

Luiz Henrique Guessser

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO DA ÁREA URBANA DO
MUNICÍPIO DE ANTÔNIO CARLOS (SC) APLICADO AO
PLANEJAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DOS SOLOS**

Dissertação de Mestrado submetido ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof^o. Rafael Augusto dos Reis Higashi, Dr.

Florianópolis
2016

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.**

Guesser, Luiz Henrique

Mapeamento geotécnico da área urbana do município de Antônio Carlos (SC) aplicado ao planejamento do uso e ocupação dos solos / Luiz Henrique Guesser ; orientador, Rafael Augusto dos Reis Higashi - Florianópolis, SC, 2016. 228 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

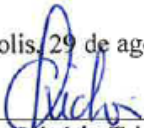
1. Engenharia Civil. 2. Engenharia Civil. 3. Mapeamento Geotécnico. 4. Mapeamento de Áreas Suscetíveis a Deslizamentos Rasos. 5. Mapeamento de Uso e Ocupação dos Solos. I. Higashi, Rafael Augusto dos Reis. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Luiz Henrique Guesser

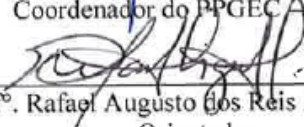
**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO DA ÁREA URBANA DO
MUNICÍPIO DE ANTÔNIO CARLOS (SC) APLICADO AO
PLANEJAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DOS SOLOS**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

Florianópolis, 29 de agosto de 2016.




Prof. Glicério Trichês, Dr.
Coordenador do PPGEC UFSC




Prof. Rafael Augusto dos Reis Higashi, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

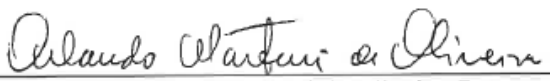
Banca Examinadora



Prof. Renato Fontes Guimarães, Dr.
Universidade de Brasília (via Skype)



Prof. Liseane Padilha Thives, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Orlando Martini de Oliveira, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho a todos que se
fizeram presentes e me apoiaram
até o último dia de trabalho.

AGRADECIMENTOS

Mais um passo foi dado. Mais uma caminhada terminou. Subi mais um degrau. Mais uma montanha foi superada. Chegar a este momento não foi fácil, mas agradeço à Deus por ter colocado algumas pessoas ao meu lado nesta caminhada e por isso venho agradecer-las.

Primeiramente agradeço ao meu orientador, professor Rafael Augusto dos Reis Higashi. Higax, obrigado por todo esforço despendido e conhecimento transmitido. Te agradeço também por estar sempre disponível, inclusive em momentos não relacionados a esta dissertação. Obrigado por ter gasto muito mais que “24 minutos” comigo.

Agradeço também à minha família. Aos meus pais, José e Rosana, aos meus irmãos, Pedro, Paulo e João, à minhas cunhadas, Luana, Franciele e Francine. Obrigado por todo apoio, compreensão e suporte. Agradeço também aos demais familiares, por toda torcida e apoio.

À minha namorada, Bruna. Você que esteve presente desde o primeiro momento em que surgiu a possibilidade do ingresso no mestrado. À você que sempre me ouvia, sempre me apoiou e acreditou em mim. À você que sempre foi sincera. À você que sabe por tudo que eu passei. Obrigado é pouco para expressar a gratidão. Eu te amo.

Agradeço também à toda família de minha namorada, pelo apoio e torcida.

Muito obrigado a todos os integrantes do Laboratório de Mapeamento Geotécnico e do Laboratório de Mecânica dos Solos: Aline, Ângela, Bianca, Camilo, Cândida, Caroline, Emmanuelle, Estefânio, Fernanda, Gabriel, Gabriela, Gisele, Julianna, Leonardo, Luana, Lucas, Prof^o Marciano, Maria, Miryan, Narayana, Pedro, Regiane, Rodolfo, Rodrigo Abreu, Rodrigo Amaral e Vicente. Agradeço por toda ajuda, momentos de descontração, comida e conversas durante todos esses anos.

Um obrigado especial à Miryan, Beatriz, Rodrigo e Rodolfo, os quais me ajudaram muito na realização dos ensaios laboratoriais, expedições a campo, elaboração de figuras e mapas. Vocês serão lembrados para sempre.

A todos meus amigos, pelas conversas, ideias, apoio, presença e momentos de descontração

Agradeço ao IBGE, à Prefeitura Municipal de Antônio Carlos, ao Departamento de Geociências e à Fabiane Tasca. Muito obrigado pela disponibilização de todo o material necessário para a elaboração desta pesquisa.

Um agradecimento especial aos membros da banca examinadora, por terem despendido esse tempo para avaliar e contribuir com o resultado final de minha dissertação.

À Universidade Federal de Santa Catarina e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, muito obrigado pela oportunidade de realização deste mestrado. Agradeço também a todos os meus professores, por todos os conhecimentos transmitidos.

Por fim, agradeço ao Ministério da Educação e à CAPES, por terem me concedido a bolsa de mestrado.

RESUMO

No Brasil, bem como no Estado de Santa Catarina, vem ocorrendo movimentos migratórios populacionais muito intenso. Cerca de 85% da população brasileira reside, hoje, em áreas urbanas, reflexo das mudanças socioeconômicas e políticas que aconteceram no decorrer das últimas décadas. O processo de urbanização acelerada e não planejada é responsável por grande parte dos problemas de ordem social, ambiental e econômicas. Antônio Carlos, município de grande importância devido a sua produção de alimentos, pertence a região da Grande Florianópolis, Santa Catarina, e sofre o mesmo processo de migração populacional. Apesar de ter apenas cerca de 32% de sua população residindo na área urbana, a taxa com que este processo vem ocorrendo é bastante elevada. Neste cenário, os órgãos responsáveis devem se ater a elaboração de um planejamento do uso e ocupação dos solos da área urbana do município, de modo a evitar que esta área venha a sofrer dos problemas encontrados atualmente nos grandes centros urbanos. Nesse contexto, a presente pesquisa se propõe a elaborar subsídios necessários para que se inicie um plano ordenado para a utilização e ocupação dos solos da região urbana de Antônio Carlos. A elaboração de mapas é considerada uma importante ferramenta nesse processo, possibilitando a obtenção e interpretação de informações pertinentes ao planejamento urbano. O mapa geotécnico da área urbana de Antônio Carlos, elaborado conforme a metodologia proposta por Regina Davison Dias (1995), apresenta informações acerca do comportamento geomecânico das unidades geotécnicas que compõem esta região. A coleta de amostras de solo e posterior execução de ensaios laboratoriais de caracterização dos solos serve de subsídios para o conhecimento das propriedades físicas dos solos presentes em cada unidade do mapa geotécnico. A utilização do modelo SHALSTAB (Shallow Landslide Stability Analysis), modelo matemático baseado em conceitos hidrológicos e modelo de estabilidade de encostas, para a elaboração do mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos (translacionais) da área de estudos, o qual foi aferido por meio da sobreposição de cicatrizes de deslizamentos de encostas ocorridos no passado, propiciou a identificação das áreas instáveis presentes na área urbana de Antônio Carlos, nas quais a ocupação antrópica deve ser evitada. A elaboração do mapa de uso e ocupação dos solos por meio da fotointerpretação de ortofotos da área urbana e pela aplicação do Sistema de Classificação do Uso da Terra, elaborado pelo IBGE, mostra qual utilização está sendo feita dos solos da região urbana atualmente. Quando

sobrepostos, o mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos e o mapa de suscetibilidade a inundação, elaborado pelo IPT e CPRM, geram um mapa de suscetibilidade unificado. A partir deste mapa, o crescimento da área urbanizada pode ser direcionado para áreas que ofereçam menor risco à ocupação antrópica. Todas essas ferramentas, quando analisadas em conjunto, servem de subsídio para que os órgãos competentes possam atuar no planejamento da expansão e ocupação urbana, oferecendo maior segurança à população. Como resultado, verificou-se que a unidade geotécnica predominante na área estudada é a unidade Gleissolo de substrato sedimentos quaternários. As elevações em geral encontram-se na unidade Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granito, da qual foram coletadas amostras para a realização de ensaios de caracterização e resistência. No geral, os solos apresentaram boa resistência, refletindo em um baixo percentual de áreas consideradas instáveis: cerca de 10%. A aferição do mapa de suscetibilidade a deslizamentos mostrou que 95% das cicatrizes mapeadas se localizam sobre áreas classificadas como instáveis. O mapa de suscetibilidade unificado foi dividido em 5 classes de suscetibilidade distintas, sendo que as classes predominantes foram as classes 1, 4 e 5. A análise do crescimento da área urbanizada mostrou que parte dessa área se encontra sobre áreas com elevada suscetibilidade a inundação ou deslizamento de encostas (classe 5), mostrando deficiências no planejamento urbano, o que torna a população dessas regiões vulneráveis a desastres naturais.

Palavras-chave: Planejamento urbano. Mapeamento Geotécnico. Modelo SHALSTAB. Deslizamentos de encostas. Uso e ocupação dos solos.

ABSTRACT

In Brazil, in the State of Santa Catarina, a very intense population migration has been occurring. Around 85% of the population lives today in urban areas, reflecting the socio-economic and political changes that have happened over the past decades. The accelerated and unplanned urbanization is responsible for much of the social, environmental and economic problems. Antonio Carlos, a city of great importance due to its food production, belongs to the area of Greater Florianópolis, Santa Catarina, and suffers the same population migration process. Though only approximately 32% of its population are living in urban areas, the rate at which this process is happening is quite high. In this scenario, the responsible bodies should stick to drawing up a plan of use and occupation of the urban area of the municipality soil, in order to avoid that this area will suffer the problems currently found in large urban centers. In this context, this research aims to develop necessary support so that it starts an orderly plan for the use and occupation of the urban region of Antonio Carlos soils. The mapmaking is considered an important tool in this process, enabling the collection and interpretation of relevant information to urban planning. Geotechnical map the urban area of Antonio Carlos, prepared according to the methodology proposed by Regina Davison Dias (1995), displays information about the geomechanical behavior of the geotechnical units that make up this region. The collection of soil samples and further execution of soil characterization laboratory tests are used as subsidies to the knowledge of the physical properties of soils present in each unit of Geotechnical map. The use of SHALSTAB model (Shallow Landslide Stability Analysis), mathematical model based on hydrologic concepts and model of slope stability, for the preparation of susceptibility map to shallow landslides (translational) of the studied area, which was measured by overlapping landslides scars in the past, led to the identification of unstable areas present in the urban area of Antonio Carlos, in which the human occupation should be avoided. The development of the land use map by photointerpretation orthophoto urban and implementation of the System of Land Use Classification, prepared by the IBGE, shows what use is being made of the current urban area soils. When overlapping, the susceptibility to shallow landslides map and the map of susceptibility to flooding, developed by IPT and CPRM, a unified susceptibility map is generated. From this map, the growth of the urban area can be directed to areas that offer less risk to human occupation. All of these tools, when

taken together, serve as subsidy for the relevant bodies to act in the expansion planning and urban occupation, providing greater security to the population. As a result, it was verified that the predominant geotechnical unit in the studied area is the unit Gleissolo of substrate quaternary sediments. The elevations are generally found in the unit Red-Yellow Podzolic of substrate granite, from which samples were collected for characterization and resistance tests. In general, the soils presented good resistance, reflecting in a low percentage of areas considered unstable: about 10%. The mapping of susceptibility to landslides showed that 95% of the mapped scars are located on areas classified as unstable. The unified susceptibility map was divided into 5 distinct susceptibility classes, with classes 1, 4 and 5 being the predominant classes. The analysis of the growth of the urbanized area showed that part of this area is located on areas with high susceptibility to flooding or landslides (Class 5), showing deficiencies in urban planning, which makes the population of these regions vulnerable to natural disasters.

Keywords: Urban planning. Geotechnical mapping. Model SHALSTAB. Landslides slopes. Use and soil occupation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Evolução da população brasileira e catarinense (período de 1991 a 2010).	27
Figura 2. Rastejo	43
Figura 3. Deslizamento rotacional.	44
Figura 4. Deslizamento Translacional.....	45
Figura 5. Deslizamento em cunha.	46
Figura 6. Quedas.	47
Figura 7. Corridas.	47
Figura 8. Representação de dados matriciais.	54
Figura 9. Representação de dados vetoriais.	56
Figura 10. Princípios básicos da metodologia da UFRGS.	64
Figura 11. Simbologia de unidades geotécnicas.	64
Figura 12. Gráfico da equação (5): razão a/b em função de $\tan\theta$ (eixos em logaritmo).	70
Figura 13. Localização da área urbana do Município.	75
Figura 14. Mapa de Curvas de Nível da área urbana de Antônio Carlos.	77
Figura 15. Distribuição da precipitação média mensal de 1977 a 2009.	78
Figura 16. Mapa Hidrográfico da área urbana de Antônio Carlos. ...	79
Figura 17. Mapa Geológico da área urbana de Antônio Carlos.	81
Figura 18. Granito São Pedro de Alcântara: (a) afloramento rochoso e (b) rocha.	83
Figura 19. Mapa Pedológico da área urbana de Antônio Carlos.	85
Figura 20. Fluxograma representando a Método aplicado.	87
Figura 21. Fluxograma das etapas de aquisição e edição dos dados.	88
Figura 22. Representação do mapa pedológico (a) e do mapa geológico (b) obtidos junto à Prefeitura Municipal de Antônio Carlos.	89
Figura 23. Representação do mapa pedológico (a) e do mapa geológico (b) pós-edição.	90
Figura 24. Mapa Pedológico.	92
Figura 25. Mapa Pedológico generalizado.	93
Figura 26. Mapa Geológico.	94
Figura 27. Mapa litológico da Área Urbana de Antônio Carlos.	95
Figura 28. Ortofotos.	96
Figura 29. Modelo Digital do Terreno.	97
Figura 30. Curvas de Nível (1m).	98
Figura 31. Mapa Hipsométrico.	99

Figura 32. Fluxograma das etapas para a elaboração do mapa geotécnico.	100
Figura 33. Representação da transição entre as unidades pedológicas que compõem uma bacia hidrográfica.....	101
Figura 34. Equipamentos utilizados nas expedições a campo: (a) trado e (b) GPS.....	102
Figura 35. Localização da fronteira entre as unidades pedológicas.....	102
Figura 36. Execução do furo e coleta da amostra de solo.....	103
Figura 37. Processo de identificação da fronteira entre as unidades pedológicas.....	104
Figura 38. Exemplo de uma cartela de cores de Munsell.....	106
Figura 39. Determinação da fronteira entre as unidades pedológicas.....	107
Figura 40. Processo de cruzamento de mapas.....	107
Figura 41. Exemplificação de um mapa geotécnico.....	108
Figura 42. Fluxograma da etapa de ensaios laboratoriais.....	110
Figura 43. Pontos de Coleta de amostras de solo e rocha.....	111
Figura 44. Exemplo de coleta de amostra indeformada (Ponto 11).....	113
Figura 45. Afloramento de Granito São Pedro de Alcântara (a) e coleta de fragmentos da rocha (b) para execução de ensaios.....	113
Figura 46. Amostras de solo após a execução do ensaio de cisalhamento direto: ponto 7 (a) e ponto 14 (b).....	115
Figura 47. Esquema de penetração na pastilha de solo.....	119
Figura 48. Gráfico para a determinação expedita MCT pelo método das pastilhas.....	120
Figura 49. Fluxograma da aplicação do modelo SHALSTAB.....	123
Figura 50. Modelo Digital do Terreno.....	125
Figura 51. Mapa de Declividades.....	126
Figura 52. Representação do fluxo d'água em função das células vizinhas.....	127
Figura 53. Mapa de Direção de Fluxo.....	128
Figura 54. Vetores de direção de fluxo.....	129
Figura 55. Criação de uma superfície de acúmulo de fluxo a partir das direções de fluxo.....	129
Figura 56. Mapa de Contribuição.....	130
Figura 57. Mapa de estimativa da Massa Específica Saturada do Solo.	132
Figura 58. Mapa de estimativa do Ângulo de Atrito Interno do Solo.....	133
Figura 59. Mapa de estimativa da Coesão do Solo.....	134
Figura 60. Fluxograma para a elaboração do mapa de uso e ocupação dos solos.....	136

Figura 61. Fluxograma de análise dos resultados.....	139
Figura 62. Representação da classe de alta suscetibilidade a inundaçõ.....	140
Figura 63. Representação da classe de média suscetibilidade a inundaçõ.....	141
Figura 64. Representação da classe de baixa suscetibilidade a inundaçõ.....	142
Figura 65. Determinação da fronteira entre as unidades pedológicas na área de estudo: Encosta 1.....	147
Figura 66. Determinação da fronteira entre as unidades pedológicas na área de estudo: Encosta 2.....	147
Figura 67. Determinação da fronteira entre as unidades pedológicas na área de estudo: Encosta 3.....	148
Figura 68. Determinação da fronteira entre as unidades pedológicas na área de estudo: Encosta 4.....	148
Figura 69. Determinação da fronteira entre as unidades pedológicas na área de estudo: Encosta 5.....	149
Figura 70. Determinação da fronteira entre as unidades pedológicas na área de estudo: Encosta 6.....	149
Figura 71. Determinação da fronteira entre as unidades pedológicas na área de estudo: Encosta 7.....	150
Figura 72. Novo mapa pedológico da área urbana de Antônio Carlos.....	152
Figura 73. Porcentagem de áreas do novo mapa pedológico.	153
Figura 74. Comparação entre os mapas pedológicos.....	154
Figura 75. Mapa geotécnico preliminar.....	156
Figura 76. Distribuição das unidades geotécnicas preliminares.....	157
Figura 77. Mapa geotécnico final.....	159
Figura 78. Distribuição das unidades geotécnicas.....	160
Figura 79. Comparação entre os mapas geotécnicos elaborados na área de estudo.....	161
Figura 80. Curvas granulométricas dos pontos estudados.....	168
Figura 81. Resultado dos limites de consistência e índice de plasticidade dos pontos de estudo.....	169
Figura 82. Gráfico de Plasticidade de Casagrande.....	172
Figura 83. Correlação entre IP e LL das amostras de solos ensaiadas.....	173
Figura 84. Faixa do limite de liquidez e índice de plasticidade para solos dos grupos A-2 e A-4 até A-7, conforme o sistema de classificação da AASHTO.....	175

Figura 85. Gráfico de Plasticidade.....	177
Figura 86. Resultados dos ensaios MCT.....	178
Figura 87. Envoltórias dos ensaios de cisalhamento direto.	182
Figura 88. Correlação entre as envoltórias de ruptura dos solos ensaiados.....	184
Figura 89. Comportamento dos solos quanto ao ângulo de atrito interno e índice de plasticidade em pesquisas realizadas em Santa Catarina.	185
Figura 90. Amostra de granito.....	186
Figura 91. Mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos.....	189
Figura 92. Distribuição espacial das classes de estabilidade.....	190
Figura 93. Análise da estabilidade a deslizamentos rasos por unidade geotécnica.....	193
Figura 94. Mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos (padrão semafórico).....	195
Figura 95. Exemplos das classes de usos de solos encontradas na área de estudos.....	196
Figura 96. Mapa de uso e ocupação dos Solos.....	197
Figura 97. % das classes de uso e ocupação dos solos da área urbana de Antônio Carlos.....	198
Figura 98. Área de pastagem.....	199
Figura 99. Agricultura temporária.....	200
Figura 100. Gráfico da distribuição percentual das classes de suscetibilidade a inundações.....	201
Figura 101. Mapa de suscetibilidade a inundações.....	202
Figura 102. Mapa de suscetibilidade unificado.....	204
Figura 103. Gráfico da distribuição percentual das classes do mapa de suscetibilidade unificado.....	206
Figura 104. Concentração da área urbanizada na região central da área de estudo.....	208
Figura 105. Presença da classe 5 de suscetibilidade na região central da área de estudo.....	208
Figura 106. Análise do crescimento da área urbanizada em uma série temporal de imagens de satélite (2003, 2005, 2013 e 2015)....	209
Figura 107. Demonstração do crescimento da área urbanizada.....	210
Figura 108. Presença de áreas urbanizadas em regiões de classe 5 de suscetibilidade.....	210
Figura 109. Alagamentos na região central da Área Urbanizada....	211
Figura 110. Alagamentos e deslizamentos na região central da Área Urbanizada.....	212

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação dos desastres em relação à intensidade.	31
Tabela 2. Classificação dos desastres em relação à tipologia.	33
Tabela 3. Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE).	33
Tabela 4. Atividades de gerenciamento de riscos e respostas a desastres.	37
Tabela 5. Classificação dos movimentos de massa segundo Augusto Filho (1992).	41
Tabela 6. Classificação conforme a profundidade do movimento. ...	42
Tabela 7. Classificação conforme a velocidade do movimento.	42
Tabela 8. Simbologia simplificada das classes pedológicas.	65
Tabela 9. Simbologia simplificada das classes geológicas.	65
Tabela 10. Classes de estabilidade referentes às condições de estabilidade e saturação em função da razão a/b e $\tan\theta$	71
Tabela 11. Composição da população do município.	74
Tabela 12. PIB do município.	76
Tabela 13. Litologia em função da geologia.	83
Tabela 14. Generalização das unidades pedológicas.	91
Tabela 15. Localização dos furos de tradagens.	104
Tabela 16. Localização dos pontos de coleta de amostras de solo. .	112
Tabela 17. Classes de relevo baseado no Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos.	127
Tabela 18. Padronização das cores do Sistema de Classificação do Uso da Terra para o nível II de detalhamento.	137
Tabela 19. Classificação das amostras de solo oriundas dos furos de tradagem conforme sua cor utilizando-se a Classificação de Munsell.	145
Tabela 20. Abrangência das unidades geotécnicas preliminares na área de estudo.	157
Tabela 21. Abrangência das unidades geotécnicas na área de estudo.	158
Tabela 22. Resultado dos ensaios de massa específica aparente natural e de teor de umidade natural.	167
Tabela 23. Resumo das frações distribuídas.	168
Tabela 24. Resumo dos ensaios dos Limites de Atterberg.	169
Tabela 25. Classificação do solo conforme o índice de plasticidade.	170
Tabela 26. Classificação dos solos conforme o índice de plasticidade.	171
Tabela 27. Classificação dos solos conforme o sistema de classificação da AASHTO.	175

Tabela 28. Classificação dos solos conforme o sistema de classificação SUCS.	176
Tabela 29. Resultado dos ensaios de massa específica dos sólidos.	177
Tabela 30. Resultados dos ensaios de MCT.	179
Tabela 31. Resumo dos ensaios de caracterização executados.	181
Tabela 32. Resumo dos parâmetros de resistência dos solos da área urbana de Antônio Carlos.	183
Tabela 33. Reação ao martelo para os grupos de rocha.	187
Tabela 34. Divisão das classes de estabilidade segundo o modelo SHALSTAB e sua representação.	190
Tabela 35. Distribuição das cicatrizes de deslizamentos.	191
Tabela 36. Distribuição das classes de estabilidade por unidade geotécnica.	192
Tabela 37. Equivalência entre os sistemas de classificação de suscetibilidade: Padrões de representação.	194
Tabela 38. Distribuição espacial das classes de uso e ocupação dos solos.	198
Tabela 39. Distribuição espacial das classes de suscetibilidade a inundação.	201
Tabela 40. Distribuição das classes de suscetibilidade, segundo o mapa de suscetibilidade unificado.	205

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SC	Estado de Santa Catarina
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SHALSTAB	Shallow Landslide Stability Analysis
GIS	Geographic Information System
SGBD	Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados
MDT	Modelo Digital do Terreno
IAEG	International Association of Engineering Geology
ZERMOS	Zonas Expostas aos Riscos de Movimentos de Solos
PUCE	Pattern Unit Component Evaluation
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo
EESC-USP	Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo
UNESP	Universidade estadual Paulista
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
MDT	Modelo Digital do terreno
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
PIB	Produto Interno Bruto
GERCO	Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
SDS	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina
SAD	South American Datum
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS	World Geodetic System
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
SUCS	Sistema Unificado de Classificação do Solo
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	27
1.1. Objetivos.....	29
1.1.1. Objetivo Geral	29
1.1.2. Objetivos Específicos	29
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	30
2.1. Desastres Naturais	30
2.1.1. Conceito.....	30
2.1.2. Classificação.....	31
2.1.3. Gerenciamento de Desastres Naturais	36
2.2. Relação Entre Expansão Urbana Desordenada e Desastres Naturais.....	38
2.3. Movimentos de Massa	40
2.3.1. Definição de Movimentos de Massa	40
2.3.2. Classificação dos Movimentos de Massa	40
2.3.3. Causas dos Movimentos de Massa	48
2.3.4. Medidas de Prevenção	48
2.4. Sistemas de Informação Geográficas – SIG	50
2.4.1. Conceito.....	50
2.4.2. Estrutura	52
2.4.3. Dados.....	53
2.4.4. Banco de Dados.....	57
2.4.5. Banco de Dados Geotécnico.....	57
2.5. Mapeamento Geotécnico.....	59
2.5.1. Um Breve Histórico.....	60
2.5.2. Metodologia da UFRGS	63

2.6.	Modelo SHALSTAB.....	67
2.6.1.	Modelo Hidrológico de Estado Uniforme	68
2.6.2.	Modelo de Estabilidade de Encosta Infinita	68
2.6.3.	Combinação dos Modelos.....	69
2.6.4.	Limitação do Modelo.....	71
2.6.5.	Aplicação do Modelo SHALSTAB	72
3.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	74
3.1.	Relevo	76
3.2.	Clima	76
3.3.	Hidrografia	78
3.4.	Geologia.....	80
3.4.1.	Sedimentos Q2li.....	80
3.4.2.	Complexo Águas Mornas	80
3.4.3.	Granito São Pedro de Alcântara	82
3.5.	Pedologia	84
3.5.1.	Podzólico Vermelho-Amarelo – (PV)	84
3.5.2.	Gleissolo	84
4.	MATERIAIS E MÉTODO	87
4.1.	Obtenção e Análise dos Dados.....	87
4.1.1.	Levantamento de Dados Preexistentes	88
4.1.2.	Edição Preliminar dos Mapas	89
4.1.3.	Transferência dos Arquivos para Ambiente SIG	90
4.2.	Mapeamento Geotécnico.....	100
4.2.1.	Aumento da Escala do Mapa Pedológico	100
4.2.2.	Elaboração do Mapa Geotécnico Preliminar	107
4.2.3.	Aferição das Unidades Geotécnicas do Mapa Preliminar	108

4.3.	Ensaio Laboratoriais.....	110
4.3.1.	Coleta de Amostras	111
4.3.2.	Ensaio de Resistência dos Solos	113
4.3.3.	Ensaio de Caracterização dos Solos.....	115
4.3.4.	Classificação MCT – Método Expedito das Pastilhas 116	
4.3.5.	Ensaio de Caracterização das Rochas	120
4.3.6.	Caracterização das Unidades Geotécnicas	122
4.4.	Modelo SHALSTAB.....	123
4.4.1.	Aplicação do Modelo SHALSTAB.....	123
4.4.2.	Elaboração dos Mapas Insumos	124
4.4.3.	Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos Rasos ...	135
4.4.4.	Aferição das Áreas Suscetíveis a Deslizamentos ...	135
4.5.	Uso e Ocupação dos Solos	136
4.6.	Análise dos Resultados	139
4.6.1.	Mapa de Suscetibilidade a Inundações.....	140
5.	RESULTADOS	144
5.1.	Mapa Pedológico.....	144
5.2.	Mapa Geotécnico	155
5.2.1.	Mapa Geotécnico Preliminar	155
5.2.2.	Mapa Geotécnico Final.....	158
5.3.	Resultado dos Ensaio Laboratoriais.....	166
5.3.1.	Resultados dos Ensaio de Caracterização dos Solos 166	
5.3.2.	Resultados dos Ensaio de Resistência dos Solos ..	182
5.3.3.	Resultados dos ensaio de Caracterização do Granito 186	

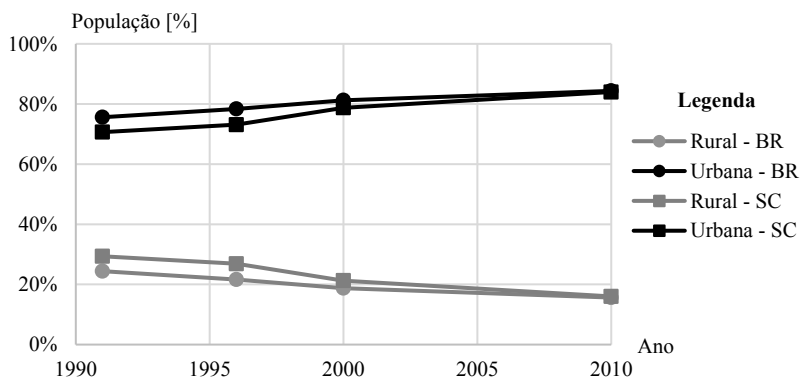
5.4.	Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos Rasos	188
5.5.	Mapa de Uso e Ocupação dos Solos	196
5.6.	Mapa de Suscetibilidade Unificado.....	201
5.6.1.	Mapa de Suscetibilidade a Inundações	201
5.6.2.	Mapa de Suscetibilidade Unificado	203
5.6.3.	Análise da Expansão da Área Urbanizada	207
6.	CONCLUSÕES.....	213
6.1.	Recomendações.....	216
	REFERÊNCIAS.....	218

1. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização no Brasil vem acontecendo de forma acelerada e dá-se por conta da migração interna que ocorre no país. Pode ser considerado um fenômeno relativamente recente e se articula com um conjunto de mudanças ocorridas na economia, na sociedade e na política brasileira, na segunda metade do século passado (BRITO, 2006). Esse processo fica evidenciado ao se analisar a Figura 1.

Por meio da Figura 1, pode-se perceber que a população brasileira residente nas zonas urbanas vem crescendo consideravelmente desde a década de 1990, chegando a aproximadamente 85% no ano de 2010.

Figura 1. Evolução da população brasileira e catarinense (período de 1991 a 2010).



Fonte: IBGE (censos 1991, 1996, 2000 e 2010), organizado pelo autor.

Um processo semelhante vem acontecendo no Estado de Santa Catarina, onde cerca de 84% de sua população reside nos centros urbanos.

O deslocamento de uma massa populacional tão grande em um curto espaço de tempo fez com que surgissem diversos problemas de ordem social, ambiental e econômica. A grande especulação imobiliária fez com que muitas dessas pessoas se alojassem de forma irregular nas encostas dos morros, tornando-as mais suscetíveis a movimentos de massa. Esse fator contribuiu muito para o aumento dos desastres naturais.

Marcelino (2008) afirma que 84% dos desastres ocorridos entre 1900 e 2006 aconteceram após a década de 1970, fato que coincide com a grande migração populacional para as áreas urbanas. Nesse mesmo período, foram contabilizadas 8.138 vítimas fatais e um prejuízo econômico em torno de 10 bilhões de dólares. De acordo com o autor, 60% dos deslizamentos de encostas ocorre nas regiões Sul e Sudeste. Somente em Santa Catarina, foram computados pela Defesa Civil, de 1991 a 2012, 4999 registros oficiais relativos a desastres naturais (BRASIL, 2013).

É possível que esses números tendem a aumentar, dado o contínuo crescimento da população nas áreas urbanas.

A ocupação irregular das encostas se dá pelo fato de que os órgãos públicos responsáveis por fiscalizar e gerenciar as formas de ocupação do município muitas vezes não possuem as ferramentas adequadas para executar essas funções. Esse fato se torna ainda mais crítico quando se tratam de áreas suscetíveis aos movimentos de massa, gerados ou não por fatores climáticos.

De acordo com Silveira (1994), se torna complexo administrar um país, estado ou município e progredir economicamente sem o conhecimento rigoroso dos fatores que envolvem o uso e a ocupação da terra, a propriedade, as condições em que o homem vive na terra, suas atividades e o meio ambiente gerado por esta cultura.

Para tanto, é indispensável que as cidades passem a adotar uma política de planejamento territorial do meio físico. Para Higashi (2006), o uso de mapas possibilita a obtenção e a interpretação de dados que, posteriormente, serão utilizados como subsídio ao planejamento regional e urbano.

De acordo com censo de 2010, realizado pelo IBGE, cerca de 32% da população do município de Antônio Carlos reside na área urbana, percentual pequeno quando comparado aos índices estadual e nacional, entretanto, a taxa de crescimento da população urbana de Antônio Carlos é maior.

Dessa forma, para que não ocorram os problemas citados, ou que estes ocorram de forma menos intensa no município, este trabalho se propõe a elaborar o mapa do uso e ocupação dos solos da área urbana de Antônio Carlos, que juntamente com o mapa geotécnico e o mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos, serão ferramentas que auxiliarão no desenvolvimento e crescimento da área urbana.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral consiste na elaboração de um mapa de ordenamento territorial com base no mapa de uso e ocupação dos solos da área urbana de Antônio Carlos, no mapa geotécnico e no mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos, analisando as vocações e incongruências de uso.

1.1.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Caracterizar os parâmetros geotécnicos e geomecânicos das amostras coletadas na área urbana por meio da execução de ensaios laboratoriais;
- Conhecer a pedologia da área urbana de Antônio Carlos por meio da melhora da escala do mapa pedológico;
- Analisar as elevações da área urbana do município, com base no mapa de declividades e altimétrico;
- Avaliar os universos geotécnicos da área urbana com base na elaboração de um mapa geotécnico e criação de um banco de dados;
- Avaliar a suscetibilidade das encostas presentes na área urbana para a ocorrência de deslizamentos rasos (translacionais), por meio da aplicação da metodologia SHALSTAB;
- Avaliar o uso e ocupação dos solos da área urbana do município de Antônio Carlos por meio da fotointerpretação de ortofotos da região;
- Estimar as classes de suscetibilidade presentes na área urbana de Antônio Carlos com base na análise do mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos e do mapa de suscetibilidade a inundações da região;
- Analisar o crescimento da área urbanizada com base no mapa de suscetibilidade unificado.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão introduzidos os fundamentos teóricos necessários para o embasamento do trabalho. Foram selecionados seis temas, tendo em vista a importância de cada um. São eles: desastres naturais, expansão urbana, sistema de informações geográficas (SIG), mapeamento geotécnico, movimentos de massa e modelo SHALSTAB (*Shallow Landslide Stability Analysis* - análise de estabilidade de deslizamentos rasos).

2.1. Desastres Naturais

Os desastres naturais representam um problema recorrente no cotidiano das pessoas, mesmo estas não residindo em áreas de risco. Os danos humanos e econômicos causados pelos desastres são impactantes e expressivos e estão se tornando cada vez mais intensos.

Apesar de ser chamado de desastre natural, as causas destes eventos podem ser divididas em naturais e antrópicas. As causas naturais constituem as inundações, deslizamentos, erosão, terremotos, tempestades dentre outros fenômenos climáticos adversos. A ocupação de áreas impróprias e o crescente processo de urbanização caracterizam as causas antrópicas (TOMINAGA *et al.*, 2009).

2.1.1. Conceito

Desastre natural é o nome dado ao fenômeno natural que atinge uma área ou região habitada pelo homem gerando danos humanos, ambientais e econômicos (TOMINAGA *et al.*, 2009).

Nessa linha, Marcelino (2007 *apud* TOBIN e MONTZ, 1997) apresenta o seguinte conceito:

“Os desastres são conceituados como o resultado de eventos adversos que causam grandes impactos na sociedade, sendo distinguidos principalmente em função de sua origem, isto é, da natureza do fenômeno que o desencadeia.”

2.1.2. Classificação

Os desastres podem ser classificados quanto à origem, intensidade e tipologia.

2.1.2.1. Classificação Quanto à Origem

Conforme Tominaga *et al.* (2009), os desastres naturais se classificam quanto à origem em:

- Desastres naturais: gerados por fenômenos e desequilíbrios da natureza, independente da ação antrópica. Podem ser originados também pela dinâmica interna e externa da Terra. Exemplo: chuvas intensas provocando inundações, erosão e escorregamentos.
- Desastres humanos: gerados por ações ou omissões humanas. Estão diretamente relacionados com as atividades do homem, como agente ou autor. Exemplo: acidente de trânsito e contaminação de rios.

2.1.2.2. Classificação Quanto à Intensidade

A Tabela 1 apresenta a classificação dos desastres quanto à intensidade:

Tabela 1. Classificação dos desastres em relação à intensidade.

Nível	Intensidade	Situação
I	Desastres de pequeno porte, também chamados de acidentes, onde os impactos causados são pouco importantes e os prejuízos pouco vultuosos. (Prejuízo inferior a 5% do PIB municipal)	Facilmente superável com os recursos do município
II	De média intensidade, onde os impactos são de alguma importância e os prejuízos são significativos, embora não sejam vultuosos.	Superável pelo município, desde que envolva uma mobilização e

Continuação Tabela 1. Classificação dos desastres em relação à intensidade.

Nível	Intensidade	Situação
II	(Prejuízos entre 5% e 10% do PIB municipal)	Administração especial.
III	De grande intensidade, com danos importantes e prejuízos vultuosos (Prejuízos entre 10% e 30% do PIB municipal)	A situação de normalidade pode ser restabelecida com recursos locais, desde que complementados com recursos estaduais e federais. (Situação de Emergência)
IV	De grande intensidade, com impactos muito significativos e prejuízos muito vultuosos. (Prejuízos superiores a 30% do PIB municipal)	Não é superável pelo município sem que receba ajuda externa. Eventualmente necessita de ajuda internacional. (Estado de Calamidade Pública)

Fonte: Tominaga *et al.* (2009 *apud* KOBAYAMA *et al.*, 2006).

2.1.2.3. Classificação Quanto à Tipologia

Segundo Marcelino (2008), a classificação quanto à tipologia tem como parâmetro o evento geofísico que desencadeou o desastre natural. Estes eventos fazem parte da geodinâmica externa (meteorológicos e hidrológicos) e interna (geológicos) da Terra.

A

Tabela 2 apresenta a classificação quanto à tipologia.

Além desta classificação, há também a Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), elaborada pela Defesa Civil, apresentada na Tabela 3.

Tabela 2. Classificação dos desastres em relação à tipologia.

Categoria	Tipos de Desastres
Meteorológicos	Furacões, ciclones e tufões
	Vendaval
	Granizos
	Tornados
	Nevascas
	Geadas
	Ondas de frio
	Ondas de calor
Hidrológicos	Inundações
	Seca/estiagem
	Incêndio florestal
Geológicos	Terremotos
	Vulcanismo
	Tsunami
	Deslizamentos
	Subsidências

Fonte: Marcelino (2008 *apud* TOBIN e MONTZ, 1997).

Tabela 3. Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE).

Categoria	Grupo	Subgrupo	Tipo	Subtipo	COBRADE
1. Natural	1. Geológico	1. Terremoto	1. Tremor de terra	0	1.1.1.1.0
			2. Tsunami	0	1.1.1.2.0
		2. Emissão vulcânica	0	0	1.1.2.0.0
			1. Quedas, Tombamentos e rolamentos	1. Blocos	1.1.3.1.1
				2. Lascas	1.1.3.1.2
				3. Matacão	1.1.3.1.3
		4. Lajes		1.1.2.1.4	
		3. Movimento de massa	2. Deslizamentos	1. Deslizamentos de solo e/ou rocha	1.1.3.2.1
				3. Corridas de Massa	1. Solo/Lama 2. Rocha/Detrito
			4. Subsidência e colapsos	0	1.1.3.4.0
	4. Erosão		1. Erosão Costeira/Marinha	0	1.1.4.1.0
		2. Erosão de Margem Fluvial		0	1.1.4.2.0
		3. Erosão Continental	1. Laminar	1.1.4.3.1	
			2. Ravinas	1.1.4.3.2	
			3. Boçorocas	1.1.4.3.3	
		2. Hidrológicos	1. Inundações	0	0
	2. Enxurradas		0	0	1.2.2.0.0
	3. Alagamentos		0	0	1.2.3.0.0

Continuação Tabela 3: Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE).

Categoria	Grupo	Subgrupo	Tipo	Subtipo	COBRADE	
1. Natural	3. Meteorológicos	1. Sistemas de Grande Escala/ Escala Regional	1. Ciclones	1. Ventos Costeiros (Mobilidade de Dunas)	1.3.1.1.1	
				2. Marés de Tempestade (Ressaca)	1.3.1.1.2	
		2. Tempestades	1. Tempestade Local/Covectiva	2. Frentes Frias/Zonas de Convergência	0	1.3.1.2.0
					1. Tornado	1.3.2.1.1
					2. Tempestades de Raios	1.3.2.1.2
					3. Granizo	1.3.2.1.3
					4. Chuvas Intensas	1.3.2.1.4
		5. Vendaval	1.3.2.1.5			
		3. Temperaturas Extremas	1. Ondas de Calor	0	1.3.3.1.0	
				1. Friagem	1.3.3.2.1	
	2. Ondas de Frio	1.3.3.2.2				
		2. Geadas	1.3.3.2.2			
	1. Estiagem	0	1.4.1.1.0			
		2. Seca	0	1.4.1.2.0		
	4. Climatológico	1. Seca	3. Incêndio Florestal	1. Incêndios em Parques, Áreas de Proteção Ambiental e Áreas de Preservação Permanente Nacionais, Estaduais ou Municipais	1.4.1.3.1	
				2. Incêndios em áreas não protegidas, com reflexos na qualidade do ar	1.4.1.3.2	
				4. Baixa Humidade do Ar	0	1.4.1.4.0
1. Doenças infecciosas virais				0	1.5.1.1.0	
5. Biológico	1. Epidemias	2. Doenças infecciosas bacterianas	0	1.5.1.2.0		
			3. Doenças infecciosas parasíticas	0	1.5.1.3.0	
			4. Doenças infecciosas fúngicas	0	1.5.1.4.0	
			1. Infestações/Pragas	1. Infestações de animais	0	1.5.2.1.0

Continuação Tabela 3: Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE).

Categoria	Grupo	Subgrupo	Tipo	Subtipo	COBRADE	
1. Natural	5. Biológico	2. Infestações/Pragas	2. Infestações de algas	1. Marés vermelhas	1.5.2.2.1	
				2. Ciano bactérias em reservatórios	1.5.2.2.2	
			3. Outras Infestações	0	1.5.2.3.0	
2. Tecnológico	1. Desastres Relacionados a Substâncias radioativas	1. Desastres siderais com riscos radioativos	1. Queda de satélite (radionuclídeos)	0	2.1.1.1.0	
		2. Desastres com substâncias e equipamentos radioativos de uso em pesquisas, indústrias e usinas nucleares	1. Fontes radioativas em processos de produção	0	2.1.2.1.0	
		3. Desastres relacionados com riscos de intensa poluição ambiental provocada por resíduos radioativos	1. Outras fontes de liberação de radionuclídeos para o meio ambiente	0	2.1.3.1.0	
		1. Desastres em plantas e distritos industriais, parques e armazenamentos com extravasamento de produtos perigosos	1. Liberação de produtos químicos para a atmosfera causada por explosão ou incêndio	0	2.2.1.1.0	
		2. Desastres relacionados à contaminação da água	1. Liberação de produtos químicos nos sistemas de água potável	0	2.2.2.1.0	
	2. Desastres Relacionados a Produtos Perigosos	2. Desastres relacionados à contaminação da água	2. Derramamento de produtos químicos em ambiente lacustre, fluvial, marinho e aquíferos	0	2.2.2.2.0	
				3. Desastres Relacionados a Conflitos Bélicos	1. Liberação de produtos químicos e contaminação como consequência de ações militares	0
		4. Desastres relacionados a transporte de produtos perigosos			1. Transporte rodoviário	0
	2. Transporte ferroviário				0	2.2.4.2.0
	3. Transporte aéreo				0	2.2.4.3.0

Continuação Tabela 3: Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE).

Categoria	Grupo	Subgrupo	Tipo	Subtipo	COBRADE	
2. Tecnológico	2. Desastres Relacionados a Produtos Perigosos	4. Desastres relacionados a transporte de produtos perigosos	4. Transporte dutoviário	0	2.2.4.4.0	
			5. Transporte marítimo	0	2.2.4.5.0	
			6. Transporte aquaviário	0	2.2.4.6.0	
	3. Desastres Relacionados a Incêndios Urbanos	1. Incêndios urbanos	1. Incêndios em plantas e distritos industriais, parques e depósitos	0	2.3.1.1.0	
			2. Incêndios em aglomerados residenciais	0	2.3.1.2.0	
	4. Desastres relacionados a obras civis	1. Colapso de edificações	0	0	2.4.1.0.0	
			2. Rompimento/colapso de barragens	0	0	2.4.2.0.0
	5. Desastres relacionados a transporte de passageiros e cargas não perigosas	1. Transporte rodoviário	0	0	2.5.1.0.0	
			2. Transporte ferroviário	0	0	2.5.2.0.0
			3. Transporte aéreo	0	0	2.5.3.0.0
4. Transporte marítimo			0	0	2.5.4.0.0	
5. Transporte aquaviário			0	0	2.5.5.0.0	

Fonte: Ministério da Integração Nacional (2016).

2.1.3. Gerenciamento de Desastres Naturais

Frente aos enormes danos que são gerados em decorrência de desastres naturais, foi criado um sistema de gerenciamento de desastres.

Pode-se decompor o gerenciamento de desastres em oito etapas, sendo que elas devem atuar de forma cíclica. As etapas são: prevenção, mitigação, preparação, alerta, resposta, reabilitação, reconstrução e desenvolvimento (CARDONA, 1996 *apud* TOMINAGA *et al.*, 2009).

Estas oito etapas se distribuem antes, durante e depois da ocorrência do desastre, conforme a Tabela 4.

Segundo Tominaga *et al.* (2009), as ações para redução de desastres utilizadas pela Defesa Civil Nacional são: prevenção, preparação para emergências e desastres, resposta e reconstrução.

Com isso, nota-se que uma etapa muito importante não é ou é pouco executada no Brasil: o alerta. Dessa forma, é iminente a ocorrência de vítimas em encostas que apresentam risco geotécnico e que são

ocupadas pela população devido à falta de alerta e assistência dos órgãos públicos responsáveis.

Tabela 4. Atividades de gerenciamento de riscos e respostas a desastres.

Antes do desastre	Durante o desastre	Depois do Desastre
<p>Prevenção: objetiva evitar que ocorra o evento.</p> <hr/> <p>Mitigação: pretende minimizar o impacto do mesmo, reconhecendo que muitas vezes não é possível evitar sua ocorrência</p> <hr/> <p>Preparação: estrutura a resposta</p> <hr/> <p>Alerta: corresponde à notificação de um peri-go iminente.</p>	<p>Atividade de resposta ao desastre: são aquelas que se desenvolvem no período de emergência ou imediatamente após de ocorrido o evento. Podem envolver ações de evacuação, busca e resgate, de assistência e alívio à população afetada e ações que se realizam durante o período em que a comunidade se encontra desorganizada e os serviços básicos de infraestrutura não funcionam.</p>	<p>Reabilitação: período de transição que se inicia ao final da emergência e no qual se restabelecem os serviços vitais indispensáveis e os sistemas de abastecimento da comunidade afetada</p> <hr/> <p>Reconstrução: caracteriza-se pelos esforços para reparar a infraestrutura danificada e restaurar o sistema de produção, revitalizar a economia, buscando alcançar ou superar o nível de desenvolvimento prévio ao desastre.</p>

Fonte: Tominaga *et al.* (2009).

2.2. Relação Entre Expansão Urbana Desordenada e Desastres Naturais

Com o passar dos anos foi possível notar um aumento da migração da população para os grandes centros urbanos e conseqüente aumento da demanda de moradias. Com a elevada procura, o valor dos imóveis vem subindo cada vez mais, graças a especulação imobiliária.

Santos (1997) afirma que a ocupação urbana é inevitável, portanto, deve ser planejada de maneira adequada. Dessa forma, as obras de engenharia deverão ser feitas com a intenção de buscar a melhoria na qualidade de vida das populações que nelas habitam, observando-se os cuidados necessários para evitar conseqüências negativas sobre o meio ambiente.

A escassez de terrenos disponíveis e seus respectivos valores altos, o inchamento dos centros urbanos e seu crescimento populacional elevado fizeram com que as encostas dos morros fossem ocupadas. Na grande maioria das vezes, essa ocupação se dá pela população de baixa renda. Nesse sentido, um problema é identificado: a velocidade de ocupação das encostas é maior que a implantação da infraestrutura básica e, dessa forma, problemas socioeconômicos e ambientais podem aparecer.

Em seu estudo sobre o uso e ocupação do solo, Almeida e Freitas (1996) constataram que as encostas são ocupadas por loteamentos clandestinos, sistemas de autoconstrução e favelas, sem a mínima infraestrutura para tal ocupação. Raimundo (1998) acrescenta afirmando que além de impulsiva, essa ocupação se dá de forma desordenada e agressiva, com o consenso dos órgãos públicos responsáveis, os quais assistem a ocupação incapazes de reagir ou frear o processo.

Raimundo (1998) afirma ainda que a ação antrópica e o tratamento técnico inadequado das encostas tornam-nas mais vulneráveis às adversidades climáticas, fazendo com que problemas de ordem social ou do meio físico sejam mais frequentes.

Em alguns centros urbanos (Florianópolis, por exemplo), a intervenção e alteração das encostas geralmente tem deixado os horizontes C ou RA expostos e, uma vez que estes horizontes são mais suscetíveis à erosão provocada pelas chuvas, causam deslizamentos de

encostas, podendo ainda acarretar no assoreamento de rios e entupimento da rede de drenagem, além de outros problemas (SANTOS, 1997).

Segundo Almeida e Freitas (1996), dentre os processos resultantes da ocupação desordenada das encostas, destacam-se os seguintes:

- Processos erosivos;
- Movimentos de massa;
- Inundações;
- Poluição de mananciais.

Caso nenhuma medida seja tomada pelas autoridades, segundo Santos (1997), a propagação das ocupações irregulares e desenfreadas das encostas exigirá cada vez mais a elaboração de obras de prevenção, como contenções de encostas e de cheias, gerando grandes investimentos em obras de recuperação.

Entretanto, é possível haver um equilíbrio entre a ocupação urbana das encostas e a degradação controlada ou limitada do meio físico. Para tanto, são necessárias medidas regulamentadoras dos órgãos de planejamento e total participação das entidades civis, técnicas e população (RAIMUNDO, 1998).

O gerenciamento do processo de expansão urbana e ocupação das encostas é de difícil compreensão. Porém, com a grande evolução tecnológica que vem acontecendo ao longo dos últimos anos, ferramentas computacionais surgiram para auxiliar nesse processo. Um exemplo dessas ferramentas são os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs).

Outras ferramentas que podem ser utilizadas para o planejamento urbano são o Mapeamento das Unidades Geotécnicas e o mapa de Uso e Ocupação dos solos, as quais auxiliam na identificação dos problemas derivados da ação antrópica e a minimizá-los, evitando-se acidentes geotécnicos, como deslizamentos de encostas.

2.3. Movimentos de Massa

Os movimentos de massa são considerados um dos mais importantes processos naturais que atuam na dinâmica das vertentes. A questão é que, com a crescente ocupação irregular das encostas e áreas de risco, os movimentos de massa passaram a ser considerados um dos mais frequentes tipos de desastres naturais no Brasil e também no mundo, provocando um elevado número de vítimas e prejuízos materiais, os quais são intensificados devido à falta de uma política de alerta à população

Conforme Silva (2013), o Brasil encontra-se entre os dez países mais atingidos por desastres naturais no mundo, sendo os movimentos de massa um dos principais riscos geomorfológicos do País. Somente no Rio de Janeiro, os movimentos de massa levaram mais de mil pessoas ao óbito entre os anos de 2010 e 2011.

