação
<b>5</b>	<b>muito sério</b>	alvenaria	> 25	evacuação e isolamento
		concreto armado	>20	evacuação e isolamento
<b>6</b>	<b>colapso parcial</b>	alvenaria	s.i.	isolamento
		conc. armado	s.i.	isolamento
<b>7</b>	<b>colapso total</b>	alvenaria	s.i.	isolamento
		conc. armado	s.i.	isolamento

Observação: s.i. = sem informação.

Quadro 8 – Classificação de danos em estruturas provocados pela movimentação de taludes (CHIOCCHIO ET AL, 1997).

Grau	Estrutura resist. à carga	Trincas	Esmagamento
0	ambas	sem	sem
1	ambas	finas fissuras no reboco	sem
2	ambas	pequenas trincas em paredes	sem
3	alvenaria	trincas abertas e disjunção em paredes, deformação de vergas	em áreas significativas
	concreto armado	trincas significativas nas vigas, paredes divisórias deformadas e esmigalhadas	não generalizado
4	alvenaria	considerável disjunção de paredes, deformação espacial, colapso de paredes divisórias	generalizado e importante
	concreto armado	paredes divisórias e externas parcialmente colapsadas, estruturas deformadas, espalhamento de trincas	generalizado e importante
5	alvenaria	abertura de trincas no piso, paredes divisórias totalmente colapsadas, vergas rompidas	muito generalizado
6 e 7	ambas	s.i.	s.i.

Observação: s.i. = sem informação.

Quadro 8 (Continuação) – Classificação de danos em estruturas provocados pela movimentação de taludes (CHIOCCHIO ET AL, 1997).

Segundo Bressani (2010), um aspecto que está intimamente relacionado ao grau de dano é a velocidade do escorregamento. A velocidade por sua vez está relacionada à declividade do terreno pré-ruptura (que implica em uma energia potencial) e ao comportamento do solo pós-ruptura, em geral ligado à microestrutura dos materiais. O mesmo autor dividiu os danos causados pelos escorregamentos em danos diretos e indiretos:

**a) Danos diretos:** são causados diretamente pelo movimento de terra. São exemplos destes tipos de danos:

- fissuras e trincas em residências e estruturas por deslocamento do terreno;
- destruição parcial ou total de estruturas pelo impacto do material rompido;
- destruição de infraestrutura (água, telefones);
- danos ou destruição de rodovias e ruas;

**b) Danos indiretos:** são causados pelos efeitos do fluxo do material fluidificado (que se deslocam com grande velocidade pelas drenagens). São exemplos destes tipos de danos:

- erosão de margens de arroios e rios induzindo novas rupturas;
- erosão de aterros de aproximação de pontes;
- destruição de pontes e pontilhões por impacto direto do enxurro;
- soterramento de drenagens, galgamento de aterros e erosão;
- destruição de lavouras, mudança de curso de arroios, deposição de destroços;

Quanto ao monitoramento por meio de equipamentos, Bressani (2010) sugere analisar os dados da instrumentação com uma visão de ferramenta de investigação. Nos casos de materiais que tenham um comportamento dúctil (pequena redução de resistência ao cisalhamento com o nível de deformação), o monitoramento convencional de deformações pode ser um excelente indicador do grau de risco envolvido. Nos casos de taludes em materiais que apresentem grande fragilidade (importante redução da resistência operacional pós-ruptura), a ruptura é rápida e com pouco ou nenhum sinal, o monitoramento das deformações é de pouca valia e, nestes casos, tem que ser feito ou de forma indireta, através do monitoramento da chuva ou, em casos importantes, através da medição das poro-pressões.

## **2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Para avaliar o risco a escorregamentos devido à ocupação urbana na encosta da vertente oeste do morro Cechela localizada na vila Bela Vista, foi montado um organograma separando os procedimentos de escritório, de campo e de análises de estabilidade, conforme a Figura 23.

Deve ser ressaltado que alguns procedimentos são retroalimentados por outros. A Análise da Estabilidade por meio de software depende da correta montagem do(s) perfil(s) da encosta, da natureza do material, da forma adequada da coleta de amostras indeformadas e dos parâmetros de resistência dos solos obtidos por meio do ensaio de cisalhamento direto.

O Fator de Segurança (FS) obtido na análise da estabilidade será comparado com os valores previstos em literaturas e na NBR 11682/2009 - Estabilidade de Encostas, podendo indicar ou não a remoção de famílias.

Os procedimentos metodológicos foram resumidos em itens conforme descritos na sequência.

### **2.1 Procedimentos de escritório**

#### **2.1.1 Revisão bibliográfica**

Foi realizada uma revisão bibliográfica (capítulo 2) com objetivo de contextualizar aspectos e características da urbanização brasileira, dos principais processos gravitacionais de massa associados a desastres naturais, das ocupações

urbanas em áreas de riscos, dos riscos a escorregamentos e do nível de danos em construções devido à instabilidade de encostas.

### 2.1.2 Informações da área de estudo

As informações da área de estudo foram obtidas por meio de consultas a Lei de Uso e Ocupação do Solo de Santa Maria-RS (2009), ao Plano Municipal de Redução de Riscos de Santa Maria – PMRRSM (2006), a cartas e mapas geotécnicos, a fotos e imagens aéreas e a trabalhos científicos com objetivo de levantar informações a respeito do histórico de urbanização da Vila Bela Vista, da ocupação urbana, dos dados geológicos, geotécnicos e pedológicos, da fragilidade ambiental, da topografia e das limitações à expansão urbana da área estudada.

O PMRRSM (2006) mapeou a área da Vila Bela Vista em seis setores de risco, sendo que dez moradias situadas no primeiro setor foram indicadas para remoção por estarem em situação de alto risco a escorregamentos (risco R4).

Como existe a indicação de remoção de pessoas da área onde vivem, o presente estudo se deteve a avaliar o risco das moradias localizadas na encosta da vertente oeste do morro Cechela (setor 01 – ver Anexo A).

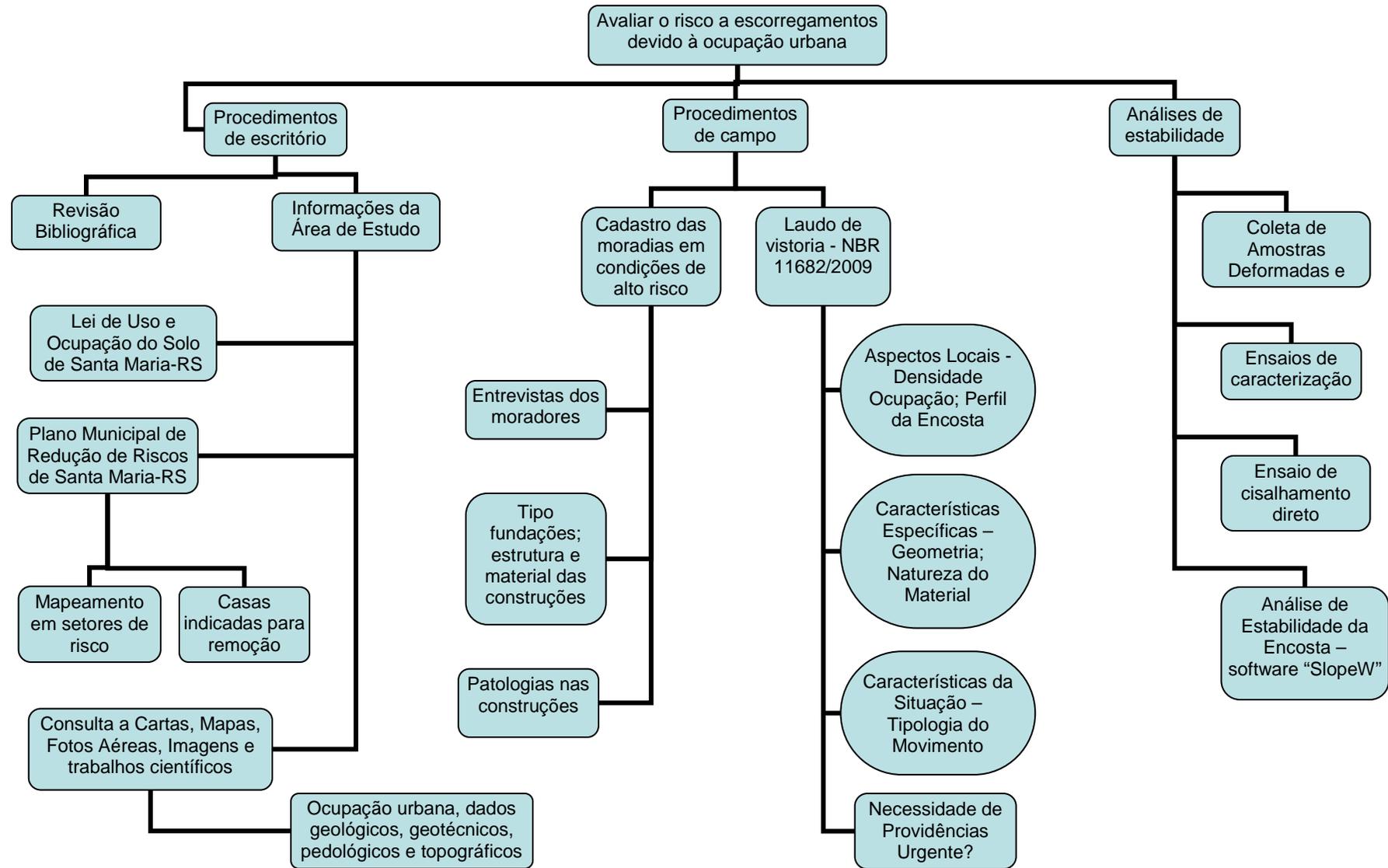


Figura 23 – Organograma dos procedimentos metodológicos.

## 2.2 Procedimentos de campo

### 2.2.1 Cadastro das moradias em condições de alto risco (R4)

A seleção da amostra para cadastro das moradias foi baseada no mapeamento de riscos apresentado no PMRRSM (2006) com indicação para remoção de dez famílias da Vila Bela Vista residentes no primeiro setor em condições de alto risco a escorregamentos (R4).

No cadastramento, realizado em 17 de abril de 2012, os riscos foram analisados moradia por moradia não sendo feitas generalizações como ocorre na setorização de riscos.

As entrevistas aos moradores das casas situadas no setor de alto risco (R4) forneceram subsídios para levantamento de informações relevantes para o cadastro, como ocorrência de deslizamento ou de seus indícios, histórico e idade da ocupação urbana, projetos ou memórias construtivas das moradias, execução de corte e/ou aterro a meia encosta para implantação de acessos ou das construções, identificação das fundações (rasa ou profunda) e da estrutura das casas, materiais construtivos (alvenaria, concreto armado, madeira), existência de fossas absorventes (sumidouros) e lançamento de esgoto “in natura” que podem influenciar na estabilidade do terreno.

Também foram verificadas as patologias existentes nas casas, pois a análise da distribuição dos danos nas residências pode ajudar a compreender os efeitos da movimentação de taludes nas estruturas.

O cadastro das moradias seguiu a metodologia apresentada em IPT (2004), conforme seguintes passos:

- 1º Passo – Dados gerais sobre a moradia;
- 2º Passo – Caracterização do local;
- 3º Passo – Água;

4º Passo – Vegetação no talude ou proximidades;

5º Passo – Sinais de Movimentação (Feições de instabilidade);

6º Passo – Tipos de processos de instabilização esperados ou já ocorridos;

7º Passo – Determinação do grau de risco;

8º Passo – Necessidades de remoção.

### 2.2.2 Laudo de vistoria de acordo com a NBR 11682/2009

Foi elaborado um laudo de vistoria da área de intervenção de acordo com os parâmetros da norma NBR 11682/2009 - Estabilidade de Encostas.

Neste laudo estão contidos os seguintes aspectos: informações básicas sobre o local, data da vistoria, tipo de ocupação, tipo de vegetação, condições de drenagem, tipo de relevo e natureza da encosta, a declividade média e as características geométricas da encosta ou da porção de encosta selecionada, existência de desmatamento, capina ou queimada, existência de despejo de esgoto e detritos (lixo, entulho, matérias de escavações e refugos) sobre a superfície da encosta, existência de obras de contenção (com indicativo do seu estado atual), condições de saturação, indícios de artesianismo, natureza dos solos e outros materiais, possibilidade de movimentação, grau de risco, tipologia de possíveis movimentos, indicação de elementos em risco (vidas e propriedades), tipo provável de superfície de deslizamento ou de outro mecanismo de instabilização e possíveis consequências.

Além da norma NBR 11682, foram observados os litotipos presentes, as estruturas das rochas, as espessuras dos solos, os tipos de alterações de rochas presentes, assim como a presença de blocos e matacões. As informações foram descritas no item 3.3 e indicadas em uma planilha específica que consta do Apêndice A.

## 2.3 Análises de estabilidade

### 2.3.1 Coleta de amostras deformadas e indeformadas

As amostras de solos foram coletadas em locais escolhidos de forma a caracterizar um perfil que abranja as regiões possíveis das movimentações ocorridas (escorregamento planar ocorrido atrás e do lado direito dos fundos da moradia CASA 17), bem como condicionantes influentes, tais como superfícies potenciais de ruptura, níveis d'água e descontinuidades geológicas.

Foram coletados aproximadamente 2,5 Kg de amostras deformadas e doze amostras indeformadas (seis AM01 e seis AM02) do solo coluvionar junto ao local do escorregamento planar do lado direito dos fundos da CASA17. Em dois pontos diferentes - junto ao local do escorregamento do lado direito da CASA17 e em um local encosta acima, foram coletados 4 Kg de amostras deformadas do arenito. As seis amostras indeformadas (AM03) do arenito foram coletadas junto ao local do escorregamento planar do lado direito da CASA17.

A extração das amostras indeformadas foi realizada com muito cuidado para que as características originais do solo fossem mantidas. Estas amostras foram retiradas em moldes quadrados de 5 x 5 cm e 2 cm de altura (para o ensaio de cisalhamento direto). O procedimento de extração de amostras indeformadas consistia na colocação de dois anéis sobrepostos com a parte biselada voltada para baixo e em contato com o solo, cravação dos anéis, escavação ao redor dos moldes para retirá-los, eliminação de material em excesso com auxílio de uma espátula, acondicionamento provisório em embalagem plástica vedada e, aplicação de uma camada de parafina, no laboratório, para garantir o teor de umidade natural do solo e conservar a estrutura dos grãos. O processo de cravação dos moldes era realizado com o auxílio de um pedaço de madeira, colocado no anel superior, com finalidade de facilitar a cravação e manter o nivelamento do anel para não amolgar o solo.

Na Figura 24 é exibida a cicatriz de escorregamento planar junto a CASA 17 de onde foram retiradas as amostras deformadas e indeformadas do solo coluvionar com corpo de tálus e do arenito da formação Botucatu.



Figura 24 – Cicatriz de escorregamento planar junto a CASA 17 de onde foram retiradas as amostras deformadas e indeformadas.

### 2.3.2 Ensaio laboratoriais

Foram realizados ensaios específicos para a caracterização e determinação das propriedades de resistência das amostras de solos coletadas. Os ensaios de

caracterização compreendem a determinação do teor de umidade, massa específica dos sólidos (NBR 6508/84), análise granulométrica (NBR 7181/94), limite de liquidez (NBR 6459/84) e limite de plasticidade (NBR 7180/84).

Os ensaios de cisalhamento direto foram executados de acordo com os procedimentos descritos na norma da ASTM: D3080-90. Foram realizados ensaios com tensões verticais de 50, 100 e 200 kPa, nas condições de umidade natural e embebidos em água, por no mínimo 6h.

### 2.3.3 Análise de estabilidade da encosta

O objetivo da análise de estabilidade é avaliar a possibilidade de ocorrência de escorregamento de massa de solo presente em talude natural ou construído.

Com os parâmetros de  $\phi$  (ângulo de atrito) e  $c$  (coesão) dos solos obtidos por meio do ensaio de cisalhamento direto e com a definição da seção geológico-geotécnica que melhor representa a encosta da vertente oeste do morro Cechela na vila Bela Vista, procedeu-se a análise da estabilidade por meio do software "SlopeW", versão 2004 estudantil, da empresa Geoslope.

Este programa computacional realiza a análise do fator da estabilidade ou fator de segurança (FS) de um talude em solo não-homogêneo usando o método do equilíbrio limite em que o talude deve romper por uma massa de solo escorregando por uma superfície que permanece fixa. No momento da ruptura a resistência cisalhante é totalmente mobilizada ao longo da superfície cisalhante. A superfície de ruptura crítica é aquela em que se encontrar o menor FS e este então será considerado o fator de segurança do talude. O método utilizado na determinação dos fatores de segurança foi o de Janbu.

Um fator de segurança admissível deve ser selecionado. Se o fator de segurança calculado for maior ou igual que o admissível, a encosta será considerada segura.

A norma NBR 11682/2009 considera que as análises usuais de segurança desprezam as deformações que ocorrem naturalmente no talude ou na encosta e que o valor do Fator de Segurança (FS) tem relação direta com a resistência ao cisalhamento do material do talude. Ela admite que o valor de FS pode variar em função da situação potencial de ruptura do talude, no que diz respeito ao perigo de vidas humanas e à possibilidade de danos materiais e de danos ao meio ambiente. Devem ser consideradas as situações atuais e futuras, previstas ao longo da vida útil do talude estudado.

Os Fatores de Segurança (FS) considerados nesta norma têm a finalidade de cobrir as incertezas naturais das diversas etapas de projeto e construção. Dependendo dos riscos envolvidos, deve-se inicialmente enquadrar o projeto em uma das seguintes classificações de Nível de Segurança, definidas a partir da possibilidade de perdas de vidas humanas (Quadro 9) e de danos materiais e ambientais (Quadro 10).

O fator de segurança mínimo a ser adotado no projeto, levando-se em conta os níveis de segurança preconizados nos Quadros 9 e 10, deverá ser estipulado de acordo com a Tabela 1.

Nível de segurança	Critérios
<b>Alto</b>	* Áreas com intensa movimentação e permanência de pessoas, como edificações públicas, residenciais, ou industriais, estádios, praças e demais locais, urbanos ou não, com possibilidade de elevada concentração de pessoas. * Ferrovias e rodovias de tráfego intenso.
<b>Médio</b>	* Áreas e edificações com movimentação e permanência restrita de pessoas. * Ferrovias e rodovias de tráfego moderado.
<b>Baixo</b>	* Áreas e edificações com movimentação e permanência eventual de pessoas. * Ferrovias e rodovias de tráfego reduzido.

Quadro 9 – Nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas (ABNT, 2009).

<b>Nível de segurança</b>	<b>Critérios</b>
<b>Alto</b>	* Danos Materiais: Locais próximos a propriedades de alto valor histórico, social ou patrimonial, obras de grande porte e áreas que afetem serviços essenciais. * Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais graves, tais como nas proximidades de oleodutos, barragens de rejeito e fábricas de produtos tóxicos.
<b>Médio</b>	* Danos Materiais: Locais próximos a propriedades de valor moderado. * Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais moderados.
<b>Baixo</b>	* Danos Materiais: Locais próximos a propriedades de valor reduzido. * Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais reduzidos.

Quadro 10 – Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais (ABNT, 2009).

Tabela 1 – Fatores de segurança mínimos para deslizamentos (ABNT, 2009).

<b>Nível de segurança contra danos materiais e ambientais</b>	<b>Nível de segurança contra danos a vidas humanas</b>		
	<b>Alto</b>	<b>Médio</b>	<b>Baixo</b>
Alto	1,5	1,5	1,4
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

NOTA 1 No caso de grande variabilidade dos resultados dos ensaios geotécnicos, os fatores de segurança da tabela acima devem ser majorados em 10 %. Alternativamente, pode ser usado o enfoque semiprobabilístico indicado no Anexo D.

NOTA 2 No caso de estabilidade de lascas/blocos rochosos, podem ser utilizados fatores de segurança parciais, incidindo sobre os parâmetros  $\gamma$ ,  $\phi$ ,  $c$ , em função das incertezas sobre estes parâmetros. O método de cálculo deve ainda considerar um fator de segurança mínimo de 1,1. Este caso deve ser justificado pelo engenheiro civil geotécnico.

NOTA 3 Esta tabela não se aplica aos casos de rastejo, voçorocas, ravinas e queda ou rolamento de blocos.

## **2.4 Comparação do risco observado com aquele apresentado no PMRRSM**

A avaliação do risco a escorregamentos devido à ocupação urbana na encosta da vertente oeste do morro Cechela foi feita por meio do cadastro das moradias e análise dos processos físicos atuantes na encosta com consequências de perda ou dano do ponto de vista social e econômico. Também foi realizada a comparação dos fatores de segurança (FS) obtidos com software nas análises de estabilidade com os valores admissíveis previstos na NBR 11682/2009 - Estabilidade de Encostas. Por fim, o risco observado no estudo foi comparado com aquele apresentado no Plano Municipal de Redução de Riscos de Santa Maria-RS.

### **3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS**

Os resultados deste estudo são apresentados por meio da descrição detalhada de informações sobre a área de estudo, do cadastro das moradias em condições de alto risco, do laudo de vistoria da área, da análise dos resultados dos ensaios realizados, da análise da estabilidade da encosta e da comparação do risco observado com aquele apresentado no Plano Municipal de Redução de Riscos de Santa Maria-RS.

#### **3.1 Informações da área de estudo**

A área estudada está situada na encosta da vertente oeste do morro Cechela contemplando a vila Bela Vista e está localizada na porção nordeste da cidade de Santa Maria-RS, a 29, 670567° de latitude sul e a 53, 793994° de longitude oeste. A vila Bela Vista (Figura 25) é uma unidade residencial urbana do bairro Itararé e está localizada no sopé do morro Cechella que confronta a sudoeste com a Rua Euclides da Cunha e cujos lotes entestam com esta Rua e com as Ruas Noel Rosa, Lupicínio Rodrigues, 14 de Julho, Francisco Alves e Pe. João Batista Réus.

O início da ocupação do bairro Itararé se deu em função da malha ferroviária. Assim sendo, a manutenção e evolução da linha férrea do Itararé sempre esteve ligada a forma como se deu a evolução da linha férrea no município. Com a privatização das atividades ferroviárias, o bairro passou a enfrentar dificuldades econômicas, nas quais, a inexistência de investimentos privados e a ausência de investimentos públicos, estabelecem uma nova realidade, na qual, o próprio município busca, a mais de uma década, alternativas econômicas para sanar as dificuldades existentes, mas que até o presente momento, apresenta poucas alternativas econômicas.

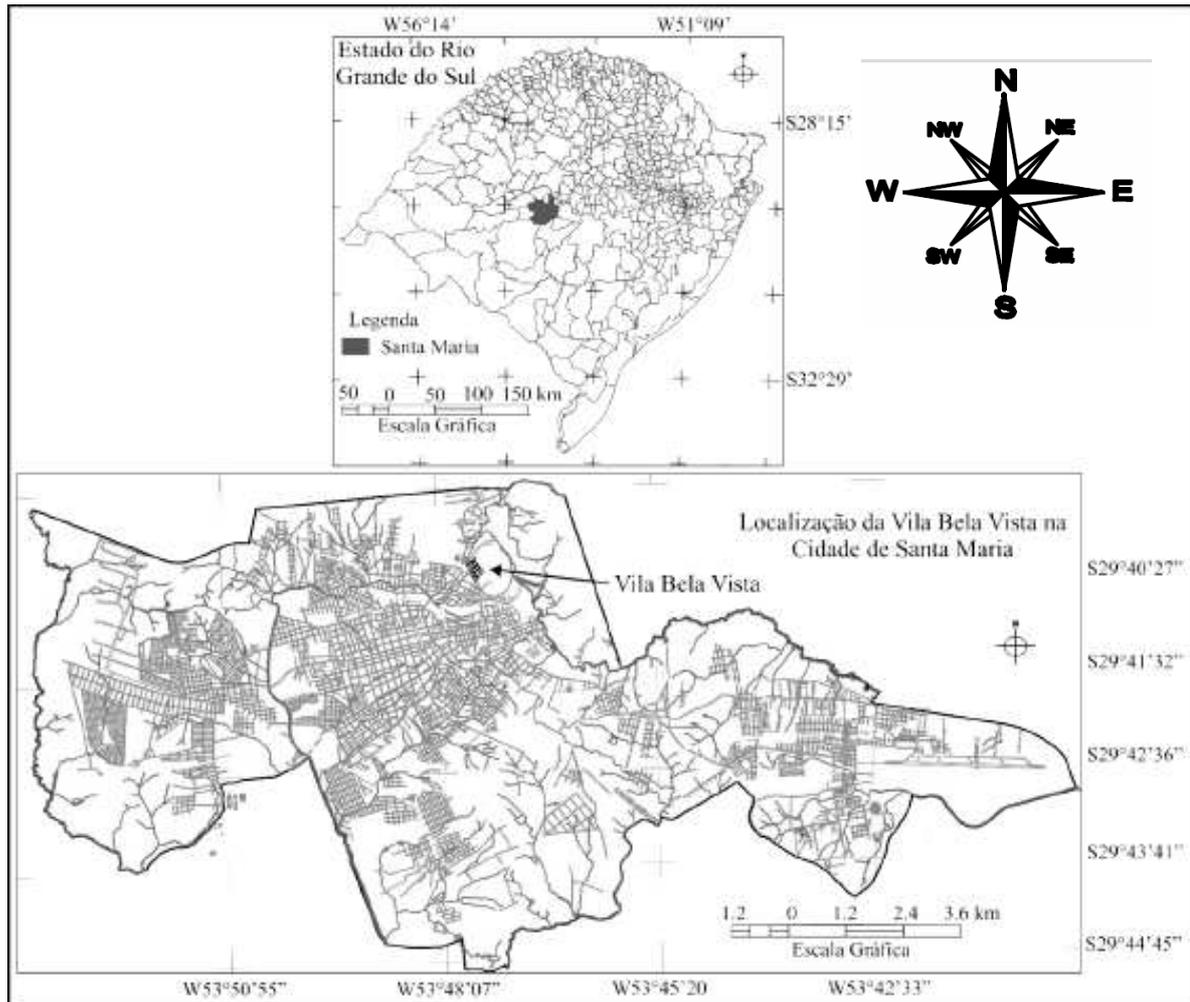


Figura 25 – Localização da área de estudo (DAL’ASTA, 2005).

