

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

ILEANA CAROLINA OSORIO ACOSTA

**INVESTIGAÇÃO APLICADA À GESTÃO DE RISCO  
GEOLOGICO-GEOTECNICO, PARA FINS DE  
PLANEJAMENTO URBANO. CASO PILOTO:  
"EROSÃO NA CIDADE DE SÃO CARLOS"**

São Carlos - SP

2020

ILEANA CAROLINA OSORIO ACOSTA

INVESTIGAÇÃO APLICADA À GESTÃO DE RISCO GEOLOGICO-  
GEOTECNICO, PARA FINS DE PLANEJAMENTO URBANO. CASO  
PILOTO: "EROSÃO NA CIDADE DE SÃO CARLOS"

Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Urbana da  
Universidade Federal de São  
Carlos, como parte dos requisitos  
para a obtenção do título de  
Mestre em Engenharia Urbana.

Orientadora: Profa. Dra. Denise  
Balestrero Menezes

São Carlos - SP

2020

Acosta, Ileana Carolina Osorio

Investigação aplicada à gestão de risco geológico-geotécnico, para fins de planejamento urbano. Caso piloto: "Erosão na cidade de São Carlos" / Ileana Carolina Osorio Acosta -- 2020. 195f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos  
Orientador (a): Denise Balestrero Menezes  
Banca Examinadora: Denise Balestrero Menezes, José Augusto de Lollo, Carlos Wilmer Costa  
Bibliografia

1. Geologia urbana. 2. Planejamento. 3. Gestão de riscos.  
I. Acosta, Ileana Carolina Osorio. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Ronildo Santos Prado - CRB/8 7325



## UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

---

### Folha de Aprovação

---

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Ileana Carolina Osorio Acosta, realizada em 18/12/2020.

#### Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Denise Balestrero Menezes (UFSCar)

Prof. Dr. José Augusto de Lollo (UNESP)

Prof. Dr. Carlos Wilmer Costa (UFRN)

*DEDICADO*

*A meu filho Lucas Santiago, minha força e maior fonte de inspiração.*

*A Gabriel Ernesto, meu grande amor e parceiro incondicional.*

*A meu pai Jorge e à minha irmã Susana, fontes de amor e incentivo constante.*

*A meu amado país Venezuela.*

## AGRADECIMENTO

Agradeço principalmente à vida por me dar a oportunidade de escolher e estudar uma carreira fascinante e com tanto a contribuir para a humanidade.

Ao meu filho Lucas Santiago, por seu amor, sua presença maravilhosa, por me inspirar a dar sempre o melhor de mim e especialmente por sua paciência neste longo caminho de mestrado que fizemos juntos.

Ao meu namorado, por decidir me acompanhar ao Brasil para fazer o mestrado e começar a construir uma linda família juntos; por todo seu amor, sua paciência e seu apoio.

A minha família, pelo amor incondicional e infinito, por sempre apoiarem minhas escolhas e serem pilares fundamentais em minha vida; especialmente meu pai e minha irmã.

A María Carlota e Felipe, por me permitir desfrutar de seu lar durante meus primeiros meses em São Carlos.

A minha orientadora, Prof. Dr<sup>a</sup>. Denise, em princípio por me aceitar como orientada e atrever-se construir comigo um projeto de pesquisa que pudesse contribuir para o desenvolvimento da geologia urbana no Brasil e na Venezuela. Pelo amparo e auxílio em todo o desenvolvimento da pesquisa e em muitos outros âmbitos de minha vida aqui no Brasil.

A todos os professores do PPGEU pelos conhecimentos fornecidos e por ampliar minha visão sobre a importância de minha contribuição, como engenheira geóloga, no planejamento urbano.

Aos técnicos dos laboratórios da UFSCar, especialmente ao Marcão pela ajuda no trabalho de campo.

Ao funcionário da Defesa Civil de São Carlos, Pedro Caballero, pela parceria e o apoio.

A minhas amigas e amigos do mestrado, Andrea, Natália, Marina, Ana Flávia, Djanny, Vanessa, Felipe Honda e Ronny, pelo carinho, o apoio e pela compreensão especial durante os últimos meses de minha gravidez.

A minhas amigas e amigos do LabGeo, Monique, Vinicius e Franciani, pelo carinho e pelas contribuições para o desenvolvimento de minha pesquisa.

A todos os amigos feitos no meu trânsito no Brasil, em especial minhas doulas Mariana e Mariana, Flávia e Leandro, Anibal, Tesla, Elizabeth, Benjamín, Julymar e Ángel, muito obrigada por tudo!

Ao Programa de Alianças para a Educação e la Capacitação (PAEC) da *Organización de los Estados Americanos* (OEA) e ao Grupo Coimbra de Universidades Brasileiras (GCUB), pela oportunidade de vir até o Brasil a realizar meus estudos de mestrado.

À Fundação Venezuelana de Investigações Sismológicas (FUNVISIS), instituição onde presto serviço como pesquisadora e que sempre tem apoiado minhas decisões em prol de meu crescimento profissional/pessoal, como é o caso da licença que deram para eu vir até o Brasil para fazer o mestrado.

A CAPES, pela bolsa de mestrado. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Ao programa Novos Talentos do IPT, e especialmente ao meu orientador, MSc. Marcelo Fischer Gramani e ao Aroldo, pelo fornecimento das fotos aéreas antigas.

Às empresas e instituições que permitiram o uso dos relatórios de sondagens, Prefeitura Municipal de São Carlos e suas secretarias, Prefeitura do campus São Carlos da Universidade de São Paulo, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), Gás Brasileiro; Sobloco Desenvolvimento Urbano e Sondobase.

À empresa 3DroneSolutions, pela parceria com a geração do Modelo Digital de Elevação de alta resolução com uso de drone, para uma área de detalhe na minha pesquisa.

## RESUMO

A necessidade de aprofundar a análise dos processos geológicos, de origem combinada (naturais-antropogênicas), em áreas urbanizadas exige a revisão constante das metodologias a serem utilizadas. Nesse sentido a presente pesquisa teve como objetivo a construção de uma proposta metodológica de inserção de dados geotécnicos de subsolo na elaboração de uma carta de suscetibilidades a processos de erosivos lineares, em uma microbacia da cidade de São Carlos-SP, como ferramenta fundamental na gestão de riscos em áreas urbanas.

Inicialmente foi feita uma avaliação evolutiva das metodologias de cartas de suscetibilidade e risco por erosão e escorregamento já existentes no estado de São Paulo, sendo identificados 3 grandes grupos: cartas geotécnicas, cartas de suscetibilidade e mapeamento de risco. Dentro dos grupos cartográficos de risco e suscetibilidade, foram ressaltados os trabalhos que abarcaram feições erosivas nos seus resultados, por serem os processos erosivos o ponto central de nosso trabalho de pesquisa. Este levantamento favoreceu a escolha da análise multicritérios no desenvolvimento de nossa proposta metodológica.

Na sequência, procedeu-se à caracterização do meio físico da microbacia do córrego Mineirinho, na cidade de São Carlos - SP, por meio da seleção de variáveis topográficas, antrópicas e geotécnicas considerados importantes no desenvolvimento de processos erosivos. Foram escolhidas: a declividade, a curvatura das vertentes, a cobertura e uso da terra, a variação vertical das texturas dos materiais inconsolidados, assim como os parâmetros geotécnicos de resistência à penetração, coesão, ângulo de atrito e massa específica para cada material, por considerá-los relevantes no contexto desta pesquisa. Para a avaliação das características geotécnicas dos materiais superficiais ocorrentes na bacia estudada, foram realizados ensaios laboratoriais (granulometria, densidade, caracterização) e *in situ* de resistência à penetração. Para este ensaio foi utilizado o penetrômetro de impacto de STOLF. O levantamento de dados foi completado com a coleta de dados pré-existentes de sondagens, poços e ensaios de trabalhos prévios realizados na região de estudo, constituindo o primeiro esforço para criação de um banco de dados geológico-geotécnico no Departamento de Engenharia Civil (DECiv) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

Finalmente, foi gerada a carta de suscetibilidade à erosão em escala 1:15.000 da microbacia do córrego Mineirinho, com detalhe (escala 1:2.000) em uma região que apresenta atualmente desenvolvimento de erosões. Obteve-se como resultado a predominância da classe de "suscetibilidade alta", delimitando corretamente as áreas mais degradadas, o que confirma a



influência das características dos fatores condicionantes avaliados (topográficos, texturais, geotécnicos e antropogênicos) na potencialização de feições erosivas.

**Palavras-chave:** Análise multicritérios; banco de dados geológico-geotécnico; parâmetros geotécnicos do solo; resistência à penetração; suscetibilidade à erosão.

## ABSTRACT

The need to deepen the analysis of geological processes, of combined origin (natural-anthropogenic), in urbanized areas requires a constant review of the methodologies to be used. In this sense, the present research had as objective the construction of a methodological proposal of insertion of geotechnical data of subsoil in the elaboration of a map of susceptibilities to linear erosive processes, in a microbasin of the city of São Carlos-SP, like a fundamental tool in risk management in urban areas.

Initially, the evolutionary assessment of the susceptibility and risk maps for erosion and landslide already existing in the state of São Paulo was carried out, and three major groups were identified: geotechnical maps, susceptibility maps and risk mapping. Within the cartographic groups of risk and susceptibility, the studies that included erosive features in their results were highlighted, since erosive processes are the central point of our research work. This survey favored the choice of multicriteria analysis in the development of our methodological proposal.

Then, the characterization of the physical environment, the watershed of the Mineirinho river, proceeded through the selection of topographic, anthropic variables and soil attributes (subsoil) considered important in the development of erosive processes. Being chosen: the slope, the curvature of the slopes, the coverage and use of the soil, the vertical variation of the textures of the unconsolidated materials, as well as the geotechnical parameters of resistance to penetration, cohesion, friction angle and specific mass for each material, for consider them relevant in the context of this research. For the evaluation of the geotechnical characteristics of the superficial materials occurring in the studied basin, laboratory and in situ tests of resistance to penetration were carried out, using the STOLF impact penetrometer, as well as the collection and use of pre-existing data from drilling and wells carried out in the study region; constituting the first effort to create a geological-geotechnical database in the UFSCar DECiv.

Finally, the 1: 15.000 scale erosion susceptibility map was generated in the Mineirinho river watershed in the city of São Carlos-SP, with detail (1: 2.000 scale) in a region that is currently developing erosion; resulting in the predominance of the "high susceptibility" class, correctly delimiting the most degraded areas, which confirms the influence of evaluated conditioning factors (topographic, textural, geotechnical and anthropogenic) in the potentiation of erosive features.

**Keywords:** Geological-geotechnical database; geotechnical parameters of the soil; multicriteria analysis; resistance to penetration; susceptibility to erosion.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### FIGURAS

Figura 1 – Morfologia de sulcos, ravinas e boçorocas. ....	28
Figura 2 – Os Fatores que condicionam a formação de processos erosivos. ....	29
Figura 3- Desenho esquemático dos equipamentos usados no ensaio SPT.....	36
Figura 4 – Penetrômetro de impacto. a) Luva móvel par o operador manter o aparelho na vertical sem interferir na força resultante durante a penetração da haste; b) e c) Limitadores superior e inferior; d) Peso que provoca o impacto; e) Haste graduada em cm; f) Ponta cônica; g) Chapa para de fixada na superfície do solo, dando o nível de referência da leitura de profundidade. ....	38
Figura 5 - Tipos de trados.....	42
Figura 6- Sequência de procedimentos básicos desenvolvidos para a elaboração das cartas de suscetibilidade pela CPRM.....	46
Figura 7- Sistemática IPT: Fases de elaboração de cartas geotécnicas e produtos correspondentes. ....	48
Figura 8- Escala de vulnerabilidade das unidades territoriais básicas.....	50
Figura 9- Localização do Município São Carlos -SP e da microbacia do Mineirinho.....	55
Figura 10 – Microbacia do córrego do Mineirinho. ....	57
Figura 11- Localização da microbacia do córrego Mineirinho no mapa de Materiais Inconsolidados de Pons (2006).....	58
Figura 12 – Fluxograma metodológico com a evolução das etapas da pesquisa. ....	59
Figura 13 - Fluxograma de etapas do levantamento regional de mapeamentos.....	60
Figura 14- Fluxograma Metodológico para a compilação e aproveitamento de perfis de solo. ....	62
Figura 15- Fotografias aéreas utilizadas para reconhecimento de usos de solos e de áreas com potencial desenvolvimento de processos erosivos. Projeto IBC-GERCA, ano 1971, em escala 1:25.000. ....	64
Figura 16- Pontos de observação durante saída de campo de fevereiro 2019. Microbacia do córrego Mineirinho, São Carlos-SP.....	65

Figura 17- Mapa com locação da área de voo do levantamento com drone. ....	66
Figura 18- Piloto de drone da empresa <i>3Drone Solutions</i> e pessoal da Defesa Civil do município São Carlos, durante o levantamento de imagens aéreas realizada em novembro de 2019.....	66
Figura 19- Posições da câmera e sobreposição das imagens, no levantamento do “Voo 2”. ..	67
Figura 20 – Execução do ensaio in situ de resistência à penetração. ....	68
Figura 21 – Pesagem de fração de amostra para cálculo de umidade higroscópica ao ar. ....	70
Figura 22- Secagem ao ar de amostras coletadas .....	70
Figura 23 – A almofariz e mão de borracha, no processo de destorroar o solo. ....	71
Figura 24- Início do peneiramento grosso: amostra de solo retida na peneira #10. ....	74
Figura 25- Porção de amostra de solo retida na peneira #10 lavada, para posterior secagem na estufa.....	74
Figura 26- Estufa do laboratório de Geociências do DECiv-UFSCar.....	75
Figura 27- Conjunto de peneiras para material grosso e agitador elétrico .....	75
Figura 28- Amostra de solo distribuída no conjunto de peneiras para material fino.....	76
Figura 29- Entre setas vermelhas, amostras de solo em repouso submersas em solução de defloculante (Hexametáfosfato de sódio). ....	76
Figura 30- Dispensor elétrico do laboratório de Geociências do DECiv-UFSCar. ....	77
Figura 31 – Amostra de solo balanceada após a transferência do dispensor elétrico para a proveta graduada.....	77
Figura 32 – Amostras de solos em equilíbrio durante intervalo de medição de material suspenso com o densímetro. ....	78
Figura 33- Determinação da massa específica do solo. a) Transferência da amostra do solo para o picnômetro; b) Aplicação de vácuo ao picnômetro contendo a amostra, e c) Determinação da massa do picnômetro contendo as amostras do solo e água, para várias temperaturas. ....	78
Figura 34 – Perímetro da microbacia do córrego do Mineirinho, inserida na imagem “AP_26504_FBS_F6740_RTI” do Modelo Digital de Elevação gerado pelo radar PALSAR do satélite ALOS. ....	82
Figura 35- Perímetro da microbacia do córrego do Mineirinho, inserido no mapa de usos e ocupação do solo da cidade de São Carlos, de janeiro de 1989. ....	84

Figura 36- Situação da área de estudo sobre as imagens do satélite WV2, de maio de 2014. .	85
Figura 37- Situação da área de estudo sobre as imagens do satélite WV2, datadas de julho de 2018. ....	85
Figura 38 – Fluxograma metodológico para a geração da carta de suscetibilidade à erosão. ...	89
Figura 39- Distribuição dos trabalhos desenvolvidos por cada instituição avaliada. ....	93
Figura 40 - Distribuição porcentual dos tipos de cartografia geológica para 172 municípios no estado de São Paulo, desde 1989 até 2018. ....	94
Figura 41 - Distribuição dos tipos de cartografia feitos para 4 classes de processos geológicos abrangidos em 172 municípios do estado de São Paulo, de 1989 a 2018. ....	95
Figura 42 – Evolução temporal de trabalhos feitos por ano (1989-2018) para as entidades executoras abordadas. ....	95
Figura 43- Evolução temporal dos tipos de cartografia desenvolvidas para 171 municípios do estado de São Paulo, desde 1989 até 2018. ....	96
Figura 44 – Localização das sondagens providenciadas na região da microbacia do córrego do Mineirinho da cidade de São Carlos, SP. ....	97
Figura 45- Locação de pontos de observação, coleta de amostras e ensaios insitu. ....	100
Figura 46 – Evidência de desenvolvimento de erosão em sulco no ponto de observação 048 correspondente com a cabeceira do córrego do Mineirinho, São Carlos -SP. Avaliação de campo feita em fevereiro 2019. ....	101
Figura 47- Perfil de solo no ponto de observação 048. Avaliação de campo feita em fevereiro 2019 na microbacia do córrego do Mineirinho, São Carlos-SP. ....	101
Figura 48 – Locais de desenvolvimento de erosões nos pontos de observação 054 e 055 correspondentes com a cabeceira do córrego Santa Fé, na microbacia do córrego Mineirinho, São Carlos -SP. Avaliação de campo feita em novembro 2019. ....	102
Figura 49- Processo de erosão em boçoroca no ponto 050 de observação. Avaliação de campo feita em fevereiro 2019 na microbacia do córrego do Mineirinho, São Carlos-SP. ....	103
Figura 50- Camada areno-argilosa hidromórfica exposta no ponto de observação 052. Avaliação de campo feita em fevereiro 2019 na microbacia do córrego do Mineirinho, São Carlos-SP. ....	104

Figura 51- Continuação da camada argilo-arenosa hidromórfica no ponto de observação 056. Avaliação de campo feita em fevereiro 2019 na microbacia do córrego do Mineirinho, São Carlos-SP.....	104
Figura 52- Afloramento de Magmatitos Básicoss. Ponto 058. Avaliação de campo feita em fevereiro 2019 na microbacia do córrego do Mineirinho, São Carlos-SP.....	105
Figura 53- Obra de canalização de águas pluviais em região erodida próxima ao condomínio Parque Monte D' Oro (ponto 056), na rua João Stella do Jardim Santa Felícia. Avaliação de campo feita em fevereiro 2019 na microbacia do córrego do Mineirinho, São Carlos-SP. ...	105
Figura 54- Ponto de observação 059, afloramento de material coluvionar.....	106
Figura 55 - Ortofotografia gerada no “Voo 2” do levantamento aéreo com drone, correspondente com a área identificada como “Processo Erosivo Maior”, n microbacia do córrego Mineirinho.....	107
Figura 56- Locação dos pontos onde foram feitos ensaios <i>in situ</i> de resistência à penetração. ....	108
Figura 57- Esquema do perfil litológico dos materiais inconsolidados testados com o ensaio de resistência à penetração. ....	108
Figura 58 - Ensaio de resistência à penetração no material “Coluvionar”, testado no ponto 075. Com gráfico do resultado da resistência, expressado em MPa.....	109
Figura 59- Ensaio de resistência à penetração no material “Hidromórfico”, testado no ponto 073. Com gráfico do resultado da resistência, expressado em MPa.....	110
Figura 60- Ensaio de resistência à penetração no material “Hidromórfico” nos pontos 078 e 079. Com gráficos dos resultados da resistência, expressado em Mpa .....	110
Figura 61- Ensaio de resistência à penetração na camada cinza do material “Hidromórfico” no ponto 081-B. Com gráfico do resultado da resistência, expressado em Mpa.....	111
Figura 62- Ensaio de resistência à penetração na camada base do material “Hidromórfico”, testado no ponto 077. Com gráfico do resultado da resistência, expressado em MPa. ....	111
Figura 63- Ensaio de resistência à penetração na camada base do material “Hidromórfico”, testado no ponto 082. Com gráfico do resultado da resistência, expressado em MPa. ....	112
Figura 64- Ensaio de resistência à penetração do material “Residual do Itaqueri” no ponto 081. Com gráfico do resultado da resistência, expressado em MPa.....	113

Figura 65- Ensaio de resistência à penetração do material “Residual do Itaqueri”, no ponto 082-B. Com gráfico da resistência, expressado em MPa.....	113
Figura 66- Gráfico de variação da resistência à penetração com a umidade, para o ponto 075, correspondente ao material coluvionar.....	114
Figura 67- Gráfico de variação da resistência à penetração com a umidade, para os pontos 073, 078 e 079 da camada de material hidromórfico preto .....	115
Figura 68- Gráfico de variação da resistência à penetração com a umidade, para os pontos 073 e 081B, correspondente o material hidromórfico cinza.....	116
Figura 69- Gráfico de variação da resistência à penetração com a umidade, para os pontos 077 e 082, correspondente ao material hidromórfico amarelado. ....	116
Figura 70- Gráfico de variação da resistência à penetração com a umidade, para os pontos 081 e 082B, correspondente ao material Residual do Itaqueri. ....	117
Figura 71- Curva granulométrica para amostra P081-0. ....	120
Figura 72- Curva granulométrica para amostra P081-1. ....	120
Figura 73- Curva granulométrica para amostra P081-2. ....	121
Figura 74 - Curva granulométrica para amostra P081B acima. ....	122
Figura 75- Curva granulométrica para amostra P081B-0.....	122
Figura 76- Curva granulométrica para amostra P082-0. ....	123
Figura 77- Curva granulométrica para amostra P082-3. ....	124
Figura 78 - Curva granulométrica para amostra P082B-2.....	125
Figura 79 Curva granulométrica para amostra P082B-3.....	125
Figura 80- Mapa de localização dos pontos de ensaios geológicos-geotécnicos disponíveis na região da microbacia do córrego Mineirinho. ....	127
Figura 81- Localização das feições erosivas na microbacia do córrego Mineirinho, São Carlos, SP. ....	139
Figura 82- Panorâmica do ponto de feição erosiva do 2 na microbacia do córrego Mineirinho, São Carlos, SP. Avaliação de campo de dezembro de 2020. ....	140
Figura 83- Ponto de feição erosiva 4, localizado no campus 2 da USP, perto do prédio de Engenharia da Computação. Avaliação de campo de dezembro de 2020. ....	141

Figura 84- Carta de documentação.....	142
Figura 85- Mapa topográfico da área de estudo. ....	143
Figura 86- Mapa topográfico de detalhe correspondente ao córrego Santa Fé. ....	144
Figura 87- Mapa de Materiais Inconsolidados para a região da microbacia do córrego Mineirinho, cidade de São Carlos (SP). ....	145
Figura 88- Mapa de Materiais Inconsolidados na Área de Detalhe correspondente ao córrego de Santa Fé. ....	145
Figura 89 - Carta de declividade, microbacia do córrego Mineirinho.....	148
Figura 90 - Carta de declividade com detalhe da “Área de Detalhe”, correspondente ao córrego de Santa Fé. ....	149
Figura 91 – Mapa de curvatura das vertentes da microbacia do córrego Mineirinho. ....	149
Figura 92 – Mapa de curvatura das vertentes da “área de detalhe”.....	150
Figura 93- Mapa de cobertura e uso dos solos, para a região da microbacia do córrego do Mineirinho, na cidade de São Carlos-SP, para agosto de 1971.....	152
Figura 94- Mapa de cobertura e uso dos solos, região da microbacia do córrego Mineirinho, na cidade de São Carlos-SP, para janeiro de 1989.....	153
Figura 95- Mapa de cobertura e uso dos solos da região da microbacia do córrego do Mineirinho, na cidade de São Carlos-SP, para maio de 2014. ....	154
Figura 96- Mapa de cobertura e uso dos solos da região da microbacia do córrego Mineirinho, na cidade de São Carlos-SP, para julho de 2018. ....	155
Figura 97 - Carta de Suscetibilidade para a microbacia do córrego Mineirinho.....	162
Figura 98 – Carta de Suscetibilidade Re classificada para a microbacia do córrego Mineirinho. ....	163
Figura 99 – Carta de suscetibilidade da área de detalhe.....	164

## QUADROS

Quadro 1- Fatores que influem na erodibilidade do solo. ....	31
--	----



Quadro 2 - Resultados da literatura para a correlação qc/NSPT para areias. Onde qc é valor da resistência física no penetrômetro de impacto em Mpa e NSPT valor da resistência física no ensaio SPT. ....	40
Quadro 3 - Síntese comparativa entre as metodologias de elaboração de cartas Geológico-Geotécnicas da EESC/USP e do IPT. ....	49
Quadro 4 – Seleção de pares estereoscópicos para a cidade de São Carlos. ....	63
Quadro 5- Sistema de Classificação Unificada dos Solos (S.U.C.S). ....	80
Quadro 6 – Classificação do solo no ponto 073, segundo teste visual e tátil. ....	118
Quadro 7 – Classificação do solo no ponto 075, segundo teste visual e tátil. ....	118
Quadro 8 – Classificação do solo no ponto 077, segundo teste visual e tátil. ....	118
Quadro 9 – Classificação do solo no ponto 078, segundo teste visual e tátil. ....	119
Quadro 10 – Classificação do solo no ponto 079, segundo teste visual e tátil. ....	119
Quadro 11 – Classificação do solo no ponto 081, segundo teste visual e tátil. ....	119
Quadro 12 – Classificação do solo das amostras coletadas no ponto 081-B, segundo teste visual e tátil. ....	121
Tabela 13 – Classificação do solo da amostra 082, segundo teste visual e tátil. ....	123
Quadro 14 – Classificação do solo no ponto 082B, segundo teste visual e tátil. ....	124
Quadro 15- Valores de massa específica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) para cada amostra de material ensaiado. ..	126
Fonte: Elaborado pela autora. ....	126
Quadro 16- Pontos que constituem o mapa de documentação .....	142

### **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1- Quantidade de amostra para análise granulométrica. ....	44
Tabela 2 – Modelo de tabela de atributos com dados de subsolo, para modelagem de carta de Suscetibilidade a deslizamentos. ....	54
Tabela 3 - Levantamento de trabalhos feitos. ....	61
Tabela 4– Detalhes técnicos da câmera. ....	67

Tabela 5 - Escala granulométrica segundo ABNT. ....	79
Tabela 6- Correlações entre parâmetros dos solos e valores obtidos na sondagem SPT, proposta de Bowles (1977). ....	86
Tabela 7- Coeficiente K e razão de atrito $\alpha$ . ....	87
Tabela 8 - Atribuição dos pesos para as classes de declividade. ....	89
Tabela 9 - Atribuição dos pesos para as classes de curvatura. ....	89
Tabela 10- Atribuição dos pesos para as classes de usos e ocupação do solo. ....	90
Tabela 11 - Atribuição dos pesos para as classes de textura dos materiais inconsolidados. ....	90
Tabela 12- Atribuição dos pesos para as classes de resistência à penetração dos materiais inconsolidados. ....	90
Tabela 13 - Atribuição dos pesos para as classes de coesão dos materiais inconsolidados. ....	90
Tabela 14 - Atribuição dos pesos para as classes de ângulo de atrito dos materiais inconsolidados. ....	91
Tabela 15 - Atribuição dos pesos para as classes de massa específica dos materiais inconsolidados. ....	91
Tabela 16 – Ponderação de pesos para cada variável estudada. ....	92
Tabela 17- Resultados dos ensaios de caracterização do Material Coluvionar. ....	128
Tabela 18- Valor médio de parâmetros geotécnicos para o material inconsolidado Coluvionar. ....	130
Tabela 19 - Resultados dos ensaios de caracterização do material Hidromórfico Preto. ....	131
Tabela 20- Valor médio de parâmetros geotécnicos para o material inconsolidado Hidromórfico Preto. ....	131
Tabela 21- Resultados dos ensaios de caracterização do material Hidromórfico Cinza. ....	132
Tabela 22- Valor médio de parâmetros geotécnicos para o material inconsolidado Hidromórfico Cinza. ....	132
Tabela 23 - Resultados dos ensaios de caracterização do material Hidromórfico Amarelado ....	133
Tabela 24- Valor médio de parâmetros geotécnicos para o material inconsolidado Hidromórfico Amarelado ....	133

Tabela 25- Resultados dos ensaios de caracterização do material Residual do Itaqueri. ....	134
Tabela 26- Valor médio de parâmetros geotécnicos para o material inconsolidado Residual do Itaqueri.....	136
Tabela 27- Resultados dos ensaios de caracterização do material Residual dos Magmatitos Básicos.....	137
Tabela 28 - Valor médio de parâmetros geotécnicos para o material Residual dos Magmatitos Básicos.....	139
Tabela 29 – Quantificação em m <sup>2</sup> das mudanças para cada classe de cobertura e usos do solo no período 1971-1989.....	158
Tabela 30 - Quantificação em m <sup>2</sup> das mudanças para cada classe de cobertura e usos do solo no período 1989-2014.....	158
Tabela 31 - Quantificação em m <sup>2</sup> das mudanças para cada classe de cobertura e usos do solo no período 2014-2018.....	160
Tabela 32- Porcentagem de área ocupada por uso do solo, para os anos 1971, 1989, 2014 e 2018.....	161

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	21
2 OBJETIVOS.....	22
2.1 Objetivo Geral.....	22
2.2 Objetivos específicos.....	22
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
3.1 geologia urbana.....	23
3.1.1 Gestão da geoinformação.....	23
3.2 Processos erosivos.....	26
3.2.1 Tipos de erosões hídricas.....	27
3.2.2 Fatores que influenciam o desenvolvimento de processos erosivos.....	28
3.3 Compactação do solo.....	34

3.3	Defeitos ocultos do subsolo.....	34
3.4	Sondagens e ensaios geológicos de subsolo.....	35
3.6	– Amostragem e ensaios de laboratório.....	40
3.6.1	– Norma Brasileira para o procedimento de sondagem a trado.....	41
3.6.2	– Norma Brasileira para preparação de amostras para ensaio de caracterização granulométrica de solos.....	43
3.6.3	– Norma Brasileira para o ensaio de análise granulométrica de solos.....	45
3.7	Tipos de mapeamentos e Metodologias recentes.....	45
3.7.1	Mapeamento de suscetibilidade e riscos geológico-geotécnicos no Brasil .	45
3.7.2	Mapeamentos de vulnerabilidade e suscetibilidades de erosão .....	50
3.7.3	Mapeamento de suscetibilidade a riscos geológico-geotécnicos no contexto internacional .....	53
4	MATERIAIS E MÉTODOS .....	54
4.1	Definição da área de estudo .....	54
4.1.1	Características gerais da Cidade de São Carlos .....	55
4.2	Metodologia.....	58
4.2.1	Etapa 1 - Escritório .....	59
4.2.2	Etapa 2 - Campo .....	65
4.2.3	Etapa 3 – Processamento e Análises.....	69
5	RESULTADOS .....	92
5.1	Levantamento regional de mapeamentos Geotécnicos, de suscetibilidade e risco no estado de São Paulo.....	92
5.1.1	Avaliação Estatística dos Tipos de Trabalhos Desenvolvidos.....	93
5.2	Compilação e aproveitamento de dados de perfis de sondagens geotécnicas disponíveis na região de estudo.....	96
5.3	Avaliação geológica de campo da microbacia do córrego do Mineirinho, São Carlos-SP.....	100
5.4	Levantamento de imagens com drone .....	106

5.5 Caracterização dos materiais inconsolidados .....	107
5.5.1 Ensaio <i>in situ</i> de resistência à Penetração .....	107
5.5.2 Análises do comportamento da Resistência à Penetração em diferentes faixas de Umidade.....	114
5.4.3 Umidade higroscópica, identificação visual-tátil e ensaio granulométrico dos solos. ....	117
5.4.4 Massa específica dos materiais. ....	126
5.5 Integração da informação geológico-geotécnica.....	126
5.5.1 Resultados dos ensaios de caracterização do Material Coluvionar.....	128
5.5.2 Resultados dos ensaios de caracterização do material “Hidromórfico Preto”. 131	
5.5.3 Resultados dos ensaios de caracterização do material “Hidromórfico Cinza” 132	
5.5.4 Resultados dos ensaios de caracterização do material “Hidromórfico Amarelado”.....	133
5.5.5 Resultados dos ensaios de caracterização do material “Residual do Itaqueri” 134	
5.6.6 Resultados dos ensaios de caracterização do material “Residual dos Magmatitos Básicos” .....	137
5.6 Caracterização das feições erosivas .....	139
5.7 elaboração de mapas temáticos.....	141
5.7.1 Mapa de documentação .....	141
5.7.2 Carta topográfica .....	143
5.7.3 Mapa de materiais inconsolidados.....	144
5.7.3.1 Unidade I – Material Coluvionar.....	146
5.7.3.2 Unidade II – Hidromórficos.....	146
5.7.3.3 Unidade III- Residual da Formação Itaqueri .....	147
5.7.3.4. Unidade IV – Residual dos Magmatitos Básicos.....	147
5.7.4 Carta de declividade .....	148

5.7.5 Cartas de curvatura .....	149
5.7.6 Mapa de cobertura e ocupação do solo.....	150
5.8 Carta de suscetibilidade à erosão .....	161
5.9 Considerações finais.....	164
6 CONCLUSÕES .....	165
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	167
APÊNDICES .....	175

## 1 INTRODUÇÃO

A cartografia das áreas susceptíveis a processos geológicos de erosão torna-se necessária para o planejamento urbano, pois esses processos, considerados como um fator de risco e de importância socioeconômica, estão se tornando cada vez mais frequente em áreas urbanizadas. Estes processos são definidos por Zuquette (2018, p. 23) como “eventos perigosos de origem combinada – Naturais-Tecnológicos – ou Tecnogênicos”.

No Brasil, nos últimos 30 anos, com o aumento dos acidentes geológicos com indução antropogênica ocasionados pela pressão na forma de ocupação urbana sobre áreas potenciais de risco (deslizamento, colapso, erosão, inundação e alagamento), têm sido importantes os esforços em estudos especializados nestes temas, com propostas em diferentes níveis de atuação, desde o âmbito preventivo, como é o caso dos mapas de risco elaborados em 2010 entre a prefeitura de São Paulo e o IPT, criados para orientar ações preventivas, obras e elaboração de projetos nos locais classificados por grau de risco, tanto em escorregamentos de encostas quanto de solapamento de margens de córregos (MORAIS, 2019). Além disso, destaca-se as dezenas de trabalhos de investigação feitos pelas diferentes universidades, até o contexto corretivo com projetos de alto custo de estabilização e recondicionamento de solos.

No entanto, as metodologias desenvolvidas até agora carecem de dados de subsolo mais precisos para embasar os estudos das respostas dos solos construídos ou as consequências de agravamento das condições geotécnicas dos locais que ainda não foram ocupados (ZAINÉ, 2000; ABREU, 2006), embora haja disponibilidade na atualidade de documentos de orientação geotécnica que fornecem um diagnóstico do comportamento provável dos terrenos para quase todos os centros urbanos do estado de São Paulo.

É notória a carência de um banco de dados de carácter geológico referente aos materiais subsuperficiais, mesmo havendo muitas investigações realizadas. Isto se dá por não haver aproveitamento de dados de subsolo gerados por inúmeras escavações e sondagens efetuadas voltadas à ocupação urbana na forma de dados não publicados conservados em arquivos públicos e privados.

Tal situação, comum nas grandes cidades, tanto em São Paulo como em outras regiões do país, se traduz na existência de vazios nos mapas de riscos convencionais e destaca a importância de dedicar uma maior atenção à criação de bancos de dados de geologia urbana, já comuns em outros países (CULSHAW et al., 2010).

É por isso que a presente investigação propõe um levantamento de metodologias de mapeamento de risco e suscetibilidade realizados, que possa contribuir com novas perspectivas

e práticas no trato da Geologia Urbana no Brasil. Por meio da utilização de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) e seções geológico-geotécnicas de detalhe obtidas em levantamentos de superfície e de dados de subsolo, será feito um mapeamento de suscetibilidade a erosão na cidade de São Carlos.

O projeto desta pesquisa foi aprovado no programa Novos Talentos edital 2019 do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), para ser desenvolvido junto às atividades da Seção de Investigações, Riscos e Desastres Naturais – SIRDEN com a orientação do MSc. Marcelo Fisher Gramani, recebendo financiamento e apoio técnico para o desenvolvimento da pesquisa.

Sendo assim, foi escolhida a cidade de São Carlos, considerando a ocorrência de condições relevantes de desenvolvimento de processos erosivos que podem gerar risco e a ampla documentação de informações de bases geotécnicas produzidas em trabalhos acadêmicos que podem facilitar o desenvolvimento deste projeto de pesquisa.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Desenvolvimento de uma proposta metodológica de inserção de dados geotécnicos de subsolo na elaboração de uma carta de suscetibilidades a processos de erosivos.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Inventariar das metodologias de cartas de suscetibilidade e risco por erosão e escorregamento já existentes no estado de São Paulo, para revisão e comparação da evolução metodológica;
- Estudo das características geotécnicas dos materiais superficiais ocorrentes na bacia do córrego do Mineirinho para determinar a relação com o desenvolvimento de processos erosivos;
- Avaliação da evolução da ocupação urbana como indicador de ocorrência de processos geológicos de origem antrópica;
- Elaboração de carta de suscetibilidade à erosão seguindo a proposta metodológica de integração de dados geotécnicos de subsolo.



### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A discussão dos principais aspectos conceituais e teóricos que sustentam a presente investigação pretende mostrar a evolução das pesquisas de geologia urbana em vários países do mundo desde a década de 1950. Nesta seção são analisados conceitos e metodologias aplicadas em cidades do Brasil e de situações similares em outras cidades do continente americano.

#### 3.1 GEOLOGIA URBANA

O *Geological Survey of Canada* (2008) definiu a geologia urbana como o ramo da geologia que fornece aos engenheiros, planejadores, tomadores de decisão e o público em geral as informações de geociência necessárias para um bom planejamento regional em áreas densamente povoadas. Sem definí-la como uma ciência específica, a descrição do conceito se baseia no fato de que é o gerenciamento de informações relacionadas à geociência em uma área urbana; subscrevendo a importância crucial à disponibilização das informações apropriadas aos tomadores de decisão.

Posteriormente, no trabalho de Culshaw et al. (2010), os autores propõem considerar a geologia urbana como:

...o estudo da interação de processos humanos e naturais com os ambientes geológicos em áreas urbanizadas e os impactos resultantes do fornecimento das informações geográficas necessárias para permitir o desenvolvimento, a regeneração e a conservação sustentável (CULSHAW *et al.*, 2010. p. 4).

Esse conceito inclui os aspectos sociais e econômicos da atividade humana, bem como os aspectos ambientais. Nesse contexto, considera-se a geologia como apenas uma parte relativamente pequena do meio ambiente urbano. Como grande parte dos aspectos de construção e infraestrutura do desenvolvimento urbano estão relacionados ao terreno, a geologia é de fundamental importância, no entanto, nem sempre foi levada em consideração no reconhecimento das ameaças geológicas-geotécnicas à segurança da população e às condições adequadas de fundação.

##### 3.1.1 Gestão da geoinformação

Esse tópico apresenta reprodução de parte do artigo aprovado para publicação no 17º Congresso Nacional de Geotecnia de Portugal (17CNG, Lisboa, Portugal) (OSORIO et al., 2020).

O ambiente urbano difere da maioria dos locais de obras de engenharia de grande escala localizadas em áreas remotas e/ou rurais, pois geralmente há um legado de informações geológicas, principalmente de investigações anteriores, como por exemplo extração de água ou atividades de mineração.

A primeira dificuldade é encontrar as informações. Uma quantidade considerável disso foi demonstrada por uma série de projetos temáticos de mapeamento geológico para áreas urbanas e semiurbanas no Reino Unido. Culshaw et al. (2010) relataram que, para uma área de 150 km em torno de Castlefield, a sudeste de Leeds, em West Yorkshire, que é apenas semiurbana, mas foi extensivamente extraída do carvão, eles foram capazes de aumentar o número de registros mantidos pelo *British Geological Survey* para sondagens, poços de prova e poços em cerca de 250% (de 931 para 3267).

No contexto brasileiro, buscando armazenar e tratar dados de subsolo no Brasil, diversos estudos buscam tratar deste conhecimento de subsolo por meio da utilização de sondagens, mas são muito limitados à disponibilização voluntária de dados públicos ou privados. Como exemplos pode-se citar: Câmara e Pereira (2005) que correlacionaram os resultados dos ensaios de *Standar Penetration Test* (SPT) e parâmetros geotécnicos dos solos de Natal (RN); Soares (2011) que executou um banco de dados com os relatórios de ensaios de sondagem SPT na cidade de João Pessoa e produziu os seguintes mapas: da profundidade do nível de água e sua variação como período de seca e chuva, do valor no NSPT a diferentes profundidades, da tensão admissível para fundações diretas ou superficiais, de tipos de estacas possíveis; Geroto (2005) e posteriormente Villaça (2011) e Aota (2019) realizaram o mapeamento preliminar do campus São Carlos da UFSCar com base nos resultados de ensaios de sondagens SPT disponíveis na Prefeitura Universitária (PU) e produziram zoneamento para orientar execução de fundações dos edifícios.

A grande dificuldade de obtenção das sondagens SPT no Brasil se deve à legislação que rege a propriedade e aproveitamento dos dados do subsolo. A Constituição Federal (BRASIL, 1988) trata de bens de subsolo que seriam da União, como os bens minerais e recursos hídricos (Artigos 20 e 176), sendo possível a concessão com prazos que seriam determinados por legislações específicas. A pesquisa mineral, inclusive, depende de autorização ou concessão da União. Quanto aos resultados das investigações de subsolo com finalidades outras, como as geotécnicas, não há nenhum ponto na legislação magna que se refira a eles. Já o Código Civil Brasileiro (BRASIL, 2008) preconiza que o subsolo “em altura e profundidade úteis ao seu exercício” é de propriedade do proprietário do solo sobrejacente, tendo o direito de utilizá-lo

para suas atividades, mas não podendo se opor a atividades de subsolo de outros, desde que não interfiram em sua ocupação (Artigo 1229) (OSORIO et al. 2020).

Foram encontrados em vários estudos, projetos e leis municipais brasileiras a preocupação com o subsolo e sua gestão, mas muito voltada para a obrigatoriedade do cadastro digitalizado de obras enterradas (redes de água e esgoto, dutovias, redes de eletricidade e telefonia, galerias etc.). São exemplos os projetos GeoCONVIAS em São Paulo - Decreto 57.707/2017 (Prefeitura Municipal de São Paulo - PMSP, 2017) e CONVIAS no Rio de Janeiro - Decreto 35.127/2012 (Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro, 2012). Esta situação legal é distinta em diferentes países da América Latina.

Na Venezuela, segundo a teoria da propriedade original do Estado, as minas constituem algo separado da propriedade civil comum. Isso é especificado no artigo 12 da constituição venezuelana (VENEZUELA, 1999), dando à indústria de mineração o status de utilidade pública, utilizando os conceitos distintos de solo e subsolo, definidos na Lei de Mineração de desde 1910 e mantidos até a lei atual (VENEZUELA, 1999). Para os fins desta lei, considera-se solo a superfície ou a camada superficial utilizada pelo proprietário, seja no trabalho agrícola, na construção de fundações ou em outro trabalho fora da mineração. Embora a lei atual de mineração defina o subsolo como patrimônio público, para os demais fins esta consideração, mesmo sem uma lei específica, já era considerada desde a época de domínio da coroa espanhola que colocou as normas protetoras do patrimônio da Coroa como preponderantes aos interesses particulares.

Em aproveitamento dessa prática, tem sido possível o desenvolvimento de projetos como o SIGAMC (Sistema de Informação Geográfica Aplicado ao Subsolo da Região Metropolitana de Caracas), realizado em 2003, com o principal objetivo de coletar e armazenar em formato digital o máximo possível de informações sobre sondagens geotécnicas realizadas (quase todas por empresas privadas) na área metropolitana de Caracas, desde os anos 40. Isso resultou em um banco de dados com um total de 7.563 sondagens distribuídas de forma heterogênea, com maior concentração na cidade velha, principais avenidas e áreas a leste e sudeste do vale de Caracas (OROPEZA e ZAMBRANO, 2007). Esse banco de dados foi posteriormente ampliado pela Fundação Venezuelana de Investigações Sismológicas (FUNVISIS) que, desde 2006, concentrou-se especialmente na coleta de informações disponíveis relacionadas aos diversos aspectos do subsolo de Caracas, conseguindo acrescentar acima de 8.500 sondagens geotécnicas (OSORIO, 2014), com o início de um Projeto de Microzonificação Sísmica de Caracas.

Sendo o gerenciamento de geoinformação uma realidade, nas políticas estatais em algumas cidades do mundo, Culshaw e Price (2011), em revisão do gerenciamento de informações do subsolo em várias cidades da Inglaterra e Canadá, deduziram que a maioria das autoridades locais (Prefeituras) não tem recursos ou iniciativa (talvez devido à falta de entendimento da importância da geoinformação) em construir, manter e desenvolver bancos de dados geológico-geotécnicos que apoiem o uso deste conhecimento em áreas urbanas. Isto ocorre mesmo havendo na Inglaterra trabalhos de geologia urbana, que incluem mapas e modelos 3D, baseados principalmente em dados do subsolo, obtidos de bancos de dados locais (públicos e privados).

### 3.2 PROCESSOS EROSIVOS

Os conceitos mais estabelecidos de processos erosivos descrevem a erosão como um processo natural de desagregação, decomposição, transporte e deposição de materiais de rochas e solos que vem agindo sobre a superfície terrestre desde os seus princípios. No entanto, cada autor pesquisado atribui o avanço deste processo para um ou vários agentes.

Por exemplo, Selby (1993) conceitua erosão de solos com uma abordagem dirigida para a ação da água de chuva e a ação antrópica, a qual é associada principalmente a desmatamentos e construções de vias de acesso. No caso da chuva, o escoamento superficial tem início quando a intensidade de precipitação se torna maior do que a taxa de infiltração da água no solo, sendo consequência da superação da detenção e da retenção superficial, da interceptação vegetal, da demanda matricial do solo e da evaporação, que são as abstrações hidrológicas dos volumes precipitados. Assim, Griebeler (2001) afirma que associado ao escoamento superficial ocorre o transporte das partículas do solo, que sofrem deposição somente quando sua velocidade é reduzida.

Segundo Oliveira e Prado (1987), este fenômeno de erosão vem acarretando um pesado ônus à sociedade através da degradação dos solos e, por consequência, das águas; além de danos ambientais irreversíveis, produz também prejuízos econômicos e sociais, diminuindo a produtividade agrícola, provocando a redução da produção de energia elétrica e do volume de água para abastecimento urbano devido ao assoreamento de reservatórios e uma série de transtornos aos demais setores produtivos da economia.

Os processos erosivos acelerados são condicionados basicamente por alterações do meio ambiente, provocadas pelo uso do solo nas suas várias formas, desde o desmatamento e a

agricultura, até obras urbanas e viárias, que, de alguma forma, propiciam a concentração das águas de escoamento superficial.

Segundo Lima (1987), o estabelecimento de qualquer processo erosivo requer, antes de tudo, um agente (água ou vento) e o material (solo) sobre o qual agirá, desprendendo e desagregando as partículas e transportando-as. A interação entre material e agente consiste na busca de um estado de maior equilíbrio, antes desfeito de forma natural ou devido a efeitos antrópicos.

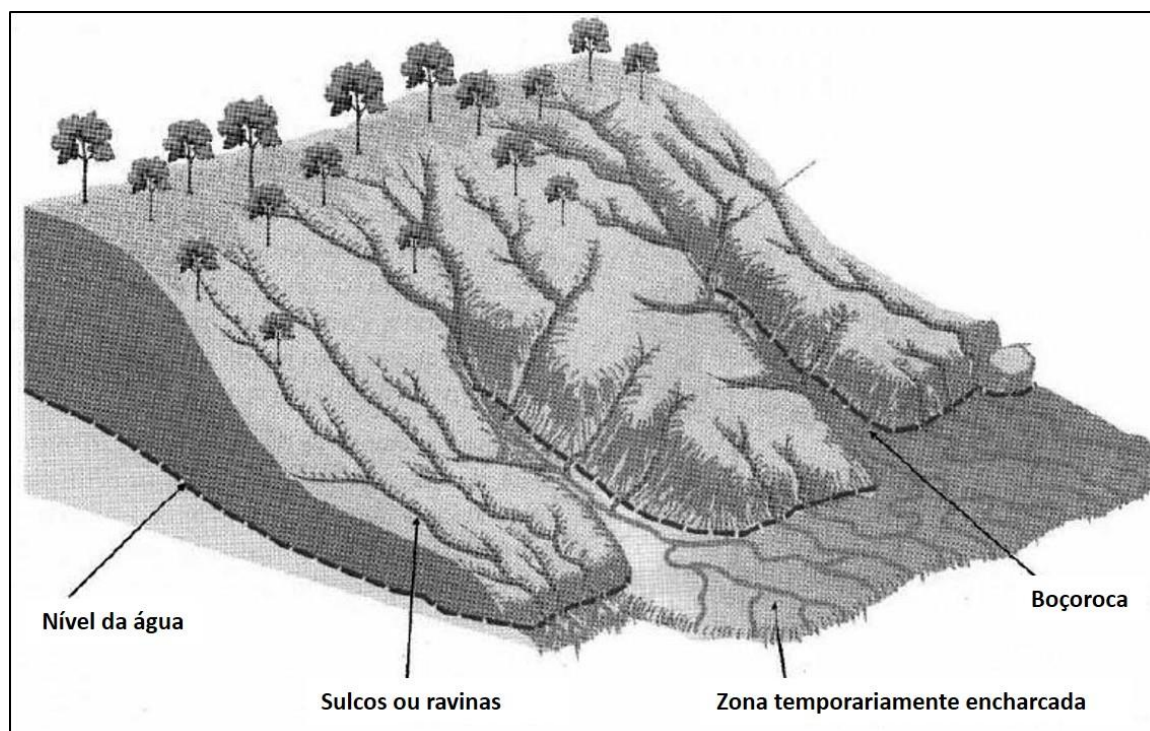
### 3.2.1 Tipos de erosões hídricas

A erosão hídrica pode ser, de acordo com a intensidade, tempo e agente erosivo, classificada de diversos modos: natural ou geológica (BENNETT, 1939; EL SWAIFY & DANGLER, 1982); superficial, em sulco e profunda (CARSON & KIRKBY, 1975; PONTES, 1980); em sulco, em ravinas e em boçoroca (RANZANI, 1969; BERTONI & LOMBARDI NETO, 1985; GUERRA & CUNHA, 1995); laminar e linear (PEJON, 1992; YAMANOUTH, 2003); e a acelerada ou antrópica (PROIN/CAPES & UNESP/IGCE, 1999).

Neste trabalho, para designar os diferentes tipos de feições erosivas (Figura 1) são utilizados os seguintes termos e definições:

- Erosão linear: conjunto de feições erosivas causadas pela concentração de linhas de fluxo das águas de escoamento superficial podendo ser de três tipos conforme (SOUSA, 2001):
  - a. Sulcos: No *Glossary of Soil Science Terms* (SSSA, 2008), sulcos são descritos como um processo erosivo, que ocorre principalmente em terrenos recentemente cultivados, em relevos inclinados, na qual o correm, aleatoriamente, numerosos canais pequenos, com poucos centímetros de profundidade. A erosão em sulcos constitui-se na segunda fase evolutiva do processo físico da erosão hídrica do solo, que é marcada pela mudança da forma do escoamento, se formando pequenos canais resultantes da concentração de escoamentos superficiais (POLYAKOV & NEARING, 2003).
  - b. Ravinas: Poesen *et al.* (2003) definiram ravinas como sendo um processo erosivo, através do escoamento superficial da água que se dá, em função de seu acúmulo e que, frequentemente, se repete em canais estreitos e, em períodos curtos, fazendo com que o solo seja removido, nesta área restrita a grandes profundidades.

Figura 1 – Morfologia de sulcos, ravinas e boçorocas.



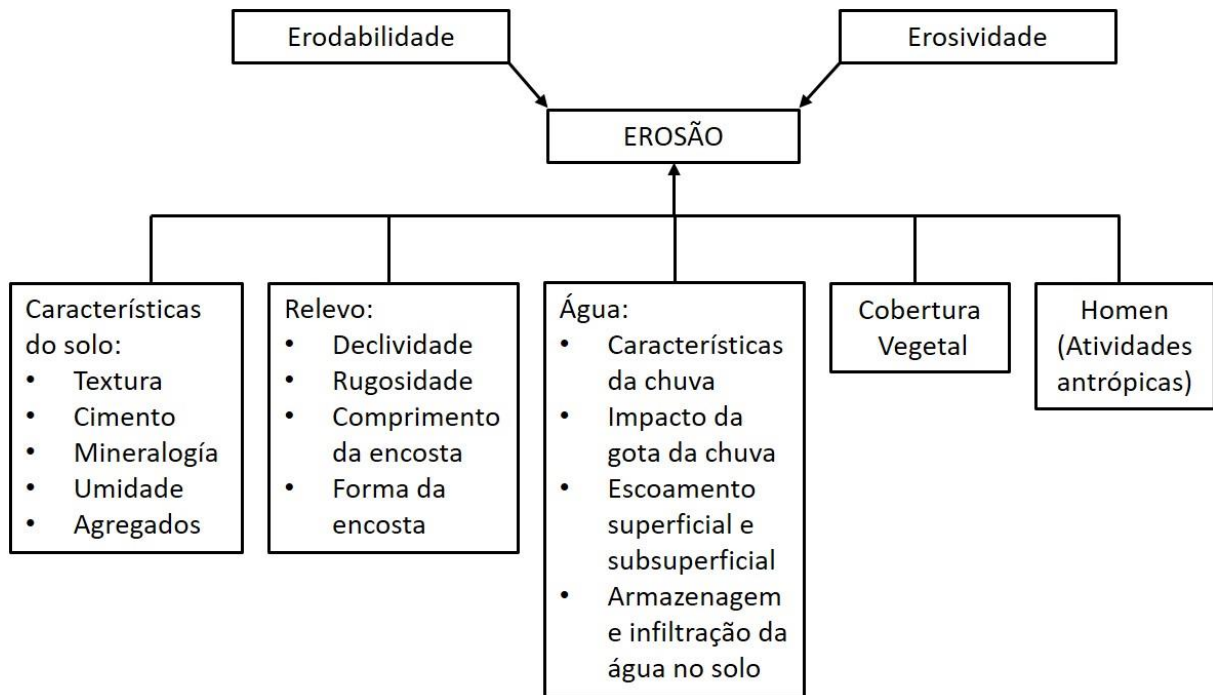
Modificado de: KARMANN et al. (2000).

- c. Boçoroca ou Voçoroca: erosão geralmente muito funda, desenvolvida pelo rápido e acentuado ravinamento que atinge o lençol freático, passando a ter influencia do fluxo d'água subsuperficial e desenvolvimento de *piping* (erosão interna), podendo ter mais de 10 m de profundidade (WINGE, 2001; SALOMÃO e IWASA, 1995).
- Intersulco: Tipo de feição erosiva que é causada pelo escoamento superficial que pode se dar em uma lâmina de água de pequena extensão e que se concentra em determinadas áreas, como, por exemplo, entre os sulcos já formados pelos processos erosivos (SOUSA, 2001).
  - Erosão acelerada ou antrópica: processo induzido pela intervenção humana, altamente destrutivo, desenvolvendo-se rapidamente, sendo sua intensidade superior à formação do solo, não permitindo, desta forma, sua recuperação natural (PROIN/CAPES & UNESP/IGCE, 1999).

### 3.2.2 Fatores que influenciam o desenvolvimento de processos erosivos

A erosão é resultado da combinação da erosividade do agente deflagrador/transportador no caso a chuva, e da erodibilidade do material geológico predisponente, no caso o solo, e da combinação destes fatores com as características do relevo, da água, da cobertura vegetal e das atividades antrópicas (YAMANOUTH, 2003) (Figura 2).

Figura 2 – Os Fatores que condicionam a formação de processos erosivos.



Fonte: Modificado de Yamanouth (2003).

### 3.2.2.1 Erodibilidade

Segundo Freire et al. (1992 apud RODRIGUEZ, 1998), a erodibilidade é a propriedade intrínseca do solo que reflete a sua maior ou menor predisposição ao destacamento das partículas podendo defini-la como quantidade de material geológico que é removido por unidade de área, quando os demais fatores determinantes de erosão são mantidos sob condições padrão essa propriedade depende da relação entre diferentes atributos, tais como: permeabilidade; textura; grau de agregação e teor de matéria orgânica e outras de menor importância.

A erodibilidade dos materiais inconsolidados está relacionada a dois fatores principais, que são a facilidade de desagregação e a facilidade de transporte das partículas. Para solos finos a desagregação das partículas é mais difícil devido às forças de atração entre elas, mas uma vez destacadas, mantêm-se em suspensão e são transportadas com facilidade. No caso dos solos grossos, normalmente não existem forças de coesão; assim as partículas destacam-se, mais facilmente, mas à medida que a granulometria aumenta, diminui a sua facilidade de transporte (PEJON, 1992).

Pejon (1992, apud YAMANOUTH, 2003) ressaltou que as propriedades “*in situ*” como umidade e condições de infiltração de água, também exercem influência no potencial de erodibilidade. Destacando que há uma complexidade na análise da erodibilidade dos materiais inconsolidados, envolvendo as naturezas químicas, físicas e as condições “*in situ*”. Por tanto, sugere que além dos ensaios físicos, como a granulometria, a plasticidade, a massa específica dos sólidos e a umidade, utilizados na tentativa de caracterizar a erodibilidade dos materiais, podem-se incluir outros ensaios como a densidade, as taxas de infiltração, a agregabilidade, permeabilidade, a expansão e a profundidade dos diversos horizontes dos solos, para determinar ou estimar as condições dos materiais “*in situ*”.

#### 3.2.2.2 Erosividade

A erosividade também definida na atualidade como erosão hídrica (CARVALHO et al., 2014) é causada pelo impacto das gotas de chuvas que promovem a desagregação de partículas num solo com características padronizadas que, posteriormente, são transportadas pelo escoamento superficial. Podendo-se compreender a erosividade como às perdas por erosão devidas as chuvas, em um solo perfeitamente uniforme, com comprimento de rampa e declividade padronizado, totalmente homogêneo, com cobertura vegetal também padronizada. Desta forma, poderíamos conceituar a erosividade das chuvas como a influência do fator chuva sobre as perdas de solo, desde que todas as outras variáveis permanecem idealmente constante, ou seja, a erosividade é a capacidade potencial da chuva de causar erosão do solo; e conhecer o potencial erosivo das chuvas é crucial para estimar a perda de solo.

#### 3.2.2.3 Características dos solos

A suscetibilidade do solo à erosão é influenciada pelas suas propriedades físicas/hidrológicas, químicas/mineralógicas e biológicas/bioquímicas, além das características do perfil (Quadro 1).

#### 3.2.2.4 Topografia e Relevo

Na pedologia aprecia-se o relevo como um elemento fundamental para a formação dos solos, porém na Geomorfologia considera-se o solo apenas como um elemento dependente do relevo e que tem apenas uma pequena contribuição na formação do relevo (QUEIROZ, 2010).



Quadro 1- Fatores que influem na erodibilidade do solo.

CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS QUE INFLUENCIAM NA ERODIBILIDADE		
PROPRIEDADES	FATORES	CARACTERÍSTICAS
Mecânicas	Textura	<ul style="list-style-type: none"> <li>Influi no destacamento e carregamento de partículas do solo</li> <li>Determina a facilidade com que o solo é disperso</li> <li>Determina a força limite necessária para o destacamento</li> </ul>
	Estrutura	<ul style="list-style-type: none"> <li>Formação de agregados que resistem à dispersão, aos efeitos abrasivos da água de escoamento e ao destacamento</li> <li>Grau de agregação e distribuição de agregados estáveis</li> <li>Tamanho dos agregados</li> </ul>
	Formação	<ul style="list-style-type: none"> <li>Responsável pela alta taxa de escoamento superficial</li> <li>Desenvolve-se em solos com baixa porcentagem de matéria orgânica.</li> </ul>
Resistência	Resistencia ao cisalhamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>Importante no destacamento de partículas de solo (impacto e escoamento superficial).</li> <li>Rolamento e deslizamento de grãos</li> </ul>
Hidrológicas	Retenção de água	<ul style="list-style-type: none"> <li>O estado de energia da água do solo ou pressão neutra influencia a resistência ao cisalhamento do solo.</li> <li>Resistência do solo ao arrastamento pela água é influenciada pela umidade inicial ou antecedente</li> <li>Solos secos são mais susceptíveis à erosão pelo vento e pela água do que os úmidos.</li> <li>A umidade fornece coesão entre partículas.</li> </ul>
	Infiltração	Taxa de infiltração determina o maior ou menor volume de escoamento superficial
	Permeabilidade	Solos com permeabilidade extremamente baixa a moderada gera mais escoamento superficial
Reológicas	Sistema solo/água	A umidade do solo influi na suscetibilidade à erosão por afetar a coesão, resistência ao cisalhamento, consistência e plasticidade
Químicas e mineralógicas	Matéria Orgânica	<ul style="list-style-type: none"> <li>Influencia a distribuição granulométrica de propriedades de retenção e transmissão de água</li> <li>Fortalece as ligações que estabilizam as umidades estruturais e mantém um balanço favorável entre retenção e transmissão nos poros.</li> <li>Diminui o efeito compactação.</li> <li>Concentração de matéria orgânica nos micros agregados aumenta a sua resistência à desagregação e à dispersão.</li> <li>Elevadas concentrações da matéria orgânica em alguns solos são responsáveis pelas características hidrofóbicas.</li> </ul>
	Argilominerais	<ul style="list-style-type: none"> <li>A estrutura do solo e a sua resistência são influenciadas pela quantidade e natureza dos argilominerais</li> <li>A fração fina do solo interage com a matéria orgânica para formar agregados estáveis que resistem ao impacto das gotas de chuva.</li> </ul>
Características do Perfil	Diretos e indiretos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Influência a erosão direta e indiretamente.</li> <li>Influência sobre o escoamento subsuperficial de água em decorrência de mudanças nas propriedades hidrológicas de diferentes horizontes.</li> <li>Influência sobre o crescimento vegetal.</li> </ul>

Fonte: Modificado de Lal (1990).

O relevo promove nos solos variações facilmente perceptíveis, como as variações de cor, textura e profundidade. Essas diferenças ocorrem porque o relevo distribui de forma desigual a água da chuva, a luz e o calor do sol, ocasionados por diferenças de altitude, formato e declividade. Já os solos, com suas diferentes propriedades físicas, possibilitam fenômenos de erosão diferenciada, que acabam influenciando os processos de desgaste do relevo, influenciando assim as suas formas (LEPSCH, 2010).

Um dos primeiros geógrafos a atribuir maior grau de significância na relação solo-relevo foi Jean Tricart, em 1978, comprovando que a relação dos objetos de estudo da Geomorfologia e Pedologia estavam interligados desde a alteração das rochas pelo processo de intemperismo (TORRADO et al., 2005).

Assim como a Geomorfologia é considerada uma espécie de intermediação entre a relação do solo com rocha, a hidrologia também tem um papel de intermediação na relação entre solo e o relevo. Boulet (1992), demonstrou que os fluxos hídricos têm papel fundamental na interação da evolução do relevo com as transformações dos solos.

Considerando que os fluxos hídricos se distribuem de forma desigual na superfície do relevo: as áreas que apresentam saturação contínua com água, afetam de forma diferenciada os processos de intemperismo químico, fazendo com que essas áreas apresentem evolução pedológica de forma diferente das áreas mais secas e nas áreas com permanente saturação hídrica. Da mesma forma, as áreas que apresentam maiores declividades, facilitam o escoamento superficial, proporcionando a erosão, impedindo a evolução do solo e modificando a feição do relevo (LEPSCH, 2010).

#### 3.2.2.5 Escoamento e Infiltração da água

Conforme Guerra e Cunha (1995), a água, seja de origem pluvial ou antrópica, ao atingir o solo pode ser armazenada em pequenas depressões ou se infiltrar, aumentando a umidade do solo, ou abastecer o lençol freático. Quando o solo não consegue mais absorver água, o excesso começa a se mover em superfície ou em subsuperfície, denudando assim o terreno, através do escoamento das águas, podendo provocar o desenvolvimento de processos erosivos.

O controle efetivo da erosão do solo pela água, consiste em encontrar um equilíbrio na infiltração da água no solo e a velocidade da água corrente na superfície do solo. Essa tarefa inclui melhorar a capacidade de infiltração e o armazenamento da superfície, melhorando a estrutura do solo e protegendo o solo superficial (HILLEL, 2007)

### 3.2.2.6 Vegetação

Desde há muito tempo são inúmeros os trabalhos científicos que atinam sobre a importância da cobertura vegetal na prevenção de desenvolvimento de processos erosivos.

A gestão do solo e da vegetação é reconhecida como a maneira mais eficaz de influenciar a extensão da perda de solo e, portanto, de controlar da erosão do solo (GOUJON, 1968). Nishiyama (1998), também chama a atenção do importante papel que exerce a cobertura vegetal em um determinado local, com o intuito de minimizar a ação dos processos erosivos e demais fenômenos que instabilizam as encostas.

