

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

**ESTUDO COMPARATIVO DE DUAS METODOLOGIAS NA  
DEFINIÇÃO DE UNIDADES GEOAMBIENTAIS: RIBEIRÃO DO  
FEIJÃO (SÃO CARLOS-SP)**

**MOISÉS FURTADO FAILACHE**

São Carlos  
2015

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

**ESTUDO COMPARATIVO DE DUAS METODOLOGIAS NA  
DEFINIÇÃO DE UNIDADES GEOAMBIENTAIS: RIBEIRÃO DO  
FEIJÃO (SÃO CARLOS-SP)**

**MOISÉS FURTADO FAILACHE**

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 Sérgio Antônio Röhm

São Carlos  
2015

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

F161ec

Failache, Moisés Furtado.

Estudo comparativo de duas metodologias na definição de unidades geoambientais : Ribeirão do Feijão (São Carlos-SP) / Moisés Furtado Failache. -- São Carlos : UFSCar, 2015.  
200 f.

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

1. Planejamento urbano. 2. Zoneamento geoambiental. 3. Bacias hidrográficas. 4. Metodologias. 5. Geoprocessamento. I. Título.

CDD: 711 (20<sup>a</sup>)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana  
C. P. 676 – 13.560-970 – São Carlos – SP  
Fone/FAX: (16) 3351-8295  
e-mail: [ppgeu@ufscar.br](mailto:ppgeu@ufscar.br) home-page: [www.ppgeu.ufscar.br](http://www.ppgeu.ufscar.br)



## FOLHA DE APROVAÇÃO

MOISÉS FURTADO FAILACHE

Dissertação defendida e aprovada em 14/06/2013  
pela Comissão Julgadora

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

Prof. Dr. Lázaro Valentin Zuquette  
(EESC/USP)

Prof. Dr. Francisco Antonio Dupas  
(IRN/UNIFEI)

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

*As pessoas que vencem nesse mundo são as que procuram circunstâncias que precisam e, quando não as encontram, as criam.*

*Bernard shaw*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família: Meu pai, mãe, irmão, sobrinho-afilhado e cunhada pela paciência e apoio incondicional em todos os instantes dessa árdua tarefa, pois sem vocês não seria possível à realização deste sonho.

Aos meus tios Silvia e Mauricio, e meus primos Antônio e Mauricio por terem me acolhido de forma tão calorosa na sua casa e em suas vidas.

A meus orientadores Dr. Sérgio Rohm e Dra. Marcilene Dantas Ferreira pela amizade, compreensão e paciência na orientação deste trabalho.

Aos professores Reinaldo Lorandi e Lázaro Zuquette pela amizade e conselhos preciosos.

Aos técnicos de laboratório Marcos e Sidnei pela ajuda na realização dos ensaios laboratoriais.

Ao Ademir e amigos do mestrado pela ajuda nos trabalhos de campo.

A Universidade Federal de São Carlos que me proporcionou a estrutura necessária para realização deste trabalho.

Aos meus grandes amigos mesmo que longe fisicamente, sempre estiveram comigo em pensamento, me incentivando a nunca desistir de meus sonhos: Glórgia, Brenda, Renato, Shai, Bianca, Luci e Ernesto.

Aos bons amigos conquistados em São Carlos: Leônidas, Maísa, Carol, Ademir, Netto, Ariane, Roseli, Milton, Mari, Bia, Vagner, Johny, Karyna, Vitão, Luana, Daniel, Marina e Lihca, pela amizade e pelos bons momentos vividos ao longo desse período.

A CAPES pelo apoio financeiro da pesquisa.

Enfim agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para o sucesso desse mestrado.

## RESUMO

O zoneamento geoambiental é considerado um instrumento inter e multidisciplinar de planejamento de uma área, município ou região, baseado nos componentes do meio físico. Seu objetivo é subsidiar as políticas públicas buscando a compatibilização do desenvolvimento econômico e a da qualidade ambiental. A Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão se localiza quase na sua totalidade no município de São Carlos – SP. Esta é uma área de grande interesse ambiental em virtude de ser a principal fonte de captação de água superficial para o abastecimento da cidade e por mais de 70% de seu território pertencer a área de recarga do aquífero Guarani. Nessa perspectiva, esta dissertação teve como objetivo a elaboração e a comparação de cartas de zoneamento geoambiental através de duas metodologias (CENDRERO *et al*,1990; ZUQUETTE *et al.* 1993). A metodologia empregada engloba mapeamentos temáticos na escala 1:50.000 auxiliados por SIG's (Sistemas de informações geográficas), sensoriamento remoto, trabalho de campo e de laboratório, estes que são base para o zoneamento geoambiental. Os resultados intermediários dessa pesquisa foram a elaboração de 12 mapas fundamentais (documentação, materiais inconsistentes, substrato rochoso, declividade, landforms, pedologia, uso e ocupação, mapa de evidências, amplitude de relevo, restrições legais, águas superficiais e a carta de menor percurso de água) e 5 cartas de derivadas (susceptibilidade a erosão, aptidão agrícola, estabilidade de talude, vulnerabilidade de aquífero e qualidade para a conservação). Os resultados finais corresponderam a um zoneamento geoambiental sintético (CENDRERO, *et al.*, 1990), o qual apresentou 29 unidades geoambientais e a dois zoneamentos geoambientais analíticos o quais se complementavam e eram baseados na dinâmica de águas (Zoneamento de Áreas Potenciais ao Acúmulo de Água e Zoneamento de Áreas Potenciais a Infiltração). O Zoneamento Analítico apresentou-se 4 unidades geoambientais, e mostrou-se mais restritivo na definição de suas unidades, entretanto o sintético possibilitou o entendimento mais global das fragilidades e potencialidade da Bacia do Hidrográfica do Feijão.

Palavras Chaves: Bacia Hidrográfica, Planejamento, Metodologias, Geoprocessamento, Zoneamento Geoambiental.

## ABSTRACT

The geoenvironmental zoning is considered a inter and multidisciplinary planning instrument of an area, municipality or region, based on the components of the physical environment. Its goal is to support public policies seeking to reconcile economic development and environmental quality. The Ribeirão do Feijão Watershed is located almost entirely in São Carlos-SP, is an area of great interest because is the main source of surface water supply of this city and more than 70% belongs to the recharge area of Botucatu Aquifer. In this perspective, this work aimed to elaborate a two geoenvironmental zoning through two different methodologies (CENDRERO *et al*, 1990; ZUQUETTE *et al*. 1993). The methodology includes thematic maps in 1:50.000 scale aided by GIS (Geographic Information Systems), remote sensing, field and laboratorial works. The intermediate result of this research was the development of 12 basics maps (documentation, unconsolidated materials, bedrock, slope, landforms, pedology, use and occupation, erosive evidence, relief, legal restrictions, surface water and CEMPAS) and 5 derived maps (erosion susceptibility, agricultural suitability, slope stability, aquifer vulnerability and quality for preservation).The final results corresponded a synthetic geoenvironmental zoning (Cendrero, et al., 1990), which showed 29 geoenvironmental units and two analytical geoenvironmental zoning that were based on water dynamics (Zoning of the Water Accumulation Potential Areas and Zoning of Potential Infiltration Areas). The Analytical Zoning presented 4 geoenvironmental units, and was more restrictive in defining their units, however the synthetic approach enabled a more comprehensive understanding of the weaknesses and potential of the Ribeirão do Feijão Watershed.

Key Words: Watershed, Planning, Zoning Methodologies, GIS, Zoning Geoenvironmental.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Passos da compartimentação das ottobacias.....	38
Figura 2- Ambientes MD de Valência, onde: 1 representa as Planície Costeira; 2 os vales e serras pré-béticas; 3 o maciço de Caroch. ....	39
Figura 3- Exemplo de aplicação da P.U.C.E.....	46
Figura 4– Carta de zoneamento para a seleção de áreas para a instalação de aterros sanitários no município de São Carlos. ....	54
Figura 5-Fluxograma mostrando as informações gerais para a escolha de áreas para disposição de resíduos da metodologia utilizada por Leite (1995) .....	55
Figura 6 a e b- (a) zoneamento levando em consideração a aptidão das áreas que apresentam condições para a instalação de indústria de suco de laranja, considerando a vazão média (b) zoneamento levando em consideração a aptidão das áreas que apresentam condições para a instalação de indústria de suco de laranja, considerando a vazão $Q_{7,10}$ . ....	57
Figura 7- Carta de zoneamento geoambiental da faixa de dutos Osplan/Osvat .....	58
Figura 8 a e b- <b>Zoneamento geoambiental proposto para Manaus-AM, onde essas cartas representam o potencial para disposição de resíduos sólidos e de exploração de recursos naturais.</b> (a).....	60
Figura 9-Zoneamento geoambiental proposto para bacias hidrográficas afluentes do Rio Ibicuí-RS. ....	61
Figura 10– Proposta de ZEE para o município de Pedras Altas -RS .....	63
Figura 11 - Zoneamento geoambiental na cidade de Tunis – Tunísia.....	65
Figura 12- Esquema das etapas de desenvolvimento da pesquisa.....	68
Figura 13 e 14- Permeâmetro Guelph modificado instalado para a realização do ensaio e solo preparado, nivelado e com o furo para o posicionamento do equipamento. ....	74
Figura 15- Representação esquemática de um penetrômetro de impacto, e a seus componentes. ....	75
Figura 16- Base utilizada para fixação e condução da haste ao longo do ensaio. ....	76
Figura 17- Localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão .....	79
Figura 18- Ribeirão do Feijão .....	80
Figura 19- Distribuição das chuvas ao longo do ano na BHRF. ....	81
Figura 20–Área de plantação de <i>Eucalyptus</i> em solo quartzoso do Botucatu.....	82
Figura 21–Afloramento da Formação Botucatu.....	83