Segundo Ávila (2012), a origem da ocupação da Vila Bela Vista está associada à presença de uma antiga pedreira que foi desativada na década de 70. O substrato composto por depósito de colúvio e por material de rejeito da pedreira de extração de basalto, logo após a extinção das atividades de extração, possibilitou a construção de moradias irregulares, ocupadas em sua maioria, por famílias de baixa renda. A invasão da Vila Bela Vista ocupou todo o contorno da propriedade da pedreira.

Segundo Dal’asta (2005), geomorfologicamente a vila Bela Vista situa-se na base e na meia encosta da vertente oeste do morro Cechela. O morro Cechela situa-se no Rebordo do Planalto Sul-Rio-Grandense, numa área de transição entre o

Planalto e a Depressão Periférica, sendo considerado um morro testemunho, uma vez que, constitui-se num testemunho da antiga posição do Planalto.

Nascimento (2009) descreve que a zona de transição entre a Depressão Periférica Sul-Rio-Grandense e o Planalto da Bacia do Paraná possui alta energia de relevo e declividades acentuadas, sendo comum a ocorrência de fenômenos de erosão de solo superficial e de desestabilização de encostas como movimentos de massa, sulcos, tornando esta uma área de risco geomorfológico eminente e potencial, que associados à ocupação humana exigem estudos ambientais que possibilitem a minimização de impactos.

### 3.1.1 Informações geológicas, geotécnicas e pedológicas

Com relação ao substrato geológico, o morro Cechela é formado por arenitos eólicos da Formação Botucatu e arenitos fluviais da Formação Caturrita, na base, e rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, no topo (DAL'ASTA, 2005).

Exposta nas porções intermediárias e basais da Encosta da Serra Geral, a Formação Botucatu é constituída por arenitos médios a finos, com cores rosa - claro a avermelhado. Apresenta estratificação cruzada tangencial de grande porte. O arenito Botucatu representa sequências eólicas e possui comportamento geotécnico que varia desde rocha dura e muito abrasiva, em locais próximos do topo e junto à escarpas, até arenito brando e areia com pouca coesão, quando alterado. Nas partes litificadas, possui alta resistência à erosão, porém essa resistência é baixa nas partes alteradas e de solo residual (MACIEL FILHO, 1990).

O Arenito Botucatu possui uma permeabilidade alta, bem como seus solos residuais. A subida do nível piezométrico, durante os períodos de chuva, é menos acentuada em meios porosos que em meios fissurados. Por isso, a instabilização causada nos depósitos coluvionares adjacente será menor, porém não desprezível (MACIEL FILHO, 1990).

Os arenitos da Formação Caturrita variam de finos a médios, com cores rosa a cinza - claro e matriz argilo – siltica. Compõem camadas de grande presença que se intercalam ou passam lateralmente a siltitos e folhelhos micáceos avermelhados. Os arenitos mostram estratificação cruzada acanalada e tabular. Essa formação apresenta-se com fácies arenosas de origem fluvial. Apresentam resistência à erosão, normalmente, baixa, principalmente quando o solo superficial é retirado, provocando o avanço rápido da erosão com a formação de sulcos no terreno (MACIEL FILHO, 1990).

A Formação Serra Geral corresponde ao Planalto e Chapadas da Bacia do Paraná e é constituída por duas sequências vulcânicas: uma básica (como o basalto) e outra ácida (como os riólitos). Existem cinco derrames na área estudada, sendo que o primeiro assenta, por vezes, diretamente sobre a Formação Caturrita. Entre o terceiro e o quarto derrame ocorre uma espessa camada do Arenito Botucatu (MACIEL FILHO, 1990).

É raro encontrar um basalto sem sinais de alteração. Alguns derrames encontram-se totalmente alterados. A alterabilidade do basalto pode ser avaliada pelo comportamento do manto de enrocamento do paramento de montante da barragem do Vacacaí-Mirim. Daqueles fragmentos colocados por volta de 1970, alguns se desagregam com facilidade sob a pressão dos dedos, enquanto a maior parte se comporta como rocha dura (MACIEL FILHO, 1990).

No morro Cechela as vertentes íngremes apresentam rochas expostas, onde a ação da água nas fraturas das rochas pode desencadear tombamentos e quedas de blocos. Já nas porções mais baixas da vertente ocorrem depósitos de colúvio e depósitos de rejeito sujeitos a escorregamentos (DAL'ASTA, 2005).

Conforme Maciel Filho (1990), a Formação Serra Geral (Basaltos) apresenta solos litólicos constituídos por fragmentos basálticos, de baixa estabilidade nos taludes, e com intensos movimentos de massa (rastejos e corridas de terra durante chuvas intensas); apresentando permeabilidade fissural (a água pode se deslocar com relativa facilidade através das fraturas). O autor ainda salienta que os riólitos da Formação Serra Geral possuem comportamento semelhante ao Basalto Serra Geral. O rebordo do Planalto ou Encosta apresenta depósitos de colúvio e grande quantidade de fraturamentos seccionados e descontínuos, comportando-se como área de descarga.

Nascimento (2009) produziu uma carta de solos da R. A. Nordeste de Santa Maria que apresenta os diferentes tipos de solos que recobrem a área de estudo (Figura 26).

Conforme se nota na Figura 26, na base do morro Cechela predomina o solo Argissolo Bruno-Acinzentado (**PBa+Cal**), no corpo predomina o Neossolo Regolítico (**RRe 2**) e no topo o Neossolo Regolítico + Neossolo Litólico (**RRe 2+RLe**).

De acordo com Nascimento (2009), os Argissolos são medianamente profundos, com sequência de horizontes A, Bt1, Bt2, BC e C, com incremento de argila do horizonte A para o B. Apresentam valores muito baixos de pH. A CTC é alta nos horizontes B. São solos imperfeitamente drenados, com ocorrência no terço médio das coxilhas encontradas no sopé do Rebordo do Planalto, em relevo suave ondulado a ondulado, com declividade de 3 a 20%. Tem como material originário os arenitos da Formação Caturrita, sem presença de pedregosidade e rochosidade.

Os Neossolos Regolíticos têm como material de origem os arenitos da Formação Caturrita, situados no terço superior das coxilhas onduladas e estão localizadas no sopé do Rebordo do Planalto, em relevo suave ondulado a ondulado, com 3 a 20 % de declividade, com ausência de pedregosidade e de rochosidade e bem drenados. Caracterizam-se por serem solos rasos, com sequência de horizontes A1, A2 e Cr, com ausência de horizonte B. Estes solos têm CTC média a alta. Apresentam potencial restrito para construções urbanas, sendo indicados para áreas verdes e recreativas, devido às limitações como declividade, profundidade do perfil e textura do solo. (NASCIMENTO, 2009).

Já os Neossolo Regolítico / Neossolo Litólico estão localizados nos topos dos morros, sob relevo ondulado a forte ondulado, tem perfil bem drenado, muito pedregoso e pouco rochoso. Possui como material originário o Basalto da Formação Serra Geral. Esses solos são rasos, apresentando sequência de horizontes Ap, Cr/A e R, com ausência de horizonte B. São solos que apresentam elevada CTC. Apresentam potencial restrito para construções urbanas, sendo indicados para áreas verdes e recreativas, devido às limitações como declividade, profundidade do perfil e textura do solo (NASCIMENTO, 2009).

Os Neossolos estão associados a locais que apresentam ruptura do relevo, estando o mesmo localizado no topo e base das encostas. Caracteriza-se por ser

um solo transportado que apresentando pouca alteração pelos processos pedogenéticos em função do desenvolvimento recente. Neste solo é visível à presença de vários fragmentos de rochas, o que demonstra o pouco desenvolvimento do mesmo (NASCIMENTO, 2009).

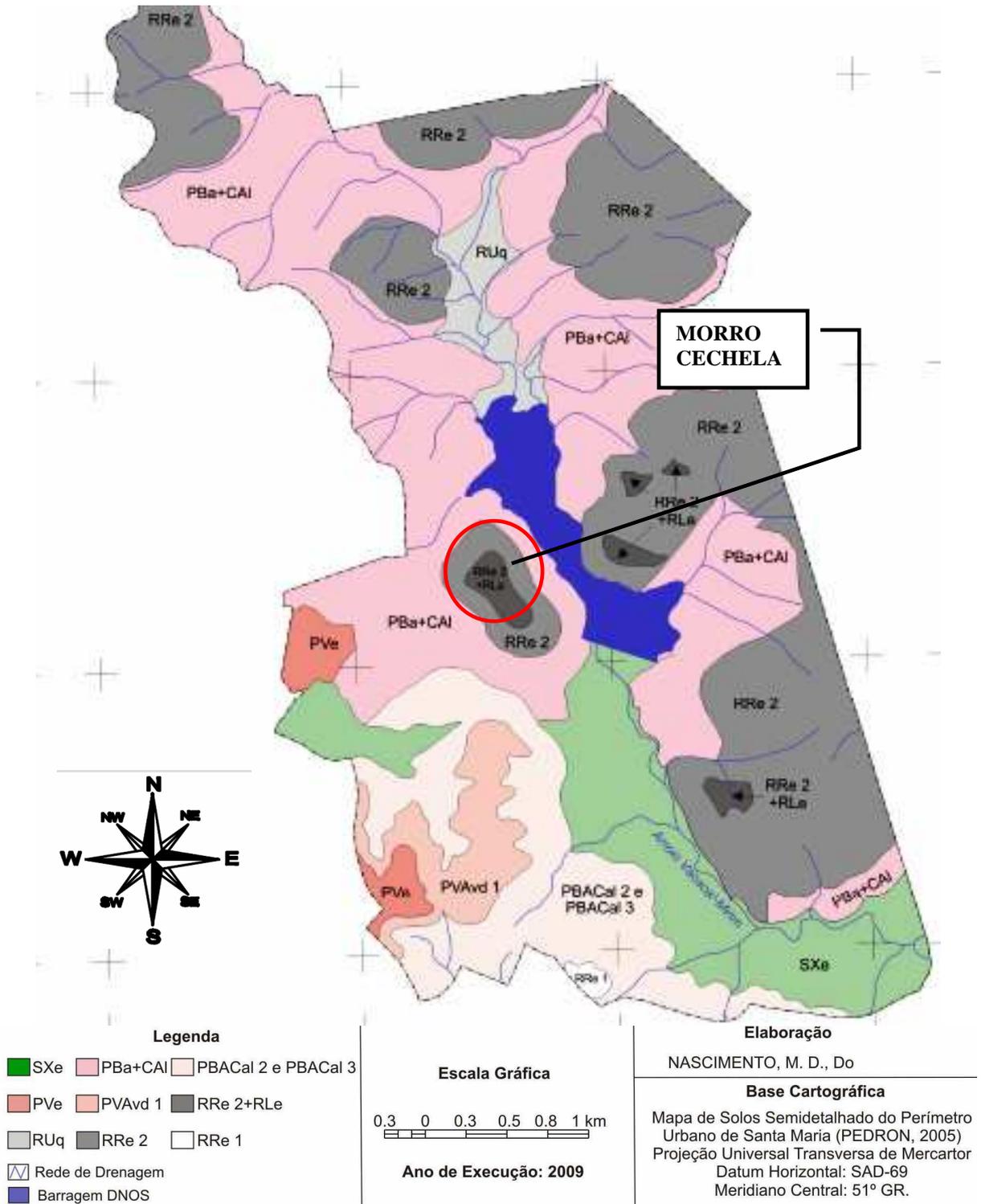


Figura 26 – Carta de Solos da R. A. Nordeste de Santa Maria – RS (NASCIMENTO, 2009).

### 3.1.2 Dados topográficos e limitações à expansão urbana

As regiões com morros e declividade elevada limitam a expansão da urbanização das cidades. De acordo com Souza (2001), a declividade acentuada das vertentes de morros confere uma elevada suscetibilidade à erosão e movimentos de massa, ligados à quantidade de chuvas, à inclinação das camadas e à cobertura vegetal.

Segundo Nascimento (2009), a topografia da região nordeste de Santa Maria, apresenta altitudes variadas, demonstrando assim, ser um segmento com grandes variações altimétricas, sendo que as maiores cotas se situam ao redor de 380 m, onde dominam as amplas e alongadas formas de topos convexos ou planos, cujas encostas caem abruptamente em direção ao vale. Essa configuração revela uma topografia de degraus ou patamares que decaem em direção às terras mais baixas e apresentam escarpas abruptas, dependendo da intensidade da ação erosiva.

Os morros constituem morfologias de superfície de topografia movimentada, com declives fortes. São formas de relevo resultantes de degradação em planaltos dissecados ou superfícies aplainadas, com vertentes convexo-côncavas e topos arredondados e/ou alongados e de morrotes e morros dissecados, com vertentes retilíneas e côncavas e topos aguçados ou alinhados, com sedimentação de colúvios e alúvios (NASCIMENTO, 2009).

O morro Cechela apresenta declividade média superior a 30% e amplitude altimétrica de, aproximadamente, 98 metros de altura, sendo que, a base situa-se na cota altimétrica de 187 m a leste da Rua Euclides da Cunha e o topo na cota 285 m.

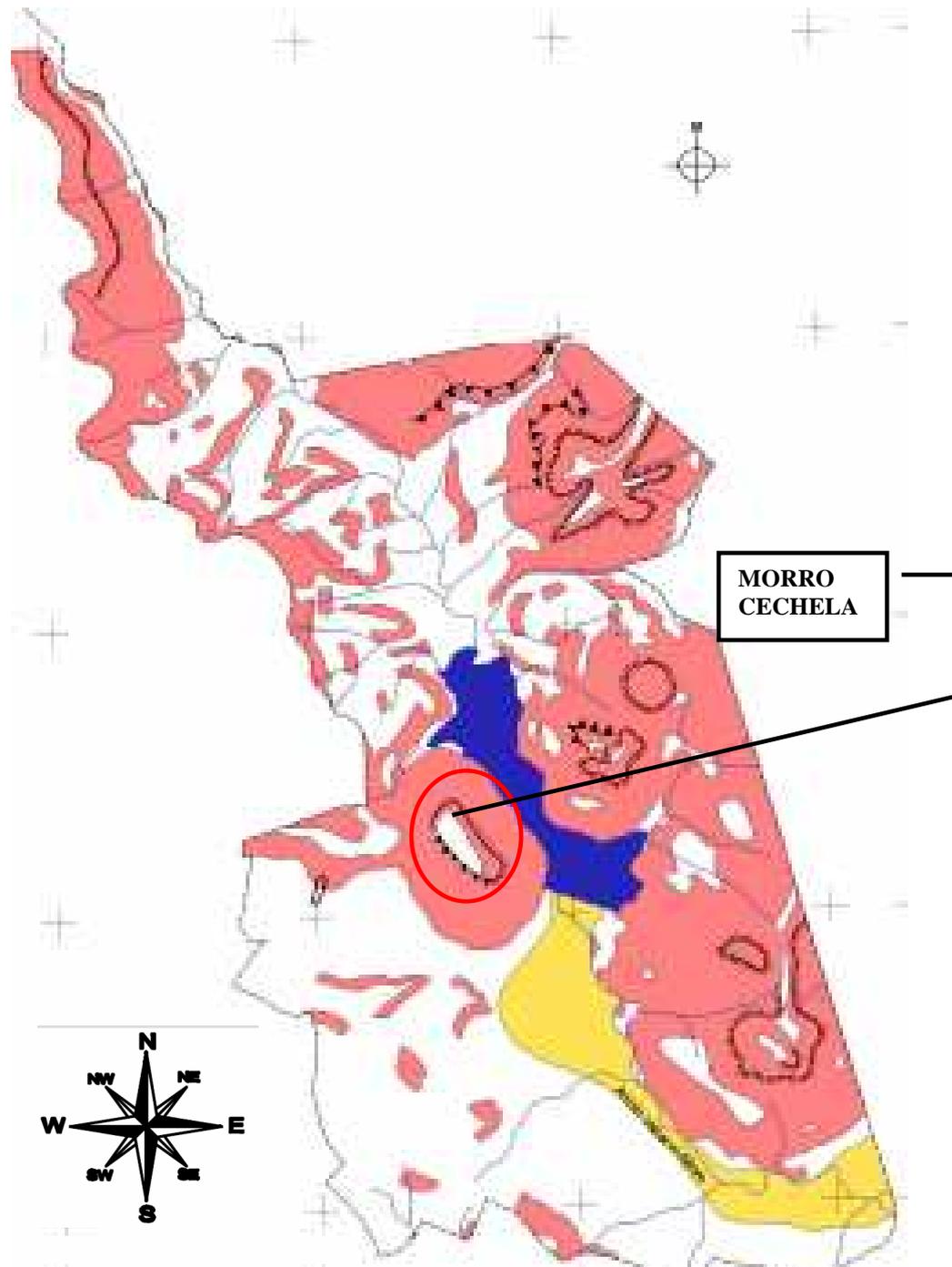
Nascimento (2009) produziu uma carta Geotécnica (Figura 27), com categorias hierárquicas de fragilidade ambiental, da região nordeste do município de Santa Maria, a partir das classes das Zonas Geotécnicas propostas por Maciel Filho (1990): as áreas sem restrições para ocupação urbana; as áreas desfavoráveis, definidas pelas planícies de inundação dos arroios com deposição de material recente e lençol freático próximo à superfície e, também, as áreas com declividades das vertentes acima de 12%; as áreas não adequadas correspondendo as margens de arroio em extensão de 15 m do canal e áreas com declividades superiores a 12%.

As áreas sem restrições à ocupação do solo urbano são consideradas, nas categorias hierárquicas de fragilidade, como fraca. As áreas desfavoráveis, como forte e as áreas não adequadas à ocupação, como muito forte.

Conforme pode ser notado na Figura 27, a encosta oeste do morro Cechela esta totalmente localizada em área não adequada à ocupação. É uma área com declividade superior a 12%, às escarpas do Planalto, muito íngreme e irregular, com vegetação nativa que, por lei, deve ser preservada, área suscetível à escorregamentos e movimentos de massa e a erosões causadas pelo escoamento linear (NASCIMENTO, 2009).

A Lei de Uso e Ocupação do Solo de Santa Maria-RS (2009) descreve que o morro Cechela (morro testemunho) situado na altura igual ou superior a cota 190,00m, localizado a Sudoeste da barragem do Vacacaí Mirim e a Leste da Rua Vereador Antonio Dias, faz parte das Áreas Especiais de Preservação Permanente do município. Esta lei define que essas áreas são aquelas com declividade igual ou superior a 45%, cursos hídricos e suas margens contendo ou não matas ciliares, áreas vegetadas ou não no entorno de nascentes, topos de morros, como forma de proteger a água, o solo e toda ou qualquer cobertura vegetal com características originais da paisagem.

Nascimento (2009) também produziu a carta de Fragilidade Ambiental Emergente da região nordeste do município de Santa Maria. Esta carta, além de considerar os elementos naturais constantes na fragilidade potencial como tipos de solo, declividades, morfologia e geologia, acrescentam o elemento humano, que se caracteriza pelas suas intervenções no meio. Segundo Nascimento (2009), a encosta oeste do morro Cechela esta localizada dentro da escala de fragilidade ambiental Muito Forte. Essa classe de fragilidade emergente Muito Forte condiz com as áreas de ruptura de declive, cujo relevo é caracterizado por escarpas abruptas e vertentes retilíneas, com grande presença de solo exposto e ausência de vegetação arbórea densa, devido à presença de rocha exposta, principalmente, das formações Botucatu e Serra Geral. Nesses locais é comum a presença de depósitos de colúvios e são áreas extremamente suscetíveis a movimentos de massa, onde a presença do homem, embora já existente, em locais já urbanizados, como o setor oeste do morro Cechela, não é aconselhada.



**CARTA GEOTÉCNICA DA R. A. NORDESTE DA SEDE DO MUNICÍPIO DE SANTA MARIA - RS**

<p><b>Legenda</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; background-color: white; margin-right: 5px;"></span> Zona sem Restrição</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; background-color: yellow; margin-right: 5px;"></span> Zona Desfavorável</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; background-color: red; margin-right: 5px;"></span> Zona não Adequada</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; background-color: white; margin-right: 5px; position: relative;"><span style="position: absolute; top: 50%; left: 50%; transform: translate(-50%, -50%); font-size: 8px;">↘</span></span> Rede de Drenagem</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px dashed black; margin-right: 5px;"></span> Escarpa</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px dashed black; margin-right: 5px;"></span> Ravina/Voçoroca</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px dashed black; margin-right: 5px;"></span> Quebra de Declive Convexo</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: blue; margin-right: 5px;"></span> Reservatório DNOS</li> </ul>	<p><b>Escala Gráfica</b></p> <p>0,3 0 0,3 0,5 0,8 1 km</p>  <p><b>Ano de Execução: 2009</b></p>	<p><b>Elaboração</b> NASCIMENTO, M. D., Do</p> <hr/> <p><b>Base Cartográfica</b> Carta Geotécnica de Santa Maria 1:25.000 Maciel Filho (1990) Projeção Universal Transversa de Mercator Datum Horizontal: SAD-69 Meridiano Central: 51° GR.</p>
--	--	---

Figura 27 – Carta Geotécnica da R.A. Nordeste de Santa Maria (adaptado de NASCIMENTO, 2009).

As declividades são sempre acima dos 30% e os solos encontrados são, geralmente, os Neossolo Regolítico combinados com os Neossolo Litólico, que são solos rasos e mal desenvolvidos.

A cobertura vegetal mais densa, de florestas, contribuiu para a fragilidade emergente muito fraca e fraca, enquanto que o uso urbano contribuiu para a passagem da posição de fragilidade ambiental potencial fraca e média para uma fragilidade ambiental emergente forte a muito forte, sendo que ocupações antrópicas em locais com depósitos de colúvio, nas encostas dos morros com declividades acentuadas, extremamente susceptíveis ao desencadeamento de processos superficiais como erosão e movimentos de massa, transformou uma fragilidade ambiental potencial forte para uma fragilidade ambiental emergente muito forte. Isso indica que a maior parte da área é formada por unidades ecodinâmicas instáveis, onde o equilíbrio natural pode ser afetado tendo em vista as modificações antrópicas na paisagem (NASCIMENTO, 2009).

### 3.1.3 Ocupação urbana e mapeamento de riscos de acordo com o Plano Municipal de Redução de Riscos de Santa Maria-RS

A expansão urbana da cidade de Santa Maria-RS está avançando sobre áreas com declividades elevadas (maiores que 12%) e de preservação permanente como é o caso da atual ocupação da Vila Bela Vista.

A ocupação urbana localizada na encosta da vertente oeste do morro Cechela, está em situação de risco geomorfológico associado à dinâmica de encosta. Os problemas geotécnicos estão associados, principalmente, à possibilidade de escorregamento e de queda de blocos de rochas.