Neste item serão apresentados definições e tipos de movimentos de massa existentes, bem como suas causas. Ainda serão apresentados indicadores de instabilidade de encostas e medidas de prevenção para o caso de deslizamentos.

2.3.1. Definição de Movimentos de Massa

Os movimentos de massa consistem no declínio ou queda de material de taludes e encostas, como solo e rocha.

De forma simplificada, Gerscovich (2012) descreve movimentos de massa como qualquer deslocamento de um determinado volume de solo ou rocha.

Sobre os movimentos de massa, Tominaga *et al.* (2009) afirmam:

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

2.3.2. Classificação dos Movimentos de Massa

Há vários sistemas de classificação dos movimentos de massa. As Tabela 5, Tabela 6 e Tabela 7 mostram a classificação dos movimentos de massa segundo Augusto Filho (1992), conforme a profundidade do

movimento e de acordo com sua velocidade de ocorrência, respectivamente.

Tabela 5. Classificação dos movimentos de massa segundo Augusto Filho (1992).

Processo	Características do movimento, material e geometria
Rastejo ou fluência	Vários planos de deslocamento (internos); Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade; Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes; Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada; Geometria indefinida.
Escorregamentos	Poucos planos de deslocamentos (externos); Velocidades médias (m/h) a altas (m/s); Pequenos a grandes volumes de material; Geometria e materiais variáveis: Planares – solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza; Circulares – solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas Em cunha – solos e rochas com dois planos de fraquezas
Quedas	Sem planos de deslocamentos; Movimentos tipo queda livre ou plano inclinado; Velocidades muito altas (vários m/s); Material rochoso; Pequenos a médios volumes; Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc; Rolamento de matacão; Tombamento.
Corridas	Muitas superfícies de deslocamento; Movimento semelhante ao de um líquido viscoso; Desenvolvimento ao longo das drenagens; Velocidades médias a altas; Mobilização de solo, rocha, detritos e água; Grandes volumes de material; Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.

Fonte: Tominaga *et al* (2009).

Tabela 6. Classificação conforme a profundidade do movimento.

Nomenclatura	Profundidade
Superficial	Inferior a 1,5m
Raso	1,5m a 5m
Profundo	5m a 20m
Muito profundo	Superior a 20m

Fonte: GeoRio (1999 *apud* GERSCOVICH, 2012).

Tabela 7. Classificação conforme a velocidade do movimento.

Nomenclatura	Velocidade
Extremamente rápido	Superior a 3m/s
Muito rápido	0,3m/s a 3m/s
Rápido	1,6m/dia a 0,3m/s
Moderado	1,6m/mês a 1,6m/dia
Lento	1,6m/ano a 1,6m/mês
Muito lento	0,06m/ano a 1,6m/ano
Extremamente lento	Inferior a 0,06m/ano

Fonte: Varnes (1978 *apud* GERSCOVICH, 2012).

2.3.2.1. Rastejos

Os rastejos, também conhecidos como *creep*, consistem em movimentos lentos das camadas mais superficiais do solo em direção à base da encosta (MASSAD, 2010).

Segundo Highland e Bobrowsky (2008), os rastejos consistem no movimento descendente, de forma lenta, de um declive formado por solo ou rocha.

Este tipo de movimento envolve, muitas vezes, grandes volumes de solo, não apresentando diferenças visíveis entre o solo que está se movimentando e em repouso (TOMINAGA *et al.*, 2009).

Conforme Massad (2010), os rastejos apresentam velocidades pequenas, na ordem de milímetros por ano. Segundo o autor, a velocidade sofre a interferência da pluviometria, sofrendo um aumento em épocas chuvosas e desacelerando em épocas secas.

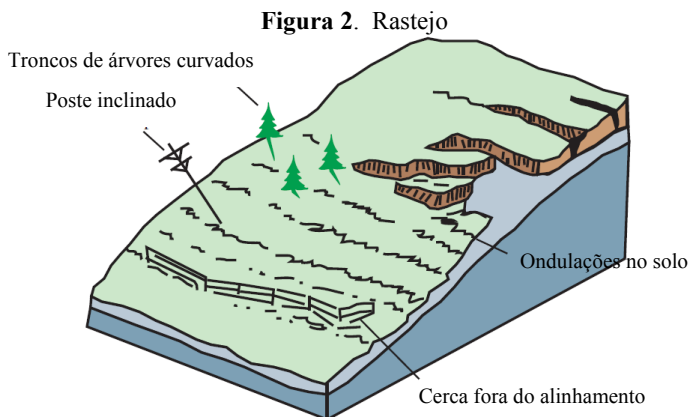
Para Wolle (1980 *apud* FREIRE, 1995) existem quatro causas que atuam em conjunto ou individualmente no processo de rastejo:

- Expansão e contração do solo devido a variações térmicas e de umidade, as quais ocorrem de forma sazonal;

- Ação da gravidade, intensificada com o aumento do peso do solo nos períodos chuvosos e consequente aumento das tensões cisalhantes;
- Surgimento de pressões positivas de percolação na água em função do fluxo subterrâneo ou de pressões neutras hidrostáticas, durante chuvas intensas;
- Redução da coesão do solo como resultado do aumento da umidade.

Outra possível causa para iniciar o movimento é a presença de tensões cisalhantes no solo suficientemente elevadas para provocar a deformação, contudo, insuficientes para provocar a ruptura da encosta (HIGHLAND e BOBROWSKY, 2008).

Árvores, postes e cercas inclinadas são sinais de rastejo (Figura 2). Com isso, a população deve ficar atenta a estes sinais pois os rastejos geralmente são um indício da ocorrência futura de outros movimentos de massa mais graves (JESUS, 2002).



Fonte: USGS (2004).

Conforme Highland e Bobrowsky (2008), os rastejos podem ser classificados em três tipos:

- Sazonal, onde o movimento ocorre dentro da camada de solo afetada por variações sazonais de temperatura e saturação;
- Contínuo, quando a tensão de cisalhamento for superior, continuamente, à resistência do material;

- iii. Progressivo, no qual as encostas encontram-se na iminência de atingir a ruptura, desencadeando outros tipos de movimentos de massa.

Vale ressaltar que os rastejos correspondem ao tipo de movimento de massa mais comum e, muitas vezes, precede um movimento maior, mais rápido e mais grave (HIGHLAND e BOBROWSKY, 2008).

2.3.2.2. Deslizamentos

Os deslizamentos consistem em deslocamentos rápidos de volumes de solo ou rocha na direção da base da encosta e para fora, ao longo da superfície de escorregamento.

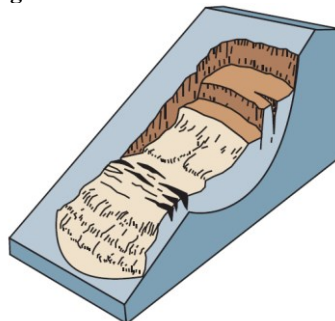
A velocidade dos deslizamentos é alta e depende de alguns fatores, como a inclinação da superfície de escorregamento, a causa inicial de movimentação e a natureza do terreno (TOMINAGA *et al.*, 2009).

Quanto à geometria, os deslizamentos são divididos em três tipos: rotacionais, translacionais e em cunha. Os tipos de deslizamentos estão descritos a seguir:

a. Rotacionais ou Circulares

Apresentam superfície de ruptura curva e o movimento é predominantemente de rotação. Ocorrem principalmente em encostas de solos espessos e homogêneos. A Figura 3 mostra a representação deste movimento.

Figura 3. Deslizamento rotacional.



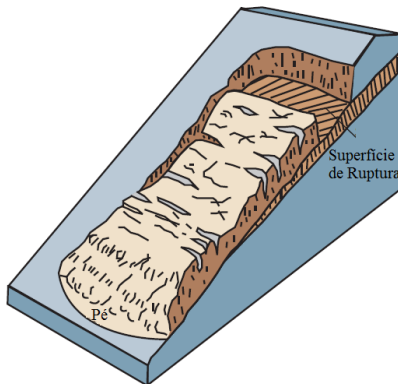
A velocidade com que o movimento acontece é bastante variável, podendo ser lentos ou muito rápidos. Sismos ou variações rápidas do nível d'água da encosta podem ser considerados causas desse tipo de deslizamento grave (HIGHLAND e BOBROWSKY, 2008).

b. Translacionais ou Planares

Apresentam superfície de ruptura planar e o movimento é predominantemente de translação. Ocorrem com frequência em solos estratificados devido a presença de descontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas (SOUZA et al., 2009).

São movimentos de massa muito comuns de acontecerem. Chuvas intensas, aumento do nível do lençol freático e terremotos estão entre as principais causas desse tipo de deslizamento. Estes movimentos, comumente, iniciam-se de forma lenta, porém, na medida em que ele se desenvolve, acontece um aumento de velocidade, podendo evoluir para uma corrida de detritos (HIGHLAND e BOBROWSKY, 2008). A Figura 4 apresenta uma representação de deslizamentos translacionais.

Figura 4. Deslizamento Translacional.



Fonte: USGS (2004).

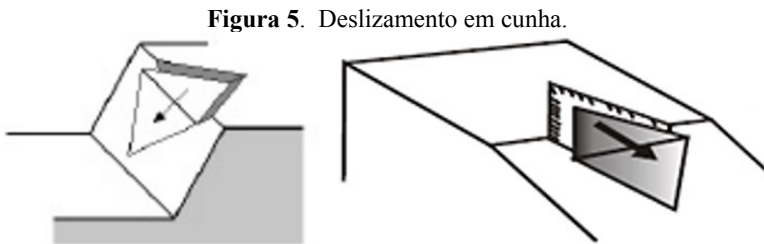
c. Em Cunha

Apresentam superfície de ruptura em cunha e são restritos às regiões que apresentam relevo controlado por estruturas geológicas. Ocorrem principalmente em taludes ou encostas que sofreram desconfinamento, seja naturalmente ou pela ação do homem.

Massad (2010) aponta quatro causas para a ocorrência dos deslizamentos:

- Alteração da geometria do talude;
- Colocação de sobrecargas no topo das encostas;
- Saturação do solo através das chuvas, que elevam as pressões neutras, reduzindo a resistência do solo;
- Remoção da cobertura vegetal.

Outras possíveis causas são vibrações, liquefação e variação rápida do lençol freático na encosta (HIGHLAND e BOBROWSKY, 2008). A Figura 5 apresenta uma representação de deslizamentos em cunha.



Fonte: Jesus (2002).

2.3.2.3. Quedas

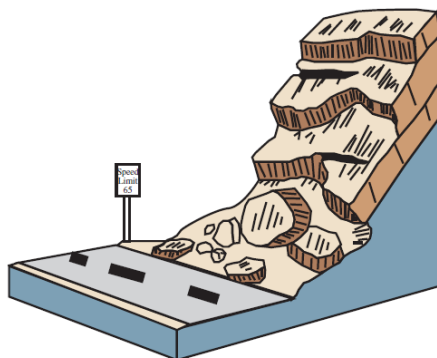
As quedas (Figura 6) consistem no desprendimento de material que perde a aderência com uma base estável e sofre queda livre.

Conforme Massad (2010), a queda de blocos acontece por meio de chuvas intensas e prolongadas, que provocam erosão e solapamento do material junto à base. Este tipo de movimento de massa também pode ocorrer por meio da ação do homem, ao executar cortes e escavações de maneira inadequada.

Tominaga *et al.* (2009) ainda apresentam como causas a variação térmica do maciço, vibrações e alívio de tensões. Outro possível agente causador de quedas são os terremotos (HIGHLAND e BOBROWSKY, 2008).

São considerados movimentos muito rápidos.

Figura 6. Quedas.



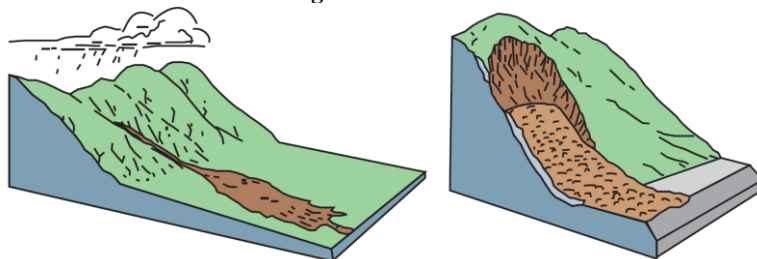
Fonte: USGS (2004).

2.3.2.4. Corridas

Tominaga *et al.* (2009) descrevem as corridas como sendo “formas rápidas de escoamento de caráter essencialmente hidrodinâmico, ocasionadas pela perda de atrito interno das partículas de solo, em virtude da destruição da sua estrutura interna, na presença de excesso de água.”

São movimentos que se desenvolvem rápido e apresentam velocidades muito altas (5 a 20m/s). A massa deslocada apresenta alto poder de erosão e destruição, podendo atingir grandes distâncias com extrema rapidez. Frente a isso, os danos gerados pelas corridas (Figura 7) são imensos (MASSAD, 2010).

Figura 7. Corridas.



Fonte: USGS (2004).

2.3.3. Causas dos Movimentos de Massa

Ao longo deste capítulo algumas causas para o desencadeamento de movimentos de massa foram citadas. Veloso (2002) afirma que a principal força que atua numa encosta é a gravidade. Entretanto, Ribeiro (2005) diz que a precipitação consiste no fator chave para o processo.

Segundo Massad (2010), o problema de instabilidade de encostas se dá por ocasião de fortes e prolongadas chuvas acrescido pela ocupação desordenada das encostas dos morros. O mesmo autor ainda afirma que as causas são naturais, uma vez que há na natureza a tendência de peneplanização, ou seja, os solos localizados nas encostas possuem a tendência natural de descer ao nível da base da mesma.

Conforme Fernandes *et al.* (2001 e 2004), as intensas tempestades consistem no principal fator responsável por iniciar um deslizamento. Entretanto, os autores ainda acrescentam outros fatores que influenciam diretamente na suscetibilidade de ocorrência de movimentos de massa, como:

- Fatores geológicos;
- Forma da encosta;
- Declividade;
- Aumento da poropressão positiva e a conseqüente diminuição do fator de segurança, relacionado à saturação dos solos;
- Perda da sucção (e da coesão aparente), relacionada ao aumento da umidade do solo decorrente do avanço da frente de infiltração, no qual a ruptura ocorre sem que a condição de saturação seja alcançada.

Highland e Bobrowsky (2008), por sua vez, divide as causas dos movimentos de massa em duas categorias: naturais (água, atividades sísmicas e atividades vulcânicas) e antrópicas.

2.3.4. Medidas de Prevenção

Os danos gerados pela ocorrência de deslizamentos de encostas são elevados. Porém, se medidas preventivas forem adotadas, os danos podem ser evitados ou minimizados.

Tominaga *et al.* (2009) dividem as medidas preventivas em dois grupos:

- Medidas Estruturais: obras de engenharia, geralmente de alto custo, tais como obras de contenção, implantação de sistemas de drenagem, reurbanização de áreas;
- Medidas Não Estruturais: ações de políticas públicas voltadas ao planejamento do uso do solo e ao gerenciamento, como o zoneamento geoambiental, planos preventivos de defesa civil, educação ambiental.

Muitas dessas medidas de prevenção, nos dias de hoje, podem ser gerenciadas computacionalmente. Ferramentas computacionais, como os sistemas de informações geográficas (SIG) por exemplo, permitem uma análise ampla dos fatores que podem acarretar um movimento de massa.

Dentre os resultados desta pesquisa, serão obtidos o mapa de uso e ocupação dos solos, o mapa geotécnico e o mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos da área urbana de Antônio Carlos, os quais se classificam como medidas não estruturais para a prevenção de danos ocasionados por movimentos de massa.

2.4. Sistemas de Informação Geográficas – SIG

Uma das ferramentas mais utilizada atualmente para execução de mapeamento geotécnico é o Sistema de Informações Geográficas (SIG). Nos dias de hoje, sua importância para auxiliar na compreensão e gestão do espaço terrestre é indiscutível. Além de todos os atributos, como armazenagem, recuperação e visualização de dados espaciais, o SIG também é capaz de realizar análise e modelagem espacial.

“A disseminação, popularização e evolução dos SIGs se confundem com a própria evolução dos microcomputadores” (MIRANDA, 2010). Schäfer (2012) afirma que nas últimas quatro décadas foi percebida uma enorme proliferação de modelo de dados destinados a atender os SIGs, assim como também estruturas de dados e discussões em torno da representação e ontologia geográfica.

Miranda (2010) afirma que por ser de caráter multidisciplinar, os SIGs estão sendo utilizados por pessoas das mais variadas formações e para várias finalidades, sejam elas simples ou complexas. Segundo o mesmo autor, é crescente a utilização por empresas de telecomunicações. Eletricidade, água, esgoto, concessionárias de estradas, entre outras, uma vez que o conhecimento de SIG é indispensável para planejar suas atividades atualmente.

2.4.1. Conceito

O conceito para Sistema de Informações Geográficas – SIG (do inglês: *GIS – Geographic Information System*) está cada vez mais disseminado e utilizado na área científica e também nas diferentes áreas do mercado que o usam para os mais variados fins.

Segundo Silva (1999 *apud* MAFRA JÚNIOR, 2007), definir SIG se tornou um desafio. Isso ocorre de acordo com os seguintes motivos citados pelo autor:

- O SIG ser considerado uma tecnologia recente;
- O crescimento teórico e tecnológico dos últimos 40 anos;
- A orientação comercial e diversidade de uso do SIG;
- O enorme crescimento vertiginoso de sistemas computacionais que suportam os SIGs;
- O aumento do número de consultores em SIG.

Atualmente, a literatura apresenta várias definições, sendo algumas apresentadas a seguir:

Mesev (2007):

GIS é uma tecnologia que se concentra exclusivamente em dados geográficos e, como tal, ele é projetado para representar características geográficas do mundo da forma mais confiável e realista possível e dentro dos limites das três normas cartográficas.

Teixeira e Christofolletti (1997):

É um sistema baseado em computador, que permite ao usuário coletar, manusear e analisar dados georreferenciados. Um SIG pode ser visto como a combinação de hardware, software, dados, metodologias e recursos humanos, que operam de forma harmônica para produzir e analisar a informação geográfica.

Paredes (1994):

São sistemas destinados ao tratamento de dados referenciados espacialmente. Esses sistemas manipulam dados de diversas fontes como mapas, imagens de satélites, cadastros e outras, permitindo recuperar e combinar informações e efetuar os mais diversos tipos de análise sobre dados.

Star e Estes (1990): “são sistemas ou ferramentas assistidas por computador para captura, armazenamento, transformação, análise e reprodução gráfica de dados espaciais.”

Chama-se a atenção ao fato de que os SIGs são muito mais do que uma codificação, armazenamento e recuperação de dados espaciais. Paredes (1994) afirma que estes dados representam um modelo do mundo real e que através dele são feitas simulações com situações específicas e que estas algumas vezes não seriam possíveis no modelo real. Quando se trata de mapas, o mesmo autor diz que o SIG associa atributos gráficos e não-gráficos de recursos cartográficos, resultando em mapas com dados

geográficos, ambientais e demográficos, separadamente ou em combinação.

Conforme Meyer (2009), uma das principais características do SIG é facilitar e melhorar a integração das informações, desde a organização até o manejo de grandes quantidades de dados e a forma como estas informações podem ser facilmente acessadas pelo usuário.

Segundo Goodchild (2008 *apud* SCHÄFER, 2012), quando se trata de representação, o SIG utiliza três aspectos das entidades do mundo real: sua localização na superfície da Terra, seus atributos e qualquer forma de relacionamento entre entidades. O mesmo autor citando Cood (1990), afirma que os SIGs são influenciados pelas representações em três níveis: o nível de modelo de dados, o nível de formalização e o nível de visualização, sendo o primeiro nível considerado o cerne conceitual de um sistema de informação geográfica.

Em resumo, as principais características do SIG, segundo Câmara (2001), são:

- Integração, numa única base de dados, das informações espaciais oriundas de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno;
- Combinação das várias informações, através de algoritmos de manipulação, para gerar mapeamentos derivados;
- Consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados geocodificados.

Conforme Burrough (1986), um SIG pode ser usado em estudos relativos ao meio ambiente e recursos naturais, na pesquisa da previsão de determinados fenômenos naturais, como deslizamentos de encostas, o qual é o foco deste trabalho.

2.4.2. Estrutura

Paredes (1994) afirma que o SIG possui uma estrutura flexível de dados baseados em relações topológicas. Os recursos apresentados pelos sistemas de informação geográficas típicos são ponto, linha e área. Segundo o autor, pelo fato de o SIG apresentar uma estrutura topológica, vários tipos de análise de dados podem ser realizados.

O SIG é dedicado, principalmente, para a manipulação de dados. O resultado desta manipulação é normalmente armazenado como

modelos vetoriais, mostrando recursos geográficos como entidades mais discretas dentro de uma topologia estruturada e definida por relações implícitas (MESEV, 2007).

A topologia é definida, conforme Câmara (2001), como sendo uma estrutura de relacionamentos espaciais que podem se estabelecer entre objetos geográficos. Para o autor, o armazenamento da topologia permite o desenvolvimento de consultas a um banco de dados espacial, sendo que isto não é possível de ser feito de outra maneira.

Entretanto, Pinto (2009) define topologia como um conjunto de regras e comportamentos, representado como pontos, linhas e polígonos e que partilham geometrias coincidentes.

Para Câmara (2001), a estrutura interna de um SIG apresenta os seguintes componentes:

- Interface com usuário;
- Entrada e integração de dados;
- Funções de processamento gráfico e de imagens;
- Visualização e plotagem;
- Banco de dados geográficos.

2.4.3. Dados

Paredes (1994) afirma que o SIG faz a integração de dois tipos diferentes de dados:

- Gráficos: são aqueles que correspondem à base cartográfica. Os dados gráficos podem ser de modelo vetorial e *raster*;
- Não gráficos: são aqueles que caracterizam quantitativamente e qualitativamente as entidades contidas na base cartográfica digital. Também são conhecidos por descritivos ou atributos.

A seguir serão apresentadas as características e definições dos modelos vetorial e *raster*.

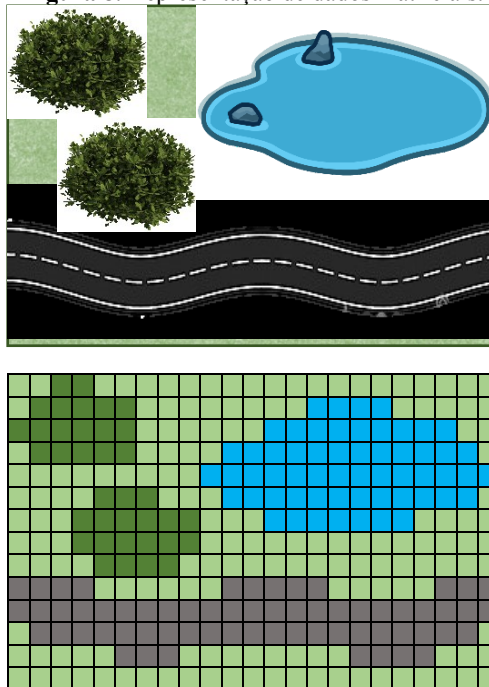
2.4.3.1. Dados Matriciais ou *Raster*

Para Mafra Júnior (2007), dados matriciais ou *raster* (Figura 8) dizem respeito à representação gráfica do mundo real por meio de pixels ou células, geralmente quadradas, que são definidos pelas suas posições em relação às colunas e linhas de uma malha.

Pinto (2009) complementa afirmando que as células seriam numeradas, ou seja, as imagens *raster* são constituídas por números, onde cada um deles representa uma entidade.

Conforme Miranda (2010), o modelo matricial representa a realidade por meio de superfícies projetadas com um padrão regular. Estas matrizes podem ser retangulares ou quadradas, ou seja, matrizes de duas dimensões. Em resumo, o autor propõe, assim como Paredes (1994) também o fez, que o modelo matricial abstrai em forma de grade os objetos medidos na Terra e que cada célula armazena um valor de atributo. Paredes (1994) acrescenta que uma célula preenchida define a localização das entidades na área de estudo.

Figura 8. Representação de dados matriciais.



Fonte: Autor.

Silva (2001 *apud* SANTOS, 2009) afirma que dados matriciais fazem uso de unidades de discretização (células ou pixels) e que por meio destas representam entidades espaciais sob a forma de conjuntos.

Exemplos de dados *raster* são matrizes de elevação, classes de uso do solo, dados geológicos, etc. Essa grande quantidade de dados é estruturada em modelos simples e de forma compacta (MAFRA JÚNIOR, 2007).

O modelo de dados matricial é considerado simples de se implementar e de manipular no computador, entretanto produz uma aparência de “dente de serra” quando é utilizado para representar linhas muito irregulares, ou quando se representam áreas com células. Outro problema apresentado por este modelo é o fato de que não existe a localização precisa do objeto ou fenômeno referenciado. Isto ocorre porque o espaço geográfico está dividido em grades discretas, ou seja, ao invés de representar pontos com localização (coordenadas) absoluta, eles são representados como uma célula grande. Na tentativa de amenizar isto, é utilizado o sistema de coordenadas cartesianas, que faz com que as localizações no modelo se aproximem das localizações absolutas. Mesmo assim, localizações exatas com base no modelo matricial são difíceis (MIRANDA, 2010).

Portanto, quando o projeto requerer exatidão no referenciamento, deve-se optar por outro modelo de dados.

2.4.3.2. Dados Vetoriais

De acordo com Paredes (1994), a representação vetorial de um elemento é a tentativa de reproduzi-lo o mais fielmente possível. Para os métodos vetoriais, as coordenadas dos pontos são matematicamente exatas. Relações implícitas são utilizadas com o intuito de que dados complexos sejam armazenados num menor espaço no computador.

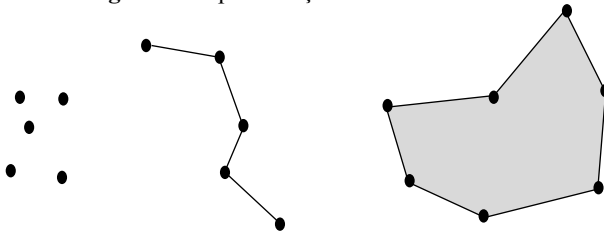
Um dado vetorial pode ser considerado como sendo a representação gráfica do mundo por meio de coordenadas. Por isso, a unidade fundamental de um dado vetorial é o par de coordenadas X e Y (MAFRA JÚNIOR, 2007).

Miranda (2010) define um modelo vetorial como sendo a divisão do mundo real em elementos com suas próprias geometrias, ou seja, que todas as posições, comprimentos e dimensões possam ser definidos exatamente. Segundo o autor, as coordenadas são consideradas matematicamente exatas, sendo que a base para a representação digital da informação são pontos individuais e suas coordenadas. Ele afirma que em uma estrutura vetorial existe uma combinação entre a entidade dado espacial e seu atributo, o dado não espacial, de forma que esse conjunto de informações não fique desprovido de sentido, ou seja, ele tem topologia.

As três formas básicas em que se apresentam os dados vetoriais (Figura 9) são:

- Ponto: segundo Paredes (1994) e Mafra Júnior (2007), os pontos abrangem todas as entidades geográficas que podem ser posicionadas por um único par de coordenadas X e Y. Miranda (2010) complementa que o ponto implica na limitação das extensões geográficas dos objetos a uma localização determinada por um par de coordenadas.
- Linha: para Mafra Júnior (2007), as entidades linhas são compostas por retas, sendo representadas (ou armazenadas) por dois pares de coordenadas. Além disso, Miranda (2010) afirma que as linhas não possuem largura verdadeira, a menos que esta esteja especificada em termos de atributos em anexo. Devem ser armazenadas também de que tipo de linha se está tratando, ou seja, a que atributo ela está associada (PAREDES, 1994).
- Polígono: Miranda (2010) define polígonos (ou áreas) como sendo uma representação homogênea usada para elementos geográficos com estrutura fechada. Pode-se dizer que são formados por um conjunto de linhas, cujos pares de coordenadas inicial e final são os mesmos (MAFRA JÚNIOR, 2007). Portanto, um polígono pode ser considerado como sendo um objeto espacial que representa as entidades bidimensionais (áreas), através da definição do contorno da área da entidade. O objetivo da estrutura poligonal é descrever as propriedades topológicas de áreas como formas, vizinhança, hierarquia, etc (PAREDES, 1994).

Figura 9. Representação de dados vetoriais.



Fonte: Autor.

2.4.4. Banco de Dados

Conforme Paredes (1994), um banco de dados espacial é uma coleção de entidades referenciadas espacialmente que atuam como modelo da realidade. O mesmo autor afirma que todo modelo de dados, seja analógico ou digital, deve transparecer a perspectiva do seu projetista.

Um sistema de banco de dados consiste em uma coleção de dados inter-relacionados e uma coleção de programas para prover o acesso a estes dados. Devido ao grande volume de dados envolvidos em uma determinada operação, os sistemas de banco de dados foram concebidos com o objetivo de gerenciar tais quantidades de informação (MAFRA JÚNIOR, 2007).

Banco de dados são considerados estruturas que armazenam registros de forma integrada ou partilhada, permitindo que dados individuais sejam utilizados por diferentes programas e também a combinação de vários conjuntos de dados (PAREDES, 1994).

Meyer (2009) afirma que os dados que formam um SIG são estruturados em uma compilação de dados digitais espaciais, cuja característica básica reside no fato de que são compostos por duas componentes distintas: gráfica e não gráfica. Segundo o autor, a integração dessas duas componentes do banco de dados é uma característica básica do SIG.

Para o gerenciamento dos dados no banco de dados existem softwares conhecidos como Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGDB), cujo objetivo principal é prover um ambiente que seja adequado e funcional para uso na recuperação e armazenamento de dados (MAFRA JÚNIOR, 2007).

2.4.5. Banco de Dados Geotécnico

A união de um banco de dados com fotografias de perfis típicos de solos, resultados de ensaios geotécnicos de campo e laboratório, vinculados ao mapa geotécnico da área analisada resultam em um banco de dados geotécnico.

Um mapa geotécnico é definido como sendo um mapa geológico que representa todos os componentes de importância para o planejamento

do uso do solo e para projetos. Trata-se de um trabalho multi e interdisciplinar, envolvendo geologia, pedologia, engenharia civil, arquitetura e urbanismo, climatologia e outros (MAFRA JÚNIOR, 2007).

Segundo Soares (2011 *apud* Ellison *et al.*, 2002), um banco de dados oriundo de sondagens, juntamente com o modelo digital do terreno (MDT) e mapas geológicos, é essencial para possibilitar relações 3D de geologia, para uma melhor visualização e entendimento.

Sendo assim, por meio de um banco de dado geotécnico é possível espacializar esses dados em uma área, criando-se informações acerca do meio físico da região estudada.

2.5. Mapeamento Geotécnico

Atualmente, o mapeamento geotécnico constitui-se numa ferramenta multidisciplinar bastante utilizada no gerenciamento de grandes áreas.

De maneira geral, um mapa geotécnico pode ser definido como sendo um mapa geológico, utilizado para planejamento do solo e principalmente para projetos de engenharia, fornecendo uma representação geral dos componentes de um ambiente geológico e pedológico.

Matula (1976 *apud* RODRIGUES, 2008) afirma que o mapa geotécnico constitui um modelo ilustrativo do ambiente geológico, que atende às necessidades de engenharia a que se propõe o trabalho.

Conforme Santos (1990 *apud* BUENO, 2000), o mapa geotécnico é considerado um documento complexo, integrando dados do solo e subsolo de uma região. Esse conjunto de dados, devidamente sintetizados e interpretados, fornecem possíveis respostas às ações antrópicas sobre o meio físico.

O mapa geotécnico, ou seja, o produto resultante do mapeamento geotécnico deve ter aplicação direta com a ocupação do meio físico, ressaltando potenciais e problemas devidos à exploração das variedades geotécnicas, sem agredir ao meio ambiente (MAFRA JÚNIOR, 2007).

Rodrigues (2008) reforça dizendo que estes mapas também podem ser usados como fonte de informação para o planejamento regional e urbano.

A qualidade dos mapas geotécnicos pode ser afetada por muitos fatores. Pode-se destacar (ZUQUETTE e GANDOLFI, 1990 *apud* RODRIGUES, 2008):

- i. Grau de complexidade das condições geotécnicas: diz respeito à variedade de características da área analisada, como tipos de materiais encontrados, estruturas geológicas, estruturas pedológicas, geomorfologia, entre outras;
- ii. Escala do mapa: a escala adotada que limita a investigação para a região;
- iii. Número de pontos documentados: depende da escala, da finalidade do projeto e da precisão requerida;
- iv. Tipo de carta geotécnica: o mapa geotécnico deve ser elaborado de acordo com a finalidade do trabalho;

- v. Tamanho e forma da área: está relacionada ao custo, tempo, quantidade de profissionais envolvidos e número de ensaios.

2.5.1. Um Breve Histórico

Conforme Zuquette e Nakazawa (1998 *apud* HIGASHI, 2002), o mapeamento geotécnico se iniciou no começo do século XX, com a publicação dos primeiros documentos gráficos por Langen na Alemanha.

Desde então, inúmeros pesquisadores desenvolveram metodologias diferentes com o intuito de mapear o comportamento do solo. Após a Segunda Guerra Mundial, muitos estudos geotécnicos foram elaborados, sendo que as metodologias utilizadas passaram a ser cada vez mais apuradas e completas (MAFRA JÚNIOR, 2007).

Dentre as metodologias internacionais mais conhecidas, pode-se citar (ABREU, 2007):

- Método da *International Association of Engineering Geology* (IAEG - Austrália);
- Método Francês;
- Método ZERMOS (Zonas Expostas aos Riscos de Movimentos de Solos);
- Método PUCE (*Pattern Unit Component Evaluation*) – Padrão, Unidade, Componente, Avaliação;
- Método Espanhol;
- Método Mathewson e Font – Estados Unidos da América.

Segundo Higashi (2002), a UNESCO publicou em 1976 a normalização de uma metodologia para mapeamento geotécnico. Entretanto, percebe-se que cada país ou região opta por metodologias próprias, pois estas foram elaboradas com o intuito de sanar os problemas e dificuldades de seu próprio meio físico.

No Brasil, o mapeamento geotécnico tem início em 1907 com o primeiro documento de geologia aplicada as obras de engenharia, o qual se referia ao prolongamento da estrada de ferro Nordeste do Brasil (HIGASHI, 2002).

Rodrigues (2008) afirma que o pioneiro na referida área foi o professor Hermann Haberlehner, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), que em 1966 publicou a carta geotécnica da cidade do Rio de Janeiro.

A partir destas pesquisas, novas metodologias nacionais foram desenvolvidas na tentativa de mapear, compreender e mensurar o comportamento geomecânico dos solos (HIGASHI, 2002).

Desde a década de 1990 foram realizadas discussões, aprimoramentos, consolidação e divulgação de novos trabalhos relacionados à área. O que precisa ser feito é a conscientização das instituições governamentais acerca da importância do mapeamento geotécnico para gerenciamento e planejamento urbano das cidades brasileiras (MAFRA JÚNIOR, 2007).

Dentre as metodologias de mapeamento geotécnico nacionais, destacam-se:

- Metodologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT);
- Metodologia UNESP/Rio Claro;
- Metodologia EESC-USP;
- Metodologia UFRGS.

Metodologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas

Segundo Rodrigues (2008), o método IPT foi elaborado na década de 1980 a partir de trabalhos realizados nas encostas dos morros de Santos e São Vicente, no litoral paulista, conforme situações específicas de problemas do meio físico.

Os objetivos dessa metodologia são analisar o desempenho da interação entre o meio físico e uso e ocupação e elaborar técnicas de prevenção e correção de problemas encontrados nas áreas de estudo com o intuito de minimizar gastos desnecessários e riscos nos empreendimentos de uso do solo (PRANDINI *et al.*, 1980 *apud* MAFRA JÚNIOR, 2007).

Como pode-se perceber, o enfoque principal dessa metodologia consiste na identificação do problema, bem como os impactos geológicos/geotécnicos gerados por ele, obtendo também as devidas soluções para os mesmos. Para Abreu (2007), os produtos desta metodologia também fornecem subsídios para evitar o avanço de processos geológicos de degradação do meio antrópico.

Metodologia UNESP/Rio Claro

Desenvolvida com base nos trabalhos de Cerri (1990) e Zaine (2000), a metodologia da UNESP/Rio Claro tem como premissa o aumento da escala em função de critérios de necessidades de uso.

Uma característica marcante desse método é o detalhamento progressivo, ou seja, avaliações mais genéricas apontam as necessidades seguintes, de modo a obter uma análise mais precisa, sem perder considerações de contorno regional e sem desperdiçar esforços. Dessa forma, o método do detalhamento progressivo é considerado como uma ferramenta para o planejamento em nível regional (com escalas que variam entre 1:50000 e 1:25000), que avança para o nível local (com escalas entre 1:25000 e 1:10000) e por fim evolui para o nível de detalhamento (com escalas entre 1:5000 ou maior), de acordo com a identificação do problema na área de estudo (ABREU, 2007).

Metodologia EESC-USP

Desenvolvida na década de 1980 por pesquisadores do Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP), esta metodologia tem como base os trabalhos realizados na elaboração do mapeamento geotécnico do estado de São Paulo (MAFRA JÚNIOR, 2007).

Abreu (2007) afirma que o principal conceito dessa metodologia é o de atributo. A autora, citando Zuquette (1987), define atributo como sendo “o elemento básico, a ser colocado e operado sobre um documento cartográfico como informação que representa parte dos componentes do meio”, por exemplo litologia, declividade, insolação, entre outros.

Dessa forma, o método tem como objetivo realizar uma análise do meio físico (rocha, solo, água e relevo) para implementação das diversas formas de ocupação.

Nesta pesquisa será elaborado o mapa geotécnico da área urbana do município de Antônio Carlos. O método utilizado para a elaboração do mesmo é baseado na metodologia da UFRGS, o qual está descrito a seguir.

2.5.2. Metodologia da UFRGS

A metodologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) foi desenvolvida pelo Grupo de Geotecnia, principalmente por pesquisas realizadas nas décadas de 1980 e 90 por Regina Davison Dias, professora da referida universidade na época.

Segundo Higashi (2002), esta metodologia foi desenvolvida para mapeamento geotécnico de grandes áreas situadas em regiões de clima subtropical e tropical, como o Brasil, por exemplo. O objetivo da metodologia, de forma resumida, é prever o comportamento do solo de uma unidade geotécnica, relacionando-o com a sua origem.

Mafrá Júnior (2007) explica o funcionamento da metodologia. Segundo o autor, esta é baseada na Pedologia e Geologia, sendo que outros fatores, como hidrografia, geomorfologia, zoneamento de uso dos solos, entre outros, devem ser levados em consideração. Saídas a campo, obtenção ou realização de dados de ensaios geotécnicos devem ser adicionados ao conjunto de informações existentes, formando a base do mapeamento geotécnico. Terminado o levantamento das informações, a metodologia determina que os mapas geológico e pedológico devem ser cruzados, definindo as unidades geotécnicas preliminares. Com isso, uma análise conjunta com os outros fatores do meio físico citados anteriormente deve ser feita. A Figura 10 demonstra esquematicamente a metodologia. O autor completa afirmando que o resultado obtido deve ser avaliado em conjunto com a realização de saídas a campo e dados de ensaios geotécnicos.

Abreu (2007) complementa afirmando que com base em saídas a campo, problemas de degradação do meio físico instalados nas unidades geotécnicas são identificados. Conforme a autora, “uma vez conhecido o comportamento geotécnico típico de uma unidade através de seus horizontes pedológicos, é possível estimar o desempenho do solo em qualquer aplicação onde este é solicitado.”

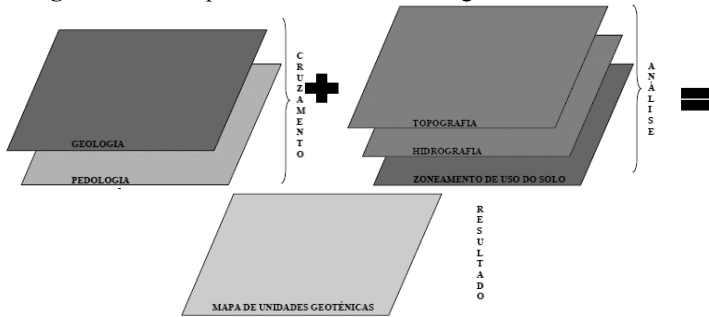
Esta metodologia é muito utilizada em trabalhos realizados no sul do Brasil e é semelhante à metodologia aplicada a este trabalho.

Como foi visto, as unidades geotécnicas geradas com base nesta metodologia estão baseadas na pedologia, geologia e topografia (HIGASHI, 2002). A **Figura 11** demonstra a origem do nome de uma unidade geotécnica.

As letras maiúsculas “ABC” correspondem à classificação pedológica dos horizontes superficiais (horizonte A e B) e as minúsculas “abc” são identificadoras da geologia caracterizando os horizontes C, RA (Rocha Alterada) e R (Rocha sã). Na classificação geológica é utilizada a

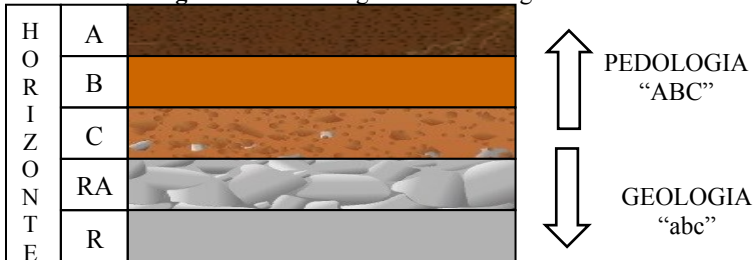
rocha dominante. No caso de haver mais de uma litologia dominante no material do substrato, adotam-se siglas destas litologias em letras minúsculas separadas por vírgulas (HIGASHI, 2002).

Figura 10. Princípios básicos da metodologia da UFRGS.



Fonte: Mafra Júnior (2007).

Figura 11. Simbologia de unidades geotécnicas.



Fonte: Autor.

A Tabela 8 e a Tabela 9 representam, respectivamente, a simbologia das classes pedológicas e litológicas, de acordo com a metodologia usada no sul do Brasil. Ressalta-se que essas simbologias se referem à classificação antiga proposta pela EMBRAPA. Isso porque a metodologia proposta por Davison Dias (1995) foi desenvolvida com base nessa classificação e até o presente momento não foi atualizada.

Higashi (2002) complementa que as propriedades dos solos podem apresentar variações de local para local. É necessário frisar que os resultados obtidos fornecem apenas subsídios para uma estimativa de comportamento e não podem ser usados como valores de projeto.

Na região Sul do Brasil, muitos trabalhos fazem uso desta metodologia.

Tabela 8. Simbologia simplificada das classes pedológicas.

Sigla	Classificação	Sigla	Classificação
A	Aluviais	P	Podzóis Indiscriminados
AQ	Areias Quartzosa	PB	Podzólico Bruno-Acinzentado
B	Brunizem	PE	Podzólico Vermelho-Escuro
BT	Brunizem Vértico	PL	Planossolo
C	Cambissolo	PLV	Planossolo Vértico
CB	Cambissolo Bruno	PLP	Planossolo Plíntico
GH	Glei	PT	Plintossolo
HO	Solo Orgânico	PV	Podzólico Vermelho-Amarelo
LA	Latossolo Amarelo	R	Litólico
LB	Latossolo Bruno	TR	Terra Roxa Estruturada
LBC	Latossolo Bruno Cambico	TB	Terra Bruna-Estruturada
LBR	Latossolo Bruno-Roxo	TBR	Terra Bruna-Roxa
LE	Latossolo Vermelho-Escuro	TBV	Terra Bruna Podzólica
LR	Latossolo Roxo	V	Vertissolo
LV	Latossolo Vermelho-Amarelo		

Fonte: Higashi (2002 *apud* DAVISON DIAS, 2001).

Tabela 9. Simbologia simplificada das classes geológicas.

Sigla	Classificação	Sigla	Classificação
a	Arenito	g	Granito
ag	Argilito	gl	Granulito
na	Andesito	gn	Gnaisse
ar	Ardósia	gd	Granitoide
b	Basalto	ma	Mármore
br	Brecha	p	Pelito
c	Conglomerado	q	Quartzito
ca	Calcáreo	r	Riolito
cm	Complexo metamórfico*	si	Sienito
cr	Carvão	s	Siltito
d	Diorito	sq	Sedimentos quaternários
da	Dacito	st	Sedimentos terciários
f	Folhelho	x	Xisto

* Complexo formado por várias rochas metamórficas de difícil individualização.

Fonte: Higashi (2002 *apud* DAVISON DIAS, 2001).

Santos (1997) utilizou a metodologia proposta por Regina Davison Dias para elaborar o mapa geotécnico de Florianópolis (SC).

Higashi (2002) utilizou a metodologia para realizar o mapeamento geotécnico do norte do Estado do Rio Grande do Sul,

caracterizando as propriedades geotécnicas dos Latossolos presentes na região.

Higashi (2006) também fez uso da metodologia para elaborar o mapa geotécnico de Tubarão (SC), auxiliando na criação de uma metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através de SIG com base no comportamento geotécnico e ambiental.

Mafra Júnior (2007) realizou o mapeamento preliminar das unidades geotécnicas do município de Brusque (SC) seguindo os preceitos desta metodologia, criando um banco de dados geotécnicos em ambiente SIG.

Reginatto (2013) elaborou o mapa geotécnico da bacia do Rio Cunha (Rio dos Cedros, SC) com base nessa metodologia, analisando as áreas suscetíveis a deslizamentos, já que esta área sofreu muitos deslizamentos devido às grandes precipitações ocorridas em 2008, na região do vale do Itajaí.

Christ (2014) elaborou o mapa geotécnico da bacia da lagoa da Conceição (Florianópolis, SC) com base nesta metodologia e analisou as áreas suscetíveis ao colapso.

Sbroglia (2015) fez uso da metodologia para elaborar o mapa geotécnico da bacia do Ribeirão Baú (Ilhota, SC), caracterizando os solos da região, a qual foi cenário de grandes deslizamentos em 2008.

2.6. Modelo SHALSTAB

O modelo SHALSTAB consiste na abreviação de *Shallow Landslide Stability Analysis* (análise de estabilidade de deslizamentos rasos).

Vários estudos e modelos matemáticos foram criados na tentativa de determinar os parâmetros envolvidos em deslizamentos (RAMOS *et al.*, 2002).

Nesse sentido, o modelo SHALSTAB consiste em um modelo determinístico que leva em conta a combinação de outros dois modelos: um hidrológico de estado uniforme e outro de estabilidade de encosta infinita (MICHEL; KOBIYAMA; GOERL, 2012).

Beven e Kirkby (1979) afirmam que o modelo utiliza a topografia como fator principal para a ocorrência de deslizamento de encostas.

Conforme Fernandes *et al.* (2001), o modelo hidrológico de estado uniforme é responsável pelo balanço entre a concentração e a transmissão da água no solo caracterizando, em última análise, os locais na paisagem que estarão submetidos à saturação. O modelo de estabilidade de encosta infinita simula a estabilidade de uma porção de solo situada diretamente sobre embasamento rochoso.

Guimarães *et al.* (2003) e Fernandes *et al.* (2001) destacam que uma das principais características deste modelo é considerar a topografia da área de estudo como fator determinante na deflagração dos deslizamentos. Sendo assim, o modelo incorpora em suas análises a declividade e a área de contribuição da bacia de forma espacializada, contudo, as variáveis referentes ao solo (coesão, ângulo de atrito, densidade e espessura) são mantidas constantes ao longo da área. Estes autores mencionam que muitas metodologias de previsão de risco e ou suscetibilidade a esse tipo de movimento de massa desconsideram a área de contribuição. No entanto, este parâmetro é importante por incorporar ao modelo a influência das porções côncavas do relevo (hollows) nos caminhos que a água percorre.

Os resultados de áreas suscetíveis a deslizamentos rasos gerados pelo SHALSTAB são mais representativos em locais onde há maior disponibilidade e relevância dos dados relativos às propriedades do solo (GUIMARÃES *et al.*, 2003).

Todo esse processo deve ser realizado para cada célula do grid, o qual é obtido através do modelo digital do terreno. O SHALSTAB utiliza um SIG como ferramenta de elaboração de mapas tornando possível a espacialização dos dados, no entanto, a definição dos locais é tarefa do modelo matemático (REGINATTO, 2013).

2.6.1. Modelo Hidrológico de Estado Uniforme

Segundo Ramos *et al.* (2002 *apud* O'LOUGHLIN, 1986), o modelo hidrológico é responsável por reproduzir a relação entre a concentração de água e a transmissividade do solo para determinar a condição de saturação. Esse modelo pode ser expresso pela equação (1).

$$W = \frac{Q}{T} \cdot \frac{a}{b \sin \theta} \quad (1)$$

Onde:

- W representa o índice de umidade do solo, que pode ser dado também em função da razão h/z (altura da coluna de água no subsolo / espessura da camada de solo);
- Q representa a intensidade da chuva (mm);
- T representa a transmissividade do solo (m²/dia), ou seja, o produto entre a condutividade hidráulica saturada e a espessura do solo;
- a representa a área de contribuição ou área drenada a montante dada em m²;
- b representa o comprimento de contorno unitário (resolução do *grid* dado em m);
- θ representa a declividade local medida em graus.

2.6.2. Modelo de Estabilidade de Encosta Infinita

O modelo de estabilidade de encosta, baseado na teoria do talude infinito, simula o grau de estabilidade de uma determinada porção do solo localizada sobre o afloramento rochoso, representado pela Equação (2) (MONTGOMERY e DIETRICH, 1994):

$$\frac{h}{z} = \frac{C'}{\rho_w \cdot g \cdot z \cdot \cos^2 \theta \cdot \tan \phi} + \frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi}\right) \quad (2)$$

Onde:

- h representa a altura da coluna de água no subsolo (m);
- z representa a espessura do solo (m);

- C' representa a coesão do solo (kPa);
- g é a aceleração da gravidade (m/s^2);
- ρ_s corresponde à densidade do solo (kg/m^3);
- ρ_w corresponde à densidade da água (kg/m^3);
- \emptyset representa o ângulo de atrito do solo dado em graus;
- Θ corresponde à inclinação da encosta (graus).

2.6.3. Combinação dos Modelos

O modelo SHALSTAB consiste na combinação dos modelos hidrológico de estado uniforme e estabilidade de encosta infinita, vistos nas Equações (1) e (2). A Equação (3) mostra a combinação dos dois modelos, com coesão (MONTGOMERY e DIETRICH, 1994):

$$\frac{Q}{T} = \frac{\text{sen}\theta}{(a/b)} \cdot \left[\frac{C'}{\rho_w \cdot g \cdot z \cdot \cos^2\theta \cdot \tan\emptyset} + \frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\emptyset} \right) \right] \quad (3)$$

O modelo SHALSTAB aplica a Equação (3) para designar o grau de estabilidade de uma encosta. Os parâmetros de entrada requeridos pelo modelo são: c , \emptyset , ρ_s , e z . As outras variáveis, a , b e θ , são obtidas por meio de um modelo digital do terreno (MDT). Desta maneira, a resposta do modelo é gerada em função de um “parâmetro livre” (Q/T) responsável pela classificação do terreno segundo o grau de estabilidade: quanto maior a razão, menor a instabilidade do local (MICHEL; KOBIYAMA; GOERL, 2012).