Figura 22-MDT confeccionado da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão .....	88
Figura 23– Carta de declividade elaborada a partir de curvas de nível de espaçamento de 20 metros.....	89
Figura 24– Distribuição das classes de declividade da carta elaborada a partir do mapa topográfico com curvas de nível com espaçamento de 20 metros. ....	90
Figura 25– Mapa de Substrato Rochoso da BHRF. ....	91
Figura 26-Gráfico representando a distribuição das formações geológicas na BHRP.....	92
Figura 27- Basalto aflorando no leito do Ribeirão do Feijão .....	92
Figura 28-Gráfico da distribuição dos materiais inconsolidados na BHRF.....	93
Figura 29-Mapa de Materiais Inconsolidados da BHRF.....	94
Figura 30– Local de retirada de amostra do Residual do Serra Geral para caracterização granulométrica e realização de ensaio de penetrômetro de impacto e permeâmetro Guelph....	97
Figura 31- Gráficos de resistência a penetração (a) e energia acumulada (b) de um material residual do Serra Geral em uma área de Eucalipto .....	97
Figura 32- Gráficos de (a) resistência à penetração (b) energia acumulada de um material residual do Botucatu seco em uma área de cerrado.....	99
Figura 33– Gráfico da frente de molhamento em um residual do Botucatu uma área de eucalipto. ....	99
Figura 34 e Figura 35- Ensaio de infiltração utilizando o permeâmetro Guelph (a), o método de duplo anel em duas áreas diferentes do residual do Botucatu. ....	100
Figura 36- Gráficos de resistência a penetração (a) e (b) energia a cumulada de um material Retrabalhado Arenoso I em uma área de floresta.....	101
Figura 37- Retirada de amostra indeformada de um material inconsolidado retrabalhado arenoso III. ....	101
Figura 38- Material Retrabalhado Arenoso IV, apresentando linha de seixo .....	102
Figura 39-Gráficos de resistência a penetração (a) e (b) energia a cumulada de um material Retrabalhado Arenoso IV em uma área de floresta.....	103
Figura 40-Material inconsolidado retrabalhado arenoso misto próximo ao lixão de são carlos. ....	103
Figura 41- Gráfico de resistência a penetração e energia acumulada de um material Retrabalhado Misto em uma área de floresta. ....	104
Figura 42- Material aluvionar .....	105

Figura 43- Gráfico de resistência a penetração e energia acumulada de um material aluvionar em uma área de várzea. ....	105
Figura 44- Gráfico de resistência a penetração das concreções laterítica em uma área de pastagem.....	106
Figura 45– Carta de <i>Landforms</i> da Bacia do Ribeirão do Feijão .....	108
Figura 46 – Distribuição das unidades de terreno .....	109
Figura 47- Perfil Esquemático do Sistema 2 e suas unidades. ....	111
Figura 48– Unidade 1.1 ao fundo da imagem, representando áreas de escarpas. ....	111
Figura 49– Unidade 1.3 do sistema 1. ....	112
Figura 50–Perfil Esquemático do Sistema 2 e suas unidades.....	113
Figura 51– Unidade 2.1 ao fundo.....	114
Figura 52 - Colinas amplas suave onduladas a aplainadas.....	115
Figura 53– Vales abertos e pouco profundos representando a unidade 2.3. ....	115
Figura 54– Unidade 2.5 ocorrendo em uma área do Córrego do Monjolinho, próximo à rodovia Washington Luís. ....	116
Figura 55–Perfil Esquemático do Sistema 3 e suas unidades.....	117
Figura 56– Vales pequenos estreitos, fechados, relativamente profundos .....	118
Figura 57- Colinas pequenas onduladas com topo tendendo à anguloso ao fundo .....	119
Figura 58– Colinas suave onduladas a aplainadas do sistema 3 .....	120
Figura 59-Mapa Pedológico da BHRF.....	121
Figura 60-Distribuição dos tipos de solo da BHRF .....	122
Figura 61- Exemplos de usos do solo presente na BHRF: a) Cana de açúcar, b) Mata, c) Laranja, d) Pastagem.....	124
Figura 62-Distribuição dos usos do solo da BHRF.....	124
Figura 63-Mapa de uso e Ocupação da BHRF.....	125
Figura 64-Exemplo de erosão linear na BHRF localizada na estrada que leva a região das pedreiras de arenito. ....	127
Figura 65-Mapa de evidências erosivas da BHRF .....	128
Figura 66-Esquema de elaboração da Carta de Menor Percurso da água .....	129
Figura 67-Carta de extensão do Menor Percurso de água. ....	131

Figura 68- Distribuição das subbacias da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão.....	132
Figura 69. Mapa de Águas Superficiais da BHRF .....	133
Figura 70- Subdivisão da rede drenagem em segmentos de rio para a obtenção do mapa de amplitude do relevo da BHRF.....	135
Figura 71-Mapa de amplitude de relevo da BHRF .....	136
Figura 72- Áreas de proteção permanentes da BHRF: a) regiões com inclinação maior que 45°; b) 30 metros ao longo de rios e lagos.....	138
Figura 73-Mapa de Restrições da BHRF. ....	139
Figura 74– Carta de suscetibilidade a erosão da BHRF.....	142
Figura 75– Carta de suscetibilidade a erosão da BHRF .....	143
Figura 76- Correlação espacial das evidências erosivas (em azul) com as classes de suscetibilidade a erosão na subbacia Alto Feijão. ....	144
Figura 77– Carta de aptidão agrícola da BHRF .....	147
Figura 78 – Distribuição das classes de aptidão agrícola .....	148
Figura 79- Exemplo de cultivo de laranja no vale do Ribeirão do Feijão.....	148
Figura 80– Carta de Estabilidade de Talude da BHRF .....	151
Figura 81– Distribuição das classes de estabilidade talude da BHRF.....	152
Figura 82– Evidência de movimento de massa na BHRF.....	152
Figura 83-Carta de Vulnerabilidade de Aquífero Livre .....	155
Figura 84-Distribuição das classes de vulnerabilidade aquífero.....	156
Figura 85– Distribuição das classes de Qualidade para a Conservação da BHRF.....	159
Figura 86-Mapa de Qualidade de conservação .....	160
Figura 87- Modelo conceitual da Carta de Potencial de Infiltração .....	162
Figura 88- Modelo conceitual da Carta de Potencial de Infiltração.....	164
Figura 89- Carta de Potencial de Infiltração da BHRF. ....	166
Figura 90– Distribuição das unidades geoambientais das áreas potenciais a infiltração .....	167
Figura 91- Carta Potencial de Acúmulo de Água da BHRF. ....	169
Figura 92–Distribuição das unidades geoambientais das áreas potenciais de acúmulo de água .....	170

Figura 93 – Fluxograma da elaboração do zoneamento geoambiental conforme ( <i>Cendrero et al. 1990</i> ). .....	172
Figura 94- Distribuição espacial das unidades geoambientais propostas por Cendrero (1990) .....	173
Figura 95-Zoneamento Geoambiental da BHRF seguindo a proposta de Cendrero <i>et al</i> (1990) .....	174

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Diversas metodologias de zoneamento e suas possibilidades de aplicação .....	34
Tabela 2-Etapas de execução da metodologia de Sobreira (1995).....	37
Tabela 3–estabelecimento da divisão e das formas de registros da classificação de terreno. ....	47
Tabela 4 - Atributos X Formas de Obtenção fundamentais ao Zoneamento Geoambiental .....	51
Tabela 5-Número de observações mínimas para as diversas escalas de mapeamento.....	52
Tabela 6- Síntese dos principais zoneamentos geoambientais elaborados pela EESC-USP e UFSCar.....	53
Tabela 7- Resumo dos documentos cartográficos fundamentais e dos atributos elaborados e utilizados. ....	71
Tabela 8- Principais propriedades dos materiais inconsolidados encontrados na BHRF.....	95
Tabela 9 - Critérios utilizados na descrição das unidades de terreno.....	107
Tabela 10- Tabela síntese das unidades de landforms encontrados na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão .....	110
Tabela 11- Comparação das unidades pedológicas presentes na BHRF entre a classificação antiga de solos com a nova.....	120
Tabela 12– Classes e distribuição da CEMPAS.....	130
Tabela 13- Número e comprimento total dos trechos de rio conforme a classificação de strahler.....	134
Tabela 14- Reclassificação e ponderação dos atributos para a elaboração da Carta de Suscetibilidade a Erosão.....	141
Tabela 15-Atributos propostos por Zuquette (1993) para a carta de aptidão agrícolas.....	145
Tabela 16-Classificação dos tipos pedológicos quanto a sua aptidão agrícola .....	145
Tabela 17– Reclassificação das unidades pedológicas em classes de potencial agrícola geral .....	146
Tabela 18– Reclassificação e ponderação dos atributos para a elaboração da carta de potencial agrícola.....	146
Tabela 19- Reclassificação e ponderação dos atributos utilizados para a elaboração da Carta de Estabilidade Taludes. ....	150
Tabela 20- Reclassificação e ponderação dos atributos utilizados para a elaboração da Carta de Vulnerabilidade Aquíferos. ....	154
Tabela 21– Reclassificação da vegetação segundo seu valor para a conservação .....	157

