

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

LAÍS EMILY DE ASSIS

**AVALIAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA EM ÁREAS DE RISCO GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICO A DESLIZAMENTOS TRANSLACIONAIS RASOS EM ALÉM
PARAÍBA (MG)**

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2022**

LAÍS EMILY DE ASSIS

**AVALIAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA EM ÁREAS DE RISCO GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICO A DESLIZAMENTOS TRANSLACIONAIS RASOS EM ALÉM
PARAÍBA (MG)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do Título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Eduardo Antonio Gomes Marques

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

A848a
2022
Assis, Laís Emily de, 1990-
Avaliação quali-quantitativa em áreas de risco
geológico-geotécnico a deslizamentos translacionais rasos em
Além Paraíba (MG) / Laís Emily de Assis. – Viçosa, MG, 2022.
1 tese eletrônica (180 f.): il. (algumas color.).

Inclui anexo.

Orientador: Eduardo Antônio Gomes Marques.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Civil, 2022.

Referências bibliográficas: f. 159-180.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.709>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Deslizamentos (Geologia). 2. Taludes (Mecânica do solo)
- Estabilidade. 3. Modelagem tridimensional. I. Marques,
Eduardo Antônio Gomes, 1965-. II. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Engenharia Civil. Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDD 22. ed. 624.151363

Bibliotecário(a) responsável: Bruna Silva CRB-6/2552

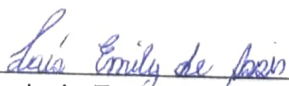
LAÍS EMILY DE ASSIS

**AVALIAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA EM ÁREAS DE RISCO GEOLÓGICO-
GEOTÉCNICO A DESLIZAMENTOS TRANSLACIONAIS RASOS EM ALÉM
PARAÍBA (MG)**

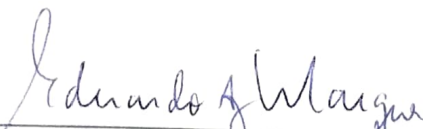
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do Título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 03 de março de 2022.

Assentimento:



Laís Emily de Assis
Autora



Eduardo Antonio Gomes Marques
Orientador

DEDICATÓRIA

*Este trabalho é dedicado aos meus pais, Antônio e Dora e
à minha avó Rita Macieira fontes de inspiração e
resiliência!*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e por sempre iluminar meus passos!

Aos meus pais, Antônio e Dora pelo amor incomparável, por todo incentivo e força concedida ao longo destes anos!

À minha vó Rita Macieira, por todo amor e orações em prol do meu desenvolvimento pessoal e profissional! Ao meu Avô José Macieira (*sempre presente*), que com sua sabedoria me ensinou a sempre agir com integridade e respeito ao próximo!

Ao orientador Eduardo Marques, pelo conhecimento transmitido com plena sabedoria, por toda confiança ao longo destes anos e pelas oportunidades oferecidas para ampliar meu conhecimento. Minha eterna gratidão, Edu!

Ao coorientador Leonardo Souza, por todo conhecimento compartilhado, principalmente nos trabalhos de campo, os quais agregaram extremo valor!

Ao amigo, Leandro Roque, pelo companheirismo e parceria!

Aos colegas, Aline Roque, Amadeu Venturin, Cassiano Barbosa e Thiago Diniz pelo apoio na realização desta pesquisa!

Aos amigos, professores, técnicos e funcionários da Pós-Graduação em Engenharia Civil (Geotecnia), pela amizade e companheirismo, em especial a Luana, Leandro Moreno e Marcela!

Ao *Swiss Federal Research Institute WSL* por conceder gratuitamente o software *RAMMS* em prol da realização desta pesquisa!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

RESUMO

ASSIS, Laís Emily de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2022. **Avaliação Quali-Quantitativa em Áreas de Risco Geológico-Geotécnico a deslizamentos translacionais rasos em Além Paraíba (MG)**. Orientador: Eduardo Antonio Gomes Marques.

Os cenários de risco a deslizamentos de terra nos municípios brasileiros são marcados, majoritariamente, por alterações antropogênicas em encostas, em que o índice de habitações e assentamentos precários, associados aos aspectos geológicos e fisiográficos, intensificam sistematicamente o desenvolvimento de instabilidades. Em tais condições, este é um risco significativo para pessoas e infraestruturas e se torna cada vez mais premente a realização de mapeamentos de risco geológico-geotécnico em escalas adequadas, com intuito de apontar as áreas com probabilidade de ocorrência, permitindo assim o planejamento e a aplicação de controles preventivos. Conhecer os mecanismos que podem reger a deflagração destes processos e, conseqüentemente, a área potencial a ser afetada, são questões chaves para prevenir a materialização do risco, bem como mitigar os possíveis impactos associados. O objetivo geral deste trabalho foi avaliar quali-quantitativamente as condições mais favoráveis que possam contribuir para a deflagração de deslizamentos translacionais rasos na atual área urbana do Município de Além Paraíba (MG), Brasil. Adotou-se, neste trabalho, a metodologia proposta pelo extinto Ministério das Cidades (atual Ministério do Desenvolvimento Regional) e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT que visou identificar os processos de deslizamentos mais comuns na área urbana, definir os graus de risco e hierarquizar os setores existentes, em escala de 1:2.000. Nesta avaliação foram identificados 104 setores de risco de geológico-geotécnico associados a deslizamentos translacionais rasos. As investigações mostraram que, com relação aos fatores condicionantes dos processos de movimentação, a maior parte dos cenários de risco identificados estão intrinsecamente ligados à ocorrência de deslizamentos translacionais rasos em função da suscetibilidade natural dos terrenos ocupados e de ações antrópicas inadequadas, relativas à forma de uso e ocupação do solo. A partir da avaliação qualitativa foram selecionadas quatro áreas piloto classificadas como de alto e muito alto risco para que fossem realizadas as avaliações

quantitativas, tendo por pressuposto a representatividade frente ao histórico de ocorrência de deslizamentos, aspectos fisiográficos e às características geológico-geotécnicas. As análises de estabilidade realizadas nas áreas piloto permitiram identificar que os planos de ruptura analisados se encontram, na maioria das vezes, em profundidades que variam entre 0,5 m e 2,45m, e ficam entre o solo coluvionar e o solo residual maduro, predominantemente de características argilo-arenosas. Estes resultados possibilitaram um melhor entendimento das características da região em relação à estabilidade das encostas e a realização da estimativa de alcance (*runout analysis*) por meio da simulação numérica pelo software *RAMMS* nas áreas piloto. As avaliações de alcance permitiram, por meio de retroanálise e análise de sensibilidade, calibrar os coeficientes de atrito do modelo Voellmy-Salm. O valor obtido para coeficiente de atrito seco (μ) que melhor representou as áreas de estudo foi de 0,35, enquanto, para o atrito turbulento, ξ , variou entre 400 a 600 m/s². A projeção do alcance para as áreas simuladas variaram entre 80 a 121m. Por fim, cabe destacar que os produtos obtidos nesta pesquisa visam contribuir para o gerenciamento e planejamento do uso e ocupação do solo, permitindo que a utilização dos resultados sirva como ferramenta de suporte à decisão para determinar prioridades quanto a ações preventivas, planos diretores, planos de contingência e emergenciais para o município.

Palavras-Chave: Deslizamentos translacionais rasos. Estabilidade de taludes. Análise de Alcance. Modelagem 3D.

ABSTRACT

ASSIS, Laís Emily de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March 2022. **Quali-Quantitative geological-geotechnical evaluation in shallow translational landslide risk areas in Além Paraíba (MG)**. Advisor: Eduardo Antonio Gomes Marques.

The risk scenarios for landslides in Brazilian municipalities are mostly marked by anthropogenic alterations on slopes, in which the rate of occupation and precarious settlements, associated with geological and physiographic aspects, systematically intensify the development of instabilities. In such conditions, there is a significant risk for people and infrastructure, and it is increasingly urgent to carry out geological-geotechnical risk mapping at adequate scales, to point out areas with probability of occurrence, thus allowing planning and application of preventive controls. Knowing the mechanisms that can govern the triggering of these processes and, consequently, the potential area to be affected, are key issues to prevent the materialization of risk, as well as to mitigate the possible associated impacts. The general objective of this work was to qualitatively and quantitatively evaluate the most favorable conditions that may contribute to the triggering of shallow translational landslides in the urban area of the Municipality of Além Paraíba (MG), Brazil. The qualitative methodology aimed to identify the most common landslide processes in the urban area, define the degrees of risk and prioritize the risk sectors, on a scale of 1:2.000. In this assessment, 104 geological-geotechnical risk sectors associated with shallow translational landslides were identified. The investigations showed that, regarding the conditioning factors of the movement processes, most of the identified risk scenarios are intrinsically linked to the occurrence of shallow translational landslides due to the natural vulnerability of the occupied lands and inadequate anthropic actions, related to the form of land use and occupation. Based on the qualitative assessment, some study areas classified as high and very high risk were selected so that quantitative assessments could be performed, based on the assumption of representativeness in the face of the history of landslides, physiographic aspects, and geological-geotechnical characteristics. The stability analyzes carried out in the study areas made it possible to identify that the rupture planes analyzed are, in most cases, at depths that vary between 0.5 m and 2.45 m and are located between the colluvial soil and the mature residual soil,

predominantly of sandy-clay characteristics. These results allowed a better understanding of the characteristics of the region in relation to its slope stability and running range estimate (runout analysis) through numerical simulation on RAMMS software. The range evaluations allowed, through retroanalysis and sensitivity analysis, to calibrate the friction coefficients of the Voellmy-Salm model. The value obtained for the dry friction coefficient (μ) that best represented the study areas was 0.35, while for the turbulent friction, ξ , it ranged from 400 to 600 m/s². The range projection for the simulated areas ranged from 80 to 121m. Finally, it should be noted that the products obtained in this research aim to contribute to the management and planning of land use and occupation, allowing the use of those results to serve as input data for decision support tool.

Keywords: Shallow translational landslide. Slope stability. Runout Analysis. 3D modeling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Seção Típica de um Deslizamento Translacional Raso Planar.	35
Figura 2. Condições a serem consideradas previamente ao início do processo de mapeamento geotécnico.	38
Figura 3. Classificação de métodos de avaliação de perigo / risco à deslizamentos .	42
Figura 4. Métodos de análise de <i>runout</i> disponíveis.	44
Figura 5. Desenho esquemático dos parâmetros geométricos de um deslizamento	46
Figura 6. Medidas empíricas de 677 tipos de deslizamentos em encostas obtidos da literatura	47
Figura 7. Módulos aplicados ao software RAMMS	50
Figura 8. RAMMS: Simulação de HILLSLOPE (Acletta, Suíça) representando a velocidade máxima de fluxo, máxima.....	51
Figura 9. (a) Ilustração do Ensaio SPT; (b) Representação do Ensaio SPT em campo realizado em Além Paraíba (MG).	59
Figura 10. Descrição dos Elementos do Sistema de Navegação do VANT BATMAP II.	64
Figura 11. (a) Plano de voo 1; (b) Plano de Voo 2, (c) Plano de Voo 3, (d) Plano de Voo 4 criados para a programação do VANT utilizando o software de controle Mission Planner para a tomada de fotos na área de estudo.	65
Figura 12. (a) Exemplo de foto área obtida com voo do VANT com vista para Rua Vereador Severino, e logo a seguir vistas para o hospital São Salvador.	66
Figura 13. Exemplo de foto área obtida com voo do VANT Foto aérea com vista parcial do rio Paraíba do Sul, e logo a seguir com vista para a Rua Adão Araújo.	66
Figura 14. Fluxograma dos processos realizados para o aerolevanteamento e processamento das imagens do Agisoft Photoscan.....	67
Figura 15. Exemplificação de algumas etapas do processamento do MDE e Ortomosaico no <i>Agisoft</i>	68
Figura 16. Exemplificação de um dos Modelos 3D criados dos produtos obtidos no VOO 1. a) Ortomosaico 3D; b) Modelo Digital de Elevação 3D voo 1.....	68
Figura 17. Mapa de Localização da área territorial de Além Paraíba.....	70

Figura 18. Mapa geológico contemplando área de estudo no Município de Além Paraíba (MG).....	73
Figura 19. Mapa Geomorfológico contemplando área de estudo no Município de Além Paraíba (MG).....	77
Figura 20. Mapa de inclinação/declividade contemplando área de estudo no Município de Além Paraíba (MG).	79
Figura 21. Mapa de uso e ocupação contemplando área de estudo no Município de Além Paraíba (MG)	81
Figura 22. Levantamento de riscos à movimentos de massa em Além Paraíba.	83
Figura 23. Mapeamento de risco geológico-geotécnico a deslizamentos translacionais rasos no município de Além Paraíba (MG).....	85
Figura 24. a) Quantidade de Setores de Deslizamento por Grau de Risco; (b) Quantidade de Domicílio por Grau de Risco	86
[Figura 25. Vista panorâmica da encosta que compõe o setor de risco (Setor 12 - R4). Bairro São José.....	90
Figura 26. - Vista de montante para jusante do setor de risco. Detalhe para cicatriz de deslizamento anterior (Setor 27 - R4). Morro São Sebastião.....	90
Figura 27. Vista frontal da cicatriz de deslizamento a montante dos domicílios. (Setor 32 - R4). Bairro Vila Laroca/Banqueta.....	90
Figura 28. Vista frontal do setor de risco com detalhe para os indícios de instabilidade da encosta. (Setor 37 - R4). Bairro Vila Laroca.....	90
Figura 29 Setor de risco com detalhe para o avanço da ocupação em área naturalmente suscetível a deslizamentos. (Setor 76 - R4). Bairro Sítio Branco	90
Figura 30. Vista frontal do setor de risco. Trecho com histórico de deslizamentos com atingimentos dos domicílios (Setor 89 - R4). Bairro Boiadeiro/Chácara São José....	90
Figura 31. Vista parcial frontal do setor de risco com detalhe para o baixo padrão construtivo e da urbanização desordenada. Bairro Parada Breve/Matadouro. (Setor 2 – R3)	91
Figura 32. Vista parcial do setor de risco com detalhe para os indícios de instabilidade do talude de corte a montante dos domicílios. (Setor 23 – R3). Bairro Granja 3 de outubro.....	91
Figura 33. Final da Rua Alvares Antunes Filho após ocorrência de deslizamento. (Setor 29 – R3), Morro São Sebastião.	91
Figura 34. Vista parcial do setor de risco. Detalhe para o talude de corte a montante das casas mais acima da encosta. (Setor 34 - R3). Vila Caxias.....	91

Figura 35. Vista parcial do setor de risco com detalhe para os indícios de instabilidade em talude a montante dos domicílios (Setor 25 - R3). Praça da Bandeira.....	91
Figura 36. Vista frontal do setor de risco com destaque para altura e geometria do talude de corte. (Setor 26 – R3).	91
Figura 37. Vista frontal do setor de risco com detalhe para o adensamento da ocupação desordenada em zona de declividade muito elevada (Setor 3 – R2). Bairro Parada Breve/Matadouro,	92
Figura 38. Vista parcial do setor com detalhe para o bom padrão construtivo dos domicílios. (Setor 10 - R2). Bairro São José	92
Figura 39. Vista panorâmica do setor de risco com detalhe para os taludes de corte. (Setor 14 - R2). Bairro São José.	92
Figura 40. Vista a partir da entrada do cemitério. Taludes de corte com alturas superiores a 3,0 metros muito próximos aos domicílios. (Setor 16 - R2). Bairro Morro do Cemitério	92
Figura 41. Vista frontal do setor com detalhe para a forma de ocupação. (Setor 22 - R2). Bairro São José/Morro do Cemitério	92
Figura 42. Vista frontal do setor de risco com detalhe para a forma de ocupação da encosta. (Setor 77 - R2). Bairro Caxias.....	92
Figura 43. Área Piloto 01 – Setor 12 (R4) de Risco Geológico-Geotécnico a deslizamentos translacionais rasos.....	94
Figura 44. Detalhe para os taludes com sinais de instabilidade nos fundos dos domicílios.	95
Figura 45. Mapa de Risco Geológico-Geotécnico - Deslizamentos translacionais rasos (Setor 12 - R4) – Pontos de Sondagem.	97
Figura 46. Perfil Geotécnico do Furo SPT 1 (Base) - Rua Isabel Herdy Alves, Bairro São José, Além Paraíba - MG, Brasil.....	98
Figura 47. Perfil Geotécnico do Furo SPT 2 (Topo) – A montante da Rua Isabel Herdy Alves, Bairro São José, Além Paraíba - MG, Brasil.....	99
Figura 48. Curva granulométrica do Solo Residual Maduro (Área Piloto 01).	101
Figura 49. Curva granulométrica do Solo Residual Jovem (Área Piloto 01).....	102
Figura 50. Análise de Estabilidade Área Piloto 01.....	105
Figura 51. Principal superfície de ruptura do talude de acordo com as estimativas do software Slide 3D (Área Piloto 01).	106

Figura 52. Área da ruptura global e altura máxima do fluxo (m) - Área Piloto 01 (Setor 12 - R4)	109
Figura 53. Momento da ocorrência do deslizamento pelo tempo. Representação da velocidade máxima- Área Piloto 01 (Setor 12 - R4)	109
Figura 54. Área Piloto 02 – Setor 32 (R4) de Risco Geológico-Geotécnico a deslizamentos.	111
Figura 55. Vista da encosta que compõe o setor de risco, com destaque para a dimensão da cicatriz de deslizamento formada a montante dos domicílios (Setor 32 – R4).	112
Figura 56. Foto aérea do histórico de ocorrência de deslizamentos na área piloto (Setor 32 - R4).....	113
Figura 57. Área Piloto 02 - Mapa de Risco Geológico-Geotécnico - Deslizamentos translacionais rasos (Setor 32 - R4) – Pontos de Sondagem.....	114
Figura 58. Perfil Geotécnico do Furo SPT 1 - Rua Albano Duarte, Além Paraíba - MG, Brasil	115
Figura 59. Perfil Geotécnico do Furo SPT 2 - Rua Albano Duarte, Além Paraíba - MG, Brasil	116
Figura 60. Perfil Geotécnico do Furo SPT 2 - Rua Albano Duarte, Além Paraíba - MG, Brasil	117
Figura 61. Curva granulométrica do Solo Residual Maduro (Área Piloto 02).	119
Figura 62. Curva granulométrica do Solo Residual Transição (Área Piloto 02).	120
Figura 63. Curva granulométrica do Solo Residual Jovem (Área Piloto 02).....	121
Figura 64. Análise de Estabilidade 3D Área Piloto 02. Setor 32 (R4).....	126
Figura 65. Análise de Estabilidade 2D Área Piloto 02. Setor 32 (R4) - NA próximo a superfície passando pela cunha e aflorando ao longo de todo o talude.....	127
Figura 66. Análise de Estabilidade 2D Área Piloto 02. Setor 32 (R4) - NA intermediário.	127
Figura 67. Análise de Estabilidade 2D Área Piloto 02. Setor 32 (R4) - NA mais baixo próximo ao topo rochoso.....	128
Figura 68. Principal superfície de ruptura do talude de acordo com as estimativas do software Slide 3D (Área Piloto 02).	129
Figura 69. Ruptura global da Área Piloto 02 (Setor 32 - R4).....	131

Figura 70. Representação da Velocidade do movimento - Área Piloto 02 (Setor 32 – R4)	132
Figura 71. Área da ruptura global e altura máxima do fluxo na Área Piloto 02 (Setor 32 - R4)	134
Figura 72. Representação da Velocidade do movimento - Área Piloto 02 (Setor 32 – R4)	134
Figura 73. Representação e localização do Setor 26 (R3).....	137
Figura 74. Área Piloto 03 - Representação e localização do Setor 26 (R3) – Pontos de Sondagem.....	139
Figura 75. Perfil Geotécnico do Furo SPT 1 - Rua Expedicionário Manoel de Souza, Vila Laroca, Além Paraíba - MG, Brasil.....	140
Figura 76. Perfil Geotécnico do Furo SPT 2 - Rua Alvares Antunes Filho, Vila Laroca, Além Paraíba, MG.....	142
Figura 77. Curva granulométrica do Solo Residual Maduro (Área Piloto 03).	144
Figura 78. Curva granulométrica do Solo Jovem (Área Piloto 03).....	145
Figura 79. Análise de Estabilidade 3D (Setor 26 - R3).....	149
Figura 80. Principal superfície de ruptura do talude de acordo com as estimativas do software Slide 3D (Área Piloto 03).	150
Figura 81. Análise de Estabilidade 2D (Setor 26 - R3) NA próximo a superfície passando pela cunha e aflorando ao longo de todo o talude.	150
Figura 82. Análise de Estabilidade 2D (Setor 26 - R3) – NA intermediário.	151
Figura 83. Análise de Estabilidade 2D (Setor 26 - R3) – NA mais baixo próximo ao topo rochoso.	151
Figura 84. (a) Área-Piloto 04 - Vista Frontal do setor de risco com detalhe para os indícios de instabilidade da encosta (Setor 37 - R4)	153
Figura 85. Vista lateral do setor, com detalhe para a sua geometria, declividade e desnível da encosta.	153
Figura 86. Área da ruptura global e altura máxima do fluxo na Área Piloto 4 (Setor 37 - R4)	154
Figura 87. Representação da Velocidade do movimento - Área Piloto 04 (Setor 37 – R4)	154

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Classificação Geral de Desastres Naturais Adotada pelo EM-DAT (S.D.-A)	32
Quadro 2. Terminologias de risco.	34
Quadro 3. Síntese dos tipos de cartas geotécnicas e suas aplicações.	40
Quadro 4. Lista de modelos numéricos selecionados de deslizamento de terra que estão atualmente disponíveis ou em desenvolvimento.	48
Quadro 5. Fatores condicionantes, agentes deflagradores e indícios de movimentação que devem ser observados durante a atividade de campo / mapeamento.	54
Quadro 6. Ficha Cadastral para o Mapeamento e Gerenciamento de Grau de Risco	55
Quadro 7. Critérios para hierarquização do grau de risco com base na metodologia do Ministério das Cidades.	57
Quadro 8. Utilização de modelos matemáticos	62
Quadro 9. Inputs de Entrada - Software RAMMS.....	63
Quadro 10. Classificação das formas de relevo para a área de estudo	76
Quadro 11. Localização e Classificação dos Setores de Risco	87
Quadro 12. Compilado de informações dos perfis de sondagem da Área Piloto 1. ...	96
Quadro 13. Resumo dos ensaios de caracterização geotécnica (Área Piloto 1).....	100
Quadro 14. CIU - Solo Residual Maduro - (a) Estado de Variação da Poropressão x Deformação axial; (b) Tensão Desviadora (KPa) x Deformação Axial (%); c) Tensão de cisalhamento x Tensão Total; d) Tensão menor efetiva t (KPa) x Tensão média efetiva s' (KPa) – Área Piloto 1.....	103
Quadro 15. CIU - Solo Residual Jovem - (a) Estado de Variação da Poropressão x Deformação axial; (b) Tensão Desviadora (KPa) x Deformação Axial (%); c) Tensão	

de cisalhamento x Tensão Total; d) Tensão menor efetiva t (KPa) x Tensão média efetiva s' (KPa) – Área Piloto 1..... 104

Quadro 16. Parâmetros de entrada e parâmetros numéricos necessários à análise no modelo RAMMS 108

Quadro 17. CIU - Solo Residual Maduro - (a) Estado de Variação da Poropressão x Deformação axial; (b) Tensão Desviadora (KPa) x Deformação Axial (%); c) Tensão de cisalhamento x Tensão Total; d) Tensão menor efetiva t (KPa) x Tensão média efetiva s' (KPa) – Área Piloto 2..... 123

Quadro 18. CIU - Solo de Transição - (a) Estado de Variação da Poropressão x Deformação axial; (b) Tensão Desviadora (KPa) x Deformação Axial (%); c) Tensão de cisalhamento x Tensão Total; d) Tensão menor efetiva t (KPa) x Tensão média efetiva s' (KPa) – Área Piloto 2..... 124

Quadro 19. CIU - Solo Residual Jovem - (a) Estado de Variação da Poropressão x Deformação axial; (b) Tensão Desviadora (KPa) x Deformação Axial (%); c) Tensão de cisalhamento x Tensão Total; d) Tensão menor efetiva t (KPa) x Tensão média efetiva s' (KPa) – Área Piloto 2..... 125

Quadro 20. Compilado das informações de sondagem SPT realizadas na Área Piloto 03 - Setor 26 (R3)..... 138

Quadro 21. CIU - Solo Residual Maduro – (a) Estado de Variação da Poropressão x Deformação axial; (b) Tensão Desviadora (KPa) x Deformação Axial (%); c) Tensão de cisalhamento x Tensão Total; d) Tensão menor efetiva t (KPa) x Tensão média efetiva s' (KPa) – Área Piloto 3..... 146

Quadro 22. CIU-Solo Residual Jovem – (a) Estado de Variação da Poropressão x Deformação axial; (b) Tensão Desviadora (KPa) x Deformação Axial (%); c) Tensão de cisalhamento x Tensão Total; d) Tensão menor efetiva t (KPa) x Tensão média efetiva s' (KPa) – Área Piloto 3..... 147

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores coesão (c') e ângulo de atrito (ϕ') dos solos avaliados em termos de tensão efetiva (Área piloto 01).....	105
Tabela 2. Valores da superfície de ruptura mais crítica analisada pelo Slide3 – 3D (Área Piloto 01).	106
Tabela 3. Resumo dos ensaios de caracterização geotécnica dos solos - Área Piloto 02.	118
Tabela 4. Valores coesão (c') e ângulo de atrito (ϕ') dos solos avaliados em termos de tensões efetivas (Área piloto 02).	126
Tabela 5. Valores da superfície de ruptura mais crítica analisada pelo Slide3 – 3D (Área Piloto 02).	128
Tabela 6. Parâmetros de entrada e parâmetros numéricos necessários à análise no modelo RAMMS – Área Piloto 02 (Setor 32 – R4)	130
Tabela 7. Parâmetros numéricos utilizados para simulação no RAMMS – Área Piloto 02 (Setor 32 – R4).....	132
Tabela 8. Resumo dos ensaios de caracterização geotécnica dos solos - Área Piloto 3.	143
Tabela 9. Valores de coesão (c') e ângulo de atrito (ϕ') dos solos avaliados nas condições CIU – Adensado e não drenado.	148
Tabela 10. Valores da superfície de ruptura mais crítica analisada pelo Slide3 – 3D (Área Piloto 03).	149
Tabela 11. Parâmetro numérico imputados para simulação no RAMMS – Área Piloto 04 (Setor 37 – R4).....	153

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

CEPED UFSC- Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade Federal de Santa Catarina

CEPED/RS- Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

CPRM- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.

CREAD - *Center for Research of Epidemiology of Disasters*)

EIA – Estudo de Impacto Ambiental

EESC-USP – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo

ESRI - Environmental Systems Research Institute

FS – Fator de Segurança

GDS- Ground sampling distance

H – Altura do fluxo

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDNDR- *International Decade for Natural Disaster Reduction*

In situ - no lugar

IP- Índice de Plasticidade

IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas

ISRD- *International Strategy of Disaster Reducing*

JTC 1- *Joint Technical Committee on Landslides and Engineered*

Km²- Quilômetros quadrados

kN- Quilonewton

kN/m³- Quilonewton por metro cúbico

Kpa – Quilopascal;

LL- Limite de liquidez;

LP- Limite de plasticidade;

M – Metros;

m/h – Metros por hora;

m/s – Metros por segundo;

m³ - Metros cúbicos;

mm – Milímetros

mm/min – Milímetros por minuto

MDE- Modelo Digital de Elevação

MDT- Modelo Digital do Terreno

NA- Nível d'Água

NBR – Norma Brasileira

ONU- Organização das Nações Unidas

RIMA – Relatório de Impacto Ambiental

S_u - Resistência ao cisalhamento em termos de tensões totais;

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SPT - *Standard Penetration Test*

SRM- Solo Residual Maduro

SRJ – Solo Residual Jovem

U - Vetor da velocidade do fluxo nas direções x e y (Lei de fricção de Voellmy)

UNB – Universidade de Brasília

UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UFV – Universidade Federal de Viçosa

UN- *United Nations*

UNDRO - Agência de Coordenação das Nações Unidas para Socorro em Desastres

UNISDR-*United Nations International Strategy for Disaster Reduction*

UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

UPGRH- Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos

USP- Universidade de São Paulo

WSL/SLF – Institute for Snow and Avalanche Research Swiss / Federal Research Institute

VANT- Veículo Aéreo não Tripulado

VG - Variegad

LISTA DE SÍMBOLOS

C' – Coesão

ξ - Fricção turbulenta viscosa (Lei de fricção de Voellmy)

F_c - Fator de segurança coesão

F_ϕ - Fator de segurança atrito

μ - Coeficiente de atrito seco tipo Coulomb

μ_N – Viscosidade Newtoniana

\emptyset - Ângulo da inclinação (Lei de fricção de Voellmy)

ϕ' - ângulo de atrito

ρ – Densidade

T_f – Resistência ao cisalhamento do solo

T_{mob} – Tensão mobilizada do solo

γ - Peso específico

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	22
1.1 JUSTIFICATIVA E HIPÓTESE.....	27
1.2 OBJETIVOS.....	28
1.3 ORGANIZAÇÃO DA TESE	29
2. REFERENCIAL TEÓRICO	31
2.1 CONCEITOS E TERMINOLOGIAS.....	31
2.2 DESLIZAMENTOS TRANSLACIONAIS RASOS	35
2.3 CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA.....	37
2.4 AVALIAÇÃO DE ALCANCE DE MOVIMENTOS DE MASSA (<i>RUNOUT ANALYSIS</i>)	43
3. METODOLOGIA.....	53
3.1. MATERIAIS E MÉTODOS	53
3.1.1 MÉTODO DE AVALIAÇÃO QUALITATIVA PARA O MAPEAMENTO DO RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO A DESLIZAMENTOS.....	53
3.1.2 MÉTODOS DE AVALIAÇÕES QUANTITATIVAS.....	58
3.1.3 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO EM ESCALA DE DETALHE - OBTENÇÃO DE IMAGENS PELO VANT E PROCESSAMENTO DE DADOS DIGITAIS	64
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	70
4.1. LOCALIZAÇÃO	70
4.2 CARACTERIZAÇÃO SOCIOECONÔMICA	71
4.3 ASPECTOS GEOLÓGICOS, PEDOLÓGICOS E GEOMORFOLÓGICOS	71
4.4 DECLIVIDADE/INCLINAÇÃO DO TERRENO	78
4.5 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	80
4.6 HISTÓRICO DE VISTORIAS ENVOLVENDO DESLIZAMENTOS NO MUNICÍPIO NOS ANOS DE 2012 A 2021	82
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	84
5.1 MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO – AVALIAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA.....	84
5.1.1 ÁREA PILOTO 01 – SETOR 12 (R4).....	93
5.1.2 ÁREA PILOTO 02 – SETOR 32 (R4).....	110
5.1.3 ÁREA PILOTO 03 – SETOR 26 (R3).....	135

5.1.4 ÁREA PILOTO 04 – SETOR 37 (R4).....	152
6. CONCLUSÃO.....	156
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	159

1. INTRODUÇÃO

No Brasil é crescente a população que ocupa áreas de encostas. Esse fato, em conjunto com a ausência de planejamento urbano e fiscalização e a ineficiência das políticas públicas habitacionais tem implicado no aumento de acidentes relacionados à movimentos de massa em áreas ocupadas. Ao longo das últimas décadas é perceptível as intensas transformações do espaço urbano em relação ao crescimento populacional e de como a complexidade destas mudanças tem contribuído para a ampliação dos cenários de riscos e desastres. Este fato tem sido agravado, mais recentemente, pelo aumento da frequência de eventos chuvosos de maior intensidade, como visto recentemente (2022), nos estados da Bahia, Minas Gerais e São Paulo.

O processo migratório do campo para as cidades passou a ocorrer nos países subdesenvolvidos com mais frequência após a Segunda Guerra Mundial e este fato acentuou as desigualdades socioeconômicas. No caso do Brasil a explosão demográfica ocorreu entre as décadas de 50 e 60 e o principal fator deflagrador foi a intensificação da industrialização, que estimulou as migrações inter-regionais e rurais. Porém, esse processo trouxe consigo diversos efeitos de ordem econômica, socioespaciais e, consecutivamente, resultou no aumento dos impactos ambientais (ROBAINA, 2008).

A precarização e informalidade das relações trabalhistas sustentava o razoável crescimento econômico, apoiado pela desigualdade na distribuição de renda e dos acessos aos recursos, o que propiciou a especulação imobiliária e serviu de catalizador para a dinâmica do uso e ocupação do solo. O mercado legal de habitação se apropriou das áreas mais bem localizadas e adequadas à urbanização formal, enquanto as áreas que possuíam impedimentos físicos e/ou legais, permaneciam sem utilização ou eram subvalorizadas (CARDOSO E ARAGÃO, 2013).

Desde então, o espaço urbano no país vem sendo ocupado de forma rápida e desordenada, o que faz com o que os serviços de infraestrutura e as políticas públicas de habitação não consigam acompanhar e gerir de forma assídua tal demanda, o que afeta significativamente os aspectos relacionados ao planejamento, bem como o

gerenciamento do uso do solo. Concomitante à essa expressiva concentração urbana, há de se ressaltar o contínuo agravamento da crise econômica no país, em que as ações voltadas a garantir uma ocupação segura, revelam-se inadequadas e incompatíveis aos níveis exigidos pela elevada taxa de crescimento dos municípios, principalmente quando são levados em consideração os fatores fisiográficos.

Dentro deste contexto, Baptista (2009) destaca que a dinâmica social, principalmente dos grupos de baixa renda, os quais são praticamente levados a ocupar áreas de encostas e margens de rio, criam um sítio superposto ao natural e transformam esse ambiente seletivamente, adequando-o às necessidades às quais são impostos. Atrelado a esse efeito há uma estreita relação do avanço da degradação ambiental e a intensidade do impacto dos desastres, o que potencializa, por conseguinte, a vulnerabilidade dos elementos expostos.

Nesse sentido, tem-se como resultado a formação de áreas de risco geológico-geotécnico, em que a apropriação do relevo sem critérios acaba desencadeando em situações danosas. As áreas de risco são passíveis de serem atingidas por processos naturais e/ou induzidos que causem efeito adverso. As populações instaladas nestas áreas, que majoritariamente são compostas por assentamentos precários, estão vulneráveis a danos à integridade física, perdas materiais e patrimoniais (BRASIL, 2007).

A ocupação de área irregular é um dos fatores amplificadores do risco, o que contribui diretamente para o grau de magnitude do evento. De acordo com a *Estratégia Internacional para la Reducción de Desastres Las Américas - EIRD/ONU* (2004), embora a frequência dos eventos de caráter natural permaneça ocorrendo de forma constante, as atividades antrópicas contribuem para o agravamento de sua intensidade. Hoje, a própria frequência de eventos, considerada em 2004 como constante, tem sofrido alterações, com aumento em anos recentes.

Souza (2015) destaca que, na grande maioria das cidades brasileiras, a ocorrência destes acidentes tem maior frequência e intensidade nos ambientes com maior vulnerabilidade social, tais como: assentamentos precários, morros, favelas, aglomerados, ocupações irregulares, normalmente assentados em áreas topograficamente desfavoráveis com declives acentuados, sobre linhas de drenagem,

planícies de inundações etc. Porém, esta realidade não está sendo vivenciada somente nestas formas de ocupações, mas também há registros em áreas urbanizadas, ditas “formais”.

Segundo dados da Fundação João Pinheiro, no Brasil o déficit habitacional, o qual dimensiona a carência total de domicílios no país, apontou que no ano de 2019, em termos absolutos, foram identificadas 3,035 milhões de unidades de edificações de baixo padrão construtivo e infraestrutura precária (FJP, 2021). Neste cenário, as populações instaladas em encostas tornam-se mais vulneráveis a acidentes envolvendo deslizamentos, principalmente em períodos chuvosos, pois além das condições precárias e irregulares dos assentamentos, fragilidade da edificação, a execução de cortes e aterros indevidos, remoção da vegetação, ausência e/ou deficiência dos sistemas de drenagem, deposições de resíduos, entre outros fatores, aumentam a possibilidade de ocorrências destes acidentes (CARVALHO & GALVÃO, 2006).

Damacena et al., (2017) salientam que o cenário de vulnerabilidade vislumbrado pelas ocupações de área de risco costuma ser retratado pelos moradores como única opção, mas que essa visão pode ser considerada simplista, pois transfere não só a responsabilidade por sua posição vulnerável para os residentes, como a uma solução autônoma por uma moradia segura. De acordo com Mattedi & Butzke (2001), estudos mostraram que pessoas que vivem em áreas de risco percebem esses eventos como uma ameaça, porém, não costumam atribuir seus impactos a fatores sociais.

Sob esta ótica, cabe ressaltar a relevância da implementação de ações não estruturais no processo de construção de gestão do risco. Neste sentido, os mapeamentos não devem se limitar somente aos aspectos fisiográficos, mas também é necessário levar em consideração a percepção de riscos da comunidade vulneravelmente exposta, com a finalidade de compreender, identificar comportamentos, estreitar relações, planejar e promover através da gestão participativa uma nova abordagem diante ao enfrentamento do risco.

Um dos maiores desastres de origem geológica no país ocorreu em 2011 na região serrana do Rio de Janeiro. Neste evento foram contabilizados oficialmente 905

mortes, com cerca de 300 desaparecidos, e mais de 50.000 pessoas desabrigadas. Estima-se que foram afetadas, de forma direta e/ou indireta, 1.000.000 de pessoas (DOURADO; ARRAES; SILVA, 2012). Segundo estimativas do Banco Mundial (2012b) as perdas e danos materiais deste evento foram da ordem de R\$ 4,78 bilhões.

Desde então, com a promulgação da Lei Federal nº 12.608, de 2012, que dispõe sobre as diretrizes e os objetivos da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil e a criação do Sistema Nacional de Defesa Civil (SINDEC), a cartografia geotécnica, por meio de mapeamentos de suscetibilidade, risco e aptidão a urbanização, se tornou um instrumento recomendado por essa lei a todos os municípios brasileiros que apresentem áreas com histórico de ocorrência de deflagrações de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas e/ou processos correlatos.

Nos últimos cinco anos houve alguns marcos legais referentes à gestão de risco no país, destacando-se a promulgação da Lei Federal nº 13.465/2017, que indica a necessidade de estudos técnicos e proposição de intervenções visando a prevenção e controle dos riscos para regularização fundiária (Reurb) de núcleos urbanos informais. Porém, cabe ressaltar que esta nova lei impede que edificações em áreas de risco sejam regularizadas, mas não apresenta exigências ao poder público para a mitigação das áreas de risco já ocupadas, ou seja a população vulneravelmente exposta ainda permanece nas mesmas condições. Cabe também destacar o marco legal mais recente, o Decreto nº 10.593, de 24 de dezembro de 2020, que dispõe sobre a organização e o funcionamento do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil, e do Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil, Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil e o Sistema Nacional de informações sobre desastre.

Já em âmbito mundial, as visões sobre gestão de riscos e desastres estão sendo cada vez mais ampliadas e discutidas. O Marco de Sendai para Redução de Riscos e Desastres (DDR) 2015-2030 nas Américas, foi adotado em março de 2015 por representantes de 187 Estados membros da ONU – Organização para as Nações Unidas, inclusive o Brasil, durante a 3ª Conferência Mundial para Redução do Risco de Desastre. O plano global estabelecido pelo Marco de Sendai tem o intuito de apoiar e promover o fortalecimento das governanças sobre a gestão de risco, bem como auxiliar na construção do caráter comunitário em prol da resiliência, para que as

atitudes de resposta e reconstrução sejam cada vez mais eficazes frente aos desastres que possam vir a ser expostos.

A atenuação das mudanças climáticas globais e de eventos extremos quando associadas à complexidade socioambiental pode ser considerada como um dos maiores desafios da humanidade no século XXI. Desta forma, se torna cada vez mais urgente entender os impactos destas mudanças no ambiente, a fim de se estabelecer e aplicar práticas preventivas de gestão de riscos por meio de uma governança mais proativa e menos reativa frente aos riscos e desastres.

No país, normalmente, as ações de prevenções de riscos são gerenciadas pela Defesa Civil, porém o número de municípios que possuem planos de redução de risco atualizados é ainda considerado baixo. Sob esta ótica diversos pesquisadores e profissionais estudam formas de desenvolvimento de novos mecanismos para avaliação de risco, seja de forma qualitativa ou quantitativa, com o propósito de reduzir as perdas de vida e prejuízo socioeconômicos. Contudo, a gestão pública ainda utiliza de poucos conhecimentos técnico-científicos para solucionar tais problemas, principalmente o gerenciamento do uso do solo (SOUZA, 2015).

Neste contexto, procurou-se, neste trabalho, o aprimoramento da metodologia qualitativa proposta pelo extinto Ministério das Cidades (BRASIL, 2007), atual Ministério do Desenvolvimento Regional, através da aplicação de uma abordagem metodológica de caráter quali-quantitativo para classificação de riscos associados à deslizamentos translacionais rasos no município de Além Paraíba, MG. Cabe destacar ainda que o município em questão apresenta expansão urbana desordenada, com diversas áreas antropizadas, em sua maioria sem consideração das características do meio natural e assentamentos construídos em áreas consideradas não edificáveis pela sua posição topográfica e baixa aptidão à urbanização. A metodologia utilizada envolveu a caracterização das propriedades do meio físico relacionados às condicionantes geológico-geotécnicas investigadas na área de interesse, o levantamento das principais interações entre a atividade humana e o meio biótico, e a realização de análises de estabilidade (equilíbrio limite) e de alcance (*runout analysis*) em áreas piloto por meio de análise dinâmicas aplicadas a modelos tridimensionais, com o intuito de compreender os principais mecanismos, bem como promover a

identificação das condições mais favoráveis ao controle das deflagrações de deslizamentos na área de estudo.

1.1 JUSTIFICATIVA E HIPÓTESE

O município de Além Paraíba, MG, apresenta um histórico anual de ocorrências de inundações e deslizamentos, principalmente associados ao tipo translacional raso e quedas e rolamentos de blocos rochosos, normalmente entre os meses de novembro a março, período de elevados índices de precipitações pluviométricas. Como exemplo, destaca-se o evento ocorrido no mês de janeiro de 2012, em que foram registrados mais de 2 mil desabrigados e três vítimas fatais, deixando a cidade parcialmente paralisada por aproximadamente quatro meses.

Ocupações em regiões de encostas estão sempre sujeitas a riscos de deslizamentos, principalmente no caso de assentamentos precários, construídos sem parâmetros de engenharia e desacompanhados, na maioria das vezes, da orientação técnica especializada e de autorizações prévias para construções, por parte do município. Para a avaliação do grau de risco a que estas edificações estão submetidas é necessário a realização de mapeamentos em escalas de detalhe.

Estudar as causas e efeitos, bem como maneiras de estabilizar ou evitar a deflagração desses processos, são formas de contribuir para minimização dos desastres e das possíveis perdas associadas. Nesse sentido, cabe ressaltar que o espaço territorial urbano e rural merece atenção especial no gerenciamento de riscos, visto que alguns locais apresentam diversos fatores que contribuem para a ocorrência de desastres. Apesar da gama de metodologias existentes para a avaliação de risco a deslizamentos, a subjetividade para sua definição ainda prevalece. Por este motivo justifica-se a necessidade de se entender cada vez mais os processos e mecanismos que regem a deflagração dos deslizamentos, com base quantitativa, para que se possa atuar preventivamente, minimizando os impactos ocasionados por esses eventos.

Do exposto, admite-se como hipótese desta pesquisa que a aplicação de um método quali-quantitativo que envolva múltiplos enfoques (tipos de solos mais

suscetíveis, determinação de parâmetros geotécnicos, características do relevo, análises de estabilidade (FS), alcance e quantificação de risco) como ferramenta para gestão de risco, pode contribuir para reduzir a subjetividade na avaliação do risco de deslizamentos – em especial os movimentos de massa translacionais rasos, destacando a importância da análise dos fatores ambientais e deflagradores “*in situ*”, permitindo assim que o produto do mapeamento atenda à necessidade local e seja compatível com a escala reproduzida.

Os produtos deste trabalho visam contribuir para o gerenciamento e planejamento do uso e ocupação do solo, permitindo que a utilização dos resultados sirva como ferramenta de suporte à decisão para determinar prioridades quanto a ações preventivas, planos diretores, planos de contingência e emergenciais para o município, mas que os métodos utilizados nesta pesquisa possam ser aplicados a outros municípios com histórico deste tipo de movimento.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa consiste em avaliar quali-quantitativamente os principais mecanismos de desencadeamento e as condições geológico-geotécnicas mais favoráveis à ocorrência de deslizamentos translacionais rasos na área urbana do Município de Além Paraíba (MG).

Paralelamente ao objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- Setorizar e caracterizar as áreas de risco a deslizamentos translacionais rasos *in situ*;
- Criar um banco de dados georreferenciado em ambiente de Sistema de Informações Geográficas - SIG;
- Hierarquizar qualitativamente o risco geológico-geotécnico na área urbana;
- Avaliar a estabilidade de taludes nas áreas piloto com base em análise determinística por equilíbrio limite;

- Identificar quais os parâmetros geológico-geotécnicos possuem maior correlação com a ocorrência de deslizamentos translacionais rasos;
- Realizar estudos de alcance nas áreas piloto (*runout analysis*) e quali-quantificar o risco.

1.3 ORGANIZAÇÃO DA TESE

O presente trabalho está organizado em sete capítulos. O capítulo 1 consiste na introdução geral do tema e a situação sintetizada do município de Além Paraíba (MG) em relação à eventos de deslizamentos. Apresenta também, a justificativa em conjunto com a hipótese e o objetivo desta tese.

O Capítulo 2 aborda o embasamento teórico-científico de apoio (revisão de literatura) utilizado na pesquisa, os principais conceitos e terminologias para avaliação de risco geológico-geotécnico, além disso, discute sobre a cartografia geotécnica e modelagem de alcance de movimentos de massa.

O Capítulo 3 apresenta a metodologia aplicada a esta pesquisa por meio da apresentação dos materiais e métodos utilizados nas análises quali-quantitativas para a avaliação do risco geológico-geotécnico a deslizamentos translacionais rasos na área de estudo.

O Capítulo 4 apresenta a caracterização da área de estudo, que consiste na sua localização geográfica e geração de mapas em ambiente SIG para definição dos aspectos geoambientais associados a área de interesse. Apresenta ainda o histórico de ocorrências de deslizamentos.

O Capítulo 5 apresenta os resultados e discussões do estudo; a quali-quantificação do risco na área urbana e a investigação das características geológico-geotécnicas em áreas pilotos de alto e muito alto risco, que subsidiaram nas análises de estabilidade de alguns taludes, além da estimativa de alcance.

O Capítulo 6 apresenta as conclusões gerais.

O Capítulo 7 contém as referências bibliográficas e normas utilizadas para a realização desta pesquisa.

A tese apresenta um CD anexo, no qual estão inseridas todas as fichas de campo, perfis de sondagem, KMZ e demais informações coletadas para embasar o estudo, mas que são secundárias ao texto principal da tese.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONCEITOS E TERMINOLOGIAS

Diversos autores têm levantado um dilema conceitual sobre a real definição de desastres. As argumentações atuais admitem que esses fenômenos não podem ser categorizados somente como eventos da natureza, mas também como resultado das intervenções antrópicas realizadas de maneira insustentável sobre o meio ambiente (NAVARVÁEZ, LAVELL, PÉREZ, 2009; FREITAS et al., 2012).

As classificações mais utilizadas nos trabalhos técnico-científicos distinguem os desastres quanto à origem e à intensidade. Quanto à origem (agente causador), os desastres podem ser classificados em naturais ou antropogênicos (humanos). Neste contexto, considera-se como desastre natural todo aquele que tem como constituição um fenômeno natural de grande intensidade, independente da ação humana, como exemplo: chuvas intensas, vendaval, furacão etc. Já os desastres antropogênicos são aqueles referentes às atividades humanas, ocasionados por ações ou omissões, por exemplo: rompimento de barragens, contaminação de rios, ocupações indevidas em áreas de preservação permanente (APP) etc. (ALCÂNTRA-AYALA, 2002; KOBAYAMA et al., 2006; MARCELINO, 2008).

Segundo a conceituação adotada pela *United Nations International Strategy for Disaster Reduction - UNISDR* (2009), a concretização do termo desastre requer um agente detonador como, por exemplo, terremoto, erupções vulcânicas, inundações e outros fenômenos naturais, mas que só se constituem como perigo quando possuem um potencial deflagrador para afetar uma comunidade. Desta forma, o termo desastre pode ser considerado como uma grave perturbação do funcionamento de um sistema social, e este envolve perdas humanas, materiais, econômicas e ambientais de grande extensão, sendo que este impacto pode exceder a capacidade de uma comunidade conviver e/ou arcar com os próprios recursos.

O Quadro 1 apresenta a classificação de desastres naturais adotada pelo *The International Disasters Database - EM-DAT* (s.d.-a).

Quadro 1. Classificação Geral de Desastres Naturais Adotada pelo EM-DAT (S.D.-A)

Subgrupo	Definições	Principais tipos de desastre
Desastres geofísicos	Eventos originados na geosfera	Terremoto, erupção vulcânica, movimento de massa (seco)
Desastres Meteorológicos	Eventos causados por processos atmosféricos de curta duração (de minutos a dias)	Tempestade
Desastres hidrológicos	Eventos causados por alterações no ciclo normal de água e/ou por transbordamento de sistemas hídricos por ação dos ventos	Inundação, movimento de massa (úmido)
Desastres climatológicos	Eventos causados por processos de longa duração (variabilidade climática de intrasazonal a multidecadal)	Temperaturas extremas, secas, incêndios espontâneos
Desastres biológicos	Eventos causados pela exposição de organismos vivos germes e substâncias tóxicas	Epidemias, infestação de insetos, debandada de animais

Para Saito et al., (2015) os desastres são consequência dos modelos de desenvolvimento, e esses processos podem vir a influenciar de forma direta e/ou indireta as condições de vulnerabilidade, por meio das mudanças nas formas de uso do solo e os impactos causados sobre ele. Já Lima (2018) destaca que os desastres naturais têm seu início associado aos fenômenos ou desequilíbrios da natureza, e que estes podem ser ou não agravados pela ação humana, enquanto os desastres considerados de origem antrópica são diretamente relacionados com as interferências do homem com a natureza, de forma repentina, sendo que os danos têm a magnitude relacionada à sua intensidade. O mesmo autor enfatiza que o foco de uma avaliação de risco deve partir dos processos que regem a deflagração dos desastres, tornando assim as análises do meio físico indispensáveis para prever o comportamento das áreas envolvidas.