Na vertente oeste do morro Cechela se encontra uma pedreira de extração de basalto, hoje desativada. O abandono da lavra, quando da proibição, na década de 70, de pedreiras em áreas urbanas, fez com que as áreas próximas à extração, com substrato composto por material de rejeito da pedreira fossem ocupadas irregularmente por famílias de baixa renda. De maneira geral, a ocupação é mais

densa na base do morro, mas estende-se até, aproximadamente, 240 metros, na meia encosta. A porção situada mais próxima do topo ainda não está ocupada e encontra-se com cobertura vegetal de médio e grande porte (DAL'ASTA, 2005).

No estudo do Plano Municipal de Redução de Riscos de Santa Maria - PMRRSM (2006), a vila Bela Vista foi dividida em duas partes: Bela Vista 1 que compreende a rua 14 de Julho, e um segmento no lado esquerdo da rua Vereador Antônio Dias, no sentido Sul-Norte desta rua; Bela Vista 2 que compreende a rua Canários.

A Figura 28 mostra a ocupação urbana da região central, norte e nordeste de Santa Maria-RS. As Figuras 29 e 30 evidenciam a evolução da ocupação urbana horizontal na vila Bela Vista. Destacam-se as moradias da encosta da vertente oeste do morro Cechela, em área com declividade superior a 30%, não recomendada à ocupação urbana.



Figura 28 – Ocupação urbana da região central, norte e nordeste de Santa Maria-RS. FONTE: Google Earth, imagem de 17/08/2011.



Figura 29 – Ocupação urbana horizontal da vila Bela Vista (oeste do morro Cechela). FONTE: Google Earth, imagem de 21/12/2007.



Figura 30 – Ocupação urbana horizontal da vila Bela Vista (oeste do morro Cechela). Setas vermelhas indicando casas situadas na parte mais alta da encosta da vertente oeste do morro. FONTE: Google Earth, imagem de 09/02/2012.

Na área da vila Bela Vista, constatou-se uma invasão próxima de uma ocupação formal com 171 edificações, abrangendo cerca de 476 moradores, sendo 62% com nível de instrução de 1º grau incompleto, 11% com o 2º grau completo e 6% de analfabetos; 26% da renda familiar é de até um salário mínimo, obtida através de trabalho informal (biscates e coleta de material para reciclagem) e benefícios do governo federal (bolsa família e bolsa escola), 28% tem renda de até 02 salários mínimos e 31% renda de até três salários mínimos, obtidos por trabalho formal (PMRRSM, 2006).

Quanto aos tipos construtivos, 39% das edificações da Vila Bela Vista são de alvenaria, 34% são construções mistas e 27% são de madeira. A maior parte de médio a bom padrão construtivo com área média de 28m<sup>2</sup>. Os lotes têm separação bem definida, limitada por cerca ou muro. A infraestrutura o local possui duas vias pavimentadas, rua 14 de Julho e rua de acesso ao Monumento ao Ferroviário, e duas vias não-pavimentadas, ruas Possadas e Canários; há rede iluminação pública, de distribuição de energia elétrica e água da concessionária, sendo desprovido de esgoto cloacal; em 03 edificações, a água é cedida de um morador para outro e há um caso de água proveniente de bica (PMRRSM, 2006).

Para melhor compreensão das situações de risco, o PMRRSM (2006) subdividiu a área da Vila Bela Vista em seis setores para o mapeamento de risco. A parte denominada Bela Vista 1 engloba os setores 01, 02, 03 e 06; a parte denominada Bela Vista 2 engloba os setores 04 e 05, conforme identificado no mapa do Anexo A e na Tabela 2.

Tabela 2 – Setorização e mapeamento de risco da vila Bela Vista (PMRRSM, 2006).

Classificação Área de Risco na Vila Bela Vista					
Setores de Risco	Edificações	Nº Total de Edificações	Classificação de Risco	Grau de Risco	Setor Indicado Remoção e Re-alocação
1	1 - 10	10	Risco de Escorregamentos	R4	SIM
2	11-37	27	Risco de Escorregamentos	R2	NÃO
3	38-63	26	Risco de Escorregamentos	R2	NÃO
4	27-71	45	Risco de Escorregamentos	R2	NÃO
5	1-26/72-89	44	Risco de Escorregamentos	R3	NÃO
6	64-82	19	Risco de Escorregamentos	R2	NÃO
-	TOTAL	171		TOTAL	10

O PMRRSM (2006) indicou a remoção de dez famílias que residem no primeiro setor localizado acima da Rua 14 de julho e na encosta da vertente oeste do morro Cechela.

O presente estudo se deteve a avaliar o risco das moradias localizadas na encosta da vertente oeste do morro Cechela. A seleção da amostra foi baseada na indicação do PMRRSM para remoção de 10 famílias do setor 1 - R4 (risco alto). A amostra corresponde a 5,85% das moradias existentes na Vila Bela Vista, conforme dados da setorização do Plano Municipal de Redução de Riscos.

O primeiro setor está localizado acima da rua 14 de julho e tem como referência os reservatórios da Corsan, compreende da edificação 001 até a edificação 010 conforme mapa do Plano Municipal de Redução de Riscos (Anexo A), situadas em degraus de abatimento de encosta natural; a maioria é edificações de alvenaria de baixo padrão construtivo. A vegetação de recobrimento é de arbustos, árvores e alguma vegetação rasteira, compondo mata natural. Existe despejo de água servida na encosta, associada ao fato da declividade da encosta ser muito alta, superior a 60% (Figura 31). Em vários pontos surge afloramento de blocos de rochas; também aparecem sinais de erosão principalmente nos caminhos de acesso as edificações (PMRRSM, 2006).

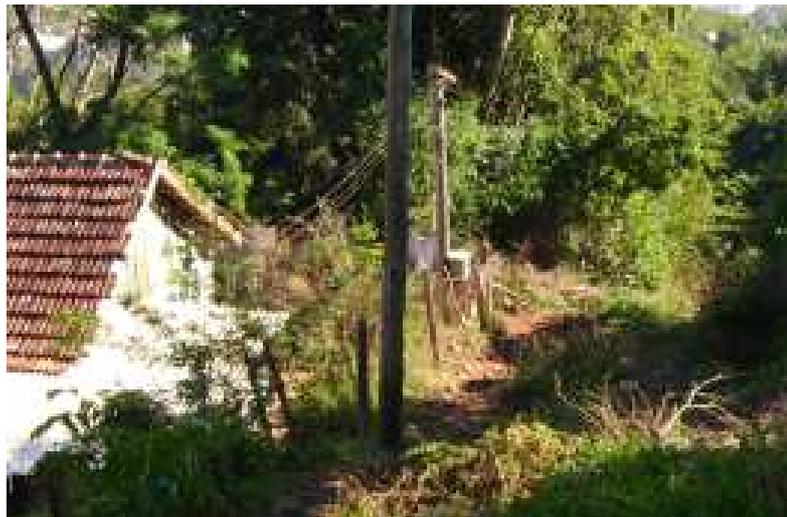


Figura 31 – Bela Vista, primeiro setor - edificação 005 - ver mapa do Anexo A (PMRRSM,2006).

### 3.2 Cadastro das moradias em condições de alto risco

A Figura 32 mostra a vista da ocupação urbana da encosta da vertente oeste do morro Cechela na Vila Bela Vista (casas em alto risco destacadas) e a localização dos topos e bases (Rua 14 de Julho – antiga “Rua da Pedreira”) de dois perfis de encostas definidos. Ao fundo do morro nota-se o reservatório de água da barragem do Vacacaí-Mirim (abastecimento de água de Santa Maria-RS). Nota-se que a ocupação urbana da encosta da vertente oeste é parcialmente consolidada e está em processo de ocupação adjacente a áreas de ocupação consolidada. Possui razoável infraestrutura básica.

Após vistoria ao local, foi verificado que a localização dos pontos de referência e das casas indicadas no mapa do PMRRSM (mapa do Anexo A) não confere com aquela existente “in loco”. Por exemplo, a cota da Rua 14 de Julho é de 190 m para cima e o mapa indica cota de 180 m para baixo. Esta divergência foi constatada por meio do levantamento das elevações (m) com GPS, com o Google Earth e com um mapa da CORSAN, onde os reservatórios de água estão numa cota média de 211m e não na cota 185m como mostra o mapa do Anexo A. A Tabela 3 evidencia as coordenadas geográficas e elevações (m) dos pontos de interesse no estudo.

Nota-se que a numeração das casas cadastradas (Tabela 3) não segue a mesma ordem da numeração indicada no mapa do PMRRSM (ver Anexo A). Como todas as casas estão situadas em elevações superiores a da Rua 14 de Julho, considerada como base dos perfis a escorregamentos estudados, e estando as casas dentro da abrangência de escorregamento destes perfis, preliminarmente entendemos que as dezesseis casas cadastradas devem estar dentro do setor de alto risco (R4). A amostra do estudo passou para 9,36% - 16 casas em alto risco dentre as 171 edificações existentes na Vila Bela Vista - de acordo com os dados do PMRRSM.

As CASAS 03, 05, 07, 08 e 12 estão situadas junto à base da encosta para os perfis considerados como mais críticos a escorregamento (PERFIL 3 e 4 da Figura 32). As demais casas situam-se na porção intermediária da encosta. As CASAS 16 e

17 estão na parte mais alta da meia encosta (elevação superior a 214m). No cadastramento, realizado em 17 de abril de 2012, os riscos foram analisados moradia por moradia não sendo feitas generalizações como ocorre na setorização de riscos.

As entrevistas aos moradores das casas situadas no setor de alto risco (R4) forneceram subsídios para levantamentos de informações relevantes para o cadastro, como ocorrência de deslizamento ou de seus indícios, histórico e idade da ocupação urbana, projetos ou memórias construtivas das moradias, execução de corte e/ou aterro a meia encosta para implantação de acessos ou das construções, identificação das fundações e da estrutura das casas, materiais construtivos, existência de sumidouros e lançamento de esgoto que podem influenciar na estabilidade do terreno. Também foram verificadas a possível existência de patologias nas construções, pois a análise da distribuição dos danos nas residências pode ajudar a compreender os efeitos da movimentação de taludes nas estruturas. Maiores detalhes estão descritos no item 2.2.

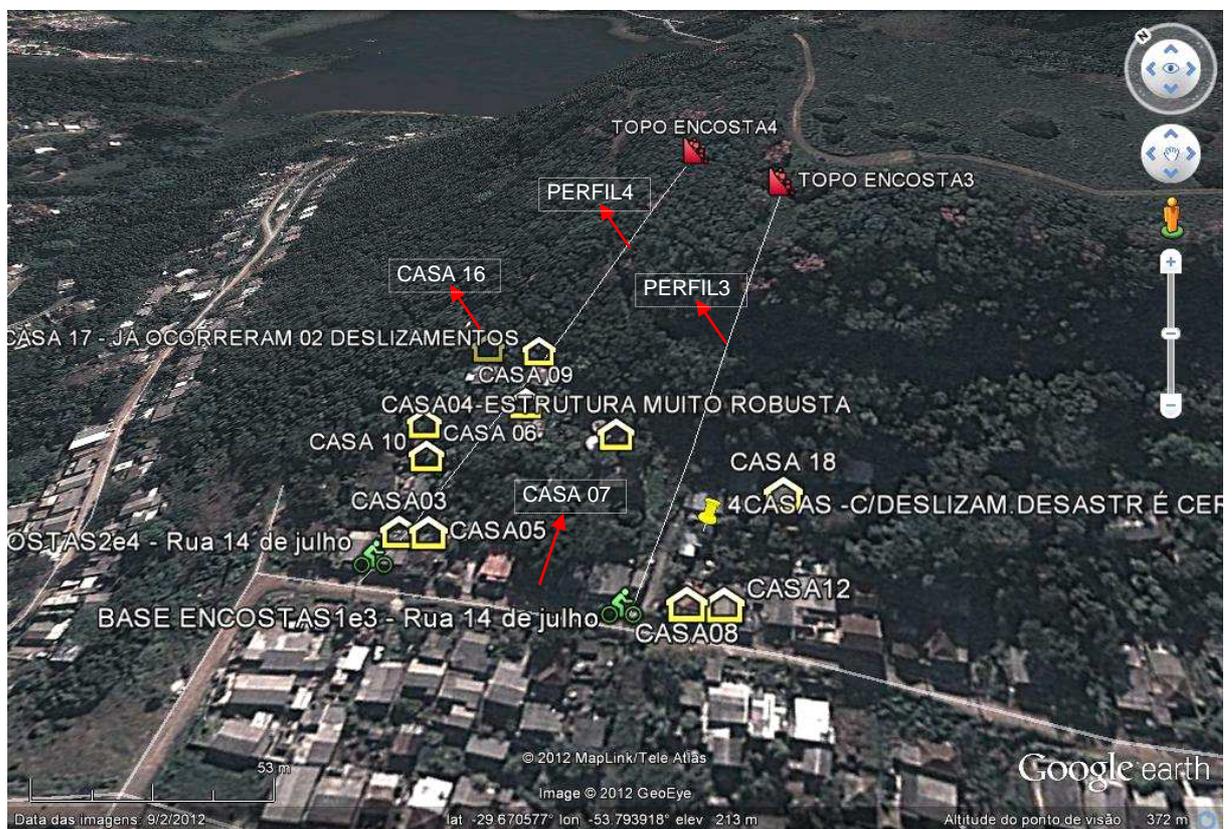


Figura 32 – Vista oeste da ocupação urbana da encosta da vertente oeste do morro Cechela na Vila Bela Vista. FONTE: Google Earth, imagem de 09/02/2012.

Tabela 3 – Pontos da encosta da vertente oeste do morro Cechela. FONTE: Google Earth, imagem de 09/02/2012.

Pontos da encosta da vertente oeste do morro Cechela									
PONTOS	LATITUDE	LONGITUDE	ELEVA CAO (m)	Distancia C4 ao topo encosta4 (m)	Amplit ude H4 (m)	$\alpha$ 4 = arc sen (H4/C4) (°)	Decliv idad e D4 (%)	Grau de Risco (PMR RSM)	Setor Indica do Remo ção
<b>TOPO ENCOSTA1</b>	<b>-29.670527°</b>	<b>-53.793559°</b>	<b>228</b>	-	-	-	-	-	-
<b>TOPO ENCOSTA2</b>	<b>-29.670112°</b>	<b>-53.793484°</b>	<b>236</b>	-	-	-	-	-	-
<b>TOPO ENCOSTA3</b>	<b>-29.670332°</b>	<b>-53.792930°</b>	<b>253</b>	-	-	-	-	-	-
<b>TOPO ENCOSTA4</b>	<b>-29.669993°</b>	<b>-53.792970°</b>	<b>256</b>	-	-	-	-	-	-
CASA 17 - JA OCORRERAM 02 DESLIZAMENTOS	-29.670257°	-53.793927°	216	106	40	22,17016	40,7	R4	SIM
CASA 09	-29.670389°	-53.794091°	210	127	46	21,23566	38,9	R4	SIM
2 reservatórios CORSAN	-29.670567°	-53.793994°	211	125				-	-
4CASAS -C/DESLIZAM.DESASTR É CERTO	-29.670983°	-53.794002°	203					R4	SIM
CASA03	-29.670487°	-53.794614°	194	181	62	20,03179	36,5	R4	SIM
CASA05	-29.670542°	-53.794558°	195	179	61	19,92453	36,2	R4	SIM
CASA07	-29.670672°	-53.794543°	196	177	60	19,81493	36	R4	SIM
CASA08	-29.671137°	-53.794225°	196					R4	SIM
CASA12	-29.671191°	-53.794156°	191					R4	SIM
CASA18	-29.671076°	-53.793804°	208					R4	SIM
CASA 16	-29.670129°	-53.794022°	214	114	42	21,61827	39,6	R4	SIM
CASA 06	-29.670218°	-53.794336°	203	146	53	21,28539	39	R4	SIM
CASA 10	-29.670325°	-53.794405°	200	156	56	21,03722	38,5	R4	SIM
CASA 04	-29.670661°	-53.793996°	210					R4	SIM
BASE ENCOSTAS2e4 - Rua 14 de julho	-29.670513°	-53.794714°	191	199	65	19,06455	34,6		
BASE ENCOSTAS1e3 - Rua 14 de julho	-29.671044°	-53.794348°	195						

FONTE: Google Earth - Data das Imagens 09/02/2012

Para exemplificar o cadastro executado, o Quadro 11 apresenta um resumo do levantamento em duas casas situadas em perfis típicos que mostram a dinâmica superficial da encosta da vertente oeste do morro Cechela. Neste quadro apresenta-se o cadastro sumarizado das CASAS 07 e 17. A CASA 17 está situada dentro da abrangência de escorregamento do PERFIL 4 enquanto que a CASA 07 está entre os PERFIS 03 e 04 (ver Figura 32 anteriormente apresentada). As Figuras 33 e 34 mostram os perfis das duas casas citadas. O cadastro completo das moradias e suas condições de risco encontram-se no Apêndice B.

A Tabela 4 evidencia os graus de riscos definidos neste estudo após a avaliação qualitativa e o cadastro das moradias. Foi constatado que somente 23% das moradias estudadas têm grau de alto risco (R4) para a probabilidade de ocorrência de escorregamentos (Figura 35) e que 15% das moradias podem ser indicadas para remoção (Figura 36). O cadastro indica a remoção das CASAS 07 e 17, no entanto, caso sejam executados dispositivos de drenagem superficial e/ou de contenção do solo junto ao local destas moradias, nenhuma família deverá ser removida. Antes de qualquer ato de remoção se faz necessária a realização de estudos especializados e análises da estabilidade dos taludes junto às casas. As obras de contenção dos solos são mais econômicas que a realocação das famílias.

As Figuras 37 a 39 evidenciam alguns condicionantes para deflagração de escorregamentos: declividade elevada dos perfis da encosta (solos expostos); pequena distância das moradias à base dos taludes de cortes ou ao topo dos aterros lançados; amplitudes elevadas; lançamento de águas servidas. A Figura 40 mostra a cicatriz de escorregamento planar de solo coluvionar ocorrido atrás da CASA 17. Não foram constatadas patologias significativas nas construções.

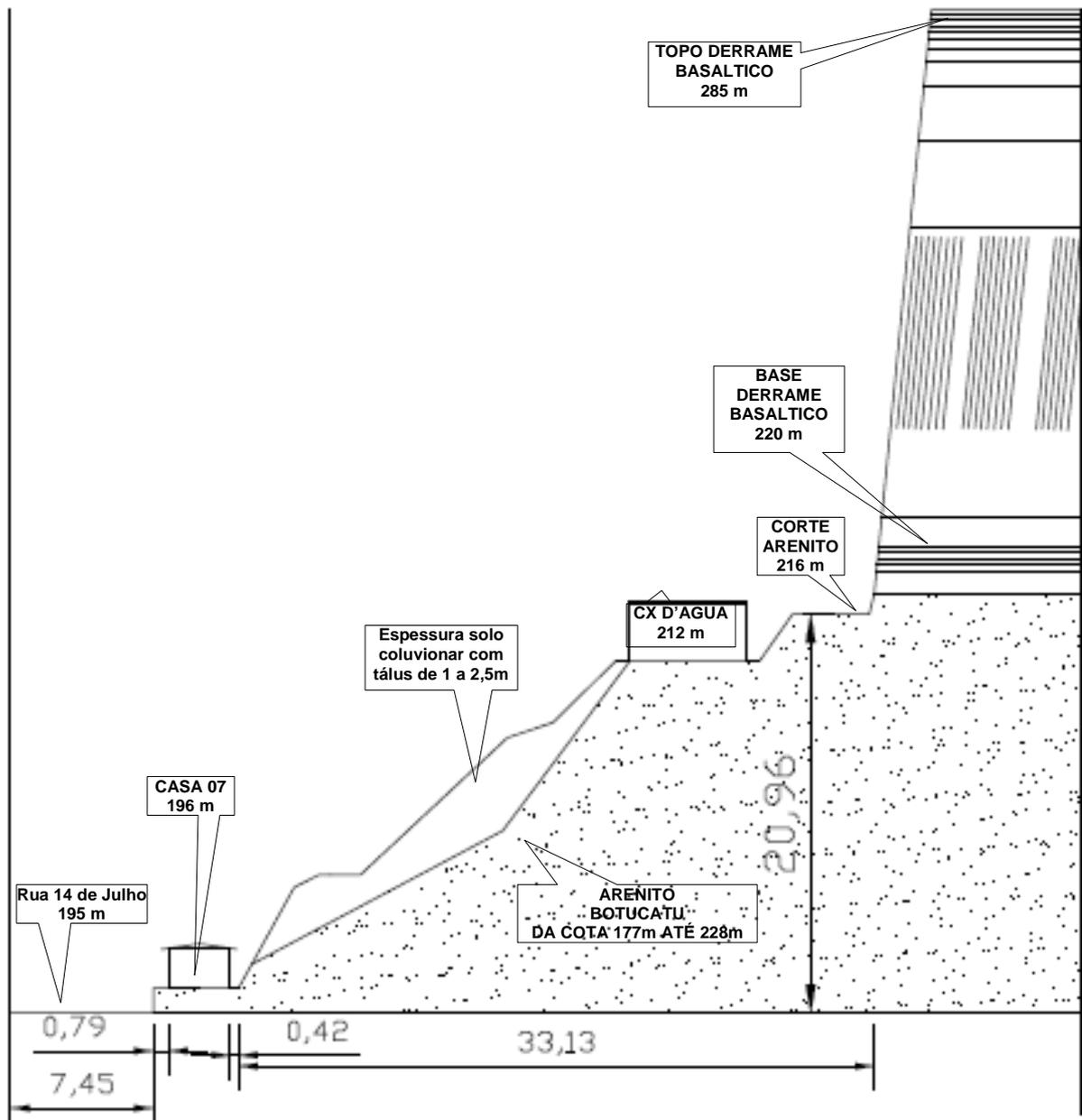


Figura 33 – Perfil para CASA07 que dista menos de 40 cm da base do talude.

PASSOS	CADASTRO DA CASA 07	CADASTRO DA CASA 17
1º Passo – Dados gerais sobre a moradia	LOCALIZAÇÃO: Rua 14 de Julho (base da encosta) NOME DO MORADOR: Antonio Carlos TIPO DE MORADIA: Casa de madeira em mal estado de conservação. Pilotis da casa apoiada sobre pedras quadradas de basalto. Casa existente há pelo menos 30 anos.	LOCALIZAÇÃO: Sem Rua – Acesso aberto em chão batido na parte alta (elevação 216m) da porção intermediária da encosta NOME DO MORADOR: Clauber TIPO DE MORADIA: Casa de alvenaria não estruturada. Sem patologias.
2º Passo – Caracterização do local	Talude com altura 6,00 m e Inclinação 60°, com corte em solo coluvionar com corpo de tálus (espessura de até 2,50m) sobre saprólito de arenito a menos de 1,0m da moradia (altura do corte de 4,0m, sendo que a casa dista menos de 0,40 m da base do corte) . Base do talude na elevação 196m.	Talude atrás da casa com altura 6,00 m e Inclinação 60°, com corte em solo coluvionar com corpo de tálus (espessura média de 1,00 m) sobre saprólito de arenito distando de 3,0 a 3,50m da moradia. Corte do lado direito distando menos de 2,0m da casa. Base do talude na elevação 216 m. Nas elevações mais altas da encosta atrás da casa começam a aflorar blocos de rocha basáltica. Solo raso com corpo de tálus maiores. A casa foi executada provavelmente sobre aterro lançado. Na frente da CASA 17 foram executados muros de pneus e lançamento de rejeitos basálticos como se fossem bermas de equilíbrio.
3º Passo – Água	Inexistência de sistema de drenagem superficial com concentração de água em superfície (enxurrada). Parece que o lançamento de água servida é em superfície (a céu aberto). Não identificamos fossa séptica. Rede pública de água sem aparente vazamento.	Inexistência de sistema de drenagem superficial com concentração de água em superfície (enxurrada). Parece que o lançamento de água servida é em superfície (a céu aberto). Não identificamos fossa séptica.
4º Passo – Vegetação no talude ou proximidades	Predomina a vegetação rasteira como os arbustos existindo algumas árvores de médio porte a partir da porção intermediária da encosta. O trecho da encosta tem muito solo exposto.	A vegetação já fica mais densa com muitas árvores de médio a grande porte a partir da parte mais alta da porção intermediária da encosta.
5º Passo – Sinais de Movimentação (Feições de instabilidade)	Sinal de escorregamento planar do solo coluvionar com corpo de tálus em pequena quantidade e erosão superficial do solo. Morador informa que desce muita água concentrada, concluindo que a erosividade no local é altíssima. Existem árvores com troncos inclinados.	Já ocorreram dois escorregamentos planares do solo coluvionar com corpo de tálus no corte atrás da moradia. No evento acontecido em 2011 calculamos 10,5 m <sup>3</sup> de solo pela dimensão da cicatriz existente no local. Morador também informou que um bloco grande (diâmetro aproximado de 3,0m) de rocha rolou a partir da topo da encosta no ano de 1999.
6º Passo – Tipos de processos de instabilização esperados ou já ocorridos	Por ser um corte em solo coluvionar com corpo de tálus sobre do saprólito de arenito pode ocorrer processo de escorregamento planar ou erosão superficial (carreamento de partículas devido à erosividade das chuvas). Algum bloco de rocha (matação) das cotas superiores da encosta da vertente oeste do morro Cechela poderá se instabilizar e rolar morro abaixo até atingir algumas barreiras (casas da meia encosta ou própria CASA07 da base da encosta).	Por ser um corte em solo coluvionar com corpo de tálus sobre do saprólito de arenito pode ocorrer processo de escorregamento planar ou erosão superficial (carreamento de partículas devido à erosividade das chuvas). Algum bloco de rocha (matação) das cotas superiores da encosta da vertente oeste do morro Cechela poderá se instabilizar e rolar morro abaixo até atingir algumas barreiras (casas).
7º Passo – Determinação do grau de risco	Como há sinais de processos de instabilização da encosta com declividade elevada, inexistência de sistema de drenagem superficial, casa de madeira e praticamente junto ao corte, consideramos grau de risco muito alto (R4). Manter o local em observação.	Como há sinais de processos de instabilização da encosta com declividade elevada, inexistência de sistema de drenagem superficial, moradia muito próxima da base da encosta, consideramos grau de risco muito alto (R4). Manter o local em observação.
8º Passo – Necessidades de remoção	Sim. Caso sejam executados dispositivos de drenagem superficial e/ou de contenção do solo, não será necessária a remoção da moradia.	Sim. Caso sejam executados dispositivos de drenagem superficial e/ou de contenção do solo, não será necessária a remoção da moradia.