Tabela 22– Reclassificação da geologia, geomorfologia e solos segundo seu valor para a conservação .....	157
Tabela 23– Reclassificação da proteção de aquíferos segundo seu valor para a conservação	157
Tabela 24- Reclassificação dos atributos para avaliação da paisagem visual .....	158
Tabela 25-Reclassificação e ponderação dos atributos utilizados para a elaboração do zoneamento de áreas Potenciais de Infiltração.....	163
Tabela 26 -Reclassificação e ponderação dos atributos utilizados para a elaboração do zoneamento de áreas de acúmulo de água.....	165
Tabela 27- Correlação das classes dos zoneamentos analíticos obtidos a partir da metodologia de Zuquette (1993); Zuquette <i>et al.</i> (1997) .....	171
Tabela 28- Unidades Geoambientais obtidas da BHRF segundo a metodologia de Cendrero (1990).....	172
Tabela 29- Aplicação do zoneamento proposto por Grecchi (1998).....	178

## LISTA DE SIGLAS ABREVIATURAS

**AR** – análise relativa

**BH** - Bacia Hidrográfica

**BHRF** - Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão

**e** - Índice de Vazios

**EESC** - Escola de Engenharia de São Carlos

**ES** – Estimativas

**FI** - Fotointerpretação

**FAb** – Fotos aéreas baixas

**GPS** - Posicionamento Global por Satélite

**Im** – Imagens de Satélite

**INPE**- Instituto de Pesquisa Espaciais

**IUGS** - International Union of Geological Sciences

**Kfs** - Condutividade Hidráulica

**L** – Ensaio laboratório

**Li** – Literatura

**MD** – Morfodinâmicos

**MDT**- Modelo Digital do Terreno

**N** - Porosidade

**$\rho$**  - Massa específica natural

**$\rho_d$**  - Massa específica seca

**$\rho_s$**  - Massa específica dos sólidos

**P.U.C.E** - Padrão, Unidade, Componente e Avaliação

**PNMA** - Política Nacional do Meio Ambiente

**SIG** - Sistema de Informação Geográfica

**Sr** - Grau de Saturação

**TC** – Trabalho de Campo

**TE** – Trabalho de Escritório

**UFOP** - Universidade Federal de Ouro Preto

**UFRG** - Universidade Federal do Rio Grande

**UFRGS** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**UFSCar** - Universidade Federal de São Carlos

**UNB** - Universidade de Brasília



**UNIFAL** – Universidade Federal de Alfenas

**USP** - Universidade de São Paulo

**U.S.L.E** - Universal Soil Loss Equation

**w** - Umidade

**ZEE** - Zoneamento Ecológico Econômico

**ZEI's** - Zonas Estritamente Industriais

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>18</b>
<b>2. JUSTIFICATIVA</b>	<b>20</b>
<b>3. OBJETIVOS</b>	<b>21</b>
3.1. Objetivo geral	21
3.2. Objetivos Específicos	21
<b>4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>22</b>
4.1. Zoneamento Ambiental	22
4.2. Zoneamento geoambiental	25
4.3. Geoprocessamento Aplicado no Zoneamento Geoambiental	29
4.4. A importância da gestão integrada de bacias no zoneamento Geoambiental	30
4.5. Metodologias para elaboração de Zoneamentos	33
4.6.1 Metodologias de Zoneamento Geoambiental	35
4.6.2 Exemplos de Zoneamentos Desenvolvidos	53
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>67</b>
5.1. Aspectos Gerais	67
5.2. Etapas de Trabalho	69
5.2.1- Trabalhos de Escritório	69
5.2.2. Trabalho de Campo e Laboratório	72
5.2.3. Análise Integrada das Informações Obtidas a Partir de um Banco de Dados	77
<b>6. ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>79</b>
6.1. Dados Gerais e Hidrografia	79
6.2. Clima	80
6.3. Meio Biótico	81
6.4. Uso e ocupação do solo	81
6.5. Geomorfologia	82
6.6. Geologia	82
6.6.1. Formação Botucatu	82
6.6.2. Formação Serra Geral	83
6.6.3. Formação Itaqueri	83
6.7. Materiais Inconsolidados	84
6.8. Águas Subterrâneas	84
6.9. Pedologia	85
<b>7. DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS</b>	<b>87</b>
7.1. Documentos Cartográficos Fundamentais	87

7.1.1. Mapa de Documentação	87
7.1.2. Carta de Declividade	87
7.1.3. Mapa de Substrato Rochoso	90
7.1.4. Mapa de Materiais Inconsolidados	92
7.1.5. Carta de Landforms	106
7.1.6. Mapa Pedológico	120
7.1.7. Mapa de Uso e Ocupação e o Mapa de Vegetação	122
7.1.8. Mapa de Evidências	126
7.1.9. Carta de Extensão do Menor Percurso da Água	129
7.1.10. Mapa de Águas Superficiais	132
7.1.11. Mapa de Amplitude de Relevo	134
7.1.12. Mapa de restrições legais do Código Florestal de 1965	137
<b>7.2. Documentos Cartográficos Interpretativos</b>	<b>140</b>
7.2.1. Carta de Suscetibilidade a Erosão	140
7.2.2. Carta de Potencial Agrícola	144
7.2.3. Carta de Estabilidade de Talude	149
7.2.4. Carta de Vulnerabilidade de Aquífero	152
7.2.5. Carta de Qualidade de Conservação	156
<b>8.ZONEAMENTOS GEOAMBIENTAIS</b>	<b>161</b>
<b>8.1. Carta de Zoneamento Geoambiental conforme Zuquette (1993); Zuquette et al., (1997)</b>	<b>161</b>
8.1.1. Carta de Potencial de Infiltração	162
8.1.1. Carta de Potencial de acúmulo de água	163
8.1.3. Resultados do zoneamento analítico	165
<b>8.2. Carta de Zoneamento Geoambiental conforme Cendrero et al. (1990)</b>	<b>172</b>
<b>9.DISSCUSSÕES E CONCLUSÕES</b>	<b>175</b>
<b>11.RECOMENDAÇÕES</b>	<b>180</b>
<b>12. REFERÊNCIAS</b>	<b>181</b>
<b>ANEXO I</b>	<b>196</b>
<i>(Mapa de Documentação)</i>	<b>196</b>
<b>ANEXO II</b>	<b>198</b>
<i>(Ensaio in situ e Laboratoriais)</i>	<b>198</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O homem ao longo dos últimos dois séculos vem explorando a Terra alterando profundamente suas características naturais, principalmente pelo planejamento inadequado ou sua ausência, na exploração e ocupação do meio físico. Assim, torna-se indispensável a utilização de mecanismos e instrumentos que orientem quanto aos seus potenciais, aptidões, restrições e fragilidades.

Deste modo, o zoneamento ambiental surge como uma ferramenta com a finalidade de caracterizar e zonedar o meio físico, biológico e antrópico, no sentido de indicar e avaliar os melhores usos do território frente ao uso e ocupação, preservando, conservando e potencializando o uso recursos naturais. Este foi preconizado pela Política Nacional do Meio Ambiente, como um dos seus instrumentos, destacando-se com uma ferramenta estratégica, essencial para o desenvolvimento, ordenamento, planejamento regional local, baseando-se nos pilares da sustentabilidade.

Atualmente existe uma série de tipologias de zoneamentos e metodologias para sua execução, dentre eles se destacam o Zoneamento Econômico Ecológico (ZEE), zoneamento geotécnico, zoneamento ambiental, zoneamento geoambiental. As metodologias são as mais diversas, se diferenciando pelo objetivo do zoneamento, pela forma de tratamento e escolha dos diversos atributos, escalas e na importância relativa ou absoluta das informações. Cendrero *et al.* (1990), por exemplo, constatou que as características geológicas e climáticas, o nível de ocupação humana e as atividades predominantes em cada região definirão que tipo de metodologia será utilizada.

Entretanto Dantas-Ferreira *et al.* (2008) verificou que as diferentes metodologias de zoneamento geoambiental/geotécnico e econômico-ecológico definem apenas unidades que são individualizadas em termos de caracterização ou de comportamento, mas não geram relações diretas como índices que permitam a adoção de medidas de gestão ambiental. Ainda, verificaram que atualmente os zoneamentos realizados, na sua maioria, buscam somente identificar áreas com restrições ambientais para os diversos tipos de usos. Sendo que, devem representar as potencialidades, aptidões, restrições de uma área, associados a políticas públicas calcadas no desenvolvimento sustentável.