Dentre esses agravantes pode-se citar, como exemplos, o acelerado processo de urbanização; a ausência do planejamento urbano, que infere na forma de ocupações em áreas impróprias; aumento da variabilidade climática (emissões de gases), entre outros fatores. Nestas situações pode-se referir aos mesmos como “desastres sócionaturais”.

A definição de risco também é um tema amplamente discutido e comumente incompreendido. A UNISRD (2009) o conceitua como a combinação da probabilidade

de ocorrência de um evento e de suas consequências negativas. Veyret (2007), considera que o risco deve ser entendido como um objeto de caráter social, e para que o risco exista o indivíduo ou a sociedade deve ter a percepção de perigo, ameaça ou a possibilidade da ocorrência de um desastre.

Para Nogueira (2002), risco (R) é o produto entre a probabilidade (P) de ocorrer um fenômeno físico (A) com previsão de local, intervalo de tempo, dimensão etc., e os danos ou consequências (C) que são em função da vulnerabilidade (V) das pessoas e/ou bens, e que pode ser modificado pelo grau de gerenciamento (g^{-1}), a Equação 1 traduz a expressão.

$$R = P (fA) \times C (fV) \times g^{-1} \quad \text{(Eq. 1)}$$

Para Rabelo (2010), o risco não deve ser dado como uma fórmula matemática, mas sim, com um sentido de função, relação e ligação. Por exemplo, para as situações de mapeamentos de risco a deslizamentos em assentamentos precários, Granjo (2006) salienta que a leitura do risco não deve estar condicionada apenas aos fatores estruturais, mas que também devem ser considerados os processos sociais que expõe essa população a um maior ou menor grau de risco. Isso significa que através do conhecimento da vulnerabilidade é possível reduzir a exposição da população, melhorando conseqüentemente sua capacidade de resposta e empregando diretrizes em situações preventivas e emergenciais, daí a relevância de se conhecer a ameaça a que uma comunidade está submetida (SAITO & PELLERIN, 2013).

Dentro deste contexto, frente à diversidade de conceitos utilizados em âmbito mundial para a classificação e avaliação de risco, o extinto Ministério das Cidades (BRASIL, 2007), atual Ministério do Desenvolvimento Regional, visando estabelecer uma padronização e elucidar as equipes técnicas que forem trabalhar com mapeamento de riscos, adotou as terminologias-padrão apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2. Terminologias de risco.

Evento	Fenômeno com características, dimensões e localização geográfica registrada no tempo, sem causar danos econômicos e/ou sociais.
Perigo	Condição ou fenômeno com potencial para causar uma consequência desagradável.
Vulnerabilidade	Grau de perda para um dado elemento, grupo ou comunidade dentro de uma determinada área passível de ser afetada por um fenômeno ou processo.
Suscetibilidade	Indica a potencialidade de ocorrências de processos naturais e induzidos em uma dada área, expressando-se segundo classe de probabilidade de ocorrência.
Risco	Relação entre a possibilidade de ocorrência de um dado processo ou fenômeno, e a magnitude de danos ou consequências, sociais e/ou econômicas sobre um grupo ou comunidade. Quanto maior a vulnerabilidade, maior o risco.
Área de risco	Área passível de ser atingida por fenômenos ou 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. Normalmente, no contexto das cidades brasileiras, essas áreas correspondem a núcleos habitacionais de baixa renda (assentamentos precários).

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2007.

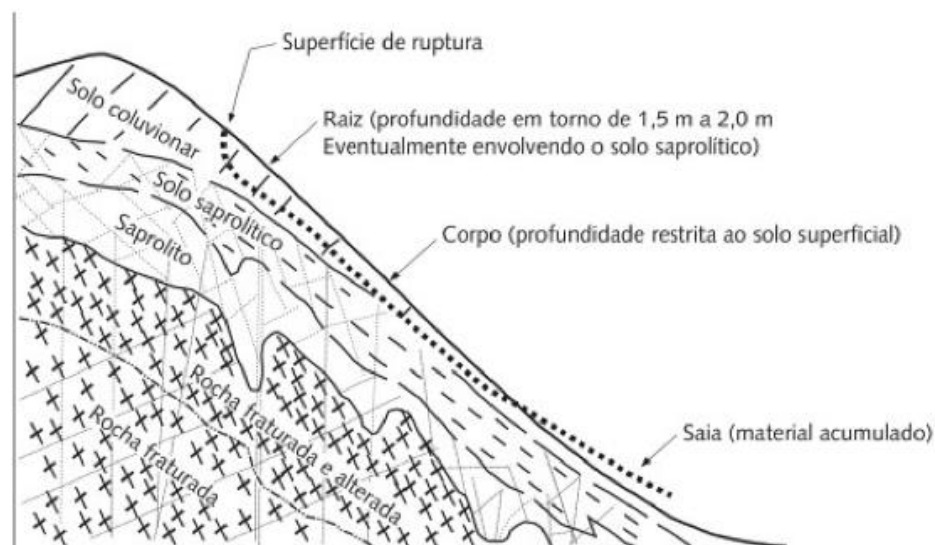
Em 2008, com o objetivo de padronizar uma metodologia que pudesse ser adotada universalmente, o Comitê Técnico Unificado de Deslizamentos de Terra e Taludes Artificiais (JTC1 – *Joint Technical Committee 1 – Landslides and Engineered Slopes*, da ISSMGE - *International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, IAEG - *International Association of Engineering Geology* e ISRM-*International Society of Rock Mechanics*) estabeleceu diretrizes básicas a serem realizadas para mapeamentos de risco através do “Manual para o zoneamento de suscetibilidade de perigo e risco de deslizamento para o planejamento de uso do solo” (MACEDO & BRESSANI, 2013). O manual fornece definições de conceitos e terminologias para uso internacional; tipos e níveis de zoneamento de deslizamentos; orientações dos locais em que são necessários o zoneamento de deslizamentos e o planejamento do uso do solo; níveis de zoneamento e escalas sugeridas para os mapas; orientação requerida para vários tipos de deslizamento; conselhos sobre as qualificações necessárias dos responsáveis pelo zoneamento, orientações sobre

relatórios de zoneamento, bem como planejamento do uso do solo. O JTC-1 também ressalta a necessidade de revisão e atualização dos mapeamentos periodicamente, pois as situações de suscetibilidade, perigo e risco são dinâmicas no que tange aos elementos de risco e interferem conseqüentemente no planejamento do uso e ocupação do solo. Além disso, a metodologia também sugere a realização de investigações mais detalhadas e a utilização de parâmetros quantitativos visando garantir uma melhor qualidade técnica dos mapeamentos.

2.2 DESLIZAMENTOS TRANSLACIONAIS RASOS

Os deslizamentos translacionais rasos são os mais frequentes nas paisagens do Sudeste brasileiro, possuem superfícies planares, as quais são, em geral, condicionadas pela presença de estruturas geológicas (falhas, fraturas etc.), depósitos de encostas, contatos entre solo e rocha e entre horizontes do solo, dentre outros. A Figura 1, apresenta uma seção típica com as diferentes partes de um deslizamento translacional raso.

Figura 1. Seção Típica de um Deslizamento Translacional Raso Planar.



Fonte: Modificado de Santos, (2004); Wolle & Carvalho, 1989; Lopes & Junior, (2015).

Segundo Santos (2004), os deslizamentos translacionais rasos mobilizam quase que exclusivamente o horizonte superior dos solos, logo abaixo das raízes das plantas e tem início na porção superior das vertentes com declividade superior a 30°, podendo evoluir sob a forma de fluxo de detritos que é um movimento de massa de curta duração, alta velocidade e flui em encostas não canalizadas ou fracamente canalizadas com grande potencial destrutivo. Estes tipos de movimento envolvem na maioria dos casos o solo coluvionar que se sobrepõe a um solo residual, este último com características remanescentes da rocha de origem, em que o grande número de fendas e trincas faz com que a condutividade hidráulica seja crescente com a profundidade (Wolle, 1988). Os planos de ruptura encontram-se, na maioria das vezes, em profundidades que variam entre 0,5 m e 5,0 m, e ficam entre o solo coluvionar e o horizonte saprolítico (Fernandes & Amaral, 1996).

A orientação e inclinação da encosta, assim como os parâmetros geológico-geotécnicos, devem ser considerados como fatores atuantes nas condições de estabilidade. O formato da encosta, em planta e perfil, corrobora intrinsecamente para a distribuição de água em períodos de intensidade pluviométrica, sendo que as porções côncavas têm o potencial de concentrar maior volume de água e sedimento, a subida rápida de pressão e, conseqüentemente, a redução da estabilidade em eventos de chuvas intensas (VIEIRA, 2007).

Segundo Selby (1993) as áreas côncavas na paisagem registram em grande parte a presença de material coluvionar, cuja origem está associada a movimentos de massa pretéritos e, em alguns casos, a condições de estabilidade diferentes conforme sua posição na paisagem. As cicatrizes destes processos em áreas declivosas formam cabeceiras de drenagens e o comprimento e área da bacia onde localizam as concavidades que variam inversamente com o gradiente da cabeceira do canal, quando associados a períodos de alta intensidade pluviométrica, acarretam a ocorrência de deslizamentos.

A deflagração de deslizamentos está diretamente relacionada a fatores do meio físico e biótico. Entretanto, a ação humana exerce importante papel nestes processos, favorecendo a ocorrência ou minimizando seus efeitos (TOMINAGA, 2015). Neste caso, as ações antrópicas, como indutoras de deslizamentos translacionais rasos são relativas a atividades de desmatamentos, cortes e aterros construídos sem controle,

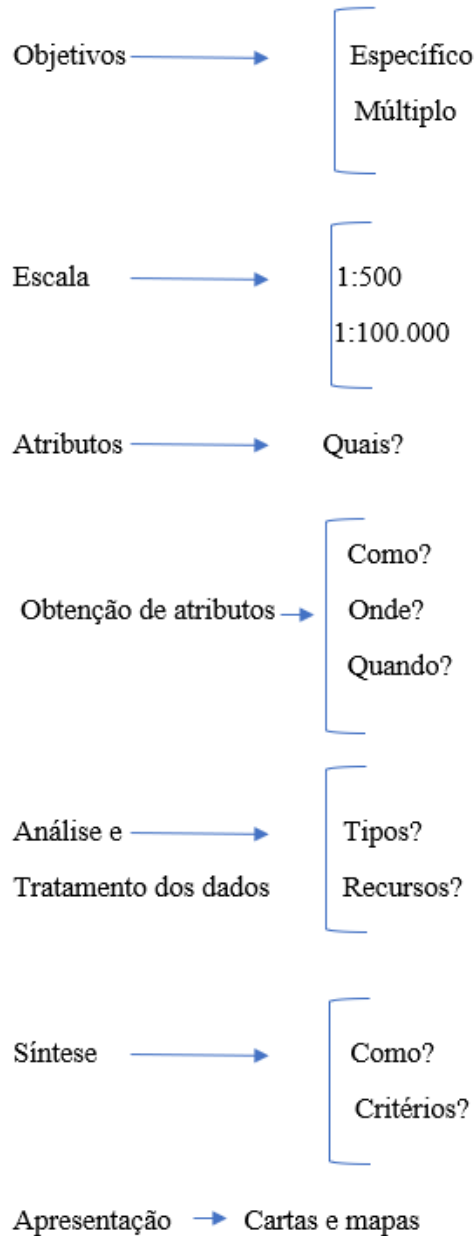
retificação de canais fluviais, lançamento de água não controlada, formação de depósitos tecnogênicos compostos por materiais que apresentam comportamento heterogêneo e de baixa compactação, como lixo, que acabam por interferir no equilíbrio dinâmico da encosta e induzir a deflagração desses processos (WIGGERS, 2013).

2.3 CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA

De acordo com Varnes (1974), um documento cartográfico-geotécnico é elaborado com a finalidade de facilitar a resolução dos problemas referentes à engenharia, planejamento e para qualquer outra necessidade que demande por informações geotécnicas. Segundo preceitos da *International Association of Engineering Geology* (IAEG) e da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE, 1990), a cartografia geotécnica pode ser definida como a ciência aplicada à investigação e solução dos problemas de engenharia e meio ambiente, advindos da interação entre a Geologia e as atividades antrópicas, bem como à previsão e definição de diretrizes com o foco em prevenção e recuperação de acidentes geológicos.

Zuquette & Gandolfi (2004) destacam que a geotecnia, principalmente no que tange ao mapeamento geológico-geotécnico, está diretamente relacionada à vida de muitas pessoas, assim sendo, o conteúdo técnico deve ser relacionado ao tema e de uso direto. Os mesmos autores consideram que os produtos cartográficos podem estar voltados a diferentes objetivos com as mais variadas aplicações metodológicas. Entretanto, o mapeamento geotécnico caracteriza-se como um procedimento designado à investigação geológico-geotécnica, dependente de uma gama de atributos que podem ser empregados a um fim específico ou a multifinalidades. O fluxograma representado pela Figura 2 apresenta as condições a serem consideradas no início de um processo de mapeamento geotécnico.

Figura 2. Condições a serem consideradas previamente ao início do processo de mapeamento geotécnico.



Fonte: Zuquette & Gandolfi, (2004).

Cerri et al., (1996) e Zaine (2000) destacam que o método de detalhamento progressivo aplicado à cartografia geotécnica prevê a realização de trabalhos em três etapas sucessivas, de modo que cada etapa determina os temas e o nível de aprofundamento necessário à fase subsequente, conforme exemplo:

- 1ª etapa (geral), define o mapeamento geológico-geotécnico regional em escala de 1: 50.000 ou 1:25.000, selecionada a partir do mapa geológico-geotécnico regional;
- 2ª etapa (intermediária), consiste no detalhamento e caracterização do meio físico, realizado na etapa anterior, e a identificação dos principais problemas geológico-geotécnicos, apontando as limitações e potencialidades, além da quantificação dos parâmetros de interesse. Nesta etapa as cartas são apresentadas em escalas de 1:25.000 ou 1:10.000 para áreas de adensamento urbano e/ou de expansão urbana;
- 3ª etapa (detalhe): com base na avaliação e caracterização do meio físico geológico e na identificação dos riscos geológico-geotécnicos, selecionados em escala de 1:10.000, são designados os locais para a realização de estudos específicos, que podem envolver a confecção de cartas elaboradas na escala de 1:5000 ou maiores, quando houver necessidade, já que esta fase final objetiva subsidiar a elaboração de projetos de obras de engenharia para os problemas já instalados na área.

Desta forma, a partir da elaboração de cartas geotécnicas é possível expressar, de forma sistemática e em escala de detalhe, as mais variadas características e propriedades geológico-geotécnicas relacionadas à distribuição dos solos e/ou rochas no espaço, bem como as atuais e potenciais deflagrações dos processos que a área em análise possa estar ou vir a ser exposta. A fim de exemplificar, o Quadro 3 apresenta uma síntese dos tipos de cartas geotécnicas, escalas e suas aplicações.

Quadro 3. Síntese dos tipos de cartas geotécnicas e suas aplicações.

Tipos de Carta Geotécnica	Escala	Informações básicas	Finalidade
Carta de suscetibilidade	1:25.000	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Classificação dos terrenos quanto ao grau de probabilidade da deflagração de processos geodinâmicos e hidrodinâmicos; ✓ Zoneamento de unidades de terreno levando em consideração os diferentes tipos e suscetibilidade a processos; ✓ Adequabilidade da ocupação em cada unidade de terreno (zonas favoráveis, aceitáveis e desfavoráveis); ✓ Propostas de ações relacionadas a ocupação, valores ambientais e subsídios para a legislação do município gerais para a legislação municipal; ✓ Indicação de áreas que necessitam de detalhamento para avaliação geotécnica voltada a aptidão a urbanização, devido a restrições a loteamentos, necessidade de obras de infraestrutura, saneamento e drenagem, além de riscos potenciais e desastres naturais. 	Ordenamento territorial
Carta de Aptidão a Urbanização	1: 10.000	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Classificação dos terrenos em unidades geotécnicas (caracterização, potencialidades e limitações; diretrizes para ocupação); ✓ Avaliação de perigo em áreas ocupadas com riscos potenciais frente a desastres naturais. ✓ Normas para loteamento em áreas de média suscetibilidade a processos, necessitando de estudos de análises geotécnicas; ✓ Informações em detalhe para as áreas de expansão a urbanização. 	Planejamento Urbano/ Plano Diretor
Carta de Risco	1:2.000	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Avaliação das condições de vulnerabilidade (grau de perda ou dano de um e/ou um conjunto de elementos, associados a uma ameaça ou processo, com um dada intensidade ou magnitude de ocorrência) das ocupações sob o risco. ✓ Zoneamento/Setorização dos graus de risco (análise de perigo, bem como a vulnerabilidade); ✓ Indicação de Medidas estruturais; ✓ Elaboração de um sistema de gestão de risco alinhado a ações estruturais e não estruturais. 	Planejamento Urbano/ Plano Municipal de Redução de Riscos/ Plano Preventivo p/ Defesa Civil/ Plano de Contingência

Fonte: Adaptado de Diniz & Freitas, 2013, de Souza & Sobreira, 2014 e de Nogueira & Canil (2017).

No Brasil, a elaboração de cartas geotécnicas teve início no Rio de Janeiro, por volta da década de 60. Segundo Souza (2015), principalmente nas últimas três décadas, houve um grande avanço no desenvolvimento de diversos trabalhos e procedimentos metodológicos, por parte de vários grupos de pesquisa das mais variadas instituições acadêmicas (UFRJ, EESC-USP São Carlos, Instituto de Pesquisa Tecnológica de São Paulo – IPT, UFRGS, UNB, UFSC, UFV, UFOP entre outras).

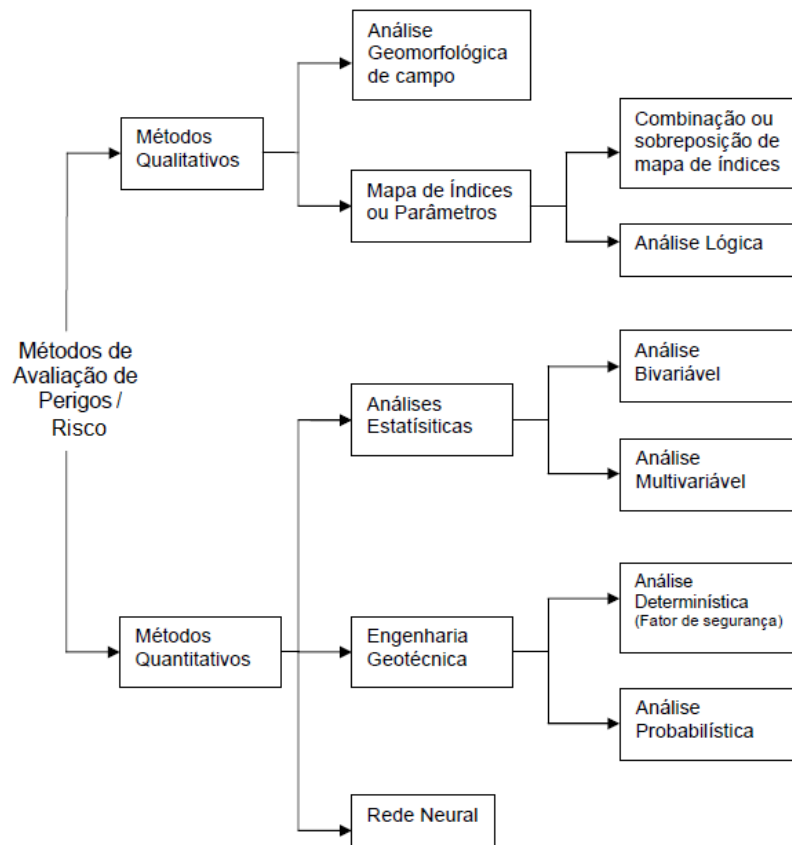
Tominaga et al., (2004) destacam que várias destas pesquisas, mesmo que de caráter acadêmico, tiveram suas aplicações em instrumentos diversos, tais como, planos diretores, zoneamentos de áreas sujeitas à ocorrência de eventos perigosos, zoneamentos ambientais, EIA- Estudo de Impactos Ambientais, RIMA- Relatório de Impacto Ambiental, avaliação de riscos geoambientais etc. Já as experiências de elaboração de cartas geotécnicas de risco associadas aos movimentos de massa surgiram apenas no final da década de 1980, com as pesquisas de Prandini et al., (1987) e Sobreira (1989). A partir desses trabalhos pilotos evidenciou-se a importância das cartas de risco geológico-geotécnico como ferramenta fundamental para as ações de gestão e redução das consequências dos acidentes relacionados a esse tipo de evento (CERRI & AMARAL, 1998; TOMINAGA, 2015).

Souza (2015) destaca que, embora grande parte da demanda relacionada ao tratamento de situações de risco nos municípios brasileiros esteja associada diretamente a políticas públicas de habitação, planejamento e controle urbano, é imprescindível a adoção de práticas de gestão aplicadas aos mapeamentos de risco geológico-geotécnico em escala adequada. Os mapeamentos de risco dão o direcionamento para as ações de proteção e defesa civil, uma vez que eles descrevem o processo que pode ocorrer e qualificam em graus de risco, indicando a fragilidade do local. Porém, estes mapeamentos são estáticos, ou seja, dependendo da dinâmica de ocupação de um município, há rápida desatualização e, muitas vezes, um período relativamente longo até que seja feita a atualização do mapeamento de risco (PRIETO, 2018). Neste sentido, cabe salientar que as equipes que integram núcleos de Defesa Civil nos municípios brasileiros são, em geral, de pequeno porte, e muitas das vezes não contém um corpo técnico especializado e/ou qualificado para lidar com as situações de inspeções e monitoramento. Entretanto, mesmo com essas

dificuldades, o mapeamento de risco é indispensável, como forma de prevenir e mitigar os riscos e/ou danos associados aos riscos geológico-geotécnicos.

Aleotti & Chowdhury, (1999) e Tominaga (2007) elaboraram um modelo esquemático dos principais métodos de avaliações de riscos/perigos de deslizamento, identificados como métodos qualitativos e quantitativos, Figura 3.

Figura 3. Classificação de métodos de avaliação de perigo / risco à deslizamentos



Fonte: Adaptado de Aleotti & Chowdhury, (1999); Tominaga, (2007).

Os métodos qualitativos, também chamados de métodos heurísticos, podem ser elaborados através de avaliações de campo ou com base em informações mapeadas. Estes são baseados no conhecimento e opiniões de especialistas experientes na temática, os quais atribuem notas e pesos para determinação de indicadores que irão subsidiar a classificação dos mapeamentos. Já os métodos quantitativos ou semiquantitativos podem ser realizados através de avaliações estatísticas, determinísticas, probabilísticas ou redes neurais artificiais, em que são determinados indicadores, através de valores numéricos, normalmente baseados em

cálculos de estabilidade de taludes, com a finalidade de demonstrar o fator de segurança da área analisada (CEPED/RS, 2016; TOMINAGA, 2007). Essas metodologias têm sido predominantemente utilizadas por diversos autores da comunidade científica, tais como Pereira et al., (2008); Varanda et al., (2008); Faria e Filho., (2010); Mendonça et al., (2010); Nogueira et al., (2011); Alheiros (2011); Macedo et al., (2011); Roque (2013); Souza (2015) e Assis (2017), sendo as cartas geotécnicas importantes instrumentos para o gerenciamento de risco, uso e ocupação do uso.

2.4 AVALIAÇÃO DE ALCANCE DE MOVIMENTOS DE MASSA (*RUNOUT ANALYSIS*)

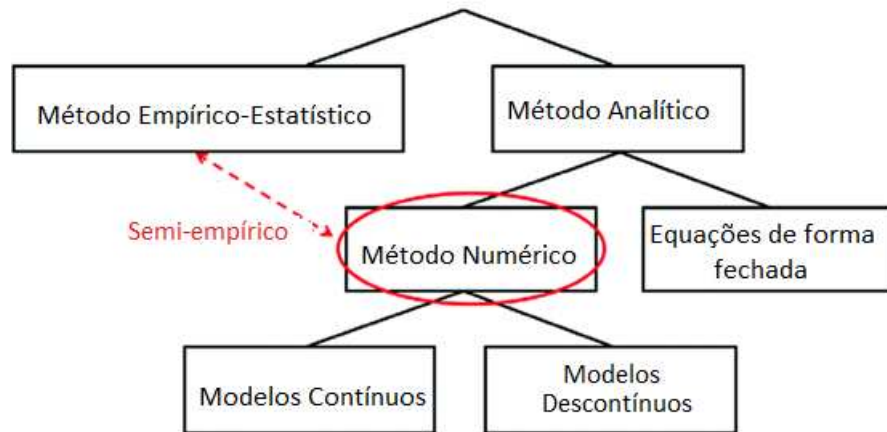
Segundo Hungr et al., (2005) desde os primeiros trabalhos de Heim (1932) e Terzaghi (1950), pesquisadores têm se esforçado para entender e melhorar as definições de previsibilidade do alcance de movimentos de massa, porém, apesar dos avanços nas simulações utilizando métodos numéricos, a previsão do início do movimento, que é extremamente rápido, bem como a sua propagação, ainda é muito difícil.

A previsão de alcance de um material a ser mobilizado, denominada “*runout analysis*”, e seus impactos no ambiente podem ser avaliados tanto de forma qualitativa - baseado na experiência do avaliador, como quantitativa, reconhecidas como empíricas ou analíticas (MCDUGALL, 2006). Segundo Valverde Sancho (2016), devido à complexidade destas análises surgiu a necessidade de utilizar ferramentas compostas de modelos numéricos para estudar e simular os comportamentos destes movimentos.

De acordo com McDougall (2016), as análises de *runout* podem ser agrupadas em duas categorias (Figura 4): 1) Métodos empírico-estatísticos dependentes de correlações geométricas estatísticas e 2) Métodos analíticos, que necessitam da realização de modelagem baseada em processos. Os modelos contínuos e descontínuos também se enquadram nos métodos analíticos. Dentro desta subcategoria, os modelos numéricos chamados híbridos “semiempíricos” são dependentes de calibrações de parâmetros, sendo mais comuns do que os modelos

mecanísticos, que são realizados através de estimativas independentes das propriedades dos materiais avaliados.

Figura 4. Métodos de análise de *runout* disponíveis.



Fonte: Adaptado de McDougall, (2016) (Tradução própria).

Pastor et al., (2012) enfatizam que as modelagens de alcance de deslizamentos tendem a confiar fortemente no empirismo, pois ainda não há leis universais que regem as modelagens numéricas. Para GEO-RIO (2000), a determinação da razão entre a distância percorrida por um movimento de massa, o volume e a área da geometria, ainda é um desafio, devido à diferença entre a área de ruptura real e a área resultante do movimento total do material.

Segundo Polanco (2010), apesar de ser uma área ainda pouco estudada na literatura nacional e internacional, com algumas poucas pesquisas já realizadas, é possível estimar parâmetros a partir do equacionamento dos movimentos de massa com o uso de relações empíricas, em função das características da geometria de um talude, tais como a inclinação, o ângulo do talude e a altura. Assim, os métodos empírico-estatísticos são considerados os mais práticos, por se basearem em correlações geométricas simples. Como exemplo, cita-se a correlação inversa entre o volume do deslizamento e o ângulo de alcance ou "*fahrböschung*" (o ângulo da linha que conecta a crista da fonte com a ponta do depósito) (MCDUGALL, 2016).

Guo et al., (2014) aplicaram o método empírico-estatístico em pesquisa e ilustram o perfil e os parâmetros geométricos de um deslizamento, representado pela

Figura 5, em que o perfil longitudinal é obtido a partir da utilização de um perfil topográfico, no qual:

θ = o ângulo do talude, θ , é a inclinação média da face do talude que contém o alcance do deslizamento;

h = a altura do talude, é a diferença de elevação da crista do talude em corte com o pé do talude;

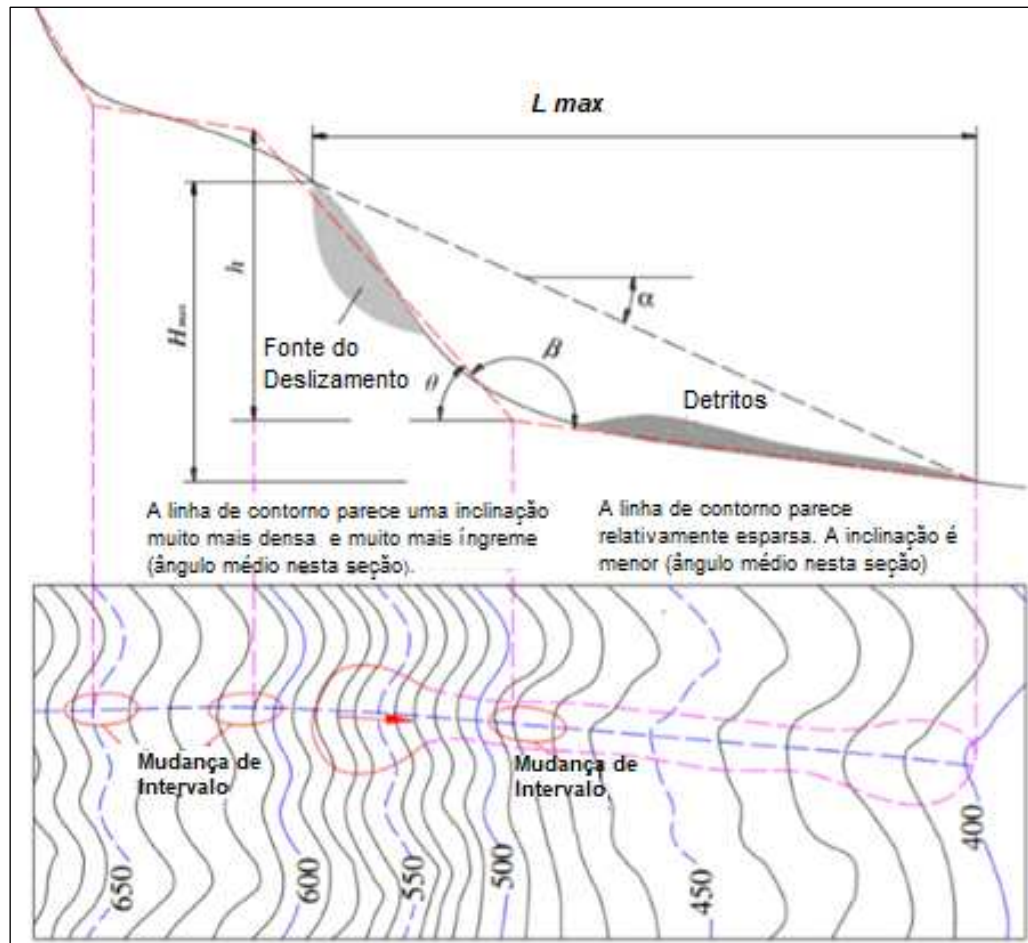
L max = o comprimento da massa deslocada, corresponde a distância horizontal entre a crista da fonte do deslizamento e a porção distal do material deslocado;

H max = a altura do deslizamento, é a diferença entre a altura do deslizamento e a altura da porção distal do material deslocado no deslizamento;

α = o *Fahrböschung* ou ângulo correspondente à distância de viagem da massa deslocada (GUO et al., 2014);

β = ângulo de transição do talude, é o ângulo entre a face do talude e o plano onde se inicia a deposição do deslizamento.

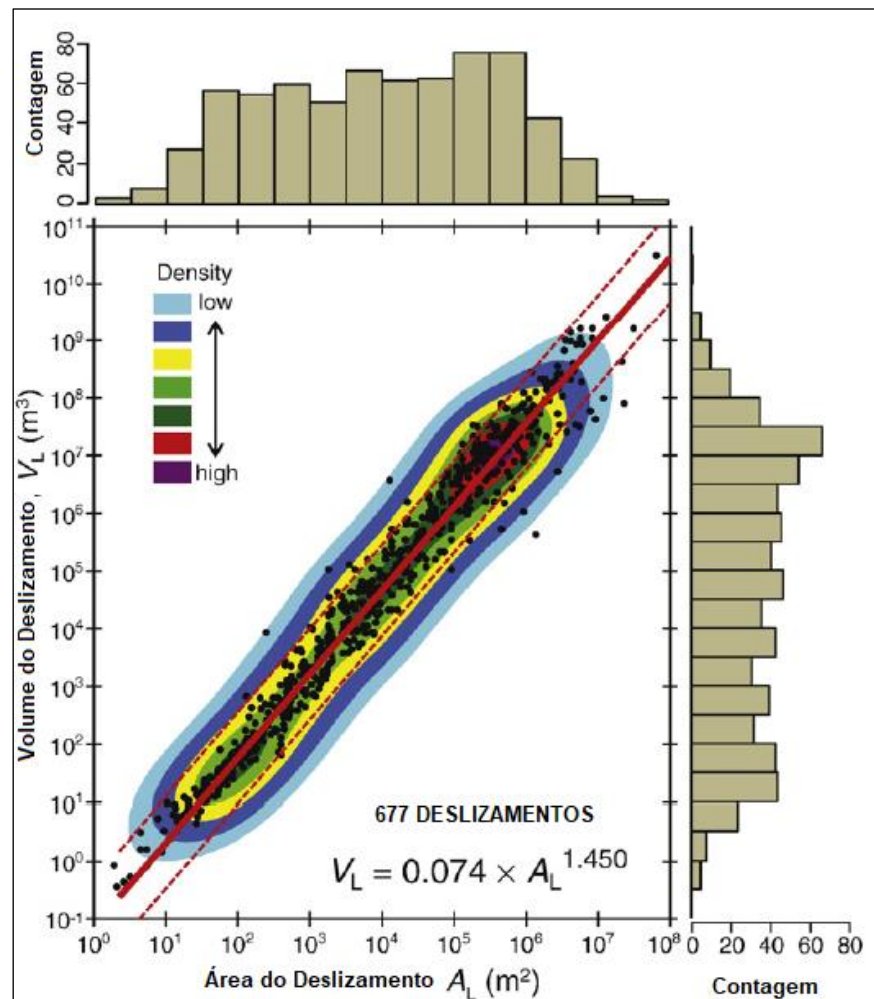
Figura 5. Desenho esquemático dos parâmetros geométricos de um deslizamento



Fonte: Adaptado de Guo et al., (2014).

Guzzetti et al., (2009) estabeleceram uma relação empírica a partir de um inventário com 677 tipos de deslizamentos em encostas, cujo objetivo foi correlacionar a área (AL) e o volume (VL) de um deslizamento. Os autores concluíram que, devido ao fato dos deslizamentos ocorrerem em variados ambientes fisiográficos e climáticos, a relação entre VL e AL pode ser considerada independente da configuração fisiográfica do ambiente. A Figura 6 apresenta um modelo das medidas empíricas obtidas da literatura.

Figura 6. Medidas empíricas de 677 tipos de deslizamentos em encostas obtidos da literatura



Fonte: Guzzetti et al. (2009).

Já os métodos analíticos são baseados na solução de um sistema de equações com soluções fechadas ou de modelagens numéricas. Os modelos mais simples são fundamentados na teoria de trabalho e energia, em que as deformações internas e a energia de dissipação são desconsideradas, tratando o fenômeno como uma massa concentrada (*“lumped mass”*) (VALVERDE SANCHO, 2016). Modelos como estes já foram utilizados em diversas pesquisas como as de Perla et al., (1980), McEwen e Malin (1989), Salm (1993), Voellmy (1955).

Outros métodos descontínuos que se baseiam em elementos discretos também têm sido utilizados para a realização de modelagens em 2D e 3D de movimentos de massa, porém para análises tipo fluxo de detritos, o método contínuo tem se

destacado, pelo fato de considerar a deformação interna dos elementos, baseado na teoria da hidrodinâmica (VALVERDE SANCHO, 2016).

Para McDougall (2006) a modelagem dos meios contínuos é vista como a mais eficaz, quando comparada aos métodos empíricos tradicionais, pois leva em consideração a geometria e o mecanismo do fluido. Os modelos com base na dinâmica dos meios contínuos podem ser classificados de três formas: i) modelos através de topografia 2D versus 3D; ii) modelos euleriano versus lagrangiano e iii) modelos de parâmetros medidos versus modelos com parâmetros calibrados.

Diversas ferramentas computacionais baseadas na dinâmica dos meios contínuos têm sido desenvolvidas. Como exemplo, destacam-se a utilização dos programas e pesquisadores que os aplicaram à modelagem de movimentos de massa, conforme demonstrado no Quadro 4.

Quadro 4. Lista de modelos numéricos selecionados de deslizamento de terra que estão atualmente disponíveis ou em desenvolvimento.

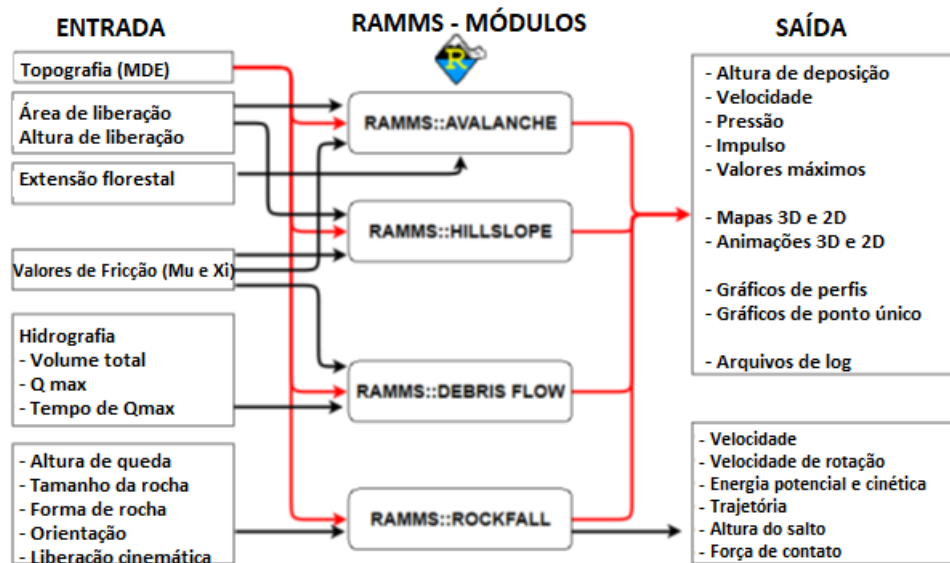
Modelo - Software	Método	Referência Bibliográfica
DAN	2D, contínuo	Hungr (1995)
MADFLOW	3D, contínuo	Chen and Lee (2000)
Sassa-Wang	3D, contínuo	Wang and Sassa (2002)
TOCHNOG	3D, contínuo	Roddeman (2002)
TITAN2D	3D, contínuo	Pitman et al., (2003)
SHALTOP – 2D	3D, contínuo	Mangeney-Castelnau et al., (2003)
SCIDDICA S3-hex	3D, celulares autônomos	D'Ambrosio et al., (2003)
Vockflow	3D, contínuo	Kelfoun and Druitt (2005)
RASH3D	3D, contínuo	Pirulli (2005)
DAN 3D	3D, contínuo	MCDougall (2006)
3dDMM	3D, contínuo	Kwan and Sun (2007)

FLO- 2D	3D, contínuo	FLO-2D software Inc (2007)
FLATModel	3D, contínuo	Medina et al., (2008)
PFC	3D, descontínuo	Poisel and Preh (2008)
Wang	2D, contínuo	Wang (2008)
MassMov2D	3D, contínuo	Begueria et al., (2009)
GeoFlow-SPH	3D, contínuo	Pastor et al., (2009b)
RAMMS	3D, contínuo	Christen et al., (2010)
r.avalanche	3D, contínuo	Merilli et al., (2012)
Flow-R	3D, algoritmo de espalhamento	Horton et al., (2013)
D-Claw	3D, contínuo	Iverson and George (2014)
r.avafLOW	3D, contínuo	Mergili et al., (2017)

Fonte: Adaptado de McDougall, (2016).

O software RAMMS (*Rapid Mass Movements Simulation*) modelo de simulação numérica 3D, determinado para ser utilizado na execução desta pesquisa, foi escolhido por apresentar uma interface que permite combinar métodos de solução numérica com recursos de entradas que corroboram para uma maior assertividade na avaliação de alcance, além disso produz distância de saída, alturas de fluxo, velocidades de fluxo e pressão de impacto de deslizamentos. Este software, é desenvolvido pelo Centro de Pesquisa de Avalanches de Neve do Instituto Federal da Suíça (WSL/SLF) e inicialmente foi feito para a modelagem de avalanches de neve, porém o instituto, visando corroborar para o avanço das pesquisas de áreas suscetíveis a movimentos de massa do tipo rápido, desenvolveu outros módulos aplicáveis a modelagens de quedas de blocos rochosos, corridas de detritos e deslizamentos rasos em encostas. A Figura 7 apresenta os módulos, parâmetros de entrada e os produtos de saída disponibilizados pela aplicação deste software.

Figura 7. Módulos aplicados ao software RAMMS



Fonte: Adaptado de Christen et al. (2012) (Tradução própria).

O modelo implementado no software RAMMS é baseado nos conceitos definidos por Voellmy (1955) e Salm (1966), com uma versão mais atualizada do modelo obtida por Salm et al. (1993). O modelo divide a resistência de fricção em duas partes, (a) um atrito seco do tipo Coulomb (μ) escalado com (b) tensão normal (N), e a velocidade quadrática de arraste (turbulência viscosa), ξ .

Desta forma, a lei de fricção é definida com a Equação 2 a seguir:

Lei de fricção Voellmy.

$$S = \mu\rho Hg\cos(\theta) + \frac{\rho g U^2}{\varepsilon'} \quad (\text{Eq.2})$$

Na qual:

μ - coeficiente de atrito seco tipo Coulomb (adimensional);

ρ – densidade (kg/m^3);

H - altura do fluxo (metros);

g - aceleração da gravidade (m/s^2);

θ - ângulo da inclinação (graus);

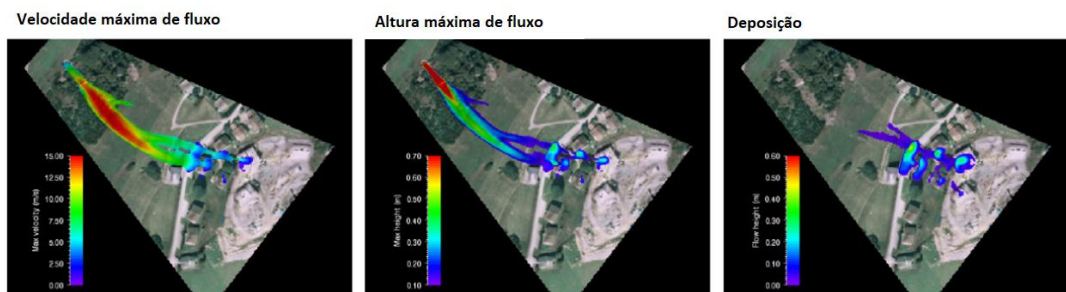
U - vetor da velocidade do fluxo nas direções x e y (m/s^2);

ξ - fricção turbulenta viscosa (m/s^2).

A tensão normal na superfície de corrida, $\text{phgcos}(\emptyset)$, é resumida em um único parâmetro N . Segundo Correa (2018), os valores de μ (expresso como tangente do ângulo de atrito interno) normalmente variam entre 0,05 e 0,4. Tipicamente, valores baixos de ξ ($100 - 200 \text{ m/s}^2$) são relatados para fluxos granulares, enquanto os valores relativamente altos de ξ ($200 - 1000 \text{ m/s}^2$) são associados a fluxos mais viscosos, com menor quantidade de detritos de maiores dimensões e granulometrias, como blocos rochosos.

A escolha de parâmetros de fricção requer calibração cuidadosa do modelo e se faz necessária a utilização de parâmetros de referência como dados de campo, fotografias aéreas com as cicatrizes (zonas de *runout*), estimativas ou medições de velocidades de fluxo e altura de fluxo (Figura 8), bem como parâmetros geológico-geotécnicos referentes à composição do material.

Figura 8. RAMMS: Simulação de HILLSLOPE (Acletta, Suíça) representando a velocidade máxima de fluxo, máxima.



Fonte: Chirsten et al., (2012).

No RAMMS Debris Flow a condição inicial de uma simulação é fornecida pela definição de uma área de liberação. A área de liberação e uma determinada altura inicial definem o volume de liberação. Todo o volume flui sob aceleração da gravidade. De acordo com Barlet et al. (2013) o método de entrada no software indicado para deslizamentos rasos é o de fluxos não canalizados, que considera uma área de liberação de bloco com altura determinada, enquanto para fluxos canalizados é recomendável a utilização por hidrogramas de entrada.

No RAMMS, um projeto é definido para uma região de interesse, em que um ou mais cenários podem ser analisados. Os dados básicos de entrada são os modelos digitais de elevação em formato ASCII, parâmetros de fricção, áreas de liberação, domínio de cálculo, hora de término ou intervalo de tempo, os quais podem ser alterados para cada cenário. A definição das áreas de liberação e alturas de liberação tem um impacto muito forte nos resultados das simulações. Portanto, recomenda-se o uso de informações de referência como fotografias aéreas, mediação de GPS ou mapas de campo para estabelecer uma delimitação coerente das áreas de liberação. Cabe ressaltar ainda que esta delimitação deve ser realizada por pessoas com expertise em relação à situação topográfica, características geológico-geotécnicas da área de investigação e meteorológica, quando aplicável o método por hidrograma.

Alguns trabalhos empregando o RAMMS na modelagem em âmbito nacional e internacional vêm sendo realizados, e apresentaram resultados satisfatórios em comparação aos cenários reais, entre estas pesquisas pode-se citar: RICKENMANN et al., 2006; GRAF et al., 2009; LOUP et al., 2012; GRAF et al., 2013; RAÏMAT et al., 2013; CONTERATO, 2014; TOBLER et al., 2014; FRANK et al., 2015; FREKHAUG, 2015; FAN et al., 2017; GRAF; MCARDELL, 2011; HUSSIN et al., 2012; RAMMS, 2013; VALVERDE SANCHO, 2016; CORREA, 2018.

É importante salientar, diante da complexidade e gama de metodologias que vem sendo desenvolvidas para previsibilidade do alcance de um deslizamento que, para que se possa evitar erros, é necessário realizar a escolha criteriosa do modelo dinâmico e parâmetros mais adequados aos taludes em estudo. Cada técnica analítica exige verificação, calibração e cuidados em relação aos trabalhos de campo, para que se possa entrar com os parâmetros de resistência e geometria mais assertivos, a fim de demonstrar de forma mais próxima a realidade de um alcance, permitindo quantificar a área de abrangência.

3. METODOLOGIA

3.1. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1.1 MÉTODO DE AVALIAÇÃO QUALITATIVA PARA O MAPEAMENTO DO RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO A DESLIZAMENTOS

Para identificação dos processos de instabilização e elaboração do mapa de risco geológico-geotécnico, foi realizada a setorização do risco em que adotou-se, neste trabalho, a metodologia proposta pelo extinto Ministério das Cidades (atual Ministério do Desenvolvimento Regional) e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT (BRASIL, 2007). O método qualitativo proposto requer expertise do avaliador para estimar a probabilidade e as possíveis consequências em virtude da ocorrência de eventos destrutivos. A avaliação é expressa em termos literais, como risco muito alto (R4), alto (R3), médio (R2) ou baixo (R1). A definição e análise da área de abrangência do mapeamento proposto nesta pesquisa, bem como os fatores físicos, ambientais e a vulnerabilidade são apresentadas nos próximos tópicos.

3.1.1.1 DEFINIÇÃO DAS ÁREAS DE MAPEAMENTO

Os limites cartográficos do mapeamento foram definidos junto às equipes técnicas do município, após a análise dos dados históricos de ocorrências de movimentos de massa, adotando-se como referência os limites de toda a área urbana e as áreas com suscetibilidade alta. Os mapas que foram empregados para o mapeamento da área urbana foram confeccionados na escala 1:2.000. A delimitação dos setores de risco geológico-geotécnico ocorreu, também, com o auxílio de fotos oblíquas obtidas durante as atividades de campo.

3.1.1.2 IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DE RISCO

Na etapa de identificação e mapeamento de risco, primeiramente foi necessário realizar o reconhecimento preliminar do meio físico da área urbana, por meio de vistorias em alguns pontos previamente escolhidos em uma malha regular, compatível com a escala do trabalho, para verificação das tipologias de processos geodinâmicos e análise dos fatores condicionantes (Quadro 5).

Quadro 5. Fatores condicionantes, agentes deflagradores e indícios de movimentação que devem ser observados durante a atividade de campo / mapeamento.

Fatores condicionantes do risco geológico-geotécnico	
Geologia Litotipo presente; Perfil de alteração; Presença de formações superficiais; Presença de estruturas planares / descontinuidades; Permeabilidade dos materiais.	Declividade; Altura do corte / encosta; Distâncias da base e da crista da encosta; Relação altura x afastamento.
Relevo Forma e extensão da encosta; Perfil transversal do talvegue; Posição da área no perfil da vertente; Posição da moradia em relação ao curso d'água (distância e forma dos meandros); Regime do escoamento do curso d'água e posição na bacia hidrográfica;	Vegetação Presença de vegetação; Porte (árvores ou vegetação rasteira, por exemplo); Extensão da cobertura vegetal.
	“Formações antrópicas” Presença e espessura de aterros / bota-fora; Presença e espessura de lixo; Extensão das camadas.
Agentes Potencializadores	
Lançamento de água servida / esgoto; Fossas; Tubulações rompidas; Infiltrações; Cortes; Aterros (bota-fora); Lixo / entulhos;	Bananeiras; Inexistência ou insuficiência de infraestrutura urbana (esgoto, drenagem, pavimentação); Lançamento inadequado de redes de drenagem (concentração de água).
Indícios de Movimentação	
Trincas no terreno; Trincas na moradia; Degraus de abatimento; Cicatriz de deslizamento; Dolinas; Portes, árvores, cercas inclinadas;	Estruturas deformadas (muros embarrigados, tombados); Elevação do nível da água e turbidez, no caso de inundação.