Quadro 11 – Resumo do cadastro para as CASAS 07 e 17.

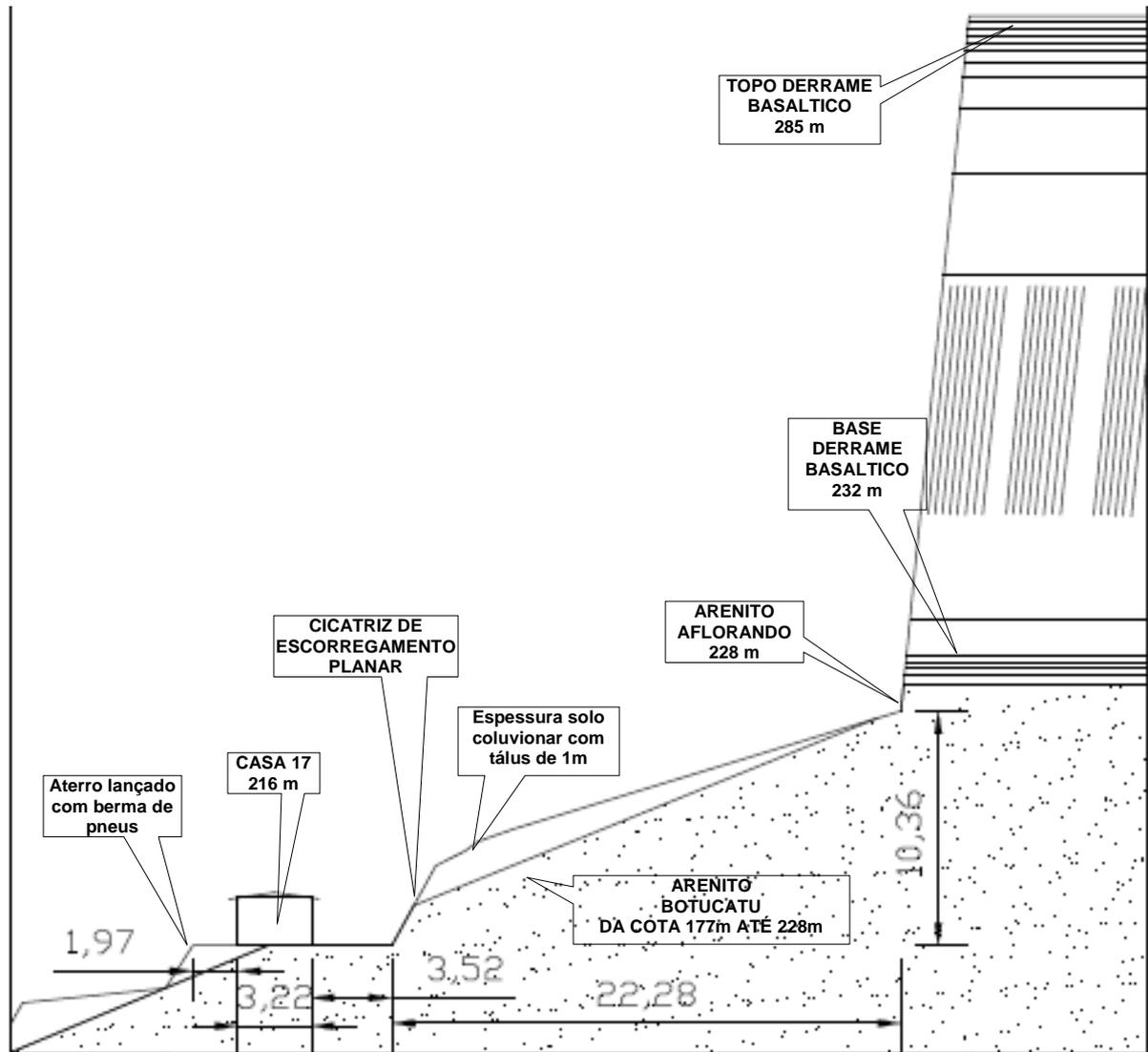


Figura 34 – Perfil para CASA17 onde já ocorreram dois escorregamentos planares do solo coluvionar com tálus.

Tabela 4 – Grau de risco para a probabilidade de ocorrência de escorregamentos definidos após cadastro das moradias.

Pontos da encosta da vertente oeste do morro Cechela							
PONTOS	LATITUDE	LONGITUDE	ELEVA CAO (m)	Grau de Risco (PMRRSM)	Setor Indicado Remoção	Grau de Risco após Cadastro	Setor Indicado Remoção após Cadastro
CASA 17 - JA OCORRERAM 02 DESLIZAMENTOS	-29.670257°	-53.793927°	216	R4	SIM	R4	SIM
CASA 09	-29.670389°	-53.794091°	210	R4	SIM	R2	NÃO
4CASAS -C/DESLIZAM.DESASTR É CERTO	-29.670983°	-53.794002°	203	R4	SIM	R3	NÃO
CASA03	-29.670487°	-53.794614°	194	R4	SIM	R2	NÃO
CASA05	-29.670542°	-53.794558°	195	R4	SIM	R3	NÃO
CASA07	-29.670672°	-53.794543°	196	R4	SIM	R4	SIM
CASA08	-29.671137°	-53.794225°	196	R4	SIM	R2	NÃO
CASA12	-29.671191°	-53.794156°	191	R4	SIM	R3	NÃO
CASA18	-29.671076°	-53.793804°	208	R4	SIM	R3	NÃO
CASA 16	-29.670129°	-53.794022°	214	R4	SIM	R4	NÃO
CASA 06	-29.670218°	-53.794336°	203	R4	SIM	R2	NAO
CASA 10	-29.670325°	-53.794405°	200	R4	SIM	R2	NÃO
CASA 04	-29.670661°	-53.793996°	210	R4	SIM	R2	NÃO

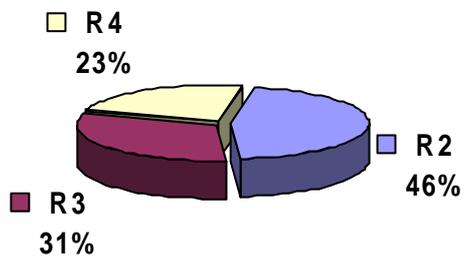


Figura 35 – Percentual dos graus de risco para a probabilidade de ocorrência de escorregamentos após Cadastro.

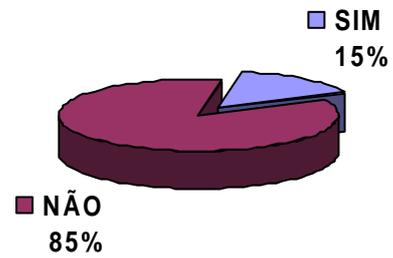


Figura 36 – Percentual de indicação para remoção de moradias após Cadastro.



Figura 37 – CASA 07 de madeira (mal estado de conservação) que dista menos de 0,50m do corte.



Figura 38 – CASA 12: amplitude e declividade elevadas e lançamento de águas servidas.



Figura 39 – CASA 16 sobre aterro lançado e com contenção feita de pneus.



Figura 40 – Detalhe da cicatriz de escorregamento planar de solo coluvionar ocorrido na CASA 17.

As comunidades que vivem em encostas devem ser alertadas sobre a problemática da ocupação dessas áreas de riscos. Sugere-se a visualização do vídeo intitulado “Áreas de risco: informação para prevenção”, realizado pelo IPT para a Prefeitura de Mauá-SP no âmbito do Plano Municipal de Redução de Riscos, que traz informações relevantes para identificação de riscos e prevenção de acidentes em áreas de riscos. Este vídeo pode ser acessado pelo seguinte link: <http://www.youtube.com/watch?v=bhKWHx08jFA&feature=youtu.be> .

### **3.3 Laudo de vistoria de acordo com a NBR 11682/2009**

No Apêndice A é mostrado o laudo de vistoria da área estudada de acordo com os parâmetros da norma de Estabilidade de Encostas - NBR 11682/2009. O levantamento foi realizado em 17 de abril de 2012. Neste laudo estão contidas informações básicas sobre o local, como o tipo de ocupação, declividade média e as

características geométricas da encosta, existência de despejo de esgoto e detritos sobre a superfície da encosta, existência de obras de contenção, condições de saturação, natureza dos solos, grau de risco, tipologia de possíveis movimentos ou de outro mecanismo de instabilização e possíveis consequências.

Para a verificação da declividade média da encosta e da abrangência das frentes de escorregamentos foram definidos quatro perfis (PERFIL 1, 2, 3 e 4) utilizando o Google Earth. O PERFIL4 foi considerado aquele que engloba os maiores indícios de instabilizações que podem ocorrer na encosta da vertente oeste do morro Cechela. Na Figura 32 (ver item 3.2) percebe-se que este perfil passa pela CASA17 (que já teve dois escorregamentos planares) e vai até a base da encosta, definida como a Rua 14 de Julho. Este perfil tem distância presa ao solo (hipotenusa) de 199 m desde o topo da encosta 4 até a base e amplitude H de 60m. Nota-se a existência de elevado desnível potencial gravitacional. Da Tabela 3 calcula-se que o PERFIL4 tem declividade média de 38% (inclinação de 20,80°), porém possui pontos em que a declividade passa de 60% conforme já informado no item 3.2.

A encosta estudada tem características de encosta natural em cabeceira de drenagem com aterros lançados e com blocos de rocha (corpo de tálus). Existem camadas de solos coluvionares rasos com corpo de tálus (espessura de até 2,50 m) sobre substrato rochoso de arenito da formação Botucatu. O afloramento de arenito com mergulho no sentido sudoeste foi verificado nas elevações 177 m (Rua Lupicínio Rodrigues), 195m (terreno baldio da Rua 14 de Julho), 215 m (CASA 17), 216 m (acesso aberto perto das caixas de água) e 228 m (porção da encosta acima da CASA 17).

No alto da porção intermediária da encosta (elevação 215m - junto as CASAS 16 e 17) foi constatada a presença de feições erosivas e de cicatrizes de escorregamento planar de solo coluvionar raso com corpo de tálus (espessura média de 1,0m) sobre o substrato de arenito da formação Botucatu. Nestes locais já foram executados muros de pneus amarrados e lançamento de rejeitos basálticos como se fossem bermas de equilíbrio (Figura 41). O atual morador da CASA17 está disposto a executar muro de contenção com pedras de basalto. Na porção intermediária da encosta (elevação 200m) foi verificada a presença de rejeitos de pedreira basáltica, lixo e entulhos de casas demolidas. Na base da encosta (elevação 195 m) existem

taludes de corte subverticais ( $h = 2$  a  $4$  m), expondo o solo superficial coluvionar raso com corpo de tálus (espessura menor que  $2,5\text{m}$ ) e o saprólito de arenito da formação Botucatu. Na porção intermediária e na base da encosta existe concentração de águas servidas lançadas nos taludes de solos expostos e a vegetação existente é rasteira com algumas árvores de porte médio. A Figura 42 mostra a vista da porção intermediária a partir da base da encosta (Rua 14 de Julho). Como existem paredões rochosos na parte alta da encosta, deve-se atentar para queda e tombamento de blocos basálticos que atingiriam as moradias da porção intermediária ou da base da encosta com elevada energia cinética. O Quadro 12 resume os condicionantes/indicadores e potencialidade dos processos de instabilização existentes na encosta da vertente oeste do morro Cechela.

As Figuras 33 e 34 (já apresentadas no item 4.2) evidenciam, respectivamente, os croquis montados para as situações de alto risco das moradias da base da encosta (CASA 07) e da porção alta da encosta (CASA 17). Os processos de instabilização mais significativos na encosta são os escorregamentos planares de solos coluvionares com corpos de tálus basálticos. Para minimizar a ameaça de deflagração dos processos instabilizantes, deveriam ser executados dispositivos de drenagem superficial e/ou de contenção do solo junto ao local das CASAS 07, 16 e 17.



Figura 41 – À esquerda e em frente da CASA16 foram executados muros de pneus e lançamento de rejeitos basálticos como se fossem bermas de equilíbrio.



Figura 42 – Vista da porção intermediária a partir da base da encosta (Rua 14 de Julho).

LOCAL	CONDICIONANTES E INDICADORES	POTENCIALIDADE
Base da encosta (elevação 195m)	Presença de cortes subverticais ( $h = 2$ a $4$ m) com as moradias distando menos de $2,0$ m da base dos taludes com inclinação maior que $30^\circ$ . Amplitude H de até $20$ m. Solos coluvionares rasos sobre o arenito. Inexistência de dispositivo de drenagem superficial. Algumas moradias possuem muros de contenção. Vegetação rasteira com árvores de porte médio e trechos de solo exposto.	Alta potencialidade para deflagração de erosão superficial ou de escorregamentos planares de solos coluvionares pouco profundos. Indução dos processos instabilizantes pela concentração de águas pluvial e servida.
Porção intermediária da encosta (elevação 200m-203m)	Taludes de inclinação entre $30^\circ$ e $60^\circ$ . Amplitude H de até $15$ m. Verificada a presença de aterros lançados com rejeitos de pedra basáltica. Presença de lixo, entulhos de casas demolidas e lançamento de águas servidas no sentido encosta abaixo. Inexistência de dispositivo de drenagem superficial. A maioria das moradias possuem muros de contenção.	Alta potencialidade para deflagração de erosão superficial ou de escorregamento de maior porte, mobilizando materiais, lixo e aterros lançados. Indução dos processos instabilizantes pela concentração de águas pluvial e servida.
Porção alta da encosta (elevação 215m)	Taludes com inclinação de até $30^\circ$ . Presença de feições erosivas e de cicatrizes de escorregamento planar de solo coluvionar raso com corpo de tálus (espessura média de $1,0$ m) sobre o substrato de arenito. Amplitude H de até $10$ m. Inexistência de dispositivos de drenagem superficial e de contenção do solo. Presença de blocos de basalto. Vegetação rasteira com árvores de maior porte e trechos de solo exposto.	Alta potencialidade para deflagração de escorregamento planar, mobilizando o solo coluvionar. Com a ação direta da água, existe média potencialidade para deflagração de tombamentos e rolamentos de blocos/matações basálticos partindo da porção alta da encosta.

Quadro 12 – Condicionantes e potencialidade dos processos de instabilização da encosta.

### 3.4 Ensaios de caracterização

Com as amostras coletadas em dois pontos diferentes - junto ao local do escorregamento do lado direito da CASA17 (AM01 - Colúvio, AM02 – Colúvio com corpo de tálus e AM03 – Arenito da cicatriz de escorregamento) e em um local encosta acima da CASA17 (AM04 – Arenito exposto ao ambiente natural), foram realizados ensaios de caracterização. A determinação dos índices físicos foi feita nas amostras indeformadas coletadas para o ensaio de cisalhamento direto (AM01 e AM03).

Os ensaios de caracterização foram a determinação do teor de umidade, determinação do peso específico real dos grãos (NBR 6508/84), análise granulométrica (NBR 7181/94), limite de liquidez (NBR 6459/84) e limite de plasticidade (NBR 7180/84).

A Tabela 5 apresenta os resultados dos ensaios para determinação do peso específico real dos grãos e dos limites de consistência. O peso específico apresentou valores entre 25,16 e 26,16 kN/m<sup>3</sup>, consistentes com a mineralogia destas camadas. O colúvio com corpo de tálus (AM02) e o arenito exposto ao meio ambiente (AM04) apresentaram baixa plasticidade, com um limite de liquidez inferior a 28% e um índice de plasticidade entre 6 e 8%. A camada de colúvio direta sobre arenito (AM01) apresentou-se mais plástica. O arenito da cicatriz do escorregamento (AM03) apresentou-se não plástico (N.P.).

Tabela 5 – Resultados dos ensaios de peso específico real dos grãos e limites de consistência.

Identificação	Amostras	$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	wl (%)	wp (%)	IP (%)
Colúvio	AM01	26,16	45	22	23
Colúvio	AM02	26,05	25	19	6
Arenito	AM03	25,16	N.P.	N.P.	N.P.
Arenito	AM04	25,64	28	20	8

Obs.:  $\gamma_s$  = peso específico real dos grãos; wl = limite de liquidez; wp = limite de plasticidade; IP = índice de plasticidade; N.P. = não plástico.

Os resultados dos ensaios granulométricos com o uso de defloculante (hexametáfosfato de sódio) estão apresentados na Tabela 6, enquanto que as curvas granulométricas com o uso de defloculantes são apresentadas na Figura 43. A divisão adotada para as frações constituintes do solo foi a proposta pela ABNT NBR 6502.

Os arenitos apresentaram a menor porcentagem de finos (silte + argila) e predominam na fração grossa a areia fina a média (72 a 89%). A fração argila é muito baixa, que reflete na falta de plasticidade para o arenito da cicatriz de escorregamento (AM03).

Já os colúvios apresentam maior porcentagem de finos (30 a 38%) com a fração argila predominando sobre a fração silte. O colúvio (AM01) apresenta-se mais plástico. Somente o colúvio (AM02) possui partículas do tamanho pedregulho.

De acordo com o Sistema Unificado de Classificação dos Solos as amostras do colúvio são areias variando de argilosa a siltosa (SC-SM), o arenito da amostra AM03 foi classificado como uma areia mal graduada (SP) e o arenito da amostra AM04 com uma areia argilosa (SC).

Tabela 6 – Resumo dos ensaios de granulometria e classificação dos solos.

Identificação		Frações granulométricas (%)						Classificação Geotécnica	
		Pedr	Ar. Grossa	Ar. Média	Ar. Fina	Silte	Argila	HRB	SUCS
Colúvio AM01	C/D	0	5	23	34	12	26	A-7-6	SC
Colúvio AM02	C/D	7	4	23	36	12	18	A-2-4	SC-SM
Arenito AM03	C/D	0	0	34	55	3	8	A-2-4	SP
Arenito AM04	C/D	0	8	22	50	6	14	A-2-4	SC

Obs.: HRB = High Research Board; SUCS = Sistema Unificada de Classificação dos Solos  
C/D = com defloculante

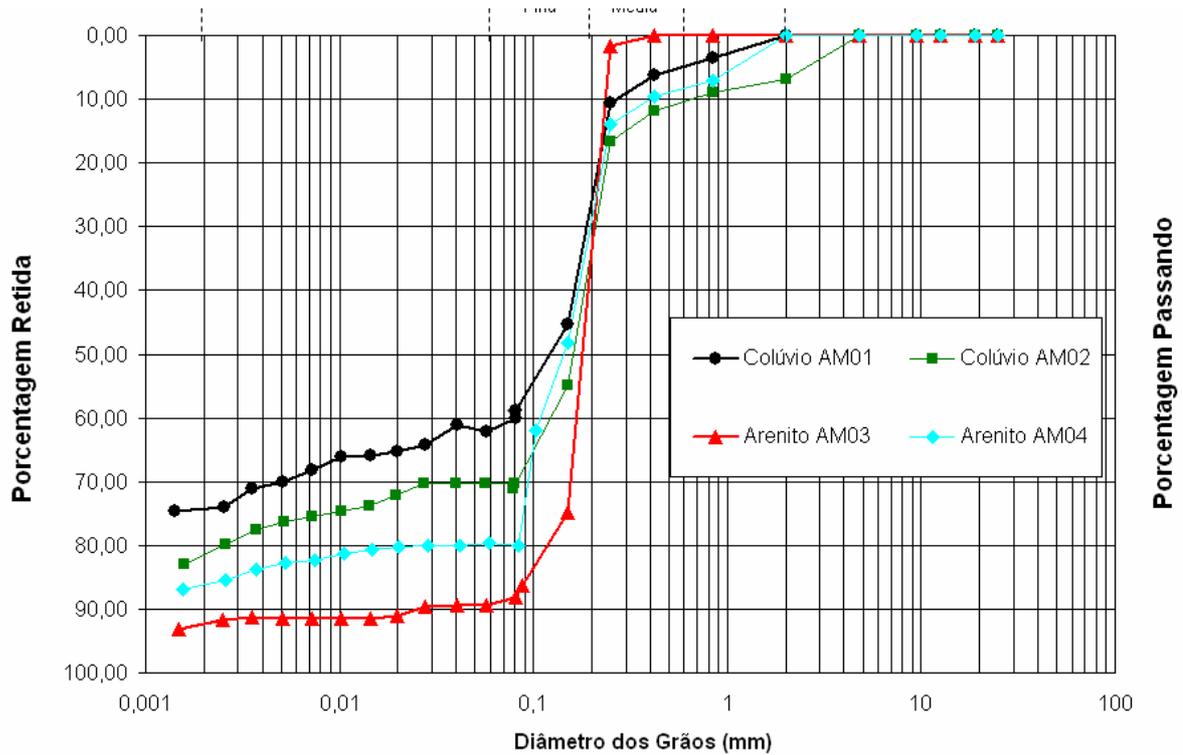


Figura 43 – Curvas granulométricas obtidas com defloculante.

A Tabela 7 apresenta os índices físicos obtidos nas amostras indeformadas que foram utilizadas nos ensaios de cisalhamento direto. Verificou-se que os maiores coeficientes de variação foram obtidos para os valores de umidade, grau de saturação e índice de vazios. Na comparação entre o colúvio e o arenito, verifica-se o maior teor de umidade e grau de saturação do colúvio, provavelmente por ser mais superficial e estar mais sujeito as variações climáticas. O colúvio tem maior índice de vazios e é mais poroso que o arenito.

De acordo com o IAEG (1979), o colúvio apresenta uma porosidade média ( $0,55 < e < 0,8$ ) e quanto ao grau de saturação é úmido ( $25\% < S < 50\%$ ). O arenito apresenta-se uma porosidade baixa ( $0,43 < e < 0,55$ ) e quanto ao grau de saturação é úmido.

Tabela 7 – Propriedades e índices do solo.