Brevik *et. al* (2015), indicam que além do papel importante que as plantas desempenham no processo de formação do solo, a cobertura vegetal protege o solo contra a erosão; propondo que a remoção da cobertura vegetal em um determinado local gera uma série de mudanças, como: a interrupção do efeito estabilizador da floresta; interrupção da interceptação, retenção e evapotranspiração, funções da cobertura vegetal; desaparecimento do horizonte orgânico, acarretando no aumento da infiltração de água no solo; aumento do grau e saturação do maciço devido à elevação do lençol freático; e diminuição da resistência mecânica do solo pela deterioração do sistema de raízes.

### 3.2.2.7 Atividade Antrópica

A ação antrópica com o desenvolvimento de núcleos urbanos, preferencialmente no topo das colinas, altera completamente o meio físico (RODRIGUES, 1998). Através dos inúmeros cortes da encosta, aterros, depósitos de lixo, retirada da cobertura vegetal, modificações na drenagem, a pavimentação que diminui a infiltração nos solos levando a um aumento do escoamento superficial, são fatores antrópicos responsáveis pelo desenvolvimento de erosões periurbanas.

A intervenção antrópica sobre margens de rios e áreas de encosta, atualmente é marcada pelo fenômeno da urbanização, caracterizando a expansão das cidades devido ao parcelamento do solo sem diretrizes prévias de implantação, desfavorecendo assim principalmente populações de classe média baixa. Desta forma, a ocupação urbana ocorre de maneira irregular. Segundo o presidente da Federação Nacional dos Arquitetos e Urbanistas (FNA), esse tipo de problema é atribuído às desigualdades sociais herdadas de um longo processo histórico marcado pela ausência de políticas públicas eficientes (BIMBI, 2004).

### 3.3 COMPACTAÇÃO DO SOLO

Solos com elevado grau de compactação, apresentam uma estruturação que dificulta a infiltração da água e aumenta o escoamento superficial, o que favorece a atuação do processo de erosão pela retirada da camada superficial do solo. Por outro lado, solos com baixo grau de compactação apresentam melhor capacidade de infiltração, menores velocidades de escoamento superficial, conseqüentemente menor atuação da erosão (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999).

Silva (2005) ressalta que a quantificação do grau de compactação do solo tem grande relevância, pois se relaciona diretamente com o escoamento e a infiltração da água no solo. Do ponto de vista físico, as variações nos conteúdos de água no solo provocam variações na consistência, sendo os solos muito resistentes às pressões a baixa umidade do solo, e muito suscetíveis a compactar-se com alta umidade do solo (HORN et al., 1995).

No trabalho de Guimarães (2008) mostrou-se que a compactação do solo ocasionada por atividades antrópicas interfere nas suas propriedades, principalmente no balanço infiltração/escoamento superficial. Esta alteração nas características superficiais dos solos, por aumentar o escoamento superficial em algumas áreas, pode levar ao surgimento ou aceleração dos processos erosivos, principalmente por fluxos de água concentrados. Na correlação da ocorrência de erosões na bacia estudada por Guimarães (2008) foi determinado, de acordo com o tipo do solo, qual é o tipo de uso que favorece a ocorrência e a evolução dos processos erosivos.

Para avaliar a compactação, a resistência do solo à penetração (RP) tem sido frequentemente utilizada (FRITTON, 1990; TORMENA e ROLOFF, 1996; CASAGRANDE, 2001; BEUTLER e CENTURION, 2004), por ser um atributo diretamente relacionado ao crescimento das plantas (em solos muito compactos é mais difícil o crescimento radicular) (LETEY, 1985) e de fácil e rápida determinação (STOLF, 1991).

### 3.3 DEFEITOS OCULTOS DO SUBSOLO

A definição apresentada a seguir resultou do texto em espanhol descrito por Singer (2012, p.32; “tradução nossa”); e refere-se à qualidade defeituosa dos materiais do subsolo gerados artificialmente como consequência de movimentos de solo geotecnicamente descontrolados e usados para fins de construção como terrenos de fundação.

A ignorância ou desvalorização do mesmo é susceptível de provocar acidentes geotécnicos nas obras construídas não imputáveis à natureza, por falhas das fundações dos edifícios, deslizamento das encostas perimetrais dos terrenos construídos, entre outros; que pode levar à aplicação das cláusulas de indenização por danos previstas também no Código Civil Brasileiro (BRASIL, 2002), segundo Almeida (2017) que versa em relação aos direitos dos consumidores no caso de vícios construtivos ocultos que podem colocar em risco a vida das pessoas, a autora descreve o amparo que o Código Civil Brasileiro (BRASIL, 2002) faz nos artigos 441, 442, 443, 444, 445 e 446, da Seção V- Dos Vícios Redibitórios, do Título V- que se refere aos Contratos Em Geral; assim, como no artigo 618 do mesmo Código Civil Brasileiro que expressa:

Nos contratos de empreitada de edifícios ou outras construções consideráveis, o empreiteiro de materiais e execução responderá, durante o prazo irredutível de cinco anos, pela solidez e segurança do trabalho, assim em razão dos materiais, como do solo (BRASIL, 2002).

### 3.4 SONDAGENS E ENSAIOS GEOLÓGICOS DE SUBSOLO

As Sondagens são métodos de investigação geológica direta do terreno, com obtenção de amostras para análise e caracterização do material. São utilizadas tanto para fornecer informações à projetos de Pesquisa Mineral ou como Projetos de Engenharia para construção dos mais variados tipos de empreendimento, tais quais casas, edifícios, pontes, hidrelétricas, estradas, entre vários outros.

Existem vários tipos de Sondagens, que variam de acordo com a necessidade do projeto e ao equipamento utilizado e o método de execução, fornecendo diferentes resultados.

Os principais tipos de Sondagens utilizadas no Brasil são:

- Poço de Inspeção - PI
- Sondagem a Trado - ST
- Sondagem a Percussão - SP/SPT
- Sondagem Rotativa - SR
- Sondagem Mista - SM

E os principais ensaios de campo são:

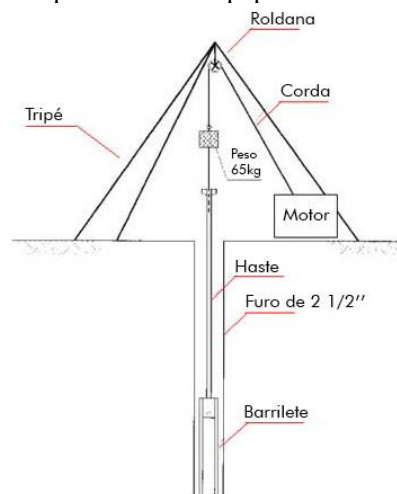
- SPT

- Ensaio de Penetração (Penetrômetro de impacto, Cone – CPT, Piezocone - CPTU)
- Ensaio de Palheta - Vane Test
- Ensaio Pressiométrico
- Ensaio Dilatométrico - DMT
- Ensaio de Permeabilidade/Infiltração no Solo
- Ensaio de Perda De Água Sob Pressão

### 3.5.1 SPT

O *Standard Penetration Test* (SPT) ou também conhecido no Brasil como o Ensaio Padronizado de Penetração, consiste na medição do número de golpes necessários à penetração de um amostrador padrão de 50,2 mm de  $\varnothing$  externo sob a ação de um martelo padronizado de 65 kg em queda livre de uma altura padronizada de 75 cm (Figura 3).

Figura 3- Desenho esquemático dos equipamentos usados no ensaio SPT.



Fonte: <https://www.guiadaengenharia.com/resultado-ensaio-spt/>

O índice de resistência à penetração (N), correspondente ao número de golpes associados à penetração dos últimos 30cm do amostrador padrão, juntamente com a amostra coletada no amostrador ou por outro processo, fornece apenas uma indicação qualitativa das propriedades mecânicas e estratigráfica solo. Este ensaio é normatizado pela ABNT através da NBR-6484, que prescreve o método de execução de sondagens simples reconhecimento de solos.

Através do número de golpes (N), necessários para cravar os últimos 30 cm do amostrador padrão, pode-se estimar qualitativamente o estado de compactidade ou consistência

de solos. O valor do número de golpes (N), associado em certos casos com a profundidade de execução do ensaio e via correlações de natureza empírica, é utilizado para fornecer valores estimados do módulo de elasticidade (E) e o valor do ângulo de resistência ao cisalhamento ( $\phi'$ ) em solos granulares e o valor da resistência ao cisalhamento não drenada ( $S_u$ ) em solos coesivos.

O resultado do ensaio SPT é apresentado no gráfico chamado de perfil geotécnico, geralmente na escala de 1:100, que é feito individualmente para cada furo; e o perfil geotécnico deve vir acompanhado da planta de situação dos furos para uma melhor interpretação.

De forma resumida, segundo a norma (NBR-6484;2001) o resultado final de uma sondagem à percussão deverá conter os seguintes itens abaixo:

- Planta de situação dos furos;
- Perfil de cada sondagem com as cotas de onde foram retiradas as amostras;
- Classificação das diversas camadas e os ensaios que as permitiram classificar;
- Níveis dos terrenos e dos diversos lençóis d'água, com a indicação das respectivas pressões;
- Resistência à penetração do barrilete amostrados, indicando as condições em que a mesma foi tomada.

### **3.5.2 Ensaio de Penetração - Penetrômetro de impacto**

A compactação do solo pode ser avaliada através de vários atributos do solo; dentre os existentes, destacam-se a densidade do solo e a resistência mecânica do solo à penetração (RMSP), que apesar de ser uma indicação indireta da compactação do solo, permite avaliar, comparativamente, a variabilidade estrutural do solo em diferentes sistemas de manejo utilizados na mesma classe de solo (RALISCH et al., 2008).

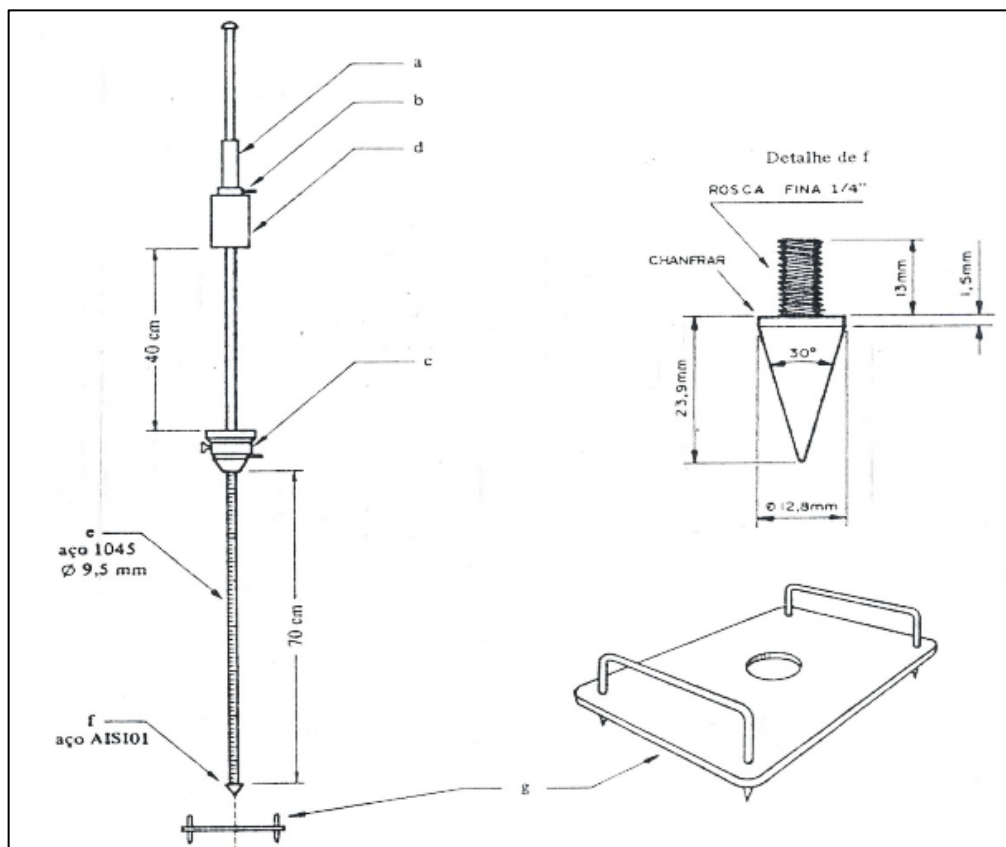
Para quantificar o estado de compactação do solo o método mais comum é o que utiliza penetrômetros. O método de cravação permite que a resistência à penetração de um solo seja inferida a partir da relação entre o número de impactos executados e a espessura de profundidade penetrada (SILVA, 2005). O penetrômetro, por ser um aparelho versátil, fácil de ser utilizando e pela rapidez da obtenção de dados, pode ser aplicado em muitos tipos de solos, inclusos os da área de nosso estudo.

Atualmente, os penetrômetros mais utilizados classificam-se em função do seu princípio de penetração: os penetrômetros que registram a RMSP em um dinamômetro, por ocasião da pressão exercida no conjunto contra o solo e os que penetram no solo em função do impacto de

um peso que cai em queda livre de uma altura constante, provocando a penetração da haste no solo (STOLF, 1991).

O penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR-STOLF (Figura 4), produzido pela Kamaq (Araras-SP), de acordo com Stolf, Fernandes e Furlani Neto (1983, apud OLIVEIRA, 2019), possui as seguintes características descritas na Figura 4, a seguir.

Figura 4 – Penetrômetro de impacto. a) Luva móvel par o operador manter o aparelho na vertical sem interferir na força resultante durante a penetração da haste; b) e c) Limitadores superior e inferior; d) Peso que provoca o impacto; e) Haste graduada em cm; f) Ponta cônica; g) Chapa para de fixada na superfície do solo, dando o nível de referência da leitura de profundidade.



Fonte: STOLF (1983).

- O peso que provoca o impacto: 4 kg
- Curso de queda livre: 40 cm
- Cone: ângulo sólido 30°
- Área da base do cone de penetração 0,2pol
- Diâmetro do cone de penetração 12,8 mm
- Diâmetro da haste que penetra no solo: 9,5 mm
- Comprimento da haste 70 cm



É importante ressaltar que a RMSP é altamente influenciada pelo teor de água e densidade do solo (CUNHA et al., 2002; GENRO JÚNIOR et al., 2004). Ela aumenta exponencialmente com a diminuição da umidade, em razão do aumento das forças de coesão entre as partículas do solo, resultante da concentração dos agentes cimentantes (sesquióxidos de ferro e alumínio associados a materiais húmicos degradados, exsudação dos microrganismos do solo, etc.) e da redução do efeito lubrificante da água (SILVA et al., 2002).

Alguns trabalhos de pesquisa já utilizaram o penetrômetro de impacto em estudos de cobertura e uso de solos em bacias hidrográficas (COSTA et al., 2009) e a correlação da resistência à penetração dos solos com a ocorrência de processos erosivos. Guimarães (2008), na elaboração do mapeamento geotécnico da bacia do córrego de Barra no município São Pedro, SP com a utilização do penetrômetro de impacto, determinou qual solo e qual tipo de uso favorecem a ocorrência e a evolução dos processos erosivos; concluiu que o uso do solo influencia na resistência à penetração, sugerindo a necessidade de um controle maior nas culturas que propiciam o aumento da resistência, para tentar um maior controle quanto aos processos erosivos atuantes.

Por outro lado, uma das condições que podem alterar os valores da resistência física à penetração é o teor de umidade que o solo se encontra, juntamente com densidade, textura e teor de matéria orgânica (VAZ et al., 2002).

Segundo Hassan (1966), os solos finos são diretamente afetados pela umidade em que se encontram, pela massa específica seca e pelas tensões de confinamento.

De acordo com Aoki (como no Brasil os ensaios com penetrômetro não são tão empregados quanto o SPT, diversos autores propuseram que o valor da resistência de ponta ( $q_c$ ) poderia ser substituído por uma correlação com o índice de resistência à penetração.

Para a correlação do valor da resistência física (Mpa) na ponta do cone de penetração do penetrômetro de impacto dinâmico com a resistência física no ensaio de SPT, tem-se as relações indicadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Resultados da literatura para a correlação  $q_c/NSPT$  para areias. Onde  $q_c$  é valor da resistência física no penetrômetro de impacto em Mpa e NSPT valor da resistência física no ensaio SPT.

$q_c/NSPT$ médio	Descrição do solo	Energia do SPT	Referência
1,00 0,80 0,70 0,60 0,50	Areia Areia siltosa Areia silto-argilosa Areia argilosa Areia argilo-siltosa		Aoki e Velloso (1975)
0,40 – 0,60 0,30 – 0,40	Areia Areia siltosa, argilosa, silto-argilosa ou argilo-siltosa		Schmertmann (1978)
0,50 – 0,70 0,30	Areia Areia siltosa, argilosa, silto-argilosa ou argilo-siltosa		Ramaswany et al. (1982)
0,50 a 0,70	$0,30 < D_{50} < 0,70\text{mm}$	55% a 65%	Robertson et al. (1983)
0,60 0,53	Areia Areia siltosa, argilosa, silto-argilosa ou argilo-siltosa (areias do Rio de Janeiro)		Danziger e Velloso (1986)
0,70 e 1,00	Areia fina a média	72%	Castello e Polido (1994)
0,20 a 1,00	Areias do Rio de Janeiro, São Paulo e Rio Grande do Sul (solos residuais)		Politano et al. (2001)
0,50 (solo natural) 0,60 e 0,65 (solo compactado)	Areia fina e areia fina siltosa		Soares (2002)
1,1 0,90 0,70 0,55	Areia com pedregulhos Areia Areia siltosa Areia argilosa		Teixeira (1996a)
0,50 (0,25 a 1,00) 0,40 (0,20 a 0,80)	Areia fina a média e Areia média a fina $0,30 < D_{50} < 0,70\text{mm}$	75% 60%	Cordeiro (2004)

Fonte: Modificado de Moraes (2008, apud OLIVEIRA, 2019, p.61).

### 3.6 – AMOSTRAGEM E ENSAIOS DE LABORATÓRIO

A preparação das amostras é a etapa que antecede à realização dos ensaios de caracterização. O processo consiste em coletar, secar, destorroar, quartear, pesar e peneirar a amostra para obter-se uma quantidade suficiente, homogênea e representativa do solo a ser analisado ao final das operações.

Aqui serão apresentados os procedimentos constantes dos seguintes documentos normativos, considerados nesta pesquisa para a coleta e preparação das amostras:

- ABNT NBR-9603 (ABNT, 2015) Sondagem a trado – Procedimento.

- ABNT NBR-6457 (ABNT, 2016a) Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.

Por outro lado, uns dos testes de caracterização de solos mais utilizado é o ensaio de Análise Granulométrica, empregado também no desenvolvimento desta pesquisa, e é normatizado pela ABNT NBR-7181 (ABNT, 2016b). Assim, para o bom emprego da Análise Granulométrica e indispensável a aplicação dos procedimentos prescritos nos documentos a seguir:

- ABNT NBR 6458 (ABNT, 6458 2016c) Grãos de pedregulho retidos na paineira de abertura 4,8mm – Determinação de massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água.
- ABNT NBR NM ISO 3310-1 (ABNT, 2010a) Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação – Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico.
- ABNT NBR NM ISO 3310-2 (ABNT, 2010b) Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação – Parte 2: Peneiras de ensaio de chapa metálica perfurada.

### **3.6.1 – Norma Brasileira para o procedimento de sondagem a trado.**

No Brasil a ABNT NBR 9603 estabelece os requisitos mínimos para a realização de sondagem a trado em investigações geológico-geotécnicas, com a finalidade de coleta de amostras deformadas, determinação de profundidade do nível da água, e identificação preliminar das camadas de solo que compõem o subsolo (ANBT, 2015).

No caso da coleta de amostras deformadas, caso trabalhado nesta pesquisa, a aparelhagem padrão descrita na ABNT NBR 9603 (ABNT, 2015) é composta de:

- a) trado tipo cavadeira (Figura 5-a), com diâmetro mínimo de 63,5mm;
- b) trado helicoidal ou espiral (ver Figura 5-b), com diâmetro mínimo de 63,5 mm;
- c) cruzetas, hastes e luvas de aço com diâmetro mínimo de 25 mm;
- d) chaves de grifo;
- e) medidor de nível d'água;
- f) metro ou trena;
- g) recipientes para amostras;
- h) parafinas ou fita colante;
- i) sacos plásticos e de lona;
- j) etiquetas para identificação;

- k) ponteira constituída por peça de aço terminada em bisei, com 63 mm de largura e 200 mm de comprimento mínimo.

Figura 5 - Tipos de trados



Fonte: ABNT (2015).

Também, para a execução da sondagem a norma referida neste tópico (ABNT, 2015) situa:

- A sondagem deve ser iniciada com o trado tipo cavadeira, utilizando a ponteira para desagregação de terrenos duros ou compactos, sempre que necessário.
- Quando o avanço do trado tipo cavadeira se tornar difícil, deve ser utilizado o trado helicoidal.
- O material retirado do furo deve ser depositado à sombra, em local ventilado, sobre uma lona ou tábua, e protegido de intempéries, de modo que evite sua contaminação com o solo artificial do terreno ou diminuição excessiva de umidade.
- O material obtido deve ser agrupado em montes dispostos segundo sua profundidade a cada metro perfurado.
- O controle das profundidades dos furos deve ser feito pela diferença entre o comprimento total das hastes com o trado e a sobra das hastes em relação à boca do furo, com precisão de 10 mm.
- Quando o avanço do trado se tornar difícil, deve ser verificada a possibilidade de se tratar de cascalho, matacão ou rocha. No caso de se tratar de uma camada de cascalho, deve ser feita uma tentativa de avanço, usando-se uma ponteira.
- Nos intervalos dos turnos de perfuração e nos períodos de espera para a medida final do nível d'água, o furo deve permanecer tamponado e protegido da entrada de água de chuva.

- Usualmente, a sondagem a trado deve ser feita a seco. Entretanto, em materiais duros, solos coesivos secos ou areias sem coesão, a adição de pequenas quantidades d'água pode ajudar a perfuração e a coleta de amostras. O uso de água nas perfurações a trado deve ser registrado nos boletins de sondagem.
- Não havendo interesse na manutenção do furo aberto, após a conclusão dos serviços, o furo deve ser totalmente preenchido com solo, deixando-se cravada no local uma estaca com a sua identificação.

E finalmente, em relação à coleta de amostras a normativa brasileira especifica que quando o material perfurado for homogêneo, as amostras devem ser coletadas a cada metro; que se houver mudança no transcorrer do metro perfurado, as amostras devem ser coletadas dos diferentes tipos de materiais; que as amostras para determinação da umidade natural devem ser acondicionadas imediatamente após o avanço de cada furo, coletando-se cerca de 100 g em recipiente de tampa hermética, parafinada ou selada com fita colante; que as amostras para ensaio em laboratório, obtidas em quantidade mínima de 4 kg, devem ser acondicionadas em sacos de lona ou plástico com amarelo, logo após a sua coleta; que as amostras devem ser identificadas por duas etiquetas, uma externa e outra interna ao recipiente de amostragem e as anotações devem ser feitas com caneta esferográfica ou tinta indelével, em papel-cartão, devendo as etiquetas serem resistentes a avarias no manuseio das amostras.

A etiqueta deve constar:

- a) nome da obra;
- b) nome do local;
- c) identificação do furo pelas letras ST. seguidas do número indicativo;
- d) intervalo de profundidade da amostra;
- e) data da coleta; e
- f) identificação da amostra.

### **3.6.2 – Norma Brasileira para preparação de amostras para ensaio de caracterização granulométrica de solos.**

A caracterização dos solos está diretamente ligada à qualidade da preparação das amostras. Para a caracterização granulométrica de solos, o Brasil tem a ABNT NBR-6457 (ABNT, 2016a) que especifica o método para a obtenção de amostras representativas para o ensaio. Ela também é aplicada para a determinação do teor de umidade de solos; ambos métodos aplicados nesta pesquisa.

Para a preparação de amostras para ensaios de caracterização, podem ser utilizados dois processos, conforme a norma (ABNT, 2016), um com secagem prévia e outro sem secagem prévia da amostra. O segundo processo pode ser empregado apenas no caso de a amostra apresentar no máximo 10% de material retido na peneira de 0,42 mm.

Para isso a aparelhagem necessária é a seguinte:

- a) Almofariz e mão de gral recoberta de borracha;
- b) Repartidor de amostras;
- c) Balanças que permitam pesar nominalmente 1,5 kg, 10 kg e 20 kg, com resoluções de 0,1 g, 1 g e 5 g, respectivamente, e sensibilidades compatíveis;
- d) Peneiras de 76,2 - 50,0 - 19,1 - 4,8 - 2,0 e 0,42 mm, de acordo com as normas NBR NM ISO 2395 (ABNT, 1997), NBR-NM-ISO 3310 – 1 (ABNT, 1997a) e a NBR-NM-ISO 3310-2 (ABNT, 1997b);
- e) Bandejas metálicas.

Quanto ao procedimento, a norma (ABNT, 2016a) define 2 etapas. Sendo a primeira apresentada como Operações Preliminares, descrita a seguir:

- a) Secar a amostra ao ar, até próximo da umidade higroscópica;
- b). Desmanchar os torrões, evitando quebra de grãos, e homogeneizar a amostra;
- c) Com auxílio do repartidor de amostra, ou pelo quarteamento, reduzir a quantidade de material até se obter uma amostra representativa em quantidade suficiente para a realização dos ensaios requeridos.

Posteriormente, na etapa 2, já para a análise granulométrica se deve tomar uma fração da amostra obtida e passar na peneira de 76 mm, desprezando o material eventualmente retido; do material passado na peneira de 76 mm, tomar uma quantidade conforme indicado na Tabela 2, em função da dimensão estimada dos grãos maiores.

Tabela 1- Quantidade de amostra para análise granulométrica

<b>DIMENSÕES DOS GRÃOS MAIORES CONTIDOS NA AMOSTRA, DETERMINADA POR OBSERVAÇÃO VISUAL (mm)</b>	<b>QUANTIDADE MÍNIMA A SER COLETADA (kg)</b>
< 5	1
5 – 25	4
> 25	8

Fuente: Modificado de ABNT (2016-a).

Quanto ao teor de umidade de solos, em laboratório, a aparelhagem necessária para a execução do ensaio é a seguinte: balanças que permitam pesar nominalmente 200 g, 1,5 kg e 5

kg, com resoluções de 0,01 g, 0,1 g e 0,5 g, respectivamente, e sensibilidade compatíveis; estufa capaz de manter a temperatura entre 60 °C e 65 °C e entre 105 °C e 110 °C; dessecador contendo sílica-gel; recipientes adequados, confeccionados com material não corrosível, como cápsulas metálicas com tampa e pares de vidro de relógio com grampo, de dimensões adequadas; e pinças metálicas com aproximadamente 30 cm de comprimento e 15 cm de abertura.

### **3.6.3 – Norma Brasileira para o ensaio de análise granulométrica de solos.**

A Granulometria do solo é a distribuição de suas partículas constituintes, de natureza inorgânica ou mineral, em classes de tamanho. As classes de tamanho das partículas inorgânicas são também chamadas de frações granulométricas (NETTO et al., 2017). A granulometria do solo representa uma de suas características mais estáveis, sendo determinada por meio do Ensaio de Análise Granulométrica.

O objetivo da análise granulométrica é dividir essas partículas em grupos pelas suas dimensões (frações de solo) e determinar suas proporções relativas ao peso total da amostra. Segundo Netto et al. (2017), a análise granulométrica é considerada o ensaio básico de laboratório, necessário à identificação de um solo, pelos sistemas de classificação adotados na engenharia de solos.

De acordo com as características dos solos, este ensaio é comumente realizado em conjunto, contemplando 2 processos: Peneiramento e sedimentação.

No Brasil, a NBR 7181 (ABNT, 2016c) estabelece o método para análise granulométrica de solos, realizada por peneiramento ou pela combinação de sedimentação e peneiramento.

Uma vez que todo o equipamento necessário esteja instalado, as amostras são preparadas conforme estabelecido na NBR-6457 (2016-a).

## **3.7 TIPOS DE MAPEAMENTOS E METODOLOGIAS RECENTES**

### **3.7.1 Mapeamento de suscetibilidade e riscos geológico-geotécnicos no Brasil**

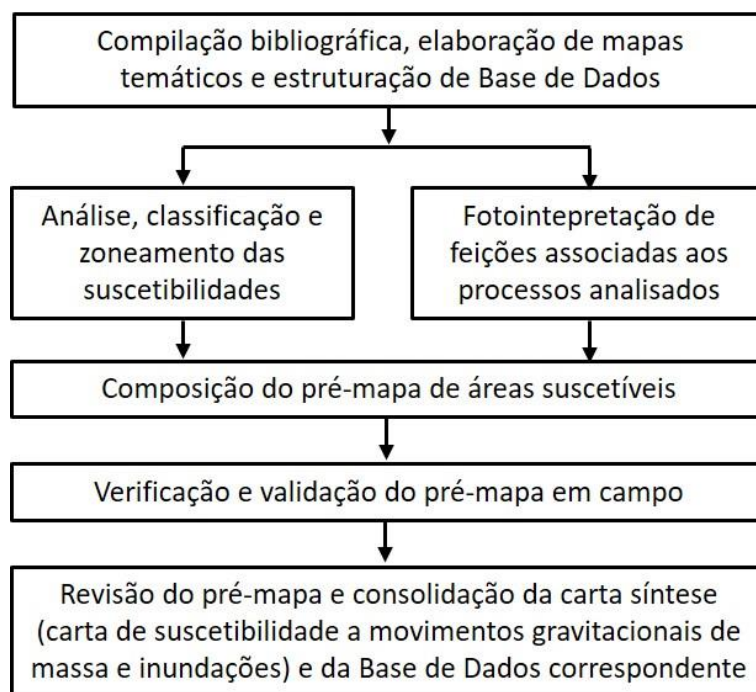
#### **3.7.1.1 Metodologia do Serviço Geológico do Brasil (CPRM)**

Frente ao objetivo de mapear uma quantidade significativa de municípios, parte dos quais com grandes extensões territoriais, segundo conteúdos e formatos a serem organizados e apresentados em bases espaciais comparáveis, em prazos expeditos, de modo a atender a outras

demandas previstas no Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais – PNGRRDN, a CPRM buscou desenvolver um modelo apropriado. Modelo este passível de aplicação à maior parte dos municípios sujeitos a desastres naturais, em todas as regiões do País, com o objetivo específico de gerar indicadores que possibilitem estimar a magnitude da incidência das suscetibilidades em relação às áreas urbanizadas (IPT, 2016).

Considerando os princípios e aspectos mencionados, estabeleceram a concepção geral e os procedimentos básicos para o mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa e a inundações, sintetizados na Figura 6.

Figura 6- Sequência de procedimentos básicos desenvolvidos para a elaboração das cartas de suscetibilidade pela CPRM.



Fonte: Nota Técnica Explicativa (IPT, 2016).

### 3.7.1.2 Metodologia UNESP (Rio Claro)

Segundo CERRI et al. (1996), o método proposto pela UNESP-Rio Claro possui como destaque o conceito de detalhamento progressivo, procedendo com a realização de atividades ordenadas em três etapas sucessivas, onde cada fase determina os temas abrangidos e o detalhe necessário ao desenvolvimento da fase subsequente.

Começa com uma etapa geral de mapeamento geológico-geotécnico regional na escala 1:50.000 ou 1:25.000 com informação das características do meio físico geológico e as dimensões da área de estudo; segue até uma etapa final de detalhe que tem como base a



caracterização do meio físico geológico e a identificação de eventuais problemas geológicos-geotécnicos selecionados em escala de detalhe, geralmente 1:5.000 (BARTOLOMEU, 2012).

### 3.7.1.3 Metodologia EESC/USP

A metodologia de cartografia geotécnica da EESC/USP foi proposta por Zuquette (1987 e 1993). Nesses trabalhos o autor esclarece que sua proposta metodológica se baseia em um processo de investigação da natureza, combinando os três métodos científicos apresentados por Vargas (1985), que são: o dedutivo, o indutivo e o experimental. Nesse contexto, o objetivo da sistemática proposta é estudar e analisar o meio físico e suas relações, com a finalidade de elaborar documento cartográfico que seja aplicado ao planejamento da ocupação de uma determinada área ou região.

Segundo Zaine (2000) a sistemática metodológica da EESC/USP visa o mapeamento preventivo de regiões carentes de informações básicas e que necessitam de dados fundamentais e específicos. Esses dados fundamentais e específicos são fornecidos pela caracterização prévia de materiais inconsolidados, por meio dos seguintes ensaios laboratoriais:

- Granulometria
- Mineralogia
- Limites de plasticidade e de liquidez
- Comportamento laterítico
- Massa específica dos sólidos
- Caracterização dos agregados
- Compactação
- Densidade relativa

A metodologia da EESC/USP também se destaca pela consideração das escalas de trabalho, e Zuquette (1987 e 1993) propõe as seguintes escalas de trabalho:

- Escala geral 1:100.000
- Escala regional 1:100.000 a 1:25.000
- Escala de semidetalhe/detalhe 1:25.000 a 1:2.000

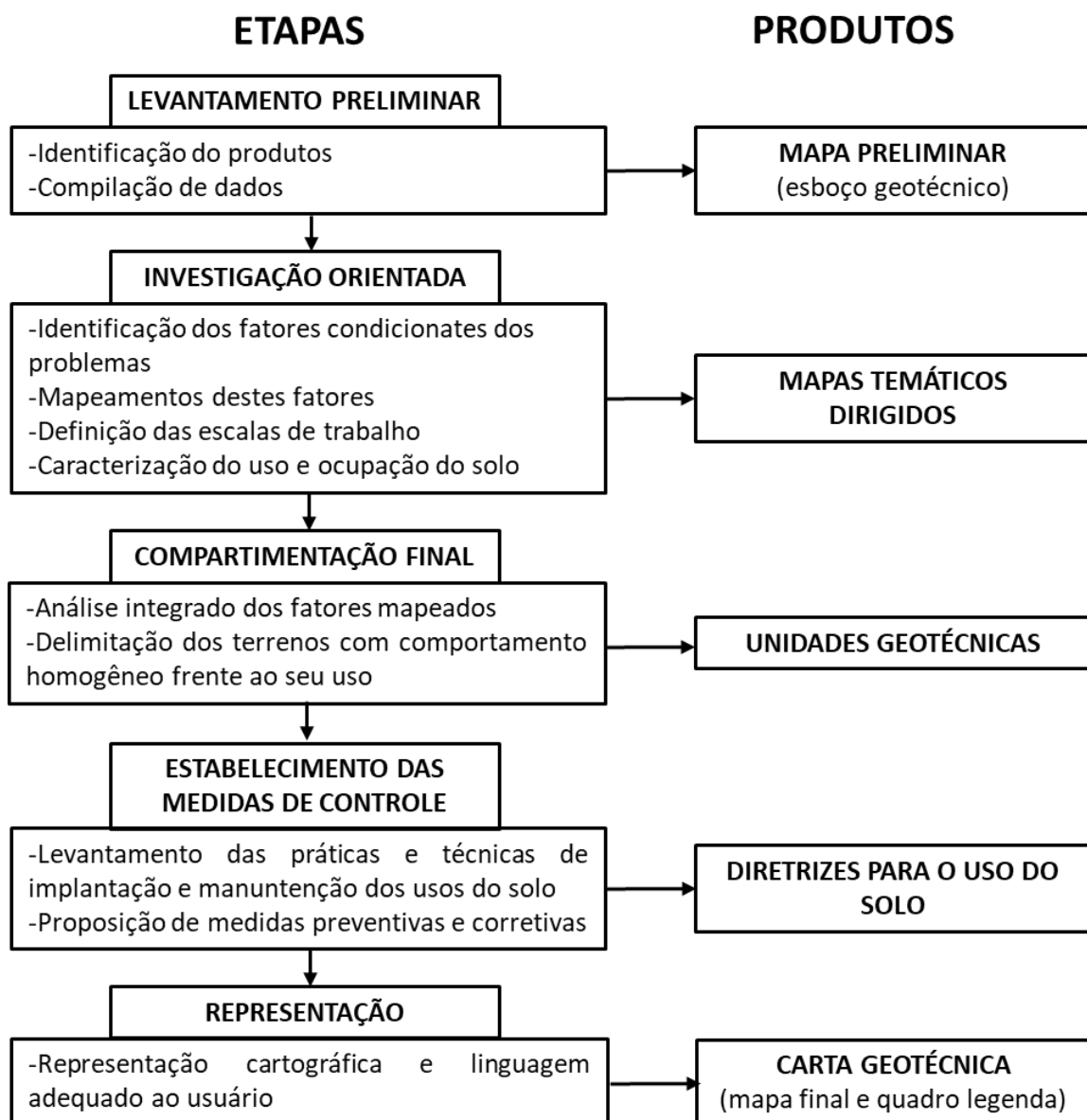
### 3.7.1.4 Metodologia IPT

Em Cartografia Geotécnica e Geoambiental, o Labgeo IPT foi pioneiro, desde a década de 1980, na elaboração de cartas geotécnicas de áreas urbanas no Brasil. Desenvolvem atualmente estudos e pesquisas voltados ao planejamento e gestão territorial, por meio de

abordagem de características e processos geodinâmicos e de suas correspondentes representações cartográficas, a partir de mapeamento de suscetibilidade, mapeamento de cobertura e uso do solo, zoneamento geoambiental, sistema de informações geográficas (SIG) e geoprocessamento.

Prandini et al. (1995) apresentam uma forma de esquematizar a metodologia IPT, por meio de 5 etapas de elaboração de Cartas Geológico-Geotécnicas. Para cada etapa os autores apresentam os respectivos produtos, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7- Sistemática IPT: Fases de elaboração de cartas geotécnicas e produtos correspondentes.



Fonte: Modificada de Prandini et al. (1995).

### 3.7.1.5 Comparação entre as metodologias EESC/USP e IPT

O Quadro 3 apresenta uma síntese comparativa entre as metodologias de elaboração de cartas geológico-geotécnicas da EESC/USP e do IPT, por serem as duas metodologias mais utilizadas na atualidade para o Estado de São Paulo.

Quadro 3 - Síntese comparativa entre as metodologias de elaboração de cartas Geológico-Geotécnicas da EESC/USP e do IPT.

PARÂMETROS ABORDADOS	EESC/USP	IPT
<b>Escala e Área Total Mapeada (EESC menores que aquelas adotadas pelo IPT)</b>	Cartas geotécnicas convencionais, com predomínio de escalas de 1:100.000 e 1:50.000, para áreas de maior dimensão (Piracicaba, Amparo e Aguaí), com trabalho de maior detalhe realizado na escala 1:20.000 (Araraquara).	Cartas geotécnicas (ex.: Santos e São Vicente, São Paulo, Petrópolis) que, independentemente da dimensão da área de estudo, adotam escalas 1:5.000 e 1:10.000. Embora existam áreas com mapeamentos em diferentes escalas, não há uma relação entre elas.
<b>Número de Zonas/Unidades Geotécnicas Definidas</b>	Apresentam um número elevado de zonas/unidades geotécnicas, destacando-se o trabalho realizado no município de Piracicaba (SP), no qual foram estabelecidas 107 zonas.	Os mapas apresentam um número relativamente baixo de unidades geotécnicas, não superior 11.
<b>Parâmetros Geotécnicos</b>	A quantificação de parâmetros geotécnicos por meio de ensaios de laboratório é muito utilizada.	Não apresentam quantificação de parâmetros por meio de ensaios de laboratório.
<b>Número de Documentos Cartográficos</b>	Apresentam uma série de mapas/cartas geotécnicas (mapa das condições geotécnicas, mapa de zoneamento geotécnico e mapa de zoneamento geotécnico específico), podendo ser considerada uma grande quantidade.	Em geral, apenas uma carta geotécnica é apresentada ao final dos trabalhos.
<b>Processos Geológicos</b>	Não necessariamente consideram a análise dos processos geológicos instalados e/ou potenciais para a elaboração dos cartogramas.	Na elaboração das cartas, os processos geológicos instalados e/ou potenciais, são sempre considerados desde o início dos trabalhos.
<b>Finalidade</b>	Destinam-se ao planejamento do uso do solo	Apresenta cartas geotécnicas dirigidas que visam aplicação imediata; partindo da identificação de problemas decorrentes da interação entre meio físico geológico e ocupação, busca a correção desses problemas. Também se destinam ao planejamento do uso do solo.
<b>Método</b>	Tem por base as metodologias internacionais clássicas, como IAEG e Sanejouand.	Dirige o trabalho de forma específica.

Fonte: Modificado de Zaine (2000).

### 3.7.2 Mapeamentos de vulnerabilidade e suscetibilidades de erosão

#### 3.7.2.1 Vulnerabilidade Natural à Erosão (VNE)

A partir do conceito de Ecodinâmica proposto por Tricart (1977) da potencialidade para estudos integrados que as imagens de satélites permitem, e possível gerar cartas de vulnerabilidade natural à perda de solo, de acordo com Crepani et al. (2001).

Crepani et al. (2001) propõem a aplicação desta metodologia mediante a integração e interpretação das informações temáticas disponível em uma região determinada (mapas geológicos-geotécnicos, geomorfológicos, pedológicos, usos de solos, cobertura vegetal) sobre imagens de satélite; estas imagens em conjunto com os pixels de dados, definem a Unidade Territorial Básica (UTB) que é a composição das informações naturais ou antrópicas da região, neste caso a região da Microbacia do Córrego do Mineirinho na cidade de São Carlos, SP. Estes autores descrevem as UTB, ou unidades de paisagem natural, como áreas georreferenciadas que possuem uma delimitação de um espaço onde existe uma combinação de eventos e interações, visíveis ou não, cujo resultado é registrado e pode ser visto em uma imagem. Neste sentido, para poder analisar uma UTB é preciso conhecer sua gênese e constituição física, morfologia, evolução e cobertura vegetal.

Figura 8- Escala de vulnerabilidade das unidades territoriais básicas.

Unidade de Paisagem	Média		Grau de Vulnerabilidade	Grau de Saturação			
				Verm	Verde	Azul	
U1		3,0		255	0	0	
U2		2,9		255	51	0	
U3		2,8	Vulnerável	255	102	0	
U4	V	2,7		255	153	0	
U5	U	2,6		255	204	0	
U6	L	2,5	E	255	255	0	
U7	N	2,4	S	204	255	0	
U8	E	2,3	T	153	255	0	
U9	R	2,2	A	102	255	0	
U10	A	2,1	B	51	255	0	
U11	B	2,0	I	0	255	0	
U12	I	1,9	L	0	255	51	
U13	L	1,8	I	0	255	102	
U14	I	1,7	D	0	255	153	
U15	D	1,6	A	0	255	204	
U16	A	1,5	D	0	255	255	
U17	D	1,4	E	0	204	255	
U18	E	1,3		0	153	255	
U19		1,2		0	102	255	
U20		1,1	Estável	0	51	255	
U21		1,0		0	0	255	

Fonte: Crepani et al. (2001).

Após, segundo a abordagem de Crepani et al. (2001), é conduzida uma classificação do grau de vulnerabilidade da unidade territorial adotada baseada nos processos de morfogêneses (formação do relevo) e pedogênese (formação do solo), onde a vulnerabilidade vai ser expressa pela atribuição de valores entre 1 e 3 em um total de 21 classes (Figura 8). Assim, com esse processo é possível confeccionar cartas de vulnerabilidade natural à erosão (VNE) com base em um banco de dados que contenha informações básicas do meio físico.

### 3.7.2.2 Analytic Hierarchy Process (AHP).

Como tem sido falado até agora, no Brasil tem sido propostos muitos métodos para avaliar o grau de intensidade dos processos erosivos em uma unidade de área, vários desses levando-se em consideração os princípios da Ecodinâmica de Tricart (1977). Dentre as principais metodologias usadas atualmente, destacam-se as propostas por Ross (2012), Corine (1992 apud Giovanini Jr., 2019) e Crepani et. al. (2001 apud Giovanini Jr., 2019).

A AHP (*Analytic Hierarchy Process*) (SAATY,1970) é uma técnica empregada para mapear vulnerabilidades de uma região definida, sendo neste processo analisadas variáveis que se relacionam. Kiker (2005 apud SAATY, 1970) descreve que a combinação de AHP e SIG “representa um progresso nos estudos referentes à avaliação da qualidade ambiental”. Marins et. al. (2009 apud SAATY, 1970) define AHP como “uma metodologia baseada no pensamento newtoniano e cartesiano, já que decompõe e divide o problema em fatores para elucidar uma complexidade, esta decomposição gera fatores mais claros e dimensionáveis e estabelece relações entre estes antes de sintetizar”. Ben (2006) defende o uso do AHP porque este possibilita a avaliação por características numéricas, na hierarquização das categorias o AHP permite atribuir valores aos julgamentos subjetivos de definição da relevância de cada critério estabelecido em relação ao outro para que cada um seja comparado entre si, conforme com uma matriz de comparação par a par. Assim, a aplicação do AHP inclui e mede todos os fatores importantes, qualitativa e quantitativamente mensuráveis, sejam eles tangíveis ou intangíveis, para aproximar-se de um modelo realista.

Neste contexto, a revisão dos trabalhos desenvolvidos por Souza (2015) e Giovanini Jr. (2019) apresentam uma demonstração da importância do modelo AHP (Processo Analítico Hierárquico) como auxílio a modelagem dos processos erosivos, levando-se em consideração que tal método permite validar a coerência matemática da formulação teórica das equações propostas para este fenômeno.

### 3.7.2.3 Cruzamento Cartográfico para unidades de Risco de Erosão

No trabalho de Ridente Jr. (2000) foram realizados o cruzamento cartográfico e a análise conjunta dos dados da fotointerpretação para identificação de feições erosivas (mapas de feições, 1972, 1978, 1995), com os dados pedológicos (mapa de solos) e com os dados de declividade do terreno (SALOMÃO, 1994; RIDENTE JR. et al., 1995 apud RIDENTE JR., 2000).

O mapa de solo foi feito a partir duma campanha de campo que se baseou na descrição de perfis de solos em cortes e taludes e sondagens a trado. Neste sentido foram definidas algumas seqüências típicas das unidades de solo (SALOMÃO, 1994 apud RIDENTE JR., 2000), com a caracterização de diferentes horizontes através da descrição da textura, cor e profundidade.

Nesta campanha foram coletadas amostras de diferentes horizontes de solo em 13 perfis descritos, para análise em laboratório. Foram descritos 55 pontos em campo e realizadas 30 análises de laboratório com amostras de diferentes horizontes em treze destes pontos.

As análises de laboratório foram realizadas apenas para a caracterização da textura das amostras coletadas, visando à classificação pedológica mais precisa de cada perfil.

Também foram utilizados dados geotécnicos de solos levantados por Godoy (1989 apud RIDENTE JR., 2000), que realizou ensaios de granulometria, limites de Atterberg e Proctor, para amostras coletadas em diferentes solos da área (solos coluviais, solos residuais, podzólicos em interflúvios, podzólicos em terraços, solos aluvionares e solos litólicos). O autor citado não indicou a localização dos pontos de amostragem e, portanto, os dados serviram apenas para a caracterização geral, não tendo sido utilizados para a definição das unidades de solo

Posteriormente, o cruzamento cartográfico entre o mapa de solos, e o mapa de declividade foi definido através da utilização de uma matriz de cruzamento, obtendo-se posteriormente cinco unidades de suscetibilidade natural, para as quais foram utilizados apenas parâmetros do meio físico.

Para a definição das unidades de suscetibilidade natural e antrópica, foram incorporados os dados de feições de erosão foto interpretadas (deflagradas pela ação antrópica). Tal procedimento resultou nas cinco unidades de suscetibilidade natural e induzida da carta de suscetibilidade, numeradas de 1 a 5. As unidades de suscetibilidade à erosão foram analisadas e caracterizadas para os vários tipos de processos de erosão: erosão laminar, sulcos e calhas, ravinas, boçorocas, e solapamento de margens fluviais.

Estas unidades apresentaram diferentes comportamentos perante os diferentes processos de erosão em análise e foram utilizadas na elaboração da carta de risco de erosão.

A análise conjunta entre suscetibilidade, cobertura e uso do solo e dos processos erosivos instalados é que gerou a carta de risco de erosão.

A definição das unidades do zoneamento de suscetibilidade de erosão e confecção da carta de risco de erosão foi realizada pelo cruzamento cartográfico e análise conjunta entre a carta de suscetibilidade à erosão e o mapa de cobertura e uso atual do solo (CERRI, 1990; AUGUSTO FILHO, 1994; CERRI; AMARAL, 1998 apud RIDENTE JR., 2000). Esta sistemática adotada foi a que definiu as unidades de risco potencial.

Para a definição das unidades de suscetibilidade potencial, foi confeccionada uma matriz para possibilitar o cruzamento cartográfico entre a carta de suscetibilidade à erosão e o mapa de cobertura e uso atual do solo. Essa matriz levou à definição de cinco unidades de risco de erosão. As unidades de risco de erosão foram analisadas e caracterizadas para os vários tipos de processos de erosão em análise: erosão laminar, sulco e calha, ravina, boçoroca e solapamento de margens fluviais. Para cada unidade, o risco dos processos erosivos foi classificado em muito alto, alto, médio, baixo e muito baixo.

### **3.7.3 Mapeamento de suscetibilidade a riscos geológico-geotécnicos no contexto internacional**

#### **3.7.3.1 Metodologia da cartografia de suscetibilidade de deslizamentos aplicada em Portoviejo - Equador (SCHMITZ, 2018a).**

Na província de Manabí, Equador, realizou-se uma análise de suscetibilidade de deslizamentos mediante a geração de uma guia geotécnica que abrangeu as seguintes informações: parâmetros de resistência de solo e rocha (coesão, peso específico ângulo de atrito) análise das unidades litológicas, cartografia e geomorfologia simplificada e orientação geométrica das encostas (SCHMITZ, 2018a).

Construir-se-á um mapa de suscetibilidade a deslizamento (condição seca), através do aplicativo e calibração dos valores de coesão e ângulo de atrito, para a área escolhida e posteriormente foi feita a avaliação do perigo de deslizamentos por chuvas mediante fatores de segurança do terreno saturado.

A aplicação deste procedimento supõe um deslizamento translacional, onde a estabilidade estática das encostas (condições assísmicas) está expressa em termos de fatores de segurança (FS).

As encostas foram caracterizadas por parâmetros geotécnicos (coesão, peso específico e ângulo de atrito) associados às suas respostas esperadas e calibradas contra processos em

desenvolvimento, mediante metodologia previamente empregada no micro zoneamento sísmico de Caracas (FELIZIANI, 2004).

Ao representar a situação descrita anteriormente, obtêm-se os parâmetros geotécnicos definitivos. Com eles o valor de Fator de Segurança (FS) representa-se na carta de suscetibilidade a deslizamentos atribuindo 5 graus de suscetibilidade, denominados de suscetibilidade a deslizamentos grande, regular, moderada, pequena e muito pequena, dependendo dos valores de FS. Posteriormente gerou-se um mapa dos FS em condição saturada. Nesta condição realizou-se o mapa de perigo de deslizamentos por chuva atribuindo 6 graus de perigo, denominados de perigo muito alto, alto, regular, moderado, baixo e muito baixo, segundo as faixas de valores de FS.

Segundo a metodologia da modelagem (SCHMITZ, 2018a) após da geração da carta de guia geotécnica que agrupou os dados de subsolo, criou-se grupos das condições geotécnicas para o qual forem agrupadas a litologias, acrescentando 4 colunas na tabela de atributos: Índice de Estabilidade (IE), Coesão ( $c'$ ), Ângulo de Atrito ( $\phi'$ ) e Peso específico ( $\gamma$ ) (ver exemplo da Tabela 2).

Tabela 2 – Modelo de tabela de atributos com dados de subsolo, para modelagem de carta de Suscetibilidade a deslizamentos.

<b>Unidades Litológicas</b>	<b>IE</b>	<b><math>c'</math> (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\phi'</math> (°)</b>	<b><math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</b>

Fonte: Schmitz (2018).

O mapa de perigo de deslizamentos expressou a relativa probabilidade de ocorrência destes fenômenos, sobre a base das condições do terreno e a influência de fatores externos, como as precipitações.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Nesta pesquisa foi definida como área base de estudo a bacia hidrográfica do córrego do Mineirinho que está localizada na área urbana do Município de São Carlos, Estado de São Paulo, Brasil (Figura 9), por conter regiões onde estão se desenvolvendo processos erosivos nas cabeceiras e no percurso das drenagens e abranger áreas já urbanizadas, outras em urbanização

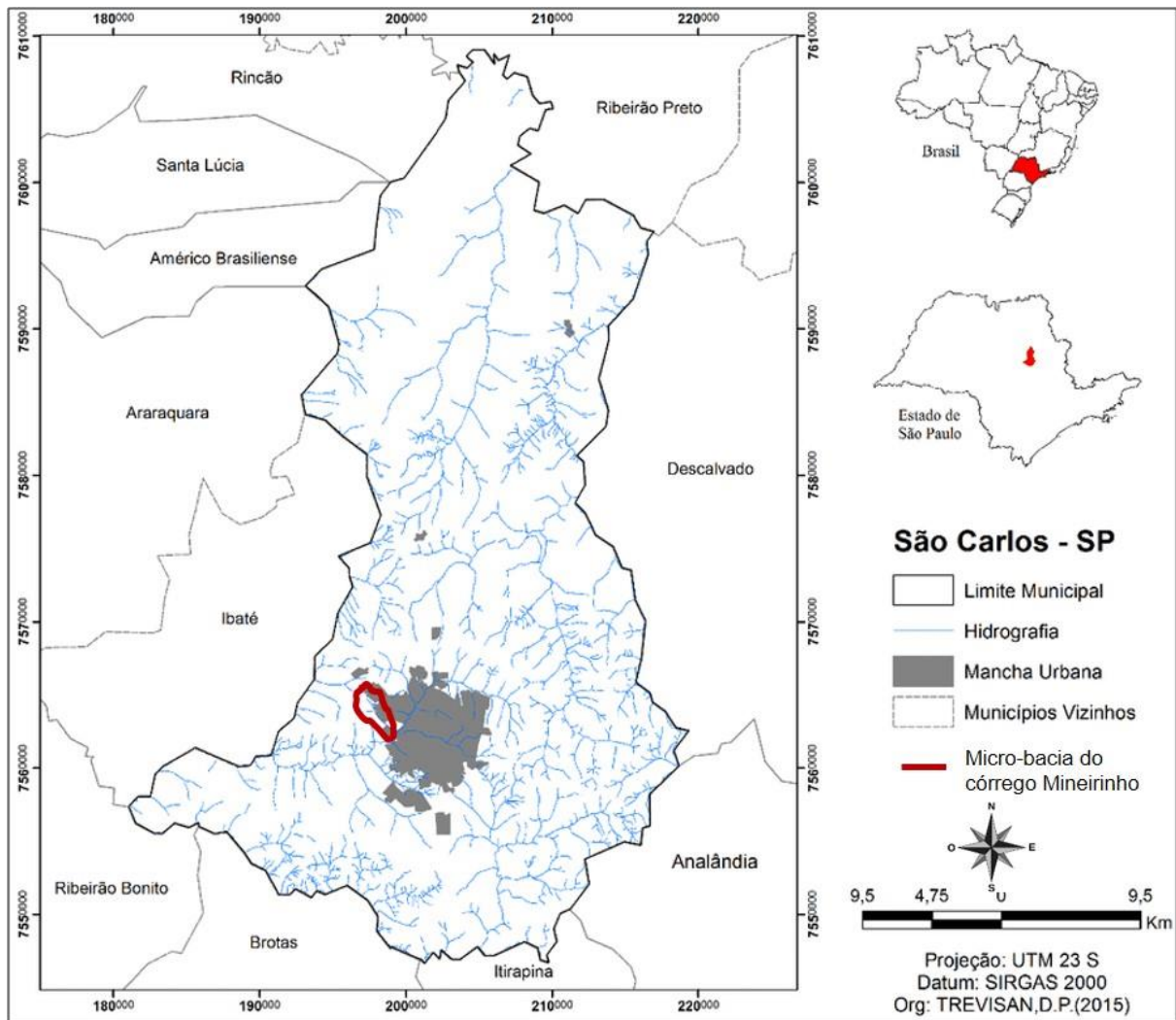


recente e ainda áreas rurais, com construções públicas e privadas que poderiam fornecer informações de subsolo.

#### 4.1.1 Características gerais da Cidade de São Carlos

O município São Carlos está localizado na área central do estado de São Paulo, entre as coordenadas UTM 180000mE e 220000mE, 7.608.960,99mN e 7.546.540,88mN posicionado no fuso 23S, cobrindo uma extensão aproximada de 1.137,303 km<sup>2</sup> (IBGE, 2016). O município tem uma população estimada de 249.415 habitantes, com uma densidade demográfica de 195,15 hab./km<sup>2</sup> (IBGE, 2018) (Figura 9).

Figura 9- Localização do Município São Carlos -SP e da microbacia do Mineirinho.



Fonte: Elaborado pela autora.

Segundo Pons (2006), a urbanização em São Carlos (SP) aconteceu de forma acelerada, como acontece na maioria das cidades de médio porte. É perceptível que a distribuição da população, no espaço urbano, se deu de forma desigual, acarretando no agravamento de problemas de caráter geológico e hidrológico.

Segundo levantamento do IPT (1981), no município são encontrados relevos de degradação, em planaltos dissecados, representados por Relevo Colinoso, Relevo de Morros com Encostas Suavizadas, Relevos de Morros, Relevos Residuais suportados por litologias particulares e Relevos de Transição, representados por Encostas não Escarpadas.

Estes relevos foram descritos posteriormente por Eiras (2017), que detalha que no Relevo Colinoso prevalecem baixas declividades, de até 15% e amplitudes locais inferiores a 100m. Também, ocorrem colinas amplas, com topos extensos e aplainados e vertentes com perfis retilíneos a convexos, e colinas médias com características semelhantes, diferenciando-se apenas pela extensão dos topos.

Mesmo assim, no Relevo de Morros com Encostas Suavizadas, o autor descreve a predominância de baixas declividades, de até 15% e amplitudes locais de 100 a 300m. E é caracterizado por topos arredondados e achatados, e vertentes com perfis retilíneos a convexos. (EIRAS, 2017).

No que se refere com o Relevo de Morros o mesmo autor menciona a prevalência de declividades médias a altas, acima de 15% e amplitudes locais de 100 a 300m; formado por morros arredondados, que exibem topos localmente achatados e vertentes com perfis convexos a retilíneos, localmente ravinadas (EIRAS, 2017).

Finalmente, para o relevo de transição ou Relevo de Encostas não Escarpadas, Eiras (2017) destaca declividades médias, entre 15 e 30% e amplitudes maiores que 100 m, com topos angulosos e arredondados e vertentes de perfis retilíneos.

O município está inserido em duas grandes bacias hidrográficas: Mogi-Guaçu, na parte a norte da área urbana, e Tietê-Jacaré. Essa última abrange em sua maior parte a zona urbana do Município. Os principais rios e córregos que percorrem a cidade são: Monjolinho e seus tributários Mineirinho, Santa Maria do Leme, Gregório, Tijuco Preto, Água Quente e Água Fria, Feijão, Chibarro e seu tributário Galdino, todos estes pertencentes à bacia do Tietê-Jacaré; Laranja Azeda, Quilombo, e dos Negros pertencentes à bacia do Mogi-Guaçu.

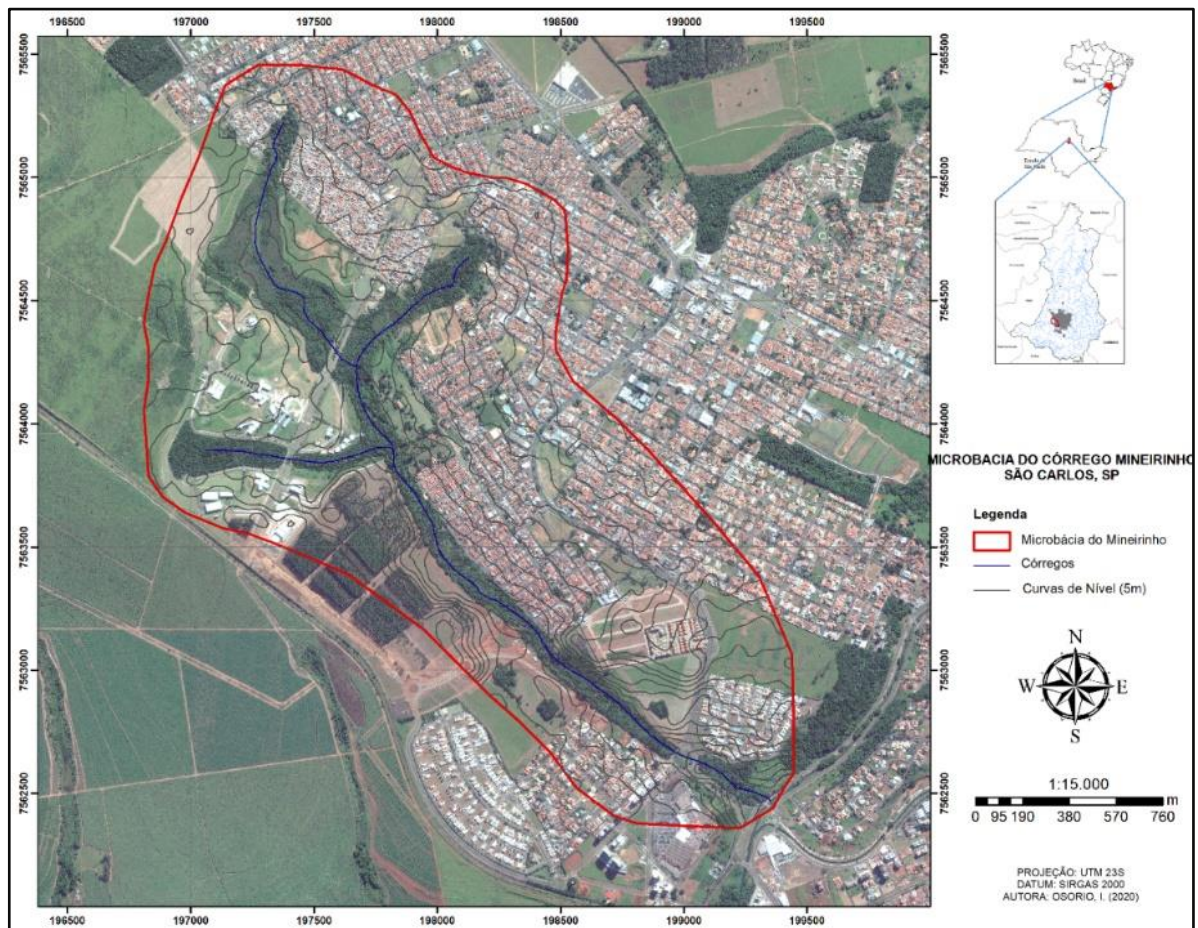
Conforme apontado no Plano Diretor de drenagem urbana ambiental sustentável de São Carlos PDDUASSC (2009), a cidade possui áreas críticas de drenagem, devido à ausência de sistema de drenagem e à existência de locais de alagamento e erosão.

#### 4.1.1.1 Microbacia do Córrego do Mineirinho

A microbacia do Córrego do Mineirinho localiza-se na região oeste da área urbana do município de São Carlos-SP (Figura 10). Inserida na bacia do Rio Monjolinho, abrange os bairros Santa Felícia, Santa Angelina, Ipanema, Romeu Tortorelli e Parque Faber, para uma área aproximada de 4,44 km<sup>2</sup>.

O córrego possui três nascentes principais. Duas delas, inclusa a nascente principal, estão completamente inseridas na malha urbana e a terceira se encontra dentro do perímetro do campus da USP 2. A nascente principal se situa no bairro Santa Angelina, com coordenadas UTM 197393.00 mE e 7565298.00 mN, e desemboca no Rio Monjolinho e perfazendo um percurso total de aproximadamente 4 km (BENINI; MARTIOLI; MENDIONDO, 2004).

Figura 10 – Microbacia do córrego do Mineirinho.

