

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

**CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS INCONSOLIDADOS E
MUDANÇAS NO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA REGIÃO
DE IBATÉ - SP**

VAGNER DE SOUZA SERIKAWA

São Carlos

2015

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

**CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS INCONSOLIDADOS E
MUDANÇAS NO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA REGIÃO
DE IBATÉ - SP**

VAGNER DE SOUZA SERIKAWA

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.

Orientação: Prof. Dr. Sergio Antonio Röhm
Co-orientação: Prof^ª. Dr^ª. Marcilene Dantas Ferreira

São Carlos

2015

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

S485cm

Serikawa, Vagner de Souza.

Caracterização dos materiais inconsolidados e mudanças no uso e ocupação do solo na região de Ibaté - SP / Vagner de Souza Serikawa. -- São Carlos : UFSCar, 2015.
104 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2013.

1. Engenharia urbana. 2. Cartografia geotécnica. 3. Material inconsolidado. 4. Infiltração. 5. Solo - uso. I. Título.

CDD: 711 (20^a)



FOLHA DE APROVAÇÃO

VAGNER DE SOUZA SERIKAWA

Dissertação defendida e aprovada em 04/07/2013
pela Comissão Julgadora

Prof. Dr. Sergio Antonio Röhm
Orientador (DECiv/UFSCar)

Prof^a Dr^a Valéria Guimarães Silvestre Rodrigues
(EESS/USP)

Prof^a Dr^a Denise Balestrero Menezes
(DECiv/UFSCar)

Prof. Dr. Ricardo Siloto da Silva
Coordenador do CPG-EU

DEDICATÓRIA

*DEDICO ESTE TRABALHO AOS MEUS PAIS NELSON TAKAYUKI
SERIKAWA (IN MEMORIAM) E MARIA B. DE SOUZA, MEUS EXEMPLOS DE VIDA.*

AGRADECIMENTOS

A Deus pela força e inspiração.

À minha família, pais e irmãos pelo incentivo e apoio.

Aos professores Sergio Antonio Röhm e Marcilene Dantas Ferreira, pela orientação.

Ao professor Lázaro Zuquette por toda contribuição ao trabalho, com equipamentos e orientações.

Aos professores do grupo de estudo de geociências da UFSCar, Reinaldo Lorandi e José Augusto de Lollo.

A Cintia pelas correções do texto e formatação do trabalho.

Aos amigos do grupo de estudos de geociências da UFSCar, Vitor Roatt, Daniel Sirio, Karyna Neves, Moisés Failache e João Vitor, pela ajuda nos trabalhos de campo e laboratório, sempre com muita animação.

Aos amigos do programa de pós-graduação, João, Cintia, Netto, Mariene, Daniel, Moisés, Roseli, Bia, Mayara, Luana, Yuriê, Vitor, Thays e Fernanda pela amizade e churrascos.

Aos técnicos dos laboratórios da UFSCar, Sidinei, Bil, Marcos, Marquinho e Marcão.

Aos técnicos do laboratório de Geotecnia (EESC-USP), Antônio, José Luís, Décio, e especialmente para o Oscar, por me ensinar todos os ensaios necessário à pesquisa.

Ao Ademar pela “força” em campo.

Aos funcionários do programa de pós-graduação em Engenharia Urbana, Pepe, Thiago e a Sheila, por toda a ajuda nos processos burocráticos.

Aos amigos mais que especiais de São Carlos, Gustavo, Fernanda Marinelli, Daniel, Ivan, Ricardo, Rafael, Fernanda Koshima, Natália, Mayara e Taia pelo apoio e amizade sempre.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela bolsa concedida.

“A MANEIRA MAIS RÁPIDA DE ACABAR COM UMA GUERRA É PERDÊ-LA.”

GEORGE ORWELL

SERIKAWA, V. S. **CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS INCONSOLIDADOS E MUDANÇAS NO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA REGIÃO DE IBATÉ – SP.** 104 p. DISSERTAÇÃO (MESTRADO) – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL, UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, 2015.

O aumento da degradação das águas superficiais e subsuperficiais atribuíram-se ao uso indiscriminado e sem a preservação de suas fontes. Dado o âmbito da gestão eficiente no uso das fontes de água, o trabalho apresenta um diagnóstico da área, caracterizando os materiais inconsolidados e suas propriedades hidráulicas em diferentes usos e ocupação do solo. A área de estudo tem aproximadamente 47.08 Km² e está localizada entre os municípios de São Carlos e Ibaté, no interior do estado de São Paulo, compreendida pelas coordenadas UTM 193000/202000KmE e 7578000/7582000KmN, situada na região central do Estado de São Paulo. Nesta região encontram-se os substratos rochosos da Formação Itaqueri, Formação Botucatu e Formação Serra Geral, características do perfil geológico do estado de São Paulo. Os mapas e cartas foram elaborados no software *ArcGIS®*. Alguns dos mapas elaborados foram: Mapa de Substrato Rochoso e Material Inconsolidado (atualização feita a partir dos mapas de Lemos, 2010) e; mapas de uso e ocupação do solo para os anos, 1972, 2003, 2010 e 2012. Com esse histórico da área foi possível identificar as mudanças nos usos, a mais visível é de 1972 a 2003 onde há uma inversão nos usos pastagem para cana. Os resultados mostram que algumas áreas o processo de infiltração já foi afetado pelo uso do solo, principalmente pelo cultivo de cana-de-açúcar, os resultados de condutividade hidráulica para a formação residual do Botucatu ficam entre 10⁻² e 10⁻³ cm/s, que evidenciam as alterações da dinâmica das águas nos materiais geológicos. A degradação dos recursos hídricos fica evidente, além dos aspectos já citados através das minas que secam e de canais de drenagem sem as nascentes e matas ciliares. Na área de estudos existe uma necessidade de conservação de zonas de difusão hídrica, pois as mesmas são essenciais para manutenção dos recursos hídricos.

PALVRAS-CHAVE: Material Inconsolidado; Infiltração; Uso do Solo.

SERIKAWA, V. S. CHARACTERIZATION OF UNCONSOLIDATED MATERIALS AND CHANGES IN USE AND LAND USE IN THE REGION OF IBATÉ, STATE OF SÃO PAULO. – SP. 104 P. DISSERTATION (MASTER) - CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT, FEDERAL UNIVERSITY OF SÃO CARLOS, 2015.

The increased degradation of surface and subsurface waters are attributed to the indiscriminate use and to the lack of preservation of their sources. Given the scope of efficient management in the use of water sources, this paper presents a diagnosis of the area, featuring the unconsolidated materials and their hydraulic properties in different uses and land use. The study area is about 47.08 square kilometers and is located between the cities São Carlos and Ibaté, in the State of São Paulo, comprised by UTM coordinates 193000 / 202000KmE and 7.578 million / 7582000KmN, located in the central region of the State of São Paulo. In such region, there are the bedrock formations Itaqueri, Botucatu Formation and Serra Geral Formation, characteristic of the geological profile of São Paulo. The maps and charts were drawn up in ArcGIS® software. Some of the drawn up maps were: Rocky Substrate and Unconsolidated Material map (update made from the maps by Lemos, 2010) and; use maps and land use for the years 1972, 2003, 2010 and 2012. With such area historic it was possible to identify changes in uses. The most visible one is from 1972 to 2003 where there is a change in pasture uses for sugarcane. The results show that in some areas, the infiltration process has been affected by the use of soil, especially due to the sugar cane crop. The results of the hydraulic conductivity for residual formation of Botucatu are between 10^{-2} and 10^{-3} cm / s that show the water dynamics changes in geological materials. The degradation of water resources is evident, in addition to the aforementioned aspects through springs that are dried and drainage channels without the springs and riparian forests. In the study field there is a need for conservation of water diffusion zones since they are essential for maintenance of water sources.

KEY-WORDS: Unconsolidated Material; Infiltration; Land Use.

Lista de ilustrações

Figura 1 - Representação esquemática do ciclo hidrológico	22
Figura 2 - Diferentes tipos de porosidade	24
Figura 3 - Classificação dos aquíferos em relação à porosidade.....	25
Figura 4 - Representação esquemática dos diferentes tipos de aquíferos	26
Figura 5 - Evolução da taxa de infiltração	27
Figura 6 - Zonas do Processo de infiltração	27
Figura 7 - Permeâmetro de Guelph	31
Figura 8 - Ensaio de infiltrômetro de duplo anel.....	32
Figura 9 - Ensaio com Penetrômetro.....	33
Figura 10 - Fluxograma das etapas do trabalho	40
Figura 11 - As classes foram distribuídas em relação ao grau de preservação	45
Figura 12 - Ensaio de duplo anel em campo, sistema do ensaio	46
Figura 13 - Anéis concêntricos de chapas metálicas com diâmetro de 30 e 60 cm.....	47
Figura 14 - Realização do ensaio com penetrômetro de impacto.....	49
Figura 15 - Esquema do ensaio de coluna.....	52
Figura 16- Área de estudos.....	54
Figura 17 - Fragmento do Mapa da Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo na escala 1: 1.000.000	56
Figura 18 - Vista panorâmica da área de estudos, terreno suavemente ondulado	59
Figura 19 - Gráfico com as porcentagens das declividades em área.....	59
Figura 20 - Formação Serra Geral.....	60
Figura 21 - Características dos locais de ocorrência da Formação Botucatu	60
Figura 22 - Formação Itaqueri.....	61
Figura 23 - Perfil de alteração <i>in situ</i> , linha de seixos separando os materiais residuais dos materiais retrabalhados	62
Figura 24 - Material inconsolidado residual da Formação Botucatu	64
Figura 25 - Curvas granulométricas do Material Residual da Formação Botucatu.....	65
Figura 26 - Ensaio de infiltração sobre material residual da Formação Botucatu	65
Figura 27 - Gráficos de resistência à penetração sobre material residual Formação Botucatu	66
Figura 28 - Gráficos de densidade de energia acumulada versus a profundidade.....	66
Figura 29 - Forma de ocorrência do material inconsolidado arenoso da Formação Itaqueri	67
Figura 30 - Curvas granulométricas dos materiais da Formação Itaqueri Argiloso.....	67
Figura 31 - Ensaio de infiltração sobre materiais residuais da Formação Itaqueri.....	68
Figura 32 – Gráfico de resistência à penetração versus a profundidade	69

Figura 33 - Gráfico de densidade de energia acumulada	69
Figura 34 - Curvas Granulométricas Itaqueri Fino	70
Figura 35 - Curva de infiltração na Formação Itaqueri Fino	70
Figura 36 - Gráfico de resistência a penetração na Formação Itaqueri Fino	71
Figura 37 - Gráfico de densidade de energia acumulada na Formação Itaqueri Fino	71
Figura 38 - Curva Granulométrica Itaqueri Fino Raso.....	72
Figura 39 - Curva de infiltração na Formação Itaqueri Fino Raso.....	72
Figura 40 - Gráfico de resistência a penetração na Formação Itaqueri Fino Raso	73
Figura 41 - Gráfico de densidade de energia acumulada na Formação Itaqueri Fino Raso	73
Figura 42 - Material Retrabalhado em área de cultivo de cana-de-açúcar	74
Figura 43 - Curva Granulométrica material Retrabalhado do Terciário	74
Figura 44 - Material inconsolidado da Formação Serra Geral	75
Figura 45 - Curvas granulométricas da Formação Serra Geral	76
Figura 46 - Resultados dos ensaios de duplo anel na Formação Serra Geral.....	76
Figura 47 - Gráficos de resistência à penetração.....	77
Figura 48 - Gráficos de densidade de energia acumulada.....	77
Figura 49 - Curva Granulométrica Formação Serra Geral Argiloso	78
Figura 50 - Gráfico com o uso e ocupação do solo no ano de 1972.....	82
Figura 51 - Em destaque córrego sem a vegetação ciliar	82
Figura 52 - Gráfico com o uso e ocupação do solo no ano de 2003.....	83
Figura 53 - Gráfico com o uso e ocupação do solo no ano de 2010.....	83
Figura 54 - Local onde ocorreu mudança no uso do solo, aumento das áreas de preservação	84
Figura 55 - Gráfico com o uso e ocupação do solo no ano de 2012.....	84
Figura 56 - Área de Preservação 1972	85
Figura 57 - Área de Preservação 2003	85
Figura 58 - Nascentes em área de preservação 2010.....	86
Figura 59 - Mudanças nos usos e ocupação do solo no período de 2003 a 2010, área (%)	88
Figura 60 - Gráfico de precipitação e taxa de infiltração	89
Figura 61 - Classificação das nascentes cadastradas.....	90
Figura 62 - Nascente em ótimas condições com mudas plantadas pelo proprietário	91
Figura 63 - Nascente em boas condições, com presença de uma casa de máquina para bombeamento d'água	91
Figura 64 - Nascente represada próximo à granja.....	92
Figura 65 - Nascente desprotegida	93
Figura 66 - Nascente represada e com água escura.....	93
Figura 67 - Granja a poucos metros da APP	94

Figura 68 - Gráfico com as condições de uso e ocupação que se encontram as nascentes	95
Figura 69 - Distribuição das nascentes em relação aos materiais inconsolidados.....	96

Lista de tabelas

Tabela 1 - Quantificação dos dados macroscópicos.....	44
Tabela 2 - As classes foram distribuídas em relação ao grau de preservação	45
Tabela 3 - Modelo da planilha utilizada para o ensaio no campo	47
Tabela 4 - Normas e método dos ensaios realizados em laboratório	51
Tabela 5 - Características Geotécnicas Básicas dos Materiais Inconsolidados.....	63
Tabela 6 - Resultados da condutividade hidráulica saturada por material inconsolidado	79
Tabela 7 - Condutividade hidráulica saturada (Ksat) mediante ensaios de coluna em laboratório..	80
Tabela 8 - Tabela de uso e ocupação do solo (Area %) em diferentes períodos	81
Tabela 9 - Mudanças nos usos e ocupação do solo no período de 1972 a 2003, área (%).....	85
Tabela 10 - Mudanças nos usos e ocupação do solo no período de 2003 a 2010, área (%).....	86
Tabela 11 - Mudanças nos usos e ocupação do solo no período de 2003 a 2010, área (%).....	87
Tabela 12 - Condição das Nascentes em diferentes Usos e Ocupação do Solo	95

Lista de abreviatura e siglas

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM - American Society for Testing and Materials

BHRC - Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Cabaceiras

CETESB - Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Ambiental

DAAE - Departamento de Águas e Energia Elétrica

EPA - Environmental Protection Agency

IAC/SP - Instituto Agrônomo de Campinas

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IG - Instituto Geológico - Governo do Estado de São Paulo

IGC/SP - Instituto Geográfico e Cartográfico do estado de São Paulo

MDEHC - Modelo Digital de Elevação Consistente

UGRHI - Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos

RS FM BO - Residual Formação Botucatu

FM IT AR - Formação Itaqueri Argiloso

FM IT FN - Formação Itaqueri Fino

FM IT FN RS - Formação Itaqueri Fino Raso

RT TR - Retrabalhado do Terciário

RS SG DR - Residual Formação Serra Geral Derrame

RS SG AR - Residual Formação Serra Geral Argiloso

RS SG IN - Residual Formação Serra Geral Intrusão

Lista de símbolos

ΔP : perda de carga sobre a distância L

L: espessura da camada do meio poroso, medida na direção do fluxo

k: onde a condutividade hidráulica

v: velocidade de descarga

i: gradiente hidráulico

$K(\psi)$: condutividade hidráulica não saturada

K_{sat} : condutividade hidráulica saturada

α : parâmetro empírico dependente da textura do material

ψ : potencial matricial (sucção)

ψ_e : pressão de entrada de ar – obtida a partir da curva de retenção

ϕ_m : o potencial de fluxo mátrico

Q_e : a vazão de entrada

Q_s : a vazão de saída e

Δs : a variação de armazenamento de água no sistema

k_{fs} : condutividade hidráulica saturada de campo

Z_w : profundidade da frente de saturação

A: área da seção do anel

t: tempo entre duas leituras

Q: volume de água infiltrado

H: profundidade da água do anel, quando é ensaiada a regime constante

R = resistência à penetração;

A = área da base do cone (m²);

g = constante de aceleração da gravidade (igual a 9,81 m/s²)

m = massa do martelo (kg)

m' = a massa das hastes mais anéis (kg)

H = altura de queda do martelo (cm)

Δz = profundidade de penetração para um golpe do martelo (m)

E_d = densidade de energia acumulada (J m⁻² ou N m⁻¹)

N = número de golpes necessários para alcançar a profundidade z (m)

Vol- volume de água coletada;

A- Área da seção transversal da amostra na coluna;

L- comprimento da amostra na coluna;

h- carga de pressão constante no topo da amostra

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 Objetivos	21
1.1.1 Objetivos Específicos.....	21
1.2 Justificativas	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 Ciclo Hidrológico.....	22
2.2 Água Subsuperficial.....	23
2.3 Hidrogeologia	25
2.4 Infiltração	26
2.5 Condutividade Hidráulica	28
2.5.1 Permeâmetro de Guelph	31
2.5.2 Duplo Anel	31
2.5.3 Penetrômetro de Impacto	32
2.6 Balanço Hídrico.....	33
2.6.1 Componentes do Balanço Hídrico.....	34
2.7 Nascentes.....	35
2.8 Bacias Hidrográficas.....	35
2.9 Uso e Ocupação do Solo.....	36
2.10 Mapeamento Geotécnico	37
3 MATERIAIS E MÉTODOS	40
3.1 Revisão Bibliográfica e Levantamento de Dados Pré-Existentes	41
3.1.1 Vetorização e Georreferenciamento das cartas topográficas 1: 10.000	42
3.1.2 Modelo Digital de elevação e Elaboração de Carta de Declividade	42
3.1.3 Interpretação das Fotografias Áreas e Imagens de Satélite.....	43
3.2 Mapeamento	43
3.3 Amostragem	45
3.3.1 Ensaios <i>In Situ</i> (Medidas de Infiltração).....	46
3.3.1.1 Duplo Anel.....	46
3.3.1.2 Pemeâmetro de Guelph Modificado.....	48

3.3.1.3 Penetrômetro de Impacto	49
3.4 Trabalhos de Laboratório	51
3.4.1 Condutividade Hidráulica Saturada em Coluna	51
4 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS GERAIS	53
4.1 Geologia	55
4.2 Pedologia.....	55
4.3 Hidrografia.....	55
4.4 Clima	56
4.5 Vegetação.....	57
5 RESULTADOS	58
5.1 Mapa Topográfico (Apêndice III) e Mapa de Documentação (Apêndice IV)	58
5.2 Modelo Digital do Terreno (Apêndice V) e Carta de Declividade (Apêndice VI)	58
5.3 Mapa de Substrato Rochoso (Apêndice VII).....	59
5.3.1 Formação Serra Geral	59
5.3.2 Formação Botucatu	60
5.3.3 Formação Itaqueri	61
5.4 Mapa de Materiais Inconsolidados (Apêndice VIII)	61
5.4.1 Material Inconsolidado Residual Formação Botucatu	64
5.4.2 Material Inconsolidado Formação Itaqueri Argiloso	66
5.4.3 Material Inconsolidado Itaqueri Fino	69
5.4.4 Material Inconsolidado Itaqueri Fino Raso.....	71
5.4.5 Material Inconsolidado Retrabalhado Terciário.....	73
5.4.6 Material Inconsolidado Residual da Formação Serra Geral Derrame.....	75
5.4.7 Material Inconsolidado Residual da Formação Serra Geral Argiloso.....	78
5.5 Mapa de Bacias Hidrográficas (Apêndice IX).....	78
5.6 Resultados dos Ensaios Específicos	79
5.6.1 Permeâmetro de Guelph.....	79
5.6.2 Condutividade Hidráulica Saturada em Colunas	79
5.7 Mapas de Uso e Ocupação do Solo	80

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS	82
6.1 Ano de 1972 (Apêndice X)	82
6.2 Ano de 2003 (Apêndice XI)	83
6.3. Ano de 2010 (Apêndice XII).....	83
6.4 Ano de 2012 (Apêndice XIII)	84
6.5 Mudança no Uso do Solo 1972 a 2003 (Apêndice XIV)	85
6.6 Mudança no Uso do Solo 2003 a 2010 (Apêndice XV).....	86
6.7 Mudança no Uso do Solo 2010 a 2012 (Apêndice XVI).....	87
6.8 Infiltração nos Diferentes Materiais Inconsolidados e Usos e Ocupação Do Solo	88
6.9 Mapeamento das Nascentes.....	90
6.9.1 Nascente Ótima (A).....	90
6.9.2 Nascente Boa (B)	91
6.9.3 Nascente Razoável (C)	92
6.9.4 Nascente Ruim (D).....	92
6.9.5 Nascente Péssima (E)	93
6.9.6 Condição das Nascentes nos Diferentes Usos e Ocupação do Solo.....	94
7 CONCLUSÕES.....	97
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
9 APÊNDICE	104

1 INTRODUÇÃO

Na maioria dos textos relacionados ao meio físico há sempre uma grande preocupação com sua preservação e o uso de seus recursos de forma sustentável. A degradação do meio físico é um dos fatores que mais gera perdas econômicas e sociais, já que representa a modificação de um dos mais complexos componentes ambientais, provocando a restrição ao uso de recursos antes disponíveis.

Segundo a legislação ambiental brasileira, Decreto Federal 97.632/89, degradação é o conjunto de processos resultantes de danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas propriedades, afetando sua qualidade. Conforme a Lei Federal nº 6.938/81 - PNMA de 31/08/81, Art. 3º, degradação ambiental é "a alteração adversa das características do meio ambiente".

Sendo assim, o termo degradação traz em seu significado a perda ou processo de degeneração de elementos do ambiente (solo, biodiversidade, vegetação, recursos hídricos, etc.); a perda das funções ambientais (proteção do solo contra erosão, margens de rios, do aquífero subterrâneo, do regime hídrico, da redução dos ecossistemas); alterações na paisagem, risco a saúde e segurança da sociedade (SANCHEZ, 2006).

Nos estudos sobre degradação ambiental é fundamental conhecer as relações entre os elementos que constituem o meio natural, entender os processos e fenômenos e o comportamento do meio físico relacionado com os diferentes usos e ocupação do solo.

Pode-se citar algumas atividades de impacto ambiental e tipos de degradações provocados pelos diferentes usos do solo: (a) agricultura e pecuária extensiva - pode provocar incêndios, erosão, assoreamento e contaminação dos cursos d'água; (b) mineração - erosão, assoreamento e contaminação dos cursos d'água; (c) produção de açúcar e álcool - pode provocar alteração dos ecossistemas naturais, poluição das águas e exaustão dos solos; (d) expansão urbana - degradação da paisagem e alterações econômicas e sociais.

Segundo Zuquette et al. (2009) a ocupação territorial diversificada ocasiona sérios problemas ambientais, como a degradação dos recursos naturais do solo, vegetação e água. As águas subsuperficiais são recursos naturais importantes e vulneráveis à ação do Homem, principalmente quando associada ao uso indiscriminado e indisciplinado do solo para disposição de rejeitos, resíduos e como suporte de suas diversas atividades de infra-estrutura, habitação e produção de alimentos.

Quando se fala em estudos do meio físico, diversos atributos devem ser considerados, como substrato rochoso, geomorfologia, tipos de solo, vegetação, clima, águas superficiais e subsuperficiais e os usos e ocupação do solo. Para trabalhos mais detalhados, por exemplo, leva-se em consideração características específicas dos materiais inconsolidados. A

relação entre as chuvas e os materiais geológicos, em termos de infiltração (recarga) e escoamento superficial, é fundamental para o gerenciamento e planejamento da exploração das águas e, principalmente, para avaliar os níveis de degradação desses recursos.

Os materiais inconsolidados possuem propriedades geotécnicas específicas, como porosidade e textura, que estão relacionadas diretamente com outras propriedades, como sua capacidade de infiltração e retenção de água no solo.

Dada a importância da preservação destes recursos, esta pesquisa aborda um estudo preliminar da área em escala semi detalhada, com produção de uma cartografia base e resultados específicos quanto aos materiais inconsolidados e um histórico do uso e ocupação do solo na região de Ibaté-SP, para identificar o nível de degradação dos recursos hídricos em função das mudanças de uso do solo e das características dos materiais geológicos.

1.1 Objetivos

O objetivo da pesquisa é caracterizar os materiais inconsolidados e analisar os efeitos das mudanças no uso e ocupação do solo na área estudo. Para identificar a degradação que esses usos geram nos recursos hídricos.

1.1.1 Objetivos Específicos

De acordo com o objetivo central do trabalho, os objetivos específicos são:

- 1- Mapeamento dos materiais geológicos em escala compatível com a finalidade do estudo;
 - 2- Execuções de ensaios de campo e laboratórios para avaliar infiltração da água no solo;
 - 3- Avaliar as mudanças de uso do solo ao longo das últimas décadas;
- Mapear as nascentes do local e associar uso e ocupação do solo;
- 4- Associar os materiais inconsolidados as condições das nascentes mapeadas.

1.2 Justificativas

Por tratar-se de uma área com características especiais com relação à dinâmica da água no solo, a mesma torna-se uma área de especial interesse para preservação dos recursos hídricos, pois qualquer tipo de alteração afetará sua disponibilidade.

A área de estudo deste trabalho foi escolhida em função de uma característica particular descrita no trabalho de Lemos (2010), onde ele descreve como zonas de difração hídrica, onde ocorrem surgências de água no local por entre os diferentes tipos de materiais geológicos.

A água que escoar superficialmente alimenta os cursos d'água, e encontra-se exposta a uma diversidade de ocupações de natureza rural, desde cultura de cana-de-açúcar, eucalipto e granjas, com alta frequência de pequenas propriedades rurais. Atualmente, observa-se que existe uma alteração da dinâmica das águas nesta área, que é refletida no número de minas que secam e de canais de drenagem sem as nascentes e matas ciliares.

Além das propriedades singulares da área de estudo, a sua escolha também foi em função da importância que exerce no contexto das águas subterrâneas regionais, principalmente por aflorar, em grande parte, os materiais geológicos da Formação Itaqueri sobre a Formação Botucatu, caracterizado como grande reservatório de água subterrânea.

Esta caracterização é fundamental para auxiliar outros trabalhos na área, visto que há um déficit na produção do tema abordado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A caracterização do meio físico é de suma importância para conhecer a respeito de suas potencialidades e limitações, quanto ao uso e ocupação. O mapeamento geotécnico tem sido muito utilizado como ferramenta na gestão e planejamento em níveis territorial, regional e local.

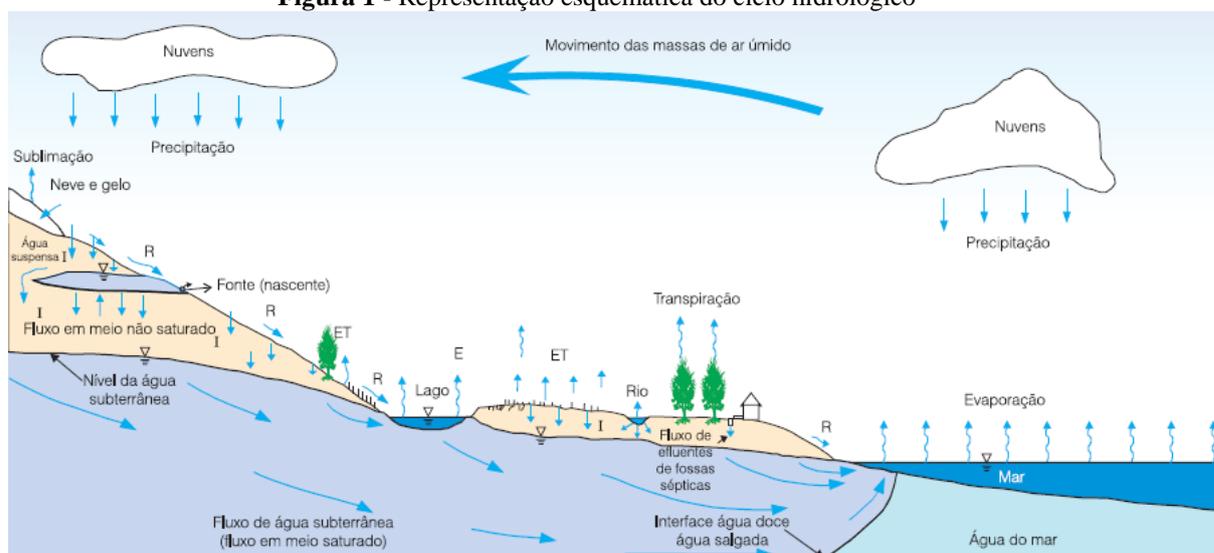
O mapeamento geotécnico tem finalidades diversas, podem ser documentos voltados para a disposição de resíduos sólidos, escavabilidade de terrenos, fundações, obras viárias, vulnerabilidade de águas subterrâneas, entre outros produtos de modo geral ou finalidades específicas. Neste estudo foi gerado mapa de material inconsolidado com suas propriedades hidráulicas, mapa geológico, mapas de uso e ocupação do solo, bacias hidrográficas e nascentes.

Esta revisão bibliográfica mostra ferramentas que são utilizadas no mapeamento de materiais inconsolidados, características básicas em relação a origem, textura, espessura e comportamento do manto de alteração dos materiais, além das propriedades de infiltração e a relação com a geologia, uso e ocupação do solo e a qualidade das nascentes.

2.1 Ciclo Hidrológico

O ciclo hidrológico (Figura 1) é o movimento contínuo de um reservatório para outro, a água encontra-se em diferentes estados físicos como, sólido, líquido e gasoso. Na forma sólida, ocorre nas geleiras; na forma gasosa, como vapor d'água na atmosfera e nas nuvens; na superfície do solo ela ocorre no estado líquido na forma de lagos, rios e oceano, e no subsolo entre os poros, fraturas e cavidades na rocha.

Figura 1 - Representação esquemática do ciclo hidrológico



Fonte: Adaptado de Bear & Verruijt (1987)

A energia solar movimenta este ciclo fornecendo energia para elevar a água da superfície terrestre para a atmosfera na evaporação, e a gravidade faz com que a água condensada precipite e que, uma vez na superfície, circule através de linhas de água que se reúnem em rios até atingir os oceanos (escoamento superficial) ou se infiltre nos solos e nas rochas. Nem toda a água precipitada alcança a superfície terrestre, já que uma parte, na sua queda, pode ser interceptada pela vegetação e construções, de onde voltam a evaporar. Por fim, uma pequena parcela é absorvida por animais e plantas, utilizados no seu metabolismo.

A parcela que infiltra no solo, pode ainda ser dividida em três partes: uma parcela que pode sofrer evaporação; outra que é utilizada pelas plantas e retorna a atmosfera pelo processo de transpiração; e uma última que percola pelo solo, atinge as camadas mais profundas, e teoricamente a zona saturada, caracterizando a recarga (FAGUNDES, 2010). A soma das duas primeiras parcelas constitui a evapotranspiração, forma pela qual a água da superfície terrestre passa para a atmosfera no estado de vapor, esse processo envolve a evaporação da água de superfície e da transpiração dos vegetais.

Alterações causadas no meio físico podem alterar as características hidrológicas existentes. A retirada da cobertura vegetal altera as taxas de infiltração, aumenta o escoamento superficial e a perda de solo. O processo de urbanização também contribui para esse fator, impermeabilizando o solo com edificações e estradas, aumentando o escoamento superficial. O escoamento superficial, ou deflúvio, corresponde à parte da água precipitada, que permanece na superfície e, por ação da gravidade tende a ir para as cotas mais baixas do terreno (JORGE E UEHARA, 1998).

As principais variáveis hidrológicas consideradas no ciclo hidrológico são: E: evaporação (mm/d), q: umidade específica do ar (gramas de vapor de água por quilo de ar, ou g/kg); P: precipitação (mm); i: intensidade de chuva (mm/h); Q: deflúvio superficial ou vazão (m^3/s); f: taxa de infiltração (mm/h); ET: evapotranspiração (mm/d).

2.2 Água Subsuperficial

É considerada toda a água encontrada abaixo da superfície do solo, incluindo a água do solo, a água capilar e a água subterrânea.

Água subterrânea é toda água que preenche os poros ou vazios das rochas, fraturas, falhas ou fissuras. Estas cumprem uma fase do ciclo hidrológico, uma vez que constituem uma parcela da água precipitada. Após a precipitação, parte da água que atinge o solo se infiltra e percola no seu interior, na área chamada de zona não saturada, onde os poros são preenchidos parcialmente de água e ar. Alguns fatores vão determinar o tempo de percolação, como:

- (1) Porosidade do solo: que é afetada pela presença de argilo-minerais que diminuem a permeabilidade do solo;
- (2) Cobertura vegetal: já que um solo coberto por vegetação é mais permeável;
- (3) Altas declividades: favorecem o escoamento superficial e não a infiltração;
- (4) Tipo de chuva: pois as mais intensas saturam rapidamente podendo provocar mais escoamento que infiltração.

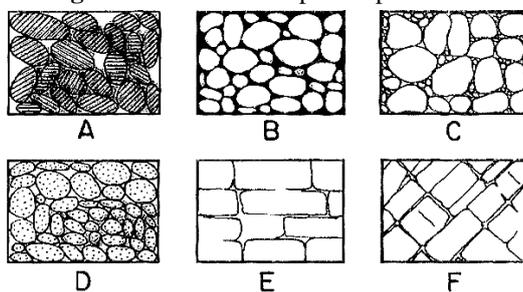
O excedente de água acumula-se em zonas mais profundas, onde preenchem os poros e constituem a zona saturada. Na parte superior da zona saturada existe uma faixa chamada franja capilar, onde os poros estão parcialmente preenchidos por água, mas ela está presa por capilaridade (IRITANI E EZAKI, 2009).

Delimitando a zona de saturação da zona de aeração, abaixo da qual a água preenche todos os espaços porosos e permeáveis das rochas, ou dos solos, ou ainda de ambos ao mesmo tempo, está o lençol freático (denominado também de superfície potenciométrica ou nível d'água).

Mais precisamente, a água subterrânea corre na zona saturada do solo, onde a quantidade armazenada vai depender de algumas características dos materiais, como a porosidade, ou seja, o volume de poros vazios em relação ao volume total da rocha.

A porosidade do solo é reflexo direto da estrutura e textura dos materiais, sendo os poros determinados pelo arranjo e geometria das partículas, diferindo quanto à forma, comprimento, largura e tortuosidade. A classificação dessa porosidade pode ser feita em três grupos: (1) porosidade granular, de solos e sedimentos; (2) porosidade de fraturas, fissuras ou fendas, nos meios fraturados e a; (3) porosidade cárstica, ocorrendo em rochas solúveis. A Figura 2 ilustra os diferentes tipos de porosidades.

Figura 2 - Diferentes tipos de porosidade



- A - Porosidade granular, granulometria homogênea, porosidade elevada
- B - Porosidade granular, granulometria homogênea, porosidade diminuída por cimentação
- C - Porosidade granular, granulometria heterogênea, porosidade baixa
- D - Porosidade granular, granulometria homogênea, formado por elementos porosos
- E - Porosidade cárstica
- F - Porosidade de fissura

Fonte: Custódio e Llamas (1976)

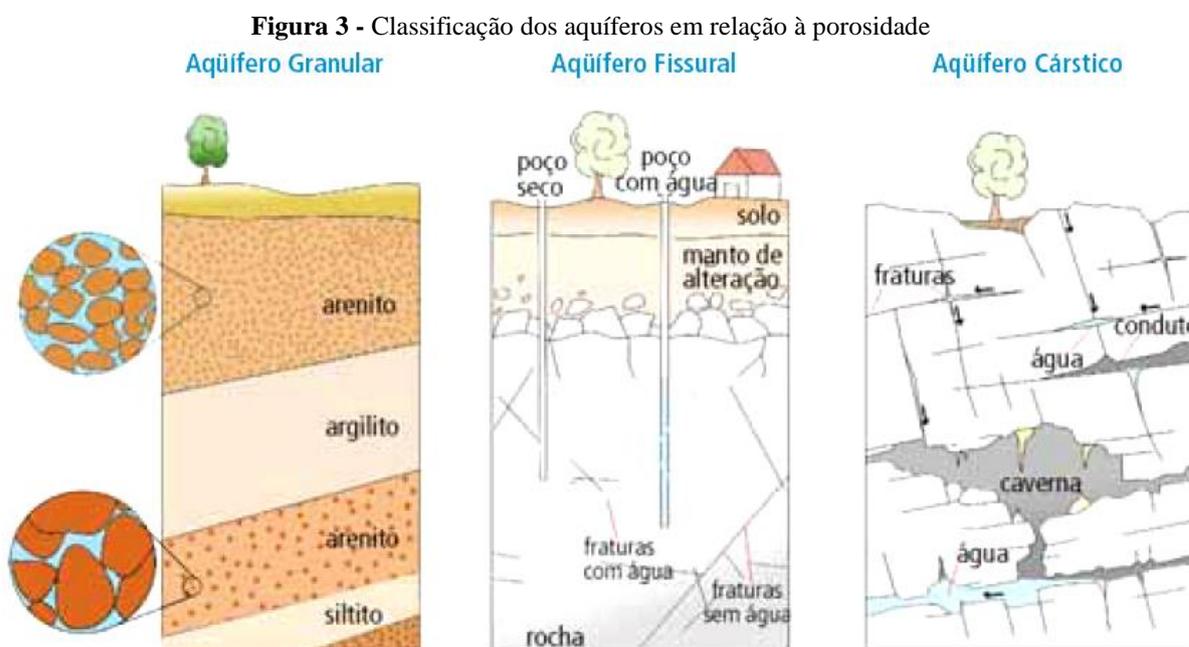
2.3 Hidrogeologia

A hidrogeologia estuda o escoamento dos fluídos através de unidades geológicas, os aquíferos. As rochas mais importantes, no caso dos aquíferos, são as que apresentam porosidade para o armazenamento e, permeabilidade para possibilitar a movimentação da água no meio rochoso. Assim sendo, os arenitos e os solos provenientes da alteração dos mesmos formam aquíferos com grande quantidade de água. Os aquíferos são reservatórios naturais, que podem ser classificados tanto em relação à porosidade como nas características hidráulicas.

Os aquíferos classificados pela porosidade são chamados de granulares, onde as rochas sedimentares e os sedimentos não consolidados são constituídos de grão minerais, assim, a água percola e permanece temporariamente armazenada nos poros. Como o aquífero está ligado ao tipo de rocha, pode ser chamado também de aquífero sedimentar. A Figura 3 exibe as diferentes classificações de aquíferos.

As fraturas e fissuras das rochas compactadas e resistentes também podem armazenar água. Neste caso, o potencial do aquífero estará relacionado ao maior número de fraturas preenchidas com água.