Valores		w (%)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	e	n (%)	S (%)
	<b>Média</b>	<b>9,09</b>	<b>18,42</b>	<b>16,94</b>	<b>0,56</b>	<b>35,24</b>	<b>42,06</b>
Colúvio AM01	Valor Máximo	16,78	20,05	18,57	0,89	47,00	53,46
	Valor Mínimo	4,20	16,19	13,86	0,41	28,99	19,06
	Desvio Padrão	4,82	1,53	1,82	0,18	6,96	14,88
	Coef. Variação	53,00	8,31	10,74	32,66	19,74	35,38
	<b>Média</b>	<b>6,91</b>	<b>18,36</b>	<b>17,19</b>	<b>0,47</b>	<b>31,69</b>	<b>36,78</b>
Arenito AM03	Valor Máximo	11,88	18,97	18,11	0,58	36,64	55,99
	Valor Mínimo	3,43	16,77	15,94	0,39	28,02	22,10
	Desvio Padrão	3,10	0,81	0,89	0,08	3,54	13,83
	Coef. Variação	44,88	4,43	5,19	16,53	11,18	37,60

Obs.: w = teor de umidade;  $\gamma$  = peso específico natural;  $\gamma_d$  = peso específico aparente seco; e = índice de vazios, n = porosidade, S = grau de saturação

### 3.5 Ensaio de cisalhamento direto

Para a determinação das propriedades de resistência das camadas dos solos, foram realizados ensaios de cisalhamento direto convencionais e com tensões verticais de 50, 100 e 200 kPa, nas condições de umidade natural e embebidos em água, por no mínimo 6h.

As Figuras 44 e 45 apresentam as curvas tensão de cisalhamento por deformação horizontal e variação volumétrica por deformação horizontal para os ensaios realizados nas duas condições de umidade.

Para os ensaios realizados com a umidade de campo (natural) nas amostras do colúvio as curvas tensão de cisalhamento por deformação horizontal apresentam um leve pico para as tensões de 50 kPa com uma variação volumétrica inicial de compressão que decresce e tende a um aumento de volume (dilatância). Na tensão de 100 kPa, a variação volumétrica de compressão e dilatância é mais intensa e o pico cisalhante aumenta. Para 200 kPa a variação volumétrica é somente de compressão e não existe um pico de tensão cisalhante definido.

Quando o colúvio é inundado, nas tensões 50 e 100 kPa os picos cisalhantes não são nítidos e foram reduzidos significativamente, verificando-se a influência da

saturação no processo de ruptura. Para o ensaio com tensão de 200 kPa foi definido pico com tensão cisalhante de 60 kPa, metade do valor do ensaio na condição natural. As variações volumétricas em todas as tensões são de compressão.

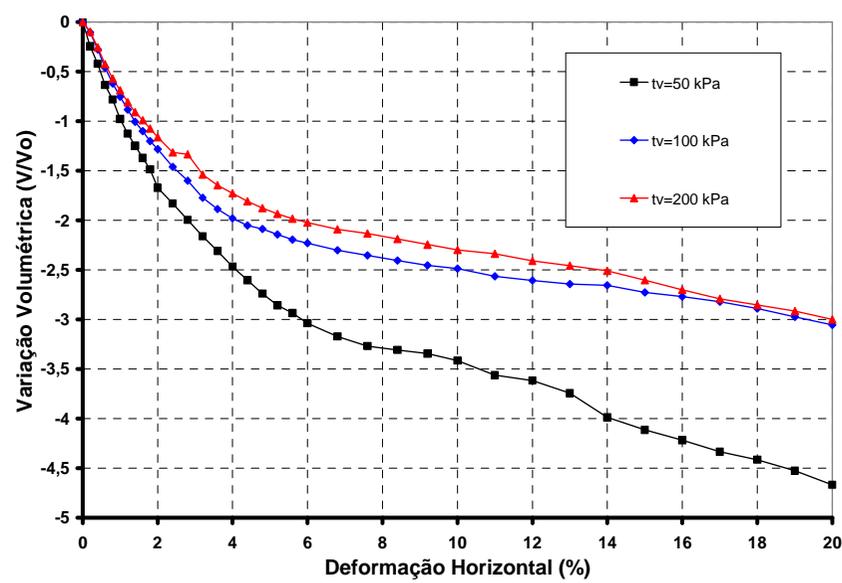
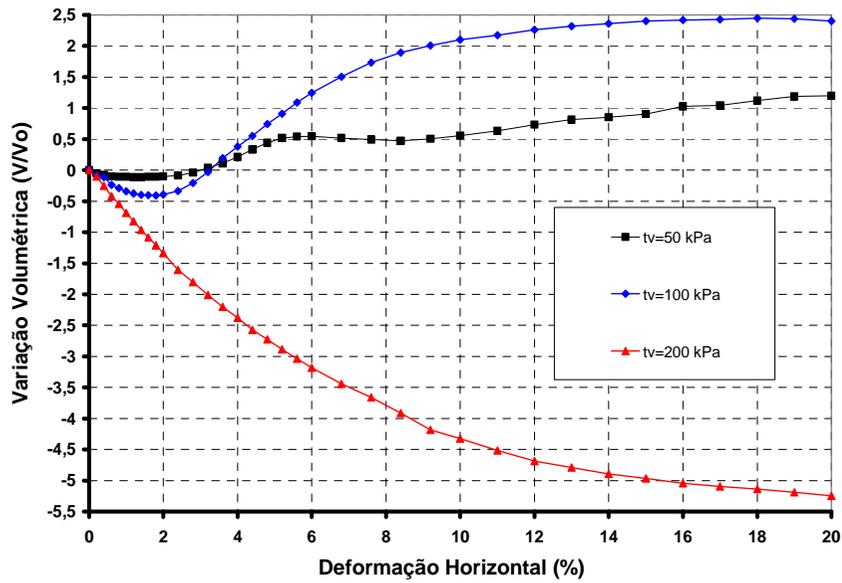
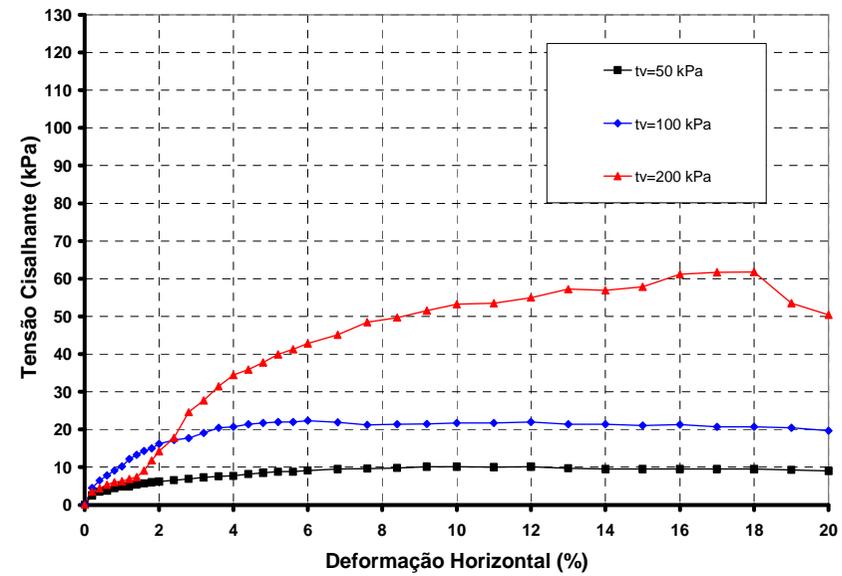
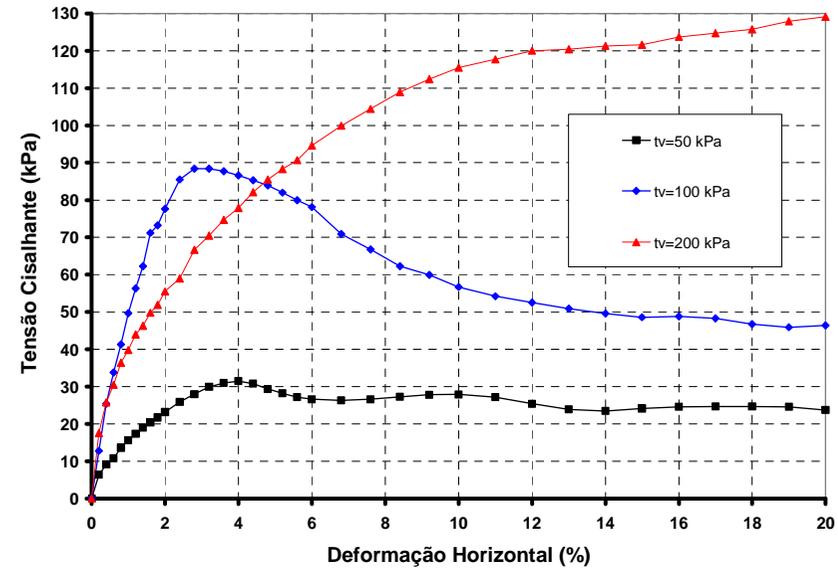
Nas amostras ensaiadas com o arenito na condição natural as curvas de tensão cisalhante apresentaram picos bem nítidos para todos os níveis de tensão. Para as tensões de 50 kPa ocorre variação volumétrica inicial de compressão que decresce e tende a um aumento de volume (dilatância). Para as demais tensões ocorre compressão.

Quando o arenito é inundado, nas tensões 50 e 100 kPa os picos cisalhantes não são nítidos e foram reduzidos significativamente, verificando-se a influência da saturação no processo de ruptura. Salienta-se que os baixos resultados obtidos nestas tensões podem ter sido ocasionados por erro experimental. Para o ensaio com tensão de 200 kPa o pico cisalhante foi reduzido para 35 kPa, quase quatro vezes menor do valor do ensaio na condição natural. As variações volumétricas em todas as tensões são de compressão.

A Tabela 8 apresenta o resumo dos ensaios de cisalhamento direto com os valores do intercepto coesivo (coesão) e ângulo de atrito interno do solo. As Figuras 46 e 47 apresentam as envoltórias de ruptura para o colúvio e para o arenito obtidas nestes ensaios.

A inundação reduziu a tensão de cisalhamento máxima para todos os níveis de tensão aplicados nos ensaios. Nestes materiais, o aumento da umidade e grau de saturac o anulou o intercepto coesivo e reduziu significativamente o ângulo de atrito interno.

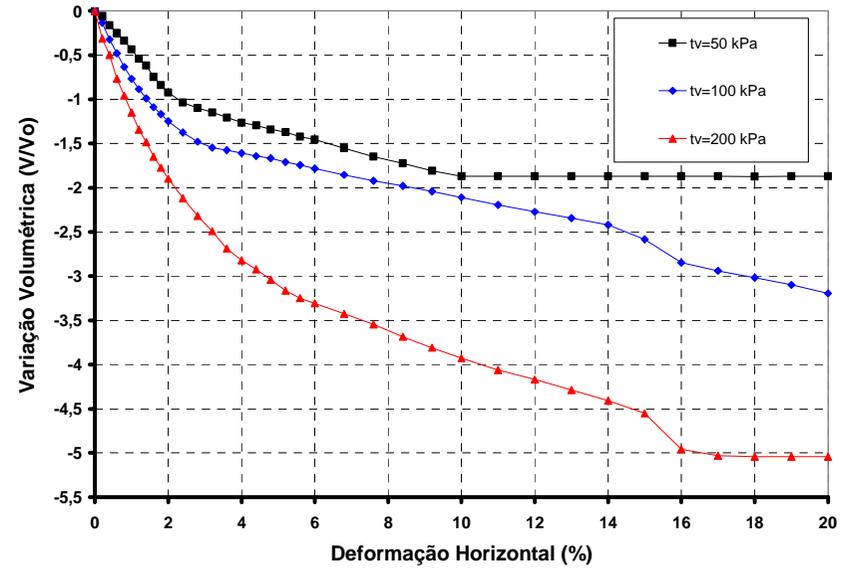
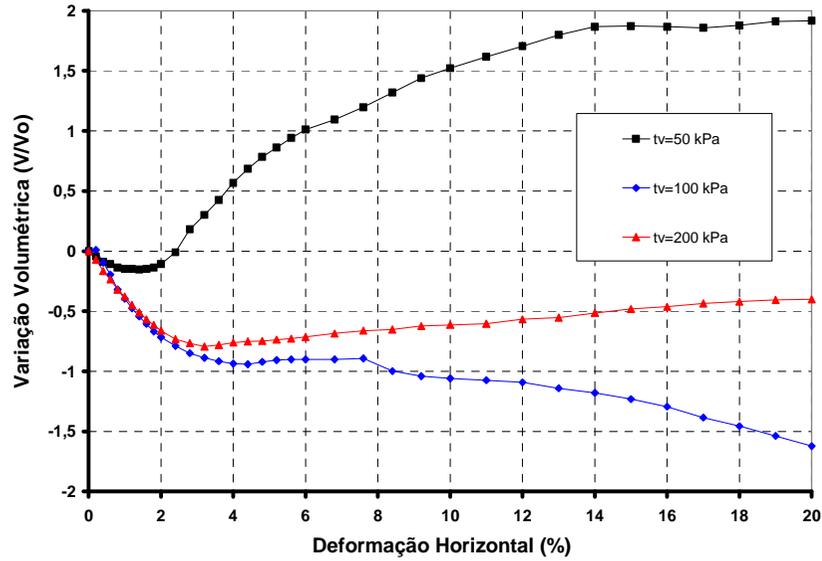
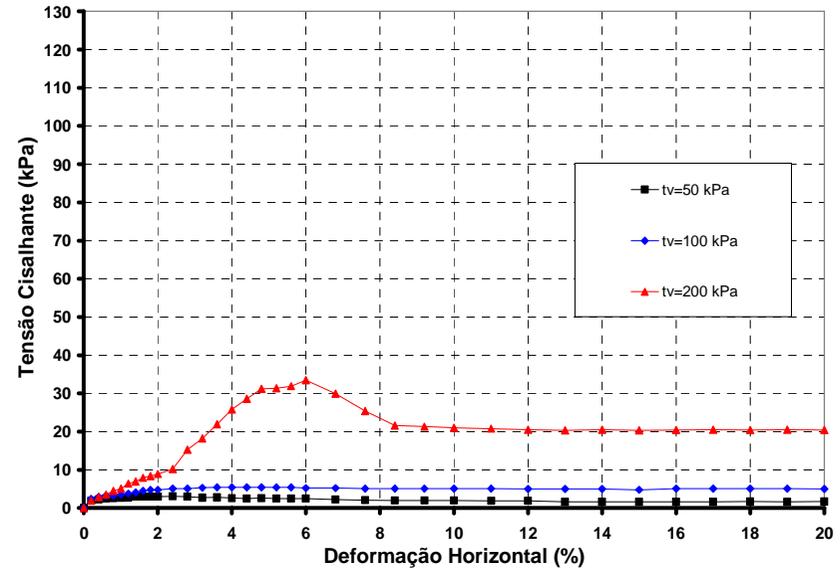
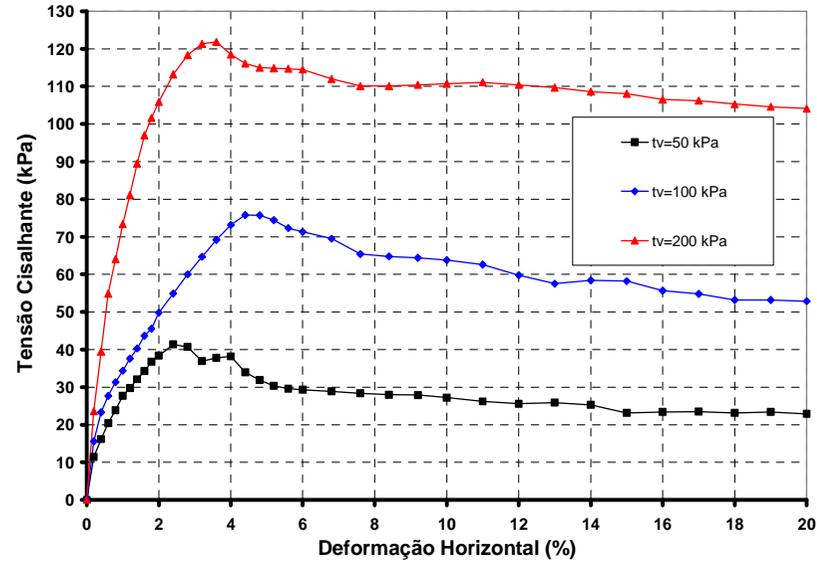
A correlac o linear entre a tensão cisalhante e a tensão vertical para o ensaio com o colúvio foi mais adequada na condi o inundada, enquanto que para o arenito, foi mais adequada na condi o de umidade natural.



(a) Natural

(b) Inundado

Figura 44 – Curvas tensão cisalhante por deformação horizontal e variação volumétrica por deformação horizontal para as amostras do colúvio (AM01).



(a) Natural

(b) Inundado

Figura 45 – Curvas tensão cisalhante por deformação horizontal e variação volumétrica por deformação horizontal para as amostras do arenito (AM03).

Tabela 8 – Resultados dos ensaios de cisalhamento direto na umidade natural e inundado.

Solo/Rocha	Tensão vertical (kPa)	Tensão de Cisalhamento (kPa)	
		Natural	Inundado
Colúvio AM01	50	31,50	10,10
	100	88,40	22,40
	200	129,10	61,80
	<b>c (kPa)</b>	<b>11,15</b>	<b>0,00</b>
	<b><math>\phi</math> (°)</b>	<b>32</b>	<b>19</b>
Arenito AM03	50	41,40	3,10
	100	75,80	5,40
	200	121,80	38,30
	<b>c (kPa)</b>	<b>18,40</b>	<b>0,00</b>
	<b><math>\phi</math> (°)</b>	<b>28</b>	<b>14</b>

Obs.: c = intercepto coesivo;  $\phi$  = ângulo de atrito interno do solo.

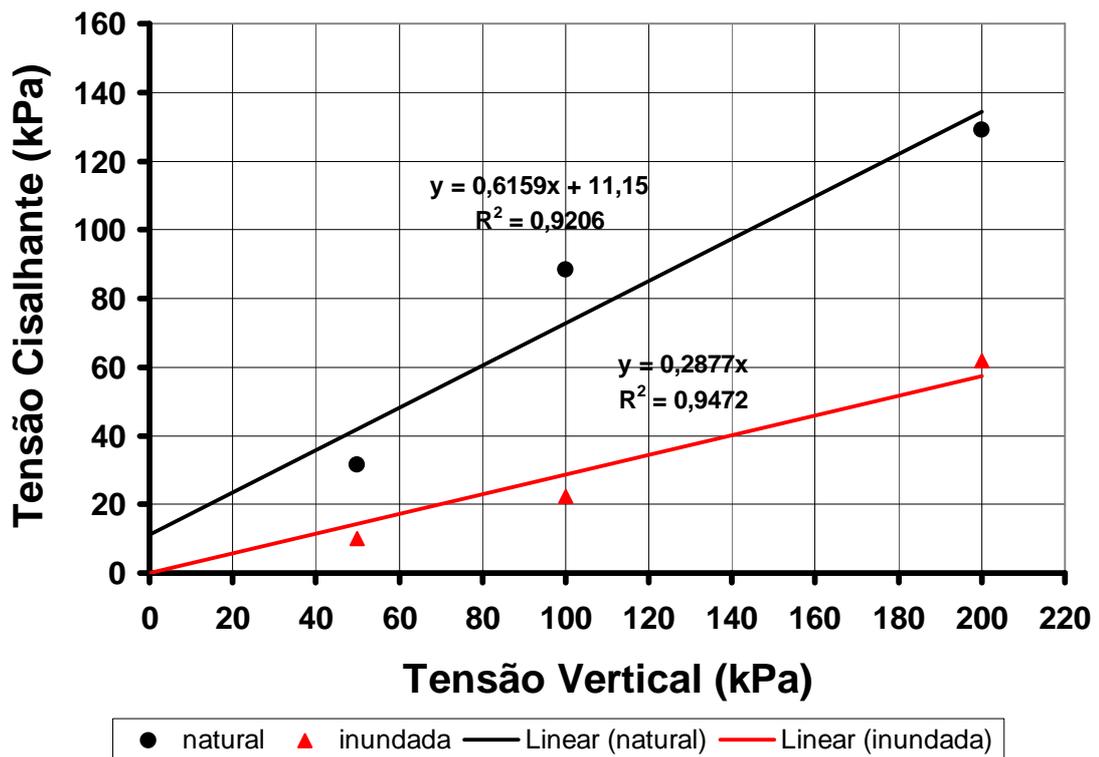


Figura 46 – Envoltórias de ruptura ao cisalhamento do Colúvio para os ensaios realizados na umidade natural e inundada.

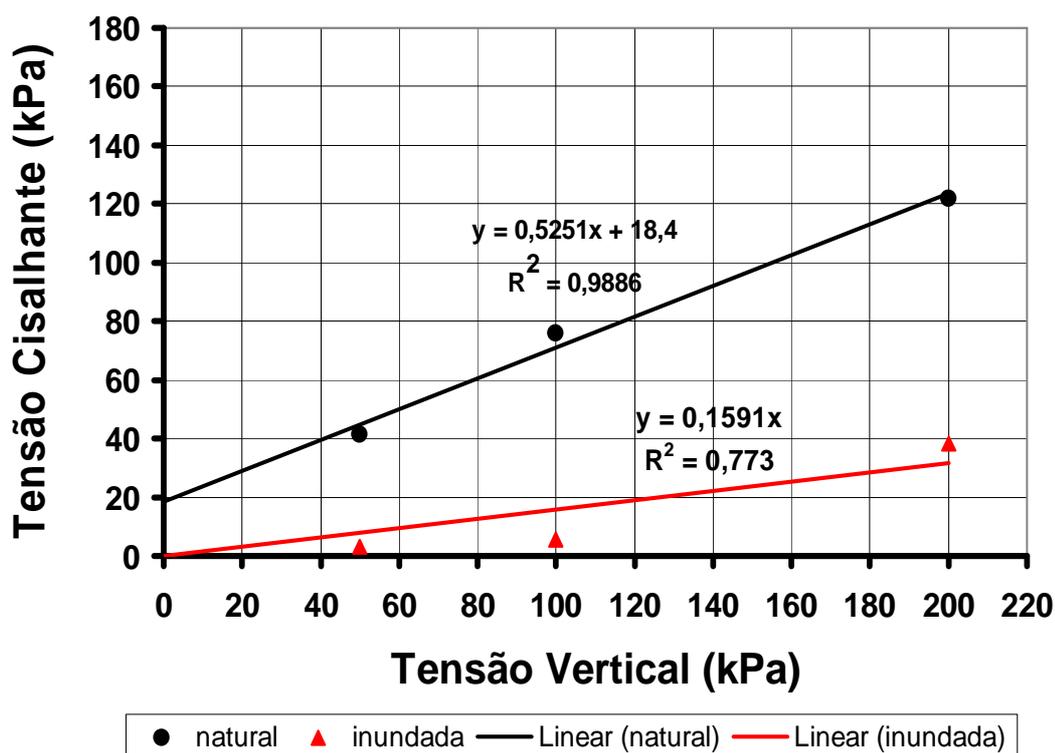


Figura 47 – Envoltórias de ruptura ao cisalhamento do Arenito para os ensaios realizados na umidade natural e inundada.

### 3.6 Análise de estabilidade da encosta – software “SlopeW”

A análise de estabilidade foi realizada com o uso do software “SlopeW”, versão 2004 estudantil, da empresa Geoslope. Este programa computacional realiza a análise do fator da estabilidade (fator de segurança FS) de um talude em solo não-homogêneo usando o método do equilíbrio limite em que o talude deve romper por uma massa de solo escorregando por uma superfície que permanece fixa. No momento da ruptura a resistência cisalhante é totalmente mobilizada ao longo da superfície cisalhante. A superfície de ruptura crítica é aquela em que se encontrar o menor FS e este então será considerado o fator de segurança do talude. O método utilizado na determinação dos fatores de segurança foi o de Janbu. Este método é indicado para processos de escorregamentos planares.

Foram verificadas as estabilidades dos perfis da CASA 07 (base da encosta) e da CASA17 (topo da encosta). Não foi analisado o FS da CASA 16, pois a mesma tem características e condicionantes semelhantes aos da CASA 17. Na condição de rocha matriz para o arenito e com parâmetros de resistência do colúvio na condição de umidade natural, para o perfil da CASA 07, foi encontrado um FS igual a 1,402 (Figura 48), enquanto que para o perfil da CASA 17, foi encontrado um FS igual a 2,572 (Figura 49). As Figuras 48 e 49 mostram (hachura verde) que o colúvio (cor marrom) escorrega planarmente sobre o substrato de arenito (cor amarela). Já na condição de rocha matriz para o arenito e com parâmetros de resistência do colúvio na condição inundada, para ambos perfis da CASA 07 e 17, o FS calculado foi menor que 1. Tendo em vista que as camadas de solos continuam praticamente estáveis mesmo durante períodos chuvosos, podemos inferir que a camada de solo coluvionar não satura completamente devido a sua pequena espessura e elevada pedregosidade e devido ao seu substrato arenítico ser poroso. Essa situação geológica especial (solo raso sobre rocha porosa) tende a favorecer a estabilidade.