Assim, a premissa desta pesquisa foi aplicar diferentes metodologias de Zoneamento Geoambiental na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão. A área de estudo apresenta grande interesse, pois nela se encontra a Estação de Tratamento e

Captação de Água Ribeirão do Feijão, contempla as Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais do Município de São Carlos (Lei Municipal 13.944 de 2006), ainda é uma importante área de recarga do Aquífero Guarani.

## **2. JUSTIFICATIVA**

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão é uma área importante para o município de São Carlos, pois aproximadamente 70% do seu território constitui uma área de recarga do aquífero Guarani e tem no seu curso principal uma das principais fontes de abastecimento de água potável do município (50% do abastecimento). Em vista ao relevante interesse ambiental da Bacia do Ribeirão Feijão, foi estabelecida à Lei Municipal 13.944 de 2006, a qual institui que esta bacia pertencente as Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais do Município de São Carlos.

Neste contexto justificou-se a elaboração de um zoneamento geoambiental pela necessidade de estudar os componentes do meio físico da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão com o intuito de subsidiar o planejamento e o ordenamento territorial desta bacia. Além disso, pela tentativa de englobar um arcabouço teórico e atualizado sobre o tema, verificar a forma das diversas metodologias existentes nacionais e internacionais, as experiências brasileiras no contexto das diferentes instituições: Universidades, União, Estado e Município

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo geral**

Elaborar duas cartas de Zoneamento Geoambiental da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão (São Carlos-SP), através de duas diferentes metodologias com o objetivo de compara-las. Uma foi elaborada por meio de uma abordagem sintética e outra através de uma abordagem analítica.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

- 1 – Elaborar um banco de dados da bacia a partir da compilação dos trabalhos anteriores realizados na área de estudo e outras informações coletadas durante o andamento da pesquisa;
- 2 – Levantar e obter os atributos/dados necessários para gerar os diferentes zoneamentos;
- 3– Obter parâmetros hidráulicos e de resistência dos materiais inconsolidados que influenciam no processo de infiltração;
- 4– Levantar e caracterizar os diferentes tipos de procedimentos de zoneamentos territoriais;
- 5– Caracterizar as diferentes unidades geoambientais quanto às restrições à ocupação descrevendo seus problemas e avaliando os melhores usos para tais áreas.

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1. Zoneamento Ambiental

O zoneamento é um instrumento antigo de compartimentação do espaço com a finalidade do desenvolvimento econômico e ordenação. É definido conforme Machado (1992) como a divisão do território em parcelas nas quais se autorizava determinadas atividades ou se interditava, de modo absoluto ou relativo, ou seja, se caracterizando como um instrumento aplicado somente a regulação do uso do solo urbano.

Entretanto, para Grinover (1989) esse zoneamento se mostra ineficiente na introdução da dimensão ambiental no processo de planejamento, em vista que não traduz de forma eficiente a dinâmica das relações de todo tipo e de todos os níveis as quais são estabelecidas no território.

Nesse contexto surge o zoneamento ambiental, sendo definido como a fragmentação controlada e ordenada do território em setores ou zonas, considerando os aspectos ambientais. O objetivo é proporcionar meios e condições para que o desenvolvimento e atividades econômicas de uma localidade possam ocorrer de forma eficaz e em consonância com a conservação do meio ambiente (SILVA, 2002).

Zacharias (2006) considera o Zoneamento Ambiental como uma estratégia política e metodológica, que compõem uma etapa do planejamento, e proporciona a definição de espaços segundo critérios de agrupamentos preestabelecidos. Tais agrupamentos representam as potencialidades, vocações, restrições, fragilidades, suscetibilidades, acertos e conflitos de um dado espaço em questão, sendo destinados ao desenvolvimento de atividades e conservação ambiental. Montañó (2002) ressalta que este instrumento tem a natureza técnico científica e possibilita aperfeiçoar o planejamento do uso do solo e sua conexão com as políticas públicas.

Montañó *et al.* (2007) conceituaram como o instrumento mais adequado para a obtenção de respostas amplas com relação à viabilidade da ocupação do território levando em consideração a sustentabilidade. Estes autores ressaltam ainda que este instrumento deve considerar tanto a relação dos fatores ambientais a serem apreciados como também a delimitação e identificação das áreas de influência e/ou conflitos.

Para Silva e Santos (2004) zoneamento ambiental significa:



“Identificar e delimitar as unidades ambientais em um determinado espaço físico de acordo com suas vocações e fragilidades. Estas unidades correspondem aos espaços que apresentam certa homogeneidade interna, em função de suas variáveis ambientais que, numa escala definida, são passíveis de serem delimitadas (SILVA e SANTOS, 2004, p.230).”

Assim de maneira geral observa-se que o zoneamento ambiental é um instrumento técnico político de fundamental importância, para o gerenciamento e planejamento do território. Pois, busca conciliar de forma harmônica o desenvolvimento econômico e a proteção ambiental, na ordenação e reestruturação do território, agrupando áreas homogêneas, as quais levam em conta características do meio físico, ecológicas, econômicas, social e políticas.

Portanto, permite uma análise integrada das vocações, restrições e fragilidades de uma região. Ao se conhecer a suscetibilidade e as aptidões do meio ambiente, o zoneamento ambiental possibilita a visualização e distribuição das áreas potenciais para implantação de atividades, uso restrito e conservação ambiental. Sendo que, as informações relativas ao zoneamento das unidades obtidas devem ser representar e reunidas em uma carta geral de zoneamento.

Todavia, o zoneamento não pode ser entendido como uma medida de contenção e restrição das atividades humanas ou apenas como a determinação de zonas, considerando apenas um elemento preponderante. Portanto deve ser visto como um mecanismo de reorganização do uso do solo a partir dos conhecimentos das potencialidades e limitações do local visando à efetivação das políticas de desenvolvimento sustentável (LIMA, 2008; SANTOS, 2004).

Para compreender as potencialidades e limitações, o zoneamento deve estar baseado numa abordagem interdisciplinar integrando as várias informações do meio físico, biótico, social e político. Deve considerar ainda, as relações de causa e efeito dos diversos elementos numa perspectiva temporal, de forma holística e sistêmica que permita diagnosticar e representar as unidades ambientais sob os princípios da integração e da interdisciplinaridade.

Desse modo, o zoneamento ambiental servirá de base para a gestão do território e do planejamento ambiental, permitindo que os objetivos e metas propostas por uma determinada gestão sejam alcançadas. Assim como, investimentos sejam

direcionados de forma que priorizem alternativas para o melhor aproveitamento e conservação do meio ambiente, consequentemente compatibilizando o desenvolvimento econômico e a qualidade ambiental.

Ao verificar as funções e importâncias Brasil (1991) *apud* Paula e Souza (2007, p.2980); Égler *et al.*(2012), elencaram as principais vantagens do uso do Zoneamento Ambiental:

1. Identificar as atividades antrópicas para cada setor da unidade ambiental e seu respectivo manejo;
2. Devido a metodologia do Zoneamento Ambiental ser flexível, permite que se adapte à definição e manejo de uma zona, e o números de parâmetros utilizados;
3. Ser um instrumento técnico de informação sobre o território, necessária para planejar a sua ocupação racional e o uso sustentável dos recursos naturais;
4. Prover uma informação integrada em uma base geográfica;
5. Classificar o território segundo suas potencialidades e vulnerabilidades;
6. Ser um instrumento político de regulação do uso do território;
7. Permitir integrar as políticas públicas em uma base geográfica, descartando o convencional tratamento setorializado de modo a aumentar a eficácia das decisões políticas;
8. Permitir acelerar o tempo de execução e ampliar a escala de abrangência das ações;
9. Produzir informações para o processo de tomada de decisão para ordenamento do território que auxiliam a compreensão do cenário atual e, consequentemente, favorecem a negociação entre as várias esferas de governo e entre estas, o setor privado e a sociedade civil, sendo assim um instrumento para a construção de parcerias; e
10. -Ser um instrumento do planejamento e da gestão para o desenvolvimento regional sustentável.

No que diz respeito à legislação brasileira sobre zoneamento, observou-se que antes de ser institucionalizada a PNMA, outras leis já abordavam o

zoneamento. A Lei Federal, nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979 abordava sobre o parcelamento de solos para fins urbanos. A Lei Federal, nº 6.803, de 2 de julho de 1980, dispunha sobre a orientação as questões ambientais e diretrizes básicas para o zoneamento industrial nas áreas críticas de poluição.

Assim, a Lei Federal, nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 instaurou a PNMA, cuja tem o objetivo de [...] preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana [...]. Dentro da referida são estabelecidos uma série de instrumentos executivos, dentre eles o Zoneamento Ambiental citado no Art. 9º, inciso II.

A regulamentação do Zoneamento ambiental somente ocorreu 20 anos depois da publicação da PNMA, através do decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002, sob o título de Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE). O art. 2º deste decreto estabeleceu o ZEE como um instrumento de organização do território a ser obrigatoriamente seguido na implantação de planos, obras e atividades públicas e privadas, estabelecendo medidas e padrões de proteção ambiental destinados a assegurar a qualidade ambiental, dos recursos hídricos e do solo e a conservação da biodiversidade, garantindo o desenvolvimento sustentável e a melhoria das condições de vida da população.