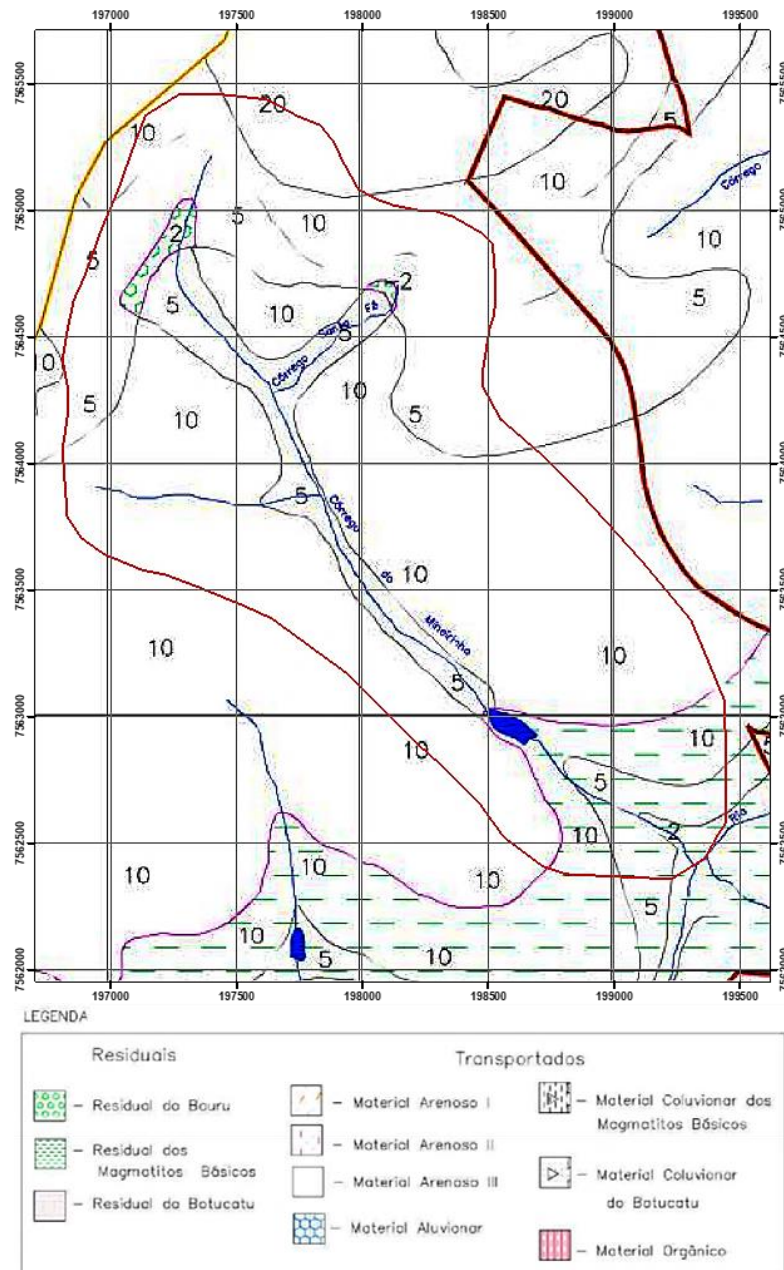


Fonte: Modificado de Google Earth, Imagem © 2019 Digital Globe.

A Microbacia do Córrego do Mineirinho é uma área de alta fragilidade geológico-geotécnica, pois está drenando predominantemente por arenitos finos pertencentes à Formação Itaqueri e cobertura de materiais arenosos, principalmente na região leste da microbacia (PONS,

2006) (Figura 11), a qual se encontra sobre a zona condicionada para a expansão urbana do município de São Carlos-SP, de acordo com o Plano Diretor Vigente (SÃO CARLOS, 2016).

Figura 11- Localização da microbacia do córrego Mineirinho no mapa de Materiais Inconsolidados de Pons (2006).

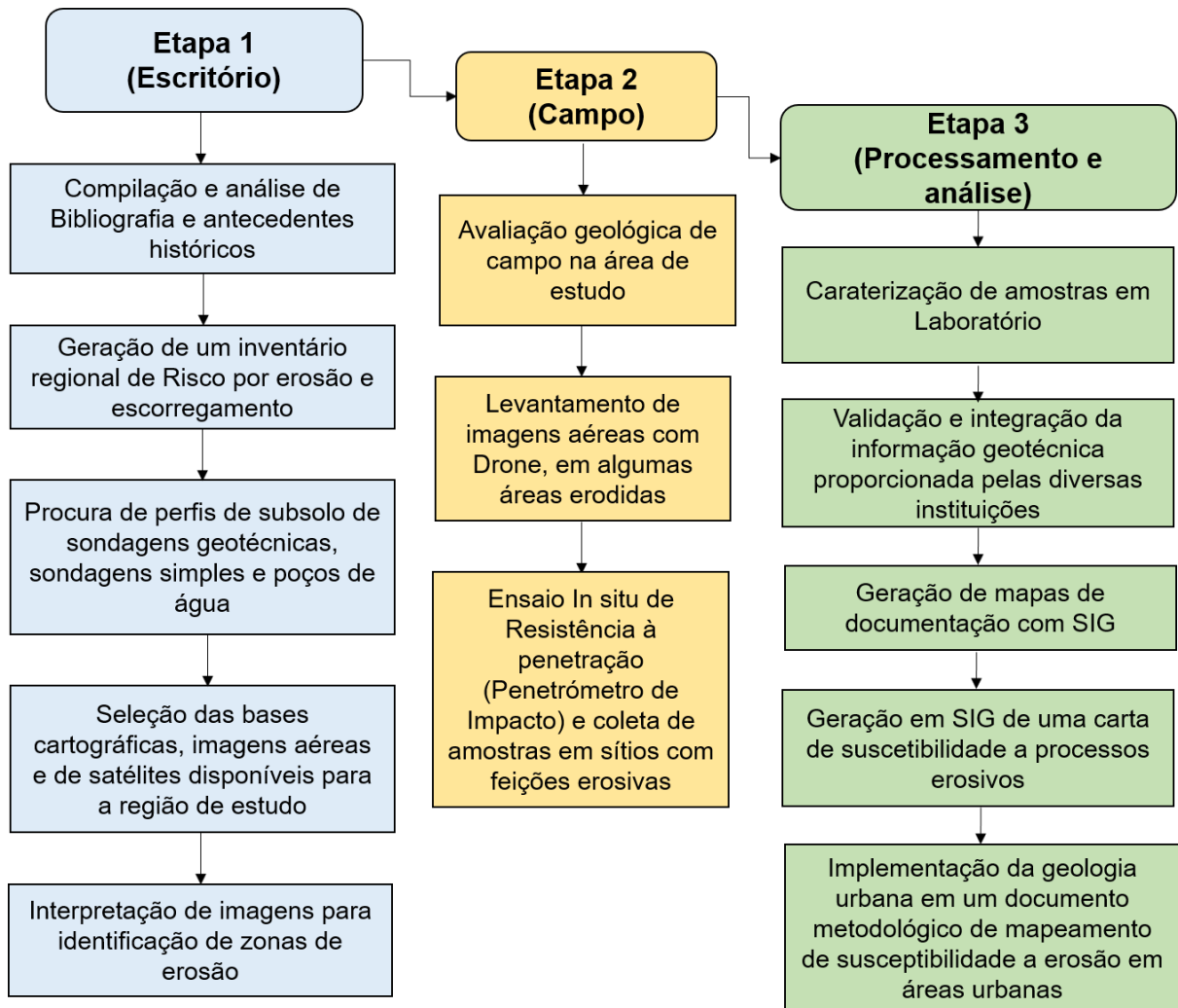


Fonte: Modificado de Pons (2006).

## 4.2 METODOLOGIA

A carta de suscetibilidade à erosão, com inserção de parâmetros de subsolo, para a microbacia do córrego Mineirinho, foi desenvolvida seguindo a metodologia apresentada no fluxograma da Figura 12, composta de 3 etapas as quais serão descritas em detalhe a seguir.

Figura 12 – Fluxograma metodológico com a evolução das etapas da pesquisa.



Fonte: Elaborado pela autora.

## 4.2.1 Etapa 1 - Escritório

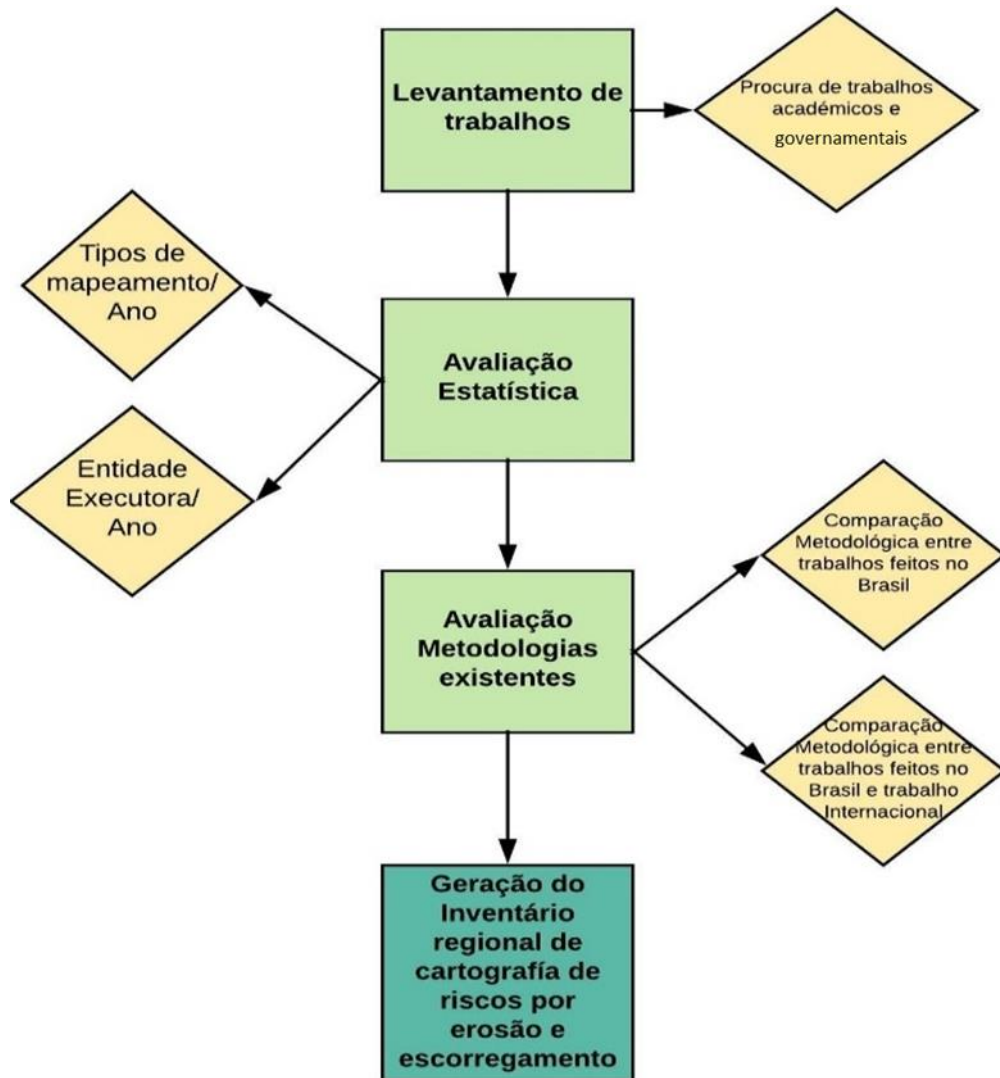
### 4.2.1.1 Compilação e análise crítica de bibliografia e antecedentes históricos.

Desde o início do projeto e até o fim desta pesquisa foram revisados numerosos trabalhos desenvolvidos não só no Brasil, mas também em regiões tropicais com condições semelhantes às da região de estudo, procurando metodologia de cartografia de suscetibilidade geológica a processos erosivos que incluísse dados de subsolo, com o objetivo de adaptar esta metodologia para nossa área de estudo.

#### 4.2.1.2 Geração de Inventário Regional de metodologias de suscetibilidade e Riscos Geológicos por erosão e escorregamento para o estado de São Paulo.

O levantamento regional de mapeamentos feitos no estado de São Paulo realizou-se seguindo quatro etapas: coleta de dados de cartografias feitas até atualidade, avaliação estatística temporal dos trabalhos desenvolvidos até atualidade no estado de São Paulo, avaliação comparativa de metodologias existentes no Brasil e no contexto internacional e a geração do inventário regional de cartografia de riscos por erosão e escorregamento no Estado de São Paulo (Figura 13).

Figura 13 - Fluxograma de etapas do levantamento regional de mapeamentos.



Fonte: Osorio & Menezes (2019).

A coleta de dados foi feita através da revisão de trabalhos desenvolvidos, nos últimos 30 anos, em instituições estaduais e federais e universidades, para o Estado de São Paulo,

através da pesquisa das seguintes palavras chaves: suscetibilidade, riscos, escorregamentos e deslizamentos.

O levantamento inicial consistiu no preenchimento da Tabela 3, a seguir com o total dos dados no apêndice 8, que contém informação da cidade e o ano em que foi feita a cartografia, o tipo de cartografia e a instituição que fez.

Tabela 3 - Levantamento de trabalhos feitos.

<b>Cidade</b>	<b>Tipo de cartografia</b>	<b>Ano</b>	<b>Entidade executora</b>

Elaborado pela autora

4.2.1.3 Compilação e aproveitamento de perfis de solo de sondagens geotécnicas, ambientais e poços disponíveis.

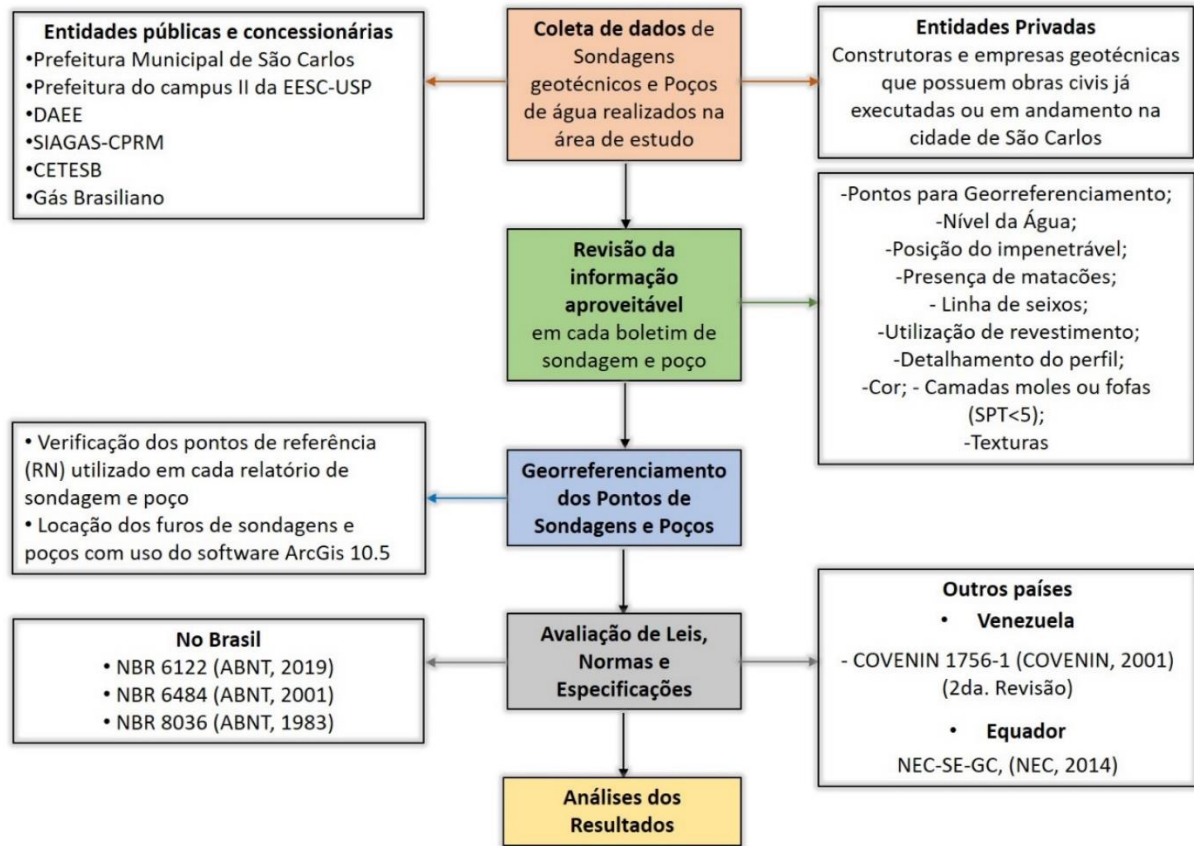
Esse tópico apresenta reprodução de parte do artigo publicado no 17 Congresso Nacional de Geotecnia de Portugal (17CNG, Lisboa, Portugal) (OSORIO et al., 2020).

Esta etapa foi subdividida em cinco passos: a coleta de dados de sondagens e poços feitos na região de estudo, a revisão da informação aproveitável de cada relatório de sondagem e poço, o georreferenciamento da localização dos pontos de sondagens e poços, a avaliação comparativa de leis, normas e especificações existentes no Brasil e no contexto internacional e finalmente, a análise dos resultados obtidos (Figura 14).

Para obtenção de relatórios de sondagem com SPT foi conseguido o apoio de um projeto de iniciação científica do Departamento de Engenharia Civil (DECiv) da UFSCar e foram contatadas instituições públicas, empresas que executam sondagens e empresas construtoras que possuem obras civis já executadas ou em andamento em São Carlos. Para os poços de água consultou-se as bases de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e o Portal do Departamento de Água e Energia Elétrica (DAEE).

A análise de atributos obtidos em relatórios de sondagem SPT, poços de água e perfis simples foi precedida de discussões e revisão bibliográfica sobre as características mais relevantes no contexto deste trabalho que deveriam ser avaliadas. Para tanto, foi necessária a avaliação comparativa de informações contidas nos perfis do subsolo.

Figura 14- Fluxograma Metodológico para a compilação e aproveitamento de perfis de solo.



Fonte: Osorio et al. (2020)

Na revisão da informação aproveitável dos relatórios (ponto de referência, nível d'água, posição do impenetrável, presença de linha de seixos, cor, textura, camadas de baixa resistência com NSPT < 5), foi necessário verificar individual e detalhadamente os dados contidos em cada um dos boletins; muitas vezes ocorrem variações de acordo com a empresa executora da obra e/ou o pedido do cliente, mesmo havendo normas técnicas sobre como as informações devem ser apresentadas nesses relatórios.

Com a finalidade de recuperar a posição cartográfica das sondagens, visitou-se os locais onde foram executadas. A norma de execução de sondagem SPT - NBR 6484, item 7.2 (ABNT, 2001), preconiza que os furos de sondagem sejam locados, cotados e amarrados a elementos fixos e bem definidos no terreno. Foi realizada a verificação do nível de referência (RN) utilizado em cada relatório de sondagem, georreferenciando-o com GPS Garmin eTrex 30. Porém, nos casos em que não havia dados precisos sobre o RN, foi necessário atribuir uma localização aproximada, de acordo com o posicionamento desses pontos nos croquis apresentados nos respectivos relatórios e posteriormente georreferenciá-los em SIG.



Na avaliação das normas e especificações técnicas relacionadas a dados de subsolo ampliou-se a pesquisa em relação a esta questão para dois países latino-americanos com os quais a autora tem trabalhado, buscando comparar os parâmetros geológico-geotécnicos considerados em cada um. Sendo necessário nesta etapa, além das normas e especificações (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a inclusão da revisão das normas técnicas da Comissão Venezuelana de Normas Industriais (COVENIN) e das Normas Equatorianas de Construção (NEC).

#### 4.2.1.4 Seleção das bases cartográficas, imagens aéreas e de satélites disponíveis

Nesta etapa foram selecionados os seguintes conjuntos de fotografias aéreas para a cidade de São Carlos, SP (Quadro 4).

Quadro 4 – Seleção de pares estereoscópicos para a cidade de São Carlos.

<b>Projeto aerofotogramétrico</b>	<b>Data</b>	<b>Escala</b>	<b>Nº Referência das fotos</b>
IBC- GERCA (Sem foto índice)	Agosto 1971	1:25.000	SP-16-17644 SP-16-17645 SP-16-17646 SP-16-17647 SP-16-17738 SP-16-17739 SP-16-17740 SP-16-17741
Macro – Metrópole (Foto índice disponível no IGC)	Júlio 1978	1:35.000	FX.01-2029 FX.01-2030 FX.01-2031 FX.01-2032 FX.01-2033 FX.02-2086 FX.02-2087 FX.02-2088 FX.02-2089

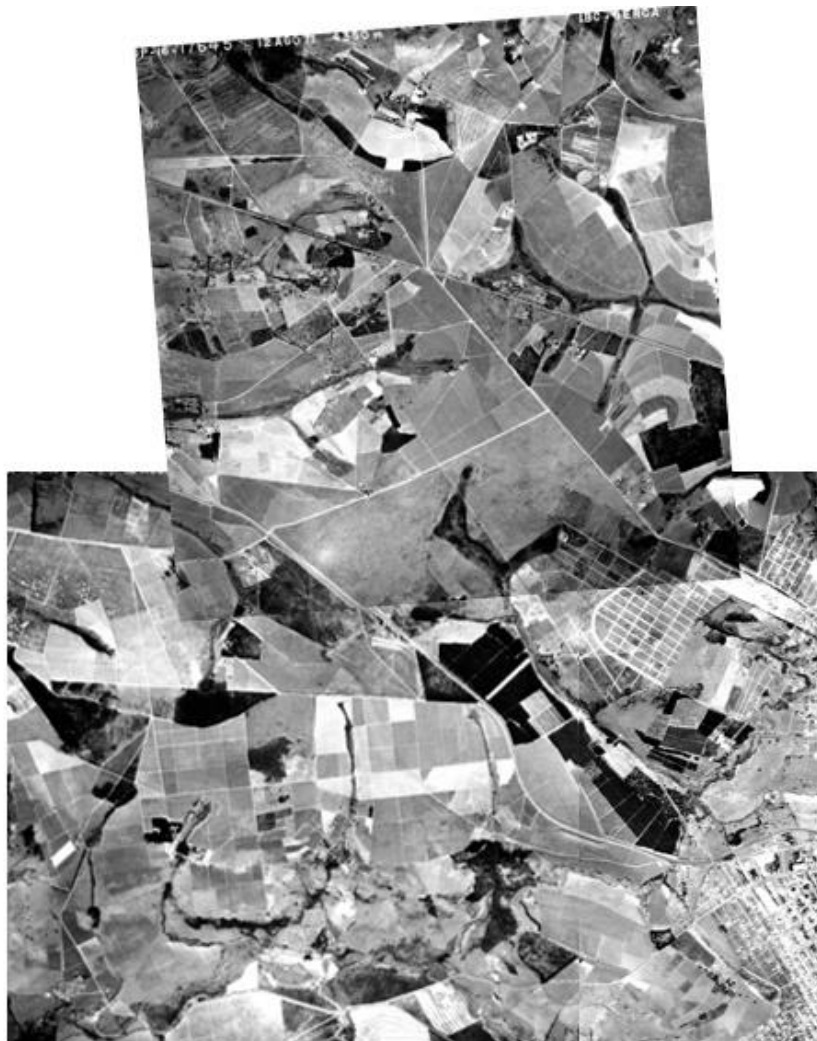
Fonte: Elaborado pela autora.

Para períodos mais recentes foram utilizadas as imagens digitais do satélite World View – 2 (WV2), de maio de 2014 e julho de 2018, com uma resolução espacial de 50cm, cedidas pelo laboratório GESTAU/PPGEU e pela *World Imagery* do software ArcGis 10.5, respectivamente.

#### 4.2.1.5 Interpretação de imagens para identificação de zonas com potencial desenvolvimento de processos erosivos

Nesta etapa foi realizada a interpretação de vários tipos de imagens, para diferentes anos. As mais antigas foram as fotografias aéreas na escala de 1: 25.000, selecionadas na etapa anterior, correspondentes ao ano de 1971 (Figura 15), para as quais foi realizada a interpretação estereoscópica.

Figura 15- Fotografias aéreas utilizadas para reconhecimento de usos de solos e de áreas com potencial desenvolvimento de processos erosivos. Projeto IBC-GERCA, ano 1971, em escala 1:25.000.



Fonte: Modificado do Projeto IBC-GERCA, ano 1971, em escala 1:25.000

Posteriormente, foi feita a análise das imagens de satélite dos anos de 2014 e 2018, a traves da utilização do software ArcGis 10.5.

## 4.2.2 Etapa 2 - Campo

### 4.2.2.1 Avaliação geológica de campo da área de estudo.

Nesta fase foi feito o levantamento de campo da microbacia do córrego Mineirinho, com a intenção de procurar feições erosivas, algumas previamente identificadas em imagens de satélite, e identificar diferentes características geológicas dos materiais superficiais. Sendo realizadas 10 paradas de observação, marcadas na Figura 16 como “Pontos GPS”.

Figura 16- Pontos de observação durante saída de campo de fevereiro 2019. Microbacia do córrego Mineirinho, São Carlos-SP.



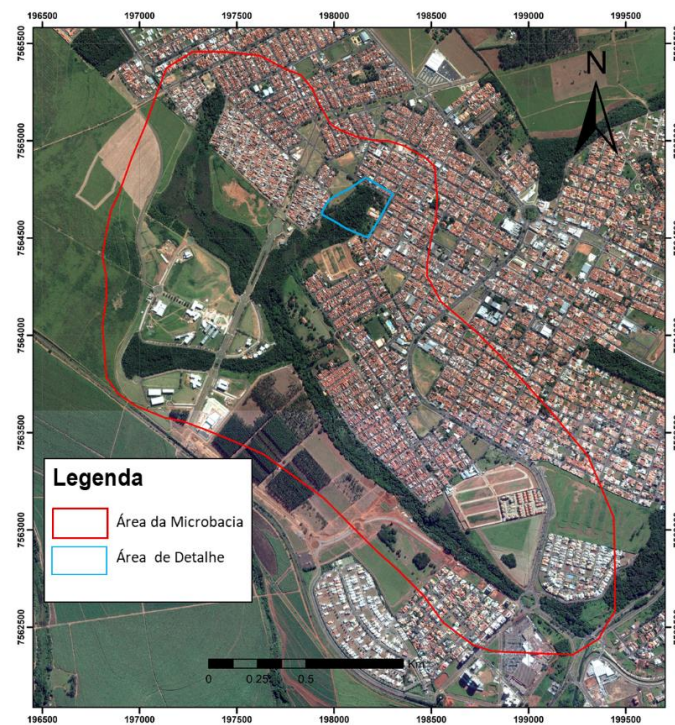
Fonte: Modificado de Google Earth, Imagem © 2019 Digital Globe.

Essa avaliação inicial do campo nos permitiu identificar os pontos nos quais posteriormente aprofundaríamos uma caracterização geológico-geotécnica por meio do levantamento com imagens de drone, coleta de amostras para caracterização laboratorial e ensaios de resistência *in situ*.

#### 4.2.2.2 Levantamento de imagens aéreas com drone, em algumas áreas erodidas.

Com a prévia identificação de áreas com desenvolvimentos de processos erosivos, foi escolhida 1 região para levantamento de imagens com drone, onde está-se desenvolvendo o processo erosivo mais importante, estas áreas foram identificadas na Figura 17 como “Área de Detalhe”, respectivamente.

Figura 17- Mapa com locação da área de voo do levantamento com drone.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 18- Piloto de drone da empresa *3Drone Solutions* e pessoal da Defesa Civil do município São Carlos, durante o levantamento de imagens aéreas realizada em novembro de 2019.



Fonte: Elaborado pela autora.

O levantamento foi feito através dos serviços da empresa *3Drone Solutions* (Figura 18), com a utilização do drone phantom 4 pro; com apoio logístico do pessoal da Defesa Civil do Município São Carlos, seguindo os parâmetros técnicos descritos a seguir (Tabela 4).

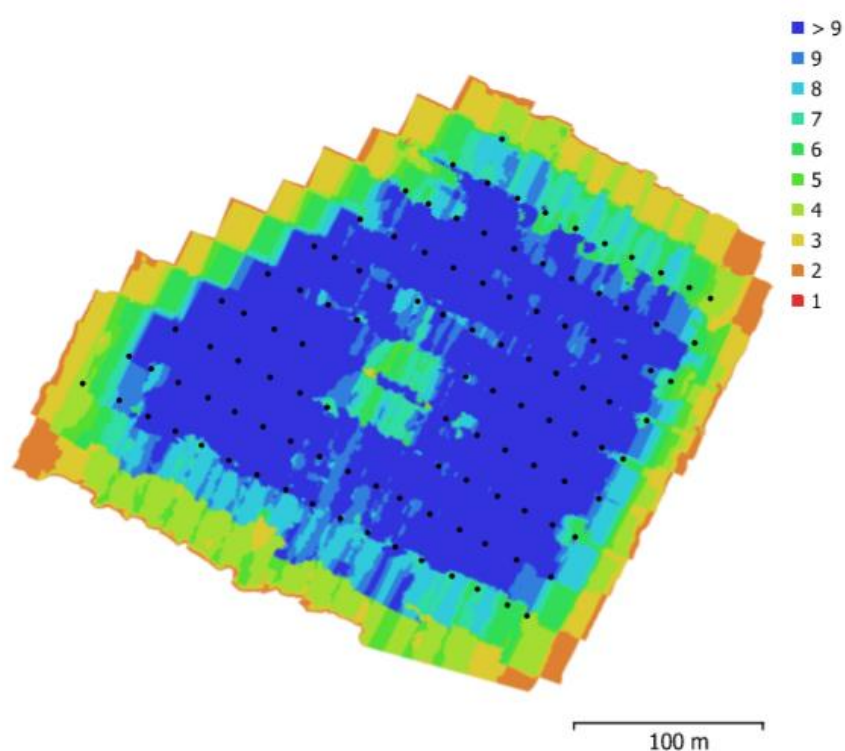
Tabela 4– Detalhes técnicos da câmera.

Modelo da câmera	Resolução	Distância focal	Tamanho do pixel	Pré-calibrado
FC6310 (8.8mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2,42 x 2,41 micras	No

Fonte: 3Drone Solutions (2019).

Na Figura 19, apresentam-se os dados do levantamento com drone, “*Voo de detalhe*”, na área onde foi encontrado o processo erosivo de maior dimensão.

Figura 19- Posições da câmera e sobreposição das imagens, no levantamento do “*Voo 2*”.



Número de imagens: 122

Altitude de voo: 75,2 m

Resolução no Terreno: 1,76 cm / pix

Área de cobertura: 0,0784 km<sup>2</sup>

Posições da câmera: 113

Pontos de empate: 50.572

Projeções: 125.942

Erro de reprojeção: 0,407 pix

Fonte: 3Drone Solutions (2019).

#### 4.2.2.3 Ensaio in situ de resistência à penetração (Penetrômetro de Impacto) e coleta de amostras em sítios com feições erosivas.

Foi realizado o teste in situ e a coleta de amostras, utilizando um penetrômetro de impacto (Figura 20), um trado e as informações obtidas nas etapas anteriores.

Figura 20 – Execução do ensaio in situ de resistência à penetração.



Fonte: Elaborado pela autora.

Para iniciar foi necessário limpar o local onde iriam ser feitos os ensaios. Posteriormente, as determinações de resistência do solo à penetração foram realizadas com o penetrômetro de impacto em diferentes tipos de solos e usos, nas profundidades de 10 cm; 20 cm, 30 cm, 40 cm, 50 cm, 60 cm. Em perfis erosivos, foram realizados ensaios nas diferentes camadas expostas, possibilitando que houvesse a caracterização de todo o pacote de materiais do perfil.

A haste do aparelho penetra no solo através do impacto do peso (4 kg) que cai de uma altura constante de 40 cm, em queda livre, contando-se o número de impactos necessários para que o aparelho penetre primeiramente 10 cm (NG). Em seguida, repete-se a cravação da haste, sempre contando o número de golpes, até atingir a profundidade de 20 cm, anotando-se o NG. Este processo se repete até atingir a profundidade de 60 cm.

Durante o procedimento descrito anteriormente, foram coletadas amostras para determinação da umidade e ensaios de caracterização em laboratório. Em cada ponto de ensaio foram retiradas 6 amostras de solo em diferentes nas profundidades de 10 cm; 20 cm, 30 cm, 40 cm, 50 cm, 60 cm, utilizando um trado de 2 polegadas, segundo a ABNT NBR 9603:2015.

As amostras coletadas foram acondicionadas em sacos plásticos, bem lacrados para evitar perda de umidade durante o transporte do campo até o laboratório para posteriores cálculos de umidade e ensaios de caracterização granulométrica.

Na obtenção da resistência à penetração (força por unidade de área), a partir dos resultados do ensaio com o penetrômetro de impacto (número de golpes pela distância penetrada), utilizou-se o software (planilha no excel) proposto por Stolf et al. (2014), que contém a “formula dos Holandeses modificada”. Sanglerat (1972, apud DE OLIVEIRA, 2019) afirma que a mesma resultou de uma simplificação da formula de Sanders, considerando a energia perdida por o impacto entre as massas (M e m), com um choque totalmente inelástico, sem deformações permanentes; e se dá da seguinte maneira:

$$F = (M + m)g + \frac{M}{M+m} \cdot \frac{Mgh}{x} \quad (1)$$

Onde:

F: força de resistência do solo (kgf);

M: massa que provoca o impacto (kg);

m: Massa dos demais componentes do penetrômetro, excluída a de impacto (kg) (Figura 4);

M+m: massa total (kg);

Mg e mg: pesos das massas consideradas (se M = 4kg; Mg = 4kgf);

h: altura de queda da massa que provoca o impacto (cm) (Figura 4);

x: penetração unitária ocasionada por um impacto (cm/impacto), que é medida contando-se quantos golpes são necessários para penetrar uma determinada profundidade.

### 4.2.3 Etapa 3 – Processamento e Análises

#### 4.2.3.1 Caracterização de amostras em laboratório

##### 4.2.3.1.1 Umidade higroscópica e identificação visual e tátil do solo

Uma vez coletadas e trasladadas convenientemente as amostras até o laboratório, se procedeu a pesar uma fração de cada amostra (Figura 21), as quais foram secas ao ar durante

mais de uma semana (dependendo da umidade de cada amostra de solo), até próximo a umidade higroscópica (Figura 22), sendo posteriormente pesadas de novo para o cálculo da umidade através da diferença de massas antes e após do secado ao ar.

Figura 21 – Pesagem de fração de amostra para cálculo de umidade higroscópica ao ar.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 22- Secagem ao ar de amostras coletadas



Fonte: Elaborado pela autora.

Para a identificação visual e táctil foi requerido a aparelhagem a seguir:

- a) Água corrente.
- b) Bisnaga de borracha.



- c) Proveta.
- d) Almofariz e mão de borracha.
- e) Recipiente com água.

Posterior ao secado, em um almofariz e destorroado com a utilização de uma mão de borracha, foram desmanchados os torrões para cada amostra, com precaução de não quebrar os grãos, ao ponto de ter uma amostra homogênea do solo (Figura 23).

Figura 23 – A almofariz e mão de borracha, no processo de destorroar o solo.



Fonte: Elaborado pela autora.

Uma vez homogeneizada a amostra procedeu-se à execução dos testes para a identificação visual e tátil do solo, que tem como objetivo principal avaliar o tamanho dos grãos que predominam no solo amostrado, seguindo a apostilha do *Ensaio de Laboratório de Mecânica dos Solos – Identificação Visual e Tátil* do Departamento de Engenharia Civil da UFSCar (BONUCELLI et al., 2004).

#### A) TESTE VISUAL E TÁTIL

Misturando-se uma pequena quantidade de solo com água, na mão, identificou-se se o material era conformado por areias, silte ou argilas, sabendo-se que:

- as areias são ásperas ao tato, visíveis a olho nu e permitem muitas vezes o reconhecimento dos minerais constituintes;
- o silte é menos áspero que a areia, porém, também perceptível ao tato;
- as argilas, quando misturadas com água e trabalhadas entre os dedos, apresentam uma semelhança com pasta de sabão, escorregadia; quando seca, proporcionam ao tato a sensação de farinha.

## B) TESTE DE SUJAR AS MÃOS

Se fez uma pasta de solo e água e esfregando-a nas palmas das mãos e colocando-se em seguida sob um fio de água corrente e identificou-se se o tamanho dos grãos nas amostras do solo, como:

- Arenoso, se o material foi lixiviado rapidamente, ou seja, saiu facilmente das mãos;
- Siltoso, quando o material foi removido depois que considerável volume de água é escoado por sobre as mãos, sendo necessário sempre alguma fricção para a limpeza total;
- Ou argiloso, se houve dificuldade de se desprender das mãos (devido a finura dos grãos), sendo necessário friccionar vigorosamente para que estas possam se ver livres de resíduos da pasta.

## C) TESTE DE DESEGREGAÇÃO DO SOLO SUBMERSO

Colocou-se um torrão do solo em um recipiente contendo água, sem deixá-lo imerso por completo. Sabendo que a desagregação da amostra é tão mais rápida quanto maior for a parcela de areia, e tão mais lenta quanto maior a parcela de argila.

## D) TESTE DE RESISTÊNCIA DO SOLO SECO

Tentando desfazer entre os dedos cada amostra de solo, observou-se se agregado (torrão) apresentou grande, média ou nenhuma resistência. Considerando que os solos argilosos são bastante coesivos, os solos siltosos, pouco coesivos e os solos arenosos não apresentam coesão.

## E) TESTE DE DISPERSÃO EM ÁGUA

Para execução deste teste o solo foi completamente desagregado; colocou-se uma pequena quantidade da amostra de solo destorroado numa proveta com água, e agitou-se o conjunto provocando uma homogeneização da mistura; deixou-se o conjunto em repouso e observou-se o movimento das partículas de solo. Sendo que o tempo de deposição das partículas constituintes da amostra varia: nos solos mais arenosos ocorre a deposição das partículas no fundo da proveta com maior rapidez, variando de 30 a 60 segundos; nos solos siltosos, varia entre 15 a 60 minutos; nos solos argilosos, as partículas de argila podem levar horas para atingirem o fundo da proveta.

## F) TESTE DE MOBILIDADE DA ÁGUA INTERSTICIAL

Para execução deste teste se fez uma mistura homogênea de solo e água, sem chegar ao estado de lama; após colocou-se essa pasta na palma de uma das mãos em concha, e com a outra mão, bateu-se em baixo da primeira de modo a provocar vibrações na pasta de solo. O resultado desse movimento foi o aparecimento de uma superfície úmida e brilhante (aspecto de fígado) que posso ser observada na pasta de solo sobre a mão em posição de concha; a seguir, abreu-se

a mão rapidamente e observou-se o ocorrido com a pasta se solo. Notou-se então o aparecimento de fissuras e o ressecamento aparente da superfície da pasta.

A análise dos resultados consistiu em verificar o tempo de reação da massa de solo caracterizando assim a relação entre partículas grossas ou finas. Assim se, quando submetidas às vibrações, a massa assumiu o aspecto liso e brilhante rapidamente, significa que tinha maior quantidade de partículas grossas; o contrário, significa que tinha maior quantidade de partículas finas. Da mesma forma, o aparecimento de muitas fissuras ao se abrir a mão rapidamente, também comprova uma maior quantidade de grossos, já que partículas grossas numa massa de solo úmida não apresentam coesão; o contrário comprova maior porcentagem de finos.

#### 4.2.3.1.2 Ensaio de análise granulométrica do solo.

Foi realizado o ensaio de análise granulométrica nas amostras de solo coletadas com o objetivo encontrar pares de valores, tamanho das partículas (diâmetro) e porcentagem de ocorrência (% que passa).

A obtenção desses valores dependeu do tamanho das partículas que compunham o solo, podendo, o teste, ser realizado de três maneiras diferentes: usando o processo de peneiramento para solos granulares (areias e pedregulhos) que apresentaram partículas maiores que 0,075 mm (#200); utilizando o processo de sedimentação em água destilada para solos finos (siltes e argilas) que apresentaram partículas menores que 0,075 mm (#200); ou usando os dois processos conjuntamente (análise granulométrica conjunta - peneiramento e sedimentação) para solos mistos formados por parcelas de material grosso e fino. O ensaio aqui descrito se refere à análise granulométrica conjunta, contemplando o uso dos 2 processos: peneiramento e sedimentação.

Uma vez escolhidas e preparadas as amostras secas ao ar, seguindo a norma NBR-6457 para preparação de amostras para caracterização dos solos (ABNT, 2016 a) descrita na revisão bibliográfica deste trabalho, procedeu-se à realização da Análise Granulométrica (ABNT, 2016b) dos solos de nossa pesquisa.

Os principais equipamentos e utensílios utilizados no ensaio foram: balança; almofariz e mão de grau; cápsulas de alumínio para determinação de umidade; estufa; jogo de peneiras (50; 38; 25; 19; 9,5; 4,8; 2,0; 1,2; 0,42; 0,25; 0,15 e 0,075 mm) parametrizadas na norma (ABNT, 1016 b), com exceção da peneira de abertura 0,6 mm; agitador de peneiras; dispersor elétrico; proveta graduada de 1000ml; densímetro graduado de bulbo simétrico; termômetro; cronômetro.

O procedimento experimental iniciou-se com o peneiramento grosso descrito a seguir.

### A. Peneiramento Grosso.

- Passou-se a amostra do solo na peneira #10 (2,0mm) (Figura 24).

Figura 24- Início do peneiramento grosso: amostra de solo retida na peneira #10.



Fonte: Elaborado pela autora.

- Lavou-se o material retido na peneira #10 (Figura 25) que em seguida foi colocado na estufa (Figura 26);

Figura 25- Porção de amostra de solo retida na peneira #10 lavada, para posterior secagem na estufa.



Fonte: Elaborado pela autora.

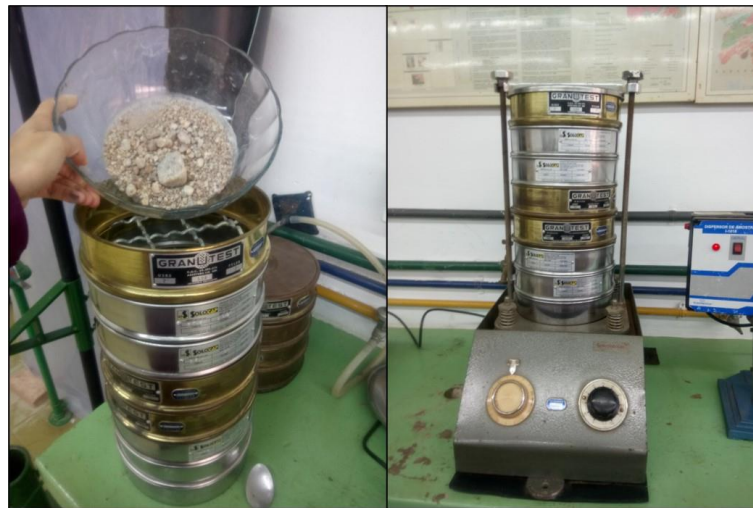
Figura 26- Estufa do laboratório de Geociências do DECiv-UFSCar.



Fonte: Elaborado pela autora.

- Peneirou-se mecanicamente o material seco, no conjunto de peneiras 50; 25; 19; 9,5; 4,8 até a peneira #10 (Figura 27);

Figura 27- Conjunto de peneiras para material grosso e agitador elétrico.



Fonte: Elaborado pela autora.

- Pesou-se a fração retida em cada peneira.

Do material que passou na peneira #10, separou-se 04 quantidades: **P1** = 60-70 g para a determinação do peso específico real das partículas; **P2** = 120 g para determinação do teor de umidade; **P3** = 100 g para a sedimentação; **P4** = 200 g para o peneiramento fino

Em seguida, procedeu-se com o peneiramento fino:

B. Peneiramento Fino (material que passa na peneira #10)

- Lavou-se o material na peneira #200 (0,075mm), em seguida foi alocado na estufa;

- Passou-se o material seco nas peneiras de aberturas menores que a #10 (Figura 28);

Figura 28- Amostra de solo distribuída no conjunto de peneiras para material fino.



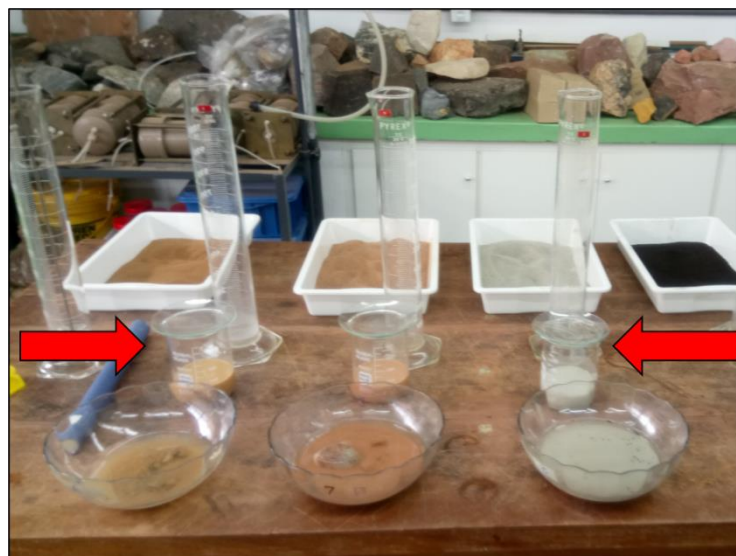
Fonte: Elaborado pela autora.

- Pesou-se a fração retida em cada peneira;

### C. Sedimentação

- Colocou-se a massa escolhida previamente (de 50 a 100 g) em “banho” (6 a 24 horas) em 125 cm<sup>3</sup> de solução de defloculante (solução de hexametáfosfato de sódio) (Figura 29);

Figura 29- Entre setas vermelhas, amostras de solo em repouso submersas em solução de defloculante (Hexametáfosfato de sódio).



Fonte: Elaborado pela autora.

- Agitou-se a mistura no dispersor elétrico por 5 a 15 minutos (Figura 30);

Figura 30- Dispersor elétrico do laboratório de Geociências do DECiv-UFSCar.



Fonte: Elaborado pela autora.

- Transferiu-se a mistura para a proveta graduada, completando com água destilada até 1000 cm<sup>3</sup> e realizou-se o balanceamento (Figura 31);

Figura 31 – Amostra de solo balanceada após a transferência do dispersor elétrico para a proveta graduada.



Fonte: Elaborado pela autora.

- Efetuou-se leituras do densímetro nos instantes de 30 segundos, 1, 2, 4, 8, 15, 30 minutos, 1, 2, 4, 8, 25 horas (Figura 32);

Figura 32 – Amostras de solos em equilíbrio durante intervalo de medição de material suspenso com o densímetro.



Fonte: Elaborado pela autora.

Para o cálculo da sedimentação foi necessário determinar o peso específico das amostras de solo avaliadas, segundo as recomendações da NBR 7181 (ABNT, 2016c). Para isso, separou-se uma amostra **P2** de solo seco e cobrou-se com água destilada e deixou-se descansar por 12 horas. Posteriormente, foi agitada no dispersor eléctrico por 15 minutos e transferida para um balão volumétrico (picnômetro) de 5000 cm<sup>3</sup> (Figura 33-a). Aplicou-se vácuo no picnômetro, contendo a amostra por 15 minutos, com uma pressão de 680 mmHg para remoção das bolhas (Figura 33-b); e em seguida completou-se o volume do balão com água destilada. Após isso, determinou-se a temperatura no picnômetro, secando o gargalho e a parede interna com o auxílio de um algodão após obter a temperatura e posteriormente, determinou-se a massa do picnômetro contendo as amostras de solo e água. Para este ensaio, obtive a s temperaturas na faixa 25 e 40 °C. Repetiu-se esse procedimento 3 vezes (Figura 33-c).

Figura 33- Determinação da massa específica do solo. a) Transferência da amostra do solo para o picnômetro; b) Aplicação de vácuo ao picnômetro contendo a amostra, e c) Determinação da massa do picnômetro contendo as amostras do solo e água, para várias temperaturas.



Fonte: Elaborado pela autora



Para a classificação dos materiais granulares seguiu-se a ABNT NBR 6502/95 que pondera os materiais de acordo com sua granulometria (curva granulométrica) conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Escala granulométrica segundo ABNT.

<b>Classificação</b>	<b>Diâmetro dos grãos</b>
Argila	menor que 0,002 mm
Silte	entre 0,002 e 0,06 mm
Areia	entre 0,06 e 2,0 mm
Pedregulho	entre 2,0 e 60,0 mm

Fonte: Modificado de ABNT (1995).

Esta norma (ABNT, 1995) não estabelece as porcentagens a considerar para nomear os solos após feita a curva granulométrica, sendo utilizada neste caso a classificação do SISTEMA UNIFICADO DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS (SUCS) que classifica os materiais pela fração granulométrica dominante e subdominante (ASTM, 2011), atribuindo para cada tipo de solo um símbolo e um nome. Os nomes dos grupos serão simbolizados por um par de letras, onde o prefixo é uma das subdivisões ligada ao tipo de solo, e o sufixo, às características granulométricas e à plasticidade.

Neste estudo os solos avaliados foram solos grossos ou granulares que possuem partículas menores que 75mm e que têm mais do que 50% de partículas com tamanhos maiores do que 0,075mm (# 200). Para eles, o SUCS estabelece uma subdivisão que separa os solos grossos em pedregulhos, quando mais do que 50% da fração grossa tem partículas com tamanho maior do que 4,8mm (retido na # 4), e areias, quando uma porcentagem maior ou igual, destas partículas, tem tamanho menor que 4,8mm (passa na # 4). Sempre que as porcentagens de finos estiver entre 5 e 12%, o solo deverá ser representado por um símbolo duplo, sendo o primeiro o do solo grosso (GW, GP, SW, SP), enquanto que o segundo símbolo dependerá da região onde se localizar o ponto representativo dos finos desse solo.

No Quadro 5 estão indicados os símbolos de cada grupo e seus respectivos nomes, bem como uma série de observações necessárias a classificação do solo.

Quadro 5- Sistema de Classificação Unificada dos Solos (S.U.C.S).

CRITÉRIOS PARA DETERMINAÇÃO DOS SUBGRUPOS E CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS NOMES DOS GRUPOS USANDO ENSAIOS DE LABORATÓRIO.				CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS		
				SÍMBOLO GRUPO	NOME DO GRUPO	
Solos Grossos Pr,200 > 50%	Pedregulhos mais que 50% da fração grossa retida na peneira 4,8mm (# 4).	Pedregulhos limpos Pp,200 < 5%	$Cu \geq 4$ e $1 \leq Cc \leq 3$	GW	Pedregulho bem graduado	
			$Cu < 4$ e/ou $1 > Cc > 3$	GP	Pedregulho mal graduado	
	Areias mais que 50% da fração grossa passa na peneira 4,8mm (#4)	Pedregulhos com finos Pp,200 > 12%	Finos classifica dos como	ML	GM	Pedregulho siltoso
				MH	GC	Pedregulho argiloso
	Areias mais que 50% da fração grossa passa na peneira 4,8mm (#4)	Areias limpas Pp,200 < 5%		$Cu \geq 6$ e $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Areia bem graduada
				$Cu < 6$ e/ou $1 > Cc > 3$	SP	Areia mal graduada
		Areias com finos Pp,200 > 12%	Finos classifica dos como	ML	SM	Areia siltosa
				MH	SC	Areia argilosa
		CL				
		CH				

Fonte: Modificado de ASTM (1990).

A seguir, são apresentadas observações para a aplicação do SISTEMA UNIFICADO DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS (ASTM, 2011):

- 1) Válido para material passando na peneira de 75mm abertura
- 2) Se a amostra contém seixos e matacões acrescentar “com seixos e matacões”, ao nome do grupo para Pp,200 entre 5 - 12% exigem símbolo duplo.
- 3) Pedregulhos GW – CH: Pedregulho bem graduado com silte GW – GC: Pedregulho bem graduado com argila GP – GH: Pedregulho mal graduado com silte GP – GC: Pedregulho mal graduado com argila.
- 4) Areias SW – SH: Areia bem graduada com silte SW – SC: Areia bem graduada com argila SP – SH: Areia mal graduada com silte SP – SC: Areia mal graduada com argila
- 5) Se % Areia  $\geq 15$ , acrescentar “com areia”
- 6) Se finos: CL – ML, usar símbolo duplo: GC – GH; SC – SH
- 7) Se finos são orgânicos, acrescentar, “com finos orgânicos”
- 8) Se % Pedregulho  $\geq 15\%$ , acrescentar “com pedregulhos”

Observação

$$Cu = D_{60} / D_{10}$$

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

#### 4.2.3.2 Validação e integração da informação geotécnica

Após a revisão das informações dos perfis de solo obtidos de sondagens ambientais, geotécnicas e poços de água, foi realizada a correlação entre as camadas descritas nos relatórios, a interpolação para toda a área estudada, e a posterior integração dessa informação com a obtida na amostragem geológica de campo (ensaios *in situ*) e a interpretação das fotos aéreas antigas.

Esta integração de dados serviu de insumo para a produção do mapa de materiais inconsolidados para a microbacia do córrego do Mineirinho.

#### 4.2.3.3 Geração de mapas com SIG

##### 4.2.3.3.1 Levantamento de dados base

Além das imagens levantadas no tópico 4.2.1.4, foram adquiridas as imagens do Modelo Digital de Elevação (MED) da imagem de radar do sensor **PALSAR** (*Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar*) do satélite **Alos** (*Advanced Land Observing Satellite*) de data 2011, com uma resolução de 12,5.

##### 4.2.3.3.2 Processamento em SIG

Esta etapa compreendeu a utilização de fotografias aéreas, imagens (MDE) de radar e de satélite na elaboração dos mapas de documentação, topográfico, declividade, curvatura, materiais inconsolidados e de usos e ocupação do solo; foram utilizados os softwares *Global Mapper 20* e *ArcGIS 10.5* (ESRI®).

##### 4.2.3.3.2.1 Mapa de Documentação

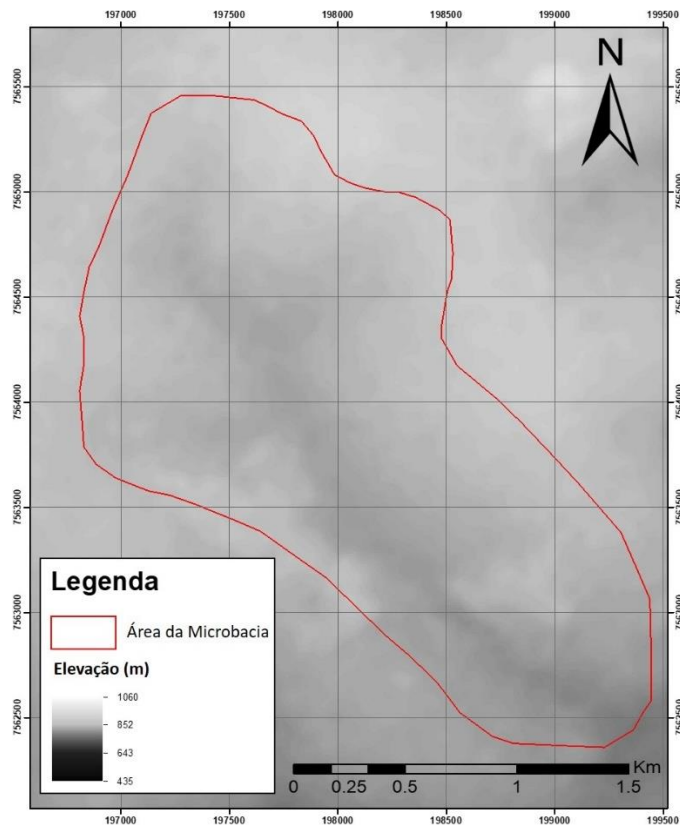
O mapa de documentação gerado nesta pesquisa fundamentou-se na locação georreferenciada dos pontos onde foram obtidas informações qualitativas e quantitativas de natureza geológico-geotécnica; sendo estes: pontos de observação, coleta de amostras, ensaios (de resistência à penetração), sondagens (SPT e ambientais) e poços.

##### 4.2.3.3.2.2 Cartas de morfologia do relevo.

A geração das cartas topográfica, de declividade e de curvatura da microbacia surgiram do processamento das imagens (MDE) do radar Palsar, do satélite Alos; e uma área de detalhe obtida do levantamento com drone descritas nos itens 4.2.3.3.1 (Figura 34) e 4.2.2. Com a ferramenta **Generate Contour** (Analysis > Generate contours (from TIN Areas)) do Global Mapper 20, gerou-se a carta topográfico; sendo escolhidos os intervalos de 5 m e 1 m entre cada

curva, para a região da microbacia do córrego do Mineirinho e da área de detalhe, respectivamente.

Figura 34 – Perímetro da microbacia do córrego do Mineirinho, inserida na imagem “AP\_26504\_FBS\_F6740\_RTI” do Modelo Digital de Elevação gerado pelo radar PALSAR do satélite ALOS.



Fonte: Modificado de © JAXA/METI (2011)

A carta de declividade foi criada com a ferramenta **Slope** (Spatial Analyst Tools > Surface > Slope) de ArcGis 10.5, inserindo a MDE como *Input Raster*. A carta gerada foi reclassificada adaptando as classes de suscetibilidade do Instituto de Terras do Estado de São Paulo (ITESP, 2000), que sugere relevo plano entre 0-2°, suave de 2-5°, ondulado de 5-10°, colinas de 10-18°, fortemente inclinado de 18-45° e relevo íngreme com > 45°. Sendo que a área da microbacia apresenta uma distribuição maior do relevo entre plano e acolinado, nossa classificação dividiu-se em 5 classes: plana (0-2°), suave (2-5) °, moderado (5-10°) acolinada (10-20°) e forte (>20°).

A sua vez, a carta de curvatura, que mostra a forma ou curvatura da declividade, foi criada com a ferramenta **Curvature** (Spatial Analyst Tools > Surface > Curvature) do ArcGis 10.5. Classificado em côncava (< 0), retilínea (=0) e convexa (>0), sendo que uma curvatura positiva indica que a superfície é convexa para cima nessa célula. Uma curvatura negativa indica que a superfície é côncava para cima nessa célula. Um valor de 0 indica que a superfície é plana.

#### 4.2.3.3.2.3 Mapa de materiais inconsolidados

As informações base utilizadas no mapa de matérias inconsolidados desta pesquisa foram obtidas dos trabalhos prévios de Pons (2006) e de Aguiar (1989), acrescidas com dados de foto interpretação, trabalho de campo e dados da carta pedológica das áreas urbanas e suburbanas de São Carlos, de Lorandi et al. (1999).

Utilizou-se também a proposta metodológica elaborada por Zuquette (1987), que contempla o levantamento de um grupo de atributos do meio físico, os quais são registrados em mapas ou cartas interpretativas, associadas a observações descritivas, contendo informações de interesse para o planejamento, principalmente o urbano regional.

Zuquette (1987) definiu atributos como sendo as qualidades pertinentes aos componentes do meio físico e que são considerados dados básicos e necessários para a sua classificação geotécnica. Portanto, utilizou-se na definição das unidades de materiais inconsolidados, dos perfis típicos de alteração, dos ensaios laboratoriais além de trabalhos de campo e fotointerpretações.

No percurso da pesquisa são descritos 96 pontos, sendo 11 afloramentos de solos residuais e retrabalhados, 74 sondagens de simples reconhecimento (SPT), 5 sondagens ambientais, 7 poços de água e 14 amostras deformadas da área de estudo levadas para laboratório no intuito de caracterizar os materiais inconsolidados.

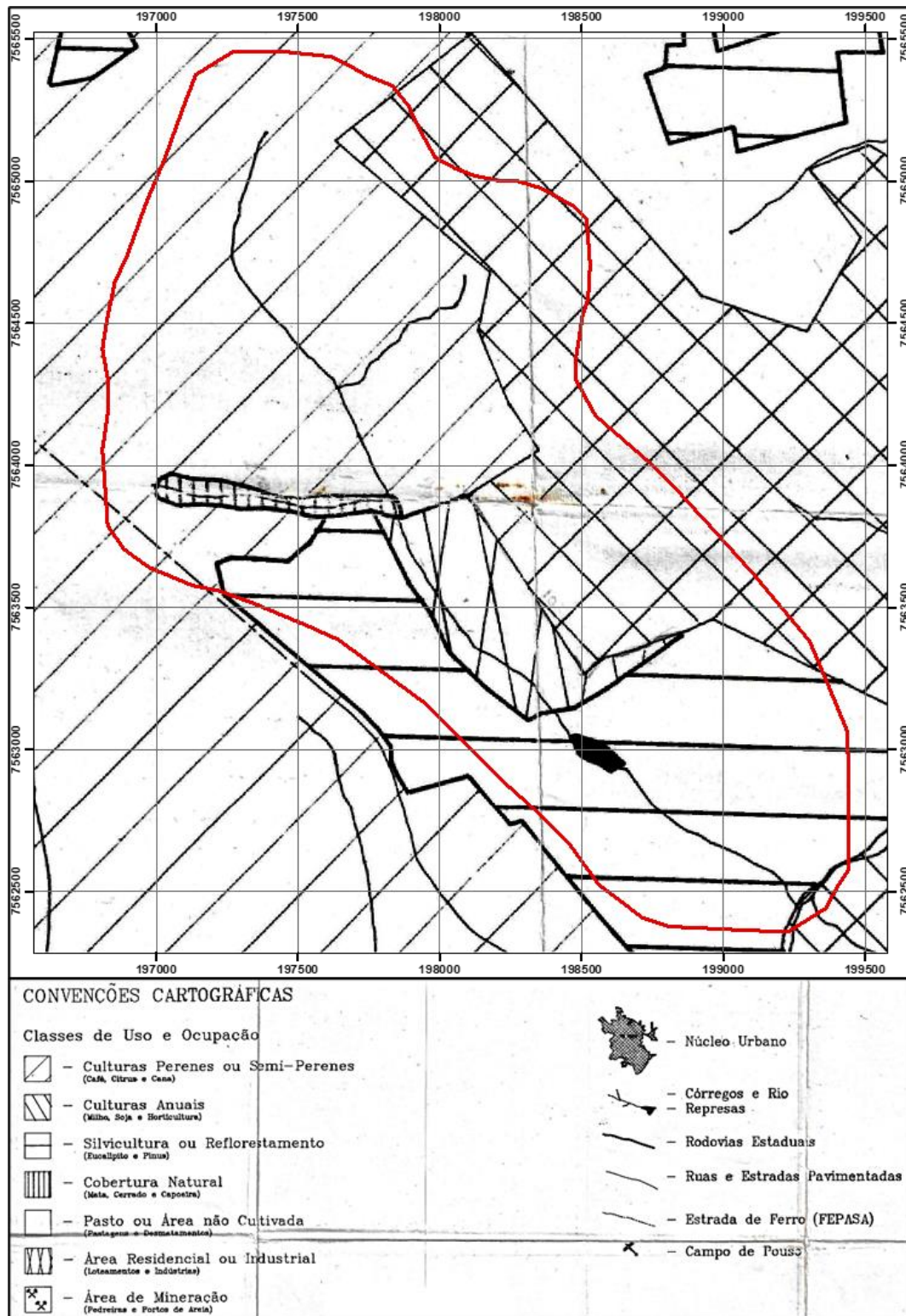
#### 4.2.3.3.2.4 Cartas de cobertura e uso dos solos

Nesta etapa foi realizada a análise e a interpretação de imagens aéreas (fotos aéreas e imagens de satélite) para apreciação da evolução da cobertura e uso do solo desde o ano 1971 e até o ano 2018, seguindo a parametrização do *Manual Técnico de uso da terra* do IBGE (2013), através da geração de 4 cartas de usos e ocupação do solo para os anos 1971, 1989, 2014 e 2018.

Para o ano de 1971, a carta de usos e ocupação do solo foi realizada a partir da interpretação estereoscópica dos pares fotográficos na escala 1:25.000, apresentados no item 4.2.1.4 (Figura 16), com data de agosto de 1971.

Por conta de não dispor de fotos aéreas ou imagens de satélite com suficiente detalhe para a geração do mapa de usos e ocupação do solo para o período entre 1971 e 2014, foi realizada uma adequação do mapa de usos e ocupação do solo da cidade de São Carlos para janeiro de 1989 gerado pelo Aguiar (1989) (Figura 35), padronizando-o às classes adotadas pelo IBGE (2013).