Também foi verificada a estabilidade para o perfil da CASA 07 com parâmetros de resistência do colúvio na condição de umidade natural conjuntamente com os parâmetros de resistência do arenito alterado (AM03 – ver Tabela 8). O FS caiu para 1,261 e o escorregamento tornou-se circular atingindo a camada do arenito. Essa situação que diminui a estabilidade é hipotética, pois não foi possível detectar a espessura da camada do arenito alterado.

Como a NBR 11682/2009 prevê um FS admissível de 1,4 para as condições de ocupação urbana da encosta estudada, infere-se, para as condições propostas nas Figuras 48 e 49, que os taludes da encosta são estáveis.

Duas análises paramétricas com os parâmetros de resistência do colúvio natural e com os parâmetros de resistência do colúvio natural e do arenito alterado estão apresentadas na Figuras 50 e 51, respectivamente. Estas figuras apresentam as variações do FS em função da coesão e do ângulo de atrito interno para o perfil da CASA 07. Verifica-se que, nas condições naturais de solo coluvionar e de rocha arenítica, em camadas de pequena espessura, o parâmetro coesão é de grande importância. Já quando são alterados os parâmetros de resistência do substrato arenítico, o ângulo de atrito interno do arenito alterado passa a ter maior importância que as coesões do solo coluvionar e do arenito alterado.

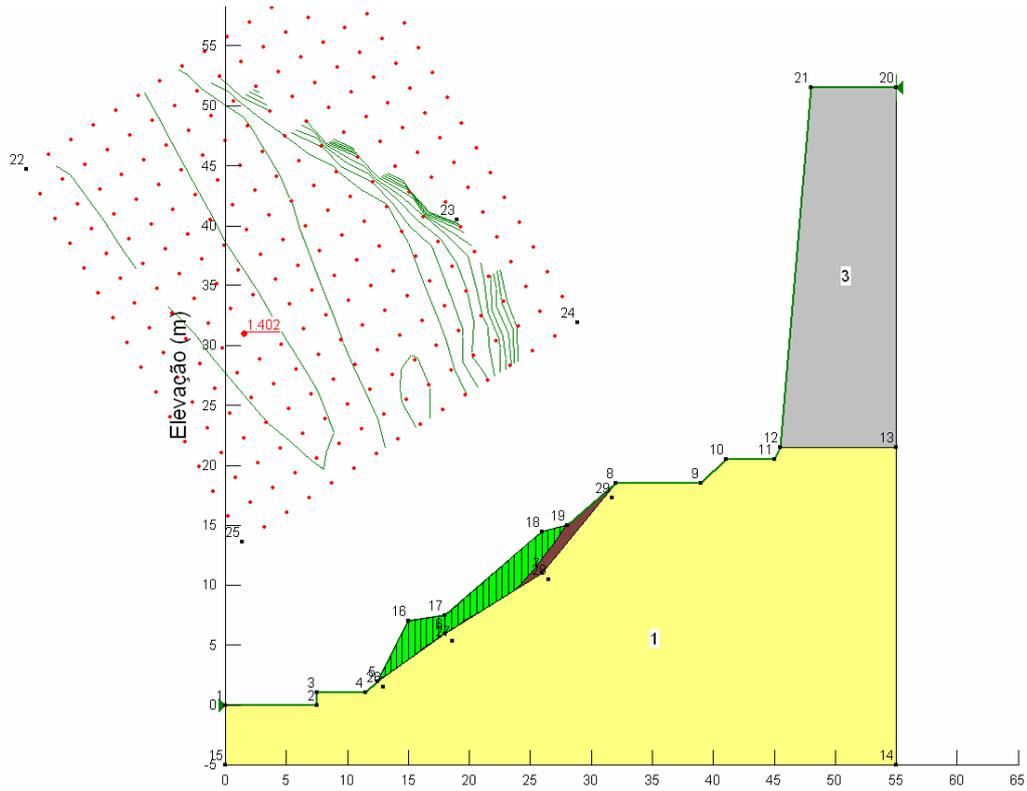


Figura 48 – FS calculado para o perfil da CASA 07 na condição de umidade natural.

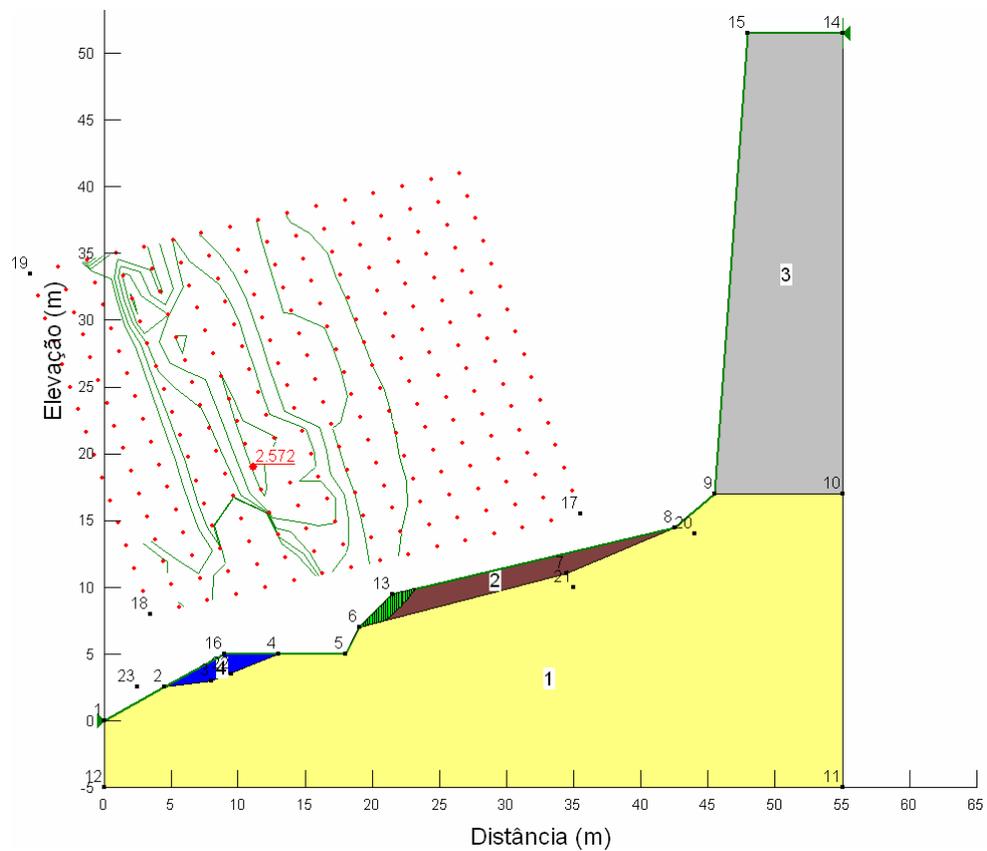


Figura 49 – FS calculado para o perfil da CASA 17 na condição de umidade natural.

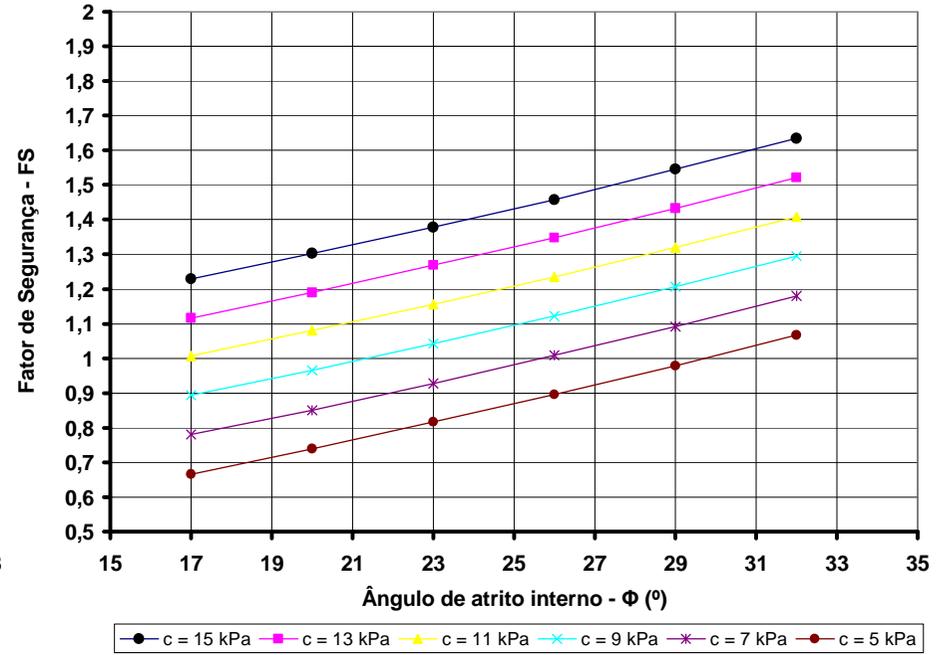
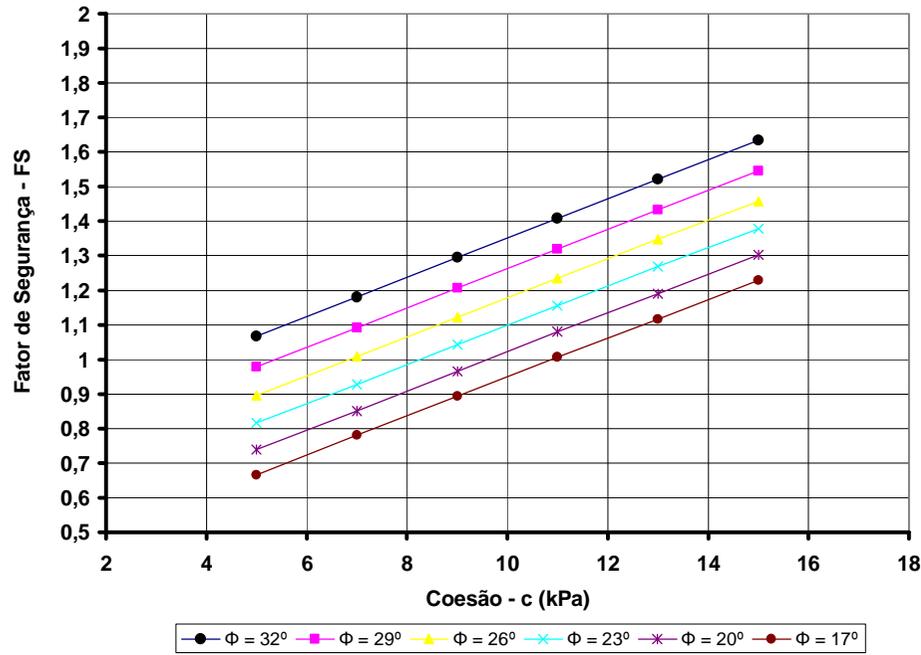


Figura 50 – Variação do FS versus coesão e ângulo de atrito interno na condição de umidade natural.

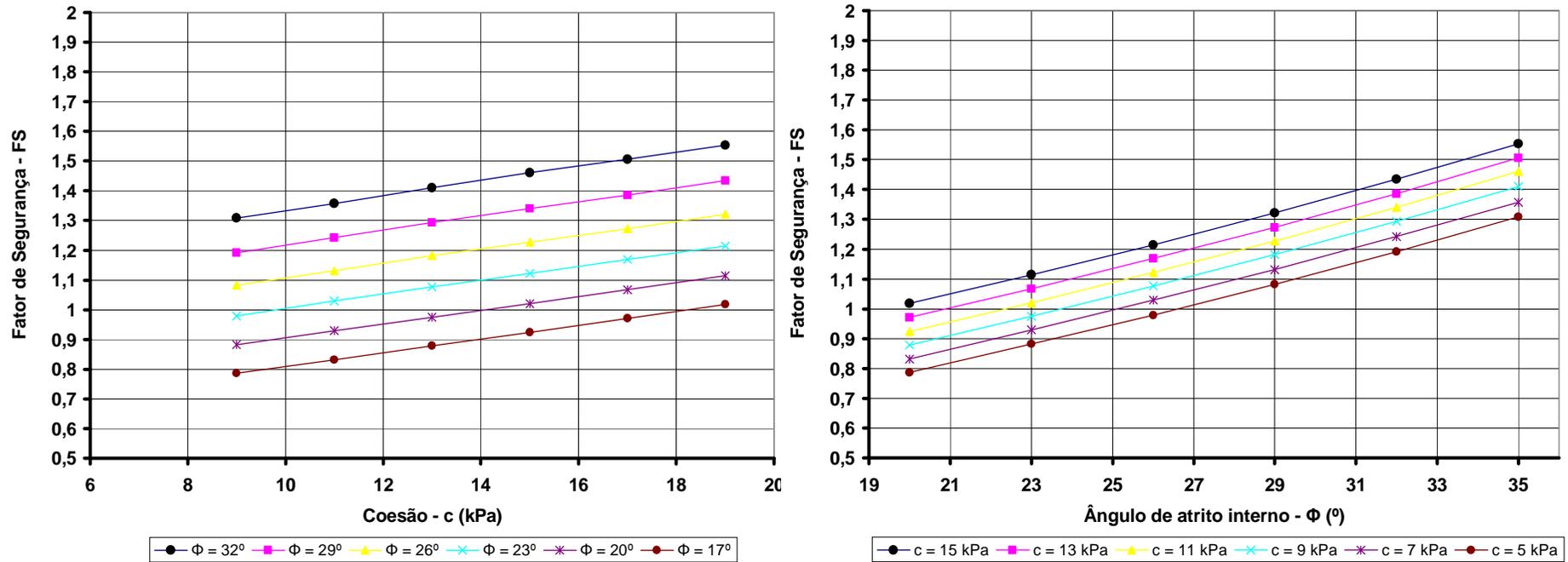


Figura 51 – Variação do FS versus coesão e ângulo de atrito interno na condição de umidade natural e com parâmetros do arenito alterado.

### **3.7 Comparação do risco observado com aquele apresentado no PMRRSM**

O cadastro das moradias situadas na encosta da vertente oeste do morro Cechela evidencia que somente três casas estão situadas em condições de alto risco (R4) a escorregamentos. Existe alta potencialidade de deflagração de escorregamento planar de solo coluvionar raso sobre substrato de arenito junto aos locais das CASAS 07 e 17. O cadastro realizado antes da análise de estabilidade indica, desde que não sejam executados dispositivos de drenagem superficial e/ou de contenção do solo junto ao local das moradias, a remoção das CASAS 07 e 17. Antes de qualquer ato de remoção devem ser realizadas análises de estabilidade dos taludes junto às casas. Tendo em vista que a NBR 11682/2009 prevê um FS admissível de 1,4 para as condições de ocupação urbana da área estudada, e que na análise de estabilidade para os perfis das CASAS 07 e 17 foram obtidos FS com valores maiores que 1,4, infere-se que os taludes da encosta são estáveis. A área estudada apresenta uma situação geológica especial (solo coluvionar raso sobre rocha arenítica porosa) que tende a favorecer a estabilidade. Salienta-se que chuvas intensas e prolongadas podem alterar os parâmetros de resistência do colúvio e/ou do arenito e provocar escorregamentos planares localizados.

O risco a escorregamentos observado na área em estudo é menor do que aquele indicado no Plano Municipal de Redução de Riscos de Santa Maria - RS. Este trabalho evidencia que devem ser construídos dispositivos de drenagem superficial e/ou de contenção do solo junto aos locais da CASA 07 e 17 e sugere que as atuais famílias sejam mantidas na encosta da vertente oeste do morro Cechela. O risco a quedas ou tombamentos de blocos basálticos deve ser analisado.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A encosta da vertente oeste do morro Cechela está localizada em área não adequada à ocupação urbana, com declividade superior a 30%, com elevado potencial gravitacional (amplitude), com relevo caracterizado por escarpas abruptas e vertentes retilíneas, com presença de rocha exposta (das formações Botucatu e Serra Geral), e ausência de vegetação arbórea densa. Foi constatada a presença de depósitos de colúvios de pequena espessura diretamente sobre substrato rochoso arenítico da formação Botucatu. Os solos coluvionares são classificados como Neossolos Regolíticos combinados com os Neossolos Litólicos, que são solos rasos, mal desenvolvidos e muito pedregosos.

A ocupação urbana localizada na área estudada é parcialmente consolidada e está em situação de risco geomorfológico associado à dinâmica de encosta. Os problemas geotécnicos estão associados, principalmente, à possibilidade de escorregamento planar de solo coluvionar raso, de erosão superficial em solos expostos e de queda de blocos de rochas. No alto da porção intermediária da encosta (elevação 215 m) foi constatada a presença de feições erosivas e de cicatrizes de escorregamento planar de solo coluvionar raso com corpo de tálus (espessura média de 1,0m) sobre o substrato de arenito. Na porção intermediária e na base da encosta existe concentração de águas servidas lançadas nos taludes íngremes de solos expostos. Essas “precipitações antrópicas” aliadas com vazamentos de redes de água ou de futuras redes de esgotos podem induzir rastejos na área estudada.

A avaliação qualitativa e o cadastro das moradias indicaram que somente três casas estudadas têm grau de alto risco (R4) para a probabilidade de ocorrência de escorregamentos. O cadastro realizado antes da análise de estabilidade indica, desde que não sejam executados dispositivos de drenagem superficial e/ou de contenção do solo junto ao local das moradias, a remoção das CASAS 07 e 17. Antes de qualquer ato de remoção devem ser realizadas análises de estabilidade dos taludes junto às casas e estudadas possibilidades de execução de dispositivos de contenção dos solos.

Em relação à caracterização dos solos verificou-se o seguinte:

- Texturalmente o colúvio foi classificado como areia argilosa e areia siltosa enquanto que o arenito como uma areia mal graduada e areia argilosa.

- O colúvio apresentou uma plasticidade de média a baixa e o arenito da cicatriz do escorregamento apresentou-se não plástico.

- Na comparação entre o colúvio e o arenito, verifica-se o maior teor de umidade e grau de saturação do colúvio, provavelmente por ser mais superficial e estar mais sujeito as variações climáticas. O colúvio tem maior índice de vazios e apresenta uma porosidade média enquanto que o arenito apresenta uma porosidade baixa.

A resistência ao cisalhamento dos solos estudados foi avaliada em laboratório através de ensaios de cisalhamento direto nas condições de umidade natural e inundada, sendo verificado o seguinte:

- Para os ensaios realizados com a umidade natural, nas amostras do colúvio as curvas tensão de cisalhamento por deformação horizontal apresentaram picos cisalhantes para as tensões de 50 kPa e 100 kPa com uma variação volumétrica inicial de compressão que decresce e tende a um aumento de volume (dilatância). Quando o colúvio é inundado, estas tendências não ocorrem, verificando-se a influência da saturação no processo de ruptura. Nas amostras do arenito ensaiadas com a umidade natural, as curvas de tensão cisalhante apresentaram picos bem nítidos para todos os níveis de tensão.

- A inundação reduziu a tensão de cisalhamento máxima para todos os níveis de tensão aplicados nos ensaios. Nestes materiais, o aumento da umidade e grau de saturação anulou o intercepto coesivo e reduziu significativamente o ângulo de atrito interno.

Com o uso do software "SlopeW", foram analisadas as estabilidades dos perfis da CASA 07 (base da encosta) e da CASA17 (topo da encosta). Na condição de rocha matriz para o arenito e com parâmetros de resistência do colúvio na condição de umidade natural, para o perfil da CASA 07, foi encontrado um FS igual a 1,402, enquanto que para o perfil da CASA 17, foi encontrado um FS igual a 2,572. O movimento ocorrido foi o de escorregamento planar do solo coluvionar. Já na condição de rocha matriz para o arenito e com parâmetros de resistência do colúvio

na condição inundada, para ambos perfis da CASA 07 e 17, o FS calculado foi menor que 1. Tendo em vista que as camadas de solos continuam praticamente estáveis mesmo durante períodos chuvosos, podemos inferir que a camada de solo coluvionar não satura completamente devido a sua pequena espessura e elevada pedregosidade e devido ao seu substrato arenítico ser poroso. Essa situação geológica especial (solo coluvionar raso sobre rocha arenítica porosa) tende a favorecer a estabilidade.

Tendo em vista que a NBR 11682/2009 prevê um FS admissível de 1,4 para as condições de ocupação urbana da área estudada, e que na análise de estabilidade para os perfis das CASAS 07 e 17 foram obtidos FS com valores maiores que 1,40, infere-se que os taludes da encosta são estáveis.

Por meio de análises paramétricas do FS em função da coesão e do ângulo de atrito interno, foi verificado que, nas condições naturais de solo coluvionar e de rocha arenítica, em camadas de pequena espessura, o parâmetro coesão é de grande importância. Já quando são alterados os parâmetros de resistência do substrato arenítico, o ângulo de atrito interno do arenito alterado passa a ter maior importância que as coesões do solo coluvionar e do arenito alterado.

Salienta-se que chuvas intensas e prolongadas podem alterar os parâmetros de resistência do solo coluvionar e/ou do substrato arenítico e provocar escorregamentos planares localizados.

O risco a escorregamentos observado na área em estudo é menor do que aquele indicado no Plano Municipal de Redução de Riscos de Santa Maria - RS. Este trabalho evidencia que devem ser construídos dispositivos de drenagem superficial e/ou de contenção do solo junto aos locais da CASA 07 e 17 e sugere que as atuais famílias sejam mantidas na encosta da vertente oeste do morro Cechela.

A ocupação urbana da vila Bela Vista é existente há mais de 40 anos, tendo poucos registros de ocorrência de escorregamentos de solos na encosta da vertente oeste do morro Cechela. Isso se deve, provavelmente, pela situação geológica favorável a estabilidade, ou seja, camadas de solos coluvionares rasas e pedregosas situadas diretamente sobre uma espessa camada de arenito porosa e

drenante que não permite a completa saturação e instabilização das camadas de solos subjacentes.

O risco a quedas ou tombamentos de blocos basálticos na área estudada deve ser analisado.

A comunidade da vila Bela Vista deve ser instruída com informações relevantes para a identificação de riscos e prevenção de acidentes.

Sugere-se que os técnicos responsáveis pelo planejamento do município de Santa Maria-RS revisem o Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRRSM) e projetem áreas verdes ou de lazer (parques) nos locais corretamente identificados como áreas de risco. O Ministério das Cidades permite esta revisão por meio do programa Gestão de riscos e resposta a desastres - Ação de apoio ao planejamento e execução de obras de contenção de encostas em áreas urbanas.

Para convivermos com as situações adversas de risco, as comunidades devem ser alertadas sobre as problemáticas da ocupação dessas áreas de encostas e as equipes técnicas municipais devem ser dotadas de instrumentos de ação, de modo a, em situações de risco, reduzir a possibilidade de perdas de vidas humanas decorrentes de escorregamentos. Estes instrumentos devem estar claros em um adequado Plano Preventivo de Defesa Civil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALHEIROS, M. M.; SOUZA, M. A. A.; BITOUN J.; MEDEIROS, S. M. G. M.; AMORIM JÚNIOR, W. A. **Manual de ocupação dos morros da Região Metropolitana do Recife**. FIDEM (Recife), 384p. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **Amostras de Solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. NBR 6457/87, Rio de Janeiro, 1986. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **Solo - determinação do limite de liquidez**. NBR 6459/84, Rio de Janeiro, 1984c. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Rochas e solos**. NBR 6502/95, Rio de Janeiro, 1995. 18p. Origem: TB-3.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **Solo - determinação da massa específica aparente**. NBR 6508/84, Rio de Janeiro, 1984b. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **Solo - determinação do limite de plasticidade**. NBR 7180/84, Rio de Janeiro, 1984d. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **Solo - Análise granulométrica**. NBR 7181/84, Rio de Janeiro, 1984a. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **Estabilidade de encostas**. NBR 11682, Rio de Janeiro, 2009. 33 p.

AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização Geológico-Geotécnica Voltada à Estabilização de Encostas: uma Proposta Metodológica**. In: 1a. COBRAE, Rio de Janeiro, 1992. Anais... ABMS/ABGE, v.2, p. 721-733.

AUGUSTO FILHO, O. **Cartas de Risco a Escorregamentos: Uma Proposta Metodológica e sua Aplicação no Município de Ilhabela, SP**. 1994. 167p. Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

AUGUSTO FILHO, O. **Carta de risco de escorregamentos quantificada em ambiente de SIG como subsídio para implantação de seguros em áreas**

**urbanas: um ensaio em Caraguatatuba (SP).** 2001. 196p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

AVILA, L.O. de; ROBAINA, L.E. de S. **URBANIZAÇÃO E ÁREAS DE RISCO: O CASO DE SANTA MARIA/RS.** I Congresso Brasileiro sobre Desastres Naturais - Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP, São Paulo, 2012.