Entretanto, mesmo com a regulamentação do zoneamento ambiental pouco se avançou, no sentido de clarear e solidificar qual é o papel deste instrumento na gestão ambiental, seja no que diz respeito a sua integração com outros instrumentos de gestão previsto ou quanto a sua aplicação mais efetiva em escalas detalhadas (MONTAÑO *et al.*, 2007). Desse modo, a existência de um zoneamento ambiental de forma consolidada permitiria um dinamismo muito maior na integração e aplicação de outros instrumentos e mecanismos da política ambiental, visto que este forneceria a base, ou seja, o conhecimento global da área de forma sistemática (SOUZA, 2000).

#### **4.2. Zoneamento geoambiental**

Nos zoneamentos geoambientais nota-se a crescente necessidade de se conhecer profundamente o geoambiente com o intuito de resolver os problemas oriundos das atividades humanas sobre o meio. O geoambiente pode-se entendido como o ambiente acima da litosfera que é afetado pelas atividades humanas. Este é caracterizado pelos elementos naturais que compõem o meio físico, como a fisiografia,

geologia, geomorfologia, pedologia, os aspectos climáticos e por toda atividade antrópica que infringe sobre o mesmo, afetando tanto o meio em que vivem como o circundante (ASWATHANARAYANA, 1995; BROBOWYSKY, 2002; HRASNA, 2002).

Em vista disso, o levantamento e avaliação de algumas características do meio físico tem se destacado como uma fonte importante para os estudos geoambientais, pois contribui com a geração de dados, e auxiliam na resolução, previsão e prevenção de problemas ambientais (LOPES e PEJON, 2002).

O termo geoambiental, adotado pela *International Union of Geological Sciences* - IUGS denomina a atuação dos profissionais das geociências em meio ambiente. Essa atuação contempla aplicações dos conhecimentos técnicos do meio físico aos diversos instrumentos e mecanismos de gestão ambiental, utilizando a cartografia (SILVA e DANTAS, 2010).

Atualmente, diversos nomes são encontrados na literatura para mapas com estudos do meio físico: Mapa de Ordenamento do Território, Mapa de Recursos Naturais, Mapa de Zoneamento Geoambiental, Diagnóstico Geoambiental, Avaliação Geoambiental, Mapa Geológico-Ambiental, Mapa Geocientífico, Mapa Geoambiental, Mapa Geotécnico e Mapa de Geodiversidade. A terminologia adotada para essa pesquisa será zoneamento geoambiental.

A diferença de cada um dos mapas pode variar por uma série de fatores. Dentre os critérios que os diferenciam podem ser citados: o objetivo do mapa como o de recursos naturais, que demonstra os elementos do uso do espaço, enfocando principalmente os recursos naturais; as bases metodológicas utilizadas como o mapa geotécnico que se apoia na engenharia de geologia para elaboração dos seus mapas; os atributos utilizados como o mapa-geológico ambiental que usa a geologia como base para a sua elaboração.

O zoneamento geoambiental se enquadra no ramo da geologia ambiental. É elaborado a partir de uma série de informações, proporcionando assim parâmetros e referências para uma reavaliação permanente do processo de planejamento (DIEGUES, 1989) e a formulação de estratégias para gestão ambiental. Dentre as principais aplicações possíveis podem ser citadas: plano de uso ocupação do espaço, uso dos recursos, monitoramento ambiental, controle de degradação, obtenção e identificação das alterações gradativas das condições geoambientais em relação a solos e vegetação.

Desse modo, o zoneamento geoambiental pode ser definido como o estudo, diagnóstico e prognóstico de uma determinada região, considerando as características do meio físico (geologia, geomorfologia, hidrologia, clima, solo, etc.), com a finalidade de ordenação do território e seus usos. Este tipo de estudo permite a caracterização das áreas, no que diz respeito às suas restrições e aptidões para os diversos tipos de atividades, além de indicar áreas com maior qualidade ambiental, com a finalidade de preservação e conservação.

Grecchi (1998) considera o zoneamento geoambiental como um instrumento de auxílio no planejamento e no ordenamento territorial, seja em escala regional ou local. A autora ressalta que estudos desta natureza possibilitam a caracterização de áreas quanto às suas restrições e aptidões às atividades já em desenvolvimento e/ou prováveis de serem implantadas, além de indicar porções do terreno com uma maior qualidade ambiental que possam ser preservadas.

O zoneamento geoambiental corresponde a um trabalho de base para o ordenamento territorial, pautado num diagnóstico do meio físico e na identificação dos impactos ambientais advindos da pressão humana sobre as diversas unidades geoambientais reconhecíveis (BRANDÃO *et al.*, 2003).

Cardoso (2002) define Zoneamento geoambiental como a um diagnóstico físico-biológico, cujo principal objetivo é individualizar zonas homogêneas com características semelhantes, permitindo criar diretrizes de planejamento do território e elaborar prognósticos. Ressalta-se que as variáveis mais utilizadas para determinação das zonas ou unidades geoambientais, devam estar relacionadas com aspectos geológicos, fisiográficos, morfotectônicos, morfoestruturais, de alteração intempérica, pedológicos, bioclimáticos e de uso e ocupação do solo.

Santos (2004) conceitua o zoneamento geoambiental como a compartimentação das unidades geoambientais<sup>1</sup> baseadas em características homogêneas, as quais são obtidas a partir da integração das informações do meio

---

1-O termo unidade geoambiental foi instituído no decreto nº 5.300 de 7 de dezembro de 2004 que trata do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), no art.2, versículo XV que define como porção do território com elevado grau de similaridade entre as características físicas e bióticas, podendo abranger diversos tipos de ecossistemas com interações funcionais e forte interdependência.

natural associado às atividades antrópicas, através da concepção geossistêmica<sup>2</sup>, o que permite classificar as zonas de acordo com a capacidade de suporte e tolerância às intervenções humanas. A mesma autora enfatiza que o zoneamento geoambiental deve ser interpretado como uma estratégia metodológica, constituindo-se de uma etapa de um planejamento.

Contudo, observa-se que o zoneamento geoambiental não deve consistir somente na sobreposição de planos de informações, mas na integração destes. Este simples cruzamento dos atributos e suas classificações adotadas, apenas representariam um mosaico o qual não expressaria os processos e as relações existentes entre as partes, sendo que essas relações são importantes, pois definem a dinâmica do ambiente (MORAES, 2007).

Assim, o zoneamento geoambiental se configura como um trabalho técnico-acadêmico, não estando contemplado na legislação ambiental brasileira vigente, como o agroecológico, ambiental e ecológico econômico. Entretanto observa-se que este tem sido um dos tipos de zoneamento mais utilizados pelas equipes que realizam trabalhos com a perspectiva ambiental. Logo, por possuir diversas finalidades de aplicação, proporcionou sua difusão como um instrumento relevante de gestão do território (SILVA e SANTOS, 2004).

No que diz respeito os estudos de natureza geoambiental, Sobreira (1995), aponta que existem três formas de abordagens distintas: planejamento e ordenamento territorial, análise de perigos e riscos naturais e por fim os de estudos de impactos ambientais. O autor salienta que mesmo que as abordagens sejam distintas, apresentam-se interligadas, pois tem como escopo a intervenção do homem no meio ambiente.

Cendrero (1988) corrobora que os estudos de natureza geoambiental devem atender três etapas:

1. Planificação: análise e diagnóstico do meio físico, e recomendações de uso em função dos limites e potencialidades;

---

2- O geossistema é o resultado da combinação de fatores geológicos, climáticos, geomorfológicos, hidrológicos e pedológicos associados a certo(s) tipo(s) de exploração biológica. Tal associação expressa a relação entre o potencial ecológico e a exploração biológica e o modo como esses variam no espaço e no tempo, conferindo uma dinâmica ao geossistema. Por sua dinâmica interna, o geossistema não apresenta necessariamente homogeneidade evidente. Na maior parte do tempo, ele é formado de paisagens diferentes, que representam os diversos estágios de sua evolução. (DIAS e SANTOS, 2007).

2. Ordenamento territorial: normas estabelecidas com base na etapa anterior;
3. Manejo e gestão: implantação, acompanhamento e controle das atividades de usos do território.

No que tange as metodologias de zoneamentos geoambientais, estas seguem uma base conceitual semelhante, entretanto se divergem por questões metodológicas, que são adaptadas a característica da área e aos objetivos do estudo.

### **4.3. Geoprocessamento Aplicado no Zoneamento Geoambiental**

Para a implementação do zoneamento geoambiental e avaliação e gestão integrada de bacia é de fundamental importância à utilização de ferramentas e ciências como o geoprocessamento e o Sistema de Informação Geográfica (SIG). Pois através destas ferramentas é possível coletar, integralizar, tratar, armazenar os dados e representar as informações espaciais de forma mais rápida. Além disso, Silva (2006) e Durga Rao e Satish Kumar (2004) observaram que os SIG hoje têm sido uma das ferramentas mais eficazes nos processos de pesquisa, planejamento econômico, territorial e ambiental, e instrumento de tomada decisão e identificação de estratégias de gestão. Vários trabalhos com a finalidade de zoneamento geoambiental ou caracterização do meio físico vem ressaltando a importância da utilização do SIG e do geoprocessamento (REMONDO *et al.*, 2008; RODRIGUEZ *et al.*, 2009; FELL *et al.*, 2008; LISBOA, 2008; DE NARDIN, 2009; MOURA, 2009).