Segundo Montgomery e Dietrich (1994), é possível criar um modelo simplificado através da combinação dos modelos hidrológico e de estabilidade de encosta. Neste modelo, a coesão não é considerada. O modelo simplificado está representado pela Equação (4).

$$\frac{Q}{T} = \frac{\text{sen}\theta}{(a/b)} \cdot \left[\frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\emptyset} \right) \right] \quad (4)$$

Deixando a equação (4) em função da razão a/b (área de contribuição por comprimento de contorno unitário), tem-se:

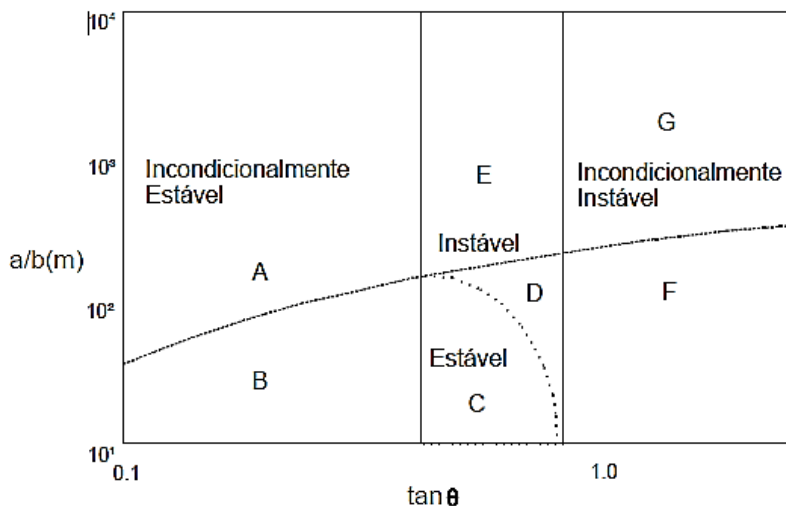
$$\frac{a}{b} = \frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\emptyset} \right) \cdot \frac{T}{Q} \cdot \text{sen}\theta \quad (5)$$

Na Figura 12, a Equação (5) é representada pela linha pontilhada sendo função da razão a/b e da declividade.

A linha tracejada representa o limite de saturação e a linha pontilhada é definida a partir dos valores obtidos pela Equação (5). As letras de A à G são as porções do gráfico que representam as condições de estabilidade mostradas na Tabela 10.

Não há mecanismo nesse modelo capaz de gerar poropressões maiores do que as pressões hidrostáticas e, portanto, valores e W maiores do que 1,0 implicam que o excesso de água esco superficialmente. Encostas que são estáveis mesmo quando saturadas ($W=1,0$) são interpretadas como incondicionalmente estáveis e, para gerar instabilidade, demandam o surgimento de excesso de poropressão. No mesmo sentido, encostas classificadas com instáveis, ainda que secas ($W=0$), são consideradas áreas incondicionalmente instáveis. Nesses casos, a acumulação de solo é difícil e o surgimento de afloramentos rochosos são esperados. Valores de precipitações críticas podem ser calculados para locais com encostas dentro desses critérios e esses valores podem ser usados para identificar áreas em que deslizamentos rasos estão iniciando (GUIMARÃES *et al.*, 2003).

Figura 12. Gráfico da equação (5): razão a/b em função de $\tan\theta$ (eixos em logaritmo).



Fonte: Montgomery e Dietrich (1994).

Tabela 10. Classes de estabilidade referentes às condições de estabilidade e saturação em função da razão a/b e $\tan\theta$.

Classe de Estabilidade	Condição
(A) Incondicionalmente instável e saturado	$\tan\theta > \tan\theta$ e $(a/b) > (T/Q)\text{sen}\theta$
(B) Incondicionalmente instável e não saturado	$\tan\theta > \tan\theta$ e $(a/b) < (T/Q)\text{sen}\theta$
(C) Instável e saturado	$(a/b) > (T/Q)\text{sen}\theta$ $\tan\theta((1-\rho_w/\rho_s) < \tan\theta < \tan\theta$ $\frac{a}{b} > \frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\theta}\right) \cdot \frac{T}{Q} \cdot \text{sen}\theta$
(D) Instável e não saturado	$(a/b) < (T/Q)\text{sen}\theta$ $\tan\theta((1-\rho_w/\rho_s) < \tan\theta < \tan\theta$ $\frac{a}{b} \geq \frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\theta}\right) \cdot \frac{T}{Q} \cdot \text{sen}\theta$
(E) Estável e não saturado	$(a/b) < (T/Q)\text{sen}\theta$ $\tan\theta((1-\rho_w/\rho_s) < \tan\theta < \tan\theta$ $\frac{a}{b} < \frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\theta}\right) \cdot \frac{T}{Q} \cdot \text{sen}\theta$
(F) Incondicionalmente estável e não saturado	$(a/b) < (T/Q)\text{sen}\theta$ $\tan\theta \leq \tan\theta((1-\rho_w/\rho_s)$
(G) Incondicionalmente estável e saturado	$(a/b) < (T/Q)\text{sen}\theta$ $\tan\theta \leq \tan\theta(1-\rho_w/\rho_s)$

Fonte: Montgomery e Dietrich (1998).

2.6.4. Limitação do Modelo

Existem limitações em relação à utilização do modelo SHALSTAB que incluem a falta de dados confiáveis do solo, os quais são necessários para parametrizar o modelo, definição do tamanho da área de estudo, bem como a necessidade de generalizar os parâmetros de solo e clima em uma área tão grande (WITT, 2005).

Conforme Gorsevski *et al.* (2006), o método não considera a influência da variação temporal da precipitação, a dinâmica da vegetação, a incerteza associada com os parâmetros de entrada, bem como vários cenários que podem ser executados. As saídas são limitadas a apenas uma previsão espacial instantânea das áreas suscetíveis a deslizamentos de encostas, ou seja, não considera processos dinâmicos.

Segundo Guimarães *et al.* (2003), a questão central para a aplicação do modelo é como parametrizar as propriedades do solo dadas as limitações de campo ou laboratório, isto é, espacializar os dados de

forma a obter valores representativos para toda a região. Conquanto os parâmetros do solo incorporados no modelo podem ser baseados na generalização das propriedades do solo obtidas por meio de pesquisas de campo ou laboratório, ainda há a questão da aplicação dos valores de laboratório para o problema do campo.

2.6.5. Aplicação do Modelo SHALSTAB

Este modelo vem sendo aplicado em diversos estudos de estabilidade de encostas nos Estados Unidos desde a década de 1990. No Brasil ele passou a ser utilizado a partir do ano de 2000 e vem apresentando resultados satisfatórios (RAMOS *et al.*, 2002).

Gomes (2006) fez uso do modelo para mapear as áreas instáveis de duas bacias do maciço da Tijuca (Rio de Janeiro), comparando-as com as cicatrizes dos deslizamentos que aconteceram em campo, identificando a influência da coesão na instabilidade das encostas.

A mesma área já havia sido estudada por Guimarães *et al.* (2003) e Fernandes *et al.* (2001). Os autores utilizaram o modelo para mapear as áreas instáveis de duas bacias do Maciço da Tijuca.

Ramos *et al.* (2002) aplicaram o modelo para analisar as áreas instáveis da região do Quadrilátero Ferrífero (MG). Os resultados obtidos demonstraram que, mesmo utilizando dados de uma escala relativamente pequena para esse propósito (1:50.000) o modelo SHALSTAB mostrou-se uma ferramenta eficaz para identificar zonas susceptíveis a escorregamentos rasos.

Reginatto (2013) avaliou as áreas instáveis a deslizamentos, com ênfase em escorregamentos translacionais, da bacia do Rio Cunha (Rio dos Cedros/SC) por meio da aplicação do SHALSTAB. Essa região foi uma das mais atingidas por deslizamentos nos eventos de 2008, que assolaram a região do Vale do Itajaí.

Michel (2013) também avaliou a suscetibilidade a deslizamentos da bacia do Rio Cunha, entretanto o autor desenvolveu um algoritmo no qual é possível utilizar o modelo SHALSTAB em ambiente SIG. O autor acrescentou a influência da vegetação na estabilidade dos taludes em sua análise.

Sbroglia (2015) estimou as áreas suscetíveis a deslizamentos na bacia do ribeirão Baú (Ilhota/SC), o cenário dos maiores movimentos de massa que ocorreram em 2008 em Santa Catarina. A autora utilizou o modelo SHALSTAB adaptado por Michel (2013). Sua pesquisa demonstrou que a maioria das cicatrizes de deslizamentos mapeadas se encontra nas áreas classificadas como instáveis por meio do SHALSTAB.

Este modelo também é utilizado pelo Laboratório de Mapeamento Geotécnico da Universidade Federal de Santa Catarina, vinculado ao Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, para a determinação das áreas suscetíveis a deslizamentos de encostas de diversos municípios do Estado de Santa Catarina.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Antônio Carlos apresenta uma área igual a 228,65km², localizando-se sob a latitude 27°31'1" e a longitude 48°46'4", à aproximadamente 37km da capital Florianópolis.

Situado na porção leste do Estado de Santa Catarina, o município pertence à região da Grande Florianópolis. Faz fronteira com as seguintes cidades: Angelina, Biguaçu, Major Gercino, São João Batista, São José e São Pedro de Alcântara. A Figura 13 apresenta a localização do município, detalhando sua posição e suas fronteiras.

Antes da chegada dos alemães, portugueses, negros e índios já habitavam a região onde se encontra o município. No ano de 1830, algumas famílias alemãs vindas de São Pedro de Alcântara, comandadas por João Henrique Schöeting, desbravaram a planície do Rio do Louro e deram início a efetiva colonização das terras que viriam compor o município de Antônio Carlos.

A criação do município se deu em 06 de novembro de 1963, com a homologação da Lei n°. 920/06. Pela referida Lei, o antigo distrito de Alto Biguaçu se desmembra de Biguaçu, tornando-se Antônio Carlos. Seu nome foi uma homenagem ao estadista brasileiro Antônio Carlos Ribeiro de Andrade, político mineiro com grande atuação na Revolução de 1930.

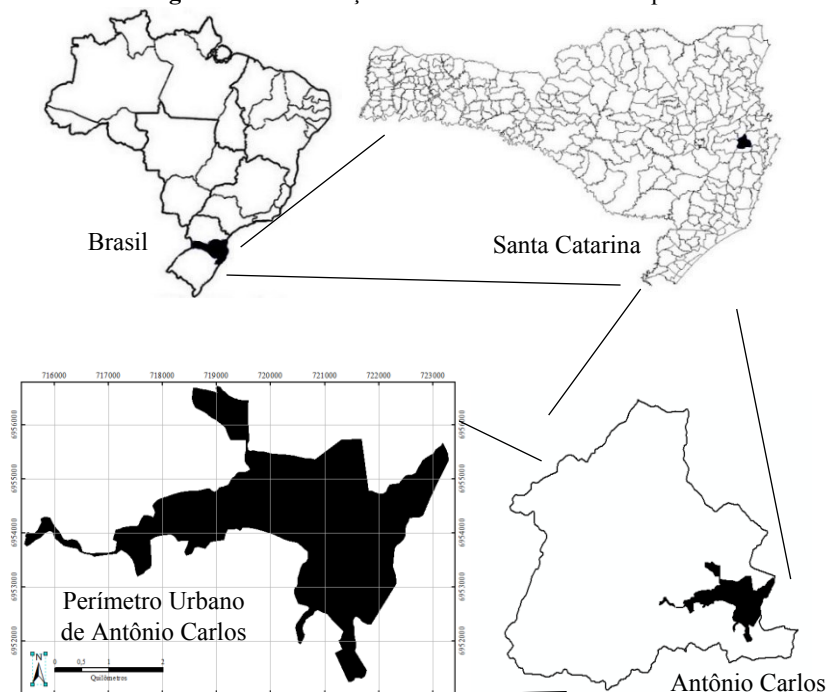
A população atual de Antônio Carlos é, na sua maioria, descendente de alemães. A composição da população encontra-se na Tabela 11.

Tabela 11. Composição da população do município.

Ano	Localidade		Total
	Urbana	Rural	
1980	710	4.702	5.412
1991	977	4.636	5.613
2000	1.760	4.674	6.434
2010	2.341	5.117	7.458

Fonte: IBGE (contagem populacional dos anos 1980, 1991, 2000 e 2010), organizado pelo autor.

Figura 13. Localização da área urbana do Município.



Fonte: Autor.

De acordo com a Tabela 11, o último censo realizado pelo IBGE mostra que 31,4% da população reside no perímetro urbano contra 68,6% que reside nas áreas rurais. Entretanto, a partir do ano de 2000, a taxa de crescimento da população urbana se mostrou bastante superior à população rural.

A expectativa de vida em 2000 era de 77,09 anos, considerada uma das maiores do país. Segundo o IBGE (2010), o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) foi de 0,749, considerado alto.

Conforme informações da Prefeitura Municipal, Antônio Carlos é conhecido por ser o maior produtor de hortaliças de Santa Catarina, produzindo cerca de 150.000 toneladas de produtos agrícolas por ano.

Na economia, destaca-se o setor secundário (indústrias), responsável por aproximadamente 51% do PIB do município, como pode-se ver pela Tabela 12.

Tabela 12. PIB do município.

Item	Valor no PIB
Indústria	R\$ 141.852.000,00
Serviço	R\$ 80.136.000,00
Agropecuária	R\$ 38.474.000,00
Impostos	R\$ 19.107.000,00
Total	R\$ 279.569.000,00

Fonte: IBGE (2010).

3.1. Relevô

A formação geomorfológica predominante na área urbana de Antônio Carlos é a planície, a qual se estende por praticamente toda a área. Há poucas elevações dispersas na área plana.

Na porção nordeste da área encontram-se as maiores elevações, chegando a 198 metros de altitude. A porção sul é composta, em sua maioria, por elevações mais baixas, apresentando 80 metros de altitude.

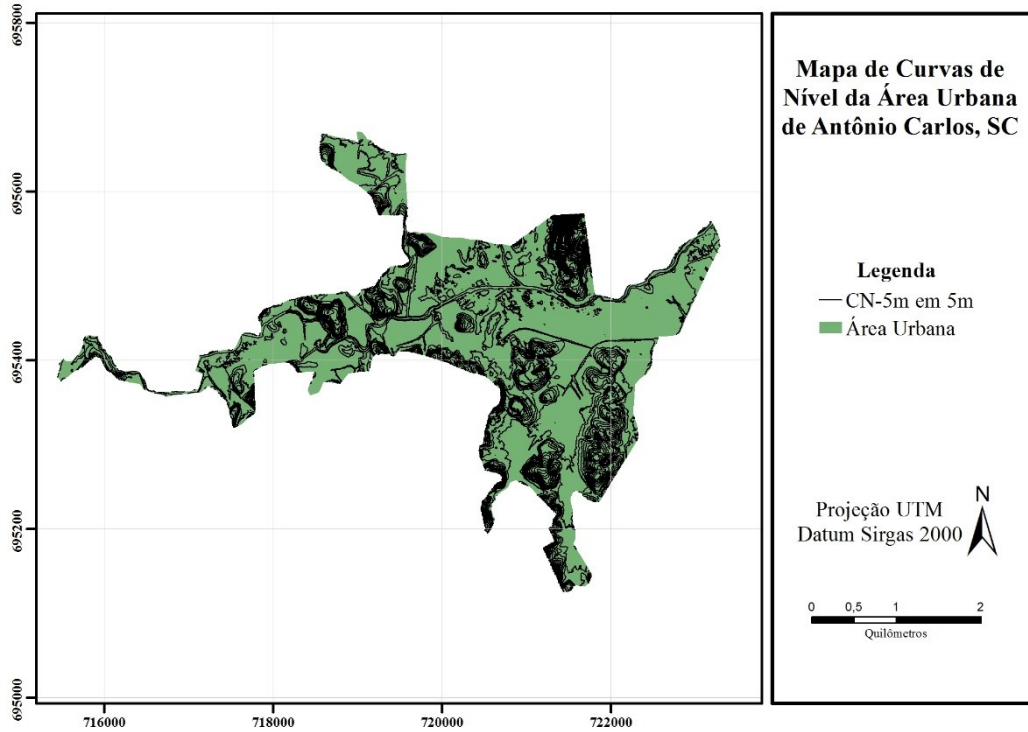
Conforme o Modelo Digital do Terreno da região, as altitudes variam de 5 metros acima do nível do mar até 198 metros, conforme o relevo. Na Figura 14 pode-se observar o mapa de curvas de nível da área urbana do município, com curvas dispostas em um intervalo de 5 metros e escala 1:10.000.

3.2. Clima

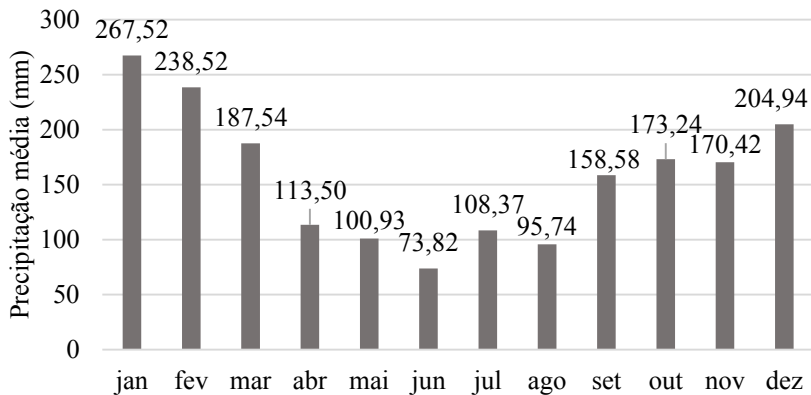
Conforme informações da Prefeitura Municipal, o clima de Antônio Carlos é do tipo Cfa (temperado úmido), apresentando quatro estações bem definidas e com chuvas bem distribuídas ao longo do ano.

A Figura 15 apresenta as médias pluviométricas mensal de 1977 a 2009. Como pode-se ver, a estação mais chuvosa é o verão e o mês mais chuvoso é Janeiro.

Figura 14. Mapa de Curvas de Nível da área urbana de Antônio Carlos.



Fonte: Autor.

Figura 15. Distribuição da precipitação média mensal de 1977 a 2009.

Fonte: Wilvert (2010).

3.3. Hidrografia

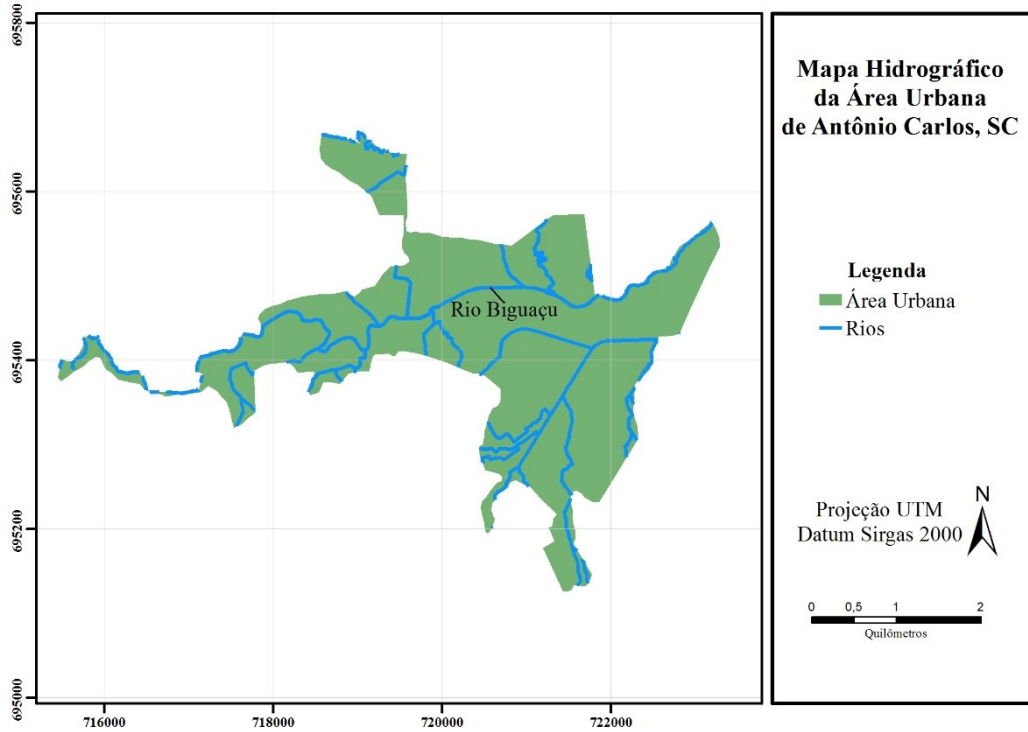
A rede hidrográfica da área urbana de Antônio Carlos (Figura 16) é formada pela bacia do rio Biguaçu e alguns de seus afluentes. A bacia do rio Biguaçu possui aproximadamente 309km², dos quais 205km² estão em Antônio Carlos.

A nascente do rio Biguaçu situa-se na serra das Congonhas (Antônio Carlos) a uma altitude de 778m. O comprimento do rio era de 40,6km, porém, com os projetos de retificação, o comprimento foi reduzido para 37km.

Os principais afluentes da margem esquerda que se encontram em Antônio Carlos são: rio Rachadel, rio Farias e rio Braço do Norte. Na margem direita encontram-se o rio do Louro e o Ribeirão vermelho. Os demais afluentes presentes no município são de menor expressão, possuindo papel secundário relacionados à alimentação do rio Biguaçu.

A bacia do Rio Biguaçu caracteriza-se por ser de drenagem perene, devido aos elevados e regulares índices pluviométricos. Os rios são sinuosos, com muitos meandros.

Figura 16. Mapa Hidrográfico da área urbana de Antônio Carlos.



Fonte: Autor.

3.4. Geologia

A área urbana de Antônio Carlos é composta por três formações geológicas: Sedimentos Q2li, Complexo Águas Mornas e Granito São Pedro de Alcântara.

As formações datam desde o período Arqueano (2600 milhões de anos). A Figura 17 mostra o mapa das unidades geológicas que compõem a área urbana de Antônio Carlos, em escala 1:75000.

A descrição das características das unidades é a seguir apresentada.

3.4.1. Sedimentos Q2li

Os depósitos litorâneos (Q2li) correspondem aos depósitos mais expressivos da Planície Costeira, uma sedimentação cenozóica intensamente influenciada pelas oscilações glácio-eustáticas do nível do mar, ocorridas durante o Quaternário, onde predominam depósitos sedimentares continentais, transicionais e marinhos, além de depósitos de encosta e aluviões ao longo dos atuais cursos de água (SANTA CATARINA, 2008)

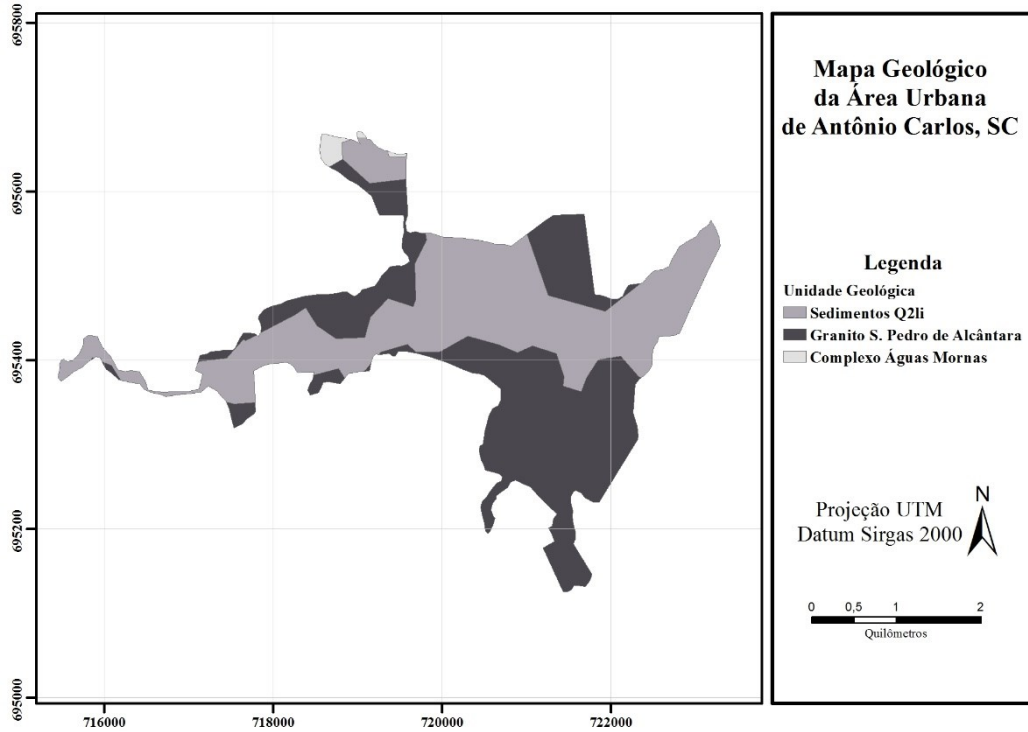
Esses depósitos caracterizam-se por duas gerações de cordões litorâneos, de idades Pleistocênica e Holocênica. As formações arenosas apresentam, predominantemente, Areias Quartzosas, podendo também ocorrer Podzólicos Vermelho-Amarelos álicos de textura arenosa (SANTA CATARINA, 2008).

3.4.2. Complexo Águas Mornas

O Complexo Águas Mornas, conforme foi descrito por Bitencourt *et al.* (2008), compreende principalmente ortognaisses, com ocorrência subordinada de paragnaisses, do período Arqueano. Os afloramentos são principalmente de matacões, raramente lajeados.

Os ortognaisses possuem cor acinzentada, com níveis félsicos de cor esbranquiçada a rosada, de granulação média a fina, tem textura plutônica reliquiar e composição monzo a sienogranítica. Sua principal estrutura é um bandamento composto, em que bandas resultantes de processos metamórfico-deformacionais são realçadas por injeções concordantes de espessura centimétrica. Ao longo do bandamento, alternam-se níveis félsicos descontínuos, de composição quartzo-

Figura 17. Mapa Geológico da área urbana de Antônio Carlos.



Fonte: Autor.

feldspática, e níveis máficos contínuos, ricos em biotita, ambos com espessuras de 2 a 12mm.

Os paragneisses são encontrados de modo restrito, no extremo norte da área de ocorrência do Complexo Águas Mornas, e não é possível observar suas relações de contato com os ortogneisses encaixantes. São rochas de composição calcissilicática, de cor cinza escura esverdeada, com bandamento milimétrico contínuo e regular definido pela alternância de bandas que contém quartzo, feldspatos e carbonatos e bandas ricas em clinopiroxênio, anfibólio e titanita.

Os ortogneisses são constituídos por K-feldspato, plagioclásio, quartzo, biotita e hornblenda. Zircão, alanita, titanita e minerais opacos são os minerais acessórios. Como minerais retrometamórficos ocorrem epidoto, micas brancas e clorita.

Os paragneisses mostram um bandamento milimétrico e contínuo, formado pela alternância de níveis ricos em quartzo, K-feldspato, plagioclásio e carbonatos, e níveis máficos compostos por diopsídio, hornblenda e titanita.

3.4.3. Granito São Pedro de Alcântara

A formação Granito São Pedro de Alcântara faz parte da Suíte Intrusiva Maruim e data do Proterozóico Superior.

A unidade litológica é composta principalmente por monzogranitos, variando desde quartzo-monzonitos até sienogranitos. Os principais componentes mineralógicos são: feldspato alcalino, quartzo, plagioclásio, cálcico-sódico e biotita. Opacos, anfibólio, muscovita, zircão, esfero, alanita e apatita correspondem aos minerais acessórios.

O granito dessa unidade caracteriza-se como mesocrático, apresentando cor cinza escuro e granulação grossa. A textura é porfírica média a grossa (GUARESI, 2004).

Segundo Wilvert (2010), ao se comparar esse granito com um propriamente dito, percebe-se uma quantidade maior de feldspato e uma menor quantidade de quartzo em sua composição. Sendo assim, esse tipo de granito é mais suscetível à ação do intemperismo.

A Figura 18 apresenta um pequeno afloramento do Granito São Pedro de Alcântara na área urbana do município.

Figura 18. Granito São Pedro de Alcântara: (a) afloramento rochoso e (b) rocha.



Fonte: Autor.

Considerações Sobre a Geologia

A Tabela 13 apresenta a litologia adotada para cada unidade geológica.

Tabela 13. Litologia em função da geologia.

Geologia	Litologia	Sigla
Sedimentos Q2li	Sedimentos Quartenários	sq
Complexo Águas Mornas	Gnaisse	gn
Granito São Pedro de Alcântara	Granito	g

Fonte: Prefeitura Municipal, organizado pelo autor.

Na área urbana do município, as unidades litológicas presentes são sedimentos quaternários, gnaisse e granito.

3.5. Pedologia

Os solos encontrados na área urbana do município de Antônio Carlos podem ser divididos em duas categorias: Podzólico Vermelho-Amarelo e Gleissolo. O mapa das unidades pedológicas pode ser visto na Figura 19.

A descrição dos tipos de solos encontrados no município é a mesma empregada pelo IBGE (1995).

3.5.1. Podzólico Vermelho-Amarelo – (PV)

Os solos dessa categoria estão descritos a seguir:

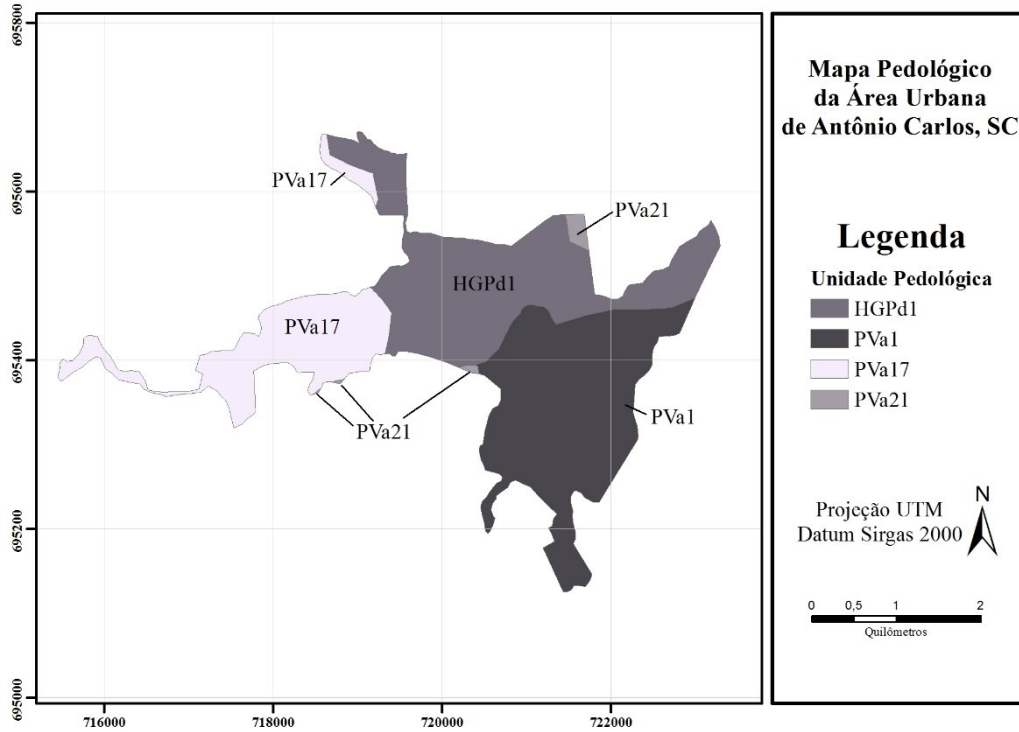
- PVa1 - Podzólico Vermelho-Amarelo álico, argila de atividade alta, horizonte A moderado, textura média/argilosa, relevo ondulado e forte ondulado.
- PVa17 - Podzólico Vermelho-Amarelo álico, argila de atividade baixa, horizonte A moderado e proeminente, textura média/argilosa pouco cascalhenta + Cambissolo álico, argila de atividade baixa, horizonte A moderado e proeminente, textura argilosa pouco cascalhenta, relevo forte ondulado.
- PVa21 - Podzólico Vermelho-Amarelo álico, argila de atividade baixa, horizonte A moderado, textura média e média/argilosa cascalhenta e não cascalhenta, fase rochosa, relevo forte ondulado e montanhoso + Podzólico Vermelho-Escuro álico, argila de atividade baixa, horizonte A moderado, textura argilosa, relevo forte ondulado e ondulado.

3.5.2. Gleissolo

O município de Antônio Carlos só apresenta um tipo de gleissolo: o HGPd1.

- HGPd1 - Glei Pouco Húmico Distrófico, argila de baixa atividade, textura argilosa, relevo plano.

Figura 19. Mapa Pedológico da área urbana de Antônio Carlos.



Fonte: Autor.

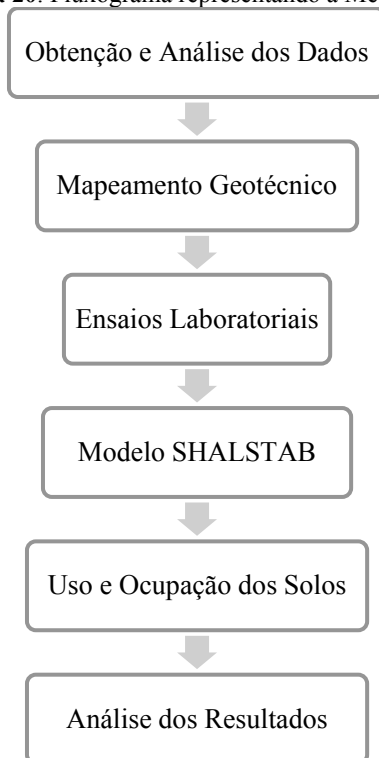
Considerações Sobre a Pedologia

Quanto à disposição espacial das unidades pedológicas presentes na área urbana de Antônio Carlos, o Gleissolo está presente nas áreas planas e os Podzólicos Vermelho-Amarelo são encontrados nas regiões de encostas.

4. MATERIAIS E MÉTODO

O método por meio do qual foi estruturada esta pesquisa é apresentado de forma condensada na Figura 20 e explicado nos itens que se seguem.

Figura 20. Fluxograma representando a Método aplicado.



Fonte: Autor.

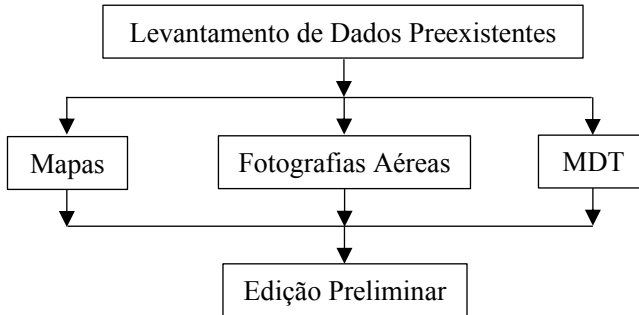
4.1. Obtenção e Análise dos Dados

Para iniciar a elaboração deste trabalho, primeiramente foi realizada uma busca por materiais que servirão como alicerce à pesquisa.

Neste quesito se enquadram mapas e fotografias aéreas do município de Antônio Carlos.

As atividades desenvolvidas nesta etapa podem ser vistas na Figura 21.

Figura 21. Fluxograma das etapas de aquisição e edição dos dados.



Fonte: Autor.

4.1.1. Levantamento de Dados Preexistentes

Os mapas adquiridos e que foram a base para a elaboração do mapa geotécnico da cidade foram o mapa pedológico e o mapa geológico. Ambos os mapas foram obtidos por meio de duas fontes:

- Mapa pedológico e geológico da segunda e terceira etapa do Projeto Gerenciamento Costeiro (GERCO), realizado em 1995 e 2003 respectivamente: obtidos junto à sede do IBGE, em Florianópolis, com escala de 1:100000, em meio digital;
- Mapa pedológico e geológico do município de Antônio Carlos: obtido junto à Prefeitura Municipal. Este mapa foi elaborado pelo consórcio HARDT-ENGEMIN, o qual foi contratado pela Companhia de Desenvolvimento do estado de Santa Catarina (CODESC) em 2008. Os mapas foram gerados com escala 1:75000 e se encontram em meio digital.

Também foi obtido um mapa litológico, com escala 1:10000, da área urbana de Antônio Carlos. Este mapa foi elaborado pelo Departamento de Geociências, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em 2013.

Para a elaboração do mapa geotécnico da área urbana do município foram utilizados os mapas adquiridos junto à Prefeitura Municipal, visto que estes mapas possuem uma escala maior do que os mapas do GERCO. Devido o mesmo motivo, o mapa litológico gerado pelo Departamento de Geociências também foi utilizado.

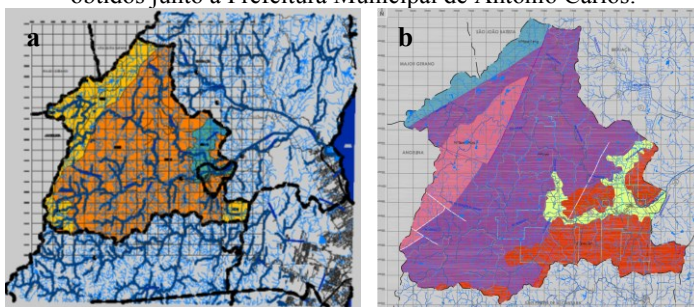
Dados de um voo aerofotogramétrico encomendado pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS) foram obtidos junto a esta secretaria. As ortofotos do município de Antônio Carlos apresentam pixel de 40cm. O voo foi efetuado em 2010 e os produtos gerados a partir das ortofotos apresentam escala de 1:10000.

Por meio das ortofotos obtidas, foi gerado o modelo digital do terreno (MDT) de Antônio Carlos. Outros produtos foram derivados do MDT do município: mapa de declividades, mapa hipsométrico, mapa de curvas de nível (de metro em metro), entre outros.

4.1.2. Edição Preliminar dos Mapas

O processo de edição preliminar dos mapas foi realizado com auxílio do *software* CAD. Os mapas pedológico e geológico (Figura 22) do município foram editados, de forma que toda informação desnecessária fosse excluída e restassem apenas os polígonos equivalentes às unidades pedológicas e geológicas respectivamente (Figura 23).

Figura 22. Representação do mapa pedológico (a) e do mapa geológico (b) obtidos junto à Prefeitura Municipal de Antônio Carlos.



Fonte: Fornecido pela Prefeitura Municipal.

Figura 23. Representação do mapa pedológico (a) e do mapa geológico (b) pós-edição.



Fonte: Autor.

4.1.3. Transferência dos Arquivos para Ambiente SIG

Na realização desta pesquisa, o *software* de ambiente SIG que será utilizado consiste no ArcGIS, da empresa Esri.

Para serem inseridos em SIG, os arquivos resultantes da etapa anterior precisam ser convertidos para o formato compatível do *software*: *shapefile*. Em seguida, estes arquivos devem ser georreferenciados.

O georreferenciamento dos arquivos é feito por meio das ferramentas de gestão de dados presentes no software. Alguns dos mapas adquiridos encontravam-se referenciados no Datum SAD69/UTM zone 22S, enquanto que os demais estavam referenciados no Datum WGS84/UTM zone 22S. Entretanto, desde 25 de fevereiro de 2015, o SIRGAS2000 passou a ser o único sistema geodésico de referência oficialmente adotado no Brasil. Dessa forma, foi realizada a conversão do Datum de todos os arquivos para o padrão utilizado no Brasil: SIRGAS2000/UTM zone 22S.

Após inserido no ArcMap, extraiu-se do mapa pedológico do município apenas o polígono correspondente à área urbana de Antônio Carlos e as unidades foram classificadas conforme seu atributo pedológico. O mapa resultante é apresentado na Figura 24 com escala de detalhamento 1:75.000.

Ao desprezar as características particulares de cada unidade, uma generalização pode ser feita. Com isso, apenas duas unidades pedológicas básicas compõem o município. A Tabela 14 apresenta a generalização realizada.

Tabela 14. Generalização das unidades pedológicas.

Unidade	Generalização
PVa1	
PVa17	PV
PVa21	
HGPd1	HGP

Fonte: Autor.

O novo mapa das unidades generalizadas é apresentado na Figura 25. Nota-se que a unidade predominante é a Podzólico Vermelho-Amarelo.

A inserção do mapa geológico foi feita por meio do mesmo processo utilizado no mapa pedológico: extraiu-se o polígono correspondente à área urbana do município e as unidades foram classificadas conforme seu atributo geológico. O mapa resultante apresenta três unidades geológicas. O mapa geológico da área urbana de Antônio Carlos é apresentado na Figura 26, com escala de detalhamento 1:75.000.

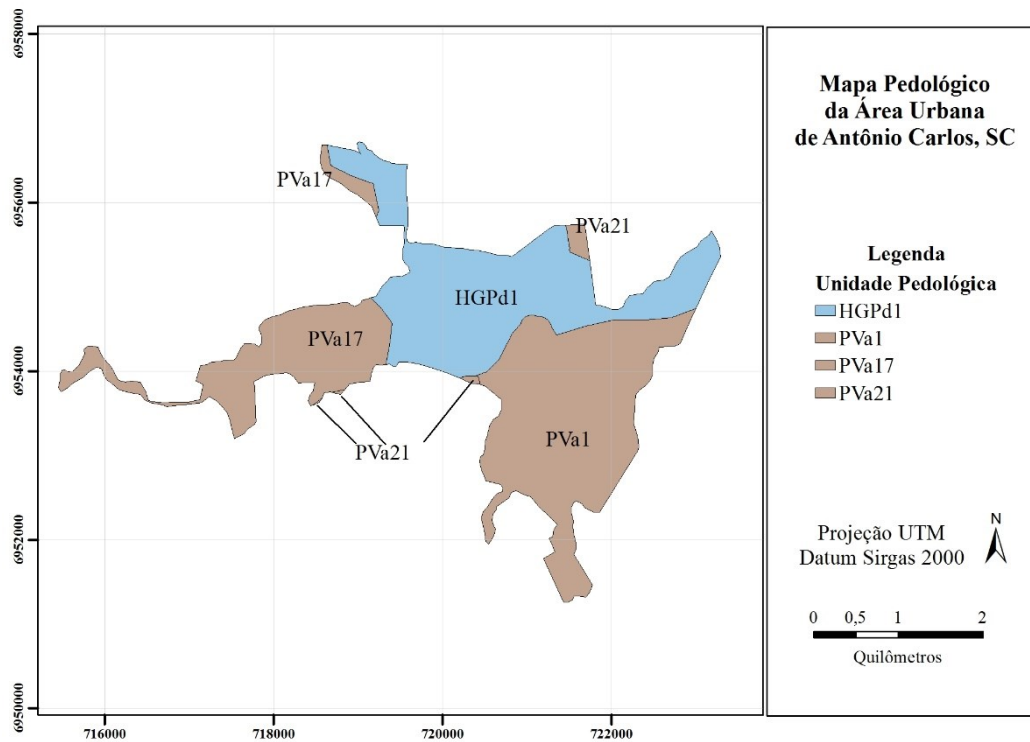
Conforme Davison Dias (1995), a elaboração do mapa geotécnico é feita por meio da sobreposição do mapa pedológico e o mapa litológico. A litologia das unidades geológicas está expressa na Tabela 13 e o mapa litológico da área urbana de Antônio Carlos na Figura 27, com escala de detalhamento 1:10.000. Pode-se observar a predominância da unidade sedimentos quaternários e de rochas graníticas.

O mosaico formado pelas ortofotos resultantes do voo aerofotogramétrico de Antônio Carlos foi inserido no ArcMap e serviu como base para a análise do uso e ocupação dos solos do perímetro urbano da cidade. O mosaico que representa a área urbana do município está exposto na Figura 28, sendo que os pixels da imagem apresentam 39cm de lado.

Por meio do mosaico das ortofotos, gerou-se o Modelo Digital do Terreno (MDT) em escala de detalhamento 1:10.000, que está apresentado na Figura 29 e seus pixels possuem 1m de lado.

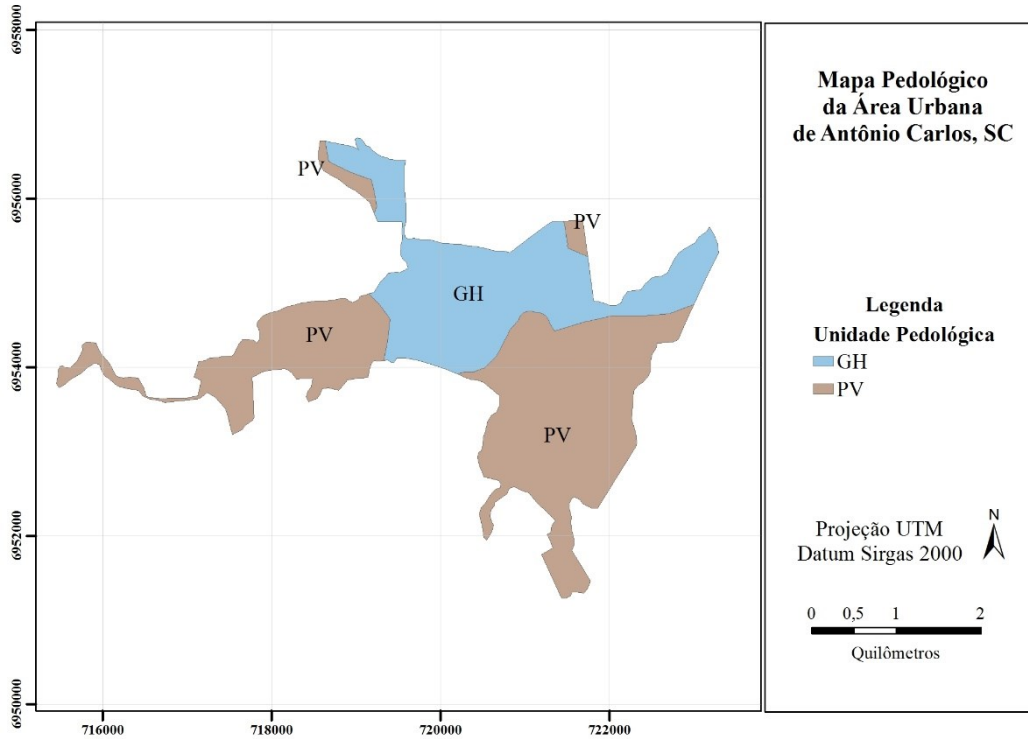
O MDT consiste em um dos principais insumos para o desenvolvimento desta pesquisa. Isto se explica pelo fato de que por meio dele, diversos outros mapas são gerados, como o mapa de curvas de nível (Figura 30), mapa hipsométrico (Figura 31), mapa de declividades, mapa de direção de fluxo (escoamento das chuvas), entre outros.

Figura 24. Mapa Pedológico.



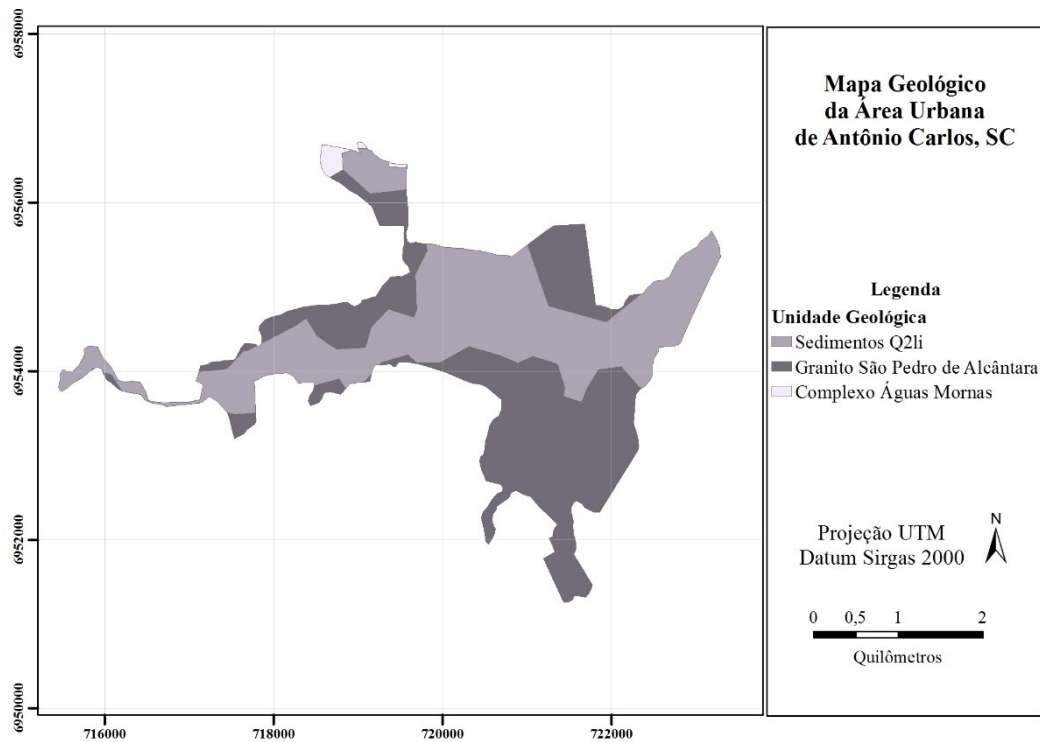
Fonte: Autor.

Figura 25. Mapa Pedológico generalizado.



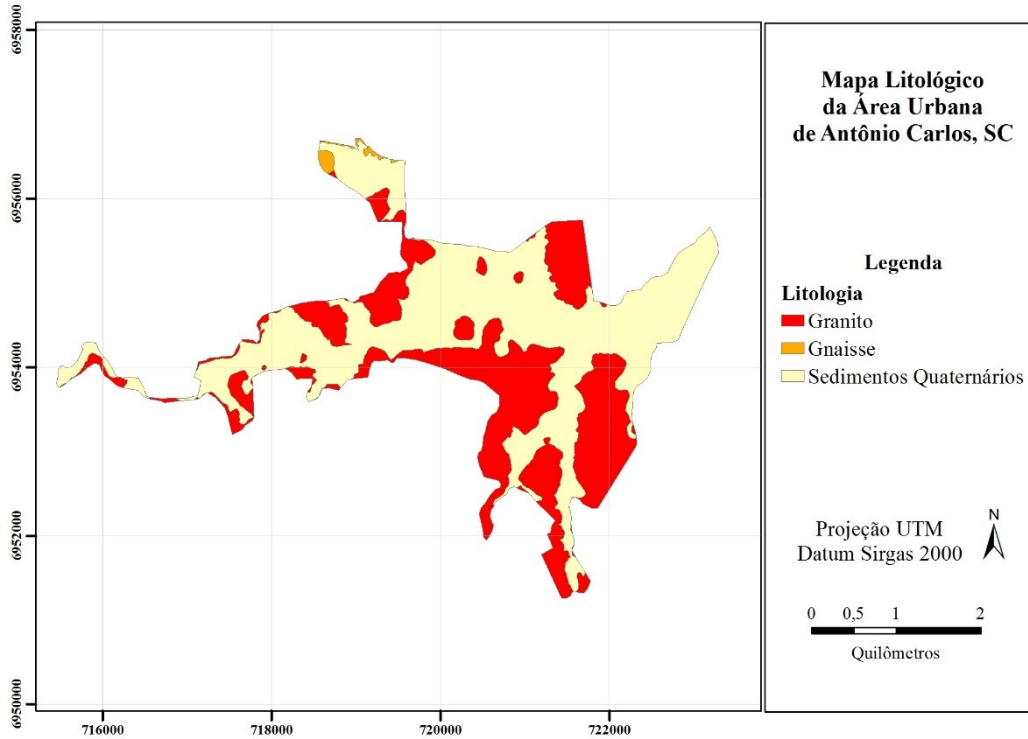
Fonte: Autor.