BRESSANI, LUIZ A. **Escorregamentos de terra desastrosos: algumas características e possíveis lições para o futuro.** VII Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul – GEOSUL, Foz do Iguaçu – PR, Abril de 2010.

CHIOCCHIO, C.; IOVINE, G.; PARISE, M. **A proposal for surveying and classifying landslide damage to buildings in urban areas.** Engineering Geology and the Environment, Rotterdam, p. 553-558, 1997.

CREA-RS – CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E ARQUITETURA DO RIO GRANDE DO SUL. **Escorregamentos, corrida de detritos: a natureza pede passagem.** CONSELHO EM REVISTA. Porto Alegre-RS, ano VI, n.78, p. 19-22, fev. 2011.

CRUDEN, D.M.; VARNES, D.J. **Landslide types and processes.** TURNER, A.K.; SHUSTER, R.L. (eds), Landslides Investigation and Mitigation. Transportation Research Board Special Report 247. National Research Council, Washington DC, p.36-75, 1996.

DAL'ASTA, A.P.; RECKZIEGEL, B.W.; ROBAINA, L.E. de S. **Análise de áreas de risco geomorfológico em Santa Maria-RS: o caso do morro Cechela.** Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, São Paulo, 2005, p. 896-905.

FARAH, F. **Habitação e encostas.** Coleção Habitar/FINEP – Programa de Tecnologia de Habitação, Publicação IPT 2795, São Paulo, 2003, 312p.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. **Movimentos de Massa: uma Abordagem Geológico-Geomorfológica.** In: GUERRA, A J.T; CUNHA, S.B. (Orgs). Geomorfologia e Meio Ambiente. 2<sup>o</sup> ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998, p. 123-194.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação,** São Paulo, Ed. Edgard Blücher Ltda. 1984, 192p.

IAEG. Commission Engineering Geological Mapping. **Classification of rocks and soils for engineering geology mapping**. Part 1: rock and soil materials. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, Krefeld, v. 19, p. 364-371, 1979.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010**. Disponível em <www.ibge.gov.br> Acesso em: 25 de novembro de 2011.

IPT. **Manual de Ocupação de Encostas**. CUNHA, M.A. (Coord). São Paulo: IPT, 1991, n. 1831, 216p.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Material de Treinamento de Técnicos Municipais para o Mapeamento e Gerenciamento de Áreas Urbanas com Risco de Escorregamentos, Enchentes e Inundações**. São Paulo, 2004, 110p.

ISDR - INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. **Living with Risk: A global review of disaster reduction initiatives**. Nações Unidas. 2004, Volume 1, 429 p.

LACERDA, W. A. **Casos de escorregamentos em encostas coluviais em regiões tropicais**. 1º Colóquio de Solos Tropicais e suas Aplicações em Engenharia Civil, Porto Alegre. Anais: CPGEC/UFRGS, p. 211-233, 1985.

LEI DE USO DO SOLO DO MUNICÍPIO DE SANTA MARIA – RS. **Lei Complementar nº 072**. Prefeitura Municipal de Santa Maria, Santa Maria, 04 de novembro de 2009.

MACIEL FILHO, C. L. **Carta Geotécnica de Santa Maria**. Santa Maria: Imprensa Universitária UFSM, 1990.

MARICATO, ERMÍNIA. **Brasil, Cidades: Alternativas para a Crise Urbana**. Rio de Janeiro: Vozes, 2001.

MARTINS, E.R.C. **Representação cartográfica das ocorrências de inundações, alagamentos e deslizamentos em Santa Maria/RS**. Ciência e Natura, UFSM, 28 (2): 55 - 66, 2006.

MINISTÉRIO DAS CIDADES (MCIDADES). **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais**, Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, Ed. Brasil. 2006, 111p.

NAKAMURA, H. **Landslide prevention law and law concerning prevention of failure of steep slopes in Japan**. Landslide News, Tokyo, p. 28-30, july, 1990.

NASCIMENTO, M.D. **Fragilidade ambiental e expansão urbana da região administrativa nordeste da sede do município de Santa Maria – RS**. 2009, 181p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

NUMMER, A. V. **Contribuição à Geotecnia da RS 486 Rota do Sol – Itati**. 2003. 241 p. Tese (Doutorado em Engenharia) UFRGS, Porto Alegre –RS, 2003.

OLIVEIRA, D. A. F. **Estabilidade de Taludes de Maciços de Resíduos Sólidos Urbanos**. 2002, 154p. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Distrito Federal, Brasil, 2002.

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**. IV Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas – IV COBRAE, Salvador – BA, Set. 2005.

PEREIRA, A., GOBBI, F., BRESSANI, L.A., RIGO, M.L., BORTOLI. **Metodologias de Classificação de Áreas de Riscos de Deslizamentos de Encostas em Campo para o Município de Caxias do Sul/RS**. XIV Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2008.

PINHEIRO, R. J. B. **Estudo de alguns casos de instabilidade da encosta da serra geral no estado do Rio Grande do Sul**, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

PINHEIRO, R. J. B.; SOARES, J. M. D.; BICA, A. V. D.; BRESSANI, L. A.; EISENBERGER, C. N. **Investigação Geotécnica de uma Encosta na Área Urbana de Santa Cruz do Sul – RS**, XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, São Paulo, 2002.

PINHEIRO, R. J. B.; SOARES, J. M. D.; BICAR, A. V. D.; BRESSANI, L. A.; EISENBERGER, C. N. **Patologia de edificações devido à movimentação de encostas na cidade de Santa Cruz do Sul-RS**. Tecno-Lógica (REVISTA UNISC), UNISC / Santa Cruz, v. 10, p. 1-15, 2006.

PMRRSM - **Plano Municipal de Redução de Riscos de Santa Maria-RS**, Secretaria do município de Santa Maria de habitação e de regularização fundiária, 2006, 211p.

RIBEIRO, WAGNER COSTA. **Cidades ou Sociedades Sustentáveis**. São Paulo-SP, 2005.

RODRIGUES, R. **Massas Coluviais: Velocidade de deslocamento nas encostas da Serra do Mar**. 1º COBRAE, Rio de Janeiro, pp. 357-369; 1992.

SCHNEIDER, PATRÍCIA ADRIANE. **Patologias de edificações devido à movimentação de encostas na cidade de Santa Cruz do Sul – RS**. 2010, 83p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2010.

SLOPE/W USER'S GUIDE. **Slope/W for slope stability analysis. [Manual do Slope/W]**. Geo-slope Office, version 5.13. Calgary, Alberta, Canada: Geo-slope International Ltd., 2002, 504 p. 1 CD-ROM.

SOUZA, B. S. P. e. **A qualidade da água de Santa Maria/ RS: uma análise ambiental das sub-Bacias hidrográficas dos rios Ibicuí Mirim e Vacacaí mirim**. 2001. 234 f. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2001.

TATIZANA, C., OGURA, A. T., CERRI, L. E. S. & ROCHA, M. C. M. **Análise de Correlação entre chuvas e escorregamentos na Serra do Mar, município de Cubatão**. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, São Paulo: ABGE. 1987. v. 2. p.225-236. Anais.

TERZAGHI, K. **“From Theory to Practice in Soil Mechanics”**, editado por L. Bjerrum e outros, John Wiley & Sons; 1960.

VARNES, D.J. **Slope movement and types and processes**. SCHUSTER, R.L.; KRIZEK, R.J. (eds), Landslides, Analysis and Control. Transportation Research Board Special Report 176. National Academy of Sciences, Washington DC, p. 11-33, 1978.

## APÊNDICES

Apêndice A – Laudo de vistoria (ABNT, 2009).

1- LOCALIZAÇÃO **ENCOSTA OESTE MORRO CECHELA** Data da vistoria: **17,04,2012**

1.1 - Ponto de referência: **RESERVATÓRIOS DA CORSAN**

2- Coordenadas UTM: **LAT. -29,670567°; LONG. -53,793994°**

3- SOLICITANTE: **ESTUDO MESTRADO**

4- TIPO DA SITUAÇÃO:  Movimento ocorrido  
 Possibilidade de movimento  
 Estudo/Projeto

5- ASPECTOS LOCAIS

5.1- Tipo da ocupação / densidade

<input type="checkbox"/> Favela	<input type="checkbox"/> Alta
<input checked="" type="checkbox"/> Área urbana estruturada	<input checked="" type="checkbox"/> Média
<input type="checkbox"/> Área não ocupada	<input type="checkbox"/> Baixa
<input type="checkbox"/> Estrada	
<input type="checkbox"/> Outras: _____	

5.2- Tipo da vegetação / condições

<input checked="" type="checkbox"/> Arbórea	<input type="checkbox"/> Alta
<input type="checkbox"/> Arbustiva	<input checked="" type="checkbox"/> Média
<input checked="" type="checkbox"/> Rastera	<input type="checkbox"/> Esparsa
<input type="checkbox"/> Nenhuma	

5.3- Drenagem / condições

<input type="checkbox"/> Natural	<input type="checkbox"/> Satisfatória
<input type="checkbox"/> Construída	<input checked="" type="checkbox"/> Insuficiente
<input checked="" type="checkbox"/> Inexistente	<input type="checkbox"/> Obstruída
	<input type="checkbox"/> Danificada

5.4- Relevo / perfil de encosta

<input checked="" type="checkbox"/> Escarpado	<input checked="" type="checkbox"/> Côncavo
<input type="checkbox"/> Montanhoso	<input type="checkbox"/> Convexo
<input type="checkbox"/> Ondulado	<input type="checkbox"/> Retilíneo
<input type="checkbox"/> Suave	

6- CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS

6.1- Local vistoriado:

<input checked="" type="checkbox"/> Encosta natural	
<input checked="" type="checkbox"/> Talude de corte	
<input checked="" type="checkbox"/> Talude de aterro	
<input type="checkbox"/> Talvegue	
<input type="checkbox"/> Extração mineral	
<input type="checkbox"/> Outros: _____	

6.2- Geometria (ver croqui) - **PERFIL 4**

Altura (m): **63m**

Largura (m): **200m**

Inclinação (°): **> 20° DECLIVIDADE > 40%**

6.3- Obras de contenção existente

<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Pública
<input type="checkbox"/> Não	<input checked="" type="checkbox"/> Privada

6.4- Condições de saturação:

<input type="checkbox"/> Seco	<input type="checkbox"/> Com surgência
<input checked="" type="checkbox"/> Úmido	<input type="checkbox"/> Tubulação rompida
<input type="checkbox"/> Saturado	<input type="checkbox"/> Artesianismo
<input type="checkbox"/> Ver croqui anexo	

6.5- Natureza do material

<input checked="" type="checkbox"/> Solo	<input type="checkbox"/> Com trincas	<input checked="" type="checkbox"/> Talus
	<input checked="" type="checkbox"/> Sem trincas	<input checked="" type="checkbox"/> Aterro
	<input checked="" type="checkbox"/> Com blocos	<input type="checkbox"/> Solo residual
	<input checked="" type="checkbox"/> Fraturada	<input type="checkbox"/> Solo sedimentar
<input checked="" type="checkbox"/> Rocha	<input type="checkbox"/> Sem fraturas	<input checked="" type="checkbox"/> Colúvio
	<input checked="" type="checkbox"/> Com blocos	<input checked="" type="checkbox"/> Entulho
		<input checked="" type="checkbox"/> Lixo

## Apêndice A (Continuação) – Laudo de vistoria (ABNT, 2009).

### 7- CARACTERÍSTICAS DA SITUAÇÃO

7.1- Movimento ocorrido **ESCORREGAMENTO PLANAR DE SOLO RASO (COLUVIO) NA CASA 17**

Data e hora: **2011**

Volume estimado (m<sup>3</sup>): **10,5m<sup>3</sup>**

Pluviometria (últimas 48h): **>30mm/h**

- 7.1.1- Consequências:
- Vítimas fatais: (nº **0**)
- Vítimas não fatais: (nº **0**)
- Obstrução de vias
- Danos a bens particulares
- Danos a bens públicos
- Riscos para terceiros
- Sem consequências

### 7.2- Possibilidade de movimento

- 7.2.1- Grau de risco
- Alto **CONSIDERANDO CASAS 16 E 17**
- Médio
- Baixo

### 7.2.2- Número de elementos em risco

- < 10
- entre 10 e 30
- > 30
- vidas
- moradia
- hospital/escola
- edificação/estrutura
- estradas
- outros (especificar): \_\_\_\_\_

### 7.3- Tipologia do movimento/Características

- Queda
- Tombamento
- Escorregamento
- Escoamento
- Subsidência
- Complexo
- Rotacional
- Planar
- Complexo
- Lento
- Rápido

### 7.4- Superfície de deslizamento

- solo-solo
- solo-rocha
- rocha-rocha
- não identificada (descrever): \_\_\_\_\_

### 8- NECESSIDADE DE PROVIDÊNCIAS URGENTES

- Não
- Sim (especificar): **MURO CONTENÇÃO NAS CASAS 16 E 17; DRENAGEM SUPERFICIAL**
- Descrição da situação (informações complementares):
- VER TEXTO DA DISSERTAÇÃO (E CROQUI)**

### 9- Responsável pela vistoria:

9.1- NOME: **GUILHERME LA FLOR ZIEGLER**

9.2- CREA: **CREA-RS: 144.844**

9.3- Instituição: **UFSM**

### 10- Local e data deste relatório:

**SANTA MARIA, 03 DE SETEMBRO DE 2012.**

### 12- ANEXOS

- Relatório preliminar
- Croqui (obrigatório)
- Fotos (obrigatório)
- Outros (especificar): \_\_\_\_\_

## Apêndice B – Cadastro completo das moradias situadas em alto risco.

### CASA 03:

*1º Passo – Dados gerais sobre a moradia:*

LOCALIZAÇÃO: Rua 14 de Julho (antiga “Rua da Pedreira”)

NOME DO MORADOR: Maria (filha do proprietário)

CONDIÇÕES DE ACESSO À AREA: Via estreita não pavimentada (chão batido com cascalhos).

TIPO DE MORADIA: Alvenaria com puxadinho sobre pilotis nos fundos da casa. Fundação rasa e direta. Escada para acesso a encosta executada com tijolos furados. Sem patologias. Casa existente há 40 anos.

A moradia mista (madeira e alvenaria não estruturada) do lado esquerdo da CASA03 possui muro de pedras com 3,0 m de altura e atrás deste muro tem aterro lançado formando patamar para outra pequena casa.

*2º Passo – Caracterização do local;*

Talude de corte em solo coluvionar raso com corpo de tálus (espessura de até 2,0m) com altura 4,50m e Inclinação 30°. Presença de lixo. Base do talude na elevação 195m.

Dist. da moradia: 3,5m da base da encosta/talude

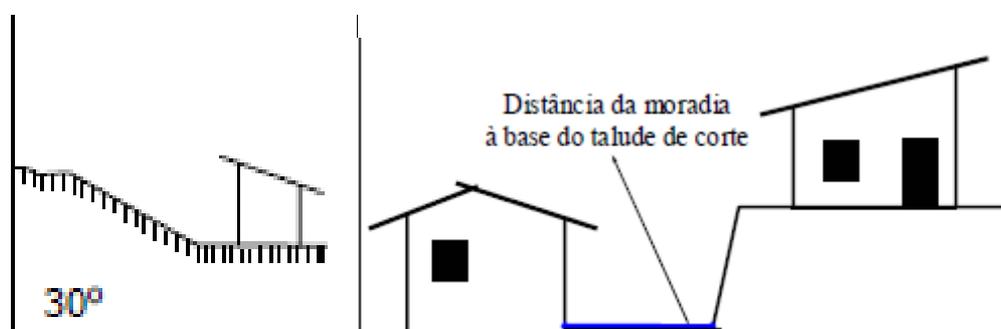


Figura 52 – Inclinação e distância da moradia à base do talude de corte.

A distância da moradia ao topo ou base de taludes e aterros também é crucial para a determinação do grau (nível) de risco a que a moradia está sujeita. Alguns autores tentaram determinar qual a distância que os materiais mobilizados atingem a partir da base do escorregamento. Nakamura (1990), no Japão estabeleceu que para uma altura maior que 5 m, inclinação maior que  $30^\circ$ , a largura crítica da faixa que pode ser atingida pela ruptura tem o valor equivalente à altura (1:1), tanto para as moradias situadas na base do talude como aquelas próximas ao topo. Augusto Filho (2001), em trabalhos na região da Serra do Mar em Caraguatatuba (SP), estimou que os materiais mobilizados percorreram aproximadamente 70% da altura dos taludes (0,7:1). Para este estudo será considerado como largura da faixa de segurança da ordem de uma vez a altura do talude (1:1).

### 3º Passo – Água;

Inexistência de sistema de drenagem superficial com concentração de água em superfície (enxurrada). Parece que o lançamento de água servida é em superfície (a céu aberto ou no quintal). Não identificamos fossa séptica. Rede pública de água sem aparente vazamento.

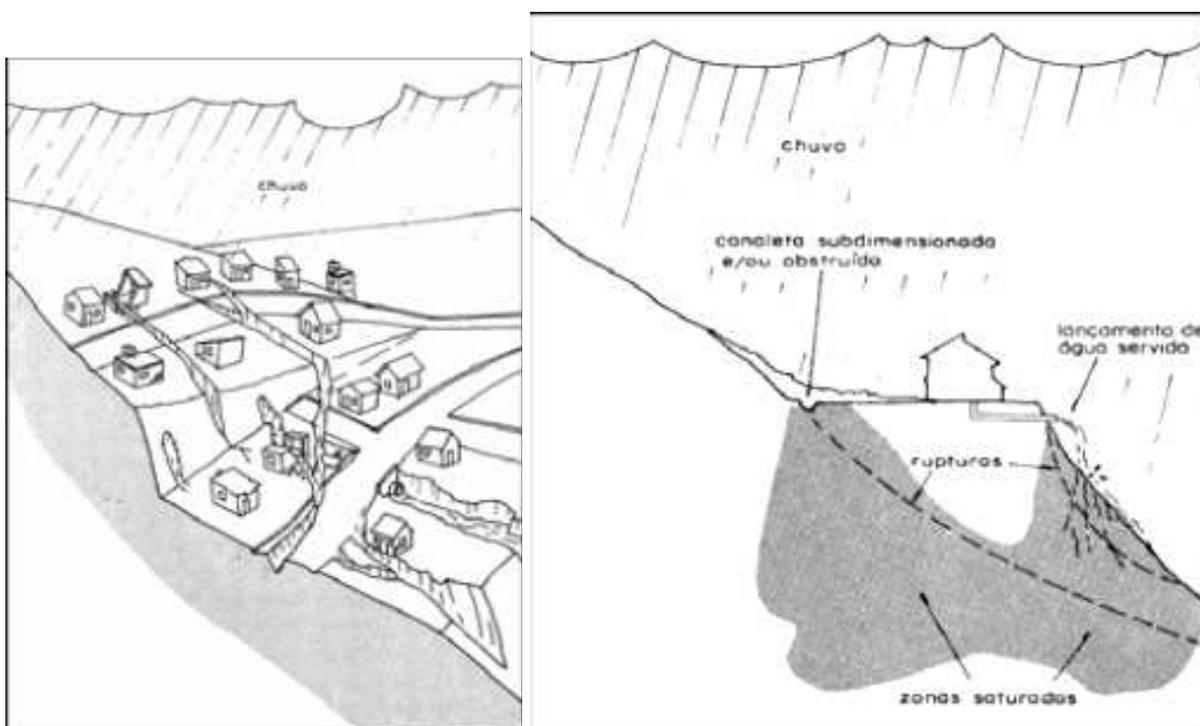


Figura 53 – Concentração de água em superfície (enxurrada). Lançamento de água servida em superfície.

#### *4º Passo – Vegetação no talude ou proximidades;*

Predomina a vegetação rasteira como os arbustos existindo algumas árvores de médio porte a partir da porção intermediária da encosta. O trecho da encosta da CASA 03 tem muito solo exposto.

IPT (2004) explica que as bananeiras são prejudiciais à estabilidade, por facilitar a infiltração de água. Outra característica da vegetação que pode ser prejudicial é a resistência em relação ao vento. Existe a possibilidade de galhos se quebrarem e atingir as moradias.

#### *5º Passo – Sinais de Movimentação (Feições de instabilidade);*

Sem sinais de movimentação do solo. Alvenaria sem patologia. Tronco das arvores aparentemente normais.

Trata-se do parâmetro mais importante para a determinação do risco mais alto. As feições de instabilidade (trincas no terreno; juntas de alívio ou fendas de tração; degraus de abatimento) serão mais úteis quanto mais lentos sejam os processos. Assim, escorregamentos planares de solo, que segundo Augusto Filho (1992), têm velocidades de metros por segundo a metros por hora, são processos cujo desencadeamento é passível de ser monitorado por meio de seus sinais.

IPT (2004) explica que a presença de cicatriz de escorregamento próxima à moradia leva-nos a supor que taludes em situação semelhante, também poderão sofrer instabilizações. Essa situação deve ser aproveitada para a observação da geometria do escorregamento (inclinação, espessura, altura, distância percorrida pelo material a partir da base, etc.). Esses parâmetros podem auxiliar o reconhecimento de outros locais em condições semelhantes.

#### *6º Passo – Tipos de processos de instabilização esperados ou já ocorridos;*

Por ser um talude de corte em solo coluvionar raso com corpo de tálus sobre rocha de arenito alterada pode ocorrer processo de escorregamento planar ou erosão superficial (carreamento de partículas devido à erosividade das chuvas).

Algum bloco de rocha (matacão) das cotas superiores da encosta da vertente oeste do morro Cechela poderá se instabilizar e rolar morro abaixo até atingir algumas barreiras (casas da meia encosta ou própria CASA03 da base da encosta).

*7º Passo – Determinação do grau de risco;*

Como não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização da encosta e apesar da declividade ser elevada e da inexistência de sistema de drenagem superficial, consideramos grau de risco médio (R2). Manter o local em observação.

*8º Passo – Necessidades de remoção.*

Não.



Figura 54 – À direita puxadinho sobre pilotis nos fundos da CASA 03. Moradia mista (madeira e alvenaria não estruturada) do lado esquerdo da CASA03 possui muro de pedras com 3,0 m de altura.

**CASA 05:**

*1º Passo – Dados gerais sobre a moradia:*

LOCALIZAÇÃO: Rua 14 de Julho

NOME DO MORADOR: João Pires

CONDIÇÕES DE ACESSO À AREA: Via estreita não pavimentada (chão batido com cascalhos).

TIPO DE MORADIA: Casa Mista em bom estado de conservação com parte frontal em madeira e com puxadinho em alvenaria nos fundos da casa, que dista menos de 1,00m de um muro de pedras amarradas com altura de 1,70m (Figura 55). Fundação rasa e direta. Sem patologias. Casa existente há 40 anos.



Figura 55 – À esquerda fundos da CASA05 que dista menos de 1,00m de um muro de pedras amarradas com altura de 1,70m. À direita, percebe-se a parte de madeira da CASA05 e o terreno baldio do lado direito.

### *2º Passo – Caracterização do local;*

Talude com altura 4,50m e Inclinação 40°, com corte a menos de 1,0m da moradia (altura do corte de 2,0m e com muro de pedras para contenção com 1,70m de altura) em solo coluvionar raso com corpo de tálus (espessura de até 2,0m) sobre saprólito de arenito. Base do talude na elevação 195m.

Dist. da moradia: 1,0m da base da encosta/talude

Existem muitos entulhos e sobrecargas sobre talude.

Na elevação 195 m, do lado direito da CASA 05 tem um terreno baldio (antigas casas foram demolidas). Neste terreno existe um corte onde pode ser percebido a espessura do solo coluvionar de até 0,75m e do saprólito de arenito (rocha alterada) com 1,00 m de espessura. Percebe-se a presença de pequenos blocos de arenito intactos (Figura 56). Morador informou que existia um poço de água na área de estudo, assim, acredita-se que a camada do arenito Botucatu deve ter mais que 30m de espessura.

### *3º Passo – Água;*

Inexistência de sistema de drenagem superficial com concentração de água em superfície (enxurrada). Parece que o lançamento de água servida é em superfície (a céu aberto). Não identificamos fossa séptica. Rede pública de água sem aparente vazamento.



Figura 56 – Corte na elevação 195 m, onde pode ser percebido a espessura do solo coluvionar de 50 cm e do saprólito de arenito da formação Botucatu (rocha alterada).