Os aquíferos cársticos são formados por rochas carbonáticas, que em contato com água sofrem uma dissolução lenta. Essa água percola pelas fraturas na rocha formando condutos, podendo resultar em galerias com rios e cavernas subterrâneas.

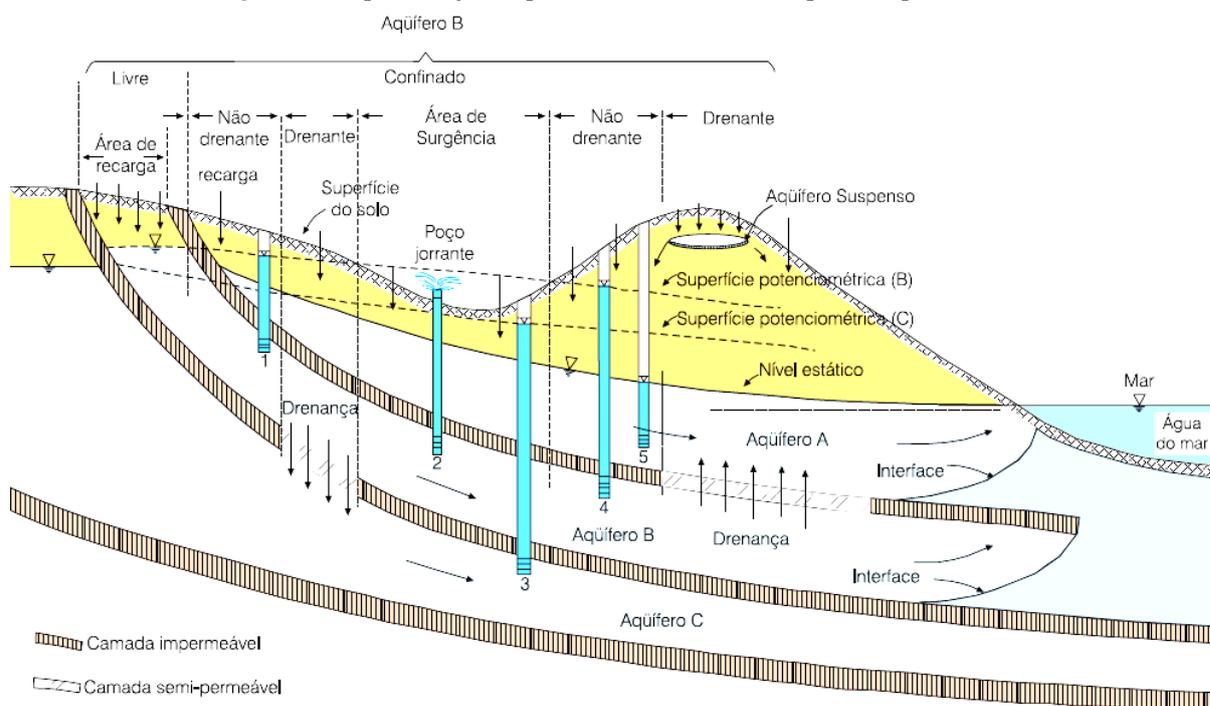


Fonte: Iritani e Ezaki (2009)

Dependendo da pressão a que estão submetidos, os aquíferos podem ser classificados conforme suas características hidráulicas (Figura 4).

O aquífero livre tem uma superfície livre de água que se encontra submetido à pressão atmosférica, e seu nível de água varia segundo a quantidade de chuva. O confinado ocorre quando a água subterrânea está confinada sob uma pressão superior do que à pressão atmosférica, devido à existência de uma camada confinante impermeável acima dele.

Figura 4 - Representação esquemática dos diferentes tipos de aquíferos



Fonte: Modificado de Bear e Verruijt (1987)

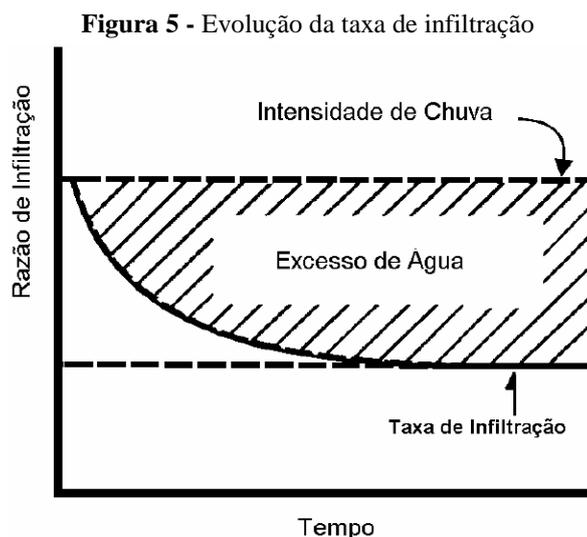
2.4 Infiltração

A infiltração é definida como a passagem de água através da superfície do solo. A grandeza da infiltração depende da ocorrência, intensidade e duração da precipitação, temperatura, umidade, velocidade do vento, características hidrodinâmicas e espessura da zona não saturada, superfície topográfica, vegetação e uso do solo. A infiltração pode apresentar significativa variação espacial e temporal em consequência das variações climáticas, de uso do solo, irrigação e heterogeneidades hidrogeológicas (SHARMA, 1989).

A taxa na qual a água penetra no solo é variável com o tempo. Ela inicia com taxas altas no início e progressivamente vai diminuindo até atingir valores constantes. As forças responsáveis por esse movimento são gravitacional e mátrica. Quando o solo se encontra seco no início da infiltração, as forças mátricas dominam o processo e, por isso, as taxas de infiltração são altas. Com o passar do tempo, essas forças vão se anulando e a força gravitacional passa a ser a

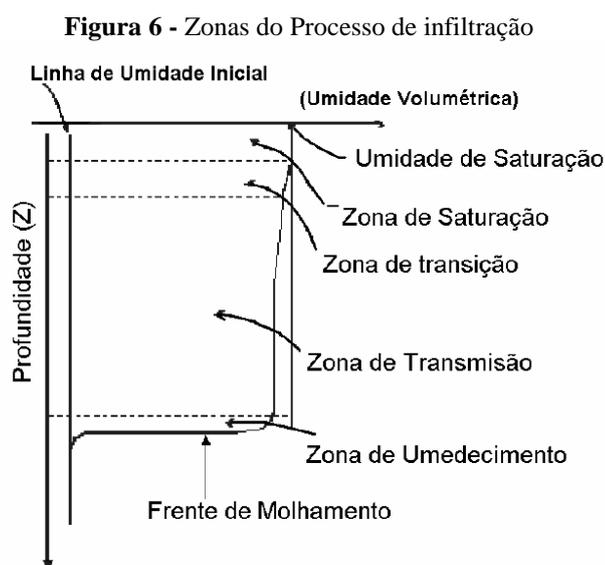
principal responsável por esse movimento. É fundamental conhecer esse processo para estudos de irrigação, conservação do solo e da água.

A taxa de infiltração refere-se à quantidade de água que atravessa a unidade de área da superfície do solo por unidade de tempo (Figura 5). Durante o processo de infiltração, estando o solo inicialmente seco, a taxa de infiltração tende a decrescer com o tempo, atingindo um valor final constante (LIBARDI, 2000).



Fonte: Palma (2004)

Para EPA (1998) o processo de movimento da água é dinâmico, com alterações significativas, sendo função do tempo e do espaço. Considerando um perfil homogêneo, o perfil é dividido em cinco zonas e processos de infiltração (Figura 6).



Fonte: Palma (2004)

As principais características hidrológicas destes pacotes são:

- Zona de saturação: corresponde a uma camada que varia de milímetro a poucos centímetros e, como sugere o nome, é uma zona em que o solo está saturado, isto é, com um teor de umidade igual ao teor de umidade de saturação máximo do material.
- Zona de transição: é uma zona com espessura de poucos centímetros, onde o teor de umidade decresce rapidamente com a profundidade.
- Zona de transmissão: é a região do perfil através da qual a água é transmitida. Esta zona é caracterizada por uma pequena variação da umidade em relação ao espaço e ao tempo.
- Zona de umedecimento: é uma região caracterizada por uma grande redução no teor de umidade com o aumento da profundidade.
- Frente de molhamento: compreende uma pequena região na qual existe um grande gradiente hidráulico, havendo uma variação bastante abrupta da umidade da parte mais seca e a úmida. A frente de umedecimento representa o limite visível da movimentação de água no solo.

Segundo EPA (1998) a alta taxa de infiltração inicial é função da existência de um gradiente matricial entre as zonas secas e úmidas. Parlange et al. (1985) cita que a variação da taxa de infiltração em relação ao tempo é influenciada por características geotécnicas e umidade inicial das camadas superficiais do solo, assim como pela sequência de camadas.

Se a quantidade de água da precipitação for menor que a capacidade de infiltração do solo, todo volume irá infiltrar; no entanto, quando a quantidade de água disponível for maior que a capacidade de infiltração do solo, o excesso de água poderá se acumular na superfície do solo ou transformar-se em escoamento superficial. O tempo necessário para que ocorra o escoamento superficial (ou o acúmulo de água na superfície) é chamado de “tempo de *ponding*” e é influenciado pelos mesmos parâmetros que a capacidade de infiltração.

2.5 Condutividade Hidráulica

O conhecimento da condutividade hidráulica do solo é essencial para qualquer estudo que envolva o movimento da água no solo, seja para estudar a própria dinâmica da água, como para estudar o transporte de substâncias de interesse agrícola para o solo e também para estudos voltados a avaliar a contaminação (HURTADO, 2005).

A base para a teoria do escoamento em meio granulares porosos é a lei de Darcy. Conforme desenvolvida inicialmente, aplicava-se a escoamento unidimensional, contudo, ela pode ser generalizada para escoamento em mais de uma direção, como ocorre no fluxo da água subterrânea nos aquíferos.

Darcy (1856) dedicou-se ao estudo do fluxo d'água em um filtro de areia, em que estabeleceu uma relação empírica hoje conhecida como lei de Darcy, Equação 1. A lei de Darcy relaciona à velocidade de descarga (v) de um fluido, através de um meio poroso, com um gradiente hidráulico (i), definido pela Equação 2, em uma relação linear. Foi observado também, que essa relação seguia uma constante de proporcionalidade (k) que foi chamada de condutividade hidráulica.

$$v = k.i \quad \text{Equação 1}$$

$$i = \frac{\Delta P}{L} \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

ΔP : Perda de carga sobre a distância L ;

L : Espessura da camada do meio poroso, medida na direção do fluxo.

Quando o fluxo ocorre através de uma seção A , tem-se:

$$q = A.v \quad \text{Equação 3}$$

Em que:

q = Vazão

Portanto pode-se escrever que:

$$q = k.i.A \quad \text{Equação 4}$$

Onde a condutividade hidráulica (k) é expressa, geralmente, em (cm/s).

Sendo que a condutividade hidráulica em solos é dada pela velocidade de descarga (v) através de uma seção (A), sob um gradiente hidráulico (i). Pode-se afirmar então, que o valor da condutividade hidráulica em solos dependerá das características do fluido e das características do solo.

Segundo Palma (2004), a condutividade hidráulica é a mais importante propriedade que governa o movimento da água no solo. A água flui devido ao gradiente de potencial existente, sendo a direção do fluxo da zona com maior potencial para a de menor potencial.

O grau de saturação do solo define a condutividade hidráulica saturada ($S_r=100\%$), ou não saturada ($S_r<100\%$). Para solos não saturados admite-se o fluxo descrito pela lei de Darcy, e com diferença hidráulica não saturada dada em função do grau de saturação.

Segundo Fagundes (2010), em um solo saturado quando submetido à drenagem, gradativamente o ar ocupa os espaços vazios, primeiro os poros maiores, depois os menores, tornando-se menos saturado, ou seja, menos úmido. Essa perda de umidade provoca uma descontinuidade no fluxo de água como líquido.

A condutividade hidráulica está sujeita a variações em função do peso específico, viscosidade, tamanho da partícula, índices de vazio, grau de saturação e a estrutura do solo. O solo determina o fluxo de água, sendo dependente de propriedades como distribuição de tamanho e forma das partículas, tortuosidade, superfície específica e porosidade. Estas apresentam reflexo na geometria porosa dos solos (LIBARDI, 2000).

Apresentam valores mais elevados quanto mais porosos, fraturado ou agregado for o solo, sendo menor em solos densos e compactos. No entanto, ela não depende unicamente da porosidade total do solo, mas em especial das dimensões destes e da atividade das argilas que o formam (REICHARDT & TIMM, 2004). É amplamente aceito que em solos arenosos, apesar de apresentarem menor porosidade total, a condutividade hidráulica seja maior do que em solos argilosos, muito embora existam citações de trabalhos que indiquem uma relação inversa entre conteúdo de areia e condutividade hidráulica (JARVIS & MESSING, 1995).

Solos muito argilosos e altamente agregados resultam em uma estrutura mais porosa capaz de permitir maiores valores de condutividade hidráulica. Neste sentido, a interação entre textura e estrutura dos solos é que vai determinar o comportamento da condutividade hidráulica do solo (CARVALHO et al., 2004).

Em meio saturado, quando todos os poros estão totalmente preenchidos por água, a condutividade hidráulica é máxima, decrescendo à medida que o solo perde umidade (LIBARDI, 2000). A condutividade hidráulica do solo saturado pode ser obtida tanto em laboratório quanto em campo, sendo que o método mais utilizado para sua determinação é o do permeâmetro de carga constante. A determinação da condutividade hidráulica em campo pode ser vantajosa por apresentar uma aproximação das condições reais, podendo diminuir a incidência de erros, em comparação à determinação em laboratório. Porém, a determinação em campo é associada a uma maior variabilidade de resultados, além disso, a determinação executada em laboratório exige menor esforço físico, além de ser relativamente mais prática e rápida (CARVALHO et al., 2004).

2.5.1 Permeâmetro de Guelph

Uma das formas de estimar a condutividade em campo é utilizando o Permeâmetro IAC (Permeâmetro de Guelph Modificado, Figura 7), elaborado pelo Instituto Agronômico de Campinas – IAC/SP (Vieira, 1998; Reynolds & Elrick, 1983), modelo com carga hidráulica constante. Apesar de ser pouco usado, apresenta como vantagem a mobilidade do equipamento, a facilidade de poder ser operado por no mínimo duas pessoas, a rapidez dos ensaios e a pouca quantidade de água exigida por ensaio.

Figura 7 - Permeâmetro de Guelph



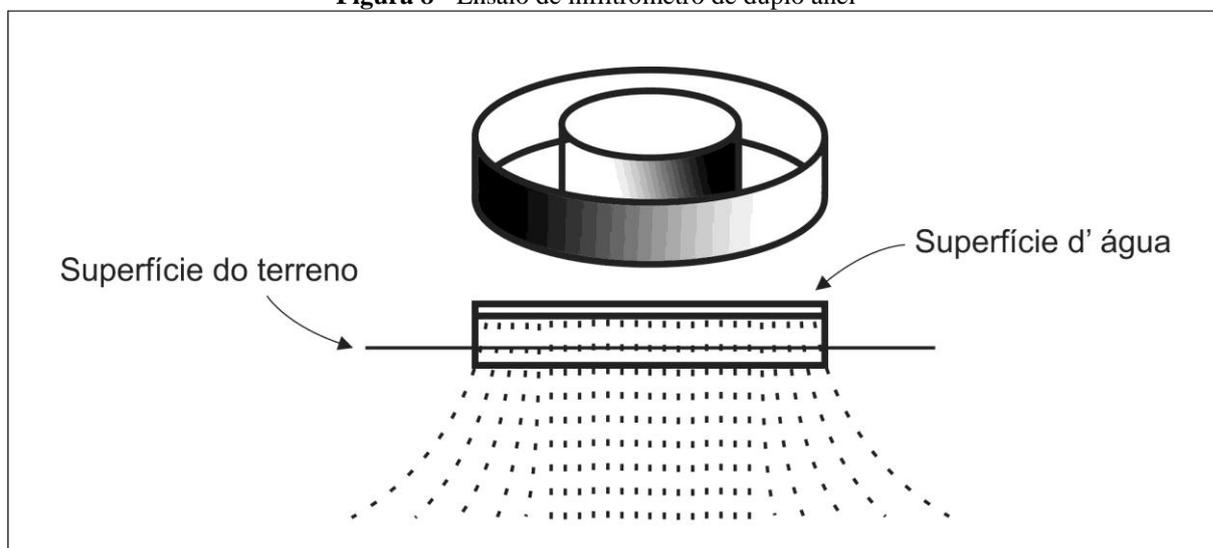
Fonte: Autor (2013)

2.5.2 Duplo Anel

Segundo Dantas-Ferreira (2008) o ensaio de Infiltrômetro de Duplo Anel consiste em cravar dois anéis no solo sem perturbar a estrutura do solo ensaído. Coloca-se água no cilindro interno até que se forme uma lâmina de 7,5cm de altura e entre os cilindros interno e externo 5cm.

O infiltrômetro de duplo anel (Figura 8) é muito utilizado para medidas de infiltração e pode ser feito em grandes volumes de materiais geológicos, representando melhor a geometria porosa, além da simplicidade na execução.

Figura 8 - Ensaio de infiltrômetro de duplo anel



Fonte: Autor (2013)

Segundo Zuquette & Palma (2006) existe uma limitação para este ensaio; a infiltração horizontal é induzida por gradientes hidráulicos de pressão entre o solo muito úmido sob o infiltrômetro e o solo seco circundante. Atribui-se ao fato dos anéis estarem cravados a poucos centímetros (15cm) no solo.

2.5.3 Penetrômetro de Impacto

O penetrômetro é um aparelho para determinação da compactação do solo (Figura 9), quando há descompactação do solo, não permite o estabelecimento de padrões de resistência de forma rigorosa.

Isso se deve ao fato de que a resistência do solo varia como o teor de umidade do solo, sem considerar que essa tentativa fatalmente eliminaria as duas maiores vantagens do método: simplicidade e rapidez (STOLF & FAGANELLO, 1984). Porém, os penetrômetros podem ser utilizados como um parâmetro auxiliar na definição do manejo do solo de uma dada área.

Figura 9 - Ensaio com Penetrômetro

Fonte: Autor (2013)

2.6 Balanço Hídrico

O conhecimento do armazenamento de água no solo pode ser estimado medindo-se a umidade do solo ou, estimando este valor por meio de modelos que relacionam as propriedades físico-hídricas do solo com seus componentes de entrada e saída de água. Estes modelos são conhecidos como balanço hídrico. O balanço hídrico relaciona a quantidade de cada componente do ciclo hidrológico de acordo com o extrato de solo estudado que constitui um volume de controle.

Segundo Righetto (1998) a equação fundamental do balanço hídrico pode ser dada por (Equação 5):

$$Q_e - Q_s = \Delta s$$

Equação 5

Onde:

Q_e = vazão de entrada;

Q_s = vazão de saída e;

Δs = variação de armazenamento de água no sistema.

A recarga pode ser estimada de duas formas, segundo Arnald et al. (2000), pelo monitoramento do movimento da água na zona vadosa por meio de tensiômetros, traçadores e/ou lisímetros, ou pelo estudo do balanço de água subsuperficial em área úmida.

2.6.1 Componentes do Balanço Hídrico

- Precipitação

Para Bertoni e Tucci (1993) a precipitação é a água proveniente da atmosfera que atinge a superfície terrestre. A disponibilidade de precipitação numa bacia durante o ano é o fator determinante para quantificar, entre outros, a necessidade de irrigação e abastecimento de água. A chuva é a precipitação mais importante para a hidrologia pela sua capacidade de escoamento.

As características principais da precipitação são o seu total, duração e distribuições temporal e espacial. Os dados podem ser adquiridos por pluviômetros para cada dia do período.

- Evaporação

O termo evaporação, dentro da meteorologia, restringe-se à mudança da água no estado líquido para vapor devido à radiação solar e aos processos de difusão molecular (ALMEIDA NETO et al., 2004).

Além da radiação solar, as variáveis meteorológicas que interferem na evaporação, particularmente de superfícies livres de água, são a temperatura do ar, vento e pressão de vapor (TUCCI E BELTRAME, 1993).

- Escoamento Superficial

Almeida Neto et al. (2004) define o escoamento superficial como a parcela do ciclo hidrológico em que a água se desloca na superfície da bacia até encontrar uma calha definida. Nas bacias em áreas rurais, o escoamento sofre interferência da cobertura vegetal e parte da água infiltra no solo. O escoamento em bacias urbanas é regido pela interferência do homem através da impermeabilização do solo e os sistemas de esgotos pluviais.

O escoamento superficial é a combinação do fluxo de pequena profundidade na superfície com escoamento em pequenos canais que constituem a drenagem da bacia hidrográfica. A representação do escoamento em seus menores detalhes é difícil, devido à grande variabilidade das condições físicas das bacias (TUCCI, 1993).

2.7 Nascentes

A nascente é o afloramento do lençol freático que vai dar origem a uma fonte de água acumulada ou cursos d'água, que deve fornecer água de boa qualidade de forma abundante e contínua. A topografia ajuda na distribuição, quanto mais elevada melhor a distribuição por gravidade, sem gastos de energia.

Além da quantidade de água disponível, outro fator que influencia na qualidade da nascente é sua distribuição no tempo, ou seja, a variação da vazão situa-se dentro de um mínimo adequado ao longo do ano, a bacia hidrográfica não deve funcionar como um recipiente impermeável, escoando toda água recebida das precipitações em um curto espaço de tempo (CAD. MATA CILIAR, 2009). Parte dessa precipitação deve infiltrar e abastecer o lençol freático, contribuindo aos poucos com os cursos d'água através das nascentes, mantendo a vazão inclusive em época de seca.

O desempenho da bacia hidrográfica vai influenciar na nascente, que depende da infiltração em toda a bacia, não apenas na área de preservação permanente, que pode ser pequena em relação a extensão da bacia hidrográfica.

Toda área da bacia merece atenção quanto ao uso e ocupação do solo, evitando as erosões, compactação do solo, impermeabilização e outros que possam interferir na sua capacidade de infiltração.

Segundo Castro e Lopes (2001), é indispensável à preservação de árvores em topos de morro e seções convexas estendendo-se até 1/3 das encostas, para a conservação e recuperação de nascentes, tema regulamentado pela Resolução Conama, nº 303, de março de 2002 (CONAMA).

2.8 Bacias Hidrográficas

O conceito de bacia hidrográfica, segundo Teodoro et al. (2007), constitui em de um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formado nas regiões mais altas do relevo por divisores de água onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente formando riachos e rios ou infiltram no solo, formando os lençóis freáticos.

O divisor de águas pode ser definido sobre uma carta planialtimétrica da região de modo a separar a bacia. Para Guerra e Cunha (1996) as bacias hidrográficas são consideradas excelentes unidades de gestão dos elementos naturais e sociais, pois, nessa óptica, é possível acompanhar as mudanças introduzidas pelo homem e as respectivas respostas da natureza.

Para Rodrigues (2008), as características físicas de uma bacia hidrográfica têm importante papel nos processos dos ciclos hidrológicos, influenciando na quantidade de água produzida como deflúvio, evapotranspiração e escoamento superficial e subsuperficial.

2.9 Uso e Ocupação do Solo

O que levou ao conhecimento do uso e ocupação do solo foi a necessidade de usar seus recursos de maneira sustentável, que dentre as discussões merecem destaque: os fatores que levam a mudanças e a expectativa da justiça ambiental devido aos conflitos de interesses sobre os recursos naturais (IBGE, 2006).

O solo tem sido manipulado de forma predatória. As formas mais comuns de degradação são a erosão do solo, compactação do solo e impermeabilização do solo, que geram consequências no meio urbano, como enchentes, deslizamentos e outros desastres naturais. A urbanização acelerada causa perda do habitat natural de muitas espécies na fauna e flora, poluição do ar e da água, e destruição do potencial natural de muitas áreas. As atividades inadequadas no solo associadas aos materiais geológicos com diferentes propriedades hidráulicas podem degradar as nascentes e corpos d'água.

Segundo Rocha (1978), a expressão uso da terra (solo), pode ser compreendida como a forma pela qual o espaço está sendo ocupado. O levantamento de uso do solo consiste em mapear e avaliar qualitativamente e quantitativamente o que existe sobre o terreno em diferentes escalas. Por meio desse tipo de levantamento pode-se identificar, numa escala temporal, a deterioração causada ao ambiente pelo uso incorreto e processos naturais de evolução do relevo.

Rocha (1997) comenta que a destruição do meio ambiente, por meio do mau uso da agricultura e pecuária causa deterioração física, socioeconômica e ambiental nas bacias hidrográficas do Brasil. A natureza sempre responde com erosões, secas, enchentes, doenças e a miséria generalizada.

Uma das ocupações brasileiras que mais degrada o solo, são as áreas agrícolas, que muitas vezes crescem de forma desordenada e contribuem significativamente para o empobrecimento do solo (PEREIRA et al, 1995). A camada superficial de solo, que é a mais fértil, é arrastada pelas chuvas, deixando para trás sulcos, no terreno que pode ou não evoluir para ravinas e voçorocas, empobrecendo o solo e assoreando represas, além de levar para as águas dos rios resíduos de adubos e agroquímicos. Esta remoção de solo representa milhões de reais que o país perde anualmente.

Valente (1974) afirma que o aumento da população mundial, bem como o desequilíbrio biológico decorrente desta própria explosão populacional já está trazendo sérias preocupações sobre o fornecimento de água às gerações futuras, quer em quantidade ou qualidade.

Tucci (1993) lembrou que a ação do homem no planejamento e desenvolvimento da ocupação do solo, requer cada vez mais uma visão ampla sobre as necessidades da população, os recursos terrestres e aquáticos disponíveis e o conhecimento sobre o comportamento dos processos naturais na bacia hidrográfica, para racionalmente compatibilizar necessidades crescentes com recursos limitados.

Um desmatamento realizado de forma inadequada pode levar mais de 50 anos para ser recuperado. Retirando a cobertura vegetal do solo, altera-se a paisagem que vai gerar consequências como erosão e compactação do solo, na área de estudos é possível ver nascentes que secaram ou mudaram de lugar devido ao uso incorreto. Sem a proteção da cobertura vegetal, onde a gota da chuva cai ocorre uma compactação do solo, algumas partículas do solo se desprendem (efeito *splash*), a velocidade do fluxo também torna-se maior, causando um aumento no transporte de material. A desagregação do solo pela ação das chuvas e a diminuição da rugosidade da paisagem fazem com que a ação do escoamento superficial, nas encostas e nos leitos dos cursos de água, desequilibre os processos erosivos naturais das bacias hidrográficas (SCHROEDER, 1996).

Portanto, manter as informações sobre o uso e ocupação do solo atualizado é essencial, para uma gestão eficiente dos recursos naturais.

2.10 Mapeamento Geotécnico

O mapeamento geológico-geotécnico permite representar em meio cartográfico os componentes geotécnicos e geológicos de significância para análise da degradação. O que possibilita visualizar as unidades geotécnicas específicas de cada localidade, com informações sobre o tipo de solo, substrato e relevo predominante. Segundo Zuquette (1993) o mapeamento geotécnico tem por finalidade básica levantar, avaliar e analisar os atributos que compõem o meio físico.

Hoje, encontram-se disponíveis diversas metodologias estrangeiras e nacionais para o mapeamento geotécnico destacando-se a proposta por Zuquette (1993) que considera as condições ambientais brasileiras. Este procedimento de mapeamento é realizado a partir de um conjunto de documentos cartográficos. O mapeamento geotécnico tem por finalidade básica levantar, avaliar e analisar os atributos que compõem o meio físico (op. cit., 1993).

Pode-se considerar o mapeamento geotécnico como um importante processo de investigação, com finalidades bem específicas de levantar dados, caracterizar, classificar, avaliar e

analisar os atributos do meio físico. Apresentando por meio de produtos cartográficos, tabelas, quadros, gráficos e textos, dados quantitativo e/ou qualitativo (GOMES, 2002). Estudos geotécnicos vão definir os parâmetros do solo ou rocha, usando sondagem, ensaios de campo ou ensaios de laboratório.

Os modelos cartográficos dessa área vão ajudar a retratar a situação atual da área, por meio de uma visualização espacial mais detalhada podendo avaliar os tipos de solos e compreender essa região no que se refere à ocupação/degradação.

Os trabalhos de caráter geotécnicos surgem no início do séc. XX, apresentados por Lange e Moldenharwer, realizados nos anos 60 e 70, em países desenvolvidos. No Brasil ocorre nos anos 60, com trabalhos de HABERLEHNER (1960), HEINE (1966), GREHS (1967). Os mais atuais e que merecem destaque são PRANDINI (1974), IPT (1980 E 1989), ZUQUETTE (1987 E 1993), COTTAS (1983), PEJON (1992) e NISHIYAMA (1998), entre outros (op. cit., 2002).

Esses trabalhos são de reconhecimento do meio físico que auxiliam no planejamento, tanto no âmbito regional quanto urbano (Zuquette e Gandolfi, 1987), seguindo políticas de uso e ocupação dos solos, que podem levar a uma melhor qualidade de vida e proteção do meio ambiente.

Naturalmente os estudos geotécnicos desenvolvem-se para uma modelagem matemática e numérica do fenômeno da erosão por fluxo superficial (GOMES, 2001).

O mapeamento geotécnico vai ser uma ferramenta fundamental para orientar e subsidiar as mais variadas atividades antrópicas capazes de modificar o meio físico, ainda podendo se utilizar desses produtos para o planejamento urbano e regional (ZUQUETTE, 1987).

Segundo Gandolfi e Zuquette (1982), a carta geotécnica é aceita sem restrições como metodologia de trabalho para a geologia ambiental, por ser a forma mais completa e objetiva de registrar e apresentar os resultados, as informações e as sugestões, tornando a sua compreensão.

Pons (2006) apresenta uma proposta metodológica para levantamento e diagnóstico geológico-geotécnico de áreas degradadas e em processo de degradação em ambientes urbanos, utilizando mapeamento geológico-geotécnico e técnicas de geoprocessamento. Em seu trabalho a autora assinala que através da aplicação desta metodologia foi possível identificar a maioria das degradações encontradas na cidade de São Carlos-SP.

Escalas adotadas nos produtos cartográficos segundo Zuquette (1987) podem ser:

Escalas Gerais – menores que 1: 100.000;

Escalas Regionais – de 1:100.000 a 1:25.000 e;

Escalas Semidetalhadas – 1:25.000 a 1:10.000.

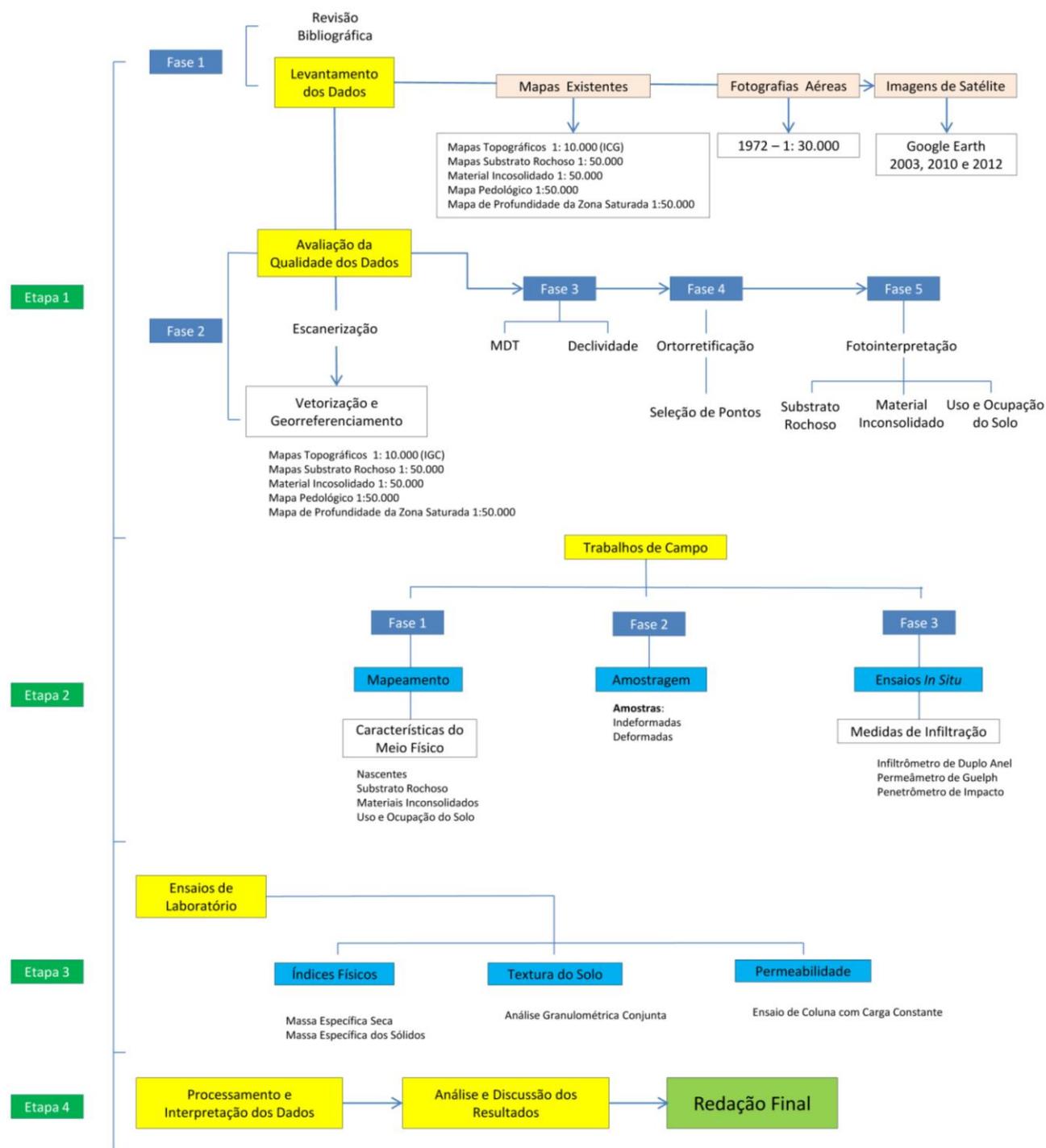
A proposta metodológica de Zuquette (1987) para mapeamento de materiais inconsolidados em áreas rurais é realizada em três fases: (a) a primeira tendo como base trabalhos de campo e aplicações das relações entre as feições do terreno e os modelos teóricos, então são

definidas e delimitadas as unidades dos materiais inconsolidados e suas principais características. Os trabalhos de campo devem ter definição prévia dos locais a serem amostrados para poder representar as características intrínsecas de cada material; (b) na segunda fase coleta-se o material de cada unidade identificada na fase anterior, amostras deformadas e indeformadas; (c) a terceira fase é a realização dos ensaios específicos em laboratório, para caracterização do comportamento mecânico e hidráulico do material.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi dividido em quatro etapas que são: a revisão bibliográfica e levantamento de dados pré-existentes; o mapeamento base; e a caracterização dos materiais em campo e laboratório. As etapas estão detalhadas a seguir, como mostra o fluxograma (Figura 12).

Figura 10 - Fluxograma das etapas do trabalho



Fonte: Autor (2013)

3.1 Revisão Bibliográfica e Levantamento de Dados Pré-Existentes

A primeira etapa da pesquisa foi o levantamento prévio de todos os trabalhos existentes na área de estudo. Em seguida uma revisão bibliográfica, que teve como objetivo elaborar um estado da arte das técnicas e procedimentos utilizados para o mapeamento de materiais inconsolidados.

Com o levantamento dos trabalhos desenvolvidos na área, obtiveram-se informações como mapas, fotografias aéreas e imagens de satélite, utilizadas para uma análise preliminar da área com relação as suas características gerais (geologia, geomorfologia, hidrografia, clima e vegetação), em seguida a elaboração do mapa base e a definição de pontos de coletas em ensaios em campo. Esses dados possibilitaram um entendimento mais completo do processo, viabilizando assim a classificação e agrupamento das áreas em função de aspectos considerados nas primeiras etapas de campo.

À medida que os trabalhos de campo e de laboratório foram desenvolvidos, por meio das etapas de tratamento e análise das informações, foram superadas as diversas fases intermediárias de elaboração dos documentos cartográficos, obtendo um conjunto de documentos cartográficos que refletem as informações do meio físico.

Os materiais utilizados na elaboração da base cartográfica, mapas temáticos e cartas interpretativas estão listados a seguir:

1. Cartas topográficas do Instituto Geográfico e Cartográfico do estado de São Paulo (IGC), ano 1980 na escala 1:10.000:

- Fazenda São Roberto (SF-23-V-C-IV-3-NO-E);
- Ribeirão das Cabaceiras (SF-23-V-C-IV-3-NO-F);
- Rio Chibarro (SF-23-V-C-IV-3-SO-A);
- Água Vermelha (SF-23-V-C-IV-3-SO-B).

2. Mapa de substrato rochoso (Lemos, 2010).

3. Mapa de Material inconsolidado (Lemos, 2010).

3. Fotografias aéreas de 1972, escala 1:30.000.

4. Imagens do *Google* 2003, 2010 e 2012.

5. Documentos regionais (Geologia 1: 500.000, Geomorfologia 1:100.000).

Para a elaboração dos produtos cartográficos foram utilizados os softwares, *Global Mapper*, *GvSig* e *ArcMap (ArcGIS® 10)*.

3.1.1 Vetorização e Georreferenciamento das cartas topográficas 1: 10.000

O primeiro passo foi aquisição das cartas topográficas, que foram escanizadas. De posse dessa informação em formato raster foram definidos os pontos de controle. Estes pontos serviram de base para o georreferenciamento inicial das cartas, que foi executada dentro do programa *GvSig* utilizando para isso uma média de 20 pontos, distribuídos pelo documento da forma mais homogênea possível.

Em seguida foram elaborados e classificados os dados vetoriais: pontos cotados; curvas de nível; estradas; edificações; drenagem entre outros.

Mapa de Bacias Hidrográficas foi elaborado com o software *ArcGIS®* versão 10, modo manual, classificando todas as bacias de primeira ordem.

3.1.2 Modelo Digital de Elevação e elaboração de Carta de Declividade

A carta de declividade contém informações acerca da variação do relevo da região expressa em porcentagem ou em graus. Neste trabalho, foi elaborada por meio computadorizado (uso de algoritmos), utilizando o programa *ArcGIS®* versão 10.

O Modelo Digital de Elevação Consistente (MDEHC) foi elaborado a partir da interpolação dos dados das curvas de nível, pontos cotados e da hidrografia, utilizando a ferramenta *Topo to Raster* (Hutchinson, 1988 E 1989), na extensão *Spatial Analyst*, o tamanho do pixel de saída utilizado foi de 10 metros.