Fonte: Brasil, (2007).

Posteriormente foi feita a solicitação de informações dos registros de ocorrências de deslizamentos já ocorridos no município junto à Defesa Civil. Realizou-se então uma análise dos principais pontos/áreas de risco geológico, bem como uma

avaliação da vulnerabilidade preliminar dos assentamentos urbanos precários e demais áreas afetadas a serem mapeadas. Por conseguinte, iniciaram-se as atividades de setorização através do levantamento geológico-geotécnico via vistoria das áreas/edificações na escala de detalhe utilizando-se de cadastramento com auxílio de ficha de campo (*check list*) (Quadro 6), em que foram observados a tipologia dos processos, abrangência e os materiais passíveis de mobilização, bem como a vulnerabilidade dos elementos expostos.

Quadro 6. Ficha Cadastral para o Mapeamento e Gerenciamento de Grau de Risco

FICHA DE CAMPO	
Município: Além Paraíba – MG	Bairro:
Equipe:	Data da Avaliação:
Denominação do Setor:	Coordenadas (GPS):
Referências:	
Caracterização do Setor de Risco	
Tipologia do Uso e Ocupação do Solo:	
Padrão Construtivo:	
Abastecimento de Água:	
Esgotamento Sanitário:	
Sistema de Drenagem Superficial:	
Sistema Viário:	
Ambiente morfológico:	
Inclinação / declividade:	
Substrato Rochoso (Litologia):	
Grau de Alteração do solo/rocha:	
Famílias de descontinuidades (estruturas):	
Depósitos de Cobertura:	
Agentes Potencializadores:	
Indicativos de Movimentação:	
Descrição do Processo Geodinâmico	
Tipo:	
Materiais Envolvidos:	
Dimensões previstas:	
Descrição Complementar:	
Grau de Risco:	Número de domicílios:
Há necessidade de ações emergenciais? () NÃO () SIM	
Observações (incluindo descrição de fotos obtidas no local)	

Fonte: Souza, (2016)¹

¹ SOUZA, L. E. Plano Municipal de Redução de Riscos de Mariana, MG, 2016. Relatório de pesquisa. Não publicado.

As informações obtidas nos levantamentos de campo foram transpostas para uma base de dados em ArcGis®, e assim foi possível realizar a delimitação dos setores de risco com a atribuição do grau de probabilidade de ocorrência de processo de instabilização, com base nos critérios de hierarquização utilizado na pesquisa (Brasil, 2007) sendo R1: (R1) Baixo risco, (R2) Médio Risco, (R3) Alto Risco e (R4) Muito Alto Risco (Quadro 7). Além disso, o mapeamento também contemplou a avaliação das consequências potenciais expressa no número de edificações passíveis de serem afetadas e o número de famílias vulneráveis.

Quadro 7. Critérios para hierarquização do grau de risco com base na metodologia do Ministério das Cidades.

Grau de Probabilidade	Descrição
<p>R1 Baixo risco</p>	<p>1. Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno etc.) e o nível de intervenção no setor é de nenhuma potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos.</p> <p>2. Não observa (m) sinal/feição/evidências (s) de instabilidade. Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens.</p> <p>3. Mantidas as condições existentes não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período compreendido por uma estação chuvosa normal.</p>
<p>R2 Médio risco</p>	<p>1. Os condicionantes geológico-geotécnico predisponentes (inclinação, tipo de terreno etc.) e o nível de intervenção no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos.</p> <p>2. Observa-se a presença de algum (s) sinal/feição/evidências (s) de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porém incipiente (s). Processo de instabilização em estágio inicial de desenvolvimento.</p> <p>3. Mantidas as condições existentes, é reduzida a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</p>
<p>R3 Alto Risco</p>	<p>1. Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (inclinação, tipo de terreno etc.) e o nível de intervenção no setor são de média potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos.</p> <p>2. Observa-se a presença de significativo (s) sinal/feição/evidência (s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes etc.) Processo de instabilização em pleno desenvolvimento, ainda sendo possível monitorar a evolução do processo.</p> <p>3. Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</p>
<p>R4 Muito Alto</p>	<p>1. Os condicionantes geológico-geotécnico predisponentes (inclinação/tipo de terreno etc.) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos.</p> <p>2. Os sinais/feições/evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em edificações ou em muros de contenção, arvores postes inclinados, cicatrizes de deslizamentos, feições erosivas, proximidade da moradia em relação a margens de córregos etc.) são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude. Processo de instabilização em avançado estágio de desenvolvimento.</p> <p>3. Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</p>

Fonte: Brasil, (2007).

3.1.2 MÉTODOS DE AVALIAÇÕES QUANTITATIVAS

Para a realização da avaliação quantitativa foram selecionadas quatro áreas-piloto classificadas como de alto e muito alto risco a deslizamentos translacionais rasos identificados na etapa de metodologia qualitativa. A definição destes setores também baseou-se no histórico de ocorrências no período chuvoso no ano de 2012, documentados através de fotografias aéreas, conhecimento da área de abrangência do atingimento e, de forma complementar à avaliação, foram utilizados os resultados das análises de estabilidade para estes taludes, o que permitiu entender as seções críticas, inserí-las como entrada para definição da área de potencial ruptura, bem como a inserção dos volumes de solos ainda passíveis de serem mobilizados.

3.1.2.1 INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS DE CAMPO - SONDAGEM SPT

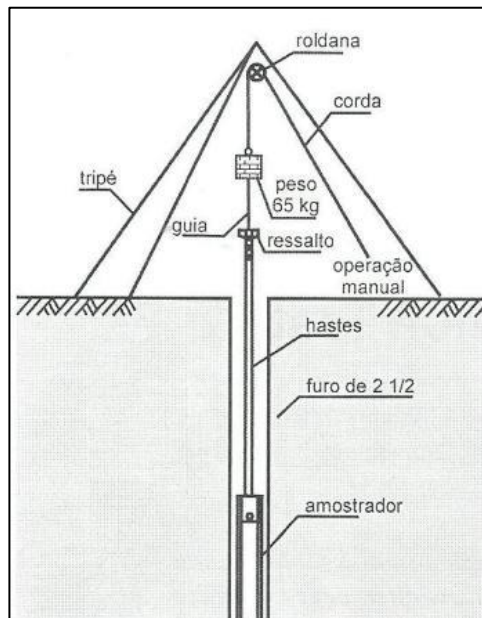
Após um extenso trabalho de revisão e busca de informações junto à Prefeitura de Além Paraíba foi possível reunir e avaliar um total de 136 furos de sondagens diretas de simples reconhecimento do solo relacionadas a projetos de contenção elaborados, todos embasados nas normas vigentes no país; dentre elas as preconizadas pela ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, e pela ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, mais precisamente a norma NBR 6484: Execução de sondagens de simples reconhecimento dos solos – Método de Ensaio, e às eferentes aos ensaios, sendo estas:

- NBR 6502 - Rochas e solos – Terminologia;
- NBR 8036 - Programação de sondagens de simples reconhecimentos dos solos para fundações de edifícios - Procedimento;
- NBR 9603 - Sondagem à trado;
- NBR 13441 - Rochas e Solos – Simbologia;
- NBR 9604 - Abertura de poço trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas.

Com o objetivo de se ampliar o conhecimento sobre as características dos terrenos ao longo da área de estudo, a classificação das camadas do subsolo foi obtida por meio de ensaios SPT – Standard Penetration Test, realizados de acordo com norma ABNT NBR 6484 (2001) em pontos específicos de três áreas pré-classificadas como de alto e muito alto risco pelo mapeamento qualitativo. Foram executados, no total, 7 furos de sondagens diretas de simples reconhecimento do solo, em que foi possível identificar de forma táctil-visual as camadas do material, o nível d'água (NA), e definir o perfil geológico-geotécnico do subsolo para posterior classificação dos solos investigados em função dos valores NSPT.

Os resultados obtidos compuseram posteriormente seções geológico-geotécnicas de análise de estabilidade de alguns taludes, a fim de avaliar o comportamento destas áreas quanto a possíveis deflagrações a deslizamentos. A Figura 9 exibe as ilustrações esquemáticas do ensaio SPT e uma foto de representação do trabalho de investigação de campo realizada em Além Paraíba.

Figura 9. (a) Ilustração do Ensaio SPT; (b) Representação do Ensaio SPT em campo realizado em Além Paraíba (MG).



Fonte: Schnaid, (2000).



Fonte: Própria autora.

3.1.2.2 ENSAIOS PARA A CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DOS SOLOS

3.1.2.2.1 AMOSTRAGEM DE CAMPO

Para a caracterização geológico-geotécnica dos solos em laboratório foram realizadas coletas de amostras indeformadas representativas de solos residuais jovens, solos de transição e solos residuais maduros para três áreas piloto, conforme Norma ABNT/NBR 9604/86.

3.1.2.2.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

Os ensaios geotécnicos laboratoriais foram executados no laboratório de Geotecnia do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa visando a determinação dos índices físicos, bem como as propriedades geotécnicas, a saber: granulometria, conforme ABNT NBR 7181 (1984); Umidade natural (*h*) para solos argilosos conforme ABNT NBR 6457 (1986); Limite de Liquidez (*LL*) para solos argilosos, conforme ABNT NBR 6459 (1984); Limite de plasticidade (*LP*), para solos argilosos, conforme ABNT NBR 7180 (1984); e determinação da massa específica, conforme ABNT NBR 6508 (1984).

3.1.2.2.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO

Os ensaios de compressão triaxial (adensado e não drenado) CIU - (*consolidated undrained*) foram realizados em oito amostras de solos indeformadas, conforme ABNT NBR 6122 (2010), visando determinar os parâmetros de resistência e deformação do solo.

O ensaio de compressão triaxial é considerado o mais versátil para a determinação de resistência ao cisalhamento dos solos. Através de sua realização, pode-se obter o ângulo de atrito e o intercepto coesivo. Além disso, é possível realizar a medição da poropressão, o que possibilita a obtenção das tensões totais e efetivas. Cabe ressaltar que nessa pesquisa considerou-se as condições críticas,

representando as situações mais desfavorável para ocorrência de instabilidade nas encostas avaliadas.

O ensaio consistiu na aplicação de um estado hidrostático de tensões de 50, 100 e 200 KPa e de um carregamento axial sobre um corpo de prova cilíndrico do solo. A drenagem foi permitida apenas na primeira etapa do ensaio, em que se aplicou a tensão confinante, permitindo o adensamento. Na segunda etapa foi aplicada a tensão vertical normal.

3.1.2.2.4 ANÁLISES DE ESTABILIDADE

Para a realização da análise de estabilidade foi necessário avaliar o levantamento planialtimétrico das áreas de estudo, elaborado a partir da associação de imagens aéreas obtidas pelo VANT, georreferenciadas e ortorretificadas pelo *Agisoft PhotoScan*, com curvas de nível espaçadas de 1 em 1 metro geradas através da ferramenta *contour generate* no software ArcGis.

Assim, foi possível a geração de modelos de estabilidade obtidos a partir da utilização dos *softwares Slide 3D e Slide 2D*, por meio de métodos determinísticos de análise (Bishop, Jambu, Morgenstern Price, entre outros), com utilização de parâmetros geotécnicos obtidos nos ensaios laboratoriais e de campo em amostras das três áreas de interesse de alto e muito alto risco, de acordo com a norma ABNT NBR 11.682 de 2009 (Quadro 8), como intuito de obter o Fator de Segurança (FS) dos terrenos e a real vulnerabilidade dos elementos expostos frente aos possíveis impactos associados.

Quadro 8. Utilização de modelos matemáticos

Grau de Segurança Necessário ao local	Métodos baseados no equilíbrio limite	Tensão - Deformação
	Padrão: Fator de Segurança (FS) mínimo ^(A)	Padrão: Deslocamento máximo
Alto	1.50	Os deslocamentos máximos devem ser compatíveis com o grau de segurança necessário ao local, à sensibilidade de construções vizinhas e à geometria do talude. Os valores assim calculados devem ser justificados
Médio	1.30	
Baixo	1.15	

(A) Podem ser adotados fatores diferentes desde que justificados.

Fonte: (ABNT, 2009).

3.1.2.2.5 MODELAGEM DE ALCANCE DE MOVIMENTOS DE MASSA – SOFTWARE RAMMS

Para simulação de alcance nas áreas piloto foi utilizado o software RAMMS versão 1.7.20, no módulo Debris Flow, desenvolvido pelo órgão suíço WSL que, conforme já descrito, baseia-se no modelo de fricção de Voellmy-Salm, que divide a resistência de cisalhamento nas parcelas de coeficientes de atrito seco (Coulomb) e turbulento. As análises foram feitas através do método de deflagração de fluxos não canalizados, por meio da delimitação da área de interesse aplicada à simulação de deslizamentos translacionais rasos, com profundidades definidas, que considera a área despreendida (liberação de bloco).

Os procedimentos e as funcionalidades para a modelagem dos deslizamentos translacionais rasos, partiram da utilização do modelo digital de elevação MDE (dados topográficos) de alta resolução espacial (0.5 m), que foi convertido em formato ASCII em ambiente SIG, através da ferramenta “*Raster to ASCII*”, os parâmetros de coesão, coeficiente de atrito e densidade foram obtidos através das análises laboratoriais realizadas nas amostras de solos indeformadas coletadas nas áreas de ocorrência, profundidade dos perfis de solo obtidas através de sondagem (SPT), delimitação das

superfícies críticas de ruptura obtidas por meio das análises de estabilidade realizadas no software Slide 3D, observações de campo e imagem aérea.

O Quadro 9 apresenta os dados de entrada e formato utilizado para o processamento das simulações.

Quadro 9. Inputs de Entrada - Software RAMMS

Dados de Entrada	Formato/Unidade
Dados topográficos	ASCII
Áreas de lançamento/desprendimento	Vetorial (<i>shapefile</i>)
Espessura da área de lançamento	Vetorial (<i>shapefile</i>)/ inferidas no programa ou importadas da tabela de atributos do <i>shapefile</i> das áreas de lançamento
Área da simulação Vetorial (<i>shapefile</i>)	Área da simulação Vetorial (<i>shapefile</i>)
Tempo de duração do deslizamento/corrida	Segundos
Densidade do Material	Kg/m ³
μ (atrito seco tipo Coulomb)	adimensional
ξ (fricção turbulenta viscosa)	m/s ²

Fonte: Adaptado de Correa, (2018).

A etapa de modelagem foi realizada através do estabelecimento de uma rotina intensa de simulações, baseada em diferentes alturas de liberação, densidade do material e parâmetros de fricção μ (seco) e ξ (fricção turbulenta viscosa) além da realização de retroanálise a partir de rupturas pretéritas. Inicialmente, para entendimento da funcionalidade do software foram utilizados os parâmetros de fricção médios estabelecidos pelo sistema - μ (0.10) e ξ (200 m/s²), conforme sugestão dos desenvolvedores, para posteriormente realizar uma variação gradual de cada parâmetro, com vistas a entender o comportamento associado às simulações e os resultados que melhor representassem as situações analisadas.

3.1.3 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO EM ESCALA DE DETALHE - OBTENÇÃO DE IMAGENS PELO VANT E PROCESSAMENTO DE DADOS DIGITAIS

O levantamento topográfico em escala de detalhe foi realizado com Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT modelo BATMAP II, cujas características do equipamento são descritas na Figura 10. Entre os objetivos de sua realização destaca-se a caracterização geoambiental, a possibilidade de realização de análises de estabilidade e de alcance a deslizamentos (*runout analysis*), compatíveis com a realidade da área de interesse e os objetivos deste trabalho.

Figura 10. Descrição dos Elementos do Sistema de Navegação do VANT BATMAP II.



Elementos do Sistema de navegação do VANT

- ✓ Peso 3,5 kg (incluindo câmera e bateria);
- ✓ Raio de Operação de 10 Km;
- ✓ Câmera Sony A6000 24.3 MP;
- ✓ Lente de foco fixo de 16 mm;
- ✓ GSD 2,4 a 36,6 cm
- ✓ Autonomia de 150 minutos de voo;
- ✓ Velocidade de cruzeiro de 13 m/s;
- ✓ Resistência a ventos de até 45 Km/h;

Fonte: Adaptado de Repositório BATMAP II²

Foram elaborados 4 planos de voos para a tomada das fotos aéreas e sobreposição de imagens de toda a área de estudo, através da utilização do software livre *Mission Planner*, conforme se apresenta na Figura 11.

² Disponível em: <http://batmap.com.br/batmap-2/>. Acesso: 15 de fevereiro de 2019.

Figura 11. (a) Plano de voo 1; (b) Plano de Voo 2, (c) Plano de Voo 3, (d) Plano de Voo 4 criados para a programação do VANT utilizando o software de controle Mission Planner para a tomada de fotos na área de estudo.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: Própria autora.

O VANT utilizado é registrado e regulamentado pela ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil). Para a realização das missões, foram solicitadas autorizações prévias, conforme especificações da legislação vigente, Instrução do Comando da Aeronáutica (ICA)100-40, a qual esclarece os procedimentos necessários ao voo de RPAS - *Remotely Piloted Aircraft Systems* e representa um marco regulatório nas atividades que envolvem aeronaves remotamente pilotadas.

O VANT utilizado (BATMAP II), se enquadra na Categoria 2 da legislação de acordo com o seu Peso Máximo de Decolagem (PMD), aeronaves com PMD maior

que 2 Kg e menor que 25 Kg. As obtenções das fotos aéreas foram realizadas em condições climáticas favoráveis.

3.1.3.1 PROCESSAMENTO DIGITAL E MODELAGEM DOS MAPAS TEMÁTICOS

Para a geração da base de dados coletadas dos voos e a junção das 2640 fotos aéreas provenientes dos 4 voos realizados nas áreas de estudo foi feito o georreferenciamento e a associação das coordenadas geográficas na Projeção UTM zona 23S - SIRGAS 2000. Exemplos da qualidade das fotos aéreas obtidas podem ser visualizadas nas Figura 12 e Figura 13.

Figura 12. (a) Exemplo de foto área obtida com voo do VANT com vista para Rua Vereador Severino, e logo a seguir vistas para o hospital São Salvador.



Fonte: Própria autora.

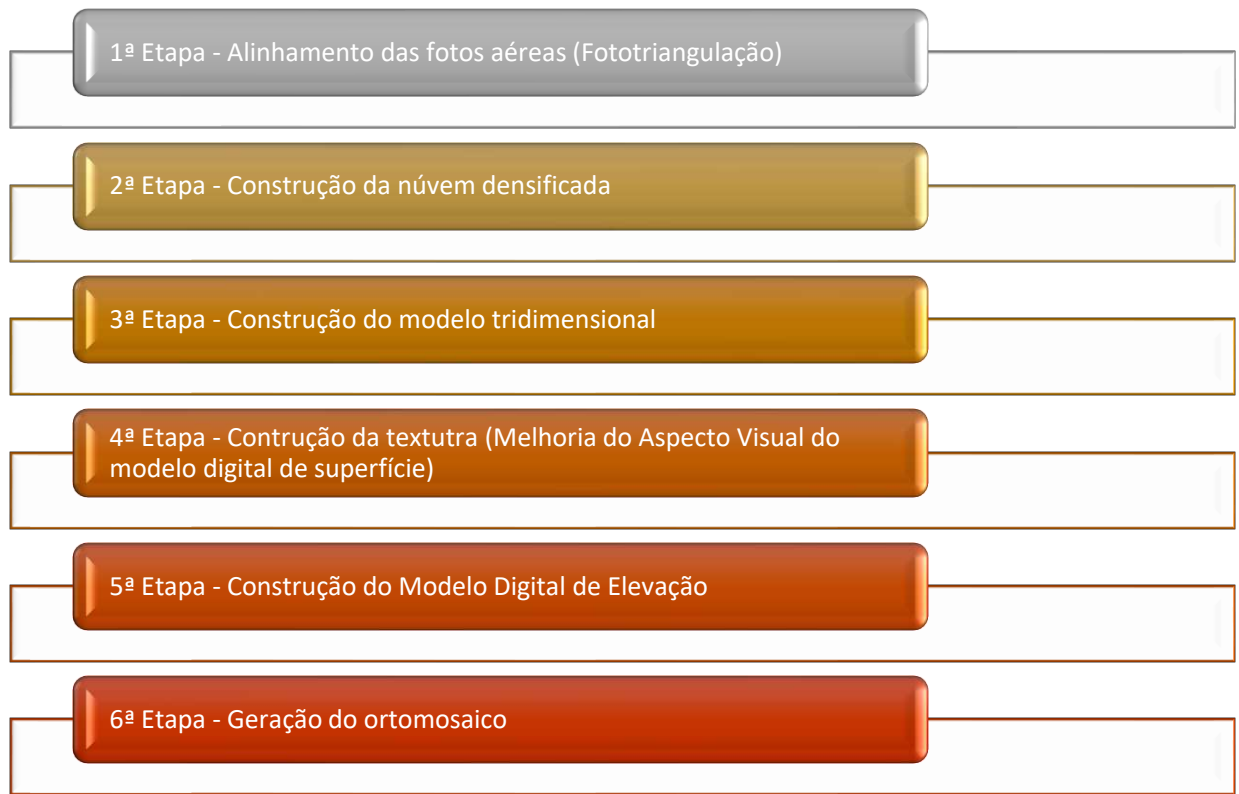
Figura 13. Exemplo de foto área obtida com voo do VANT Foto aérea com vista parcial do rio Paraíba do Sul, e logo a seguir com vista para a Rua Adão Araújo.



Fonte: Própria autora.

O processamento das imagens e a modelagem foram realizados no Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa, através do programa computacional *Agisoft PhotoScan* 1.4.0, cujo fluxo de trabalho para processamento das imagens e geração dos produtos são demonstrados na Figura 14.

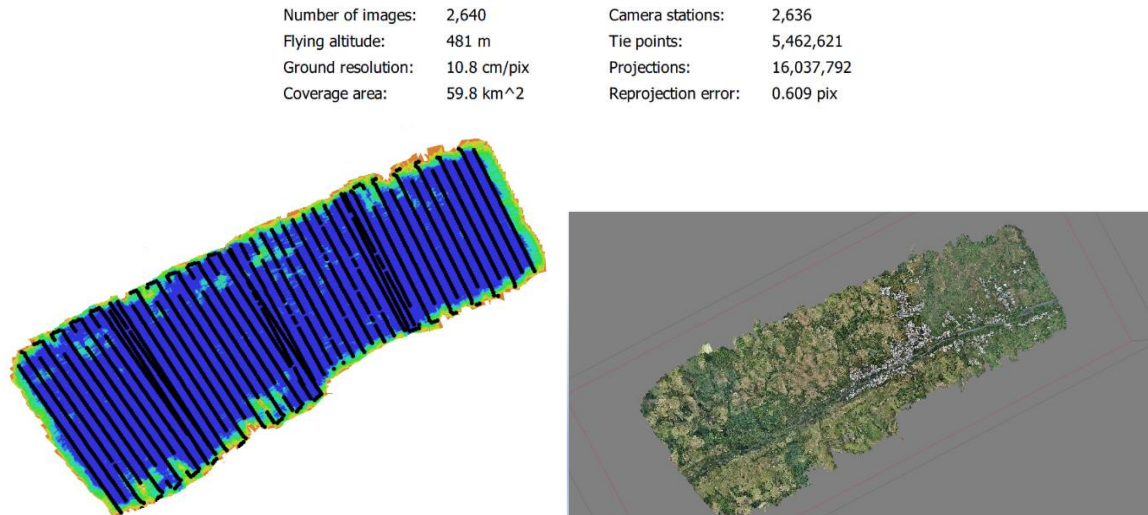
Figura 14. Fluxograma dos processos realizados para o aerolevanteamento e processamento das imagens do Agisoft Photoscan.



Fonte: Própria autora.

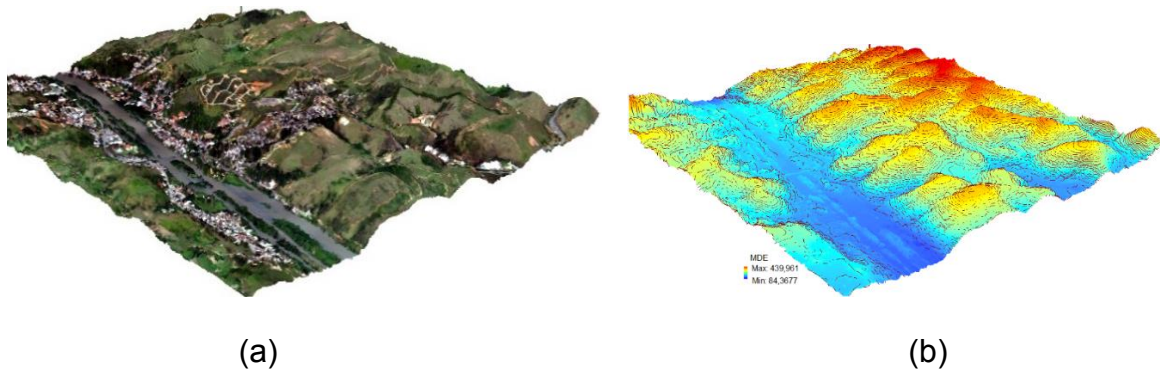
O levantamento abrangeu uma área total de 59,8 Km² em uma altitude de 481 m. A Figura 15 e a Figura 16 apresentam algumas etapas do processamento pelo software Agisoft Photoscan.

Figura 15. Exemplificação de algumas etapas do processamento do MDE e Ortomosaico no *Agsoft*.



Fonte: Própria autora.

Figura 16. Exemplificação de um dos Modelos 3D criados dos produtos obtidos no VOO 1. a) Ortomosaico 3D; b) Modelo Digital de Elevação 3D voo 1.



Fonte: Própria autora.

Todos os produtos derivados dos quatro levantamentos aéreos com o VANT foram organizados a partir do ortomosaico. Com os dados geospaciais processados foi possível gerar um GSD (Ground Sampling Distance) – Distância de Amostragem do Solo de ~ 10 cm/pixel para cada voo, que permitiu a confecção da base cartográfica digital adequada aos propósitos do estudo. No entanto, para tornar o processamento

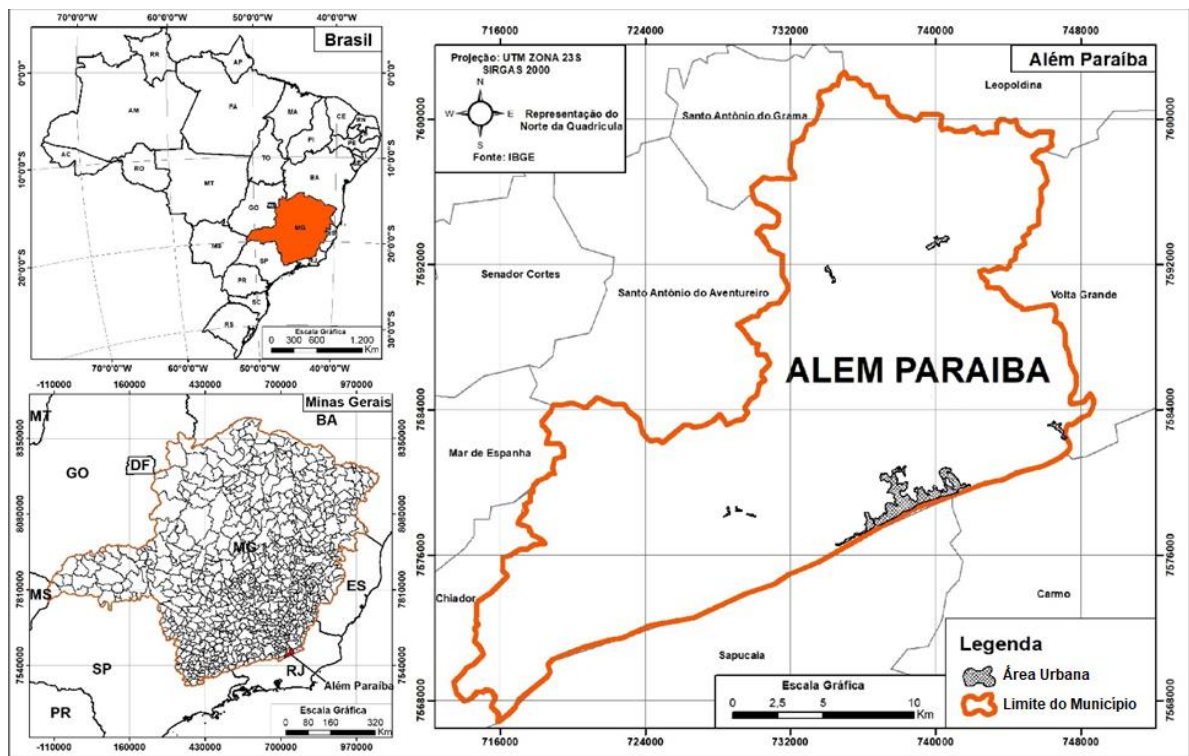
digital dos mapas temáticos mais leve em SIG o ortomosaico final foi exportado com uma resolução espacial final de 50 cm/pixel para a área total imageada. Posteriormente, a modelagem dos mapas temáticos foi realizada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil na Universidade Federal de Viçosa. A ferramenta ArcGis® 10.3.1 ESRI (Environmental Systems Research Institute) foi utilizada para geração dos mapas temáticos para caracterização geoambiental em escala de 1:10.000 da área interesse.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1. LOCALIZAÇÃO

O município de Além Paraíba está localizado na parte sudeste do estado de Minas Gerais, na divisa com o estado do Rio de Janeiro – Brasil e possui uma extensão territorial de 510,250 km² (IBGE, 2021). As cotas altimétricas da área variam entre 100 e 1019 metros. Segundo a classificação de Köppen, o clima do município é do tipo Aw, ou seja, clima tropical com inverno seco. A pluviosidade média anual é de 1303 mm com temperatura média 23.2 °C (ANTUNES, 1986). A Figura 17 apresenta a área territorial do município, bem como a área urbana (edificada) avaliada no presente estudo.

Figura 17. Mapa de Localização da área territorial de Além Paraíba.



Fonte: Própria autora.

4.2 CARACTERIZAÇÃO SOCIOECONÔMICA

Segundo dados do IBGE (2021), a população de Além Paraíba está estimada em aproximadamente 35.438 habitantes. O município tem limites com os municípios de Chiador, Mar de Espanha, Santo Antônio do Aventureiro, Leopoldina, Volta Grande, Carmo e Sapucaia. Entre os principais distritos e localidades destaca-se Angustura, Aterrado, Beira Rio, Fernando Lobo, São Luiz, Gironda, Remanso, Barra do Peixe, São João, Marinópolis, Torrentes e Gauchão. As principais atividades socioeconômicas desenvolvidas no município estão relacionadas à agropecuária e indústrias, sendo a extração vegetal voltada principalmente para a produção de aromáticos, medicinais, borracha, ceras, fibras, produtos alimentícios, carvão vegetal, lenha e extração de madeira. A presença do Rio Paraíba do Sul também contribui fortemente com a aquicultura, sendo a pesca utilizada principalmente para sustentar o mercado interno ou mesmo para consumo próprio. A pecuária clássica consiste na criação de bovinos, suínos e aves.

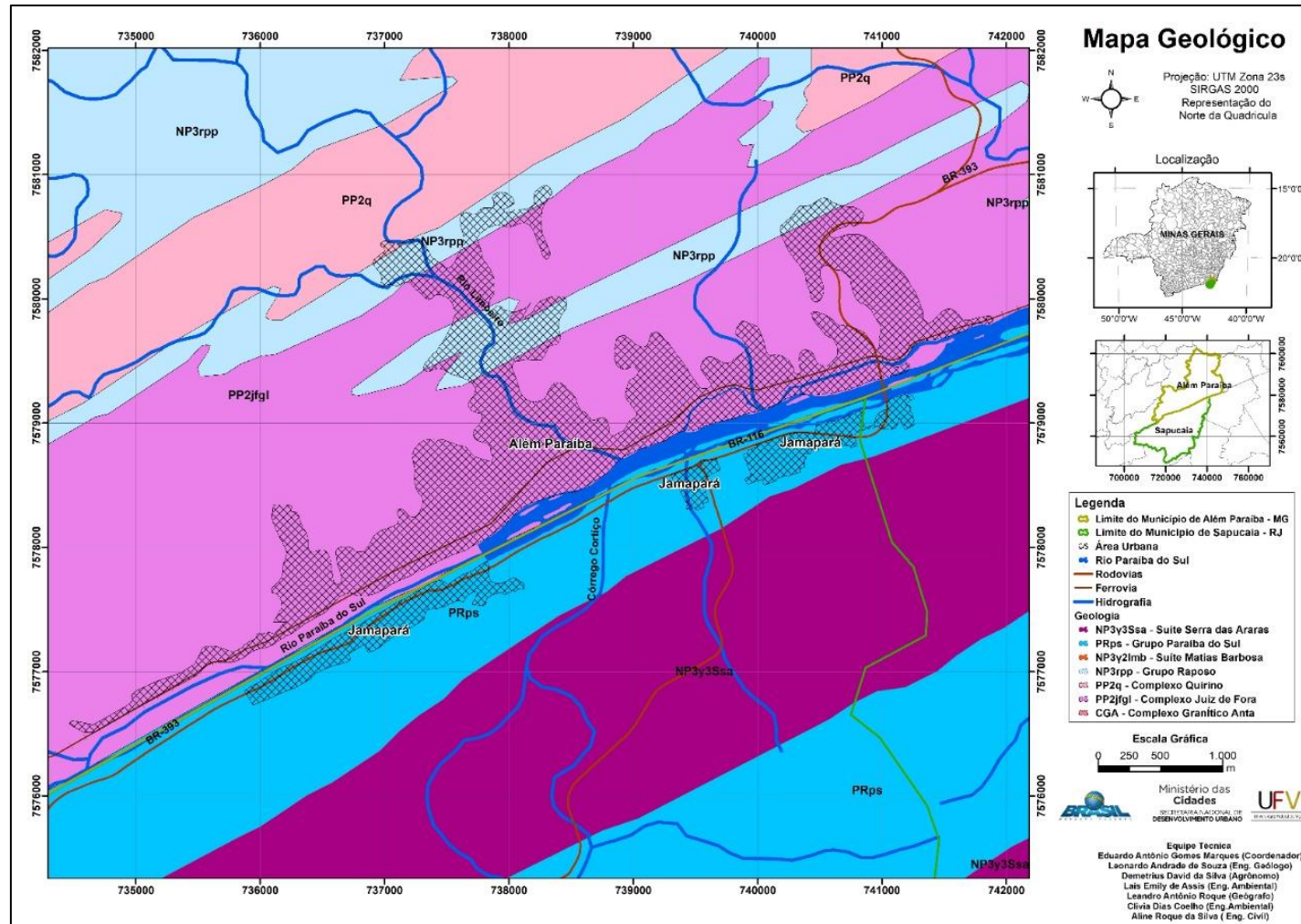
4.3 ASPECTOS GEOLÓGICOS, PEDOLÓGICOS E GEOMORFOLÓGICOS

A área de interesse pertence à Zona da Mata Mineira, microrregião de Cataguases, e corresponde a um segmento de constituição geológica inserido em maior proporção no complexo Cristalino, composto por gnaisses e migmatitos, com variado grau de metamorfismo. Metassedimentos (quartzitos e mica xistos) apresentam-se em menor abrangência. As formações sedimentares mais recentes são datadas do Terciário e Quaternário e ocorrem ao longo dos vales e vias fluviais e leitos maiores, constituídos por cascalho, areias, sites e argilas (BRASIL, 1970; BARUQUI, 1982; BRASIL, 1983).

As feições geológicas de Além Paraíba são compostas por cinco unidades, conforme demonstrado no mapa geológico do município (Figura 18). Estas informações foram extraídas da base cartográfica regional folhas (SF. 23 – Rio de Janeiro, escala 1: 1.000.000) e Sul de Minas (Escala 1:100.000) e confirmadas por meio de observação de campo. Cabe ressaltar que o mapa geológico existente foi refinado durante a caracterização geológico-geotécnica da área de estudo, o que

permitiu um melhor entendimento da geologia local, com destaque para as estruturas geológicas. Esta informação foi relevante para identificar as principais estruturas que podem condicionar deslizamentos na área de interesse.

Figura 18. Mapa geológico contemplando área de estudo no Município de Além Paraíba (MG).



Fonte: Brasil, (2022).

Geologicamente, a área de estudo analisada está inserida predominantemente nas unidades Complexo Juiz de Fora e Grupo Paraíba do Sul, as quais representam o embasamento das bacias sedimentares Paraíba do Sul. Estes terrenos apresentam alto grau de metamorfismo, intensa tectônica compressiva e transcorrente, em que há ocorrências de marcantes planos de descontinuidades oriundos de falhas e zonas de cisalhamento, que aumentam a suscetibilidade a movimentos de massa. A área apresenta topografia acidentada, com predominância de relevo forte ondulado a montanhoso. Os morros exibem alinhamento de cristas relacionadas a um trecho do vale do Rio Paraíba do Sul, apresentando um feixe de falhas geológicas orientados preferencialmente segundo a direção NE-SW.

Corrêa Neto et al., (1993) e Dayan et al., (1993), destacam que a Zona de Cisalhamento do Rio Paraíba do Sul é parte de um sistema de falhas que agrupa desde a falha de Lancinha, no Paraná, até a falha de Cubatão, em São Paulo, defletindo rumo ao norte, tendo continuidade no Lineamento Guaçuí, no Espírito Santo. Segundo Fernandes e Amaral (2003), as falhas geológicas apresentam forte influência no condicionamento de movimentos de massa translacionais rasos. As juntas favorecem o processo de intemperismo e, quando silicificadas, geram uma barreira de fluxo de água por meio da impermeabilização do plano de falha.

Os solos de Além Paraíba apresentam aspectos dependentes da variação do arcabouço geológico da região. De maneira geral, os solos predominantes são residuais maduros e residuais jovens de textura argilo-arenosa, areno-siltosa, e solos coluvionares. Também são observados materiais rochosos, depósitos de tálus no sopé das encostas e matacões e solos aluvionares no leito dos rios. De acordo com as análises geradas, a classificação de solos (SiBCS) conforme Embrapa (2006), predominantes no município de Além Paraíba são os LAVd22 - Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos + Latossolos Vermelho-Amarelos Distroféricos + Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos, PVd1 - Argissolos Vermelhos Distróficos e PVe4-Argissolos Vermelhos Eutróficos + Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos.

Segundo Moreira e Camelier (1977) a unidade geomorfológica predominante da região Zona da Mata é o domínio morfoestrutural dos Planaltos Cristalinos Rebaixados. As superfícies de morros mamelonares, de aparência convexa, possuem trechos de planícies aluvionares, destacando-se como mais relevantes as planícies associadas ao rio Paraíba do Sul e ao córrego Limoeiro. As análises permitiram identificar que as características geomorfológicas se enquadram no 4º táxon da metodologia proposta por Ross (1992), em que as unidades do relevo são definidas por unidades com padrão de formas semelhantes.

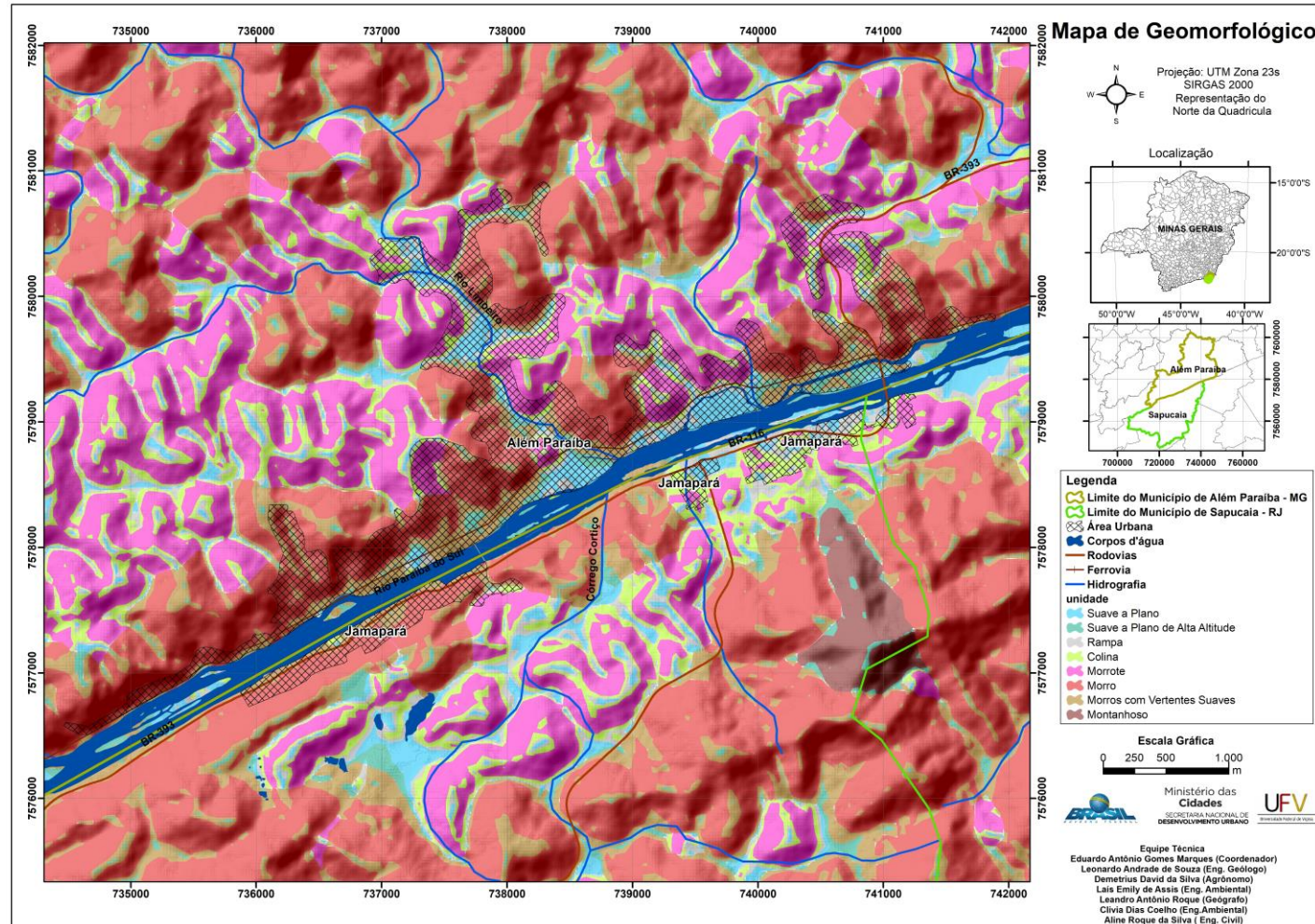
O mapa geomorfológico (Figura 19) foi gerada através das seguintes etapas: 1) levantamento preliminar dos dados bibliográficos e cartográficos disponíveis; 2) cartas topográficas geradas no âmbito deste trabalho (GSD de 9,75 cm/pixel de resolução especial – Escala 1:10.000); 3) Elaboração do MDEHC (Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente); 4) Curvas de nível com equidistância vertical de 5 em 5m interpoladas pelo método TIN (Triangular Irregular Network); 5) Elaboração dos perfis topográficos a partir do reconhecimento do meio físico e limites da área de abrangência; 6) Incorporação da geologia à base cartográfica Integrada Digital ao Milionésimo (Escala 1: 1.000.000) – Folhas SF 23 Rio de Janeiro do IBGE (2003); Sul de Minas Gerais (Escala 1:100.000) – CODEMIG/IF/UERJ, e Quadrante NE da Folha Três Rios de NW da Folha de Friburgo, 1:100.000 (Tupinamba et al., 2012); 7) Compartimentação do relevo por meio do método heurístico através de histogramas de frequência em relação à amplitude e declividade; 8) Proposta de metodologia para compartimentação do relevo segundo resultados obtidos nas etapas anteriores e conforme metodologia de Ponçano et al., (1979), Ponçano et al., (1981) e Florenzano (2008) que propõem a classificação taxonômica segundo “sistemas de relevo”. Desta forma, foi gerada a classificação das formas de relevo para a área de estudo, conforme Quadro 10.

Quadro 10. Classificação das formas de relevo para a área de estudo

Amplitude Local (m)	Gradiente Predominante	Formas de relevo
< 100	< 5%	Suave a plano
	5 a 10%	Rampa
	10 a 20%	Colina
	> 20%	Morrote
100 a 300	< 5%	Suave a plano
	5 a 20%	Morro com encosta suave
>300	> 20%	Morro
	>20%	Montanha

Fonte: Brasil, (2022).

Figura 19. Mapa Geomorfológico contemplando área de estudo no Município de Além Paraíba (MG)

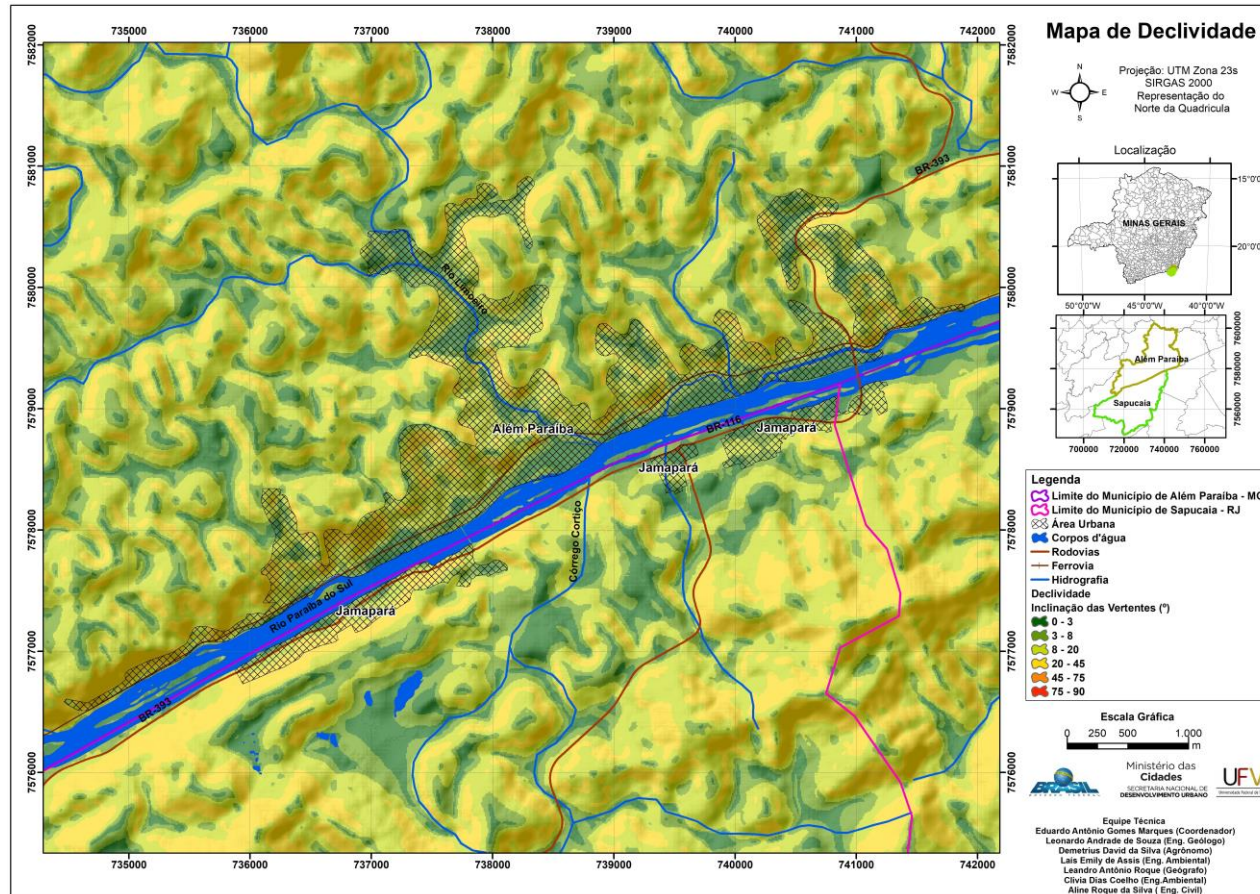


Fonte: Brasil, (2022).

4.4 DECLIVIDADE/INCLINAÇÃO DO TERRENO

A avaliação da inclinação das vertentes (declividade) da área de estudo foi subdividida em 3 classes: 0-3° (plana), 3-8° (suave ondulada), 8 a 20° (ondulada), 20-45° (forte ondulada), 45-75° (montanhosa), > 75° (escarpada), conforme classificação da Embrapa (1979). A partir da observação da carta de declividade (Figura 20) percebe-se que a área possui majoritariamente perfis ondulados a forte ondulados. A região onde se localiza a área urbana apresenta encostas com topografia acidentada com significativos desníveis altimétricos. A inclinação das encostas, associada aos períodos de precipitação pluviométrica e às disposições das construções ao longo da vertente, aumentam a suscetibilidade a deslizamentos.

Figura 20. Mapa de inclinação/declividade contemplando área de estudo no Município de Além Paraíba (MG).