*4º Passo – Vegetação no talude ou proximidades;*

Predomina a vegetação rasteira como os arbustos existindo algumas árvores de médio porte a partir da porção intermediária da encosta. O trecho da encosta da CASA 05 tem muito solo exposto.

*5º Passo – Sinais de Movimentação (Feições de instabilidade);*

Sem sinais de movimentação do solo. Alvenaria sem patologia. Tronco das árvores aparentemente normais. No terreno baldio à direita da CASA05 existem árvores com troncos inclinados.

*6º Passo – Tipos de processos de instabilização esperados ou já ocorridos;*

Por ser um corte em solo coluvionar raso sobre do saprólito de arenito pode ocorrer processo de escorregamento planar ou erosão superficial (carreamento de partículas devido à erosividade das chuvas).

Algum bloco de rocha (matacão) das cotas superiores da encosta da vertente oeste do morro Cechela poderá se instabilizar e rolar morro abaixo até atingir algumas barreiras (casas da meia encosta ou própria CASA05 da base da encosta).

*7º Passo – Determinação do grau de risco;*

Como há condicionantes para o desenvolvimento de processos de instabilização da encosta com declividade elevada e inexistente sistema de drenagem superficial, consideramos grau de risco alto (R3). Manter o local em observação.

*8º Passo – Necessidades de remoção.*

Não.

**CASA 07:**

*1º Passo – Dados gerais sobre a moradia:*

LOCALIZAÇÃO: Rua 14 de Julho, do lado direito do terreno Baldio acima citado

NOME DO MORADOR: Antonio Carlos

CONDIÇÕES DE ACESSO À ÁREA: Via estreita não pavimentada (chão batido com cascalhos).

TIPO DE MORADIA: Casa de madeira em mal estado de conservação que dista menos de 0,40 m do corte (Figura 57). Pilotis da casa apoiada sobre pedras quadradas de basalto. Casa existente há pelo menos 30 anos.

*2º Passo – Caracterização do local:*

Talude com altura 6,00 m e Inclinação 60°, com corte a menos de 1,0m da moradia (altura do corte de 4,0m, sendo que a casa dista menos de 0,40 m da base

do corte) em solo coluvionar com corpo de tálus (espessura de até 2,50m) sobre saprólito de arenito. Base do talude na elevação 196m. A Figura 33 (já apresentada no item 4.2) mostra o perfil montado para a situação de risco da CASA07.

Dist. da moradia: 0,40 m da base da encosta/talude

Existem entulhos e o solo está muito exposto.



Figura 57 – CASA 07 de madeira em mal estado de conservação que dista menos de 0,50m do corte.

### *3º Passo – Água:*

Inexistência de sistema de drenagem superficial com concentração de água em superfície (enxurrada). Parece que o lançamento de água servida é em superfície (a céu aberto). Não identificamos fossa séptica. Rede pública de água sem aparente vazamento.

### *4º Passo – Vegetação no talude ou proximidades:*

Predomina a vegetação rasteira como os arbustos existindo algumas árvores de médio porte a partir da porção intermediária da encosta. O trecho da encosta da CASA 07 tem muito solo exposto.

### *5º Passo – Sinais de Movimentação (Feições de instabilidade):*

Sinal de escorregamento planar do solo coluvionar com corpo de tálus em pequena quantidade e erosão superficial do solo. Morador informa que desce muita

água concentrada, concluindo que a erosividade no local é altíssima. Existem árvores com troncos inclinados.

*6º Passo – Tipos de processos de instabilização esperados ou já ocorridos:*

Por ser um corte em solo coluvionar com corpo de tálus sobre do saprólito de arenito pode ocorrer processo de escorregamento planar ou erosão superficial (carreamento de partículas devido à erosividade das chuvas).

Algum bloco de rocha (matacão) das cotas superiores da encosta da vertente oeste do morro Cechela poderá se instabilizar e rolar morro abaixo até atingir algumas barreiras (casas da meia encosta ou própria CASA07 da base da encosta).

*7º Passo – Determinação do grau de risco:*

Como há sinais de processos de instabilização da encosta com declividade elevada, inexistência de sistema de drenagem superficial, casa de madeira e praticamente junto ao corte, consideramos grau de risco muito alto (R4). Manter o local em observação.

*8º Passo – Necessidades de remoção:*

Sim. Caso sejam executados dispositivos de drenagem superficial e/ou de contenção do solo, não será necessária a remoção da moradia.

**CASA 08:**

*1º Passo – Dados gerais sobre a moradia:*

LOCALIZAÇÃO: Rua 14 de Julho

NOME DO MORADOR: Elisabeth Becker

CONDIÇÕES DE ACESSO À ÁREA: Via estreita não pavimentada (chão batido com cascalhos).

TIPO DE MORADIA: Casa mista de madeira e alvenaria sobre fundação corrida (direta). Sem patologias. Casa existente há pelo menos 40 anos. Acima da

CASA 08 existem mais três casas executadas em patamares sem o adequado afastamento.

### *2º Passo – Caracterização do local;*

Base da encosta com corte em solo coluvionar com corpo de tálus (espessura de até 2,50m) sobre saprólito de arenito. Inclinação do talude de 45º com sua base na elevação 196m. Desnível potencial gravitacional de 20 m. A CASA 08 dista menos 0,50m de um muro de pedras de basalto. Acima da CASA08 existem mais três casas executadas em patamares (aterro lançado) e entre estes existem muros de pedras para contenção. À esquerda das casas (quem olha desde a base – Rua 14 de Julho) existe um acesso executado em concreto até a porção intermediária da encosta. Esse acesso impermeabilizou o trecho fazendo com que a água escorra mais rapidamente para jusante. Também existe lançamento de água servida e de entulhos/lixo diretamente na encosta. Mesmo com muro de pedras entre as casas, um escorregamento desde a porção mais alta da encosta seria problemático para estas moradias construídas sem distanciamento adequado. A Figura 58 mostra a situação do local das quatro casas (coordenadas do ponto 4 CASAS da Tabela 3).

Dist. da moradia: 0,50 m da base da encosta/talude com muro de contenção em pedras.

### *3º Passo – Água;*

Inexistência de sistema de drenagem superficial com concentração de água em superfície (enxurrada) principalmente com a impermeabilização do solo causada pelo acesso lateral em concreto. Parece que o lançamento de água servida é em superfície (a céu aberto). Não identificamos fossa séptica. Rede pública de água sem aparente vazamento.

### *4º Passo – Vegetação no talude ou proximidades;*

Predomina a vegetação rasteira como os arbustos existindo algumas árvores de médio porte a partir da porção intermediária da encosta. O trecho da encosta da tem solo exposto.

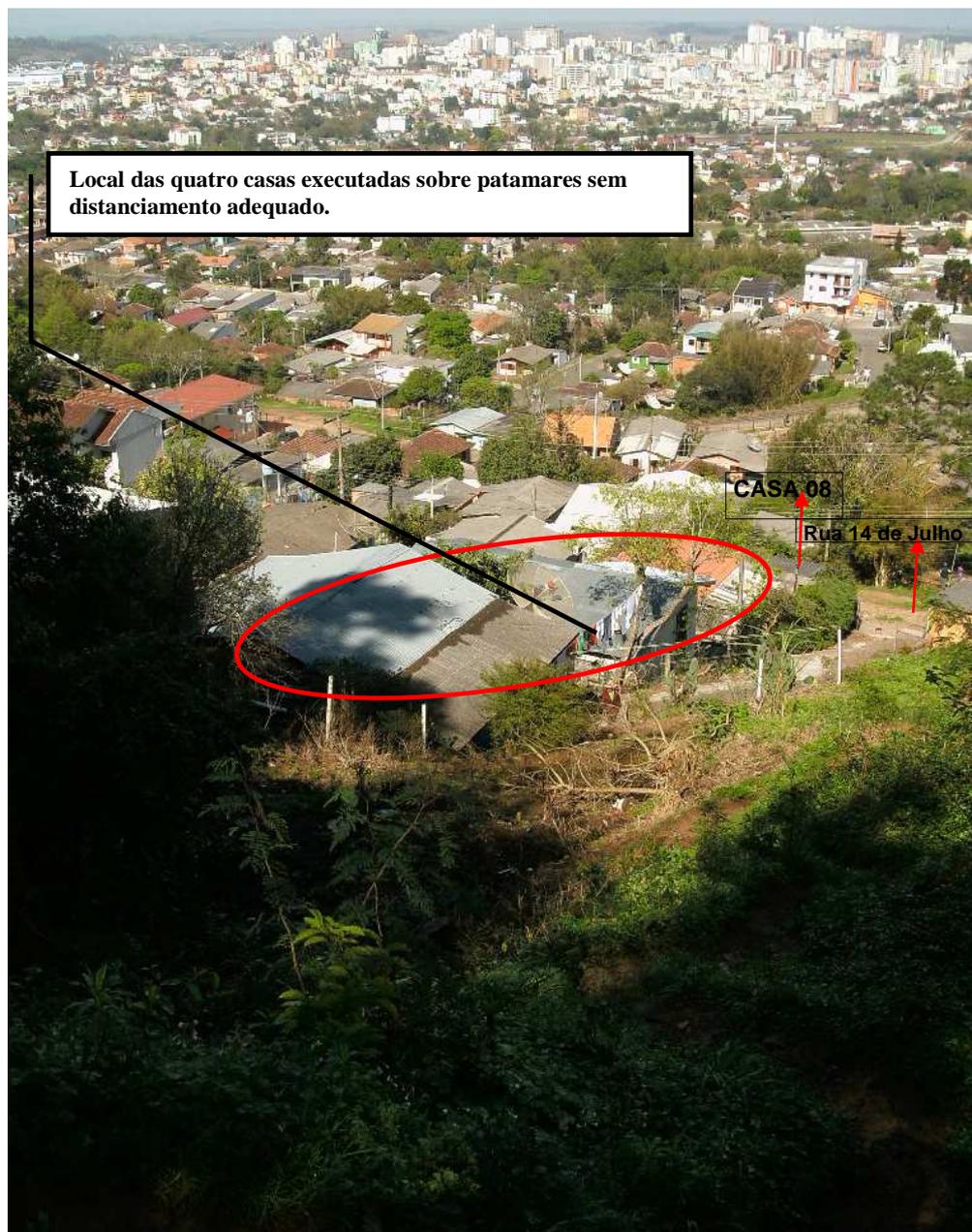


Figura 58 – Vista desde a parte alta da encosta destacando o local das quatro casas executadas sobre patamares sem distanciamento adequado. Existem muros de pedras para contenção entre as casas.

*5º Passo – Sinais de Movimentação (Feições de instabilidade);*

Sem sinais de movimentação do solo. Alvenaria sem patologia. Tronco das árvores aparentemente normais.

*6º Passo – Tipos de processos de instabilização esperados ou já ocorridos;*

Por ser corte em solo coluvionar com corpo de tálus sobre do saprólito de arenito e aterros lançados acima (meia encosta) pode ocorrer processo de

escorregamento planar ou erosão superficial (carreamento de partículas devido à erosividade das chuvas). Processo minimizado pois existem muros de pedras para contenção.

Algum bloco de rocha (matação) das cotas superiores da encosta da vertente oeste do morro Cechela poderá se instabilizar e rolar morro abaixo até atingir algumas barreiras (quatro casas da meia encosta).

*7º Passo – Determinação do grau de risco;*

Como não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização da encosta e apesar da declividade ser elevada e da inexistência de sistema de drenagem superficial, consideramos grau de risco médio (R2). As casas acima da CASA08 estão em grau de risco alto (R3). Manter o local em observação.

*8º Passo – Necessidades de remoção.*

Não.

**CASA 12:**

*1º Passo – Dados gerais sobre a moradia:*

LOCALIZAÇÃO: Rua 14 de Julho

NOME DO MORADOR: Maria Lucia da Silva Santos

CONDIÇÕES DE ACESSO À AREA: Via estreita não pavimentada (chão batido com cascalhos).

TIPO DE MORADIA: Casa de alvenaria não estruturada sobre fundação corrida (direta). Sem patologias. Casa existente há pelo menos 13 anos. Acima da CASA 12 existe mais uma casa (CASA 18) em patamar de aterro lançado com muro de pedras para contenção.

*2º Passo – Caracterização do local;*

Base da encosta com corte em solo coluvionar com corpo de tálus (espessura de até 2,50m) sobre saprólito de arenito. Inclinação do talude de 60º com sua base

na elevação 191m. Desnível potencial gravitacional de mais de 20 m. A CASA 12 dista 4,00 m da base do talude.

Dist. da moradia: 4,00 m da base da encosta/talude

Existem muitos entulhos e o solo está muito exposto.



Figura 59 – Parede de alvenaria da CASA 12 dista 4,00 m da base do talude.

### *3º Passo – Água;*

Inexistência de sistema de drenagem superficial com concentração de água em superfície (enxurrada). Existe o agravante de lançamento de água servida dos vizinhos em superfície. Não identificamos fossa séptica. Rede pública de água sem aparente vazamento.

### *4º Passo – Vegetação no talude ou proximidades;*

Predomina a vegetação rasteira como os arbustos existindo algumas árvores de médio porte a partir da porção intermediária da encosta. Existe bananeiras na encosta acima da CASA 12. O trecho da encosta tem muito solo exposto.

### *5º Passo – Sinais de Movimentação (Feições de instabilidade);*

Sinal de escorregamento planar do solo coluvionar com corpo de tálus em pequena quantidade e erosão superficial do solo. Morador informa que desce muita água concentrada, concluindo que a erosividade no local é altíssima.

*6º Passo – Tipos de processos de instabilização esperados ou já ocorridos;*

Por ser um corte em solo coluvionar com corpo de tálus sobre do saprólito de arenito pode ocorrer processo de escorregamento planar ou erosão superficial (carreamento de partículas devido à erosividade das chuvas).

Algum bloco de rocha (matacão) das cotas superiores da encosta da vertente oeste do morro Cechela poderá se instabilizar e rolar morro abaixo até atingir algumas barreiras (casas da meia encosta ou própria CASA07 da base da encosta).

*7º Passo – Determinação do grau de risco;*

Como há sinais de processos de instabilização da encosta com declividade elevada, inexistência de sistema de drenagem superficial, casa dista 4,0 m do corte, consideramos grau de risco alto (R3). Manter o local em observação.

*8º Passo – Necessidades de remoção.*

Não.

**CASA 16:**

*1º Passo – Dados gerais sobre a moradia:*

LOCALIZAÇÃO: Sem Rua – Acesso aberto na parte alta da porção intermediária da encosta (CASA 16 fica do lado esquerdo da CASA 17)

NOME DO MORADOR: Joseia Cardoso

CONDIÇÕES DE ACESSO À AREA: Acesso aberto estreito em chão batido (elevação 214m).

TIPO DE MORADIA: Casa de alvenaria estruturada sobre fundação rasa. Sem patologias.

*2º Passo – Caracterização do local;*

Talude atrás da casa com altura 4,00 m e Inclinação 45º, com corte a 6,50m da moradia em solo coluvionar com corpo de tálus (espessura de até 1,0m) sobre

saprólito de arenito. Base do talude na elevação 214 m. Nas elevações mais altas da encosta atrás da casa começam a aflorar blocos de rocha basáltica. Solo raso com corpo de tálus maiores. A casa foi executada sobre aterro lançado mau compactado que já teve problemas de escorregamento. Neste local (no lado esquerdo e na frente da CASA 16) foram executados muros de pneus juntamente com o lançamento de rejeitos basálticos como se fossem bermas de equilíbrio (Figura 41 já apresentada no item 4.3).

Dist. da moradia: 4,00 m da base da encosta/talude

Existem entulhos e o solo está exposto.

### *3º Passo – Água;*

Inexistência de sistema de drenagem superficial com concentração de água em superfície (enxurrada). Parece que o lançamento de água servida é em superfície (a céu aberto). Não identificamos fossa séptica.

### *4º Passo – Vegetação no talude ou proximidades;*

A vegetação já fica mais densa com muitas árvores de médio a grande porte a partir da parte mais alta da porção intermediária da encosta.

### *5º Passo – Sinais de Movimentação (Feições de instabilidade);*

Sinal de escorregamento planar do solo coluvionar com corpo de tálus em pequena quantidade. Escorregamento circular de aterro lançado.

### *6º Passo – Tipos de processos de instabilização esperados ou já ocorridos;*

Por ser um corte em solo coluvionar com corpo de tálus sobre do saprólito de arenito pode ocorrer processo de escorregamento planar ou erosão superficial (carreamento de partículas devido à erosividade das chuvas).

Escorregamento circular de aterro lançado.

Algum bloco de rocha (matacão) das cotas superiores da encosta da vertente oeste do morro Cechela poderá se instabilizar e rolar morro abaixo até atingir algumas barreiras (casas).

*7º Passo – Determinação do grau de risco;*

Como há sinais de processos de instabilização da encosta com declividade elevada, inexistência de sistema de drenagem superficial, aterro lançado, consideramos grau de risco muito alto (R4). Manter o local em observação.

*8º Passo – Necessidades de remoção.*

Não.

**CASA 17:**

*1º Passo – Dados gerais sobre a moradia:*

LOCALIZAÇÃO: Sem Rua – Acesso aberto na parte alta da porção intermediária da encosta

NOME DO MORADOR: Claubert

CONDIÇÕES DE ACESSO À ÁREA: Acesso aberto estreito em chão batido (elevação 216m)

TIPO DE MORADIA: Casa de alvenaria não estruturada. Sem patologias.

*2º Passo – Caracterização do local;*

Talude atrás da casa com altura 6,00 m e Inclinação 60º, com corte a 3,50m da moradia em solo coluvionar com corpo de tálus (espessura média de 1,00 m) sobre saprólito de arenito. Corte do lado direito distando menos de 2,0m da casa. Base do talude na elevação 216 m. O morador informa que já houve dois movimentos de escorregamento planar. O último ocorreu em abril de 2011.

Nas elevações mais altas da encosta atrás da casa começam a aflorar blocos de rocha basáltica. Solo raso com corpo de tálus maiores. A casa foi executada provavelmente sobre aterro lançado. Na frente da CASA 17 foram executados muros de pneus e lançamento de rejeitos basálticos como se fossem bermas de equilíbrio. A Figura 34 (já apresentada no item 4.2) mostra o perfil montado para a situação de risco da CASA17.

Dist. da moradia: 3,00 a 3,50m da base da encosta/talude

Existem entulhos e o solo está exposto.

### *3º Passo – Água;*

Inexistência de sistema de drenagem superficial com concentração de água em superfície (enxurrada). Parece que o lançamento de água servida é em superfície (a céu aberto). Não identificamos fossa séptica.

### *4º Passo – Vegetação no talude ou proximidades;*

A vegetação já fica mais densa com muitas árvores de médio a grande porte a partir da parte mais alta da porção intermediária da encosta.

### *5º Passo – Sinais de Movimentação (Feições de instabilidade);*

Já ocorreram dois escorregamentos planares do solo coluvionar com corpo de tálus no corte atrás da moradia. No evento acontecido em 2011 calculamos 10,5 m<sup>3</sup> de solo pela dimensão da cicatriz existente no local (Figura 60).



Figura 60 – Volume de solo coluvionar com corpo de tálus e raízes escorregado em 2011 junto a CASA 17.

O morador também informou que um bloco grande (diâmetro aproximado de 3,0m) de rocha rolou a partir da topo da encosta no ano de 1999. Por sorte não atingiu nenhuma casa.

*6º Passo – Tipos de processos de instabilização esperados ou já ocorridos;*

Por ser um corte em solo coluvionar com corpo de tálus sobre do saprólito de arenito pode ocorrer processo de escorregamento planar ou erosão superficial (carreamento de partículas devido à erosividade das chuvas).

Algum bloco de rocha (matacão) das cotas superiores da encosta da vertente oeste do morro Cechela poderá se instabilizar e rolar morro abaixo até atingir algumas barreiras (casas).

*7º Passo – Determinação do grau de risco;*

Como há sinais de processos de instabilização da encosta com declividade elevada, inexistência de sistema de drenagem superficial, moradia muito próxima da base da encosta, consideramos grau de risco muito alto (R4). Manter o local em observação.

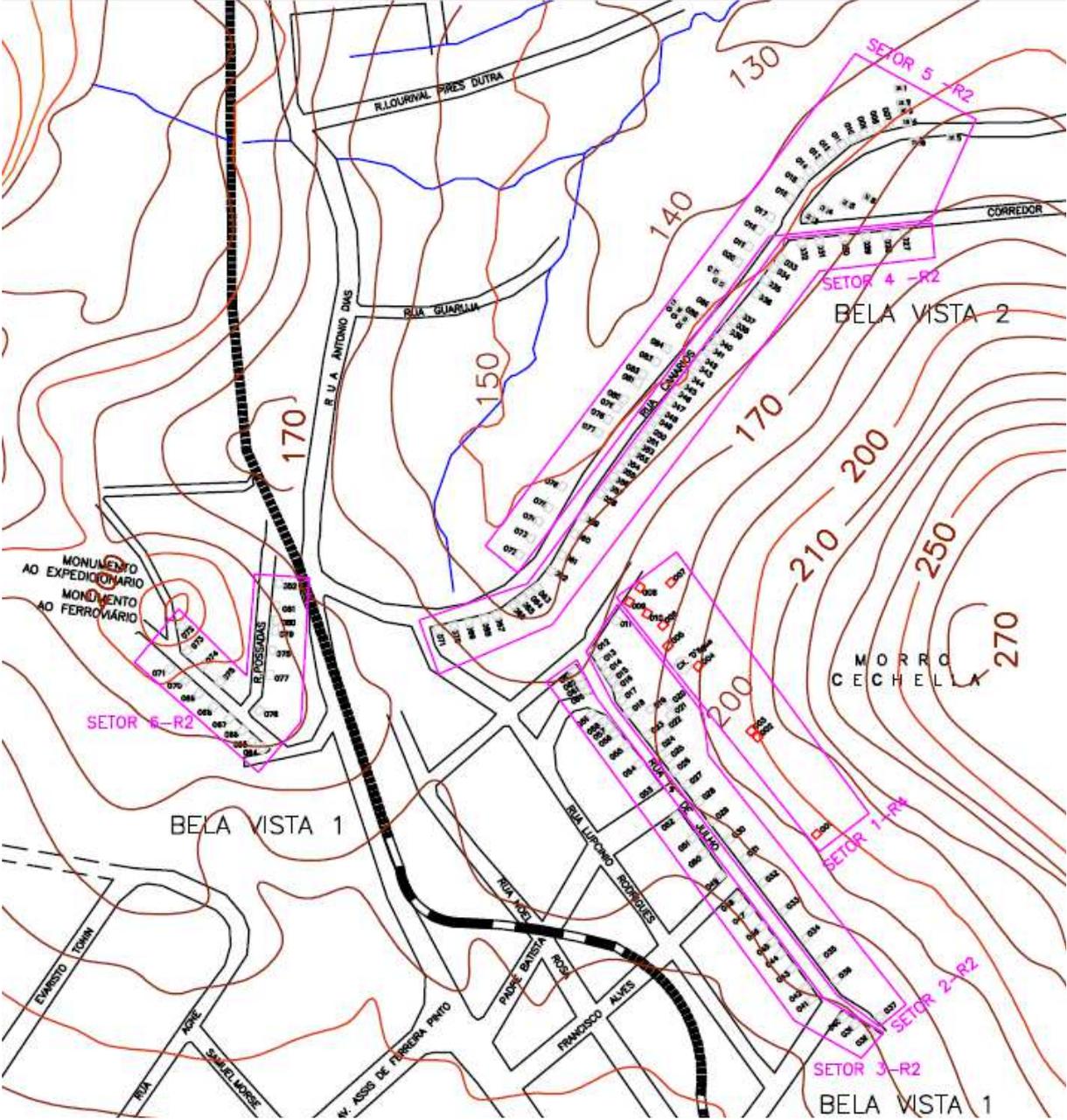
*8º Passo – Necessidades de remoção.*

Sim. Caso sejam executados dispositivos de drenagem superficial e/ou de contenção do solo, não será necessária a remoção da moradia.

**ANEXO**

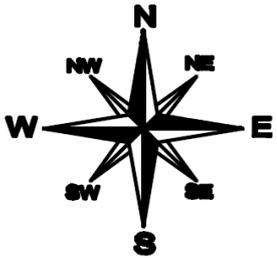
Anexo A – Setorização de risco da Vila Bela Vista (PMRRSM, 2006).

BELA VISTA 1 e 2



Legenda:

- Edificação a ser removida



**Anexo A (Continuação) – Casas a serem removidas (em vermelho) do setor 1 - R4 da Vila Bela Vista (PMRRSM, 2006).**