Para validar o MDEHC gerado, foram geradas curvas de nível a partir do modelo interpolado e, posteriormente comparadas com as curvas de nível das cartas topográficas, essa é uma recomendação do manual do *ArcGIS®* (AUGUSTO FILHO, 2011 e MAGRI 2013).

O comando utilizado no software para gerar as curvas de nível foi o *Countour Interval*, presente na extensão *Spatial Analyst*, as curvas foram geradas com o mesmo intervalo das originais da carta topográfica, ou seja, 5 metros.

O Modelo Digital do Terreno Sombreado foi elaborado conforme Magri (2013), com sobre-elevação de três vezes, por meio do comando *Hillshade* presente na extensão *3D Analyst*.

Para a carta de declividade elaborada foi utilizado o comando *Slope*, presente na extensão *3D Analyst*. Como imagem matricial de entrada foi utilizado o MDEHC.

3.1.3 Interpretação das Fotografias Aéreas e Imagens de Satélite

A interpretação das fotografias aéreas de 1972 com resolução de 30 metros, e as imagens do *Google Earth Pro* dos anos 2003, 2010 e 2012 serviram principalmente para elaborar mapas de uso e ocupação do solo para os diferentes anos, e auxiliar no mapeamento da geologia, dos materiais inconsolidados e das nascentes encontradas na área de estudos.

O *software* utilizado para as interpretações foi o *ArcGIS®* versão 10, para a vetorização e classificação dos polígonos.

3.2 Mapeamento

Em função das características e extensão da área foram realizados diversos trabalhos de campo, com a finalidade de fazer o mapeamento dos vários aspectos do meio físico.

De forma mais específica, os trabalhos de campo foram realizados em várias subfases, com os objetivos de validar os resultados da fotointerpretação e caracterizar o meio físico quanto aos componentes avaliados nessa pesquisa, nascentes, substrato rochoso, materiais inconsolidados, uso e ocupação do solo.

Os mapas de uso e ocupação do solo de 1972, 2003 e 2010 foram elaborados a partir das interpretações das imagens, o de 2012 foi a partir da interpretação e visitas no campo, para validar as informações.

O substrato rochoso foi elaborado com base no mapa de substrato rochoso de Lemos (2010), verificando perfis em campo.

As nascentes foram mapeadas seguindo informações das cartas topográficas e com visitas e questionários com a população local.

A partir da rede de drenagem das cartas foram selecionadas 34 nascentes, a maioria com acesso para o diagnóstico das suas condições e existência. Algumas nascentes não foram encontradas no lugar indicados no mapa ou secaram. Durante as visitas muitas nascentes foram indicadas por moradores da área, que conhecem bem o local ou se utilizam desse recurso para consumo, irrigação entre outros.

A proposta foi uma análise macroscópica de cada nascente, seguindo as orientações dos trabalhos de DIAS (1998); GUIA DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS (2004); MAPEAMENTO DAS NASCENTES, TRAVESSIAS E USOS (2010). O inventário elaborado contém informação de localização, caracterização básica e um questionário com pontuação de 1 a 3 para quantificar os seguintes aspectos:

- Coloração aparente da água, distinguindo entre a cor aparente da cor verdadeira;

- Odor da água;
- Lixo no entorno, a presença e caracterização do mesmo;
- Espumas e óleos, presença na superfície da água;
- Esgoto, a presença de emissários e sua distância das nascentes;
- Vegetação, caracterização da preservação;
- O uso por animais;
- Uso antrópico, evidência da utilização da nascente por humanos;
- Proteção, a existência de proteção ao redor das nascentes, barreiras naturais e artificiais;
 - Identificação, placas e similares;
 - Residências, quantificação aproximada da distancia, em metros, das nascentes em relação às residências ou estabelecimentos;
 - Tipo da área de inserção, se esta em área de preservação local.

Depois da coleta, os dados foram enquadrados em padrões para a quantificação seguindo uma adaptação da classificação proposta no Guia de Avaliação da Qualidade das Águas (2004) conforme a Tabela 1. Na Tabela 2, estão as classes distribuídas em relação ao grau de preservação.

Tabela 1 - Quantificação dos dados macroscópicos

Parâmetros Macroscópicos			
Cor da água	(1) Escura	(2) Clara	(3) Transparente
Odor (Cheiro)	(1) Forte	(2) Fraco	(3) Ausente
Lixo ao redor	(1) Muito	(2) Pouco	(3) Ausente
Materiais Flutuantes	(1) Muito	(2) Pouco	(3) Ausente
Espumas	(1) Muito	(2) Pouco	(3) Ausente
Óleos	(1) Muito	(2) Pouco	(3) Ausente
Esgoto	(1) Doméstico	(2) Fluxo Superficial	(3) Ausente
Vegetação	(1) Alta degradação	(2) Pouca degradação	(3) Preservada
Uso por animais	(1) Presença	(2) Apenas marcas	(3) Não detectado
Uso por humanos	(1) Presença	(2) Apenas marcas	(3) Não detectado
Proteção do local	(1) Não detectado	(2) Sem proteção	(3) Com proteção
Proximidade com residências ou estabelecimentos	(1) – 50 m	(2) Entre 50 e 100 m	(3) + 100 m
Tipo de área de inserção	(1) Ausente	(2) Propriedade privada	(3) Parque/ áreas protegidas

Fonte: Adaptado do Guia de Avaliação da Qualidade das Águas (2004)

Tabela 2 - As classes foram distribuídas em relação ao grau de preservação

Classe	Grau de Preservação	Pontuação Final*
A	Ótima	Entre 37 a 39 pontos
B	Boa	Entre 34 a 36 pontos
C	Razoável	Entre 31 a 33 pontos
D	Ruim	Entre 28 a 30 pontos
E	Péssimo	Abaixo de 28 pontos

(*) Notas para os 13 parâmetros (observados através da somatória dos pontos obtidos na quantificação da análise macroscópica).

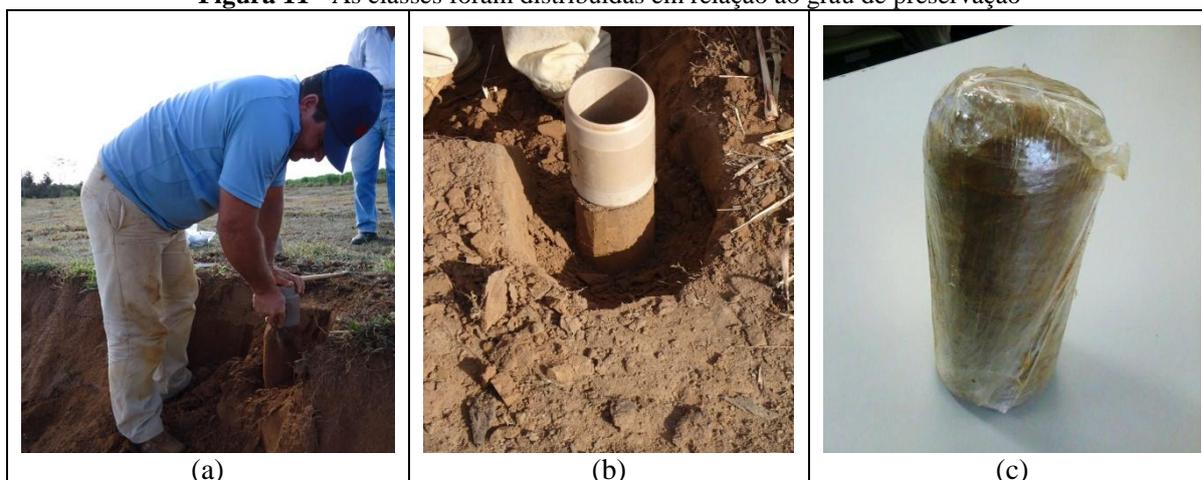
Fonte: Adaptado do Guia de Avaliação da Qualidade das Águas (2004)

A base para o mapeamento dos materiais inconsolidados foi o mapa de materiais inconsolidados de Lemos (2010). Os materiais inconsolidados foram caracterizados quanto a sua origem, cor, espessura, composição textural e homogeneidade, na escala 1:25.000. A descrição foi por meio dos perfis de intemperismo, utilizando inventário, ensaios de campo e laboratório. As fichas de campo utilizadas no mapeamento das nascentes e materiais inconsolidados encontram-se nos Apêndices (I e II).

3.3 Amostragem

O procedimento para amostragem com material deformado seguiu a metodologia proposta por Nogueira (1995), para material retirado a menos de um metro da superfície do solo.

As amostras indeformadas foram retiradas manualmente com um amostrador de parede fina, em seguida embrulhadas em papel filme como mostra a Figura 11, e transportadas em caixa de isopor para conservação das características do material.

Figura 11 - As classes foram distribuídas em relação ao grau de preservação

Fonte: Autor (2013)

3.3.1 Ensaios *In Situ* (Medidas de Infiltração)

Os ensaios *in situ* foram para caracterizar a taxa de infiltração no solo, esse dado depende de outras condicionantes como a inclinação do terreno, o uso da terra e a profundidade do substrato rochoso. Dois métodos foram aplicados para obter esses parâmetros: infiltrômetro de duplo anel, pemeâmetro de Guelph em conjunto com o Penetrômetro de Impacto.

3.3.1.1 Duplo Anel

O infiltrômetro de duplo anel utilizado segue a norma ASTM-D 3385, consiste em dois anéis concêntricos de chapas metálicas com diâmetro de 30 e 60 cm, um tambor graduado para as leituras, cronômetro e mangueiras de borracha, a figura 12 mostra esse sistema.

Os anéis foram cravados verticalmente no solo, aplicou-se água nos dois cilindros mantendo a lâmina d'água constante, por meio de uma boia como mostra a figura 13.

Figura 12 - Ensaio de duplo anel em campo, sistema do ensaio



Fonte: Autor (2013)

Figura 13 - Anéis concêntricos de chapas metálicas com diâmetro de 30 e 60 cm



Fonte: Autor (2013)

O cilindro interno mede o volume aplicado a intervalos de tempo pré-determinados. O cilindro externo tem como finalidade manter o fluxo de água do cilindro interno, onde são feitas as medidas. A Tabela 3 mostra um exemplo de como foi utilizada a planilha de campo:

Tabela 3 - Modelo da planilha utilizada para o ensaio no campo

Tempo (minutos)	Total Infiltrado (mm)
0	0
1	30
2	40
3	45
5	49
6	51
7	52
8	54
9	56
10	57
15	59
20	63
25	66

Fonte: Autor (2013)

O cálculo da condutividade hidráulica saturada é obtido pela equação (para carga constante):

$$k_{fs} = \frac{Q}{\left(\frac{H + Z_w}{Z_w}\right) A.t}$$

Equação 6

Sendo:

 k_{fs} = Condutividade hidráulica saturada de campo (m/h); Z_w = Profundidade da frente de saturação (m); A = Área da seção do anel (m²); t = Tempo entre duas leituras (H); Q = Volume de água infiltrado (m³); H = Profundidade da água do anel, quando é ensaiada a regime constante (m).

3.3.1.2 Pemeâmetro de Guelph Modificado

O modelo utilizado no ensaio foi o modelo IAC desenvolvido por Vieira (1995; 1998), ele funciona pelo princípio de Mariotte, em condições de campo, por meio do fornecimento de água ao solo com carga hidráulica controlada.

As medições foram realizadas com cargas hidráulicas de 5 e 10 cm, nas profundidades de 20, 40 e 60 cm, em orifícios abertos com o trado de 6.5 cm de diâmetro. Antes do ensaio, o local é limpo com uma enxada, retirando raízes, torrões e solo desprendido.

As medições foram realizadas em intervalos que variavam no início de 30 segundos e depois intervalos de 1 e 5 minutos, as leituras foram feitas até o fluxo de água no solo se tornar constante, após a realização de pelo menos cinco leituras consecutivas iguais, seguindo as recomendações de VIEIRA (1995; 1998).

Gardner (1958) determina a condutividade hidráulica não saturada utilizando os dados do parâmetro Guelph, da seguinte forma (Equação 7):

$$K(\psi) = K_{sat} \times e^{\alpha \times (\psi - \psi_e)}$$

Equação 7

Sendo:

 $K(\psi)$ – Condutividade hidráulica não saturada; K_{sat} – Condutividade hidráulica saturada; α – Parâmetro empírico dependente da textura do material; ψ – Potencial matricial (sucção) ψ_e – Pressão de entrada de ar – obtida a partir da curva de retenção.

K_{sat} e α são determinados com dados de ensaio, sendo que α vem da simplificação (Equação 8):

$$\alpha = \frac{K_{sat}}{\phi_m}$$

Equação 8

Sendo ϕ_m o potencial de fluxo mátrico [L^2T^{-1}].

3.3.1.3 Penetrômetro de Impacto

Para a utilização do equipamento seguiu-se as recomendações de Stolf (1984), sendo necessárias duas pessoas, para que uma delas operasse o penetrômetro e a outra fizesse a leitura. A Figura 14 mostra em detalhes as partes constituintes do equipamento.

Figura 14 - Realização do ensaio com penetrômetro de impacto



Fonte: Autor (2013)

Uma chapa de metal é fixa no local do ensaio, e realizado da seguinte forma:

A ponta do penetrômetro vai no orifício da chapa que mantém o aparelho na vertical, com ajuda de uma das mãos, segurando a manopla. Quando com o simples apoio do aparelho houve alguma penetração sem o impacto, foi anotada a profundidade. Com a outra mão, o peso é levantado até encostar-se ao limitador superior. O peso é solto naturalmente e promove a penetração através do impacto com o limitador inferior. O anotador faz a leitura do intervalo de penetração, por meio de uma haste graduada. Repetiu-se o realizado no item anterior, até atingir a profundidade desejada.

O penetrômetro utilizado possui uma haste maior, com 2,00 m, outra menor com aproximadamente 1,00 m, a altura de queda do martelo é de 60 cm, o diâmetro das hastes é de 2 cm com uma ponteira maior para eliminar o atrito lateral (FUREGATTI, 2012).

Para os cálculos da resistência à penetração no solo e a densidade de energia acumulada foram utilizadas as equações propostas por VANAGS et al. (2005).

Para a resistência à penetração no solo utilizou-se a equação:

$$R = \frac{mgH}{A\Delta z} \frac{m}{m+m'} \quad \text{Equação 9}$$

Onde,

R = resistência à penetração;

A = área da base do cone (m^2);

g = constante de aceleração da gravidade (igual a $9,81 \text{ m/s}^2$)

m = massa do martelo (kg)

m' = a massa das hastes mais anéis (kg)

H = altura de queda do martelo (cm)

Δz = profundidade de penetração para um golpe do martelo (m)

Para a densidade de energia acumulada utilizou-se a equação:

$$E_d(z) = N \frac{mgH}{A} \frac{m}{m+m'} \quad \text{Equação 10}$$

Onde,

E_d = densidade de energia acumulada (J m^{-2} ou N m^{-1})

N = número de golpes necessários para alcançar a profundidade z (m)

3.4 Trabalhos de Laboratório

Os trabalhos de laboratório foram realizados para caracterizar os materiais inconsolidados encontrados na área. Para cada unidade de material foram coletadas amostras em diferentes profundidades com a finalidade de identificar possíveis variações verticais.

Para cada conjunto de amostras foi realizado um conjunto de ensaios como: granulometria conjunta, a massa específica dos sólidos (ρ_s) massa específica seca (ρ_d), índice de vazios (e) e porosidade (n). Na Tabela 4 a seguir estão os métodos e normas adotados para determinação destes parâmetros.

Tabela 4 - Normas e método dos ensaios realizados em laboratório

Ensaio	Método	Norma
Granulometria Conjunta	-	ABNT-NBR 7181/84
Massa Específica dos Sólidos	-	ABNT-NBR 6508/84
Massa Específica Aparente Seca de Campo	Zuquette (1993)	-

Fonte: Autor (2013)

Foi realizado um ensaio específico: a condutividade hidráulica saturada em coluna, que auxilia na descrição da natureza dos materiais em termos de condutividade hidráulica saturada.

3.4.1 Condutividade Hidráulica Saturada em Coluna

Os ensaios foram realizados a partir das amostras indeformadas retiradas em campo nos tubos PVC. Em laboratório são montadas em um permeâmetro, a carga hidráulica é mantida constante utilizando um regularizador de nível (exemplo uma bóia), que é abastecido por um reservatório de água. O esquema da Figura 15 mostra as etapas de funcionamento. O cálculo da condutividade hidráulica é partir da lei de Darcy.

$$K_{sat} = \frac{Vol.L}{t.A(L+h)}$$

Equação 11

Sendo:

K_{sat} - Condutividade hidráulica saturada;

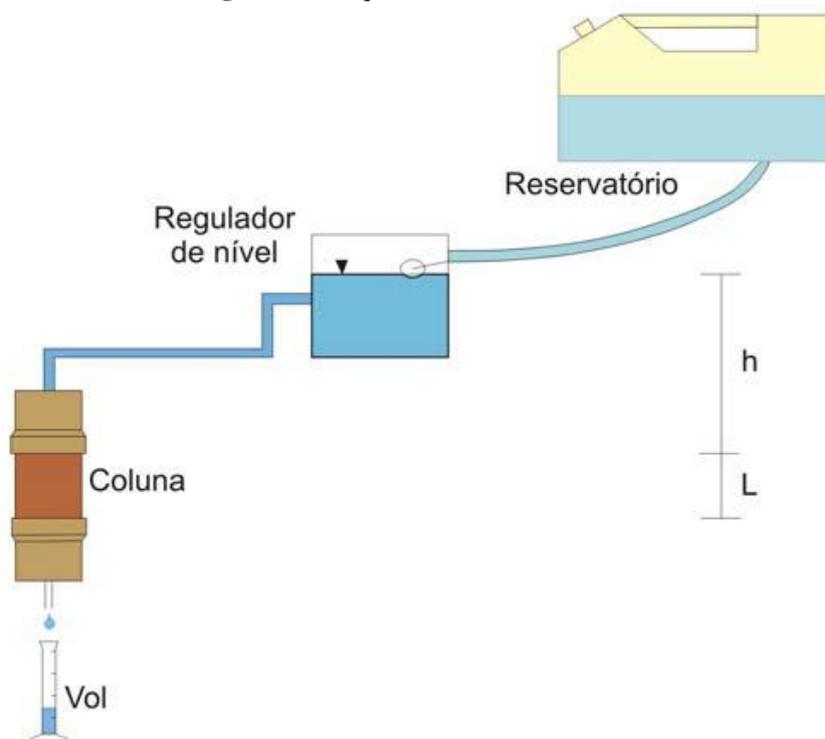
Vol- volume de água coletada;

t- tempo de coleta;

A- Área da seção transversal da amostra na coluna;

L- comprimento da amostra na coluna;

h- carga de pressão constante no topo da amostra;

Figura 15 - Esquema do ensaio de coluna

Fonte: Fagundes (2010)

4 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS GERAIS

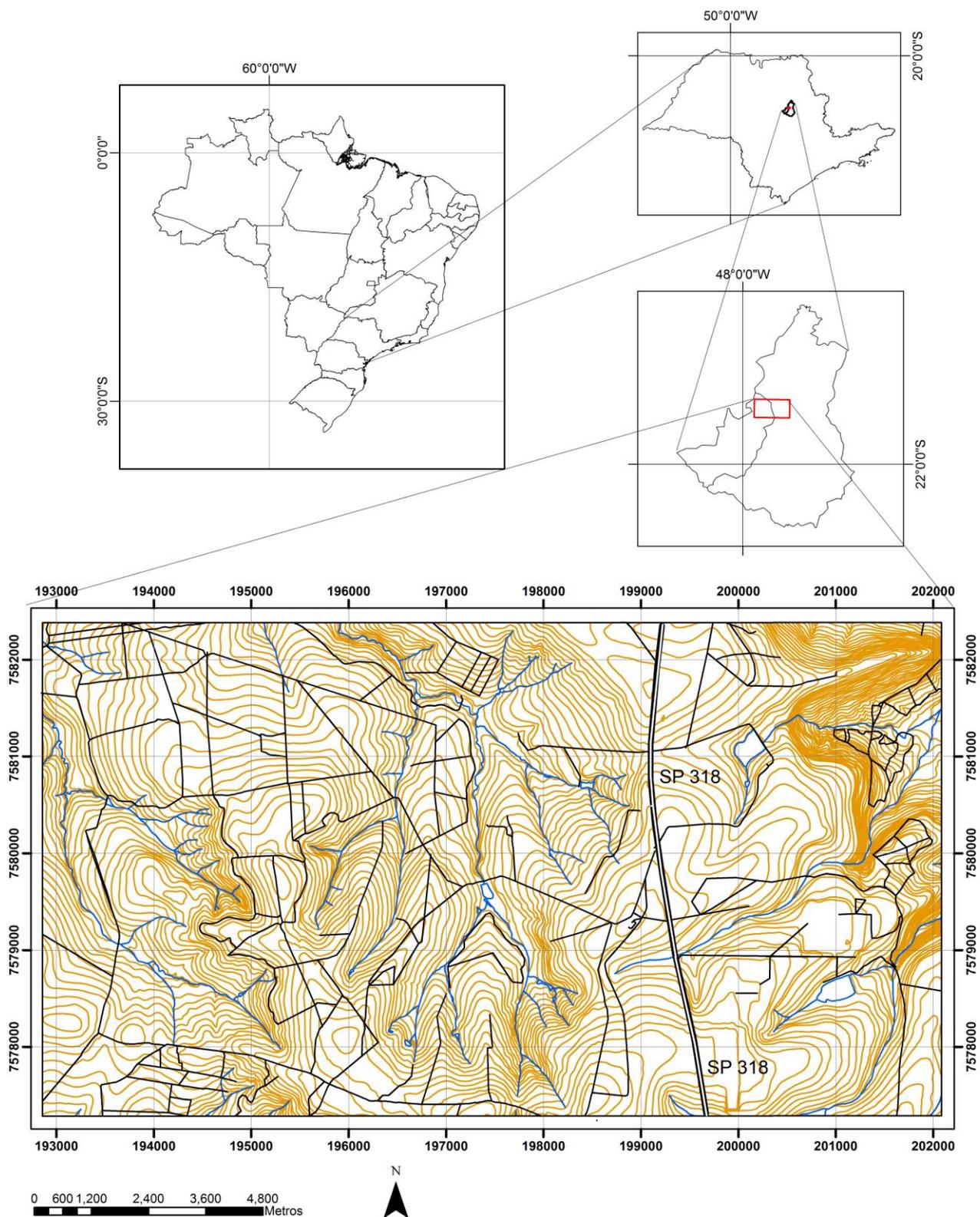
A área de estudo tem aproximadamente 47.08 Km² e está localizada entre os municípios de São Carlos e Ibaté, no interior do estado de São Paulo, próximo de seu centro geográfico, a uma distância rodoviária de 240 quilômetros da capital paulista, compreendida pelas coordenadas UTM 193000/202000 KmE e 7578000/7582000 KmN (Figura 16).

O principal acesso para a área de estudo é pela Rodovia Engenheiro Thales de Lorena Peixoto Júnior (SP-318), em direção a cidade de Ribeirão Preto. Outra forma de chegar é pela área rural do município de Ibaté. O ponto principal de referência no local é o Museu da TAM.

Segundo Muro (2000), São Carlos é considerado o principal centro urbano da região e limita-se a norte por Rincão, Santa Lúcia e Luiz Antônio, a Sul por Ribeirão Bonito, Brotas e Itirapina, a Leste por Descalvado e Analândia, e a oeste por Ibaté, Araraquara e Américo Brasiliense.

O município de Ibaté, conta com cerca de 290 quilômetros quadrados de superfície total, está situado na região central do Estado de São Paulo. Encontra-se a aproximadamente 250 quilômetros de São Paulo, a 12 quilômetros de São Carlos, 25 quilômetros de Araraquara. Conta com uma população de 30.724 habitantes, segundo dados do IBGE (2010).

Figura 16- Área de estudos



Fonte: Autor (2013)

4.1 Geologia

Na área são encontradas formações geológicas: Botucatu (Grupo São Bento), Serra Geral (Grupo São Bento) e Formação Itaqueri (Grupo Bauru). Recobrimo a rocha encontra-se material residual e retrabalhado, que variam de poucos centímetros até valores acima de 20 metros (NISHIYAMA; ZUQUETTE, 1994; FAFUNDES; LEMOS, 2010; FUREGATTI, 2012).

Segundo Furegatti (2012), existem dois grandes grupos de encostas, predominantemente suaves, com declividades baixa, menores que 15°, separadas por escarpas com declividade variando entre 45° e 70°.

4.2 Pedologia

As classes de solo da região foram levantadas a partir de Oliveira & Prado (1984), a nomenclatura foi atualizada utilizando o manual da Embrapa de Solos (1999). Foi utilizado um Mapa Pedológico como base, uma ampliação do mapa original (1:100.000) de Oliveira & Prado (1984) para a escala 1:50.000.

As classes de solo são: AQ-1 (Neossolos – Álico, A moderado, moderadamente drenado); LE-2 (Latosolo Vermelho Escuro. Álico, A moderado, textura média. Unidade Hortolândia); LRe (Latosolo Roxo Eutrófico. A moderado. Unidade Ribeirão Preto); LV-1 (Latosolo Vermelho Amarelo. Álico, A moderado, textura média. Unidade São Lucas); LV-3 (Latosolo Vermelho Amarelo. Álico, A moderado, textura média. Unidade Laranja Azeda); LV-4 (Latosolo Vermelho Amarelo. Álico, A moderado, textura argilosa ou média. Unidade Três Barras); PV-3 (Luvisolo – Abrúptico, Eutrófico ou Álico, A moderado, espesso, textura média/argilosa. Unidade Monte Cristo).

4.3 Hidrografia

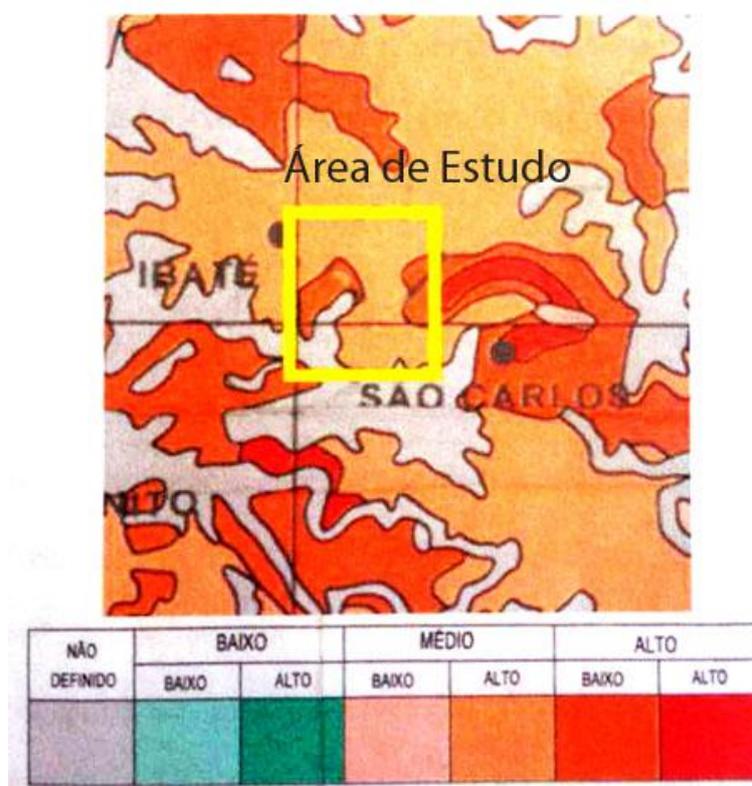
A área de estudo está dentro da Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHI 13 – Tietê/Jacaré, que em termos de disponibilidade hídrica superficial é considerada em estado crítico, por apresentar demanda elevada em irrigação no setor sucroalcooleiro, onde 19 dos 34 municípios com índice de perdas no sistema de abastecimento, acima de 30%. Outra preocupação é o risco de rebaixamento da superfície e poluição do lençol subterrâneo nas áreas urbanas.

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Cabaceiras (BHRC) está localizada a leste da UGRHI 13, abrangendo parte do município de São Carlos e Ibaté. Sua característica principal são

as áreas de difração hídrica, ou seja, área que apresentam surgência de água por entre os diferentes materiais geológicos.

No que diz respeito à vulnerabilidade das águas subterrâneas conforme IG/CETESB/DAEE (1997), a área de estudo apresenta classe predominante de média/alto vulnerabilidade, e algumas manchas de alto/baixa vulnerabilidade, como mostra o fragmento do Mapa da Vulnerabilidade de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo (Figura 17).

Figura 17 - Fragmento do Mapa da Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo na escala 1: 1.000.000



Fonte: IG/CETESB/DAEE (1997)

4.4 Clima

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, varia entre os tipos Cwa e Aw, clima tropical a temperado com uma estação seca de inverno, entre os meses de abril a setembro (FAGUNDES, 2010). Conforme Oliveira (1996), o valor médio anual de precipitação é de 1.512 mm, e umidade relativa de 66%.

A umidade relativa média é de 78,2% e a média anual das temperaturas mínima e máxima é de 7,5 °C e 25,9 °C, respectivamente. A direção preferencial dos ventos é NE-SW, com uma velocidade média anual de 1,8 m/s (ZUQUETTE et al., 2006).

4.5 Vegetação

A vegetação predominante é de cerrado e cerradão, caracterizado pela formação não florestal herbáceo-lenhosa, herbáceo-arbustiva com árvores perenifólias (OLIVEIRA, 1996).

As características dos cerrados são: plantas de pequeno porte, bastante desuniformes, com ocorrência de gramíneas, associado a solos arenosos. O cerradão é composto de árvores de médio porte e arbustos, associados a solos argilosos da Formação Serra Geral (MURO, 2000).

Na área de estudos a maior parte esta tomada pelo cultivo de cana, com poucas manchas de vegetação nativa e pequenas áreas para pastagem.

5 RESULTADOS

Este capítulo aborda os resultados obtidos nos ensaios em campo e laboratório visando à caracterização geológica e propriedades hidráulicas. Também são apresentados os resultados dos produtos cartográficos elaborados da área de estudo.

5.1 Mapa Topográfico (Apêndice III) e Mapa de Documentação (Apêndice IV)

Para a base topográfica foram utilizadas as folhas SF-23-V-C-IV-3-NO-E (Fazenda São Roberto); SF-23-V-C-IV-3-NO-F (Ribeirão das Cabaceiras); SF-23-V-C-IV-3-SO-A (Rio Chibarro); SF-23-V-C-IV-3-SO-B (Água Vermelha), na escala de 1:10.000, equidistância das curvas de nível 5 metros, do Instituto Geográfico Cartográfico (IGC) do ano de 1990. Para utilização do mapa nas visitas em campo foi adicionada ao mapa base topográfico uma imagem do *Google Earth*, que auxilia na navegação.

As cartas foram digitalizadas e georreferenciadas (projeção UTM, referência horizontal Córrego Alegre-MG, referencial vertical Marégrafo de Imbituba-SC, Fuso 23°S). Foram extraídas as curvas de nível, estradas, pontos cotados e a hidrografia. Também estão as coordenadas das visitas e ensaios *in situ*, coleta das amostras para ensaios em laboratório, o pluviógrafo instalado no campo, as coordenadas das nascentes mapeadas e os perfis topográficos.

5.2 Modelo Digital do Terreno (Apêndice V) e Carta de Declividade (Apêndice VI)

A declividade do terreno é uma das variáveis para avaliar o escoamento superficial e a infiltração do terreno. Segundo Rubim (1966) *apud* Pejon (1992) o escoamento superficial só ocorre quando a intensidade da precipitação é maior que a capacidade de infiltração do solo, ou seja, a capacidade de infiltração é controlada pela capacidade de infiltração.

Outros fatores que devem ser considerados em conjunto com a declividade são as interferências no escoamento, por exemplo, os cordões de nível para agricultura, que aumentam o tempo de concentração de água no local. Outro fator é a cobertura vegetal que pode interceptar a precipitação. Na área de estudo não existe locais com grande declividade, como mostra a Figura 18, mas muito manejo do solo para a agricultura, que pode acabar interferindo nesse processo.

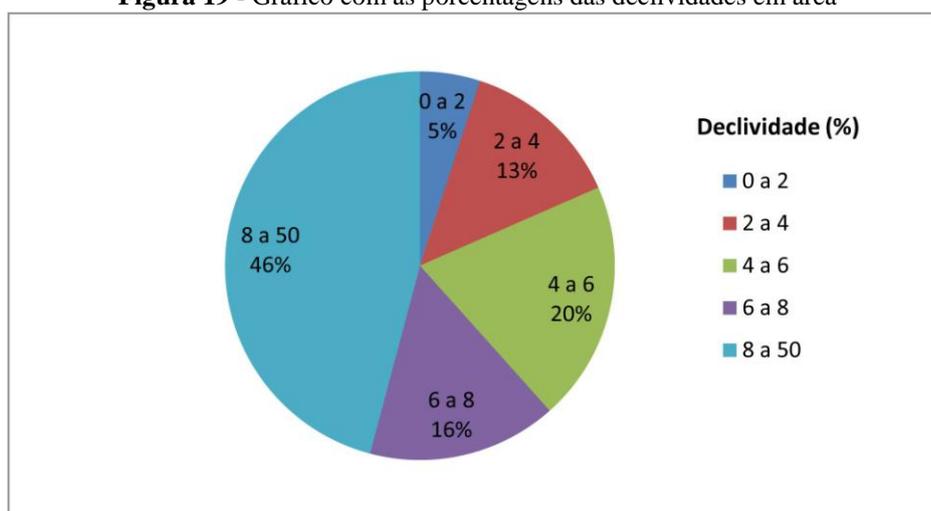
Figura 18 - Vista panorâmica da área de estudos, terreno suavemente ondulado



Fonte: Autor (2013)

As classes de declividade adotadas foram as seguintes: 0 a 2%, 2 a 4%, 4 a 6%, 6 a 8% e 8 a 50%. As porcentagens em área da declividade estão no gráfico da Figura 19, onde as maiores ocorrências são das classes 8 e 50% de declividade, que representam as áreas com maior potencial para o escoamento superficial, dependendo também do tipo de vegetação, intensidade e da intensidade das precipitações, entre outros atributos.

Figura 19 - Gráfico com as porcentagens das declividades em área



Fonte: Autor (2013)

5.3 Mapa de Substrato Rochoso (Apêndice VII)

5.3.1 Formação Serra Geral

Essa formação ocupa 12% da área e tem origem nos eventos ocorridos na Bacia do Paraná. Os minerais que a compõem são, basicamente, piroxênio, plagioclásio e minerais opacos.

A Formação Serra Geral é representada na forma de *sills* e diques, derrame quase que restrito a porção norte, e de nordeste a sudeste, ocorrendo em alguns trechos dos canais de drenagem. A Figura 20, mostra o córrego correndo sobre a rocha exposta.

Figura 20 - Formação Serra Geral

Fonte: Autor (2013)

5.3.2 Formação Botucatu

Os arenitos da Formação Botucatu afloram em 14% da área, na parte noroeste, norte e nordeste, apresentando coloração alaranjada, avermelhada e castanho claro. Composta por areia de fração fina, subordinados por grãos médios, subarredondados a arredondados, subsféricos, e bem selecionados, com laminação plano paralelo de pequeno porte.

Com uma boa seleção granulométrica, é representada na área por arenitos homogêneos de origem eólica e com estratificações cruzadas. A Figura 21 mostra uma área de reserva natural sobre a Formação do Botucatu, ao redor o predomínio do uso do solo é para o cultivo de cana-de-açúcar.

Figura 21 - Características dos locais de ocorrência da Formação Botucatu

Fonte: Autor (2012)

5.3.3 Formação Itaqueri

Esta formação recobre 74% da área, composta basicamente por três camadas de materiais, sendo duas com características texturais semelhantes nas porções inferiores e superiores do pacote, e uma intermediária, com característica textural diferente.

As camadas inferior e superior, apresentam textura areno-siltosa, com granulometria variando de fina a média e coloração castanha claro, com intenso fraturamento, o que possibilita elevada capacidade de infiltração da água no solo. Como a Formação Itaqueri está sobreposta a Formação Botucatu, às águas percoladas o atingem diretamente (FAGUNDES, 2010).

A camada intermediária tem a presença de argilas expansivas, não apresentando um canal de percolação, fator contribuinte para aumento da vulnerabilidade das águas nas formações inferiores (LEMOS, 2010). Uma vista panorâmica da área pode ser vista na Figura 22.

Figura 22 - Formação Itaqueri



Fonte: Autor (2013)

5.4 Mapa de Materiais Inconsolidados (Apêndice VIII)

Os materiais inconsolidados têm como características básicas, os aspectos geotécnicos em relação à origem, textura, espessura e comportamento do manto de alteração dos materiais. Zuquette (1987) define os materiais inconsolidados como sendo todo material sobrejacente à rocha, seja ele residual ou transportado.

A caracterização foi basicamente por análise dos perfis de alteração, a Figura 23 mostra um exemplo, um perfil A, B e C, onde A é camada de material retrabalhado, B a linha de seixos que separa os materiais e C o material residual da formação, e ensaios em laboratório. Os materiais inconsolidados foram classificados em residuais e retrabalhados, sendo eles: Residual

Formação Botucatu (RS FM BO), Formação Itaqueri Argiloso (FM IT AR), Formação Itaqueri Fino (FM IT FN), Formação Itaqueri Fino Raso (FM IT FN RS), Retrabalhado do Terciário (RT TR), Residual Formação Serra Geral Derrame (RS SG DR), Residual Formação Serra Geral Argiloso (RS SG AR) e Residual Formação Serra Geral Intrusão (RS SG IN). Na Tabela 5, estão as características básicas dos materiais.