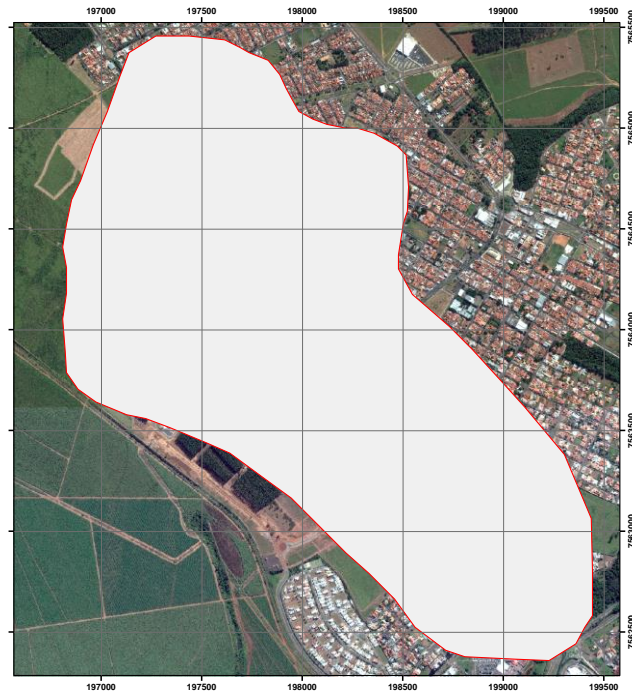
Figura 35- Perímetro da microbacia do córrego do Mineirinho, inserido no mapa de usos e ocupação do solo da cidade de São Carlos, de janeiro de 1989.



Fonte: Modificado de Aguiar (1989).

O seguinte mapa de cobertura e usos do solo, foi gerado das imagens do satélite WV2 (Figura 36), datadas de maio de 2014.

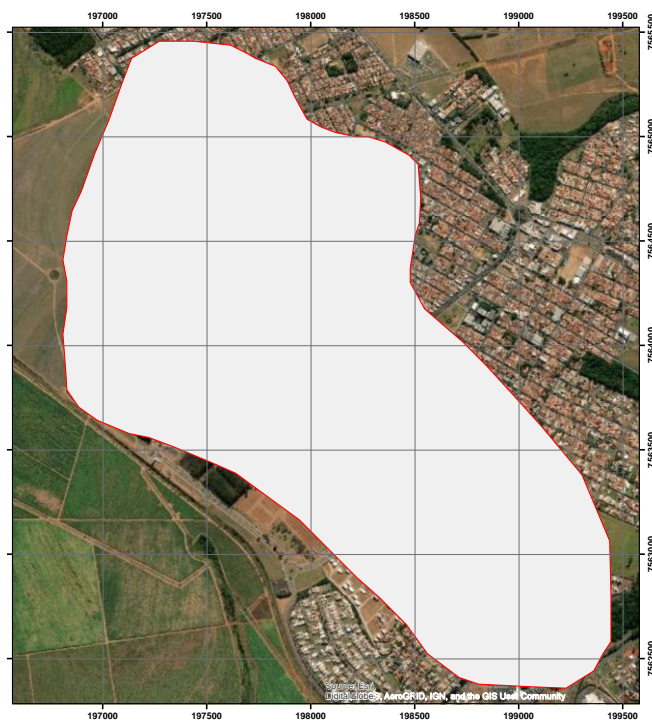
Figura 36- Situação da área de estudo sobre as imagens do satélite WV2, de maio de 2014.



Fonte: Elaborado pela autora.

Finalmente, foi produzido um último mapa de usos e ocupação do solo para o ano 2018, a partir da interpretação das imagens do satélite WV2 (Figura 37), datadas de julho desse ano.

Figura 37- Situação da área de estudo sobre as imagens do satélite WV2, datadas de julho de 2018.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os parâmetros analisados na interpretação das imagens, tanto fotos aéreas (ano 1971) quanto imagens de satélite (anos 2014 e 2018) foram: tonalidade, textura, padrão, forma, dimensão, sombra, cor, topografia e aspectos relacionados. A grade de polígonos foi feita sobre *overlay*, e fixado nas aerofotos e imagens de satélite para a interpretação propriamente dita, classificando-se cada quadrícula, segundo a categoria predominante. Portanto, o mapa final para cada ano estudado é constituído por uma quadrícula, cujas células receberam um símbolo segundo a legenda, previamente estabelecida, na escala 1: 15.000

#### 4.2.3.4 Geração em SIG de carta de suscetibilidade a processos erosivos

##### 4.2.3.4.1. Geração de cartas de parâmetros geotécnicos

As cartas de parâmetros geotécnicos compreenderam as seguintes informações: densidade, coesão, ângulo de atrito e resistência à penetração.

Neste ponto, os dados adquiridos do ensaio de resistência à penetração e das sondagens geotécnicas feitas em solos e não rochas, que não apresentem os valores de densidade, coesão e ângulo de atrito, serão calculados através de correlações com os parâmetros dos solos propostas inicialmente por Bowles (1977) (Tabelas 6) e retrabalhadas posteriormente por Godoy (1983) e Godoy e Teixeira (1996) (Eq. 2 e 3).

Tabela 6- Correlações entre parâmetros dos solos e valores obtidos na sondagem SPT, proposta de Bowles (1977).

<b>AREIAS</b>					
Descrição	Muito mole	Fofa	Média	Compacta	Muito compacta
SPT	0 a 4	4 a 10	10 a 30	30 a 50	> 50
$\phi$ (°)	25 a 30	27 a 32	30 a 35	35 a 40	38 a 43
$\nu$ (tF/m <sup>3</sup> )	1,1 a 1,6	1,4 a 1,8	1,7 a 2,0	2,0 a 2,2	2,2 a 2,4
Densidade relativa	0 a 0,15	0,15 a 0,35	0,35 a 0,65	0,65 a 0,85	0,85 a 1,0

<b>ARGILAS</b>						
Descrição	Muito mole	Mole	Média	Rija	Muito rija	Dura
SPT	0 a 2	2 a 4	4 a 8	8 a 16	16 a 30	> 30
$C_u$ (tF/m <sup>2</sup> )	0 a 0,25	0,25 a 0,5	0,5 a 1	1 a 2	2 a 4	> 4
$\nu$ saturado (tF/m <sup>3</sup> )	1,6 a 1,9	1,6 a 1,9	1,8 a 2,0	1,8 a 2,0	1,9 a 2,2	1,9 a 2,2

Fonte: Traduzido de Bowles (1977).



$\gamma$  = massa específica do solo (densidade).

$\phi$  = ângulo de atrito.

$C_u$  = Coesão não drenada

Sendo aplicadas também neste trabalho as equações de correlações de coesão não drenada ( $C_u$ ) e ângulo de atrito ( $\phi$ ) a seguir:

$$C_u = 10. \text{NSPT} \quad \text{em kPa} \quad \text{proposta por Teixeira e Godoy (1996)} \quad (2)$$

$$\phi = 28^\circ + 0,4. \text{NSPT} \quad \text{em graus} \quad \text{proposta por Godoy (1983)} \quad (3)$$

A correlação adotada nesta pesquisa para o cálculo de resistência à penetração, deriva do método de Aoki & Velloso (1975), que baseou-se na fórmula de capacidade de carga para estacas padrões, com correlações com o ensaio de penetração estática (CPT), por meio dos valores da resistência de ponta do cone ( $q_c$ ) e do atrito lateral na luva ( $f_s$ ). E propuseram que o valor de resistência de ponta ( $q_c$ ) poderia ser substituído por uma correlação com o índice de resistência à penetração ( $N_{spt}$ ), dada de seguinte maneira:

$$q_c = K. N_{spt} \quad (4)$$

Onde o coeficiente K vai depender do tipo do solo (Tabela 7).

Tabela 7- Coeficiente K e razão de atrito  $\alpha$ .

Solo	K (MPa)
Areia	1,00
Areia siltosa	0,80
Areia siltoargilosa	0,70
Areia argilosa	0,60
Areias argilosiltosa	0,50
Silte	0,40
Silte arenoso	0,55
Silte arenoargiloso	0,45
Silte argilosa	0,23
Silte argiloarenosa	0,25

Argila	0,20
Argila arenosa	0,35
Argila arenosiltosa	0,30
Argila siltosa	0,22
Argila siltoarenosa	0,33

Fonte: Modificado de Aoki & Velloso (1975, apud CINTRA & AOKI, 2010, p25).

A presente pesquisa pretende apresentar uma proposta de correlação de parâmetros de solos com os dados de sondagens de SPT feitos na região da microbacia do córrego do Mineirinho, na cidade de São Carlos, SP.

#### 4.2.3.4.2 Elaboração de carta de suscetibilidade à erosão

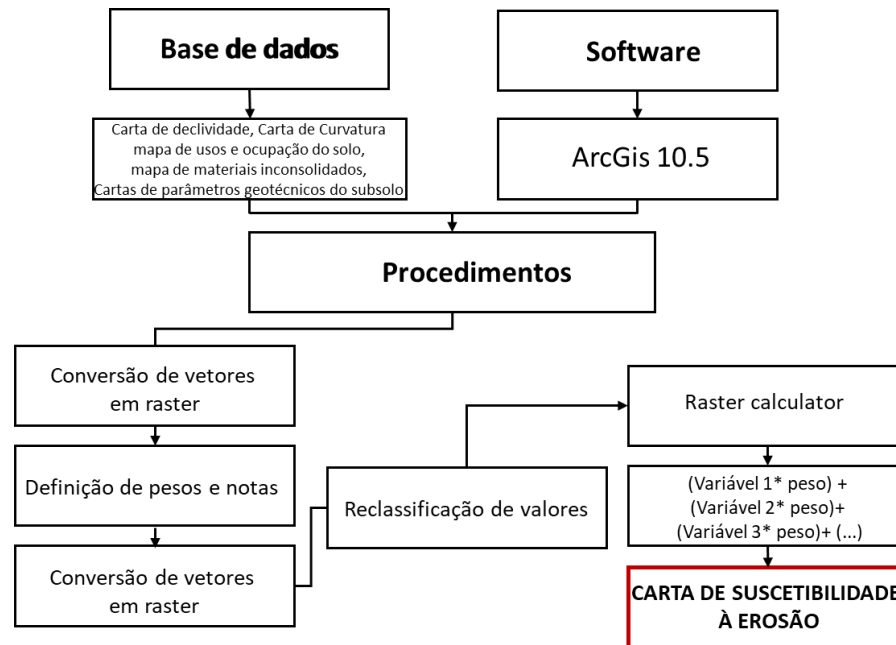
Para a geração da carta de suscetibilidade erosiva da área de estudo foram aplicadas a análise multicritério e a álgebra de mapas, considerando como fatores condicionantes os parâmetros morfológicos e os tipos de materiais inconsolidados. Os parâmetros morfológicos de declividade e de curvatura, que influenciam respectivamente na energia de escoamento e na distribuição do conteúdo de água sobre as encostas, condicionam em maior ou menor intensidade o processo erosivo. Os tipos de materiais inconsolidados que constituem os solos, definem os padrões erosivos de acordo com suas especificidades de textura, assim como seus parâmetros geotécnicos de resistência à penetração, coesão, ângulo de atrito e massa específica do solo; essas últimas variáveis são pouco consideradas atualmente nas cartografias de suscetibilidade no Brasil. Mas existem evidências (SCHMITZ, 2018; FELICIANI, 2011) que sugerem que os parâmetros geotécnicos podem influenciar na suscetibilidade de processos de instabilidade de encostas.

A análise multicritério com o método de álgebra de mapas permite agrupar e classificar áreas que apresentem potencial de suscetibilidade erosiva semelhante.

Na Figura 38, apresenta-se o fluxograma da metodologia adotada nesta etapa.

Uma vez definidas as variáveis que integrarão o estudo, procedeu-se à criação dos mapas bases, que na sequência foram convertidos para raster. No caso do mapa de materiais inconsolidados obteve-se 5 subcartas, uma para cada atributo avaliado (textura, resistência à penetração, coesão, ângulo de atrito e massa específica). Estas subcartas foram reclassificadas, recebendo a atribuição de pesos equivalentes à sua importância na suscetibilidade à erosão (Tabelas 8 a 15) segundo parâmetros obtidos na revisão bibliográfica, e que foram validados em campo de acordo com a realidade local.

Figura 38 – Fluxograma metodológico para a geração da carta de suscetibilidade à erosão.



Fonte: Elaborado pela autora.

Foram utilizados pesos de 1 a 5 para cada variável. Quanto maior o peso, maior a sua importância e influência como condicionante erosivo.

Tabela 8 - Atribuição dos pesos para as classes de declividade.

<b>DECLIVIDADE</b>		
<b>Classes (°)</b>	<b>Peso</b>	<b>Importância</b>
0.00000001-2	1	Muito Baixa
2.00000001-5	2	Baixa
5.00000001-10	3	Média
10.00000001-20	4	Alta
> 20.00000001	5	Muito Alta

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 9 - Atribuição dos pesos para as classes de curvatura.

<b>CURVATURA</b>		
<b>Classes</b>	<b>Peso</b>	<b>Importância</b>
Côncavo	2	Baixa
Retilíneo	3	Média
Convexo	4	Alta

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 10- Atribuição dos pesos para as classes de usos e ocupação do solo.

<b>USOS E OCUPAÇÃO DO SOLO</b>		
<b>Tipo de ocupação</b>	<b>Peso</b>	<b>Importância</b>
Área de Reflorestamento e Formação Florestal	1	Muito Baixa
Praças e parques	2	Baixa
Área Universitária, Área de Ampliação Urbana e Cultura Temporária	3	Média
Infraestrutura urbana e Pastagem degradada	4	Alta
Solo Exposto	5	Muito Alta

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 11 - Atribuição dos pesos para as classes de textura dos materiais inconsolidados.

<b>TEXTURA</b>			
<b>Unidade</b>	<b>Classes</b>	<b>Peso</b>	<b>Importância</b>
Residuais dos Magmatitos Básicos	Argilas arenosas	1	Muito Baixa
Residual do Itaqueri	Areias médias siltoargilosas com pedregulhos	2	Baixa
Coluvionar	Areia (fina) argilosiltosa	3	Média
Hidromórfico Preto	Areia (fina a média) siltoargilosa, com matéria orgânica	4	Alta

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 12- Atribuição dos pesos para as classes de resistência à penetração dos materiais inconsolidados.

<b>Resistência à Penetração</b>		
<b>Classes (MPa)</b>	<b>Peso</b>	<b>Importância</b>
9,3375	1	Muito Baixa
6,75	2	Baixa
1,875	4	Alta
1,184	5	Muito Alta

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 13 - Atribuição dos pesos para as classes de coesão dos materiais inconsolidados.

<b>Coesão</b>		
<b>Classes (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso</b>	<b>Importância</b>
247,5	1	Muito Baixa
142,5	2	Baixa

20	4	Alta
10	5	Muito Alta

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 14 - Atribuição dos pesos para as classes de ângulo de atrito dos materiais inconsolidados.

<b>Ângulo de Atrito</b>		
<b>Classes (°)</b>	<b>Peso</b>	<b>Importância</b>
37,6	1	Muito Baixa
30,9	3	Média
29	4	Alta
25	5	Muito Alta

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 15 - Atribuição dos pesos para as classes de massa específica dos materiais inconsolidados.

<b>Massa Específica</b>		
<b>Classes (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso</b>	<b>Importância</b>
19,5	1	Muito Baixa
19	2	Baixa
18	3	Média
11	5	Muito Alta

Fonte: Elaborado pela autora.

A partir da obtenção desses mapas bases procedeu-se a inserção dos *shapefiles* no ArcMap e criação de arquivo raster para cada *shapefile* inserido. Para converter o arquivo vetorial em matricial, foi necessário utilizar a coluna da tabela de atributos correspondente à informação que foi considerada na análise (abrindo o *ArcToolbox* e clicado em *Conversion tools > To raster > Feature to raster*).

Na sequência, cada variável recebeu um peso que variou em uma escala de 0%-100% (0-1) (Tabela 16). Diferente do procedimento anterior, no qual os pesos foram atribuídos a cada classe, nesta etapa os pesos foram atribuídos à cada mapa de uma forma geral, para que fosse possível indicar a influência de cada fator condicionante na potencialização de processos erosivos.

Tabela 16 – Ponderação de pesos para cada variável estudada.

<b>Fator Condicionante</b>	<b>Variável</b>	<b>Peso (0-1)</b>
Topografia	Declividade	0,20
	Curvatura	0,15
Influência Antrópica	Usos e ocupação do solo	0,15
Característica dos Materiais inconsolidados	Textura	0,15
	Resistência à penetração	0,15
	Coesão	0,10
	Ângulo de Atrito	0,05
	Massa Específica	0,05

Fonte: Elaborado pela autora.

Após converter todos os *shapefiles* em arquivo raster, foi necessário reclassificar os valores/informações da coluna da tabela de atributos selecionada (*Spatial Analyst > Reclassify*).

Em seguida, para combinar as variáveis e criar o mapa de suscetibilidade erosiva utilizou-se a ferramenta *Spatial Analyst > Raster Calculator*; e uma vez gerado o *Raster* de suscetibilidade à erosão foram definidas e renomeadas as classes (*Symbology > Classified*).

## 5 RESULTADOS

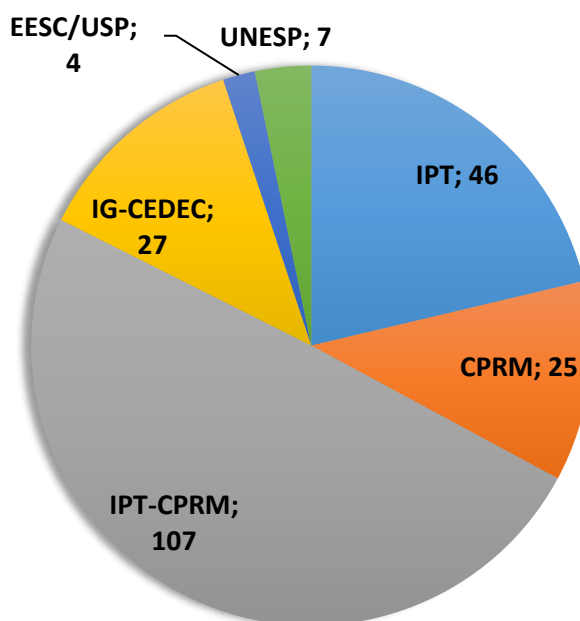
A seguir são apresentados os resultados obtidos em cada fase metodológica do trabalho de pesquisa.

### 5.1 LEVANTAMENTO REGIONAL DE MAPEAMENTOS GEOTÉCNICOS, DE SUSCETIBILIDADE E RISCO NO ESTADO DE SÃO PAULO

Na procura de trabalhos desenvolvidos na área de cartografia de suscetibilidade e riscos geológicos-geotécnicos por erosão e escorregamento, para um total de 172 municípios do Estado de São Paulo, encontrou-se algumas metodologias com maior relevância para esta pesquisa. Foram avaliadas as adotadas nos trabalhos desenvolvidos na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP), no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), no Instituto Geológico (IG) em parceria com a Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do estado de São Paulo (CEDEC), no Serviço Geológico do Brasil (CPRM), no trabalho conjunto entre o IPT e o CPRM, e pela Universidade Estadual Paulista (UNESP- Rio Claro). O total de

trabalhos realizados com cada uma foi sumarizado na Figura 39.

Figura 39- Distribuição dos trabalhos desenvolvidos por cada instituição avaliada.



Fonte: Elaborado pela autora.

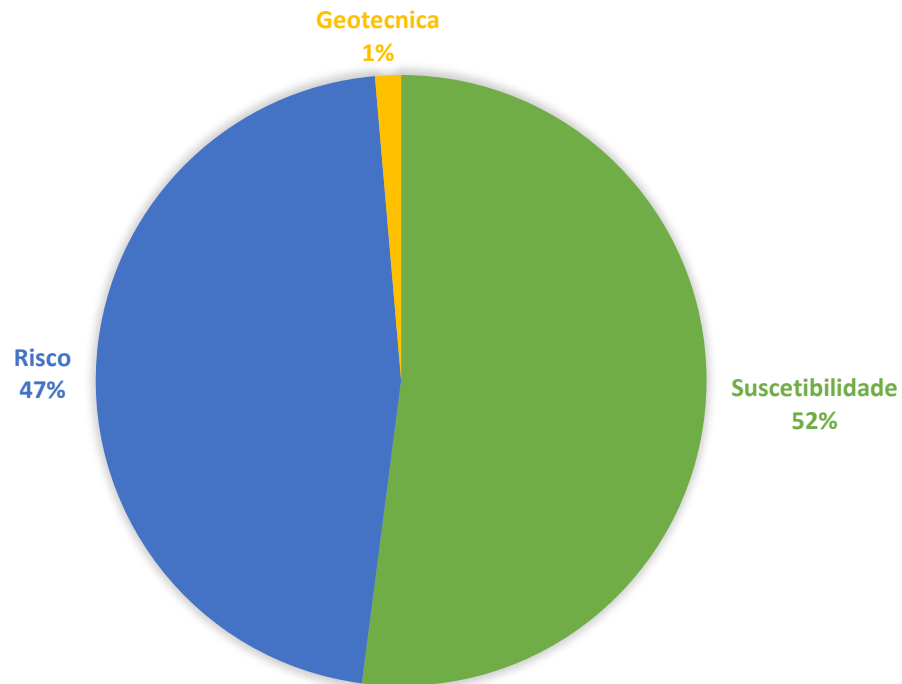
Com o levantamento dessas informações foi elaborada um inventário de mapeamentos geológicos-geotécnicos para o estado de São Paulo (Apêndice 9), o que facilitou a avaliação estatística dos tipos de trabalhos desenvolvidos para a estimativa e mitigação de riscos de processos geológicos predominantes, num período de 29 anos.

É importante destacar que o banco de dados gerado incluiu só os estudos mais recentes para cada tipo de mapeamento por município. Isto quer dizer que, se para um município foram feitos vários mapas de suscetibilidade a movimentos de massa, considerou-se apenas o mais recente com o objetivo de reduzir o volume de informações; acreditando, por sua vez, que os estudos mais recentes incorporam mecanismos de melhoria às metodologias utilizadas anteriormente.

### 5.1.1 Avaliação Estatística dos Tipos de Trabalhos Desenvolvidos

No levantamento feito encontrou-se um total de 220 mapeamentos produzidos para 171 municípios do estado de São Paulo, os quais, para melhor aproveitamento nesta pesquisa, foram agrupados em 3 grandes categorias: *cartografia geotécnica*, *cartas de suscetibilidade e mapeamentos de risco*, distribuídos como mostrado na Figura 40.

Figura 40 - Distribuição porcentual dos tipos de cartografia geológica para 172 municípios no estado de São Paulo, desde 1989 até 2018.



Fonte: Elaborado pela autora

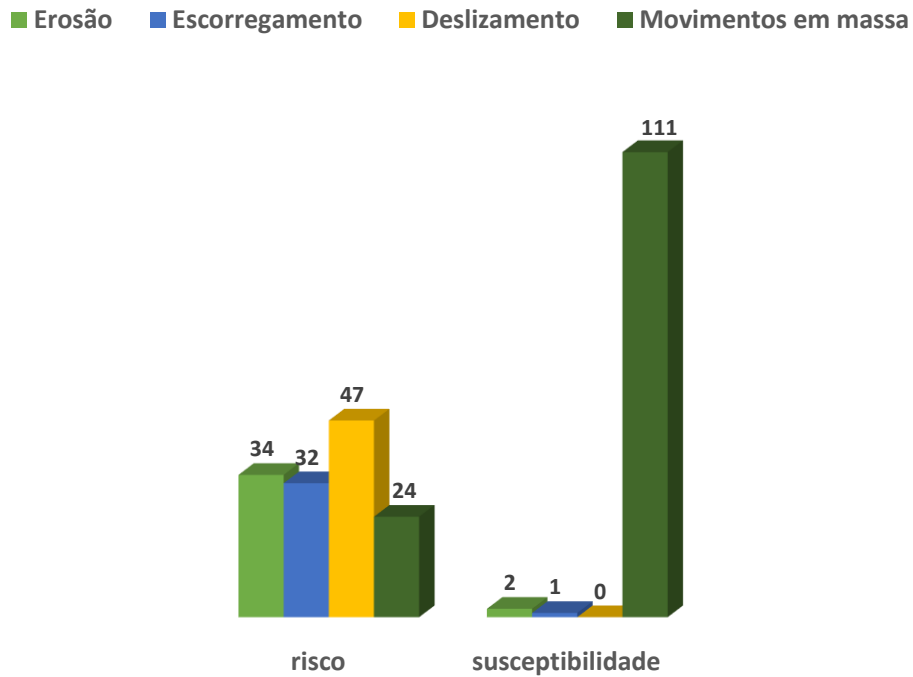
Os trabalhos de cartografia de suscetibilidade foram os predominantes com um total de 114 municípios abrangidos, correspondendo a 52% dos trabalhos levantados; seguidos dos mapeamentos de risco que abarcaram 102 municípios (47% dos trabalhos levantados), e finalmente as cartas geotécnicas, com 3 municípios abrangidos (1% do total de trabalhos levantados).

Posteriormente os grupos cartográficos de risco e suscetibilidade foram subdivididos de acordo com os distintos processos geológicos tratados e descritos nas nomenclaturas de cada trabalho (Figura 41), com a intenção de ressaltar os trabalhos que abarcaram feições erosivas nos seus resultados, por serem os processos erosivos o ponto central de nosso trabalho de pesquisa.

No entanto, embora os estudos de suscetibilidade tenham sido os mais comuns, eles cobriam principalmente os movimentos gravitacionais em massa, deslizamentos e escorregamentos; separados assim segundo as nomenclaturas dos trabalhos considerados, embora possa ser o mesmo tipo de processo, geologicamente falando. Os mapeamentos de risco foram os trabalhos que mais envolveram processos erosivos.



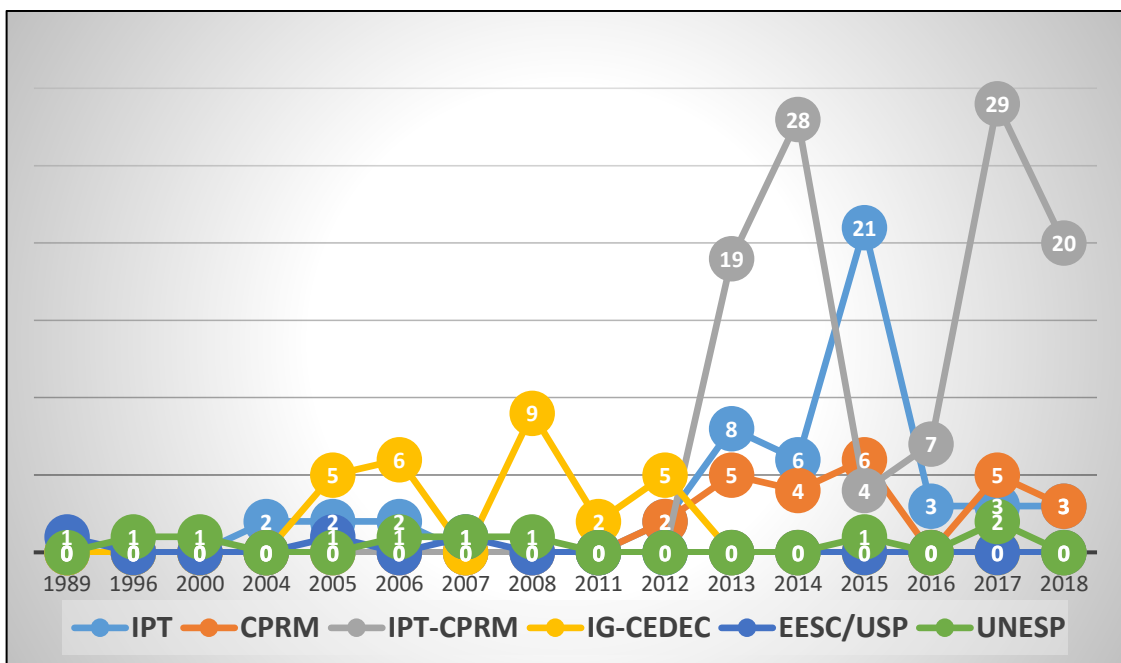
Figura 41 - Distribuição dos tipos de cartografia feitos para 4 classes de processos geológicos abrangidos em 172 municípios do estado de São Paulo, de 1989 a 2018.



Fonte: Elaborado pela autora

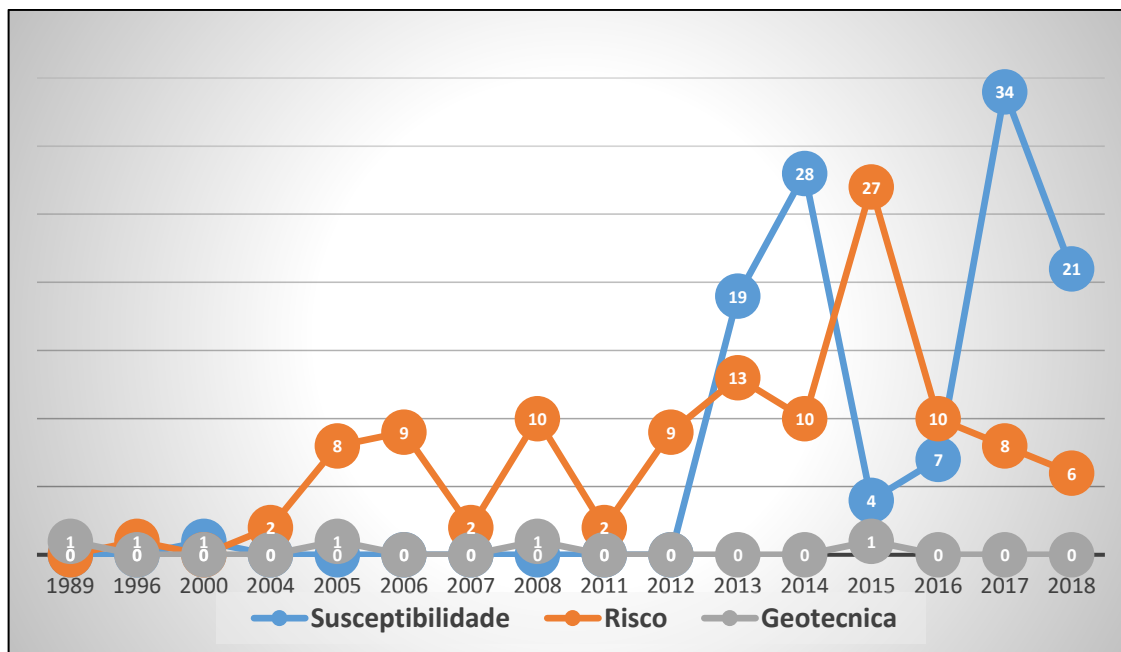
Outro resultado interessante nesta avaliação estatística é o representado no gráfico da Figura 42 que amostra o progresso das pesquisas desenvolvidas para cada umas das instituições (EESC/USP, UNESP, CPRM, IPT, IG e as parcerias entre elas) desde o ano 1989 até 2018.

Figura 42 – Evolução temporal de trabalhos feitos por ano (1989-2018) para as entidades executoras abordadas.



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 43- Evolução temporal dos tipos de cartografia desenvolvidas para 171 municípios do estado de São Paulo, desde 1989 até 2018.



Fonte: Elaborado pela autora

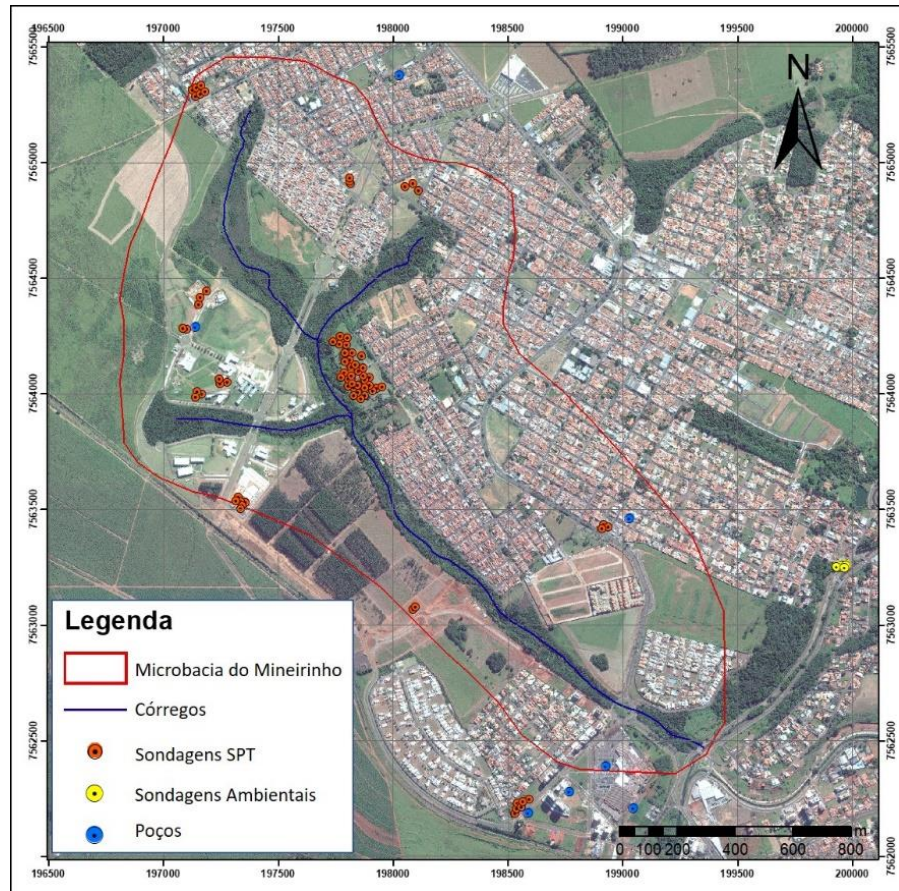
A representação gráfica que relaciona as entidades executoras e os tipos de trabalhos desenvolvidos com os anos em que foram produzidas as cartografias (Figuras 42 e 43, respectivamente), amostra-nos uma transcendência temporal da geração de cartas de suscetibilidade e risco nas últimas décadas; com um incremento importante no desenvolvimento de trabalhos oficiais (feitos por entidades governamentais) a partir do ano 2012.

## 5.2 COMPILAÇÃO E APROVEITAMENTO DE DADOS DE PERFIS DE SONDAGENS GEOTÉCNICAS DISPONÍVEIS NA REGIÃO DE ESTUDO.

Esse tópico apresenta reprodução de parte do artigo publicado pelas autoras no 17 Congresso Nacional de Geotecnia de Portugal (17CNG, Lisboa, Portugal) (OSORIO et al, 2020- no prelo).

No desenvolvimento desta pesquisa foram compilados 86 boletins de perfis de sondagens de subsolo: 74 sondagens SPT, 5 sondagens ambientais e 7 poços de água. A Figura 44 apresentada a localização dos furos de sondagem obtidos neste trabalho.

Figura 44 – Localização das sondagens providenciadas na região da microbacia do córrego do Mineirinho da cidade de São Carlos, SP.



Fonte: Elaborado pela autora.

No caso das sondagens SPT, verifica-se que são pontos distribuídos de forma não homogênea na área estudada, pois: a ocupação da área é heterogênea; há concentração de pontos nos novos parcelamentos de solo e em áreas públicas; as sondagens se localizam em terrenos com posterior execução de edificações; existe uma ampla região ocupada por moradias populares sem registros de sondagens, embora a norma brasileira NBR 8036 - Programação de Sondagens SPT (ABNT, 1983) estabeleça a obrigatoriedade de um número mínimo de 2 furos, ou maior de acordo com a área a ser construída. Em comparação com normativas em outros países da região sulamericana, há o caso da Norma Venezuelana de Construções Sismorresistentes (COVENIN, 2019), atualmente em revisão, que estabelece o mínimo de 1 furo para cada 80 metros ou fração, do perímetro da construção. Já a Norma Equatoriana de Construção, Geotecnia e Fundações (NEC, 2014), a mais completa neste sentido, estabelece um número mínimo de furos de acordo com altura da construção projetada, sendo que para construções baixas (até 3 andares) a quantidade mínima é de 3 furos de pelo menos 6m de

profundidade, e para construções especiais (mais de 20 andares) a quantidade mínima é de 5 furos de pelo menos 30m.

Na procura de informação de sondagens SPT, perfis de poços de água e sondagens de simples reconhecimento nas diferentes entidades governamentais e privadas, foi notável a falta de apreço por essa informação, uma vez que os perfis foram produzidos, utilizados e posteriormente arquivados. Esses dados são necessários para conceder permissões de construção, bem como conhecer o subsolo onde se tem a projeção da obra civil de acordo com as regulamentações atuais. O descaso com a informação já produzida ficou demonstrado durante o desenvolvimento desta pesquisa pelo desconhecimento da existência desses arquivos em algumas dessas entidades, bem como no atraso (desde alguns dias até várias semanas) na busca e transferência dessas informações. Ou seja, há dificuldade de se obter relatórios de sondagem e se depende da boa vontade do proprietário da obra. Esta questão está relacionada à legislação brasileira sobre o tema, como já comentado anteriormente.

No aproveitamento das informações obtidas dos relatórios de sondagens para posterior correlação das camadas descritas com o desenvolvimento de feições erosivas na região da microbacia do córrego do Mineirinho, utilizou-se: a posição do nível d'água (NA) subterrânea, a posição da camada impenetrável, a presença de matacões e/ou linhas de seixos, o uso de revestimento na sondagem, a espessura das camadas com índice de resistência à penetração (NSPT) menor que 5, a textura das camadas, e o tipo de mudança de textura no perfil estratigráfico; por considerar que:

- A posição e variação do NA pode ser considerado como um fator de deterioração das propriedades do solo, na avaliação da suscetibilidade à erosão e outros processos geológicos que podem impactar a gestão do meio físico, como solapamento das margens dos córregos ou mesmo a ocorrência de *piping* em erosões lineares, devido às forças hidráulicas exercidas pela água que escoam pelos poros e fissuras do material, e são suficientes para se desprender e transportar as partículas. A norma brasileira NBR 6484 (ABNT, 2001) estabelece que o NA seja medido durante a execução do furo de sondagem e 12 horas após seu término. Verificou-se que nem todos os relatórios de sondagens forneceram essa informação do NA após 12 horas. As normas venezuelanas e equatorianas não especificam parâmetros para a medição de NA.
- A camada impenetrável, quanto à influência na suscetibilidade à erosão, quanto mais rasa for a posição do impenetrável, menor a possibilidade de ocorrência de ravinas profundas, seja qual for o material subjacente; mas esta superfície pode servir como nível de base para estes processos, permitindo sua ramificação a montante. Nas sondagens

analisadas nem sempre foi seguido o critério de paralisação preconizado pela norma brasileira, mas todas foram paralisadas em materiais de resistência alta ( $NSPT > 35$ ).

- A presença de matacões não influencia a suscetibilidade à erosão, mas linhas de seixos podem influenciar de forma positiva impedindo que o processo se aprofunde. Na área estudada não foi verificada a presença de matacões, mas há diferentes linhas de seixos: a que separa os solos residuais dos transportados e a que está presente na formação Itaqueri.
- A utilização de revestimento na execução das sondagens SPT está relacionada à ocorrência de desmoronamento do furo durante a execução de estacas escavadas. Na área estudada há vários locais onde essa situação ocorre, pela existência de camadas moles/fofas em superfície, em especial camadas de solo orgânico, pretas a marrom escuro.
- A textura das camadas é fator que se relaciona com a infiltração de água (texturas arenosas são mais permeáveis) e com o escoamento superficial, assim como com processos superficiais (erosão, movimentos de massa). A mudança de textura das camadas pode apresentar uma superfície impermeável subjacente a outra muito permeável, gerando descontinuidade que pode resultar em superfície preferencial de ruptura por escorregamento. Já no caso de erosões essa situação pode impedir o aprofundamento da ravina, principalmente se essa camada for mais resistente, fazendo com que haja uma maior ramificação das erosões, posto que a água que estava infiltrando se refrata, escoando sobre a superfície. Esta característica ocorre na área e os dados puderam ser extraídos dos perfis de sondagem.

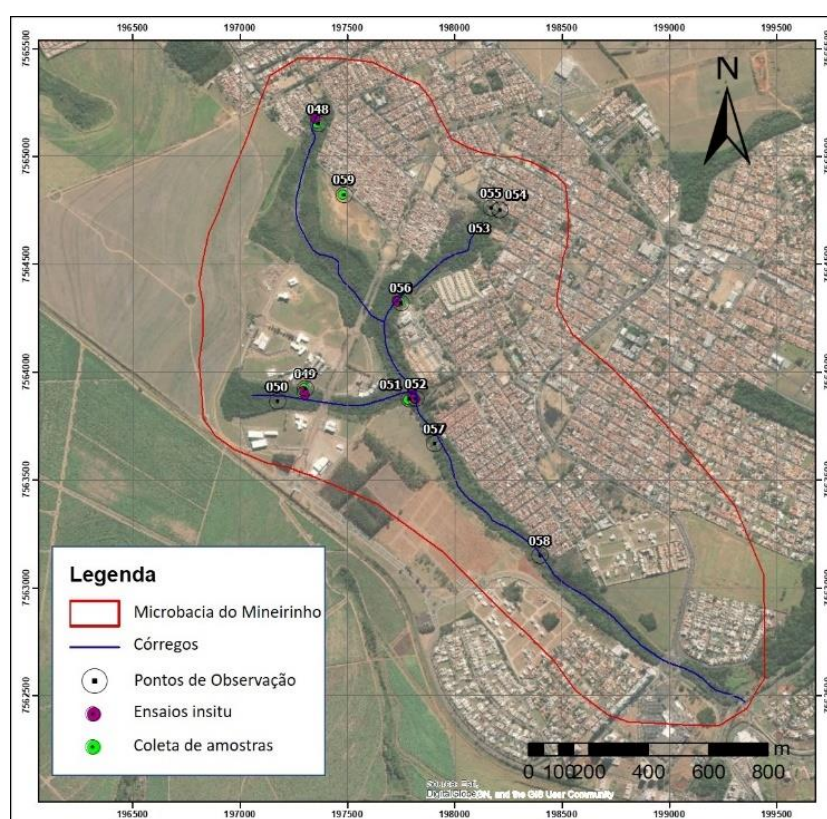
Na recuperação da posição cartográfica dos dados levantados, foi observado que unicamente no caso dos poços de água havia o georreferenciamento correto dos pontos. Quase todas as sondagens SPT apresentaram um nível de referência (RN) imutável, como poste ou guia da rua, conforme estabelece a norma da NBR 6484 (ABNT, 2001), mas esse marco não estava georreferenciado na maioria dos relatórios, tendo sido necessário ir a campo para georreferenciá-los. Em alguns relatórios de sondagens a posição do RN não estava adequada e em alguns casos era inexistente, o que está fora das recomendações da norma NBR 6484 (ABNT, 2001); nestes casos, para georreferenciar as sondagens foi necessário sobrepor a planta de localização das sondagens em imagem de satélite da região, georreferenciada. Além disso, o GPS Garmin utilizado para georreferenciamento em campo pode apresentar erro de leitura da ordem de 3 metros para posicionamento horizontal e 10 metros para posicionamento vertical. Essas condições são favoráveis à geração de erros de localização no mapa final. No entanto, para fins de nosso trabalho de caracterização do subsolo ou de uma região específica, esses erros podem ser considerados insignificantes.

### 5.3 AVALIAÇÃO GEOLÓGICA DE CAMPO DA MICROBACIA DO CÓRREGO DO MINEIRINHO, SÃO CARLOS-SP.

A avaliação geológica de campo nesta pesquisa iniciou-se no mês de fevereiro de 2019 e foi até maio de 2020.

No começo foram realizadas 10 paradas de observação, marcadas na Figura 45 como pontos de observação. Posteriormente em alguns desses locais foram realizadas as coletas de amostras (para descrição e ensaios laboratoriais) e os ensaios *in situ*, levantamentos aéreos com drone e mais para frente algumas outras visitas de campo para verificação das informações.

Figura 45- Localização de pontos de observação, coleta de amostras e ensaios insitu.



Fonte: Elaborado pela autora.

O ponto “048” correspondente à cabeceira principal do córrego (Figura 46) e localiza-se no bairro Santa Angelina. O local foi modificado através de trabalhos de canalização feitos pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos (SAAE- São Carlos), com data estimada de há 15 anos aproximadamente, segundo informações coletadas com vizinhos no dia da visita de campo.

Neste ponto identificou-se o desenvolvimento de um sulco de dimensões importantes e que aparentou ser influenciado pela obra de canalização. O material litológico observado no

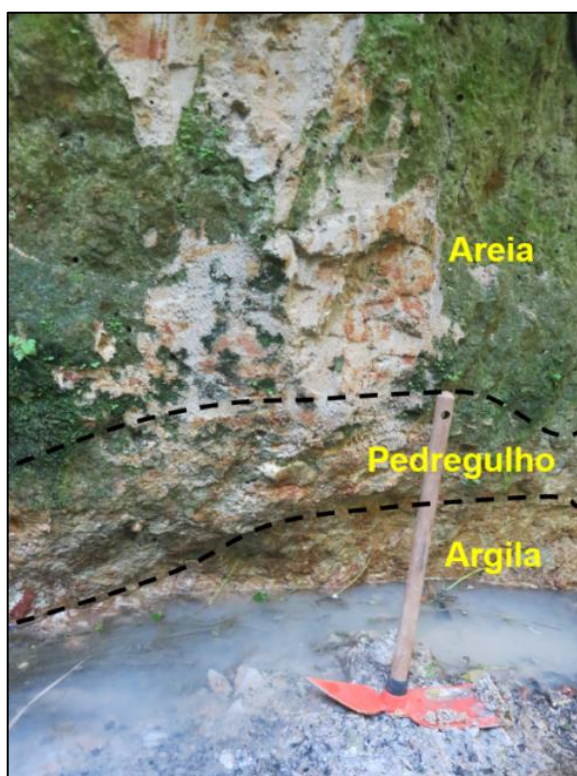
perfil do solo foi: matéria orgânica, areia média com pedregulho e areia média argilosa, em ordem descendente (Figura 47).

Figura 46 – Evidência de desenvolvimento de erosão em sulco no ponto de observação 048, correspondente com a cabeceira do córrego do Mineirinho, São Carlos -SP. Avaliação de campo feita em fevereiro 2019.



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 47- Perfil de solo no ponto de observação 048. Avaliação de campo feita em fevereiro 2019 na microbacia do córrego do Mineirinho, São Carlos-SP.



Fonte: Elaborado pela autora

No braço leste do córrego, correspondente com a cabeceira do córrego Santa Fé (Pontos 05a e 055), nas proximidades do Loteamento São Carlos 1, encontrou-se o desenvolvimento de um processo erosivo avançado, com 3 pontos focais de erosões aceleradas associadas a tubulação de água pluvial rompida (Figura 48).

Figura 48 – Locais de desenvolvimento de erosões nos pontos de observação 054 e 055 correspondentes com a cabeceira do córrego Santa Fé, na microbacia do córrego Mineirinho, São Carlos -SP. Avaliação de campo feita em novembro 2019.

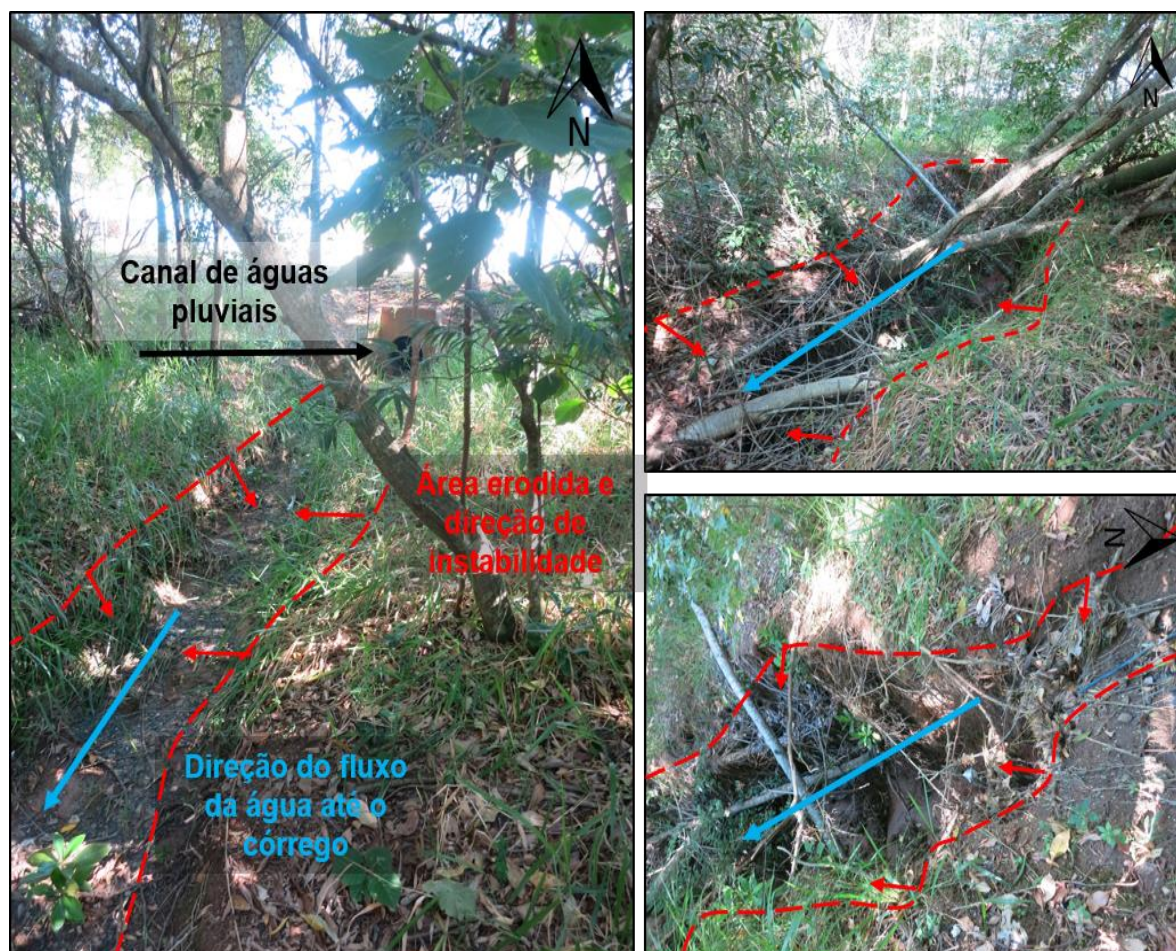


Fonte: 3DroneSolutions

Mais para jusante, descendo em sentido Norte-Sul, no ponto 050 que localizado no campus 2 da USP de São Carlos, foi encontrado outro processo erosivo (ravina a boçoroca) de dimensão maior que a anterior e que vai desde um ponto de coleta de águas pluviais até o córrego (Figura 49).



Figura 49- Processo de erosão em boçoroca no ponto 050 de observação. Avaliação de campo feita em fevereiro 2019 na microbacia do córrego do Mineirinho, São Carlos-SP.

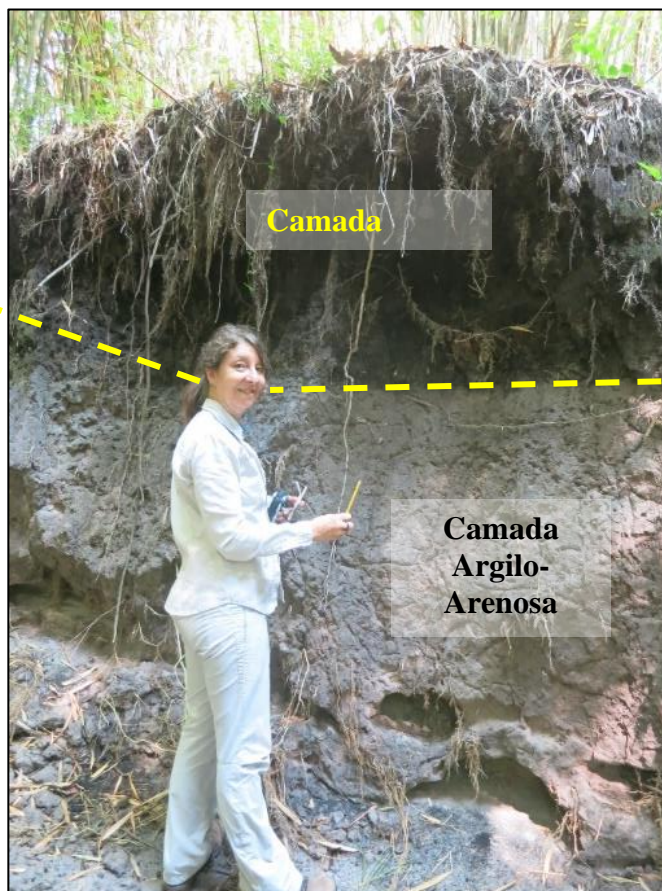


Fonte: Elaborado pela autora

Seguindo no percurso pelo córrego em direção a jusante, no ponto 052, encontrou-se uma camada mais espessa e superficial de material argilo-arenoso de cor cinza (Figura 50), a qual manteve-se exposta nos próximos pontos de observação (Figura 51) até chegar no afloramento da rocha basáltica no ponto 058 (Figura 52).

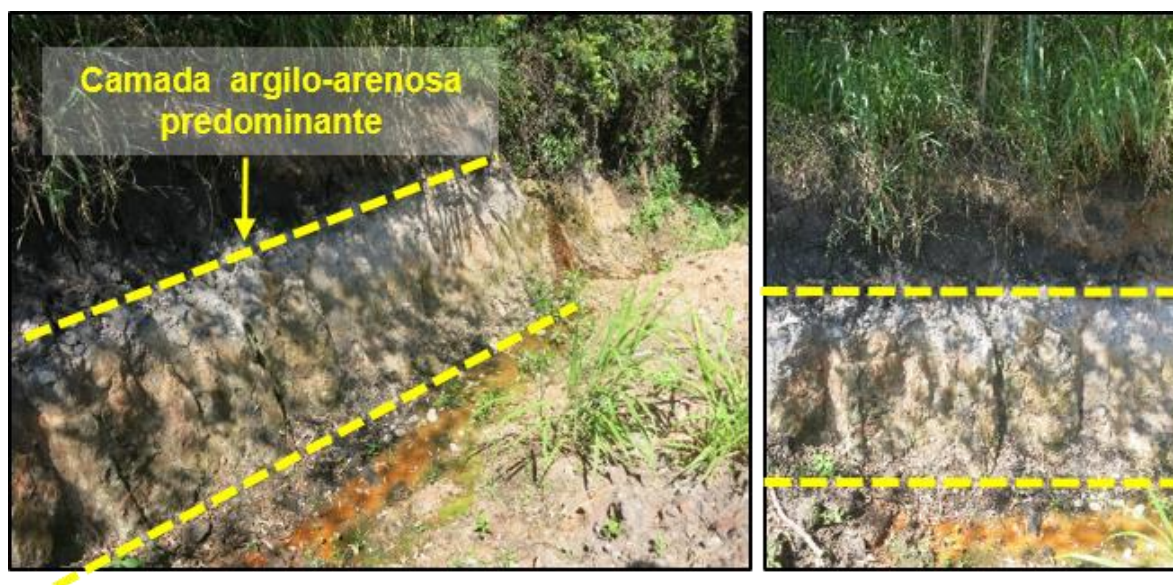
Esta camada foi descrita na maioria dos perfis das sondagens geotécnicas fornecidas para esta pesquisa como “Argila siltosa”, “Argila silto-arenosa”, “Argila plástica arenosa”, e tem uma espessura média de aproximadamente 10m na região noroeste do córrego onde se tem a maior parte das sondagens.

Figura 50- Camada areno-argilosa hidromórfica exposta no ponto de observação 052. Avaliação de campo feita em fevereiro 2019 na microbacia do córrego do Mineirinho, São Carlos-SP.



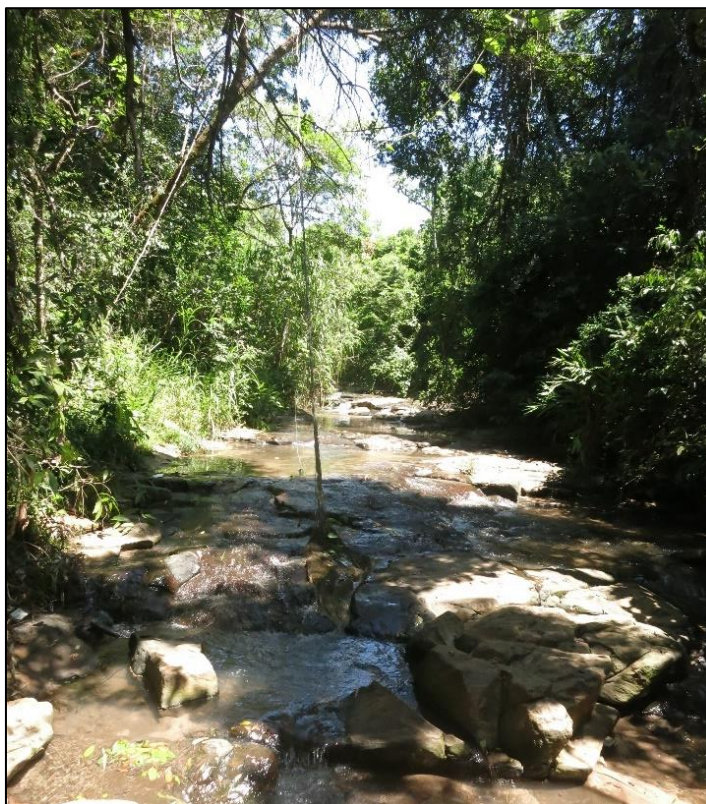
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 51- Continuação da camada argilo-arenosa hidromórfica no ponto de observação 056. Avaliação de campo feita em fevereiro 2019 na microbacia do córrego do Mineirinho, São Carlos-SP.



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 52- Afloramento de Magmatitos Básicos. Ponto 058. Avaliação de campo feita em fevereiro 2019 na microbacia do córrego do Mineirinho, São Carlos-SP.



Fonte: Elaborado pela autora

Uma outra observação relevante no ponto 056, consistiu na presença de uma obra de engenharia de canalização de águas pluviais, ainda em construção numa região previamente erodida e na qual o processo erosivo parece continuar evoluindo (Figura 54).

Figura 53- Obra de canalização de águas pluviais em região erodida próxima ao condomínio Parque Monte D' Oro (ponto 056), na rua João Stella do Jardim Santa Felícia. Avaliação de campo feita em fevereiro 2019 na microbacia do córrego do Mineirinho, São Carlos-SP.



Fonte: Elaborado pela autora

O último ponto de observação visitado foi o ponto 059, que correspondeu com um afloramento do material coluvionar argilo-arenoso (Figura 54) descrito em um próximo tópico como o material inconsolidado “*Coluvionar*” que se estende ao largo de toda a microbacia.

Figura 54- Ponto de observação 059, afloramento de material coluvionar.



Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.3 LEVANTAMENTO DE IMAGENS COM DRONE

Do levantamento aéreo com drone foi possível realizar o mapeamento detalhado de uma região escolhida dentro da microbacia do Mineirinho, a partir da geração do DEM e ortofotografias da área de levantamento chamada de “*Área de Detalhe*” (de resolução 1,76 cm), apresentadas na Figuras 55.

Dos DEM gerados, obteve-se as curvas de nível com distanciamento de 1 metro (1 m). Esse nível de detalhe, nos permitiu gerar uma carta topográfica e de declividade com maior precisão do desejado nos mapas produzidos para a microbacia inteira a partir de dados convencionais de satélite.

Dos resultados obtidos do levantamento aéreo com drone, esperou-se obter um mapeamento local de suscetibilidade com maior exatidão; além de uma interpretação mais certa da abrangência das feições erosivas, na área onde a vegetação permitiu o levantamento a poucos metros de altura.

Figura 55 - Ortofotografia gerada no “Voo 2” do levantamento aéreo com drone, correspondente com a área identificada como “Processo Erosivo Maior”, n microbacia do córrego Mineirinho.



Fonte: Elaborado pelo 3DronesSolutions (2019).

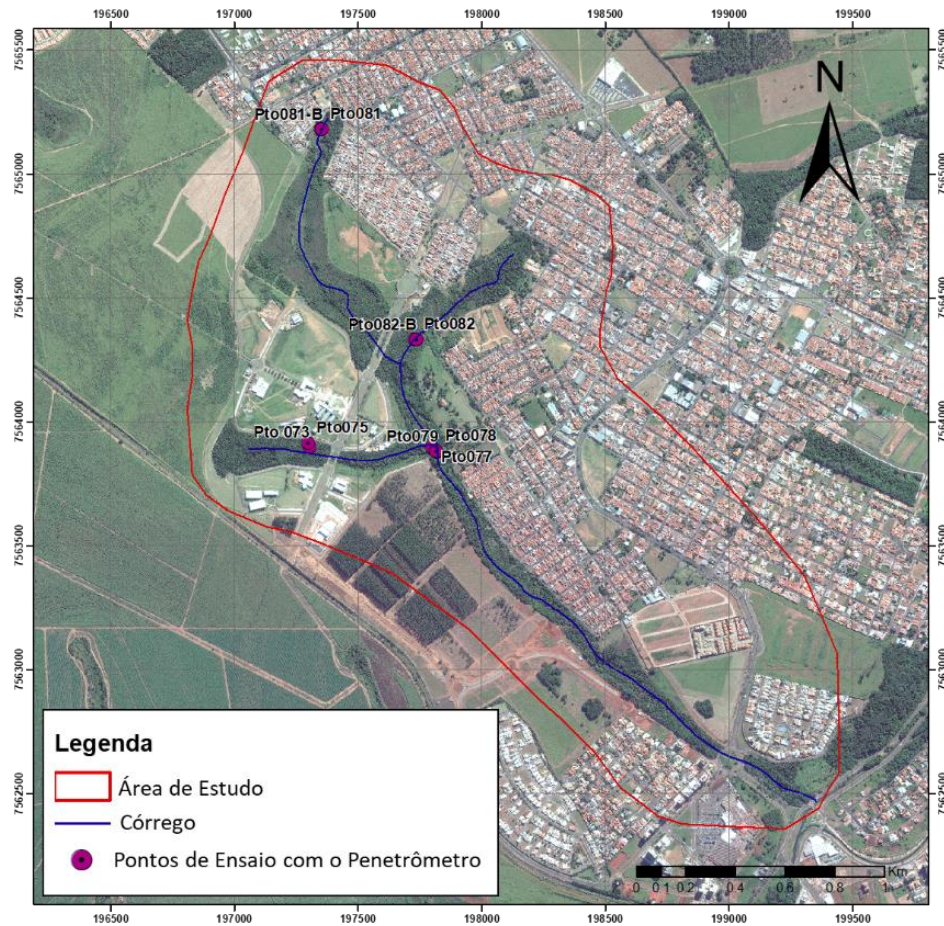
#### 5.4 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS INCONSOLIDADOS

A caracterização dos materiais inconsolidados foi feita a través da realização de vários testes e ensaios (in situ e laboratoriais), descritos a seguir.

##### 5.5.1 Ensaios *in situ* de resistência à Penetração

Para a realização do ensaio de resistência à penetração foram programados os pontos a partir do reconhecimento em campo das áreas com afloramentos e feições erosivas; buscou-se recobrir os diferentes materiais inconsolidados vulneráveis ao desenvolvimento de processos erosivos, segundo evidências, conforme indicado na Figura 56.

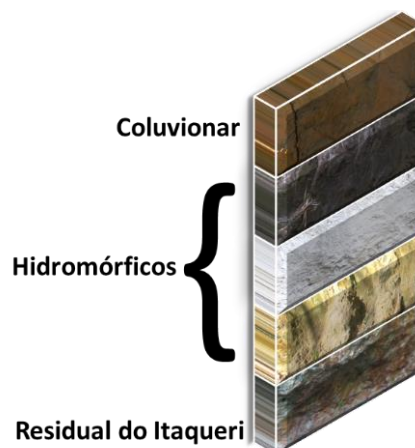
Figura 56- Localização dos pontos onde foram feitos ensaios *in situ* de resistência à penetração.



Fonte: elaborado pela autora.

Foram realizados 9 pontos de ensaio para 5 tipos de materiais inconsolidados, separados em 3 unidades denominadas de “Coluvionar”, “Hidromórficos” e “Residual Itaqueri” (Figura 57) descritas na seguinte seção.

Figura 57- Esquema do perfil litológico dos materiais inconsolidados testados com o ensaio de resistência à penetração.



Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.5.1.1 Resultados dos ensaios para cada classe de material inconsolidado reconhecido

#### 5.5.1.1.1 Coluvionar

O material coluvionar descrito neste trabalho é correlato com o material “Arenoso III”, descrito por Aguiar (1989) e Pons (2006). Foi observado em poucos lugares na faixa mais próxima aos cursos ao longo do percurso das drenagens da microbacia e corresponde ao material mais superficial do perfil.

Esse material coluvionar, de aparência marrom, foi ensaiado em campo no ponto 075 (Figura 56), resultando em baixa resistência à penetração, sem variação vertical importante nos 60 cm ensaiados (Figura 58).

Figura 58 - Ensaio de resistência à penetração no material “Coluvionar”, testado no ponto 075. Com gráfico do resultado da resistência, expressado em MPa.