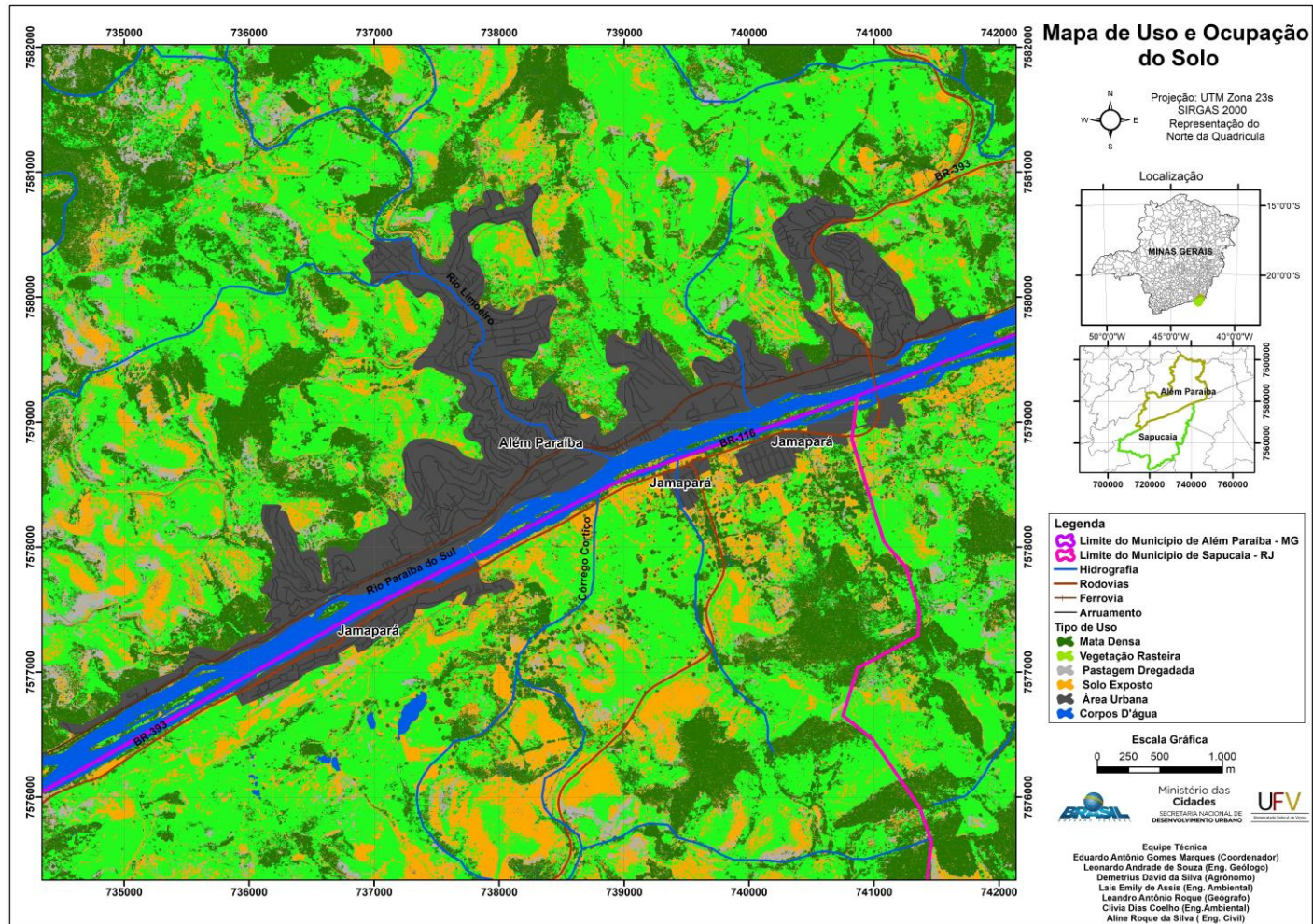


Fonte: Brasil, (2022).

4.5 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Para a produção do mapa de uso e ocupação e cobertura dos solos foi utilizada a classificação digital supervisionada em ambiente SIG, pelo Software ArcGis 10.3.1. O procedimento realizado é baseado na associação de pixel padrões espectrais e homogêneos, que associa regiões da imagem a determinadas classes, descrevendo assim o tipo de cobertura do terreno. Foram definidas as seguintes classes para elaboração desta carta: solo exposto, vegetação rasteira, vegetação densa, área urbana e lâmina d'água (Figura 21).

Figura 21. Mapa de uso e ocupação contemplando área de estudo no Município de Além Paraíba (MG)



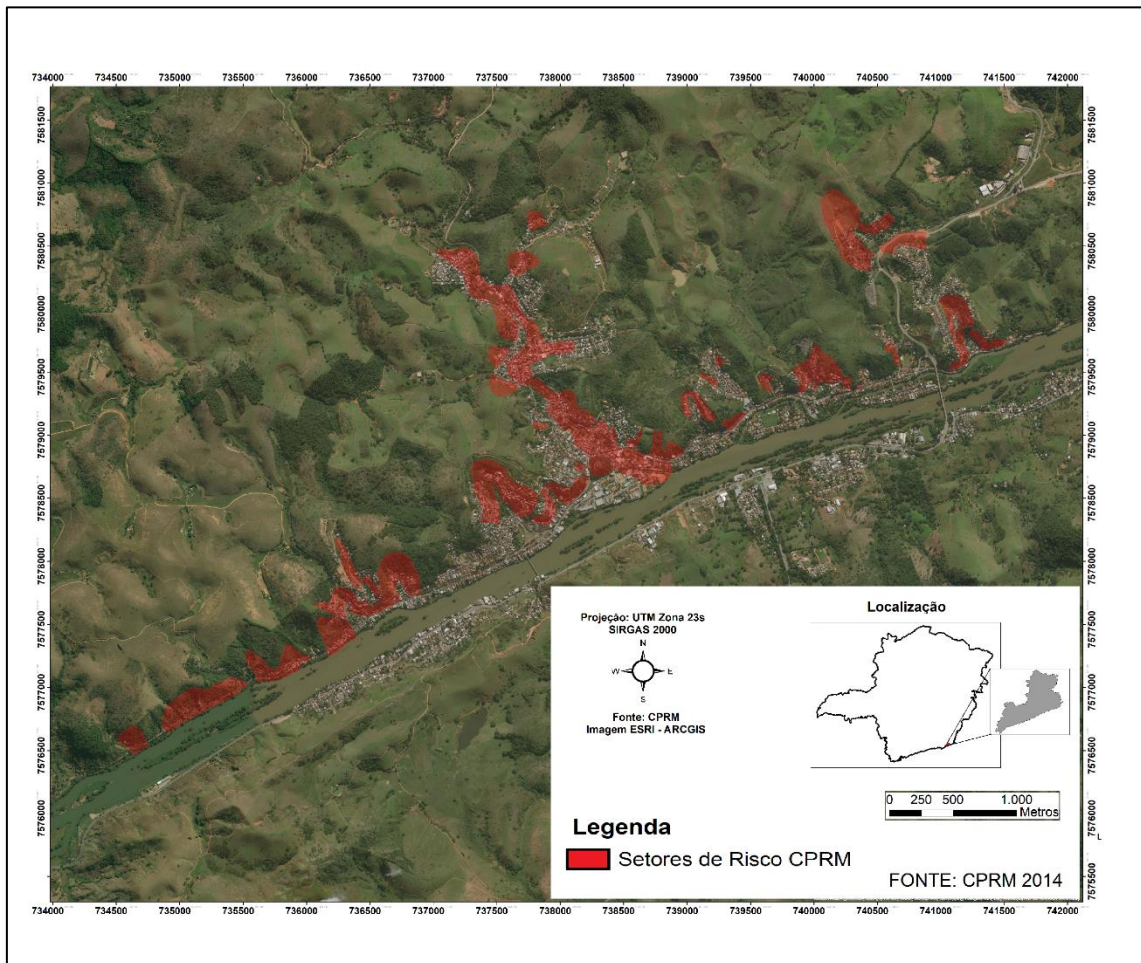
Fonte: Brasil, (2022).

4.6 HISTÓRICO DE VISTORIAS ENVOLVENDO DESLIZAMENTOS NO MUNICÍPIO NOS ANOS DE 2012 A 2021

Foi realizado o levantamento do histórico de vistoria com registro de deslizamento no município, cujos dados foram disponibilizados pela Defesa Civil do Município para o período de 2012 até 2021, tendo sido contabilizados um total de 564 registros. No histórico de ocorrências de movimentos de massa que atingiram o município de Além Paraíba destaca-se o mês de janeiro do ano de 2012, quando inúmeros problemas acometeram praticamente todo o município, deixando a cidade parcialmente paralisada por aproximadamente quatro meses. Até o ano de 2012 o município de Além Paraíba não possuía uma coordenadoria de Defesa Civil, apenas núcleos e comitês locais de Defesa Civil e não havia elaborado nenhum plano de ação emergencial, tampouco de contingência, por não ter nenhum registro de desastres pretéritos de tal magnitude. A população também não tinha informações de como se comportar em tais situações e o município não tinha nenhum tipo de cadastro de áreas de risco ou residências em situação vulnerável.

Após a ocorrência em 2012, Além Paraíba passou por algumas reformas em relação à gestão do risco. Atualmente a cidade apresenta uma Coordenadoria de Defesa Civil, possui plano de emergência (que abrange todo o município) e um cadastro de áreas de risco. A população possui maior grau de informação sobre como atuar em eventuais desastres, mas ainda aquém da magnitude dos eventos que podem se repetir. Em 2012 foi realizado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), através do Programa Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres do Governo Federal (PPA 2012-2015), o levantamento de risco a movimentos de massa e inundação no município de Além Paraíba, no qual foram delimitados 39 setores de alto e muito alto risco, conforme apresenta-se na Figura 22 (CPRM, 2014).

Figura 22. Levantamento de riscos à movimentos de massa em Além Paraíba.



Fonte: CPRM, (2014).

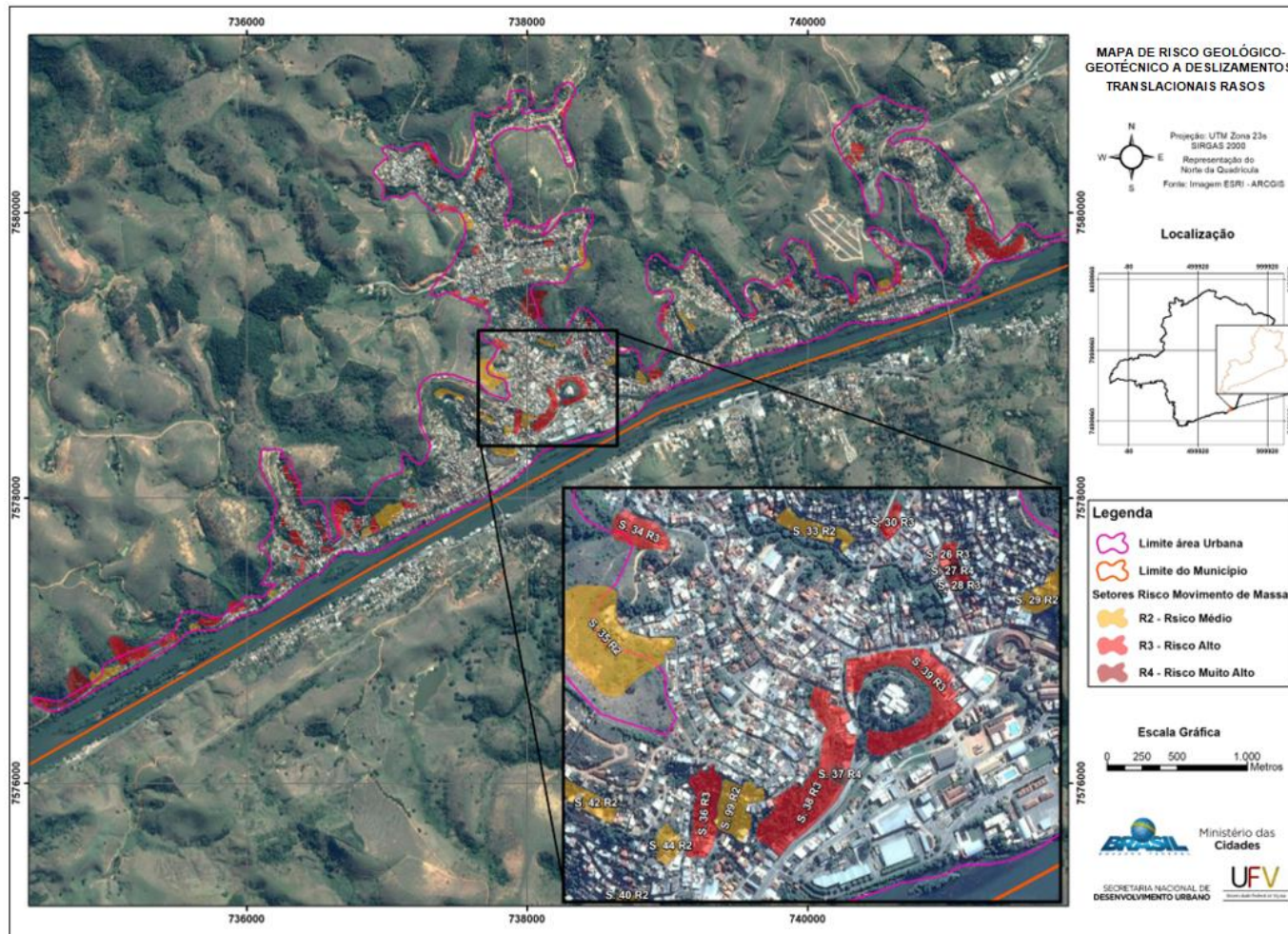
De acordo com o trabalho realizado pela CPRM (2014) foram constatados um total de 2.279 habitações em 39 setores de risco. Entretanto, com a análise da vulnerabilidade das edificações de todos os setores, realizada pela empresa Thalweg, no ano de 2015, para o Ministério da Integração Nacional/CENAD, constatou-se que foram cadastrados 2.460 imóveis em situação de risco geológico-geotécnico.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO – AVALIAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA

O mapeamento de risco geológico-geotécnico realizado *in situ* no Município de Além Paraíba permitiu identificar e delimitar 104 setores de risco a deslizamentos translacionais rasos (Figura 23). A base de dados gerada permitiu a confecção das cartas de risco em escala de 1:2.000.

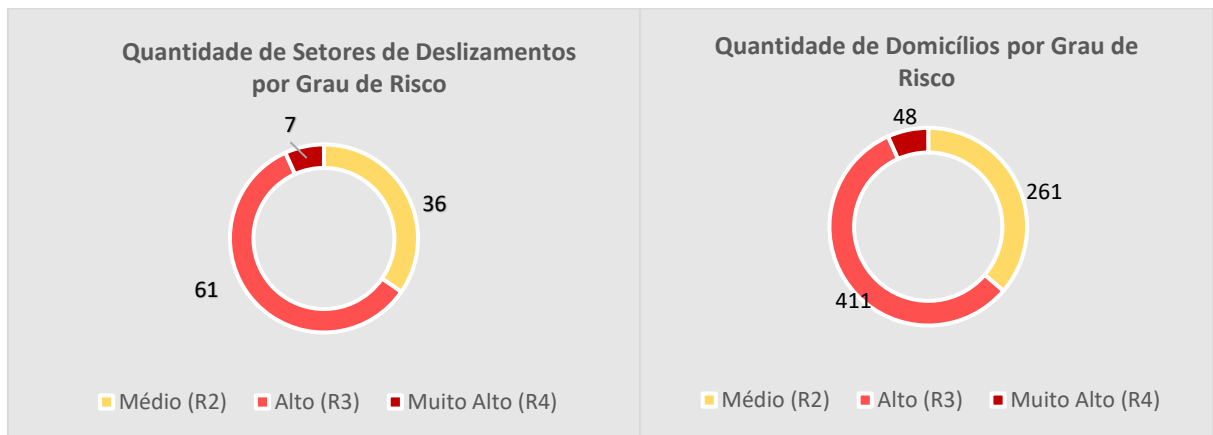
Figura 23. Mapeamento de risco geológico-geotécnico a deslizamentos translacionais rasos no município de Além Paraíba (MG)



Fonte: Própria autora.

A expansão urbana no município de Além Paraíba tem se dado sistematicamente em áreas com predisposição natural à deflagração de momentos de massa e/ou com baixa aptidão geotécnica à urbanização, reflexo direto da falta de planejamento urbano adequado. Como resultado, 7 setores foram classificados como de muito alto risco (R4) a deslizamentos, 61 setores como de alto risco (R3) e 36 setores classificados como de risco médio (R2). Nos diversos setores definidos foram identificadas 720 edificações sob risco de deslizamentos, das quais 468 estão em situações de alto ou muito alto risco (Figura 24). O Quadro 11 apresenta a disposição de setores por bairro ou distrito e o grau de risco associado.

Figura 24. a) Quantidade de Setores de Deslizamento por Grau de Risco; (b) Quantidade de Domicílio por Grau de Risco



Quadro 11. Localização e Classificação dos Setores de Risco

BAIRRO OU DISTRITO	SETORES DE RISCO			TOTAL
	R2 – Médio	R3- Alto	R4- Muito Alto	
Parada Breve/ Matadouro	S3	S1; S2; S4; S5		5
Novo Horizonte		S6; S43		2
Morro do Cipó	S7	S9		2
Goiabal		S8		1
São José/ Beco da Floresta	S10; S14; S15; S19; S22	S11; S13; S17; S18; S20; S21	S12	12
Morro do Cemitério	S16			1
Granja 3 de Outubro	S88	S23; S24		3
Praça da Bandeira	S98	S25		2
Morro São Sebastião		S26; S28; S29	S27	4
Vila Laroca/ Banqueta	S33; S99	S30; S31; S38; S39	S32; S37	8
Vila Caxias	S81; S85	S34; S77; S78; S79; S80; S82; S84; S94; S95; S83		12
Morro São Geraldo	S35	S36		2
Porto Novo	S40; S45			2
Santa Rosa	S41; S42; S44			3
Porto Velho	S46; S50; S52; S69; S70	S47; S48; S49; S51; S62; S67; S72		12
Boiadeiro		S54; S55; S56; S61; S63; S65; S93; S96	S53; S89	10
Timbira	S57; S59; S64	S58; S60; S66		6
Sítio Branco	S68; S74	S71; S73; S75	S76	6
Jardim Paraíso	S86; S90; S92	S87; S91		5
Distrito de Vila Marinópolis	S97			1
Distrito de Fernando Lobo	S100; S101	S102		3
Distrito de Angustura	S104	S103		2

Nos trabalhos de campo realizados no perímetro urbano do município pôde-se observar que a mancha urbana apresenta características bem significativas das transformações antrópicas em áreas ambientalmente desfavoráveis à ocupação, nas quais o parcelamento dos solos é realizado sem critérios e atingindo até mesmo áreas de preservação permanente, o que aumenta, por conseguinte, a vulnerabilidade da população ocupante e a expõe a um grau de risco elevado. Como a maioria das construções está disposta em encostas, foi possível identificar diversas cicatrizes de deslizamentos, envolvendo residências de baixo padrão construtivo, potencializadas por características como ausência de sistema de drenagem, cortes inadequados e indícios de instabilidades. As ocupações em áreas adjacentes aos mananciais no município também chamam atenção, principalmente aquelas que estão instaladas nas margens e dentro da calha do Rio Paraíba do Sul e ao longo do Córrego Limoeiro, à revelia das legislações que se relacionam ao uso e ocupação do solo e às áreas de preservação permanente (APP) e ambiental (APA).

As principais características observadas nas sete áreas classificadas como de muito alto risco (R4) (Figuras 25 a 30), dizem respeito a cortes verticalizados e aterros inadequados, com desníveis e inclinação da encosta a montante dos domicílios elevada, $> 30^\circ$. Os sistemas de drenagem superficial são majoritariamente inexistentes nas encostas e deficientes nas vias de acesso, tendo sido também observados lançamentos e concentração de águas servidas e pluviais, o que contribui para o processo de saturação e ruptura do solo. Nas situações mais críticas identificadas há cicatrizes de deslizamentos com degraus de abatimento delineando superfícies de ruptura, com capacidade de mobilização de volumes significativos de material.

De maneira geral, os principais agentes potencializadores associados aos setores classificados como de alto risco (R3) foram a existência de cortes muito próximo à base da encosta, entre 1.5 e 4m, encostas com inclinação $> 30^\circ$, taludes de cortes com inclinação acima de 60° , ocupações desordenadas com infraestrutura precária, presença de bananeiras e lançamento inadequado de águas servidas (Figuras 31 a 36). Este conjunto de fatores condicionam a instabilidade no terreno e alto risco de deslizamento nos períodos de chuva. Já os setores classificados como de risco médio (R2) foram delimitados com o objetivo de permitir aos técnicos da

prefeitura o monitoramento das áreas durante o período seco e de chuva, bem como o desenvolvimento de ações preventivas, com orientação contínua dos moradores (Figuras 37 a 42).

Quanto às predisposições naturais observadas na área de estudo, destacam-se as zonas de transição, com contatos de solo-rocha, e suas respectivas diferenças de comportamento geotécnico e de permeabilidade. Em geral, os solos em áreas de maior inclinação são pouco espessos o que, somado à presença de trechos com concentrações de fluxos superficiais, podem condicionar a instabilidade. No sopé das encostas encontra-se rocha sã e alterada com a presença de matacões que, em conjunto com as áreas de solo exposto, compõem as zonas de maior suscetibilidade natural à movimentos de massa. Foram também observados alguns setores de risco com árvores de grande porte, bananeiras e bambuzal localizados em vertentes inclinadas, o que pode ocasionar sobrecarga e aumentar a instabilidade dos taludes. Na maioria dos setores de risco identificados houve desmatamentos, o que provocou a exposição dos solos e o aumento à suscetibilidade aos processos erosivos e movimentos de massa. Os afloramentos de rocha foram observados em abundância na área de estudo.

[Figura 25. Vista panorâmica da encosta que compõe o setor de risco (Setor 12 - R4). Bairro São José.



Figura 26. - Vista de montante para jusante do setor de risco. Detalhe para cicatriz de deslizamento anterior (Setor 27 - R4). Morro São Sebastião.



Figura 27. Vista frontal da cicatriz de deslizamento a montante dos domicílios. (Setor 32 - R4). Bairro Vila Laroca/Banqueta.



Figura 28. Vista frontal do setor de risco com detalhe para os indícios de instabilidade da encosta. (Setor 37 - R4). Bairro Vila Laroca.



Figura 29 Setor de risco com detalhe para o avanço da ocupação em área naturalmente suscetível a deslizamentos. (Setor 76 - R4). Bairro Sítio Branco



Figura 30. Vista frontal do setor de risco. Trecho com histórico de deslizamentos com atingimentos dos domicílios (Setor 89 - R4). Bairro Boiadeiro/Chácara São José.



Figura 31. Vista parcial frontal do setor de risco com detalhe para o baixo padrão construtivo e da urbanização desordenada. Bairro Parada Breve/Matadouro. (Setor 2 – R3).



Figura 32. Vista parcial do setor de risco com detalhe para os indícios de instabilidade do talude de corte a montante dos domicílios. (Setor 23 – R3). Bairro Granja 3 de outubro.



Figura 33. Final da Rua Alvares Antunes Filho após ocorrência de deslizamento. (Setor 29 – R3), Morro São Sebastião.



Figura 34. Vista parcial do setor de risco. Detalhe para o talude de corte a montante das casas mais acima da encosta. (Setor 34 - R3). Vila Caxias.



Figura 35. Vista parcial do setor de risco com detalhe para os indícios de instabilidade em talude a montante dos domicílios (Setor 25 - R3). Praça da Bandeira.



Figura 36. Vista frontal do setor de risco com destaque para altura e geometria do talude de corte. (Setor 26 – R3).



Figura 37. Vista frontal do setor de risco com detalhe para o adensamento da ocupação desordenada em zona de declividade muito elevada (Setor 3 - R2). Bairro Parada Breve/Matadouro,

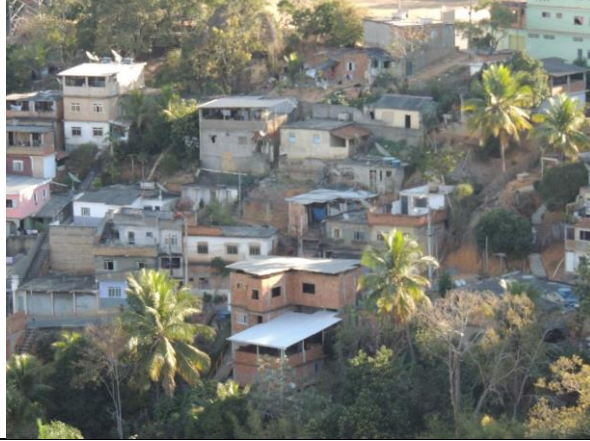


Figura 38. Vista parcial do setor com detalhe para o bom padrão construtivo dos domicílios. (Setor 10 - R2). Bairro São José



Figura 39. Vista panorâmica do setor de risco com detalhe para os taludes de corte. (Setor 14 - R2). Bairro São José.

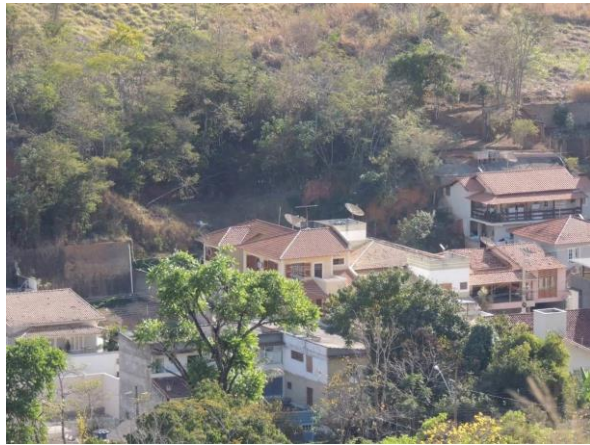


Figura 40. Vista a partir da entrada do cemitério. Taludes de corte com alturas superiores a 3,0 metros muito próximos aos domicílios. (Setor 16 - R2). Bairro Morro do Cemitério



Figura 41. Vista frontal do setor com detalhe para a forma de ocupação. (Setor 22 - R2). Bairro São José/Morro do Cemitério



Figura 42. Vista frontal do setor de risco com detalhe para a forma de ocupação da encosta. (Setor 77 - R2). Bairro Caxias

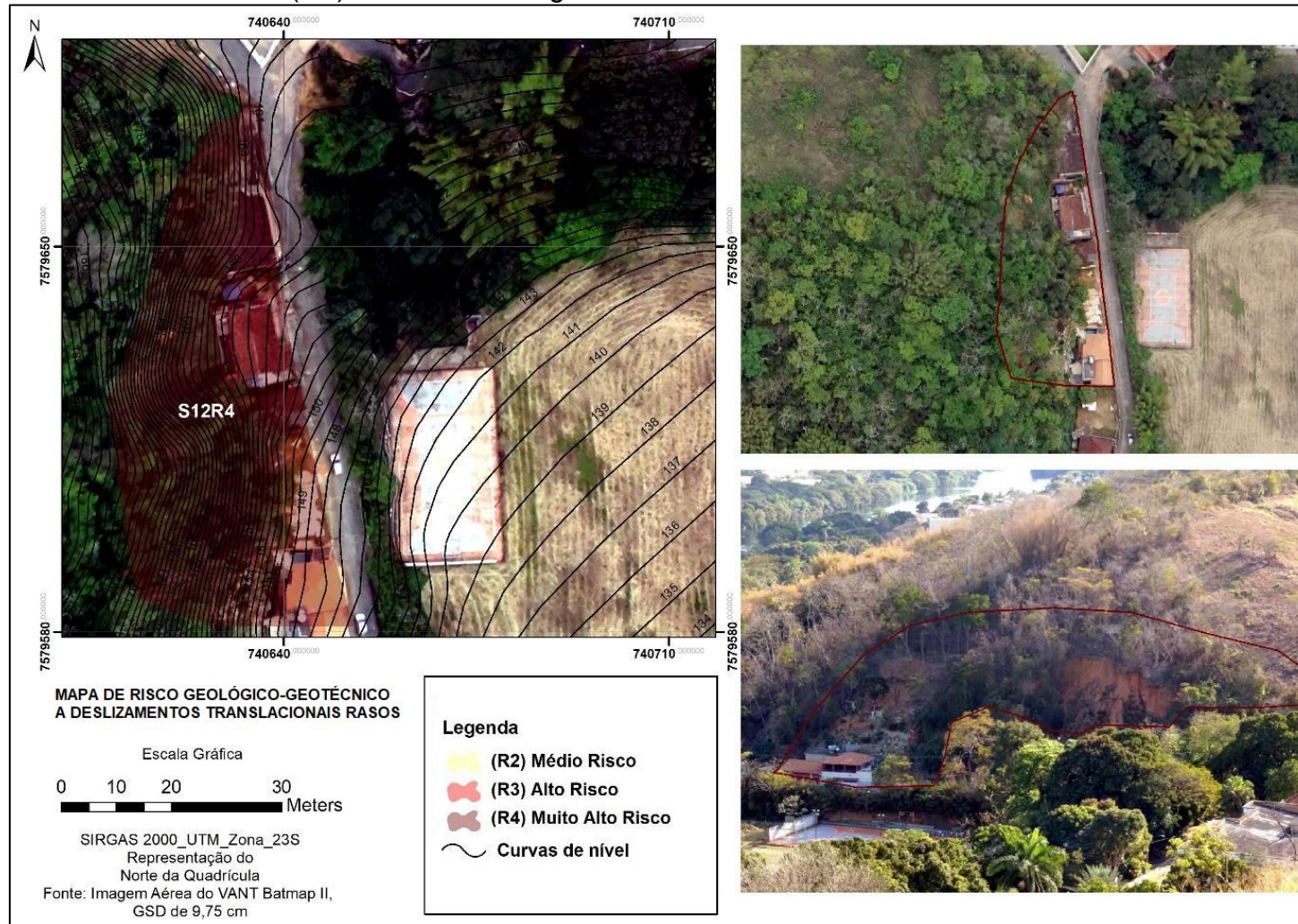


A proposta de quantificação do risco teve o principal intuito de propor avanços em relação à aplicação da metodologia do extinto Ministério das Cidades (atual Ministério do Desenvolvimento Regional), bem como validar os resultados obtidos com a setorização qualitativa do risco, reduzir a subjetividade e aprimorar as análises de possíveis impactos associados aos deslizamentos translacionais rasos. Além disso, aprofundar as discussões sobre os principais mecanismos e fatores condicionantes que possam reger a deflagração dos deslizamentos em áreas classificadas como de alto e muito alto risco. Para isso, foram definidas quatro áreas piloto. A seleção teve por pressuposto a representatividade frente à ocorrência de deslizamentos translacionais rasos e registros associados a estes processos, o que permitiu um melhor entendimento em relação a estabilidade destas encostas e a estimativa da área de abrangência em relação ao alcance das massas de solo ainda passíveis de serem mobilizadas (*runout analysis*), os próximos tópicos apresentam os resultados destas análises.

5.1.1 ÁREA PILOTO 01 – SETOR 12 (R4)

A área piloto 01, definida como setor 12 (R4), localiza-se na rua Isabel Herdy Alves, Bairro São José (Coordenadas GPS: 7579620 / 740635) (Figura 43). A área possui uma série de cicatrizes de deslizamentos translacionais rasos com históricos de deflagração ao longo do período chuvoso do ano de 2012, além das trincas e degraus de abatimento no terreno com a formação de novas superfícies de ruptura. A delimitação desta área engloba 5 domicílios de alvenaria de médio padrão construtivo. Os aspectos de risco estão condicionados à inclinação da encosta a montante superior a 40°, perfil côncavo, e a presença de cortes a 1,5 metro de distância das edificações.

Figura 43. Área Piloto 01 – Setor 12 (R4) de Risco Geológico-Geotécnico a deslizamentos translacionais rasos.



Fonte: Própria autora.

Observou-se que o sistema de drenagem superficial é ausente e/ou ineficiente na encosta e deficiente nas vias de acesso. O ambiente morfológico é morro, o substrato rochoso é composto por um solo residual maduro (SRM) e jovem (SRJ) e sua textura varia de areno-siltoso (SRJ) na base da encosta a argilo-arenoso (SRM) no topo. Em relação à vegetação, foram identificadas árvores de médio porte e vegetação inclinada, o que indica processo de movimentação da encosta, além de plantio de bambu na crista do talude e de árvores com enraizamento pivotante (Figura 44).

Figura 44. Detalhe para os taludes com sinais de instabilidade nos fundos dos domicílios.



Fonte: Própria autora.

Para a Área Piloto 01 foram realizadas nesta pesquisa duas sondagens de simples reconhecimento com ensaios SPT, o primeiro furo, SPT 01, foi feito na base do talude na rua Isabel Herdy Alves; e o segundo furo, SPT- 2, no topo da encosta em uma área de pastagem, com profundidades relacionadas a seguir, totalizando 23,55 metros de perfuração. Além disso, foram disponibilizadas pela prefeitura mais seis boletins de sondagem desta mesma região, o que permitiu maior conhecimento acerca do perfil geológico-geotécnico correspondentes à área de interesse. O Quadro

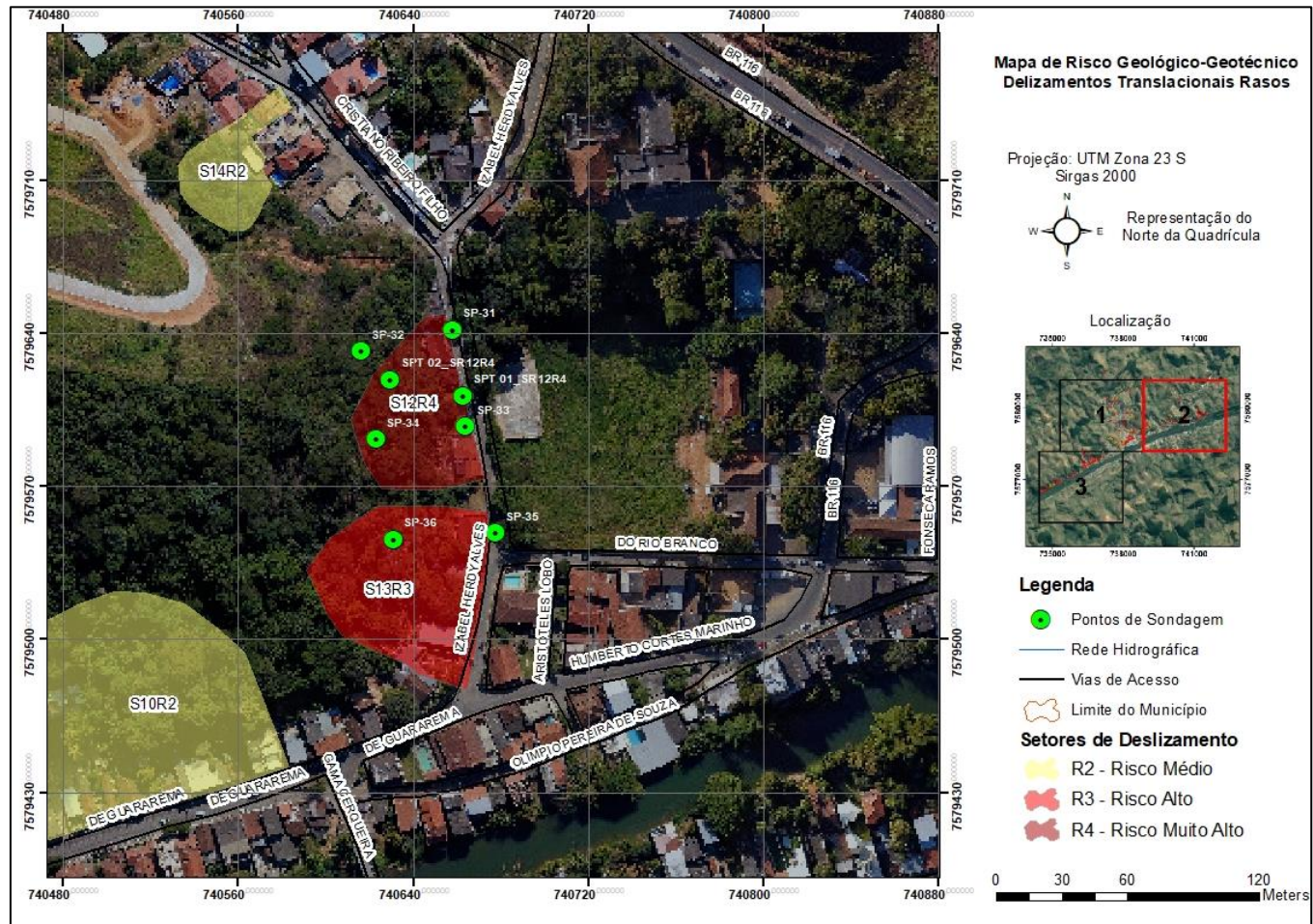
12 e Figura 45 apresentam o compilado das informações dos perfis de sondagens realizados.

Quadro 12. Compilado de informações dos perfis de sondagem da Área Piloto 01.

Furo	Coordenadas		COTA (m)	Profundidade de Paralisação (m)	Nível de Água (m)
	N	E			
SPT 01	7579603,03	740667,23	144,00	3,35	Não foi encontrado
SPT 02	7579617,25	740629,53	192,0	20,20	Não foi encontrado
SP31	7579672,11	760647,90	148,99	6,90	Não foi encontrado
SP32	7579669,89	740628,48	161,16	8,95	Não foi encontrado
SP33	7579601,47	740669,07	144,64	6,00	Não foi encontrado
SP34	7579589,00	740639,07	158,99	9,30	Não foi encontrado
SP35	7579561,63	740678,63	143,00	9,20	Não foi encontrado
SP36	7579554,86	740643,09	155,92	15,80	Não foi encontrado

Fonte: Própria autora

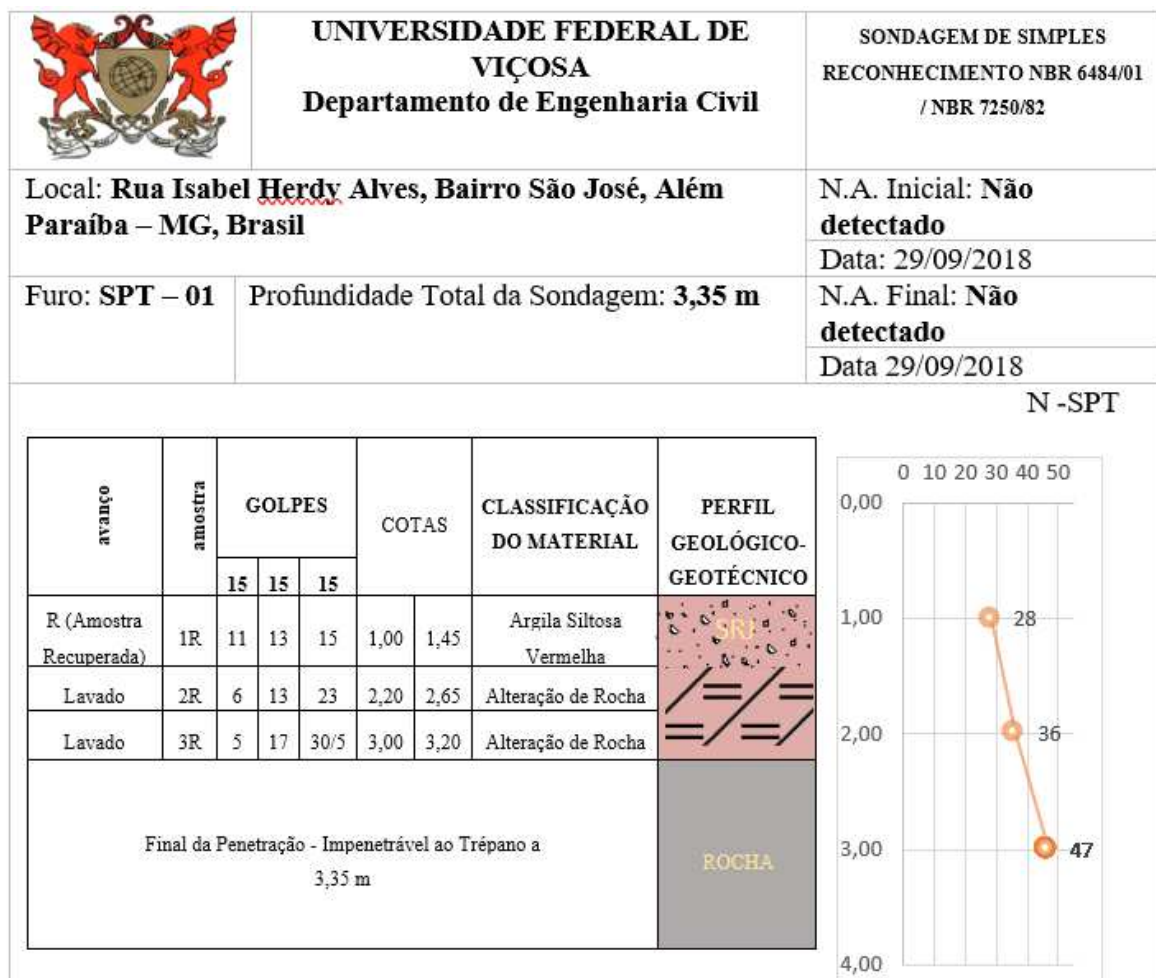
Figura 45. Mapa de Risco Geológico-Geotécnico - Deslizamentos translacionais rasos (Setor 12 - R4) – Pontos de Sondagem.



Fonte: Própria autora.

O perfil geológico-geotécnico do furo SPT 01, realizado na base do talude, totalizou 3,35 m de perfuração. Como se pode observar na Figura 46, os valores do índice de resistência à penetração N_{SPT} apresentaram um crescimento considerável em relação à resistência do solo residual jovem, cuja textura varia de areia compacta a muito compacta, de acordo com a norma NBR 6484/2001. As descrições táteis-visuais realizadas indicaram a predominância de solo com textura “argila siltosa, mais alteração de rocha”. Não foi detectado nível de água neste perfil.

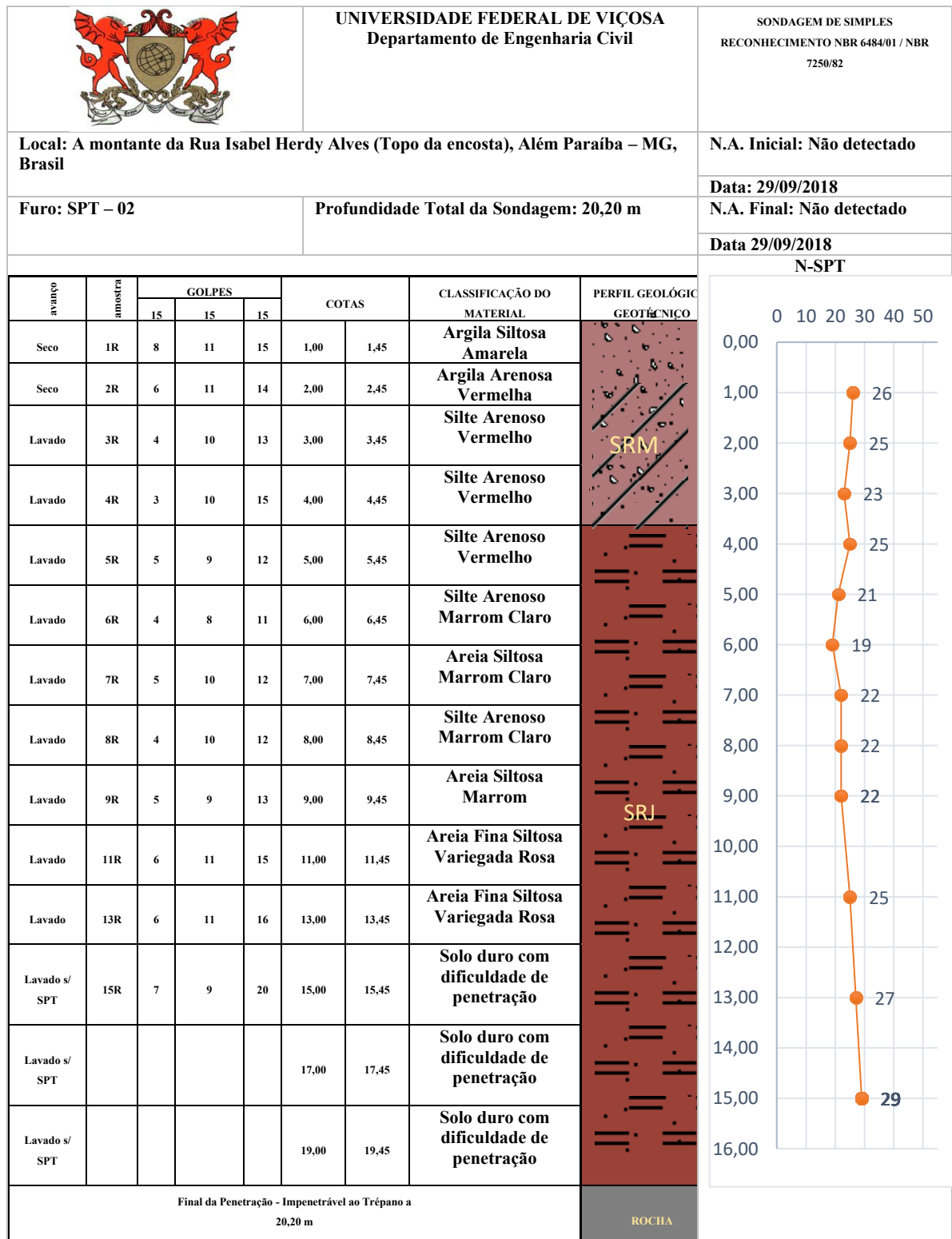
Figura 46. Perfil Geotécnico do Furo SPT 1 (Base) - Rua Isabel Herdy Alves, Bairro São José, Além Paraíba - MG, Brasil



Fonte: Própria autora

O perfil geológico-geotécnico do furo SPT 02 no topo do talude (Figura 47) totalizou 20,20 m de perfuração.

Figura 47. Perfil Geotécnico do Furo SPT 2 (Topo) – A montante da Rua Isabel Herdy Alves, Bairro São José, Além Paraíba - MG, Brasil.



Fonte: Própria autora.

O Quadro 13, apresenta o resultado da composição granulométrica e os índices físicos obtidos nos ensaios de caracterização das amostras de solo analisadas da área piloto 01.

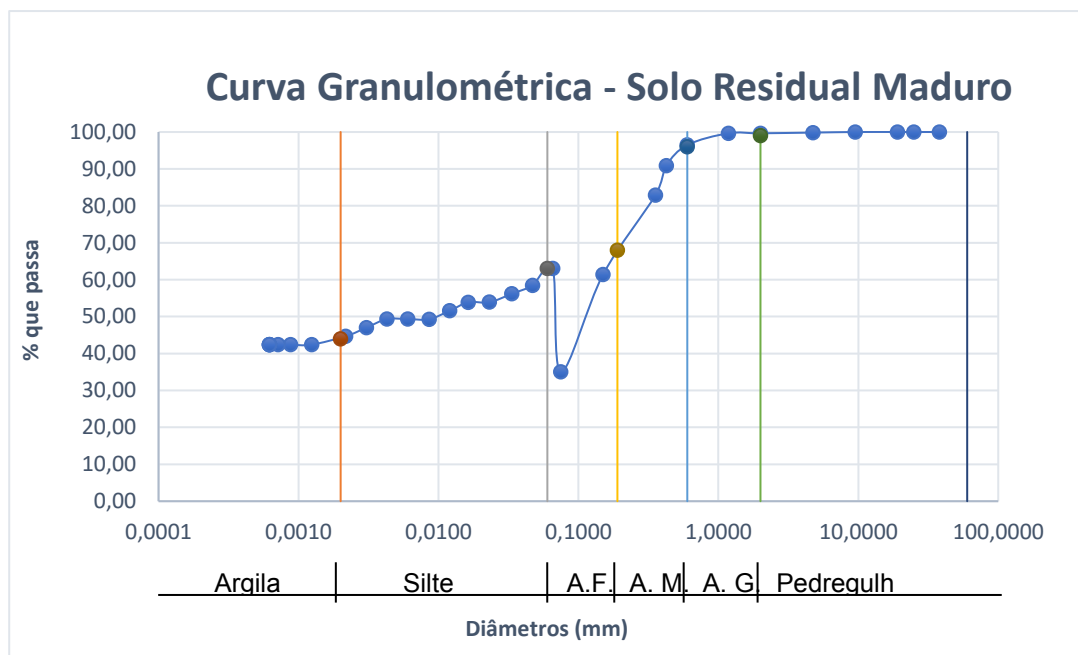
Quadro 13. Resumo dos ensaios de caracterização geotécnica (Área Piloto 01).

ÁREA PILOTO 01	SOLO RESIDUAL MADURO (SRM)	SOLO RESIDUAL JOVEM (SRJ)
<i>Peso Específico (KN/m³)</i>	17,17	15,79
<i>w (%)</i>	19,31	11,81
<i>Argila</i>	44%	8%
<i>Silte</i>	18%	38%
<i>Areia</i>	37%	49%
<i>Pedregulho</i>	1%	5%
<i>Classificação Granulométrica</i>	Argilo-Arenoso	Areno-Siltoso
<i>Massa Específica (g/cm³)</i>	2,67	2,51
<i>LL (%)</i>	45,95	33,87
<i>LP (%)</i>	28,98	17,78
<i>IP (%)</i>	16,97	16,09
<i>Plasticidade</i>	Muito Plástico	Muito Plástico

Fonte: Própria autora.

A Figura 48 mostra a representação da curva granulométrica do ensaio realizado no solo residual maduro, classificado como um argilo-arenoso, muito plástico.

Figura 48. Curva granulométrica do Solo Residual Maduro (Área Piloto 01).