Figura 26. Mapa Geológico.

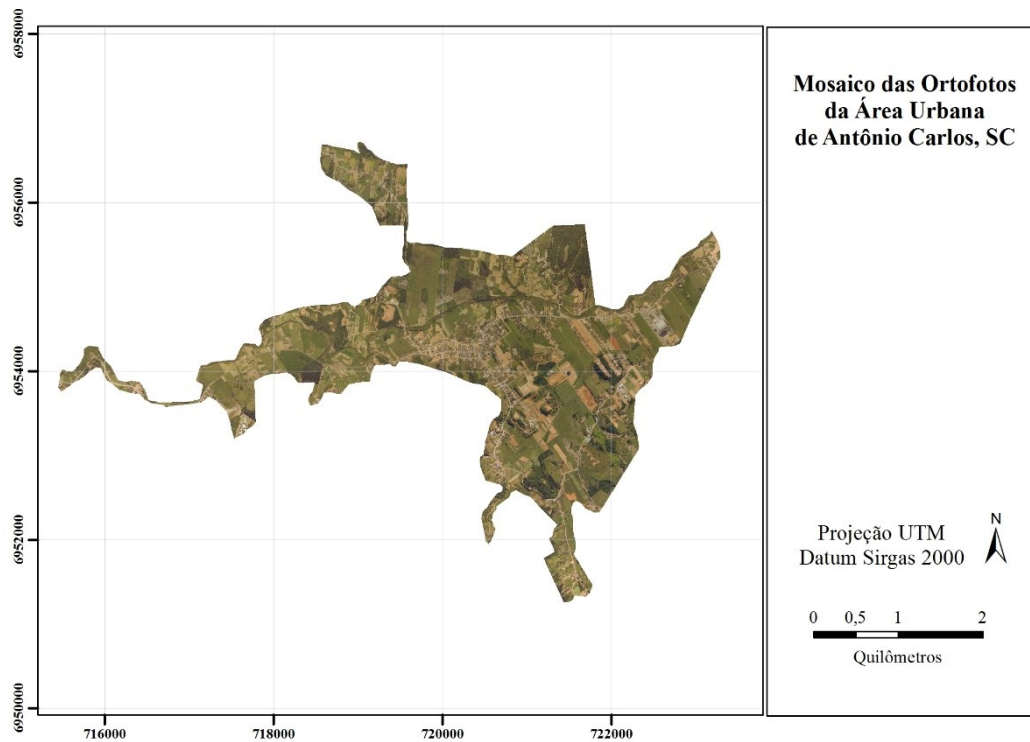


Fonte: Autor.

Figura 27. Mapa litológico da Área Urbana de Antônio Carlos.

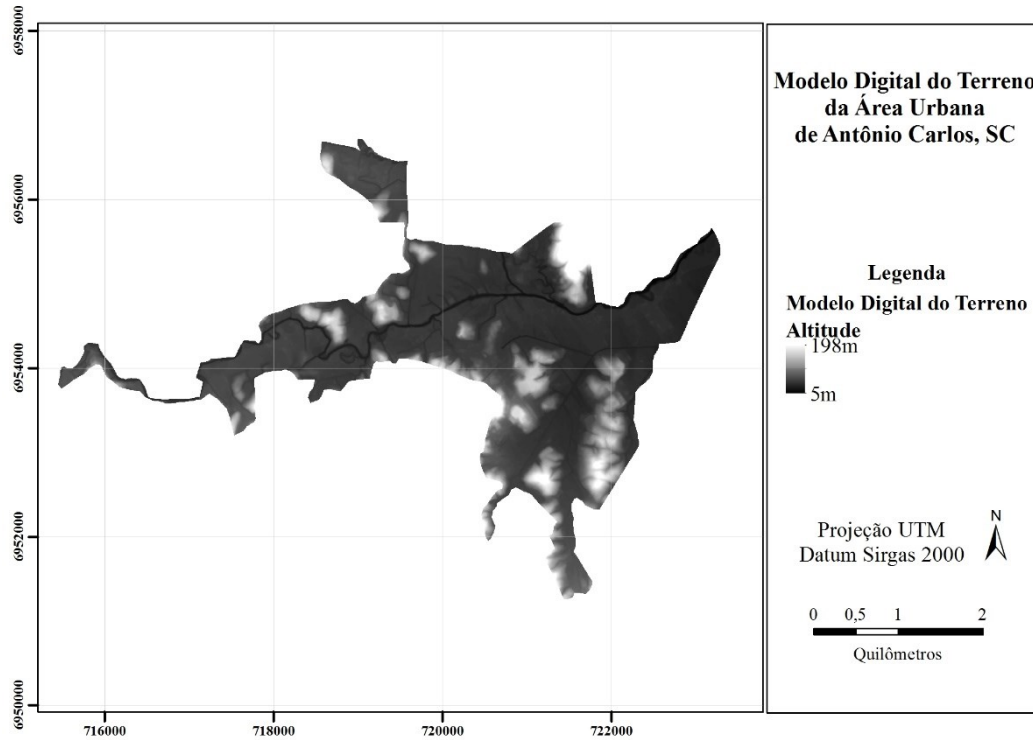


Fonte: Autor.

Figura 28. Ortofotos.

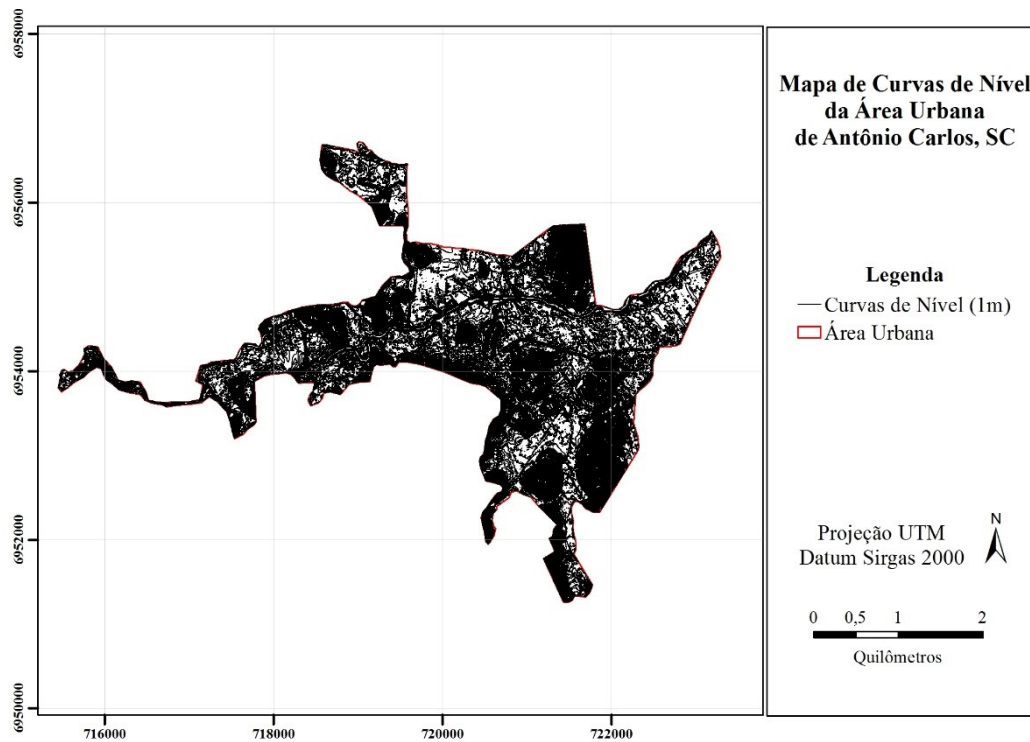
Fonte: SDS (2010), editado pelo autor.

Figura 29. Modelo Digital do Terreno.

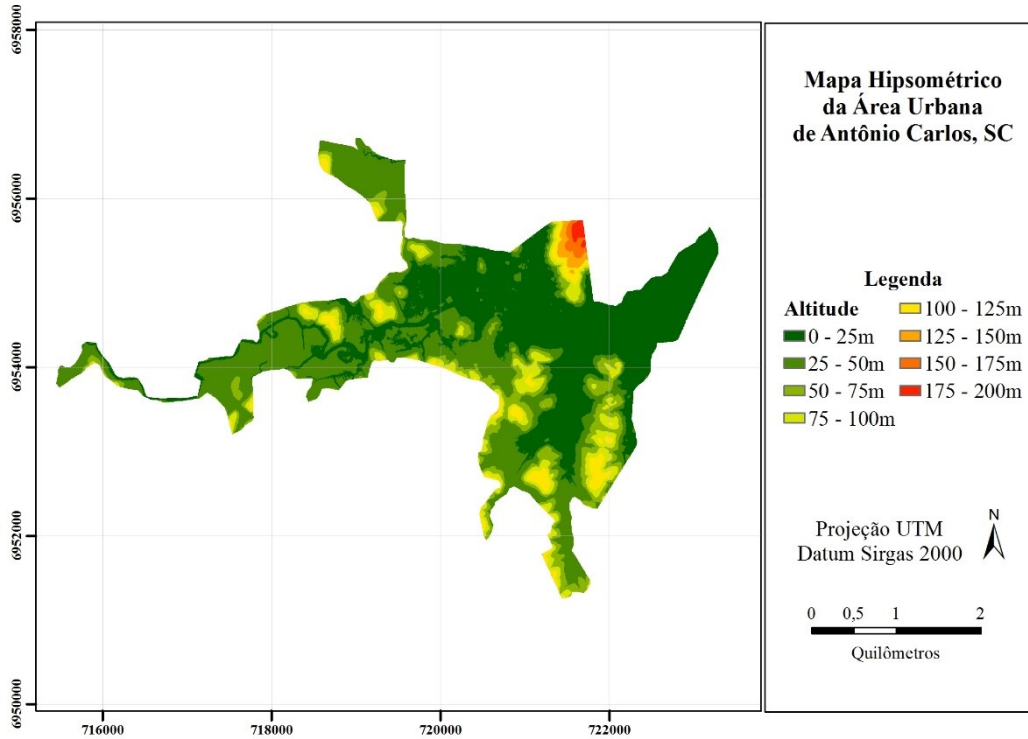


Fonte: Departamento de Geociências da UFSC.

Figura 30. Curvas de Nível (1m).



Fonte: Autor.

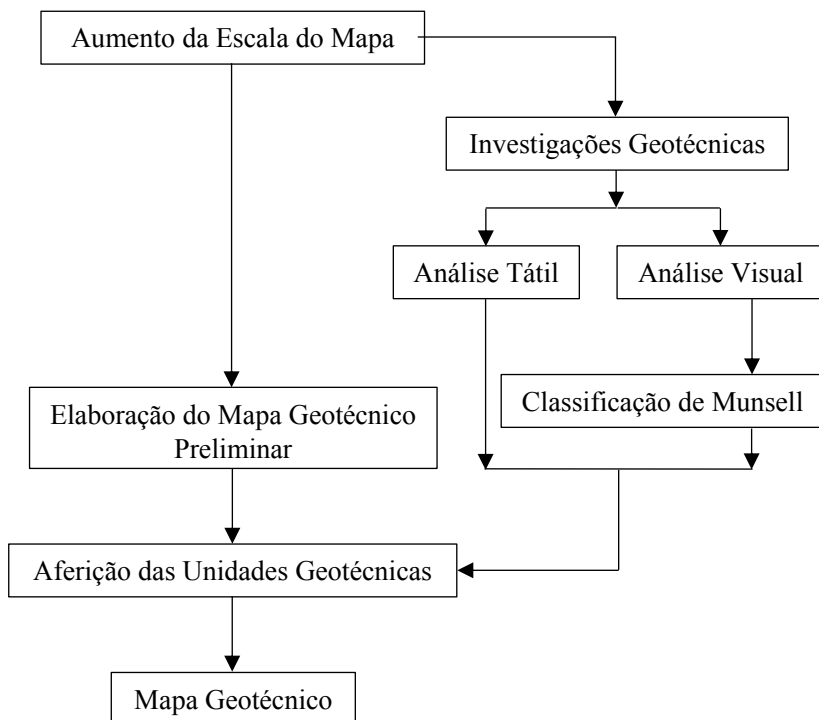
Figura 31. Mapa Hipsométrico.

Fonte: Autor.

4.2. Mapeamento Geotécnico

Neste item são apresentadas as etapas executadas (Figura 32) para a elaboração do mapa geotécnico da área urbana de Antônio Carlos.

Figura 32. Fluxograma das etapas para a elaboração do mapa geotécnico.



Fonte: Autor.

4.2.1. Aumento da Escala do Mapa Pedológico

O mapa pedológico com a melhor escala obtido para a elaboração desta pesquisa apresenta escala 1:75.000, muito inferior àquela vista para o mapa litológico fornecido pelo Departamento de Geociências, o qual apresenta escala 1:10.000.

Dessa forma, com o intuito de buscar a elaboração de um mapa geotécnico mais preciso e de maior qualidade, procurou-se aumentar a escala do mapa pedológico da área urbana.

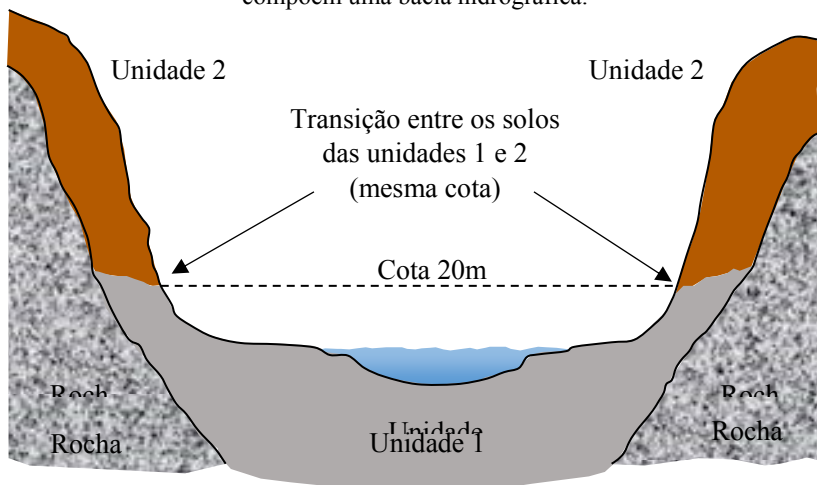
Na descrição das características dos solos presentes na área urbana de Antônio Carlos foi visto que a mesma é composta por dois tipos de solos: Gleissolo e Podzólico Vermelho-Amarelo.

Os Gleissolos são classificados como hidromórficos e sedimentares, sendo encontrados, portanto, em áreas mais baixas e planas no ponto de vista altimétrico.

O Podzólico Vermelho-Amarelo, por sua vez, é classificado como solo residual e resultam do intemperismo atuante nas rochas de origem, que, no caso da área urbana de Antônio Carlos, são o granito e o gnaisse. Assim, esse solo é geralmente encontrado nas encostas e áreas de relevo onduladas a fortemente onduladas.

Higashi (2006), ao propor uma metodologia para o uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras, afirma que, considerando-se a mesma bacia hidrográfica, a cota altimétrica que representa a transição entre as unidades pedológicas tende a ser mesma, conforme representado na Figura 33.

Figura 33. Representação da transição entre as unidades pedológicas que compõem uma bacia hidrográfica.



Fonte: Autor.

Com base nesta afirmação, foi elaborado um método afim de determinar a cota altimétrica onde ocorre a transição entre as unidades Gleissolo e Podzólico Vermelho-Amarelo que compõem a área urbana de Antônio Carlos.

O processo pode ser dividido em duas etapas. A primeira etapa foi feita por meio de expedições a campo. Os equipamentos utilizados foram um trado (tipo holandês) e um GPS, vistos na Figura 34.

Figura 34. Equipamentos utilizados nas expedições a campo: (a) trado e (b) GPS.



Fonte: Autor.

Em campo, o procedimento seguido foi:

- i. Localização das fronteiras entre as unidades pedológicas, as quais ocorrem nas proximidades das elevações presentes na bacia (Figura 35);

Figura 35. Localização da fronteira entre as unidades pedológicas.



Fonte: Autor.

- ii. Próximo à base da encosta, realizou-se furos de 1m a 1,5m de profundidade com auxílio do trado (Figura 36);

Figura 36. Execução do furo e coleta da amostra de solo.



Fonte: Autor.

- iii. Por meio de análise tátil e visual, analisando-se a coloração do solo e sua textura no momento da coleta, foi feita a identificação preliminar do solo coletado em campo. As coordenadas geográficas do furo devem ser determinadas com auxílio do GPS;
- iv. Os furos e análise do solo foram repetidas até que fosse identificada uma mudança brusca na textura e cor do solo, caracterizando-se a fronteira entre o solo sedimentar e residual;
- v. Amostras de solo residual e do solo sedimentar encontrado imediatamente antes do anterior foram encaminhadas para uma análise mais criteriosa em laboratório.

A Figura 37 apresenta uma ilustração do processo de identificação da fronteira entre as unidades pedológicas presentes na área urbana de Antônio Carlos.

No final desse processo, encontra-se a cota que indica a fronteira entre as duas unidades pedológicas para determinada bacia. Este processo deve ser repetido algumas vezes, aumentando-se a precisão dos resultados.

Figura 37. Processo de identificação da fronteira entre na unidades pedológicas.

Fonte: Autor.

Em campo, foram analisadas sete encostas e executados vinte furos de tradagem. As coordenadas dos furos estão apresentadas na Tabela 15.

Tabela 15. Localização dos furos de tradagens.

Encosta	Furo	Coordenada		Encosta	Furo	Coordenada	
		E [m]	N [m]			E [m]	N [m]
1	1	718506	6956801	5	11	721196	6953591
	2	718503	6956799		12	721199	6953592
	3	718506	6956789		6	13	721834
2	4	719335	6956138	14		721838	6954114
	5	719354	6956152	15		721839	6954112
3	6	719727	6955548	16	721842	6954106	
	7	719727	6955546	7	17	721772	6953961
4	8	719726	6955544		18	721774	6953960
	9	721169	6953667		19	721772	6953959
	10	721168	6953670		20	721772	6953956

Fonte: Autor.

Após a etapa de campo, iniciou-se a de laboratório. As amostras de solos coletadas dos furos de tradagem foram classificadas de acordo com a tabela de cores de Munsell, uma análise visual bastante precisa, determinando-se, portanto, a cor do solo.

A classificação é feita por meio de três variáveis simples que se combinam para descrever todas as cores, as quais são conhecidas no sistema de Munsell como Matiz, Valor e Croma. A Matiz indica a cor e sua relação com vermelho, amarelo, verde, azul e roxo. O Valor indica sua claridade e a Croma indica a sua intensidade.

No uso da cartela (Figura 38), uma comparação precisa é feita segurando-se a amostra de solo diretamente atrás das aberturas que separam as cores mais próximas da cor correspondente ao solo. Raramente a cor das amostras se ajustará perfeitamente com alguma cor da cartela. A probabilidade de termos uma correspondência exata é menor que uma em cem. Evidentemente, no entanto, as cores das amostras corresponderão às mais próximas contidas na cartela.

As principais dificuldades encontradas no uso da Cartela de Cor do Solo são:

- A escolha da cartela que contenha a Matiz apropriada;
- Determinar cores que são intermediárias entre as matizes das cartelas; e
- Distinguir entre valores de Croma, quando estes são muito fortes.

Além disso, a cartela não possui algumas cores extremamente escuras e fortes (baixo Valor e alta Croma) ocasionalmente encontradas em solos úmidos. Nessas situações, as cores extremas que não se encontram na cartela podem ser estimadas.

A qualidade e a intensidade da luz afetam a quantidade e qualidade da luz refletida da amostra para o olho.

A análise foi feita em três etapas, conforme o índice de umidade da amostra. Primeiramente as amostras foram classificadas com teor de umidade natural. Em seguida, as amostras foram secas em estufa (100°C a 105°C) por 24 horas e determinou-se a cor das amostras secas. Após esse processo, foi aspergida água sobre as amostras afim de umedecer a superfície das mesmas e determinou-se a cor das amostras úmidas.

Determinados quais os furos consecutivos que representam a fronteira entre as unidades pedológicas, os pontos foram plotados em ambiente SIG por meio da inserção de suas coordenadas.

Em seguida, o mapa de curvas de nível (de metro em metro) da área urbana de Antônio Carlos foi sobreposto aos pontos de tradagem. Com isso, observou-se a curva de nível localizada entre os furos de cada encosta analisada. Essa curva corresponde à fronteira entre as unidades pedológicas da área urbana.

Figura 38. Exemplo de uma cartela de cores de Munsell.



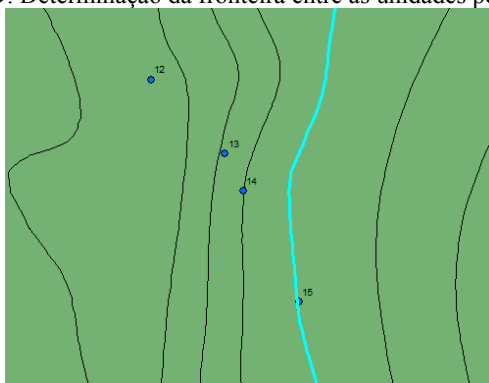
Fonte: Autor.

A Figura 39 mostra como a fronteira foi determinada. Os pontos representam os furos de tradagem, sendo que nos pontos 14 e 15 foi notada a transição de um solo para outro. As linhas pretas representam as curvas de nível e a linha azul-claro representa a curva de nível localizada entre os pontos 14 e 15, correspondendo à fronteira entre as unidades pedológicas.

Assim, com a obtenção da fronteira das unidades, o mapa pedológico da área urbana de Antônio Carlos pôde ser redesenhado, tendo-se um enorme ganho de precisão, uma vez que a escala deste novo mapa é 1:10.000, muito maior do que a do mapa pedológico recebido da Prefeitura Municipal de Antônio Carlos, o qual apresenta escala de 1:75.000.

A escala do novo mapa pedológico é a mesma que a do mapa de curvas de nível, uma vez que este último serviu de subsídio para a elaboração do primeiro.

Figura 39. Determinação da fronteira entre as unidades pedológicas.



Fonte: Autor.

4.2.2. Elaboração do Mapa Geotécnico Preliminar

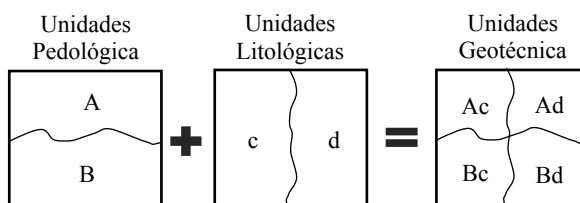
A metodologia para a elaboração do mapa geotécnico segue os preceitos da metodologia proposta por Davison Dias (1995).

Relembrando, a metodologia utiliza-se principalmente do cruzamento dos mapas litológico e pedológico e indicações de comportamento do solo para que se obtenha um terceiro mapa de estimativa de comportamento dos solos, o mapa geotécnico.

Desta forma, para a construção do mapa geotécnico do município em questão, foram empregados mapas litológico e pedológico como base para a geração do Mapa de Estimativa de Unidades Geotécnicas.

As unidades geotécnicas preliminares foram identificadas a partir do cruzamento dos mapas pedológico gerado conforme os procedimentos explicados no item anterior e o mapa litológico fornecido pelo Departamento de Geociências da UFSC (preexistente). O procedimento exemplificado da obtenção das unidades geotécnicas preliminares é mostrado na Figura 40.

Figura 40. Processo de cruzamento de mapas.

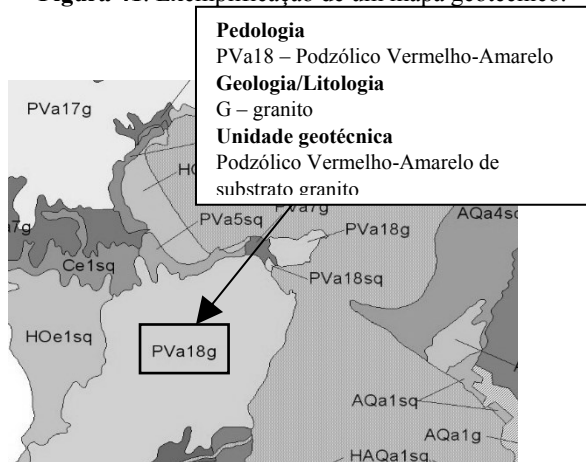


Fonte: Autor.

O simples cruzamento dos mapas litológico e pedológico resulta no mapa de unidades geotécnicas preliminares que levam o nome da unidade pedológica e da unidade geológica, conforme exemplificado na Figura 41.

Algumas incompatibilidades podem surgir no cruzamento dos mapas, as quais precisam ser analisadas.

Figura 41. Exemplificação de um mapa geotécnico.



Fonte: Higashi (2006).

4.2.3. Aferição das Unidades Geotécnicas do Mapa Preliminar

No processo de elaboração do mapa geotécnico preliminar, pode ocorrer o surgimento de incompatibilidades na relação solo e rocha de origem, ou seja, unidades geotécnicas compostas por solos residuais e substrato de rocha sedimentar e vice-versa.

Como visto, na área urbana de Antônio Carlos são encontrados solos Podzólico Vermelho-Amarelo residuais de rochas graníticas e de gnaiss e Gleissolo, originado da sedimentação de partículas de solos transportadas por meio de algum agente, como água ou vento por exemplo.

O surgimento de incompatibilidades ocorre, principalmente, nas áreas de fronteiras entre as unidades geotécnicas.

As unidades geotécnicas encontradas no processo de cruzamento dos mapas pedológico e litológico foram Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granito (1), Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato gnaiss (2), Gleissolo de substrato sedimentos quaternários (3), Gleissolo

de substrato granito (4), Gleissolo de substrato gnaisse (5) e Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato sedimentos quaternários (6). Dessas, apenas as unidades (1), (2) e (3) se mostram coerentes com a relação solo/rocha de origem.

As unidades (4), (5) e (6) apresentam incompatibilidades na relação solo/rocha de origem e foram aferidas.

O processo de aferição foi feito por meio de expedições a campo nas áreas onde há ocorrência de incompatibilidades. Nessas regiões foram executados furos de tradagem para verificar qual o tipo de solo encontrado na unidade geotécnica incoerente. O solo foi avaliado por meio de análise tátil, em que foi analisada a textura, e análise visual, na qual foi analisada a cor.

Depois que todas as incompatibilidades foram verificadas, obteve-se o mapa geotécnico final da área urbana de Antônio Carlos.

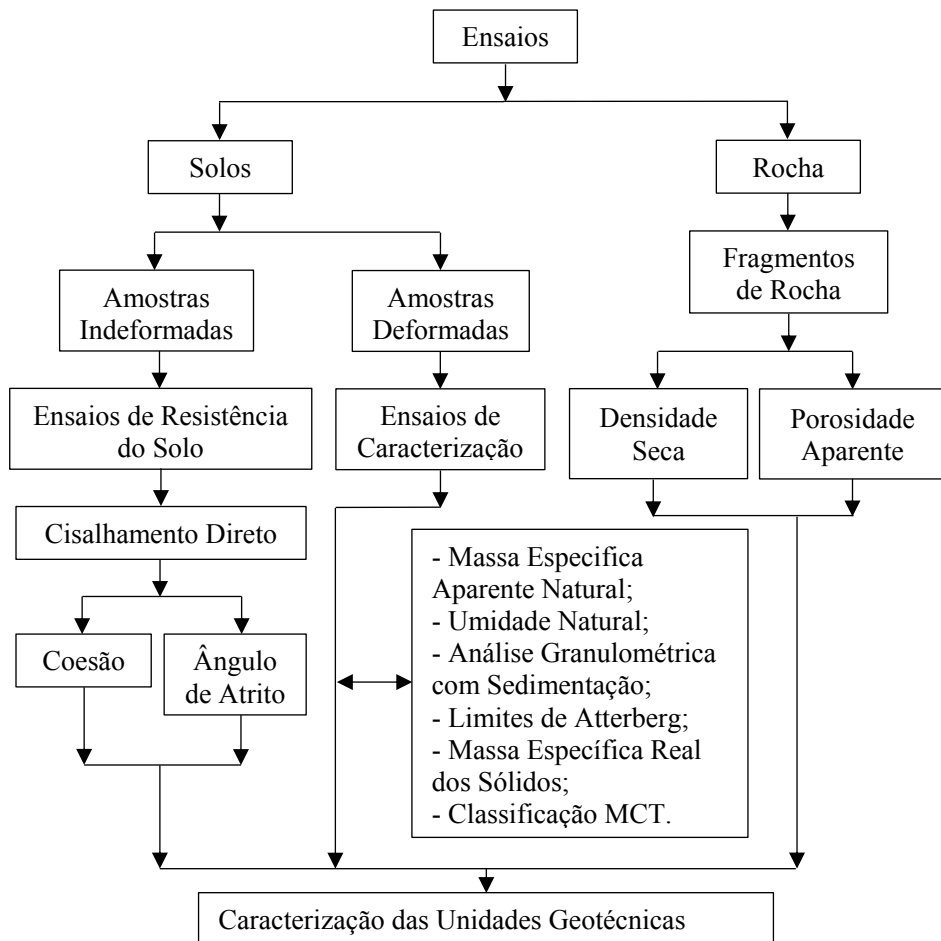
Com a elaboração do mapa geotécnico, deve-se determinar os pontos de coleta de amostras de solo para a execução de ensaios laboratoriais afim de caracterizar o solo das unidades.

4.3. Ensaios Laboratoriais

Ensaios laboratoriais foram executados com o intuito de caracterizar as unidades geotécnicas e, assim, compreender o comportamento geomecânico das mesmas.

As atividades elaboradas nesta etapa estão ilustradas na Figura 42.

Figura 42. Fluxograma da etapa de ensaios laboratoriais.



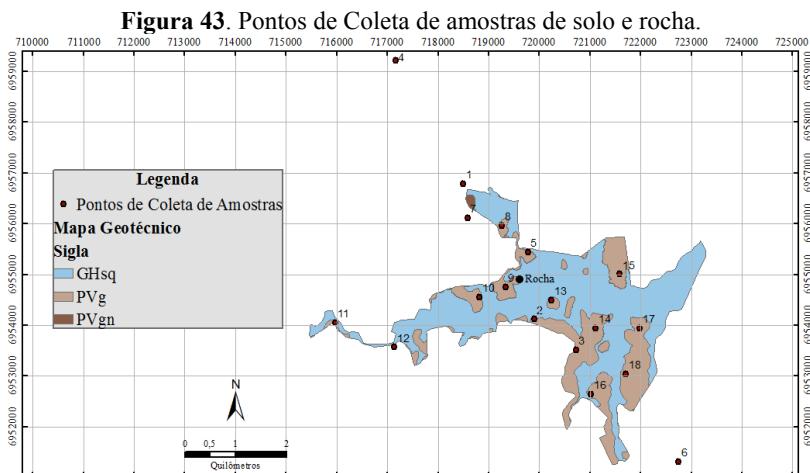
Fonte: Autor.

4.3.1. Coleta de Amostras

A metodologia proposta por Davison Dias (1995) sugere que solos oriundos da mesma unidade geológica/pedológica apresentam comportamento semelhante. Desta forma, os resultados obtidos para um ponto de estudo contido em uma unidade são passíveis de extrapolação para toda a unidade em questão.

Entretanto, optou-se pela coleta de amostras espaçadas regularmente dentro da área urbana da cidade para amenizar as possíveis diferenças entre as propriedades dos solos, uma vez que estes podem ser considerados meios heterogêneos e apresentam comportamento variável. Nesta pesquisa, priorizou-se a coleta de amostras em encostas, o que possibilita a geração de parâmetros necessários para a análise de suscetibilidade a deslizamentos rasos.

A Figura 43 apresenta a localização espacial dos pontos de coleta de amostras, cujas coordenadas UTM seguem apresentadas na Tabela 16.



Fonte: Autor.

Ao todo, foram coletadas 18 amostras de solo das encostas presentes na área urbana do município. Ressalta-se que estes pontos de coleta de amostras não são correspondentes com aqueles nos quais foram executados furos de tradagens, uma vez que estes serviram apenas para identificar a fronteira entre as unidades geotécnicas e aqueles foram coletados no interior das unidades afim de diminuir a possibilidade de erros na coleta do solo.

Os pontos coletados correspondem a unidade pedológica Podzólico Vermelho-Amarelo, solo encontrado nas encostas da área urbana do município. A Figura 43 mostra que alguns pontos se encontram um pouco fora da área de estudo. Isso ocorreu devido as dificuldades para acessar algumas regiões, então optou-se pela coleta de amostras nas proximidades da encosta a ser estudada. Além disso, devido à grande concentração de amostras na área urbana, optou-se por coletar amostras de solo em encostas que se estendem para além dos limites urbanos do município, afim de se especializar os parâmetros de resistência. Entretanto, todos solos analisados correspondem a mesma unidade pedológica.

Tabela 16. Localização dos pontos de coleta de amostras de solo.

Ponto	Coordenadas UTM		Ponto	Coordenadas UTM	
	E [m]	S [m]		E [m]	S [m]
01	718.493	6.956.786	10	718.819	6.954.550
02	719.899	6.954.114	11	715.971	6.954.051
03	720.726	6.953.513	12	717.135	6.953.567
04	717.162	6.959.216	13	720.246	6.954.490
05	719.776	6.955.436	14	721.117	6.953.943
06	722.752	6.951.305	15	721.591	6.955.002
07	718.582	6.956.108	16	721.018	6.952.639
08	719.264	6.955.964	17	721.991	6.953.945
09	719.334	6.954.753	18	721.716	6.953.038

Fonte: Autor.

Para a execução dos ensaios de resistência, foram coletadas amostras indeformadas de solo. Para isso, utilizou-se moldes de seção quadrada de, aproximadamente, 10cm de lado e altura de 2cm, conforme ilustrado pela

Figura 44. Para os ensaios de caracterização dos solos, foram coletadas amostras deformadas de aproximadamente 1kg de solo.

Além da coleta de amostras de solo, foi coletada uma amostra de granito, da formação Granito São Pedro de Alcântara, para a caracterização da rocha. A Figura 45 mostra o afloramento de granito encontrado na área urbana do qual foram coletados fragmentos para realização de ensaios de caracterização. As coordenadas UTM do afloramento são: 719.570m (leste) e 6.954.876m (sul). Não foram

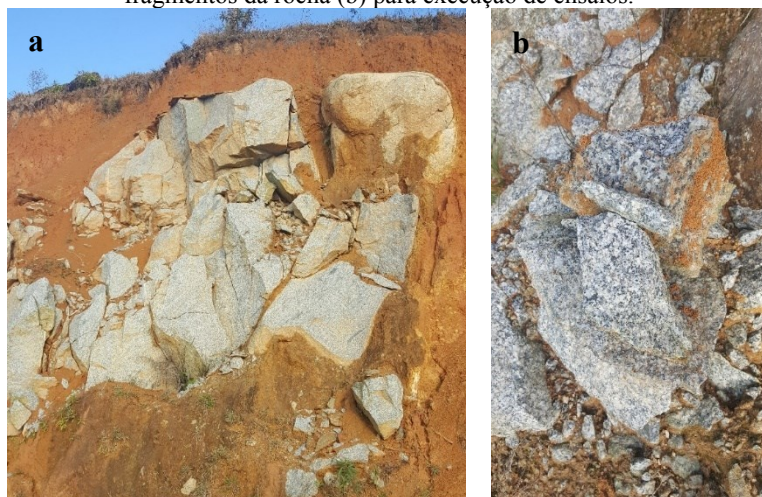
localizados afloramentos rochosos das demais formações geológicas para a caracterização.

Figura 44. Exemplo de coleta de amostra indeformada (Ponto 11).



Fonte: Autor.

Figura 45. Afloramento de Granito São Pedro de Alcântara (a) e coleta de fragmentos da rocha (b) para execução de ensaios.



Fonte: Autor.

4.3.2. Ensaios de Resistência dos Solos

O ensaio para a determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento dos solos (intercepto coesivo e ângulo de atrito interno) utilizado nesta pesquisa foi o ensaio de cisalhamento direto.

O ensaio de cisalhamento direto é baseado diretamente no critério de ruptura estabelecido por Mohr-Coulomb e foi executado neste trabalho com base na norma ASTM D3080. O objetivo do ensaio é determinar qual a tensão de cisalhamento capaz de provocar a ruptura de uma amostra de solo para a aplicação de estruturas de engenharia, estabilidade de encostas, entre outras.

O ensaio foi feito por meio de deformação controlada, na qual uma taxa constante de deslocamento cisalhante é aplicada à amostra, e na condição inundada.

Normalmente, o ensaio de cisalhamento direto é realizado na condição consolidado drenado, na qual ocorre a dissipação do excesso de pressão neutra. Sendo assim, os parâmetros de resistência obtidos são efetivos.

Entretanto, para esta pesquisa, buscou-se simular a condição de drenagem que ocorreria no solo no momento da ruptura da encosta. Para o caso de taludes compostos por solos argilosos, a condição de drenagem imposta durante o ensaio foi parcialmente drenada, uma vez que a velocidade de ruptura que acontecerá em campo não permitirá a dissipação das pressões neutras. Em contrapartida, para taludes de solos arenosos, a condição de ensaio foi drenada, pois, nesse caso, a permeabilidade do solo é alta o suficiente para permitir que a ruptura ocorra de forma drenada, ou seja, permitirá a dissipação das pressões neutras.

Sendo assim, a taxa de deslocamento da caixa cisalhante aplicada na execução dos ensaios de cisalhamento direto nesta pesquisa foi de 0,307mm/min, a qual atende as condições impostas anteriormente.

Ressalta-se que este ensaio impõem um plano de ruptura horizontal às amostras ensaiadas, como pode ser visto na Figura 46.

Figura 46. Amostras de solo após a execução do ensaio de cisalhamento direto: ponto 7 (a) e ponto 14 (b).



Fonte: Autor.

4.3.3. Ensaios de Caracterização dos Solos

As amostras de solo deformadas foram utilizadas para a execução de ensaios de caracterização e obtenção dos índices físicos das amostras.

Embora a norma tenha sido atualizada em julho de 2016, a preparação das amostras de solo para os ensaios de caracterização seguiu as diretrizes contidas na norma NBR 6457/86 (Amostras de Solos – Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização), uma vez que os ensaios foram executados na época em que esta norma estava vigente.

Os ensaios de caracterização realizados nesta pesquisa para obtenção dos índices físicos das amostras foram:

a. Massa específica Aparente Natural

A massa específica aparente natural foi determinada com base na massa da amostra indeformada de solo com teor de umidade natural e no volume do molde metálico utilizado para coletar as amostras (para este estudo, as dimensões do molde eram de 10,16cmx10,16cmx2cm).

b. Teor de Umidade Natural

O teor de umidade natural foi determinado pelo método da estufa (NBR 6457/86), onde 3 (três) amostras de cada ponto coletado foram ensaiadas. O teor de umidade natural adotado por este trabalho é a média dos resultados obtidos para cada ponto.

c. Análise Granulométrica com Sedimentação

A obtenção da curva granulométrica dos solos analisados foi feita por meio da análise granulométrica com sedimentação, conforme a norma NBR 7181/88 (Solo – Análise Granulométrica).

d. Limites de Atterberg

A determinação dos limites de Atterberg, limite de liquidez e limite de plasticidade, foram executadas conforme as normas NBR 6459/84 (Solo – Determinação do Limite de Liquidez) e NBR 7180/84 (Solo – Determinação do Limite de Plasticidade).

e. Massa Específica Real dos Sólidos

O ensaio para a determinação da massa específica real dos grãos de solo foi feito de acordo com a norma NBR 6508/84 (Grãos de Solos que Passam na Peneira de 4,8mm – Determinação da Massa Específica).

f. Classificação MCT – Método expedito das pastilhas

Não há norma regulamentadora para oferecer as diretrizes para a realização do ensaio para a classificação MCT. Portanto, os procedimentos do ensaio são descritos a seguir.

4.3.4. Classificação MCT – Método Expedito das Pastilhas

A metodologia MCT (Miniatura Compactada Tropical) é usada para classificar os solos tropicais tendo como base ensaios conduzidos em corpos de prova de dimensões reduzidas.

De acordo com Sant’Ana (2002), a classificação MCT mostra-se muito adequada aos solos dos países tropicais, porém, a crítica referente

a complexidade dos seus ensaios, a experiência adquirida dos profissionais de laboratório com a metodologia tradicional, os investimentos em novos equipamentos e o próprio custo desses ensaios, fizeram com que os pesquisadores da metodologia MCT buscassem caminhos mais simplificados que, igualmente, atingissem os objetivos desejados.

De uma forma geral, estas pesquisas apresentam estudos relativos ao uso de pastilhas de solos moldadas em anéis de diâmetro de 20mm por 5mm de altura sob condições específicas, culminando na classificação de amostras quanto à classe de solos tropicais.

Esta classificação proposta correlaciona a contração das pastilhas com o coeficiente c' e a penetração com o índice e' . Os autores concluíram que, de certa forma, a contração e a penetração nos solos sintetizam o seu comportamento quando aplicado na pavimentação. A contração se correlaciona com a compressibilidade dos solos compactados e a penetração correlaciona-se com a coesão e resistência do solo quando em presença de água (NETO, 2004).

Godoy (2000 e 1997) apresentou um sistema de classificação de solos a partir da moldagem de pastilhas e esferas. O objetivo principal da criação deste ensaio foi a necessidade de um método expedito de campo que faça a distinção do comportamento geotécnico dos solos tropicais, proporcionando uma hierarquização preliminar das amostras de solo ainda na fase de coleta dos mesmos. Como não se tem uma norma vigente no Brasil, faz-se aqui o detalhamento do procedimento tomado na execução do ensaio MCT.

4.3.4.1. Procedimento

O procedimento e os equipamentos para a realização dos ensaios visando a caracterização do solo com base na metodologia MCT (método das pastilhas), são apresentados tal qual Sant'Ana (2002) e descritos nesta seção, visto que não é de uso comum na Mecânica dos Solos.

Os equipamentos utilizados para a execução deste ensaio podem ser divididos da seguinte forma:

- Equipamentos convencionais: almofariz, proveta, peneiras (número 40), balança 5kg, placa de vidro despolido, espátula e papel filtro;
- Equipamentos específicos: anéis de PVC rígido, teflon ou similar com 20 mm de diâmetro interno e 5 mm de altura, mini-

penetrômetro com ponta plana e corpo cilíndrico de 1,3 mm de diâmetro e peso total de 10g, placas de teflon de cerca de 1 mm de espessura, escala de precisão graduada em mm, placa de pedra porosa.

Para a execução do ensaio devem-se peneirar aproximadamente 70g de material passante na peneira de abertura 0,42mm de uma amostra de solo previamente seca ao ar.

Adiciona-se água a este material e espatula-se intensamente até obter consistência adequada. Esta consistência é representada pela penetração de 1mm do mini-penetrômetro.

Da pasta obtida pela mistura de solo e água, determina-se o seu teor de umidade e retira-se a quantidade de material suficiente para moldar uma esfera de 1cm de diâmetro, aproximadamente. Esta pasta irá preencher um anel que repousará previamente na placa de teflon. A energia para a colocação e acomodação do material no interior do anel, deverá ser tal que permita o preenchimento de modo homogêneo de todos os espaços do anel, inclusive a parte inferior.

Preenche-se um mínimo de quatro anéis para cada amostra. Do material restante, confeccionam-se duas esferas de cerca de 20mm de diâmetro. Todo o material, anéis e esferas deverão ser secos em estufa a 60° C durante um período de 6 horas, no mínimo.

As medidas e observações para a classificação do solo são realizadas após a retirada dos anéis e das esferas da estufa, medindo-se radialmente após equilíbrio térmico, a contração do diâmetro do solo em relação ao diâmetro interno do anel. Isto produzirá um valor médio de contração diametral em milímetros.

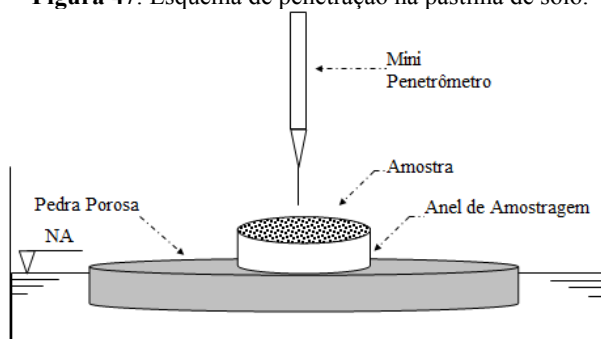
Em seguida, os anéis e respectivos materiais são colocados sobre papel filtro em uma pedra porosa saturada até que a carga hidráulica atinja (-) 5mm. Anota-se o tempo decorrido até que a superfície das amostras fique tomada pela frente úmida. O material permanece em repouso sobre a pedra porosa durante pelo menos 2 horas, período em que as alterações observadas na superfície das pastilhas como trincamentos, inchamentos e abaulamentos são anotadas.

Findado este tempo, mede-se a profundidade alcançada pela penetração do mini-penetrômetro na pastilha do solo, tomando-se o cuidado para que este se mantenha na posição vertical e atue sob peso próprio, após ser cuidadosamente disposto em contato com a superfície do solo, conforme apresentado na Figura 47.

Deve-se observar que o posicionamento do mini-penetrômetro deve ser o mais afastado possível dos bordos do anel e, em caso de mais

uma penetração em uma mesma pastilha, deve-se manter distância entre as penetrações convenientes.

Figura 47. Esquema de penetração na pastilha de solo.



Fonte: Nogami e Villibor (1994 e 1996).

Das duas esferas de 20mm de diâmetro confeccionadas e secas em estufa, a primeira é imersa em água, observando o seu comportamento, que, segundo Godoy (1997) poderá ser um dos seguintes:

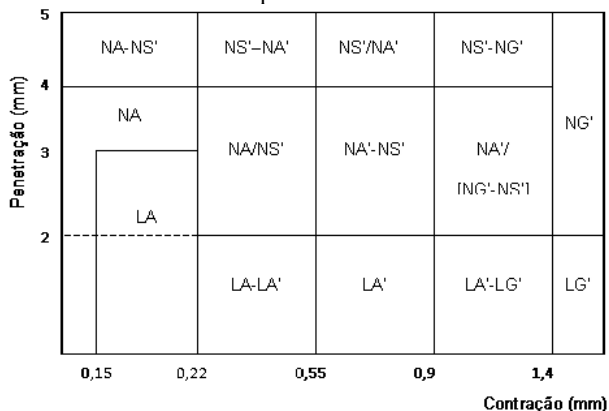
- A esfera se desagrega nos primeiros 10 segundos de imersão e as partículas de solo resultantes podem ser identificadas;
- A esfera se desagrega em partículas em até 2 horas e as partículas de solo podem ser identificadas;
- A esfera rompe-se em blocos milimétricos;
- A esfera de solo se trinca ou não se altera.

A outra esfera será submetida ao esmagamento com o auxílio do polegar, podendo ocorrer as seguintes situações:

- A esfera é quebrada sob pressão do polegar e indicador;
- A esfera é quebrada sob pressão do dedo polegar em uma superfície plana;
- A esfera não se quebra.

Os dados obtidos de contração da pastilha de solo e penetração do mini-penetrômetro, são inseridos no gráfico da Figura 48. O símbolo “-“ utilizado em alguns casos separa opções equivalentes quanto ao grupo de solo, e o “/”, separa opções com menor grau de incidência.

Figura 48. Gráfico para a determinação expedita MCT pelo método das pastilhas.



Fonte: Nogami e Villibor (1994 e 1996).

O significado das siglas presentes no gráfico da Figura 48 é:

LG': argilas Lateríticas e argilas Lateríticas arenosas;

LA': areias argilosas Lateríticas;

LA: areias com pouca argila Laterítica;

NG': argilas, argilas siltosas e argilas arenosas não-Lateríticas;

NS': siltes caulínticos e micáceos, siltes arenosos e siltes argilosos não-Lateríticos;

NA': areias siltosas e areias argilosas não-Lateríticas;

NA: areias siltosas com siltes quartzosos e siltes argilosos não-Lateríticos

4.3.5. Ensaios de Caracterização das Rochas

Uma caracterização simplificada foi realizada com as amostras de granito coletada na área de estudo. Foram realizados ensaios para a determinação da densidade seca da rocha e da porosidade aparente.

A execução dos ensaios seguiu as diretrizes do método sugerido para a determinação da porosidade/densidade utilizando técnicas de saturação e de fluabilidade, da *International Society for Rock Mechanics* (ISRM, 1977).

O procedimento do ensaio é descrito a seguir:

- Uma amostra representativa, composta por, pelo menos, 10 fragmentos de geometria regular ou irregular, de no mínimo 50 gramas cada ou com dimensão mínima de ao menos 10 vezes o tamanho do maior grão, o que for maior é selecionada. A amostra deve ser lavada com água para remover a poeira;
- A amostra é saturada por meio de imersão em vácuo de 800Pa (6torr) por, no mínimo, 1 hora, agitando periodicamente para remover o ar aprisionado;
- A amostra é então transferida para a cesta e imersa em água. A massa saturada-submersa (M_{sub}) é determinada com uma precisão de 0,01g por meio da diferença entre a massa saturada submersa da cesta mais a amostra e da massa apenas da cesta;
- O recipiente com tampa deve ser limpo e seco, e sua massa **A** é determinada;
- A amostra é removida da água e deve-se secar a superfície, tomando cuidado para remover apenas a água superficial e se assegurar para que nenhum fragmento de rocha seja perdido. A amostra é colocada no recipiente, a tampa é então colocada e a massa **B** da amostra saturada mais o recipiente é determinada;
- A tampa é retirada e a amostra é levada para estufa para secar (105°C) até obter-se constância nas medições da massa. Retira-se o recipiente da estufa, coloca-se a tampa e deve-se aguardar alguns minutos para resfriamento da amostra. A massa **C** da amostra seca mais o recipiente é determinada.

Cálculos Efetuados

$$\text{Massa Saturada (M}_{sat}\text{):} \quad M_{sat} = B - A \quad (6)$$

$$\text{Massa dos Grãos (M}_s\text{):} \quad M_s = C - A \quad (7)$$

$$\text{Volume Total (V):} \quad V = \frac{M_{sat} - M_{sub}}{\rho_w} \quad (8)$$

$$\text{Volume de Vazios (V}_v\text{):} \quad V_v = \frac{M_{sat} - M_s}{\rho_w} \quad (9)$$

$$\text{Porosidade Aparente (n):} \quad n = \frac{V_v}{V} \cdot 100\% \quad (10)$$

$$\text{Densidade Seca da Rocha (\rho}_d\text{):} \quad \rho_d = \frac{M_s}{V} \quad (11)$$

Ao final do ensaio, obtêm-se a densidade da rocha seca e a porosidade aparente da rocha, uma vez que o ensaio não consegue contabilizar índice de vazios inacessível.