Fonte: Elaborado pela autora.

#### 5.5.1.1.2 Hidromórficos

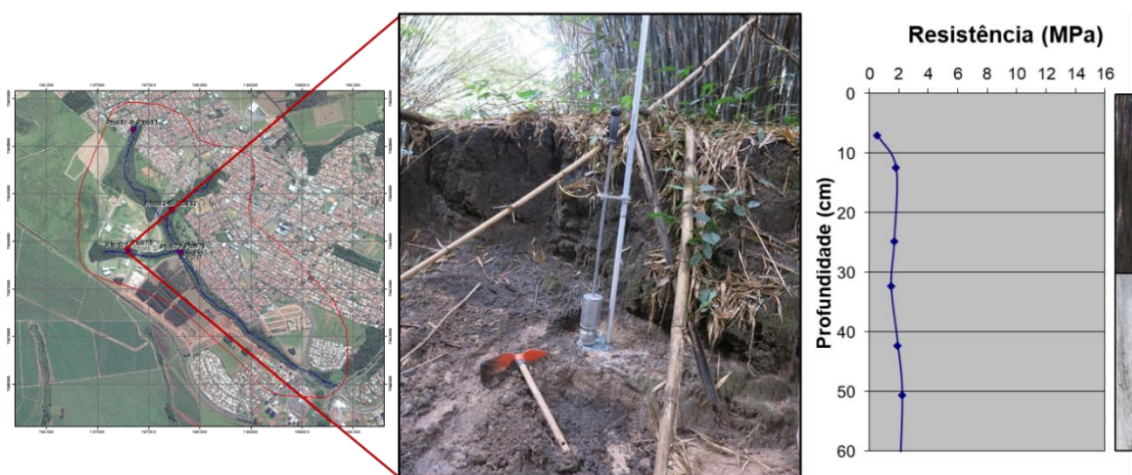
O material definido como “Hidromórfico”, encontrado em quase toda a extensão da várzea das drenagens da microbacia do córrego do Mineirinho, consiste de material coluvionar alterado pela ação da água do córrego, definido por outros autores que estudaram a área (AGUIAR, 1989; LORANDI, 1999) como “Material Hidromórfico” ou “Solo Hidromórfico”.

Importante ressaltar que este material, embora formado sob ação das águas, não se encontra atualmente no nível de inundação da várzea, mas aflora em meia encosta (nos terraços fluviais).

Esse material apresenta uma variação vertical de texturas e cores ao longo da sua extensão, que não foram mapeadas anteriormente e nem descritas detalhadamente. A camada mais superficial deste material é uma camada preta de alto conteúdo de matéria orgânica (Solo orgânico); abaixo ocorre uma camada branco-acinzentada com seixos esparsos, e na base uma camada inferior de material marrom claro-amarelado com poucos seixos.

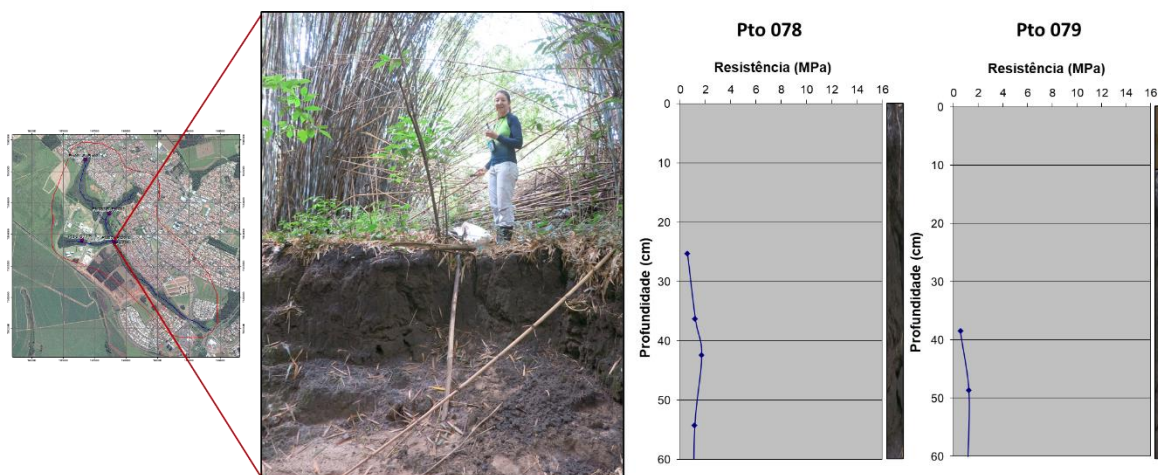
No primeiro ponto de ensaio de resistência à penetração, ponto 073 (Figura 57), testou-se esse material hidromórfico mais superficial, abrangendo as primeiras duas camadas (30cm de camada preta e 30 cm de camada cinza), de comportamento de baixa resistência à penetração, cujo resultado apresenta-se na Figura 59.

Figura 59- Ensaio de resistência à penetração no material “Hidromórfico”, testado no ponto 073. Com gráfico do resultado da resistência, expressado em MPa.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 60- Ensaio de resistência à penetração no material “Hidromórfico” nos pontos 078 e 079. Com gráficos dos resultados da resistência, expressado em Mpa.



Fonte: Elaborado pela autora.



Nos pontos 078 e 079, que são próximos e estão no mesmo afluente, foi testada a camada superficial preta do material hidromórfico, a qual comportou-se com baixa resistência à penetração, sendo que os primeiros 25cm, no ponto 078, foram penetrados só com o peso do aparelho, sem golpe algum; para o ponto 079 o aparelho perfurou quase 40cm da camada sem nenhum golpe. Resultados apresentados na Figura 60.

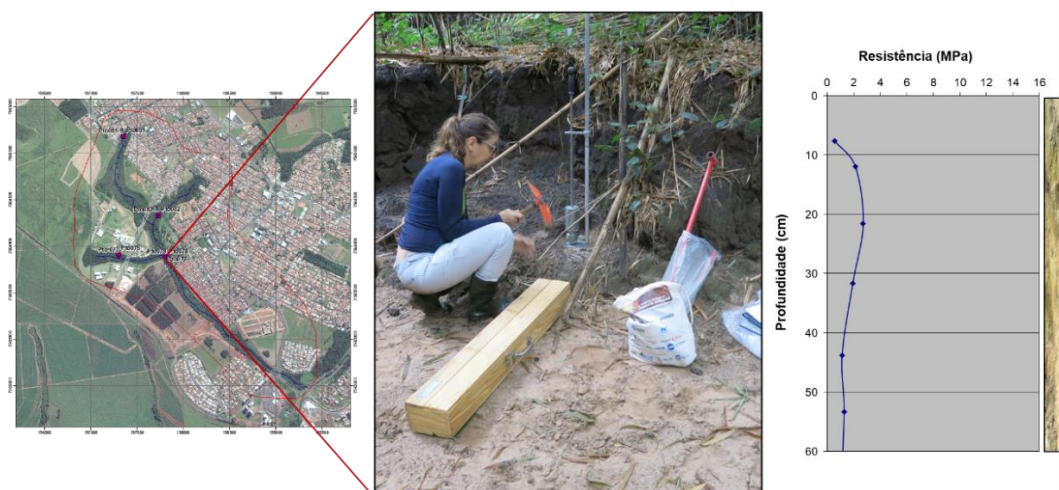
No ponto 081-B foi feito ensaio sobre a camada cinza deste material hidromórfico, que apresentou uma variação vertical notória na resistência à penetração (Figura 61), com resistência aumentando até 20 cm (7 MPa), e mais molhe no intervalo de 31 até 41 cm (3 MPa); seguindo-se novo incremento da resistência (7 MPa) até alcançar os 61 cm.

Figura 61- Ensaio de resistência à penetração na camada cinza do material “Hidromórfico” no ponto 081-B. Com gráfico do resultado da resistência, expressado em Mpa.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 62- Ensaio de resistência à penetração na camada base do material “Hidromórfico”, testado no ponto 077. Com gráfico do resultado da resistência, expressado em MPa.

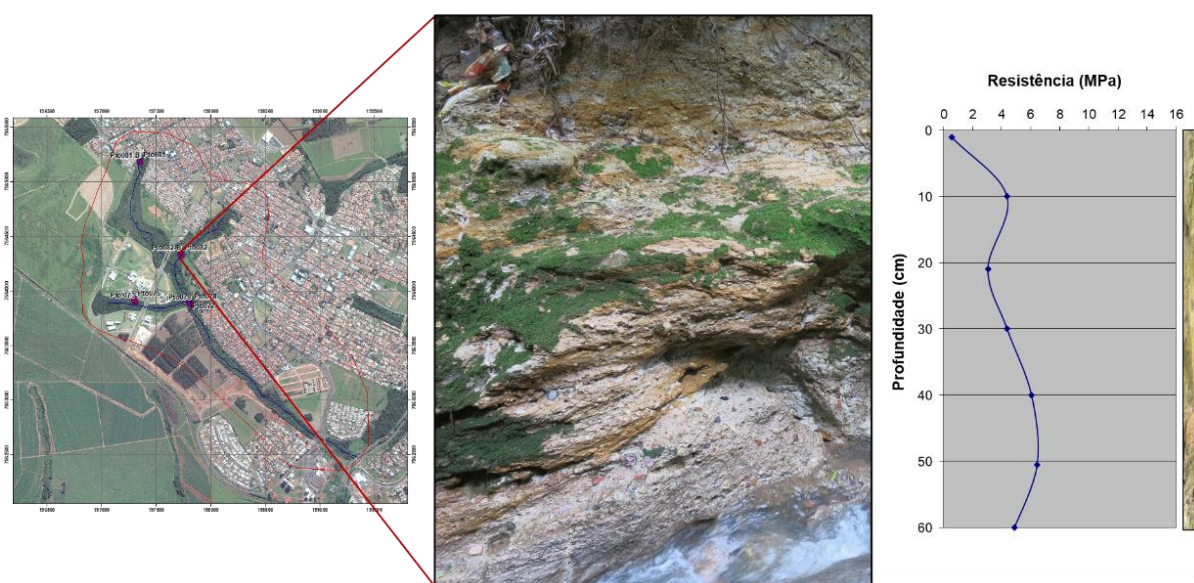


Fonte: Elaborado pela autora.

No ponto 077 testou-se a camada marrom claro-amarelado, correspondente à base do material hidromórfico; apresentou baixa resistência à penetração com variação de mais resistente a menos resistente ao longo dos 60 cm (Figura 62).

No ponto 082 (Figura 56) testou-se 60cm da camada da base do material hidromórfico, de tonalidade marrom-amarelada. Neste ponto o material apresentou um comportamento mais resistente que descrito anteriormente, alcançando até 6 Mpa nos últimos centímetros de profundidade onde há a presença de seixos (Figura 63).

Figura 63- Ensaio de resistência à penetração na camada base do material “Hidromórfico”, testado no ponto 082. Com gráfico do resultado da resistência, expressado em MPa.



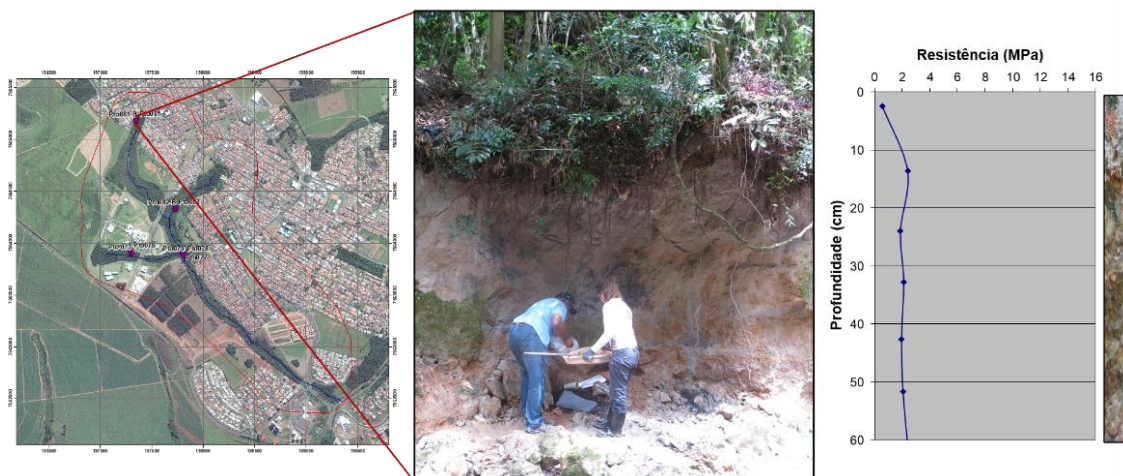
Fonte: Elaborado pela autora.

#### 5.5.1.1.3 Residual do Itaqueri

O material definido nesta pesquisa como “Residual do Itaqueri” é correlato com as camadas alternadas de material arenoso e argilo-arenoso, descritos por Ladeira (2001) como a Formação Itaqueri.

Esse material foi testado para obtenção da resistência à penetração nos pontos 081 e 082-B (Figura 57). No ponto 081 esse material residual apresentou-se mais fofo que no ponto 082-B, o que se traduz em menor resistência à penetração nesse primeiro ponto (Figura 64), sendo que o valor de maior resistência à penetração foi 2 MPa.

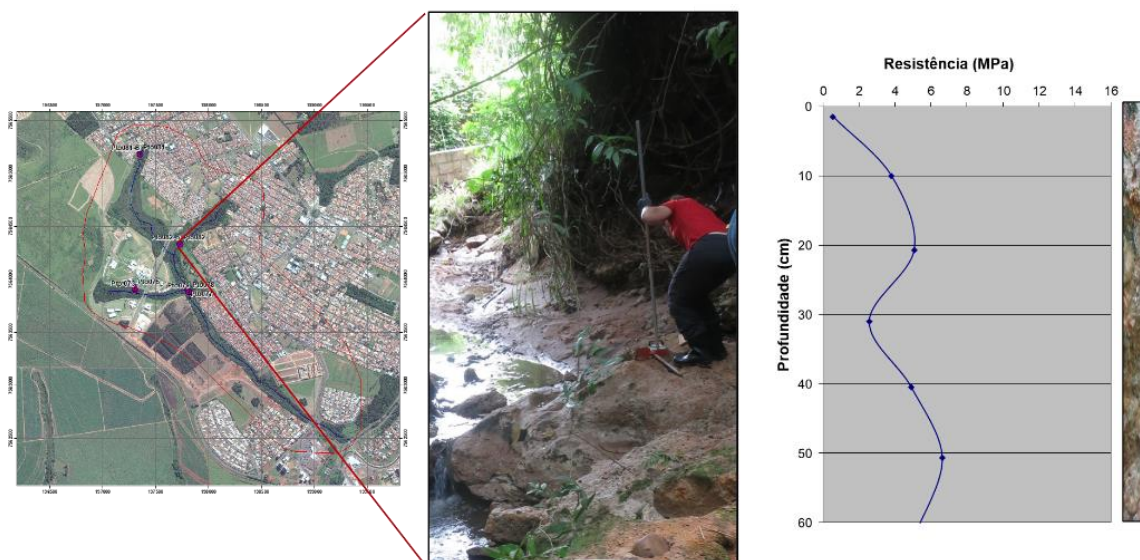
Figura 64- Ensaio de resistência à penetração do material “Residual do Itaqueri” no ponto 081. Com gráfico do resultado da resistência, expressado em MPa.



Fonte: Elaborado pela autora.

No ponto 082-B (Figura 65), mais a jusante e em afloramento próximo ao fundo do rio, observou-se uma fase mais resistente desse material, sendo 2 MPa o valor da resistência mínima apresentada, no trecho de 20 até 31 cm de profundidade, e 6 MPa a máxima.

Figura 65- Ensaio de resistência à penetração do material “Residual do Itaqueri”, no ponto 082-B. Com gráfico da resistência, expressado em MPa.



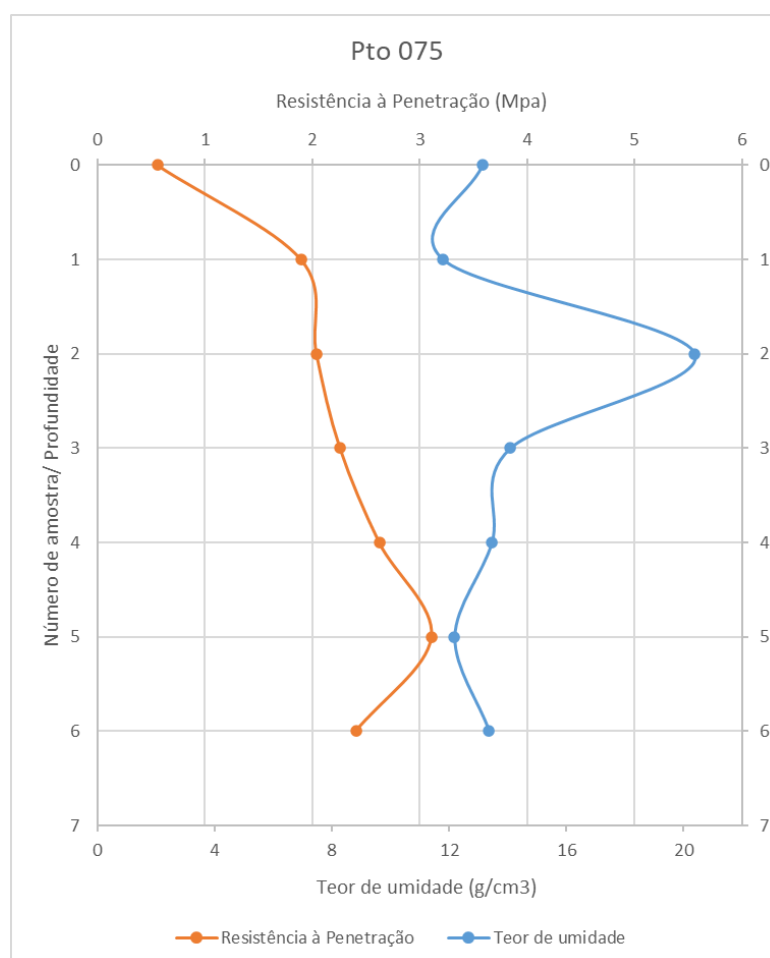
Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.5.2 Análises do comportamento da Resistência à Penetração em diferentes faixas de Umidade.

A umidade volumétrica do solo é um parâmetro importante na quantificação da resistência à penetração, pois há evidências em trabalhos prévios da elevada dependência dos resultados com relação ao conteúdo de água no solo. Tanto Hassam (1966), quanto Beltrame et al. (1981) e Vaz et al. (2002) verificaram que em solos granulares finos ocorre redução na resistência do solo à penetração para um aumento de umidade do solo. O teor de água intervém, modificando a coesão aparente entre as partículas do solo, que é maior no solo seco e decresce à medida que o teor de água aumenta, provocando a separação das partículas.

A seguir são apresentados, em ordem descendente respeito ao perfil litológico, os gráficos (Figuras 66 à 70) de variações da Resistência à Penetração (RP) com teor de umidade para os 09 pontos de ensaio, visando o estabelecimento da relação entre os dois fatores, considerando a condição de materiais fino nos solos de nossa região de estudo.

Figura 66- Gráfico de variação da resistência à penetração com a umidade, para o ponto 075, correspondente ao material coluvionar.

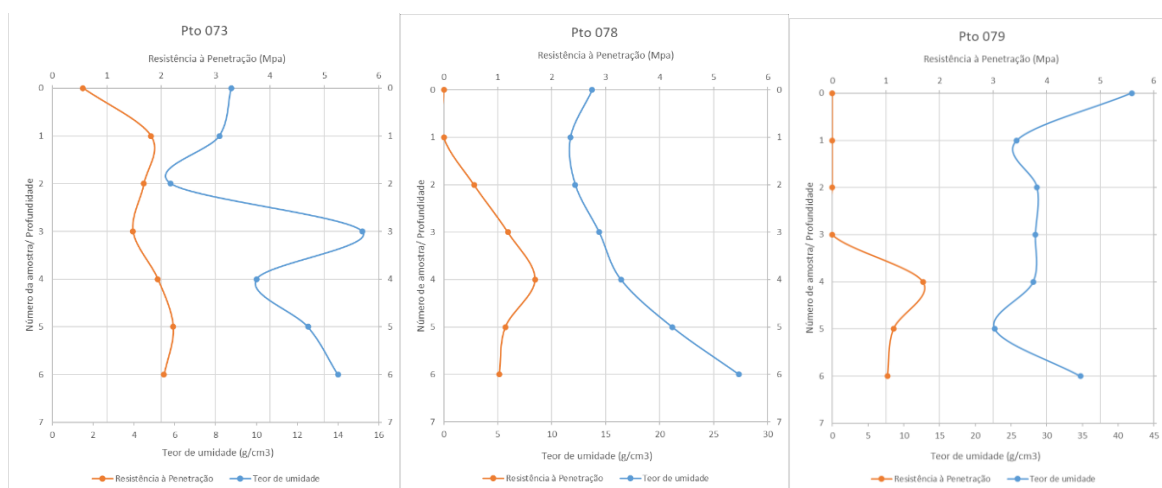


Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 67 foi feita a comparação entre 3 pontos de ensaio por possuir o mesmo material inconsolidado, camada de material “Hidromórfico preto” orgânico, em alguma fração de cada perfil. Para o ponto 073, a camada de material preto orgânico foi localizada nos primeiros 30 cm de profundidade; para o ponto 078 o material orgânico encontrou-se desde a superfície até o final do perfil; e no ponto 079, esse material foi identificado desde os 10 cm de profundidade.

O comportamento do material orgânico manteve-se inversamente proporcional (teor de umidade vs Resistência à penetração) nos 3 pontos; sendo que nos pontos 078 e 079, para mesmos valores de teor de umidade observou-se a mesma resistência à penetração.

Figura 67- Gráfico de variação da resistência à penetração com a umidade, para os pontos 073, 078 e 079 da camada de material hidromórfico preto

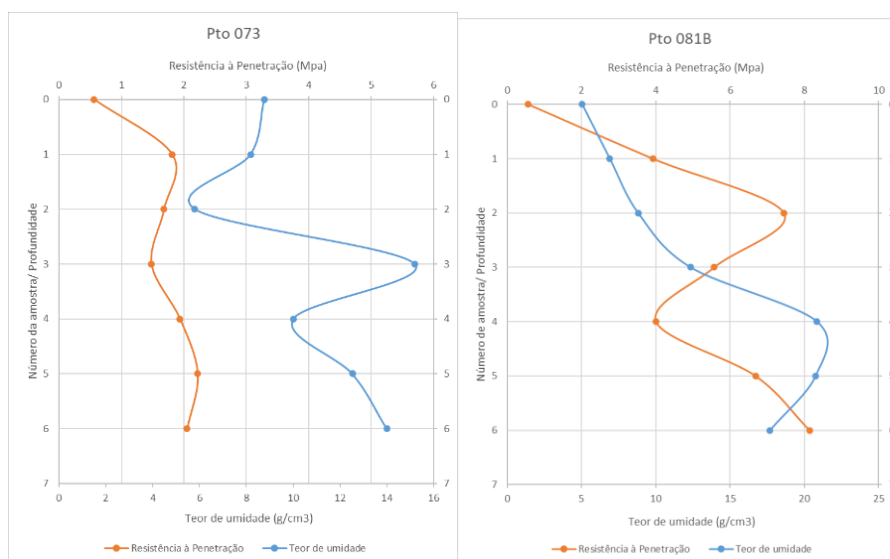


Fonte: Elaborado pela autora.

Na comparação feita com material hidromórfico cinza (Figura 68) entre os locais ensaiados, observou-se que nos pontos 073 (últimos 30 cm de profundidade) e 081B que se manteve a tendência inversamente proporcional entre o teor de umidade e a resistência à penetração, mas o material apresentou maior umidade e também maior resistência à penetração no ponto 081B.

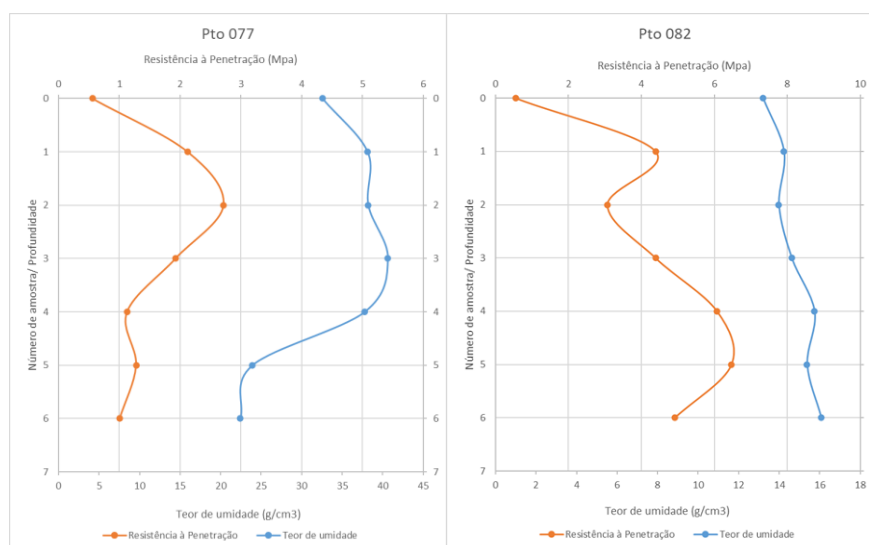
No material hidromórfico amarelado (Figura 69), no ponto onde o material apresentou maior teor de umidade (ponto 077) comportou-se com menor resistência à penetração em relação ao outro ponto (ponto 082) onde a umidade foi bem mais baixa.

Figura 68- Gráfico de variação da resistência à penetração com a umidade, para os pontos 073 e 081B, correspondente o material hidromórfico cinza.



Fonte: Elaborado pela autora.

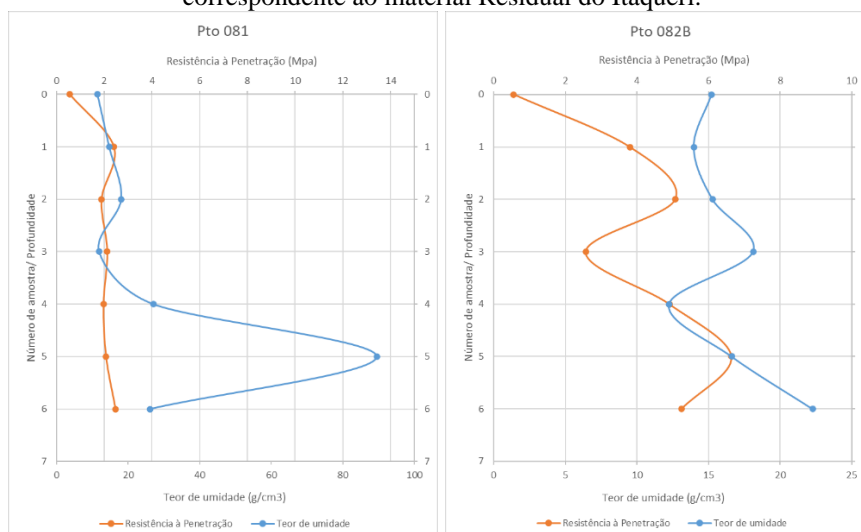
Figura 69- Gráfico de variação da resistência à penetração com a umidade, para os pontos 077 e 082, correspondente ao material hidromórfico amarelado.



Fonte: Elaborado pela autora.

Nos ensaios do material Residual da Formação Itaqueri (Figura 70) pode-se observar que no ponto 081 o material apresentou teor de umidade muito elevado ( $85\text{g/cm}^3$ ) que foi considerado como um erro de transcrição de dados não verificável, sendo ignorado na análise comparativa. Porém, mesmo que nos dos pontos avaliados o material mantivesse um teor de umidade relativamente parecido, o material comportou-se mais resistente no ponto 082B em relação ao ponto 081.

Figura 70- Gráfico de variação da resistência à penetração com a umidade, para os pontos 081 e 082B, correspondente ao material Residual do Itaqueri.



Fonte: Elaborado pela autora.

Como foi esperado, os gráficos apresentados nas Figuras 66 até 70 amostram que nos solos ensaiados, para maior teor de umidade os materiais comportam-se menos resistentes à penetração.

### 5.4.3 Umidade higroscópica, identificação visual-tátil e ensaio granulométrico dos solos.

As amostras coletadas em campo foram levadas para caracterização laboratorial realizada entre os meses de dezembro do ano 2019 e abril de 2020. A temperatura média mensal para a última década variou entre 22,4 °C (no mês de abril) e 24,9 °C (no mês de janeiro), segundo dados do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO, 2020); esta informação é relevante para a determinação da umidade higroscópica dos materiais.

Para cada amostra coletada durante o ensaio Resistência à Penetração (a cada 10 cm), assim como para as amostras maiores adquiridas para o ensaio de Análises Granulométrica, foi feita a identificação visual e tátil, assim como o cálculo de umidade higroscópica (Anexo 2).

A determinação das distribuições granulométricas dos solos (materiais inconsolidados), foi realizada ensaiando separadamente as frações finas e grossas de cada amostra de acordo com as normas ABNT. As frações finas foram submetidas a análise granulométrica por sedimentação e as frações grossas foram submetidas à análise granulométrica por peneiramento.

A partir do reconhecimento em campo o perfil litológico com diferenciação de 5 camadas, procedeu-se a coleta de amostras de cada uma das camadas em distintos pontos da microbacia, para ensaios laboratoriais.

## 5.4.3.1 Ponto 073.

No primeiro ponto de sondagem, ensaio e coleta de amostra foram observadas duas camadas; a primeira camada foi identificada visualmente como “*Solo Orgânico Preto*”, de textura silto-argilosa com 40 cm de espessura. Nos seguintes 20 cm foi identificada camada siltosa com pouca argila de coloração cinza (Quadro 6).

Quadro 6 – Classificação do solo no ponto 073, segundo teste visual e tátil.

PONTO GPS	AMOSTRAS	Perfil	CLASSIFICAÇÃO
073	0, 1, 2 e 3		Solo orgânico preto silto-argiloso
	4, 5 e 6		Solo cinza, siltoso com Argila

Fonte: Elaborado pela autora.

## 5.4.3.2 Ponto 075.

Neste ponto o material coletado foi dividido também em duas camadas; nos primeiros 50 cm tratou-se de um solo silto-argiloso marrom, e nos últimos 10 cm foi observado o mesmo material cinza do ponto anterior, com textura ligeiramente mais grossa, arenosa com argila (Quadro 7).

Quadro 7 – Classificação do solo no ponto 075, segundo teste visual e tátil.


PONTO GPS	AMOSTRAS	Perfil	CLASSIFICAÇÃO
075	0, 1, 2,3 e 4		Solo marrom, silto-argiloso
	5 e 6		Solo cinza, arenoso com Argila

Fonte: Elabora do pela autora.

## 5.4.3.3 Ponto 077.

No ponto 077 o material observado nos 60 cm coletados foi bem homogêneo de coloração marrom amarelada e textura siltosa, com traços de areia e argila nos últimos 20 cm (Quadro 8).

Quadro 8 – Classificação do solo no ponto 077, segundo teste visual e tátil.

PONTO GPS	AMOSTRAS	Perfil	CLASSIFICAÇÃO
077	0, 1, 2,3 e 4		Solo marrom amarelado, siltoso
	5 e 6		Solo marrom amarelado, siltoso com areia e argila

Fonte: Elaborado pela autora.



## 5.4.3.4 Ponto 078.

Neste local os 60 cm de material coletado corresponderam ao solo orgânico preto, que neste ponto teve comportamento mais homogêneo que no ponto 073, com textura predominantemente argilosa com silte ao longo do perfil (Quadro 9).

Quadro 9 – Classificação do solo no ponto 078, segundo teste visual e tátil.



PONTO GPS	AMOSTRAS	Perfil	CLASSIFICAÇÃO
078	0, 1, 2,3,4, 5 e 6		Solo orgânico preto, argiloso com silte

Fonte: Elaborado pela autora.

## 5.4.3.5 Ponto 079.

No ponto 079, obteve-se uma primeira amostra de 10 cm (amostra 0) correspondente ao material silto-argiloso marrom superficial descrito nas primeiras 4 amostras de ponto 075. Os seguintes 50 cm do perfil corresponderam ao solo orgânico preto de textura argilosa pouco silte, semelhante às amostras do ponto 077. O resultado obtido é apresentado no Quadro 10.

Quadro 10 – Classificação do solo no ponto 079, segundo teste visual e tátil.


PONTO GPS	AMOSTRAS	Perfil	CLASSIFICAÇÃO
079	0		Solo marrom, silto-argiloso
	1,2,3,4, 5 e 6		Solo orgânico preto, argiloso com silte

Fonte: Elaborado pela autora.

## 5.4.3.6 Ponto 081.

Neste ponto coletou-se 60 cm de material da camada marrom clara, descrita no ponto 077, que apresentou uma consistência mais mole neste local, mais coesiva e de textura mais argilosa (Quadro 11) do que anteriormente classificada; identificou-se uma intercalação de material areio-argiloso com um intervalo mais argilosa.

Quadro 11 – Classificação do solo no ponto 081, segundo teste visual e tátil.

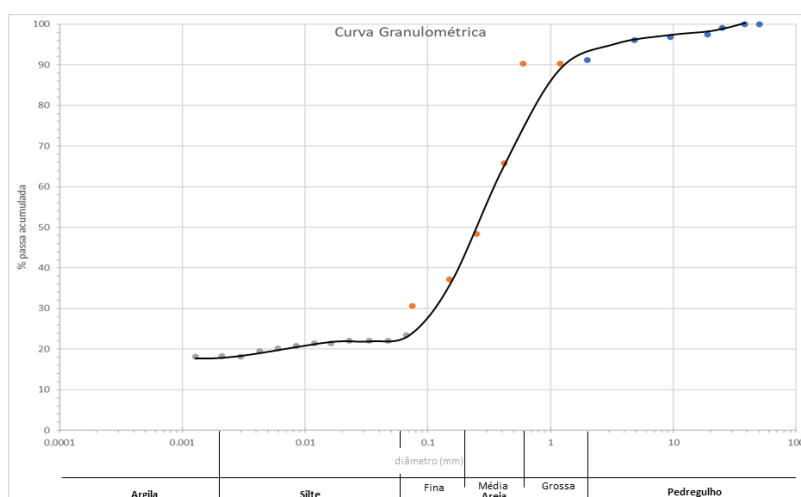
PONTO GPS	AMOSTRAS	Perfil	CLASSIFICAÇÃO
081	0, 1 e 2		Solo marrom claro, arenoso com argila
	3 e 4		Solo marrom claro, areno-argiloso
	5 e 6		Solo marrom claro, arenoso com argila

Fonte: Elaborado pela autora.

Para a realização do ensaio granulométrico em cada um dos trechos diferenciados foram coletadas amostras maiores de cada camada, de aproximadamente 5kg.

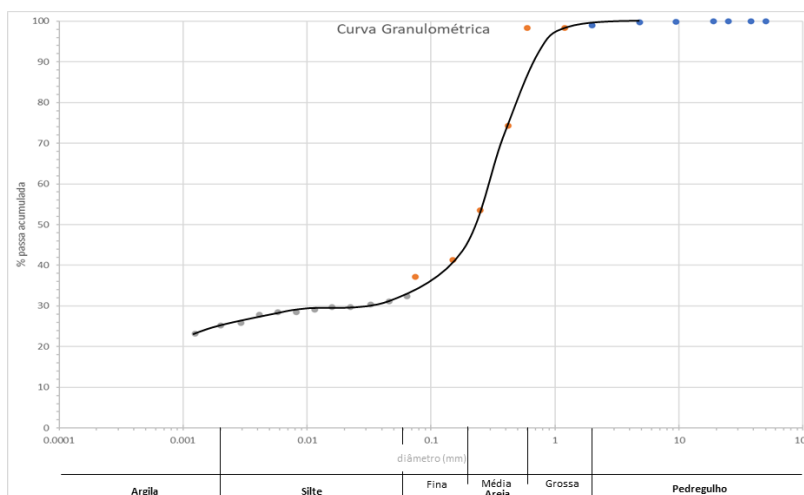
Nos primeiros 20 cm (amostras 0, 1 e 2) a camada apresentou: areia média (48%), areia fina (20%), argila (18%), pedregulho (10%) e silte (4%) (Figura 71), sendo classificada como *areia argilosa com silte e pedregulhos*. A camada de 20 a 40 cm apresentou: areia média (53%), areia fina (14%), argila (25%), silte (7%), areia grossa (1%) e pedregulho (1%) (Figura 72), classificada como *areia argilosa*. O último segmento do perfil (amostras 5 e 6) apresentou: areia média (51%), areia fina (15%), argila (22%), silte (8%), areia grossa (3%) e pedregulho (1%) (Figura 73), sendo classificado também como *areia argilosa com silte*. Foi possível evidenciar uma variação vertical da porcentagem de argilas nas amostras trabalhadas.

Figura 71- Curva granulométrica para amostra P081-0.



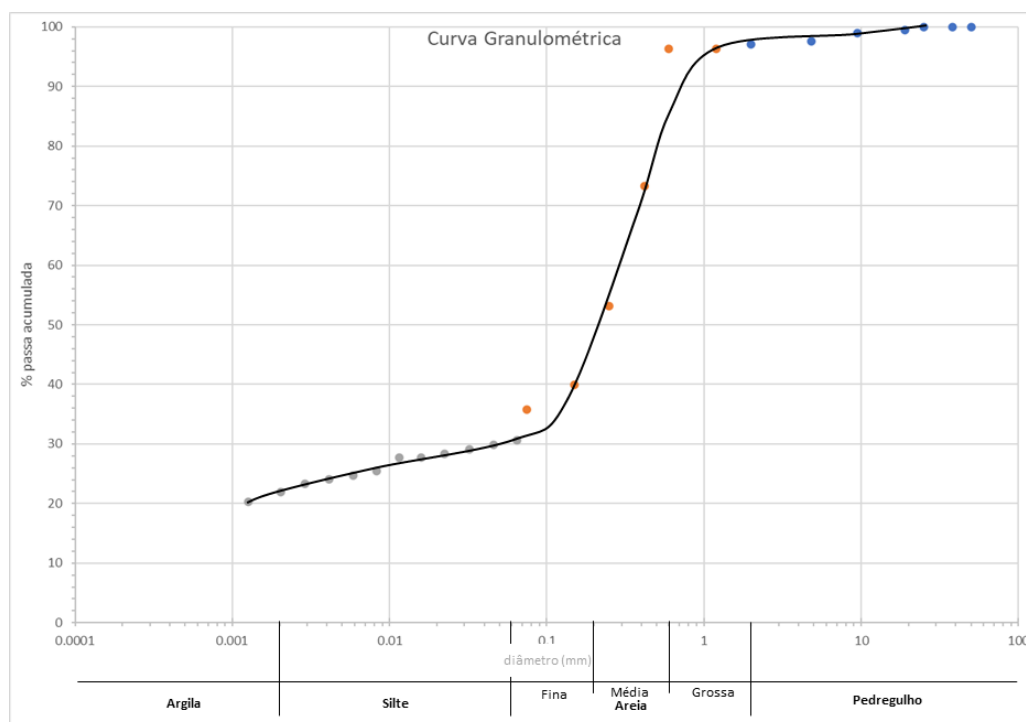
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 72- Curva granulométrica para amostra P081-1.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 73- Curva granulométrica para amostra P081-2.



Fonte: Elaborado pela autora.

#### 5.4.3.7 Ponto 081-B.

O ponto 081-B encontra-se frente ao ponto 081, na outra margem do córrego.

Nele coletou-se uma amostra do solo orgânico preto de textura predominantemente argilosa (Quadro 14) denominada amostra “P081-B acima”. Esse material não foi ensaiado *in-situ*, devido à instabilidade do talude, mas foi coletada amostra única de aproximadamente 5 kg, destinada para o ensaio de granulometria.

Também se coletou e ensaiou o material da camada subsequente cinza que abarcou os 60 cm de perfil (Quadro 12). Ela tratou-se de uma camada homogênea de textura areno-argilosa.

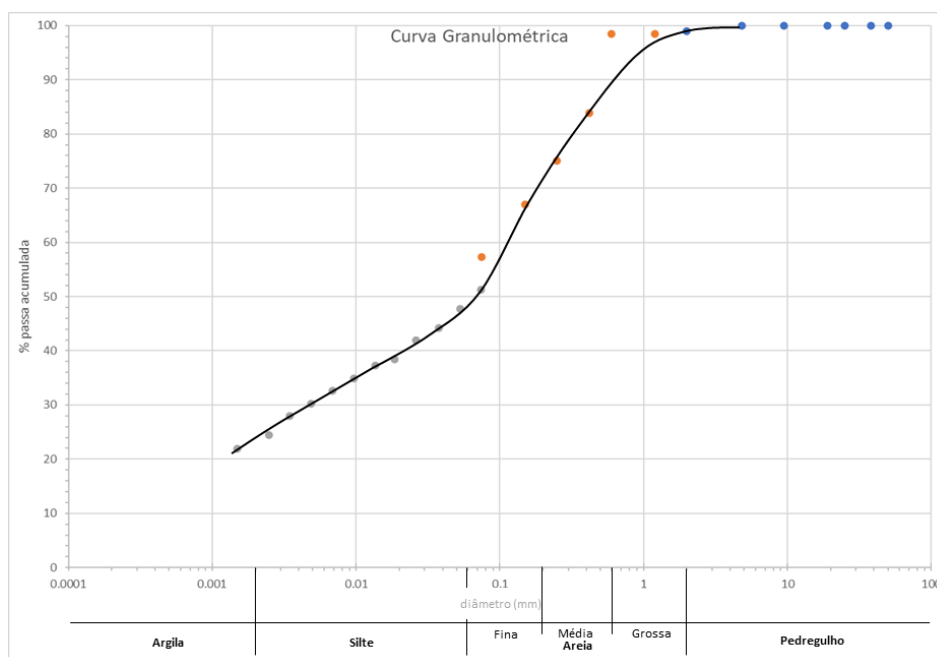
Quadro 12 – Classificação do solo das amostras coletadas no ponto 081-B, segundo teste visual e tátil.

PONTO GPS	AMOSTRAS	Perfil	CLASSIFICAÇÃO
081-B	081-B acima		Solo orgânico preto, argilo-arenoso
	0, 1, 2, 3, 4, 5 e 6		Solo cinza, areno-argiloso

Fonte: Elaborado pela autora.

O ensaio granulométrico para a amostra “P081-B acima” apresentou a seguinte distribuição percentual: Areia média (23.4%), areia fina (27.6%), silte (24%), argila (23.6%), areia grossa (1.5%) e pedregulhos (0.5%) (Figura 74); resultando uma **areia silto-argilosa**.

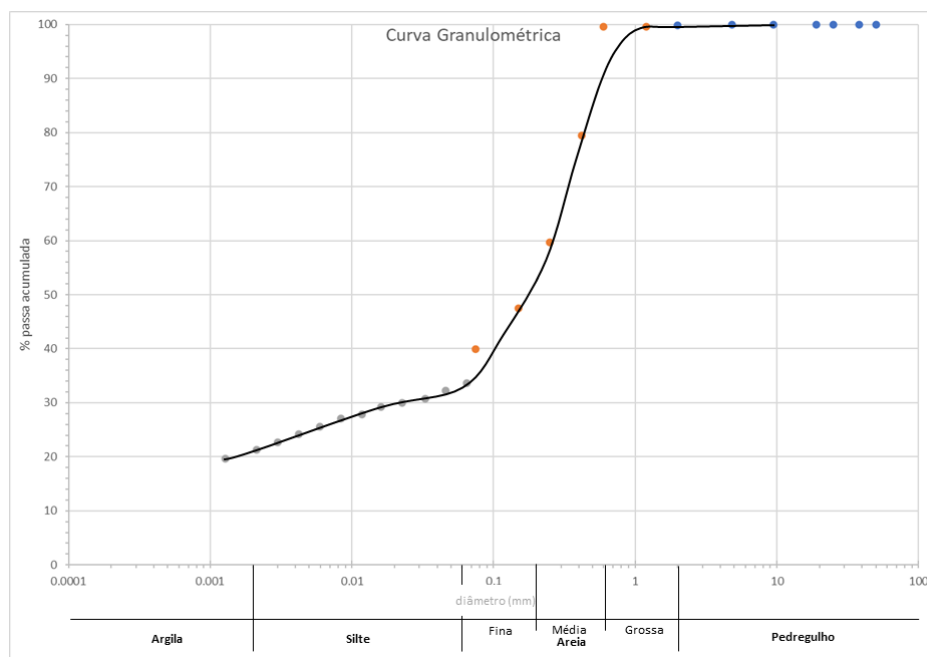
Figura 74 - Curva granulométrica para amostra P081B acima.



Fonte: Elaborado pela autora.

No caso da camada de material cinza o ensaio granulométrico esse material obteve a seguinte distribuição percentual: areia média (51,63%), areia fina (18%), argila (21%), silte (9%) e areia grossa (0,34%) e pedregulho (0,03%) (Figura 75); foi classificado como **areia argilosa com silte**.

Figura 75- Curva granulométrica para amostra P081B-0




Fonte: Elaborado pela autora.

## 5.4.3.8 . Ponto 082.

Neste ponto achou-se a mesma camada marrom amarelada descrita no ponto 077, de textura aparentemente variável entre areia silto-argilosa e areia mais grossa com silte e argila (Quadro 13). Sendo coletadas 2 amostras deste material para o ensaio granulométrico.

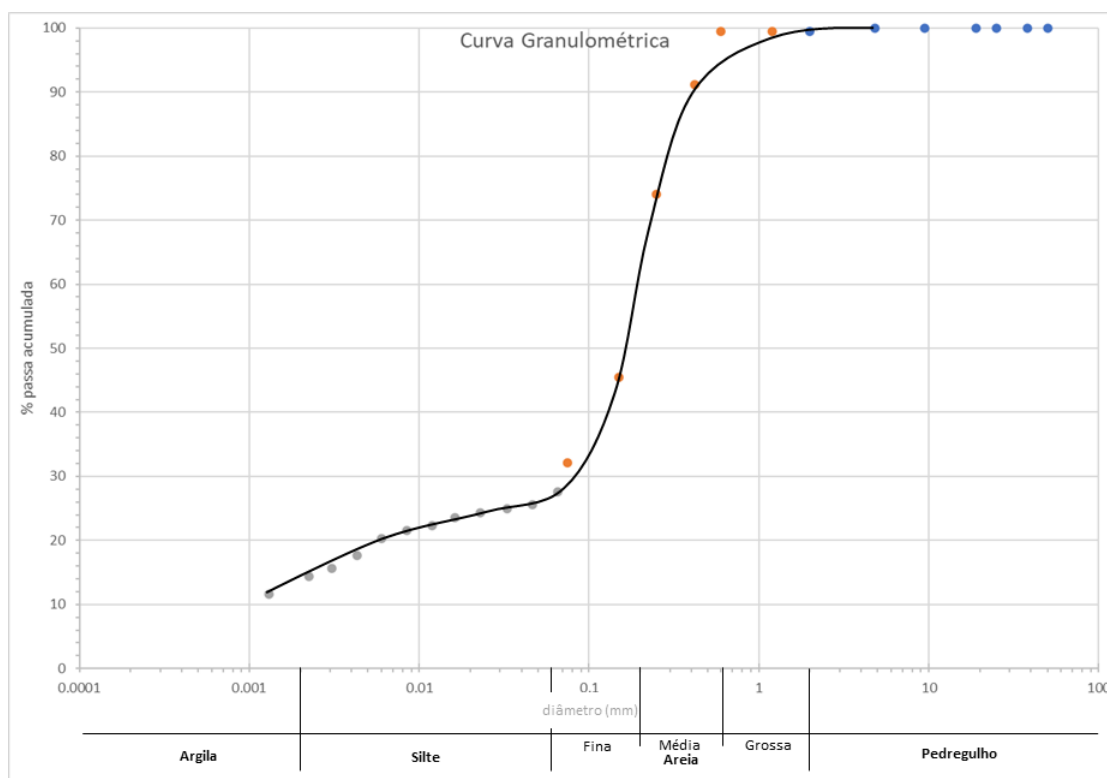
Tabela 13 – Classificação do solo da amostra 082, segundo teste visual e tátil.

PONTO GPS	AMOSTRAS	Perfil	CLASSIFICAÇÃO
082	0,1 e 2		Solo marrom amarelado, areia silto-argilosa
	3, 4, 5 e 6		Solo marrom amarelado, arenoso grosso com silte e argila.

Fonte: Elaborado pela autora.

Foram feitos ensaios granulométricos de 2 amostras desse material (amostras P082-0 e P082-3), que apresentaram variações texturais táteis. Sendo que no primeiro trecho de 20 cm a distribuição granulométrica ficou da seguinte maneira: areia média (40%), areia fina (33%), silte (14%) e argila (13%), (Figura 76); ficando dentro da classificação com uma **areia silto-argilosa**.

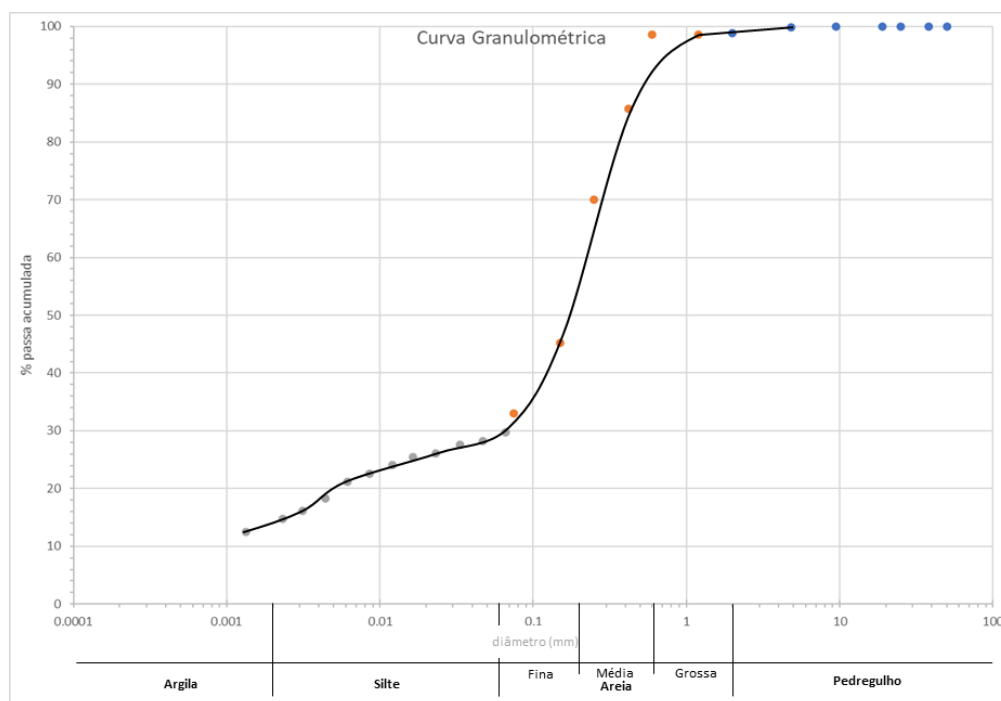
Figura 76- Curva granulométrica para amostra P082-0.



Fonte: Elaborado pela autora.

Para o segundo trecho, desde os 20 cm até os 60 cm, a distribuição do ensaio granulométrico ficou da seguinte maneira: areia média (40%), areia fina (29%), silte (15%), argila (14%), areia grossa (1,5%) e pedregulhos (0,5%) (Figura 77); resultando também uma *areia silto-argilosa*, com maior porcentagem relativa de areia média do que fina, o que poderia explicar a aparência textural diferente, de um respeito à outra.

Figura 77- Curva granulométrica para amostra P082-3.




Fonte: Elaborado pela autora.

#### 5.4.3.9 Ponto 082-B.

No ponto 082-B, locado ao lado do ponto 082, coletou-se 60 cm de amostras do material marrom claro semelhante ao descrito no ponto 081. Neste local, o material apresentou intercalação de um material arenoso mais argiloso (areia argilo-siltosa) no topo e na base do perfil, sendo que na parte intermediária o material apresentou-se mais siltoso (areia, silto-argilosa) (Quadro 14).

Quadro 14 – Classificação do solo no ponto 082B, segundo teste visual e tátil.

PONTO GPS	AMOSTRAS	Perfil	CLASSIFICAÇÃO
082-B	0, 1 e 2		Solo marrom claro, areia argilo-siltosa
	3 e 4		Solo marrom claro, areia silto-argilosa
	5 e 6		Solo marrom claro, areia argilo-siltosa

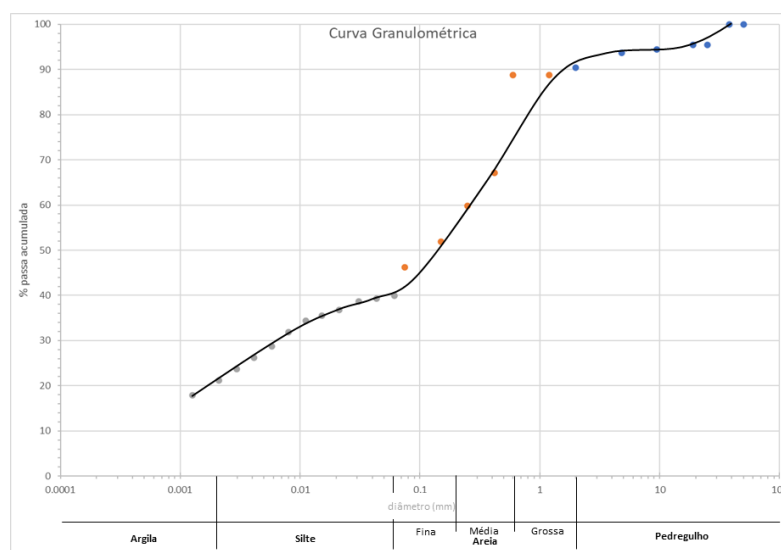
Fonte: Elaborado pela autora.

Neste ponto, foram coletadas 2 amostras deste material para ensaio granulométrico.

Na primeira amostra ensaiada (amostra 082B-2) correspondente aos primeiros 20 cm do perfil, a distribuição granulométrica foi a seguinte: areia média (31%), areia fina (18%), argila (22%), silte (18%), pedregulho (9%) e areia grossa (2%) (Figura 78); resultou a classificação **areia silto-argilosa com pedregulhos**.

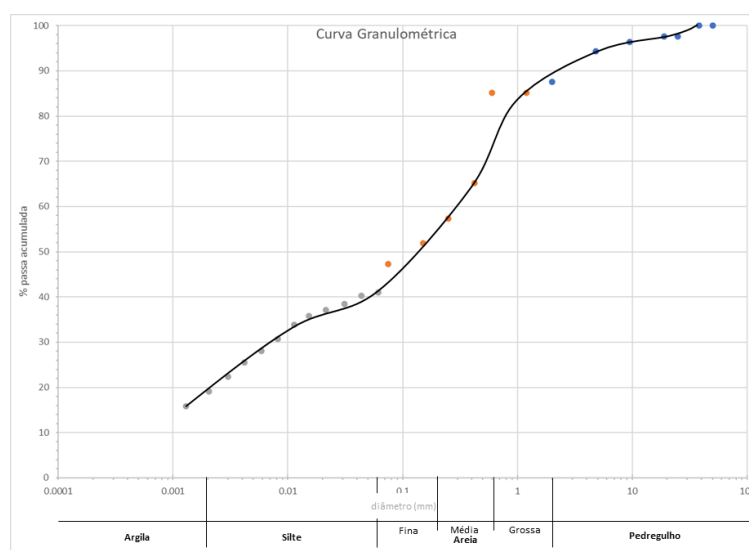
Na amostra (082B-3) coletada entre 30 e 50 cm de profundidade, o material apresentou maior porcentagem de pedregulhos (11%) e menor porcentagem de argilas (19%), do que a anterior, e foi classificado como **areia argilo-siltosa com pedregulhos** (Figura 79).

Figura 78 - Curva granulométrica para amostra P082B-2.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 79 Curva granulométrica para amostra P082B-3.








Fonte: Elaborado pela autora.

#### 5.4.4 Massa específica dos materiais.

Um outro aspecto interessante na caracterização dos materiais inconsolidados foi a diferença respectiva da massa específica dos grãos ( $\gamma_s$ ) tanto ao longo de uma mesma camada, quanto de materiais de uma mesma granulometria em camadas diferentes, sendo que uns resultaram mais densos que outros (Quadro 15).

Quadro 15- Valores de massa específica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) para cada amostra de material ensaiado.

Fonte: Elaborado pela autora.

Perfil litológico	Ponto 081			Ponto 082		
	Amostra	Textura	$\gamma_s$ ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )	Amostra	Textura	$\gamma_s$ ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )
	<b>081B-ACIMA</b>	Areia silto-argilosa, com matéria orgânica	23,73			
	<b>081B-0</b>	Areia argilosa com silte	27,65			
				<b>082-0</b>	Areia silto-argilosa	28,43
				<b>082-3</b>	Areia silto-argilosa	27,75
	<b>081-0</b>	Areia argilosa com silte e pedregulhos	27,95	<b>082B-2</b>	Areia silto-argilosa com pedregulhos.	28,04
	<b>081-1</b>	Areia argilosa	28,24	<b>082B-3</b>	Areia argilo-siltosa com pedregulhos	28,04
	<b>081-2</b>	Areia argilosa	28,64			

#### 5.5 INTEGRAÇÃO DA INFORMAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

Neste tópico é apresentada a integração da informação geológico-geotécnica reunida (compilada e gerada) neste trabalho de investigação, para cada um dos materiais inconsolidados reconhecidos na área de estudo. Sendo que estas informações foram obtidas dos ensaios de resistência à penetração e granulometria próprios de esta pesquisa, dos relatórios de sondagens SPT fornecidos por distintas instituições e dos ensaios geotécnicos executados por Aguiar (1989).

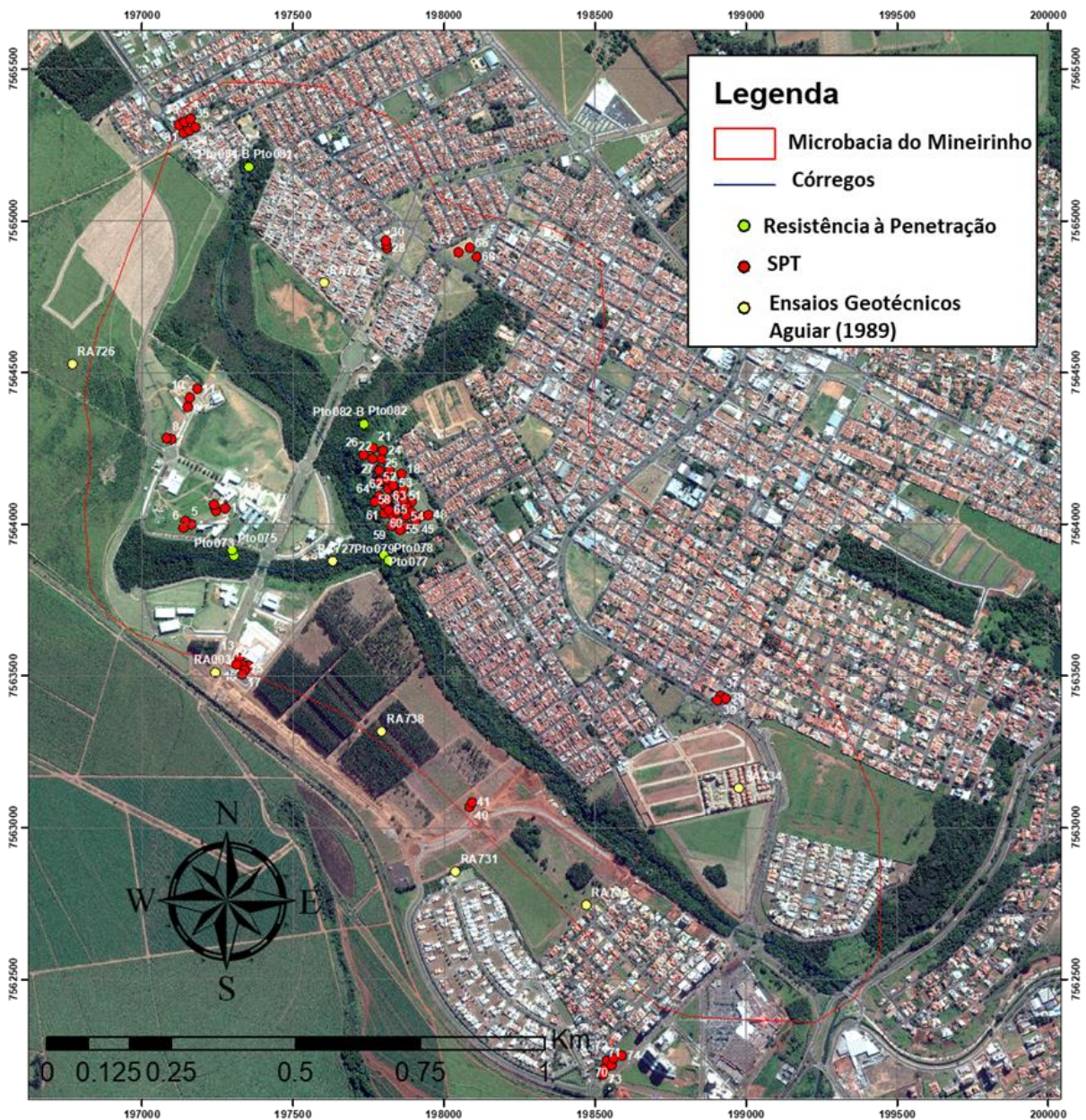
Para cada uma das unidades de materiais inconsolidados definidos anteriormente, gerou-se uma tabela que agrupa os dados de todos os ensaios desenvolvidos (Tabelas 8 à 19); com o



objetivo de demarcar valores médios dos parâmetros geotécnicos de resistência à penetração, densidade relativa do solo, coesão e ângulo de atrito, para cada material.

A seguir proporciona-se o mapa de locação dos ensaios avaliados neste capítulo (Figura 80).

Figura 80- Mapa de locação dos pontos de ensaios geológicos-geotécnicos disponíveis na região da microbacia do córrego Mineirinho.



Fonte: Elaborado pela autora.

Deve-se lembrar que para o cálculo dos valores de “Resistencia à Penetração” e “Parâmetros Geotécnicos”, seguiram-se as equações e coeficientes de correlação citadas no tópico 4.2.3.4.1.

### 5.5.1 Resultados dos ensaios de caracterização do Material Coluvionar.

Tabela 17- Resultados dos ensaios de caracterização do Material Coluvionar.