Figura 23 - Perfil de alteração *in situ*, linha de seixos separando os materiais residuais dos materiais retrabalhados



Fonte: Autor (2013)

Tabela 5 - Características Geotécnicas Básicas dos Materiais Inconsolidados

Ponto	Profundidade (m)	Material Inconsolidado	Uso e Ocupação do Solo	Granulometria (%)			ρ_d g/cm ³	ρ_s g/cm ³	e	η
				Areia	Silte	Argila				
P5	0-25	RS FM BO	Bambu	81	7	12	1.671	2.711	0.62	38.36
	25-60			71	6	23	1.664	2.656	0.60	37.35
P6	0-25	RS FM BO	Pastagem	80	4	16	1.637	2.656	0.66	39.62
	25-50			80	3	17	1.375	2.663	0.93	48.23
P10	20-30	RS FM BO	Cana-de-açúcar adulta	84	2	14	1.873	2.679	0.55	36.00
	70-80			79	1	20	1.730	2.657	0.68	41.00
P15	0 - 25	RS FM BO	Cana-de-açúcar adulta	32	60	8	-	2.680	-	-
P18	0 - 30	RS FM BO	Cana-de-açúcar recém-sulcada	86	4	10	1.654	2.680	0.62	38.00
P1	0-25	FM IT AR	Cana-de-açúcar jovem recém-sulcada	75	5	20	1.700	2.657	0.56	36.02
	25-60			73	6	21	1.554	2.578	0.66	39.72
P2	0-25	FM IT AR	Cana-de-açúcar em material arenoso	75	9	16	1.500	2.953	0.97	49.20
	25-70			72	6	22	1.433	2.812	0.96	49.02
P3	25-50	FM IT AR	Linha de Seixos	46	22	32	1.117	2.679	1.40	58.00
P13	0-25	FM IT AR	Nascente	65	20	15	-	2.671	-	-
P9	0-25	FM IT AR	Eucalípto	76	7	17	1.321	2.683	1.06	51.43
	25-50			75	6	19	1.509	2.720	0.80	44.52
P23	0 - 30	FM IT AR	Cana-de-açúcar adulta	45	20	35	1.431	2.850	0.99	50.00
P24	0 - 30	FM IT AR	Cana-de-açúcar adulta	84	6	10	1.904	2.650	0.39	29.00
P11	0-25	FM IT FN	Cana-de-açúcar recém-sulcada	30	17	53	1.848	2.855	0.99	50.00
	25-70			29	16	55	1.462	2.857	1.61	62.00
P12	0-25	FM IT FN	Linha de seixos	57	10	33	-	2.680	-	-
	25-70			57	8	35	-	2.680	-	-
P17	0 - 30	FM IT FN	APP	86	4	10	1.499	2.690	0.79	44.00
P4	0-25	FM IT FN RS	Cana-de-açúcar jovem	80	7	13	1.675	2.786	0.62	38.36
	25-60			62	5	33	1.683	2.541	0.60	37.35
P14	0-25	FM IT FN RS	Nascente	71	5	24	-	2.677	-	-
P16	0 - 30	RT TER	Cana-de-açúcar recém-sulcada	80	4	16	1.615	2.750	0.70	41.00
P25	0 - 30	RT TER	Cana-de-açúcar adulta	81	6	13	1.652	2.750	0.66	40.00
P19	0 - 30	RS SG DR	Cana-de-açúcar adulta	47	20	33	1.320	2.855	1.16	54.00
P7	0-25	RS SG DR	APP	21	33	46	1.238	2.853	1.24	55.31
	25-50			34	21	45	1.210	2.877	1.29	56.32
P8	0-25	RS SG DR	Cana-de-açúcar sulcada	35	25	40	1.383	2.876	1.00	50.07
	25-60			29	22	49	1.099	2.720	1.52	60.32
P21	0 - 30	RS SG AR	APP	76	10	14	1.308	2.842	1.17	54.00
P26	0 - 30	RS SG AR	APP	46	23	31	1.262	2.850	1.26	56.00
P20	0 - 30	RS SG AR	APP	66	12	22	1.688	2.876	0.70	41.00

Fonte: Autor (2013)

5.4.1 Material Inconsolidado Residual Formação Botucatu

Os materiais residuais dessa formação compreendem 14% da área. Os solos, formados a partir do intemperismo das rochas, guardam forte relação com sua granulometria, sendo geralmente arenosos e profundos. A Figura 24 mostra uma visão do material na área de estudo.

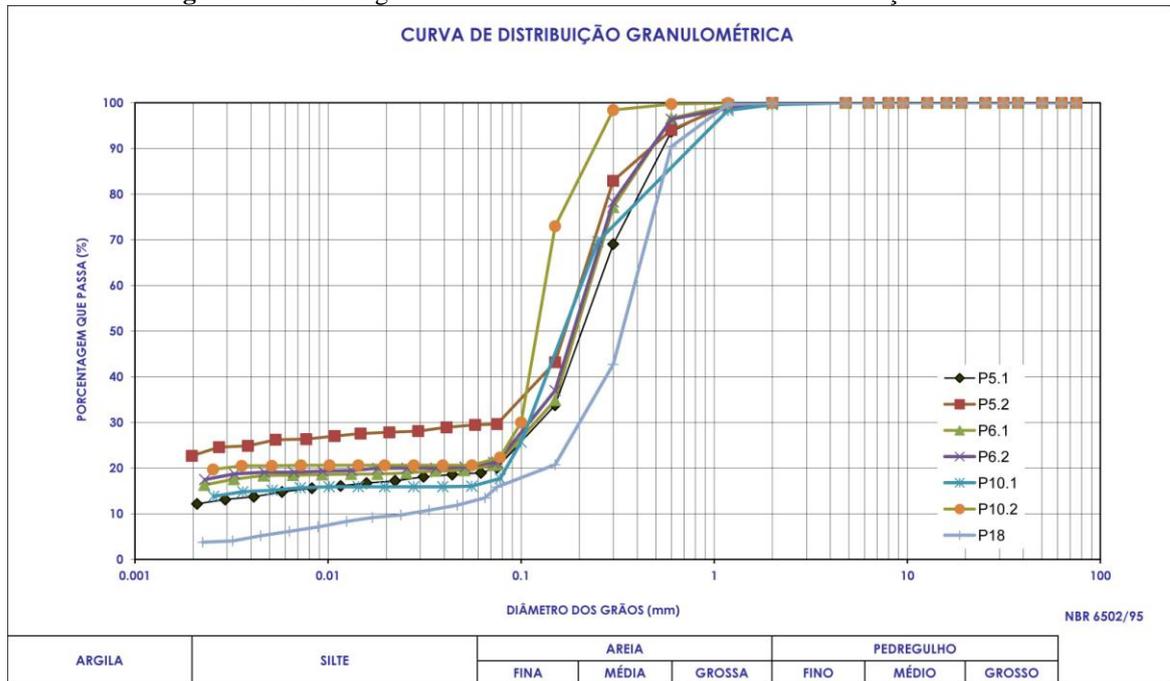
Figura 24 - Material inconsolidado residual da Formação Botucatu



Fonte: Autor (2013)

O material inconsolidado Residual da Formação Botucatu é comum em declividades baixas, menores que 10%. Os vales fluviais apresentam vertentes de inclinações suaves e extensas planícies de inundação, que favorecem o processo de infiltração das águas superficiais (PALMA, 2004). A granulometria desses materiais é alta na fração de areia acima de 80%, a quantidade de silte e argila, variam entre 19 a 29%. A Figura 25 mostra a distribuição granulométrica desse material. As massas específicas seca (ρ_d) variam entre 1.375 g/cm³ e 1.671 g/cm³, nas massas específica dos sólidos (ρ_s) variam entre 2.656 g/cm³ e 2.711 g/cm³.

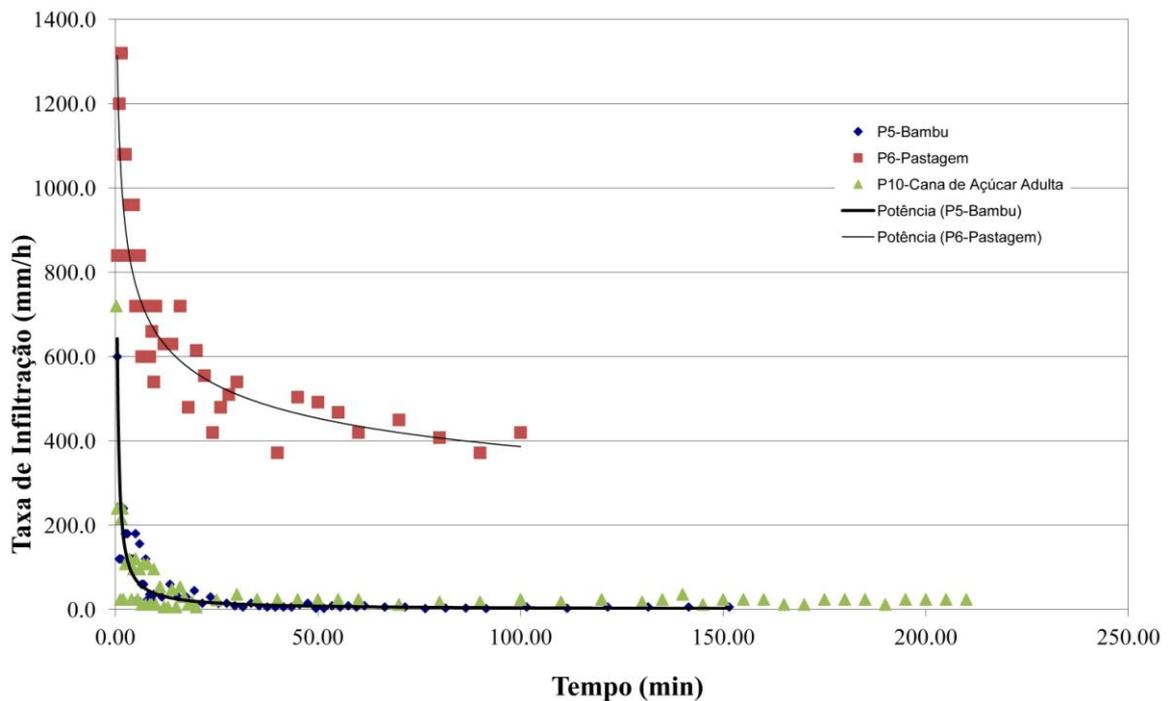
Figura 25 - Curvas granulométricas do Material Residual da Formação Botucatu



Fonte: Autor (2013)

Os ensaios de duplo anel nessa formação apresentaram condutividade hidráulica de $2,18 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ a $3,57 \times 10^{-3} \text{cm/s}$. As curvas de infiltração para os materiais, com usos do solo diferentes, em área com bambu, cana adulta e pastagem, estão apresentadas na Figura 26.

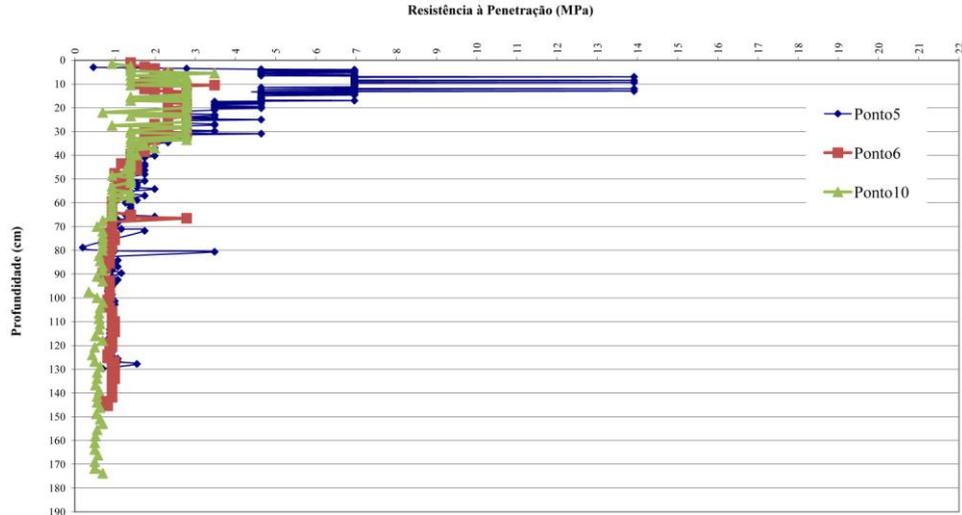
Figura 26 - Ensaio de infiltração sobre material residual da Formação Botucatu



Fonte: Autor (2013)

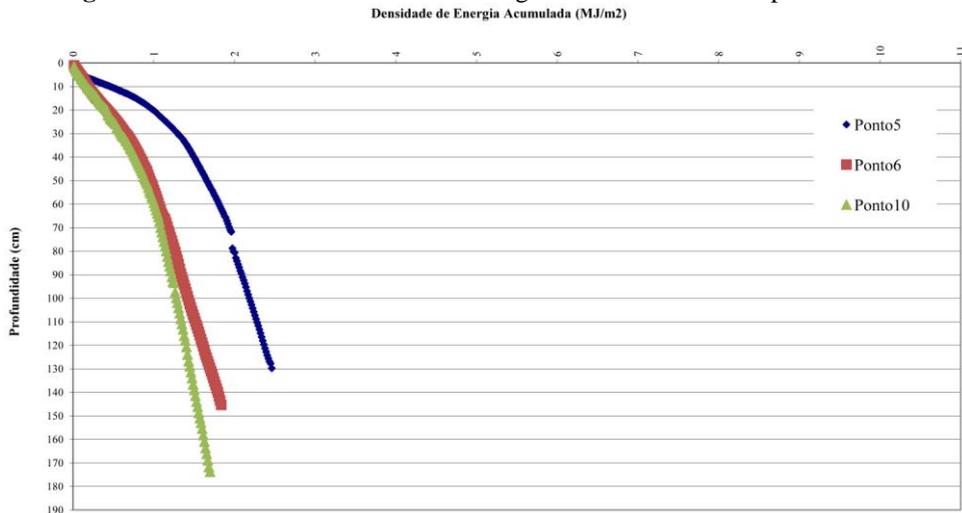
A resistência desse material tem uma grande variação, mas seguindo algumas tendências de penetração, nos pontos 6 e 10, a resistência foi baixa, não passando os 3MPa em nenhum momento. Após os 30cm de profundidade, a resistência começa a diminuir de forma constante, o que também pode ser visto nos gráficos de resistência a penetração na Figura 27 e de energia acumulada na Figura 28.

Figura 27 - Gráficos de resistência à penetração sobre material residual Formação Botucatu



Fonte: Autor (2013)

Figura 28 - Gráficos de densidade de energia acumulada versus a profundidade



Fonte: Autor (2013)

5.4.2 Material Inconsolidado Formação Itaqueri Argiloso

Estão nas regiões mais elevadas, abrangendo maior parte da área, aproximadamente 50% do total, com espessura máxima de dois metros, textura arenosa, que variam de fina a média. A Figura 29 mostra as condições de uso, com cana-de-açúcar jovem e pastagem.

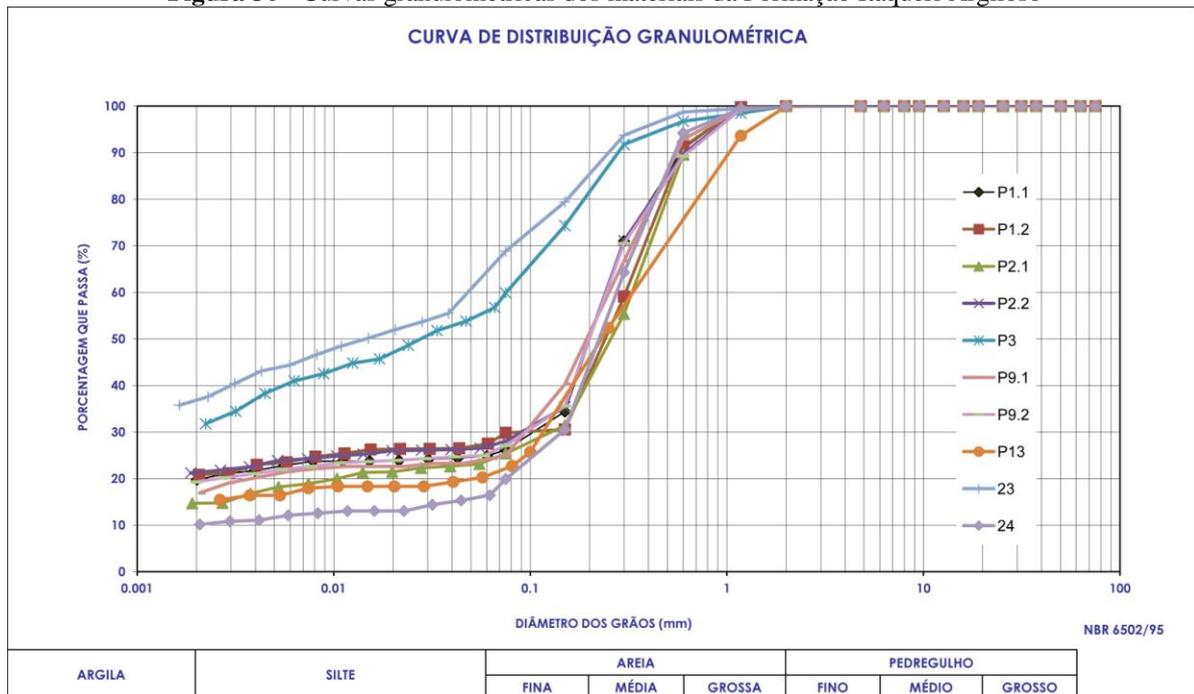
Figura 29 - Forma de ocorrência do material inconsolidado arenoso da Formação Itaqueri



Fonte: Autor (2013)

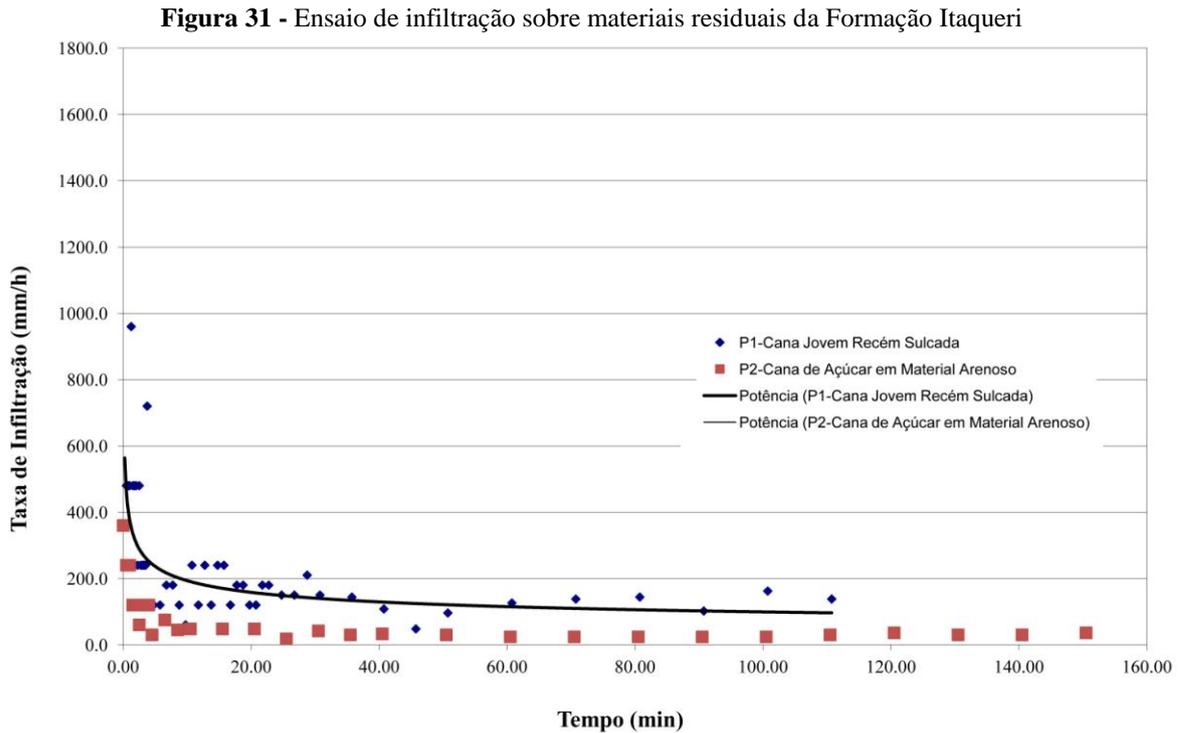
Os solos associados à Formação Itaqueri Argilosa apresentam textura entre 45 e 84% de areia na profundidade de 0-30 cm e variou de 46 a 73% na profundidade de 25-70 cm. Para a fração Silte todos os materiais nas diferentes profundidades tinham proporção de no mínimo 5% e no máximo 22%. Em relação à fração Argila, na profundidade de 0-25 cm, a proporção variou de 15 a 20% e na profundidade, de 25-75% foi superior a 30% (Figura 30). Estes materiais são bastante homogêneos e com espessuras que podem chegar a 10m, levando-se em consideração as altitudes onde os mesmos ocorrem. A massa específica dos sólidos desse material variou de 2,578 g/cm³ a 2,953 g/cm³.

Figura 30 - Curvas granulométricas dos materiais da Formação Itaqueri Argiloso



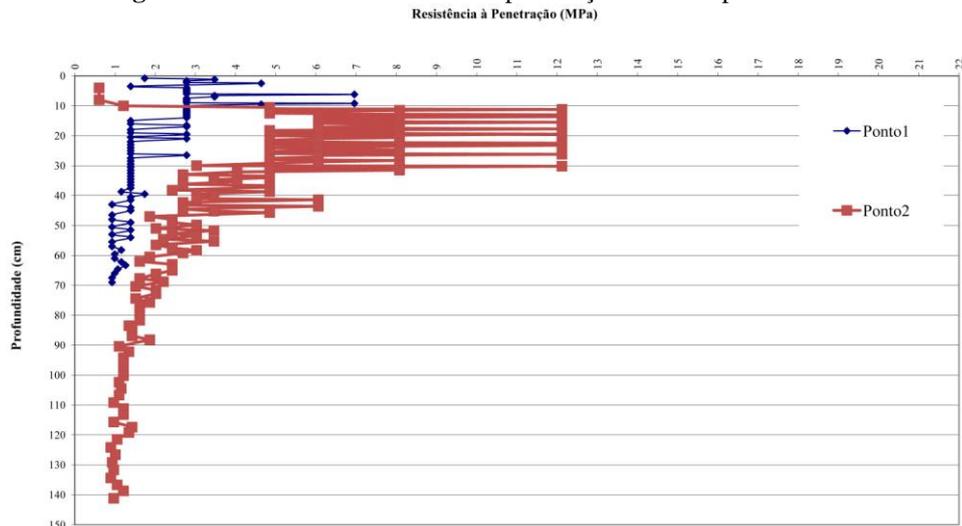
Fonte: Autor (2013)

Os solos associados à Formação Itaqueri foram identificados próximos a Rodovia Engenheiro Thales de Lorena Peixoto Júnior (SP-318). No ponto P3, foi possível verificar a presença de uma linha de seixos separando estes materiais residuais do retrabalhado da Formação Itaqueri. A condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) varia de $9,32 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$, onde tem a presença de cana-de-açúcar sulcada, a $3,36 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$, onde a cana-de-açúcar é jovem. Na Figura 31, pode-se observar as curvas de infiltração destes materiais e suas condições de uso.

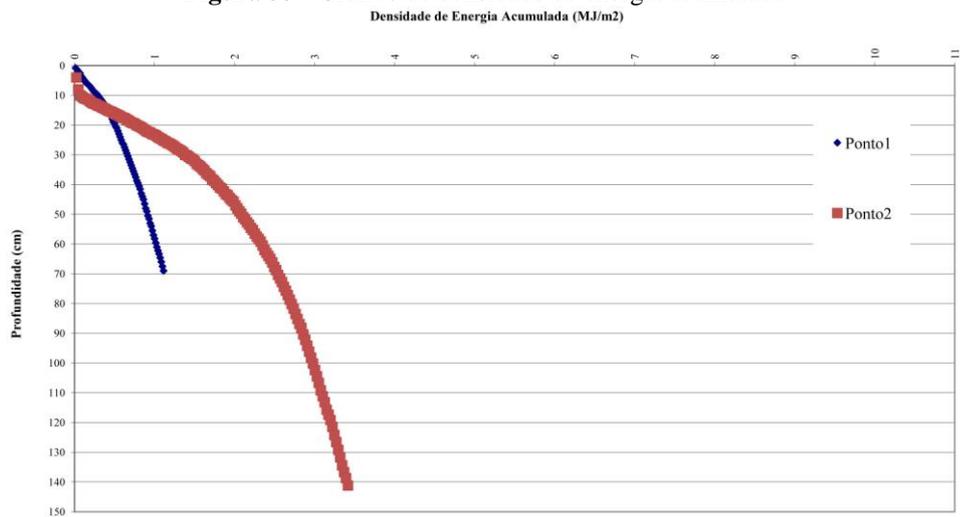


A Figura 32 mostra a curva de resistência a penetração dos pontos 1 e 2, onde existe uma variação entre as profundidades de 1 a 40 cm de 1 a 3 MPa, onde posteriormente se inicia uma linha de tendência até mais ou menos 52 cm, então volta a ter variações na resistência. O material possui uma resistência maior até as profundidades de 40 e 50 cm, após essas profundidades esses valores começam a diminuir.

Na Figura 33 pode-se observar as curvas de densidade de energia acumulada durante o ensaio de resistência à penetração. Este dado está em função da variação da profundidade e suas condições de uso.

Figura 32 – Gráfico de resistência à penetração versus a profundidade

Fonte: Autor (2013)

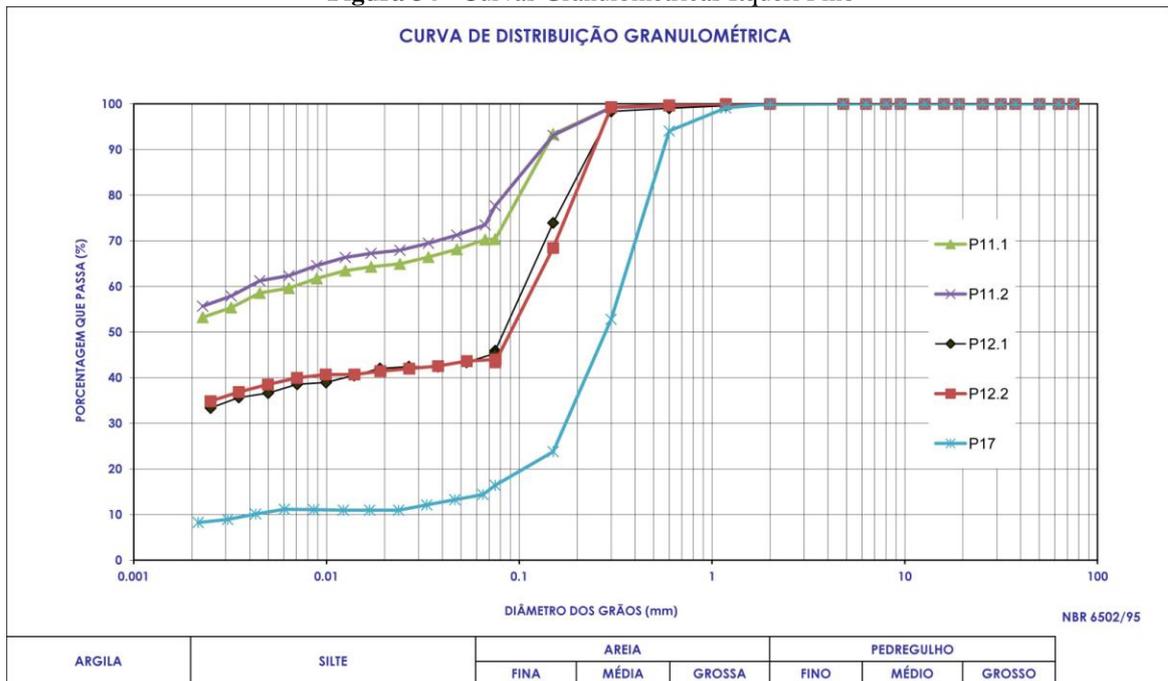
Figura 33 - Gráfico de densidade de energia acumulada

Fonte: Autor (2013)

5.4.3 Material Inconsolidado Itaqueri Fino

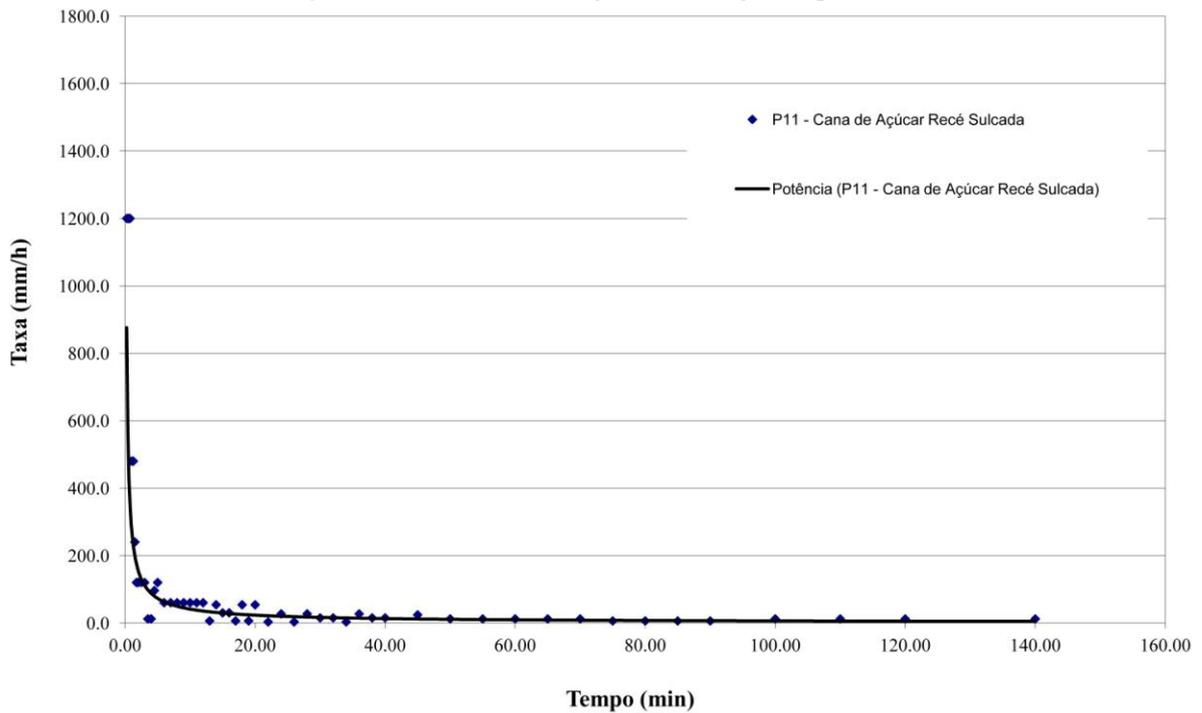
Essa formação encontra-se nas áreas de encostas suaves e está presente em 4% do total da área com espessura até 5 metros, originários da alteração das litologias finas (siltitos e argilitos). A textura varia de 29 a 86% de areia, 4 a 16% de silte e de 10 a 55% de argila. As curvas estão representadas no gráfico de distribuição granulométrica (Figura 34). A condutividade hidráulica saturada é 6.68×10^{-05} cm/s' sendo o uso cana-de-açúcar recém-sulcada (Figura 35).

Figura 34 - Curvas Granulométricas Itqueri Fino



Fonte: Autor (2013)

Figura 35 - Curva de infiltração na Formação Itaqueri Fino

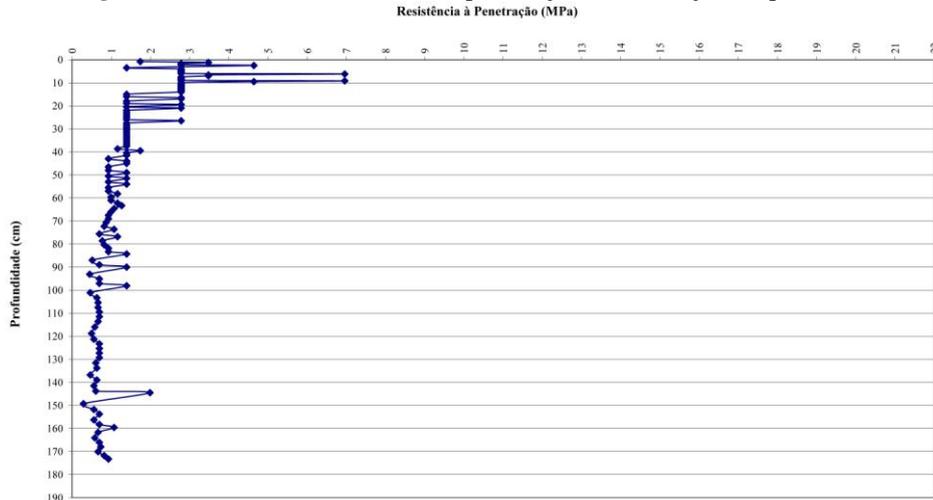


Fonte: Autor (2013)

Na curva de resistência do ponto 11 (Figura 36) existe uma variação entre as profundidades 1 a 11 cm de 1 a 7 MPa, uma outra variação de 11 a 27 cm aproximadamente de 1 a 3 Mpa, onde posteriormente inicia-se uma linha de tendência até mais ou menos 170 cm, com pequenas variações. A maior resistência inicial pode ser explicada pela camada superficial um pouco compactada mesmo com o manejo para novo plantio.

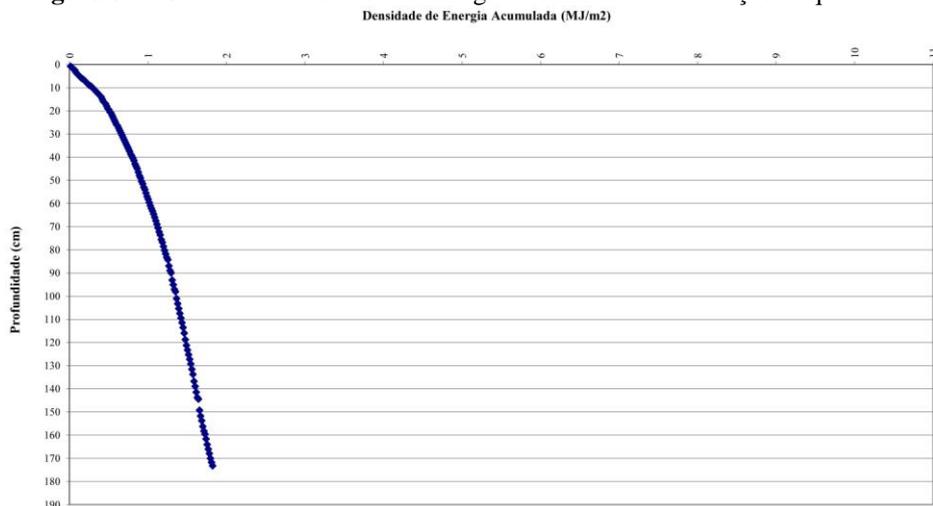
Na Figura 37 mostra o gráfico de densidade de energia acumulada durante o ensaio de resistência à penetração segue a tendência.

Figura 36 - Gráfico de resistência a penetração na Formação Itaqueri Fino



Fonte: Autor (2013)

Figura 37 - Gráfico de densidade de energia acumulada na Formação Itaqueri Fino



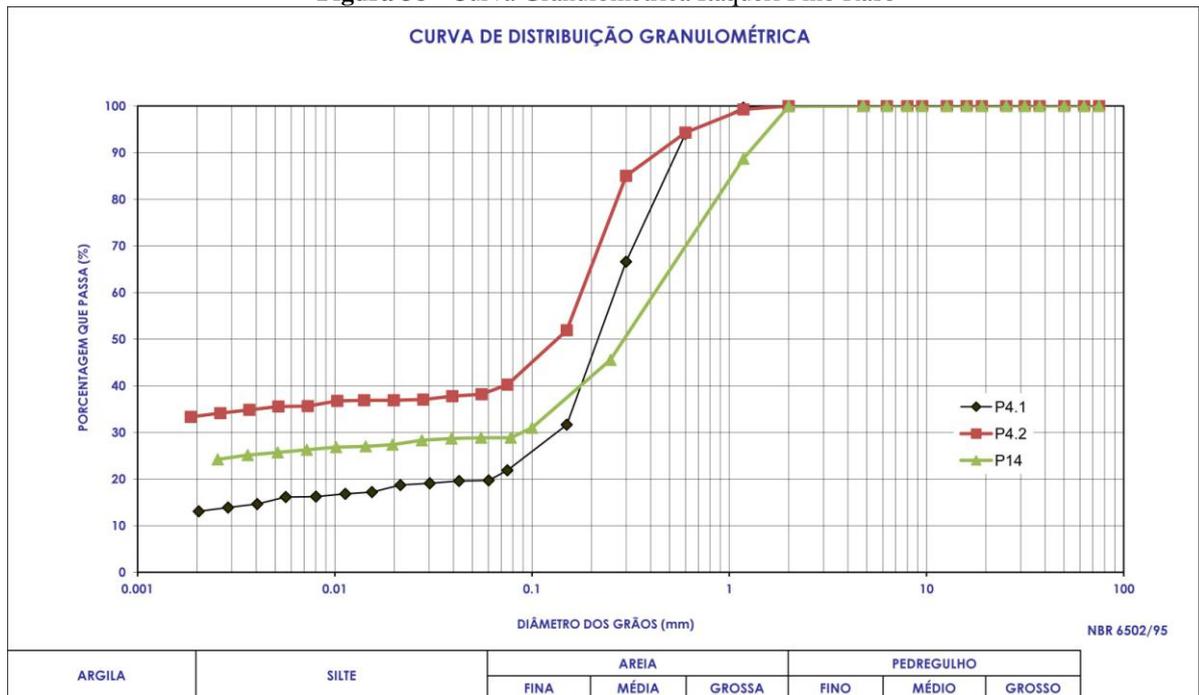
Fonte: Autor (2013)

5.4.4 Material Inconsolidado Itaqueri Fino Raso

Em relação a essa formação, sua extensão é aproximadamente 7% do total da área. Essa formação encontra-se entre os materiais Retrabalhados do Terciário e a Formação Itaqueri Fino.