4.3.6. Caracterização das Unidades Geotécnicas

Uma vez concluída a etapa de realização de ensaios de laboratório nas amostras coletadas, os resultados foram incorporados ao mapa geotécnico, em ambiente SIG, caracterizando as unidades geotécnicas da área de estudo.

Com isso, obteve-se um banco de dados geotécnicos da área urbana de Antônio Carlos, no qual constam informações pedológicas e geológicas, caracterização dos solos e rochas, parâmetros de resistência dos solos e uma coletânea de mapas.

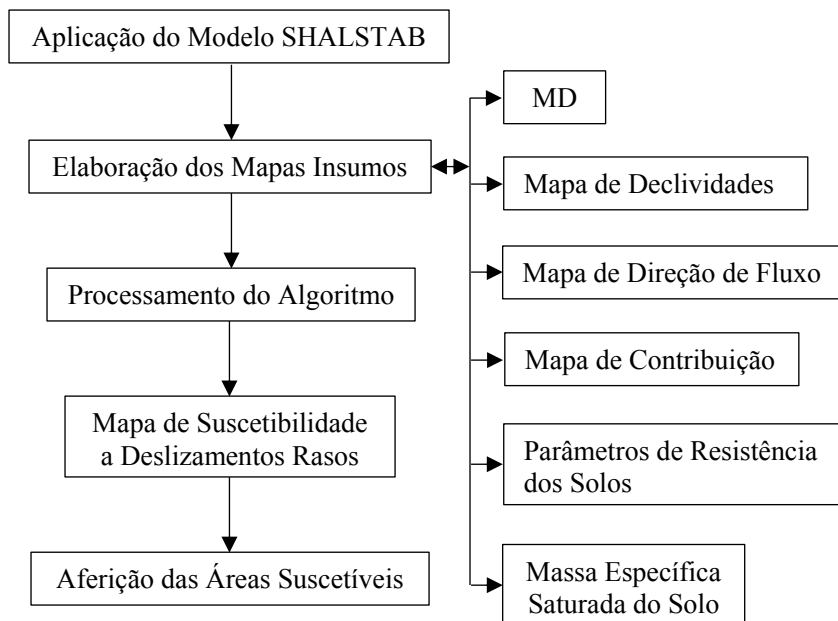
Ressalta-se a importância deste banco de dados, pois servirá de subsídio para estudos futuros que possam vir a ser elaborados nesta região.

4.4. Modelo SHALSTAB

A previsão das áreas suscetíveis a deslizamentos rasos da área de estudo foi feita por meio da aplicação do modelo SHALSTAB.

A Figura 49 apresenta o fluxograma com o procedimento seguido para a elaboração do mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos da área urbana de Antônio Carlos.

Figura 49. Fluxograma da aplicação do modelo SHALSTAB.



Fonte: Autor.

4.4.1. Aplicação do Modelo SHALSTAB

Para simplificar a aplicação do modelo, Michel (2013) desenvolveu um algoritmo que pode ser aplicado no *software* ArcMap. O principal objetivo do autor foi inserir mais duas variáveis na equação do SHALSTAB, uma de coesão de raízes e outra de peso de vegetação. Com esse algoritmo, tem-se a possibilidade de tornar espaciais os parâmetros

geotécnicos em função das respectivas unidades geotécnicas que forem encontradas na área de estudo.

Para esta pesquisa, os valores adotados para as duas variáveis foram retirados de Wu *et al.* (1979 *apud* TABALITA e FIORI, 2008). Para a coesão de raízes foi considerado um valor de 5,9kPa e para o peso de vegetação foi adotado um valor de 5,2kPa. Esses valores são referentes à tipologias de florestas e áreas de vegetação rupestre e campos.

Michel (2013) afirma que a coesão de raízes, que contribui para elevar a resistência ao cisalhamento do solo, atua somente até uma profundidade de 3m, sendo que a partir desta profundidade o valor da coesão de raízes tende a zero.

O algoritmo consiste na aplicação das equações do modelo SHALSTAB em ambiente SIG, onde mapas da área de estudo correspondem às variáveis das equações.

4.4.2. Elaboração dos Mapas Insumos

Conforme visto, as variáveis do modelo SHALSTAB podem ser utilizadas como mapas, chamados de mapas insumos, pois fornecem subsídios necessários para o processamento do modelo. Os mapas necessários para a aplicação do modelo são:

a. Modelo Digital do Terreno

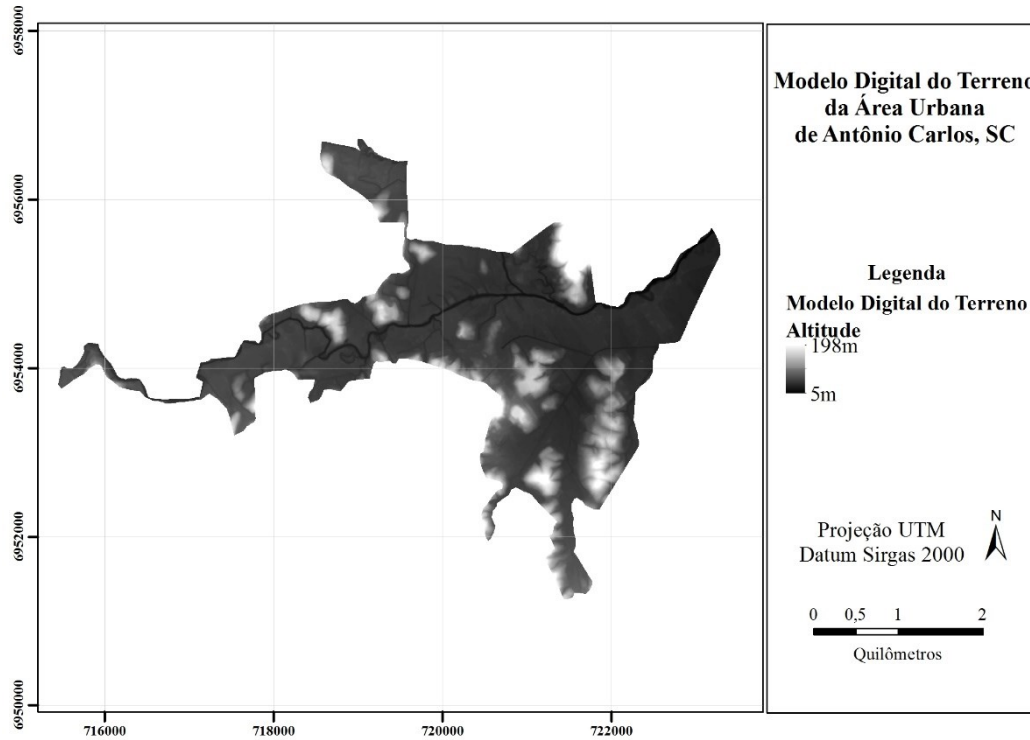
O MDT da área urbana de Antônio Carlos (Figura 50) foi elaborado pelo Departamento de Geociências da UFSC e adaptado pelo autor. Os *pixels* do mapa têm dimensão de 1m de lado e sua escala de detalhamento é 1:10.000.

b. Mapa de Declividades

Por meio do MDT, foi gerado o mapa de declividades da área de estudo, o qual está apresentado na Figura 51.

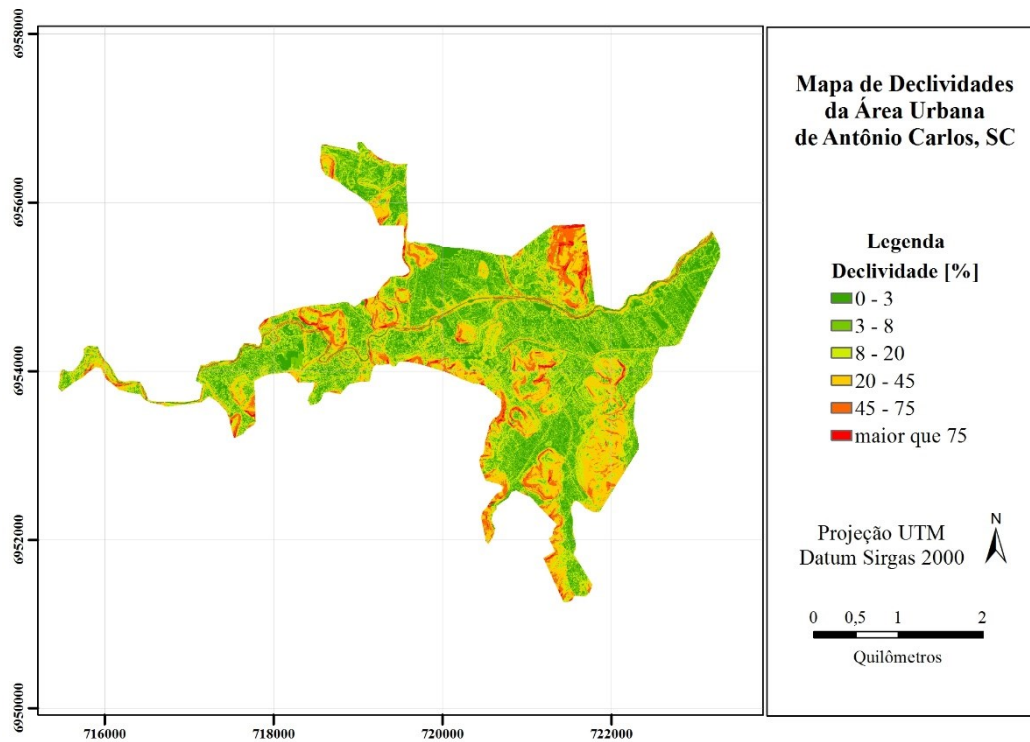
As classes de relevo foram baseadas no Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos da EMBRAPA (Tabela 16), que é comparável as declividades utilizadas pela metodologia de Davison Dias (1995). A escala de detalhamento do mapa apresentado na Figura 51 é 1:10.000.

Figura 50. Modelo Digital do Terreno.



Fonte: Departamento de Geociências da UFSC (adaptado pelo autor).

Figura 51. Mapa de Declividades.



Fonte: Autor.

Tabela 17. Classes de relevo baseado no Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos.

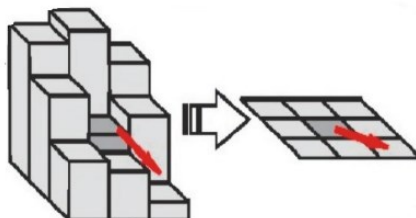
Classes de Relevo	Declividade (%)
Plano	0 a 3
Suave ondulado	3 a 8
Ondulado	8 a 20
Forte ondulado	20 a 45
Montanhoso	45 a 75
Escarpado	Maior que 75

Fonte: Modificado de EMBRAPA (1999).

c. Mapa de Direção de Fluxo

O mapa de direções de fluxo representa a direção do escoamento da água, analisando-se as células vizinhas do MDT, como pode ser observado na Figura 52.

Figura 52. Representação do fluxo d'água em função das células vizinhas.

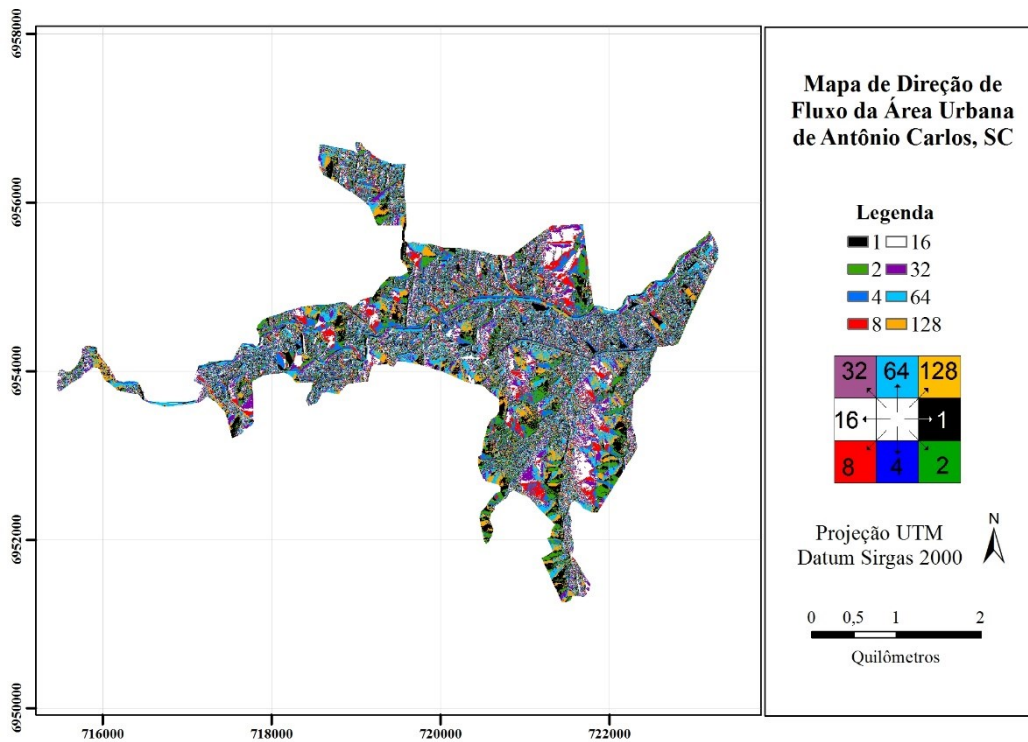


Fonte: Carvalho *et al.* (2010).

Para a elaboração do mapa, foi utilizada a ferramenta de direção de fluxo do TauDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models – Análise do terreno usando Modelo Digital de Elevação), desenvolvida pelo Grupo de Pesquisa Hidrológica da Utah State University (Estados Unidos) (TARBOTON, 2003), tomando-se como base o MDT da área urbana de Antônio Carlos.

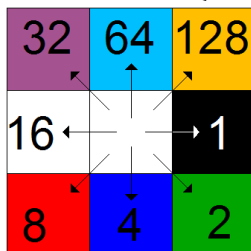
No mapa de direção de fluxo, apresentado na Figura 53, com escala de detalhamento 1:10.000 e cada cor e valor apresentado na legenda corresponde a um vetor de direção de fluxo, como apresentado na Figura 54.

Figura 53. Mapa de Direção de Fluxo.



Fonte: Autor.

Figura 54. Vetores de direção de fluxo.

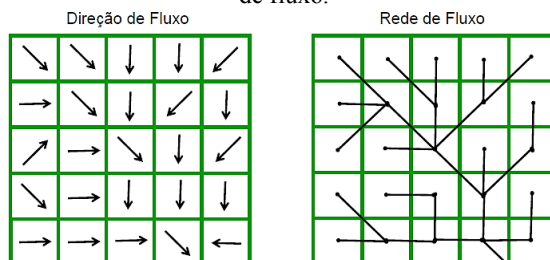


Fonte: Bortoloti (2013, adaptado pelo autor).

d. Mapa de Contribuição

O mapa de contribuição representa o parâmetro a/b (área de contribuição por comprimento de contorno unitário) da Equação (3). Este mapa consiste na criação de uma superfície de acúmulo de fluxo a partir da direção de fluxo, conforme apresentado na Figura 55.

Figura 55. Criação de uma superfície de acúmulo de fluxo a partir das direções de fluxo.



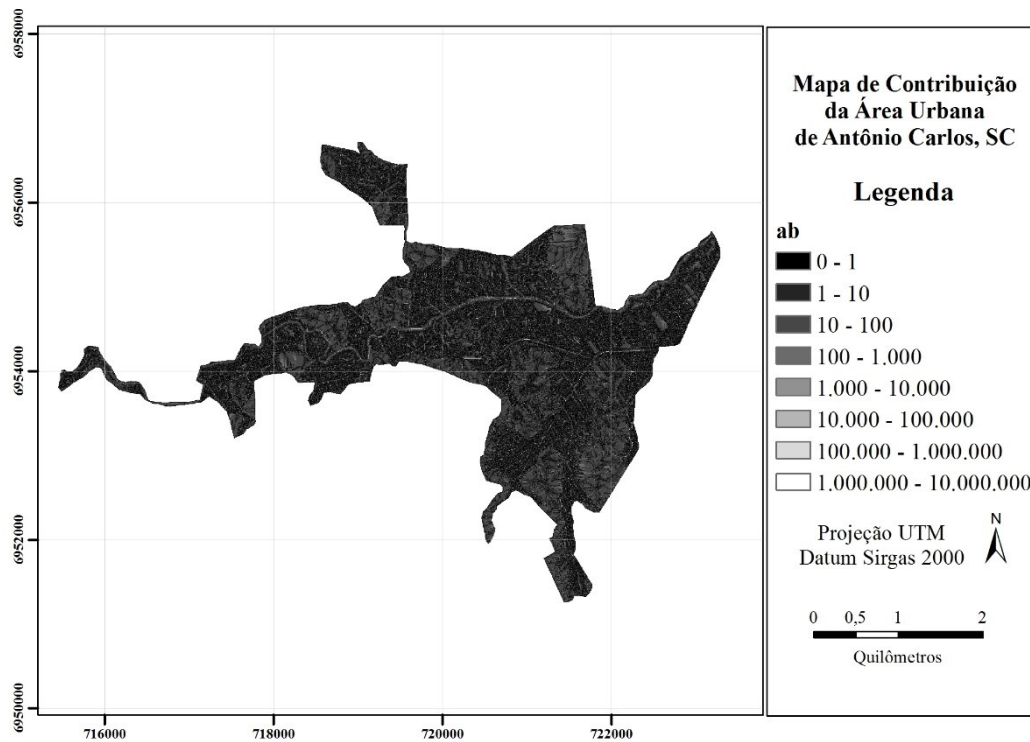
Fonte: Bortoloti (2013).

Dessa forma, é gerada a rede de acumulação de fluxo, formando a rede de drenagem da área urbana do município de Antônio Carlos.

Para a elaboração do mapa, foi utilizada a ferramenta de acumulação de fluxo do TauDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models – Análise do terreno usando Modelo Digital de Elevação), desenvolvida pelo Grupo de Pesquisa Hidrológica da Utah State University (Estados Unidos) (TARBOTON, 2003), tomando-se como base o mapa de direções de fluxo da área urbana de Antônio Carlos.

O mapa de contribuição é apresentado na Figura 56, com escala de detalhamento 1:10.000.

Figura 56. Mapa de Contribuição.



Fonte: Autor.

e. Estimativa da Massa Específica Saturada do Solo

O mapa de estimativa da massa específica saturada do solo foi elaborado por meio extrapolação da média dos resultados obtidos dos ensaios de laboratório executados nas amostras de solo coletadas em pontos da unidade geotécnica para toda a referida unidade.

O mapa é mostrado na Figura 57, apresentando escala de detalhamento 1:10.000.

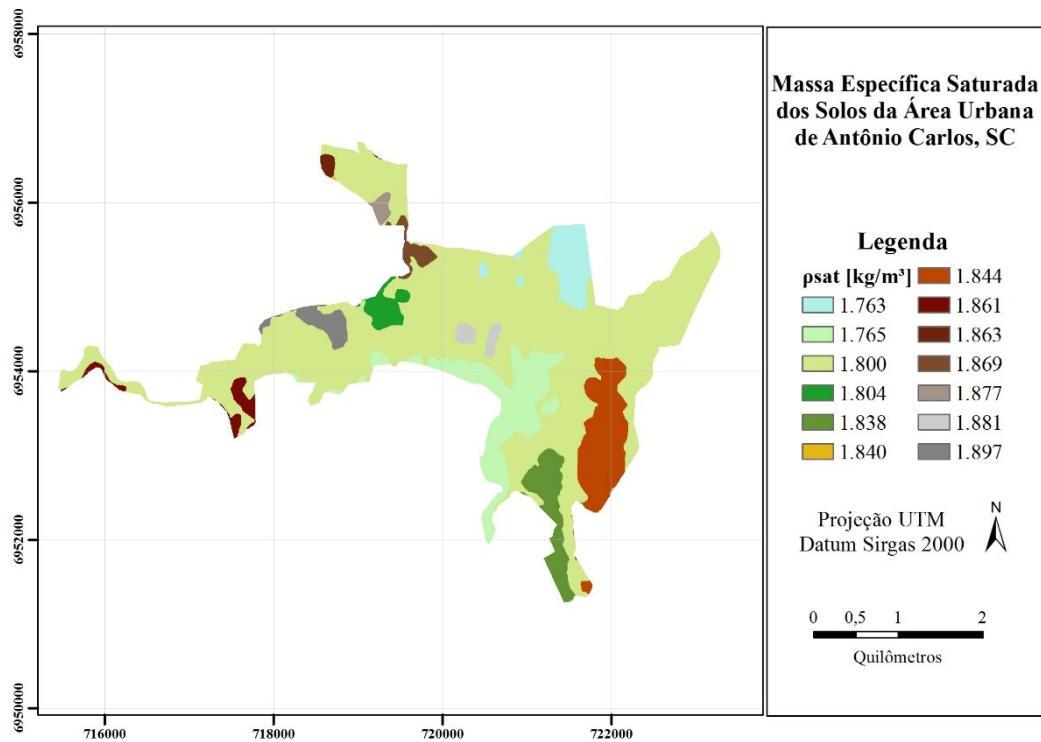
f. Estimativa do Ângulo de Atrito Interno do Solo

O mapa de estimativa do ângulo de atrito do solo foi elaborado da mesma forma que o anterior e está apresentado na Figura 58, na escala de detalhamento 1:10.000.

g. Estimativa da Coesão dos Solos

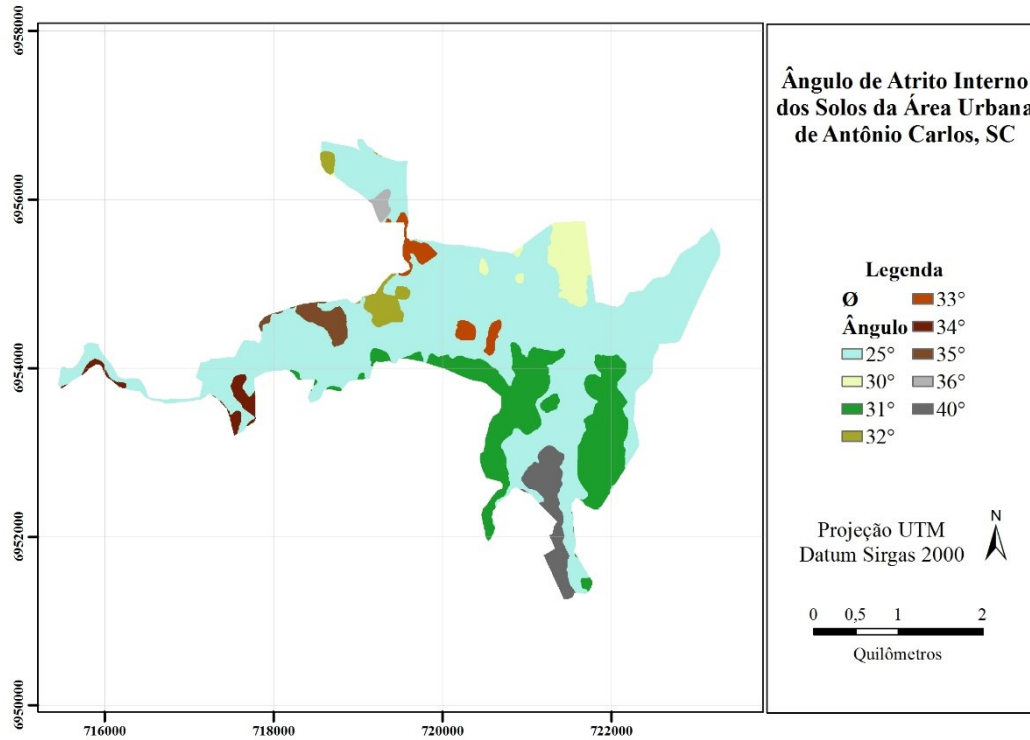
O mapa de estimativa da coesão do solo foi elaborado da mesma forma que o anterior e está apresentado na Figura 59, na escala de detalhamento 1:10.000.

Além desses mapas, também se aplicam as variáveis outrora citadas: peso de vegetação e coesão das raízes.

Figura 57. Mapa de estimativa da Massa Específica Saturada do Solo.

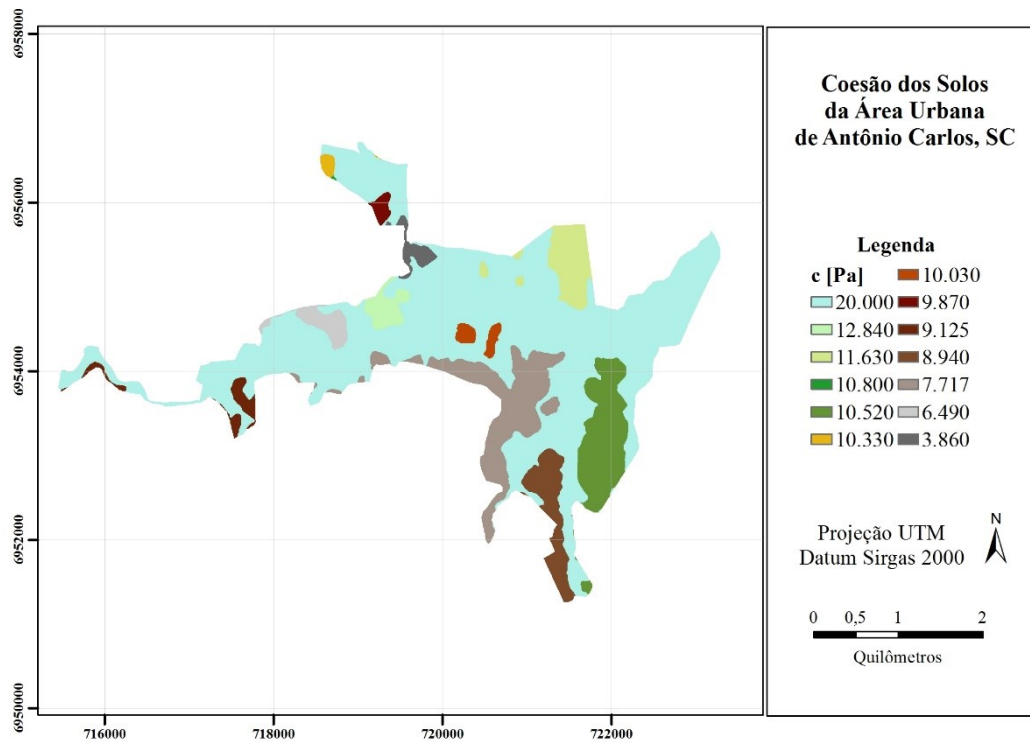
Fonte: Autor.

Figura 58. Mapa de estimativa do Ângulo de Atrito Interno do Solo.



Fonte: Autor.

Figura 59. Mapa de estimativa da Coesão do Solo.



Fonte: Autor.

4.4.3. Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos Rasos

Após determinadas todas as variáveis que compõem o modelo SHALSTAB, foi realizado o processamento do algoritmo criado por Michel (2013).

Para o cenário analisado, foi considerada uma profundidade de ruptura de 5 metros, no limite entre deslizamentos rasos e profundos. Nessa profundidade, a coesão das raízes da vegetação das encostas não influencia significativamente a resistência ao deslizamento.

O resultado obtido após o processamento do algoritmo corresponde ao mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos da área urbana de Antônio Carlos.

O mapa é apresentado em classes de estabilidade, variando de incondicionalmente instável e saturado até incondicionalmente estável e não saturado, conforme exposto na Tabela 10.

4.4.4. Aferição das Áreas Suscetíveis a Deslizamentos

O mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos elaborado conforme o modelo SHALSTAB, após ser elaborado, passou por um processo de aferição das áreas classificadas como instáveis, afim de validá-lo.

Por meio das ortofotos da área urbana de Antônio Carlos, as cicatrizes de deslizamentos de encostas que ocorreram no passado foram demarcadas. Esse procedimento foi executado com auxílio de SIG, por meio da interpretação e localização da cicatriz, onde traçou-se um polígono sobre a mesma afim de representá-la.

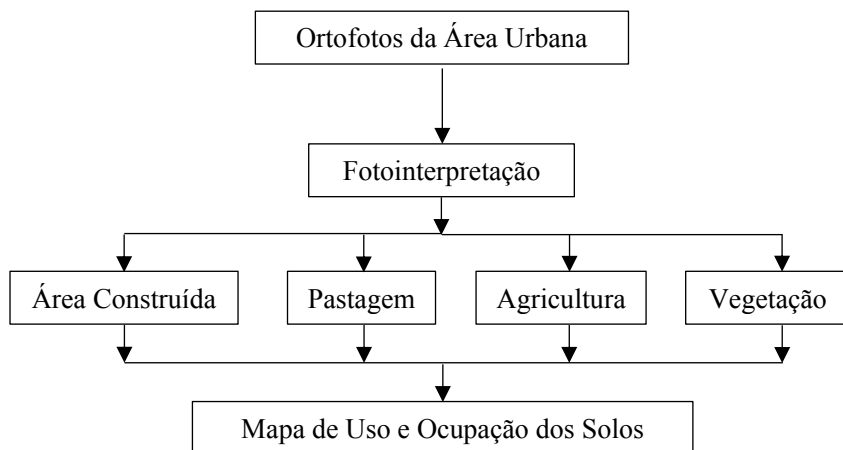
Com isso, fez-se a sobreposição das cicatrizes de deslizamentos e o mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos da área urbana de Antônio Carlos. Em seguida, as cicatrizes foram analisadas individualmente com o intuito de se determinar em qual classe de estabilidade ela se situou.

Ao fim desse processo, obteve-se a distribuição percentual das cicatrizes por cada classe de estabilidade que compõe o modelo SHALSTAB. Assim, verificou-se qual a localização predominante das cicatrizes com a intenção de aferir o mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos da área urbana de Antônio Carlos.

4.5. Uso e Ocupação dos Solos

A elaboração do mapa de uso e ocupação dos solos da área de estudo seguiu as etapas apresentadas na Figura 60.

Figura 60. Fluxograma para a elaboração do mapa de uso e ocupação dos solos.



Fonte: Autor.

O objetivo deste mapa é classificar as regiões conforme sua utilização. A classificação dessas áreas é feita com base no zoneamento das áreas, conforme o uso predominante a que se destinam. Infraestrutura instalada e fatores de ordem ambiental e urbanístico são condicionantes utilizados no processo de classificação.

O mapa foi elaborado por meio da fotointerpretação das fotografias aéreas da área urbana de Antônio Carlos.

A classificação do uso do solo teve como base o Sistema de Classificação do Uso da Terra, desenvolvido pelo IBGE (2013). O sistema é dividido em três níveis, definidos pela escala adotada para a classificação.

O nível I (classes), que contém cinco (5) itens, indica as principais categorias da cobertura terrestre no planeta, que podem ser discriminadas a partir da interpretação direta dos dados dos sensores remotos. Atendem aos usuários interessados em informações nacionais ou inter-regionais.

O nível II (subclasses), abrangendo 12 itens, traduz a cobertura e o uso em uma escala mais regional. Neste nível nem todas as categorias podem ser interpretadas com igual confiabilidade somente a partir de dados de sensores remotos, sendo necessário o uso de dados complementares e observações de campo.

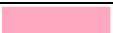




O nível III (unidades) explicita o uso da terra propriamente dito. Neste patamar é imprescindível a utilização de dados exógenos aos sensores remotos, como aqueles obtidos a partir de observações em campo, de inventários, entrevistas e documentação em geral.

O processo de interpretação das ortofotos foi realizado visualmente, com auxílio do ArcGIS. Utilizou-se o nível II de detalhamento do Sistema de Classificação do Uso da Terra. Nas fotografias aéreas foi possível identificar 5 classes de uso do solo:

- Área Urbanizada: classe que engloba todas as construções e loteamentos;
- Agricultura Temporária: Antônio Carlos destaca-se pela produção de hortaliças, classificadas como plantios temporários;
- Pastagem: áreas de várzea, vegetação rasteira e áreas destinadas à pecuária extensiva;
- Floresta: nesta classe há a predominância de regiões com mata nativa (Mata Atlântica);
- Corpos Hídricos: a rede hidrográfica da área urbana compõe esta categoria.

As cores que representam as classes de uso e ocupação do solo seguem o padrão adotado para o nível II de detalhamento do Sistema de Classificação, conforme IBGE (2013), e pode ser visto na Tabela 18.

Tabela 18. Padronização das cores do Sistema de Classificação do Uso da Terra para o nível II de detalhamento.

Classe	Cor
Área Urbanizada	
Agricultura Temporária	
Pastagem	
Floresta	
Corpos Hídricos	

Fonte: IBGE (2013).

Ao final da aplicação do método de classificação, obteve-se o mapa de uso e ocupação dos solos da área de estudos desta pesquisa. O

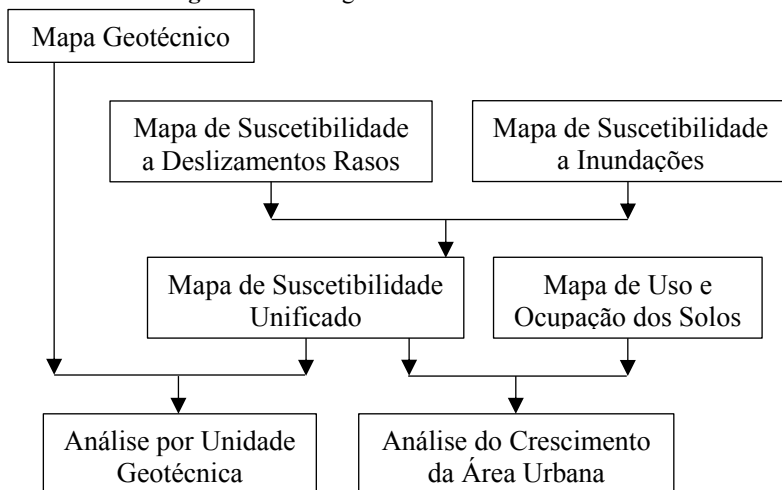
mapa elaborado apresenta escala de 1:10.000, uma vez que foi elaborado com base nas ortofotos da área urbana de Antônio Carlos, que apresentam a mesma escala.

Este mapa auxiliará no planejamento o uso e ocupação, visando a expansão da mancha urbana. O mapa de suscetibilidade a deslizamentos e o mapa de suscetibilidade de alagamentos são ferramentas que contribuem para esta análise.

4.6. Análise dos Resultados

Após a execução dos métodos descritos, elaborou-se diversos mapas da área urbana e características de seus solos. Na Figura 61 é exposto um fluxograma representado a análise dos resultados obtidos.

Figura 61. Fluxograma de análise dos resultados.



Fonte: Autor.

O mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos, o qual foi gerado por meio da aplicação do modelo SHALSTAB, foi cruzado com o mapa de suscetibilidade a inundações, desenvolvido em uma parceria entre IPT de São Paulo e CPRM (Serviço Geológico do Brasil), com escala de 1:25.000.

O resultado deste cruzamento, chamado de mapa de suscetibilidade unificado, foi analisado juntamente com o mapa de uso e ocupação dos solos, afim de avaliar a forma com que a ocupação urbana vem ocorrendo.

Outra análise foi feita comparando-se o mapa de suscetibilidade unificado com o mapa geotécnico da área urbana de Antônio Carlos. A intenção foi verificar quais as vulnerabilidades presentes em cada unidade geotécnica e o grau de intensidade da mesma.

4.6.1. Mapa de Suscetibilidade a Inundações

O mapa de suscetibilidade a inundações da área urbana de Antônio Carlos foi elaborado pelo IPT em parceria com a CPRM.

O mapa está dividido em três classes de suscetibilidade e apresentadas no padrão de representação semafórico, no qual as áreas de baixa suscetibilidade são apresentadas em verde, média suscetibilidade em amarelo e alta suscetibilidade em vermelho.

a. Alta Suscetibilidade

As regiões classificadas como áreas de alta suscetibilidade a inundação (Figura 62) são as planícies aluviais, com amplitudes e declividades muito baixas (menor que 2°). Os solos encontrados nessa região são classificados como hidromórficos, em terrenos situados ao longo de cursos d'água, mal drenados e com nível d'água subterrâneo aflorante a raso.

A altura de inundação atinge até 3 metros em relação à borda da calha do leito regular do curso d'água. Nessas áreas, ocorrem processos de inundação, alagamento e assoreamento.

Figura 62. Representação da classe de alta suscetibilidade a inundação.



Fonte: IPT e CPRM (2014).

As características das bacias drenantes que compõem esta classe são:

- Área de contribuição grande;
- Formato tendendo a circular;

- Alta densidade de drenagem;
- Padrão dos canais fluviais tendendo a sinuoso;
- Relevo com amplitude baixa e canal principal longo.

b. Média Suscetibilidade

As regiões classificadas como áreas de média suscetibilidade a inundação são os terraços fluviais baixos e/ou flancos de encostas, com amplitudes e declividades baixas (menor que 5°). Há a presença de solos hidromórficos e não hidromórficos, em terrenos argilo-arenosos, cujo nível d'água subterrâneo se mostra raso ou pouco profundo.

A altura de inundação nesta classe atinge entre 3 metros e 6 metros em relação à borda da calha do leito regular do curso d'água. Os processos que ocorrem nessas regiões são inundações, alagamentos e assoreamentos.

A Figura 63 apresenta uma foto ilustrativa de áreas que apresentam média suscetibilidade a inundação.

Figura 63. Representação da classe de média suscetibilidade a inundação.



Fonte: IPT e CPRM (2014).

As características das bacias drenantes que compõem esta classe são:

- Área de contribuição intermediária;
- Formato circular a alongado;
- Média densidade de drenagem;
- Padrão dos canais fluviais sinuoso a retilíneo;
- Relevo com amplitude média e canal principal intermediário.

c. Baixa Suscetibilidade

As regiões classificadas como áreas de baixa suscetibilidade a inundação são os terraços fluviais altos e/ou flancos de encostas, com amplitudes e declividades baixas (menor que 5°). Os solos encontrados nessas áreas são não hidromórficos, em terrenos silto-arenosos e com nível d'água subterrâneo pouco profundo.

As áreas com baixa suscetibilidade a inundação estão situadas acima de 6 metros em relação à borda da calha do leito regular do curso d'água. Os processos que ocorrem nessas áreas são inundação, alagamentos e assoreamento.

A Figura 64 apresenta uma foto ilustrativa de áreas que apresentam baixa suscetibilidade a inundação.

Figura 64. Representação da classe de baixa suscetibilidade a inundação.



Fonte: IPT e CPRM (2014).

As características das bacias drenantes que compõem esta classe são:

- Área de contribuição pequena;
- Formato tendendo a alongado;
- Baixa densidade de drenagem;
- Padrão dos canais fluviais tendendo a retilíneo;
- Relevo com amplitude alta e canal principal curto.

d. Suscetibilidade Muito Baixa

Esta classe, que originalmente não consta no mapa elaborado pelo IPT e CPRM, é composta pelas elevações presentes na área urbana do município e, por isso, apresentam suscetibilidade muito baixa a inundação.

5. RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados encontrados a partir da aplicação dos métodos descritos neste trabalho.

5.1. Mapa Pedológico

Conforme visto, o mapa pedológico da área urbana de Antônio Carlos apresenta escala de 1:75.000. Afim de se conhecer melhor a pedologia da área de estudo, foi executado um procedimento com o intuito de aumentar a escala do mapa pedológico, o qual encontra-se descrito no capítulo anterior.

Nas expedições a campo, ao se executarem os furos de tradagem, as amostras de solo coletadas por meio das prospecções foram avaliadas conforme sua textura no momento da coleta. As amostras oriundas de investigações na unidade sedimentar apresentavam textura mais plástica, enquanto que as amostras providas das unidades residuais se mostravam mais granulares e grosseiras ao toque. Com isso, selecionou-se as amostras correspondentes às mudanças de textura e realizou-se, em laboratório, a classificação das cores do solo por meio das tabelas de cores de Munsell.









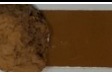







O resultado da determinação das cores das amostras de solo equivalentes às fronteiras entre as unidades pedológicas é apresentado na Tabela 19.

Após a análise tátil e visual das amostras de solo, em que se observou a textura e a coloração das amostras, foram desenvolvidos perfis das elevações avaliadas. Os perfis constituíram o fator para a delimitação das unidades pedológicas da área de estudos, os quais estão apresentados da Figura 65 até a Figura 71.

Tabela 19. Classificação das amostras de solo oriundas dos furos de tradagem conforme sua cor utilizando-se a Classificação de Munsell.

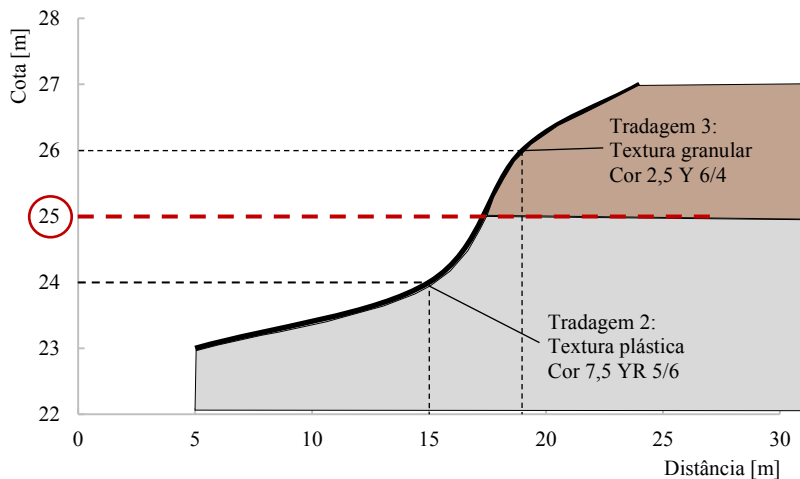
Análise	Tradagem	Cor		
		Condição da Amostra (Teor de Umidade)		
		Natural	Seca	Úmida
1	2	 7.5 YR 5/6 Bruno-forte Umidade = 4,85%	 10 YR 6/4 Bruno-amarelado-claro	 10 YR 3/6 Bruno-amarelado-escuro Umidade = 15,97%
	3	 2.5 Y 6/4 Bruno-amarelado-claro Umidade = 5,06%	 2.5 Y 7/3 Bruno-claro-acinzentado	 2.5 Y 4/4 Bruno-oliváceo Umidade = 14,29%
2	4	 10 YR 4/4 Bruno-amarelado-escuro Umidade = 3,03%	 10 YR 6/3 Bruno-claro-acinzentado	 10 YR 3/3 Bruno-escuro Umidade = 9,80%
	5	 7.5 YR 5/6 Bruno-forte Umidade = 3,35%	 10 YR 6/4 Bruno-amarelado-claro	 7.5 YR 4/6 Bruno-forte Umidade = 13,76%
3	7	 7.5 YR 5/6 Bruno-forte Umidade = 4,05%	 10 YR 7/4 Bruno muito claro-acinzentado	 10 YR 4/6 Bruno-amarelado-escuro Umidade = 8,92%
	8	 7.5 YR 5/6 Bruno-forte Umidade = 5,84%	 7.5 YR 6/6 Amarelo-avermelhado	 7.5 YR 4/6 Bruno-forte Umidade = 21,98%
4	9	 5 YR 2.5/1 Preto Umidade = 5,70%	 2.5 Y 5/1 Cinzeno	 2.5 Y 2.5/1 Preto Umidade = 9,15%
	10	 10 YR 4/6 Bruno-amarelado-escuro Umidade = 2,86%	 10 YR 6/4 Bruno-amarelado-claro	 10 YR 4/6 Bruno-amarelado-escuro Umidade = 13,52%

Continuação da Tabela 19: Classificação das amostras de solo oriundas dos furos de tradagem conforme sua cor utilizando-se a Classificação de Munsell.

Análise	Tradagem	Cor		
		Condição da Amostra (Teor de Umidade)		
		Natural	Seca	Úmida
5	11	 10 YR 3/2 Bruno-acinzentado muito escuro Umidade = 4,59%	 10 YR 4/2 Bruno-acinzentado-escuro	 10 YR 2/2 Bruno muito escuro Umidade = 7,92%
	12	 10 YR 5/6 Bruno-amarelado Umidade = 5,25%	 10 YR 6/4 Bruno-amarelado-claro	 10 YR 4/4 Bruno-amarelado-escuro Umidade = 14,26%
6	15	 2.5 Y 5/4 Bruno-oliváceo-claro Umidade = 5,44%	 2.5 Y 7/3 Bruno-claro-acinzentado	 2.5 Y 3/3 Bruno-oliváceo-escuro Umidade = 14,56%
	16	 10 YR 4/6 Bruno-amarelado-escuro Umidade = 9,96%	 10 YR 7/4 Bruno muito claro-acinzentado	 10 YR 3/4 Bruno-amarelado-escuro Umidade = 22,89%
7	19	 2.5 Y 3/2 Bruno-acinzentado muito escuro Umidade = 2,93%	 2.5 Y 5/2 Bruno-acinzentado	 2.5 Y 3/2 Bruno-acinzentado muito escuro Umidade = 14,89%
	20	 10 YR 5/4 Bruno-amarelado Umidade = 2,62%	 10 YR 6/4 Bruno-amarelado-claro	 10 YR 4/4 Bruno-amarelado-escuro Umidade = 9,73%

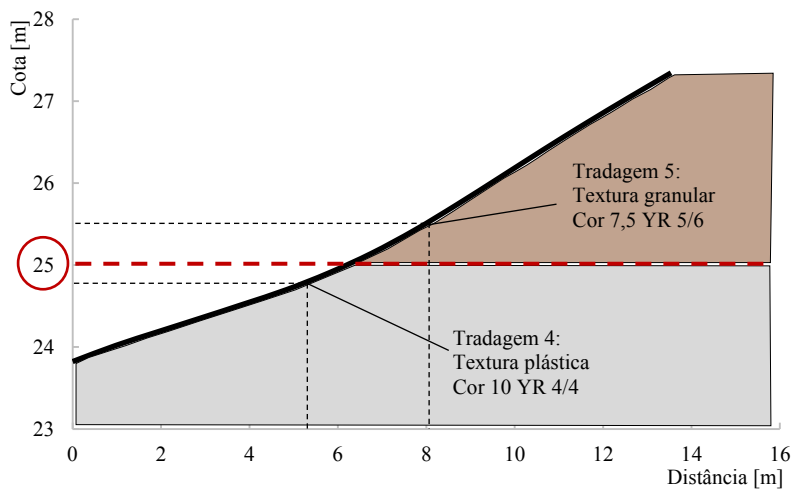
Fonte: Autor.

Figura 65. Determinação da fronteira entre as unidades pedológicas na área de estudo: Encosta 1.



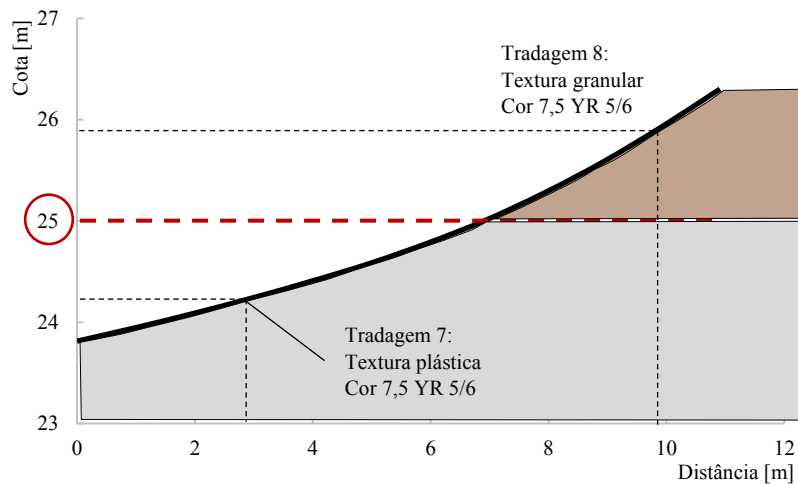
Fonte: Autor.

Figura 66. Determinação da fronteira entre as unidades pedológicas na área de estudo: Encosta 2.



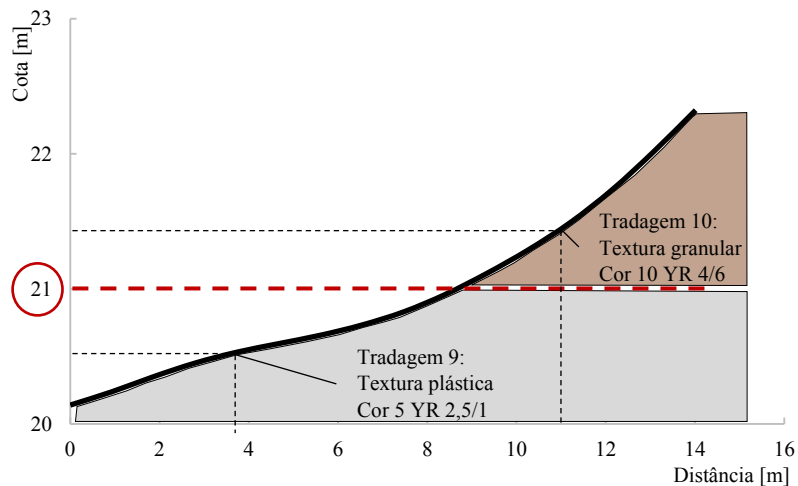
Fonte: Autor.

Figura 67. Determinação da fronteira entre as unidades pedológicas na área de estudo: Encosta 3.



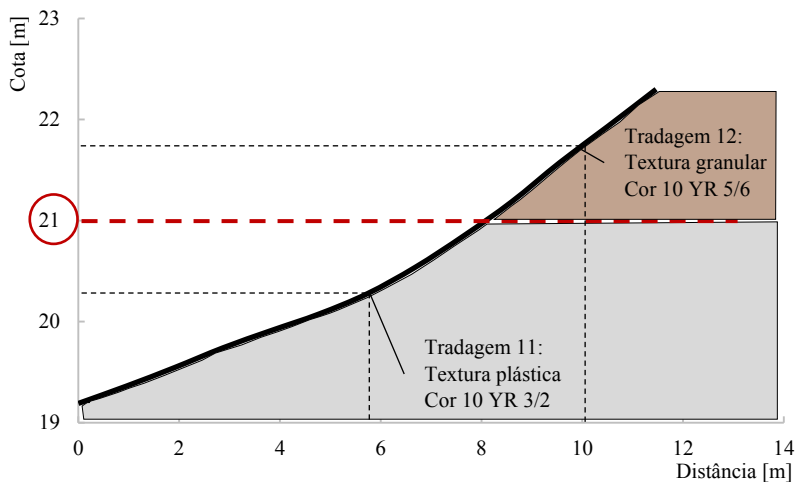
Fonte: Autor.

Figura 68. Determinação da fronteira entre as unidades pedológicas na área de estudo: Encosta 4.