Ponto	Cota do furo (m)	Profundidade (m)	Granulometria ABNT (%)						Teor de umidade (%)	Nspt			Resistência à Penetração (MPa)	Parâmetros Geotécnicos		
			P.	A.G.	A.M.	A.F.	S.	A.		Min	Medio	Max		C <sub>u</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	φ (°)	γ (kN/m <sup>3</sup> )
Pto 075	841	0-0,03							13.13				0.56			
		0.03-0.138							13.13				1.90			
		0.138- 0.231							11.79				2.04			
		0.213- 0.312							20.39				2.26			
		0.312- 0.412							14.09				2.63			
		0.412- 0.52							13.46				3.11			
1	841,87	0-4,52								2	2	2	1	20	28.8	18
2	842,27	0-3,6								1	1.5	2	1	15	28.6	18
3	843,00	0-5,82								1	1	1	0.5	10	28.4	18
4	841,20	0-3,35								1	1.5	2	0.75	15	28.6	18
5	842,08	0-2,95								1	1	1	0.5	10	28.4	18
6	840,74	0-2,85								1	1	1	0.5	10	28.4	18
7	849,86	0-5,00								1	1.5	2	0.75	15	28.6	18
8	850,11	0-5,73								2	2	2	1	20	28.8	18
9	848,10	0-5,83								1	1.5	2	0.75	15	28.6	18
10	847,34	0-5,59								1	1.5	2	0.75	15	28.6	18
11	846,05	0-5,44								1	2	3	1	20	28.8	18
12	842,40	0-3,50								2	2.5	3	1.25	25	29	18
13	842,56	0-2,60								1	1.5	2	1	15	28.6	18
14	843,20	0-2,80								1	1	1	0.5	10	28.4	18
15	843,88	0-3,5								1	2	3	1	20	28.8	18
16	844,02	0-3,00								1	1.5	2	0.75	15	28.6	18
17	844,80	0-3,80								1	1.5	2	0.75	15	28.6	18
18	834,67	0,98-5,30								2	2	2	1	20	28.8	18
19	831,86	0-1,95								1	1	1	0.5	10	28.4	18
20	831,40	0-1,80								0	1	2	0.75	10	28.4	18
21	832,60	0-1,85								0	1	2	0.75	10	28.4	18
22	829	0,40-1,90								0	0	0	0.5	0	28	18
24	830,90	0-4,90								2	2	2	1	20	28.8	18

25	830,14	0-4,90							0	1	2	1	10	28.4	18
28	801,18	0,17-1,60							2	2	2	1	20	28.8	18
29	801,65	0,05-1,82							2	2	2	1	20	28.8	18
30	802,19	0,12-2,29							2	2	2	1	20	28.8	18
31	856,08	0-4,90							1	2	3	1	20	28.8	18
32	856,37	0-4,10							1	1.5	2	1	15	28.6	18
33	856,41	0-4,6							1	2	3	1	20	28.8	18
34	856,81	0-6,00							1	3	5	1.5	30	29.2	18
35	857,44	0-4,50							2	3	4	1.5	30	29.2	18
36	857,03	0-4,60							5	8	11	4	80	31.2	18
37	841,49	0-8,55							0	2.5	5	1.75	25	29	18
38	842,03	0-8,57							0	4	8	2.5	40	29.6	18
39	841,05	0-7,80							0	3	6	2	30	29.2	18
40	845,25	0-8,73							0	4	8	2.5	40	29.6	18
41	850,9	0-6,30							2	2.5	3	1.25	25	29	18
42	848	0,50-6,75							2	2	2	1	20	28.8	18
43	841,75	0-6,95							1	2	3	1	20	28.8	18
44	846,73	0,95-6,40							1	2.5	4	1.25	25	29	18
45	826,73	0-6,02							0	2.5	5	1.75	25	29	18
46	814,73	0,95-4,30							1	2.5	4	1.25	25	29	18
47	826,73	1,35-4,55							2	3	4	1.5	30	29.2	18
48	803,25	1,15-4,65							2	2.5	3	1.25	25	29	18
49	835,37	0-4,80							0	1.5	3	1	15	28.6	18
50	833,33	0-4,70							0	1.5	3	1	15	28.6	18
51	833,81	0-4,85							0	1.5	3	1	15	28.6	18
52	833,88	0-4,60							0	1	2	1	10	28.4	18
53	831,88	0-4,70							0	1	2	1	10	28.4	18
54	832,51	0-4,80							0	2	4	1.5	20	28.8	18
55	832,50	0-4,70							0	1	2	1	10	28.4	18
56	831,68	0-3,80							0	1	2	1	10	28.4	18
57	832,27	0-4,70							0	2.5	5	1.75	25	29	18
58	832,04	0-4,60							0	1	2	1	10	28.4	18
59	829,80	0-4,80							0	2	4	1.5	20	28.8	18
60	830,98	0-3,70							0	1.5	3	1	15	28.6	18
61	828,37	0-5,70							0	2.5	5	1.75	25	29	18
62	828,60	0-2,50							0	1	2	1	10	28.4	18
63	829,13	0-4,55							0	1	2	1	10	28.4	18

64	826,05	1,60-2,80								0	2	4	1.5	20	28.8	18
65	826,48	0-2,80								0	1	2	1	10	28.4	18
66	827,21	0-3,70								0	2	4	1.5	20	28.8	18
67	825,87	0-2,90								0	1	2	0.75	10	28.4	18
68	826,27	0-1,70								0	1	2	1	10	28.4	18
69	826,77	0-2,60								0	1	2	0.75	10	28.4	18
70	824,30	0-1,75								0	1.5	3	1.25	15	28.6	18
71	823,71	0-2,70								0	1	2	0.75	10	28.4	18
72	824,66	0-3,60								0	1	2	1	10	28.4	18
73	863,61	0-2,80								0	1	2	0.75	10	28.4	18
74	861,27	0-3,55								2	2	2	0.75	20	28.8	18
75	864,07	0-3,15								2	2.5	3	1.25	25	29	18
RA003		0- 0.80	0.0	0.0	15.9	44.9	6.3	32.9	8.7							
RA724		0- 0.80	0.0	0.1	14.5	47.0	17.3	21.1	10.8							
RA726		0- 0.80	0.0	0.0	15.5	48.1	17.3	21.1	12.3							
RA727		0- 0.80	0.0	0.1	28.3	42.1	8.7	20.5	9.2							
RA731		0- 0.80	0.0	0.1	13.0	54.6	10.9	21.4	8.8							
RA734		0- 0.80	0.0	0.1	13.6	46.1	20.0	20.2	11.4							
RA736		0- 0.80	0.0	0.1	13.4	40.0	13.5	33.1	11.4							
RA738		0- 0.80	0.0	0.1	15.8	55.2	6.9	22.0	7.2							

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 18- Valor médio de parâmetros geotécnicos para o material inconsolidado Coluvionar.

Classificação SUCS	Resistência à Penetração (MPa)	Parâmetros Geotécnicos		
		$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
Areia (fina a media) argilo-siltosa	1.875	20	29	18

Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.5.2 Resultados dos ensaios de caracterização do material “Hidromórfico Preto”.

Tabela 19 - Resultados dos ensaios de caracterização do material Hidromórfico Preto.

Ponto	Cota do furo (m)	Profundidade (m)	Granulometria ABNT (%)						Teor de umidade (%)	Nspt			Resistência à Penetração (MPa)	Parâmetros Geotécnicos		
			P.	A.G.	A.M.	A.F.	S.	A.		Min.	Médio	Máx.		C <sub>u</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	φ (°)	γ (kN/m <sup>3</sup> )
073	846	0-0.07							0.76				0.56			
		0.07-0.125							8.76				1.81			
		0.125- 0.248							8.13				1.68			
		0.248- 0.323							5.81				1.48			
078	816	0-0.253							41.91				0.56			
		0.253- 0.363							25.81				1.19			
		0.363- 0.424							28.66				1.69			
		0.424- 0.543							28.41				1.14			
		0.543- 0.69							28.10				1.03			
079	817	0-0.385							32.56				0.56			
		0.385- 0.487							38.14				1.24			
		0.487- 0.602							38.23				1.16			
081B	800	0	0.5	1.5	23.4	27.6	24	23.6	17.47							

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 20- Valor médio de parâmetros geotécnicos para o material inconsolidado Hidromórfico Preto.

Classificação SUCS	Resistência à Penetração (MPa)	Parâmetros Geotécnicos *		
		C <sub>u</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	φ (°)	γ (kN/m <sup>3</sup> )
Areia (fina a média) siltoargilosa, com matéria orgânica	1.185	10	25	11

\*Sendo utilizadas as correlações de Bowles (1977) para areias muito moles

Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.5.3 Resultados dos ensaios de caracterização do material “Hidromórfico Cinza”

Tabela 21- Resultados dos ensaios de caracterização do material Hidromórfico Cinza.

Ponto	Cota do furo (m)	Profundidade (m)	Granulometria ABNT (%)						Teor de umidade (%)	Nspt			Resistência à Penetração (MPa)	Parâmetros Geotécnicos		
			P.	A.G.	A.M.	A.F.	S.	A.		Min.	Médio	Máx.		C <sub>u</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	φ (°)	γ (kN/m <sup>3</sup> )
073	841	0.32-0.42							9.99				1.94			
		0.42- 0.50							12.54				2.22			
		0.50- 0.64							13.96				2.05			
075	841	0.52- 0.63							13.37				2.41			
081B	802	0-0.018	0,03	0,34	51,6	18	9	21	5.04				0.56			
		0.018- 0.10							5.04				3.92			
		0.10- 0.20							6.90				7.45			
		0.20- 0.31							8.81				5.57			
		0.31- 0.41							12.34				4.01			
		0.41- 0.50							20.85				6.68			
		0.50-0.60							20.75				8.14			
23	828,67	0,15-2,10								1	1.5	2	0.9	15	28.6	18
26	826,52	1,10-3,20								2	5	8	3	50	30	18
27	828,97	0-1,98								1	1.5	2	0.6	15	28.6	18
41	850,9	6,30-7,00								4	4	4	2.4	40	29.6	18
42	848,0	6,75-8,00								3	3.5	4	2.1	35	29.4	18

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 22- Valor médio de parâmetros geotécnicos para o material inconsolidado Hidromórfico Cinza.

Classificação SUCS	Resistência à Penetração (MPa)	Parâmetros Geotécnicos*		
		C <sub>u</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	φ (°)	γ (kN/m <sup>3</sup> )
Areia (média a fina argilosa com silte)	2.52	32.5	29	18

Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.5.4 Resultados dos ensaios de caracterização do material “Hidromórfico Amarelado”

Tabela 23 - Resultados dos ensaios de caracterização do material Hidromórfico Amarelado

Ponto	Cota do furo (m)	Profundidade (m)	Granulometria ABNT (%)						Teor de umidade (%)	Nspt			Resistência à Penetração (MPa) A.M.	Parâmetros Geotécnicos		
			P.	A.G.	A.M.	A.F.	S.	A.		Min.	Médio	Máx.		C <sub>u</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	φ (°)	γ (kN/m <sup>3</sup> )
077	826	0-0.07							13.73				0.56			
		0.07- 0.12							13.73				2.13			
		0.12- 0.216							11.72				2.71			
		0.216-0.317							12.18				1.92			
082	835	0-0.01	0	0	40	33	14	13	13.20				0.56			
		0.01- 0.10							13.20				4.39			
		0.10- 0.21	0,5	1,5	40	29	15	14	14.24				3.07			
		0.21-0.30							13.98				4.39			
		0.30- 0.40							14.62				6.07			
		0.40- 0.505							15.74				6.47			
		0.505-0.60							15.38				4.91			

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 24- Valor médio de parâmetros geotécnicos para o material inconsolidado Hidromórfico Amarelado

Classificação SUCS	Resistência à Penetração (MPa)	Parâmetros Geotécnicos *		
		C <sub>u</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	φ (°)	γ (kN/m <sup>3</sup> )
Areia (média-fina) siltoargilosa	2.735	30	30	18

\*Sendo utilizadas as correlações de Bowles (1977) para areias médias

Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.5.5 Resultados dos ensaios de caracterização do material “Residual do Itaqueri”

Tabela 25- Resultados dos ensaios de caracterização do material Residual do Itaqueri.

Ponto	Cota do furo (m)	Profundidade (m)	Granulometria ABNT (%)						Teor de umidade (%)	Nspt			Resistência à Penetração (MPa)	Parâmetros Geotécnicos		
			P.	A.G.	A.M.	A.F.	S.	A.		Mín.	Médio	Máx.		C <sub>u</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	φ (°)	γ (kN/m <sup>3</sup> )
081	802	0-0.024	10	0	48	20	4	18	11.51				0.56			
		0.024-0.136							11.51				2.41			
		0.136-0.24	1	1	53	14	7	25	14.78				1.89			
		0.24- 0.328	1	3	51	15	8	22	18.12				2.13			
		0.328- 0.426							11.97				1.97			
		0.426- 0.517							27.13				2.07			
		0.517-0.625						89.49				2.47				
082B	835	0-0.015							15.22				0.56			
		0.015-0.10							15.22				3.80			
		0.10- 0.207							13.97				5.07			
		0.207- 0.31	9	2	31	18	18	22	15.28				2.57			
		0.31-0.405	11	2	33	18	18	19	18.11				4.91			
		0.405- 0.507							12.25				6.64			
		0.507- 0.61						16.62				5.24				
1	841,87	4,53-23,00							2	7	12	3.5	70	30.8	18	
2	842,27	3,6-23,00							1	5.5	10	2.75	55	30.2	18	
3	843,00	5,82-24,4							2	7.5	13	3.75	75	31	18	
4	841,20	3,35-21,65							1	6	11	3	60	30.4	18	
5	842,08	2,95-21							1	5	9	2.5	50	30	18	
6	840,74	2,85-16,72							1	4.5	8	2.25	45	29.8	18	
7	849,86	5,00-20,97							2	6	10	3	60	30.4	18	
8	850,11	5,73-27							2	5.5	9	2.75	55	30.2	18	
9	848,10	5,83-27,38							2	6	10	3	60	30.4	18	
10	847,34	5,59-25,35							2	6.5	11	3.25	65	30.6	18	
11	846,05	5,44-21,00							1	5.5	10	2.75	55	30.2	18	
12	842,40	3,50-21,7							1	6	11	3	60	30.4	18	
13	842,56	2,60-22,00							1	6	11	3	60	30.4	18	
14	843,20	2,80-21,60							2	6	10	3	60	30.4	18	
15	843,88	3,5-23,00							3	7	11	3.5	70	30.8	18	



16	844,02	3,00-21,8								2	6	10	3	60	30.4	18
17	844,80	3,80-23,90								2	8	14	4	80	31.2	18
18	834,37	5,30-16,85								2	10	18	5	100	32	18
19	831,86	1,95-15,16								2	9.5	17	4.75	95	31.8	18
20	831,40	1,80-14,9								2	8	14	4	80	31.2	18
21	832,60	1,85-18,16								2	15	28	7.5	150	34	19
22	829,00	1,90-12,78								2	8.5	15	4.25	85	31.4	18
23	828,67	2,10-12,90								2	6.5	11	3.25	65	30.6	18
24	830,90	4,90-14,50								6	10.5	15	5.25	105	32.2	19
25	830,14	4,90-13.5								2	7	12	3.5	70	30.8	18
26	826,52	3,20-12,10								3	7	11	3.5	70	30.8	18
27	828,97	1,98-11,50								2	7.5	13	3.75	75	31	18
28	801,18	1,60-13,55								2	7	12	3.5	70	30.8	18
29	801,65	1,82-12,00								2	7.5	13	3.75	75	31	18
30	802,19	2,29-13,74								2	7.5	13	3.75	75	31	18
31	856,08	4,90-30,00								5	9	13	4.5	90	31.6	19
32	856,37	4,10-30,00								3	8	13	4	80	31.2	18
33	856,41	4,60-30,00								3	8	13	4	80	31.2	18
34	856,81	6,00-29,00								5	11	17	5.5	110	32.4	19
35	857,44	4,50-30,00								4	8.5	13	4.25	85	31.4	18
36	857,03	4,60-30,00								5	9.5	14	4.75	95	31.8	19
37	841,49	8,55-18,45								6	21.5	37	10.75	215	36.6	20
38	842,03	8,57-18,45								8	22.5	37	11.25	225	37	20
39	841,05	7,80-17,45								6	23	40	11.5	230	37.2	20
40	845,25	8,73-17,45								7	24	41	12	240	37.6	20
41	850,9	7,00-16,50								5	9.5	14	4.75	95	31.8	19
42	848,0	8,00-13,80								5	7.5	10	3.75	75	31	18
43	841,75	6,95-13,75								3	7.5	12	3.75	75	31	18
44	846,73	6,40-13,75								4	15.5	27	7.75	155	34.2	19
45	826,73	6,02-13,65								4	9.5	15	4.75	95	31.8	19
46	814,73	4,30-13,95								3	8	13	4	80	31.2	18
47	826,73	4,55-13,85								3	8	13	4	80	31.2	18
48	803,25	4,655-13,29								3	13	23	6.5	130	33.2	19
49	835,37	4,80-16,50								3	10	17	5	100	32	19
50	833,33	4,70-14,10								2	8	14	4	80	31.2	18
51	833,81	4,85-15,70								3	8.5	14	4.25	85	31.4	19
52	833,88	4,60-16,00								2	8.5	15	4.25	85	31.4	19

53	831,88	4,70-12,70								2	8	14	4	80	31.2	18
54	832,51	4,80-12,90								4	8	12	4	80	31.2	18
55	832,50	4,70-11,63								4	7.5	11	3.75	75	31	18
56	831,68	3,80-13,10								2	8	14	4	80	31.2	18
57	832,27	4,70-12,50								5	9.5	14	4.75	95	31.8	18
58	832,04	4,60-18,00								4	9	14	4.5	90	31.6	19
59	829,80	4,80-12,44								4	9	14	4.5	90	31.6	19
60	830,98	3,70-14,63								4	8.5	13	4.25	85	31.4	19
61	828,37	5,70-12,80								5	9.5	14	4.75	95	31.8	19
62	828,60	2,50-12,10								5	8.5	12	4.25	85	31.4	19
63	829,13	4,55-15,50								3	8.5	14	4.25	85	31.4	19
64	826,05	2,80-14,80								2	7.5	13	3.75	75	31	18
65	826,48	2,80-15,60								4	6.5	9	3.25	65	30.6	18
66	827,21	3,70-13,80								5	8	11	4	80	31.2	18
67	825,87	2,90-15,47								3	10	17	5	100	32	19
68	826,27	1,70-15,40								2	9	16	4.5	90	31.6	19
69	826,77	2,60-12,76								2	4.5	7	2.25	45	29.8	18
70	824,30	1,75-10,90								4	8	12	4	80	31.2	18
71	823,71	2,70-11,90								4	8	12	4	80	31.2	18
72	824,66	3,60-10,85								1	7.5	14	3.75	75	31	18
73	863,61	2,80-25,45								3	7	11	3.5	70	30.8	18
74	861,27	3,55-20,45								2	5	8	2.5	50	30	18
75	864,07	3,15-15,45								2	6	10	3	60	30.4	18

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 26- Valor médio de parâmetros geotécnicos para o material inconsolidado Residual do Itaqueri.

Classificação SUCS	Resistência à Penetração (MPa)	Parâmetros Geotécnicos *		
		C <sub>u</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	φ (°)	v (kN/m <sup>3</sup> )
Areia (média-fina) argilosiltosa com pedregulhos	6.75	142.5	30.90	19

Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.6.6 Resultados dos ensaios de caracterização do material “Residual dos Magmatitos Básicos”

Tabela 27- Resultados dos ensaios de caracterização do material Residual dos Magmatitos Básicos

Ponto	Cota do furo (m)	Profundidade (m)	Granulometria ABNT (%)						Teor de umidade (%)	Nspt			Resistência à Penetração (MPa) A.M.	Parâmetros Geotécnicos		
			P.	A.G.	A.M.	A.F.	S.	A.		Min.	Médio	Máx.		C <sub>u</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	φ (°)	γ (kN/m <sup>3</sup> )
1	841,87	23,00-28,63								12	20.5	29	7.175	205	36.2	20
2	842,27	23,00-29,45								13	24.5	36	8.575	245	37.8	20
3	843,00	24,4-32,4								15	27.5	40	9.625	275	39	20
4	841,20	21,65-26,45								14	25	36	8.75	250	38	20
5	842,08	21-27,45								10	24.5	39	8.575	245	37.8	20
6	840,74	16,72-27,45								9	23.5	38	8.225	235	37.4	20
7	849,86	20,97-35,45								10	19	28	6.65	190	35.6	20
8	850,11	27-36,45								9	21	33	7.35	210	36.4	20
9	848,10	27,38-35,45								10	25	40	8.75	250	38	20
10	847,34	25,35-33,45								15	27	39	9.45	270	38.8	20
11	846,05	21,00-29,45								11	24	37	8.4	240	37.6	20
12	842,40	21,7-30,45								10	17.5	25	6.125	175	35	19
13	842,56	22,00-30,45								10	16	22	5.6	160	34.4	19
14	843,20	21,60-30,45								8	16	24	5.6	160	34.4	19
15	843,88	23,00-30,45								12	19	26	6.65	190	35.6	20
16	844,02	21,8-30,45								5	20.5	36	7.175	205	36.2	20
17	844,80	23,90-30,45								13	18.5	24	6.475	185	35.4	19
18	834,37	16,85-19,45								22	32	42	11.2	320	40.8	20
19	831,86	15,16-20,45								14	22	30	7.7	220	36.8	20
20	831,40	14,9-19,45								17	24	31	8.4	240	37.6	20
21	832,60	18,16-21,19								18	31.5	45	11.025	315	40.6	20
22	829,00	12,78-17,43								17	23.5	30	8.225	235	37.4	20
23	828,67	12,90-18,45								13	22	31	7.7	220	36.8	20
24	830,90	14,50-18,40								16	25.5	35	8.925	255	38.2	20
25	830,14	13.5-19,45								13	23	33	8.05	230	37.2	20
26	826,52	12,10-18,45								12	21	30	7.35	210	36.4	20
27	828,97	11,50-18,36								11	29	47	10.15	290	39.6	20

28	801,18	13,55-27,26							12	22.5	33	7.875	225	37	20
29	801,65	12,00-25,45							13	24.5	36	8.575	245	37.8	20
30	802,19	13,74-23,45							17	25.5	34	8.925	255	38.2	20
49	835,37	16,50-22,45							17	30	43	10.5	300	40	20
50	833,33	14,10-18,40							15	32.5	50	11.375	325	41	20
51	833,81	15,70-19,36							15	35	55	12.25	350	42	20
52	833,88	16,00-20,24							13	29.5	46	10.325	295	39.8	20
53	831,88	12,70-20,45							10	27.5	45	9.625	275	39	20
54	832,51	12,90-19,45							10	23.5	37	8.225	235	37.4	20
55	832,50	11,63-17,21							11	30.5	50	10.675	305	40.2	20
56	831,68	13,10-21,45							17	27	37	9.45	270	38.8	20
57	832,27	12,50-21,24							11	26	41	9.1	260	38.4	20
58	832,04	18,00-21,20							12	33.5	55	11.725	335	41.4	20
59	829,80	12,44-20,45							14	27	40	9.45	270	38.8	20
60	830,98	14,63-20,45							12	26.5	41	9.275	265	38.6	20
61	828,37	12,80-18,45							8	25.5	43	8.925	255	38.2	20
62	828,60	12,10-19,45							12	21	30	7.35	210	36.4	20
63	829,13	15,50-20,45							14	27.5	41	9.625	275	39	20
64	826,05	14,80-17,45							13	24	35	8.4	240	37.6	20
65	826,48	15,60-21,45							14	22	30	7.7	220	36.8	20
66	827,21	13,80-19,45							6	21	36	7.35	210	36.4	20
67	825,87	15,47-21,45							16	25.5	35	8.925	255	38.2	20
68	826,27	15,40-19,45							17	27	37	9.45	270	38.8	20
69	826,77	12,76-17,35							9	23.5	38	8.225	235	37.4	20
70	824,30	10,90-16,19							11	17.5	24	6.125	175	35	19
71	823,71	11,90-20,45							14	22	30	7.7	220	36.8	20
72	824,66	10,85-17,44							14	27	40	9.45	270	38.8	20

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 28 - Valor médio de parâmetros geotécnicos para o material Residual dos Magmatitos Básicos.

Classificação SUCS	Resistência à Penetração (MPa)	Parâmetros Geotécnicos *		
		$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
Argila arenosa (AGUIAR, 1989)	9.3375	247.5	37.6	19.5

Fonte: Elaborado pela autora.

## 5.6 CARACTERIZAÇÃO DAS FEIÇÕES EROSIVAS

Na área de estudo foram encontradas feições erosivas de diversos tipos, dimensões e profundidade, localizadas na Figura 81, e descritas a seguir.

Figura 81- Localização das feições erosivas na microbacia do córrego Mineirinho, São Carlos, SP.



Fonte: Elaborado pela autora.

A feição erosiva 1 (Figura 81), refere-se a um sulco na cabeceira do córrego, favorecido pela concentração de águas pluviais que são jogadas através de um coletor nesse ponto. Ela se apronfuda uns poucos metros abrangendo os materiais hidromórficos preto e cinza.

A feição erosiva 2 (Figura 81) formou-se inicialmente com duas erosões aceleradas de dimensões importantes, que foram evoluindo até se juntarem em uma feição que abrangeu os 2 pontos, com afloramento do lençol freático no seu interior, podendo ser classificada como boçoroca. Sendo ela a feição erosiva maior dentro da área de estudo (pelo qual foi estudada em detalhe através das imagens com drone), alcançando mais de 4 m de profundidade, e abrangendo todas as camadas dos materiais coluvionar e hidromórficos, permitindo aflorar o material Residual do Itaqueri no fundo do canal. Na atualidade, a feição é afetada pela concentração de entulho disposto para tentar controlá-la e encontra-se perto de comprometer a rua (Figura 82).

Figura 82- Panorâmica do ponto de feição erosiva do 2 na microbacia do córrego Mineirinho, São Carlos, SP. Avaliação de campo de dezembro de 2020.



Fonte: Elaborado pela autora.

O ponto de erosão 3, é uma erosão antiga, controlada por uma obra de canalização e lançamento no córrego de águas pluviais, oriundas dos assentamentos urbanos vizinhos.

A erosão 4 (Figura 81) está inserida dentro do campus 2 da USP, e é a segunda em importância pela rápida evolução e pelo prejuízo associado; trata-se de uma boçoroca, produto da concentração das águas pluviais canalizadas, que abrange também todas as camadas dos materiais coluvionares e hidromórficos, aparecendo no fundo do vale, um material avermelhado (Figura 83) que poderia ser o resultado de uma alteração no material Residual do Itaqueri não hidromorfizado (não foi possível aproximar-se para melhorar a descrição do material).

Figura 83- Ponto de feição erosiva 4, localizado no campus 2 da USP, perto do prédio de Engenharia da Computação. Avaliação de campo de dezembro de 2020.



Fonte: Elaborado pela autora.

No caso da feição 5 (Figura 81), trata-se de uma erosão lateral causada pela ação da água no curso do córrego, que abrange só o material superficial hidromórfico preto, que neste ponto alcança vários metros de espessura, e uma porção da camada cinza, também hidromórfica.

## 5.7 ELABORAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS

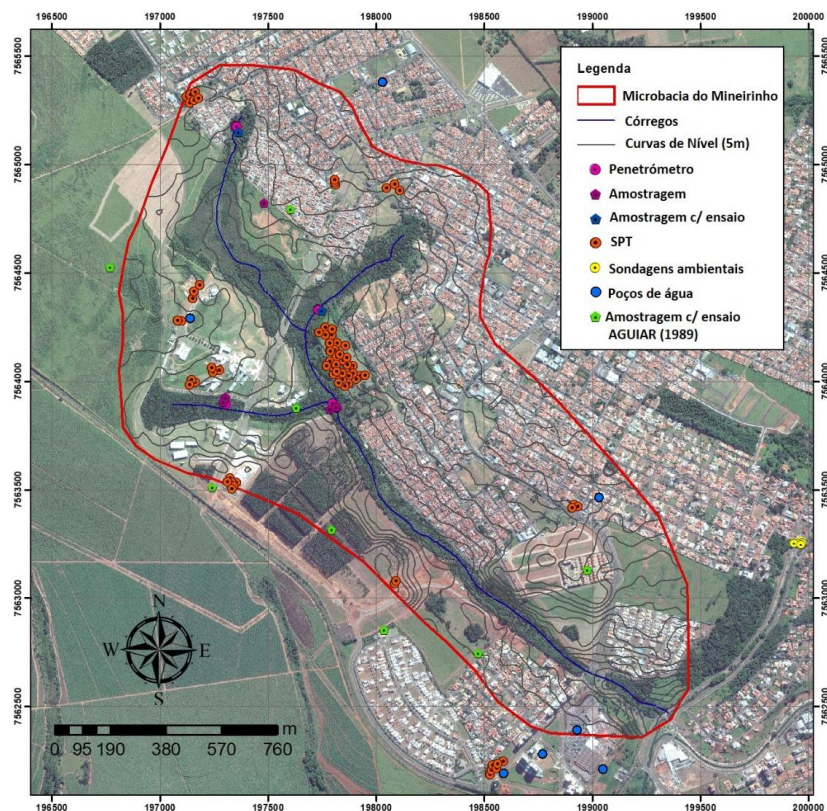
Com a utilização dos softwares SIG ArcGis 10.5 e Global Mapper20, foram realizados os mapas e cartas a seguir.

### 5.7.1 Carta de documentação

A informação contida nesta carta resultou de um extensivo trabalho de levantamento de informações geológico-geotécnicas disponíveis na área da Microbacia do córrego Mineirinho. A seguir apresenta-se a carta de documentação (Figura 84) (APÊNDICE 1) com a localização e o tipo de informação existentes; são apresentados os dados produzidos nesta dissertação e

também de trabalhos prévios, como das amostragens de Aguiar (1989), como dados de sondagens geotécnicas, sondagens ambientais e poços de água de empresas privadas e instituições governamentais (Quadro 16).

Figura 84- Carta de documentação.



Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 16- Pontos que constituem o mapa de documentação

Descrição do Ponto	Autor/Empresa	Número de Pontos
Penetrômetro	Própria	9
Amostragem	Própria	8
Amostragem c/ensaio	Própria	2
	Aguiar (1989)	8
SPT	Ação Engenharia	17
	Cortizo Magri Const.	3
	Estatec	6
	Sondobase	38
	Sobloco	2
	Solo Porte	3
	Terra Fundações	6
Sondagens Ambientais	CETESB	2
Poços de Água	SIAGAS (CPRM)	7

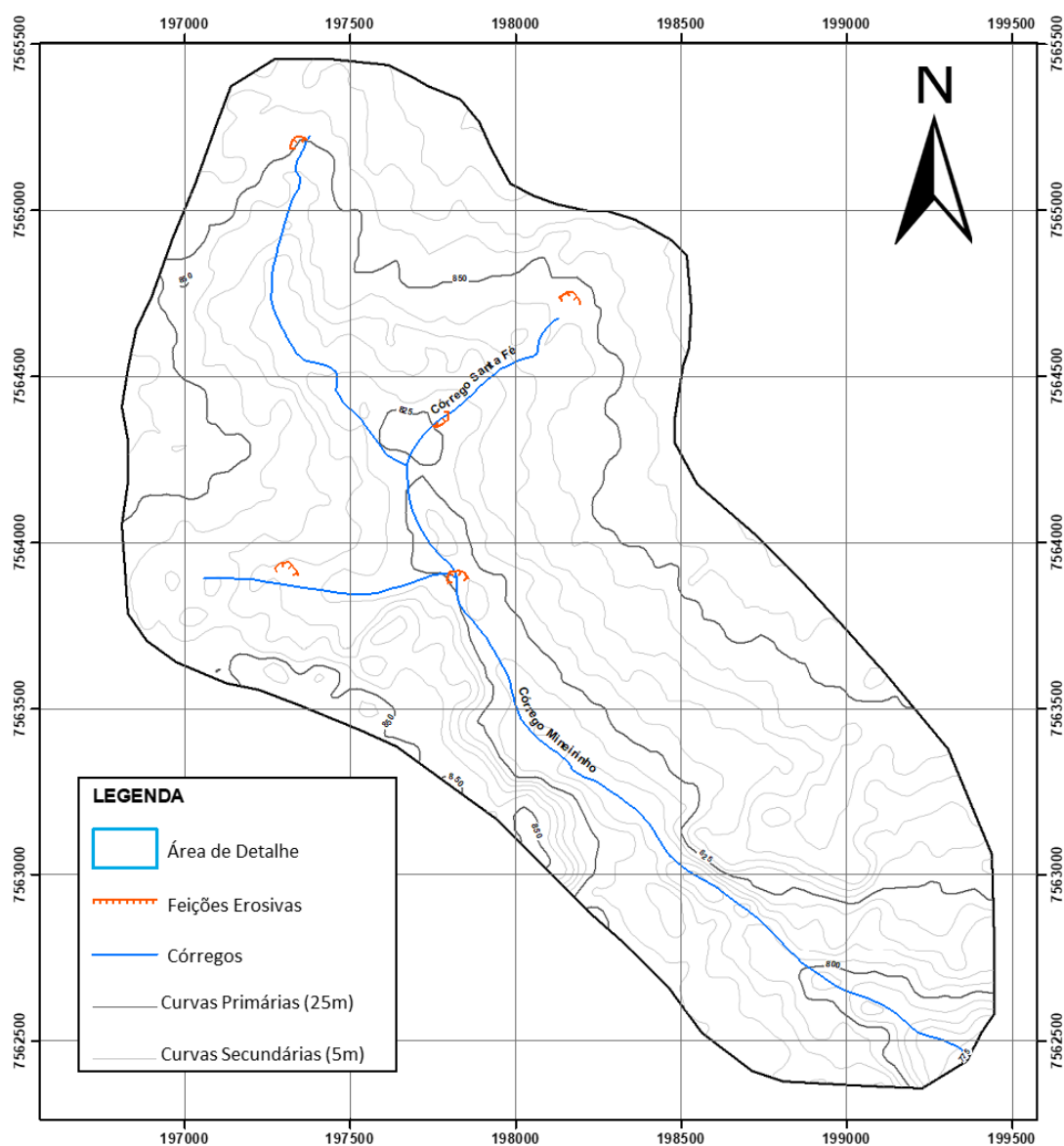
Fonte: Elaborado pela autora



### 5.7.2 Carta topográfica

A base topográfica geral utilizada neste trabalho resultou do processamento do Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido com o sensor PALSAR do satélite Alos, datadas de 2011 e de resolução 12,5 m por pixel. A escala do mapa gerado (Figura 85; Apêndice 2) foi 1:15000, tendo separação curvas de nível a cada 5 m.

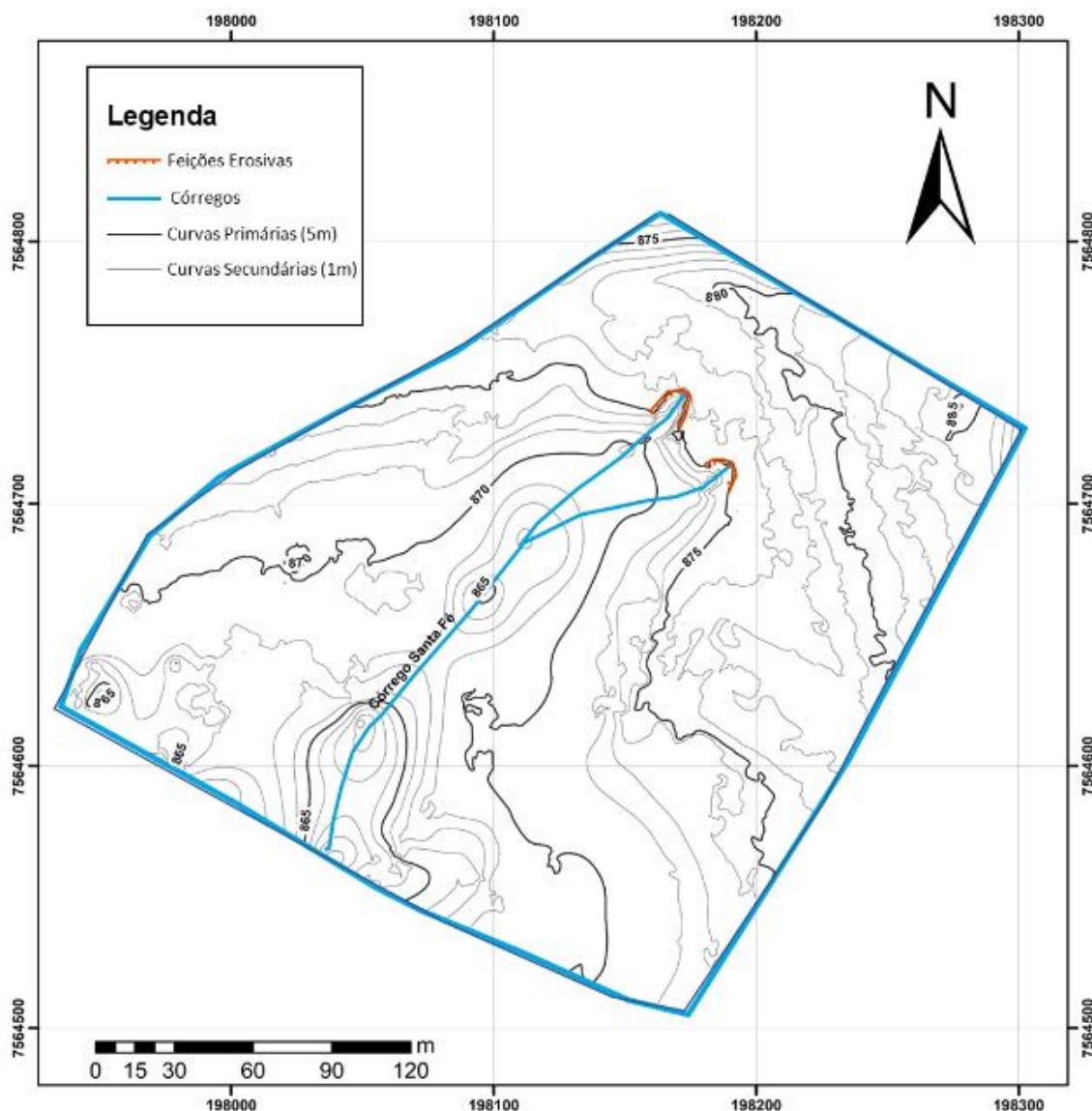
Figura 85- Carta topográfica da área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora.

Além da carta topográfica geral, foi gerada uma carta de detalhe com separação entre curvas de 1 metro para a área onde foi realizado o levantamento com drone, apresentada na Figura 86.

Figura 86- Carta topográfica de detalhe correspondente ao córrego Santa Fé.



Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.7.3 Mapa de materiais inconsolidados

No intuito de individualizar as unidades de materiais inconsolidados utilizou-se informações das formas de relevo e do substrato rochoso; também se levou em consideração os dados obtidos em laboratório, dados obtidos dos relatórios de sondagens, além das observações de campo e da fotointerpretação.

Dessa maneira, foram individualizadas na área de estudo 4 unidades de materiais inconsolidados (Figuras 87 e 88; Apêndice 3), trazendo para cada unidade informações sobre a espessura máxima e mínima, textura e características do comportamento do perfil.

Figura 87- Mapa de Materiais Inconsolidados para a região da microbacia do córrego Mineirinho, cidade de São Carlos (SP).

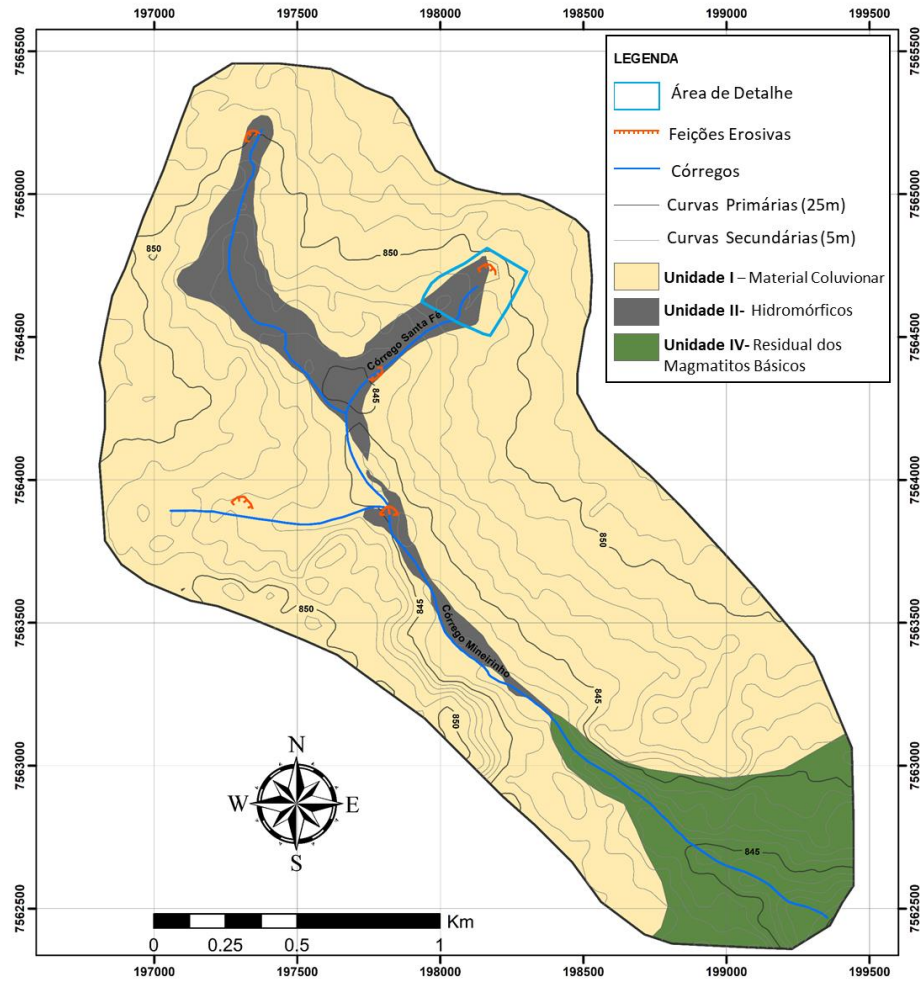
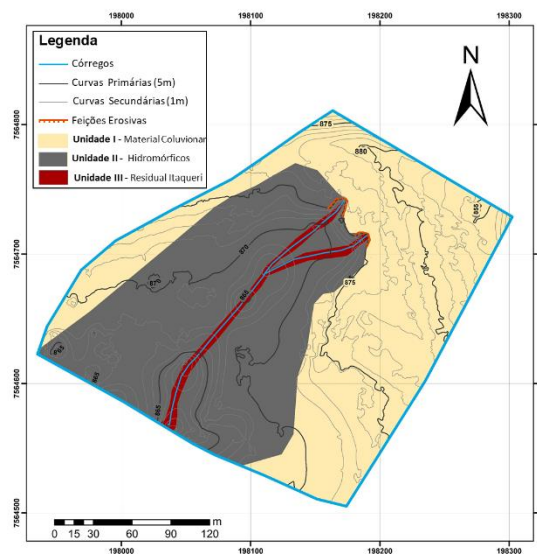


Figura 88- Mapa de Materiais Inconsolidados na Área de Detalhe correspondente ao córrego de Santa Fé.



### 5.7.3.1 Unidade I – Material Coluvionar

Esta unidade ocupa a maior extensão da área mapeada, atingindo acima de 4 km<sup>2</sup> (82%). Encontra-se sobre a porção mais elevada da área estudada (entre 830 e 865 m.s.n.m), definida por alguns autores como “Planalto de São Carlos”, apresentado coloração marrom amarelado a marrom escuro.

O sedimento é predominantemente areno-argiloso, sendo que a fração de areia varia de 40 a 55% em areia fina, e de 13 a 28,3% em areia média, com conteúdo de silte de 6 a 20% e argila variando de 20 a 33%. Foi comum observar pedregulhos na porção basal tanto em campo quanto nas sondagens SPT.

Este material é correlato ao material Arenoso III descrito por Aguiar (1989) e Pons (2006) que encontraram valores de massa específica dos sólidos variando de 24,81 a 26,18 kN/m<sup>3</sup>.

Os dados de ensaios referem uma resistência à penetração que varia de 0,56 Mpa (nos primeiros cm) até 3,11 Mpa (em profundidade).

### 5.7.3.2 Unidade II – Hidromórficos

Localiza-se na região centro norte, ao longo da várzea das drenagens, e abrange o 7% (0,32 km<sup>2</sup>) da área de estudo. É constituída por materiais de pequena espessura, variando entre 2 e 5 m, com texturas argilosas a areno-argilosas, com coloração preta, branca acinzentada e amarela. É comum a presença de camadas orgânicas decimétricas a métricas, raramente superiores a 2 m. A transição entre estes materiais e o coluvionar é lateral, indicando que foram formados a partir do hidromorfismo do próprio material coluvionar e acresção de matéria orgânica.

O material mais superficial desta unidade é de coração preta, com alto conteúdo de matéria orgânica e granulometria que abrange uma fração arenosa de pouco mais de 50% (27,3% areia fina, 23,4% areia média e 1,5% de areia grossa), 24% de argilas, 23,3% de silte, 1,5% e uma mínima porção de pedregulhos (0,5%). A massa específica dos sólidos para este material foi de 23,73 kN/m<sup>3</sup>.

Em relação à resistência à penetração no material hidromórfico preto varia de 0,56 até 1,81 MPa, podendo ser considerada uma areia argilosiltosa muito mole.

A camada intermedia branca acinzentada, é predominantemente arenosa (51,6% de areia média e 18% de areia fina), com conteúdo de argilas (21%) e uma pequena fração de silte (9%). A massa específica dos sólidos neste material resultou de 27,65 kN/m<sup>3</sup>.

Referente com a resistência à penetração, a camada hidromórfica cinza apresentou variações de 0,56 até 8,1 MPa.

A última camada descrita nesta unidade, corresponde a uma areia silto-argilosa coloração amarelada, sendo que a fração de areia média é de 40 %, a de areia fina varia de 29 a 33%, com conteúdo de silte (de 14-15%), argila (13-14%) e menor fração de areia grossa e pedregulhos na base desta camada. A massa específica dos sólidos neste material variou de 27,75 até 28,43 kN/m<sup>3</sup>.

O material hidromórfico amarelado apresentou uma resistência média à penetração de 2,735 MPa.

### **5.7.3.3 Unidade III- Residual da Formação Itaqueri**

Os materiais residuais da formação Itaqueri encontram-se aflorando no fundo do vale da microbacia do Mineirinho. Segundo a avaliação dos dados de sondagens as espessuras variam de 2 até 28 metros, contrário aos 2 metros referidos por Pons (2006) para este material. A granulometria é composta de areia média a fina argilosiltosa, com pedregulhos em algumas porções, e apresenta coloração variegada avermelhada.

Os dados geotécnicos mostram que a areia média é o principal constituinte (de 30 a 53%), seguido de areia fina (de 14 a 20%), argila (19-25%), silte (4-18%), pedregulhos de (1 a 10%) e mínima porção de areia grossa (entorno de 2%). Apresenta massa específica dos sólidos entre 27,95 e 28,64 kN/m<sup>3</sup>.

A resistência à penetração destes materiais residuais variou de 0,56 até 11,25 MPa, podendo ser consideradas areias silto argilosiltosas com pedregulhos, compactas.

### **5.7.3.4. Unidade IV – Residual dos Magamatitos Básicos**

Esta unidade encontra-se aflorando na parte baixa da microbacia, abrangendo aproximadamente 10% da área estudada. Os perfis de sondagens SPT amostram neste material espessuras que vão de 2 a 15 m.

Os dados granulométricos foram obtidos de trabalhos prévios (AGUIAR, 1989; PONS, 2006) que sugeriram a presença predominante de argilas, seguido de areias finas e siltes, com colorações avermelhadas. Outras características exibem variações consideráveis para a massa específica dos sólidos, sendo que o menor valor foi de 26,67 kN/m<sup>3</sup>, enquanto o máximo chegou perto dos 30 kN/m<sup>3</sup>.

Já para a resistência à penetração, adotando as correlações de Aoiki & Velloso (1975), os materiais residuais dos magmatitos básicos mostraram uma resistência média de 9,33 MPa.

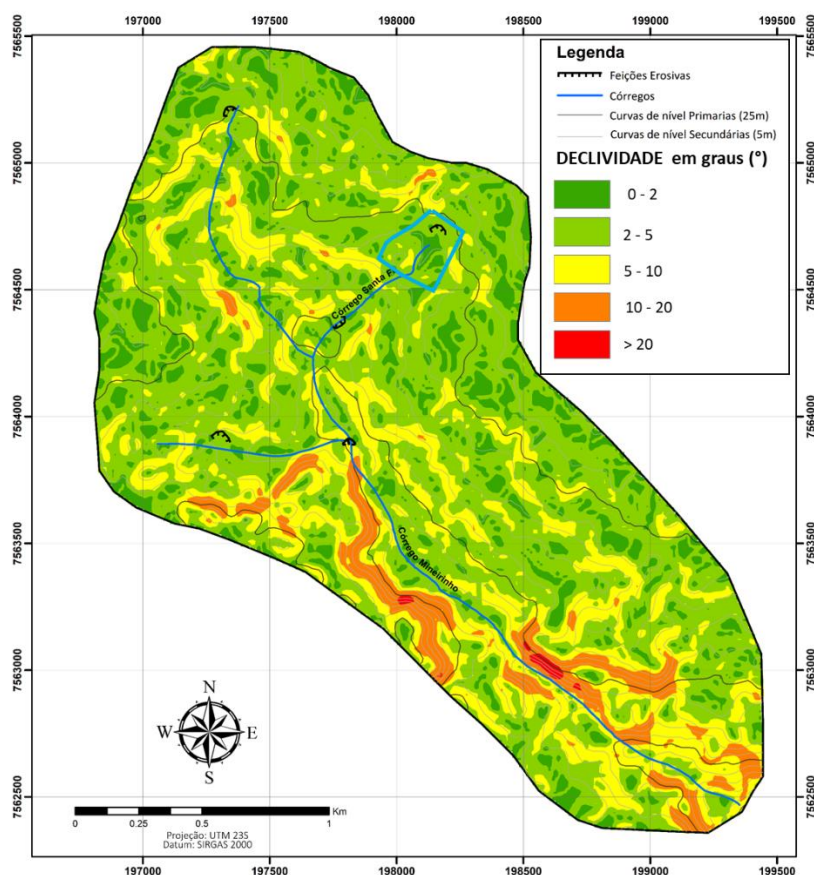
#### 5.7.4 Carta de declividade

Para a elaboração das cartas de declividade (Figuras 89 e 90; Apêndice 4) foi utilizado também o MDE da área de estudo, tanto das imagens do PALSAR-Alos quanto das geradas com o drone para a área de detalhe, por considerar a estreita associação que a inclinação da superfície tem com processos de transporte gravitacional (escoamento e erosão). Sendo, então, avaliados como fator determinante na estimativa de suscetibilidades à erosão; resultado final deste trabalho de pesquisa.

Pode-se observar na Figura 89 que a declividade gerada para a microbacia inteira apresenta uma variação entre  $0^\circ$  e  $28^\circ$ , achando-se as uma concentração das declividades mais acentuadas ( $> 20^\circ$ ) na região sul e sudoeste da microbacia.

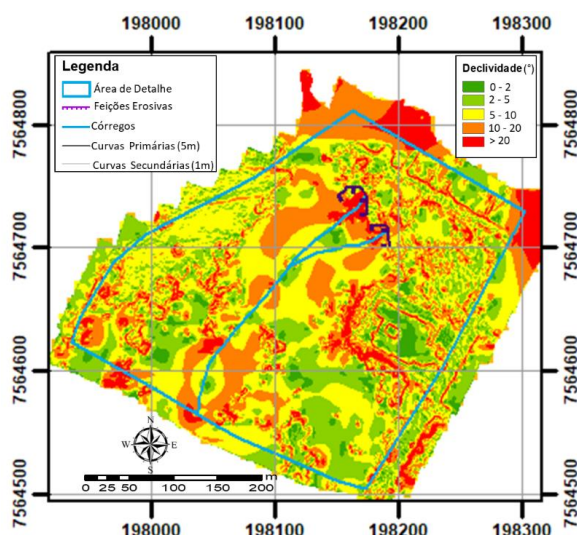
Como era esperado, a carta de detalhe (Figura 90) apresenta maior variação de declividade, indo até os  $75^\circ$ .

Figura 89 - Carta de declividade, microbacia do córrego Mineirinho.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 90 - Carta de declividade com detalhe da “Área de Detalhe”, correspondente ao córrego de Santa Fé.

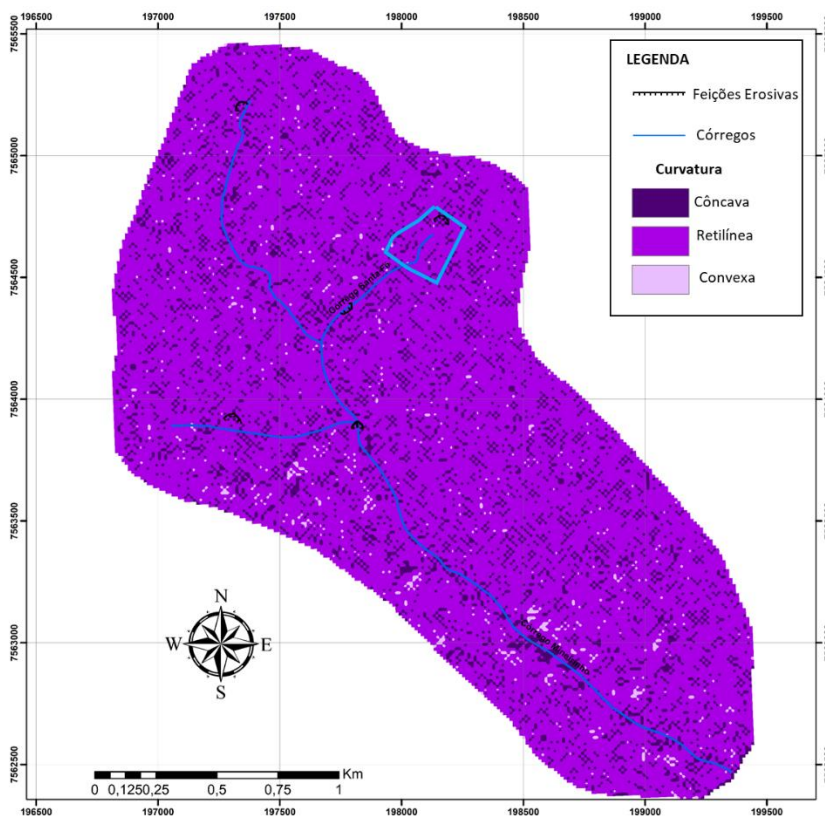


Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.7.5 Cartas de curvatura

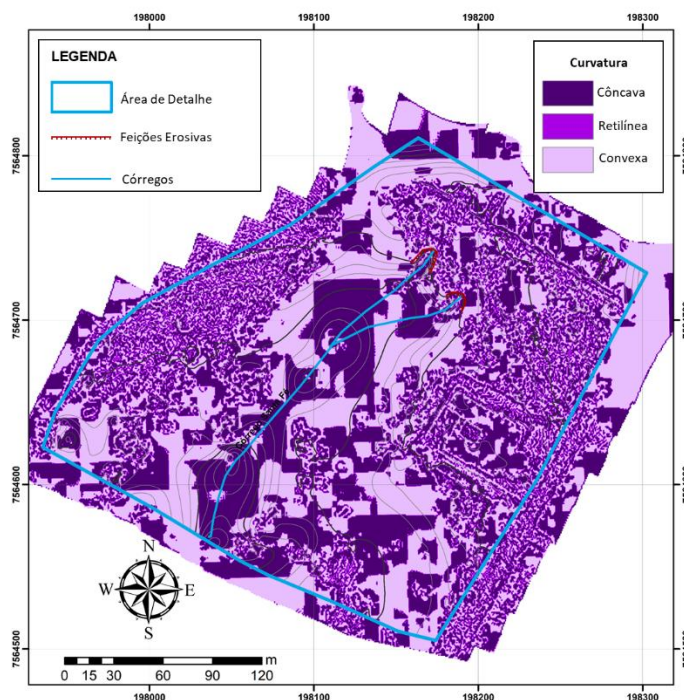
Um outro parâmetro topográfico que influi na distribuição dos fluxos hídricos e consequentemente na distribuição dos focos erosivos é a curvatura das vertentes; a qual foi obtida dos MDE das imagens do PALSAR-Alos e das geradas com o drone.

Figura 91 – Mapa de curvatura das vertentes da microbacia do córrego Mineirinho.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 92 – Mapa de curvatura das vertentes da “área de detalhe”.



Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 91 (Apêndice 5), correspondente à microbacia inteira, pode-se observar uma frequência mais elevada para encostas retilíneas.

No caso da área de detalhe (Figura 92), observa-se maior frequência, que na carta de curvatura geral, para encostas côncavas que são as mais suscetíveis aos processos erosivos devido à dispersão dos fluxos de água durante eventos pluviométricos intensos.

### 5.7.6 Mapa de cobertura e ocupação do solo

Com a intenção de compreender a influência antrópica no desenvolvimento dos processos erosivos na microbacia do córrego do Mineirinho, procedeu-se a realização de cartografia evolutiva da cobertura e uso do solo desde o ano 1971 e até o ano 2018; a partir das análises e interpretação das fotos aéreas e imagens de satélite. O intervalo de tempo variou entre 18 e 25 anos nas cartografias para os primeiros 40 anos, e no final decidiu-se fazer duas cartografias num período de 3 anos que pudesse amostrar a influência das mudanças na cobertura e uso dos solos no desenvolvimento de processos erosivos previamente identificados com início no ano 2015.

A representação espacial das atividades de usos e ocupação do meio físico na área estudada foi realizada a través da delimitação de polígonos sob as fotos aéreas (ano 1971) e imagens de satélite (anos 2014 e 2018), a partir do reconhecimento físico, tendo em vista a facilidade que a resolução das imagens do WV2 proporcionam para a identificação e

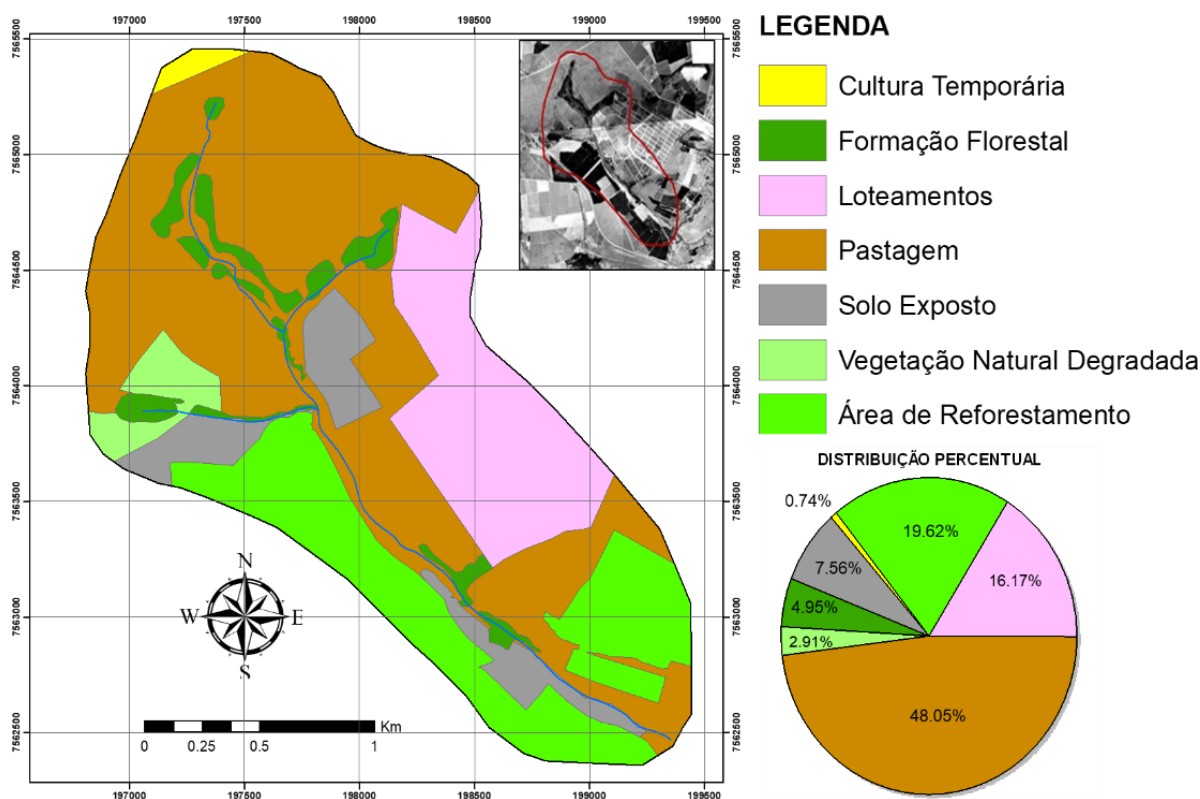


delimitação das regiões de interesse. No caso do ano de 1989 foi utilizado o mapa de usos e ocupação dos solos da cidade de São Carlos de Aguiar (1989). Foram definidas quinze (15) formas de uso e/ou ocupação, descritas a seguir:

- Área de ampliação Urbana: áreas de uso conhecido para fins de expansão urbana;
- Área de reflorestamento: representada pelas áreas de plantio de eucalipto e pinus;
- Área Rural: representada pela presença de fazendas, sítios e chácaras;
- Área Universitária: área correspondente ao campus 2 da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP);
- Culturas Permanentes: representadas pelas plantações de ciclo vegetativo longo, como no caso de café e citrus;
- Culturas Temporárias: representadas por plantações de ciclo vegetativo curto (anual) como no caso do arroz, feijão, cana ou milho;
- Formação Florestal: representada pelas áreas com presença de mata ciliar, cerrado ou capoeira;
- Infraestrutura Urbana: representada pelas áreas urbanas com construções de residências e indústrias;
- Loteamentos: representado por áreas de parcelamento sem ocupação;
- Pastagem: representada pelos campos de pastagem ou áreas de desmatamento com crescimento de gramíneas;
- Pastagem degradada: campos de pastagem ou áreas de desmatamento degradadas;
- Praças e parques: representada por áreas verdes de uso público;
- Solo exposto: áreas desprovidas de qualquer cobertura vegetal ou áreas construídas, podendo indicar uma situação intermediária entre um uso e outro;
- Uso não identificado: áreas onde não foi possível identificar o uso ou ocupação do solo;
- Vegetação natural degradada: representada pelas áreas com presença de mata, cerrado ou capoeira, com evidências de degradação.

Da fotointerpretação estereoscópica dos pares fotográficos do projeto aerofotogramétrico IBC- GERCA de agosto de 1971 (Figura 16), resultou o nosso primeiro mapa de usos e ocupação do solo na região da microbacia do córrego do Mineirinho (Figura 93).

Figura 93- Mapa de cobertura e uso dos solos, para a região da microbacia do córrego do Mineirinho, na cidade de São Carlos-SP, para agosto de 1971.

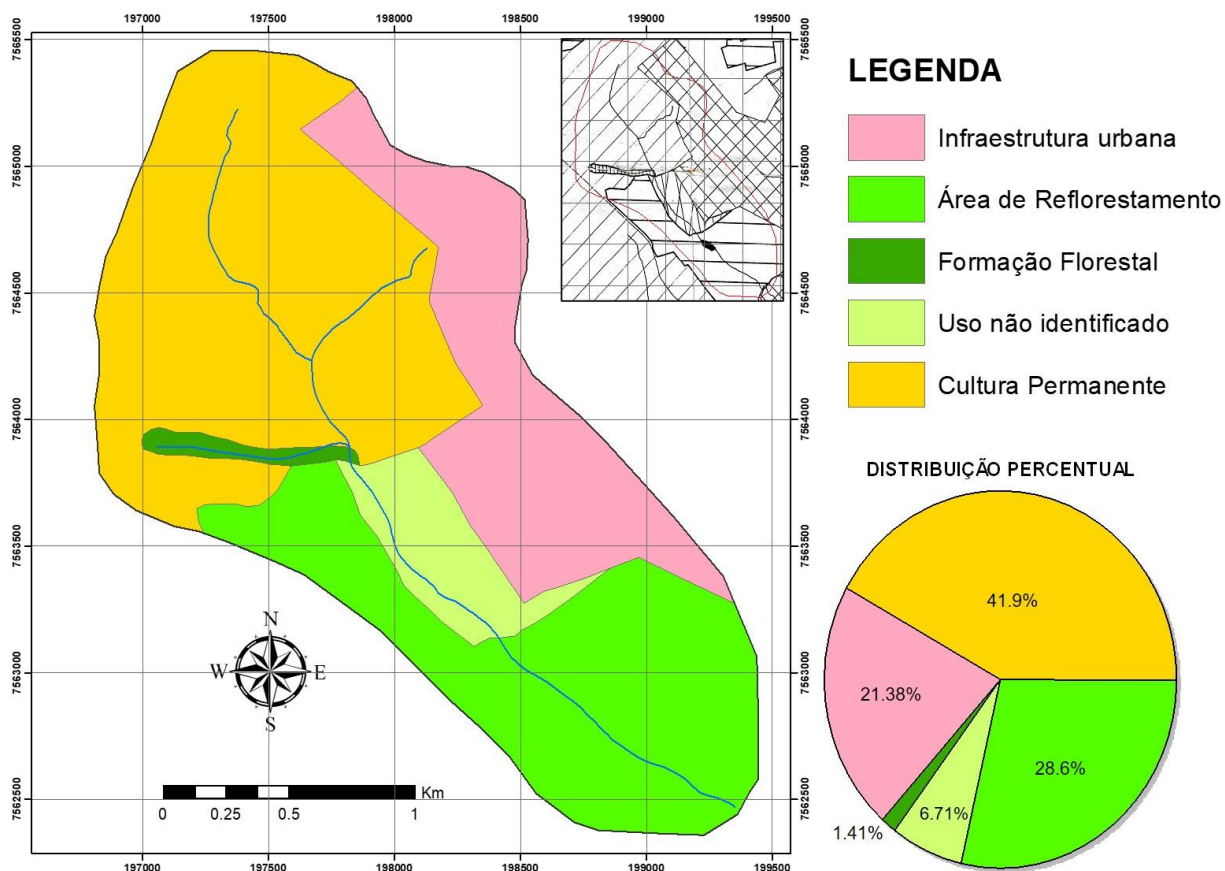


Fonte: Elaborado pela autora

Neste mapa a maior parte (48.05%) de território da microbacia do córrego do Mineirinho foi identificada como áreas de desmatamento ou “*Pastagem*”, seguida de “*Áreas de Reforestamento*” (19,62%), correspondentes aos campos de eucaliptos da fábrica de lápis Faber Castell e em terceiro lugar como áreas destinadas para crescimento urbano, definidas como “*Loteamentos*” (16,17%). Também foram identificadas nessa data, áreas de “*Solo Exposto*” (7.56%), de “*Formação Florestal*” (4,95%) próximo aos córregos, de “*Vegetação natural degradada*” (2,91%) e de “*Culturas temporárias*” (0,74%).