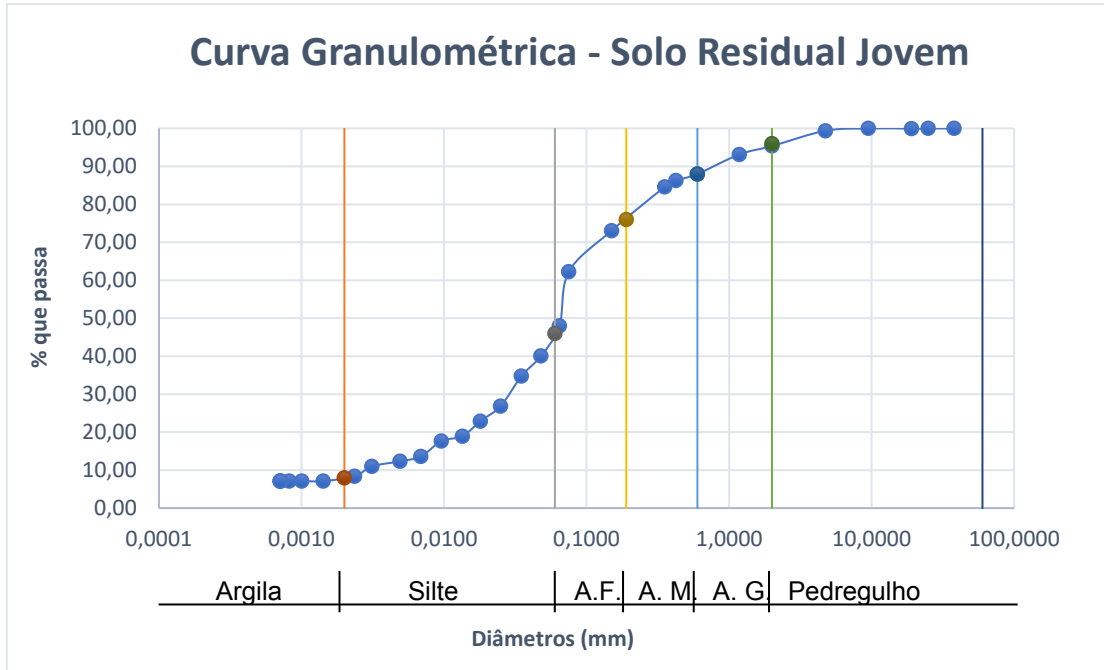


Classificação Granulométrica (ABNT)	
Argila	44%
Silte	18%
Areia	37%
Pedregulho	1%

Fonte: Própria autora.

A Figura 49 apresenta a curva granulométrica do solo residual jovem, no qual a fração predominante é de areia 49%, e, portanto, o solo foi classificado como areno-siltoso muito plástico.

Figura 49. Curva granulométrica do Solo Residual Jovem (Área Piloto 01).



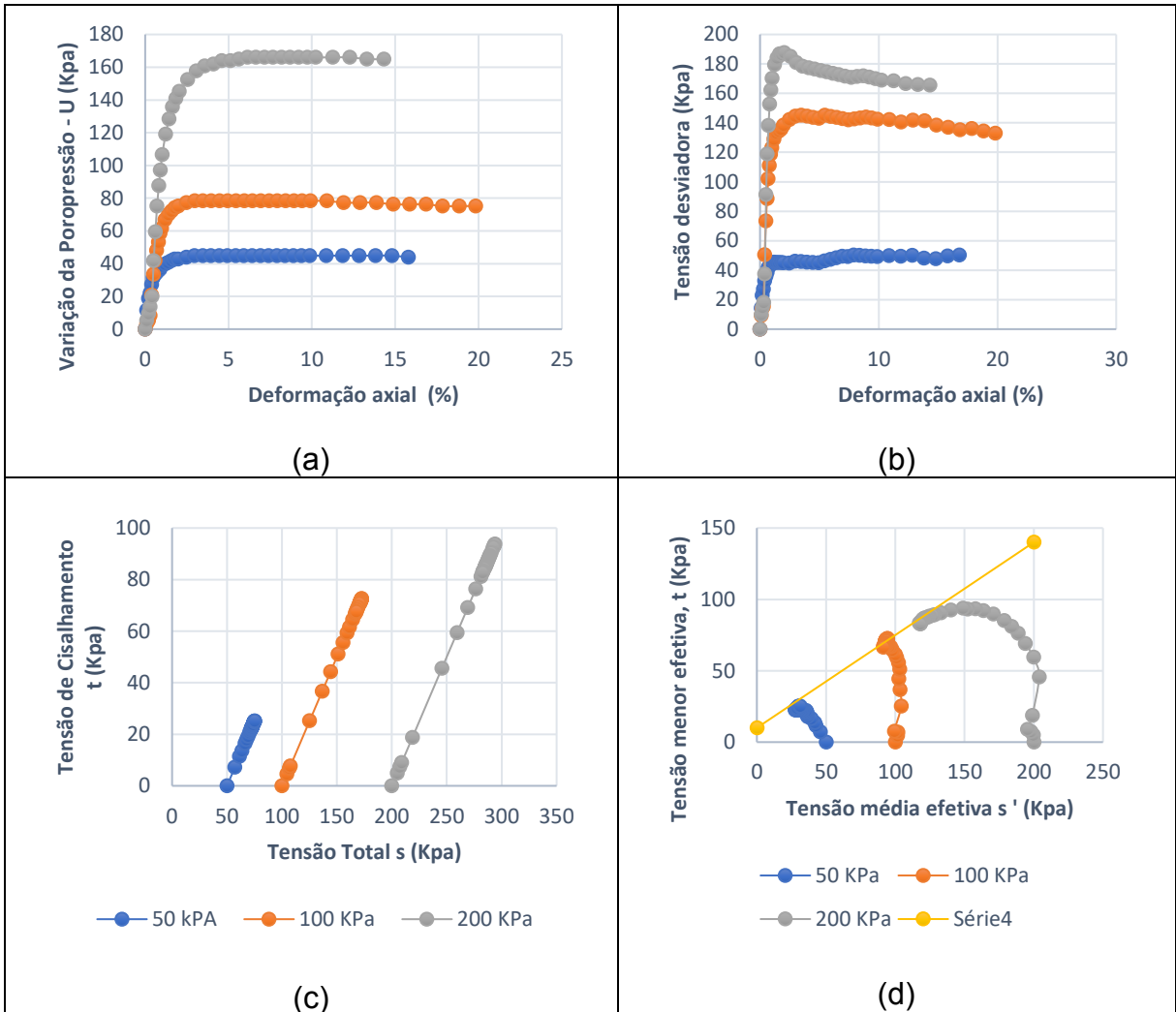
Classificação Granulométrica (ABNT)	
Argila	8%
Silte	38%
Areia	49%
Pedregulho	5%

Fonte: Própria autora.

Os Quadros 14 e Quadro 15 apresentam os resultados dos ensaios Triaxiais CIU, realizados em três níveis de tensões efetivas de confinamento (50, 100 e 200 KPa) para os solos residuais maduro e jovem, respectivamente. As curvas trazem identificação da evolução da poropressão e da tensão x deformação axial durante a saturação, bem como as trajetórias das tensões totais e efetivas durante o

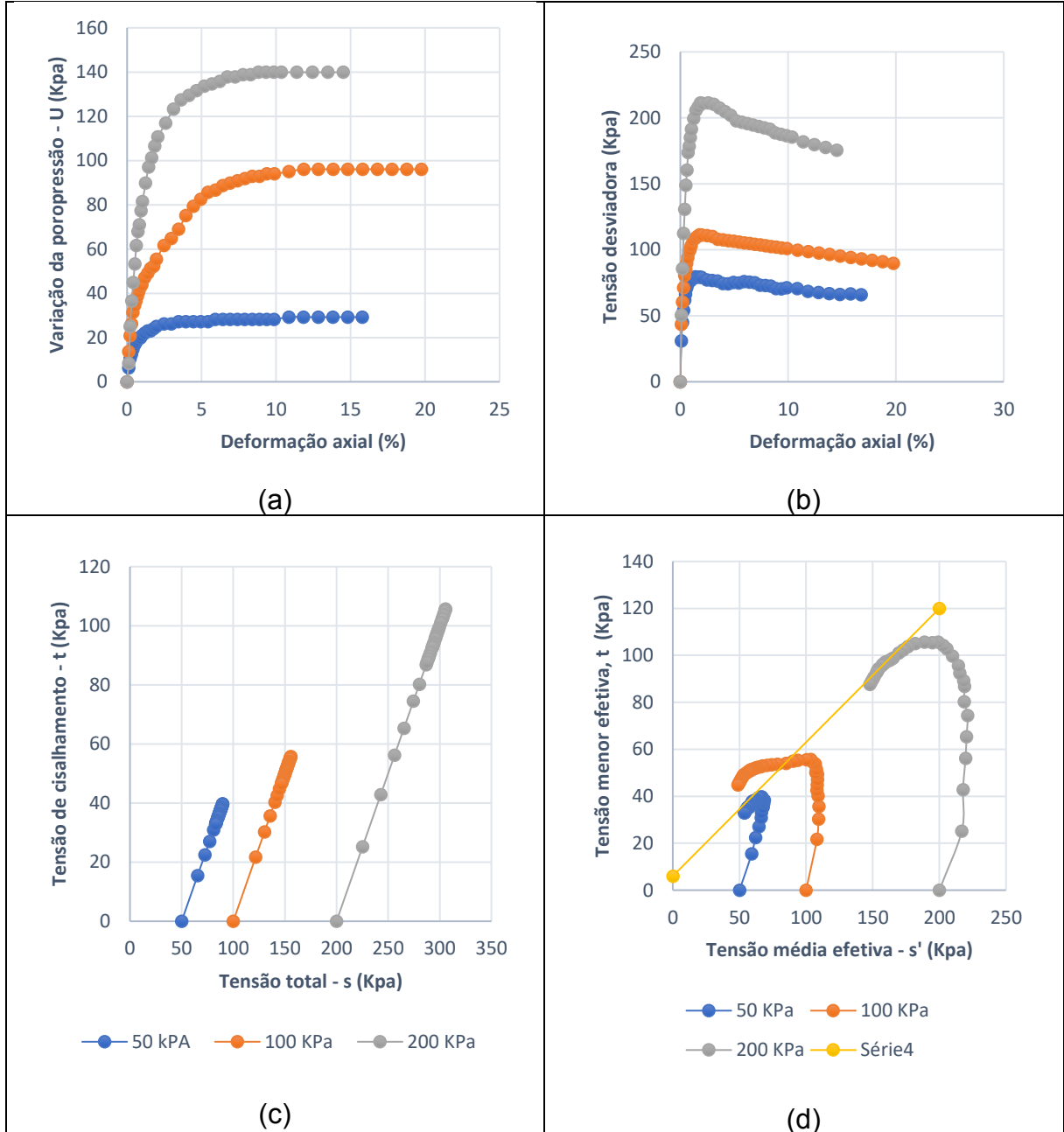
cisalhamento. A Tabela 1 apresenta os valores de coesão (c') e ângulo de atrito (ϕ') dos solos avaliados em termos de tensão efetiva.

Quadro 14. CIU - Solo Residual Maduro - (a) Estado de Variação da Poropressão x Deformação axial; (b) Tensão Desviadora (KPa) x Deformação Axial (%); c) Tensão de cisalhamento x Tensão Total; d) Tensão menor efetiva t (KPa) x Tensão média efetiva s' (KPa) – Área Piloto 01.



Fonte: Própria autora.

Quadro 15. CIU - Solo Residual Jovem - (a) Estado de Variação da Poropressão x Deformação axial; (b) Tensão Desviadora (KPa) x Deformação Axial (%); c) Tensão de cisalhamento x Tensão Total; d) Tensão menor efetiva t (KPa) x Tensão média efetiva s' (KPa) – Área Piloto 01.



Fonte: Própria autora.

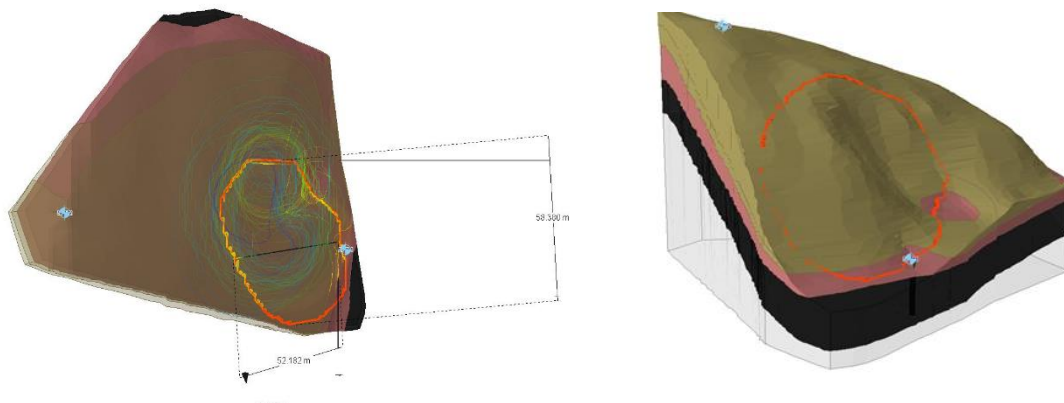
Tabela 1. Valores coesão (c') e ângulo de atrito (ϕ') dos solos avaliados em termos de tensão efetiva (Área piloto 01).

Solo	Ângulo de atrito ϕ' (°)	Coesão (c')	Peso Específico (γ)
Solo R. Maduro	40,54	13,16	17,16
Solo R. Jovem	34,75	7,30	15,79

Fonte: Própria autora.

A análise de estabilidade realizada para esse setor resultou em um Fator de Segurança (FS) mínimo de 1.04. Assim, considerando a existência de uma frente de saturação causada por um período de precipitação pluviométrica concentrada ou de disposição águas servidas, o talude estará em iminência de ruptura e pode apresentar instabilidade, acordo com a NBR 11.682 (2009) (Figura 50).

Figura 50. Análise de Estabilidade Área Piloto 01.



MÉTODO	FS
JANBU	1.041
BISHOP	1.079
GLE	1.145
SPENCER	1.118

Material Name	Color	Unit Weight (kN)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
Residual Maduro	■	17.16	Mohr Coulomb	13.16	40.54
Residual Jovem	■	15.79	Mohr Coulomb	7.3	34.75
Rocha	■	20	Infinite Strength		

Fonte: Própria autora.

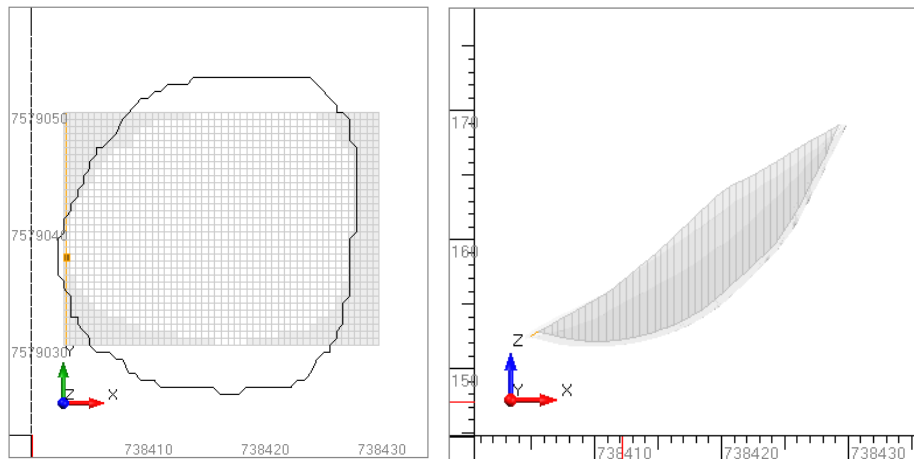
A Tabela 2 apresenta as características do material a ser mobilizado, considerando-se a superfície de ruptura mais crítica resultante da análise com o Slide-3D. Com base nesta superfície definiu-se a geometria da área crítica em relação à altura e comprimento, bem como o volume passível de ser mobilizado em um movimento envolvendo este setor (Figura 51). Esses resultados serviram como dados de entrada para a análise e interpretação das estimativas de alcance feitas através do software RAMMS.

Tabela 2. Valores da superfície de ruptura mais crítica analisada pelo Slide3 – 3D (Área Piloto 01).

VOLUME	ALTURA	COMPRIMETNO
11817,05 m³	58,380m	52,82m

Fonte: Própria autora.

Figura 51. Principal superfície de ruptura do talude de acordo com as estimativas do software Slide 3D (Área Piloto 01).



Fonte: Própria autora.

Para a realização das simulações do alcance, como já especificado nos capítulos anteriores, foi utilizado o método de deflagração por deslizamentos pelo software RAMMS, utilizando profundidades definidas de acordo com as espessuras de solo obtidas nas investigações geológico-geotécnicas. O primeiro parâmetro calibrado foi o coeficiente de atrito seco (μ) o qual influencia diretamente em quando

o material está próximo a parar de se movimentar. O que determinou essa calibração foi o conhecimento do histórico de ocorrência dos deslizamentos ocorridos em 2012 nesta encosta e o tipo de material envolvido a partir de retroanálise realizadas. Como não havia registros de medições relacionadas à velocidade, foram feitas inúmeras estimativas empírico-estatísticas, de maneira a considerar a quantidade do movimento de massa atingir o um percentual menor ou igual a 5% do valor máximo observado ao longo do movimento, valor este sugerido pelos desenvolvedores do software (BARLET et al., 2013). Nestas condições cessa-se a simulação e indica-se que é a condição final da movimentação e deposição do material. Foi também observado nas simulações realizadas que o aumento da variação do coeficiente de atrito seco resulta em um acréscimo na resistência ao cisalhamento e, conseqüentemente, na redução distância percorrida pelo deslizamento.

Já em relação à calibração relacionada à fricção turbulenta viscosa (ξ), parâmetro que está diretamente relacionado ao controle da velocidade, percebeu-se que entre 100 e 200 m/s² os movimentos apresentam aspectos mais granulares e acima de 200m/s² de aspecto mais lamosos, confirmando assim as informações já disponibilizadas pelos desenvolvedores do software (RAMMS, 2013). Outro condicionante importante a se destacar para estas análises é a elevada resolução do Modelo Digital de Elevação utilizado, que permitiu uma maior confiabilidade nos resultados obtidos, associados à inclinação do terreno, o que também interfere na velocidade do deslizamento.

Para a simulação na Área Piloto 01 foram considerados os parâmetros de entrada e dados da literatura, conforme apresentado no Quadro 16, que melhor representassem a área avaliada.

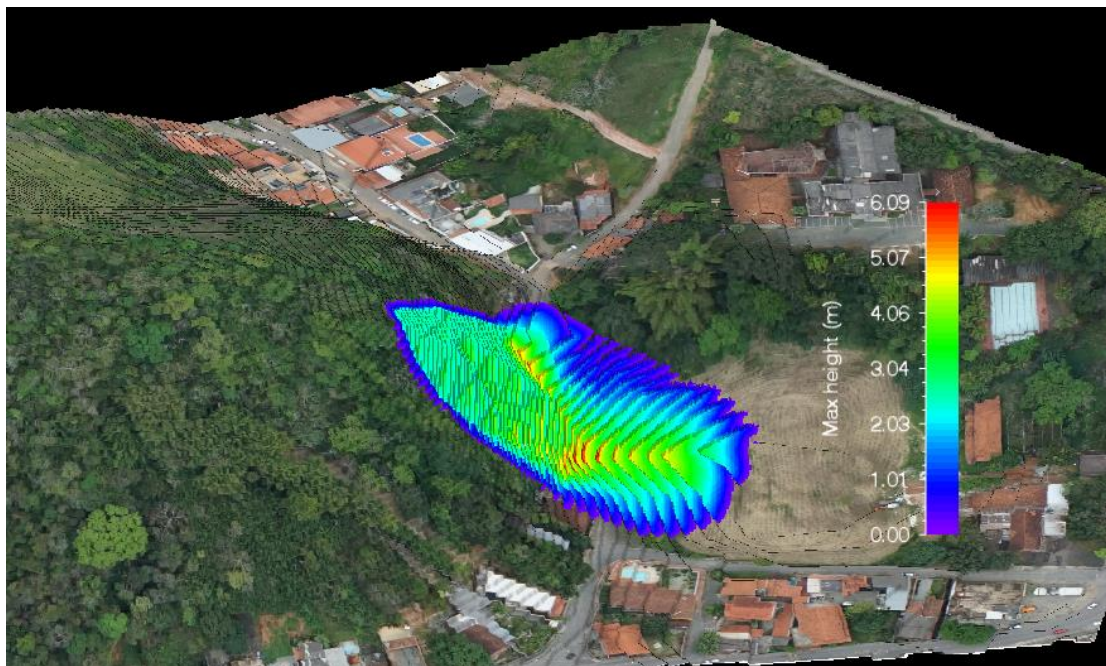
Quadro 16. Parâmetros de entrada e parâmetros numéricos necessários à análise no modelo RAMMS

Dados de Entrada	Parâmetros Numéricos
Dados topográficos	0.5 m de resolução
Densidade do material	1700 kg/m ³
μ (coeficiente de atrito tipo Coulomb seco)	0.35
ξ (coeficiente de atrito viscoso-turbulento)	400 m/s ²
Profundidade da Camada (Espessura)	2.45 m
Volume Inicial	11148,68 m ³
Coesão	13160

Fonte: Própria autora

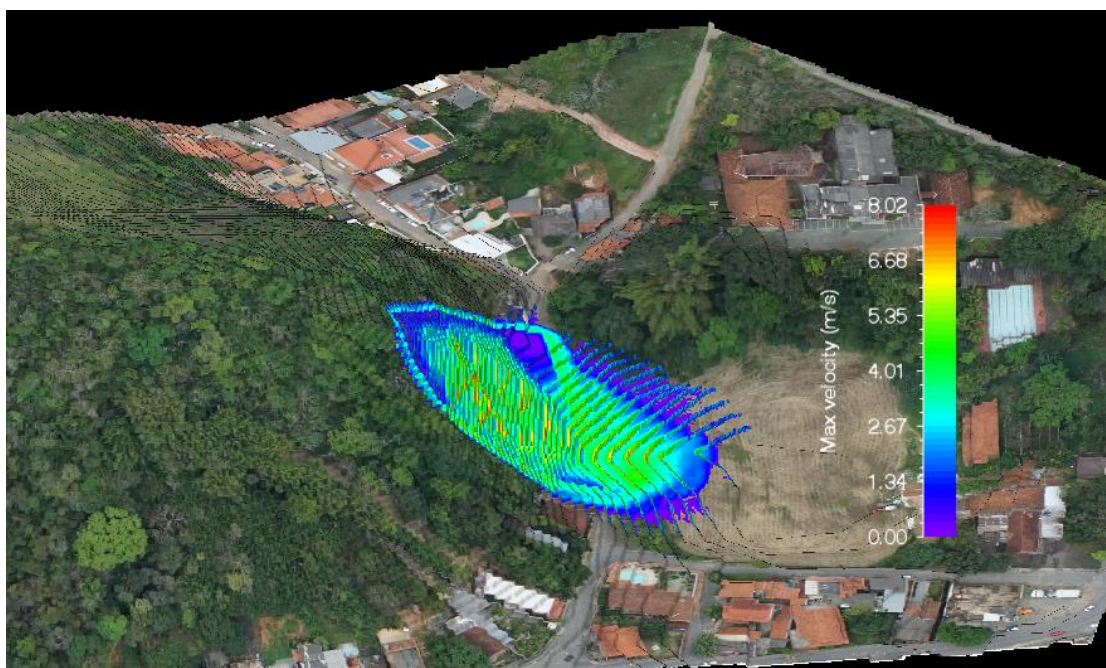
O resultado da simulação é apresentado na Figura 52, considerando o pior cenário, ou seja, a ruptura global da superfície crítica, considerando-se que o deslizamento apresenta uma massa de aspecto homogêneo que envolve solo residual maduro. Este tipo de solo possui uma granulação mais fina e quando ocorre o processo de instabilização devido à uma frente de saturação se torna muito vulnerável a perder toda a resistência ao cisalhamento, causando ruptura repentina. A velocidade máxima atingida pelo deslizamento chegou a 8.02 m/s, conforme Figura 53, e o alcance máximo estimado foi de 115 m. Devido à presença de edificações de alvenaria (barreiras físicas), parte do material deslizado pode ficar contido ao longo percurso. Avaliada as condições do talude e edificações do entorno, é estimado que aproximadamente 20 (vinte) pessoas podem ser diretamente afetadas em caso de ocorrência da ruptura global deste talude. Este valor foi baseado no número de residências, estimando uma ocupação de 4 (quatro) habitantes por moradia. Esta informação é importante para a hierarquização da proposição de soluções os problemas associados ao colapso desta encosta, evitando perdas humanas e materiais.

Figura 52. Área da ruptura global e altura máxima do fluxo (m) - Área Piloto 01 (Setor 12 - R4)



Fonte: Própria autora.

Figura 53. Momento da ocorrência do deslizamento pelo tempo. Representação da velocidade máxima- Área Piloto 01 (Setor 12 - R4)



Fonte: Própria autora.

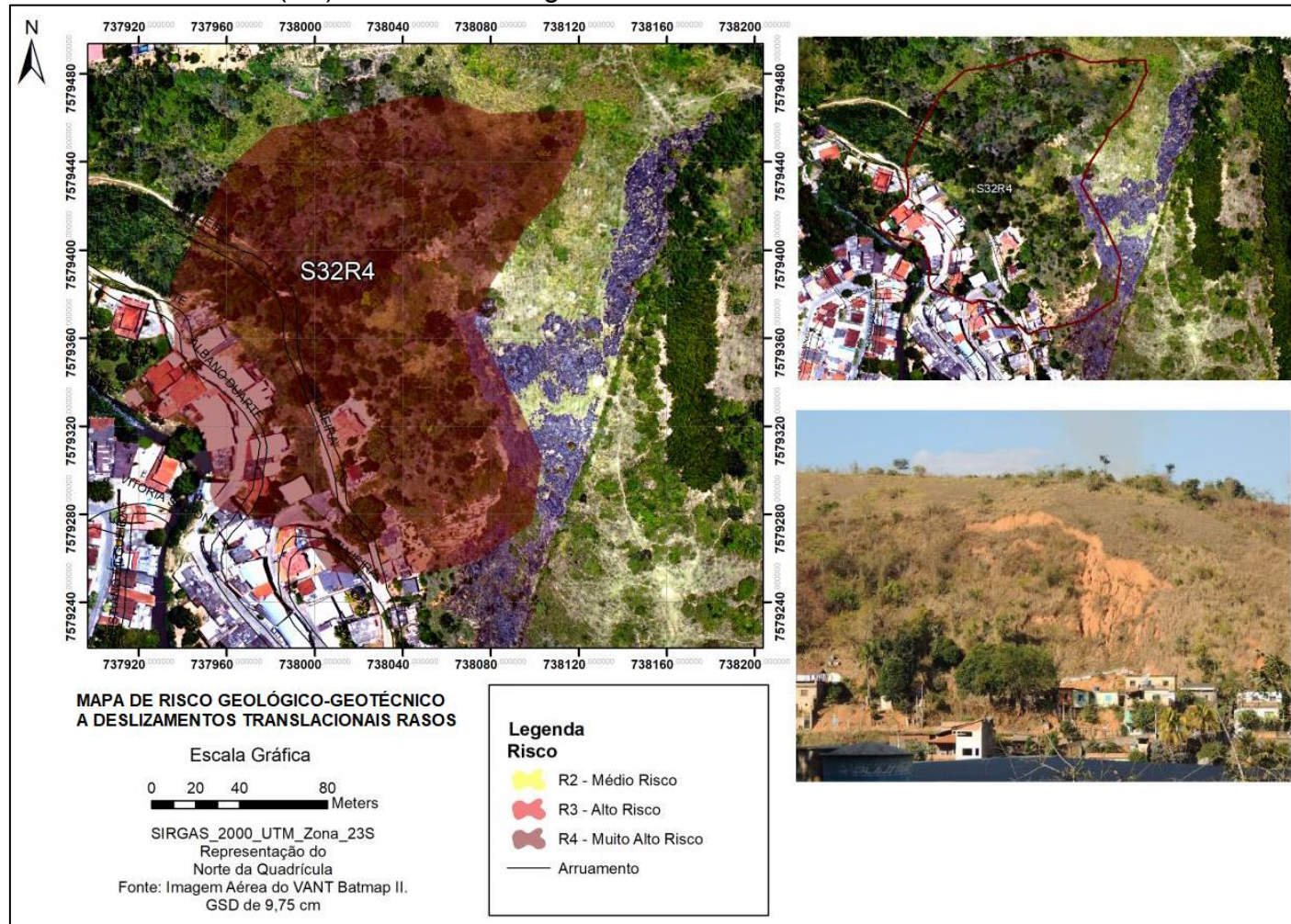
Para a Área Piloto 01 há a necessidade de se informar aos moradores a serem afetados por uma possível ruptura do risco a que estão submetidos e quais as medidas a serem tomadas quando da ocorrência de chuvas intensas. Além disso, cabe ao município estabelecer rotinas de fiscalização nesta área a fim de impedir o avanço de demais ocupações de forma desordenada, alterações na geometria da encosta e/ou projetos sem parâmetros previamente aprovados pela prefeitura.

Como medidas estruturais, orienta-se a remoção das árvores de grande porte e com raízes pivotantes estão causando sobrepeso na encosta, associado à um retaludamento, recobrimento do solo exposto através da cobertura vegetal, implementação de sistema de drenagem superficial ao longo da encosta que reduza a percolação de água pela face e pela crista do talude. Para esta área, até que as intervenções estruturais sejam executadas sugere-se a implantação de um sistema de alerta para que os moradores evacuem a residência previamente em períodos de intensidade pluviométrica, considerando que a área já se encontra com baixo fator de segurança.

5.1.2 ÁREA PILOTO 02 – SETOR 32 (R4)

O setor 32, apresentado na Figura 54, é classificado como de muito alto risco (R4) a deslizamentos, engloba parte das ruas Vereador Ari Vieira, Rua Albano Duarte, Rua Santos, Bairro Banqueta/Vila Laroça. Na delimitação desse setor foram analisadas as condicionantes geológico-geotécnicas atuantes, tendo sido possível verificar que há 27 domicílios nele incluídos. Observa-se que o risco está associado à existência de e cortes verticalizados, com distância dos domicílios em relação aos taludes inferior a 2,0 metros, desnível e inclinação da encosta a montante dos domicílios elevados ($>40^\circ$), bem como ocupação desordenada e urbanização precária. Há cicatrizes e histórico de deslizamentos e degraus de abatimento indicativos de mobilização de volume significativo de material.

Figura 54. Área Piloto 02 – Setor 32 (R4) de Risco Geológico-Geotécnico a deslizamentos.



Fonte: Própria autora.

Foram também observadas a presença de trincas e árvores inclinadas próximo às cicatrizes. Estas evidências mostram que área apresenta indícios de movimentação, agravada pela ausência de sistema de drenagem pluvial ao longo da encosta e das vias (Figura 55).

Figura 55. Vista da encosta que compõe o setor de risco, com destaque para a dimensão da cicatriz de deslizamento formada a montante dos domicílios (Setor 32 – R4).



Fonte: Própria autora.

Os solos observados na área de interesse consistem em material residual de gnaiss (SRJ), de coloração variegada, pouco compacto e granulometria areno-siltosa. Também foram registrados alguns pontos compostos de solo residual maduro (SRM), com características similares, porém pouco espesso e de granulometria mais fina. Não foram observados afloramentos rochosos, apenas estruturas reliquias preservadas em alguns perfis de solo. A Figura 56 apresenta a fotografia aérea com o registro histórico de deslizamentos ocorridos no mês de janeiro de 2012, que resultou na interdição de edificações e vias. As feições observadas em campo caracterizam ruptura no contato solo coluvionar e solo residual maduro. Conforme

histórico de informações, em algumas residências atingidas houve acúmulo de lama que, em função da ruptura, quebrou as paredes dos fundos de uma casa, tomando seu interior.

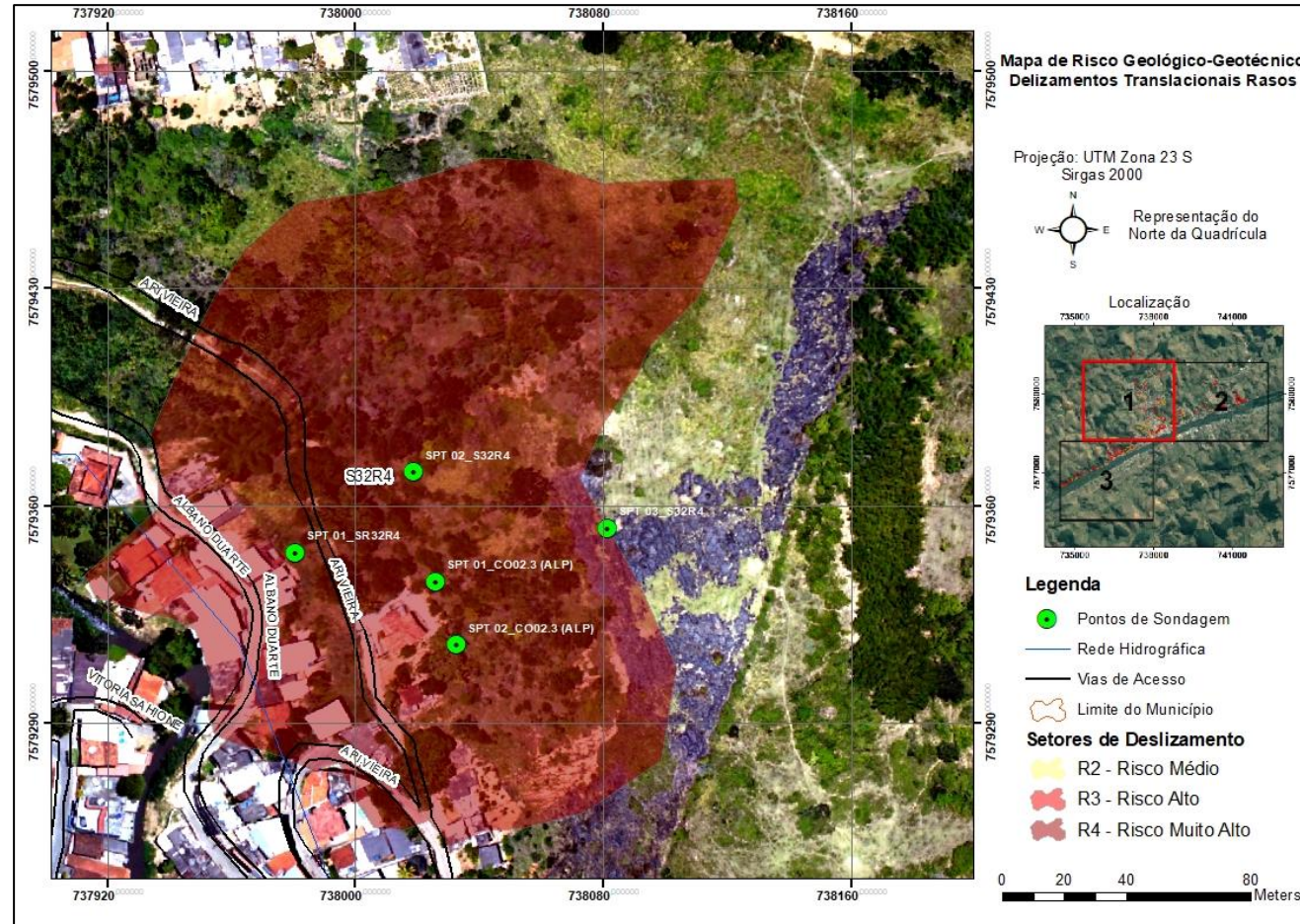
Figura 56. Foto aérea do histórico de ocorrência de deslizamentos na área piloto (Setor 32 - R4)



Fonte: COMPDEC, Além Paraíba em 09 de janeiro de 2012.

Com o objetivo de entender as principais condicionantes geológico-geotécnicas envolvidas no risco observado nesta área piloto foram realizadas três sondagens de simples reconhecimento com ensaio SPT. O primeiro furo SPT-01, foi feito na base do talude na rua Albano Duarte; o segundo furo, SPT- 02, na rua Vereador Ary Vieira; e o terceiro furo, SPT- 03, no topo da encosta em uma área de pastagem, com as profundidades descritas a seguir, totalizando 39,6 metros de perfuração. Foram também disponibilizados mais 2 (dois) furos realizados na mesma região pela prefeitura (Figura 57).

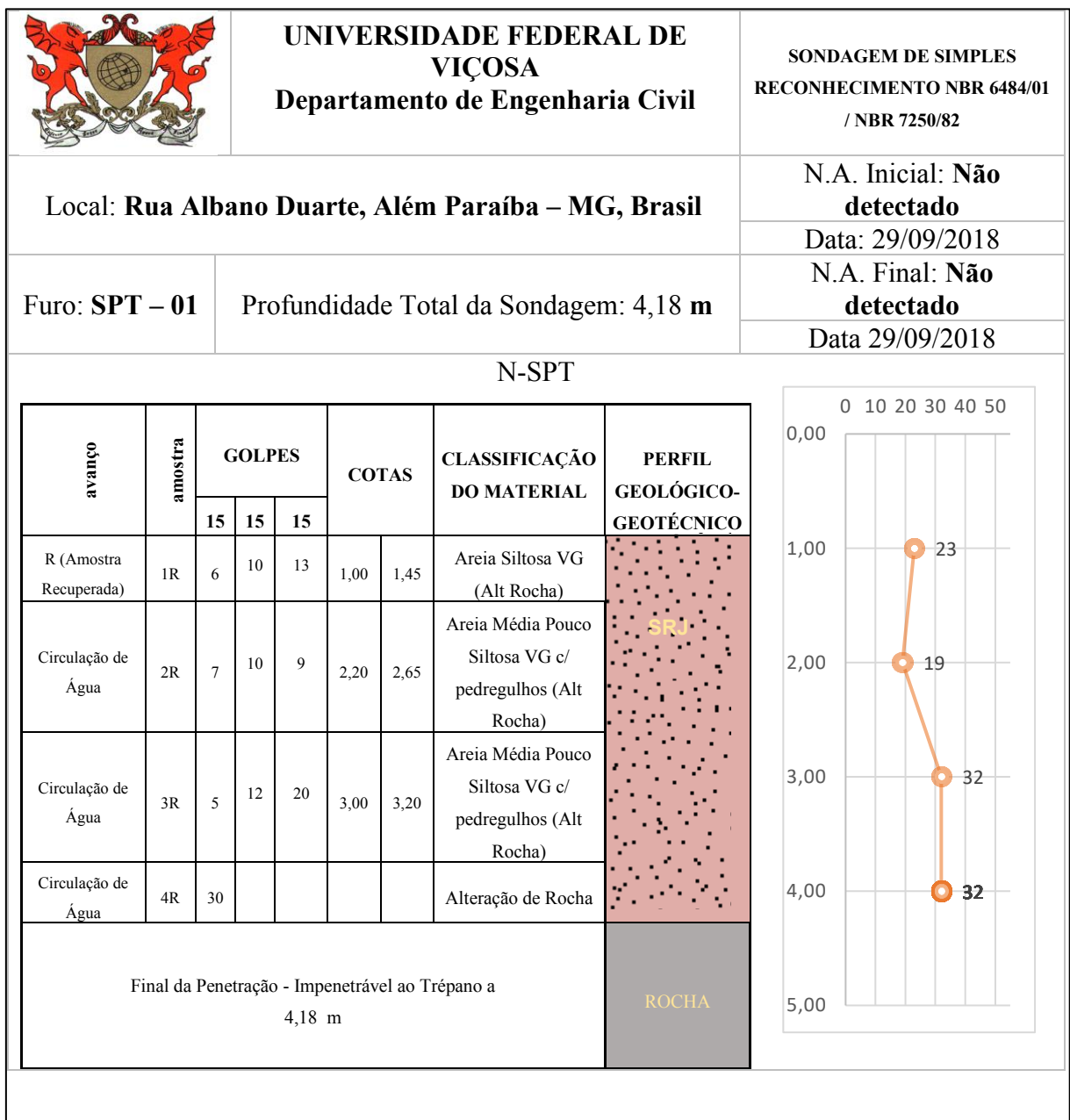
Figura 57. Área Piloto 02 - Mapa de Risco Geológico-Geotécnico - Deslizamentos translacionais rasos (Setor 32 - R4) – Pontos de Sondagem.



Fonte: Própria autora.

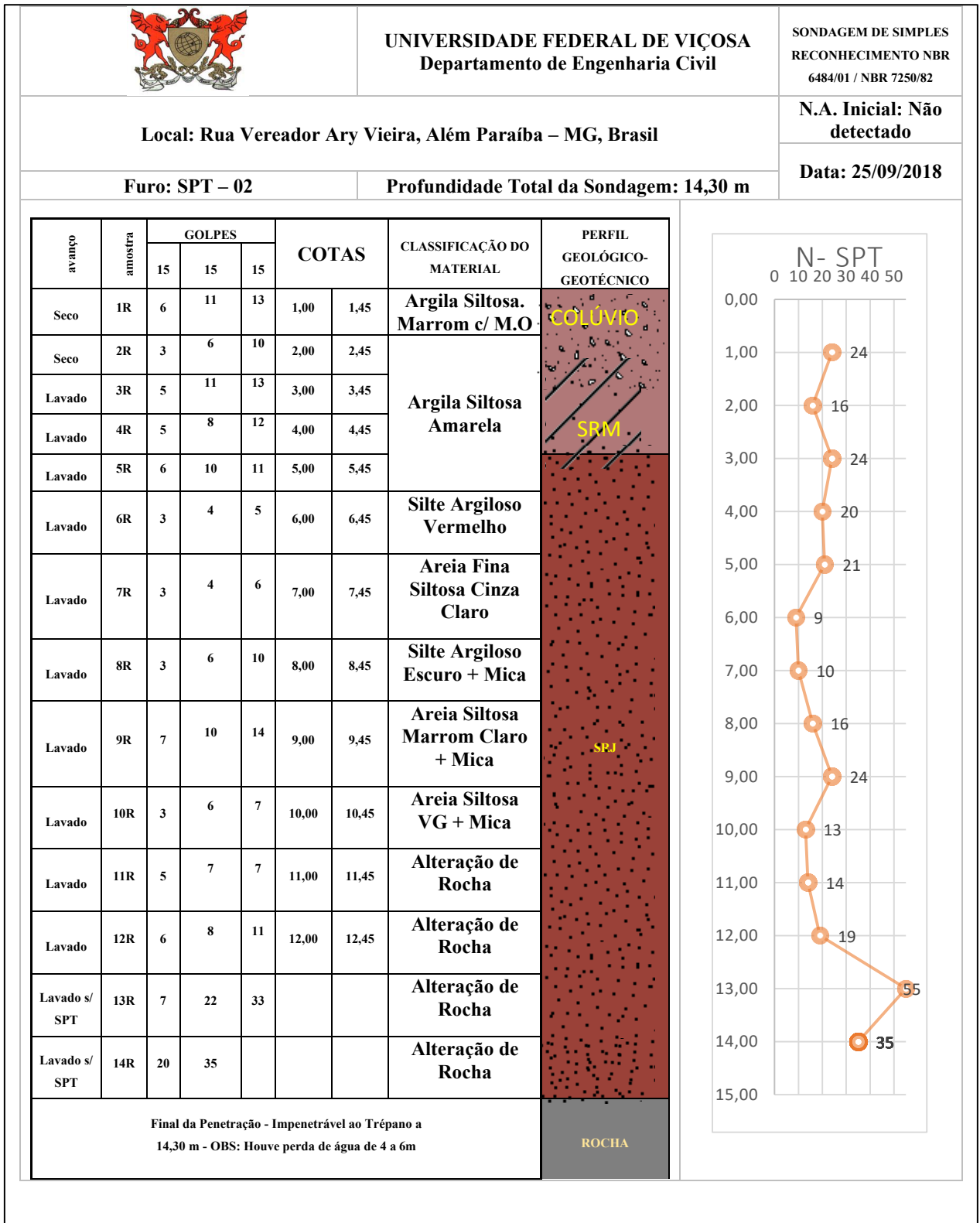
As Figuras 58 a 60, apresentam os perfis geológico-geotécnicos e o índice de resistência à penetração das três sondagens representativas utilizadas na área piloto 02.

Figura 58. Perfil Geotécnico do Furo SPT 1 - Rua Albano Duarte, Além Paraíba - MG, Brasil



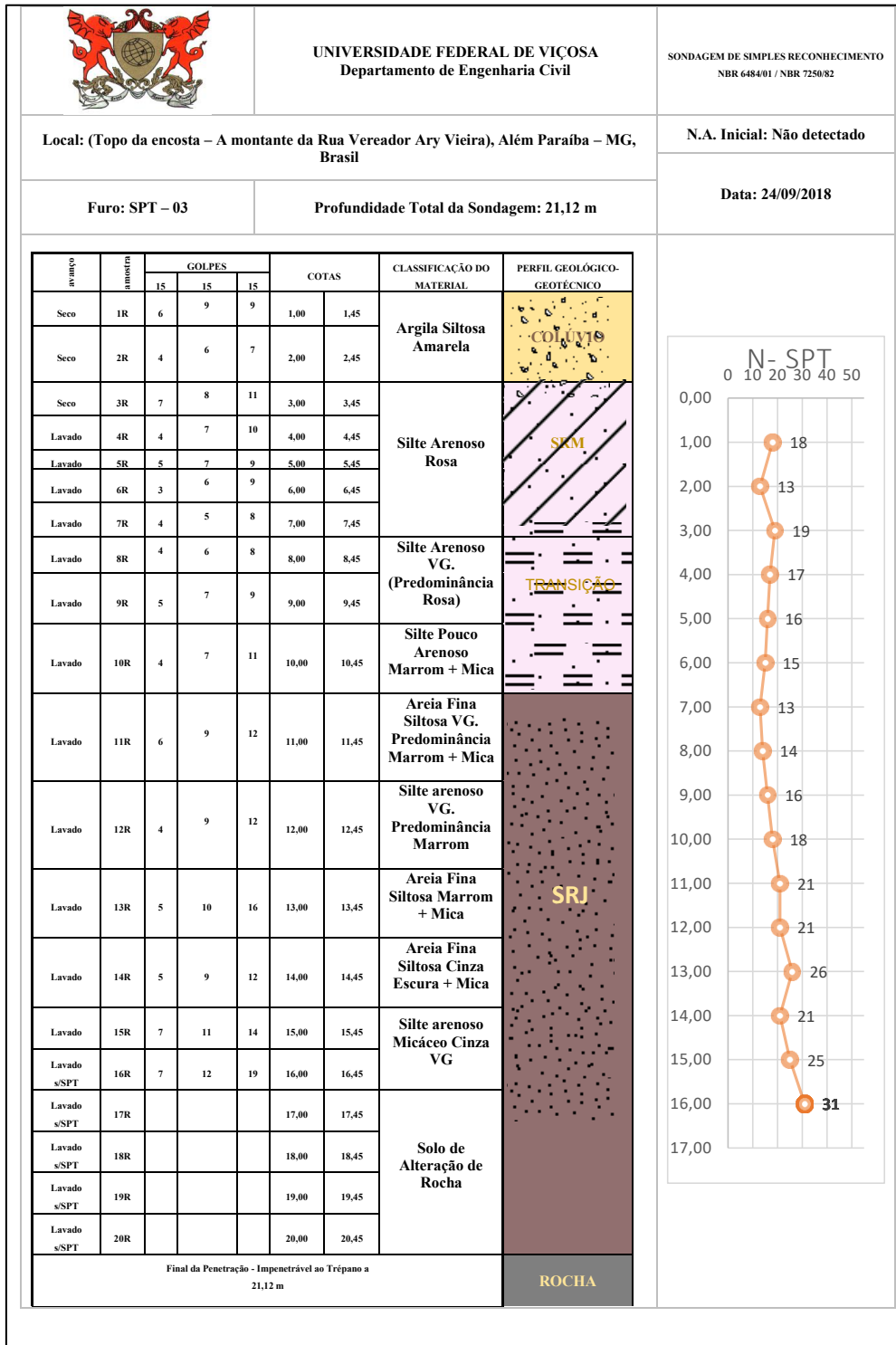
Fonte: Própria autora.

Figura 59. Perfil Geotécnico do Furo SPT 2 - Rua Albano Duarte, Além Paraíba - MG, Brasil



Fonte: Própria autora.

Figura 60. Perfil Geotécnico do Furo SPT 2 - Rua Albano Duarte, Além Paraíba - MG, Brasil



Fonte: Própria autora.

A Tabela 3, apresenta o resultado da composição granulométrica e os índices físicos obtidos nos ensaios de caracterização das amostras de solo analisadas na área piloto 02.

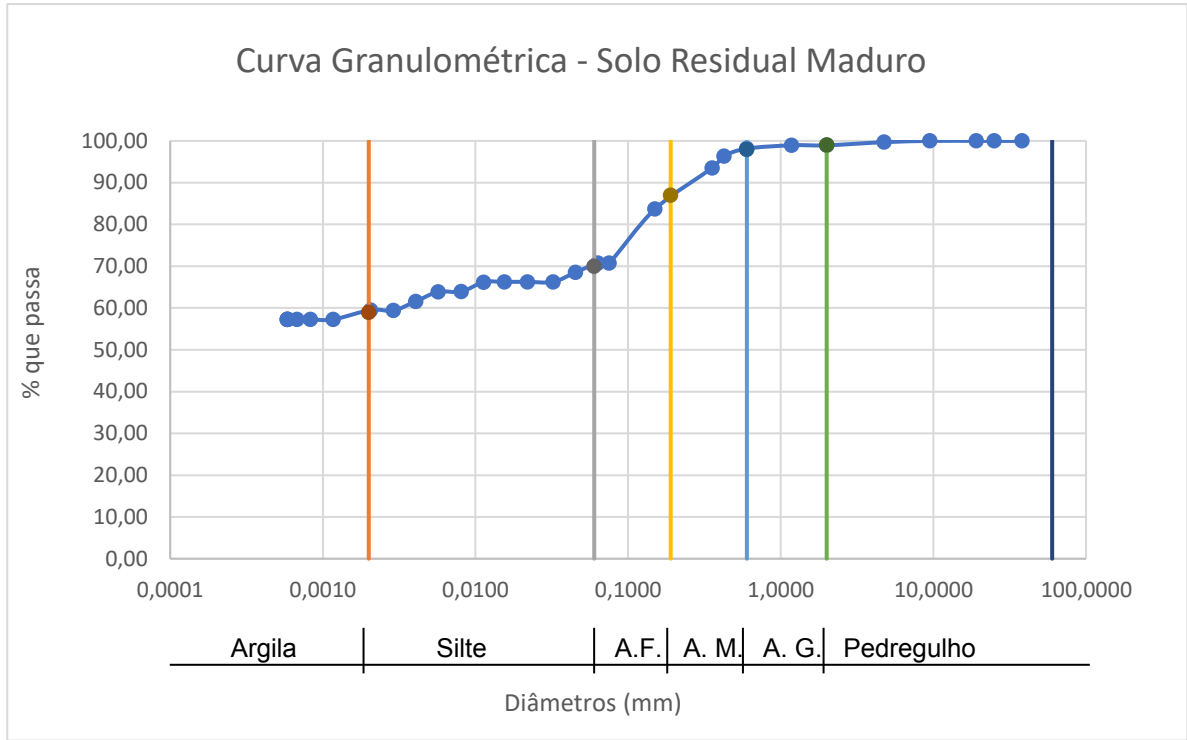
Tabela 3. Resumo dos ensaios de caracterização geotécnica dos solos - Área Piloto 02.