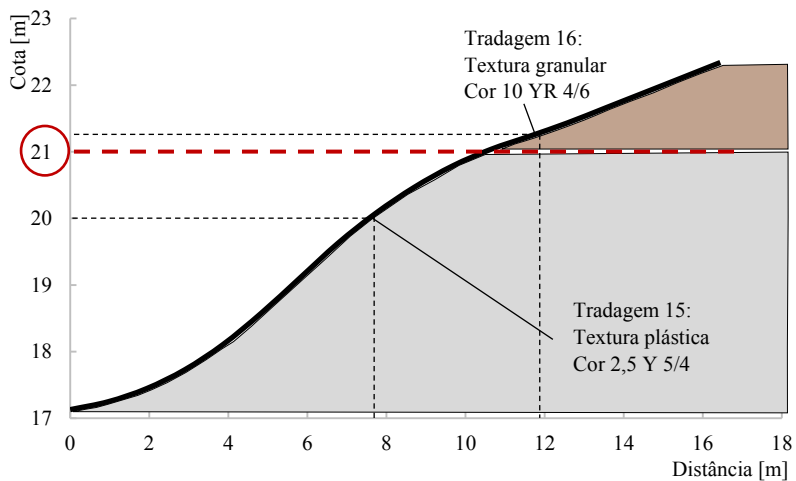
Fonte: Autor.

Figura 69. Determinação da fronteira entre as unidades pedológicas na área de estudo: Encosta 5.



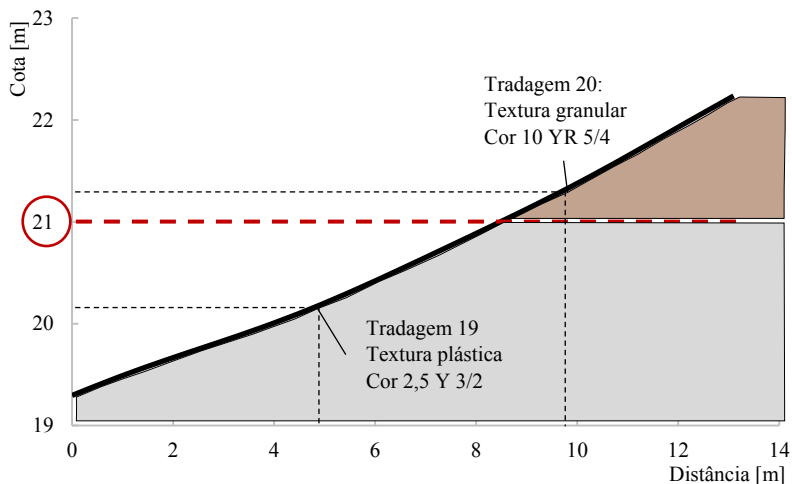
Fonte: Autor.

Figura 70. Determinação da fronteira entre as unidades pedológicas na área de estudo: Encosta 6.



Fonte: Autor.

Figura 71. Determinação da fronteira entre as unidades pedológicas na área de estudo: Encosta 7.



Fonte: Autor.

Os perfis apresentados na Figura 65, Figura 66 e na Figura 67 representam as três encostas analisadas na porção norte em relação ao Rio Biguaçu. Ao avaliar esses perfis, é possível perceber que a cota 25 metros (com base no mapa de curvas de nível) encontra-se entre o último furo de tradagem do qual obteve-se um solo de textura plástica e o primeiro furo do qual obteve-se um solo de textura granular, mais grosseiro ao toque, além da mudança de cor.

Portanto, para a porção norte da bacia do Rio Biguaçu localizada na área de estudo, determinou-se que a curva de nível equivalente a cota de 25 metros representa a fronteira entre as unidades pedológicas encontradas nessa região (Gleissolo e Podzólico Vermelho-Amarelo).

Entretanto, os perfis apresentados na Figura 68, na Figura 69, na Figura 70 e na Figura 71 apresentaram outra tendência. Esses perfis, por sua vez, representam quatro encostas situadas na porção sul em relação ao Rio Biguaçu. Analisando-se esses perfis, é possível notar que, dessa vez, a cota 21 metros encontrou-se entre o último furo de tradagem do qual obteve-se um solo de textura plástica e o primeiro furo do qual obteve-se um solo de textura granular, mais grosseiro ao toque, além da mudança de cor.

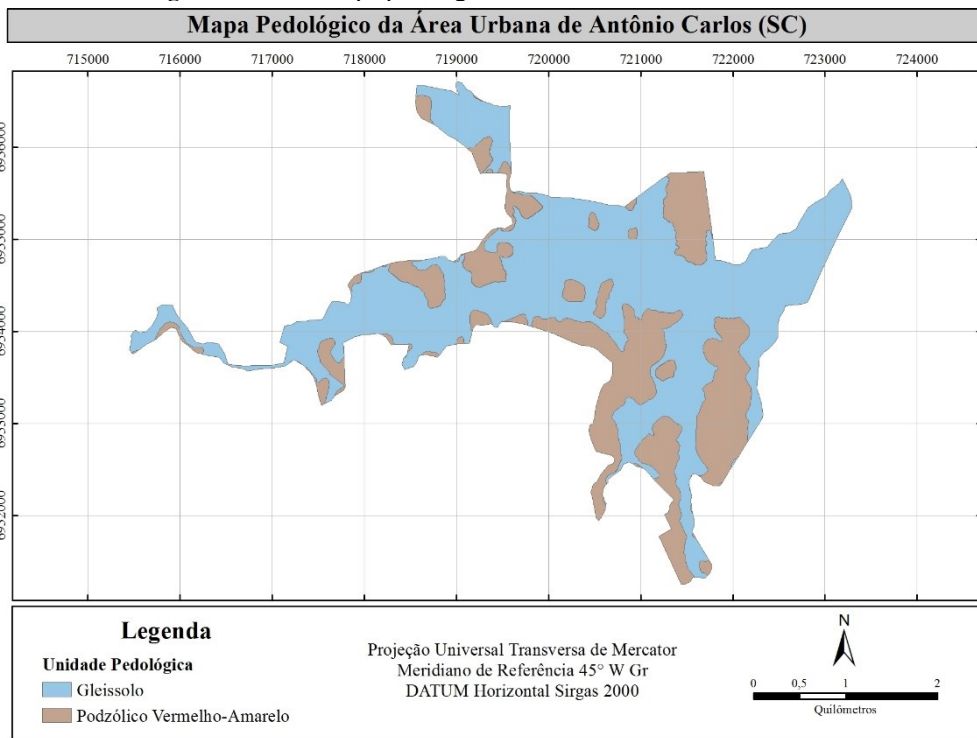
Sendo assim, para a porção sul da bacia do Rio Biguaçu, localizada na área de estudo, atribuiu-se à curva de nível equivalente a

cota de 21 metros a fronteira entre as unidades pedológicas dessa região (Gleissolo e Podzólico Vermelho-Amarelo).

Na Tabela 19 são apresentadas as cores das amostras de solo equivalentes aos furos de tradagem que representam a transição entre as unidades pedológicas Gleissolo e Podzólico Vermelho-Amarelo. Nas encostas analisadas que se encontram na porção sul da bacia do Rio Biguaçu é possível distinguir com mais facilidade a mudança de coloração entre as unidades pedológicas do que nas amostras extraídas da porção norte da bacia. Isso sugere a possibilidade de haver a existência de um gleissolo diferente daquele encontrado na porção sul da bacia.

Com a determinação das fronteiras entre as unidades pedológicas localizadas na área de estudo, um novo mapa pedológico foi elaborado para a área urbana de Antônio Carlos. O traçado desse mapa seguiu as curvas de nível referentes às cotas de 21 metros e 25 metros, do mapa de curvas de nível, o qual foi sobreposto ao mapa pedológico fornecido pela Prefeitura Municipal.

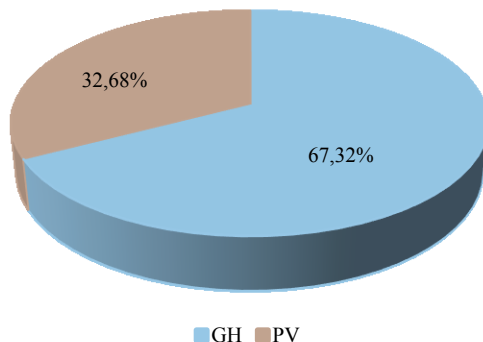
O novo mapa pedológico da área urbana de Antônio Carlos é apresentado na Figura 72. Por ter como base o mapa de curvas de nível, o qual apresenta escala 1:10.000, e expedições a campo para determinação das fronteiras entre as unidades pedológicas, o novo mapa pedológico apresenta escala 1:10.000, mostrando um maior detalhamento e precisão nas unidades que o compõem.

Figura 72. Novo mapa pedológico da área urbana de Antônio Carlos.

Fonte: Autor.

Analisando-se o novo mapa pedológico (Figura 72), nota-se a predominância da unidade Gleissolo (solo sedimentar argiloso), como pode ser visto no gráfico apresentado na Figura 73.

Figura 73. Porcentagem de áreas do novo mapa pedológico.

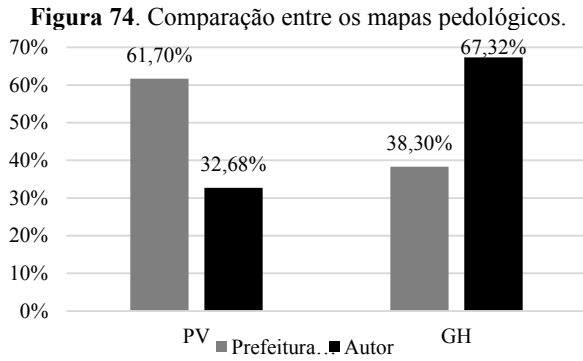


Fonte: Autor.

A unidade Gleissolo mostra-se presente em, aproximadamente, 67% da área urbana de Antônio Carlos contra aproximadamente 33% da unidade Podzólico Vermelho-Amarelo. Dessa informação, pode-se concluir que o relevo que compõe a área urbana é majoritariamente plano e suave ondulado, conforme pode ser verificado no mapa de declividades, mostrado na Figura 51.

Na Figura 74 é apresentado um gráfico no qual é comparada a porcentagem das áreas das unidades pedológicas que compõem área de estudo entre o mapa pedológico fornecido pela Prefeitura Municipal de Antônio Carlos (Figura 25) e o novo mapa pedológico, gerado pelo autor. Com o aumento da escala do mapa pedológico, houve um aumento na precisão e detalhamento da pedologia da área de estudo desta pesquisa. Isso é visto na Figura 74, onde a unidade Podzólico Vermelho-Amarelo (PV) reduziu de 61,70% para 38,30% do mapa original em relação ao novo mapa gerado, respectivamente. Em contrapartida, o percentual da unidade Gleissolo (GH) subiu de 32,68% para 67,32% do mapa antigo em relação ao novo mapa, respectivamente.

Por meio do novo mapa pedológico, foi possível elaborar o mapa geotécnico da área urbana de Antônio Carlos de forma mais precisa, melhorando-se a qualidade dos resultados obtidos.



Fonte: Autor.

5.2. Mapa Geotécnico

5.2.1. Mapa Geotécnico Preliminar

O mapa geotécnico preliminar da área urbana de Antônio Carlos foi elaborado por intermédio da união entre os mapas pedológico e litológico da área de estudos.

O cruzamento desses mapas resultou em seis unidades geotécnicas preliminares:

- Gleissolo de substrato sedimentos quaternários – GHsq;
- Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granito – PVg;
- Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato gnaiss – PVgn
- Gleissolo de substrato granito – GHg;
- Gleissolo de substrato gnaiss – GHgn;
- Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato sedimentos quaternários – PVsq.

A nomenclatura das unidades geotécnicas é feita conforme a metodologia de Davison Dias (1995).

O mapa geotécnico preliminar segue apresentado na Figura 75 e sua escala é 1:10.000.

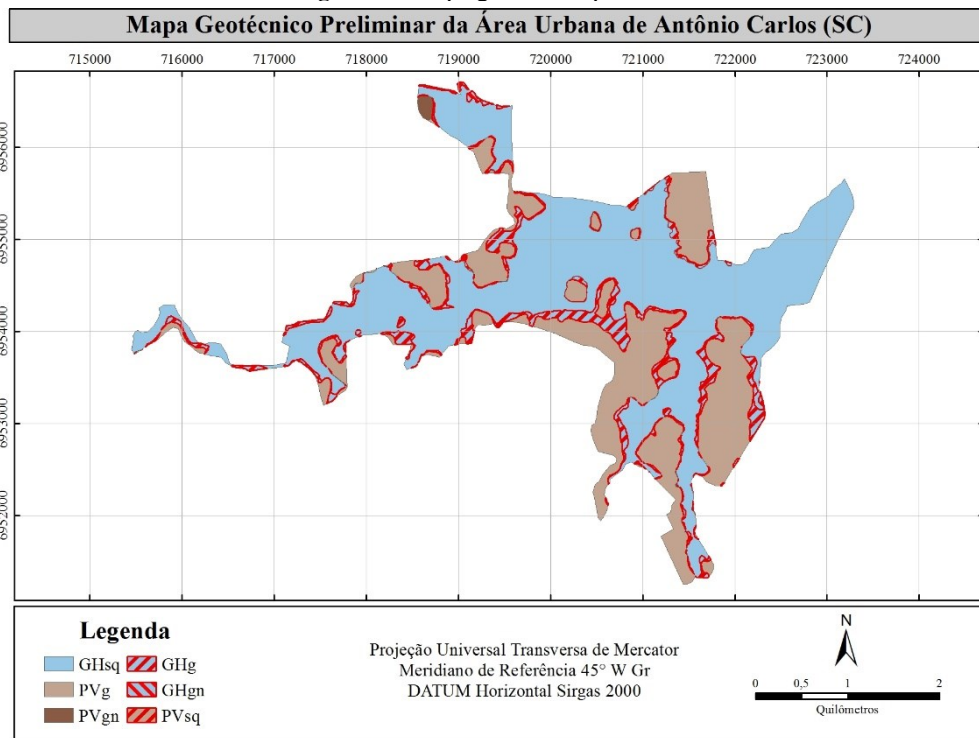
Contudo, do simples cruzamento entre os mapas pedológico e litológico podem surgir unidades geotécnicas inconsistentes, as quais devem ser verificadas em campo afim de suprimir estes problemas.

Após a elaboração do mapa geotécnico preliminar nesta pesquisa, verificou-se o surgimento de três unidades inconsistentes: GHg, GHgn e PVsq. O problema apresentado por essas unidades geotécnicas se encontra na incompatibilidade solo/rocha de origem das mesmas.

Os Gleissolos constituem um tipo de solo classificado como hidromórfico e sedimentar. O Gleissolo encontrado na área urbana do município é formado, portanto, pela sedimentação de partículas de solo transportadas de outras regiões. Portanto, as unidades GHg e GHgn são classificadas como inconsistentes por não se enquadrarem nesse parâmetro, uma vez que estas rochas (granito e gnaiss) formam solos residuais e não sedimentares.

Os solos Podzólicos Vermelho-Amarelo, por sua vez, são classificados como solos residuais. Sendo assim, os solos desse tipo encontrados na área de estudo resultam do intemperismo atuante sobre as

Figura 75. Mapa geotécnico preliminar.



Fonte: Autor.

rochas graníticas e metamórficas (gnaisse) da região. Dessa forma, a unidade geotécnica PVsq é classificada como inconsistente pelo fato de que o substrato rochoso que compõe esta unidade não ser capaz de gerar um solo residual, no caso o Podzólico Vermelho-Amarelo.

A Tabela 20 apresenta as unidades geotécnicas preliminares e sua abrangência na área de estudo.

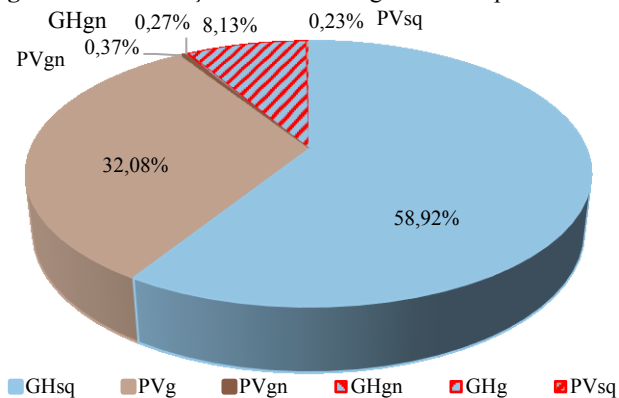
Tabela 20. Abrangência das unidades geotécnicas preliminares na área de estudo.

Unidade	Denominação	Área [m ²]
GHsq	Gleissolo de substrato sedimentos quaternários	6198370
PVg	Podzólico vermelho-amarelo de substrato granito	3375231,47
PVgn	Podzólico vermelho-amarelo de substrato gnaisse	38975,3
GHgn	Gleissolo de substrato gnaisse	28464,1
GHg	Gleissolo de substrato granito	855276,49
PVsq	Podzólico vermelho-amarelo de substrato sedimentos quaternários	24145,9

Fonte: Autor.

A distribuição percentual das unidades geotécnicas preliminares é apresentada na Figura 76.

Figura 76. Distribuição das unidades geotécnicas preliminares.



Fonte: Autor.

Nota-se que as inconsistências somam 8,63%, o equivalente a aproximadamente 0,91km² da área de estudo.

Guesser (2013) elaborou o mapa geotécnico preliminar do município de Antônio Carlos. Em sua pesquisa, o autor utilizou como subsídios para a geração do mapa geotécnico o mapa pedológico e litológico fornecidos pela Prefeitura Municipal de Antônio Carlos, ambos em escala 1:75.000. Ao isolar-se apenas a área equivalente à atual pesquisa, o autor encontrou um percentual de 36,36% de unidades geotécnicas inconsistentes, o que equivale a aproximadamente 3,83km².

Isso mostra a importância da obtenção de mapas com um nível de detalhamento e escala adequados afim de se alcançar resultados com maior qualidade. Comparando-se os dois mapas geotécnicos preliminares, nota-se uma redução de aproximadamente 76% nas áreas inconsistentes, comprovando a importância do aumento da escala do mapa pedológico da área de estudo para a qualidade dos resultados desta pesquisa.

5.2.2. Mapa Geotécnico Final

Como visto, o mapa geotécnico preliminar apresentou três unidades inconsistentes em termos geotécnicos. Analisando-se a Figura 75, pode-se verificar que as unidades inconsistentes ocorrem, principalmente, nas regiões de fronteira entre as unidades geotécnicas.

Para corrigir estes problemas, foram feitas expedições a campo de modo a identificar qual o tipo de solo encontrado na região das inconsistências. Aproveitando-se as expedições realizadas no processo de aumento da escala do mapa pedológico da área de estudo, tem-se que este representa o real limite entre as unidades pedológicas. Por meio dessas informações, é possível inferir qual o tipo de solo encontrado nas inconsistências e corrigir seu atributo litológico (substrato rochoso formador do solo).

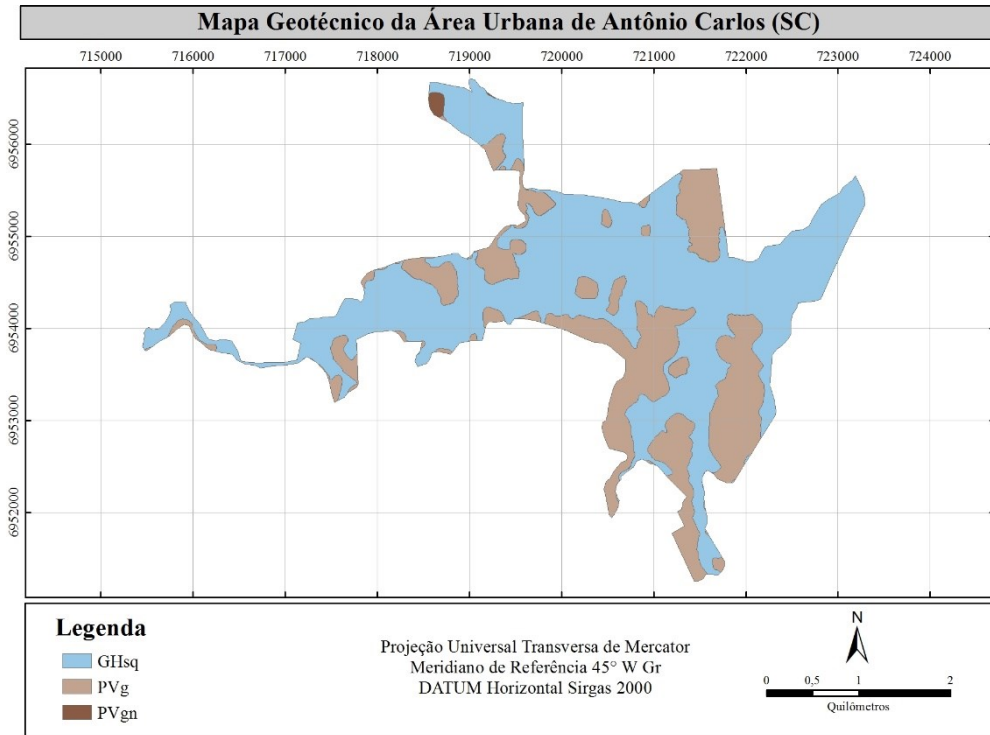
Sendo assim, o mapa geotécnico final apresenta apenas três unidades, conforme pode ser observado na Tabela 21 e na Figura 77, com escala 1:10.000.

Tabela 21. Abrangência das unidades geotécnicas na área de estudo.

Unidade	Denominação	Área [km²]
GHsq	Gleissolo de substrato sedimentos quaternários	7,08
PVg	Podzólico vermelho-amarelo de substrato granito	3,40
PVgn	Podzólico vermelho-amarelo de substrato gnaisse	0,04

Fonte: Autor.

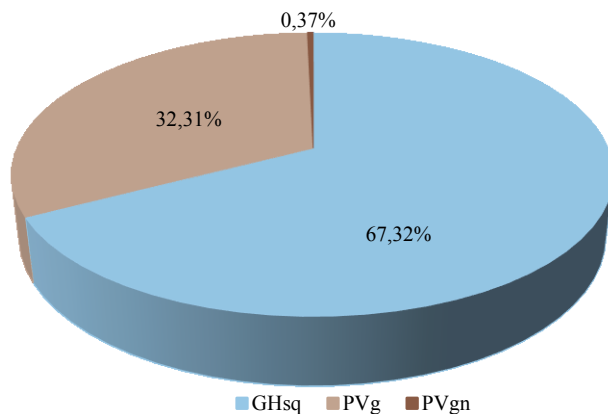
Figura 77. Mapa geotécnico final.



Fonte: Autor.

A distribuição percentual das unidades geotécnicas preliminares é apresentada na Figura 78.

Figura 78. Distribuição das unidades geotécnicas.



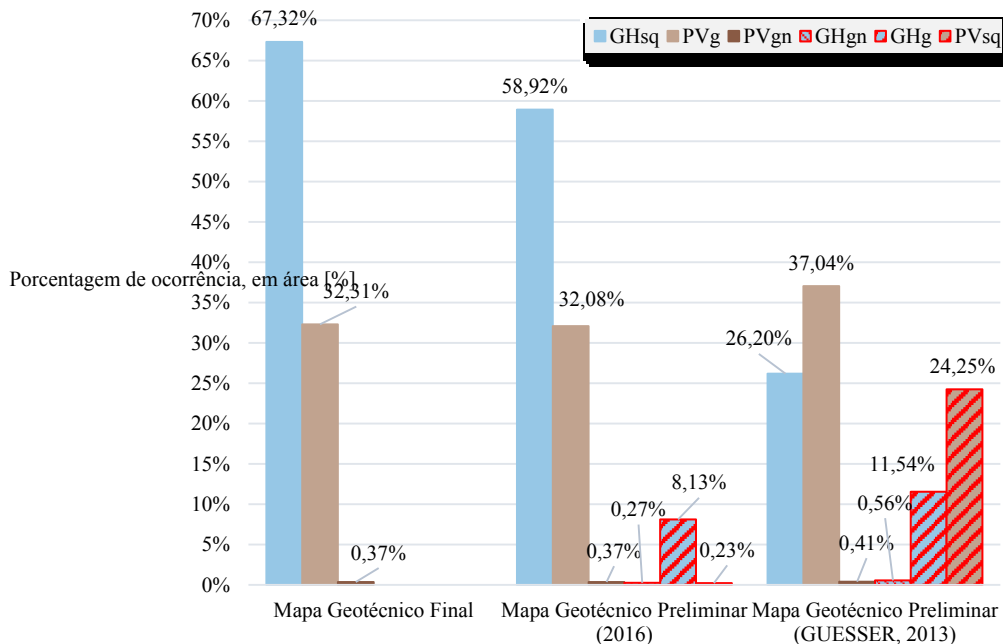
Fonte: Autor.

Como pode-se ver na Figura 78, há uma predominância da unidade Gleissolo de substrato sedimentos quaternários (GHsq) na área urbana de Antônio Carlos, a qual abrange 67,32% da área, percentual mais que duas vezes maior que a unidade Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granito, que aparece em segundo lugar com 32,31% da área. Ocupando apenas 0,37% da área de estudo, tem-se a unidade Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato gnaisse.

O mapa pedológico final (Figura 77) foi comparado com o mapa pedológico preliminar (Figura 75) e com o mapa geotécnico preliminar elaborado por Guesser (2013) com o intuito de avaliar a influência da precisão dos mapas e da aferição das inconsistências que podem vir a surgir no desenvolvimento do mapa geotécnico.

A comparação pode ser vista no gráfico da Figura 79. É possível perceber que a unidade GHsq apresentou as maiores variações percentuais. Por meio do aumento da escala dos mapas necessários para a geração do mapa geotécnico, essa unidade apresentou um significativo crescimento de 26,20% para 67,32%.

Figura 79. Comparação entre os mapas geotécnicos elaborados na área de estudo.



Fonte: Autor.

5.2.2.1. Descrição das Unidades Geotécnicas Presentes na Área Urbana de Antônio Carlos

Um resumo das características gerais das unidades geotécnicas que compõem a área urbana de Antônio Carlos foi realizado de acordo com os trabalhos apresentados por Davison Dias (1995), Santos (1997), Higashi (2006) e IBGE (1995 e 2003).

a. Gleissolo de substrato sedimentos quaternários – GHsq

- O termo Glei indica intensa redução de ferro durante o desenvolvimento do solo sob condições de má drenagem ou alagamento. As cores destes solos na bacia de estudo são próximas às neutras (cinzas e pretas), correspondendo à ausência de ferro e podem apresentar-se com mosqueados ou não.

- Tratam-se de solos mal ou muito mal drenados, com forte gleização. Em Antônio Carlos, estes solos são desenvolvidos nas áreas de várzeas, áreas deprimidas, planícies aluviais, locais de terras baixas, ou seja, estão normalmente vinculadas ao excesso de água.

- Este tipo de solo corresponde às clássicas argilas moles (hidromórficas ou não) estudadas pela geotecnia. O horizonte A desta unidade é escuro e relativamente espesso, enquanto que o horizonte Gleí, que ocorre abaixo do horizonte A, apresenta uma camada de cor acinzentada, ou variegada, com ou sem mosqueado.

- De uma forma geral, esta unidade apresenta elevada deformação (por adensamento) e baixa resistência ao cisalhamento não drenada (condição UU) quando solicitada por esforços mecânicos.

- Apesar de não terem sido executados ensaios de adensamento neste tipo de solo, diversos estudos desenvolvidos com as argilas moles minerais da região costeira do estado de Santa Catarina apontam para um comportamento normalmente adensado (NA) de amostras coletadas no horizonte Gleí deste tipo de unidade, tal qual descrito por Higashi (2006).

- A ocupação dessas áreas deve ser criteriosa, pois nesses locais podem surgir intercalações de camadas silto-argilosas com camadas arenosas, ocorrendo, frequentemente níveis de solos orgânicos de baixa capacidade de suporte ($N_{spt} < 4$) entre as mesmas.

- Para o uso e ocupação desta unidade sugere-se que para estimar os recalques dos aterros e fundações de edificações é necessário que, além das sondagens do tipo SPT, sejam executados ensaios de adensamento para a definição dos parâmetros de compressibilidade, sobretudo do coeficiente de compressão (cc), uma vez que esta unidade corresponde a argilas normalmente adensadas (NA).

- Esta unidade apresenta baixa permeabilidade e nível do lençol freático próximo à superfície (solo saturado). Desta forma, para as cargas da engenharia que solicitam mecanicamente o solo de forma imediata, tal qual aterros rodoviários, deve ser avaliada a resistência não drenada. Sugere-se que os ensaios de compressão triaxial na condição UU (Não consolidado não drenado) sejam executados para a determinação dos parâmetros de resistência.

- Ressalta-se que caso não seja investigado o solo para a execução de obras de engenharia, é possível que ocorram sérios problemas de rupturas e consideráveis recalques de fundações com retificações extremamente onerosas.

b. Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granito – PVg

- Os Podzólicos Vermelho-Amarelos de substrato granito são característicos de regiões de clima úmido, com perfis bem desenvolvidos, profundidade mediana, moderadamente ou bem intemperizados. Esta unidade apresenta um horizonte A inferior a 50cm, um horizonte B de cores vermelhas com aproximadamente 1m de espessura, mais argiloso que o horizonte A, e um horizonte C granular, podendo alcançar até 30m de espessura.

- O teor de argila presente em seu horizonte B (de cor vermelha ou vermelho-amarelada), normalmente, é bem maior do que a quantidade deste material localizada no horizonte A.

- O comportamento mecânico do horizonte C (saprolítico) desta unidade, assemelha-se ao comportamento descrito para a unidade de Cambissolo de substrato granito, pois também guarda a estrutura da rocha de origem, com presença de matações (intemperismo esferoidal), e apresenta um comportamento variável em função do grau de intemperismo dos minerais primários presentes no horizonte C.

- Estes horizontes (B e C), em geral, são parcialmente saturados e bem drenados.

- O horizonte B apresenta um índice de resistência à penetração dos 30cm finais do amostrador padrão da sondagem à percussão com circulação d'água (Nspt) entre 5 e 7. No horizonte C, o número de golpes é superior a 12, e a resistência é crescente à medida que a rocha de origem se aproxima. No que diz respeito ao uso e ocupação por fundações superficiais de edificações, estas devem ser assentadas após o horizonte B, e assim contar com maior resistência e menor compressibilidade.

- Uma característica importante dos solos da unidade PVg é a redução da resistência ao cisalhamento com a elevação do grau de saturação do solo. Assim como a unidade Cg, este solo apresenta significativa perda de coesão com a variação do grau de saturação, independente do substrato e

do horizonte (B ou C). Essa redução, notada para a coesão do solo, é observada em muito menor escala no ângulo de atrito interno, que, algumas vezes, eleva seu valor.

- O horizonte C é muito suscetível à erosão. Desta forma, é importante manter o horizonte A e B dos solos em obras de engenharia que envolvam grande movimentação de terra.

- Devido à anisotropia, típica do horizonte C deste tipo de unidade, ocorre a grande dispersão dos resultados de ensaios geotécnicos. Mesmo no horizonte B, a variação da textura interna desta camada de solo também é responsável pela variabilidade dos resultados.

- Nos locais onde ocorrem diques de diabásio, as espessuras de solo são maiores e o horizonte C, dependendo do grau de alteração, pode ser expansivo. O solo de alteração de diabásio pode ocorrer dentro dos maciços rochosos, ou abaixo de corpos graníticos de grandes dimensões, trazendo sérios problemas geotécnicos para obras de engenharia. Os movimentos de massa que ocorrem nesta unidade, geralmente estão associados aos diques de diabásio.

- Na unidade Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granito, tanto o horizonte B quanto o C são bem drenados e apresentam lençol freático profundo, o que permite a sua utilização como absorvente de efluentes domésticos.

c. Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato gnaisse – PVgn

- Apresenta horizonte B avermelhado e uma textura argilo-arenosa. Sua estrutura é bastante friável e é resultante de lixiviação. O horizonte C apresenta solos heterogêneos, com textura e colorações variadas.

- Os perfis de solo dessa unidade são profundos, evoluídos e bem drenados, sendo que a rocha sã raramente aflora.

- Esta unidade ocorre em regiões onde o relevo parte de ondulado até fortemente ondulado.

- Esta unidade apresenta tendências à erosão e à ocorrência de movimentos de massa, sobretudo quando associada aos processos

erosivos, os quais alteram a geometria da encosta, acentuando sua declividade.

- Devido ao metamorfismo intenso e diferenciado sofrido pela rocha, há ocorrência de solos saprolíticos muito heterogêneos quanto à composição e estrutura.

5.3. Resultado dos Ensaios Laboratoriais

Com a elaboração do mapa geotécnico da área urbana de Antônio Carlos, foram definidos pontos de coleta de amostras (deformadas e indeformadas) para a realização de ensaios laboratoriais.

Neste item são abordados os resultados dos ensaios executados em laboratório, subsídios para a realização desta pesquisa:

- Caracterização dos solos da área urbana;
- Obtenção dos parâmetros de resistência dos solos;
- Caracterização da rocha granítica (formação Granito São Pedro de Alcântara).

5.3.1. Resultados dos Ensaios de Caracterização dos Solos

Neste item serão apresentados os resultados dos ensaios de caracterização dos diferentes tipos de solos encontrados no município. Os ensaios feitos foram:

- Massa específica aparente natural;
- Teor de umidade natural;
- Granulometria com sedimentação;
- Índices de consistência (limites de Atterberg);
- Classificação dos solos;
- Massa específica dos sólidos;
- MCT (Miniatura Compactada Tropical) – método expedito das pastilhas.

5.3.1.1. Massa Específica Aparente Natural e Teor de Umidade Natural

A execução dos ensaios de massa específica aparente natural e teor de umidade natural foram descritas no item 4.3.3.

Os resultados obtidos para esses ensaios se encontram na Tabela 22.

Tabela 22. Resultado dos ensaios de massa específica aparente natural e de teor de umidade natural.

Ponto	γ_{nat} (kN/m^3)*	e	γ_{sat} (kN/m^3)	Umidade nat. (%)*
01	17,60	0,92	18,63	27,34
02	13,70	1,24	17,18	17,81
03	15,30	1,05	17,91	19,46
04	15,80	1,28	17,71	30,77
05	17,40	0,85	18,69	23,73
06	16,40	1,18	17,54	34,71
07	17,30	0,92	18,40	26,73
08	18,10	0,86	18,77	27,87
09	16,40	1,13	18,04	28,72
10	17,60	0,81	18,97	21,55
11	18,30	0,84	19,03	26,59
12	16,70	0,93	18,18	25,31
13	17,90	0,82	18,81	25,1
14	16,20	1,03	17,87	26,65
15	16,20	1,10	17,63	30,36
16	17,30	0,95	18,38	27,83
17	17,20	0,86	18,53	24,03
18	17,10	0,92	18,35	26,25

NOTA: *Média dos valores alcançados nos ensaios; γ_{nat} - Peso específico aparente natural; e - índice de vazios; γ_{sat} - Peso específico saturado.

Fonte: Autor.

5.3.1.2. Análise Granulométrica com Sedimentação

As curvas granulométricas apresentadas na Figura 80 foram obtidas por meio da execução dos procedimentos de ensaio descritos no item 4.3.3.

A Tabela 23 mostra um resumo dos resultados obtidos, apresentado as porcentagens das frações granulométricas que compõem os solos estudados.

Analisando-se a Figura 80 e a Tabela 23, é possível perceber que, em média, os solos analisados são predominantemente argilosos e siltosos.

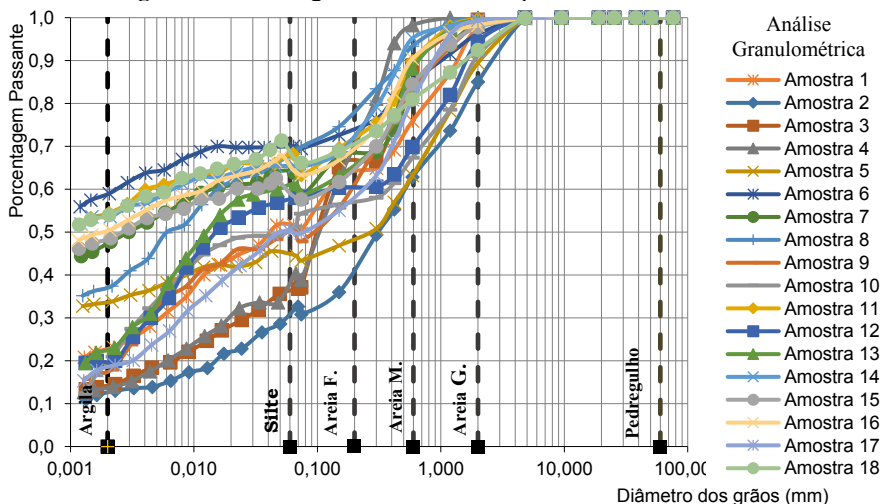
Nos pontos 1, 5 a 8, 11 a 16 e 18 há uma predominância das frações argilosas e siltosas. Os pontos 6, 11, 14, 16 e 18 apresentam mais de 50% de argila. Contudo, os pontos 12 e 13 são compostos por aproximadamente 40% de silte.

Tabela 23. Resumo das frações distribuídas.

Ponto	Frações Distribuídas [%]					Pedregulho
	Argila	Silte	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa	
1	23,16	28,47	11,25	13,04	21,73	2,34
2	13,02	19,63	3,38	26,80	22,21	14,96
3	14,57	22,24	28,31	23,72	10,67	0,49
4	13,92	26,45	21,93	35,94	1,76	0,00
5	33,84	10,65	2,40	16,30	26,28	10,54
6	59,01	10,99	2,62	12,35	11,21	3,82
7	47,73	16,14	3,84	15,48	15,31	1,50
8	37,45	30,91	6,24	18,77	6,58	0,06
9	18,01	32,74	4,99	27,62	14,79	1,85
10	21,01	30,32	5,14	10,92	23,82	8,78
11	54,46	13,82	1,30	20,27	9,82	0,33
12	20,00	38,05	2,33	9,49	24,50	5,64
13	23,08	38,14	1,83	25,07	11,33	0,55
14	53,60	11,79	3,14	26,66	3,97	0,83
15	48,60	9,00	4,08	22,76	13,32	2,24
16	50,52	12,84	3,44	23,64	7,80	1,77
17	19,00	30,76	5,33	25,78	18,52	0,61
18	54,01	12,14	2,72	12,06	11,53	7,54
Média	33,61	21,95	6,35	20,37	14,18	3,55

Fonte: Autor.

Figura 80. Curvas granulométricas dos pontos estudados.



Fonte: Autor.

O ponto 2 foi o que mais se destacou em termos de frações mais grossas, apresentando 26,80% de areia média e aproximadamente 15% de pedregulho.

Os pontos 4, 9 e 17 apresentam elevadas frações de areia. Os demais solos apresentam granulometria bem distribuída.

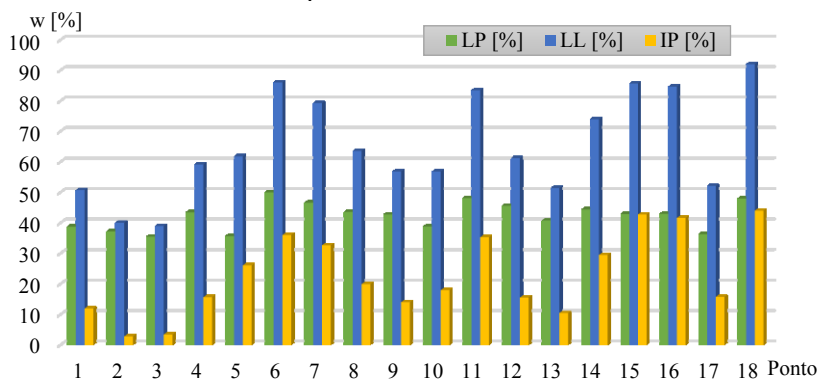
Essas diferenças na granulometria influenciam diretamente na plasticidade dos solos, como será discutido a seguir.

5.3.1.3. Índices de Consistência

A execução dos ensaios para a determinação dos limites de liquidez e limites de plasticidade dos dezoito pontos analisados encontra-se descrita no item 4.3.3.

Os resultados obtidos podem ser conferidos na Figura 81 e na Tabela 24.

Figura 81. Resultado dos limites de consistência e índice de plasticidade dos pontos de estudo.



Fonte: Autor.

Tabela 24. Resumo dos ensaios dos Limites de Atterberg.

Ponto	LP (%)	LL (%)	Índice de Plasticidade
1	38,78	50,79	12,01
2	37,25	40,09	2,84
3	35,55	39,00	3,45
4	43,49	59,18	15,69
5	35,70	61,82	26,12
6	50,03	86,10	36,07
7	46,63	79,32	32,69
8	43,62	63,61	19,99

Continuação da Tabela 24: Resumo dos ensaios dos Limites de Atterberg.

Ponto	LP (%)	LL (%)	Índice de Plasticidade
9	42,81	56,86	14,05
10	38,87	56,86	17,99
11	48,17	83,50	35,33
12	45,66	61,24	15,58
13	40,89	51,42	10,53
14	44,44	73,98	29,53
15	42,94	85,73	42,79
16	43,02	84,69	41,68
17	36,35	52,15	15,81
18	48,02	92,05	44,04

Fonte: Autor.

Como pode ser observado na Figura 81 e na Tabela 24, não há muita homogeneidade nos resultados. Muitos pontos apresentaram limite de liquidez acima de 70%, com destaque ao ponto 18, que apresentou 92,05%.

Os pontos 2 e 3 apresentaram os menores índices de plasticidade, sendo que o limite de liquidez e de plasticidade de cada ponto foram muito próximos. Ao se analisar a Tabela 23, pode-se constatar um predomínio das frações de granulometria grossa, justificando os baixos índices de plasticidade obtidos.

Burmister (1949 *apud* DAS, 2007) classificou o índice de plasticidade de forma qualitativa, conforme apresentado na Tabela 25.

Tabela 25. Classificação do solo conforme o índice de plasticidade.

IP	Descrição
0	Não plástico
1-5	Ligeiramente plástico
5-10	Plasticidade baixa
10-20	Plasticidade média
20-40	Plasticidade alta
Maior que 40	Plasticidade muito alta

Fonte: Das (2007).

De acordo com a Tabela 25, os solos analisados podem ser classificados segundo seu índice de plasticidade. Com isso, a referida classificação é apresentada na Tabela 26.

Como previsto, os solos 2 e 3, que apresentam as maiores frações arenosas, foram os solos que apresentaram menor plasticidade, enquanto que os solos 5 a 7, 11 e 14, os quais apresentam maiores frações argilosas,

foram os solos que resultaram em índices de plasticidades elevados, conforme pode-se ver na Tabela 24 e na Tabela 26.

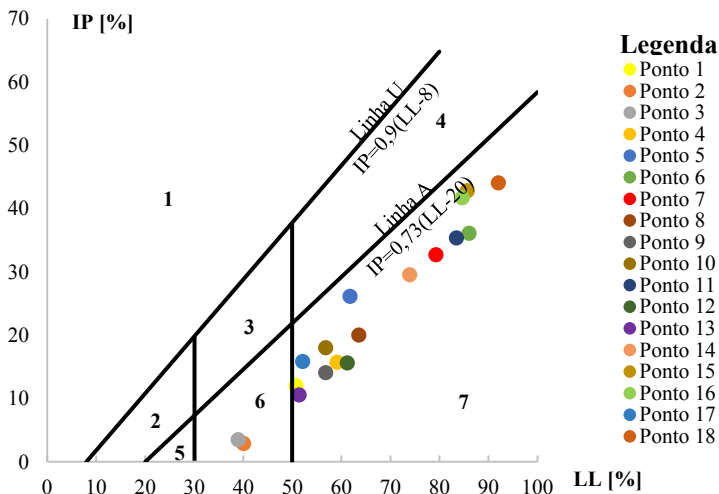
Tabela 26. Classificação dos solos conforme o índice de plasticidade.

Ponto	IP	Classificação
1	12,01	Plasticidade média
2	2,84	Ligeiramente plástico
3	3,45	Ligeiramente plástico
4	15,69	Plasticidade média
5	26,12	Plasticidade alta
6	36,07	Plasticidade alta
7	32,69	Plasticidade alta
8	19,99	Plasticidade média
9	14,05	Plasticidade média
10	17,99	Plasticidade média
11	35,33	Plasticidade alta
12	15,58	Plasticidade média
13	10,53	Plasticidade média
14	29,53	Plasticidade alta
15	42,79	Plasticidade muito alta
16	41,68	Plasticidade muito alta
17	15,81	Plasticidade média
18	44,04	Plasticidade muito alta

Fonte: Autor.

Os pontos que apresentaram maior fração argilosa, conforme a Tabela 23 foram os que se mostraram mais plásticos, com destaque aos pontos 15, 16 e 18, que apresentaram plasticidade muito alta.

Deve-se ressaltar a importância do índice de plasticidade na classificação de solos granulares finos, uma vez que se trata de um elemento fundamental para a elaboração do gráfico de plasticidade de Casagrande, o qual é apresentado na Figura 82.

Figura 82. Gráfico de Plasticidade de Casagrande.

Fonte: Autor.

O gráfico de plasticidade é dividido em sete zonas:

- Zona 1: solos sem coesão;
- Zona 2: argilas inorgânicas de baixa plasticidade;
- Zona 3: argilas inorgânicas de média plasticidade;
- Zona 4: argilas inorgânicas de alta plasticidade;
- Zona 5: siltes inorgânicos de baixa compressibilidade;
- Zona 6: siltes inorgânicos de média compressibilidade e siltes orgânicos;
- Zona 7: siltes inorgânicos de alta compressibilidade e argilas orgânicas.

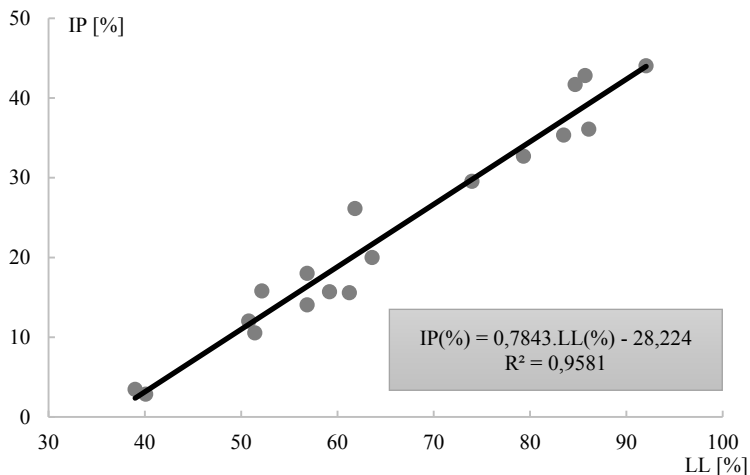
A Linha A separa as argilas inorgânicas dos siltes inorgânicos. A Linha U representa o limite superior da relação entre o índice de plasticidade e o limite de liquidez para qualquer solo conhecido atualmente.

Como pode-se perceber na Figura 82, os pontos 2 e 3 encontram-se na zona 6 enquanto que os demais se situam na zona 7.

Atualmente, o índice de plasticidade é considerado a base do Sistema Unificado de Classificação do Solo (SUCS) (DAS, 2007).

Por meio do gráfico de plasticidade de Casagrande, o índice de plasticidade do solo é correlacionado com seu respectivo limite de liquidez. Para os solos ensaiados, a correlação é apresentada na Figura 83.

Figura 83. Correlação entre IP e LL das amostras de solos ensaiadas.



Fonte: Autor.

Sendo assim, para as amostras de solo ensaiadas da área urbana de Antônio Carlos, obteve-se a seguinte correlação entre o IP e LL (coeficiente de correlação $R^2=0,9581$):

$$IP(\%) = 0,7843.LL(\%) - 28,224 \quad (12)$$

5.3.1.4. Classificação dos Solos de Acordo com o Comportamento da Engenharia

Segundo Das (2007), os engenheiros geotécnicos fazem uso de dois sistemas de classificação dos solos: o sistema de classificação da AASHTO e o sistema SUCS. Ambos os sistemas utilizam a distribuição granulométrica e os limites de Atterberg para classificar os solos.

O sistema de classificação da AASHTO é usado principalmente pelos departamentos de estradas do Estado e dos municípios. O sistema SUCS, por sua vez, é utilizado de maneira geral pelos engenheiros geotécnicos.

Desta forma, para esta pesquisa, a classificação das amostras de solo coletadas foi elaborada com base nesses dois sistemas.

A classificação com base no sistema da AASHTO é apresentada na Tabela 27. Ela foi desenvolvida para avaliar o comportamento do solo como subleito de rodovias, camada que oferece suporte a toda estrutura do pavimento. Solos granulares (pedregulhos e areias) são classificados como excelentes a bons enquanto que solos finos (siltes e argilas) são classificados como medianos a ruins. Para avaliar a qualidade de um solo como subleito de rodovias, é necessário também incorporar o chamado Índice de Grupo (IG) (DAS, 2007):

$$IG = (F_{200} - 35) \cdot [0,2 + 0,005 \cdot (LL - 40)] + 0,01 \cdot (F_{200} - 15) \cdot (IP - 10) \quad (13)$$

Onde:

- F200 = % passante na peneira nº 200;
- LL = Limite de Liquidez;
- IP = Índice de Plasticidade.

Valores de IG próximos ou iguais a zero representam solos com comportamento ótimo a bom para o subleito. Entretanto, valores de IG próximos ou iguais a vinte representam solos com comportamento ruim a péssimo.

Analisando-se a Tabela 27, pode-se ver que a maioria dos solos coletados é classificado no grupo A-7-5. Isso significa que se tratam de solos argilosos e, em termos de aplicação como material de subleito, são classificados de mediano a ruim.

As amostras dos pontos 2 e 3 apresentaram, segundo esta classificação, comportamento excelente e regular, respectivamente. Isso mostra que as encostas onde foram coletadas essas amostras constituem possíveis jazidas de material para ser utilizado como subleito para a construção de rodovias.

Para os grupos A-2 e A-4 até A-7, o sistema da AASHTO apresenta um gráfico contendo as faixas do limite de liquidez e índice de plasticidade para os solos.

Como pode-se ver na Tabela 27, dos solos classificados até o momento, todas as unidades se enquadram nos grupos supracitados. O referido gráfico é apresentado na Figura 84.

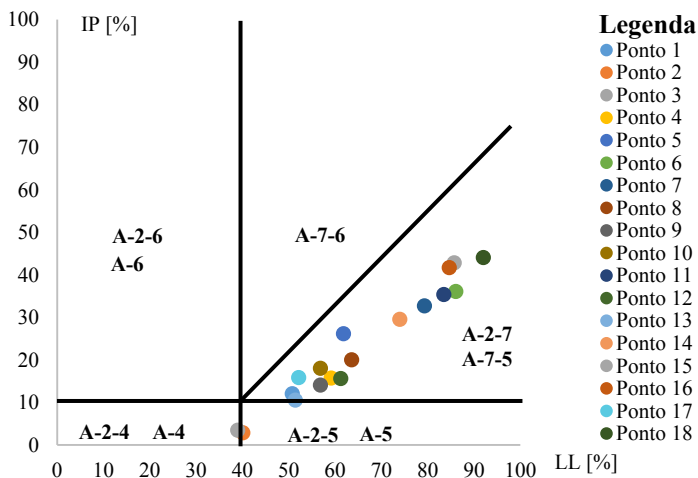
Villibor *et al.* (2009) afirmam que a classificação da AASHTO, embora seja a mais utilizada no meio rodoviário, classifica os solos tropicais de forma inapropriada. Os autores afirmam que os solos

Tabela 27. Classificação dos solos conforme o sistema de classificação da AASHTO.