O seguinte mapa de usos e ocupação dos solos, data de janeiro de 1989 e foi modificado de Aguiar (1989) (Figura 94).

Figura 94- Mapa de cobertura e uso dos solos, região da microbacia do córrego Mineirinho, na cidade de São Carlos-SP, para janeiro de 1989.



Fonte: Elaborado pela autora. Modificado de Aguiar (1989)

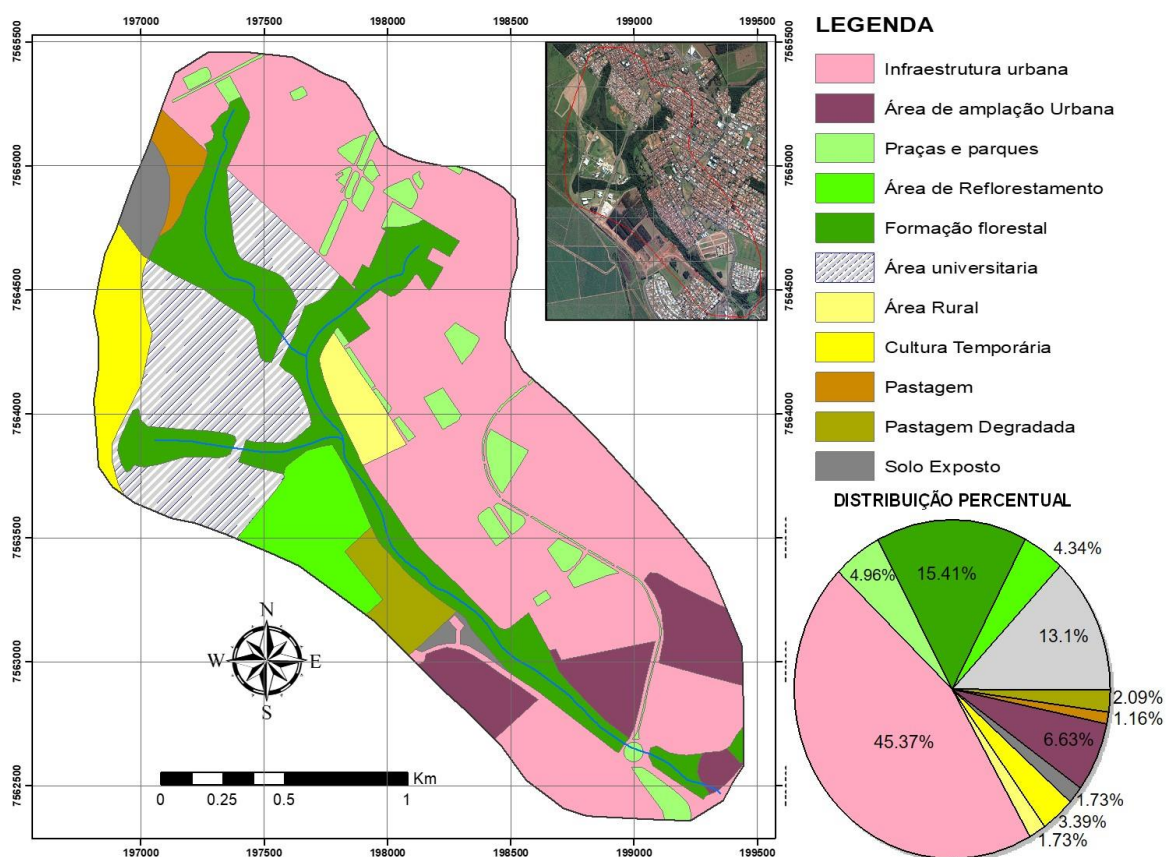
A modificação feita consistiu na adaptação da nomenclatura utilizada por Aguiar (1989) com a atual padronizada pelo IBGE (2013); sendo que onde Aguiar (1989) tinha classificado como: “*Culturas Perenes ou Semi-Perenes*”, foi mudado para “*Culturas Permanentes*”; “*Silvicultura ou Reflorestamento*” (AGUIAR, 1989), mudou para “*Áreas de Reflorestamento*”; “*Cobertura Natural*” (AGUIAR, 1989), mudou para “*Formação Florestal*”; “*Núcleo Urbano*” (AGUIAR, 1989), mudou para “*Infraestrutura Urbana*”; e “*Área Residencial ou Industrial*” (AGUIAR, 1989), mudou para “*Uso não identificado*”. Isto com a intenção de ter uma uniformidade nas terminologias usadas, ao fim de facilitar a comparação da evolução das mudanças de cobertura e uso do solo na região de estudo.

Para janeiro de 1989, Aguiar (1989) considerou que a maior parte da área da microbacia, 41,9%, era usada para fins de agricultura de plantações de ciclos longos “*Culturas Permanentes*”; assim como para “*Áreas de Reflorestamento*” para fins comerciais, correspondentes aos campos de eucaliptos da Faber Castell, que abarcaram 28,6% da área da microbacia. Também, para a época se evidenciava um auge no crescimento urbano, refletido na

abrangência de 21,38% da área de estudo como “*Núcleo Urbano*”, mais 6,71% que o autor chamou de “*Área residencial ou Industrial*”. Já para áreas verdes naturais, Aguiar (1989) só classificou 1,41% do solo da microbacia com esses fins.

A próxima data para a qual foi analisada a ocupação e os usos dos solos na região de estudo, corresponde a maio de 2014. O mapa gerado (Figura 95), contém 11 classes de cobertura e uso.

Figura 95- Mapa de cobertura e uso dos solos da região da microbacia do córrego do Mineirinho, na cidade de São Carlos-SP, para maio de 2014.



Fonte: Elaborado pela autora

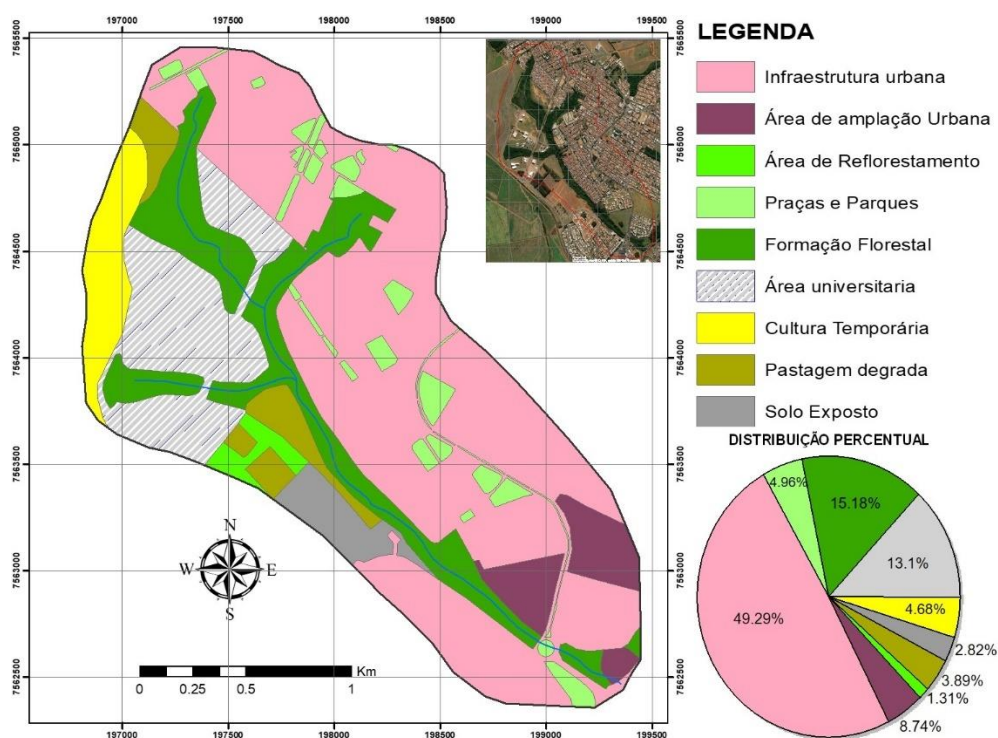
Como era de imaginar, a *ocupação urbana* em suas distintas classes abarcou a maior quantidade de área: “*Infraestrutura Urbana*” com 45,37%, “*Área de ampliação Urbana*” com 6,63%, e “*Área Universitária*” com 13,1%.

Para 2014 a região ainda possuía áreas de agricultura, sendo identificadas só “*Cultura Temporária*” em um 3,39% do território. As áreas de desmatamento foram identificadas e divididas em “*Pastagem*” e “*Pastagem Degrada*” com 1,16% e 2,09% de área ocupada para estes fins, respectivamente. Também se identificou uma pequena área de “*Solo Exposto*” (1,73%).

A respeito das áreas verdes com pouca ou sem intervenção antrópica, identificaram-se 4 classes descritas a seguir em ordem decrescente de maior a menor área ocupada: “*Áreas de Formação Florestal*” com 15,41%, “*Praças e Parques*” com 4,96%, “*Área de Reflorestamento*” com 4,34%, e uma área campestre semelhante a uma chácara, definida como “*Área Rural*”, que abrangia 1,82% da área de estudo.

Finalmente, avaliou-se a ocupação e uso do solo da região de estudo para julho de 2018. O resultado dessa avaliação foi um mapa (Figura 96; Apêndice 6) com 9 das 11 classes inclusas no mapa antecessor, faltando só as categorias chamadas de “*Área Rural*” e “*Pastagem*”.

Figura 96- Mapa de cobertura e uso dos solos da região da microbacia do córrego Mineirinho, na cidade de São Carlos-SP, para julho de 2018.



Fonte: Elaborado pela autora.

A distribuição das 9 classes identificadas no análises das imagens orbitais de 2018, manteve a tendência crescente da ocupação urbana, sendo que as áreas de “*Infraestrutura Urbana*” cresceram um 4% em relação ao ano 2014, ficando em 49,29%; as áreas de “*Ampliação Urbana*” ficaram em 8,68% (2% por acima do cálculo para o ano 2014); e a “*Área Universitária*” ficou igual em 13,1%.

Em relação às áreas agrícolas, a extensão de “*Cultura Temporária*” acrescentou-se em 1% para um total de 4,68%, e a “*Pastagem degradada*” aumentou em quase 2%, ficando em 3,89% da área de estudo.

No caso das áreas verdes com pouca ou sem intervenção antrópica, para julho de 2018 tiveram uma leve diminuição nos casos da “*Formação Florestal*”, que ficaram em 15,18%, e das “*Áreas de Reflorestamento*” que passaram a ocupar apenas o 1,31%. As “Praças e Parques” mantiveram-se iguais com 4,96% da área da microbacia.

Uma vez realizadas as cartografias de cobertura e uso dos solos da microbacia do córrego Mineirinho para distintos tempos, foi feito um cruzamento espacial consecutivo das áreas ocupadas: do primeiro mapa gerado (ano 1971) com o segundo mapa (ano 1989), do segundo mapa com o terceiro (ano 2014), e do terceiro mapa com o quarto (ano 2018); com o objetivo de testemunhar a evolução das mudanças específicas que tiveram cada uma das áreas delimitadas.

As mudanças observadas entre os tipos de cobertura e uso do solo na região da microbacia do córrego do Mineirinho durante o período de agosto de 1971 e janeiro de 1989 estão apresentadas na Tabela 29.

Observa-se que as extensões descritas como “*Áreas de Reflorestamento*”, contabilizadas em 871.545,4 m<sup>2</sup> para o mapeamento de 1971, estenderam-se para janeiro de 1989 (AGUIAR, 1989) abrangendo uma área de 1.270.550,40 m<sup>2</sup>; isso devido à transformação de parte do território classificado em 1971 de “*Cultura Permanente*” (836.394,4 m<sup>2</sup>), “*Formação Florestal*” (7.763,1 m<sup>2</sup>), e áreas de “*Usos não identificados*” (20.664,38 m<sup>2</sup>). Os 32.647,6 m<sup>2</sup> considerados em agosto de 1971 como áreas de “*Cultura temporária*”, em janeiro de 1989 foram mapeados como áreas de “*Cultura Permanente*”. No caso das áreas categorizadas como “*Formação Florestal*” no ano de 1971, com um total de 220.040,57 m<sup>2</sup>, foram divididas para 1989 (AGUIAR, 1989) em áreas de “*Cultura Permanente*” (151.892,8 m<sup>2</sup>), “*Áreas de Reflorestamento*” (20.513,2113 m<sup>2</sup>), “*Usos não identificados*” (16.050,43 m<sup>2</sup>), “*Infraestrutura Urbana*” (2.818,67 m<sup>2</sup>); e apenas 28.765,46 m<sup>2</sup> mantiveram-se com a mesma ocupação de áreas de “*Formação Florestal*”.

As áreas que foram definidas em 1971 como “*Loteamentos*” (718.220,217 m<sup>2</sup>), passaram a ser em 1989 na maior parte (AGUIAR, 1989), como era de se esperar, áreas de “*Infraestrutura Urbana*” (679.131,52 m<sup>2</sup>); sendo que uma fração minoritária foi ocupada por “*Áreas de Reflorestamento*” (15.776,043 m<sup>2</sup>), “*Cultura Permanente*” (6.517,81 m<sup>2</sup>), e áreas de “*Usos não identificados*” (16.794,84 m<sup>2</sup>).

No caso da extensa região (2.134.538,89 m<sup>2</sup>) especificada de “*Pastagem*” no ano 1971, transformou-se em grande parte para áreas de “*Cultura Permanente*” (1.325.070,25 m<sup>2</sup>), seguindo em ordem decrescente em “*Áreas de Reflorestamento*” (294.117,022 m<sup>2</sup>),

“Infraestrutura urbana” (267.808,707 m<sup>2</sup>), áreas de “Uso não identificado” (239.428,851 m<sup>2</sup>) e “Formação Florestal” (8.114,059 m<sup>2</sup>). Igualmente, as áreas identificadas como "Solo Exposto" (335.768,920 m<sup>2</sup>) no ano 1971, mudaram de uso e foram ocupadas segundo o mapa de Aguiar (1989), por áreas de "Cultura Permanente" (216.173,875 m<sup>2</sup>), "Áreas de reflorestamento" (103.749,686 m<sup>2</sup>), “Formação Florestal” (10.605,499 m<sup>2</sup>), e áreas de "Usos não identificados" (5.239,859 m<sup>2</sup>).

Finalmente, os 129.283,50 m<sup>2</sup> definidos para 1971 como "Vegetação Natural degradada", passaram a ser área agrícola de "Cultura Permanente" (121.903,769 m<sup>2</sup>) e áreas de “Formação Florestal” (7.379,7309 m<sup>2</sup>), segundo Aguiar (1989).

Já para o ano de 2014 observou-se um acréscimo na quantidade de classes de usos e ocupação do solo em relação às que tinham sido descritas por Aguiar (1989). Estas mudanças foram quantificadas e estão apresentadas na Tabela 30.

Observe-se que as áreas descritas por Aguiar (1989) como “Cultura Permanente”, mudaram totalmente de uso para o ano 2014. A ampla extensão de 1.861.153,58 m<sup>2</sup> de território assinalado para estes fins passaram a ser ocupados em maior parte pelo campus 2 da EESC - USP, chamada neste trabalho de “Área Universitária”, com uma extensão de 538.708,5461 m<sup>2</sup>; seguido da “Infraestrutura Urbana” (513.827,4273 m<sup>2</sup>); das áreas de “Formação Florestal” (411.257,25 m<sup>2</sup>), “Área Rural” (77.245,445 m<sup>2</sup>), “Praças e Parques” (60.720,27368 m<sup>2</sup>), “Pastagem degradada” (57.575,33 m<sup>2</sup>), e áreas de “Pastagem” (51.359,451 m<sup>2</sup>).

Tabela 29 – Quantificação em m<sup>2</sup> das mudanças para cada classe de cobertura e usos do solo no período 1971-1989.

Tipos de usos e ocupação	Área de Reflorestamento (m <sup>2</sup> )	Cultura Temporária (m <sup>2</sup> )	Formação Florestal (m <sup>2</sup> )	Loteamentos (m <sup>2</sup> )	Pastagem (m <sup>2</sup> )	Solo Exposto (m <sup>2</sup> )	Vegetação Natural Degradada	Total área Ano 1989 (m <sup>2</sup> )
Área de Reflorestamento	836.394,442		20.513,2113	15.776,04266	294.117,022	103.749,686		1.270.550,40
Cultura Permanente (m <sup>2</sup> )	6.723,46046	32.647,6375	151.892,804	6.517,809725	1.325.070,25	216.173,875	121.903,769	1.860.929,61
Formação Florestal (m <sup>2</sup> )	7.763,111784		28.765,4605		8.114,059	10.605,499	7.379,7309	6.2627,8618
Infraestrutura urbana (m <sup>2</sup> )			2.818,66678	679.131,5252	267.808,707			949.758,899
Uso não identificado (m <sup>2</sup> )	20.664,38664		16.050,4338	16.794,83981	239.428,851	5.239,859		298.178,371
<b>Total Ano 1971 (m<sup>2</sup>)</b>	<b>871.545,4009</b>	<b>32.647,637</b>	<b>220.040,576</b>	<b>718.220,217</b>	<b>2.134.538,89</b>	<b>335.768,920</b>	<b>129.283,50</b>	<b>4.442.223,74</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 30 - Quantificação em m<sup>2</sup> das mudanças para cada classe de cobertura e usos do solo no período 1989-2014.

Tipos de usos e ocupação	Área de Reflorestamento	Cultura Permanente	Formação Florestal	Infraestrutura urbana	Uso não identificado	Total Ano 2014 (m <sup>2</sup> )
Área de Ampliação Urbana	294.619,9095					294.619,9095
Área de Reflorestamento	179.454,457		4.377,008503		9.194,9199	
Área Rural		77.245,445			3.649,14697	80.894,59254
Área universitária	37.153,21438	538.708,5461	6.033,847577			581.895,6081
Cultura Temporária		150.459,8487				305.337,9737
Formação florestal	119.373,3274	411.257,2501	52.217,00577	18.624,4319	82.993,3948	684.465,4093
Infraestrutura urbana	506.248,6209	513.827,4273		816.646,5323	178.666,4164	2.015.481,655
Pastagem		51.359,45107				201.819,2998
Pastagem Degradada	77.030,3512				16.088,11175	57.575,33699
Praças e parques	40.492,47313	60.720,27368		114.489,9132	4.431,299469	220.133,9594
Solo Exposto	16.177,2707	57.575,337			3.155,084	
<b>Total Ano 1989 (m<sup>2</sup>)</b>	<b>1.270.550,405</b>	<b>1.861.153,58</b>	<b>62.627,8619</b>	<b>949.760,8773</b>	<b>298.178,3711</b>	<b>4.442.223,745</b>

Fonte: Elaborado pela autora.



No caso das áreas descritas por Aguiar (1989) como “Área de Reflorestamento”, que abrangiam um total de 1.270.550,405 m<sup>2</sup> da área de estudo, mantiveram-se só 179.454,457 m<sup>2</sup> para o mesmo tipo de ocupação; o restante mudou para diversos usos: 506.341,27 m<sup>2</sup> passaram a ser da “Infraestrutura Urbana”, 294.619,9095 m<sup>2</sup> da área de “Ampliação Urbana”, 119.373,32 m<sup>2</sup> para “Formação Florestal”, 40.492,47313 m<sup>2</sup> para “Praças e Parques”, uma porção de 37.153,21 m<sup>2</sup> ficou para uso da “Área Universitária”, e 16.177,271 foram identificadas como “Solo Exposto”.

Dos 62.627,8618 m<sup>2</sup> classificados por Aguiar (1989) como “Formação Florestal”, 52.217,00577 m<sup>2</sup> mantiveram-se com o mesmo uso para 2014, 6.033,847 m<sup>2</sup> passaram a ser “Área Universitária” e o restante (4.377 m<sup>2</sup>) passou a ser “Área de Reflorestamento”; no entanto, neste período as áreas de “Formação Florestal” incrementaram-se 10 vezes do tamanho, sendo mapeados para 2014 uns 684.465,40 m<sup>2</sup> de território com esta categoria. No caso da “Infraestrutura Urbana”, neste período dobrou o tamanho, passando de 949.760,87 m<sup>2</sup> em 1989, para 2.015.481,65 m<sup>2</sup> em 2014; porém, 114.489,91 m<sup>2</sup> da área limita por Aguiar (1989) para estes fins, passaram a ser “Praças e Parques” e 18.624,4319 m<sup>2</sup> áreas de “Formação Florestal” em 2014. Ao mesmo tempo, as áreas (298.178,37 m<sup>2</sup>) de “Uso não identificado” para 1989, transformaram-se em áreas de: “Infraestrutura Urbana” (178.666,41 m<sup>2</sup>), “Formação Florestal” (82.993,40 m<sup>2</sup>), “Pastagem Degradada” (16.088,111 m<sup>2</sup>), “Áreas de Reflorestamento” (9.194,9199 m<sup>2</sup>), “Praças e Parques” (4.431,30 m<sup>2</sup>), e “Área Rural” (3.649,1 m<sup>2</sup>).

Para o último período avaliado nesta etapa do trabalho, entre os anos 2014 e 2018 houve uma redução de 2 tipos de usos e ocupação do solo; as áreas marcadas em 2014 como “Área Rural” e a área de “Pastagem” foram submersas em outras classes para 2018. Estas mudanças foram quantificadas e estão apresentadas na Tabela 31.

Na quantificação das mudanças de cobertura e uso do solo para o período entre 2014 e 2018, observou-se que houve poucos m<sup>2</sup> de variação entre mudanças de uma classe para outra, à exceção das áreas descritas no parágrafo anterior que passaram de 80.894,59 m<sup>2</sup> de “Área Rural”, para áreas de ocupação urbana que inclui “Infraestrutura Urbana” (80.591,2 m<sup>2</sup>) e “Praças e Parques” (303,366 m<sup>2</sup>). No caso das áreas de “Pastagem”, 51.359,45 m<sup>2</sup> de expansão identificados em 2014, passaram a ser em sua totalidade “Pastagem Degrada”.

Uma outra observação importante foi o acréscimo de áreas assinaladas para “Ampliação Urbana”, “Infraestrutura Urbana” e “Solo Exposto”, que passaram de 210.883,76 m<sup>2</sup>, 2.015.707,59 m<sup>2</sup> e 76.907,7 m<sup>2</sup> em 2014, para 294.619,9 m<sup>2</sup>, 2.189.791,20 m<sup>2</sup> e 125.538,225 m<sup>2</sup> em 2018, respectivamente.

Tabela 31 - Quantificação em m<sup>2</sup> das mudanças para cada classe de cobertura e usos do solo no período 2014-2018.

Tipos de usos e ocupação	Área de Ampliação Urbana (m <sup>2</sup> )	Área de Reflorestamento (m <sup>2</sup> )	Área Rural (m <sup>2</sup> )	Área universitária (m <sup>2</sup> )	Cultura Temporária (m <sup>2</sup> )	Formação Florestal (m <sup>2</sup> )	Infraestrutura Urbana (m <sup>2</sup> )	Pastagem (m <sup>2</sup> )	Pastagem Degradada (m <sup>2</sup> )	Praças e parques (m <sup>2</sup> )	Solo Exposto (m <sup>2</sup> )	Total Ano 2018 (m <sup>2</sup> )
Área de Ampliação Urbana (m <sup>2</sup> )	210.404,615	58.048,45598				479,144						210.883,76
Área de Reflorestamento (m <sup>2</sup> )												58.048,456
Área universitária (m <sup>2</sup> )				581.895,61								581.895,610
Cultura Temporária (m <sup>2</sup> )					150.459,848						56.382,3	206.842,154
Formação Florestal (m <sup>2</sup> )	251,861					674.457,3	225,94					674.935,125
Infraestrutura urbana (m <sup>2</sup> )	83.963,43		80.591,2			9.754,882	2.015.481,65		92,65762			2.189.791,20
Pastagem degrada (m <sup>2</sup> )		102.636,7409						51.359,45	19.114,5601		1.193,03	174.303,783
Praças e parques (m <sup>2</sup> )			303,366							220.133,9		220.437,328
Solo Exposto (m <sup>2</sup> )		32.341,19462							73.864,6753		19.332,4	125.538,225
<b>Total ano 2014 (m<sup>2</sup>)</b>	<b>294.619,9</b>	<b>193.026,3915</b>	<b>80.894,59</b>	<b>581.895,61</b>	<b>150.459,48</b>	<b>684.691,3</b>	<b>2.015.707,59</b>	<b>51.359,45</b>	<b>93.071,8931</b>	<b>220.133,9</b>	<b>76.907,7</b>	<b>4.442.223,74</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

Considerando que as áreas de cultura temporária são ocupadas por plantios de cana de açúcar, as áreas de solo exposto em vários casos são referentes ao período entre safras.

O resultado sucinto da evolução percentual das mudanças por ano avaliado, para cada um dos tipos de cobertura e uso do solo, apresenta-se na Tabela 32 a seguir.

Tabela 32- Porcentagem de área ocupada por uso do solo, para os anos 1971, 1989, 2014 e 2018.

Tipos de cobertura e uso	Porcentagem de Área ocupada para cada Ano (%)			
	1971	1989	2014	2018
<b>Infraestrutura Urbana</b>	0	21,38	45,37	49,29
<b>Área de ampliação Urbana</b>	0	0	6,63	4,75
<b>Área Rural</b>	0	0	1,82	0
<b>Área Universitária</b>	0	0	13,1	13,1
<b>Loteamentos</b>	16,17	0	0	0
<b>Uso não identificado</b>	0	6,72	0	0
<b>Culturas Permanentes</b>	0	41,89	0	0
<b>Culturas Temporárias</b>	0,73	0	3,39	4,68
<b>Pastagem</b>	48,05	0	1,16	0
<b>Pastagem degradada</b>	0	0	2,09	3,89
<b>Solo exposto</b>	7,56	0	1,73	2,83
<b>Vegetação natural degradada</b>	2,92	0	0	0
<b>Área de reflorestamento</b>	19,62	28,6	4,34	1,31
<b>Formação Florestal</b>	4,95	1,41	15,41	15,19
<b>Praças e parques</b>	0	0	4,96	4,96
	100	100	100	100

Fonte: Elaborado pela autora.

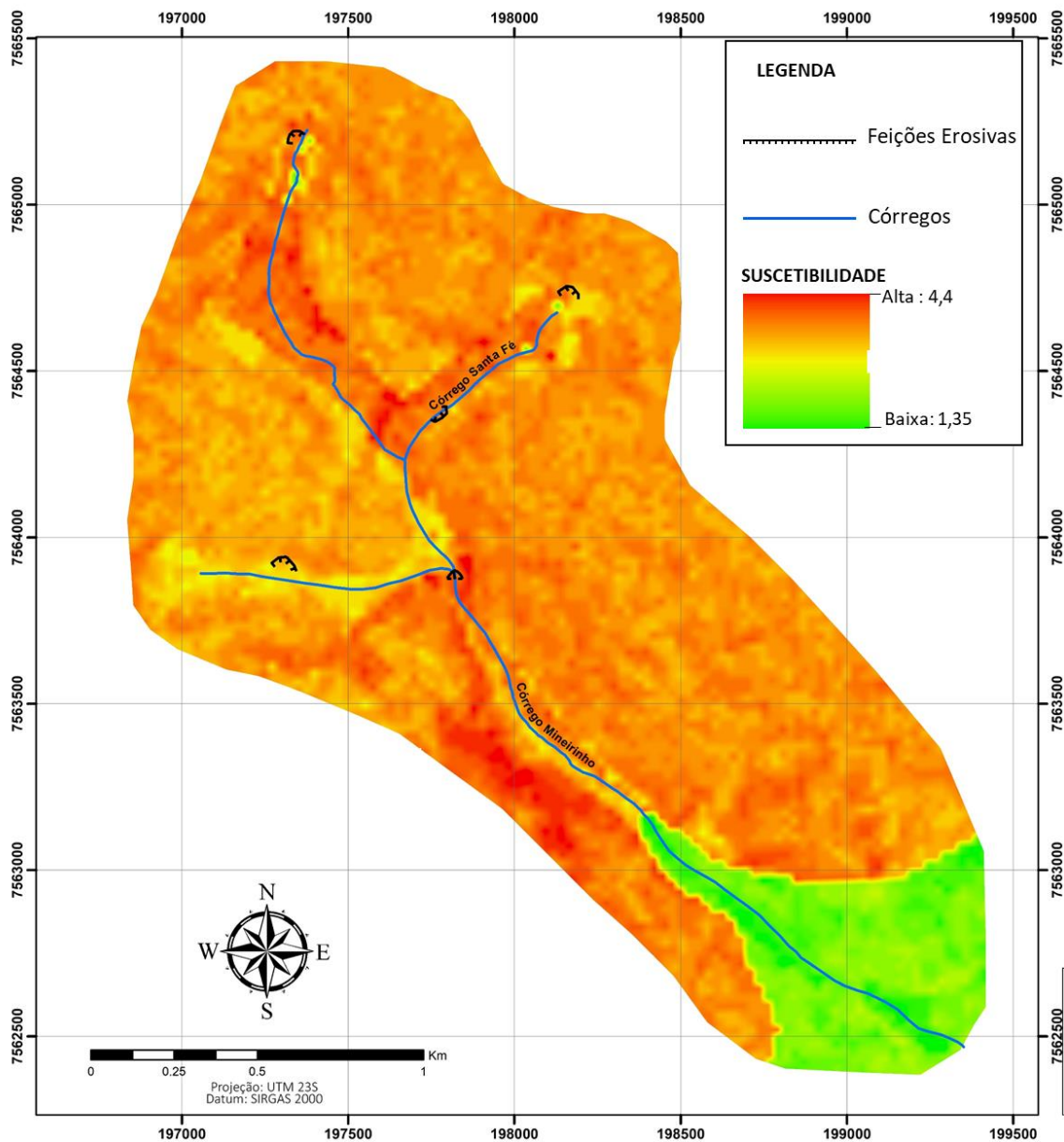
## 5.8 CARTA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO

A carta de suscetibilidade à erosão resultante para a microbacia inteira (Figura 97), apresentou valores de suscetibilidade entre 1,35 e 4,4, onde os valores de suscetibilidade entre 3,00000001 e 5 (alta e muito alta) coincidiram com regiões onde foram identificados processos erosivos.

Porém para uma melhor análise da distribuição das classes de suscetibilidade à erosão, foi necessário reclassificar a carta de suscetibilidade, ajustando os valores obtidos às 5 classes de suscetibilidade (S) definidas previamente:  $S \leq 1$  para suscetibilidade muito baixa;  $1 < S \leq 2$  para suscetibilidade baixa;  $2 < S \leq 3$  para suscetibilidade média,  $3 < S \leq 4$  para suscetibilidade alta; e  $4 < S \leq 5$  para suscetibilidade muito alta. Resultando então uma carta de suscetibilidade de aparência discretizada em 4 conjuntos: suscetibilidade baixa, suscetibilidade média,

suscetibilidade alta e suscetibilidade muito alta (Figura 98; Apêndice 7). Destaca-se que a classe de suscetibilidade “*Muito Baixa*” não apresentou nenhum percentual na área de estudo.

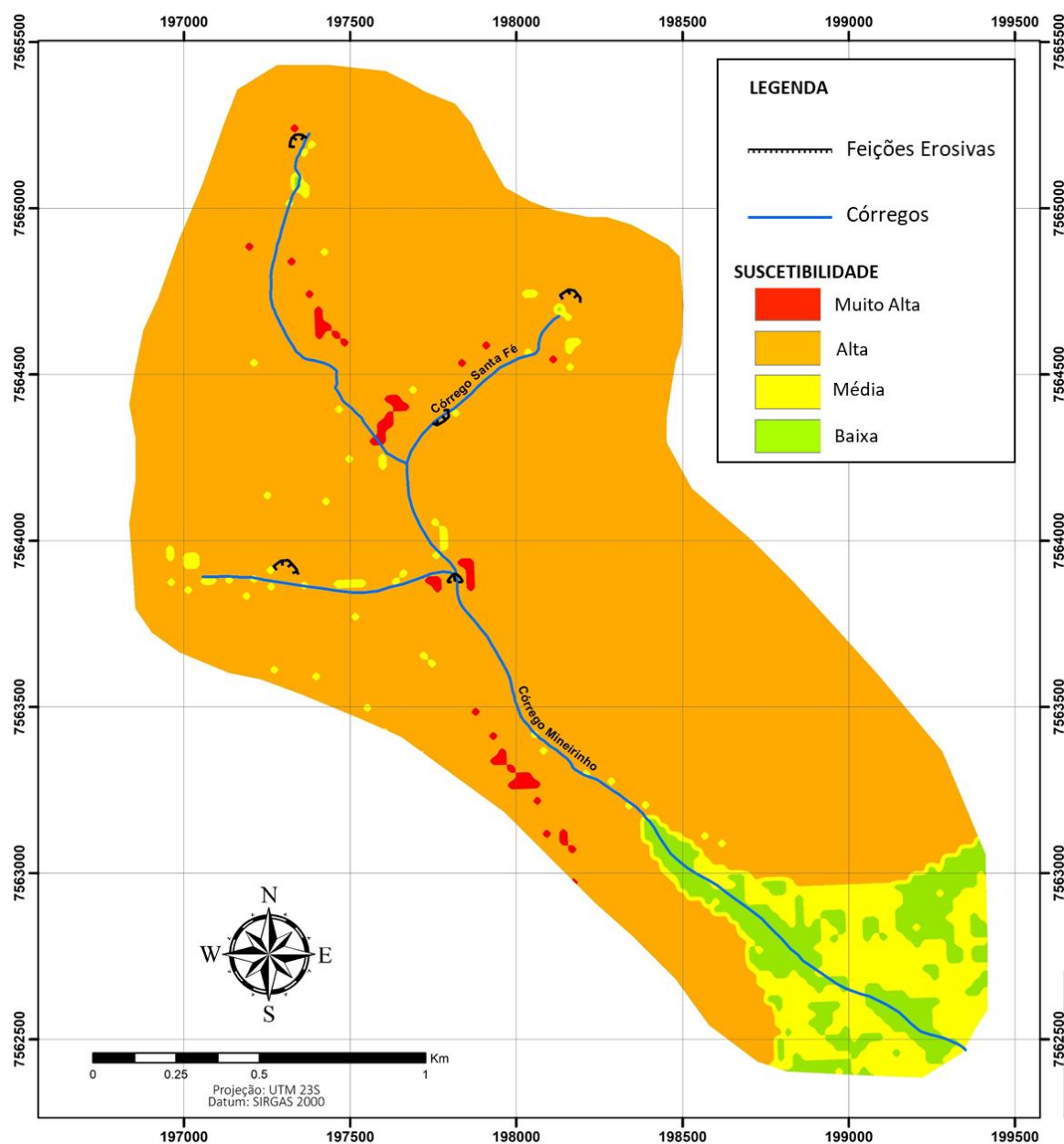
Figura 97 - Carta de Suscetibilidade para a microbacia do córrego Mineirinho.



Fonte: Elaborado pela autora.

Com o intuito de fazer uma melhor interpretação dos resultados obtidos na cartografia de suscetibilidade para a microbacia, procedeu-se a realizar uma carta de suscetibilidade para a “*Área de detalhe*”, onde foram delimitadas com maior precisão as unidades de materiais inconsolidados, assim como as características do relevo.

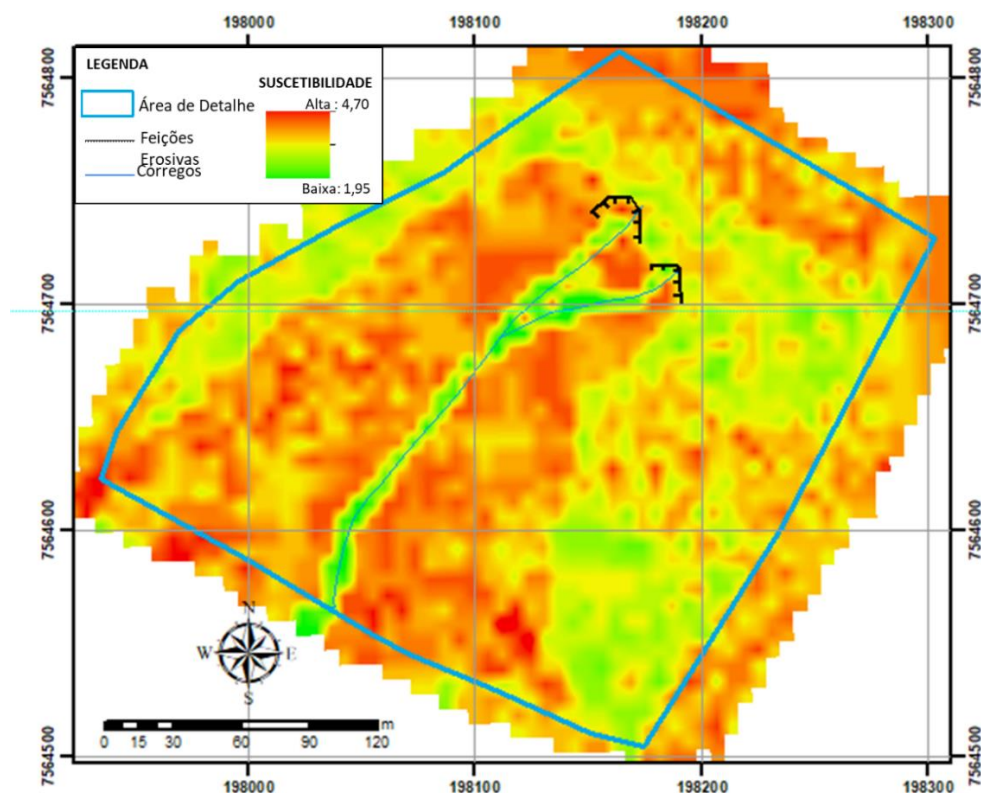
Figura 98 – Carta de Suscetibilidade Reclassificada para a microbacia do córrego Mineirinho.



Fonte: Elaborado pela autora.

Na carta de detalhe (Figura 99 e APÊNDICE 7), observou-se uma maior distribuição das suscetibilidades das classes “alta” e “muito alta”, delimitando com mais exatidão uma das áreas com erosão. Pôde-se observar também a falta da classe “susceptibilidade muito baixa”; assim como valores mais altos para a classe de “susceptibilidade baixa”, onde o índice de suscetibilidade menor foi 1,95 em contraparte ao 1,35 na carta de suscetibilidade para microbacia inteira.

Figura 99 – Carta de suscetibilidade da área de detalhe.



Fonte: Elaborado pela autora.

## 5.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma vez realizados os ensaios correspondentes à caracterização dos materiais inconsolidados, confirmaram-se discernimentos como o de Vaz et al. (2002), que no estudo realizado para a avaliação da resistência à penetração de 6 solos do estado de Paulo, observaram uma dispersão considerável dos pontos ensaiados; e atribuíram este resultado à variação da densidade ao longo da profundidade e entre os locais amostrados. Porém, a distância entre os pontos amostrados para um mesmo solo com diferentes condições de umidade foi de cerca de um metro, mas mesmo assim ocorreu uma variação espacial natural considerável da densidade. Os autores concluíram que as diferenças de comportamento observadas entre os solos foram devido às distintas estruturas, agregações e mineralogias, fazendo com que solos com mesma umidade apresentem resistência muito distintas. Afirmção corroborada com as amostragens resultantes dos ensaios de penetração deste trabalho de investigação, que sugerem variações estruturais e mineralógicas que influenciaram na diferença de densidades dos grãos para condições de umidade parecidas num mesmo material.

Uma outra comprovação no trabalho, foi que para um mesmo tipo de solo, pode-se dizer que a maior resistência à penetração indica uma maior compactação, como foi sugerido por Guimarães (2008), podendo dificultar a infiltração da água e aumentar o escoamento superficial, ficando o solo suscetível à atuação dos processos erosivos.

Os dados de sondagens e perfis geológicos de poços compilados serviram para o zoneamento das características do subsolo da região, por meio da extrapolação das informações obtidas de cada perfil. Porém deve-se ressaltar que para a correlação de camadas, por serem aproveitados relatórios de diversas instituições que usaram termos e formatos diferentes, foi necessário aprofundar com verificações visuais e de ensaios em campo.

A eleição de parâmetros e ponderação de pesos na Análise Multicritérios para a avaliação da suscetibilidade à erosão, neste trabalho, baseou-se nas características das feições erosivas observadas na área de estudo, sendo que a variação vertical de texturas e propriedades geotécnicas das camadas foi identificada como a propriedade mais determinante no desenvolvimento destes processos no contexto local.

No resultado final da carta de suscetibilidade à erosão verificou-se que a “*suscetibilidade alta*” foi predominante na área de estudo, isso se deve muito provavelmente em função da presença elevada das classes de materiais inconsolidados coluvionares e hidromórficos, de características geotécnicas (baixa resistência à penetração e baixa coesão entre os grãos) favoráveis à decorrência de processos erosivos, além da pressão urbana exercida sob os solos nessa região onde concentrou-se a “*suscetibilidade alta*”. Porém, verifica-se que nas regiões onde evidenciou-se a classe de “*suscetibilidade muito alta*”, ter maior influência a declividade, que nesses pontos resultou de classe 5 ( $>20^\circ$ ).

## 6 CONCLUSÕES

Esta pesquisa oferece uma contribuição para o fortalecimento do escopo da geologia urbana com base no aproveitamento de dados de subsolo (sondagens geotécnicas, poços, etc.) preexistentes, como fonte de informação, não só para compensar a muito frequente inexistência de afloramentos geológicos no contexto urbano, se não com o intuito da apropriação do patrimônio técnico muito disperso nas cidades em crescimento. Dentro dessa abordagem, esta dissertação revelou as possibilidades oferecidas pelos dados de subsolo como ferramenta na avaliação da decorrência de processos geológicos em áreas urbanas, como no caso das erosões na microbacia do córrego Mineirinho.

Evidenciou-se que a montagem de um banco de dados geológico-geotécnicos de subsolo possibilita uma orientação tanto aos órgãos públicos como empresas privadas, podendo direcionar as avaliações iniciais às ocupações do solo e as subsequentes investigações necessárias, de forma mais assertiva e eficiente. Sugerimos a disponibilização de dados públicos ou privados de relatórios de sondagens SPT nos documentos entregues às Prefeituras Municipais por ocasião da aprovação dos projetos e alvará de execução das obras e constar do Código de Obras e Edificações (COE) dos municípios. Enfatizando que essa proposta não onera o proprietário da obra, uma vez que a norma NBR 6122, item 4.3 de Projeto e Execução de Fundações (ABNT, 2019) obriga a execução das sondagens SPT para todas as edificações.

A realização da cartografia evolutiva do cobertura e uso do solo desde o ano 1971 até o ano 2018 amostrou a influência das mudanças (de áreas inicialmente destinadas para usos agrícolas que mudaram quase integralmente para áreas urbanas) no desenvolvimento de processos erosivos em duas das cabeceiras dos córregos, identificados com data de início entre nos anos 2010 e 2015; assim como as feições erosivas encontradas no Campus II da EESC-USP claramente influenciadas pelos coletores das águas superficiais que cada vez dispõem de menor área para sua infiltração no solo por conta do crescimento da infraestrutura universitária.

A carta de suscetibilidade à erosão gerada apresentou uma tendência de concentração da classe “suscetibilidade alta” e demarcou moderadamente as áreas reconhecidas com desenvolvimentos de processos erosivos, muito melhor delimitadas na carta da “*área de detalhe*” que derivou de uma base cartográfica atualizada e de melhor resolução, fortalecendo assim o resultado obtido da análise multicritério.

Apesar do grau de subjetividade existente em análises multicritérios, esta pesquisa teve a discricção de utilizar valores e parâmetros mais acordes com a realidade local que com a sugestões da literatura, para cada um dos fatores condicionantes avaliados. Dessa forma, os produtos cartográficos, bem como as análises geradas poderiam ajudar à gestão pública no planejamento do território.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A. E. S. **Mapeamento Geotécnico para gestão municipal: Abordagem combinando três métodos distintos e sua aplicação em Analândia (SP)**. 2006. 217p. Dissertação (Mestrado em Engenharia em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

AGUIAR, R.L. **Mapeamento geotécnico da área de expansão urbana de São Carlos – SP: contribuição ao planejamento**. Dissertação de Mestrado (Departamento de Geotecnia) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2v.127p+14mapas. 1989.

ALMEIDA C. Os direitos dos consumidores no caso de vícios construtivos ocultos graves que são capazes de colocar a vida em risco. **Jurídico Certo**. 7 de dez. 2017. Disponível em: <https://juridicocerto.com/p/carlaalmeidaadv/artigos/os-direitos-dos-consumidores-no-caso-de-vicios-construtivos-ocultos-graves-que-sao-capazes-de-colocar-a-vida-em-risco-4176> . Acesso em: 10 mar. 2019.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **Annual book of ASTM standards**. Section 4, Construction. Vol. 04.08: Soil and Rock; dimension stone; geosynthetics. Philadelphia, 1990.

AOTA, R. K. **Mapeamento preliminar para fundações do campus São Carlos da UFSCar, utilizando geotecnologias**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, 2019, 50p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122 - Projeto e Execução de Fundações**, 108p. ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457 - Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**, 12p. ABNT, 2016a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181 – Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484 - Solo: Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio**, 17p. ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8036 - Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios**, 3p. ABNT, 1983.

AUGUSTO FILHO, O. **Cartas de risco de escorregamentos: Uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela, SP**. 1994, 168 p. Dissertação (mestrado), EPUSP, São Paulo, 1994.

BARTOLOMEU, D. **Análise da vulnerabilidade dos recursos hídricos na região urbana de São Carlos (SP) por vazamento em postos de combustíveis, utilizando o método GOD e avaliação dos condicionantes geotécnicos**. 2012. 173 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotécnica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

BELTRAME, L.F.S.; GONDIN, L.A.P. & TAYLOR, J.C. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, v.5, p.145-149, 1981.

BEN, F.. Utilização do método AHP em decisões de investimento ambiental. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, **Anais...XXVI ENEGEP** - Fortaleza, CE, v. 26, p. 1-8, 2006.

BENINI, R de. M.; MARTIOLI, C.; MENDIONDO, E. M. **Uso de SIG Associado ao Método Racional para Previsão de Vazões na Bacia do Córrego do Mineirinho, São Carlos-SP**. In: III Simpósio de Recursos Hídricos. Goiânia, 2004. 11 p.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.6, p.581-8, 2004.

BONUCCELLI, T., DE OLIVERIA, M. M. L., MACIEL, A. M., MUZETI, S., ROHM, S. A. **Ensaio de Laboratório de Mecânica dos Solos –Identificação Visual e Tátil**. Apostila. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP, 8p. 2004.

BOULET, R. Uma evolução recente da pedologia e suas implicações no conhecimento da gênese do relevo.1992. In: III Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. **Anais...Belo Horizonte: ABEQUA**, 1992.

BOWLES, J. E. **Foundation Analysis and Design**, McGraw-Hill, Inc., New York, 1977.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**: texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1988, com as alterações determinadas pelas Emendas Constitucionais de Revisão n.1 a 6/94, pelas Emendas Constitucionais n. 1/92 a 91/2016 e pelo Decreto Legislativo n. 186/2008. Brasília: Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, 2016. 496 p.

BRASIL. **Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002. Institui o Código Civil**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 139, n. 8, p. 1-74, 11 jan. 2002. PL 634/1975.

BREVIK, E. C., CERDÀ, A., MATAIX-SOLERA, J., PEREG, L., QUINTON, J. N., SIX, J., & VAN OOST, K. The interdisciplinary nature of Soil. **Soil** v.1, n.1, p. 117-129, 2015.

CÂMARA, K. R. R.; PEREIRA, A. C. **Análise de perfis de sondagem SPT e caracterização geotécnica de solos do Município de Natal**. HOLOS, v.1/2005, ano 21, p.38-53. 2005.

CARVALHO, D.F. de; DURIGON, V.L.; ANTUNES, M.A.H.; ALMEIDA, W.S. de; OLIVEIRA, P.T.S. de. Predicting soil erosion using Rusle and NDVI time series from TM Landsat 5. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, p.215-224, 2014. DOI: 10.1590/S0100-204X2014000300008.

CASAGRANDE, A.A. **Compactação e manejo do solo na cultura da cana-de-açúcar**. In: MORAES, M.H.; MÜLLER, M.M.L.; FOLONI, J.S.S. (Ed.). Qualidade física do solo: métodos de estudo - sistemas de preparo e manejo do solo. Jaboticabal: FUNEP, 2001. p.150-97.

CERRI, L.E.S.; AKIOSSI, A.; AUGUSTO FILHO, O.; ZAINÉ, J.E. Cartas e mapas geotécnicos de áreas urbanas: reflexões sobre as escalas de trabalho e proposta de elaboração

com o emprego do método do detalhamento progressivo. In: Congresso Brasileiro de geologia de Engenharia, 8, 1996, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABGE, 1996. v. 2, p. 537-547.

CINTRA, J. C. A. & AOKI, N. **Fundações por estacas: projeto geotécnico**. [S.l: s.n.], 2010.

COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES. **Norma Técnica Nacional para Edificaciones Sismorresistentes COVENIN 1756-2001**. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela n. 36.635 del 20 de enero de 1999, Versión del 06 de septiembre de 2019. Actualmente en revisión.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; AZEVEDO, L. G. de; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos: INPE, 2001. 25p.

CUNHA, J.P.A.R.; VIEIRA, L.B.; MAGALHAES, A.C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa - MG, v.10, n.1-4, p.1-7, 2002.

CULSHAW, M. G.; Price, S. J. The 2010 Hans Cloos lecture: the contribution of urban geology to the development, regeneration and conservation of cities. **Bulletin of Engineering Geology and Environment**, v.70, n.3. p. 333-376. 2011.

EIRAS, C. G. S. **Mapeamento da suscetibilidade a eventos perigosos de natureza geológica e hidrológica em São Carlos - SP**. 2017, 194 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

FRITTON, D.D. A standard for interpreting soil penetrometer measurements. **Soil Science**, Baltimore, v.150, n.2, p.542-51, 1990.

GENRO JÚNIOR, S.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa - MG, v.28, n.3, p.477-484, 2004.

GEROTO, R. E. **Zoneamento preliminar dos solos do campus São Carlos da UFSCar para orientar projetos de fundações**. 2005, 70p. Trabalho de Graduação Integrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, 2005.

GIOVANNI JUNIOR, N. **Análise e Aplicação de Metodologias de Predição de Processos Erosivos Utilizando SIG na Bacia Hidrográfica do Córrego do Engano, Nova Canãa Paulista - SP**. 2019. 164p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, SP. 2019.

GODOY, N.S. **Estimativa da capacidade de carga de estaca a partir de resultados de penetrômetro estático**. Palestra. São Carlos (SP): Escola de Engenharia de São Carlos- USP, 1983.

GOUJON, P. **Conservation des sols en Afrique et à Madagascar**. 1ère partie: les facteurs de l'érosion et l'équation universelle de Wischmeier. **Bois & Forêts des Tropiques**, V.118, p. 3-17, 1968.

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; JÚNIOR, MARTINS JÚNIOR, D.; SILVA, D. D. Avaliação de um modelo para a estimativa da lâmina máxima de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 411-417, 2001.

GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. **Processos erosivos nas encostas. geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro, Bertrand, 1995. p.149-209

GUIMARÃES, C, FERREIRA, M. D., e PEJON, O. J. Aplicação do penetrômetro de impacto em estudos de processos erosivos na bacia do córrego da Barra em São Pedro - SP. In XI Congresso Nacional de Geotecnia, Coimbra, 2008. Anais ... XI Congresso Nacional de Geotecnia, Lisboa: Sociedade Portuguesa de Geotecnia, 2008.

HASSAN, A. **The effects of material parameters on dynamic cone penetrometer results for fine-grained soils and granular materials**. 1996. 134 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Oklahoma State University, Stillwater, Oklahoma, 1996.

HILLEL, D. **Soil in the environment: crucible of terrestrial life**. Elsevier, 2007.

IGBE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE (15 de janeiro de 2016). **Áreas dos Municípios**. <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/sao-carlos.html>. Consultado em 24 de abril de 2018.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Carta geotécnica dos morros de Santos e São Vicente, SP**. Publicação IPT n. 1135. São Paulo, 1980.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Mapeamento e diagnóstico das áreas de risco associado a processos de instabilização do terreno nas encostas dos Morros de Santos, SP**. Relatório Técnico 77889-205. São Paulo, 2004.

IPT- CPRM (2016). **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000** (livro eletrônico): nota técnica explicativa / coordenação Omar Yazbek Bitar. -- São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; Brasília, DF : CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014.

INSTITUTO DE TERRAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (ITESP). **Sítios e ‘situantes’: planejamento territorial e cálculo de módulo para assentamentos rurais**. 2ª ed. São Paulo: FITESP, 2000.

KARMANN, I.; TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. de; FAIRCHILD, T.; TAIOLI, F. **Ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica**. In: Decifrando a terra [S.l: s.n.], 2000.

LADEIRA, F.S.B. **Paleossolos silicificados na Serra de Itaqueri-Itirapina/SP: subsídios para a reconstituição paleoambiental**. 2001. 362 p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

LAL, R. **Soil Erosion in the Tropics: Principles and Management**. New York, 1990: McGraw-Hill.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 216 p. ISBN 978-85-7975-008-3

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, New York, v.1, n.1, p.277-94, 1985.

LIMA, J. M. **Relação entre erosão, teor de ferro, parâmetros físicos e mineralógicos de solos da região de Lavras (MG)**. 1987. 86 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Lavras Universidade Federal de Lavras. 1987.

LORANDI, R.; CASTRO, D. M. ; FERES, R. . Carta pedológica das áreas urbana e suburbana de São Carlos (SP). **Revista brasileira de cartografia (IMPRESSO)**, Presidente Prudente (SP), v. 51, n.1, p. 9-15, 1999.

MORAIS, N. **Capacidade adaptativa específica do município de São Paulo às mudanças climáticas: uma análise a partir do mapeamento das áreas de risco, sistema de alerta e planos de contingência de Defesa Civil**. 2019. 143 p Dissertação de mestrado em Saúde Pública, Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

NISHIYAMA, L. **Procedimento de mapeamento geotécnico como base para análises ambientais do meio físico, em escala 1:100.000. Aplicação no município de Uberlândia – MG**. 1998, 363 f. 2v. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, Sao Carlos, 1998.

NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN. **Norma Ecuatoriana de la Construcción – Geotecnia y Cimentaciones**, NEC-SE-CG, 2014, 61p.

OLIVEIRA, J.B. & PRADO, H. **Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de Ribeirão Preto**, Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 1987, 133p.

OLIVEIRA, V.G. **Estudo geológico e geotécnico de depósito antropogênico de resíduos na cidade de São Carlos**. 2019. 155p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019.

PEJON, O. **Mapeamento geotécnico da folha de Piracicaba-SP (escala 1: 100.000): Estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação dos atributos**. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, Sao Carlos, 1992.

POESEN, J. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. **Catena** [S.I.]. 2003, v. 50, n. 2-4, p. 91-133.

POLYAKOV, V.O.; NEARING, M.A. Sediment transport in rill flow under deposition and detachment conditions. **Catena**, v.51, p33-43, 2003.

PONS, N. A. D. **Levantamento e diagnóstico geológico-geotécnico de áreas degradadas na cidade de São Carlos-SP, com o auxílio ge geoprocessamento**. Tese de Doutorado. USP - São Carlos, 2006.

PROIN/CAPES e UNESP/IGCE. **Material Didático: arquivos de transparências (CD)**. Rio Claro: Departamento de Geologia Aplicada, 1999.

PRANDINI, F.L.; NAKAZAWA, V.A.; FREITAS, C.G.L. & DINIZ, N.C. **Cartografia geotécnica nos planos diretores regionais e municipais**. In: BITAR, O.Y. (Coord.). Curso de

geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1995. cap. 4.4, p.187-202.

PREFEITURA MUNICIPAL DO RIO DE JANEIRO. PMRJ. **Decreto 35.127 de 16 de fevereiro de 2012**. Dispõe sobre a obrigatoriedade de entrega de cadastro digitalizado das redes e/ou instalações existentes no subsolo da cidade do Rio de Janeiro e dá outras providências. Por fim, as diretrizes do Plano Diretor da Cidade do Rio de Janeiro – Lei Complementar nº 111, de 1º de fevereiro de 2011. Secretaria do Governo Municipal de Rio de Janeiro, 2012, 78p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. PMSP. **Decreto 57.707 de 26 de maio de 2017**. Dispõe sobre o armazenamento das informações georreferenciadas das redes de infraestrutura. Nos termos da Lei nº 16.255, de 10 de setembro de 2015, que alterou a Lei nº 13.164, de 2 de julho de 2003. Secretaria do Governo Municipal de São Paulo, 2017, 2p.

QUEIROZ NETO, J. P. O papel da pedogênese no modelado do relevo: busca de novos paradigmas. In: Seminário latino americano de geografia física, 6 e Seminário ibero americano de geografia física, 2, 2010, Coimbra. **Anais[...]**, Coimbra, 2010, p.1-19.

RADAM BRASIL **Folhas SF23/24 – Rio de Janeiro/Vitória**. Levantamento de Recursos Naturais V. 32. Rio de Janeiro, 1983. 780 p.

RIDENTE JÚNIOR, J.L. **Prevenção e controle da erosão urbana: bacia do Córrego do Limoeiro e do Córrego do Cedro, municípios de Presidente Prudente e Álvares Machado, SP**. 2000, 129p. Dissertação (Mestrado em Geociências), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

RODRIGUES, B. B. **Inventário e análise de suscetibilidade aos movimentos de massa gravitacionais e erosões na região de Águas de Lindóia - SP – escala 1:10000**. 1998. 140p. Dissertação (Mestrado em geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

SAATY, T. **How to Make a Decision The Analytic Hierarchy Process**. 1970. European Journal of Operational Research, 48, 9-26

SALOMÃO, F.X.T.; IWASA, O.Y. **Erosão e a Ocupação rural e Urbana**. In: BITAR, O.Y. (Coord.). Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), cap.3.2, p.31-57, 1995.

SÃO CARLOS. Prefeitura Municipal de São Carlos. **Plano Diretor do Município de São Carlos**. Lei n. 18.053 de 19 de dezembro de 2016.

SCHMITZ, M. et al. Estudio de Microzonificación sísmica de Portoviejo, Ecuador. In: II Congreso Internacional de Geociencia, investigación y tecnologías en ciencias de la tierra, Arequipa. **Anais...** Arequipa: UNSA, 2018a.

SCHMITZ, M. et al. Seismic microzoning study in Portoviejo, Ecuador. In: 2018 Seismology of the Americas, Miami. **Anais...** Miami: SSA and LACSC, 2018b.

SELBY, M. J. **Hillslope materials and processes**. 2ª ed., Oxford University Press, Oxford, 1993.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa**. Coordenação: PIMENTEL J., SANTOS, T. DOS. Rio de Janeiro: CPRM, 2018. 74p.

SILVA, A.P.da; IMHOFF, S.C.; TORMENA, C.A.; LEÃO, T.P. **Avaliação da compactação de solos florestais**. In: GONÇALVES, J.L. de M.; STAPE, J.L. (Ed.). Conservação e cultivo de solos para plantações florestais. Piracicaba: IPEF, 2002. p.352-372.

SILVA, G.J.; VALADÃO JÚNIOR, D.D.; BIANCHINI, A.; AZEVEDO, E.C. de; MAIA, J.C.S. Variação de atributos físico-hídricos em Latossolo Vermelho-Amarelo do cerrado mato-grossense sob diferentes formas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, n.32, p.2.135-2.143, 2005.

SINGER, A. **Introducción a las amenazas naturales. Evaluación de la amenaza sísmica**. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS). 2012. 39p.

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA - SSSA. **Glossary of Soil Science Terms**. 2008. 88p.

SOARES, W. C. **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 IND.SPT' para obras de fundação em João Pessoa – PB**. 2011. 215p. Tese de Doutorado em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.

SOUSA, A. T de. **Processo erosivo linear na bacia do córrego Pontinhas em Orizona–GO**. 2001. 159 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Instituto de Estudos Sócio Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2001.

SOUZA, L. A. Procedimentos para Elaboração de Cartas Geotécnicas no Planejamento Urbano. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.67, n.1, p.141-156, 2015.

STOLF, R.; MURAKAMI, J. H.; BRUGNARO, C.; SILVA, L. G.; SILVA, L. C. F.; MARGARIDO, L. A. C. Penetrômetro de impacto Stolf - programa computacional de dados em EXCEL-VBA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (Impresso), v. 38, p. 774-782, 2014.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, p.229-235, 1991.

STOLF, R. FERNANDES, J. & FURLANI NETO, V.L.. **Recomendação para uso do penetrômetro de impacto**. Araras: Kamaq Máquinas e Implementos Agrícolas, s/d. 10p, 1983.

TEXEIRA, A.H; GODOY, N.S. **Análise, projeto e execução de fundações rasa**, in: HACHICH, W. et al (ed.) Fundações: teoria e prática. São Paulo: Pini, Cap. 7, p. 227-264, 1996.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.2, p.333-39, 1996.

TORRADO, P.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S. S. **Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas**. In: VIDAL-TORRADO, P. et al. (Org.). Tópicos em Ciências do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. p. 145-192. v. 04, 2005.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Superintendência de Recursos Naturais e Meio ambiente. Diretoria Técnica. Rio de Janeiro, p. 97, 1977.

URBAN geology. 2008. Disponível em *the Geological Survey of Canada website* at: [http://gsc.nrcan.gc.ca/urbgeo/index\\_e.php](http://gsc.nrcan.gc.ca/urbgeo/index_e.php). Acesso em: 15 set. 2019.

VAZ, C. M P; PRIMAVESI, O; PATRIZZI, V. C; IOSSI, M. F. **Influência da Umidade na Resistência do Solo Medida com Penetrômetro de Impacto**. São Carlos. EMBRAPA instrumentação agropecuária, 2002. 5 p. Comunicado Técnico nº 51.

VENEZUELA. **Ley de Minas**. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 5.382 (Extraordinario), Septiembre 20, 1999.

VENEZUELA. **Constitución de la República Bolivariana de Venezuela**. Gaceta Oficial de la Rep. Bolivariana de Venezuela n. 36.870, Diciembre 30, 1999. 81p.

VILLAÇA, P. G. H. C. A. **Carta geotécnica para orientar projetos de fundações na UFSCar campus de São Carlos**. 2011, 40p. Trabalho de Graduação Integrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, 2011.

WINGE, M. **Boçoroca** in: Glossário Geológico Ilustrado. 2001. Disponível em <http://sigep.cprm.gov.br/glossario/> Acesso em 21 de janeiro de 2021.