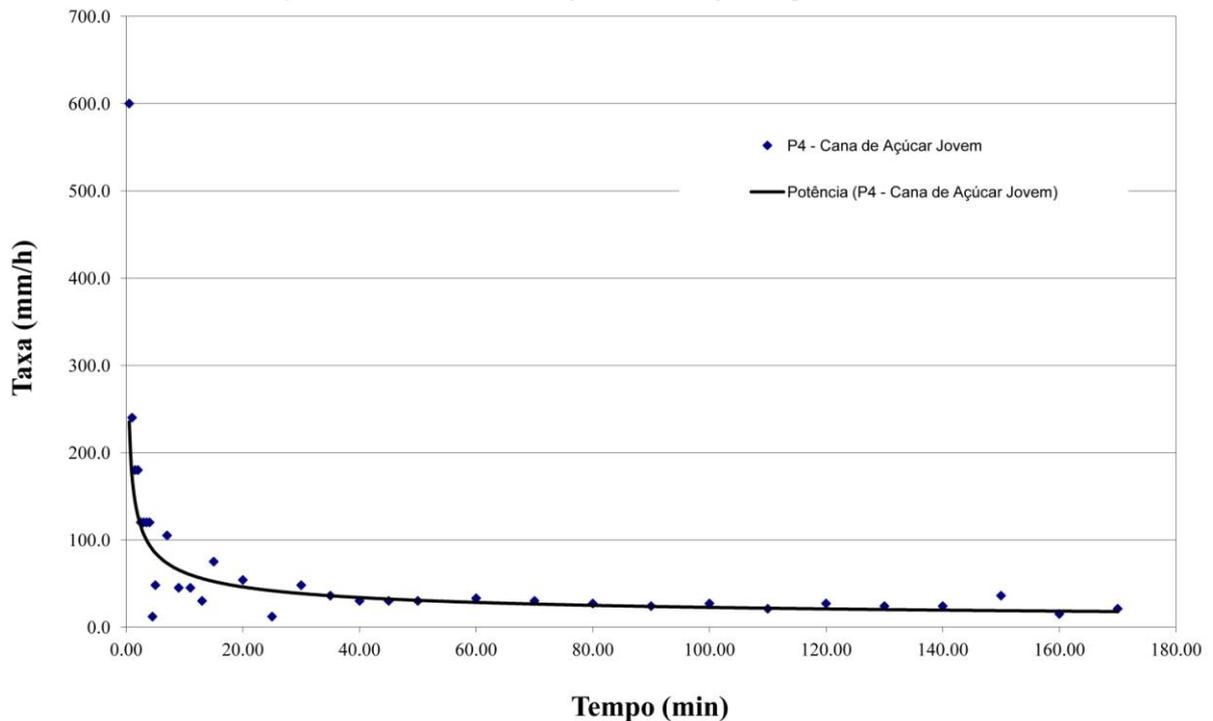
Normalmente ocorrem em encostas em sequência aos finos mais espessos, em pequenas extensões com espessuras da ordem de 1m. A textura varia de 62 a 82% de areia, 5 a 7% de silte e de 13 a 3% de argila, que pode ser vista na curva granulométrica (Figura 38). A condutividade hidráulica saturada é 2.17×10^{-03} cm/s, com uso por cana-de-açúcar recém-sulcada (Figura 39).

Figura 38 - Curva Granulométrica Itaqueri Fino Raso



Fonte: Autor (2013)

Figura 39 - Curva de infiltração na Formação Itaqueri Fino Raso

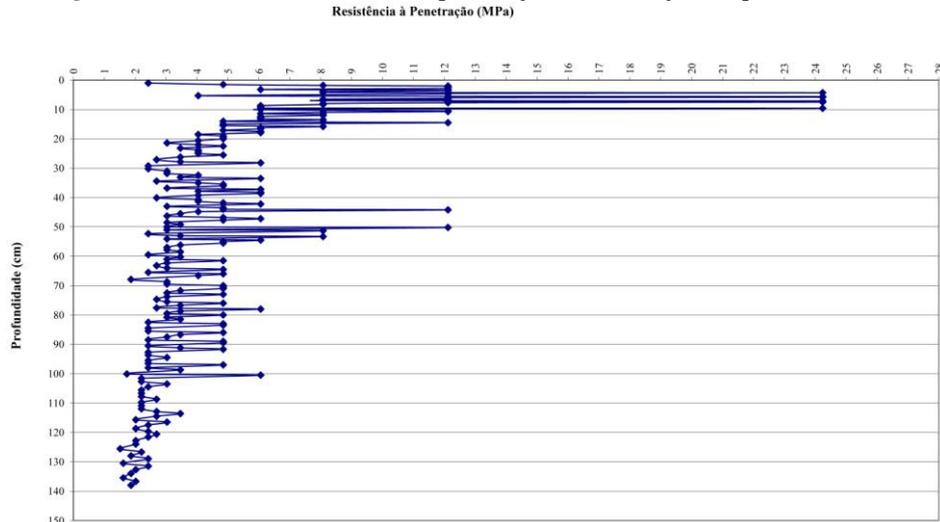


Fonte: Autor (2013)

Na curva de resistência a penetração do ponto 4 (Figura 40) existe uma resistência muito alta. No início do ensaio de 1 a 17 cm está entre 2 e 24 Mpa. Outra variação de 43 a 50 cm, aproximadamente de 2 a 12 Mpa. Após os 60 cm, a resistência fica entre 2 e 6 Mpa. A maior resistência inicial pode ser explicada pela camada superficial mais compactada do solo, devido ao

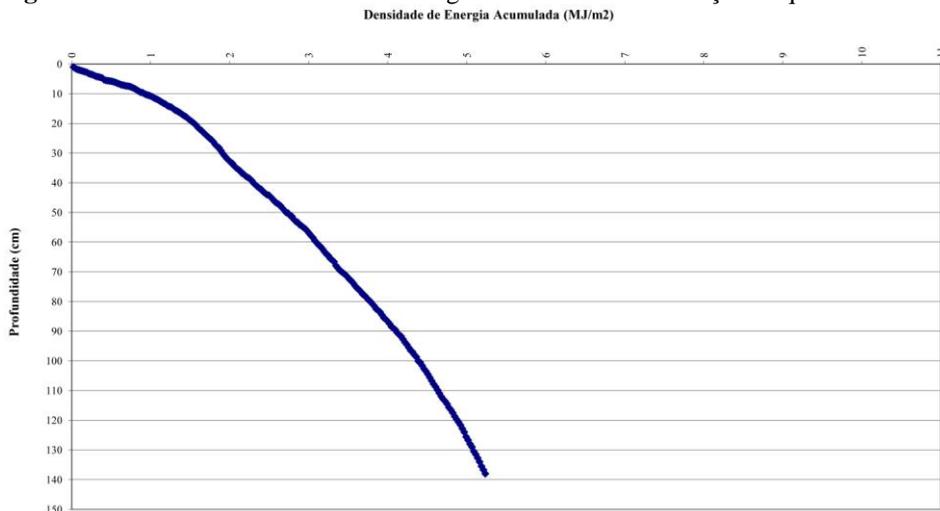
estágio que se encontra o plantio de cana-de-açúcar. Na Figura 41, é apresentado o gráfico de densidade de energia acumulada durante o ensaio de resistência a penetração.

Figura 40 - Gráfico de resistência a penetração na Formação Itaqueri Fino Raso



Fonte: Autor (2013)

Figura 41 - Gráfico de densidade de energia acumulada na Formação Itaqueri Fino Raso



Fonte: Autor (2013)

5.4.5 Material Inconsolidado Retrabalhado Terciário

Os materiais inconsolidados retrabalhados do Terciário ocupam 13% da área, são encontrados em áreas de maiores elevações, sobrepondo-se aos da Formação Itaqueri. A Figura 42 mostra um cultivo de cana-de-açúcar sobre esse material. Normalmente há uma linha de seixos entre os limites inferiores deste material e os limites superiores da Formação Itaqueri. A granulometria apresenta valores de até 80% para fração areia e de até 16% para as porções argila, as curvas estão representadas na Figura 43.

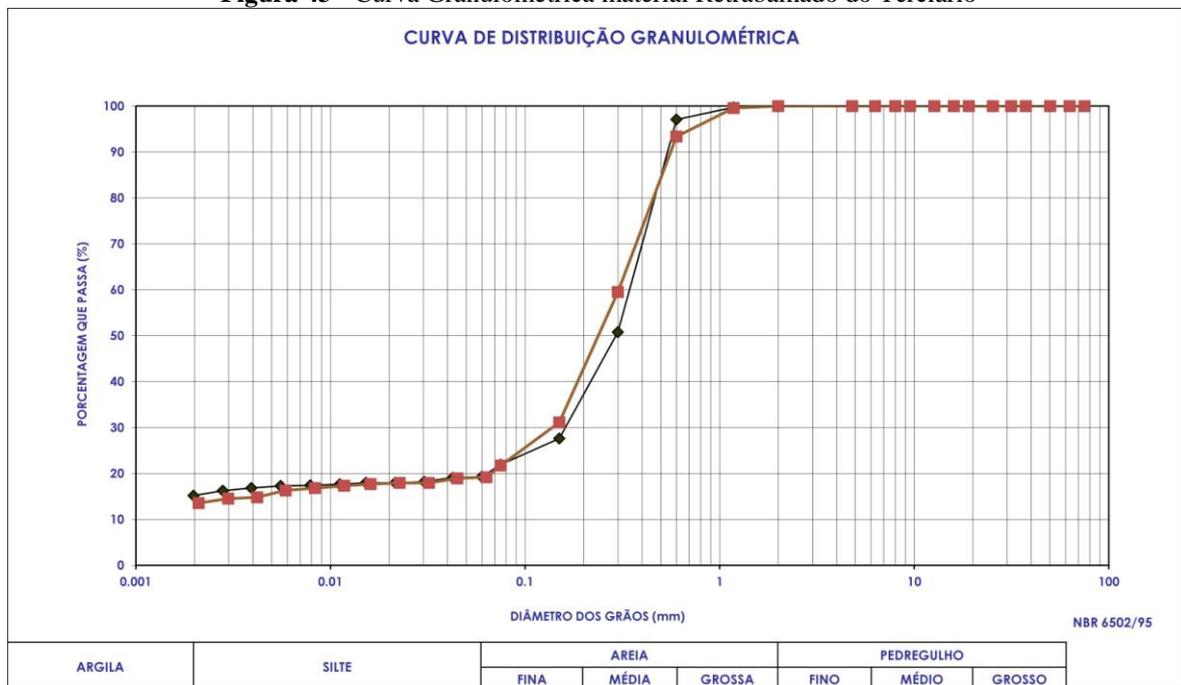
O ensaio realizado em materiais retrabalhados, apresentou valor de condutividade hidráulica de 4.64×10^{-4} cm/s, com ensaio de Guelph modificado.

Figura 42 - Material Retrabalhado em área de cultivo de cana-de-açúcar



Fonte: Autor (2013)

Figura 43 - Curva Granulométrica material Retrabalhado do Terciário



Fonte: Autor (2013)

5.4.6 Material Inconsolidado Residual da Formação Serra Geral Derrame

São materiais provenientes dos magmatitos encontrados em situações distintas, como em baixas declividades ou áreas mais íngremes, sem vestígios da rocha matriz. São materiais silto-argilosos, estão sobre a rocha alterada e representam 3% da área. Apresentam cor predominante vermelha, de tonalidade escura, e granulometria fina, típica da alteração de basalto. A Figura 44 mostra o local onde foi retirado solo para os ensaios de textura e índices físicos.

Os materiais possuem camadas pouco espessas, com coloração avermelhada e textura argilosa, em algumas áreas pode chegar até cinco metros, aproximadamente.

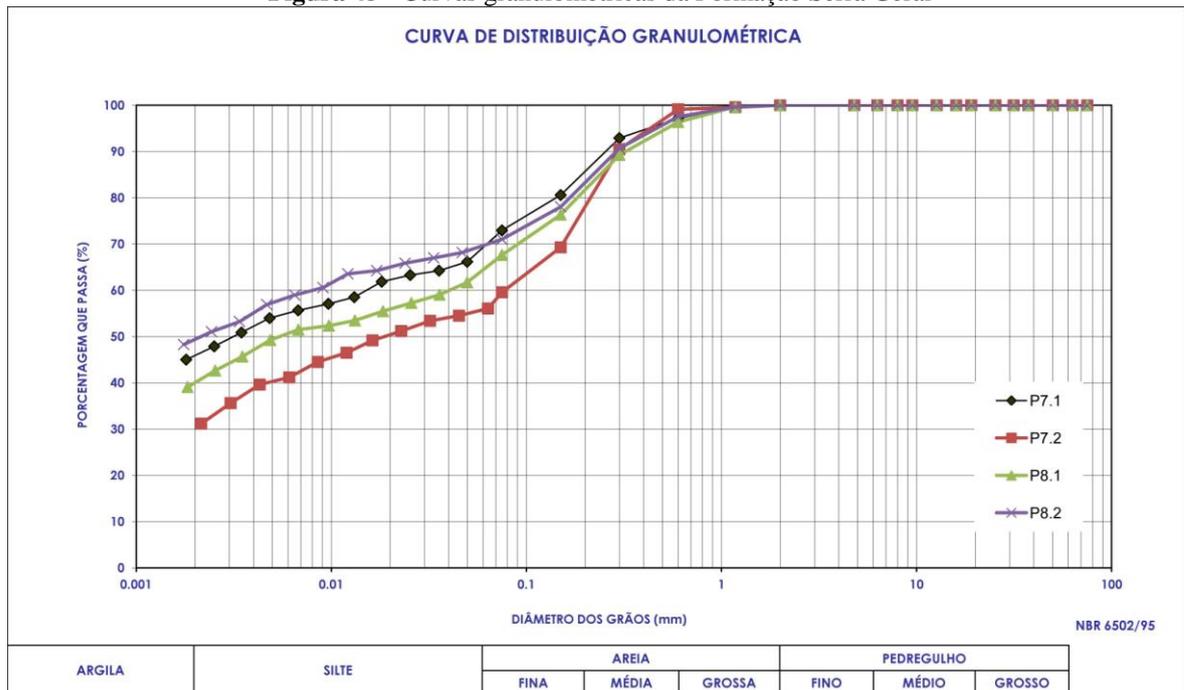
Figura 44 - Material inconsolidado da Formação Serra Geral



Fonte: Autor (2013)

A classificação textural predominante foi para as frações de silte e argila, com variações que são de 65 a 79%, as frações de areia variam de 21 a 39%. As massas específicas secas (ρ_d) variam entre 1.099 g/cm³ a 1.382 g/cm³. Nas massas específicas dos sólidos (ρ_s) os valores encontrados foram 2.770 g/cm³, para o ponto sete e de 2.720 g/cm³ para o ponto oito. A condutividade hidráulica em coluna saturada varia de 10⁻³ a 10⁻⁴ cm/s, o índice de vazio esta entre 1,0 e 1,52%. As curvas granulométricas dos pontos ensaiados mostram a alta fração de argila e silte (Figura 45).

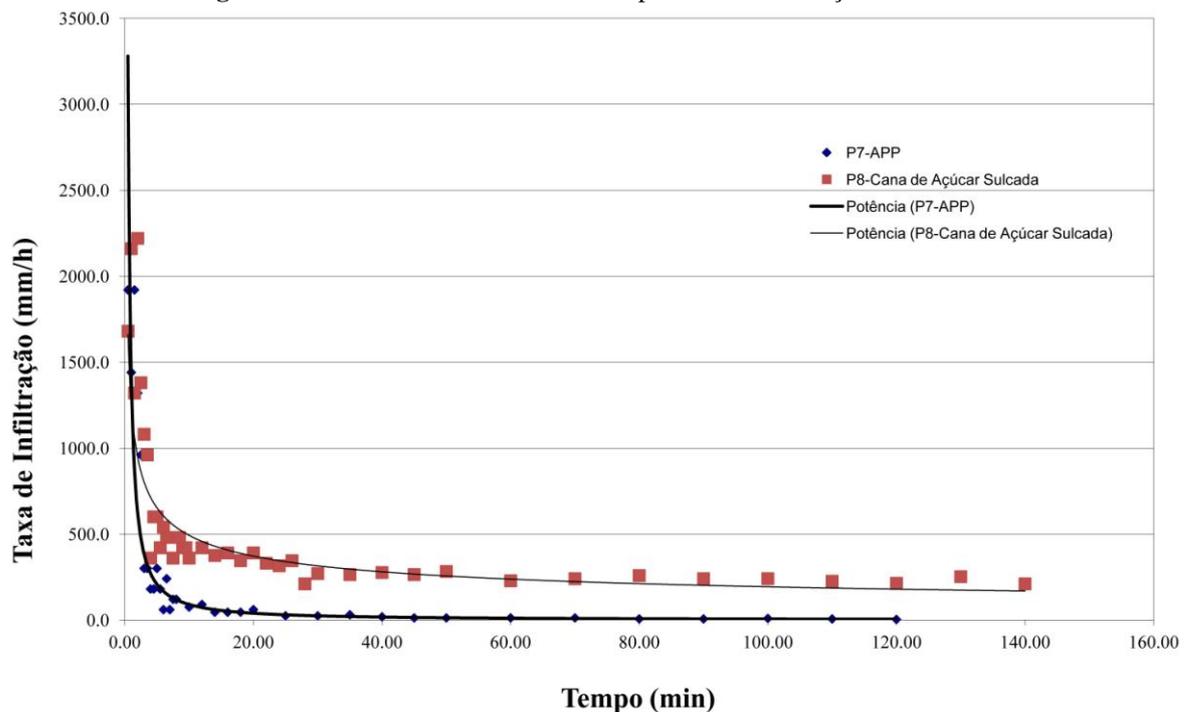
Figura 45 - Curvas granulométricas da Formação Serra Geral



Fonte: Autor (2013)

A condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) desses materiais apresentam valores diferentes. O ponto sete tem uma condutividade de $1.61 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$, em uma área que o uso é para pastagem. Já o ponto oito tem com condutividade de $2.18 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ onde a cana-de-açúcar é recém-sulcada. Os resultados podem ser vistos na Figura 46.

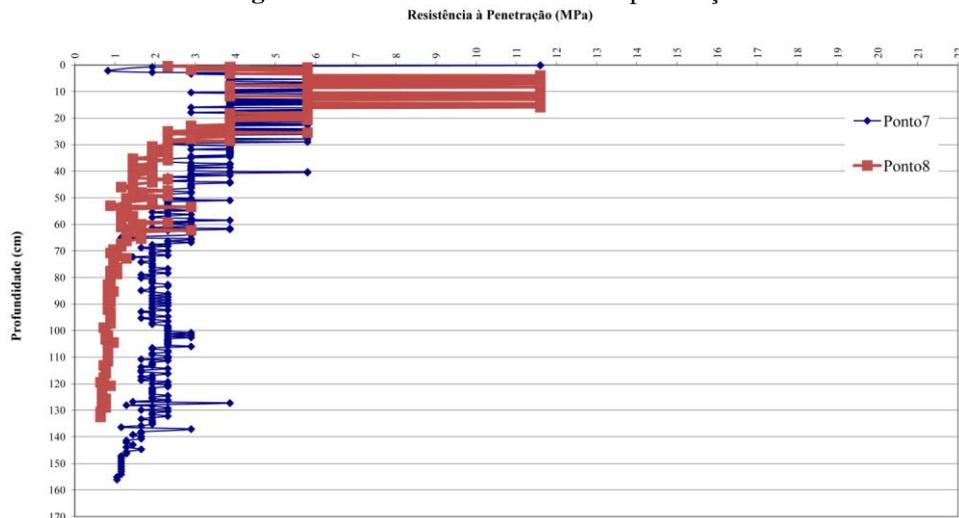
Figura 46 - Resultados dos ensaios de duplo anel na Formação Serra Geral



Fonte: Autor (2013)

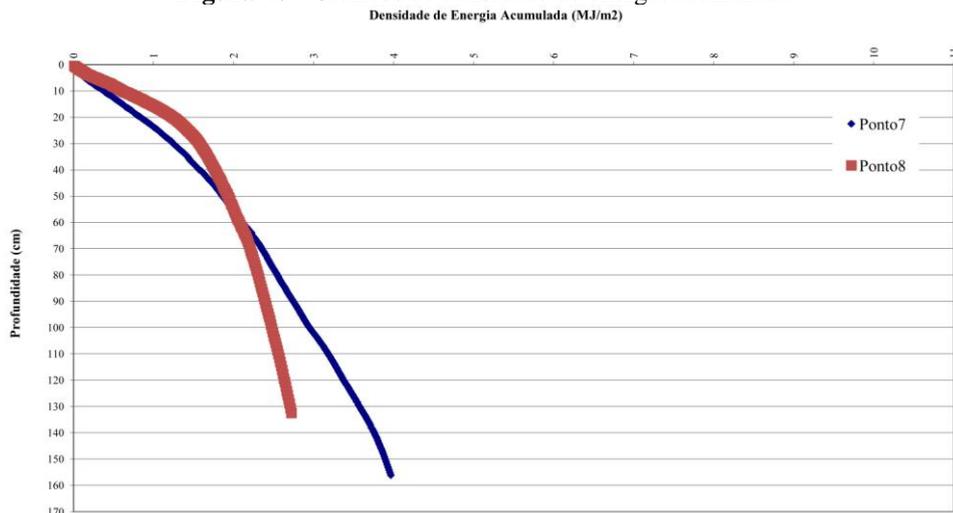
A Figura 47 mostra a resistência à penetração, nos dois pontos desse material. No ponto sete não há uma grande variação, apresentando um pico de resistência logo nos primeiros 11cm seguido de algumas tendências de penetração. No segundo ensaio, no ponto oito, a resistência foi alta, passando de 24 MPa até os 20 cm, alcançando um segundo momento de maior resistência nos 30 cm, chegando até os 12 MPa, diminuindo após essas profundidades. O gráfico de densidade de energia acumulada versus a profundidade esta ilustrado na Figura 48.

Figura 47 - Gráficos de resistência à penetração



Fonte: Autor (2013)

Figura 48 - Gráficos de densidade de energia acumulada

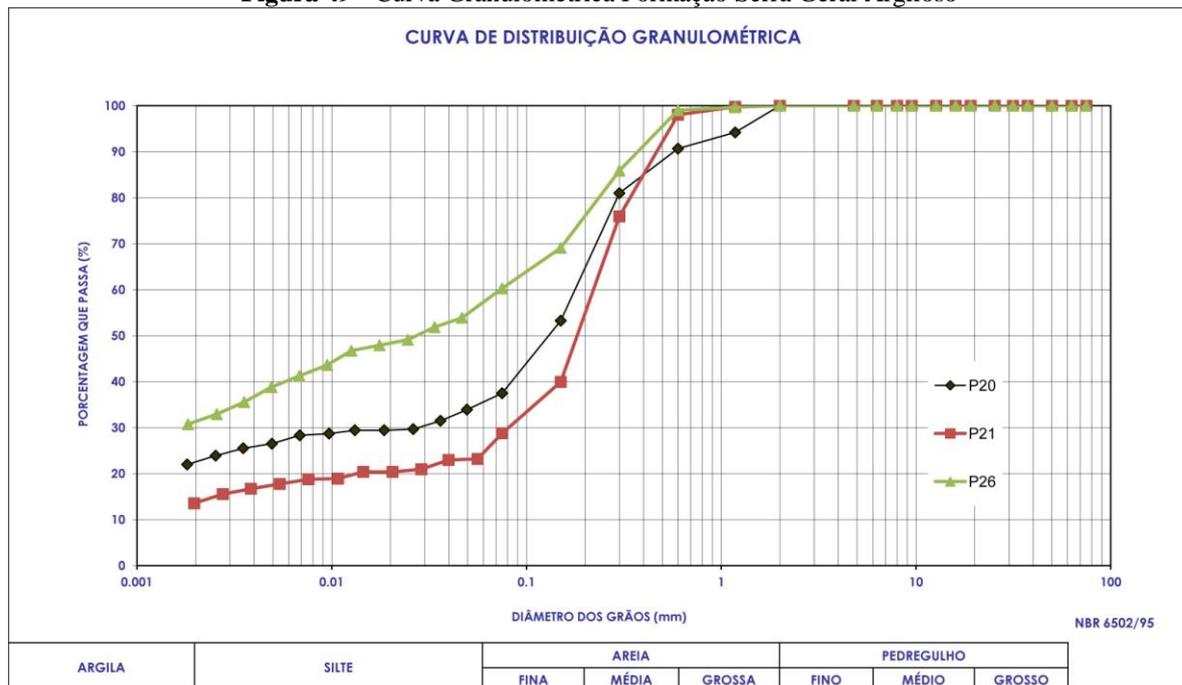


Fonte: Autor (2013)

5.4.7 Material Inconsolidado Residual da Formação Serra Geral Argiloso

O material da Formação Serra Geral Argiloso ocupa 9% da área e são encontrados nas declividades mais baixas ou em encostas, sendo pouco espessos e de cor avermelhada. A textura variou de 14 a 22% de argila, e pode chegar até 76% na fração de areia, como representado na curva granulométrica (Figura 49).

Figura 49 - Curva Granulométrica Formação Serra Geral Argiloso



Fonte: Autor (2013)

5.5 Mapa de Bacias Hidrográficas (Apêndice IX)

As microbacias são áreas formadas por canais de 1ª, 2ª e, em alguns casos de 3ª ordem, que podem ser definidas como base na dinâmica dos processos hidrológicos, geomorfológicos e geotécnicos. Para avaliar as condições das nascentes, em função do uso e ocupação do solo e os processos de infiltração, foi elaborado um mapa de bacias hidrográficas em canais de primeira ordem. No total são 102 bacias hidrográficas delimitadas no *ArcGIS*® versão 10.0.

Com a delimitação dessas bacias foi possível perceber que as nascentes estão surgindo nos materiais inconsolidados: Retrabalhados do Terciário; Itaqueri Fino Raso e Residual da Formação Botucatu.

Nessas áreas de nascentes o uso do solo predominante é a vegetação nativa, ou seja, as nascentes estão dentro das áreas de preservação permanente.

5.6 Resultados dos Ensaios Específicos

Este capítulo aborda os resultados dos ensaios específicos de campo e laboratório utilizados para a caracterização dos materiais geológicos, tanto para a distribuição quanto as propriedades hidráulicas. Dentre os ensaios realizados em campo estão: (a) permeâmetro de Guelph e; (b) condutividade hidráulica saturada em coluna.

5.6.1 Permeâmetro de Guelph

Os ensaios utilizando o permeâmetro de Guelph foram realizados em seis materiais inconsolidados. Comparando com os ensaios realizados com duplo anel, alguns materiais apresentaram discordância. Os ensaios foram realizados em furos com aproximadamente 40 cm de profundidade com duas cargas hidráulicas, 5 e 10cm. A Tabela 6 apresenta os resultados de condutividade hidráulica saturada nas diferentes formações.

Tabela 6 - Resultados da condutividade hidráulica saturada por material inconsolidado

Material Inconsolidado	Condutividade Hidráulica Saturada (cm/s)
Residual da Formação Botucatu	1.12×10^{-03} cm/s
Formação Itaqueri Argiloso	8.6×10^{-04} cm/s
Formação Itaqueri Fino	5.87×10^{-04} cm/s
Formação Itaqueri Fino Raso	6.94×10^{-03} cm/s
Retrabalhado do Terciário	4.64×10^{-03} cm/s
Formação Serra Geral Argiloso	5.07×10^{-03} cm/s

Fonte: Autor (2013)

5.6.2 Condutividade Hidráulica Saturada em Colunas

O ensaio foi realizado com amostras indeformadas retiradas no campo em cilindros de PVC, com altura de 15 centímetros e 10 centímetros de diâmetro. Esses ensaios foram para obter os resultados de condutividade hidráulica satura em laboratório. Foram ensaiadas 16 amostras em 8 pontos distribuídos entre os materiais inconsolidados. Na Tabela 7 os resultados estão apresentados por material e profundidade.

Tabela 7 - Condutividade hidráulica saturada (Ksat) mediante ensaios de coluna em laboratório
Condutividade Hidráulica Saturada em Coluna

Ponto	Material Incolidado	Profundidade (cm)	K _{sat} (cm/s)
P1	FM IT AR	0-25	5.62x10 ⁻⁰³
		25-60	4.56x10 ⁻⁰³
P2	FM IT AR	0-25	5.76x10 ⁻⁰⁴
		25-70	1.00x10 ⁻⁰³
P4	FM IT FN RS	0-25	6.42x10 ⁻⁰⁴
		25-60	6.67x10 ⁻⁰⁴
P5	RS FM BO	0-25	1.28x10 ⁻⁰³
		25-60	2.72x10 ⁻⁰³
P6	RS FM BO	0-25	5.67x10 ⁻⁰⁴
		25-50	2.98x10 ⁻⁰³
P7	RS SG DR	0-25	4.94x10 ⁻⁰⁴
		25-50	4.83x10 ⁻⁰⁴
P8	RS SG DR	0-25	1.04x10 ⁻⁰³
		25-60	8.41x10 ⁻⁰⁴
P9	FM IT AR	0-25	1.36x10 ⁻⁰³
		25-50	5.53x10 ⁻⁰⁴
P10	RS FM BO	0-25	1.21x10 ⁻⁰²
		25-70	2.93x10 ⁻⁰²
P11	FM IT FN	0-25	2.39x10 ⁻⁰²
		25-70	4.57x10 ⁻⁰²
P15	RS FM BO	0-25	2.70x10 ⁻⁰²

Fonte: Autor (2013)

Para os ensaios em coluna saturada, em relação aos ensaios com duplo anel, as maiores variações foram nos pontos 7 e 8 onde fica o material inconsolidado da Formação Serra Geral Derrame e os resultados variaram de 10⁻⁰³ na profundidade de 0 a 25cm a 10⁻⁰⁴ na profundidade de 25 a 60 cm.

5.7 Mapas de Uso e Ocupação do Solo

O Mapa tem por finalidade organizar o território buscando sempre seu potencial, controlar a densidade populacional e a ocupação do solo pelas construções, melhorar os deslocamentos e a mobilidade urbana e rural, evitando o conflito de atividades e preservando o meio ambiente.

O uso e ocupação do solo tem grande influência na compactação e/ou impermeabilização do solo nas camadas superficiais, sendo direta a relação com a infiltração. O mapa de uso ajuda a identificar as atividades no local e no planejamento do território.

Para a área de estudo foram analisados quatro períodos diferentes, o ano de 1972 a interpretação foi realizado por meio de fotografias aéreas, e os anos de 2003, 2010 e 2012 com imagens disponibilizadas pelo *Google Earth*.

As fotografias aéreas e as imagens do Google foram georreferenciadas, interpretadas e classificadas no *ArcGIS®* versão 10.0.

A Tabela 8 mostra os diferentes tipos de usos e ocupação do solo em porcentagem da área, para os diferentes anos analisados. As maiores mudanças podem ser vistas no uso por pastagem e plantio de cana, onde no ano de 1972, 60% da área é destinada para pastagem em 2003 já baixou para 7% do total, enquanto que no mesmo período a área destina ao plantio de cana era de 2% aumentou em 2003 para 61%. Outras análises estão descritas a seguir por ano de ocupação e uma análise por período.

Tabela 8 - Tabela de uso e ocupação do solo (Area %) em diferentes períodos

Usos do Solo	1972	2003	2010	2012
APP	8	10	7	12
Cana-de-Açúcar	2	61	63	57
Edificações	1	3	3	3
Eucalipto	0	0	0	0
Granja	0	0	0	0
Laranja	0	1	0	1
Mata	14	12	12	14
Outros Cultivos	14	4	5	3
Pastagem	60	7	9	10
Solo Exposto	1	2	1	0

Fonte: Autor (2013)

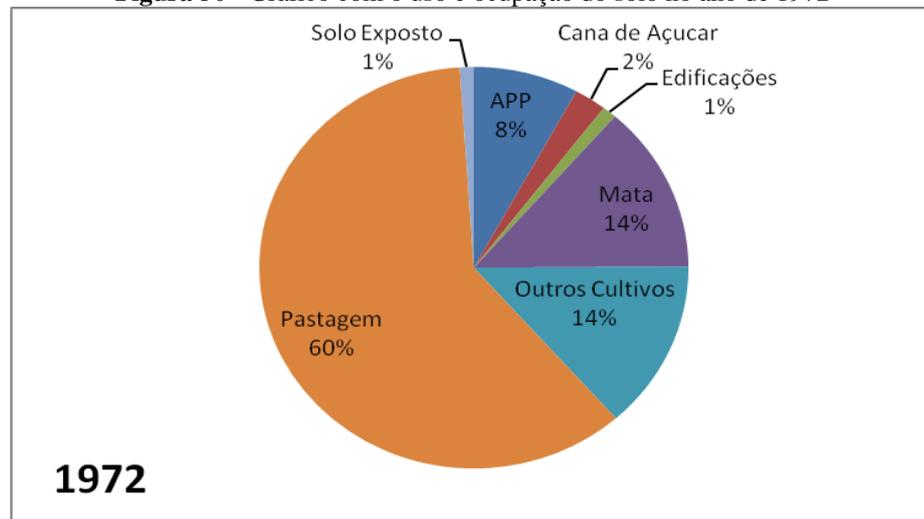
6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.1 Ano de 1972 (Apêndice X)

No período de 1972 é evidente o predomínio do uso para pastagem, representando 60% da área. O histórico da área é marcado pela grande produção de café e criação de gado, com poucas áreas residenciais. A porcentagem das áreas em função dos usos esta representada no gráfico da Figura 50.

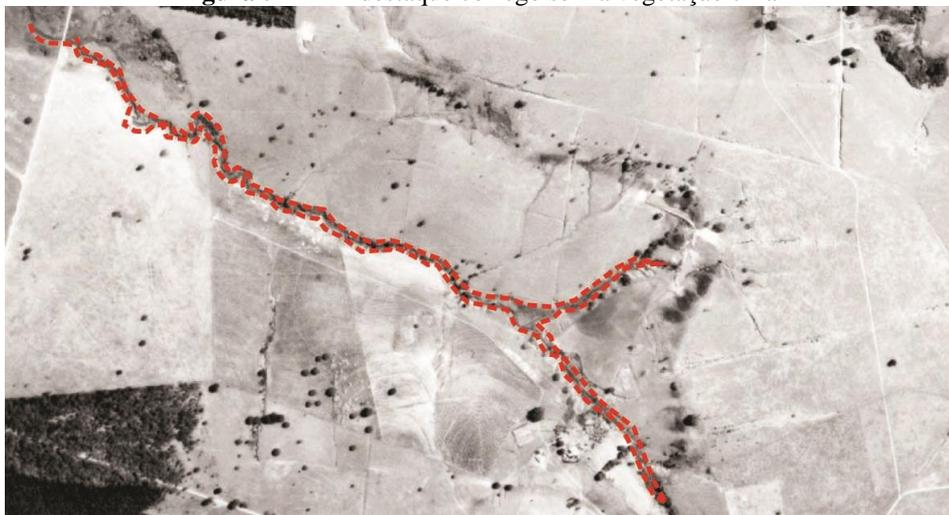
Existe uma pequena parcela destinada ao plantio de cana, com aproximadamente 2%. As áreas de preservação permanente (APP) são pequenas em relação ao código florestal existente, algumas áreas a cobertura vegetal foi retirada até a margem do córrego, como mostra a Figura 51.

Figura 50 - Gráfico com o uso e ocupação do solo no ano de 1972



Fonte: Autor (2013)

Figura 51 – Em destaque córrego sem a vegetação ciliar

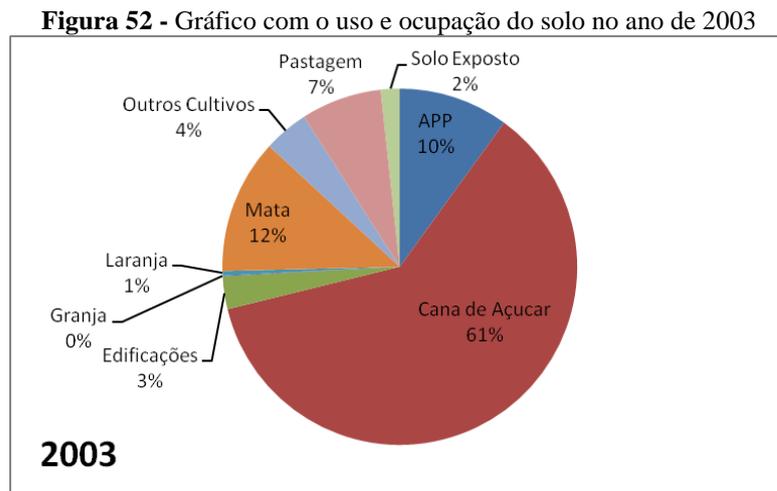


Fonte: Autor (2013)

6.2 Ano de 2003 (Apêndice XI)

No período de 1972 a 2003 ocorreu quase que a troca do uso do solo para pastagem pelo uso de cana-de-açúcar. A mudança pode ser atribuída à crise que produtores de café no estado de São Paulo e Paraná tiveram com a geada de 1975.

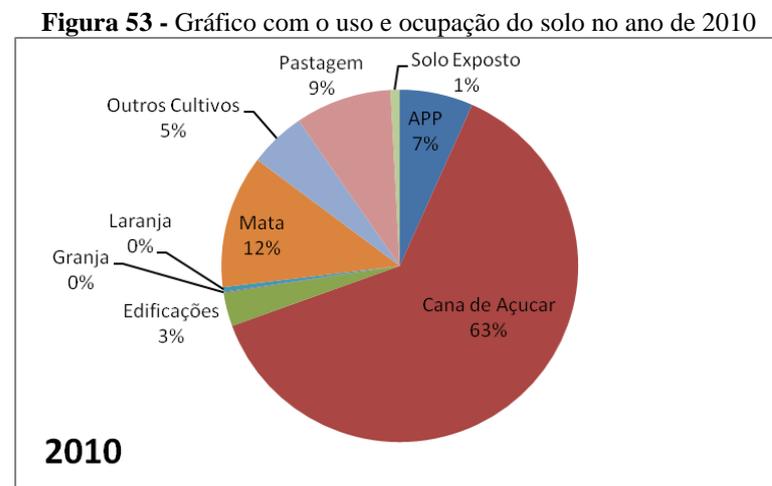
Nas outras classificações de usos do solo não ocorreram nenhuma mudança significativa em relação à porcentagem de área, como mostra o gráfico na Figura 52.



Fonte: Autor (2013)

6.3 Ano de 2010 (Apêndice XII)

Para esse período, a classe que predomina é o cultivo da cana-de-açúcar com mais de 60% do total da área. Algumas classes, como o cultivo de laranja e as granjas locais, não chegaram a somar 1% da área. A Figura 53 apresenta a classificação dos usos e a parcela correspondente na área.