Ponto	Classificação	IG	Comportamento como Subleito
1	A-7-5	5	Ruim
2	A-2-5	0	Excelente
3	A-4	0	Regular
4	A-7-5	3	Ruim
5	A-7-5	7	Ruim
6	A-7-5	18	Péssimo
7	A-7-5	15	Péssimo
8	A-7-5	14	Péssimo
9	A-7-5	5	Ruim
10	A-7-5	9	Ruim
11	A-7-5	16	Péssimo
12	A-7-5	9	Ruim
13	A-5	6	Ruim
14	A-7-5	17	Péssimo
15	A-7-5	15	Péssimo
16	A-7-5	17	Péssimo
17	A-7-5	6	Ruim
18	A-7-5	17	Péssimo

Fonte: Autor.

Figura 84. Faixa do limite de liquidez e índice de plasticidade para solos dos grupos A-2 e A-4 até A-7, conforme o sistema de classificação da AASHTO.



Fonte: Autor.

classificados no grupo A-7-5, que corresponde a maioria das amostras de solo, podem ser classificados como ótimo material de subleito (quando apresentam comportamento laterítico) ou péssimo subleito (quando apresentam comportamento saptolítico)

O Sistema Unificado de Classificação dos Solos, apresentado na Tabela 28, corresponde a classificação amplamente utilizada pelos engenheiros em obras geotécnicas. Esse sistema classifica o solo em dois grandes grupos: grossos (retido na peneira nº 200) e finos (passante na peneira nº 200). Para classificar os solos do primeiro grupo, o sistema faz uso da distribuição granulométrica do solo analisado, enquanto que os solos do segundo grupo são classificados conforme os índices de consistência do mesmo.

Analisando-se a Tabela 28, nota-se a predominância de dois grupos: SM, que corresponde à areia siltosa; e MH, representando silte elástico arenoso e siltes inorgânicos de alta plasticidade.

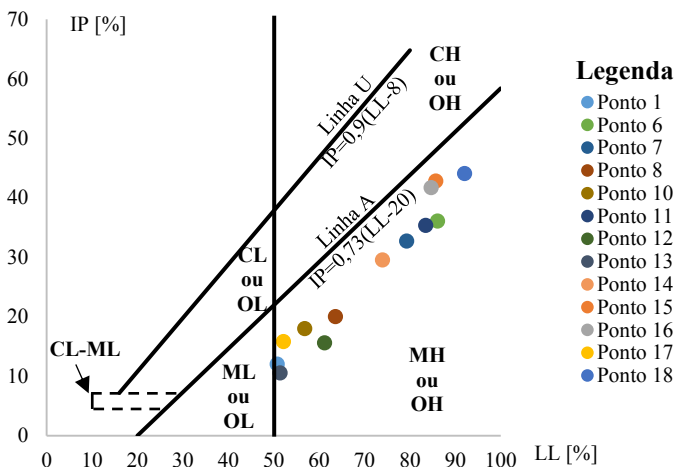
A amostras de solo que apresentaram 50% ou mais de material fino estão apresentados no gráfico de plasticidade de Casagrande, exposto na Figura 85. De forma similar à Tabela 28, as amostras são classificadas no grupo MH.

Tabela 28. Classificação dos solos conforme o sistema de classificação SUCS.

Ponto	Classificação	Descrição
1	MH	Silte elástico arenoso
2	SM	Areia siltosa com pedregulho
3	SM	Areia siltosa
4	SM	Areia siltosa
5	SM	Areia siltosa
6	MH	Silte elástico com areia
7	MH	Silte elástico arenoso
8	MH	Silte elástico arenoso
9	SM	Areia siltosa
10	MH	Silte elástico arenoso
11	MH	Silte elástico arenoso
12	MH	Silte elástico arenoso
13	MH	Silte elástico arenoso
14	MH	Silte elástico arenoso
15	MH	Silte elástico arenoso
16	MH	Silte elástico arenoso
17	MH	Silte elástico arenoso
18	MH	Silte elástico com areia

Fonte: Autor.

Figura 85. Gráfico de Plasticidade.



Fonte: Autor.

5.3.1.5. Massa Específica dos Sólidos

Neste tópico serão apresentados os resultados para os ensaios de massa específica dos sólidos, conforme os procedimentos indicados no item 4.3.3.

A Tabela 29 apresenta os resultados obtidos para o referido ensaio.

Tabela 29. Resultado dos ensaios de massa específica dos sólidos.

Ponto	ρ [g/cm ³]	Ponto	ρ [g/cm ³]
1	2,66	10	2,62
2	2,61	11	2,66
3	2,62	12	2,58
4	2,76	13	2,60
5	2,61	14	2,60
6	2,64	15	2,60
7	2,61	16	2,63
8	2,63	17	2,59
9	2,71	18	2,60

Fonte: Autor.

A massa específica indica, além do peso real das partículas, a quantidade de óxidos presentes no solo, principalmente os óxidos de ferro e alumínio (esses são os que mais influenciam e estão presentes)

(CAPUTO, 1973). Quanto maior o valor da massa específica, maior também será a quantidade desses óxidos, com isso, percebe-se que o solo presente no ponto 04 foi o de maior valor de massa específica e maior quantidade de óxidos de ferro. Isso pode ser confirmado por meio de uma análise da coloração do solo, uma vez que a presença de óxidos de ferro em solos gera colorações em tons quentes (vermelhos, laranjas, amarelos). O solo 4 apresenta coloração alaranjada, evidenciando a presença de óxidos de ferro.

5.3.1.6. MCT (miniatura Compactada Tropical) – Método Expedito das Pastilhas

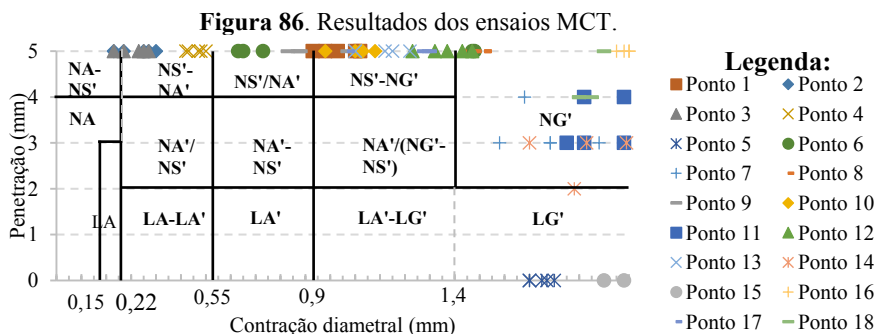
A classificação dos solos por meio da granulometria e limites de Atterberg, conforme apresentado, foi desenvolvida para classificar solos de regiões de clima frio e temperado. Os solos brasileiros são classificados como tropicais e, portanto, a aplicação desses sistemas de classificação pode gerar dificuldades e apresentar deficiências.

Nesse sentido, uma alternativa é usar o sistema de classificação desenvolvido por Villibor e Nogami, específico para solos tropicais compactados, chamado metodologia MCT.

Diferentemente dos sistemas da AASHTO e SUCS, esta metodologia não utiliza a granulometria e os limites de Atterberg para classificar os solos. Ela separa os solos tropicais em duas grandes classes: os de comportamento laterítico e os de comportamento não laterítico (VILLIBOR *et al.*, 2009).

A execução dos ensaios de MCT foi realizada seguindo os procedimentos indicados no item 4.3.3.

Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 86 e na Tabela 30.



Legenda:

- Ponto 1
- ◆ Ponto 2
- ▲ Ponto 3
- × Ponto 4
- * Ponto 5
- Ponto 6
- + Ponto 7
- Ponto 8
- ◆ Ponto 9
- ◆ Ponto 10
- Ponto 11
- ▲ Ponto 12
- × Ponto 13
- * Ponto 14
- Ponto 15
- + Ponto 16
- Ponto 17
- ◆ Ponto 18

Tabela 30. Resultados dos ensaios de MCT.

Ponto	Classificação	Descrição
1	NS'-NG'	Argila siltosa, silte argiloso não-laterítico
2	NS'-NA'	Silte arenoso, areia siltosa não-laterítica
3	NS'-NA'	Silte arenoso, areia siltosa não-laterítica
4	NS'/NA'	Silte arenoso, areia siltosa não-laterítica
5	LG'	Argila laterítica, argila laterítica arenosa
6	NS'/NA'	Silte arenoso, areia siltosa não-laterítica
7	NG'	Argila não-laterítica, argila arenosa não-laterítica
8	NG'	Argila não-laterítica, argila arenosa não-laterítica
9	NS'-NG'	Argila siltosa, silte argiloso não-laterítico
10	NS'-NG'	Argila siltosa, silte argiloso não-laterítico
11	NG'	Argila não-laterítica, argila arenosa não-laterítica
12	NG'	Argila não-laterítica, argila arenosa não-laterítica
13	NS'-NG'	Argila siltosa, silte argiloso não-laterítico
14	NG'	Argila não-laterítica, argila arenosa não-laterítica
15	LG'	Argila laterítica, argila laterítica arenosa
16	NG'	Argila não-laterítica, argila arenosa não-laterítica
17	NG'	Argila não-laterítica, argila arenosa não-laterítica
18	NG'	Argila não-laterítica, argila arenosa não-laterítica

Fonte: Autor.

As classes apresentadas na Tabela 30 são descritas conforme Villibor *et al.* (2009):

- NS'-NG': siltes, siltes arenosos e argilosos, argilas, argilas arenosas ou argilas siltosas com comportamento não laterítico. Apresentam capacidade de suporte de média a alta, com elevada perda de capacidade quando imersos em água. Possuem expansão e contração medianas a baixas. A permeabilidade desses solos é considerada média a alta. Apresentam plasticidade média a alta.
- NS'-NA' e NS'/NA': siltes, siltes arenosos e argilosos, areias siltosas ou areias argilosas com comportamento não laterítico. Apresentam capacidade de suporte de média a alta, com elevada ou baixa perda de capacidade quando imersos em água. Possuem expansão e contração baixas ou medianas a altas. A permeabilidade desses solos é considerada média a baixa. Apresentam plasticidade média.
- LG': argilas ou argilas arenosas com comportamento laterítico. Apresentam capacidade de suporte alta, com baixa perda de capacidade quando imersos em água. Possuem baixos índices de

expansão, enquanto que a contração é considerada baixas a mediana. A permeabilidade desses solos é considerada baixa. Apresentam plasticidade média a alta.

- NG': argilas, argilas arenosas ou argilas siltsas com comportamento não laterítico. Apresentam capacidade de suporte alta, com elevada perda de capacidade quando imersos em água. Possuem expansão e contração medianas a alta. A permeabilidade desses solos é considerada baixa a média. Apresentam plasticidade alta.

5.3.1.7. Resumo dos Ensaio de Caracterização

A Tabela 31 apresenta o resumo dos resultados dos ensaios de caracterização dos solos coletados na área urbana no município de Antônio Carlos.

Tabela 31. Resumo dos ensaios de caracterização executados.

Ponto	δ (g/cm ³)	γ_{nat} (kN/m ³)	W_{nat} (%)	e	n	Classificação			Índices de Consistência			Frações Granulométricas (%)					
						AASHTO	SUCS	MCT	LP (%)	LL (%)	IP (%)	Pedregulho	Areia G.	Areia M.	Areia F.	Silte	Argila
1	2,66	17,60	27,34	0,92	0,48	A-7-5	MH	NS'-NG'	38,78	50,79	12,01	2,34	21,73	13,04	11,25	28,47	23,16
2	2,61	13,70	17,81	1,24	0,55	A-2-5	SM	NS'-NA'	37,25	40,09	2,84	14,96	22,21	26,80	3,38	19,63	13,02
3	2,62	15,30	19,46	1,05	0,51	A-4	SM	NS'-NA'	35,55	39,00	3,45	0,49	10,67	23,72	28,31	22,24	14,57
4	2,76	15,80	30,77	1,28	0,56	A-7-5	SM	NS'/NA'	43,49	59,18	15,69	0,00	1,76	35,94	21,93	26,45	13,92
5	2,61	17,40	23,73	0,85	0,46	A-7-5	SC	LG'	35,70	61,82	26,12	10,54	26,28	16,30	2,40	10,65	33,84
6	2,64	16,40	34,71	1,18	0,54	A-7-5	MH	NS'/NA'	50,03	86,10	36,07	3,82	11,21	12,35	2,62	10,99	59,01
7	2,61	17,30	26,73	0,92	0,48	A-7-5	MH	NG'	46,63	79,32	32,69	1,50	15,31	15,48	3,84	16,14	47,73
8	2,63	18,10	27,87	0,86	0,46	A-7-5	MH	NG'	43,62	63,61	19,99	0,06	6,58	18,77	6,24	30,91	37,45
9	2,71	16,40	28,72	1,13	0,53	A-7-5	SM	NS'-NG'	42,81	56,86	14,05	1,85	14,79	27,62	4,99	32,74	18,01
10	2,62	17,60	21,55	0,81	0,45	A-7-5	MH	NS'-NG'	38,87	56,86	17,99	8,78	23,82	10,92	5,14	30,32	21,01
11	2,66	18,30	26,59	0,84	0,46	A-7-5	MH	NG'	48,17	83,50	35,33	0,33	9,82	20,27	1,30	13,82	54,46
12	2,58	16,70	25,31	0,93	0,48	A-7-5	MH	NG'	45,66	61,24	15,58	5,64	24,50	9,49	2,33	38,05	20,00
13	2,60	17,90	25,1	0,82	0,45	A-5	MH	NS'-NG'	40,89	51,42	10,53	0,55	11,33	25,07	1,83	38,14	23,08
14	2,60	16,20	26,65	1,03	0,51	A-7-5	MH	NG'	44,44	73,98	29,53	0,83	3,97	26,66	3,14	11,79	53,60
15	2,60	16,20	30,36	1,10	0,52	A-7-5	MH	LG'	42,94	85,73	42,79	2,24	13,32	22,76	4,08	9,00	48,60
16	2,63	17,30	27,83	0,95	0,49	A-7-5	MH	NG'	43,02	84,69	41,68	1,77	7,80	23,64	3,44	12,84	50,52
17	2,59	17,20	24,03	0,86	0,46	A-7-5	MH	NG'	36,35	52,15	15,81	0,61	18,52	25,78	5,33	30,76	19,00
18	2,60	17,10	26,25	0,92	0,48	A-7-5	MH	NG'	48,02	92,05	44,04	7,54	11,53	12,06	2,72	12,14	54,01

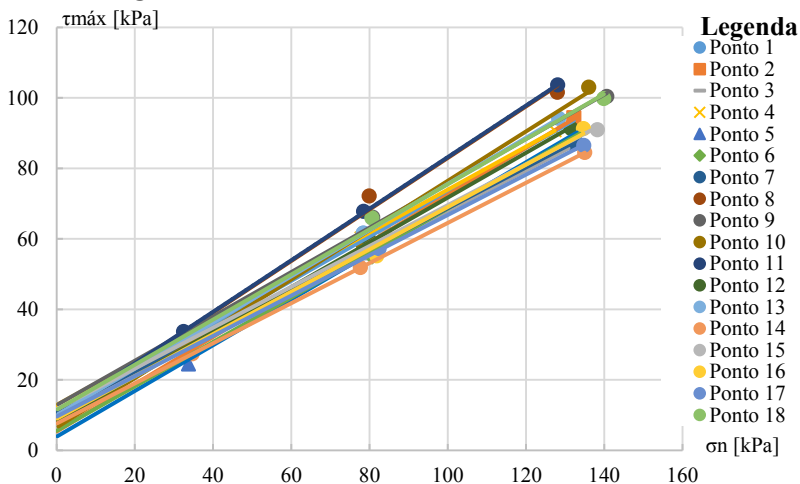
NOTA: δ – Massa específica real dos grãos; γ_{nat} – Peso específico aparente natural; W_{nat} – teor de umidade natural; e – índice de vazios; n – porosidade; LP – Limite de Plasticidade; LL – Limite de Liquidez; IP – Índice de Plasticidade.

Fonte: Autor.

5.3.2. Resultados dos Ensaios de Resistência dos Solos

A Figura 87 apresenta o gráfico com todas as envoltórias de ruptura de Mohr-Coulomb resultantes do ensaio de cisalhamento direto realizado nas amostras de solo indeformadas coletadas na área urbana de Antônio Carlos.

Figura 87. Envoltórias dos ensaios de cisalhamento direto.



Fonte: Autor.

A Tabela 32 apresenta o resumo dos resultados de cisalhamento direto realizados em amostras inundadas do município de Antônio Carlos.

Como pode-se ver, os valores de coesão dos pontos 2, 5, 6 e 10 foram os mais baixos dentre as amostras, enquanto que apresentaram elevados ângulos de atrito interno. Isso pode ser explicado pelo fato de que em todas as amostras, com exceção do ponto 6, apresentam predomínio das frações grossas em suas curvas granulométricas. Pelo fato do ponto 6 apresentar um dos maiores teores de argila, esperava-se que o valor de sua coesão fosse maior e o ângulo de atrito mais baixo.

O maior valor de coesão encontrado foi da amostra coletada no ponto 12, embora a fração de argila não ter sido considerada significativa. O maior ângulo de atrito encontrado foi do ponto 16, cujo elevado índice de plasticidade dessa amostra aponta para um elevado teor de argila, conforme visto na análise granulométrica dessa amostra. Entretanto, solos

mais argilosos tendem a apresentar valores de ângulo de atrito menores quando comparados a solos arenosos.

Tabela 32. Resumo dos parâmetros de resistência dos solos da área urbana de Antônio Carlos.

Ponto	Parâmetros Geotécnicos					
	c (kPa)	θ (°)	θ_r (°)	γ_{nat} (kN/m ³)*	γ_{sat} (kN/m ³)	Umidade nat. (%)*
01	10,33	32,2	31,7	17,60	18,63	27,34
02	5,31	33,9	34,3	13,70	17,18	17,81
03	10,24	30,0	32,3	15,30	17,91	19,46
04	12,83	31,4	33,6	15,80	17,71	30,77
05	3,86	33,0	32,9	17,40	18,69	23,73
06	5,52	32,2	32,4	16,40	17,54	34,71
07	10,80	30,1	29,6	17,30	18,40	26,73
08	9,87	36,2	32,2	18,10	18,77	27,87
09	12,84	32,2	31,9	16,40	18,04	28,72
10	6,49	35,0	35,3	17,60	18,97	21,55
11	10,04	36,2	32,7	18,30	19,03	26,59
12	8,21	32,4	31,4	16,70	18,18	25,31
13	10,03	33,2	33,8	17,90	18,81	25,1
14	7,60	29,7	31,8	16,20	17,87	26,65
15	11,63	30,1	31,0	16,20	17,63	30,36
16	8,94	40,0	31,0	17,30	18,38	27,83
17	9,55	29,8	31,6	17,20	18,53	24,03
18	11,49	32,6	33,1	17,10	18,35	26,25

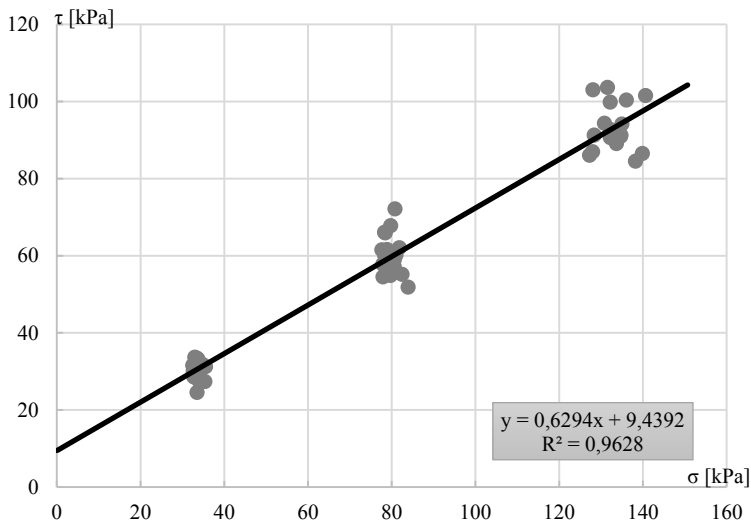
NOTA: *Média dos valores alcançados nos ensaios; c – Coesão; θ - Ângulo de atrito interno; θ_r – Ângulo de atrito interno residual; γ_{nat} - Peso específico aparente natural; γ_{sat} – Peso específico saturado.

Fonte: Autor.

O ponto 14 foi o que apresentou menor ângulo de atrito. Isso pode ser explicado pelo fato de que, na amostra 14, a fração argilosa predomina sobre as demais, resultando em ângulos de atrito menores. Porém, o valor de coesão do ponto 14 é considerado baixo para solos argilosos.

Nos solos que apresentam teores de argila muito elevados, o ângulo de atrito residual se aproxima do valor do ângulo de atrito de deslizamento para os minerais da lâmina de argila.

Ao analisar-se todas envoltórias de ruptura das amostras de solo, traçou-se a envoltória média de ruptura, conforme pode ser visto na Figura 88.

Figura 88. Correlação entre as envoltórias de ruptura dos solos ensaiados.

Fonte: Autor.

Com isso, pode-se concluir que, em média, a resistência ao cisalhamento dos solos da área urbana de Antônio Carlos obedece a seguinte equação:

$$\tau = 9,4392 + 0,6294 \cdot \sigma \quad (14)$$

Onde:

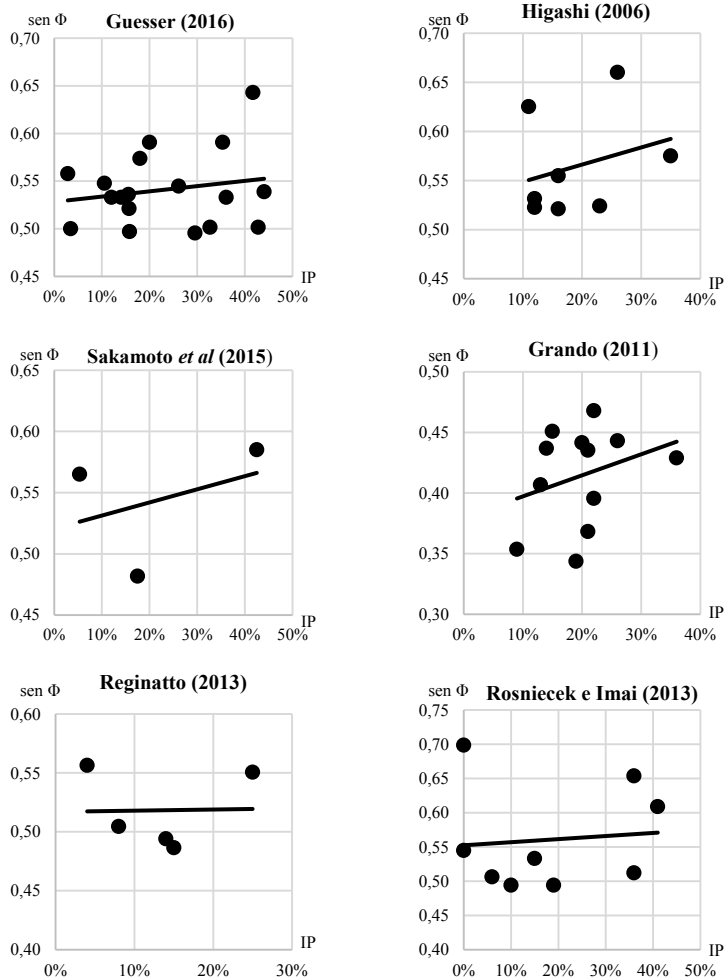
- τ representa a resistência ao cisalhamento (kPa);
- σ representa a tensão normal do solo (kPa).

A Equação (14) sugere que a coesão média dos solos da área urbana de Antônio Carlos equivale a, aproximadamente, 9,5kPa e o ângulo de atrito interno médio é 32°. A Equação (14) apresentada na Figura 88 mostra-se adequada, visto que seu coeficiente de correlação R^2 é próximo de 1.

O ângulo de atrito interno geralmente diminui com o índice de plasticidade do solo. Entretanto, nas amostras de solo ensaiadas nesta pesquisa, o comportamento dos resultados obtidos foi justamente o contrário, ou seja, os valores para ângulo de atrito dos solos aumentaram na medida que a plasticidade do solo aumentava.

Este comportamento pode ser visto na Figura 89, onde é comparado com os resultados obtidos por outras pesquisas realizadas em Santa Catarina. Embora os dados se mostrem consideravelmente dispersos, o padrão se mostra coerente e contrário daquilo que geralmente ocorre.

Figura 89. Comportamento dos solos quanto ao ângulo de atrito interno e índice de plasticidade em pesquisas realizadas em Santa Catarina.



Fonte: Organizado pelo autor.

5.3.3. Resultados dos ensaios de Caracterização do Granito

Conforme visto, as rochas que compõem a área urbana de Antônio Carlos são compostas por granitos e gnaisses. De um afloramento rochoso, coletou-se uma amostra de granito (Figura 45) para a realização de ensaios de caracterização.

O granito, mostrado na Figura 90, pertence a formação Granito São Pedro de Alcântara. A rocha apresenta granulação média, com grãos entre 1mm e 5mm, textura fanerítica e estrutura maciça.

Figura 90. Amostra de granito.



Fonte: Autor.

A caracterização foi feita conforme o item 4.3.5, seguindo as diretrizes do método sugerido para a determinação da porosidade/densidade utilizando técnicas de saturação e de fluatibilidade, da *International Society for Rock Mechanics* (ISRM, 1977).

Dessa forma, a amostra de granito ensaiada apresentou porosidade aparente de 0,78% e densidade da rocha seca (ρ_d) de, aproximadamente, 2,70g/cm³.

Segundo Goodman (1989), granitos que apresentam porosidade entre 0% e 1% equivalem a granitos que ainda não sofreram processos de intemperismo muito intensos.

Vallejo *et al.* (2002) apresentam uma classificação das rochas quanto à resistência à compressão uniaxial (RCU) correlacionada a reação ao golpe de martelo. Essa classificação pode ser vista na Tabela 33.

Tabela 33. Reação ao martelo para os grupos de rocha.

Grupo	RCU [MPa]	Reação ao Martelo*
Duras	Maior que 100	Vários golpes para partir; para RCU > 200, somente lascas e som de sino
Médias	30 a 100	Um ou dois golpes para partir; para RCU < 50, a ponta do martelo penetra levemente e a lâmina do canivete raspa
Brandas	10 a 30	Um golpe fragmenta, ponta do martelo penetra facilmente, lâmina do canivete risca mas não corta
Muito Brandas	2 a 10	Um golpe esmigalha; ponta do martelo penetra até 2cm, lâmina do canivete corta superficialmente

NOTA: *Reações para rochas intactas em amostras de mão.

Fonte: Vallejo *et al.* (2002).

Para fragmentar a rocha coletada, foi necessária a aplicação de vários golpes de martelo até que a rocha se partisse em fragmentos. Durante alguns golpes, a rocha despendia-se em forma de pequenas lascas.

Sendo assim, por meio da Tabela 33, o granito pode ser classificado como uma rocha dura. Sua resistência à compressão uniaxial é da ordem de 200MPa, ou seja, bastante resistente.

5.4. Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos Rasos

O mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos da área urbana de Antônio Carlos foi elaborado conforme o algoritmo desenvolvido por Michel (2013), o qual segue os preceitos do modelo SHALSTAB.

Uma das principais variáveis do modelo são as informações geomorfológicas. A partir do modelo digital do terreno (MDT) é possível obter a declividade das encostas, a direção de fluxo pluvial e a área de contribuição, que representa o acúmulo de fluxo de água. Os mapas contendo tais informações relativas à área de estudo desta pesquisa encontram-se na Figura 50, Figura 51, Figura 53 e Figura 56, respectivamente.

As variáveis relativas à resistência ao cisalhamento do solo (coesão e ângulo de atrito interno) estão apresentadas na Figura 58 e na Figura 59. Elas foram determinadas a partir da média dos valores de coesão e ângulo de atrito obtidos por meio das envoltórias de ruptura das amostras de solo que foram coletadas em cada unidade e submetidas ao ensaio de Cisalhamento Direto.

De maneira similar, foi elaborado o mapa de estimativa da massa específica saturada do solo. O mapa, apresentado na Figura 57, foi desenvolvido a partir da média dos valores das massas específicas reais dos solos obtidas por meio da execução dos ensaios de caracterização das amostras de solo coletadas.

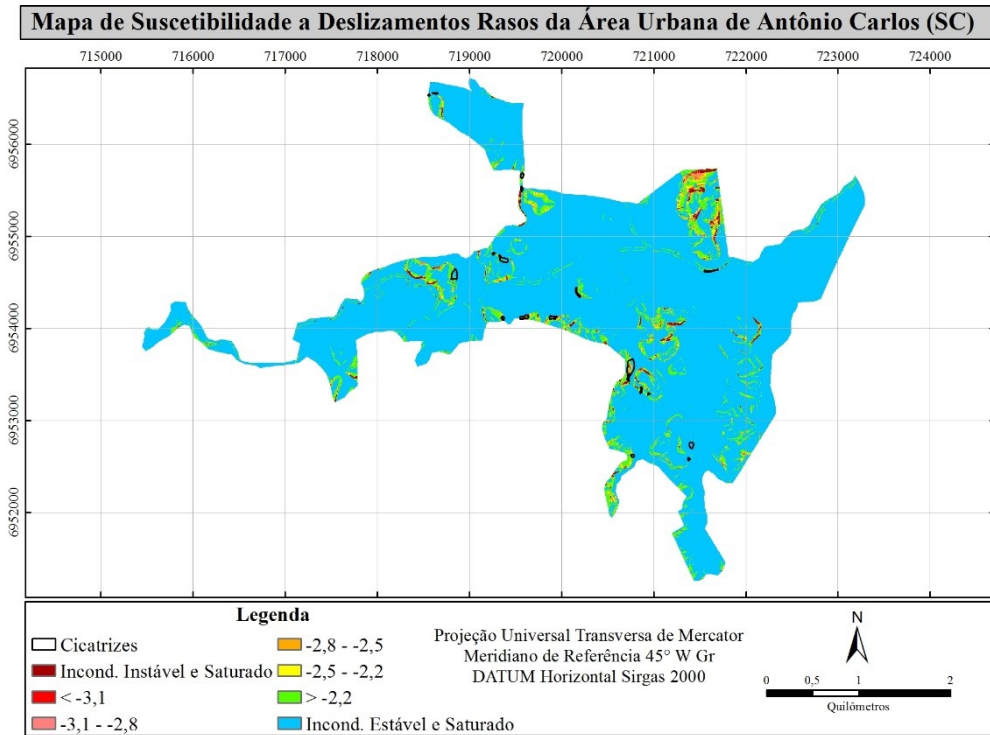
A profundidade de ruptura das encostas adotada para a aplicação do modelo foi de 5 metros, uma vez que o modelo SHALSTAB foi desenvolvido para deslizamentos rasos.

A coesão resultante pela presença das raízes da vegetação nas encostas, que contribui com uma parcela de resistência ao cisalhamento do solo nessa região, não foi considerada no cenário analisado. Isso se deve ao fato de que, segundo Michel (2013), a partir de uma profundidade de 3 metros, a resistência advinda das raízes tende a zero.

O peso da vegetação presente nas encostas foi estimado em 520kg/m^2 , referente à tipologia floresta, conforme Wu *et al.* (1979 *apud* TABALITA e FIORI, 2008).

Com todas as variáveis do modelo determinadas, foi realizado o processamento do algoritmo. O mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos da área urbana de Antônio Carlos está apresentado na Figura 91, com escala 1:10.000.

Figura 91. Mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos.



Fonte: Autor.

A divisão das classes de estabilidade apresentadas no mapa da Figura 91 é mostrada na Tabela 34.

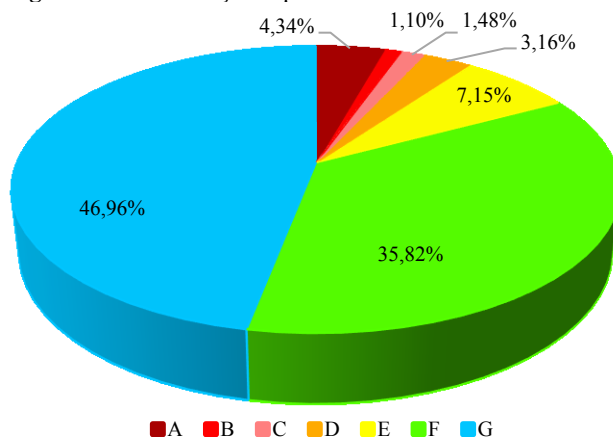
Tabela 34. Divisão das classes de estabilidade segundo o modelo SHALSTAB e sua representação.

	Classe de Estabilidade	Sigla	log (Q/T)	Representação
Instáveis	Incondicionalmente Instável e Não Saturado	A	-10 - -9,9	
	Incondicionalmente Instável e Saturado	B	-9,9 - -3,1	
	Instável e Saturado	C	-3,1 - -2,8	
	Instável e Não Saturado	D	-2,8 - -2,5	
Estáveis	Estável e Não Saturado	E	-2,5 - -2,2	
	Incondicionalmente Estável e Não Saturado	F	-2,2 - 9,9	
	Incondicionalmente Estável e Saturado	G	9,9 - 10	

Fonte: Autor.

Na Figura 92 é apresentado um gráfico que mostra a distribuição espacial das classes de estabilidade na área urbana de Antônio Carlos. Como pode-se perceber, aproximadamente 90% da área urbana situa-se em regiões classificadas como estáveis e apenas 10% em áreas instáveis, sendo 4,34% da área classificada na classe mais instável.

Figura 92. Distribuição espacial das classes de estabilidade.



Fonte: Autor.

Por meio da análise das ortofotos da área urbana, foram identificadas e mapeadas 20 cicatrizes de deslizamentos que ocorreram

na região. As cicatrizes estão apresentadas juntamente com o mapa de suscetibilidade, na Figura 91.

A distribuição das cicatrizes de deslizamentos no mapa de suscetibilidade é mostrada na Tabela 35.

Tabela 35. Distribuição das cicatrizes de deslizamentos.

	Classe de Estabilidade	Sigla	Cicatrizes	%	% total
Instáveis	Incondicionalmente Instável e Não Saturado	A	12	60,0%	95,0%
	Incondicionalmente Instável e Saturado	B	2	10,0%	
	Instável e Saturado	C	3	15,0%	
	Instável e Não Saturado	D	2	10,0%	
Estáveis	Estável e Não Saturado	E	1	5,0%	5,0%
	Incondicionalmente Estável e Não Saturado	F	0	0,0%	
	Incondicionalmente Estável e Saturado	G	0	0,0%	
Total:			20	100,0%	100,0%

Fonte: Autor.

Analisando-se a Tabela 35, nota-se que 95% das cicatrizes mapeadas estão localizadas em classes instáveis, sendo que 60% encontram-se na classe mais instável. Apenas uma cicatriz (5%) de deslizamento ficou localizada em uma área classificada como estável segundo o modelo SHALSTAB.

Portanto, como praticamente todas as cicatrizes mapeadas localizam-se em áreas classificadas como instáveis segundo o modelo SHALSTAB, pode-se considerar que o mapa de suscetibilidade gerado simula, com alta confiabilidade, a previsão de deslizamentos na área urbana de Antônio Carlos. Entretanto, como trata-se da região urbana e a intervenção antrópica não é considerada no modelo SHALSTAB, pode ocorrer alterações no mapa de suscetibilidade na medida que ocorre a expansão da área urbanizada.

Na Figura 93 e

Tabela 36 são apresentadas a distribuição espacial das classes de suscetibilidade a deslizamentos rasos por unidade geotécnica.

Tabela 36. Distribuição das classes de estabilidade por unidade geotécnica.

Unidade Geotécnica		Classe de Estabilidade						
		A	B	C	D	E	F	G
PVg	Área [m ²]	81975	20487	28336	60113	136336	635506	2436572
	%	2,41%	0,60%	0,83%	1,77%	4,01%	18,70%	71,68%
PVgn	Área [m ²]	1079	190	329	1015	2456	8497	25410
	%	2,77%	0,49%	0,84%	2,60%	6,30%	21,80%	65,19%
GHsq	Área [m ²]	39038	12514	10724	22137	46253	695282	6256211
	%	0,55%	0,18%	0,15%	0,31%	0,65%	9,82%	88,34%

Fonte: Autor.

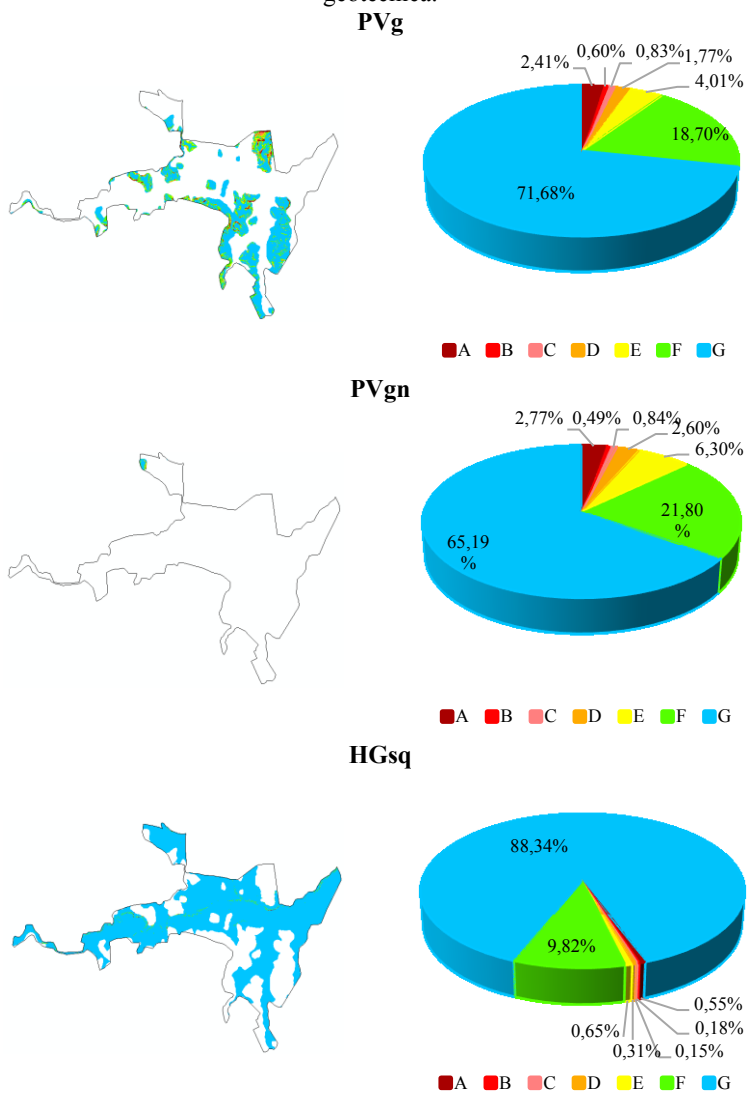
A unidade geotécnica que apresentou a maior parcela das áreas classificadas como instáveis segundo o modelo SHALSTAB foi a unidade Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granito, com 5,61% da área da unidade (aproximadamente 190.911m²). Isso se deve ao fato desta unidade apresentar as classes de relevo mais acentuadas (maiores declividades).

A unidade geotécnica Gleissolo de substrato sedimentos quaternários, por sua vez, apresentou o maior contingente de áreas estáveis, totalizando 98,81% da área da unidade (aproximadamente 6.997.746m²). Esse comportamento era esperado, pois a unidade situa-se nas classes de relevo mais planas (menores declividades).

A unidade Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granito, de presença menos expressiva na área de estudo, apresentou um percentual considerável de áreas instáveis, com 6,70% da área da unidade (cerca de 2613m²). Essa unidade também apresenta classes de relevo mais acentuadas.

Afim de simplificar e facilitar a compreensão e leitura do mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos da área de estudos, adotou-se o sistema semaforico de representação, no qual as classes de suscetibilidade a deslizamentos são representadas conforme as cores verde (segurança), amarelo (alerta) e vermelho (perigo). Sendo assim, a análise do mapa de suscetibilidade mostra-se mais intuitiva, tornando-o acessível a toda população.

Figura 93. Análise da estabilidade a deslizamentos rasos por unidade geotécnica.



Fonte: Autor.

Na Tabela 37 é apresentado a equivalência entre os sistemas de representação das cores que representam as classes de suscetibilidade a deslizamentos rasos.

No padrão de representação semafórico adotado, a classe de alta suscetibilidade (vermelho) equivale às classes de risco A e B do modelo SHASLTAB. A classe de média suscetibilidade (amarelo) representa as classes de risco C, D e E e, por fim, a classe de baixa suscetibilidade (verde) equivale às classes de risco F e G do modelo SHALSTAB.

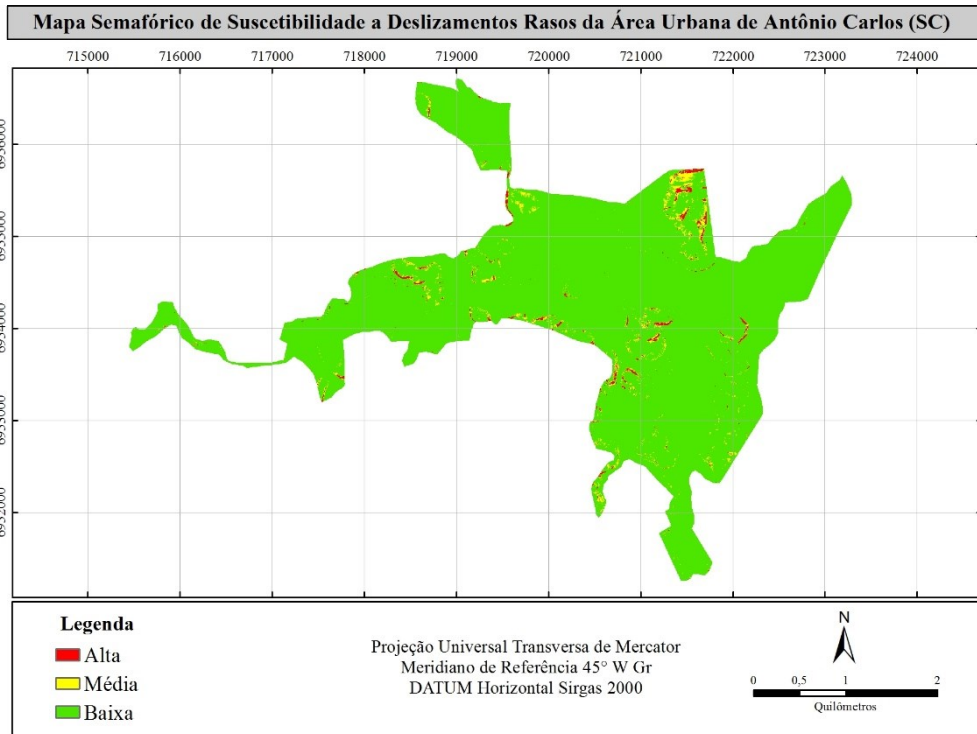
Tabela 37. Equivalência entre os sistemas de classificação de suscetibilidade:
Padrões de representação.

	Padrão SHALSTAB	Padrão Semafórico
Instáveis	A	Alta Suscetibilidade
	B	
	C	Média Suscetibilidade
D		
E		
Estáveis	F	Baixa Suscetibilidade
	G	

Fonte: Autor.

O mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos da área urbana de Antônio Carlos seguindo a representação de cores semafóricas é apresentado na Figura 94. Pode-se perceber a predominância de áreas verdes, classificadas como baixa suscetibilidade a deslizamentos. Esse comportamento já era esperado, uma vez que o mapa da Figura 91 e o gráfico da Figura 92 mostram que as classes F e G ocupam cerca de 83% da área de estudos.

Figura 94. Mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos (padrão semafórico).



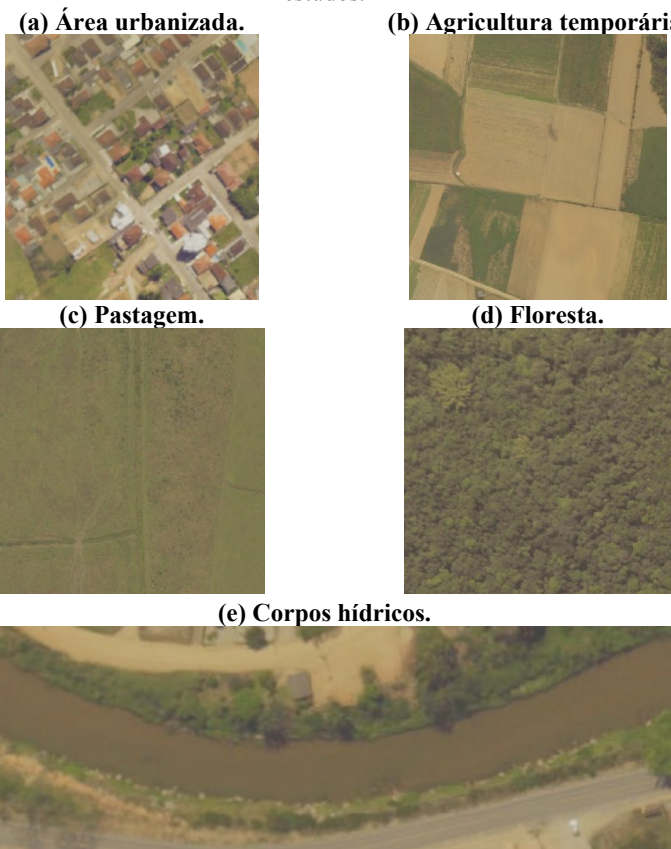
Fonte: Autor.

5.5. Mapa de Uso e Ocupação dos Solos

O mapa de uso e ocupação dos solos da área urbana de Antônio Carlos foi elaborado conforme a metodologia desenvolvida pelo IBGE, conhecida como Sistema de Classificação do Uso da Terra.

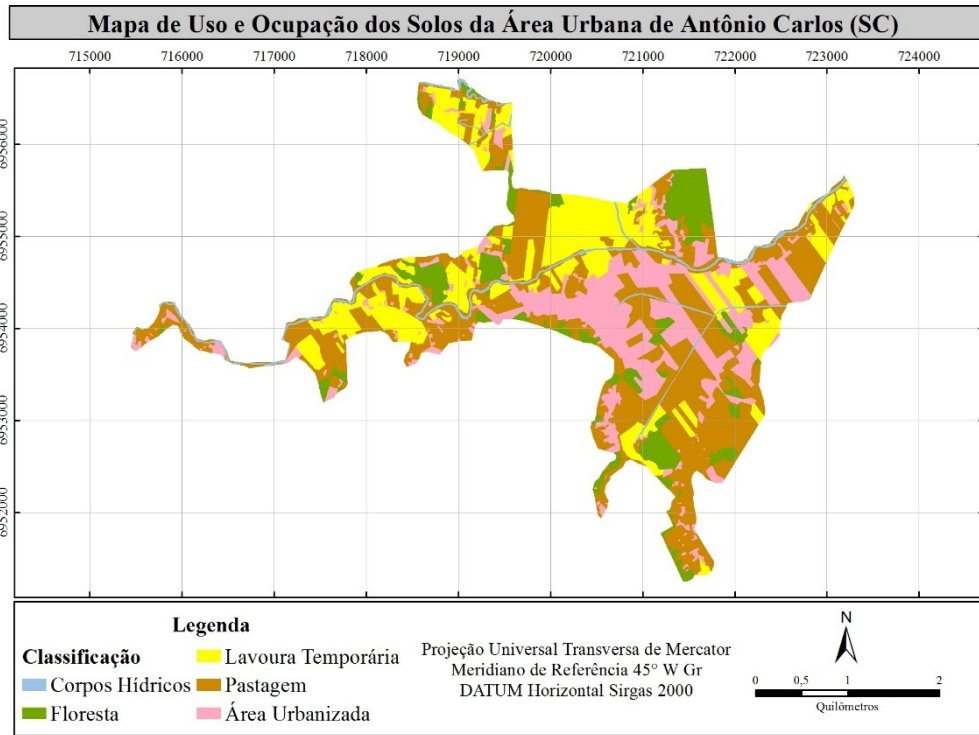
Por meio da fotointerpretação das ortofotos da área de estudo, foram identificadas 5 classes de uso do solo: área urbanizada, agricultura temporária, pastagem, floresta e corpos hídricos. Exemplos de amostragem dessas classes são apresentados na Figura 95.

Figura 95. Exemplos das classes de usos de solos encontradas na área de estudos.



Fonte: Autor.

Figura 96. Mapa de uso e ocupação dos Solos.



Fonte: Autor.

Analisando-se todo o mosaico das ortofotos da área de estudo e classificando-as conforme as 5 classes identificadas, foi elaborado o mapa de uso e ocupação dos solos da área urbana de Antônio Carlos, com escala 1:10.000. O mapa é apresentado na Figura 96 e a representação das cores de cada classe de uso e ocupação dos solos segue o padrão proposto pelo IBGE.

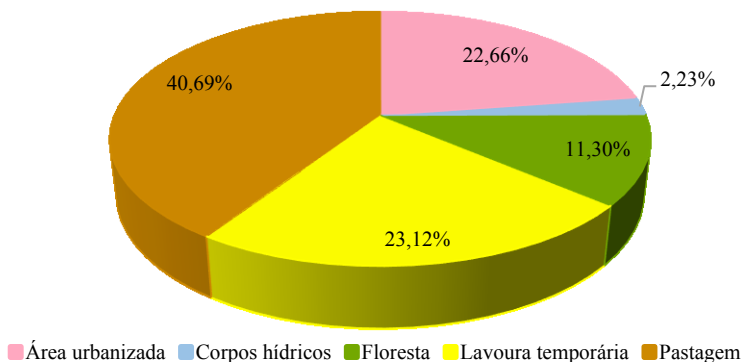
A abrangência das categorias de uso e ocupação dos solos pode ser vista na Tabela 38 e na Figura 97, baseado no mapa de uso e ocupação apresentado na Figura 96.

Tabela 38. Distribuição espacial das classes de uso e ocupação dos solos.

Classe de Uso do Solo	Área [km ²]	%
Área urbanizada	2,38	22,66%
Corpos hídricos	0,24	2,23%
Floresta	1,19	11,30%
Lavoura temporária	2,43	23,12%
Pastagem	4,28	40,69%
Total:	10,52	100,00%

Fonte: Autor.

Figura 97. % das classes de uso e ocupação dos solos da área urbana de Antônio Carlos.



Fonte: Autor.

Analisando-se o mapa de uso e ocupação dos solos da área urbana (Figura 96) e a Tabela 38, é perceptível que o uso predominante dado aos solos da área urbana de Antônio Carlos é destinado a pastagens, ocupando aproximadamente 41% da área (4,3km²). Esta classe abrange as áreas de

várzea, vegetação rasteira e áreas destinadas à pecuária extensiva, por pequenos pecuaristas, voltada principalmente para a produção de leite e seus derivados e de carne para consumo próprio, conforme mostra a Figura 98.

Figura 98. Área de pastagem.



Fonte: Autor.