O geoprocessamento pode ser definido uma disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de dados com referência espacial (CÂMARA E MEDEIROS, 1998), assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações (ROSA, 2005).

As aplicações utilizando o geoprocessamento são inúmeras e nas mais diversas áreas dentre as quais se destacam a Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional (CÂMARA *et al.*, 2001).

Enquanto isso, o SIG é definido como um sistema automatizado e computadorizado utilizado para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, estes representando fenômenos e objetos os quais tem como característica inerente a localização geográfica (CÂMARA *et al.*, 1996).

Segundo ROSA (2005), SIG é:

“um conjunto de ferramentas computacionais composto de equipamentos e programas que, por meio de técnicas, integra dados, pessoas e instituições, de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, o processamento, a análise e a oferta de informação georrefenciada produzida por meio de aplicações disponíveis, que visam maior facilidade, segurança e agilidade nas atividades humanas referentes ao monitoramento, planejamento e tomada de decisão relativas ao espaço geográfico” (ROSA, 2005, p.81).

Em vista que o zoneamento geoambiental necessita integralizar uma grande quantidade de informações, o SIG se torna uma ferramenta de fundamental importância, pois possibilita realizar diversas operações como: processar extensas bases de dados e a criação de cenários; a capacidade de representar a distribuição espacial dos resultados; e a visualização dos resultados na forma estática ou cartográfica, como temporal ou dinâmica (ALATORRE e BEGUERÍA, 2009). Além disso, Oliveira (2011) fez um apanhado geral de outros autores de outras possibilidades de aplicações, dentre as quais são o monitoramento da cobertura vegetal e de mudanças no uso do solo, elaboração de mapas dos atributos do meio físico tanto com dados qualitativos e quantitativos, gerenciamento e adição de novas informações, como um sistema de suporte para a tomada de decisão.

#### **4.4. A importância da gestão integrada de bacias no zoneamento Geoambiental**

Uma Bacia Hidrográfica (BH) é definida como sendo a área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial, formada por um conjunto de canais de escoamento inter-relacionados que compõe a drenagem fluvial. Sendo que a quantidade de água que chega aos cursos fluviais irá depender do tamanho da área ocupada pela bacia, da precipitação total e das perdas devidas à evapotranspiração e à infiltração (CHRISTOFOLETTI, 1974).

Seguindo a mesma linha de definição Silveira (1993); Barrela (2001) Ali (2011) as BH são áreas geográficas, onde todo escoamento superficial é drenado por um rio e seus afluentes, lagos, ou mares, formada nas regiões mais altas do relevo



por divisores de água, onde as águas das chuvas, escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático.

Rocha (1997) considera a BH como unidade geoambiental de estudo sendo conceituada sobre o prisma hidrológico, como território que apresenta uma rede de drenagem comum e delimitada pelos divisores de águas superficiais e subterrâneas, constituindo-se como um importante indicador dos impactos ocorridos na composição da paisagem. Dentre os impactos o autor cita as mudanças na estruturação, forma, ganho ou perda de canais, decorrentes da intensificação dos processos erosivos.

Para Christofolletti, (1999) a BH é um sistema aberto, ou seja, ocorre uma constante troca de energia e matéria, tanto recebendo (input) como perdendo (output). A origem da energia é fornecida pela atuação do clima e da tectônica local, e saída através saída de água, sedimentos e solúveis (CUNHA e GUERRA 1996).

Enquanto Botelho (1999 p.269) acrescenta a questão das inter-relações presente na BH: “A Bacia Hidrográfica é uma unidade natural de análise da superfície terrestre, onde é possível reconhecer e estudar as inter-relações existentes entre os diversos elementos da paisagem e os processos que atuam em sua esculturação”. O autor ressalta que cada bacia é única, com características ecológicas, geológicas, hidrológicas que as caracterizam como unidade de paisagem operacional amplamente usada para o planejamento e gestão integrada, buscando manter a qualidade ambiental e o desenvolvimento sustentável. Além disso, destaca que a bacia hidrográfica considera critérios geomorfológicos, levando vantagem sobre as outras unidades de planejamento definidas por outros critérios, pois os outros não apresentam limites físicos tão bem definidos.

Botelho e Silva (2004) observando a aplicabilidade como unidade de gestão conceituaram a BH, como uma célula básica de análise ambiental, que permite conhecer e avaliar seus diversos componentes e os processos e interações que nela ocorrem.

Nesse sentido, nota-se uma tendência dos planejadores utilizarem a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão integrada. Isto se dá em virtude desta permitir a visualização da dinâmica dos vários elementos do meio físico de forma integrada. Todavia observa-se a ênfase na questão dos recursos hídricos, sendo que é necessário levar em consideração outros componentes como os do meio físico, socioeconômico e biótico para que ocorra o planejamento de forma global (SOUZA e MEDINA, 1997; ROSS e DEL PETTRE, 1998).

O Brasil através da Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1998 estabeleceu a utilização da Bacia Hidrográfica como unidade de planejamento e gestão. Entretanto de acordo Bournon e Berthon (1993) a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento não é uma unanimidade internacional, por exemplo, Áustria, Bélgica, Dinamarca utilizam os limites administrativos como unidades de planejamento. Dentre os que usam a BH como unidade planejamento destacam-se Estados Unidos, França, Espanha e Reino Unido.

Apesar de não ser uma unanimidade entre os países como unidade de planejamento, a bacia hidrográfica é considerada por vários pesquisadores como (MONTAÑO, 2002; FONTES, 2004; SILVA, 2005; ALI, 2011) a unidade territorial mais adequada para uma gestão ambiental integrada e pautada no desenvolvimento sustentável.

Prochnow (1990) salienta que a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento explica-se não apenas porque a bacia constitui uma unidade física bem caracterizada e definida, mas também porque não há qualquer área de terra, por menor que seja que não se integre a uma bacia hidrográfica. Guerra e Cunha (1996) acrescentam que, pelos elementos e formas das bacias estarem em constante dinamismo, em função das mudanças de entrada e saída de energia, podem-se identificar mudanças que geram alterações e ou impactos ambientais a jusante e nos fluxos de energia.

Entretanto no processo de análise é importante considerar alguns fatores como a avaliação e gestão os limites político-administrativos, a qual se encontra inserida as BH. Pois, o limite da bacia obedece a fatores naturais e no planejamento e na gestão das bacias serão utilizados dados socioeconômicos, que se baseiam nos limites administrativos (De NARDIN, 2009).

Para estudos de natureza geoambiental, a adoção da bacia hidrográfica é de fundamental importância, uma vez que “as feições e os processos que atuam no terreno tem grande ligação com regiões da bacia e muitas vezes estão condicionadas as variáveis do meio físico como a forma da superfície e do fluxo da água que entra na bacia, associados materiais inconsolidados e rochosos” (FONTES, 2004, p.58).

Desse modo, ao se considerar informações do zoneamento geoambiental na gestão integrada de bacias hidrográficas, permite que o gestor e planejador compreendam de forma holística as relações e inter-relações dos elementos presentes e do balanço energético da bacia. Por consequência, conhecerá as

fragilidades e aptidões do meio físico e os possíveis impactos causados pelas atividades antrópicas, assim podendo intervir de forma sistemática, evitando ou reduzindo os impactos ambientais, e aproveitando as potencialidades da BH.

#### **4.5. Metodologias para elaboração de Zoneamentos**

No Brasil os grupos de procedimentos mais utilizados na elaboração de zoneamento territoriais são: Mapeamento Geotécnico e Geoambiental, Zoneamento Geoambiental e Zoneamento Ecológico - Econômico. Dantas-Ferreira *et al.* (2008) levantaram uma série de metodologias de zoneamento, com o objetivo de mostrar a diversidade existente entre os diferentes tipos de métodos. De maneira sintética estes autores resumiram as principais metodologias de zoneamento contendo suas principais informações e aplicações, conforme a Tabela 1.