ÁREA PILOTO 02	SOLO RESIDUAL MADURO (SRM)	SOLO DE TRANSIÇÃO	SOLO RESIDUAL JOVEM (SRJ)
Peso Específico (KN/m ³)	13,59	16,70	15,79
w (%)	25,01	12,43	11,81
Argila	59 %	8 %	19 %
Silte	12 %	42 %	50 %
Areia	28 %	49 %	30 %
Pedregulho	1 %	1 %	1 %
Classificação Granulométrica	Argilo-Arenoso	Areno- Siltoso	Silte-Arenoso
Massa Específica (g/cm ³)	2,69	2,72	2,51
LL (%)	62,60	33,59	33,87
LP (%)	40,52	23,7	17,78
IP (%)	22,08	9,89	16,09
Plasticidade	Muito Plástico	Plasticidade Média	Muito Plástico

Fonte: Própria autora.

A Figura 61 mostra a representação da curva granulométrica do ensaio realizado no solo residual maduro, classificado como um solo argilo-arenoso, muito plástico.

Figura 61. Curva granulométrica do Solo Residual Maduro (Área Piloto 02).

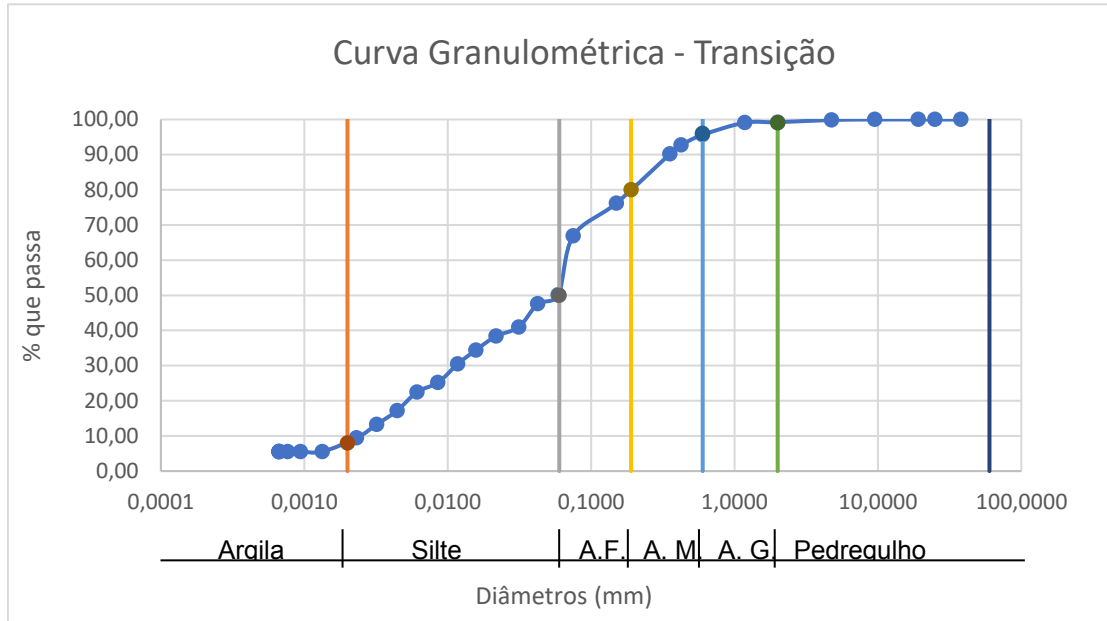


Classificação Granulométrica (ABNT)	
Argila	59%
Silte	12%
Areia	28%
Pedregulho	1%

Fonte: Própria autora.

A Figura 62 apresenta a curva granulométrica do solo de transição, a fração predominante é de silte 49%, e, portanto, o solo foi classificado como areno-siltoso de plasticidade média.

Figura 62. Curva granulométrica do Solo Residual Transição (Área Piloto 02).

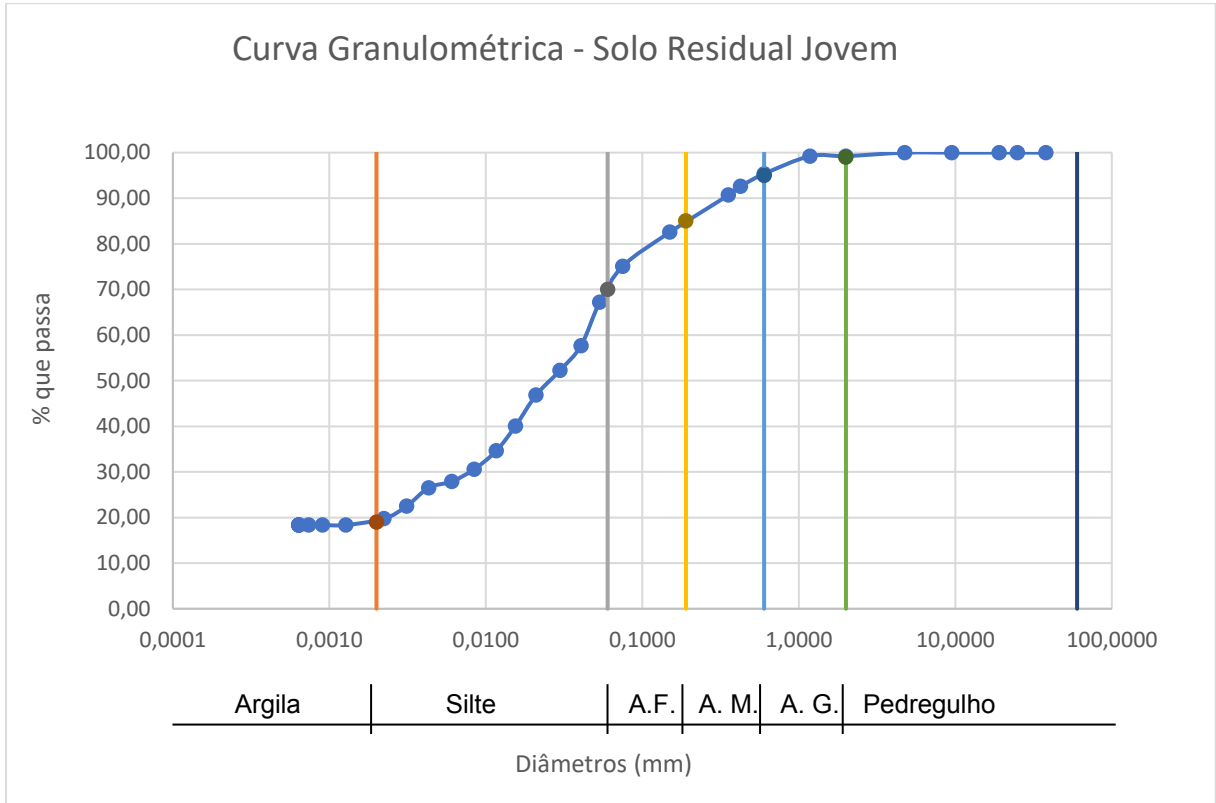


Classificação Granulométrica (ABNT)	
Argila	8%
Silte	42%
Areia	49%
Pedregulho	1%

Fonte: Própria autora.

A Figura 63 apresenta a curva granulométrica do solo de jovem, a fração predominante é silte-arenoso, muito plástico.

Figura 63. Curva granulométrica do Solo Residual Jovem (Área Piloto 02).



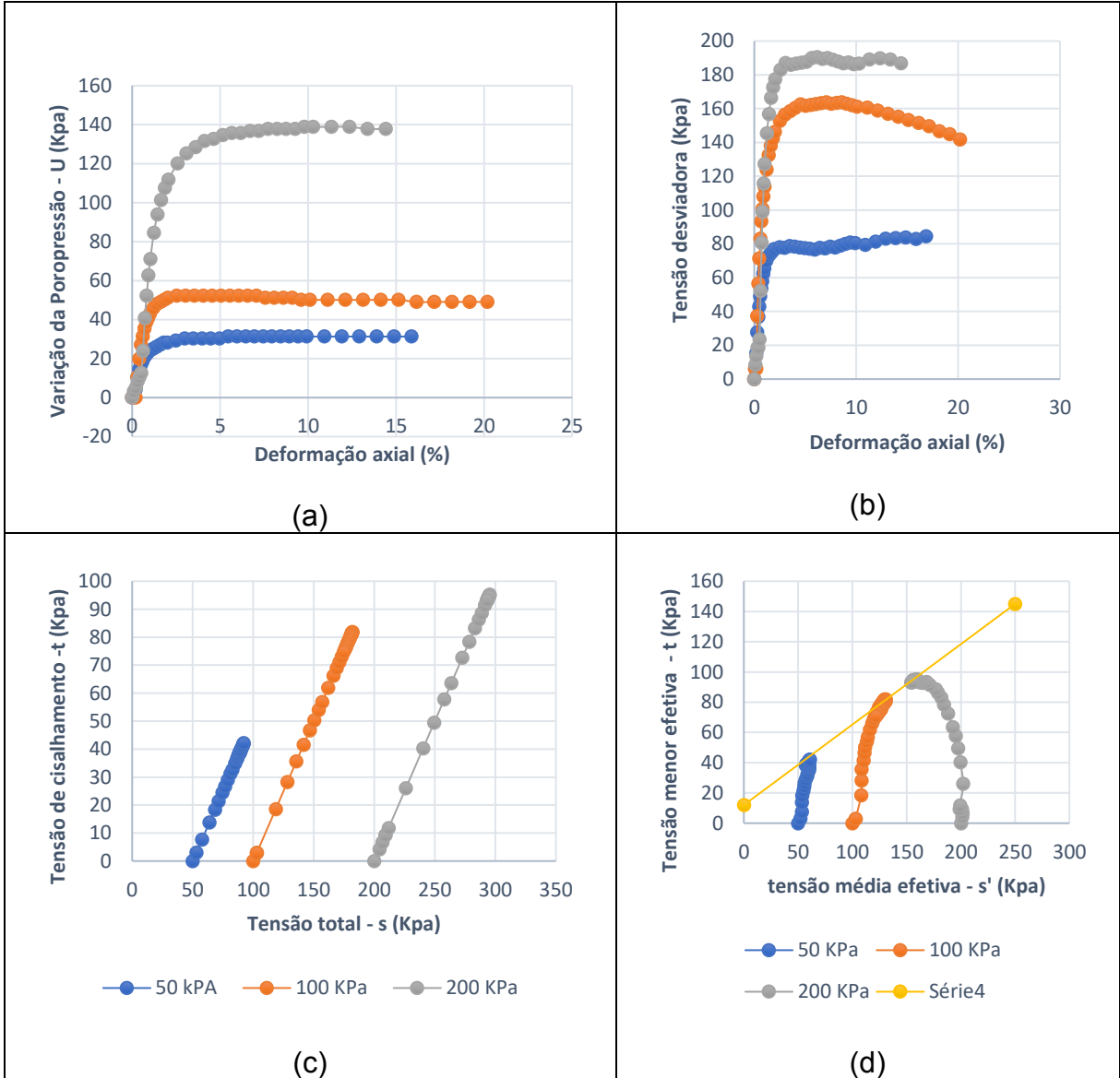
Argila	19%
Silte	50%
Areia	30%
Pedregulho	1%

Fonte: Própria autora.

Os gráficos apresentados nos Quadros 17 a 19 apresentam os resultados dos ensaios Triaxiais CIU, realizados em três níveis de tensões efetivas de confinamento (50, 100 e 200 KPa). As curvas trazem identificação da evolução da poropressão e da tensão x deformação axial durante a saturação, bem como as trajetórias das tensões totais e efetivas durante o cisalhamento. Cabe salientar que para o material de colúvio, os parâmetros foram estabelecidos através dos resultados do ensaio triaxial adensado não drenado (CIU) retirados de uma nota de auditoria técnica realizada por Marques (2009)³. A Tabela 4 apresenta os valores de coesão (c') e ângulo de atrito (ϕ') dos solos avaliados em termos de tensões efetivas (Área piloto 02).

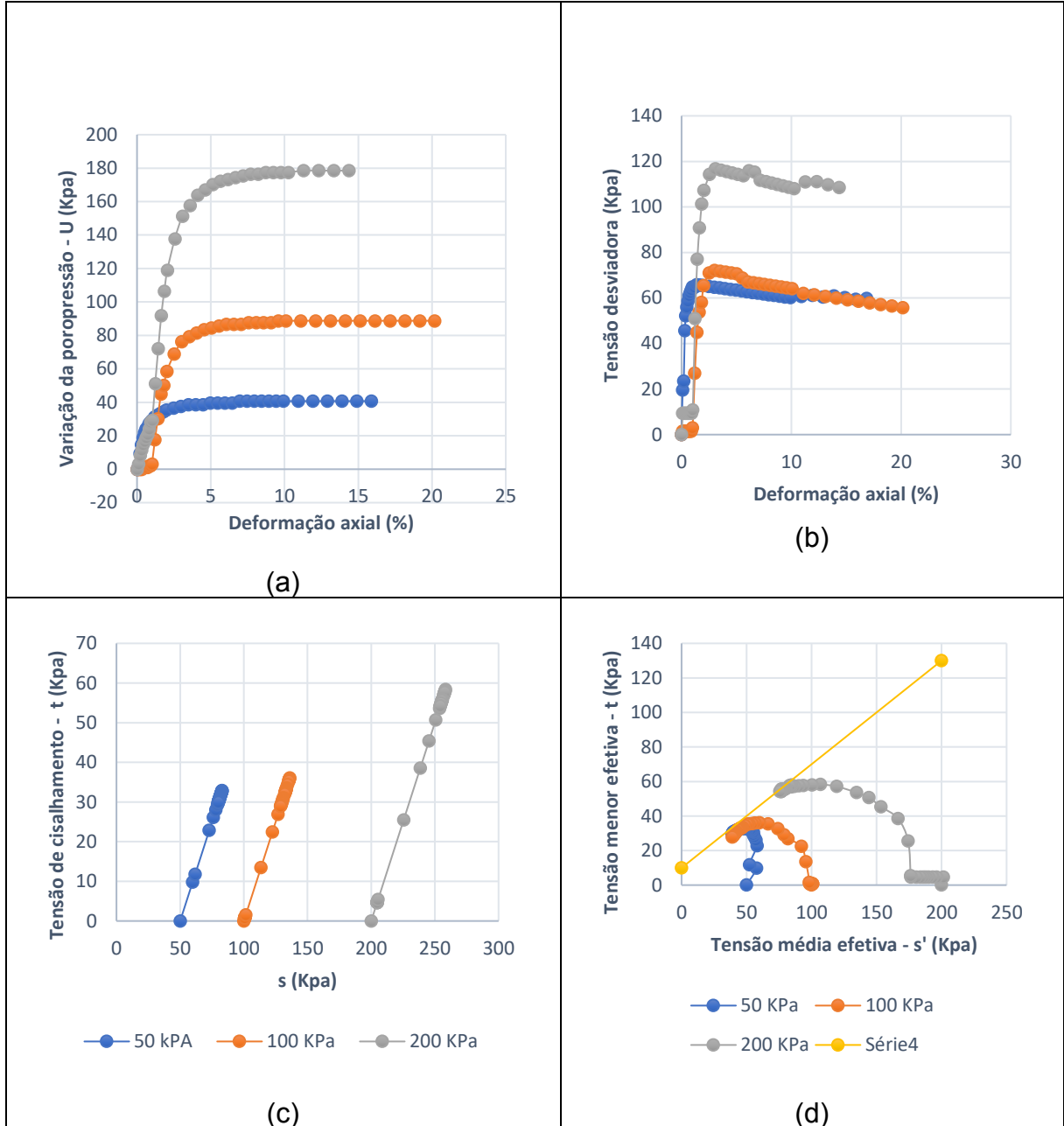
3 Relatório Técnico de revisão periódica de segurança de barragens (Adaptado de MARQUES, 2009).

Quadro 17. CIU - Solo Residual Maduro - (a) Estado de Variação da Poropressão x Deformação axial; (b) Tensão Desviadora (KPa) x Deformação Axial (%); c) Tensão de cisalhamento x Tensão Total; d) Tensão menor efetiva t (KPa) x Tensão média efetiva s' (KPa) – Área Piloto 02.



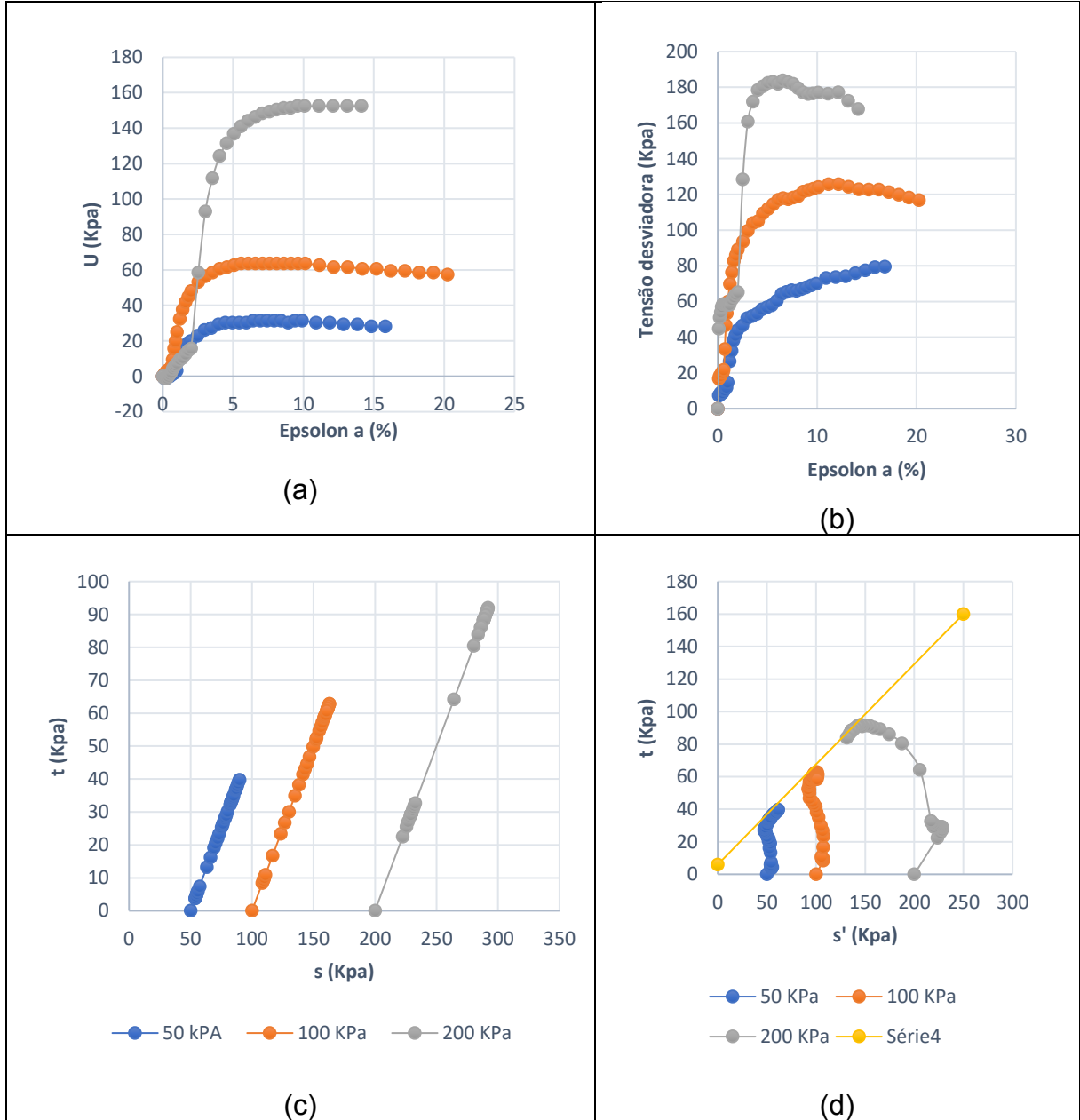
Fonte: Própria autora.

Quadro 18. CIU - Solo de Transição - (a) Estado de Variação da Poropressão x Deformação axial; (b) Tensão Desviadora (KPa) x Deformação Axial (%); c) Tensão de cisalhamento x Tensão Total; d) Tensão menor efetiva t (KPa) x Tensão média efetiva s' (KPa) – Área Piloto 02.



Fonte: Própria autora.

Quadro 19. CIU - Solo Residual Jovem - (a) Estado de Variação da Poropressão x Deformação axial; (b) Tensão Desviadora (KPa) x Deformação Axial (%); c) Tensão de cisalhamento x Tensão Total; d) Tensão menor efetiva t (KPa) x Tensão média efetiva s' (KPa) – Área Piloto 02.



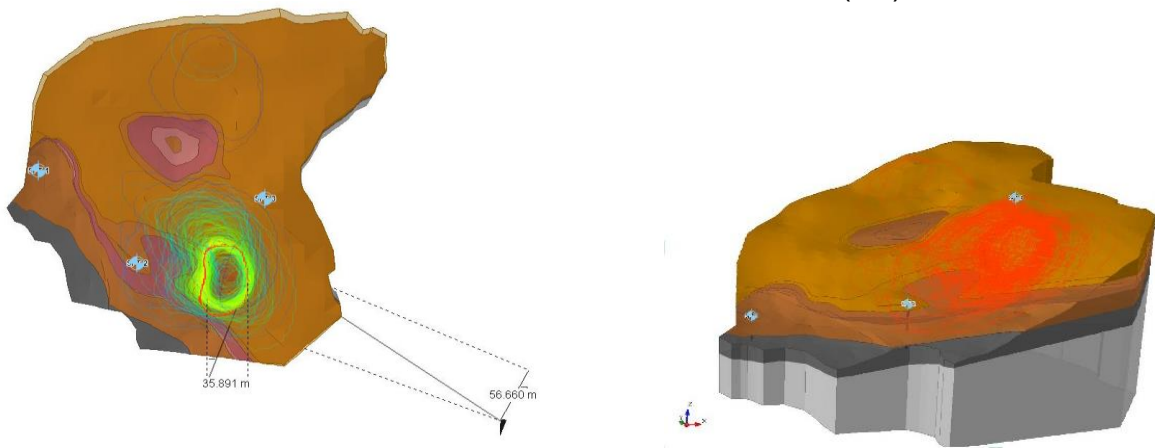
Fonte: Própria autora.

Tabela 4. Valores coesão (c') e ângulo de atrito (ϕ') dos solos avaliados em termos de tensões efetivas (Área piloto 02).

Solo	Ângulo de atrito ϕ (°)	Coesão (c)	Peso Específico (γ)
Colúvio	28	11,4	17
Solo R. Maduro	32,14	14,17	16,69
Solo de Transição	36,87	12,5	13,58
Solo R. Jovem	38,02	7,62	14,81

A análise de estabilidade realizada para esse setor resultou em um Fator de Segurança (FS) mínimo de 0.98 (Figura 64). Assim, considerando a existência de uma frente de saturação causada por precipitação pluviométrica concentrada ou de disposição águas servidas o talude estará em iminência de ruptura e pode apresentar instabilidade acordo com a NBR 11.682 (2009).

Figura 64. Análise de Estabilidade 3D Área Piloto 02. Setor 32 (R4).



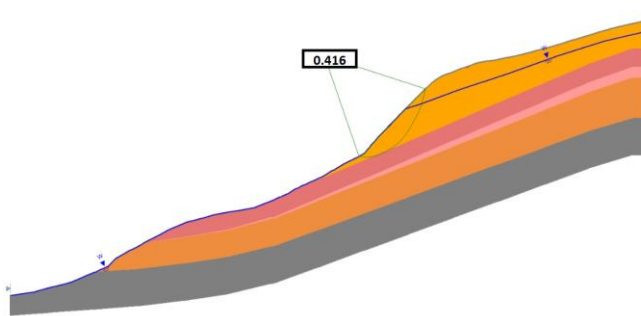
MÉTODO	FS
JANBU	0.977
BISHOP	1.008
GLE	1.027
SPENCER	1.033

Material Name	Color	Unit Weight (kN)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
COLÚVIO		17	Mohr Coulomb	11.4	28
SRM		16.69	Mohr Coulomb	14.17	32.14
TRANSICAO		13.58	Mohr Coulomb	12.5	36.87
SRJ		14.81	Mohr Coulomb	7.62	38.02
ROCHA		20	Infinite Strength		

Fonte: Própria autora.

Cabe ressaltar que também foram realizadas análise de estabilidade por meio do software Slide- 2D com a finalidade de compreender a resistência ao cisalhamento dos solos a partir de simulações com alterações dos níveis de água NA presentes em três diferentes posições de altura, as Figuras 65, 66 e 67 demonstram os resultados obtidos. Em síntese, os resultados apresentados demonstram que a instabilidade do talude em questão é sistematicamente influenciada quando a posição do NA passa pela cunha de ruptura que, neste caso, se torna mais suscetível quando associada ao acréscimo de poropressão nos períodos de precipitação pluviométrica que influenciam sistematicamente na redução do fator de segurança.

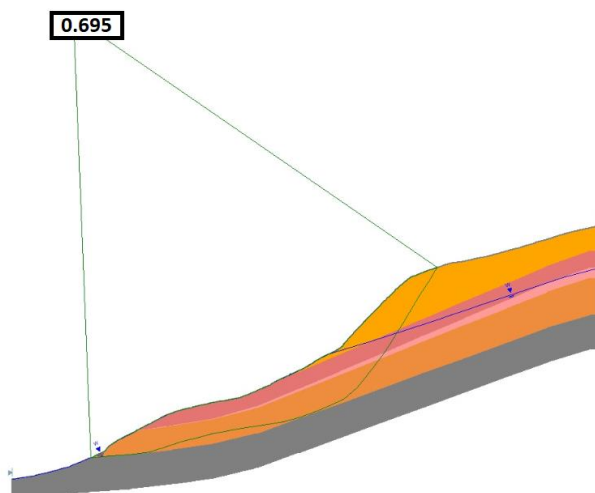
Figura 65. Análise de Estabilidade 2D Área Piloto 02. Setor 32 (R4) - NA próximo a superfície passando pela cunha e aflorando ao longo de todo o talude.



MÉTODO	FS
JANBU	0.416
BISHOP	0.454
GLE	0.465
SPENCER	0.465

Fonte: Própria autora.

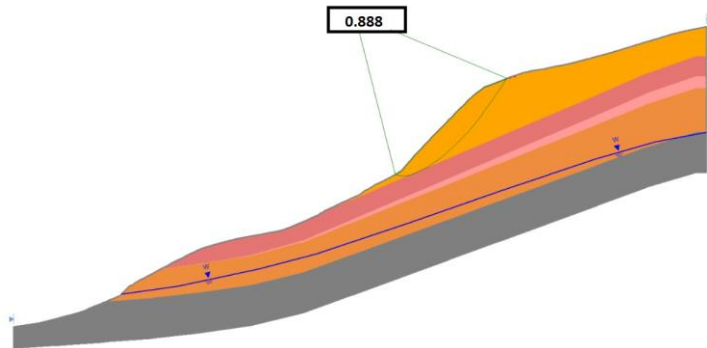
Figura 66. Análise de Estabilidade 2D Área Piloto 02. Setor 32 (R4) - NA intermediário.



MÉTODO	FS
JANBU	0.695
BISHOP	0.733
GLE	0.751
SPENCER	0.765

Fonte: Própria autora.

Figura 67. Análise de Estabilidade 2D Área Piloto 02. Setor 32 (R4) - NA mais baixo próximo ao topo rochoso.



MÉTODO	FS
JANBU	0.888
BISHOP	0.934
GLE	0.936
SPENCER	0.947

Fonte: Própria autora.

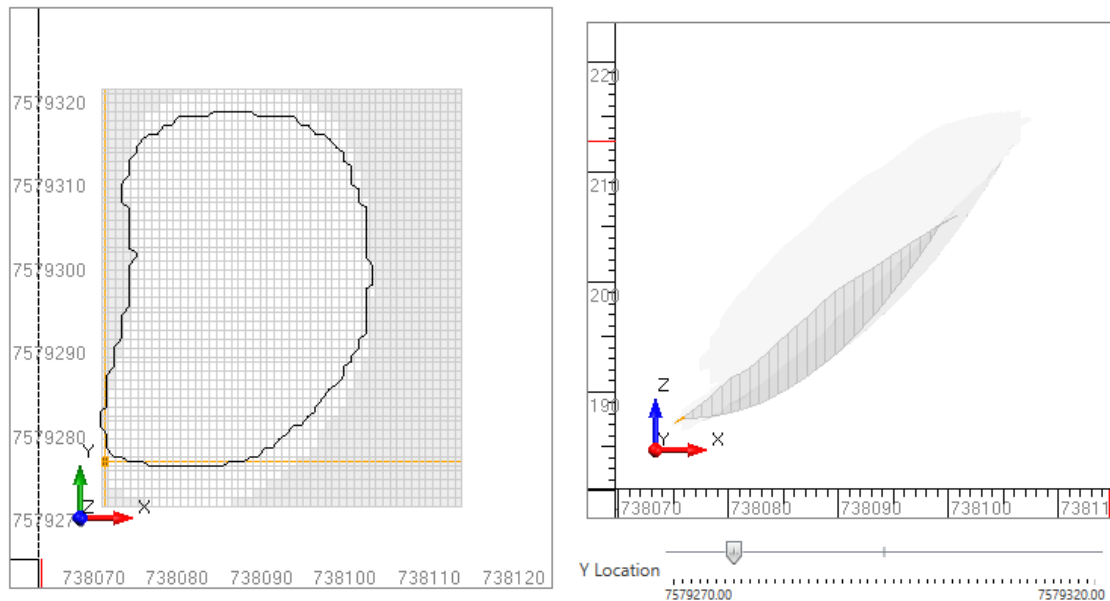
A Tabela 5 apresenta as características do material a ser mobilizado, considerando-se a superfície de ruptura da análise com o Slide-3D. Com base nesta superfície, definiu-se a geometria da seção crítica em relação à altura e comprimento, bem como o volume ainda passível de ser mobilizado em um deslizamento envolvendo este setor (Figura 68). Esses resultados serviram com dados de entrada para a análise e interpretação das estimativas de alcance feitas através do software RAMMS para a Área Piloto 02.

Tabela 5. Valores da superfície de ruptura mais crítica analisada pelo Slide3 – 3D (Área Piloto 02).

VOLUME	ALTURA	COMPRIMETNO
5737,101 m ³	56,660m	35,891m

Fonte: Própria autora.

Figura 68. Principal superfície de ruptura do talude de acordo com as estimativas do software Slide 3D (Área Piloto 02).



Fonte: Própria autora.

Para Área Piloto 02, serão apresentadas duas simulações de *runout*. A primeira considerando os parâmetros de entrada conforme Tabela 6, referentes à retroanálise realizada para a área em questão, com intuito de entender o comportamento da encosta em relação aos mecanismos associados à ocorrência dos deslizamentos em janeiro de 2012, visto que, através dos registros fotográficos, foi possível verificar a área potencialmente afetada e o tipo e características do material deslizado. Já na segunda simulação, conforme Tabela 7, foi possível associar os parâmetros à seção crítica obtida pela análise de estabilidade no Slide 3D, bem como estabelecer a profundidade média dos solos suscetíveis ao deslizamento, conforme sondagens realizadas na área de estudo com o objetivo de prever futuros deslizamentos nesta região.

Tabela 6. Parâmetros de entrada e parâmetros numéricos necessários à análise no modelo RAMMS – Área Piloto 02 (Setor 32 – R4)

Dados de Entrada	Parâmetros Numéricos
Dados topográficos	0.5 m de resolução
Densidade do material	1700
μ (coeficiente de atrito tipo Coulomb seco)	0.35
ξ (coeficiente de atrito viscoso-turbulento)	600 m/s ²
Profundidade da Camada	0.5 m (Augusto Filho, 1993)
Volume Inicial	5789 m ³
Coesão	11400

Fonte: Própria autora.

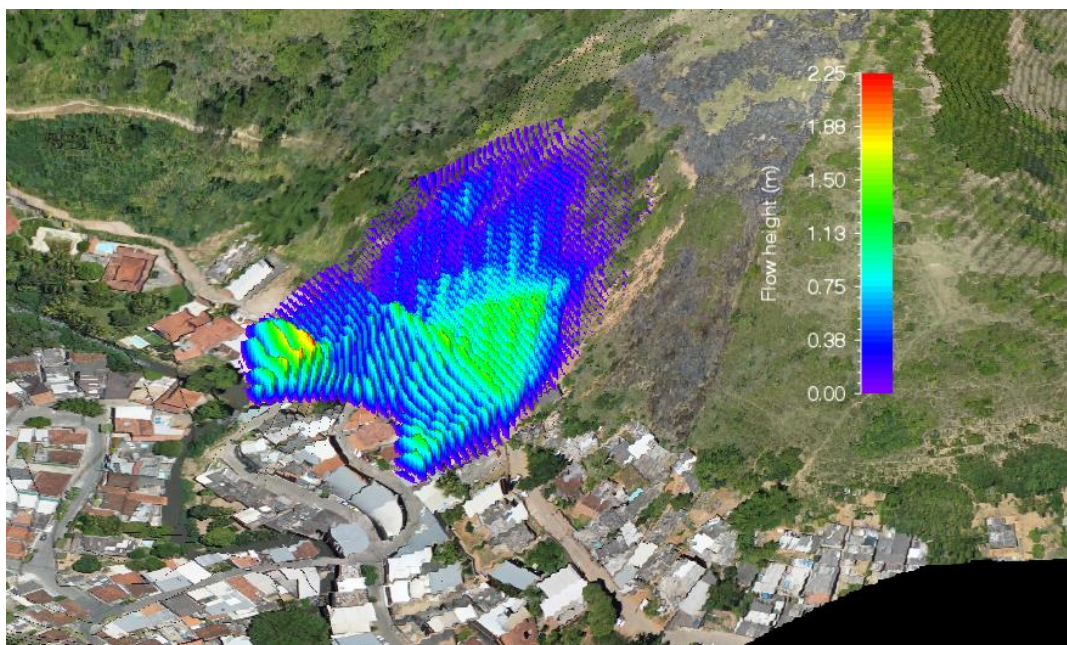
Para a realização da retroanálise foram consideradas os registros de informações relacionadas aos deslizamentos deflagrados em 2012 neste setor, já que foram observadas várias instabilidades simultâneas na encosta, porém em diferentes seções. Estes deslizamentos translacionais rasos apresentaram aspectos viscosos e registro de acúmulo de lama nos fundos das edificações, além da destruição parcial de alguns imóveis. Portanto, para a realização da retroanálise considerou-se uma espessura de 0.5 m (profundidade média) da camada de solo escorregada, conforme literatura e estudos realizados por Augusto Filho (1993) em encostas de muito alta suscetibilidade a deslizamentos. Com base neste critério, a massa mobilizada totalizou 5789 m³.

Cabe salientar que, na delimitação realizada para este estudo, foi considerado o pior cenário, ou seja, ruptura global da encosta, conforme seção crítica. Neste sentido, o software mantém as características físicas do material associado ao longo de todo percurso, e este fato chama atenção, pois em uma situação real pode haver interferências associadas à variação do grau de umidade ao longo do movimento além de outros materiais adjacentes que possam ser incorporados ao percurso, o que pode interferir diretamente na quantidade de material mobilizado e na distância percorrida. Diante do exposto, não é possível garantir que a simulação de retroanálise realizada seja definitiva, porém, para fins de avaliação inicial, os parâmetros utilizados foram os

que mais aproximaram das condições reais observadas na área de estudo, conforme histórico de ocorrência.

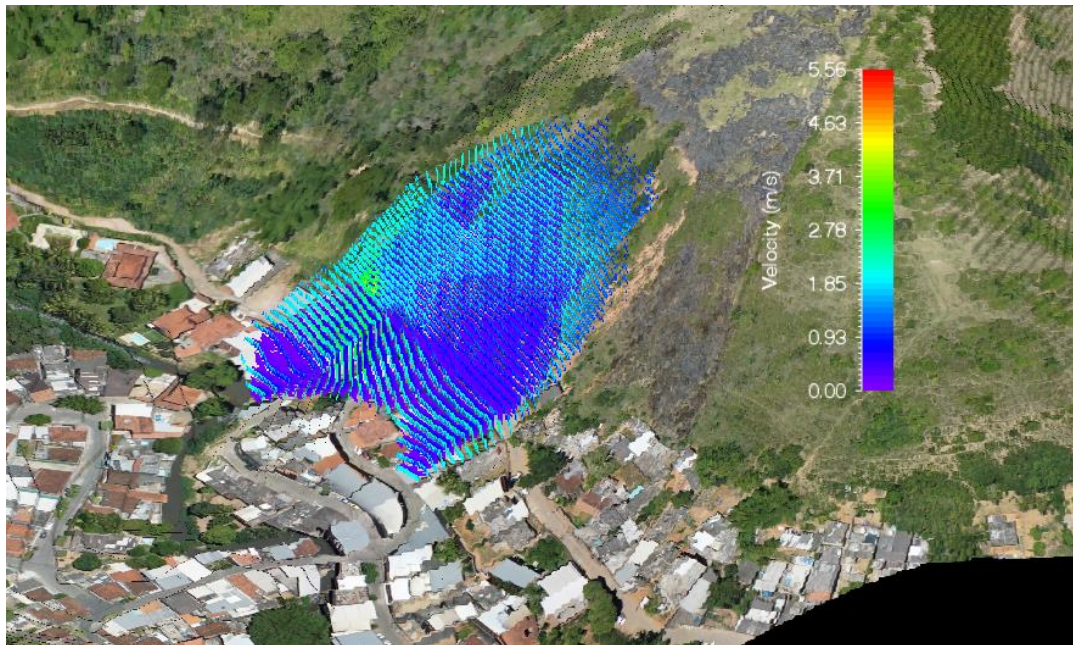
O resultado da simulação considerando a ruptura global da encosta é apresentado através na Figura 69 a altura máxima do fluxo foi de 2,25 m, no qual a velocidade máxima atingida pelo deslizamento chegou a 5.56 m/s, conforme Figura 70; e o alcance máximo estimado pela simulação numérica foi de 121 m.

Figura 69. Ruptura global da Área Piloto 02 (Setor 32 - R4)



Fonte: Própria autora.

Figura 70. Representação da Velocidade do movimento - Área Piloto 02 (Setor 32 – R4)



Fonte: Própria autora.

Para a análise do *runout* 02 foram estabelecidos os parâmetros de entrada apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Parâmetros numéricos utilizados para simulação no RAMMS – Área Piloto 02 (Setor 32 – R4)

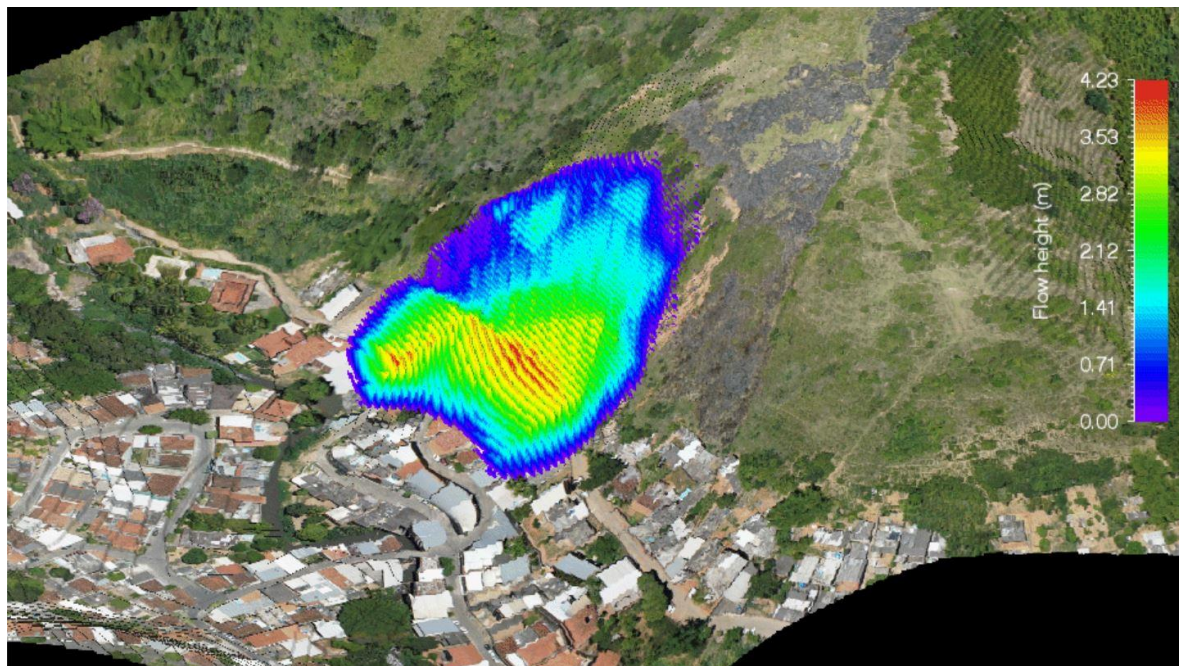
Dados de Entrada	Parâmetros Numéricos
Dados topográficos	0.5 m de resolução
Densidade do material	1700
μ (coeficiente de atrito tipo Coulomb seco)	0.35
ξ (coeficiente de atrito viscoso-turbulento)	600 m/s ²
Profundidade da Camada	2.25 m
Volume Inicial	24123,8 m ³
Coesão	11400

Fonte: Própria autora.

Em linhas gerais, ao associar os parâmetros da simulação de alcance com o perfil geológico-geotécnico e a análise de estabilidade realizada, confirma-se que nesta encosta há um perfil de intemperismo com espessuras variadas de materiais. O material superficial é composto por solo coluvionar que apresenta alta porosidade e baixa resistência, que ocorre sobreposto ao solo residual maduro, considerado bastante erodível, de textura argilo-arenosa e muito plástico, porém com maior resistência e menor permeabilidade. Estas características, associadas aos períodos chuvosos e à inclinação da vertente, superior a 40°, compõem o conjunto de aspectos predisponentes à deflagração de deslizamentos translacionais rasos e rápidos. Ao simular o alcance, visando prever as consequências de possíveis futuros deslizamentos para esta área, considerou-se a ruptura global da seção crítica da análise de estabilidade, a qual está associada à camada de colúvio e uma parte da camada de solo residual maduro. Assim, a altura máxima do fluxo foi de 4.23 m (Figura 71), a velocidade máxima atingida pelo deslizamento foi de 6.59 m/s (Figura 72) e o alcance máximo estimado pela simulação numérica foi de 121 m.

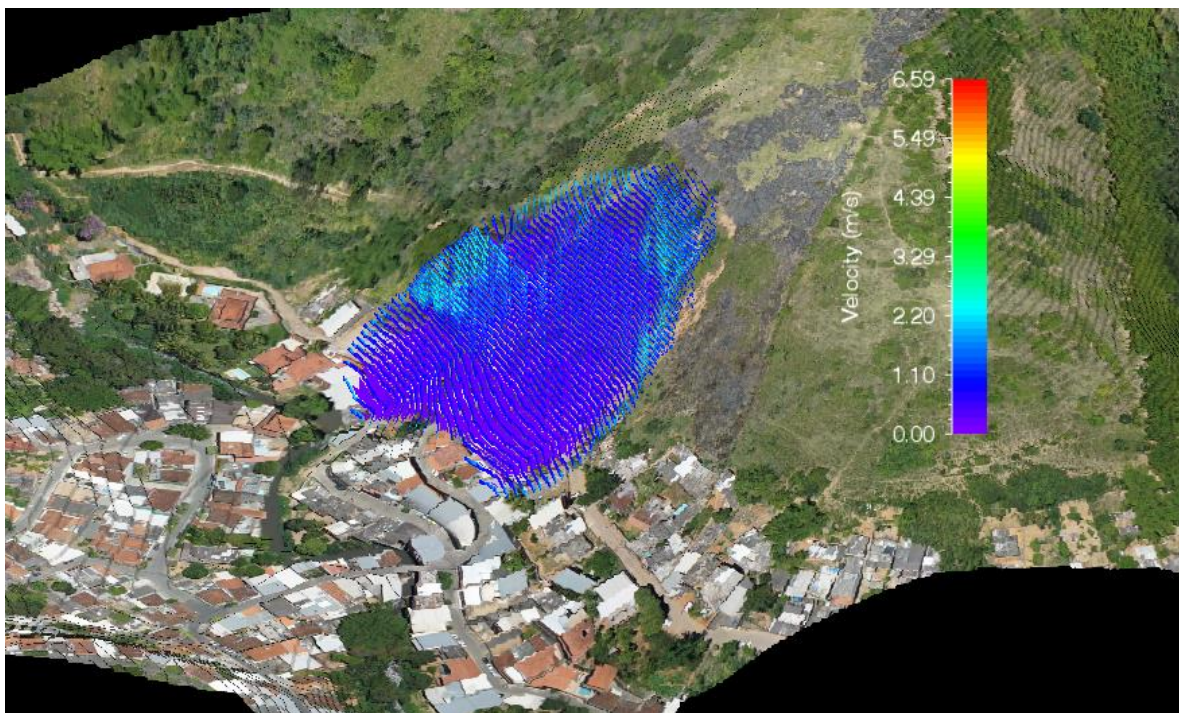
Devido à presença de edificações de alvenaria (barreiras físicas), parte do material deslizado pode ficar contido ao longo percurso. Avaliadas as condições do talude e edificações do entorno, estima-se que aproximadamente 108 (cento e oito) pessoas podem ser diretamente afetadas em caso de ocorrência de ruptura global desta encosta. Este valor foi obtido considerando o número de residências e estimando uma ocupação de 04 (quatro) habitantes por edificação. De novo, esta informação é importante para a hierarquização da proposição de soluções os problemas associados ao colapso desta encosta, evitando perdas humanas e materiais. Cabe destacar que na análise qualitativa foram contabilizadas para este setor a mesma quantidade de edificações vulneravelmente expostas ao risco, validando desta forma o mapeamento *in situ*.

Figura 71. Área da ruptura global e altura máxima do fluxo na Área Piloto 02 (Setor 32 - R4)



Fonte: Própria autora.

Figura 72. Representação da Velocidade do movimento - Área Piloto 02 (Setor 32 – R4)



Fonte: Própria autora.

Para a Área Piloto 02 há a necessidade de se informar aos moradores a serem afetados por uma possível ruptura do risco a que estão submetidos e quais as medidas a serem tomadas quando da ocorrência de chuvas intensas. Sugere-se também ações preventivas no sentido de se impedir o avanço de ocupações desordenadas nas áreas instáveis. Cabe ressaltar que, para os casos em que as instabilidades atuais apresentem evolução, é necessário proceder à evacuação preventivas da população.

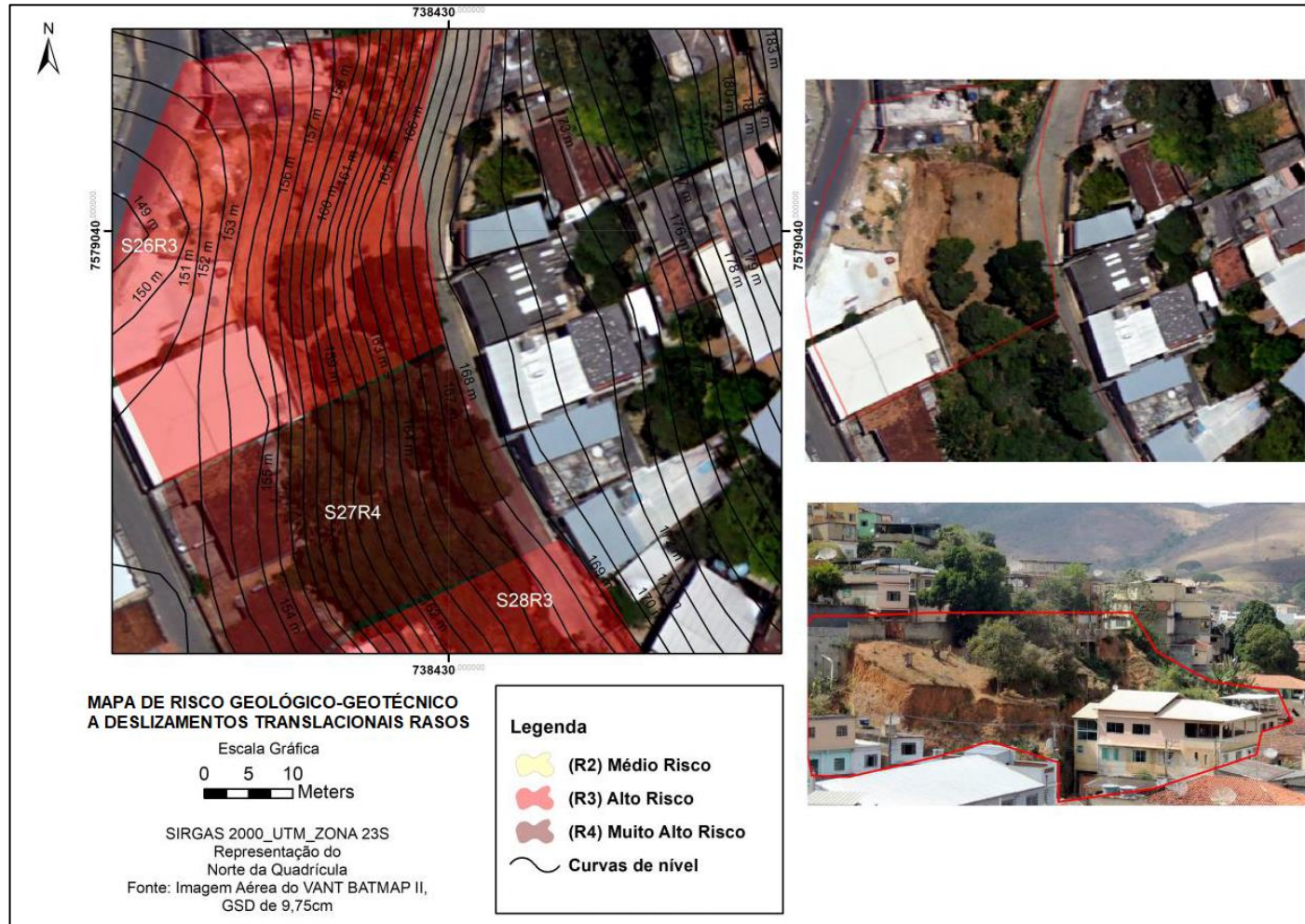
Como ações estruturais sugere-se a remoção de domicílios vulneravelmente expostos, 11 no total, além do tratamento e estabilização da encosta, proteção vegetal em áreas de solo exposto, adequação do sistema de drenagem pluviais, correção das tubulações de escoamento de efluentes diretamente na encosta, recomposição da pavimentação, cortinas atirantadas para os taludes verticalizados, entre outras. Até que as intervenções estruturais sejam executadas sugere-se a implantação de um sistema de alerta, rotas de fuga com orientação e preparação dos moradores para que saiam das edificações de forma preventiva.