YAMANOUTH, G.R.B. **Análise dos processos erosivos e das técnicas de controle e reabilitação – bacia do córrego Espreado – São Pedro (SP)**. v.1, 2003, p.177. Dissertação. (Área de Concentração de Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

ZAINE, J. E. **Mapeamento Geológico-geotécnico por meio do método de detalhamento progressivo: Ensaio de Aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)**. 2000. 189p. Tese (Doutorado em Geociências). Área de concentração em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

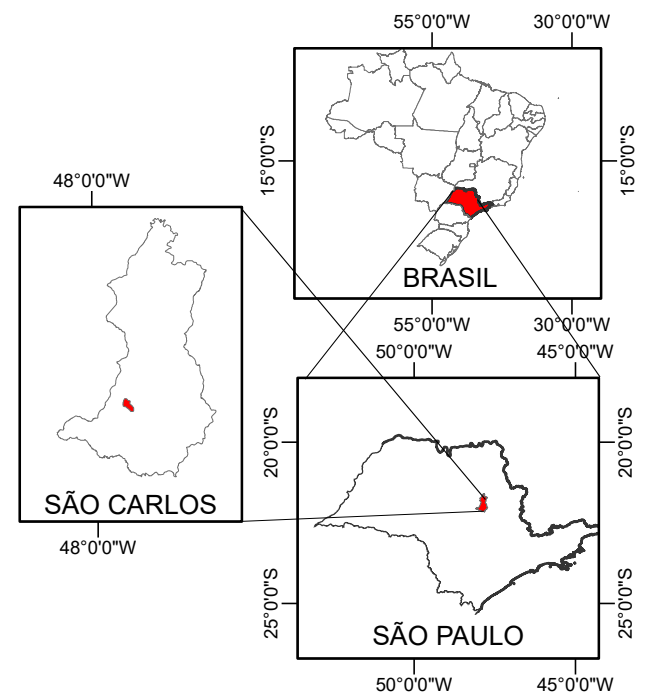
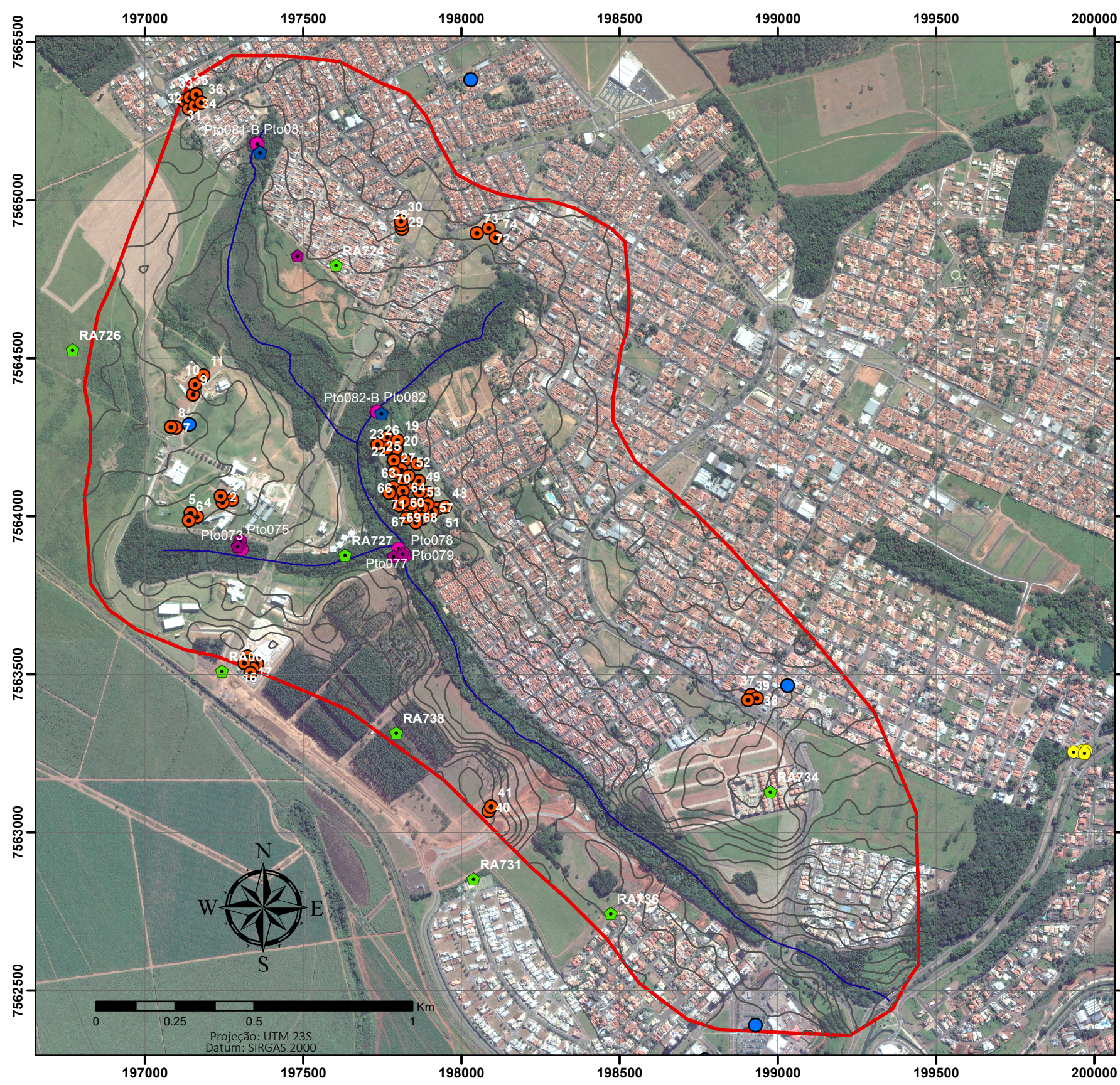
ZUQUETTE, L.V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras**. São Carlos, SP, 1987. Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo/USP. 1987.

ZUQUETTE, L. V. **A importância do mapeamento geotécnico no uso e na ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração**. 1993. 369p. Tese de Livre Docência – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

ZUQUETTE, L. V. **Riscos, desastres e eventos naturais perigosos: Aspectos conceituais na análise e estimativa de riscos**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier editora Ltda, 2018. V. 1. 290p.




**APÊNDICES**




## APÊNDICE 1 CARTA DE DOCUMENTAÇÃO MICROBACIA DO CÓRREGO MINEIRINHO 1:15.000



### Legenda

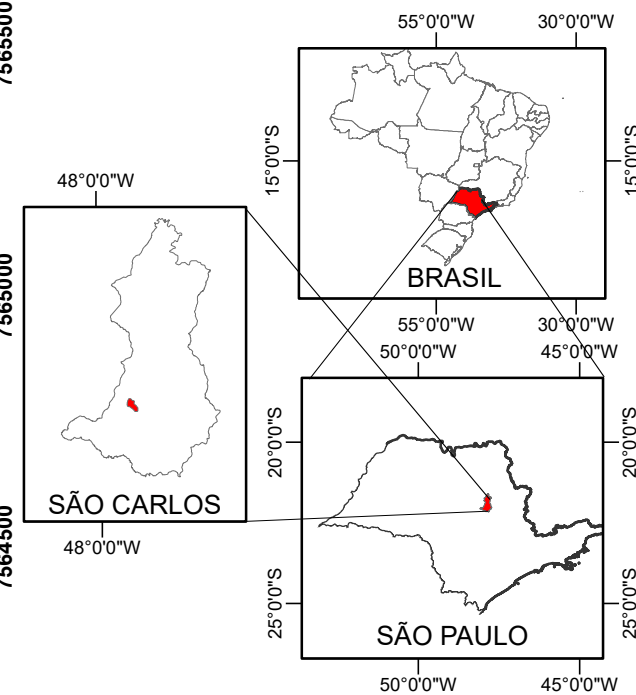
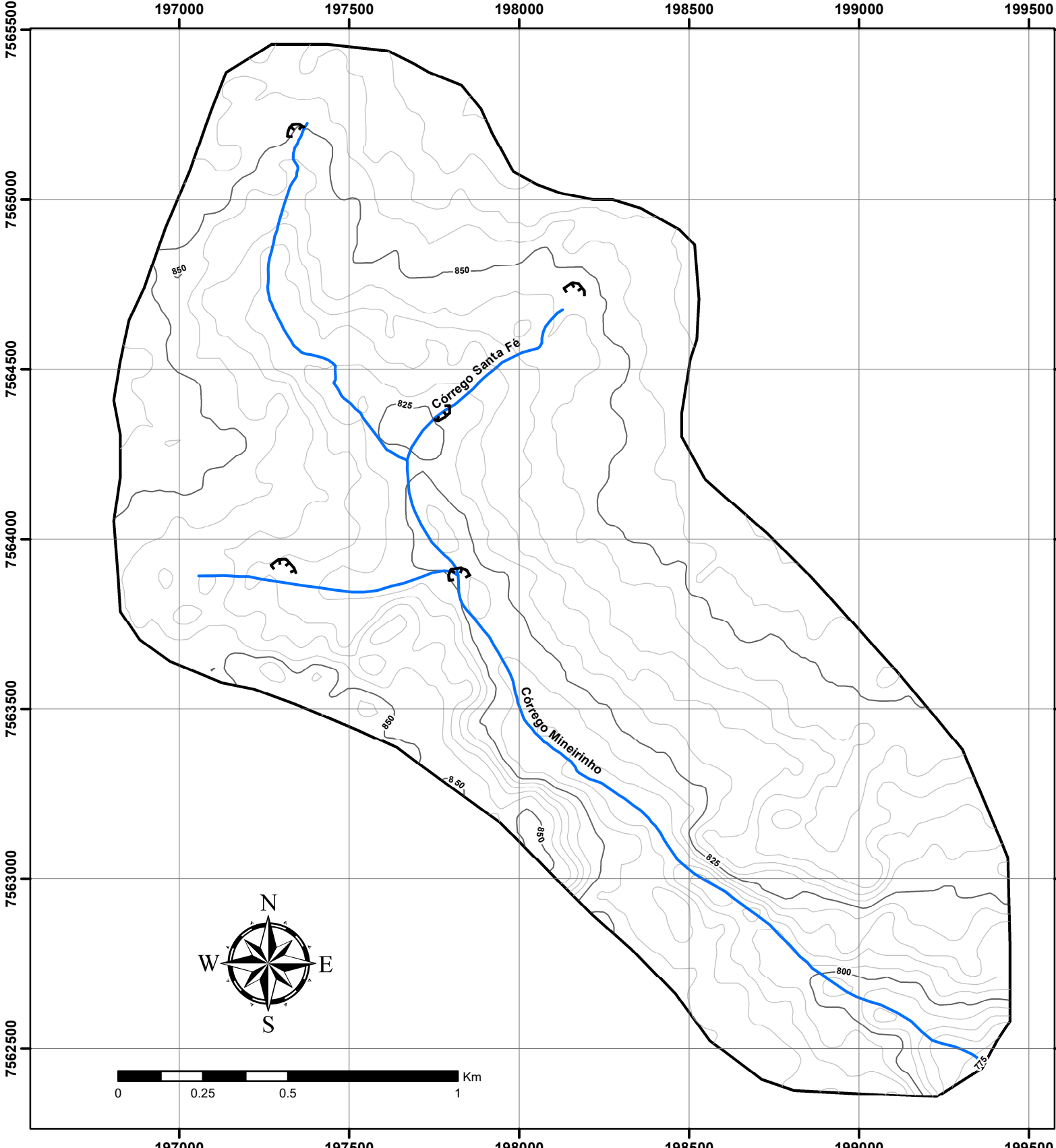
- Feições Erosivas
- Córregos
- Curvas de nível Primárias (25m)
- Curvas de nível Secundárias (5m)
- Ensaios com Penetrômetro de Impacto
- Amostragem
- Amostragem com ensaio de granulometria
- Sondagens SPT pré-existentes (Diversas Instituições)
- Sondagens Ambientais pré-existentes (CETESB)
- Poços de água (SIAGAS-CPRM)
- Amostragem com ensaios (AGUAR, 1989)


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
 CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana  
 Departamento de Engenharia Civil


**INVESTIGAÇÃO APLICADA À GESTÃO DE RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO, PARA FINS DE PLANEJAMENTO URBANO. CASO PILOTO: "EROSÃO NA CIDADE DE SÃO CARLOS"**





Autora: Ileana C. Osorio Acosta  
 Orientadora: Prof. Dra. Denise Balestrero Menezes




**APÊNDICE 2**  
**CARTA TOPOGRÁFICA**  
**MICROBACIA DO CÓRREGO MINEIRINHO**  
**1:15.000**

**Legenda**


-  Feições Erosivas
-  Curvas de nível Primárias (25m)
-  Curvas de nível Secundárias (5m)
-  Córregos

Projeção: UTM 23S  
 Datum: SIRGAS 2000


Gerado do processamento do DEM da imagem de radar do sensor PALSAR do satélite Alos, com data de janeiro de 2011 e com uma resolução espacial de 12,5 m




UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
 CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana  
 Departamento de Engenharia Civil

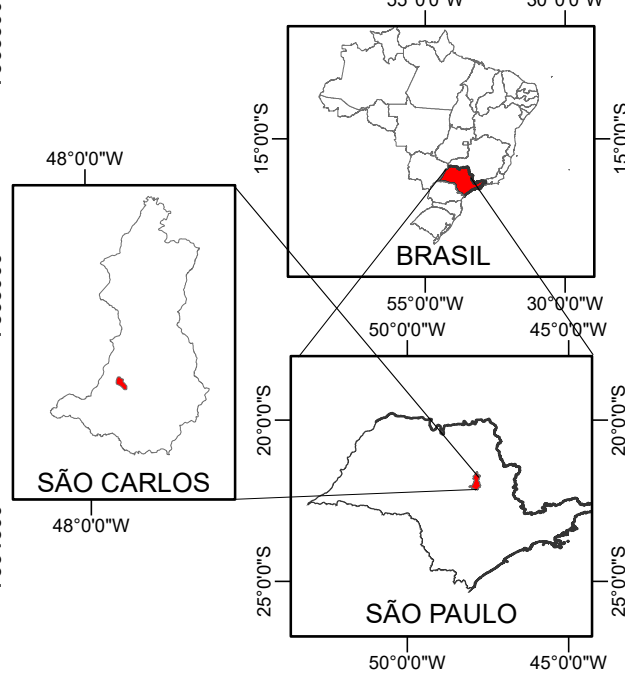
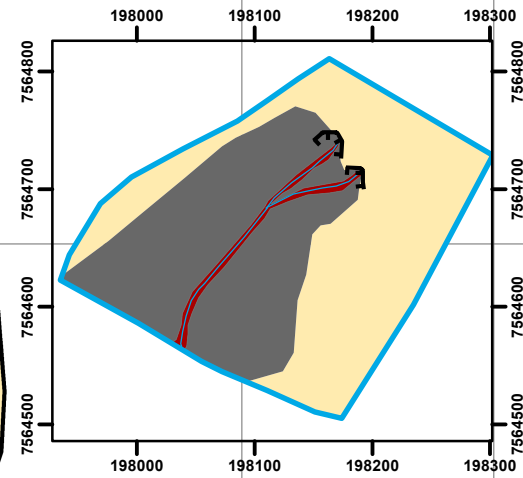
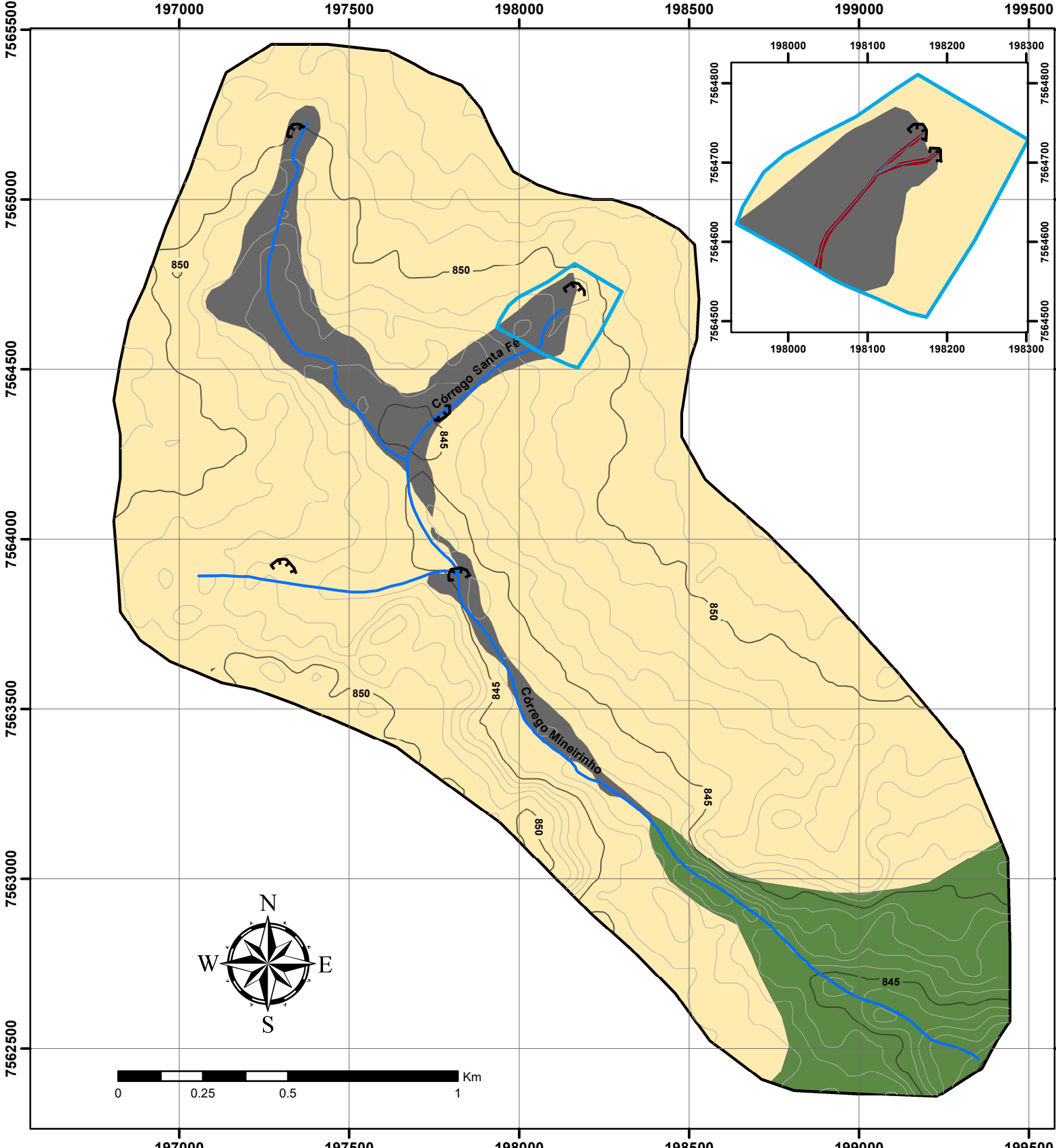


**INVESTIGAÇÃO APLICADA À GESTÃO DE RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO, PARA FINS DE PLANEJAMENTO URBANO. CASO PILOTO: "EROSÃO NA CIDADE DE SÃO CARLOS"**












Autora: Ileana C. Osorio Acosta  
 Orientadora: Prof. Dra. Denise Balestrero Menezes







**APÊNDICE 3**  
**MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS**  
**MICROBACIA DO CÓRREGO MINEIRINHO**  
**1:15.000**

**Legenda**

-  Área de detalhe
-  Feições Erosivas
-  Curvas de nível Primárias (25m)
-  Curvas de nível Secundárias (5m)
-  Córregos
-  UNIDADE I - Coluvionar
-  UNIDADE II - Hidromórficos
-  UNIDADE III - Residual do Itaqueri
-  UNIDADE IV - Residuais dos Magmatitos Básicos



Projeção: UTM 23S  
 Datum: SIRGAS 2000

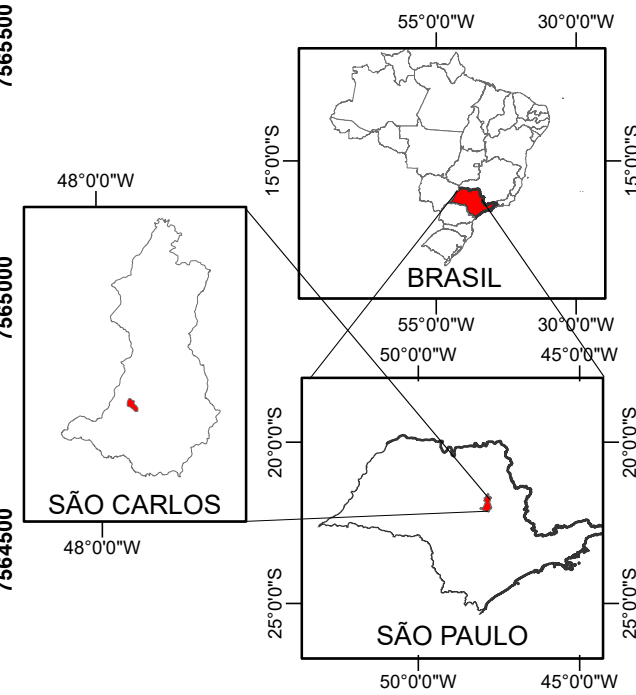
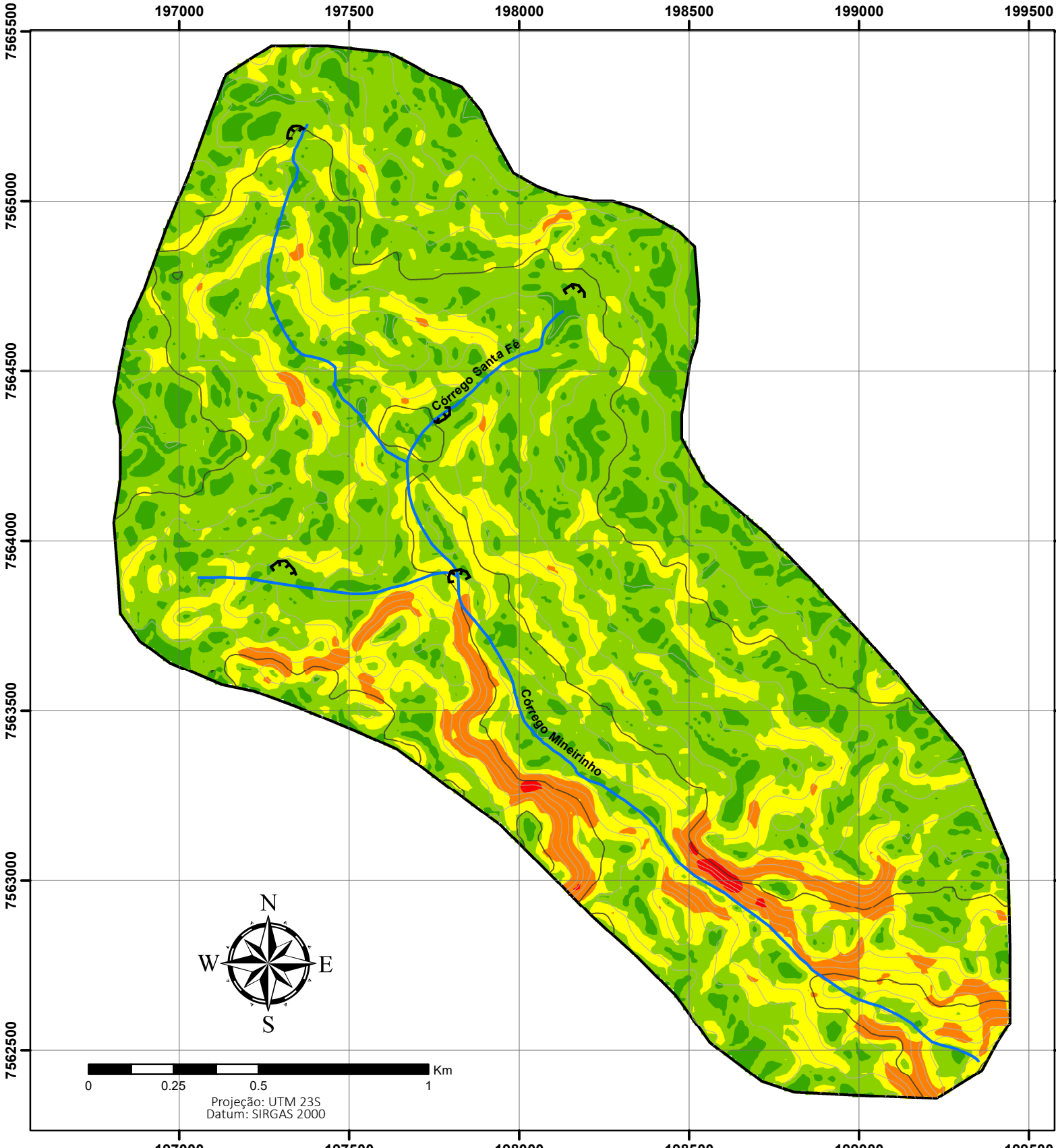

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
 CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana  
 Departamento de Engenharia Civil



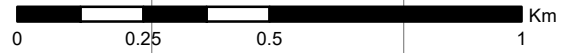
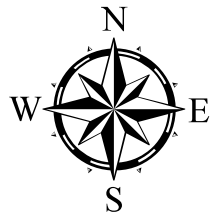
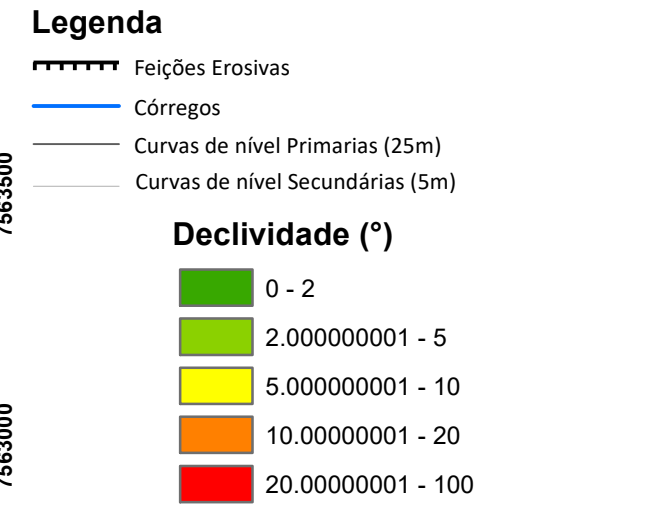
**INVESTIGAÇÃO APLICADA À GESTÃO DE RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO, PARA FINS DE PLANEJAMENTO URBANO. CASO PILOTO: "EROSÃO NA CIDADE DE SÃO CARLOS"**

Autora: Ileana C. Osorio Acosta  
 Orientadora: Prof. Dra. Denise Balestrero Menezes



**APÊNDICE 4**  
**CARTA DE DECLIVIDADE**  
**MICROBACIA DO CÓRREGO MINEIRINHO**  
**1:15.000**



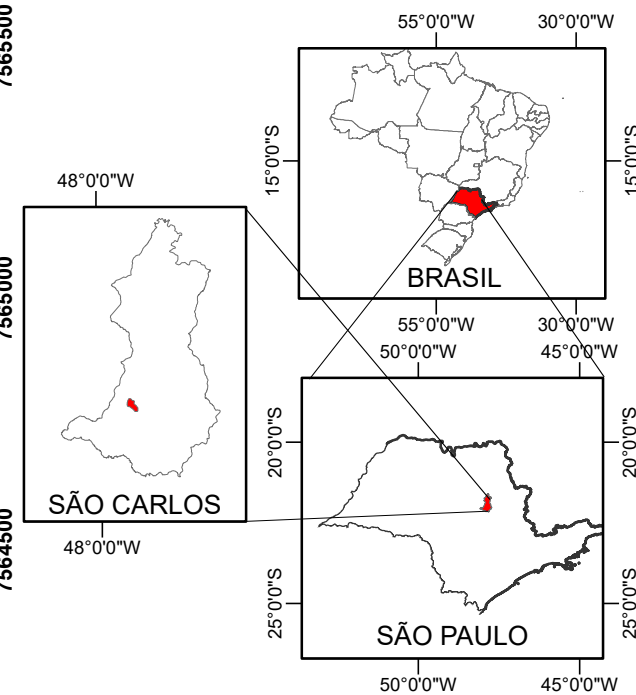
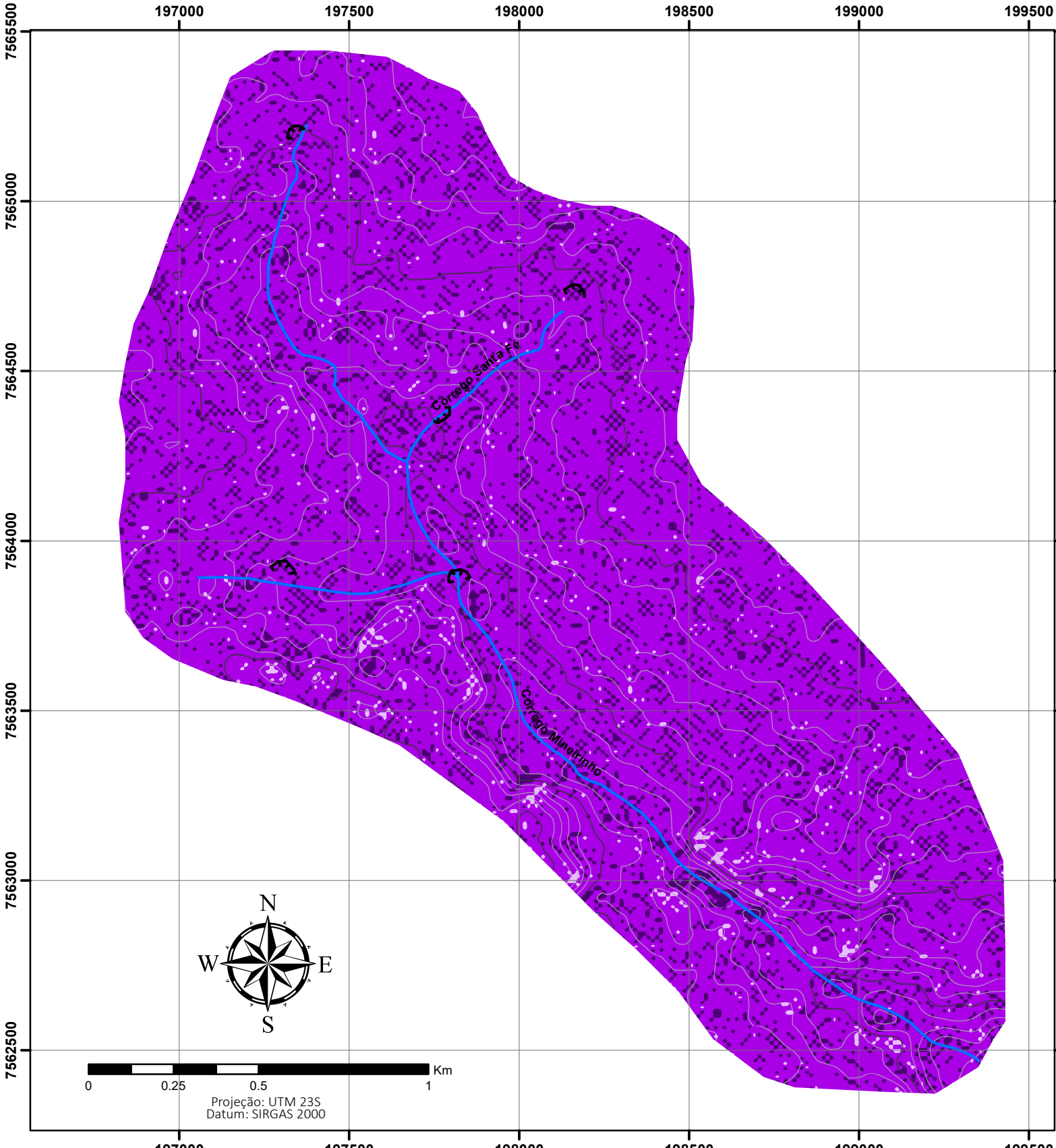
Projeção: UTM 23S  
 Datum: SIRGAS 2000

Gerado do processamento do DEM da imagem de radar do sensor PALSAR do satélite Alos, com data de janeiro de 2011 e com uma resolução espacial de 12,5 m





UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
 CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana  
 Departamento de Engenharia Civil




INVESTIGAÇÃO APLICADA À GESTÃO DE RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO, PARA FINS DE PLANEJAMENTO URBANO. CASO PILOTO: "EROSÃO NA CIDADE DE SÃO CARLOS"

Autora: Ileana C. Osorio Acosta  
 Orientadora: Prof. Dra. Denise Balestrero Menezes




**APÊNDICE 5**  
**CARTA DE CURVATURA DAS VERTENTES**  
**MICROBACIA DO CÓRREGO MINEIRINHO**  
**1:15.000**


- Legenda**
-  Feições Erosivas
  -  Córregos
  -  Curvas de nível Primárias (25m)
  -  Curvas de nível Secundárias (5m)

- CURVATURA**
-  Convexa
  -  Retilínea
  -  Côncava


Gerado do processamento do DEM da imagem de radar do sensor PALSAR do satélite Alos, com data data janeiro de 2011 e com uma resolução espacial de 12,5 m




UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
 CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana  
 Departamento de Engenharia Civil

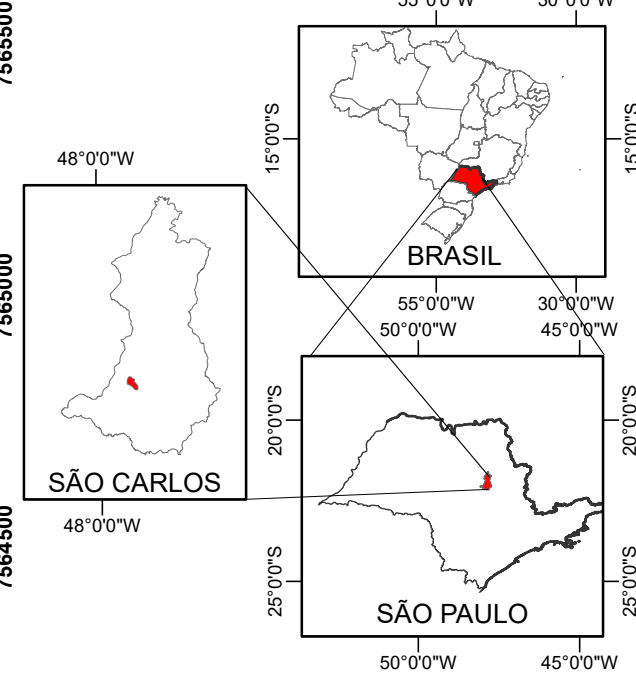
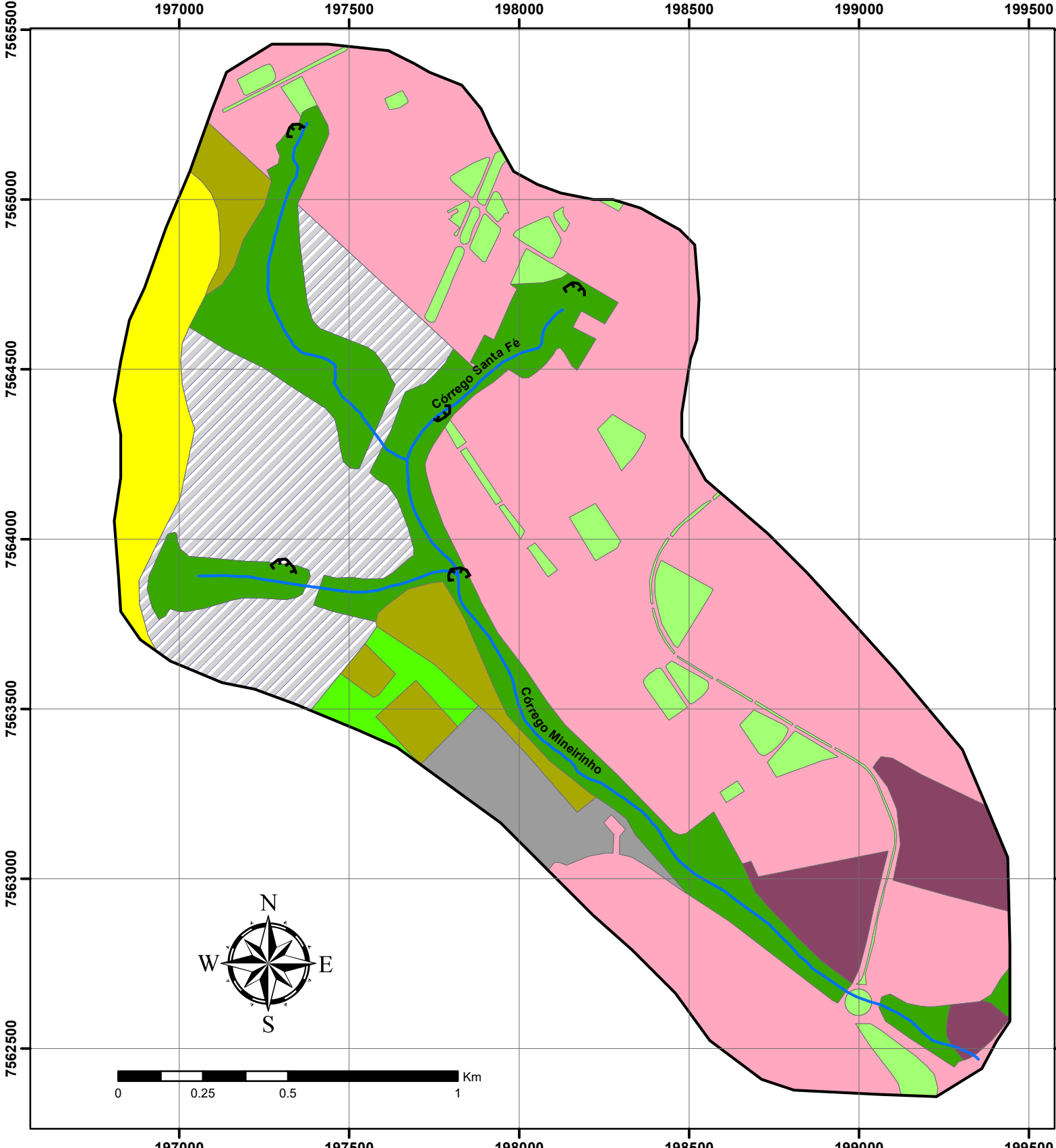


INVESTIGAÇÃO APLICADA À GESTÃO DE RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO, PARA FINS DE PLANEJAMENTO URBANO. CASO PILOTO: "EROSÃO NA CIDADE DE SÃO CARLOS"











Autora: Ileana C. Osorio Acosta  
 Orientadora: Prof. Dra. Denise Balestrero Menezes






**APÊNDICE 6**  
**MAPA DE COBERTURA E OCUPAÇÃO DO SOLO**  
**MICROBACIA DO CÓRREGO MINEIRINHO**  
**1:15.000**


- Legenda**
-  Área universitária
  -  Infraestrutura urbana
  -  Área de ampliação Urbana
  -  Praças e Parques
  -  Formação Florestal
  -  Solo Exposto
  -  Cultura Temporária
  -  Pastagem degradada
  -  Córregos
  -  Feições Erosivas

Projeção: UTM 23S  
 Datum: SIRGAS 2000

Gerado da interpretação das imagens do satélite World View – 2 (WV2), com data de julho de 2018 e resolução espacial de 50cm, disponíveis World Imagery do software ArcGis 10.5. (ESRI, 2019)





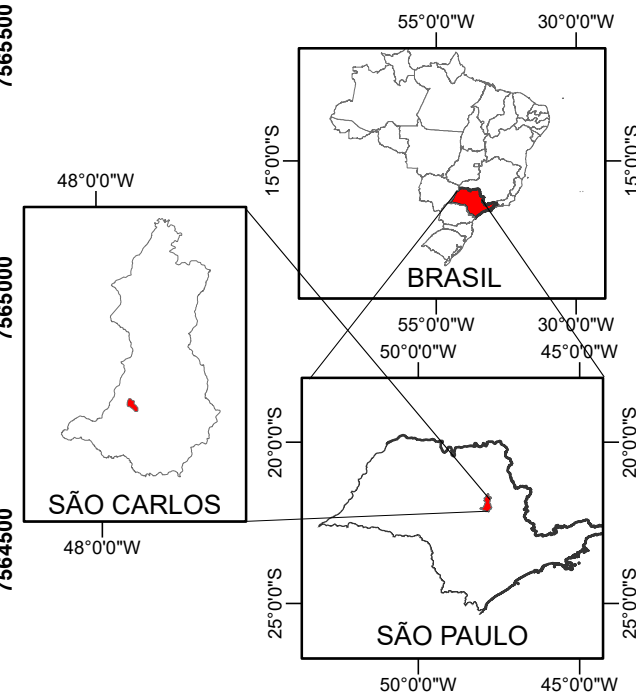
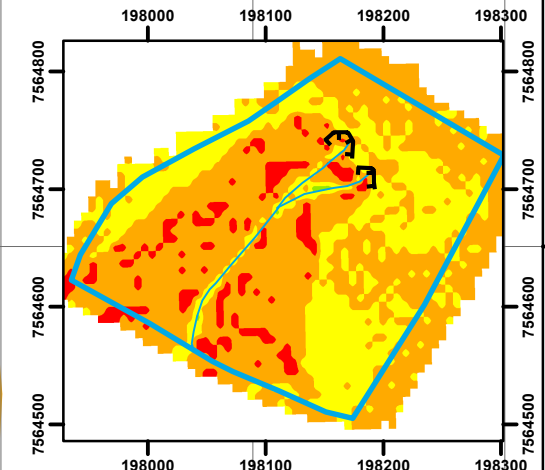
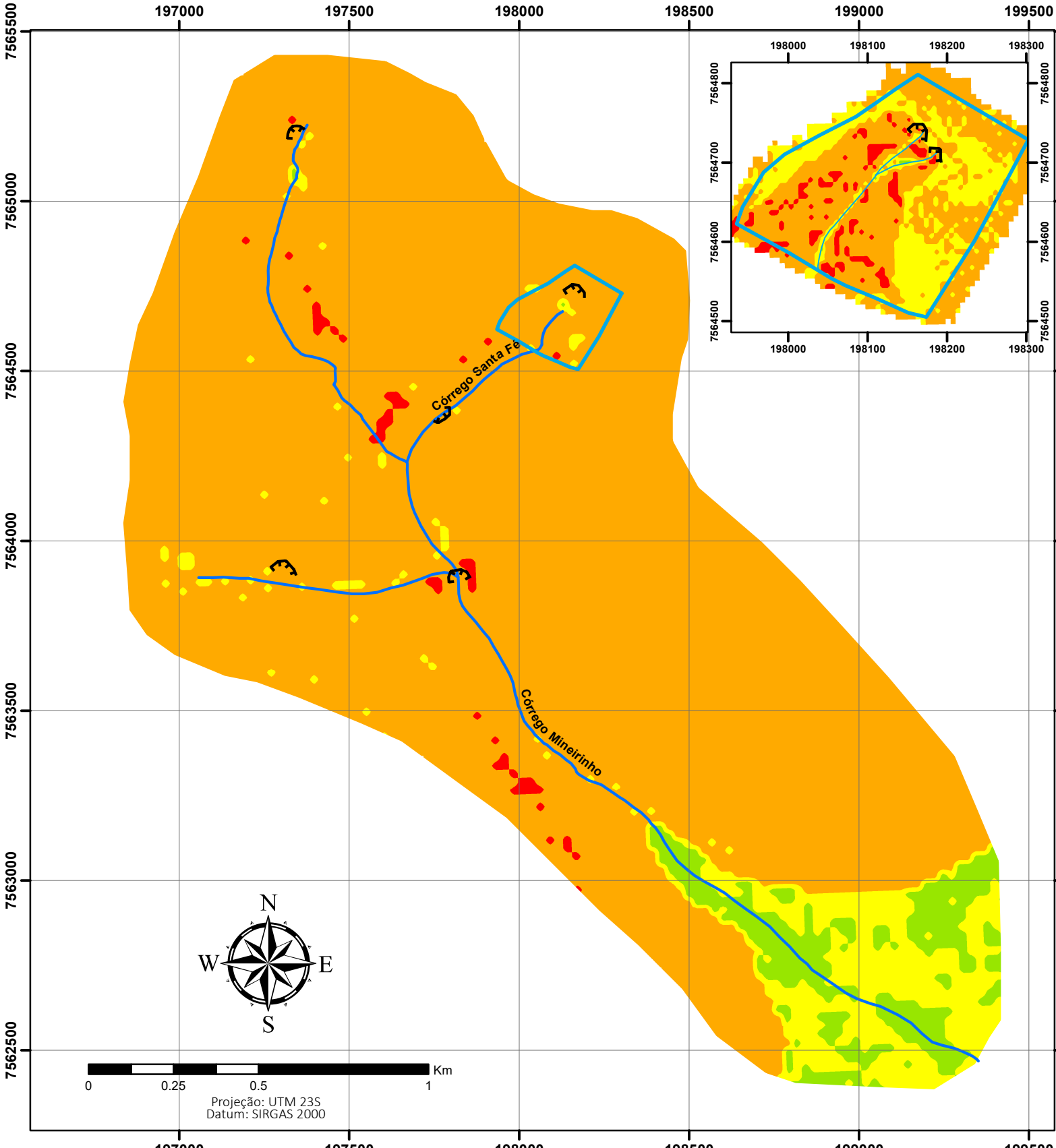
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
 CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana  
 Departamento de Engenharia Civil








INVESTIGAÇÃO APLICADA À GESTÃO DE RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO, PARA FINS DE PLANEJAMENTO URBANO. CASO PILOTO: "EROSÃO NA CIDADE DE SÃO CARLOS"





Autora: Ileana C. Osorio Acosta  
 Orientadora: Prof. Dra. Denise Balestrero Menezes



**ANEXO 7**  
**CARTA DE SUSCETIBILIDADE À EROSIÃO**  
**MICROBACIA DO CÓRREGO MINEIRINHO**  
**1:15.000**

- Legenda**
-  Área de detalhe
  -  Feições Erosivas
  -  Córregos
  -  Curvas de nível Primárias (25m)
  -  Curvas de nível Secundárias (5m)

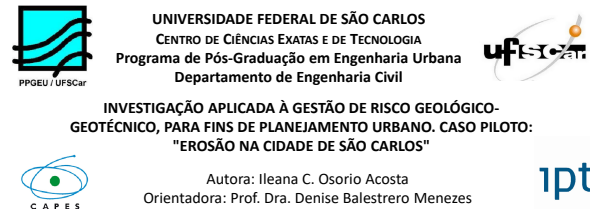
- CLASSES DE SUSCETIBILIDADE**
-  BAIXA
  -  MÉDIA
  -  ALTA
  -  MUITO ALTA

Gerado a partir da análise multicritérios das cartas temáticas antecessoras (ANEXOS 3 a 6)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
 CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana  
 Departamento de Engenharia Civil

INVESTIGAÇÃO APLICADA À GESTÃO DE RISCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO, PARA FINS DE PLANEJAMENTO URBANO. CASO PILOTO: "EROSÃO NA CIDADE DE SÃO CARLOS"

Autora: Ileana C. Osorio Acosta  
 Orientadora: Prof. Dra. Denise Balestrero Menezes





**APÊNDICE 8** – Resultados da determinação de Umidade Higroscópica para todas as amostras coletadas.

Ponto GPS	N de amostra	Cota do furo	Data coleta amostra	Data Peso Seco	Teor de umidade
073	0	841m	4/12/2019	11/12/2019	8.76
073	1		4/12/2019	11/12/2019	8.13
073	2		4/12/2019	11/12/2019	5.81
073	3		4/12/2019	16/12/2019	15.20
073	4		4/12/2019	16/12/2019	9.99
073	5		4/12/2019	16/12/2019	12.54
073	6		4/12/2019	16/12/2019	13.96
075	0	841m	4/12/2019	16/12/2019	13.13
075	1		4/12/2019	16/12/2019	11.79
075	2		4/12/2019	16/12/2019	20.39
075	3		4/12/2019	16/12/2019	14.09
075	4		4/12/2019	16/12/2019	13.46
075	5		4/12/2019	16/12/2019	12.19
075	6		4/12/2019	16/12/2019	13.37
077	0	826m	5/12/2019	16/12/2019	13.73
077	1		5/12/2019	16/12/2019	11.72
077	2		5/12/2019	16/12/2019	12.18
077	3		5/12/2019	16/12/2019	14.39
077	4		5/12/2019	16/12/2019	16.41
077	5		5/12/2019	16/12/2019	21.16
077	6		5/12/2019	16/12/2019	27.35
078	0	817m	5/12/2019	16/12/2019	41.91
078	1		5/12/2019	16/12/2019	25.81
078	2		5/12/2019	16/12/2019	28.66
078	3		5/12/2019	16/12/2019	28.41
078	4		5/12/2019	16/12/2019	28.10
078	5		5/12/2019	16/12/2019	22.71
078	6		5/12/2019	16/12/2019	34.74
079	0	816m	5/12/2019	16/12/2019	32.56
079	1		5/12/2019	16/12/2019	38.14
079	2		5/12/2019	16/12/2019	38.23
079	3		5/12/2019	16/12/2019	40.65
079	4		5/12/2019	16/12/2019	37.77
079	5		5/12/2019	16/12/2019	23.90
079	6		5/12/2019	16/12/2019	22.44
081	0	802m	17/12/2019	27/12/2019	11.51
081	1		17/12/2019	27/12/2019	14.78

081	2		17/12/2019	27/12/2019	18.12
081	3		17/12/2019	27/12/2019	11.97
081	4		17/12/2019	27/12/2019	27.13
081	5		17/12/2019	27/12/2019	89.49
081	6		17/12/2019	27/12/2019	26.11
081B	0	802m	17/12/2019	27/12/2019	5.04
081B	1		17/12/2019	27/12/2019	6.90
081B	2		17/12/2019	27/12/2019	8.81
081B	3		17/12/2019	27/12/2019	12.34
081B	4		17/12/2019	27/12/2019	20.85
081B	5		17/12/2019	27/12/2019	20.75
081B	6		17/12/2019	27/12/2019	17.68
082	0	835m	19/2/2020	27/2/2020	13.20
082	1		19/2/2020	27/2/2020	14.24
082	2		19/2/2020	27/2/2020	13.98
082	3		19/2/2020	27/2/2020	14.62
082	4		19/2/2020	27/2/2020	15.74
082	5		19/2/2020	27/2/2020	15.38
082	6		19/2/2020	27/2/2020	16.08
082B	0	835m	19/2/2020	27/2/2020	15.22
082B	1		19/2/2020	27/2/2020	13.97
082B	2		19/2/2020	27/2/2020	15.28
082B	3		19/2/2020	27/2/2020	18.11
082B	4		19/2/2020	27/2/2020	12.25
082B	5		19/2/2020	27/2/2020	16.62
082B	6		19/2/2020	27/2/2020	22.28

**APÊNDICE 7:** Inventário de mapeamentos geológicos-geotécnicos para o estado de São Paulo

ID	Município	Tipo de mapa	Tipo de processo	Instituição	Data
1	Americana	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	ago-16
2	Analândia	Carta Geotécnica		EESC-USP	ene-05
3	Apiáí	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	oct-16
4	Aparecida	Mapeamento de áreas de risco	Escorregamento, erosão e inundações	IG-CEDEC	nov-11
5	Araraquara	Carta de risco	Erosão e inundações	IG-CEDEC	may-08
	Araraquara	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	mar-18
6	Arthur Nogueira	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	ago-16
7	Arujá	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	nov-17
8	Atibaia	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	oct-17
9	Barueri	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	jul-17
10	Bauru	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	jul-14
11	Bebedouro	Mapeamento de áreas de risco	Escorregamento, erosão e inundações	IG-CEDEC	mai-08
12	Bertioga	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	abr-17
13	Biritiba Mirim	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	oct-17
14	Bom Jesus dos perdões	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	oct-17
15	Caçapava	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	mar-18
16	Caieiras	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	jun-13
17	Cajamar	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	jun-17
18	Cajati	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	feb-14
19	Campinas	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	jul-14
20	Campo Limpo Paulista	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	jul-13
21	Campos do Jordão	Mapeamento de riscos		EESC-USP	ene-07
	Campos do Jordão	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	ene-14
22	Cananeia	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	mar-14
23	Cândido Rodrigues	Mapeamento de áreas de risco	Escorregamento, erosão e inundações	IG-CEDEC	nov-08
24	Caraguatatuba	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	may-17
25	Carapicuíba	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	ago-13
26	Conchas	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	dic-16

ID	Município	Tipo de mapa	Tipo de processo	Instituição	Data
27	Cordeirópolis	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	ene-17
26	Conchas	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	dic-16
27	Cordeirópolis	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	ene-17
28	Corumbataí	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	ene-17
29	Cotia	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	jul-17
30	Cubatão	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	dic-13
31	Cunha	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	ene-14
32	Diadema	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	ago-13
33	Eldorado	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	jul-14
34	Embu-Guaçu	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	jul-13
35	Embu das Artes	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	ago-17
36	Ferraz de Vasconcelos	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	oct-17
37	Francisco Morato	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	ago-13
38	Franco da Rocha	Carta Geotécnica		UNESP	sep-15
	Franco da Rocha	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	jun-17
39	Guararema	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	sep-13
40	Guaratinguetá	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	ene-14
41	Guarujá	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	dic-13
42	Guarulhos	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	ago-13
43	Ibiúna	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	oct-15
44	Igaratá	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	nov-17
45	Iguape	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	jul-14
46	Ilhabela	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	ene-14
47	Ipeúna	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	ene-17
48	Itanhaém	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	abr-17
49	Itapeccerica de Serra	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	jul-13
50	Itapetininga	Mapeamento de áreas de risco		IPT	dic-04

ID	Município	Tipo de mapa	Tipo de processo	Instituição	Data
	Itapetininga	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	jul-14
51	Itapevi	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	jun-13
52	Itaquaquetuba	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	ago-13
53	Itu	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	jul-13
54	Jacareí	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	nov-17
55	Jacupiranga	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	feb-14
56	Jaboticabal	Mapeamento de áreas de risco	Escorregamento, erosão e inundações	IG-CEDEC	oct-06
57	Jambeiro	Mapeamento de áreas de risco	Escorregamento, erosão e inundações	IG-CEDEC	nov-08
58	Jaú	Mapeamento Geotécnico		UNESP	2008
59	Joanópolis	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	feb-18
60	Jundaí	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	jul-13
61	Limeira	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	jul-17
62	Mairinqué	Mapeamento de áreas de risco	Escorregamento, erosão e inundações	IG-CEDEC	ene-05
63	Mairiporã	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	jun-13
64	Matão	Mapeamento de áreas de risco	Escorregamento, erosão e inundações	IG-CEDEC	nov-08
65	Mauá	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	ago-13
66	Mogi de Cruzes	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	oct-17
67	Mombuca	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	may-16
68	Monteiro Lobato	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	jul-16
69	Mongaguá	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	abr-17
70	Monte Alto	Mapeamento de áreas de risco	Erosão	IG-CEDEC	nov-08
71	Natividade da Serra	Mapeamento de áreas de risco	Escorregamento, erosão e inundações	IG-CEDEC	nov-08
72	Nazaré Paulista	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	oct-17
73	Osasco	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	ago-13
74	Paraibuna	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	nov-18
75	Paraibuna	Mapeamento de áreas de risco	Escorregamentos e inundações + Erosão	IG-CEDEC	oct-06
76	Parapuã	Mapeamento de áreas de risco	Enchentes, inundações e movimentos em massa	CPRM	may-14

ID	Município	Tipo de mapa	Tipo de processo	Instituição	Data
77	Pariquera-Açu	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	feb-14
78	Paulínia	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações + <b>Erosão</b>	IPT-CPRM	dic-18
79	Pedra Bela	Mapeamento de áreas de risco	Enchentes, inundações e movimentos em massa	CPRM	jun-15
80	Pedreira	Mapeamento de áreas de risco	Enchentes, inundações e movimentos em massa	CPRM	nov-12
	Pedreira	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	nov-18
82	Peruíbe	Mapeamento de áreas de risco	Escorregamentos e inundações + <b>Erosão</b>	IG-CEDEC	nov-08
	Peruíbe	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	ene-14
83	Piedade	Mapeamento de áreas de risco	Escorregamentos e inundações	IG-CEDEC	ago-05
84	Pindamonhangaba	Mapeamento de áreas de risco	Escorregamentos, erosão e inundações	IG-CEDEC	may-12
84	Pindamonhangaba	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	abr-18
85	Pinhalzinho	Mapeamento de áreas de risco	Enchentes, inundações e movimentos em massa	CPRM	jul-13
86	Piracaia	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	feb-14
	Piracaia	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	feb-18
87	Piraju	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	nov-16
88	Piquete	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	dic-18
89	Pirapora do Bom Jesus	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	feb-13
	Pirapora do Bom Jesus	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	jun-17
90	Poá	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IG-CEDEC	oct-06
	Poá	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	sep-17
91	Porangaba	Mapeamento de áreas de risco	Enchentes, inundações e movimentos em massa	CPRM	jun-15
92	Porto Feliz	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	feb-15
93	Porto Ferreira	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	jun-15
94	Potim	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	feb-15
	Potim	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	nov-17
95	Praia grande	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	ene-14
96	Presidente Kennedy	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	abr-18
97	Presidente Prudente	Carta de Suscetibilidade	Erosão	UNESP	jun-00

ID	Município	Tipo de mapa	Tipo de processo	Instituição	Data
	Presidente Prudente	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	nov-15
98	Quadra	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	feb-15
99	Queluz	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	feb-13
	Queluz	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	nov-18
100	Rafard	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	jun-15
101	Redenção da Serra	Mapeamento de áreas de risco	Escorregamento, erosão e inundações	IG-CEDEC	oct-12
	Redenção da Serra	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	nov-18
102	Registro	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	feb-14
103	Ribeirão Branco	Mapeamento de áreas de risco	Enchentes, inundações e movimentos em massa	CPRM	may-17
104	Ribeirão Grande	Mapeamento de áreas de risco	Com EROSÃO	IPT	dic-04
105	Ribeirão Pires	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	jul-13
106	Ribeirão Preto	Mapeamento de áreas de risco		IPT	dic-06
	Ribeirão Preto	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	mar-18
107	Rio Claro	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	feb-14
108	Rio Das Pedras	Mapeamento de áreas de risco	Enchentes, inundações e movimentos em massa + EROSÃO	IPT	may-15
	Rio Das Pedras	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	jun-18
109	Rio Grande da Serra	Mapeamento de áreas de risco	Escorregamento, erosão e inundações	IG-CEDEC	ene-05
	Rio Grande da Serra	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	mar-14
110	Riversul	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	dic-16
111	Roseira	Mapeamento de áreas de risco	Escorregamento, erosão e inundações	IG-CEDEC	dic-11
	Roseira	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	nov-18
112	Salesópolis	Mapeamento de áreas de risco	Com EROSÃO	IPT	dic-05
	Salesópolis	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	nov-17
113	Saltinho	Mapeamento de áreas de risco	Enchentes, inundações e movimentos em massa	CPRM	may-15
	Saltinho	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	jun-16
114	Salto	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	mar-15
115	Salto de Pirapora	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	abr-15
116	Santa Bárbara D Oeste	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	may-13

ID	Município	Tipo de mapa	Tipo de processo	Instituição	Data
	Santa Bárbara D Oeste	Sectorização de áreas de risco	Enchentes, inundações e movimentos em massa + EROSÃO	CPRM	abr-18
117	Santa Branca	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	dic-12
	Santa Branca	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	oct-17
118	Santa Cruz do Rio Pardo	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	jul-15
119	Santa Gertrudes	Sectorização de áreas de risco	Enchentes, inundações e movimentos em massa + EROSÃO	CPRM	jun-15
	Santa Gertrudes	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	jan-17
120	Santa Isabel	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	mai-13
	Santa Isabel	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	nov-17
121	Santa Maria do Serra	Mapeamento de áreas de risco	Enchentes, inundações e movimentos em massa	CPRM	out-15
122	Santana de Parnaíba	Mapeamento de áreas de risco	Enchentes, inundações e movimentos em massa	CPRM	mai-13
	Santana de Parnaíba	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	mar-14
123	Santo André	Mapeamento de áreas de risco	Enchentes, inundações e movimentos em massa + EROSÃO	CPRM	jan-13
	Santo André	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	mar-14
124	Santo Antonio de Posse	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	fev-14
	Santo Antonio de Posse	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	nov-18
125	Santo Antônio do Pinhal	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	nov-17
126	Santos	Mapeamento de Riscos		UNESP	jun-06
	Santos	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	mar-14
127	São Bento de Sapucaí	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	dez-12
	São Bento de Sapucaí	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	jan-18
128	São Bernardo do Campo	Mapeamento de riscos		UNESP	jul-07
	São Bernardo do Campo	Mapeamento de áreas de risco	Enchentes, inundações e movimentos em massa	CPRM	mai-14
	São Bernardo do Campo	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	mar-14
129	São Caetano do Sul	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	mai-13
	São Caetano do Sul	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	mar-18
130	São Carlos	Carta Geotécnica		EESC-USP	jan-89
	São Carlos	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	jul-15
	São Carlos	Mapeamento de Suscetibilidade	Enchentes, inundações, movimentos de encosta e erosão	EESC-USP	jul-17



ID	Município	Tipo de mapa	Tipo de processo	Instituição	Data
131	São José do Barreiro	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	fev-15
	São José do Barreiro	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	nov-18
132	São José do Rio Preto	Mapeamento de áreas de risco	Escorregamento, erosão e inundações	IG-CEDEC	set-12
	São José do Rio Preto	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	jul-18
133	São José dos Campos	Mapeamento de Risco		IPT	dez-05
	São José dos Campos	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	jan-14
134	São Lourenço da Serra	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	jan-18
135	São Luiz do Paraitinga	Mapeamento de áreas de risco	Escorregamentos e inundações	IG-CEDEC	mai-08
	São Luiz do Paraitinga	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	mar-14
136	São Miguel Arcanjo	Mapeamento de áreas de risco	Enchentes, inundações e movimentos em massa + <b>EROSÃO</b>	CPRM	mar-17
137	São Paulo	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	ago-14
138	São Pedro	Risco	Erosão	EESC-USP	jan-96
	São Pedro	Mapeamento de áreas de risco	Inundações e movimentos em massa	CPRM	abr-13
139	São Roque	Mapeamento de áreas de risco	<b>Com EROSÃO</b>	IPT	dez-14
140	São Sebastião	Mapeamento de áreas de risco	Escorregamentos e inundações	IG-CEDEC	jan-06
	São Sebastião	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	mai-17
	São Sebastião	Carta de Suscetibilidade	Escorregamentos	UNESP	jun-17
141	São Vicente	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	mar-14
142	Sarutaiá	Mapeamento de áreas de risco	Enchentes, inundações e movimentos em massa	CPRM	mai-17
143	Serra Negra	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	jan-14
144	Sete Barras	Mapeamento de áreas de risco	Enchentes, inundações e movimentos em massa	CPRM	jun-14
145	Silveiras	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	fev-15
	Silveiras	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	nov-18
146	Socorro	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	jan-14
	Sorocaba	Mapeamento de áreas de risco	Escorregamentos e inundações	IG-CEDEC	jan-05
147	Sorocaba	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	mar-14
148	Sumaré	Mapeamento de áreas de risco	Enchentes e movimentos em massa	CPRM	mai-13
	Sumaré	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	mar-15

ID	Município	Tipo de mapa	Tipo de processo	Instituição	Data
149	Suzano	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	set-17
150	Taboão da Serra	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	mar-14
151	Taguaí	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	mai-17
152	Tapiraí	Mapeamento de áreas de risco	Escorregamentos e inundações	IG-CEDEC	jan-06
153	Tapiratiba	Mapeamento de áreas de risco	Escorregamentos e inundações	IPT	jun-15
154	Taquiritinga	Mapeamento de áreas de risco	Escorregamentos e inundações	IPT	mai-15
155	Taquarivaí	Mapeamento de áreas de risco	Enchentes, inundações e movimentos em massa	CPRM	mar-17
156	Tatuí	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	fev-15
157	Taubaté	Mapeamento de áreas de risco	Escorregamento, erosão e inundações	IG-CEDEC	out-12
	Taubaté	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	abr-18
158	Tejupá	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	nov-15
159	Tietê	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	mai-15
160	Torre de Pedra	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	fev-15
161	Tremembé	Mapeamento de áreas de risco	Escorregamento, erosão e inundações	IG-CEDEC	abr-12
	Tremembé	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	jul-18
162	Tuiuti	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	mai-15
163	Tupã	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	dez-15
164	Ubatuba	Mapeamento de áreas de risco	Escorregamentos e inundações	IG-CEDEC	jan-06
	Ubatuba	Carta de Suscetibilidade	Movimentos gravitacionais de massa e inundações	IPT-CPRM	jan-14
165	Valentin Gentil	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	mai-15
	Valinhos	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	mai-13
166	Vargem	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	dez-16
167	Vargem Grande do Sol	Mapeamento de áreas de risco	Enchentes, inundações e movimentos em massa	CPRM	mai-15
168	Vargem Grande Paulista	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	mai-13
169	Várzea Paulista	Mapeamento de áreas de risco	Com EROSÃO	IPT	dez-06
170	Vinhedo	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	fev-13
	Vinhedo	Mapeamento de áreas de risco	Enchentes, inundações e movimentos em massa	CPRM	mai-18
171	Votorantim	Mapeamento de áreas de risco	Escorregamentos e inundações	IG-CEDEC	jan-05

<b>ID</b>	<b>Município</b>	<b>Tipo de mapa</b>	<b>Tipo de processo</b>	<b>Instituição</b>	<b>Data</b>
172	Votuporanga	Mapeamento de áreas de risco	Deslizamentos e inundações	IPT	mai-15