**Tabela 1-** Diversas metodologias de zoneamento e suas possibilidades de aplicação

Metodologia	País	Base	Atributos definidos	Resultados	Finalidades	Possibilidade
IAEG (1976)	Diversos	Meio físico	Não	Zoneamento	Diversas escalas	Zoneamento Geotécnico
PUCE (1976)	Austrália	Meio físico	Sim	Zoneamento hierárquico	Escalas pré-definidas	Zoneamento Geotécnico /Geoambiental
IPT (1980)	Brasil	Meio físico e antrópico	Não	Zoneamento	Variadas	Zoneamento Geotécnico
Zuquette (1987)	Brasil	Conjunto de atributos	Sim	Zoneamento tipológico	Maiores que 1:100.000	Zoneamento Geotécnico /Geoambiental
Cendrero (1975)	Espanha	Meios físico, Biológico e antrópico.	Sim	Mapa geológico-ambiental	Diversas escalas	Zoneamento Geoambiental
Matula e Leko (1980)	República Tcheca	Meios físico, Biológico e antrópico (Fatores geoambientais).	Não	Zonas	Escala de Detalhe	Geotécnico/ Vulnerabilidade. ambienta
Cendrero (1983)	Espanha	Mapa geocientífico (Meios físico, Biológico e antrópico)	Não	Mapas de riscos naturais	Avaliação e planejamento do meio	Zoneamento Geoambiental
Alonso Herrero e Cendrero (1988)	Espanha	Mapas temáticos (bióticos e abióticos)	Sim	Zoneamento hierárquico	Diversas escalas	Zoneamento Geoambiental
Cendrero (1990)	Espanha	Meios físico, Biológico e antrópico. (Mapa Geocientífico)	Sim	Unidades Morfodinâmicas	Diversas escalas	Zoneamento Geoambiental
Francês <i>et al.</i> (1992)	Espanha	Meio físico, biológico e antrópico.	Não	Carta geoambiental	Escala<1:50.000	Zoneamento Geoambiental
Rivas <i>et al.</i> (1994)	Espanha	Meio físico, biológico e antrópico.	Sim	Unidades homogêneas	Escala< 1: 50.000	Zoneamento Geoambiental
Sobreira (1995)	Portugal	Meios físico, Biológico e antrópico.	Sim	Carta geoambiental	-----	Zoneamento Geoambiental
Vitola (1996)	Espanha	Meios físico, Biológico e antrópico.	Sim	Unidades de ambientais	Escalas	Zoneamento Geoambiental
Dai <i>et al.</i> (2001)	China	Meio físico (SIG)	Sim	Zoneamento hierárquico	-----	Zoneamento Geoambiental
Vitola <i>et al.</i> (2002)	Espanha	Meio físico e antrópico	Sim	Mapa geoambiental	-----	Zoneamento Geoambiental
Zuquette (1993)	Brasil	Conjunto de atributos	Sim	Zoneamento hierárquico	Maiores que 1:100.000	Zoneamento Geotécnico /Geoambiental
Vedovello (2000)	Brasil	SIG, banco de dados e Geomorfologia.	Não	Cartografia geotécnica	-----	Zoneamento Geomorfologico
Dantas (2000)	Brasil	Geobiofísicos e geoeconômicos	Sim	Carta geoambiental	-----	Zoneamento Geoambiental
Diniz (1998)	Brasil	Aproveitamento de informações	Não	Cartografia geológico-geotécnica	-----	Zoneamento Geoambiental
ZEE CPRM	Brasil	Aproveitamento de informações	Não	Conjunto de Mapas e cartas	Diversas escalas	Zoneamento Ecológico-econômico
ZEE MMA (1997)	Brasil	Aproveitamento de informações	Não	Zoneamento descritivo	Diversas escalas	Zoneamento Ecológico-econômico

**Fonte:** Dantas Ferreira *et al.* (2008)

#### 4.6.1 Metodologias de Zoneamento Geoambiental

Existem uma série de metodologias utilizadas em trabalhos que objetivam realizar o zoneamento geoambiental ou estudos geoambientais. Estas normalmente se diferenciam pela sua origem, a área onde foi empregada, o nível de ocupação humana e as atividades predominantes, os atributos do meio físico considerados, a classificação dos atributos utilizados, a forma de obtenção dos atributos, as finalidades, as escalas adotadas e por fim os documentos cartográficos obtidos.

Faria (1989), apud Sobreira, (1995) salienta que as metodologias podem ser também classificadas em dois grupos básicos. O primeiro que contém as metodologias que apresentam as características geológicas fundamentando a caracterização de domínios e obtenção de aptidões do terreno. O segundo onde os aspectos geológicos não são considerados de maneira aprofundada. O mesmo autor ressalta que ambos os grupos apresentam um fator comum que é a representação dos territórios por meios de mapas, os quais serviram de base para orientação e tomada de decisão dos planejadores e gestores.

Cendrero e Diaz de Terán (1987) consideram ainda que os procedimentos metodológicos empregados na elaboração dos mapas geoambientais podem ser enquadrados ainda em duas linhas de metodologia gerais. A analítica onde a elaboração de mapas temáticos é feita de forma separada para depois serem elaborados os mapas de zoneamento e a sintética onde a elaboração dos mapas é feita através da compartimentação em unidades homogêneas, as quais são avaliadas previamente para em seguida se obter a carta de zoneamento.

Dentre algumas metodologias que se baseiam na caracterização do meio físico para a obtenção de um zoneamento, destacam-se Cendrero (1975); Grant (1977); Cendrero *et al.* (1990); Sobreira (1995); e Fontes (2004).

##### 4.5.1.1 Metodologia de Cendrero (1975)

A metodologia de Cendrero (1975) foi executada em Santander no norte da Espanha, é baseada na comparação das feições geológicas e ambientais com a capacidade de suporte das unidades de água e uso da terra, elaborando assim, um mapeamento geológico-ambiental.

Neste mapeamento a compartimentação das unidades geoambientais são definidas em função dos processos ativos, *landforms*, propriedades físicas dos materiais (substrato rochoso e depósitos superficiais), comunidades biológicas e influencia antrópica. Podendo ainda ser utilizados dados de produtividade agrícola e socioeconômicos para o

melhor entendimento do meio físico, conseqüentemente um planejamento do meio mais eficiente.

A capacidade das unidades é definida em termos de atividades humanas ou pelo uso das mesmas, sendo avaliadas através de uma matriz elaborada por Brown et. al. (1971) e medidas em termos de capacidades de suporte para sustentar os impactos derivados dessas atividades. Cendrero (1975) acrescenta que informações quantitativas adicionais, em especial sobre propriedades físicas e taxas de processos ativos, são essenciais para uma definição mais precisa das unidades ambientais.

O produto final desta metodologia é a elaboração de um mapa geológico ambiental que pode ser utilizado no planejamento através da definição de unidades para disposição de resíduos sólidos, parques de conservação, etc.

#### 4.5.1.2. Metodologia aplicada por Sobreira (1995)

A metodologia elaborada por Sobreira (1995) foi aplicada no conselho de Sesimbra em Portugal, onde foi gerada uma carta geoambiental sintética. A metodologia considera os aspectos geológicos de forma mais profunda, e busca quantificar determinadas propriedades dos terrenos e características de processos geodinâmicos.

O mapeamento realizado é fundamentado em quatro etapas, que podem ser vistas na Tabela 2 a seqüência que elas ocorrem.

**Tabela 2-**Etapas de execução da metodologia de Sobreira (1995)

Etapa	Meio de elaboração
<i>1ª Etapa- Caracterização Básica do meio físico</i>	
(a) - Carta Litológica	Trabalhos cartográficos existentes e de trabalho de campo
(b) - Carta Geomorfológica	Compartimentação em unidades, fundamentando-se em análises de drenagem, declividade e outros aspectos geomorfológicos
<i>2ª Etapa- Análise e caracterização dos recursos naturais</i>	
(a) Uso e ocupação do solo	A partir de uma Carta de Aptidão à construção para área inteira de estudo, e uma carta geotécnica, somente para a porção com maior índice de ocupação
(b) Água subterrânea	Análises químicas de poços de captação
(c) Recursos Minerais	Através de dados bibliográficos e dados de extração levantados
(d) Áreas de interesses científico, cultural e paisagístico	São definidas por sua raridade e singularidade, devendo possuir condições únicas de observação e apreciação
<i>3ª etapa caracterização dos perigos geológicos e das susceptibilidades do meio aos efeitos das catástrofes naturais</i>	
(a) Movimentos de vertentes	Quantificação da taxa de recuo das falésias litorâneas
(b) Erosão hídrica	Elaboração da carta de susceptibilidade à erosão obtida através do cruzamento da carta de litologia, declividade, densidade de drenagem e o uso atual do solo
(c) Sismos	Dados do catálogo sísmico nacional, além de utilizar as cartas de perigos sísmicos existentes.
<i>4ª etapa – Carta geoambiental de caráter sintético</i>	
Carta geoambiental	Conhecimento da área, análise e cruzamento dos produtos obtidos nas etapas anteriores com as atividades instaladas e as possíveis de se instalar, na forma de uma matriz.