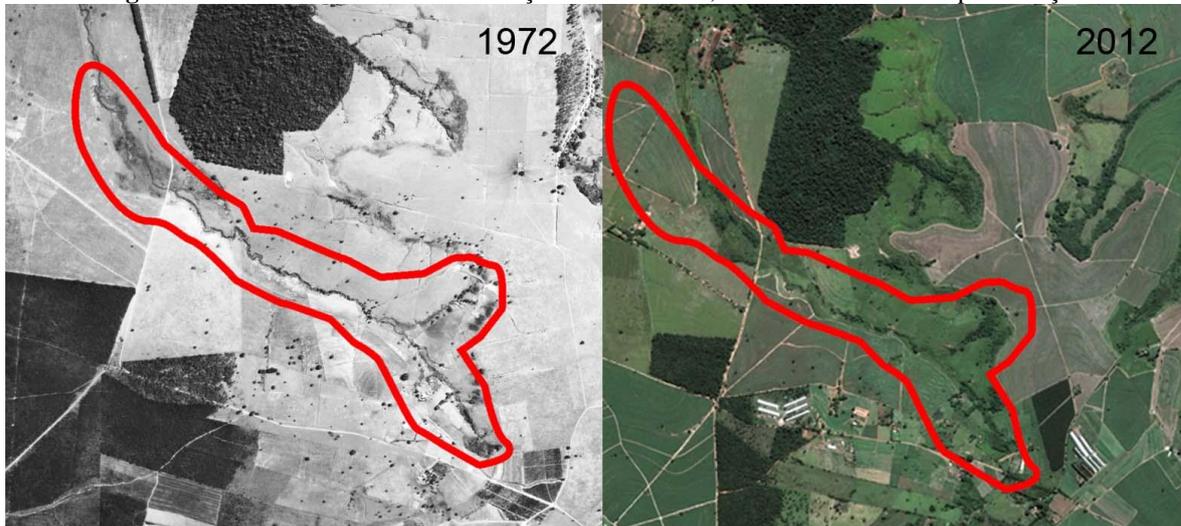


Fonte: Autor (2013)

6.4 Ano de 2012 (Apêndice XIII)

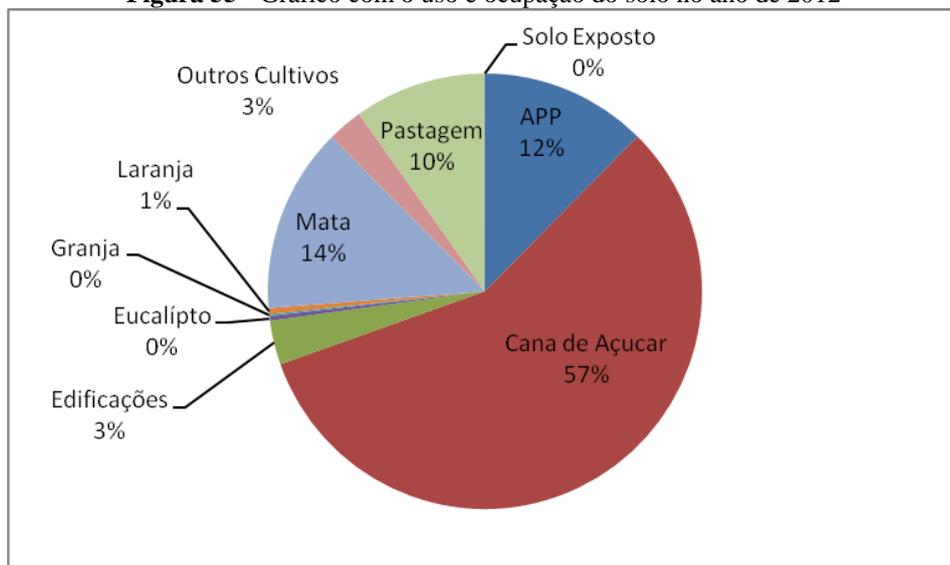
Em 2012 existe um aumento nas APPs em relação ao ano de 1972, como mostra Figura 54, onde a maior parte dos córregos atende ao novo código florestal (Lei N° 12.651, de 25 de Maio de 2012). Há uma pequena queda no uso para o cultivo de cana-de-açúcar e um aumento na classe solo exposto de 2010 a 2012, que pode ser explicada pela época que foi registrada a imagem, onde o solo que está exposto seria utilizado para uma nova safra de cana-de-açúcar. A Figura 55 apresenta um gráfico que demonstra o aumento percentual em relação ao solo exposto, que passou de 7% para 15% da área em 2012.

Figura 54 - Local onde ocorreu mudança no uso do solo, aumento das áreas de preservação



Fonte: Autor (2013)

Figura 55 - Gráfico com o uso e ocupação do solo no ano de 2012



Fonte: Autor (2013)

6.5 Mudança no Uso do Solo 1972 a 2003 (Apêndice XIV)

Os mapas de mudança de uso e ocupação do solo foram elaborados com duas classes: as áreas que sofreram alteração no uso e as que não sofreram. O período de 1972 a 2003 apresenta maior mudança no uso e ocupação do solo, mais de 90% da área, como mostra a Tabela 9 (as mudanças ocorrem de “a” para “i”).

Tabela 9 - Mudanças nos usos e ocupação do solo no período de 1972 a 2003, área (%)

Usos do Solo	Cana-de-Açúcar	Pastagem	Mata	Solo Exposto	APP	Edificações	Outros Cultivos	Granja	Laranja
Mudança	a	b	c	d	e	f	g	h	i
Mata	39	7	42	0	4	3	2	0	3
APP	18	8	23	1	49	0	1	0	0
Edificações	28	7	2	0	4	58	1	0	0
Pastagem	69	8	6	2	7	3	5	0	0
Solo exposto	91	0	6	0	3	0	0	0	0
Outros Cultivos	75	7	3	3	7	1	4	0	0
Cana-de-Açúcar	68	0	2	2	0	0	0	0	0

Fonte: Autor (2013)

No ano de 1972, 18 das 30 nascentes mapeadas encontram-se sem cobertura vegetal, dentro de área de proteção, como mostra o *buffer* elaborado no entorno dos córregos e nascentes (Figura, 56). Para o ano de 2003 (Figura 57) apenas 5 das nascentes estão nessas condições.

A maioria das nascentes mapeadas estão em áreas que os materiais inconsolidados apresentam alta permeabilidade entre $1.21 \times 10^{-02} \text{cm/s}$ a $2.93 \times 10^{-2} \text{cm/s}$, são materiais Retrabalhados do Terciário, Residual Itaqueri Fino Raso e Residual da Formação Botucatu.

Figura 56 - Área de Preservação 1972



Fonte: Autor desconhecido (1972)

Figura 57 - Área de Preservação 2003



Fonte: Google Earth (2003)

6.6 Mudança no Uso do Solo 2003 a 2010 (Apêndice XV)

Esse período não apresenta muitas mudanças em relação a porcentagem de uso. A Tabela 10 (as mudanças ocorrem de “a” uso por coluna” para “i” uso na linha) mostra que o único uso que sofreu uma mudança maior que em 50% da sua área foi a classe solo exposto, com 47% do seu total virando pastagem.

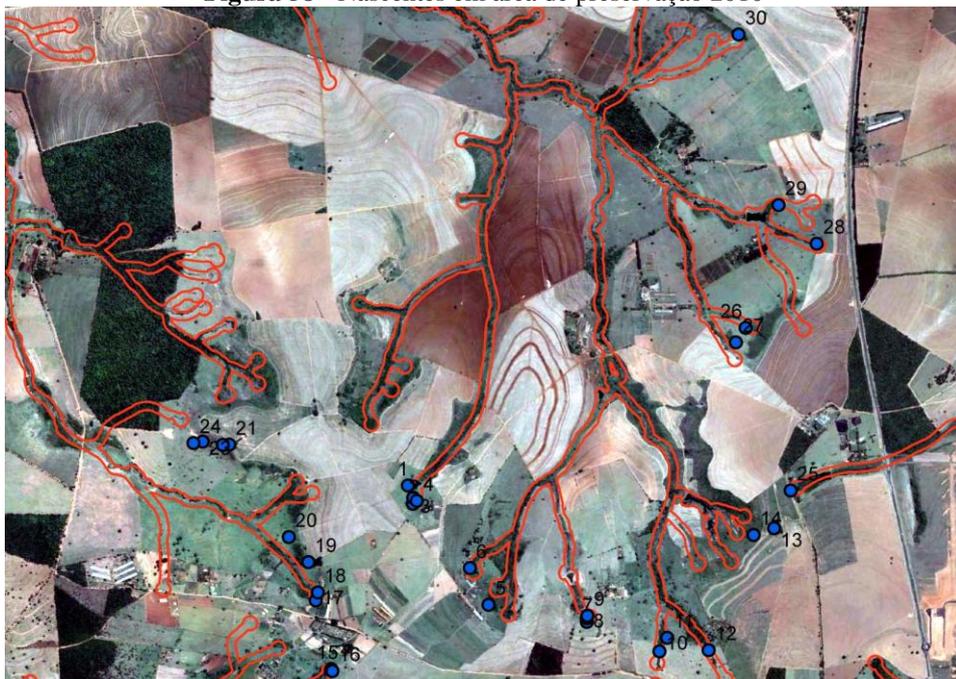
Nas áreas de nascentes, aproximadamente de 85% delas estão em áreas protegidas, como mostra o *buffer* na rede drenagem e nascentes (Figura 58).

Tabela 10 - Mudanças nos usos e ocupação do solo no período de 2003 a 2010, área (%)

Uso Do Solo	Cana-de- Açúcar		Solo		Outros				
	Mata	Exposto	APP	Edificações	Cultivos	Granja	Pastagem	Laranja	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i
Cana-de-Açúcar	94	2	0	1	0	2	0	1	0
Pastagem	18	1	0	4	0	1	0	76	0
Mata	10	87	0	0	0	1	0	2	0
Solo Exposto	10	1	38	0	3	1	0	47	0
APP	22	5	0	56	0	2	0	15	0
Edificações	3	0	0	0	94	2	0	1	0
Outros Cultivos	13	1	1	1	1	80	0	3	0
Granja	20	0	0	0	0	0	72	8	0
Laranja	0	5	0	0	0	0	0	0	95

Fonte: Autor (2013)

Figura 58 - Nascentes em área de preservação 2010



Fonte: Autor (2013)

6.7 Mudança no Uso do Solo 2010 a 2012 (Apêndice XVI)

A produção de cana aumenta a cada ano nessa área, observou-se que em todos os períodos uma parte do uso é modificado para o cultivo de cana-de-açúcar. Na Tabela 11 (as mudanças ocorrem de “a” uso por coluna” para “i” uso na linha) mostra que 48% do solo que estava exposto mudou para o cultivo de cana-de-açúcar e 42% das áreas que eram destinadas a outros tipos de cultivos também mudaram para o cultivo de cana-de-açúcar.

As áreas de preservação aumentaram 20% nesse período, junto com o aumento das matas e florestas. As áreas de pastagem que no período anterior eram apenas 4%, mudaram para áreas de preservação, aumentando para 28%, recuperando a vegetação ciliar retirada para cultivos.

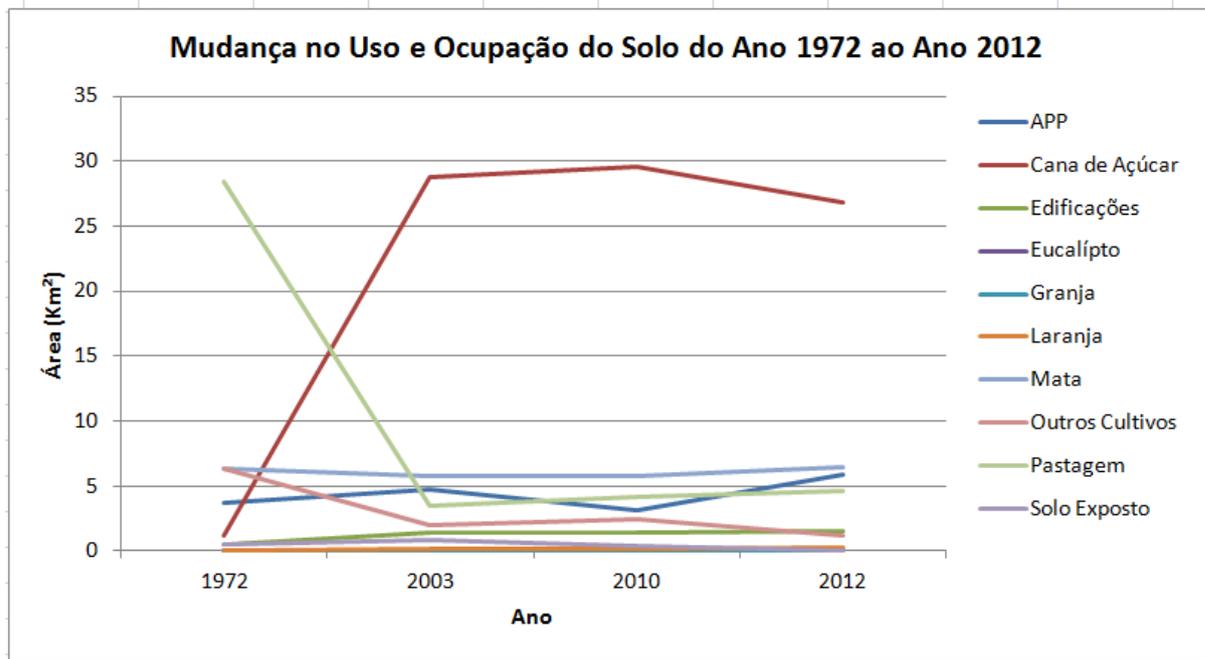
O gráfico (Figura 59) mostra as mudanças nos usos e ocupação do solo nos diferentes períodos, onde as maiores mudanças em área são no uso por pastagem, que entre o período de 1972 a 2003 perde quase toda área, substituída pelo cultivo de cana-de-açúcar, e a maioria dos usos mantém-se quase que constante.

Tabela 11 - Mudanças nos usos e ocupação do solo no período de 2003 a 2010, área (%)

Uso Do Solo	Outros		Granja	Pastagem	Cana-de- Açúcar	Solo			
	APP	Cultivos				Mata	Exposto	Edificações	Laranja
	a	b	c	d	e	f	g	h	i
Cana-de-Açúcar	5	2	0	7	83	2	0	1	0
Mata	4	0	0	3	3	90	0	0	0
Solo Exposto	6	34	0	9	48	0	3	0	0
APP	86	0	0	3	7	4	0	0	0
Edificações	2	2	0	4	5	1	0	86	0
Outros Cultivos	9	12	1	25	42	10	0	1	0
Granja	0	19	54	0	27	0	0	0	0
Pastagem	28	5	0	42	17	6	0	2	0
Laranja	0	0	0	0	0	2	0	0	98

Fonte: Autor (2013)

Figura 59 - Mudanças nos usos e ocupação do solo no período de 2003 a 2010, área (%)



Fonte: Autor (2013)

6.8 Infiltração nos Diferentes Materiais Inconsolidados e Usos e Ocupação Do Solo

Foram realizados na área nove ensaios de infiltração com duplo anel. Na Figura 60 estão as curvas de infiltração juntas com a precipitação definida nos cenários das chuvas, seis ensaios com permeâmetro de guelph e 16 ensaios coluna saturada em laboratório, nos diferentes usos e ocupação do solo, em cana-de-açúcar jovem recém-sulcada, cana-de-açúcar em material arenoso, bambu, pastagem, cana-de-açúcar adulta e APP.

Os ensaios na Formação Itaqueri Argiloso estão sobre a cana-de-açúcar jovem, recém-sulcada, com K_{sat} de 9×10^{-3} cm/s e a cana-de-açúcar em material arenoso com K_{sat} 3.36×10^{-3} cm/s os ensaios com Ghelph e coluna saturada ficaram na ordem de 10^{-3} e 10^{-4} cm/s.

Onde o uso é por cana-de-açúcar jovem a infiltração é maior que a intensidade de chuva precipitada. Para uso de cana-de-açúcar adulta a taxa inicial de infiltração é menor, atingindo uma condição constante já nos primeiros 5 minutos, após os 10 minutos as intensidades de chuvas são maiores que todas as taxas de infiltração, podendo caracterizar o escoamento superficial.

O ensaio na Formação Itaqueri Fino foi sobre a cana-de-açúcar recém-sulcada, com relevo suave, declividade baixa, o resultado para a K_{sat} foi 6.68×10^{-3} no ensaio de duplo anel.

A infiltração nos materiais inconsolidados da Formação Itaqueri Fino tem uma infiltração inicial rápida, atingindo uma condição constante já nos primeiros 20 minutos. A infiltração inicial é menor que a intensidade de chuva nos dois primeiros cenários, as intensidades são maiores em todos os eventos, devido ao solo compactado pelo cultivo de cana-de-açúcar.

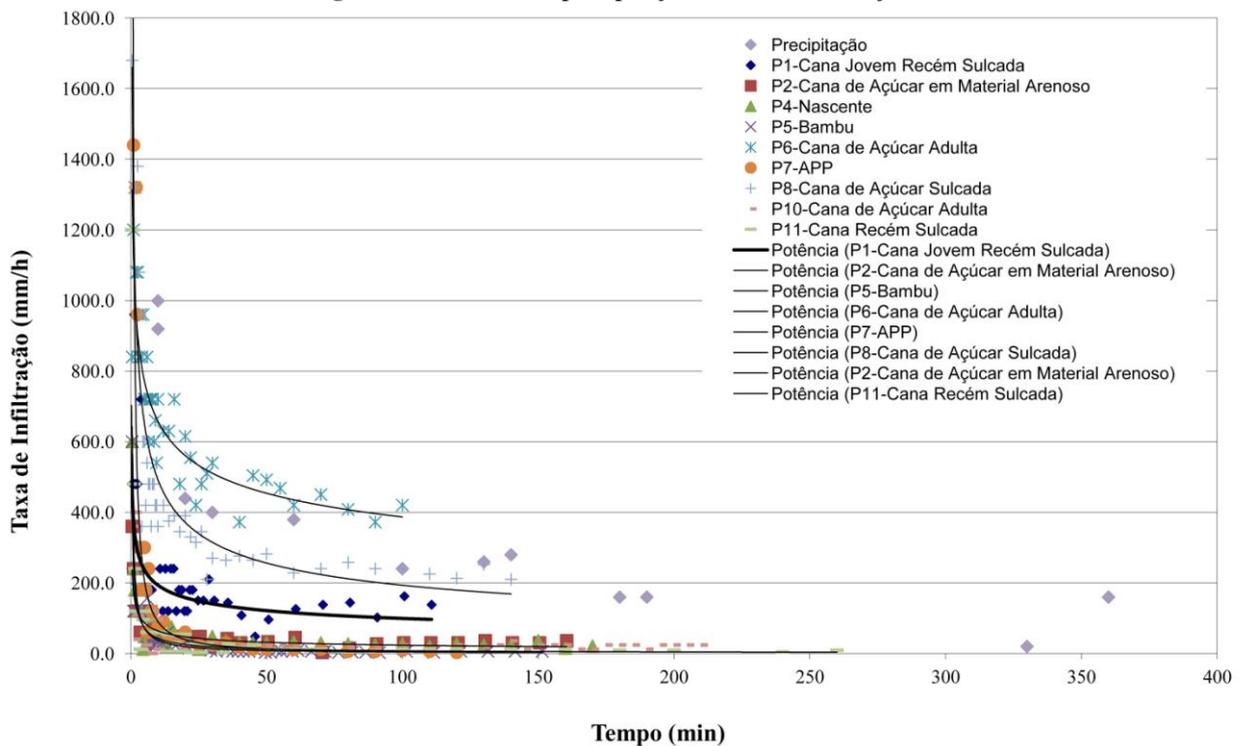
A K_{sat} para o material da Formação Itaqueri Fino Raso é 2.17×10^{-3} cm/s que está sobre o cultivo de cana-de-açúcar jovem, todas as taxas de infiltração são inferiores às precipitações.

As taxas de infiltração no mesmo material inconsolidado apresentaram variações principalmente devido aos diferentes usos e ocupações do solo. O material inconsolidado Residual da Formação Botucatu apresenta valores bem diferentes para os locais onde existe pastagem e onde existem cana-de-açúcar e bambu, solo compactado pelo manejo agrícola interfere diretamente na infiltração da água no solo.

Apenas dois dos cenários de chuva, após os 10 minutos de infiltração, onde o uso é pastagem, apresentam intensidade maior que a taxa de infiltração, os outros valores estão constantes ou abaixo da taxa de infiltração. Diferente para os outros usos, onde apenas a infiltração inicial onde existe cana-de-açúcar adulta é maior que a intensidade de chuva.

Nos Derrames da Formação Serra Geral as infiltrações iniciais até 10 minutos para o uso de cana-de-açúcar sulcada e pastagem são maiores que a intensidade de chuvas. Após esse período, as taxas atingem uma infiltração constante, mas todas menores que as intensidades de chuva.

Figura 60 - Gráfico de precipitação e taxa de infiltração

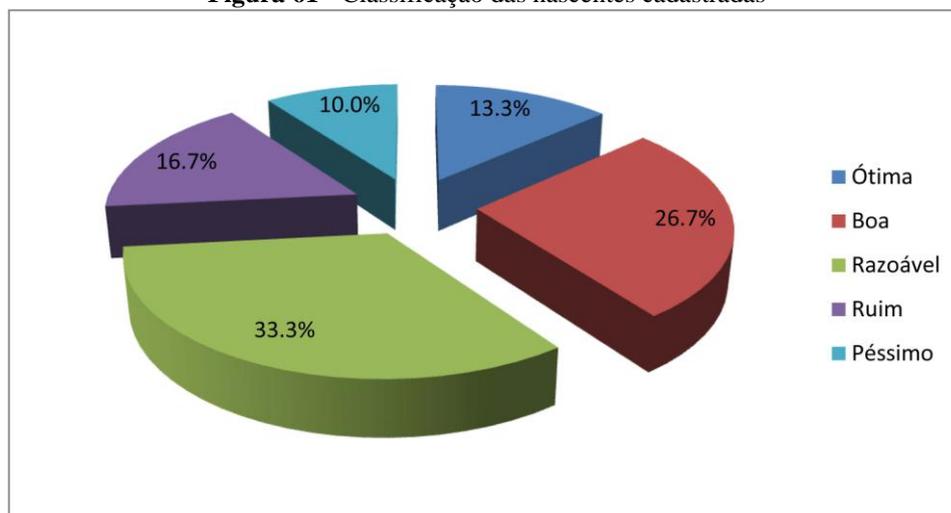


6.9 Mapeamento das Nascentes

A coleta de dados das nascentes ocorreu entre os meses de maio de 2012 a fevereiro de 2013. As nascentes também foram analisadas em função dos diferentes usos do solo.

Das 34 nascentes selecionadas, 30 foram mapeadas e cadastradas. De acordo com a classificação proposta, a maioria das nascentes se encontram em condições razoáveis, com 33,3%. 26,7% em boas condições, e 10% em péssimas condições, sendo que algumas delas estão totalmente secas (Figura 61).

Figura 61 - Classificação das nascentes cadastradas



Fonte: Autor (2013)

6.9.1 Nascente Ótima (A)

Poucas nascentes foram classificadas como ótimas, não atingindo 15% do total mapeado. Apresentaram água transparente, sem odor, sem espumas e óleos na superfície, e não foi detectado esgoto doméstico nas proximidades, nenhum material efluente ou deposição de resíduos no local.

A vegetação do local estava preservada, na maior parte com plantas nativas, com boa preservação do corpo hídrico, proteção no entorno, pouca interferência humana e apenas marca de usos por animais. A Figura 62 mostra uma nascente em ótimas condições, onde o proprietário plantou 200 mudas compradas por ele.

Figura 62 - Nascente em ótimas condições com mudas plantadas pelo proprietário



Fonte: Autor (2013)

6.9.2 Nascente Boa (B)

Do total de nascentes mapeadas, 26% das nascentes foram classificadas como boas. A maioria apresentou água transparente, sem odor, sem espumas e óleos na superfície, sem esgoto doméstico nas proximidades, algumas com material efluente ou deposição de resíduos no local.

A vegetação está preservada, os cursos d'águas estão protegidos no entorno, com pouca atividade antrópica e pouca presença de uso por animais. A Figura 63 mostra uma casa de máquina onde a água da nascente é bombeada para o consumo do proprietário da fazenda.

Figura 63 - Nascente em boas condições, com presença de uma casa de máquina para bombeamento d'água



Fonte: Autor (2013)

6.9.3 Nascente Razoável (C)

As nascentes classificadas como razoáveis são a maior parte, com quase 34% do total mapeado. Algumas apresentaram água escura, sem odor, com espumas e óleos na superfície, sem esgoto doméstico nas proximidades, pouco material efluente ou deposição de resíduos no local.

A vegetação está preservada, os cursos d'água estão protegidos no entorno, mas existem mais atividades antrópicas, com presença de uso por animais. A Figura 64 mostra uma casa de máquina onde a água da nascente é bombeada e utilizada pelo proprietário da fazenda.

Figura 64 - Nascente represada próximo à granja



Fonte: Autor (2013)

6.9.4 Nascente Ruim (D)

As nascentes classificadas como ruins somam quase 17%. São nascentes com muita atividade antrópica no entorno, com água de transparente a clara, odor fraco, espumas e óleos na superfície. Algumas com esgoto doméstico nas proximidades, pouco material efluente ou deposição de resíduos no local, com uso doméstico e por animais.

A vegetação está pouco preservada, os cursos d'água estão desprotegidos no entorno. A Figura 65 mostra uma nascente totalmente desprotegida e com uso por animais.

Figura 65 - Nascente desprotegida



Fonte: Autor (2013)

6.9.5 Nascente Péssima (E)

Do total, 10% das nascentes foram classificadas como péssimas, a maioria está seca e com presença de processos erosivos. São nascentes com muita atividade antrópica, com água clara, escura ou ausente, odor fraco, espumas e óleos na superfície, algumas com esgoto doméstico nas proximidades, pouco material efluente ou deposição de resíduos no local, com uso doméstico e por animais. A vegetação está pouco preservada ou ausente, os cursos d'água estão desprotegidos no entorno. A Figura 66 mostra uma nascente totalmente desprotegida e com uso por animais.

Figura 66 - Nascente represada e com água escura



Fonte: Autor (2013)

6.9.6 Condição das Nascentes nos Diferentes Usos e Ocupação do Solo

Para diagnosticar a condição das nascentes mapeadas levou-se em consideração um conjunto de informação da área. São elas: (a) o uso e ocupação do solo; (b) os materiais inconsolidados; (c) o *buffer* feito nas áreas de preservação permanente (APPs); (d) a rede de drenagem; (e) e a área das bacias hidrográficas. Algumas bacias hidrográficas foram descritas a seguir.

Na primeira bacia hidrográfica com área de 1,34 Km² estão as nascentes de 1 a 4. O tipo de material inconsolidado que elas se encontram é a Formação Itaqueri Argiloso para os pontos 1, 2 e 3 e a Formação Itaqueri Fino Raso para a nascente 4. Em relação ao uso e ocupação as nascentes 2, 3 e 4 estão em áreas de preservação permanente e a nascente 1 em área de pastagem.

Os pontos 7, 8 e 9 constituem uma bacia hidrográfica com uma área de 0.632 Km², sobre a Formação Itaqueri Fino Raso. No entorno das nascentes 8 e 9 existe área de preservação permanente e no ponto 7 o cultivo de cana-de-açúcar.

Outra bacia hidrográfica com maior número de nascentes é de 17 a 20, com os pontos de 17 a 18 sobre a Formação Itaqueri Fino Raso e o ponto 20 na Formação Itaqueri Fino. Todas se encontram em área de preservação, mas as condições no ponto 17 são comprometidas pela existência de uma granja a poucos metros da área de preservação, como mostra a Figura 67.

Figura 67 - Granja a poucos metros da APP



Fonte: Autor (2013)

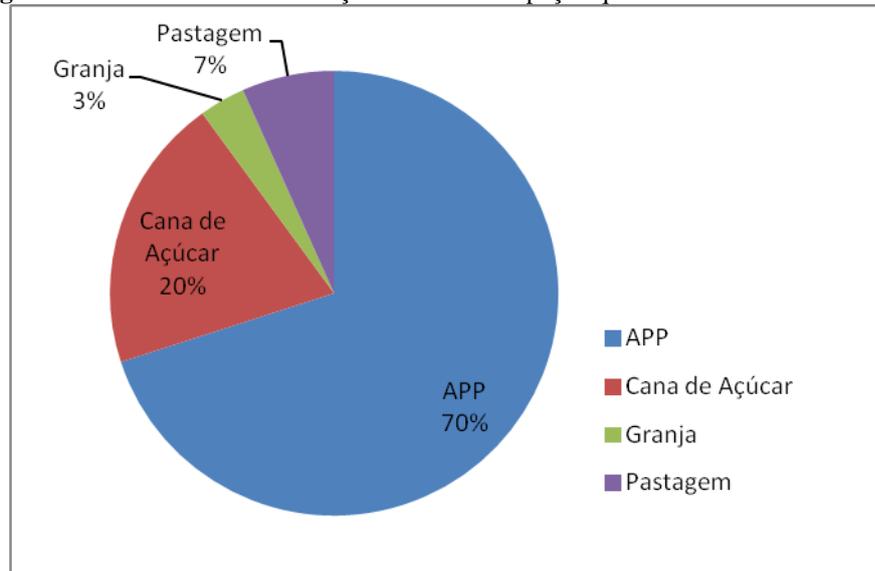
As nascentes de 21 a 24 se encontram dentro das áreas de preservação, sobre os materiais inconsolidados da Formação Itaqueri Argiloso e Formação Itaqueri Fino Raso, a área total da bacia 0.790 Km². As condições das demais nascentes estão descritas na Tabela 12.

A distribuição das nascentes em relação ao uso e ocupação (Figura 68) mostra que 70% das nascentes estão em APP, 20% em cana-de-açúcar, e 7% em área de pastagem e 3% em condições que podem degradar a nascente por contaminantes.

Tabela 12 - Condição das Nascentes em diferentes Usos e Ocupação do Solo

Nascente	Material Inconsolidado	Uso e Ocupação do Solo	Área da Bacia Km ²
1	FM IT AG	Pastagem	1.336
2	FM IT AG	APP	1.336
3	FM IT AG	APP	1.336
4	FM IT FN RS	APP	1.336
5	FM IT FN RS	APP	0.165
6	FM IT AG	APP	0.201
7	FM IT FN RS	Cana-de-Açúcar	0.632
8	FM IT FN RS	APP	0.632
9	FM IT FN RS	APP	0.632
10	RT TR	Cana-de-Açúcar	0.228
11	RT TR	APP	0.228
12	RT TR	APP	0.362
13	RT TR	Cana-de-Açúcar	0.131
14	FM IT FN RS	Granja	0.137
15	FM IT FN RS	Cana-de-Açúcar	0.722
16	FM IT FN RS	Cana-de-Açúcar	0.722
17	FM IT FN RS	Granja	0.670
18	FM IT FN RS	APP	0.670
19	FM IT FN RS	APP	0.670
20	FM IT FN	APP	0.670
21	FM IT FN RS	APP	0.790
22	FM IT FN RS	APP	0.790
23	FM IT FN RS	APP	0.790
24	FM IT AG	APP	0.790
25	FM IT AG	Cana-de-Açúcar	4.868
27	FM IT FN RS	APP	0.402
26	FM IT FN RS	APP	0.094
28	FM IT AG	APP	0.129
29	RS FM BO	APP	2.242
30	FM IT FN RS	APP	0.076

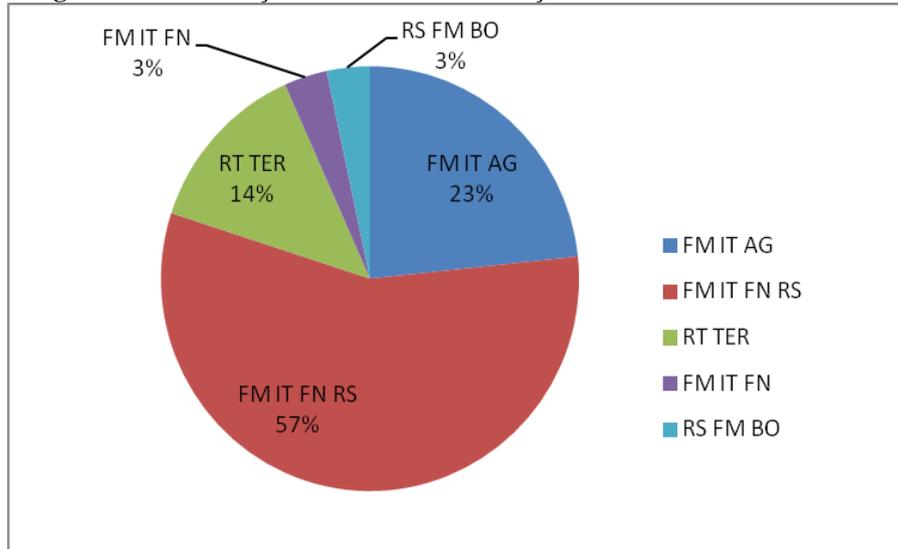
Fonte: Autor (2013)

Figura 68 - Gráfico com as condições de uso e ocupação que se encontram as nascentes

Fonte: Autor (2013)

A distribuição das nascentes em relação aos materiais inconsolidados (Figura 69) mostra que estão em sua maioria na Formação Itaqueri Fino Raso com 60% do total e 23% na Formação Itaqueri Argilosa, os outros 30% divididas nos materiais da Formação Itaqueri Fino, Retrabalhado do Terciário e Residual da Formação Botucatu.

Figura 69 - Distribuição das nascentes em relação aos materiais inconsolidados



Fonte: Autor (2013)

7 CONCLUSÕES

Foi elaborado o mapa geológico da área com a distribuição dos materiais, em uma escala compatível com o trabalho, à obtenção dos parâmetros físicos e os dados de condutividade hidráulica dos materiais inconsolidados, um histórico do uso e ocupação do solo para os anos, 1972, 2003, 2010 e 2012, o mapeamento e diagnóstico das nascentes apresentando as relações que existem entre os materiais inconsolidados e a condições das nascentes.

Elaborados os mapas de uso e ocupação do solo foi possível, classificar e quantificar as áreas, ainda identificar os períodos de mudanças nos usos. Onde acontece uma inversão de culturas bem marcada entre os anos 1972 e 2003, áreas onde o uso era pastagem passam para o cultivo de cana-de-açúcar, depois desse período a variação é mínima.

O diagnóstico feito nas nascentes mostrou que a maior parte esta em bom estado de conservação, aflorando principalmente nos materiais inconsolidados retrabalhados do Terciário, na Formação Itaqueri Fino Raso e residual da Formação Botucatu, outra mudança que foi diagnosticada é a presença de vegetação nas margens dos córregos, que era quase nula no ano de 1972, mas em 2012 e 2013 todos os córregos possuem APP.

Os mapas, geológico e de materiais inconsolidados elaborados permite verificar a existência de três tipos de substrato rochoso, Formação Botucatu, Formação Itaqueri e Formação Serra Geral e sete tipos de materiais inconsolidados. Essa variabilidade dos materiais reflete nas condições naturais da área de estudos, em termos de infiltração, escoamento superficial e difração de fluxo.

As atividades realizadas em campo mostraram-se essenciais para determinar as condutividades hidráulicas (saturada e não saturada). O material inconsolidado residual da Formação Botucatu apresentou uma variação de 10^{-3} e 10^{-2} cm/s, com ensaios realizados onde os usos são: bambu; cana-de-açúcar adulta e; pastagem. O material inconsolidado da Formação Itaqueri Argiloso que abrange aproximadamente 50% da área tem como uso do solo predominante o cultivo de cana-de-açúcar, sua condutividade hidráulica é de 10^{-3} cm/s, essa formação merece um cuidado a mais porque recobre o material da Formação Botucatu, detentora do maior manancial de água subterrânea.

Existe uma grande complexidade em integrar todas as informações devido à variabilidade espacial, a grande quantidade de atributos, mas conforme o objetivo proposto conclui-se que:

- o tipo de uso e ocupação afeta as propriedades de infiltração no solo, a cana-de-açúcar é a atividade que mais degrada essa propriedade na área de estudos;
- a elaboração da cartografia base e de mapas específicos é fundamental para orientação do trabalho em campo e escritório;
- a escala do produto maior permitiu uma interpretação mais confiável, já que aumentou o nível de detalhe dos mapas;

Associado a estes fatores, tem a preocupação com os defensivos agrícolas que podem contaminar as águas do local, também os poços e cacimbas estão secando o que pode afetar a distribuição de água na área, visto que ela é utilizada por moradores e pequenas propriedades rurais.

Para trabalhos futuros, sugere-se uma investigação com maiores detalhes, maior distribuição de pontos de ensaios, monitoramento dos poços e nascentes assim como dados pluviométricos e de vazão. Adicionando as informações sugeridas, podem-se elaborar novos produtos, como os mapas de potencial de infiltração e contaminação da água no solo.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5734**: Peneiras para Ensaios com Tela Metálica. Especificações. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6508**: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7181**: solo Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.
- ALMEIDA NETO, P.; ESTEVES, R.L; BORGES, A.; MENDIONDO, E.M. Análise dos componentes do balanço hídrico em uma bacia urbana experimental. In: III Simpósio de Recursos Hídricos. Centro-Oeste, Goiânia (GO) – ABRH / Acqua Consultoria. 2004.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 3385** – Infiltration Rate of Soils in Fields Using Double-ring Infiltrometer. 2009. 7p.
- ARNOLD, J. G; MUTTIAH, R.S; SRINIVASAN, R; ALLEN, P.M. Regional estimation of base flow and groundwater recharge in the Upper Mississippi river basin. **Journal of Hydrology**, Vol. 227. pp 21-40. 2000.
- AUGUSTO FILHO, O. Análise de método de interpolação de modelo digital de terreno e aplicação em SIG de gestão de riscos geotécnicos e ambientais em oleodutos. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 13., São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2011.v.1.p.1-9.
- BEAR, J.; VERRUIJT, A. **Modeling groundwater flow and pollution**. Dordrecht: D. Reidel, 1987. 414 p.
- BRASIL – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificações de solos**. – Brasília: Embrapa. 1999.
- BRASIL – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Manual Técnico de Uso da Terra**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.
- BRASIL – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Cidades IBGE**. Disponível em <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php?lang=>>>. Acesso em: 29 maio. 2012.
- BRASIL. Código Florestal. **Lei n° 12.651** de 25 de maio de 2012.
- CADERNOS DA MATA CILIAR / Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Departamento de Proteção da Biodiversidade. - N 1 (2009)--São Paulo: SMA, 2009 v. : il.
- CARVALHO, L.A.; CRUZ, A.C.R.; ROCHA, G.C.; LIBARDI, P.L. Condutividade **Hidráulica do Solo em Condições de Campo**. In: OLIVEIRA, T. S. (coord.) Solo e Água: aspectos de uso e manejo com ênfase no semi-árido nordestino. Fortaleza: Departamento de Ciências do Solo, UFC, 2004a. p.374-399.
- CASTRO, P.S.; LOPES, J.D.S. **Recuperação e conservação de nascentes**. Viçosa: Centro de Produções Técnicas, 2001. 84p. (Série Saneamento e Meio – Ambiente, n. 296).
- CONAMA. **Legislação ambiental**. Disponível em <http://www.mma.gov.br/conama>. Acesso em; 31 de outubro. 2014.

CUSTÓDIO, E. ; LLAMAS, M. R. **Hidrología Subterránea**. Barcelona: Ediciones Omega. 1976. 1157p.

DANTAS-FERREIRA, M. **Proposta de índice para processos erosivos acelerados a partir de levantamento e diagnóstico geológico-geotécnico de áreas degradadas**. 2008. (Tese Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

DIAS, G. F. **Educação Ambiental: princípios e práticas**. Editora Gaia, São Paulo 5^o edição. 1998. 400p.

EPA - Environmental Protection Agency. **Estimation of Infiltration rate in the vadose zone: Application of Selected Mathematical Models**. 1998. Vol, 1 and 2.