5.1.3 ÁREA PILOTO 03 – SETOR 26 (R3)

A área piloto 03, definida como setor 26 e hierarquizada como de alto risco a deslizamentos pela avaliação qualitativa, localiza-se na Rua Expedicionário Manoel de Souza no Bairro Morro São Sebastião (Coordenadas GPS: 7579040 / 738409). Os principais fatores indutores do risco geológico-geotécnico à deflagração de deslizamentos neste setor estão relacionados à inclinação da encosta a montante, superior a 40°, à ausência de sistema de drenagem pluvial, e à presença de cortes verticalizados com distância dos domicílios em relação aos taludes inferior a 2,0 metros (Figura 73). As edificações instaladas nesse setor são de alvenaria de médio a baixo padrão construtivo. O ambiente morfológico é morro (sopé da encosta), no qual observou-se zonas de contato solo-rocha e cicatrizes de deslizamentos translacionais rasos ao longo da encosta. Foram também observadas estruturas reliquias de gnaiss na base do talude, em que é possível observar o bandamento

composto por intercalação de camadas compostas por quartzo, feldspato e minerais máficos e o elevado grau de fraturamento da estrutura.

Figura 73. Representação e localização do Setor 26 (R3).



Fonte: Própria autora.

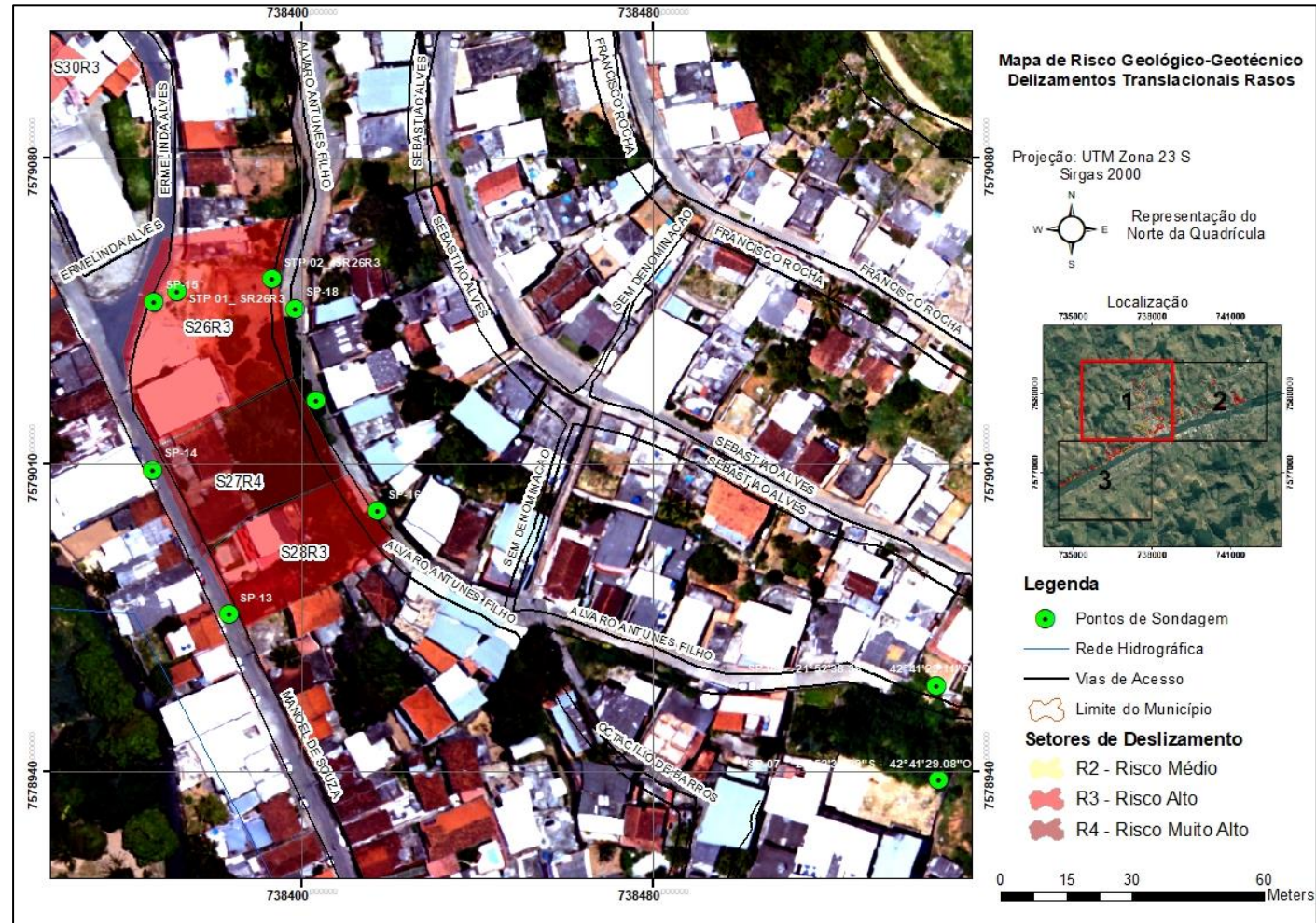
Para caracterização geológico-geotécnica deste setor foram realizadas duas sondagens de simples reconhecimento com ensaios SPT. Além disso, foram disponibilizadas pela prefeitura mais seis boletins de sondagem desta mesma área, o que permitiu maior conhecimento acerca dos perfis de solo correspondentes à área de interesse. O Quadro 20 e Figura 74 apresenta o compilado das informações dos perfis de sondagens realizados.

Quadro 20. Compilado das informações de sondagem SPT realizadas na Área Piloto 03 - Setor 26 (R3).

Furo	Coordenadas		COTA (m)	Profundidade de Paralisação (m)	Nível de Água (m)
	N	E			
SPT 1_SR26	7579040,46	738400,59	153	2,58	Não foi encontrado
SPT 2_SR 26	7579091,79	738428,47	166	13,34	Não foi encontrado
SP-13	7578955,09	738424,90	141,58	4,50	2,95
SP-14	7579008,13	738397,85	141,46	4,07	2,90
SP-15	7579040,46	738400,59	142,67	5,10	2,80
SP-16	7578975,36	738479,58	158,94	8,80	Não foi encontrado
SP-17	7579041,26	738429,52	159,44	9,35	Não foi encontrado
SP-18	7579091,79	738428,47	159,93	10,14	Não foi encontrado

Fonte: Própria autora.

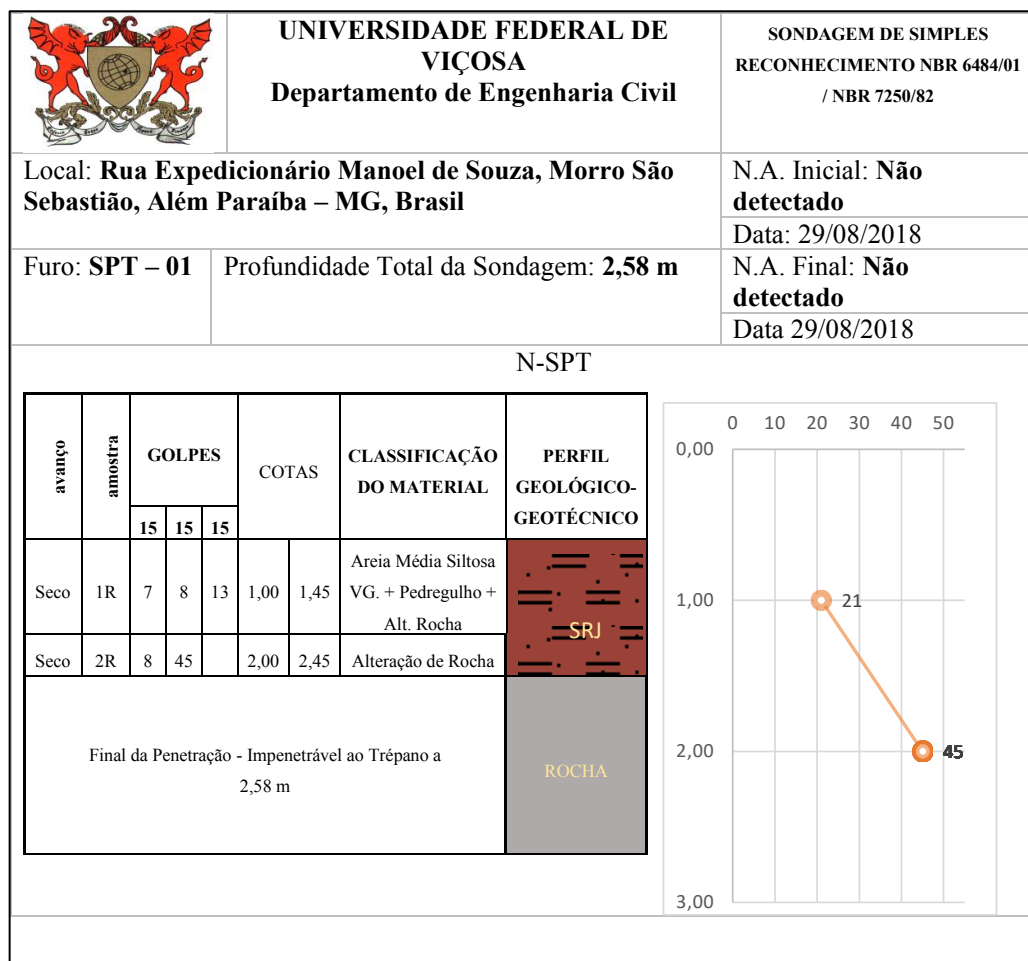
Figura 74. Área Piloto 03 - Representação e localização do Setor 26 (R3) – Pontos de Sondagem.



Fonte: Própria autora.

O primeiro furo, SPT- 01, foi feito na base do talude na Rua Expedicionário Manoel de Souza e o segundo furo, SPT- 02, no topo, na rua Alvares Antunes Filho, com as profundidades descritas a seguir, totalizando 15,92 metros de perfuração. O perfil geológico-geotécnico do furo SPT-1, totalizou 2,58m de perfuração. Como se pode observar na Figura 75, os valores do índice de resistência à penetração N_{SPT} apresentaram um crescimento considerável em relação à resistência do solo residual jovem, com textura variando de areia compacta a muito compacta, de acordo com a norma NBR 6484/2001. As descrições táteis-visuais realizadas indicaram a predominância de “areia média siltosa variegada, com pedregulho, mais alteração de rocha”. Não foi detectado nível de água neste perfil.

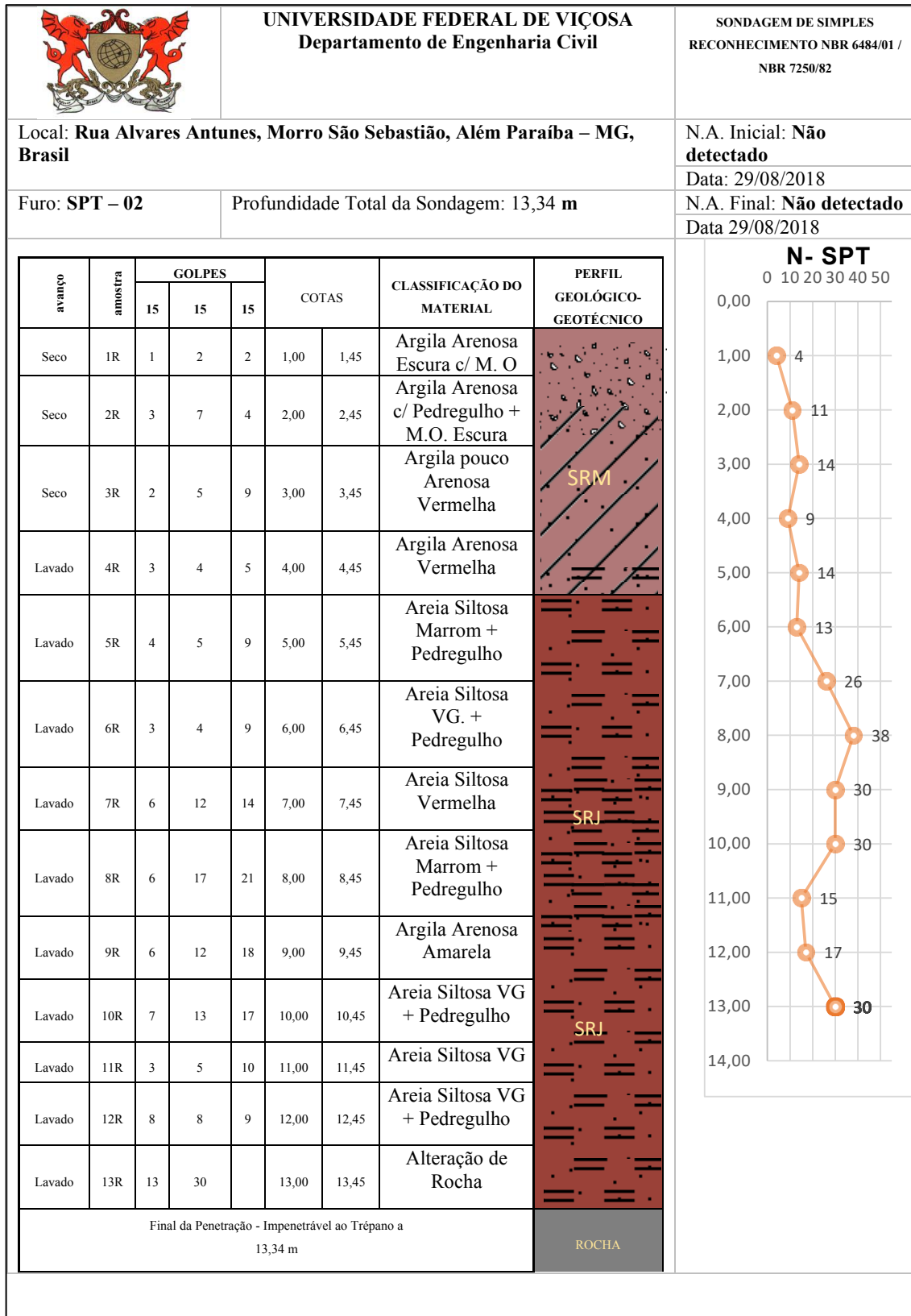
Figura 75. Perfil Geotécnico do Furo SPT 1 - Rua Expedicionário Manoel de Souza, Vila Laroca, Além Paraíba - MG, Brasil



Fonte: Própria autora.

O perfil geológico-geotécnico do furo SPT-2 (Figura 76) totalizou 13,34 m de perfuração. Foi observada a presença de aterro com argila arenosa escura com matéria orgânica nos primeiros 2 m de perfuração e os valores de N_{SPT} variaram de 4 a 11 para esta camada. A partir da profundidade de 3 m foi detectado um material de textura argilosa pouco arenosa de coloração avermelhada. É possível observar que a resistência cresce com a profundidade e as camadas de argila se intercalam com as camadas arenosas. A partir de 13,34 m o material mostrou-se impenetrável ao trépano de lavagem. Não foi detectado nível de água neste perfil.

Figura 76. Perfil Geotécnico do Furo SPT 2 - Rua Alvares Antunes Filho, Vila Laroça, Além Paraíba, MG



Fonte: Própria autora.

Na Tabela 8 apresenta-se o resultado da composição granulométrica e os índices físicos obtidos nos ensaios de caracterização das amostras de solo analisadas na área piloto 03.

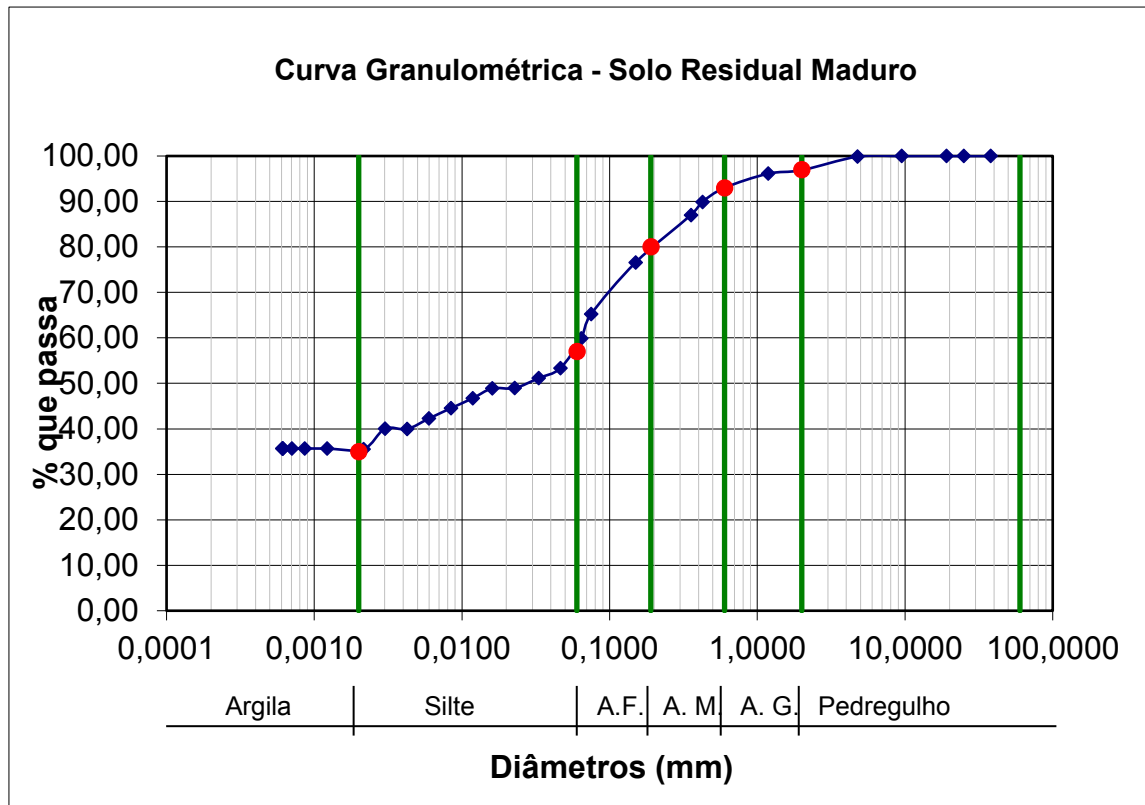
Tabela 8. Resumo dos ensaios de caracterização geotécnica dos solos - Área Piloto 3.

ÁREA PILOTO 03	SOLO RESIDUAL MADURO (SRM)	SOLO RESIDUAL JOVEM (SRJ)
Peso Específico (KN/m ³)	17,18	18,14
w (%)	16,80	20,77
Argila	35 %	10 %
Silte	22 %	43 %
Areia	40 %	41 %
Pedregulho	3 %	6 %
Classificação Granulométrica	Areno-Argiloso	Silte-Arenoso
Massa Específica (g/cm ³)	2,77	2,78
LL (%)	47,68	40,32
LP (%)	30,49	19,63
IP (%)	17,19	20,69
Plasticidade	Muito Plástico	Muito Plástico

Fonte: Própria autora.

A Figura 77 mostra a representação da curva granulométrica do ensaio realizado no solo residual maduro, sendo o solo classificado como um solo areno-argiloso, muito plástico.

Figura 77. Curva granulométrica do Solo Residual Maduro (Área Piloto 03).

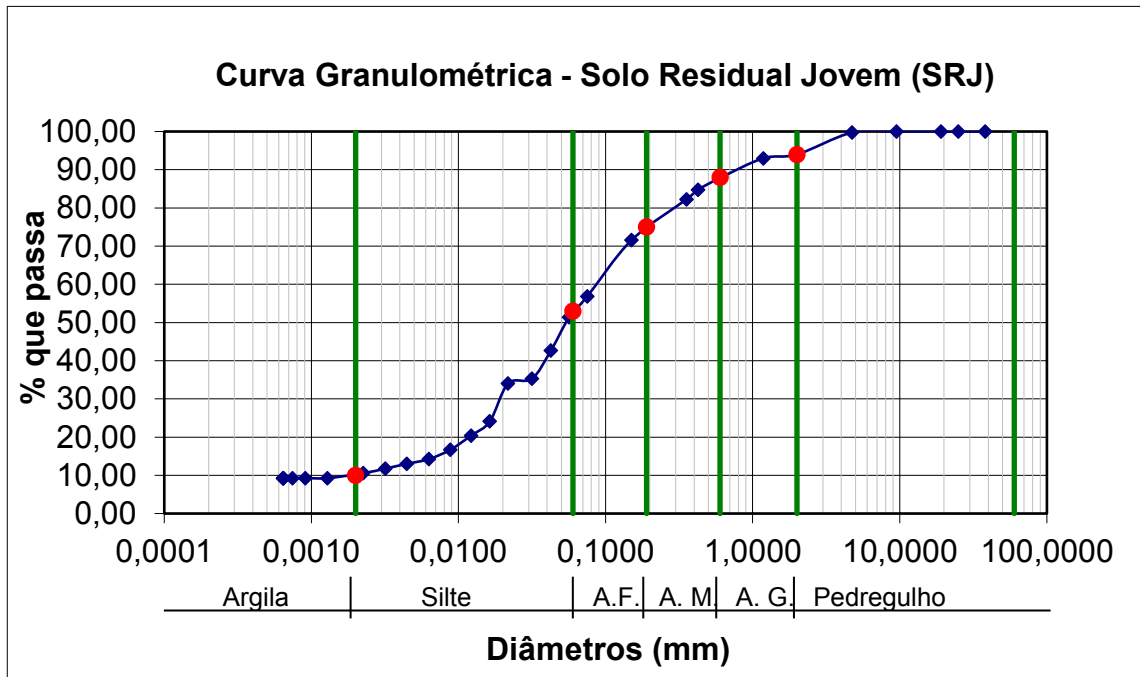


Argila	35%
Silte	22%
Areia	40%
Pedregulho	3%

Fonte: Própria autora.

A Figura 78 apresenta a curva granulométrica do solo residual jovem, no qual a fração predominante é de silte (43%), e, portanto, o solo foi classificado como silte-arenoso muito plástico, com elevada erodibilidade qualitativa.

Figura 78. Curva granulométrica do Solo Jovem (Área Piloto 03)



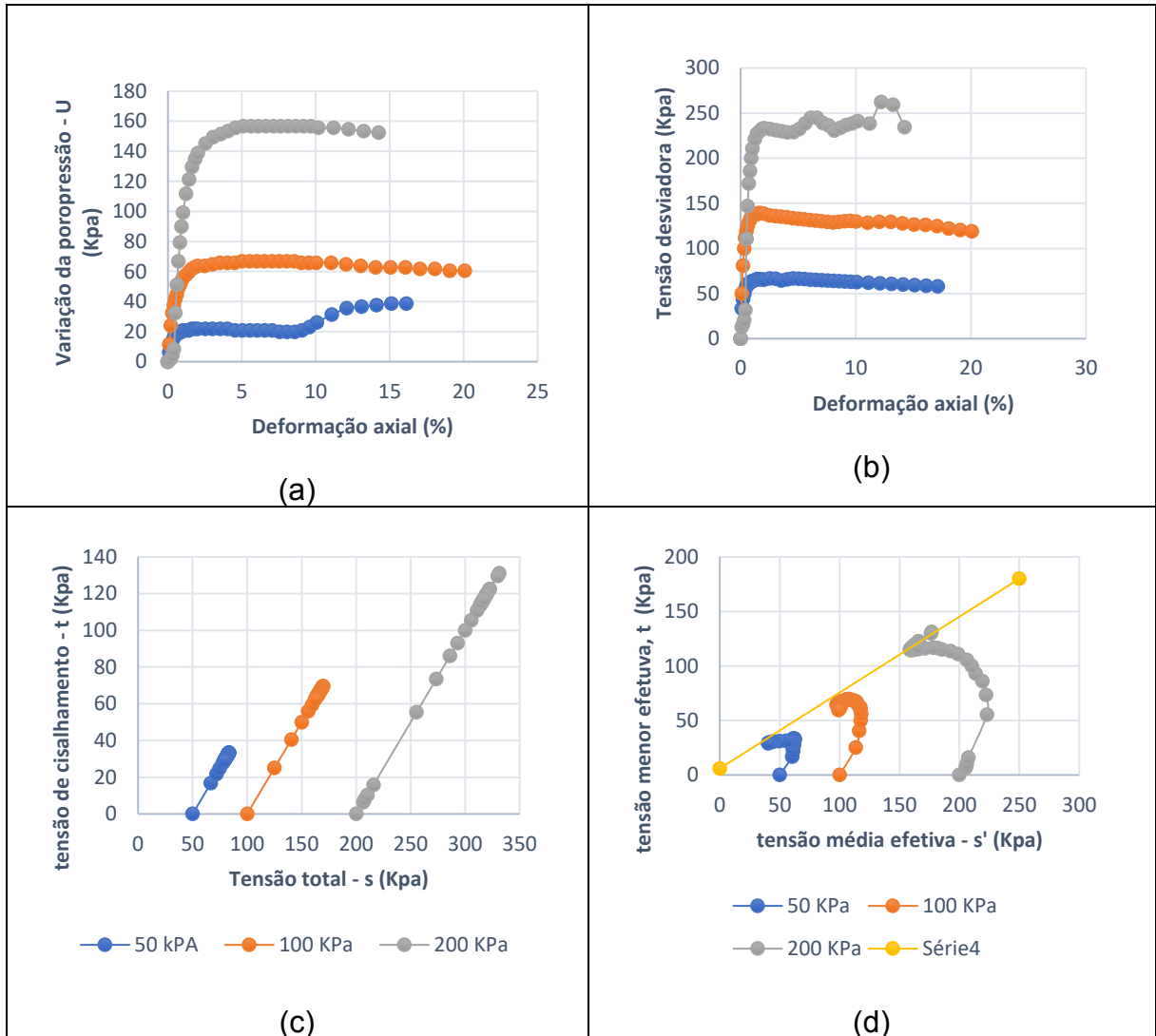
Argila	10%
Silte	43%
Areia	41%
Pedregulho	6%

Fonte: Própria autora.

Os gráficos representados nos Quadros 21 e 22 apresentam os resultados dos ensaios Triaxiais CIU, realizados em três níveis de tensões efetivas de confinamento (50, 100 e 200 KPa), para os solos residual maduro e residual jovem. As curvas trazem

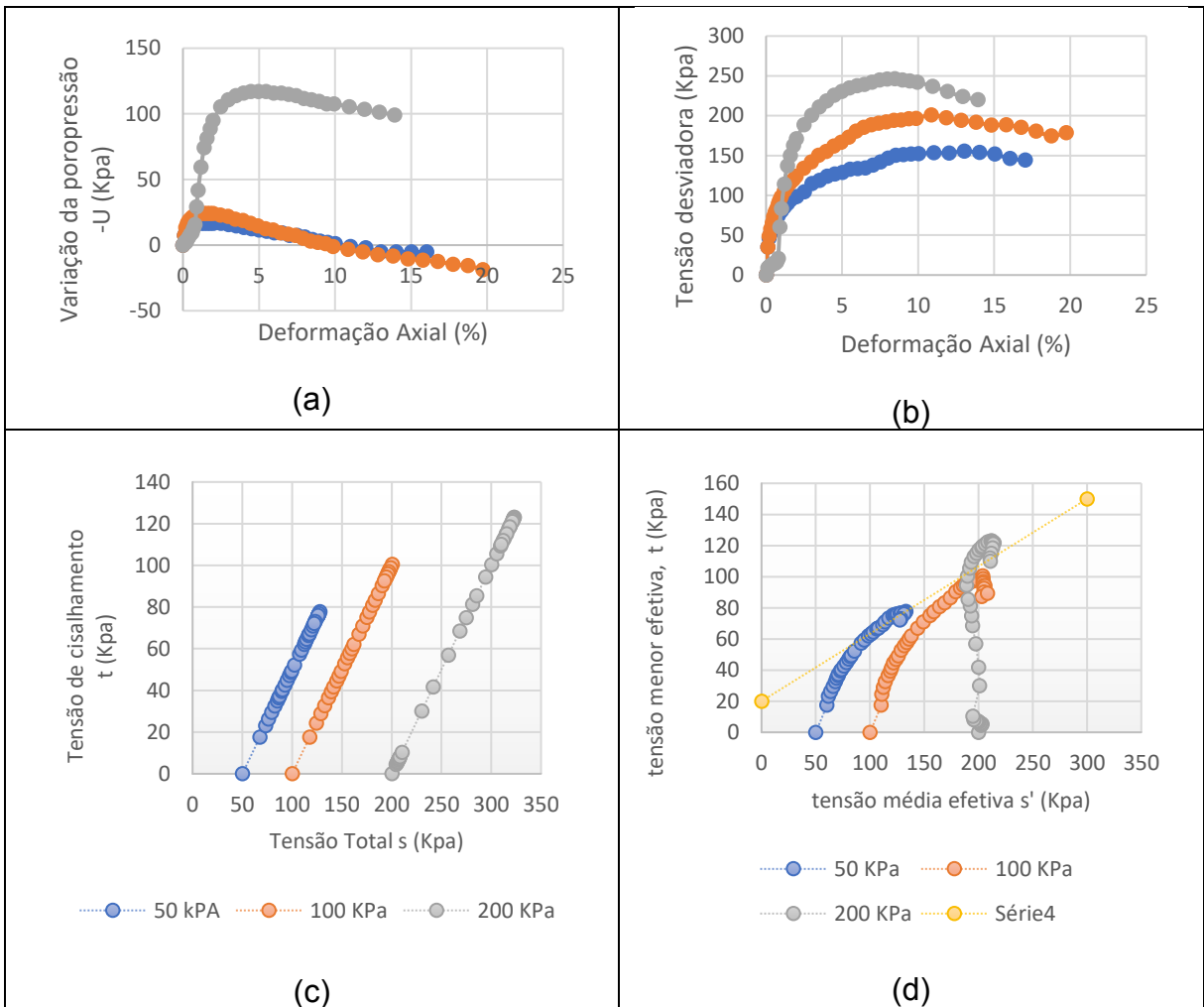
identificação da evolução da poropressão e da tensão x deformação axial durante a saturação, bem como as trajetórias das tensões totais e efetivas desenvolvidas durante o cisalhamento.

Quadro 21. CIU - Solo Residual Maduro – (a) Estado de Variação da Poropressão x Deformação axial; (b) Tensão Desviadora (KPa) x Deformação Axial (%); c) Tensão de cisalhamento x Tensão Total; d) Tensão menor efetiva t (KPa) x Tensão média efetiva s' (KPa) – Área Piloto 03



Fonte: Própria autora.

Quadro 22. CIU-Solo Residual Jovem – (a) Estado de Variação da Poropressão x Deformação axial; (b) Tensão Desviadora (KPa) x Deformação Axial (%); c) Tensão de cisalhamento x Tensão Total; d) Tensão menor efetiva t (KPa) x Tensão média efetiva s' (KPa) – Área Piloto 03.



Fonte: Própria autora.

Os resultados de resistência ao cisalhamento das amostras analisadas estão apresentados na Tabela 9, representados pelos valores de coesão (c') e ângulo de atrito (ϕ') em termos de tensões efetivas.

Tabela 9. Valores de coesão (c') e ângulo de atrito (ϕ') dos solos avaliados nas condições CIU – Adensado e não drenado.

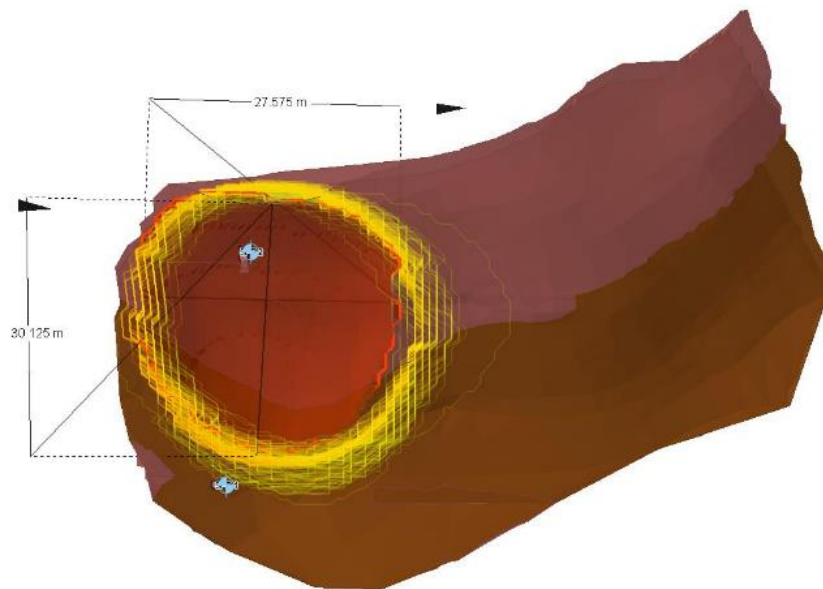
Solo	Ângulo de atrito ϕ' (°)	Coesão (c')	Peso Específico (γ)
Solo R. Maduro	44,11	8,36	17,18
Solo R. Jovem	25,68	22,19	18,13

Fonte: Própria autora.

A seção para a realização da análise de estabilidade foi feita com base nas profundidades dos solos identificados nas sondagens SPT na área e de acordo com as espessuras de solo observadas, porém sem considerar a influência de NA do lençol freático. Os parâmetros de resistência utilizados foram baseados nos resultados dos ensaios Triaxiais CIU, sendo a coesão (c') e ângulo de atrito (ϕ') obtidas através da envoltória de tensões efetivas. Diversos métodos de análise de estabilidade foram empregados no *Slide3- 3D*, sendo o método escolhido para apresentação dos resultados o que apresentou menor fator de segurança (FS).

Na análise de estabilidade detectou-se razoável resistência dos solos analisados, mesmo em condições críticas, resultando em um fator de segurança mínimo de 1,54 com base no método Jambu Simplificado, Figura 79. Portanto, o talude se encontra em condições estáveis e atende aos critérios da NBR 11.682 (2009). Entretanto, cabe ressaltar que, o talude analisado está desprovido de vegetação e com ausência de sistemas de drenagem superficial, o que favorece a concentração do escoamento superficial, a formação de processos erosivos e a infiltração de água no solo, não se descartando a possibilidade de aumento da saturação do solo em subsuperfície em função de frentes de saturação, o que pode vir a causar futuras instabilidades. Para esta situação e visando entender o comportamento da encosta de acordo com a influência da variação de NA também foram realizadas análises de estabilidade a partir do Slide - 2D considerando três diferentes alturas, conforme demonstrado nas Figuras 81, 82 e 83, e pôde-se comprovar que a suscetibilidade à deslizamentos aumenta em função das frentes de saturação em períodos de precipitação pluviométrica.

Figura 79. Análise de Estabilidade 3D (Setor 26 - R3)



MÉTODO	FS
JANBU	1.542
BISHOP	1.624
GLE	1.655
SPENCER	1.676

Material Name	Color	Unit Weight (kN)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
SRM	■	17.18	Mohr Coulomb	8.36	44.11
SRJ	■	18.13	Mohr Coulomb	22.19	25.68
Rocha	■	20	Infinite Strength		

Fonte: Própria autora.

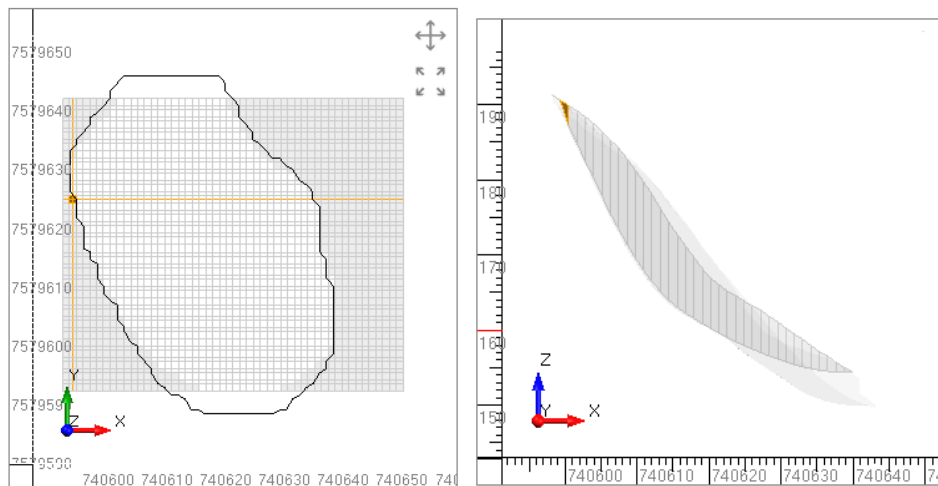
A Tabela 10 apresenta as características do material a ser mobilizado, considerando-se a superfície de ruptura crítica (Figura 80), obtidos da análise de estabilidade.

Tabela 10. Valores da superfície de ruptura mais crítica analisada pelo Slide3 – 3D (Área Piloto 03).

VOLUME	ALTURA	COMPRIMENTO
2206,30 m ³	30,125m	27,575m

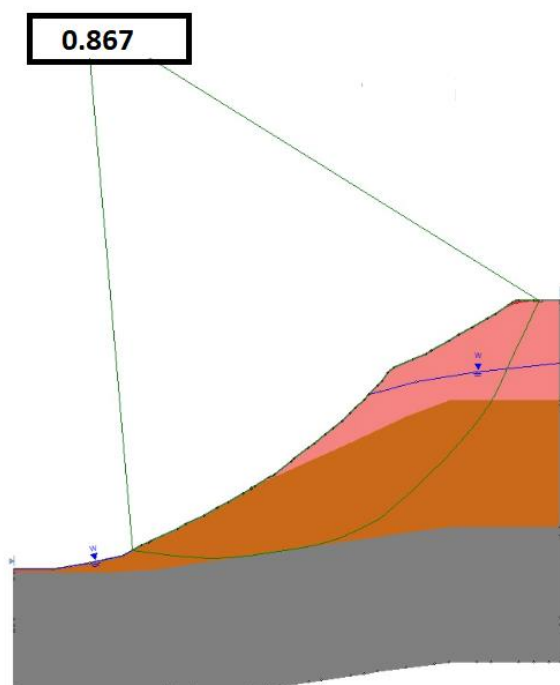
Fonte: Própria autora.

Figura 80. Principal superfície de ruptura do talude de acordo com as estimativas do software Slide 3D (Área Piloto 03).



Fonte: Própria autora.

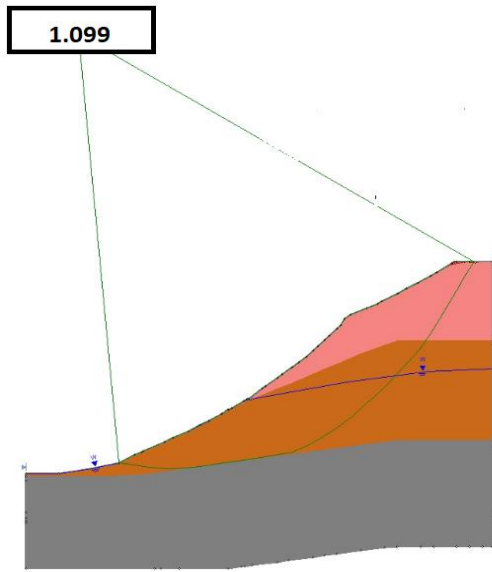
Figura 81. Análise de Estabilidade 2D (Setor 26 - R3) NA próximo a superfície passando pela cunha e aflorando ao longo de todo o talude.



MÉTODO	FS
JANBU	0.867
BISHOP	0.925
GLE	0.971
SPENCER	0.972

Fonte: Própria autora.

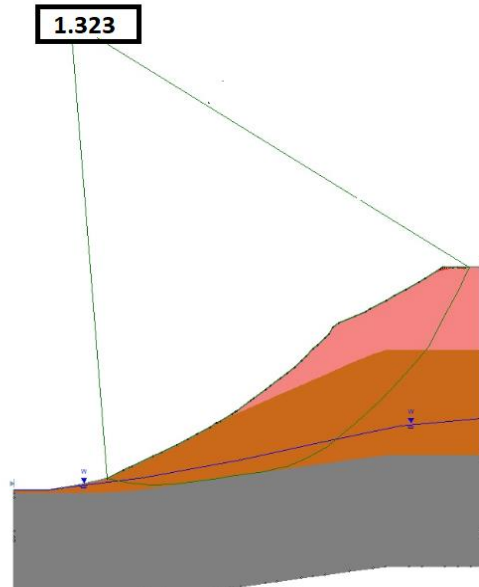
Figura 82. Análise de Estabilidade 2D (Setor 26 - R3) – NA intermediário.



MÉTODO	FS
JANBU	1.099
BISHOP	1.158
GLE	1.200
SPENCER	1.199

Fonte: Própria autora.

Figura 83. Análise de Estabilidade 2D (Setor 26 - R3) – NA mais baixo próximo ao topo rochoso.



MÉTODO	FS
JANBU	1.323
BISHOP	1.408
GLE	1.448
SPENCER	1.458

Fonte: Própria autora.

Para a Área Piloto 03 sugere-se como ações não estruturais ações de fiscalização pela defesa civil com a finalidade de monitorar o avanço das ocupações desordenadas e alterações na geometria nesta encosta. Em relação às ações estruturais, sugere-se a implantação de um sistema de drenagem superficial em toda a encosta e recomposição das áreas com vegetação nos locais em que ocorra solo exposto.

5.1.4 ÁREA PILOTO 04 – SETOR 37 (R4)

A área piloto 04, definida como setor 34 e hierarquizada como de muito alto risco a deslizamentos pela avaliação qualitativa, localiza-se na Rua Mário Stewart Ribeiro no Bairro Vila Laroca (Coordenadas GPS: 7578609 / 738198). Os principais fatores indutores do risco geológico-geotécnico à deflagração de deslizamentos neste setor estão relacionados à inclinação da encosta a montante, superior a 40°, sistema de drenagem pluvial inexistente na encosta, à presença de cortes verticalizados com alturas superiores a 10,0 m e a distância das edificações em relação aos taludes inferior a 2,0m (Figuras 84 e 85). O ambiente morfológico é sopé da encosta, no qual observou-se cicatrizes de deslizamentos translacionais rasos ao longo da encosta entre solos de diferentes resistências, colúvio, solo residual maduro e no contato solo/rocha. Foi também possível identificar trincas e abatimentos na crista do deslizamento.

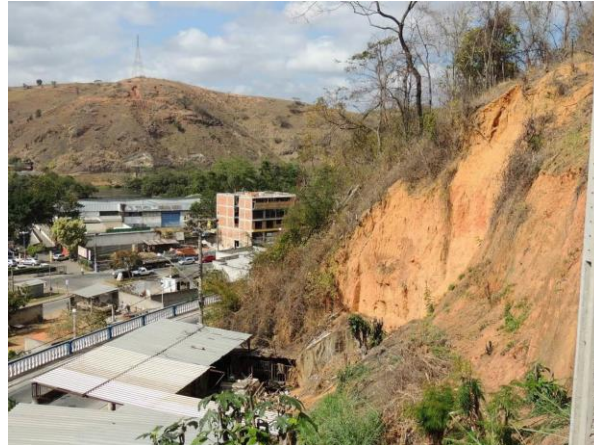
Para esta área-piloto foi realizada a retroanálise e foram consideradas os registros de informações relacionadas aos deslizamentos deflagrados em janeiro de 2012 neste setor. Para tal, também considerou-se uma espessura de 0.5 m (profundidade média) da camada de solo escorregada, conforme literatura e estudos realizados por Augusto Filho (1993) em encostas de muito alta suscetibilidade a deslizamentos. Os parâmetros de solo adotados para esta retroanálise basearam-se em amostras de solo da mesma região, bem como dois boletins de sondagens disponibilizados pela prefeitura local. Com base neste critério, a massa mobilizada totalizou 3690, 5 m³ (Tabela 11).

Figura 84. (a) Área-Piloto 04 - Vista Frontal do setor de risco com detalhe para os indícios de instabilidade da encosta (Setor 37 - R4)



Fonte: Própria autora.

Figura 85. Vista lateral do setor, com detalhe para a sua geometria, declividade e desnível da encosta.



Fonte: Própria autora.

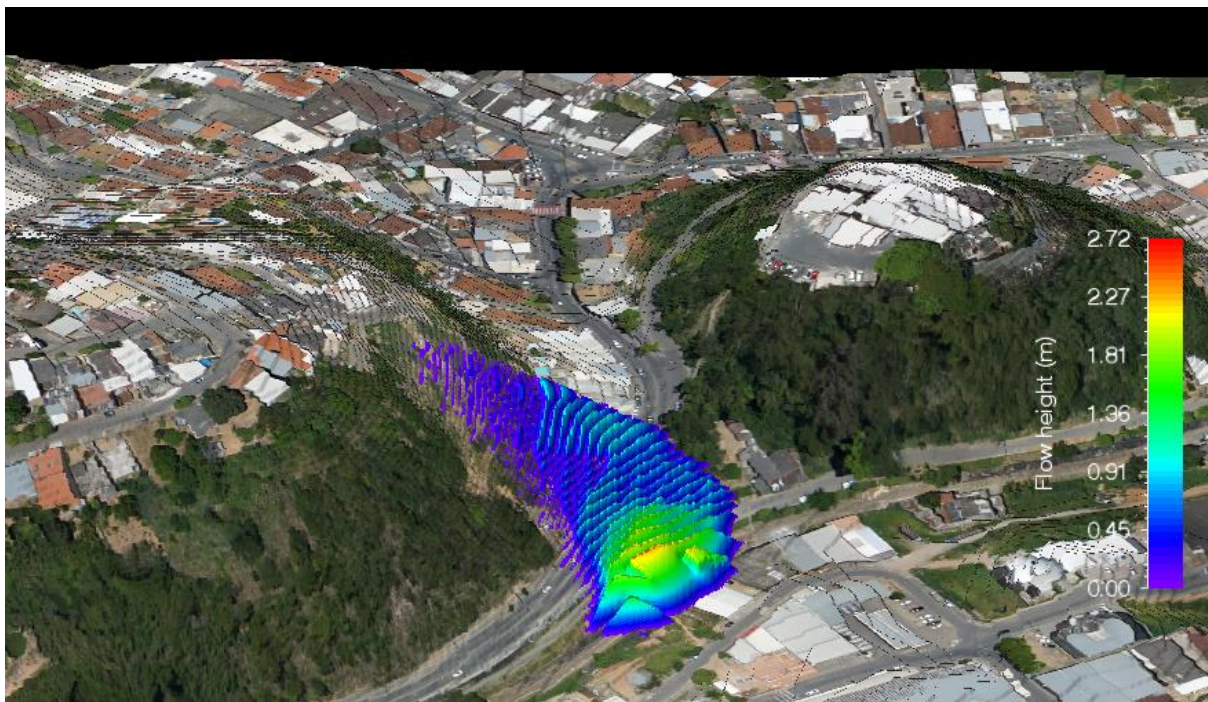
Tabela 11. Parâmetro numérico imputados para simulação no RAMMS – Área Piloto 04 (Setor 37 – R4)

Dados de Entrada	Parâmetros Numéricos
Dados topográficos	0.5 m de resolução
Densidade do material	1700
μ (coeficiente de atrito tipo Coulomb seco)	0.35
ξ (coeficiente de atrito viscoso-turbulento)	600 m/s ²
Profundidade da Camada	0.5 m
Volume Inicial	3690.5 m ³
Coesão	11400

Fonte: Própria autora.