Outra grande parcela do uso do solo da área urbana é destinada à agricultura temporária, ocupando 23,12% da região de estudo (2,43km²). A área destaca-se pela produção de hortaliças em geral, voltadas para o abastecimento da região da Grande Florianópolis. Também são encontradas regiões de cultivo de gramíneas, com aplicações no setor da jardinagem. Áreas de reflorestamento por pinus e eucalipto também podem ser encontradas. A Figura 99 mostra alguns exemplos de produtos cultivados na região.

A área urbanizada, a qual engloba as construções e loteamentos contidos na área de estudo, representa apenas a terceira classe de uso do solo, com 22,66% da região (2,38km²). Isso mostra que a região está passando por um processo de urbanização, no qual as demais classes de uso de solo passam a ser ocupadas por residências.

Por fim, tem-se a vegetação nativa presente na área urbana (Mata Atlântica), representada pela classe floresta como uso do solo. As florestas abrangem 11,30% da área da região (1,19km²). Representando os corpos d'água que compõem a bacia hidrográfica do Rio Biguaçu, tem-se a classe corpos hídricos, que ocupam 2,23% da área urbana de Antônio Carlos (0,24km²).

Figura 99. Agricultura temporária.
(a) Hortaliças.



(b) Grama.



Fonte: Autor.

Nas unidades geotécnicas Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granito e Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato gnaisse há a predominância de áreas de pastagem, com trechos de floresta e algumas construções esparsas.

Na unidade geotécnica Gleissolo de substrato sedimentos quaternários, o solo apresenta as cinco classes de uso e ocupação, com predominância da área urbanizada e de agricultura temporária, uma vez que esta unidade geotécnica apresenta relevo mais favorável para estas formas de utilização do solo.

As cicatrizes de deslizamentos que foram mapeadas na área urbana de Antônio Carlos localizam-se, principalmente, nas classes floresta e pastagem, sendo que poucas cicatrizes ocorreram em regiões de área urbanizada. Segundo o mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos, as áreas classificadas como instáveis se concentram nas classes floresta e pastagem, com poucas áreas urbanizadas classificadas como instáveis. Isso se deve ao fato da grande concentração da área urbanizada estar localizada nas regiões mais planas da área de estudo.

5.6. Mapa de Suscetibilidade Unificado

Para que a análise do uso e ocupação dos solos da área urbana seja elaborada com mais segurança, vários fatores devem ser analisados, como topografia do terreno (declividade), suscetibilidade a deslizamentos de encostas, suscetibilidade a alagamento, entre outros.

5.6.1. Mapa de Suscetibilidade a Inundações

O mapa de suscetibilidade a inundações da área urbana de Antônio Carlos foi elaborado pelo IPT em parceria com a CPRM. O mapa é apresentado na Figura 101 e sua escala de detalhamento é 1:25.000.

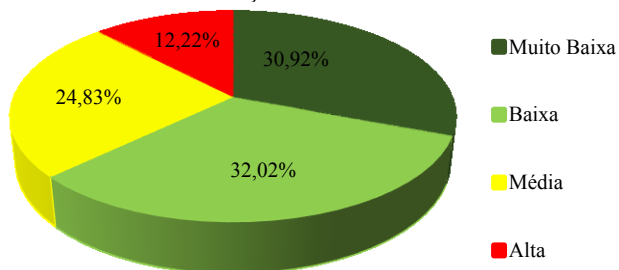
A distribuição espacial das classes de suscetibilidade a inundação da área de estudo é apresentada na Figura 100 e Tabela 39.

Tabela 39. Distribuição espacial das classes de suscetibilidade a inundação.

Classe de Suscetibilidade	Área [km ²]	%
Muito Baixa	3,25	30,92%
Baixa	3,37	32,02%
Média	2,61	24,83%
Alta	1,29	12,22%
Total:	10,52	100,00%

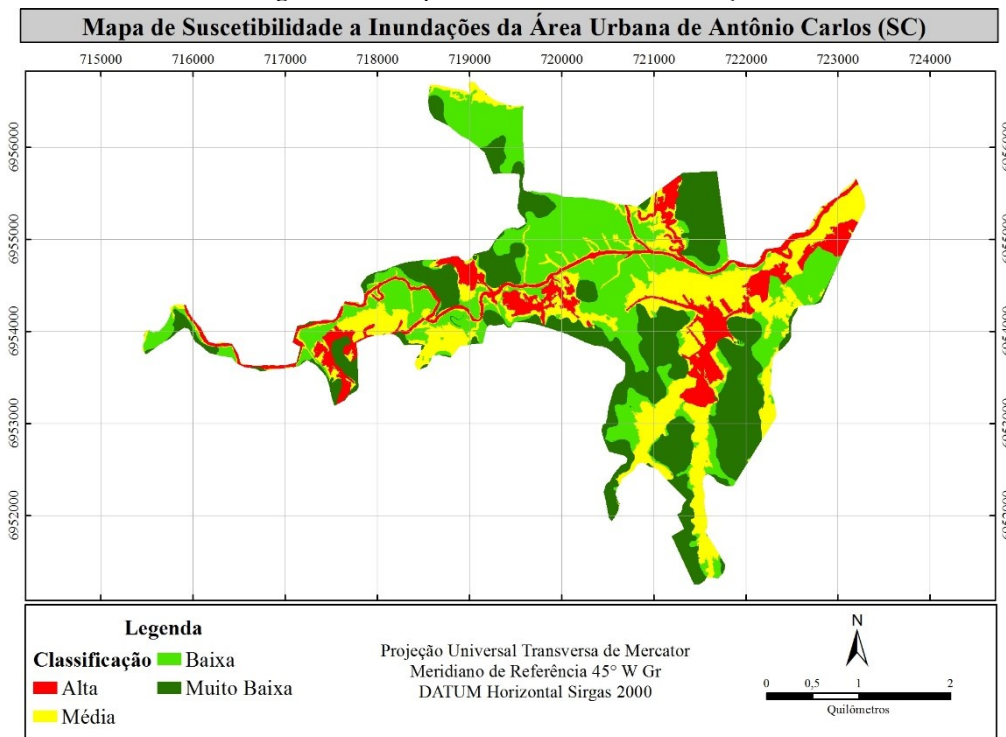
Fonte: Autor.

Figura 100. Gráfico da distribuição percentual das classes de suscetibilidade a inundação.



Fonte: Autor.

Figura 101. Mapa de suscetibilidade a inundação.



Fonte: IPT e CPRM (2014), adaptado pelo autor.

Como pode-se perceber, a maior parte da área urbana encontra-se em regiões de baixa e muito baixa suscetibilidade a inundações, com 62,94% da área de estudo (cerca de 6,62km²). As áreas que apresentaram suscetibilidade média somaram 24,83% (aproximadamente 2,61km²) enquanto que as regiões de alta suscetibilidade a inundações totalizaram 12,22% da área (cerca de 1,29km²).

Verificou-se que as regiões situadas abaixo da cota de 16 metros de altitude são classificadas como áreas de alta suscetibilidade a inundações e que, portanto, sua ocupação ou utilização para fins habitacionais deve ser evitada.

As regiões localizadas entre a cota de 16 metros e a cota de 19 metros de altitude são consideradas áreas de média suscetibilidade a inundações, conforme o mapa da Figura 101. Essas áreas demandam cuidados especiais para que sejam utilizadas como áreas habitacionais.

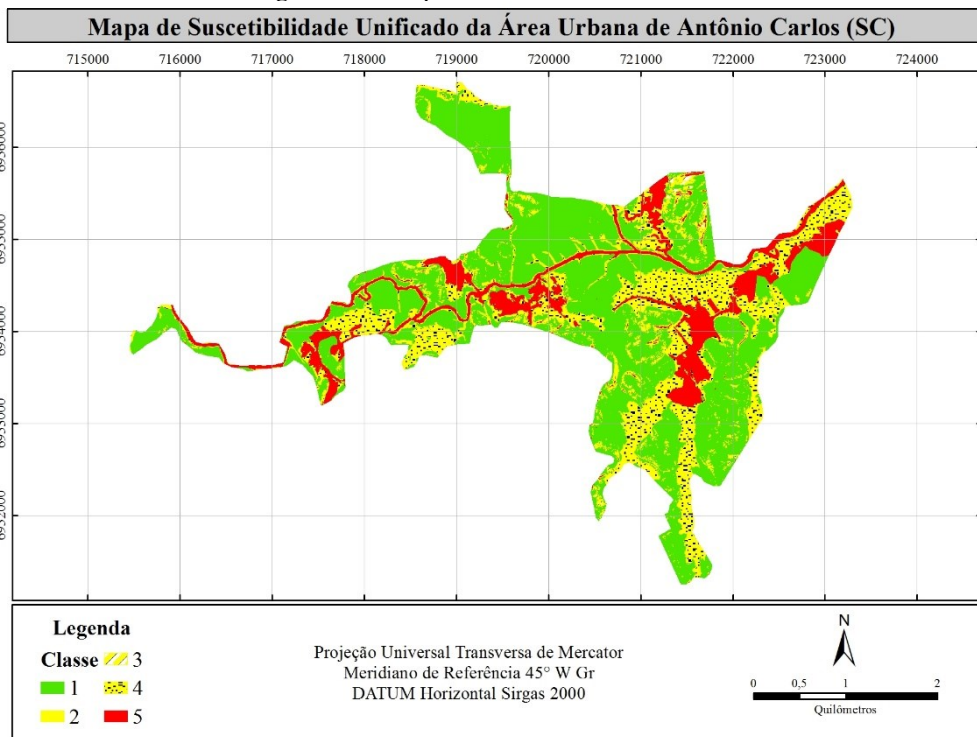
Por fim, as regiões localizadas acima da cota de 19 metros de altitude são classificadas como áreas de baixa ou, no caso das grandes elevações, muito baixa suscetibilidade a inundações. Dessa forma, quanto ao fator suscetibilidade a inundações, estas áreas são consideradas seguras para serem ocupadas. Entretanto, outros fatores devem ser levados em conta para a ocupação dessas regiões, conforme citado anteriormente.

Quando analisado em conjunto com o mapa geotécnico da área urbana de Antônio Carlos (Figura 77), nota-se que as classes de média e alta suscetibilidade encontram-se na unidade geotécnica Gleissolo de substrato sedimentos quaternários, uma vez que esta unidade apresenta as menores elevações da área de estudo. As demais classes estão localizadas nas unidades Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granito e de substrato gnaisse, uma vez que estas unidades são formadas pelas áreas mais elevadas e as encostas da área urbana de Antônio Carlos.

5.6.2. Mapa de Suscetibilidade Unificado

Mapa de suscetibilidade unificado consiste no mapa resultante do processo de sobreposição do mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos (translacionais), elaborado conforme o modelo SHALSTAB, e o mapa de suscetibilidade a inundações, ambos da área de estudo. O objetivo desse mapa é classificar as regiões conforme a suscetibilidade que esta apresenta a deslizamentos de encostas e a inundações e, dessa forma, obter uma visão geral das condições de segurança da área de estudos.

O mapa de suscetibilidade unificado da área urbana de Antônio Carlos é apresentado na Figura 102, com escala de detalhamento 1:25.000.

Figura 102. Mapa de suscetibilidade unificado.

Fonte: Autor.

Ressalta-se que o sistema de representação semafórico foi adotado para a classificação adotada no mapa de suscetibilidade unificado. Dessa forma, o mapa se torna mais acessível e de fácil compreensão a todos.

O mapa de suscetibilidade unificado foi categorizado em 5 classes:

- Classe 1: região de baixa suscetibilidade (baixa suscetibilidade a deslizamentos de encostas e a inundações);
- Classe 2: região de média suscetibilidade (média suscetibilidade a deslizamentos de encostas e a inundações);
- Classe 3: região de média suscetibilidade (média suscetibilidade a deslizamentos de encostas e baixa suscetibilidade a inundações);
- Classe 4: região de média suscetibilidade (baixa suscetibilidade a deslizamentos de encostas e média suscetibilidade a inundações);
- Classe 5: região de suscetibilidade elevada (elevada suscetibilidade a deslizamentos de encostas e/ou a inundações).

A distribuição espacial das classes de suscetibilidade do mapa da Figura 102 é apresentada na Tabela 40 e na Figura 103.

Tabela 40. Distribuição das classes de suscetibilidade, segundo o mapa de suscetibilidade unificado.

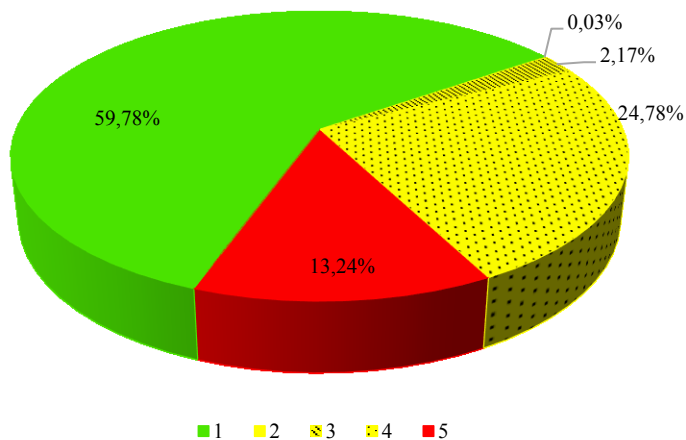
Classe de Suscetibilidade	Área [m²]	%
1	6289018,36	59,78%
2	3315,77	0,03%
3	228374,28	2,17%
4	2606596,00	24,78%
5	1393155,93	13,24%
Total:	10520460,34	100,00%

Fonte: Autor.

Como pode-se perceber, a classe de suscetibilidade predominante na área urbana de Antônio Carlos é a classe 1, a qual representa grau baixo, isto é, baixa suscetibilidade a deslizamentos de encostas e a inundações. A classe 1 abrange 59,78% da área urbana (cerca de 6,3km²).

A classe 4 se destacou dentre as classes de suscetibilidade média. Estas regiões apresentam baixa suscetibilidade a deslizamentos de encostas e média suscetibilidade a inundações e ocupam 24,78% da área urbana (cerca de 2,60km²).

Figura 103. Gráfico da distribuição percentual das classes do mapa de suscetibilidade unificado.



Fonte: Autor.

A classe 5 (suscetibilidade elevada) abrange 13,24% da área urbana (aproximadamente 1,4km²).

As regiões localizadas na classe 1 são as que se apresentam mais favoráveis à expansão da área urbanizada, uma vez que apresentam maior segurança em relação a estabilidade das encostas e baixa possibilidade de sofrer inundações.

As regiões localizadas nas classes de média suscetibilidade (classes 2, 3 e 4), assim como a classe 1, também são favoráveis à expansão da área urbanizada. Entretanto, medidas de prevenção devem ser tomadas para diminuir a suscetibilidade a deslizamentos de encostas ou a inundações presentes nessas regiões.

Para amenizar os riscos de deslizamentos de encostas, medidas para estabilização de taludes devem ser executadas. Muros de arrimo, cortinas atirantadas e escalonamento de taludes são exemplos de medidas preventivas que podem ser utilizadas para aumentar a estabilidade das encostas.

O risco de inundação, por sua vez, pode ser contornado por meio da elevação dos terrenos em relação ao nível da rua, por exemplo. A implantação de uma rede de drenagem pluvial eficiente, aumento das áreas destinadas a drenagem nos lotes e implantação de sistemas coletores de águas pluviais nas residências também colaboram com a diminuição do risco de ocorrerem inundações nas áreas que compõem estas classes.

Contudo, as regiões que estão localizadas na classe de suscetibilidade elevada devem ter sua ocupação restringida por não apresentarem segurança suficiente à população.

Quando analisado em conjunto com o mapa geotécnico (Figura 77), nota-se que a unidade Gleissolo de substrato sedimentos quaternários, unidade que ocupa cerca de 67% da área urbana de Antônio Carlos, apresenta, predominantemente, as classes 1, 4 e 5, com os maiores percentuais dentre as unidades. Por ser uma unidade geotécnica com altitude menores e baixas declividades, a suscetibilidade a inundações é o problema mais frequente.

As demais unidades geotécnicas encontram-se nas encostas e elevações da área urbana. Sendo assim, o principal problema identificado nestas unidades são deslizamentos de encostas. A unidade Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato gnaisse é composta, em sua maioria, por áreas classificadas com baixa suscetibilidade (classe 1). Regiões das classes 3 e 5 também são encontradas, porém, em menor percentual.

A unidade Podzólico Vermelho-Amarelo apresenta as classes 1, 3 e 5, com predominância da classe 1. Esta unidade geotécnica apresenta a maior parcela dos problemas ligados a estabilidade de encostas.

Quando analisado em conjunto com o mapa de uso e ocupação dos solos da área urbana de Antônio Carlos, percebe-se que parte da área urbanizada está localizada em áreas de suscetibilidade elevada (classe 5).

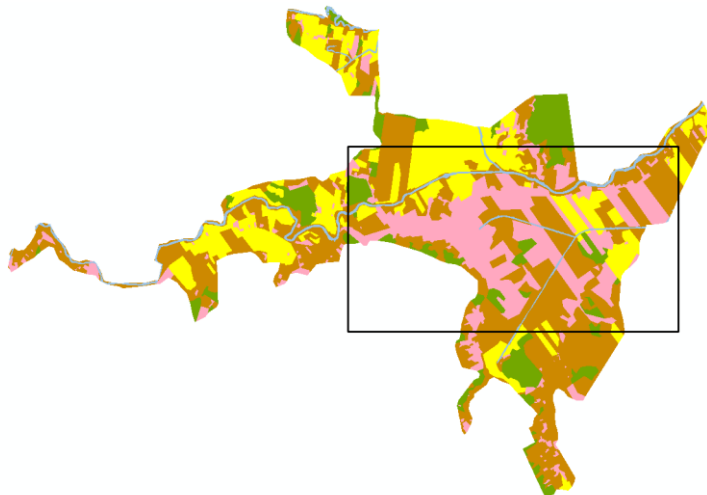
Esta situação é preocupante, um problema quanto a segurança da população que habita essas regiões. Esse fato se mostra como uma falha de planejamento por parte dos órgãos competentes e será analisado a seguir.

5.6.3. Análise da Expansão da Área Urbanizada

Segundo o mapa de uso e ocupação dos solos da área urbana de Antônio Carlos, a região central da área de estudo concentra a maior parcela da área urbanizada, conforme pode ser visto na Figura 104. A mesma área também concentra grande parte da classe 5, como apresentado na Figura 105.

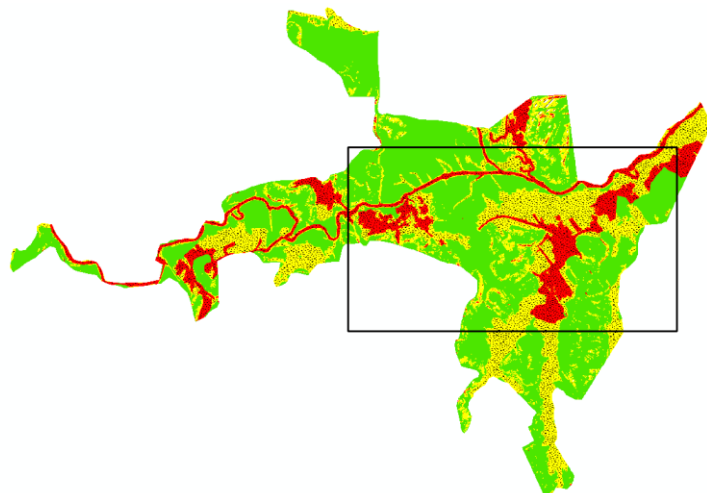
Uma série histórica de imagens de satélite foi analisada afim de avaliar o crescimento da mancha que representa a área urbanizada contida na região indicada na Figura 104. A análise é mostrada na Figura 106.

Figura 104. Concentração da área urbanizada na região central da área de estudo.



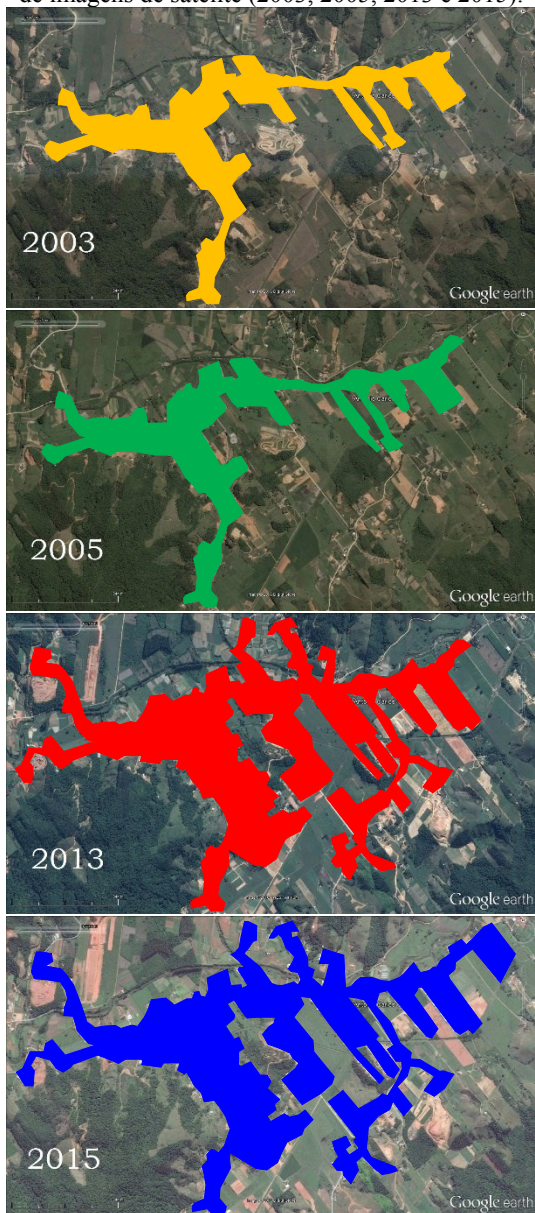
Fonte: Autor.

Figura 105. Presença da classe 5 de suscetibilidade na região central da área de estudo.



Fonte: Autor.

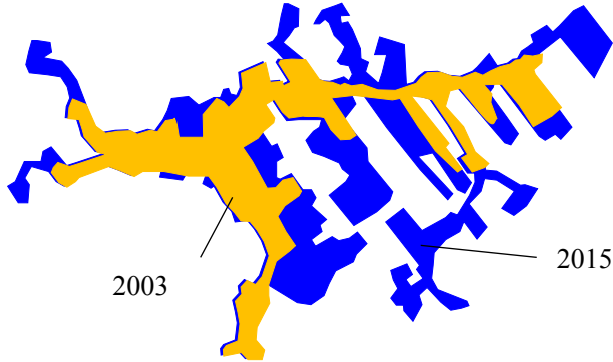
Figura 106. Análise do crescimento da área urbanizada em uma série temporal de imagens de satélite (2003, 2005, 2013 e 2015).



Fonte: Google Earth, adaptado pelo autor.

O crescimento pode ser melhor observado quando a mancha referente à área urbanizada no ano de 2003 é sobreposta à área urbanizada no ano de 2015, como apresentado na Figura 107.

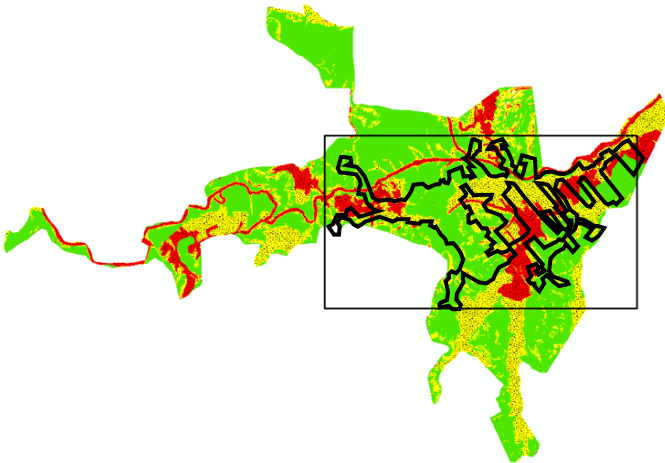
Figura 107. Demonstração do crescimento da área urbanizada.



Fonte: Autor.

A falha no planejamento da expansão da área urbanizada fica evidenciada quando a Figura 107 é analisada em conjunto com a Figura 105, conforme mostrado na Figura 108.

Figura 108. Presença de áreas urbanizadas em regiões de classe 5 de suscetibilidade.



Fonte: Autor.

A falta de ferramentas adequadas fez com que a área urbanizada da região central da área urbana de Antônio Carlos se expandisse em direção a áreas com elevada suscetibilidade a ocorrência de inundações. Isso reflete na qualidade de vida da população residente nessa região, uma vez que a ocorrência de precipitações intensas pode gerar alagamentos e enchentes, causando problemas sociais e econômicos ao município, conforme pode ser visto na Figura 109 e na Figura 110.

Figura 109. Alagamentos na região central da Área Urbanizada.



Fonte: Wilvert (2010), organizado pelo autor.

Figura 110. Alagamentos e deslizamentos na região central da Área Urbanizada.



Fonte: Wilvert (2010), organizado pelo autor.

Entretanto, os mapas e análises realizadas nesta pesquisa servirão de subsídios para que os órgãos competentes direcionem a expansão futura da área urbanizada para regiões que se encontrem em classes de suscetibilidade menores, como as classes 1, 2, 3 e 4, tomando-se as devidas precauções, se for o caso.

Dessa forma, problemas desse tipo serão contornados, aumentando a qualidade de vida e consequente desenvolvimento econômico e social do município de Antônio Carlos.

6. CONCLUSÕES

Devido às intensas mudanças climáticas e a frequente ação antrópica sobre a natureza, a frequência de desastres naturais localizados em centros urbanos vem crescendo atualmente e, por isso, se faz necessário o planejamento regional da expansão das áreas urbanas de modo a evitar que ocorram grandes prejuízos sociais, econômicos e ambientais. Dentro desse panorama que esta pesquisa é inserida.

Durante a elaboração deste trabalho, observou-se a importância do desenvolvimento e utilização de Sistemas de Informações Geográficas para a elaboração, edição e integração de mapas afim de obter os objetivos almejados.

Para que fossem obtidos resultados mais precisos e de maior qualidade, foi desenvolvido um procedimento para aumentar a escala do mapa pedológico da área urbana de Antônio Carlos, feito por meio de expedições a campo e posterior análise dos dados em laboratório. O processo se mostrou dispendioso e lento, porém apresentou resultados bastante satisfatórios. As unidades pedológicas presentes na área de estudo foram totalmente redesenhadas e passaram a ter novos limites. A variação da área de cada unidade foi em torno de 30%. É notável ver a influência de uma escala inadequada para a obtenção e elaboração de outros mapas.

A aplicação da metodologia proposta por Davison Dias (1995) para a elaboração do mapa geotécnico da área urbana de Antônio Carlos foi bastante satisfatória. O mapa geotécnico preliminar elaborado por meio dessa metodologia apresentou seis unidades geotécnicas, no qual foram identificadas três inconsistências na relação solo/rocha de origem. Após o processo de aferição das unidades geotécnicas, o mapa geotécnico da área de estudos apresentou apenas três unidades: Gleissolo de substrato sedimentos quaternários, Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granito e Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato gnaisse. Destas, a primeira unidade geotécnica predomina sobre as demais, ocupando cerca de 67% da área urbana.

Com o intuito de caracterizar as unidades geotécnicas e formar um banco de dados geotécnico, foram realizadas expedições a campo afim de coletar amostras de solo e de rocha para a execução de ensaios laboratoriais de caracterização e de resistência.

Os resultados dos ensaios de caracterização realizados nas amostras de solo coletadas mostram que os solos apresentam elevados teores de finos (argila e silte), com algumas amostras apresentando frações de argila superiores a 60%. Dessa forma, as amostras apresentaram elevados índices de plasticidade, informando que os solos possuem alta plasticidade. Segundo o sistema TRB de classificação dos solos, as amostras coletadas foram classificadas, no geral, como grupo A-7-5 e seu comportamento como material de subleito de rodovias é considerado ruim a péssimo. O sistema de classificação SUCS indica que as amostras de solo pertencem ao grupo MH (siltes elásticos arenosos). Os ensaios de massa específica real dos grãos mostraram que, em média, as amostras apresentam $2,60\text{g/cm}^3$. A classificação MCT (método expedito das pastilhas), no geral, mostrou que os solos apresentam comportamento não laterítico.

Para analisar a resistência ao cisalhamento dos solos da área urbana de Antônio Carlos, foram realizados ensaios de cisalhamento direto, na condição inundada. No geral, os solos apresentaram resistência significativa, com valores de ângulo de atrito interno da ordem de 30° e coesão de 10kPa . A envoltória de ruptura Mohr-Coulomb elaborada por meio da correlação entre a tensão cisalhante e tensão normal obtidas dos ensaios de cisalhamento direto ($R^2=0,9628$) mostrou que, na média, a coesão dos solos é igual a $9,5\text{kPa}$ e o ângulo de atrito interno 32° . O comportamento do solo que, em geral, ocorre quanto ao ângulo de atrito interno e o índice de plasticidade não foi o esperado, sendo que os solos ensaiados nesta pesquisa apresentaram um ganho de resistência com o aumento da plasticidade. Entretanto, os resultados de outras pesquisas realizadas em Santa Catarina apresentaram o mesmo comportamento, sugerindo um padrão dos solos subtropicais.

A amostra de granito da formação Granito São Pedro de Alcântara coletada apresentou granulação média, textura fanerítica e estrutura maciça. O ensaio de porosidade aparente indicou que a rocha apresenta $0,78\%$ de porosidade. Valores dessa ordem indicam que se trata de um granito que não sofreu processo de intemperismo intenso. A massa específica da rocha seca foi determinada e resultou em $2,70\text{g/cm}^3$. A reação ao martelo mostrou que se trata de uma rocha dura, com resistência a compressão uniaxial estimada em cerca de 200MPa .

Com relação ao mapeamento, a aplicação do modelo SHALSTAB se mostrou satisfatória. O mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos (translacionais) da área urbana de Antônio Carlos foi elaborado considerando-se a profundidade de ruptura das encostas igual a 5 metros. O resultado mostra que cerca de 10% da área urbana está

localizada em áreas instáveis. Essas áreas estão concentradas na unidade geotécnica Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granito. A aferição do mapa de suscetibilidade a deslizamentos foi feita por meio da sobreposição das cicatrizes de deslizamentos que ocorreram no passado. O resultado obtido foi que 95% das cicatrizes de deslizamentos mapeadas estão localizadas em áreas classificadas como instáveis, mostrando que o mapa gerado conseguiu simular deslizamentos que já ocorreram e prever áreas suscetíveis a deslizamentos futuros.

O mapa de uso e ocupação dos solos da área urbana de Antônio Carlos foi elaborado por meio de técnicas de fotointerpretação e da aplicação do Sistema de Classificação do Uso da Terra, desenvolvido pelo IBGE. O mapa resultou em 5 classes de uso do solo (elencadas conforme percentual de área ocupada): pastagem (40,69%), lavoura temporária (23,12%), área urbanizada (22,66%), floresta (11,30%) e corpos hídricos (2,23%). A área urbanizada concentra-se na unidade geotécnica Gleissolo de substrato sedimentos quaternários, relevo plano ou suave (baixas declividades).

O mapa de suscetibilidade a inundação da área urbana de Antônio Carlos, desenvolvido pelo IPT e CPRM, foi editado e apresenta escala 1:25000. O mapa é apresentado em 4 classes: alta suscetibilidade, média suscetibilidade, baixa e muito baixa suscetibilidade. As regiões localizadas abaixo da cota de 16 metros de altitude apresentam alta suscetibilidade a inundação. As regiões situadas entre a cota de 16 metros e a cota de 19 metros de altitude apresentam média suscetibilidade a inundações. As regiões situadas acima da cota de 19 metros de altitude, por sua vez, apresentam baixa ou muito baixa suscetibilidade a inundação. A unidade Gleissolo de substrato sedimentos quaternários foi a única unidade geotécnica a apresentar suscetibilidade a inundação, visto que se encontra em regiões de baixa altitude e de relevo suave.

A sobreposição do mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos da área urbana e o mapa de suscetibilidade a inundação da área urbana propiciou a elaboração do mapa de suscetibilidade unificado da área de estudos. Este mapa se encontra dividido em 5 classes de suscetibilidade distintas, conforme o grau de suscetibilidade que apresentam. Alternativas para a ocupação das classes que apresentam média suscetibilidade são apresentadas. As classes de suscetibilidade predominantes foram as classes 1, 4 e 5.

A utilização do padrão de representação semafórico para os mapas de suscetibilidade se adequa muito bem com o propósito da pesquisa, pois tornam fáceis a leitura e interpretação dos mapas gerados, fazendo com que eles se tornem acessíveis a toda população.

A avaliação do crescimento da área urbanizada ao longo do tempo, realizada por meio da análise de imagens de satélite datadas de 2003, 2005, 2013 e 2015, mostrou que, atualmente, parte da área urbanizada encontra-se em áreas classificadas como elevada suscetibilidade (classe 5). Isso mostra que o planejamento urbano da cidade é deficiente, de modo que a população dessas regiões se torna vulnerável a desastres naturais.

Para evitar que a futura expansão da área urbanizada avance ainda mais sobre áreas que apresentam algum risco a população, esta pesquisa fornece subsídios capazes de orientar e auxiliar os órgãos competentes na elaboração de um plano para a expansão consciente e ordenada, de modo que não ofereça riscos a população ou comprometa sua qualidade de vida e, dessa forma, gerando desenvolvimento social e econômico para todo o município de Antônio Carlos.

6.1. Recomendações

Para complementação desta pesquisa, são sugeridos:

- Caracterizar a unidade geotécnica Gleissolo de substrato sedimentos quaternários por meio da execução de ensaios adequados para esta unidade;
- Coletar amostras e caracterizar a rocha gnaisse que compõe a formação Complexo Águas Mornas;
- Obter relatórios de investigações geotécnicas realizadas na área urbana de Antônio Carlos, como boletins de sondagem SPT, de modo a caracterizar o subleito da região;
- Avaliar mais profundamente o comportamento entre o ângulo de atrito interno e o índice de plasticidade do solo identificado para os ensaios executados nesta dissertação;
- Investigar a potencial utilização do solo das encostas de onde foram coletadas as amostras 2 e 4 para a utilização como subleito de rodovias;
- Identificar e monitorar as áreas classificadas como instáveis conforme o mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos da área urbana de Antônio Carlos desenvolvido por esta pesquisa;

- Incorporar mais variáveis que possam influenciar na qualidade de vida da população ao mapa de suscetibilidade unificado, tornando-o uma ferramenta ainda mais completa e objetiva;
- Avaliar o mapa de suscetibilidade unificado juntamente com as diretrizes impostas pelo Novo Código Florestal, afim de se determinar as áreas favoráveis a expansão da área urbanizada sem invadir áreas de preservação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo – determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508**: Grãos de solos que passam na peneira 4,8mm – determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo – determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo – análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1988. 13 p.

ABREU, Ana Elisa Silva de. **Mapeamento geotécnico para gestão municipal**: abordagem combinando três métodos distintos e sua aplicação em Analândia (SP). 2007. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

ALMEIDA, M. C. J. de; FREITAS, C. G. L. de. Uso do solo urbano: suas relações com o meio físico e problemas decorrentes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 2, 1996, São Carlos. **Anais...** São Carlos: ABGE, 1996. p. 195-200.

BEVEN, K. J.; KIRKBY, M. J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. **Hydrological Sciences Bulletin**, v. 24, n. 1, p. 43-69, 1979.

BITENCOURT, M. de F. et al. Estratigrafia do Batólito Florianópolis, Cinturão Dom Feliciano, na Região de Garopaba-Paulo Lopes, SC. **Revista Pesquisas em Geociências**. Porto Alegre, v. 35, n. 1, p. 109-136, jul. 2008.

BORTOLOTTI, Frederico Damasceno. **ArcGIS Aplicado a Bacias Hidrográficas**. Laboratório de Topografia e Cartografia – LTC. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória. 97 slides. Disponível em: <www.ltc.ufes.br/gisbasins/Aula_06.pdf>. Acesso em: 03 de dezembro de 2013. Apresentação em PowerPoint.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Brasil. Secretaria Nacional de Defesa Civil. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2012**. 2 ed. Florianópolis: CEPED/UFSC, 2013. Volume Santa Catarina.

BRITO, Fausto. O deslocamento da população brasileira para as metrópoles. **Estudos Avançados**. 2006, vol.20, n.57, pp. 221-236.

BUENO, Liane da Silva; LAPOLLI, Edis Mafra. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Centro Tecnológico. **Estudo em áreas de ocupação urbana com fatores de risco: o caso do Bairro Córrego Grande - Florianópolis - SC /**. Florianópolis, SC, 2000. xvii, 74f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.

BURROUGH, P.A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford, Clarendon Press, 1986. 193 p.

CÂMARA, G. **Sistemas de Informação Geográfica para Aplicações Ambientais e Cadastrais: uma Visão Geral**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. 18 p. 2001.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1973- 3v.

CARVALHO, P. R. S. et al. Análise comparativa de métodos para delimitação automática das sub-bacias do alto curso do Rio Preto. **Espaço & Geografia**. Brasília, v. 13, n. 2. P. 227-307, 2010.

CHRIST, Caroline Ester. **Mapeamento de áreas suscetíveis ao colapso na bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição**. 2014. 174 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2014.

DAS, Braja M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. 6. ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

DAVISON DIAS, R. Proposta de Metodologia de Definição de Carta Geotécnica Básica em Regiões Tropicais e Subtropicais. **In:** REVISTA DO INSTITUTO GEOLÓGICO, São Paulo, SP, 1995, p.51-55.

DAVISON DIAS, R. Proposta de uma Metodologia de Estudos Geotécnicos para Implantação de Rodovias, Estradas Rurais e Vicinais em Solos Brasileiros. **In:** REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Florianópolis, SC, 2001, **Anais...**

FERNANDES, Nelson F.; GUIMARÃES, Renato F.; GOMES, Roberto A. T.; VIEIRA, Bianca C.; MONTGOMERY, David R.; GREENBERG, Harvey. Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: Avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 51-71, Out. 2001.

FERNANDES, Nelson F.; GUIMARÃES, Renato F.; GOMES, Roberto A. T.; VIEIRA, Bianca C.; MONTGOMERY, David R.; GREENBERG, Harvey. Topographic controls of landslides in Rio de Janeiro: field evidence and modeling. **Catena**, v. 55, n. 2, p. 163 - 181, Jan. 2004

FREIRE, E. P. **Estabilidade de taludes naturais em solos nos morros da cidade de Santos**. Brasília, 1995. 108 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil.

GERSCOVICH, Denise. **Estabilidade de taludes**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 166 p.

GODOY, H. **Identificação e classificação geotécnica de latossolos do estado de São Paulo pelo método das pastilhas MCT**. São Paulo, 1997. 132 p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências.

GOMES, R.A.T. **Modelagem de Previsão de Movimentos de Massa a Partir da Combinação de Modelos de Escorregamentos e Corridas de Massa**. 180p. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2006.

GOODMAN, Richard E. **Introduction to rock mechanics**. 2 ed. New York: Wiley, 1989. 289 p.

GORSEVSKI, Pece V. et al. Spatially and temporally distributed modeling of landslide susceptibility. **Geomorphology**, Philadelphia, v. 74, n. 80, p. 178-198, mar. 2006.

GRANDO, Ângela. **Monitoramento e modelagem hidrossedimentológica em uma microbacia hidrográfica experimental**. 175 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2011.

GUARESI, Clebson Mendonça. **Modelo de banco de dados geotécnicos vinculados a um sistema de informações georeferenciadas da Grande Florianópolis**. Florianópolis, SC, 2004. 1 v. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil.

GUESSER, L.H. **Elaboração do mapa geotécnico preliminar e mapa de áreas suscetíveis a movimentos de massa do município de Antônio Carlos-SC**. Florianópolis, 2013. 142 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Departamento de Engenharia Civil.

GUIMARÃES, R.F.; MONTGOMERY, D.R.; GREENBERG, H.M.; FERNANDES, N.F.; GOMES, R.A.T.; CARVALHO JÚNIOR, O.A. Parameterization of soil properties for a model of topographic controls on shallow landsliding: application to Rio de Janeiro. **Engineering Geology**, v.2, 137, p.1-10, 2003.

HIGASHI, Rafael Reis. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. **Utilização de um SIG no desenvolvimento de um banco de dados geotécnicos do norte do estado do Rio Grande do Sul**. Florianópolis, 2002. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

HIGASHI, R.A.R. **Metodologia de Uso e Ocupação dos Solos de Cidades Costeiras Brasileiras Através de SIG com Base no**

Comportamento Geotécnico e Ambiental. Florianópolis, 2006. 486 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

HIGHLAND, L.M.; BOBROWSKY, Peter. **The landslide handbook: A guide to understanding landslides.** Reston, Virginia: U.S. Geological Survey, 2008. 129 p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades.** 2010. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php?lang=>>>. Acesso em: 10 de novembro de 2013.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Projeto Gerenciamento Costeiro (GERCO).** 1995 e 2003.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sinopse do Censo Demográfico 2010.** 2010. Disponível em:<www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=sc&tema=sinopse_censod_emog2010>. Acesso em: 25 de outubro de 2013.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de uso da terra.** 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 171 p.

IMAI, Hugo Namba; ROSNIECEK, Anderson. **Mapeamento geotécnico e análise de áreas suscetíveis a deslizamentos rasos da bacia do rio Ratonés - aplicação do modelo SHALSTAB.** Florianópolis, 2013. 155 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Departamento de Engenharia Civil.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO – IPT; SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. **Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações – Município de Antônio Carlos, SC.** Brasil, 2014. 1 mapa: 86cm x 165cm. Escala: 1:25000.

ISRM - International Society for Rock Mechanics. **Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake-Durability Index Properties.** England, 1977. 9 p.

JESUS, A. P. **Caracterização geológica, geomorfológica e geotécnica de um corpo de dunas na cidade de Natal – RN.** Natal, 2002. 214 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica.

MARCELINO, E. V. **Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos.** Caderno didático nº 1. INPE/CRS, Santa Maria, 2008. 40p.

MAFRA JÚNIOR, Celso da Silva. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. **Elaboração do mapa preliminar de unidades geotécnicas do município de Brusque associado a um banco de dados geotécnico em ambiente de SIG.** Florianópolis, 2007. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

MASSAD, Façal. **Obras de terra: curso básico de geotecnia.** 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 216 p.

MESEV, Victor. **Integration of GIS and remote sensing.** Cornwall: J. Wiley, 2007. 296p.

MEYER, Felipe Antonio Ferraz. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. **Construção de um Sistema de Informações Geográficas para o município de Florianópolis/SC/Brasil.** 125 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2009.

MICHEL, Gean Paulo. **Modelagem de estabilidade de encostas com consideração do efeito de vegetação.** 2013. 152 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2013.

MICHEL, G. P.; KOBIYAMA, M.; GOERL, R. F. **Análise comparativa entre os modelos Shalstab e Sinmap na identificação de áreas susceptíveis a escorregamentos translacionais.** In: X Encontro

Nacional de Engenharia de Sedimentos (2012: Foz do Iguaçu) Foz do Iguaçu: ENES, Anais, 21p., 2012.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE)**. Disponível em: <http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=2a09db34-e59a-4138-b568-e1f00df81ead&groupId=185960>. Acesso em: 12 de novembro de 2016.

MIRANDA, José Iguelmar. **Fundamentos de sistemas de informações geográficas**. 2. ed., rev. e atual. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2010. 433 p.

MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W. E. **SHALSTAB: A Digital Terrain Model for Mapping Shallow Landslide Potential. National Council for Air and Stream Improvement**, 26p, 1998. Disponível em: <<http://calm.geo.berkeley.edu/geomorph/shalstab/theory.htm>>. Acesso em: 12 de novembro de 2016.

MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W. E. A Physically-Based Model for the Topographic Control on Shallow Landsliding. **Water Resources Research**, v. 30, n. 4, p. 1153-1171, abril 1994.

MUNSELL, C. **Munsell Soil Color Charts with Genuine Munsell Color Chips**. Grand Rapids: 2009, 2013.

NOGAMI, J. S. E VILLIBOR, D. F. Identificação expedita dos grupos de classificação MCT para solos tropicais. In: X COBRAMSEF, Foz do Iguaçu. **Anais...** São Paulo, ABMS, 1994, v. 4, p. 1293-1300.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D.F. Importância e determinação do grau de laterização em geologia de engenharia. In: 8º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. **Anais...** Rio de Janeiro, ABGE, 1996, v. 1, p. 345-358.

PAREDES, Evaristo Atencio. **Sistema de informação geográfica-geoprocessamento: princípios e aplicações**. São Paulo: Erica, 1994. 675p.

PINTO, Inês. **Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG)**. Instituto de Investigação Científica Tropical – IICT. Lisboa. Dez. 2009. 37 slides. Disponível em: <http://www.idcplp.net/archive/doc/georrefIntroducaoSIG_InesPinto.pdf>. Acesso em: 28 de maio de 2013. Apresentação em PowerPoint.

Prefeitura Municipal de Antônio Carlos. Disponível em: <www.antoniocarlos.sc.gov.br>. Acesso em: 15 de outubro de 2014.

RAIMUNDO, Huri Alexandre. **Aspectos geotécnicos e pluviométricos associados a instabilidade de encostas em Florianópolis - SC**. Florianópolis, SC, 1998. ix, 325 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

RAMOS, Verônica Moreira et al. Aplicação do modelo shalstab, em ambiente arcview, para o mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamento raso na região do quadrilátero ferrífero (MG). **Espaço & Geografia**, v. 5, n. 1, p. 49-67, 2002.

REGINATTO, Gisele Marilha Pereira. **Caracterização de movimentos de massa na bacia hidrográfica do Rio Cunha, Rio dos Cedros-SC, com ênfase em escorregamentos translacionais**. 2013. 230 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2013.

RIBEIRO, Artur Manuel Louro. **Breves considerações sobre técnicas de engenharia biofísica: caso do muro de vegetação**. 2005. 99 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Évora, Évora, 2005.

RODRIGUES, Valéria Lopes. **Mapeamento geotécnico como base para o planejamento urbano e ambiental: município de Jaú/SP**. 2008. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

SAKAMOTO, M. Y.; ABREU, R. P.; CONTESSI, R. J.; OLIVEIRA, M. C. G.; GUESSER, L. H.; HIGASHI, R. A. R. Mapeamento geotécnico de áreas de risco da bacia do itacorubi. In: XV

PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING, 2015, Buenos Aires. **Proceedings...** Amsterdam: IOS Press BV, 2015. p. 3073 – 3080.

SANT'ANA, W. C. **Estudo de misturas areia-asfalto a quente para o estado do Maranhão.** Florianópolis, 2002. 155 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

SANTA CATARINA. Secretaria de estado do Desenvolvimento Econômico sustentável (SDS). **Plano estadual de recursos hídricos de Santa Catarina - PERH/SC.** Porto Alegre: Magna Engenharia LTDA., 2008. v.3. 274 p.

SANTOS, Glaci Inez Trevisan. **Integração de informações pedológicas, geológicas e geotécnicas aplicadas ao uso do solo urbano em obras de engenharia.** 1997. xi, 209f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia Disponível em: <<http://www.bu.ufsc.br/teses/UFRGS0264-T.pdf>>. Acesso em: 14 de abril de 2016.

SANTOS, Raphael David dos; SANTOS, Humberto Gonçalves dos; KER, João Carlos; ANJOS, Lúcia Helena Cunha dos; SHIMIZU, Sérgio Hideiti. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 7. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2015. 101 p.

SANTOS, Renato Prado dos. **Introdução ao ArcGIS: Conceitos e Comandos.** Apostila. Versão 2.1, 2009. 43p.

SBROGLIA, Regiane Mara. **Mapeamento geotécnico e das áreas suscetíveis a deslizamentos na microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota/SC.** 2015. 187 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Florianópolis, 2015.

SCHÄFER, Alexandro Gularte. **Um banco de dados espaço-temporal para o monitoramento e modelagem do escoamento superficial em bacias hidrográficas no contexto do planejamento urbano.** Florianópolis, 2012. 229 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

SDS – Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SC). **Sistema de informações geográficas de Santa Catarina**. 2010. Disponível em: <<http://sigsc.sds.sc.gov.br/>>.

SEBRAE/SC. **Santa Catarina em números**: Antônio Carlos. Florianópolis: Sebrae/SC, 2013. 131 p.

SILVA, Eliane Lima e; GOMES, Roberto Arnaldo Trancoso; GUIMARÃES, Renato Fontes; JÚNIOR, Osmar Abílio de Carvalho. Emprego de modelo de susceptibilidade a escorregamentos rasos para gestão de riscos de desastres no município de Vitória-ES. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 25, n. 1, p. 119 - 132, jan./abr. 2013.

SILVEIRA, Ronaldo Gomes; ORTH, Dora Maria. **Análise da expansão urbana sobre a área de mangue do município de Joinville, SC**. 1994. ix, 95, [2]f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.

SOARES, Wanessa Cartaxo. **Banco de Dados Geológico – Geotécnicos com Base em Sondagens à Percussão e Uso de SIG: Análise Espacial da Profundidade do Lençol Freático e do N_{SPT} Para obras de Fundação em João Pessoa – PB**. São Carlos, 2011. 215 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, Departamento de Geotecnia. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia.

STAR, J. L. e ESTES, J. E. **Geographic Information System: An Introduction**. London, Prentice-Hall International, 1990.

TABALITA, N. L. e FIORI, A. P. Influência da vegetação na estabilidade de taludes na bacia do rio Ligeiro (PR). **Geociências**. São Paulo, v. 27, n. 3, p. 387 - 400, 2008.

TARBOTON, D. G. Terrain analysis using digital elevation models in hydrology. In: 23rd ESRI International Users Conference, San Diego, California, 7-11 de Julho 2003. **Proceedings...**

TEIXEIRA, L. de A. e CHRISTOFOLETTI, A. **Sistemas de Informações Geográficas**. Dicionário Ilustrado. Editora Hucitec. São Paulo, 1997.

TOMINAGA, Lídia Keiko, et al. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico São Paulo, 2009. 196 p.

USGS - United States Geological Survey. **Landslide types and processes**. U. S. Department of the Interior. Fact Sheet 2004-3072. 2004.

VALLEJO, L. I. G. de; FERRER, Mercedes; ORTUÑO, L.; OTEO, C. **Ingeniería geológica**. 1 ed. Madrid: Pearson Educación, 2002. 744p.

VELOSO, Antônio J.G. Importância do Estudo das Vertentes. **Revista GEOgraphia**. Niterói - RJ, v. 4, n. 8, 5 p, 2002.

VILLIBOR, D.F.; NOGAMI, J. S.; CINCERRE, J. R.; SERRA, P. R. M.; NETO, A. Z. **Pavimentos de baixo custo para vias urbanas**. 2ª ed. São Paulo: Arte & Ciência, 2009.

WILVERT, Solange Richartz. **Análise das áreas de risco relacionadas à dinâmica do meio físico na cidade de Antônio Carlos - SC**. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-graduação em Geografia, Florianópolis, 2010

WITT, Anne C. **Using a gis (geographic information system) to model slope instability and debris flow hazards in the french broad river watershed, North Carolina**. Raleigh, 2005. 165 p. Dissertação (Mestrado) – North Carolina State University.