FAGUNDES, J. R. T. **Estudo integrado das características geológico-geotécnicas com vista à avaliação de recarga de aquífero: região de São Carlos-SP**. 2010. (Tese Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

FUREGATTI, S. A. **Avaliação da variabilidade das características geotécnicas do relacionadas aos processos erosivos com ensaios *in situ***. 2012. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

GARDNER, W. R. Some steady -state solutions of the unsaturated moisturated Soils. **Geotechnical testing Journal**, GTJODJ. 1958. Vol.II, No. 2. p. 132 138.

GOMES, D. M. **Erosão: Aspectos Conceituais, Avaliação e Evolução do Fenômeno**. Seminários Gerais em Geotecnia. 2001. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

GOMES, F. S. **Estudo da erodibilidade e parâmetros geotécnicos de um solo em processo erosivo**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Tecnologia e Geociências. Mestrado em Engenharia Civil, 2001.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente. IG, CETESB, DAEE. (1997) **Mapeamento da Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterráneas no Estado de São Paulo**. V. 1. 144p.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente. IG, CETESB, DAEE. **Mapeamento da Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterráneas no Estado de São Paulo**. V. 2. mapas. 1997.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

GUIA DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS. 2004. In: < http://www.rededasaguas.org.br/observando/guia_de_avaliacao_de_qual_agua.doc. > . Acesso em: 27 ago. 2012.

HURTADO, A. L. B. **Variabilidade da condutividade hidráulica do solo em valores fixos de umidade e de potencial matricial**. 2005. Tese (Doutorado). Piracicaba, São Paulo, 2005.

HUTCHINSON, M. F. A new procedure for gridding elevation na stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hidrology** 106: 211-232. 1989.

HUTCHINSON, M. F. Calculation of hidrologically sound digital elevation models. Paper presented at **Third International Symposium on Spatial Data Handling** at Sydney, Australia. 1988.

IRITANI E EZAKI. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo**/Mara Akie Iritani, Sibebe Ezaki. – São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SMA, 2009. 104p.: il. Color.; 23cm.) – 2ª edição.

JARVIS, N.J.; MESSING, L. Near-saturated hydraulic conductivity in soils of contrasting texture measured by tension infiltrometers. **Soil Science Society of America Journal**, 59:27-34, 1995.

JORGE E UEHARA. Águas de Superfície. In: **Geologia de Engenharia**, OLIVEIRA, A. M. S. e BRITOS, S. N. A. São Paulo. ABGE. 1998. P. 101-109.

LEMONS, F. P. DE O. **Elaboração de carta de vulnerabilidade** : contaminação das águas subterrâneas região da folha IBGE – Ibaté-SP. São Carlos. 2010. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Geotecnia. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. . São Carlos. 2010.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000, 509p.

MAGRI, R. A. F. **Análise da suscetibilidade à erosão da região do Médio Rio Grande (MG)**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Geotecnia – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 2013.

MINERODUTO FERROUS. Estudo de Impactos Ambientais (EIA) - Relatório Técnico Complementar Nº 08 - **Mapeamento de Nascentes e de Usos de Águas a Jusante das Travessias**. 2010.

MURO, M. D. **Carta de zoneamento para seleção de áreas frente à instalação de aterros sanitários no município de São Carlos - SP - escala 1:50.000**. 2000. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Geotecnia – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 2000.

NISHIYAMA, L.; ZUQUETTE, L. V. A importância da cartografia geotécnica para caracterização de vulnerabilidade de aquíferos livres: Exemplo do aquífero Botucatu na quadrícula de São Carlos - SP. **Revista Geociências**, vol.13. 1994

NOGUEIRA, J. B. **Mecânica dos solos - Ensaios de laboratório**. EESC, USP, 1995.

OLIVEIRA, C. H. **Planejamento ambiental na Cidade de São Carlos (SP) com ênfase nas áreas públicas e áreas verdes**: diagnóstico e propostas. 1996. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 1996.

OLIVEIRA, J. & PRADO, H. do. Levantamento pedológico semi detalhado do Estado de São Paulo: Quadrícula de São Carlos. II Memorial descritivo. Instituto Agronômico de Campinas, SP, **Boletim Técnico 98**, 188 p. 1984.

PALMA, J. B. **Avaliação integrada, em diferentes escalas, dos atributos que controlam a dinâmica das águas**: aplicação para análise de risco de contaminação das águas subsuperficiais na região entre São Carlos e Ribeirão Preto. 2004. 301f. (Tese Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

PARLANGE, J. Y; HAVERKAMP, R; TOUMA, J. Infiltration under ponded conditions. Optimal analytical solution and comparison with experimental observations. **Soil Sci.** 139: p 305-311. 1985.

PEJON, O. J. **Mapeamento Geotécnico regional da Folha de Piracicaba-SP, escala 1:100.000:** Estudo de Aspectos Metodológicos, de Caracterização e de Apresentação dos Atributos. São Carlos. 2v. 224p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1992.

PEREIRA, L. C., FORMAGGIO, A. R., STRAUCH, J. C. M. Taxa de adequação de uso das terras de uma bacia hidrográfica utilizando informações geográficas e técnicas de sensoriamento remoto. In: Congresso brasileiro de ciência do solo. **Anais**. Viçosa: MG/SBCS/UFV, 1995. v.4 p.2117-2118.

PONS, N. A. D. **Levantamento e diagnóstico geológico-geotécnico de áreas degradadas na cidade de São Carlos-SP, com auxílio de geoprocessamento**. 2006. 326p. Tese de Doutorado. São Carlos, USP São Carlos, 2006.2v., 326p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri, São Paulo: Manole, 2004. 478p.

REYNOLDS, W.D.; ELRICK, D.E. A reexamination of the constant head well permeameter method for measuring saturated hydraulic conductivity above the water table. **Soil Science**, vol. 136, n°4, 1983. p.250 - 268.

RIGHETTO, A. M. (1998). **Hidrologia e Recursos Hídricos**, Edusp, São Carlos, 819 p.

ROCHA, J. S. M. **Manual de Projetos Ambientais. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal (MMA), Brasília (DF), 1997. 423 p.**

ROCHA, J. S. M. **Fotografias aéreas ao planejamento físico rural. Santa Maria, RS: UFSM, 1978. 15 p.**

RODRIGUES, V. L. **Mapeamento Geotécnico como Base para o Planejamento Urbano e Regional:** Município de Jaú – SP. São Carlos 2008. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2008.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de Impacto Ambiental:** conceitos e temas. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SÃO PAULO - Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC). Cartas topográficas. Folhas Topográfica, Fazenda São Roberto (SF-23-V-C-IV-3-NO-E); Ribeirão das Cabeceiras (SF-23-V-C-IV-3-NO-F); Rio Chibarro (SF-23-V-C-IV-3-SO-A) e; Água Vermelha (SF-23-V-C-IV-3-SO-B). Escala 1:10.000, 1980.

SCHROEDER, M. Cobertura Florestal do Rio Grande do Sul. In: I Seminário Sobre a Situação Florestal do Rio Grande do Sul. **Anais...**Porto Alegre: Secretaria da agricultura e Agropecuária do Estado do Rio Grande do Sul, 1996. p. 03-09.

SHARMA, M. L. **Groundwater Recharge**. Balkema, Brookfield, VT, p.323. 1989.

STOLF, R. & FAGANELLO, B.F. Utilização do penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar-Stolf, na recomendação do preparo do solo na Usina Nossa Senhora Aparecida (Pontal-SP). STAB, Piracicaba, v.1, n.6, p.11-22, jul./ago.1983. (Reeditado: Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR., 1984. 14p. (Série Penetrômetro de Impacto. **Boletim n. 3**))

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O Conceito de Bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental Local. **Revista Uniara**, n.20, 2007.

TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**, 2ª ed., Editora da Universidade, 1993. 943 p.

TUCCI, C. E. M.; BELTRAME, L. F. S. Evaporação e Evapotranspiração, In: Tucci, C. E. M. (org.): **Hidrologia: Ciência e Aplicação**, 2ª ed., Editora da Universidade, 1993. 253-287 p.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**, Porto Alegre: UFRGS/ABRH/EDUSP, 1993, p. 943.

VALENTE, O. F. **Manejo de Bacias Hidrográficas**. Brasil Florestal,(5):18,974,p.14–24.

VANAGS, C.; MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. **The Dynamic Penetrometer for Assessment of Soil Mechanical Resistance**. Super Soil 2004. Sydney: The Regional Institute. 2005.

VIEIRA, S. R. **Permeâmetro: novo aliado na avaliação de manejo do solo**. Agrônômico, Campinas, v.47-50, p.32-33, 1995-1998.

ZUQUETTE, L.V. & PALMA, J.B. Integrated assessment of infiltration and overland flow for different rainfall events. IAEG2006 Paper number 130. **The Geological Society of London** 2006.

ZUQUETTE, L. V. **Análise Crítica sobre Cartografia Geotécnica e Proposta Metodológica para as Condições Brasileira**. Tese de Doutorado – EESC/USP, São Carlos. 1987.

ZUQUETTE, L. V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico; fundamentos e guia para elaboração**. São Carlos. Tese (Livre-Docência) 330. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2, 1993.

ZUQUETTE, L. V. Simpósio: Pantanal Matogrossense - Os Problemas de Ocupação e Exploração. In: **34ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência**, 1982, Campinas-SP. SBPC, 1982.

ZUQUETTE, L. V.; PALMA, J. B. Avaliação da Condutividade Hidráulica em Área de Recarga do Aquífero Botucatu. **REM: R. Esc. Minas**, Ouro Preto, 59(1): 81-87, jan. mar. 2006.

ZUQUETTE, L.V.; PALMA, J. B.; PEJON, O. J. Methodology to assess groundwater pollution conditions (current and pre-disposition) in the São Carlos and Ribeirão Preto regions, Brazil. **Bull Eng Geol Environment**. V. 68. 2009. p 177-136.

ZUQUETTE, L.V.; PALMA, J.B.; PEJON, O.J. Initial assessment of the infiltration and overland flow for different rainfall events in land constituted of sandstones of the Botucatu Formation (Guarani Aquifer), State of São Paulo, Brazil. **Environmental Geology** [S.I.], v. 50, n. 3, p. 371-387, 2006.

9 APÊNDICE

9.1 Ficha de campo para caracterização de material inconsolidado (Apêndice I)

9.2 Ficha de campo para cadastro e diagnóstico das nascentes (Apêndice II)

9.3 Mapa Topográfico (Apêndice III)

9.4 Mapa de Documentação (Apêndice IV)

9.5 Modelo Digital do Terreno (Apêndice V)

9.6 Carta de Declividade (Apêndice VI)

9.7 Mapa de Substrato Rochoso (Apêndice VII)

9.8 Mapa de Material Inconsolidado (Apêndice VIII)

9.9 Mapa de Bacias Hidrográficas (Apêndice IX)

9.10 Mapa de Uso e Ocupação do Solo 1972 (Apêndice X)

9.11 Mapa de Uso e Ocupação do Solo 2003 (Apêndice XI)

9.12 Mapa de Uso e Ocupação do Solo 2010 (Apêndice XII)

9.13 Mapa de Uso e Ocupação do Solo 2012 (Apêndice XIII)

9.14 Carta de Mudança no Uso do Solo 1972 a 2003 (Apêndice XIV)

9.15 Carta de Mudança no Uso do Solo 2003 a 2010 (Apêndice XV)

9.16 Carta de Mudança no Uso do Solo 2010 a 2012 (Apêndice XVI)

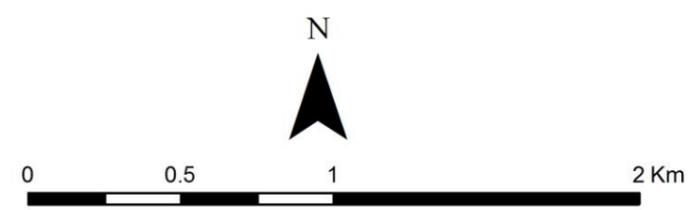
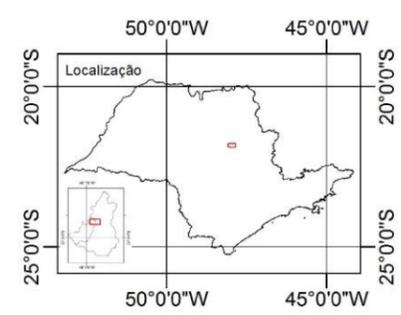
9.2 Ficha de campo para cadastro e diagnóstico das nascentes (Apêndice II)

FICHA DE CADASTRAMENTO E DESCRIÇÃO DE NASCENTES			
1 - Ponto:			
2 - Coordenadas UTM:		2.1. - Altitude (m):	
3 - Município:		4 - Localidade:	
5 - Uso atual do corpo d'água 1 - Consumo humano () 2 - Consumo animal () 3 - Irrigação () 4 - Recreação () 5 - Outros ()			
6 - Tipo de nascente 1 - Reocrenos (a água ao sair do solo forma imediatamente um riacho) () 2 - Limnocrenos (a água forma uma poça sem correnteza) () 3 - Helocrenos (a água se espalha sobre superfície do solo, formando um brejo) ()			
7 - Aspectos do entorno imediato (em raio de 50m) 1 - Conservado (vegetação nativa ou bem regenerada) () 2 - Degradado (lixo, fogo, redução, atividade antrópica) ()			
8 - Tipo de vegetação ao entorno 1 - Ausente () 2 - Mata () 3 - Capoeira () 4 - Cerrado () 5 - Cultivo () 6 - Pastagem ()			
9 - Presença de processos erosivos (ao entorno de 50m) 1 - Não () 2 - Laminar () 3 - Sulcos () 4 - Deslizamento () 5 - Voçoroca () 6 - Ravina ()			
Quantificação dos Parâmetros Macroscópicos			
Pontuação	(1)	(2)	(3)
Cor da água	() Escura	() Clara	() Transparente
Odor (Cheiro)	() Forte	() Fraco	() Ausente
Lixo ao redor	() Muito	() Pouco	() Ausente
Materiais Flutuantes	() Muito	() Pouco	() Ausente
Espumas	() Muito	() Pouco	() Ausente
Óleos	() Muito	() Pouco	() Ausente
Esgoto	() Esgoto doméstico	() Fluxo superficial	() Ausente
Vegetação	() Alta degradação	() Pouca degradação	() Preservada
Uso por animais	() Presença	() Apenas marcas	() Não detectado
Uso por humanos	() Presença	() Apenas marcas	() Não detectado
Proteção do local	() Não detectado	() Sem proteção	() Com proteção
Proximidade com residências ou estabelecimentos			
	() - 50m	() entre 50 e 100m	() + 100m
Tipo de área de inserção			
	() Ausente	() Propriedade privada	() Parque/áreas protegidas
Observações			
Fotos da área			

9.3 Mapa Topográfico (Apêndice III)



— Rede de Drenagem
 — Curvas de Nível



Sistema de Coordenadas: Corrego Alegre UTM Zone 23S
 Projeção: Transverse Mercator
 Datum: Corrego Alegre
 Equidistância das Curvas de Nível: 5m

Informações Originais das Cartas Topográficas
 Escala 1:10.000
 Equidistância de Curvas de Nível 5m
 Projeção UTM (Universal Transversa Mercator)
 Referência Horizontal: Corrego Alegre, MG
 Referência Vertical: Marégrafo de Imbituba, SC
 Meridiano Central 45° Fuso 23
 Quadrícula 1000 metros
 Fotografias Aéreas 1988
 Restituição 1989
 Reambulação de Campo 1989
 Primeira Edição 1990

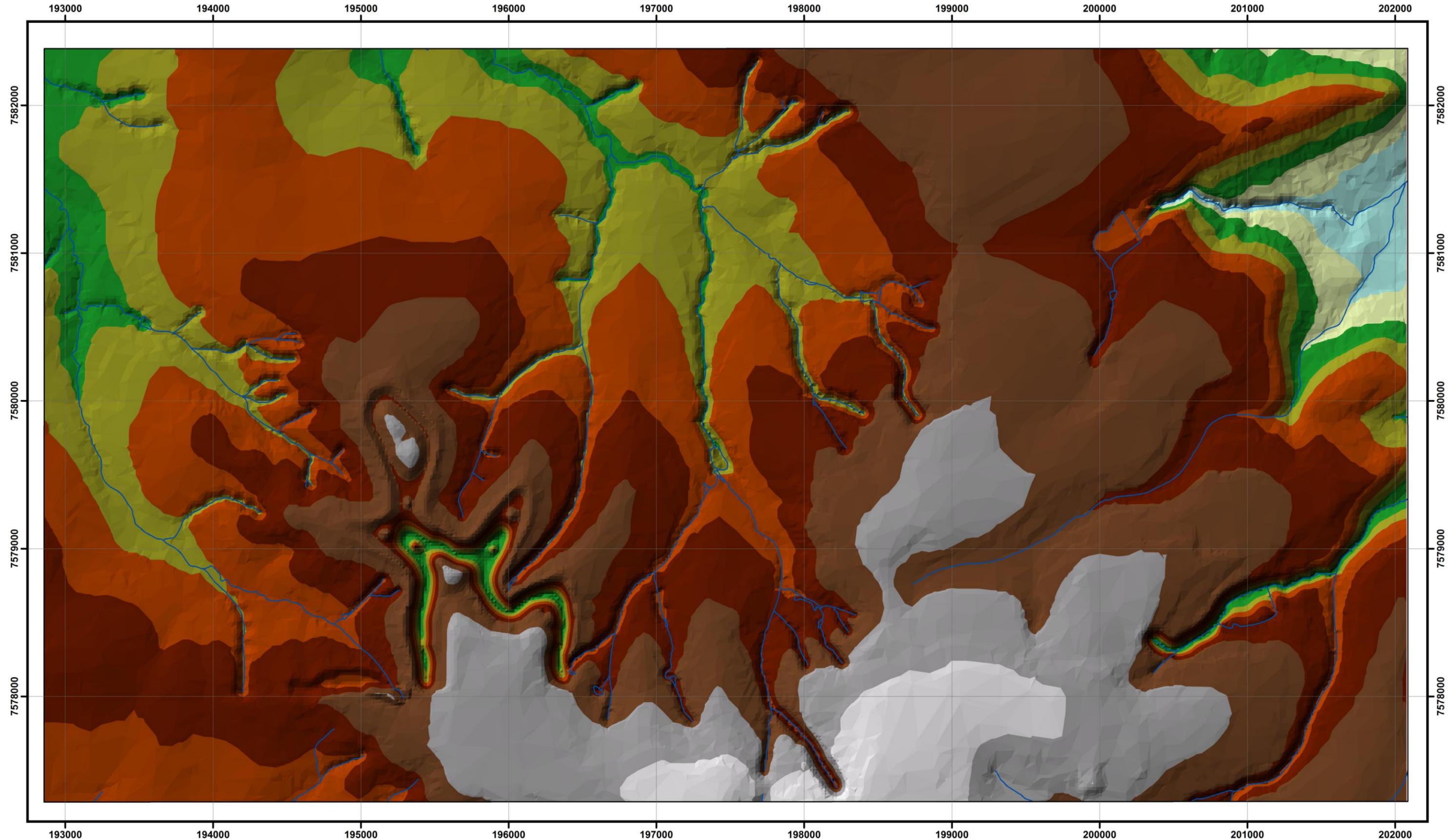
ufscar Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana
 Departamento de Engenharia Civil

Mapa Topográfico com Imagem de Satélite

Autor: Vagner de Souza Serikawa
 Orientação: Sergio Antonio Röhm e Marcilene Dantas Ferreira

9.4 Mapa de Documentação (Apêndice IV)

9.5 Modelo Digital do Terreno (Apêndice V)



Elevação (m)

815.21 - 842.497	678.778 - 706.064
787.924 - 815.21	651.491 - 678.778
760.637 - 787.924	624.205 - 651.491
733.351 - 760.637	596.918 - 624.205
706.064 - 733.351	— Rede de Drenagem

N

0 0.5 1 2 Km

Sistema de Coordenadas: Corrego Alegre UTM Zone 23S
 Projeção: Transverse Mercator
 Datum: Corrego Alegre
 Equidistância das Curvas de Nível: 5m

Informações Originais das Cartas Topográficas

Escala 1:10.000
 Equidistância de Curvas de Nível 5m
 Projeção UTM (Universal Transversa Mercator)
 Referência Horizontal: Corrego Alegre, MG
 Referência Vertical: Marégrafo de Imbituba, SC
 Meridiano Central 45° Fuso 23
 Quadricula 1000 metros

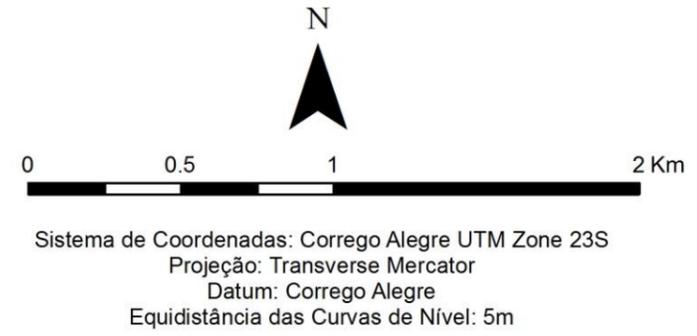
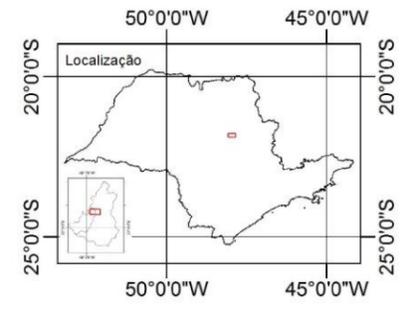
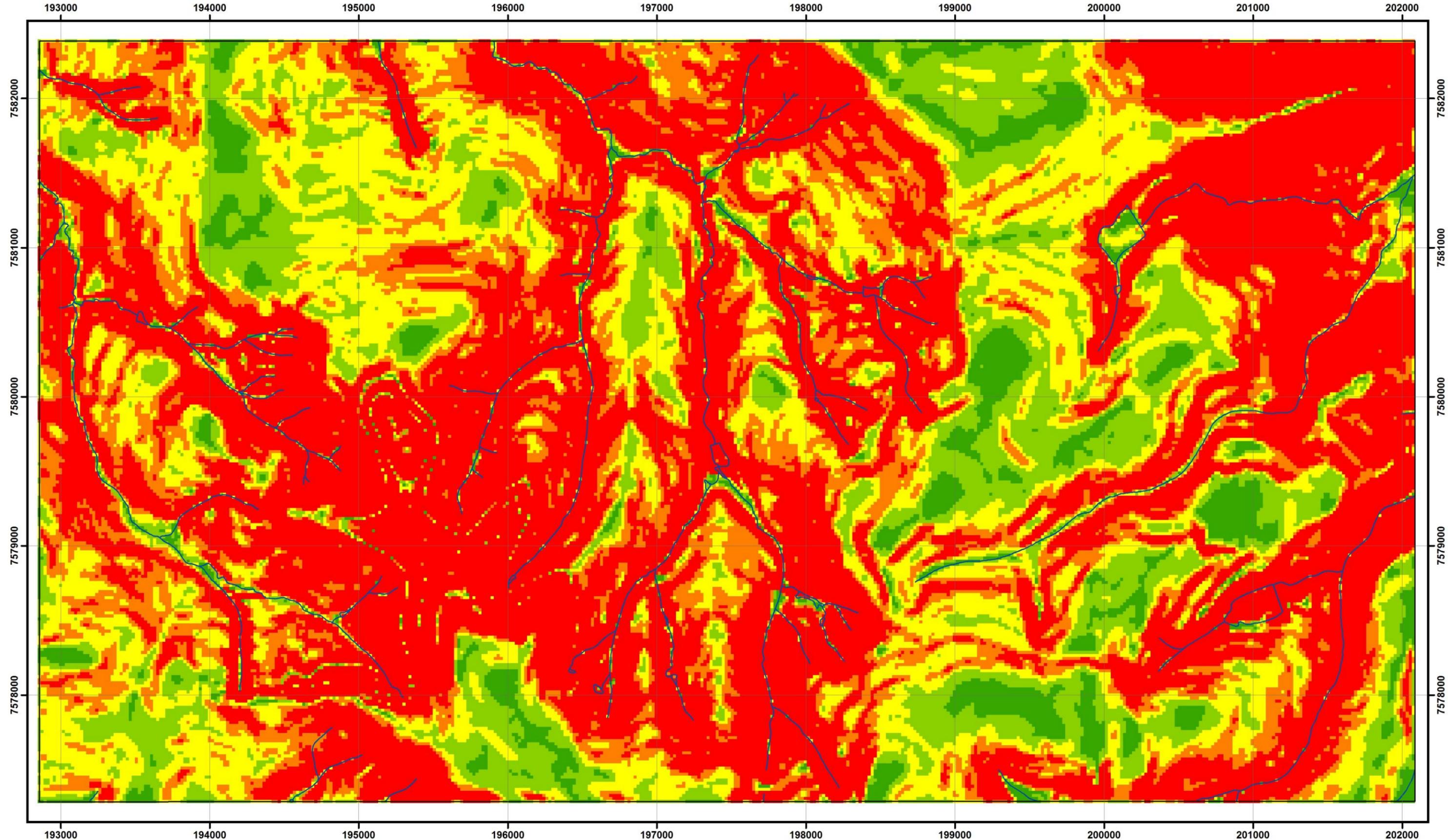
Fotografias Aéreas 1988
 Restituição 1989
 Reambulação de Campo 1989
 Primeira Edição 1990

Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana
 Departamento de Engenharia Civil

Modelo Digital do Terreno

Autor: Vagner de Souza Serikawa
 Orientação: Sergio Antonio Röhm e Marcilene Dantas Ferreira

9.6 Carta de Declividade (Apêndice VI)



Informações Originais das Cartas Topográficas

Escala 1:10.000
 Equidistância de Curvas de Nível 5m
 Projeção UTM (Universal Transversa Mercator)
 Referência Horizontal: Corrego Alegre, MG
 Referência Vertical: Marégrafo de Imbituba, SC
 Meridiano Central 45° Fuso 23
 Quadrícula 1000 metros

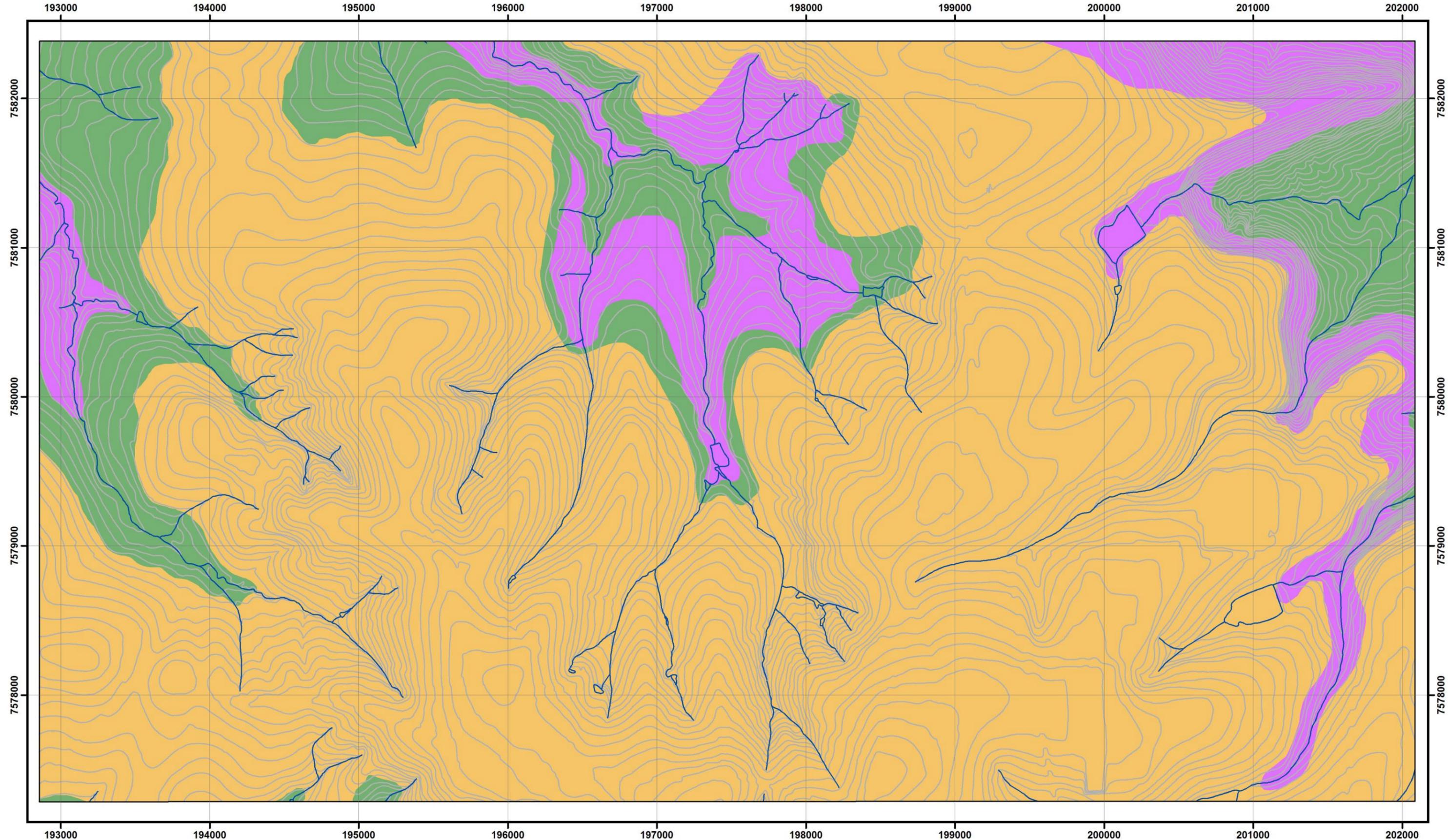
Fotografias Aéreas 1988
 Restituição 1989
 Reambulação de Campo 1989
 Primeira Edição 1990

Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana
 Departamento de Engenharia Civil

Carta de Declividade

Autor: Vagner de Souza Serikawa
 Orientação: Sergio Antonio Röhm e Marcilene Dantas Ferreira

9.7 Mapa de Substrato Rochoso (Apêndice VII)



Substrato Rochoso

- Formação Botucatu
- Formação Itaqueí
- Formação Serra Geral

- Rede de Drenagem
- Curvas de Nível


 0 0.5 1 2 Km

 Sistema de Coordenadas: Corrego Alegre UTM Zone 23S
 Projeção: Transverse Mercator
 Datum: Corrego Alegre
 Equidistância das Curvas de Nível: 5m

Informações Originais das Cartas Topográficas
 Escala 1:10.000
 Equidistância de Curvas de Nível 5m
 Projeção UTM (Universal Transversa Mercator)
 Referência Horizontal: Corrego Alegre, MG
 Referência Vertical: Marégrafo de Imbituba, SC
 Meridiano Central 45° Fuso 23
 Quadrícula 1000 metros
 Fotografias Aéreas 1988
 Restituição 1989
 Reambulação de Campo 1989
 Primeira Edição 1990

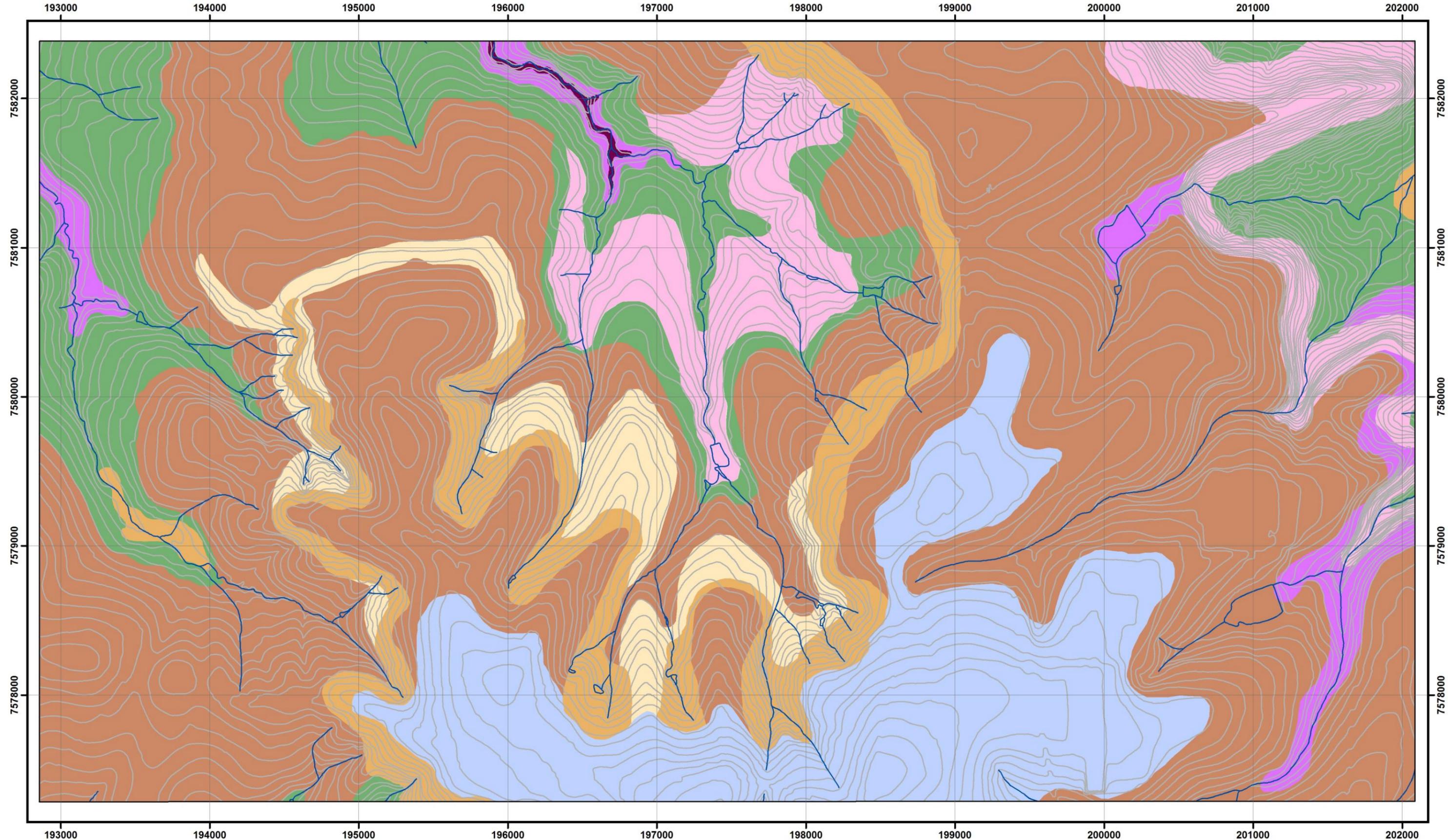


Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana
 Departamento de Engenharia Civil

Mapa de Substrato Rochoso

Autores: Vagner de Souza Serikawa e Marcilene Dantas Ferreira
 Orientação: Sergio Antonio Röhm

9.8 Mapa de Material Inconsolidado (Apêndice VIII)



Material Inconsolidado

- Itaqueri Fino
- Itaqueri Fino Raso
- Itaqueri Argiloso
- Residual da Formação Botucatu
- Retrabalhado Terciário
- Serra Geral Derrame
- Serra Geral Argiloso Residual
- Serra Geral Intrusão
- Rede de Drenagem
- Curvas de Nível

N

0 0.5 1 2 Km

Sistema de Coordenadas: Corrego Alegre UTM Zone 23S
 Projeção: Transverse Mercator
 Datum: Corrego Alegre
 Equidistância das Curvas de Nível: 5m

Informações Originais das Cartas Topográficas

Escala 1:10.000
 Equidistância de Curvas de Nível 5m
 Projeção UTM (Universal Transversa Mercator)
 Referência Horizontal: Corrego Alegre, MG
 Referência Vertical: Marégrafo de Imbituba, SC
 Meridiano Central 45° Fuso 23
 Quadrícula 1000 metros

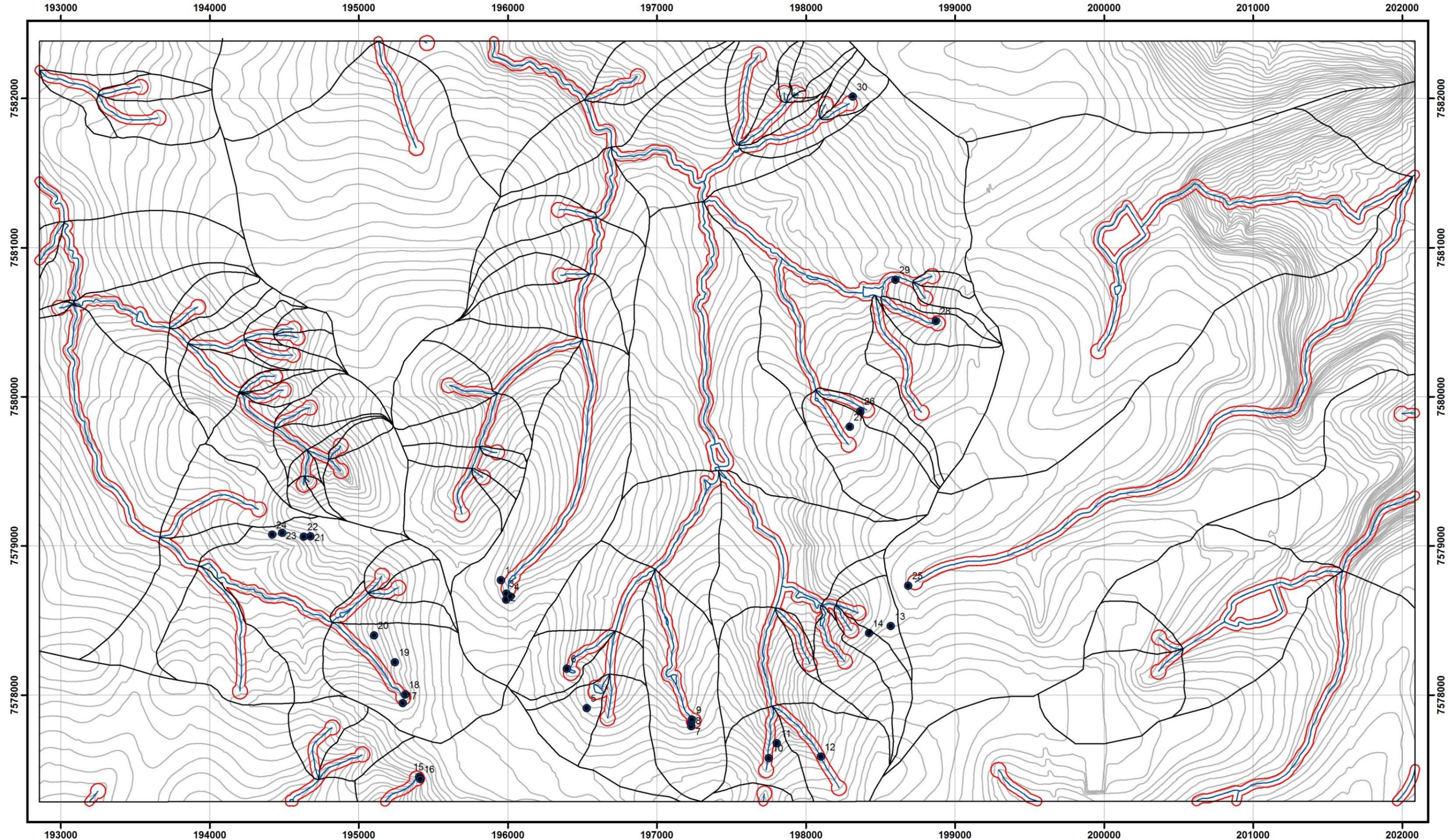
Fotografias Aéreas 1988
 Restituição 1989
 Reambulação de Campo 1989
 Primeira Edição 1990

Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana
 Departamento de Engenharia Civil

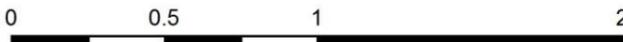
Mapa de Material Inconsolidado

Autores: Vagner de Souza Serikawa e Marcilene Dantas Ferreira
 Orientação: Sergio Antonio Röhm

9.9 Mapa de Bacias Hidrográficas (Apêndice IX)



- APP (Área de Preservação Permanente)
- Rede de Drenagem
- Curvas de Nível
- Limite das Bacias Hidrográficas


 0 0.5 1 2 Km


Sistema de Coordenadas: Corrego Alegre UTM Zone 23S
 Projeção: Transverse Mercator
 Datum: Corrego Alegre
 Equidistância das Curvas de Nível: 5m

Informações Originais das Cartas Topográficas
 Escala 1:10.000
 Equidistância de Curvas de Nível 5m
 Projeção UTM (Universal Transversa Mercator)
 Referência Horizontal: Corrego Alegre, MG
 Referência Vertical: Marégrafo de Imbituba, SC
 Meridiano Central 45° Fuso 23
 Quadrícula 1000 metros

Fotografias Aéreas 1988
 Restituição 1989
 Reambulação de Campo 1989
 Primeira Edição 1990

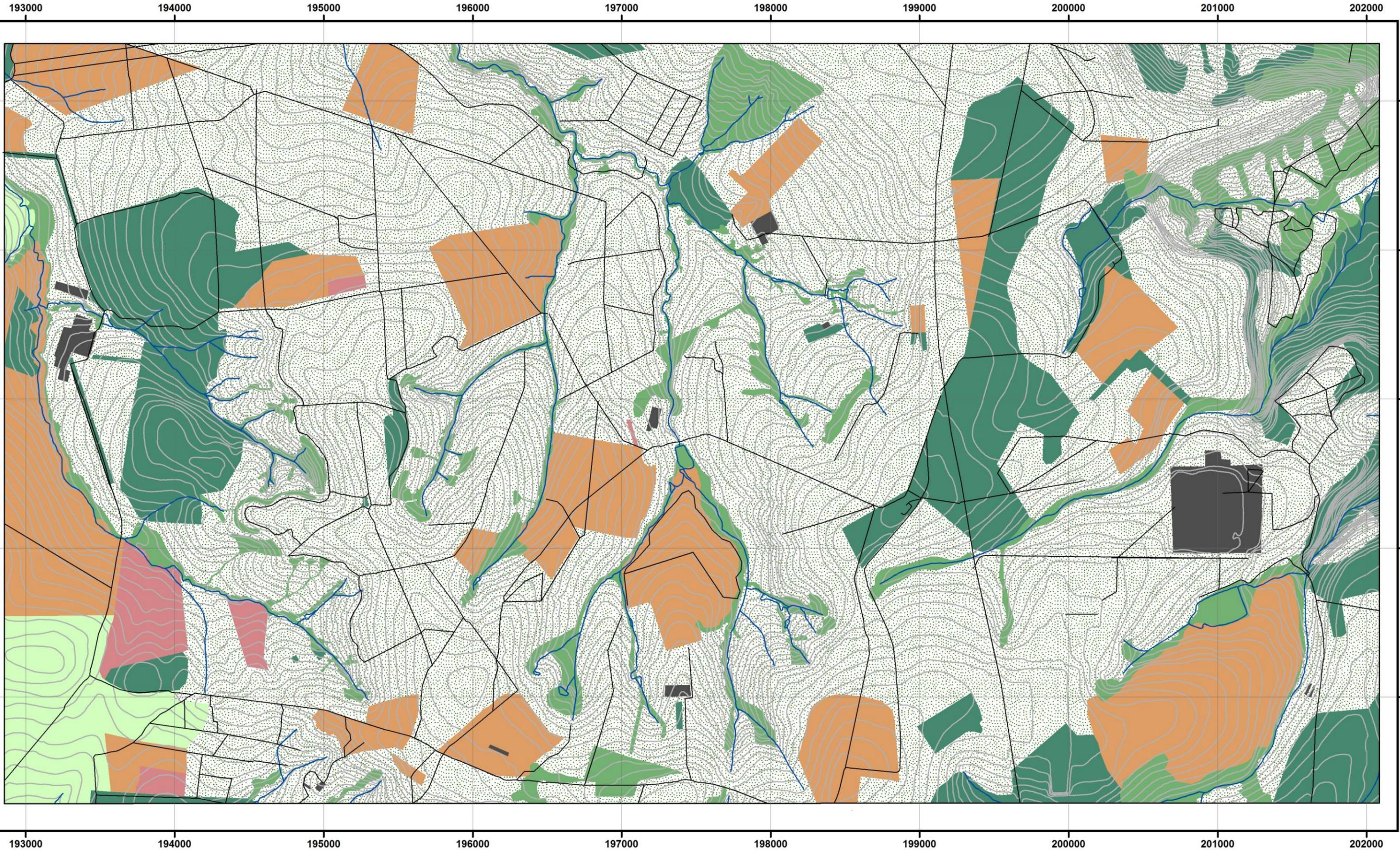


Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana
 Departamento de Engenharia Civil

Mapa de Bacias Hidrográficas

Autor: Vagner de Souza Serikawa
 Orientação: Sergio Antonio Röhm e Marcilene Dantas Ferreira

9.10 Mapa de Uso e Ocupação do Solo 1972 (Apêndice X)



Uso e Ocupação do Solo

- APP (Área de Preservação Permanente)
- Cana-de-açúcar
- Edificações
- Mata
- Outros cultivos
- Pastagem
- Solo exposto
- Estradas e Caminhos
- Rede de Drenagem
- Curvas de Nível



Sistema de Coordenadas: Corrego Alegre UTM Zone 23S
 Projeção: Transverse Mercator
 Datum: Corrego Alegre
 Equidistância das Curvas de Nível: 5m

Informações Originais das Cartas Topográficas

Escala 1:10.000
 Equidistância de Curvas de Nível 5m
 Projeção UTM (Universal Transversa Mercator)
 Referência Horizontal: Córrego Alegre, MG
 Referência Vertical: Marégrafo de Imbituba, SC
 Meridiano Central 45° Fuso 23
 Quadrícula 1000 metros

Fotografias Aéreas 1988
 Restituição 1989
 Reambulação de Campo 1989
 Primeira Edição 1990

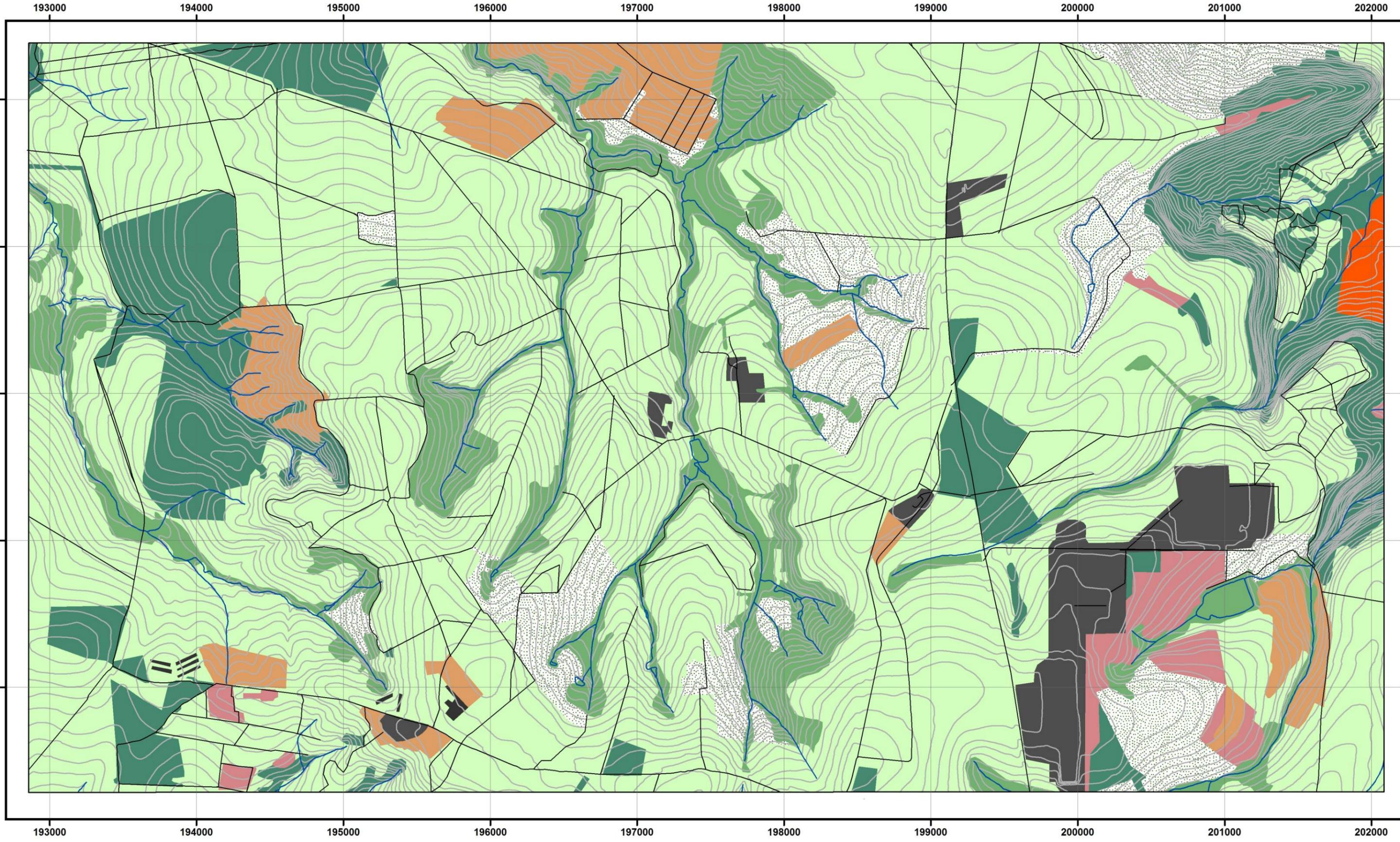


Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana
 Departamento de Engenharia Civil

Mapa de Uso e Ocupação do Solo 1972

Autor: Vagner de Souza Serikawa
 Orientação: Sergio Antonio Röhm e Marcilene Dantas Ferreira

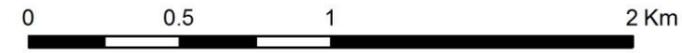
9.11 Mapa de Uso e Ocupação do Solo 2003 (Apêndice XI)



Uso e Ocupação do Solo

- | | |
|--|---|
|  APP (Área de Preservação Permanente) |  Outros cultivos |
|  Cana-de-açúcar |  Pastagem |
|  Edificações |  Solo exposto |
|  Granja |  Estradas e Caminhos |
|  Laranja |  Rede de Drenagem |
|  Mata |  Curvas de Nível |

N



Sistema de Coordenadas: Corrego Alegre UTM Zone 23S
 Projeção: Transverse Mercator
 Datum: Corrego Alegre
 Equidistância das Curvas de Nível: 5m

Informações Originais das Cartas Topográficas

Escala 1:10.000
 Equidistância de Curvas de Nível 5m
 Projeção UTM (Universal Transversa Mercator)
 Referência Horizontal: Corrego Alegre, MG
 Referência Vertical: Marégrafo de Imbituba, SC
 Meridiano Central 45° Fuso 23
 Quadrícula 1000 metros

Fotografias Aéreas 1988
 Restituição 1989
 Reambulação de Campo 1989
 Primeira Edição 1990

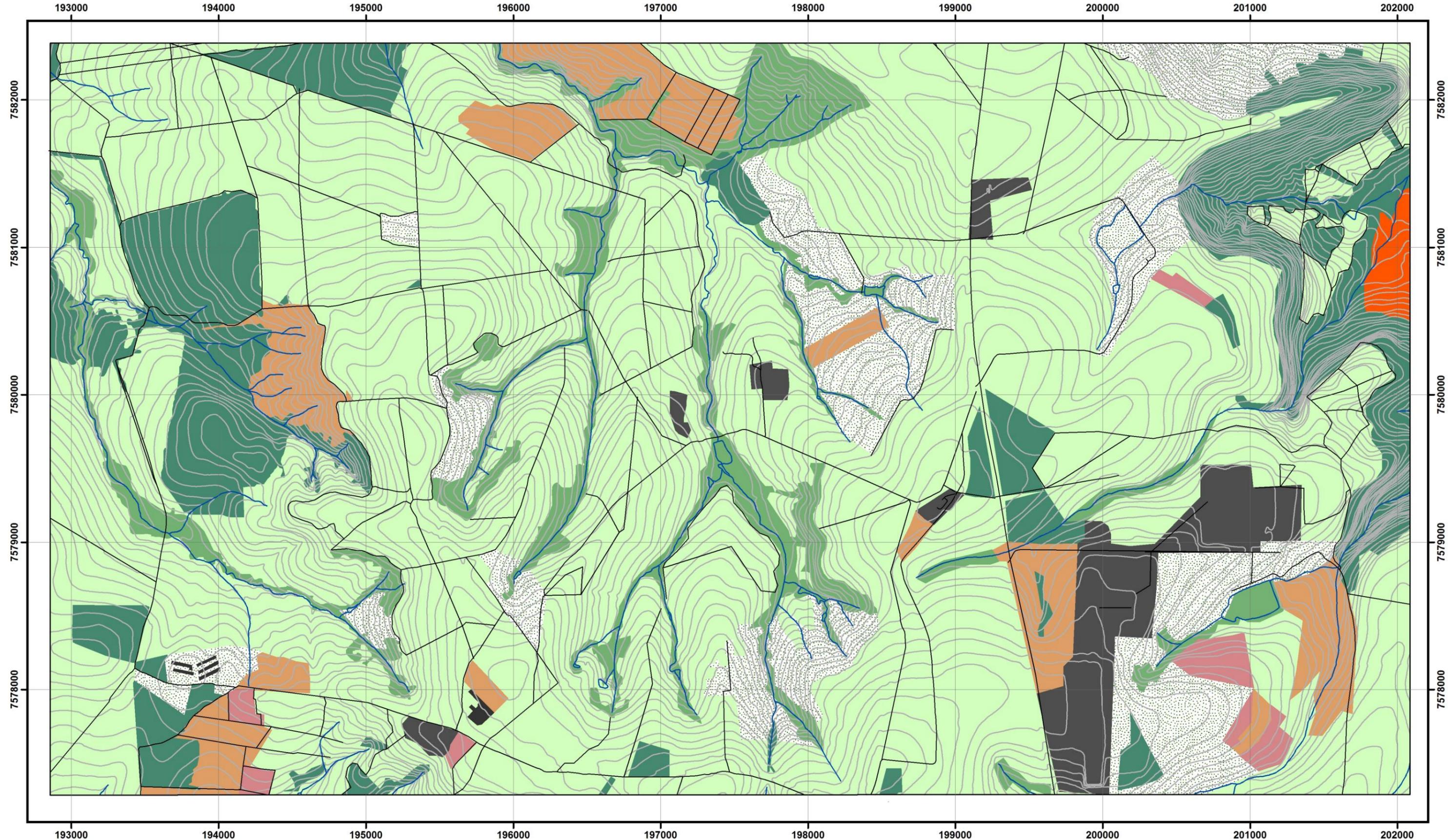


Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana
 Departamento de Engenharia Civil

Mapa de Uso e Ocupação do Solo 2003

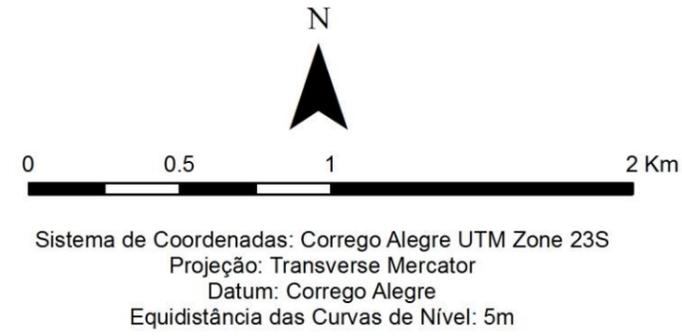
Autor: Vagner de Souza Serikawa
 Orientação: Sergio Antonio Röhm e Marcilene Dantas Ferreira

9.12 Mapa de Uso e Ocupação do Solo 2010 (Apêndice XII)



Uso e Ocupação do Solo

- | | | | |
|---|--------------------------------------|---|---------------------|
|  | APP (Área de Preservação Permanente) |  | Outros cultivos |
|  | Cana-de-açúcar |  | Pastagem |
|  | Edificações |  | Solo exposto |
|  | Granja |  | Estradas e Caminhos |
|  | Laranja |  | Rede de Drenagem |
|  | Mata |  | Curvas de Nível |



Informações Originais das Cartas Topográficas

Escala 1:10.000
 Equidistância de Curvas de Nível 5m
 Projeção UTM (Universal Transversa Mercator)
 Referência Horizontal: Corrego Alegre, MG
 Referência Vertical: Marégrafo de Imbituba, SC
 Meridiano Central 45° Fuso 23
 Quadrícula 1000 metros

Fotografias Aéreas 1988
 Restituição 1989
 Reambulação de Campo 1989
 Primeira Edição 1990

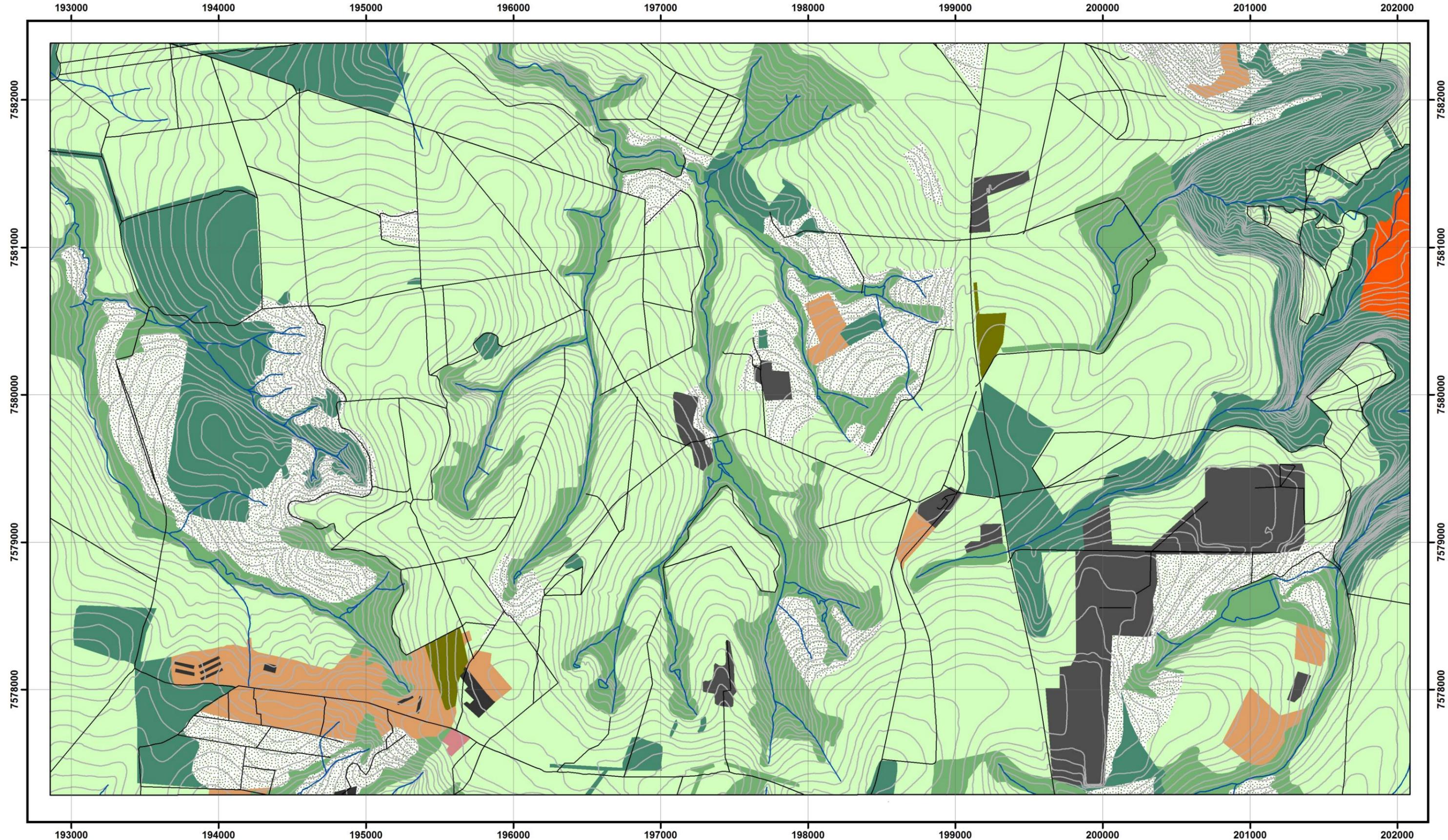


Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana
 Departamento de Engenharia Civil

Mapa de Uso e Ocupação do Solo 2010

Autor: Vagner de Souza Serikawa
 Orientação: Sergio Antonio Röhm e Marcilene Dantas Ferreira

9.13 Mapa de Uso e Ocupação do Solo 2012 (Apêndice XIII)



Uso e Ocupação do Solo

- APP (Área de Preservação Permanente)
- Cana-de-açúcar
- Edificações
- Granja
- Laranja
- Mata

- Eucalipto
- Outros cultivos
- Pastagem
- Solo exposto
- Estradas e Caminhos
- Rede de Drenagem
- Curvas de Nível



Sistema de Coordenadas: Corrego Alegre UTM Zone 23S
 Projeção: Transverse Mercator
 Datum: Corrego Alegre
 Equidistância das Curvas de Nível: 5m

Informações Originais das Cartas Topográficas

Escala 1:10.000
 Equidistância de Curvas de Nível 5m
 Projeção UTM (Universal Transversa Mercator)
 Referência Horizontal: Corrego Alegre, MG
 Referência Vertical: Marégrafo de Imbituba, SC
 Meridiano Central 45° Fuso 23
 Quadrícula 1000 metros

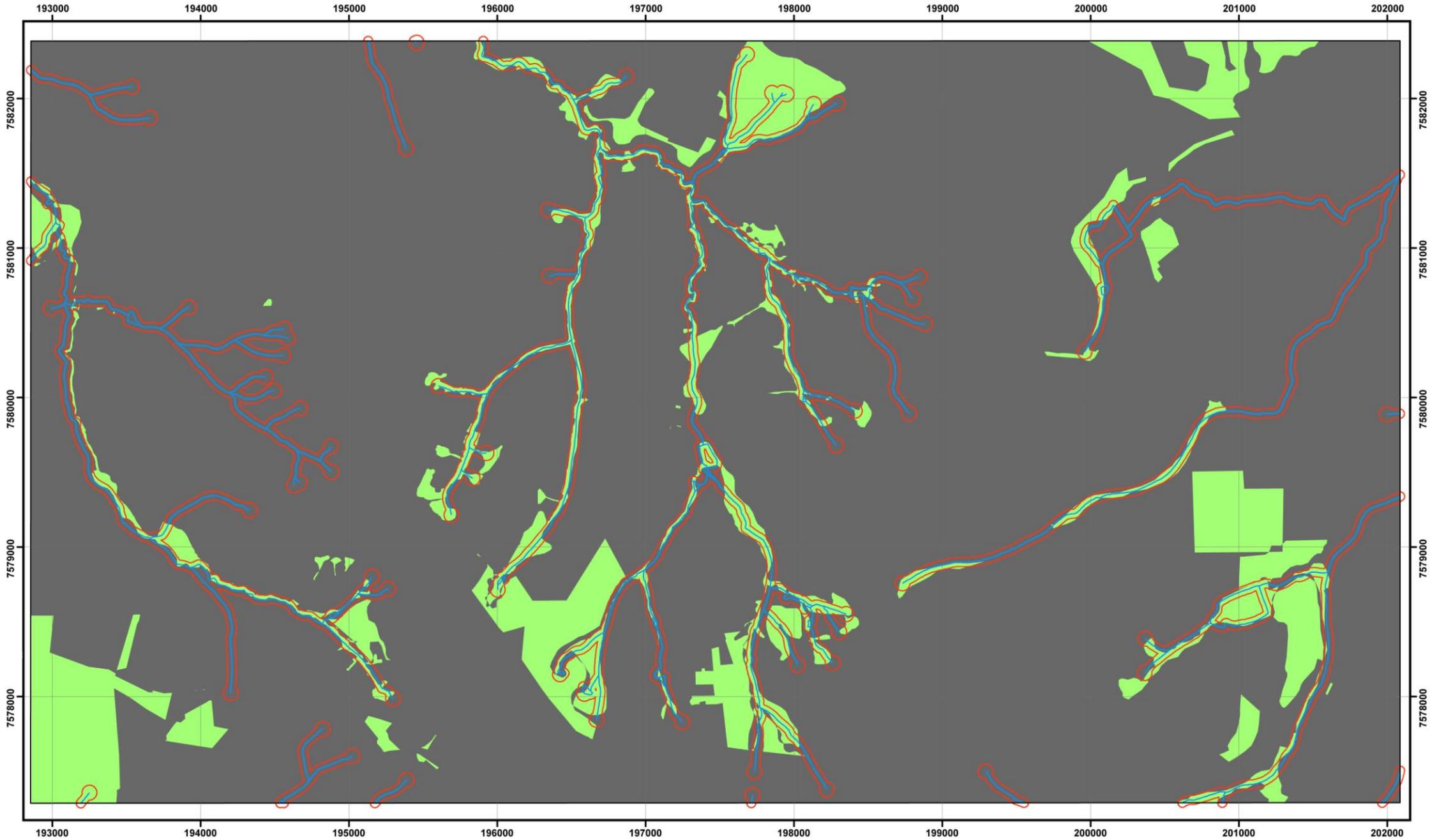
Fotografias Aéreas 1988
 Restituição 1989
 Reambulação de Campo 1989
 Primeira Edição 1990

Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana
 Departamento de Engenharia Civil

Mapa de Uso e Ocupação do Solo 2012

Autor: Vagner de Souza Serikawa
 Orientação: Sergio Antonio Röhm e Marcilene Dantas Ferreira

9.14 Carta de Mudança no Uso do Solo 1972 a 2003 (Apêndice XIV)



- APP (Área de Preservação Permanente)
 - Rede de Drenagem
 - Curvas de Nivel
- Uso e Ocupação do Solo**
- Sem Mudança
 - Com Mudança

N

0 0.5 1 2 Km

Sistema de Coordenadas: Corrego Alegre UTM Zone 23S
 Projeção: Transverse Mercator
 Datum: Corrego Alegre
 Equidistância das Curvas de Nivel: 5m

Informações Originais das Cartas Topográficas

Escala 1:10.000
 Equidistância de Curvas de Nivel 5m
 Projeção UTM (Universal Transversa Mercator)
 Referência Horizontal: Corrego Alegre, MG
 Referência Vertical: Marégrafo de Imbituba, SC
 Meridiano Central 45° Fuso 23
 Quadrícula 1000 metros

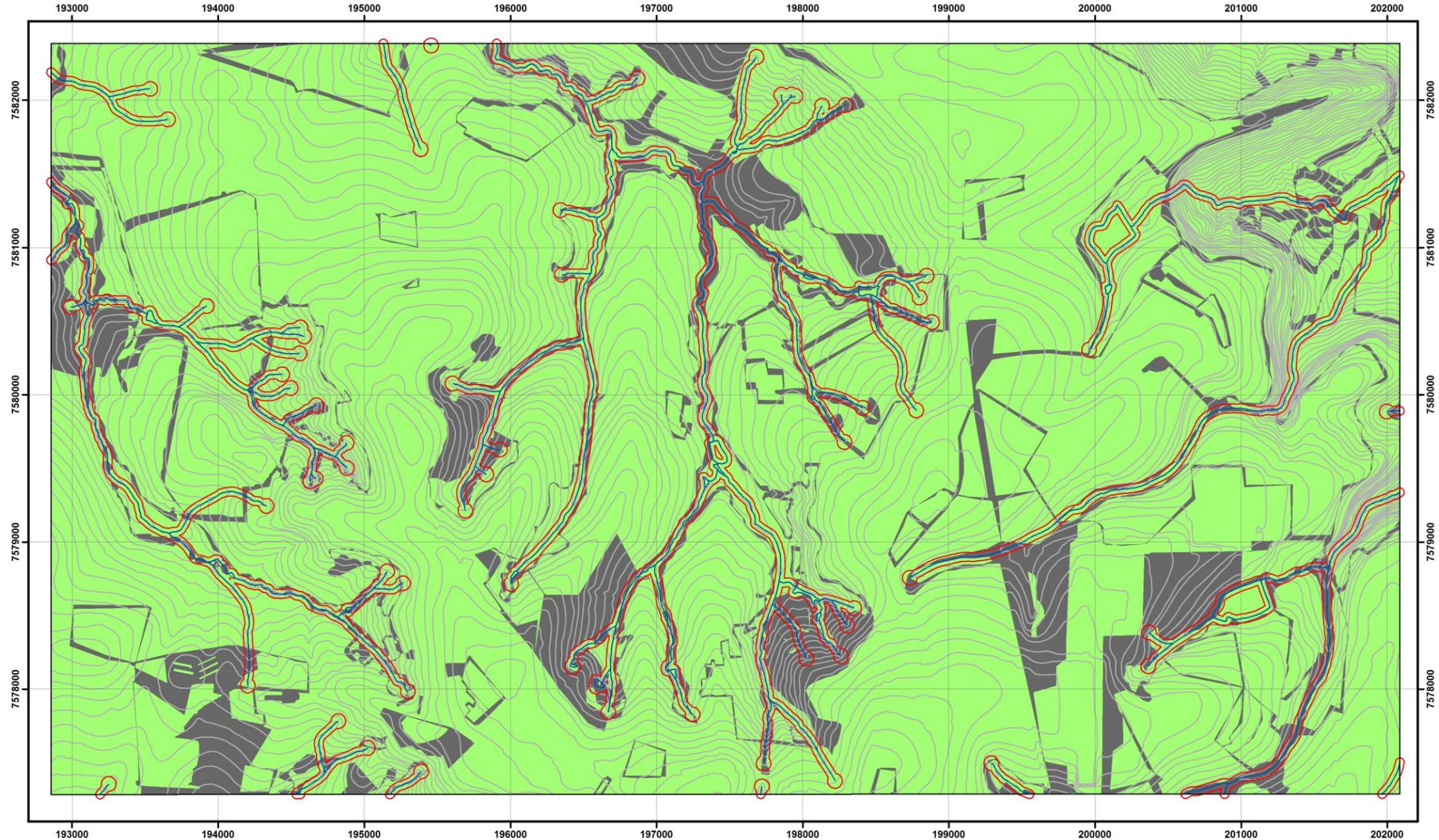
Fotografias Aéreas 1988
 Restituição 1989
 Reambulação de Campo 1989
 Primeira Edição 1990

Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana
 Departamento de Engenharia Civil

Mapa de Mudança de Uso e Ocupação do Solo 1972-2003

Autor: Vagner de Souza Serikawa
 Orientação: Sergio Antonio Röhm e Marcilene Dantas Ferreira

9.15 Carta de Mudança no Uso do Solo 2003 a 2010 (Apêndice XV)



- APP (Área de Preservação Permanente)
 - Rede de Drenagem
 - Curvas de Nível
- Uso e Ocupação do Solo**
- Sem Mudança
 - Com Mudança

N



0 0.5 1 2 Km

Sistema de Coordenadas: Corrego Alegre UTM Zone 23S
 Projeção: Transverse Mercator
 Datum: Corrego Alegre
 Equidistância das Curvas de Nível: 5m

Informações Originais das Cartas Topográficas

Escala 1:10.000
 Equidistância de Curvas de Nível 5m
 Projeção UTM (Universal Transversa Mercator)
 Referência Horizontal: Córrego Alegre, MG
 Referência Vertical: Marégrafo de Imbituba, SC
 Meridiano Central 45° Fuso 23
 Quadrícula 1000 metros

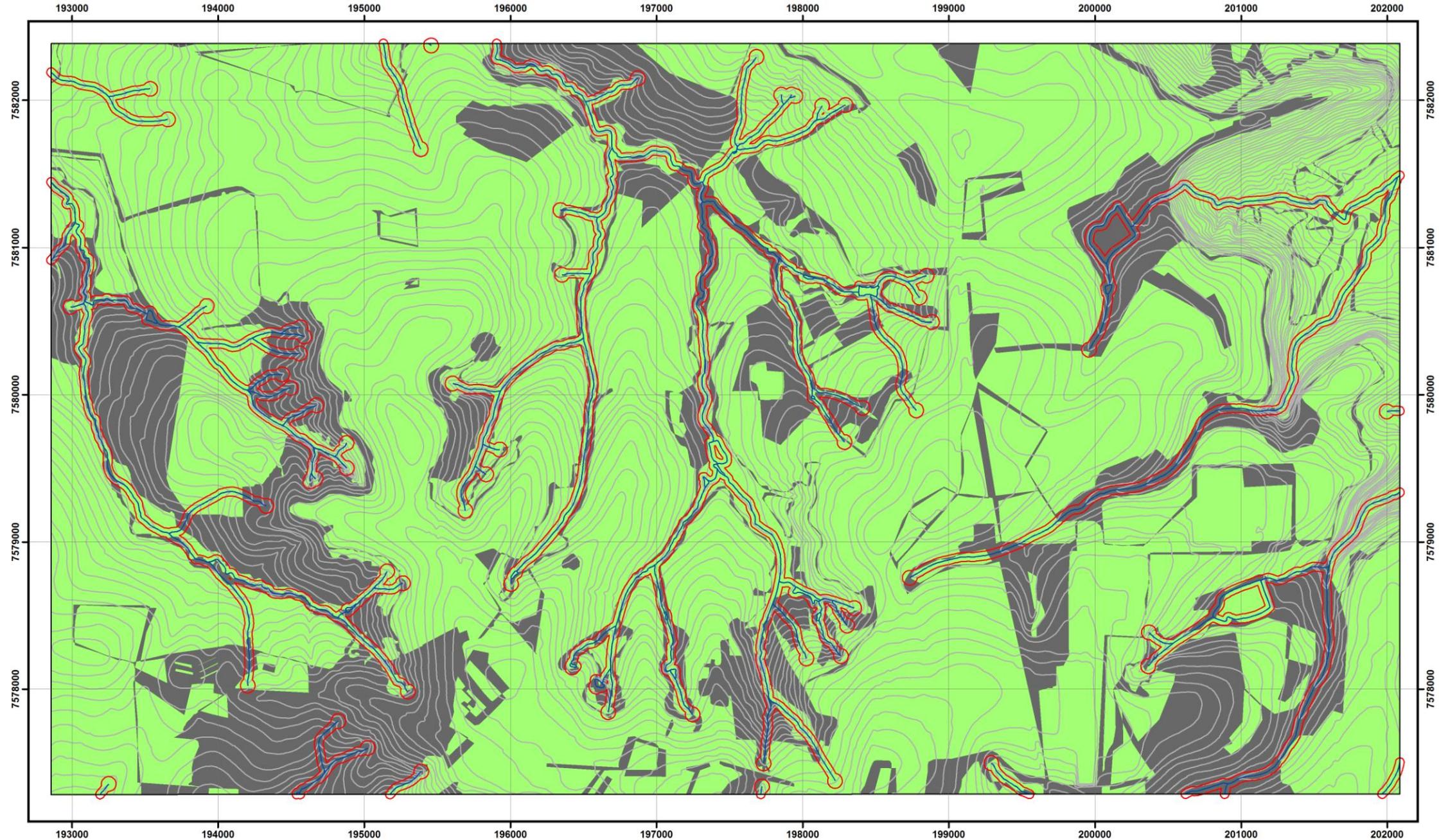
Fotografias Aéreas 1988
 Restituição 1989
 Reambulação de Campo 1989
 Primeira Edição 1990

 Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana
 Departamento de Engenharia Civil

Mapa de Mudança de Uso e Ocupação do Solo 2003-2010

Autor: Vagner de Souza Serikawa
 Orientação: Sergio Antonio Röhm e Marilene Dantas Ferreira

9.16 Carta de Mudança no Uso do Solo 2010 a 2012 (Apêndice XVI)



- APP (Área de Preservação Permanente)
 - Rede de Drenagem
 - Curvas de Nível
- Uso e Ocupação do Solo**
- Sem Mudança
 - Com Mudança

N



0 0.5 1 2 Km

Sistema de Coordenadas: Corrego Alegre UTM Zone 23S
 Projeção: Transverse Mercator
 Datum: Corrego Alegre
 Equidistância das Curvas de Nível: 5m

Informações Originais das Cartas Topográficas

Escala 1:10.000
 Equidistância de Curvas de Nível 5m
 Projeção UTM (Universal Transversa Mercator)
 Referência Horizontal: Córrego Alegre, MG
 Referência Vertical: Marégrafo de Imbituba, SC
 Meridiano Central 45° Fuso 23
 Quadricula 1000 metros

Fotografias Aéreas 1988
 Restituição 1989
 Reambulação de Campo 1989
 Primeira Edição 1990


 Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana
 Departamento de Engenharia Civil

Mapa de Mudança de Uso e Ocupação do Solo 2010-2012

Autor: Vagner de Souza Serikawa
 Orientação: Sergio Antonio Röhm e Marilene Dantas Ferreira