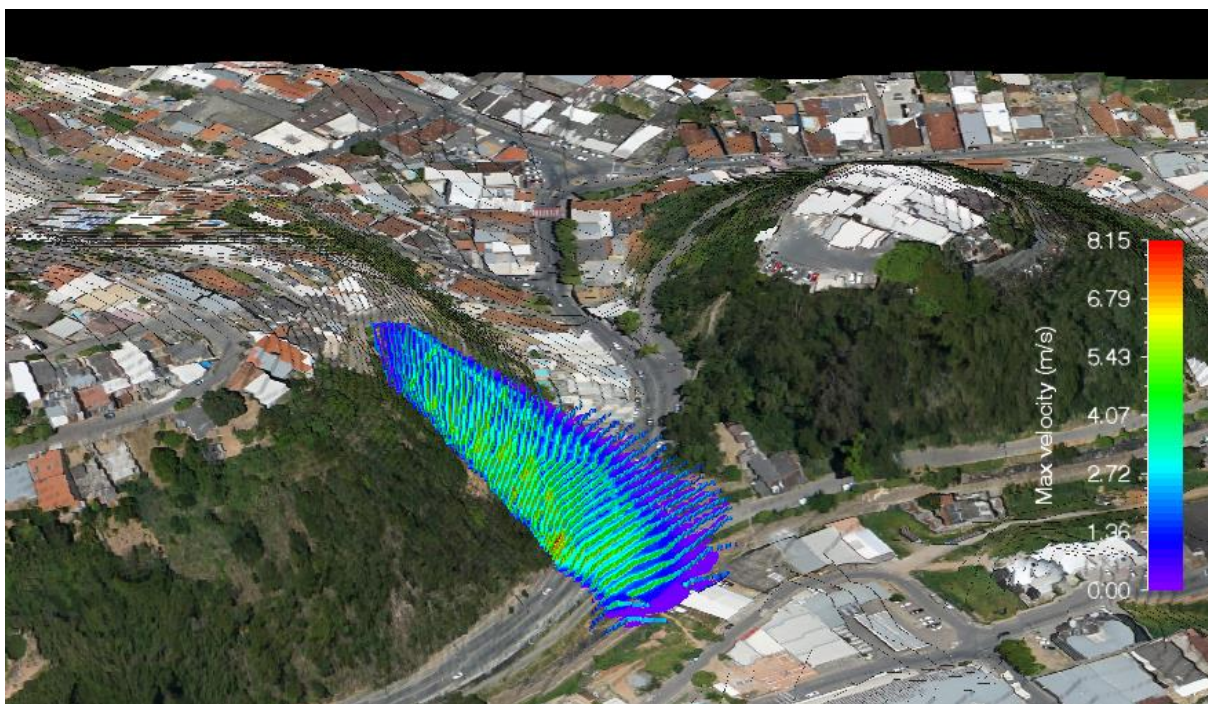
O resultado da simulação considerando a ruptura global da encosta e a altura máxima do fluxo foi de 2,72 m (Figura 86), no qual a velocidade máxima atingida pelo deslizamento chegou a 8,15 m/s, conforme Figura 87; e o alcance máximo estimado pela simulação numérica foi de 120 m.

Figura 86. Área da ruptura global e altura máxima do fluxo na Área Piloto 4 (Setor 37 - R4)



Fonte: Própria autora.

Figura 87. Representação da Velocidade do movimento - Área Piloto 04 (Setor 37 - R4)



Fonte: Própria autora.

Para a Área Piloto 04, considerando que ainda há massa passível de ser mobilizada, é necessário informar aos proprietários das duas edificações passíveis de serem afetadas por uma possível ruptura, do risco a que estão submetidos e quais as medidas a serem tomadas quando da ocorrência de chuvas intensas, além de interdições nas vias de acesso. Como ações estruturais sugere-se a remoção de edificações vulneravelmente expostas, 02 no total, além do tratamento e estabilização da encosta, proteção vegetal em áreas de solo exposto, adequação do sistema de drenagem pluviais, solo grampeado, entre outras. Até que as intervenções estruturais sejam executadas sugere-se a implantação de um sistema de alerta, rotas de fuga com orientação e preparação da população para que saiam das edificações de forma preventiva.

6. CONCLUSÃO

A elaboração do mapeamento de risco de deslizamentos translacionais rasos permitiu identificar 104 setores de risco na área urbana de Além Paraíba, dos quais 7 setores foram classificados como de Muito Alto Risco (R4), 61 setores de Alto Risco (R3) e 36 classificados como de Risco Médio (R2), resultando em um total de 720 edificações sob risco de deslizamentos, dos quais 468 estão em situações de alto ou muito alto risco. A aplicação da metodologia do antigo Ministério das Cidades (atual Ministério do Desenvolvimento Regional) mostrou-se eficiente para a identificação do risco, a despeito de seu caráter qualitativo, baseado em observações de campo, e dependente da experiência de pessoal técnico especializado na realização de diagnósticos de risco.

Com relação aos fatores condicionantes dos processos de movimentação, as investigações mostram que a maior parte dos cenários de risco estão intrinsecamente ligados à vulnerabilidade natural dos terrenos ocupados e à ação do homem. No que se refere à ação antrópica, predominam os impactos associados a ocupações desordenadas e assentamentos em condições precárias nas encostas do município, o que têm elevado o número e o tamanho de áreas em situação de riscos a deslizamentos. Como resultado da ocupação desordenada tem-se a execução de cortes sem critério técnico, proximidade das edificações à base e/ou topo das encostas, aterros inadequados, ausência e/ou ineficiência da drenagem pluvial e disposições inadequadas de resíduos. Em relação à suscetibilidade natural, destaca-se que as principais áreas de risco estão majoritariamente instaladas em declives acentuados ($> 30^\circ$) com solos com predisposição à ocorrência de deslizamentos translacionais rasos (mais comuns) e processos erosivos, além de queda e rolamento de blocos. Nas áreas de alto e muito alto risco foi possível observar claramente as feições de instabilidade, o que permitiu a sua delimitação de forma adequada.

As caracterizações geológico-geotécnicas realizadas por meio de ensaios laboratoriais e de campo foram fundamentais para subsidiar as avaliações as condições de estabilidade das áreas piloto e obter dados quantitativos para melhor qualificar o risco. A partir da caracterização detalhada foi possível verificar as áreas instáveis, aquelas com fatores de segurança abaixo de 1,5. Os planos de ruptura

analisados encontram-se predominantemente em profundidades que variam entre 0,5 m e 2,45m e ficam entre o solo coluvionar e o solo residual maduro, com textura predominantemente argilo-arenosa.

A metodologia utilizada para as simulações de alcance pelo software RAMMS mostrou-se adequada para o propósito dos estudos. Foi possível realizar a calibração dos parâmetros de atrito Voellmy-Salm (atrito seco - μ e turbulento - ξ) para as áreas piloto; definir o volume e as características do material mobilizado em superfícies de ruptura definidas por meio de análises de estabilidade; validar as superfícies de ruptura definidas nas análises de estabilidade, com base na forma e cicatrizes de deslizamentos anteriores; reproduzir o alcance de deslizamentos translacionais rasos, considerando a altura do fluxo, a velocidade, o volume de massa liberada e o alcance, que variou entre 80 e 121m. Com base nestes resultados, estimou-se a população afetada em cada um dos setores de risco analisados.

Também foi possível correlacionar esta avaliação à um estudo de sensibilidade dos parâmetros geológico-geotécnicos obtidos nas investigações realizadas nas áreas de interesse. Desta forma foi possível concluir que, para a região analisada, o coeficiente de atrito seco (μ) que melhor representou as áreas de estudo foi de 0,35, enquanto o atrito turbulento, ξ , variou entre 400 a 600 m/s². A projeção do alcance para as áreas simuladas variaram entre 80 a 121m.

Os resultados obtidos neste estudo poderão servir de base para pesquisas futuras em áreas de abrangência com características similares. É importante salientar a complexidade envolvida nas análises de previsibilidade do alcance de um deslizamento. Através deste estudo pôde-se perceber que é imprescindível realizar estas estimativas de forma criteriosa, para que se possa evitar erros. Neste sentido, a presença de uma base de dados adequada, composta por parâmetros de solos, superfície de ruptura e geometria, que permita validar a forma e os volumes mobilizados nas rupturas simuladas, é fundamental para o sucesso da aplicação da técnica.

A despeito do programa ser mais voltado para a simulação de fluxo de detritos o módulo disponibilizado para simulação de deslizamentos rasos permitiu atender aos

objetivos do estudo. Há, entretanto, a necessidade de realização de um maior número de análises para validar o método dinâmico empregado no presente estudo.

As técnicas empregadas neste trabalho e produtos gerados podem auxiliar na gestão de risco do município, através do gerenciamento e planejamento do uso e ocupação do solo, permitindo que a utilização dos resultados sirva como ferramenta de suporte à decisão para determinar prioridades quanto a ações preventivas e na mitigação de impactos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCANTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazards, vulnerability, and prevention of natural disaster in developing countries. **Geomorphology**, v.47, p.107-124, 2002.

AMARAL JR., A. F. **Mapeamento geotectônico aplicado a análise de processos de movimentos de massas gravitacionais: Costa Verde-RJ-escala: 1:10.000**. 1991 p. (Dissertação de Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

ANTUNES, F.Z. Caracterização climática do estado de Minas Gerais: climatologia agrícola. **Informe Agropecuário**, v.12, p.9-13, 1986.

ALEOTTI P, BALDELLI P, POLLONI G, PUMA VILLANI B. Hazard and risk assessment in the Po River Basin (North Italy) (**in press**). (1999).

ALHEIROS, M.M. Gestão de Riscos Geológicos no Brasil. São Paulo: ABGE. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental - REGEA**, v.1, n.1, p. 109 – 122, nov.2011.

ANTUNES, F.Z. Caracterização climática do estado de Minas Gerais: climatologia agrícola. **Informe Agropecuário**, v.12, p.9-13, 1986.

ASSIS, L. E., SOUZA, L. A., MENDONÇA, M. B., SILVA, U. M., ROQUE, L. A., BARBOSA, C. V., VENTURIN, A. M., MARQUES, E. A. G. (2018). Elaboração do Plano Municipal de Redução de Riscos em Além Paraíba (MG). **Anais do 16CNG - 16o Congresso Nacional de Geotecnia**, Portugal, maio de 2018.

ASSIS, L. E. **Avaliação geológico-geotécnica em áreas de susceptibilidade à movimentos de massa em Rio Piracicaba (MG)**. 175p. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6122:2010**: Projeto e execução de fundações – Ensaios de Compressão Triaxial em Solos. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6457:1986** Amostras de solo: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682**: Estabilidade de Encostas. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**: Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT - Método de Ensaio. CB-02. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508**: Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm: Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo – Análise Granulométrica - Procedimento. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7250**: Identificação e descrição de amostras de solo obtido por sondagens de simples reconhecimento dos solos - procedimento. Rio de Janeiro, 1982.

AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica**. In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 1. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PUCRJ. v.2, p.721-733. 1992.

BANCO MUNDIAL. **Avaliação de Perdas e Danos: Inundações Bruscas em Santa Catarina** – Novembro de 2008, Brasília, 2012a.

BAPTISTA, A. C. **Avaliação da susceptibilidade aos movimentos de massa, erosão e escoamento superficial em Nova Friburgo, RJ**. (Tese de Doutorado) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 376p, 2009.

BARTELT P., BÜHLER Y., BUSER O., CHRISTEN M. AND MEIER L. Modeling mass-dependent flow regime transitions to predict the stopping and depositional behavior of snow avalanches. *J. Geophys. Res.*, 117, doi: 10.1029/2010JF001957, 2012.

BARUQUI, F. M. **Inter-relações solo-pastagens nas regiões Mata e Rio Doce do estado Minas Gerais. (Dissertação de Mestrado) Solos e Nutrição de Plantas, 1982.** Viçosa: UFV, 1982. 119p.

BEGUERÍA, S., VAN ASCH, T.W.J., MALET, J.-P. & GRÖNDAHL S. (in prep.). **A GIS based numerical model for simulating the kinematics of mud and debris flows over complex terrain**, 2009.

BLOOM, A. L. **Superfície da terra.** São Paulo: Edgard Blücher, 1970.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento Exploratório dos Solos da região sob influência da CIA. Vale do Rio Doce. Boletim Técnico n 13. Rio de Janeiro, 1970. 154p.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretária-Geral. **Projeto RADAMBRASIL:** levantamento de recursos naturais. Folhas SF. 23/24. Rio de Janeiro/Vitória. Geologia. Rio de Janeiro, v. 32. 1983. 775p.

BRASIL. **Lei nº 13.465, de 11 de julho de 2017.** Dispõe sobre a regularização fundiária rural e urbana, sobre a liquidação de créditos concedidos aos assentados da reforma agrária e sobre a regularização fundiária no âmbito da Amazônia Legal; institui mecanismos para aprimorar a eficiência dos procedimentos de alienação de imóveis da União. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13465.htm>. Acesso em: 15/02/2021.

BRASIL, **Lei 10.257 de 10 de julho de 2001:** Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília: Congresso Nacional, 2001.

BRASIL. Ministério das Cidades/Cities Alliance. **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais.** Celso Santos Carvalho e Thiago Galvão, organizadores – Brasília: Ministério das Cidades; **Cities Alliance**, 2006.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios**. Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura (orgs). Brasília, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2007. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/>>. Acesso em: 05 de maio, 2019.

BRASIL. **Lei 12.608, de 10 de abril de 2012**. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2012.

BRASIL. Decreto nº 10.593 de 24 de dezembro de 2020. Dispõe sobre a organização e o funcionamento do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil e do Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil e sobre o Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil e o Sistema Nacional de Informações sobre Desastres. **Diário Oficial da União** (Brasília). 2020 dez 24. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.593-de-24-de-dezembro-de-2020-296427343>. Acesso em junho 2021.

BRASIL. **Cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais (cartografia geotécnica para prevenção de riscos) dos municípios de Além Paraíba (MG) e Sapucaia (RJ)**. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. Viçosa, MG, 2022 (Não Publicado).

CALDERÓN, A.I. e SEGURA, D.S.B. Riscos sócio-ambientais: a complexidade do caso paulistano. **Debates sócio-ambientais**. CEDEC, São Paulo, n.4, p.3-5, 1996.

CANIL, K.; NOGUEIRA, F. R.; MORETTI, R.S.; FUKUMOTO, M. M.; RAMALHO, P. C.; POLLINI, P. B.; REGINO, T. M.; GOMES, A. H. O processo interativo na elaboração da carta geotécnica de aptidão à urbanização e sua aplicação ao planejamento e gestão territorial do município de São Bernardo do Campo, SP. In: **III Congresso da Sociedade de Análise de Risco Latino gestão territorial do município de São Bernardo do Campo, SP**. 2016.

CARDOSO, ADAUTO LUCIO; ARAGÃO, THÊMIS AMORIM. Do fim do BNH ao Programa Minha Casa Minha Vida. In: CARDOSO, ADAUTO LUCIO (org.). O Programa Minha Casa Minha Vida e seus Efeitos Territoriais. Rio de Janeiro: **Letra Capital**. 2013.

CARRIÇO, J.M. **Legislação urbanística e segregação espacial nos municípios centrais da Região Metropolitana da Baixada Santista**. 2002. 234f. + anexos. (Mestrado em Estruturas Ambientais Urbanas) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo.

CARVALHO, D. W. DE; DAMACENA, F. D. L. **Direito dos desastres**. Porto Alegre: Livraria do Advogado. 2013.

CARVALHO, C.S & GALVÃO, T. (Org) 2006. **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais**. Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006.

CEPED-RS - **Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres**. 2016.

CERRI, L. E. S. & AMARAL, C. P. **Riscos Geológicos**. In: OLIVEIRA, A. M. S. & BRITO, S. N. A. (eds.). *Geologia de Engenharia*. São Paulo, ABGE. 1998.

CERRI, L. E. S.; AKIOSSI, A.; AUGUSTO FILHO, O.; ZAINÉ, J. E. Cartas e mapas geotécnicos de áreas urbanas: reflexões sobre as escalas de trabalho e proposta de elaboração com o emprego do método de detalhamento progressivo. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 8, 1996, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABGE, 1996, v.2, p. 537-548.

CERRI, L.E.S.; SILVA, V.C.R. da & AUGUSTO FILHO, O. Considerações sobre a representação cartográfica de riscos geológicos. **Revista Instituto Geológico**, São Paulo, volume especial, p.45-49. 1995.

CHEN, H.; LEE, C. F. Numerical simulation of debris flows. **Canadian Geotechnical Journal**, v. 37, p. 146-160, 2000.

CHRISTEN M., BARTELT P. AND KOWALSKI J. Back calculation of the In den Arelen avalanche with RAMMS: interpretation. Ann. **Glaciol.**, 51(54), 161–168, 2010 (a).

CHRISTEN M., KOWALSKI J. AND BARTELT P. RAMMS: numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain. **Cold Reg. Sci. Technol.**, 63(1–2), 1–14, 2010 (b).

CHRISTEN, M., BÜHLER, Y., BARTELT, P., LEINE, R., GLOVER, J., SCHWEIZER, A., GRAF, C., MCARDELL, B. W., GERBER, W., DEUBELBEISS, Y., FEISTL, T., AND VOLKWEIN, A. Integral hazard management using a unified software environment: numerical simulation tool “RAMMS” for gravitational natural hazards, in: 12th Congress INTERPRAEVENT, Grenoble – France, Proceedings, Vol. 1, **International Research Society INTERPRAEVENT**, edited by: Kobltschnig, G.; Hübl, J., and Braun, J., Klagenfurt, 23–26 April 2012, 77–86, 2012.

CHRISTEN M., BUHLER Y, BARTELT P, LEINE R, GLOVER J, SCHWEIZER A, GRAF C, MC ARDELL B, GERBER W, DEUBELBEISS Y, FEISTL T, and VOLKEWEIN A. Numerical Simulation Tool “RAMMS” for gravitational natural hazards. **Ann.** 12th Congress INTERPRAEVENT 2012 – Grenoble / France, 2012.

CONTERATO, L. **Uso do Programa RAMMS na modelagem de corridas de detritos e previsão de áreas atingidas – Estudo de caso de Quitite – Papagaio.** (Dissertação). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. (2014).

CORRÊA NETO A.V., DAYAN H., VALENÇA J.G., RAFAEL CABRAL A. 1993. Geologia e estrutura da zona de cisalhamento do rio Paraíba do Sul entre Três Rios, RJ e Sapucaia, RJ. In: SBG, **Simp. Geol. Sudeste**, 3, Atas, p. 194-200.

CORRÊA, C.V.S. **Modelagem morfométrica para avaliação da potencialidade de bacias hidrográficas a corridas de detritos: proposta aplicada em Caraguatatuba (SP) e São Sebastião (SP)** / Tese de Doutorado. Rio Claro, 2018.

COUTINHO, N. C. A. Proteção Constitucional em Face de Desastres Hidrológicos. **Revista dos tribunais online.** 2014. Acesso em dez. 2018. Disponível em http://www.ceaf.mppr.mp.br/arquivos/File/Biblioteca/0520_3_Encontro_Anual_da_Re_de_Ambiental/RTDoc16_5_11_2_9_PM.pdf.

CPRM – Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. **Setorização de Risco Geológico do Município de Além Paraíba. 2014.** Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres-Naturais/Setorizacao-de-Riscos-Geologicos---Minas-Gerais-4880.html> Acesso: junho de 2017.

D'AMBROSIO, D., DI GREGORIO, S. AND IOVINE, G.: Simulating debris flows through a hexagonal cellular automata model: SCIDDICA S3-hex, **Nat. Hazards Earth Syst. Sci.**, 3, 545–559, 2003.

DAMACENA, F. D. L., OLIVEIRA, F. D., DORR, J. M. D. Direito a moradia, ocupação de áreas de risco e desastre “natural” à luz da jurisprudência do tribunal de justiça do Rio Grande do Sul. **Revista Culturas Jurídicas**, Vol. 4, Núm. 8, mai./ago., 2017.

DAYAN, H., CORRÊA NETO, A.V., Valença J.G. 1993. **A zona de cisalhamento do Rio Paraíba do Sul: Estudo de Padrões de orientação preferencial de eixos-c de quartzo**. In: SBG, Simp.Nac. Est. Tect., 4, Anais, p. 339-342.

DENT, J. D.; LANG, T. E. **A biviscous modified Bingham model of snow avalanche motion**. **Annals of Glaciology**, v. 4, p. 42-46, 1983.

DIETRICH, W. E.; MONTGOMERY, D. R. (1998). **SHALSTAB: a digital terrain model for mapping shallow landslide potential**. NCASI (National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement), Technical Report, 29 p.

DINIZ, N.C, FREITAS, C.G.L. (coord.) **Cartografia geotécnica**. In: COUTINHO, R.Q. (coord.geral e org.) Parâmetros para a cartografia geotécnica e diretrizes para medidas de intervenção de áreas sujeitas a desastres naturais. Brasília, Ministério das Cidades/ GEGEP/UFPE.Cap.7, 39p. 2013.

DNER, Departamento Nacional e Estradas e Rodagem. **“Pavimentação”**, 1996.

DOURADO, F; ARRAES, T. C; SILVA, M. F. **O Megadesastre da região serrana do Rio de Janeiro – As causas do evento, os mecanismos dos movimentos de massa e a distribuição espacial dos investimentos de reconstrução no pós-desastre**. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ ISSN 0101-9759 e-ISSN 1982-3908 - Vol. 35 - 2 / 2012, p. 43-54. IGUAL REVISTA.

EM-DAT – **The international Disaster Database**. (s.d.-a). Disponível em: <https://www.emdat.be/>. Acesso em fevereiro de 2019.

EIRD – **Estrategia Inernacional para la Reducción de Desastres Las Americas**. Glosario de la Estrategia, 2004. Disponível em: <http://www.eird.org/esp/terminologiaesp.htm>. Acessado em: 17 out. 2014.

FAN, L.; LEHMANN, P.; MCADELL, B.; OR, D. Linking rainfall-induced landslides with debris flows runout patterns towards catchment scale hazard assessment. **Geomorphology**, v. 280, 1-15. 2017.

FARIA, D. G. M.; FILHO, O. A. Mapeamento de perigo associado a escorregamentos em encostas urbanas utilizando o processo de análise hierárquica (AHP). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 7. Maringá/PR. **Anais...** 2010.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de Massa: Uma Abordagem Geológico- Geomorfológico. In: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. (orgs). Geomorfologia e Meio ambientes. **Editora Bertrand Brasil**. Rio de Janeiro Cap.3, p 123-194. 2003.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. (1996). **Movimentos de massa: uma abordagem geológico geomorfológica**. In Guerra, A.J.T. e Cunha, S.B. (org.) Bertrand, Rio de Janeiro: 123-194.

FJP – FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO - **Déficit habitacional no Brasil 2019/ Fundação João Pinheiro, Diretoria de Estatística e Informações**. – Belo Horizonte: FJP, 2021.

FLO-2D. Software Inc. FLO-2D. **User's Manual Version**. 2007.06, 2007.

FRAMEWORK FOR DISASTER RISK REDUCTION 2015 – 2030. Disponível em [http:// www.preventionweb.net/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf](http://www.preventionweb.net/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf). Acesso em 22 de junho de 2019.

FRANK, FLORIAN; MCADELL, BRIAN W; HUGGEL, CHRISTIAN; VIELI, ANDREAS. The importance of entrainment and bulking on debris flow runout modeling: examples from the Swiss Alps. **Zurich Open Repository and Archive**, University of Zurich, 2015.

FREITAS, Carlos Machado de et al., Vulnerabilidade socioambiental, redução de riscos de desastres e construção da resiliência: lições do terremoto no Haiti e das chuvas fortes na Região Serrana, Brasil. **Ciênc. saúde coletiva [online]**. Vol.17, n.6, pp. 1577-1586. 2012.

FREKHAUG, M.H. **An assessment of prediction tools to Norwegian debris flows**. Dissertação (Mestrado), Master Norwegian University of Science and Technology. 2015.

GEO-RIO. “**Manual técnico de encostas**”. Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2000.

GIANI L. **Entwicklung und Eigenschaften von Marschböden im Deichvorland der südlichen Nordseeküste**. Habilitationsschrift. Oldenburg (in German). 1992.

GRAF C. AND MCARDELL B. **Simulation of debris flow runout before and after construction of mitigation measures: an example from the Swiss Alps**. **Proceedings of the International Conference on DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection**. Pyatigorsk, Russia, 22-29 September 2008, 233-236, 2008.

GRAF, C.; DEUBELBEISS, Y.; BÜHLER, Y.; MEIER, L.; MCARDELL, B.; CHRISTEN, M.; BARTELT, P. Gefahrenkartierung Mattertal: Grundlagenbeschaffung und numerische Modellierung von Murgängen, in: Mattertal – ein Tal in Bewegung, Herausgeber: Graf, C., Publikation zur Jahrestagung der Schweizerischen Geomorphologischen Gesellschaft, 29 June to 1 July 2011, St. Niklaus, Birmensdorf, Eidg. **Forschungsanstalt WSL**, 85-1-12, 2013.

GRAF C. AND MCARDELL B.W. **Debris-flow monitoring and debris-flow runout modelling before and after construction of mitigation measures: an example from an instable zone in the Southern Swiss Alps**. In: Lambiel C.; Reynard E.; Scapozza, C. (eds) *La géomorphologie alpine: entre patrimoine et contrainte*. Actes du colloque de la Société Suisse de Géomorphologie, 3-5 septembre 2009, Olivone. Géovisions no 36. Lausanne, Université de Lausanne Institut de Géographie. 245-258, 2011.

GRAF, C.; STOFFEL, M.; GRÊT-REGAMEY, A. Enhancing debris flow modeling parameters integrating Bayesian networks. **Geophysical Research Abstracts**, v. 11, n. 10, p. 725–10,721. 2009.

GRANJO, P. Quando o conceito de risco se torna perigoso. *Análise Social*, v. 41, n. 181, 1167-1179, **Imprensa de Ciências Sociais**. 2006.

GREGORIO, L. T.; SAITO, S. M.; SAUSEN, T. M. Sensoriamento remoto para a gestão de risco de desastres naturais. In: SAUSEN, T. M. & LACRUZ, M. S. P. Sensoriamento Remoto para desastres. São Paulo: **Oficina de Textos, 2015, p. 43-67**. ISBN: 978-85-7975-175-2.

GRUBER U. AND BARTELT P. (2007). **Snow avalanche hazard modelling of large areas using shallow water numerical methods and GIS**. Environ. Model. Softw., 22(10), 1472–1481.

GIRD+10:caderno técnico de gestão integrado de riscos e desastres. **Ministério do Desenvolvimento Regional, 2021**.

GRANJO, PAULO, “Quando o conceito de «risco» se torna perigoso”, **Análise Social**, 181, pp. 1167-1179, 2006.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. Estabilidade de taludes naturais e de escavação. São Paulo: Edgard Blücher; **Ed. da Universidade de São Paulo, 194p**. 1984.

GUO, D., HAMANDA, M., HE, C., WANG, Y., ZOU, Y. An empirical model for landslide travel distance prediction in Wenchuan earthquake area. **Landslides** 11(2): 281- 291. 2014.

GUZZETTI, F., ARDIZZONE, F., CARDINALI, M., ROSSI, M., VALIGI, D. Landslide volumes and landslide mobilization rates in Umbria, central Italy. In: **Earth and Planetary Science Letters, 279, 222-229**. 2009.

HEIM, A. Bergsturz und menschenleben, beiblatt zur vierteljahrsschrift der naturforschenden gesellschaft in Zurich. Zurich, 1932. v. 7, 217 p. Tradução N. Skermer com o título Landslides and Human Lives. Vancouver: **BiTech Publishers**. 195 p. 1989.

HEIM, A. Landslides and human lives (Bergstruz and Menchen leben). Translated by N. Skermer. **BiTech Publishers**, Vancouver, B.C., 195 p. 1932.

HORTON, P., M. JABOYEDOFF, B. RUDAZ, AND M. ZIMMERMANN. 2013. Flow-R, a model for susceptibility mapping of debris flows and other gravitational hazards at a regional scale. **Natural Hazards and Earth System Sciences** 13(869–885) doi:10.5194/nhess-13-869-2013.

HUNGR, O. **A model for the runout analysis of rapid flow slides, debris flows, and avalanche.** Can. Geotech. J., 32 (1995), pp. 610-623. 1995.

HUNGR, O., COROMINAS, J., AND EBERHARDT, E. 2005. Estimating landslide motion mechanism, travel distance and velocity. In: Landslide risk management, edited by: Hungr, O., Fell, R., Couture, R., and Eberhardt, E., **Taylor e Francis Group**, London, 99–128, 2005.

HUSSIN, H.Y.; QUAN-LUNA, B.; VAN WESTEN, C.J.; CHRISTEN, M.; MALET, J.P., VAN ASCH, T. Parameterization of a numerical 2-D debris flow model with entrainment: a case study of the Faucon catchment, Southern French Alps. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 12, p. 3075–3090. 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm. Acesso em jun. 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021. **Resultados do censo 2021**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br> >. Acesso em jan. 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Anuário Estatístico do Brasil, v.14, p 1-1, 8-54**, 2014.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Resultados do censo 2010**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br> >. Acesso em agosto de 2016.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo 2011. **Banco de Dados de Mortes por Escorregamento**. São Paulo.

IVERSON R.M., GEORGE D.L., ALLSTADT K., REID M.R., COLLINS B.D., VALLANCE J.W., et al.; Landslide mobility and hazards: implications of the 2014 Oso disaster. **Earth and Planetary Science Letters**, 412: 197–208. 2014.

KELFOUN AND T. H. DRUITT. Numerical modeling of the emplacement of Socompa rock avalanche, Chile. **JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH**, VOL. 110, B12202, doi:10.1029/2005JB003758, 2005.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D.A.; MARCELINO, I.P.V.O; MARCELINO, E.V.; GONÇALVES, E.F.; BRAZETTI, L.L.P.; GOERL, R.F.; MOLLERI, G.S.F.; RUDORFF, F.M. 2006. **Prevenção de Desastres Naturais: Conceitos Básicos**. Curitiba: Ed. Organic Trading. 109 p. Disponível em: <http://www.labhidro.ufsc.br/publicacoes.html>. 2006.

KWAN J. S. H. & SUN H. W. Benchmarking exercise on landslide mobility modelling – runout analyses using 3dDMM. In **Proceedings of the 2007 international forum on landslide disaster management** (eds K. Ho and V. Li), vol. 2, pp. 945–966. Hong Kong, P. R. China: Geotechnical Division, Hong Kong Institution of Engineers, 2007.

LANG, T. E.; MARTINELLI JR, M. Application of numerical transient fluid dynamics to snow avalanche flow, Part 2: Avalanche modeling and parameter error evaluation. *Journal of Glaciology*, v. 22, n. 86, p. 117-126, 1979

LIMA, CLEVERSON ALVES DE, D. SC. **Modelagem espacial das áreas suscetíveis aos movimentos de massa e inundação no município de Três Rios-RJ**. Não publicado. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Dezembro, 2018.

LOPES, E.S.S. & ARRUDA JUNIOR, E.R. (2015). Sensoriamento Remoto para Deslizamentos. In: SAUSEN, T.M.; LACRUZ, M.S.P. **Sensoriamento Remoto para desastres**. São Paulo: Oficina de Texto, p.213-248.

LOUP B., Egli T., Stucki M., BARTELT P., MCARDELL B. and Baumann R. Impact pressures of hillslope debris flows. Back-calculation and simulation (RAMMS). **12th Congress INTERPRAEVENT– Grenoble / France**, Conference Proceedings, 2012.

MACEDO, E.; SANTOS, L. P.; KANIL, K.; SILVA, F. C.; LANÇONE, R. B.; MIRANDOLA, F. A.; COSTA, R. N. Mapeamento de risco em assentamentos precários no município de São Paulo (SP) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 13. 2011-b, São Paulo, SP **Anais...** São Paulo, ABGE. 1 CD-ROM. 2011.

MACEDO, E; BRESSANI, L. A. (Coord.). Diretrizes para o zoneamento da suscetibilidade, perigo e risco de deslizamentos para planejamento do uso do solo. São Paulo: **ABGE, 88 p** - 2013.

MACEDO, E. S.; MARTIS, P. P. D. Análise do Banco de Dados de Mortes por Deslizamentos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). 15º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. São Paulo: **ABGE**, p.7., p. 7, 2015.

MCDOUGALL, S. Canadian Geotechnical Colloquium: landslide runout analysis - current practice and challenges. **Can Geotech J** 54:605–620. <https://doi.org/10.1139/cgj-2016-0104>, 2016.

MCDOUGALL, S. **A new continuum dynamic model for the analysis of extremely rapid landslide motion across complex 3D terrain**. The University of British Columbia. Vancouver, Canada, 2006.

MCEWEN, A. S.; MALIN, M. C. "Dynamics of Mount St. Helens' 1980 pyroclastic flow, rockslide-avalanche, lahars and blast." **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, n. 37, p. 205-231, 1989.

MANGENEY-CASTELNAU, A., VILOTTE, J.-P., BRISTEAU, M.O., PERTHAME, B., BOUCHUT, F., SIMEONI, C., YERNENI, S. Numerical modeling of avalanches based on Saint-Venant equations using a kinetic scheme. **Journal of Geophysical Research** 118, 2527, 2003.

MARCELINO, E. V. 2008. **Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos. Caderno Didático nº 1**. INPE/CRS, Santa Maria, 2008.

MARCELINO, E.V.; NUNES, L.H.; KOBIYAMA, M. Banco de dados de desastres naturais: Análise de dados globais e regionais. **Caminhos da Geografia, Uberlândia**, v.7, n.19, p.130-149. 2006.

MATTEDI, M. A., BUTZKE, Ivani. C. A relação entre o social e o natural nas abordagens de hazards e de desastres. **Revista Ambiente & Sociedade** - Ano IV – N° 9 – 2° Semestre de 2001.

MEDD, W.; MARVIN, S. (2005). From the politics of urgency to the governance of preparedness: a research agenda on urban vulnerability. **Journal of contingencies and Crisis Management**, v.13, n.2, pp. 44-49, 2005.

MEDINA, V., BATEMAN, A., AND HÜRLIMANN, M.: **FLATModel: a 2D finite volume code for debrisflow modelling**. Application to events occurred in the Eastern Pyrenees, *Int. J. Sediment Res.*, 23, 348–360, 2008.

MELO, C. M., KOBAYAMA MASATO. Aplicação do Modelo Shastalb no Estudo de Escorregamentos no Brasil: Revisão. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, no 4. 2018.

MENDONÇA, M. B.; PIMENTEL, J.; SARAMAGO, R.P. Reflexões Sobre Planos Municipais de Redução de Riscos Associados a Deslizamentos de Terra. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 15., 2010, Gramado, RS. **Anais...** São Paulo: ABMS, 1 CDROM. 2010.

MOLINA, J., WALTER, F. **Comportamento mecânico do solo em operações agrícolas** [recurso eletrônico] / ESALQ/USP, 2017.

MOREIRA, A.A.N. & CAMELIER, C. 1977. **Relevo**. In: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro. Vol. 3. Pp. 1-150. 1977.

MERGILI, M.; FISCHER, J.; KRENN, J.; PUDASAINI, S.P. r.avaflow v1, an advanced open-source computational framework for the propagation and interaction of two-phase mass flows. **Geosci. Model Dev.** 2017, 10, 553–569, 2017.

MORELLI S, SALVATICI T, NOLESINI T, et al., (2016) Analogue and numerical modeling of the Stromboli hot avalanches. In: Aversa S, Cascini L, Picarelli L, Scavia C (eds.), *Landslides and Engineered Slopes. Experience, Theory and Practice. Proceedings of the 12th International Symposium on Landslides*, 12-19 June 2016, Napoli, Italy. **CRC Press**, Napoli, Italy. pp 1493-1500. DOI: 10.1201/b21520-184, 2016.

MORELLI S, MONROY VH, GIGLI G, et al., (2010) The Tancitaro debris avalanche: characterization, propagation, and modeling. **Journal of Volcanology and Geothermal Research** 193(1): 93-105. DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2010.03.008

NARVAEZ, L.; LAVELL, A.; PÉREZ, O. G. **La gestión del riesgo de desastres: un enfoque basado en procesos**. Lima: CAPRADE, Comunidad Andina, PREDECAN, Comisión, Comisión Europea, 102 p. 2009.

NOGUEIRA, F. R.; SOUZA, L. A.; FUKUMOTO, M. M.; BONGIOVANNI, L. A. Plano municipal de redução de riscos de São Bernardo do Campo, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 13. 2011-b, São Paulo, SP **Anais...** São Paulo, ABGE., 1 CD-ROM. 2011.

NARVÁEZ, L.; LAVELL, A.; PÉREZ ORTEGA, G. **La gestión del riesgo de desastres: un enfoque basado en procesos**. San Isidro: Secretaría General de la Comunidad Andina, 2009.

NOGUEIRA, F.R. A curta história da gestão de riscos ambientais urbanos. São Paulo, UNESP, **Revista Geociências**, v.27, n.1, p.125-126, 2008.

NOGUEIRA, F. R. **Gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos: contribuição às políticas públicas municipais para áreas de ocupação subnormal** (Tese de doutorado) Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro. 266p. 2002.

NOGUEIRA, F. R., & CANIL, K. (2017). Cartas geotécnicas de aptidão à urbanização: instrumento de planejamento para prevenção de desastres e para a gestão do uso do solo. In **Anais ...do XVII ENANPUR**. São Paulo: FAUUSP, 2017.

O'BRIEN, J. S.; JULIEN, P. Y. "Two-dimensional water flood and mudflow simulation". **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 119, n. 2, p. 244-259, 1993.

PACK, R. T., D. G. Tarboton, C. N. Goodwin, A. Prasad, **"SINMAP 2. A Stability Index Approach to Terrain Stability Hazard Mapping, technical description and users guide for version 2.0,"** Utah State University (2005).

PASTOR, M., QUECEDO, M., FERNÁNDEZ MERODO, J.A., HERREROS, M.I., GONZÁLEZ, E., MIRA, P. Modelling tailing dams and mine waste dumps failures. **Géotechnique** 52 (8), 579–591, 2002.

PASTOR M, BLANC T, PASTOR MJ (2009b) A depth-integrated viscoplastic model for dilatant saturated cohesive-frictional fluidized mixtures: application to fast catastrophic landslides. **J Nonnewton Fluid Mech** 158:142–153, 2009.

PASTOR M, HERREROS I, FERNÁNDEZ MERODO JA, MIRA P, HADDAD B, QUECEDO M, GONZÁLEZ E, ALVAREZ-CEDRO NC, DREMPETIC V (2009a) Modelling of fast catastrophic landslides and impulse waves induced by them in fjords, lakes and reservoirs. **Eng Geol** 109:124–134, 2009.

PERLA, R.; CHENG, T. T.; MCCLUNG, D. M. “A two-parameter model of snow avalanche motion. **Journal of Glaciology**,” v. 26, p. 197-207, 1980

PEREIRA, A.; GOBBI, F.; BRESSANI, L. A.; RIGO, M. L.; BORTOLI, C. R. Metodologia de Classificação de Áreas de Risco de Deslizamento de Encostas no Município de Caxias do Sul/RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 14, 2008, Búzios, RJ. **Anais...** São Paulo: ABMS, 1 CD-ROM. 2008.

PINTO, C. S. Curso Básico de Mecânica dos Solos. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2002.

PIRULLI, M. **Numerical modeling of landslide runout, a continuum mechanics approach**. Dissertation, Politecnico di Torino. Torino, 2005.

PITMAN, E. B. et al., “Computing granular avalanches and landslides. **Physics of Fluids**”, v. 15, n. 12, p. 3638-3646, 2003.

POISEL, R. & PREH, A. **Rock slope initial failure mechanisms and their mechanical models**, **Felsbau** 22: 40-45. 2004.

POLANCO, L. S. E. **Correlações Empíricas para Fluxo de Detritos**. Tese* de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2010.

PRANDINI, F. L.; PONÇANO, W. L.; SANTAS, A. M. et al. Cajamar - Carst e Urbanização: a Experiência Internacional (síntese Bibliográfica). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5, (1987): **Anais...** São Paulo: ABGE, V. 2, p. 431-441, 1987.

PRANDINI, F.L.; NAKAZAWA, V.A.; FREITAS, C.G.L.; DINIZ, L.C. Cartografia Geotécnica nos planos diretores regionais e municipais. In: CURSO DE GEOLOGIA APLICADA AO MEIO AMBIENTE, ABGE/IPT, São Paulo, **ABGE**, p.187-202. 1995.

PRIETO, C. C. **Previsão de deslizamentos em encostas por meio de modelagem numérica: estudo de caso na bacia Piracuama, município de Campos do Jordão, SP / Carla Corrêa Prieto**. – São José dos Campos. (Tese de Doutorado). INPE, 933p. 2018.

REBELO, F. **Geografia física e riscos naturais**. Coimbra, Universidade de Coimbra. 2010.

RAMMS: DEBRISFLOW. **User Manual v1.5 – Debris Flow**. A numerical model for debris flows in research and practice. WSL Institut für Schnee- und Lawinenforschung, 2013.

RAÏMAT, C.; RIERA, E.; GRAF, C.; LUIS-FONSECA, R., FAÑANÁS, C.; HÜRLIMANN, M. Experiencia de la aplicación de RAMMS para la modelización de flujo tras la aplicación de las soluciones flexibles VX en el barranc de Portainé. En: Libro del VIII Simp. Nac. Sobre Taludes y Laderas Inestables, Palma de Mallorca, 11-14 Junio 2013. **Proceedings...** Barcelona: CIMNE, p. 1131-1144. 2013.

RICKENMANN, D. Hyperconcentrated flow and sediment transport at steep slopes. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 117, n. 11, p.1419-1439. 1991. RICKENMANN, D. Empirical relationships for debris flows. **Natural Hazards**, v. 19, p. 47-77, 1999.

RICKENMANN, D.; ZIMMERMANN, M. The 1987 debris flows in Switzerland: documentation and analysis. **Geomorphology**, v.8, p. 175-189, 1993.

RICKENMANN, D.; LAIGLE, D.; MCARDELL, B.; HÜBL, J. Comparison of 2D debris-flow simulation models with field events. **Computational Geosciences**, v. 10, n. 2, p. 241–264. 2006.

ROBAINA, L.E.S. **Espaço urbano: relação com os acidentes e desastres naturais no Brasil**. **Ciência e Natura**, 30 (2), 93-105, 2008.

RODDEMAN, D.G. TOCHNOG user's manual –a free explicit/implicit FE program. FEAT, 177 pp., 2002.

ROQUE, L. A. **Áreas de risco geológico-geotécnico associadas a movimentos de massas no núcleo urbano de Viçosa-MG**. 2013. 110p. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais. 2013.

ROSS, J.L.S.; MOROZ, I.C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. USP/IPT/FAPESP. Escala 1:500.000. 1997.

SAITO, S.M.; SORIANO, E.; LONDE, L. de R.; Desastres Naturais / Sensoriamento Remoto para Desastres – São Paulo: **Oficina de Textos**. 2015.

SAITO, M.S. E PELLERIN, J.R.G.M. Avaliação da Gestão de Risco de Escorregamentos no Maciço do Morro da Cruz, Florianópolis, SC. **Revista Ra e Ga**. v.29, p. 47-63. 2013.

SALM, B. **Contribution to avalanche dynamics**. International Association of Scientific Hydrology Publication 69 (Symposium at Davos 1965 – Scientific Aspects of Snow and Ice Avalanches, 199-214, 1966.

SALM B., BURKARD A., GUBLER H. **Berechnung von Fließlawinen: eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen. Mitteilung 47, Eidg**. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, 1990.

SALM, B. Flow, flow transition and run-out distances of flowing avalanches. **Ann. Glaciol**, v. 18, p. 221-226. 1993.

SALOMÃO, F. X.T & ANTUNES F.S. Solos em Pedologia – Geologia de Engenharia. Oliveira S.A. & BRITO S.A (eds). Associação Brasileira de Geologia de Engenharia- **ABGE, São Paulo, Brasil, pp. 87-89**. 1988.

SANTOS, A. R. **A grande barreira da Serra do Mar: da trilha dos tupiniquins à Rodovia dos Imigrantes**. São Paulo: O nome da Rosa, 122 pp, 2004.

SECRETARIA DE AVALIAÇÃO E GESTÃO DA INFORMAÇÃO (SAGI). **Estudo técnico no. 23/2013. Projeções populacionais para o Brasil (2000 - 2060) e estimativas da população para grandes regiões (2000-2030): síntese de resultados de publicação do IBGE**. 2013.

SELBY, M.J. **Hillslope materials and processes**. Oxford, Oxford University Press. 1993.

SIEBERT, C.: Resiliência Urbana: Planejando as Cidades para Conviver com Fenômenos Climáticos Extremos. **Anais...** VI Encontro Nacional da Anppas 18 a 21 de Setembro de 2012. Belém, Pará, 2012.

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

SOUZA, L. A. **Cartografia geoambiental e cartografia geotécnica progressiva em diferentes escalas: aplicação na bacia hidrográfica do Ribeirão do Carmo, municípios de Ouro Preto e Mariana, Minas Gerais**. 2015. 456p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Núcleo de Geotecnia - NUGEO. Programa de Pós-graduação em Engenharia Geotécnica. Ouro Preto, Minas Gerais, 2015.

SOUZA, L. A.; SOBREIRA, F. G. **Guia para elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais**. Brasília, 68 p, 2014.

TARBOTON, D. G. "A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models." *Water Resources Research*, 33, 309–319, 1997. <http://www.neng.usu.edu/cee/faculty/dtarb/dinf.pdf> Acesso em: 17 maio. 2018.

TARBOTON, D.G.; BAKER, M.E. "Towards an Algebra for Terrain-Based Flow Analysis." In: MOUNT, N.J.; HARVEY, G.L.; APLIN, P.; PRIESTNALL, G. (eds.), *Representing, Modeling and Visualizing the Natural Environment: Innovations in GIS 13*. **CRC Press, Florida**, p. 167–194, 2008.

TERZAGHI, K. **Mechanisms of landslides**. **Harward University**. Publicação 488, p. 88 -123. 1950.

TOBLER, D.; KULL, I.; JACQUEMART, M.; HAEHLEN, N. Hazard Management in a Debris Flow Affected Area: Case Study from Spreitgraben, Switzerland, **Landslide Science for a Safer Geoenvironment**, v. 3, p. 25–30. 2014.

TOMINAGA, L. K., SANTORO, J., AMARAL, R. do. Desastres naturais: conhecer para prevenir / **3ª ed.- São Paulo: Instituto Geológico**, 2015.

TOMINAGA, L. K. **Avaliação de Metodologias de Análise de Risco a Escorregamentos: Aplicação de um Ensaio em Ubatuba, SP.** (Tese de Doutorado)

Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo. 220 p + Mapas. 2007.

TOMINAGA, L.K.; FERREIRA, C.J.; VEDOVELLO, R.; TAVARES, R.; SANTORO, J.; SOUZA, C.R.G. Carta de perigo a escorregamentos e de risco a pessoas e bens do Litoral Norte de São Paulo: conceitos e técnicas. In: PEJON, O.J.; ZUQUETE, L.V. (Org.). Cartografia Geotécnica e Ambiental - Conhecimento do meio físico: base para a sustentabilidade. São Paulo: **ABGE**, p.205-216, 2004.

TORO, J.; PEDROSO, F.F. (ed.) Gestão de Riscos de Desastres no Brasil: panorama atual e estratégias futuras. International Bank for Reconstruction and Development/ The World Bank; GFDR – **Global Facility for Disasters Reduction and Recovery**, 2013. 60p.

UN-ISDR. Terminology on Disaster Risk Reduction. Copyright © **United Nations Strategy for Disaster Reduction**, 2009.

VALVERDE SANCHO, A. M. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. **Análise dinâmica de fluxos de detritos em regiões tropicais. Rio de Janeiro**, 2016.

VALVERDE, A. M., SAYÃO, A.S.F.J., NUNES.A. L.L.S. Análise Dinâmica do Fluxo de detritos em Lajas, Costa Rica. PUC-Rio, Brazil – **15º Nacional de Geotecnia - 8º Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia**, Porto- Portugal (2016).

VARANDA, E.; MAHLER, C.F.; OLIVEIRA, L. C. D. Modelo de Análise Quantitativa de Risco a Escorregamentos com Emprego de Sistema de Informações Geográficas - SIG In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 14, 2008, Búzios, RJ. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2008. 1 CD-ROM.

VARNES, D.J. The logic of geological maps, with reference to their interpretation and use for engineering purposes. U.S. Geological Survey Professional **Paper** 837, p48 1974.

VARNES, D.J. Slope movement types and process. In SHHUSTER & KRIZEK (eds.) **Landslides: analysis and control. Transportation Research Board Special Report 176**, National Academy of Sciences, Washington DC. P. 11-33, 1978.

VARNES, D. J. and IAEG. Commission on Landslides and Other Mass-Movements: **Landslide hazard zonation: a review of principals and practice. UNESCO Press**, Paris, 1984.

VASQUEZ, J.A.; DE LIMA, G. **Modelación CFD de Ondas Tsunami en Reservorios, Lagos y Minas Causadas por Deslizamientos de Laderas**. Proceedings of the 27th. IAHR Latin American Conference, Lima, Peru. 2016.

VEYRET, Y. **Riscos: O homem como agressor e vítima do meio ambiente - São Paulo: Contexto. 1ª Edição, 1ª Reimpressão. 320 p.** 2007.

VIEIRA, B. C. **Previsão de deslizamentos translacionais rasos na Serra do Mar (SP) a partir de modelos matemáticos em bases físicas**. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

VOELLMY, A. "Über die Zerstörungskraft von Lawinen (On breaking force of avalanche)." **Schweizerische Bauzeitung**, v. 73, p. 212-285, 1955.

WANG, F.W., SASSA, K. A modified geotechnical simulation model for the areal prediction of landslide motion. Proc. **1st European Conf. on Landslides**, Prague, 735-740. 2002.

WANG, T., MA, Y. S., LONG, C. X., TAN, C. X., WU, S. R. "Fault activity of the Wenchuan earthquake in Sichuan, China and seismic secondary geohazards," **Geological Bulletin of China**, 27(11): 1913-1922. (in Chinese), 2008.

WIGGERS, M. M. **Zoneamento das áreas de risco a movimentos de massa no perímetro urbano do município de Caxias do Sul (RS). 2013. 131p.** Dissertação (Mestrado). Porto Alegre: Instituto De Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013. [Disponível em: < http://hdl.handle.net/10183/75687>](http://hdl.handle.net/10183/75687). Acesso em: 2019-04-10.

WOLLE, C.M. **Análise dos escorregamentos translacionais numa região da Serra do Mar no contexto de uma classificação de mecanismos de instabilização de**

encostas. São Paulo, 1988. 394p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da USP, 1988.

WOLLE, C.M. & CARVALHO, C. S. Deslizamentos em encostas na Serra do Mar - Brasil. **Solos e Rochas**, v. 12, p. 27-36, 1989.

ZAINE, J.W. **Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP).** Tese de doutorado – Rio Claro: [s.n.], 149 f.: il. 2000.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. Cartografia geotécnica. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2004.

ZUQUETTE, L. V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio-físico: fundamentos e guia para elaboração.** Tese (Livre Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.