**Fonte:** Adaptado de Sobreira (1995)

#### 4.5.1.3. Metodologia de Fontes (2004)

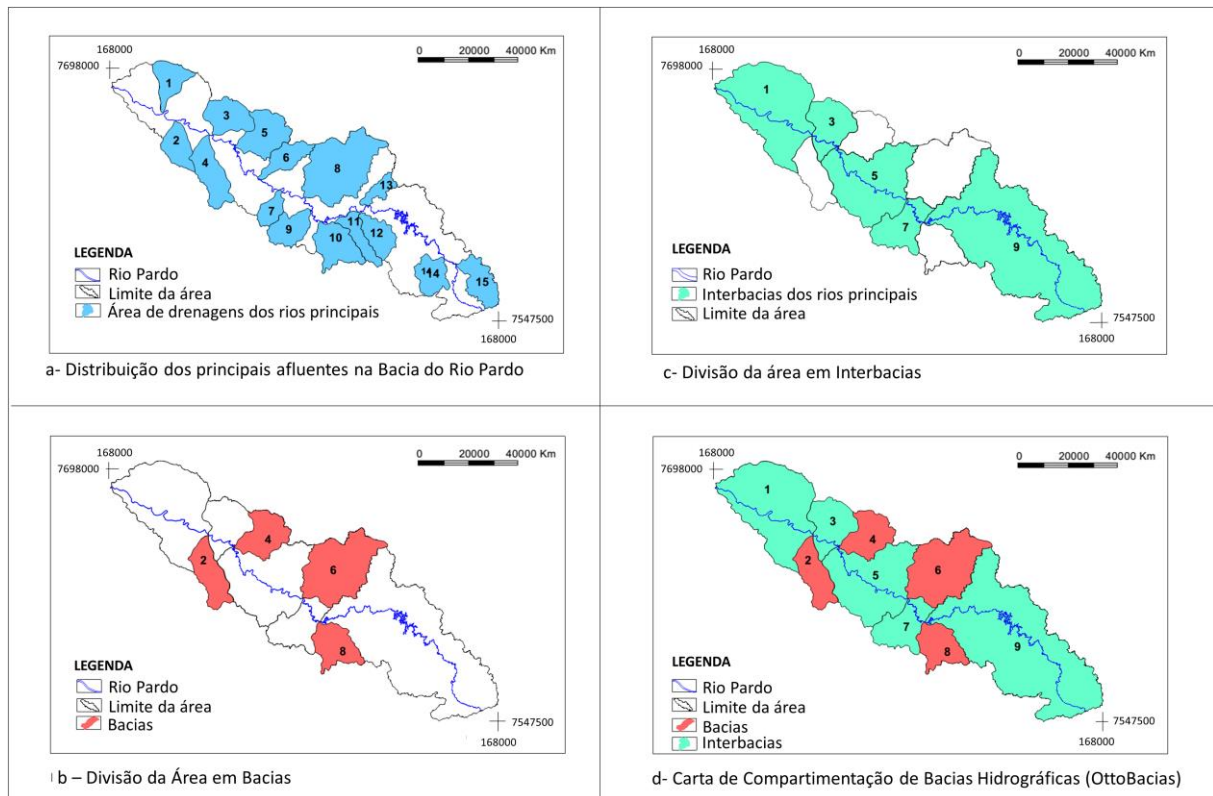
A metodologia de Fontes (2004) foi aplicada na Bacia do Rio Pardo. É baseada na cartográfica geotécnica e propõe adoção de unidades de Ottobacias elaborada por Pfafstetter (1987), como base para compartimentação do terreno e análise do meio físico, segundo um nível de homogeneidade.

As informações dos atributos foram obtidas através de técnicas de cartografia geotécnica e são analisadas em cada uma das unidades. Os atributos utilizados nesta metodologia foram substrato rochoso, materiais inconsolidados, declividade, drenagem e *landforms*.

A compartimentação seguiu os seguintes passos, as unidades que apresentassem pelo menos 70% quantos aos seus atributos analisados, foram subdividas até um nível de homogeneidade. Em seguida as Ottobacias obtidas foram reagrupadas com a

finalidade de obter as unidades de compartimentação, respeitando os critérios de semelhanças entre elas de pelo menos de 70% de homogeneidade dos atributos analisados. Na Figura 1 apresenta os passos de compartimentação das Ottobacias.

**Figura 1-** Passos da compartimentação das ottobacias.



#### 4.5.1.4. Metodologia de Cendrero *et al.* (1990)

A metodologia de Cendrero *et al.* (1990) é baseada no mapeamento geocientífico. Ela consiste na identificação e mapeamento hierárquico de unidades integradas, que partem de unidades maiores, chegando a unidades mais detalhadas. Sua aplicação ocorreu na Espanha (na costa da Província de Valencia, e na Ilha Gran Canaria).

A metodologia prevê a geração de três tipos de documentos cartográficos: Mapas descritivos básicos, Mapa de diagnóstico e Mapa de Síntese.

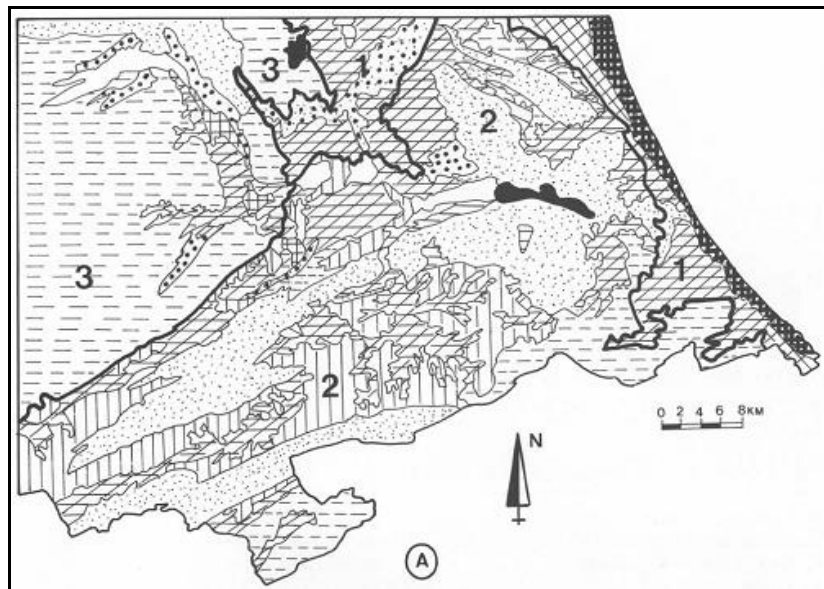
##### ➤ Mapas descritivos

Os mapas descritivos buscam refletir os elementos do terreno (relevo, declividade, substrato rochoso, depósitos superficiais, solos, clima, vegetação etc.) e prover o máximo de informação possível de informações sobre uma série de parâmetros ambientais.



Nestes mapas ocorre a divisão hierárquica das unidades. As maiores unidades levam em consideração as principais unidades geológicas e terão como propósito o planejamento regional. Em seguida as unidades são divididas em ambientes morfodinâmicos (MD) (em alguns casos em subambientes), os quais são definidos baseados no clima, elemento morfoestruturais e topográficos tendo como propósito o planejamento semi-detalhado. Na Figura 2 é apresentado o exemplo dos ambientes definidos pelo autor para a região de Valência.

**Figura 2-** Ambientes MD de Valência, onde: 1 representa as Planície Costeira; 2 os vales e serras pré-béticas; 3 o maciço de Caroch.



**Autor:** Cendrero *et al.* (1990)

Após isso, os ambientes morfodinâmicos são divididos em sistema morfodinâmicos, estes sendo baseados nos seguintes atributos: landforms, substrato rochoso, depósitos superficiais, solos, processos geomorfológicos e aptidão para uso. A divisão mais detalhada corresponde unidades morfodinâmicas, cuja considera a litologia, solos, geomorfologia, processos ativos, vegetação e uso do solo.

#### ➤ Mapas de diagnósticos

Os mapas de diagnósticos são resultados da avaliação dos mapas descritivos, onde os mapas resultantes são: risco geológico, aptidão agrícola, grau presente de erosão, potencial de erodibilidade e qualidade de conservação. A seguir cada um desses mapas será

detalhado, entretanto ressalta-se que o autor apenas sugere estes métodos para obtenção destas cartas, permitindo assim a adoção de métodos locais que reflitam melhor a realidade de onde está se aplicando o zoneamento.

#### 1- Risco geológico

Para gerar a carta de risco geológico é necessário ter-se uma série de informações dentre as quais são: vulnerabilidade das águas subterrâneas, estabilidade de talude e probabilidade de inundação. A metodologia prevê outras informações como sismicidade, subsidência e colapso, e processos costeiros.

A Vulnerabilidade de água subterrânea será definida segundo autor baseada na característica geológica do local aonde será realizado o mapeamento, aonde as classes vão variar de muito vulnerável a pouco vulnerável.

Para a avaliação da instabilidade de talude o autor propõem duas formas. A primeira é fundamentada somente em dois parâmetros (litologia, estrutura das formações geológicas, e declividade). Ambos os parâmetros são classificados em três termos e combinados entre si obtendo 5 classes (muito baixa, baixa, média, alta e muito alta estabilidade).

A segunda forma é através do uso de fotografias aéreas na identificação e mensuração de áreas afetadas ou com probabilidade de ocorrência, correlacionando com seguintes dados: declividade, substrato rochoso, vegetação e clima. Propõem também a utilização da formula abaixo para a quantificação do risco.

$$I_i = (s_i/S) / (a_i/A)$$

onde:  $I_i$  = índice de instabilidade por atributo  $i$  ou combinação de atributos;  $s_i$  = área afetada pelos escorregamentos sobre  $i$ ;  $S$  = área total afetada pelo escorregamentos;  $a_i$  = área coberta pelo atributo  $i$ ;  $A$  = área total estuda.

Após a obtenção dos índices as unidades serão classificadas e diferenciadas segundo seu grau de risco, indo do mais alto a grau ao mais baixo grau de risco.

A representação do risco de enchentes será apresentada da seguinte forma, o alto risco corresponde as unidades onde são alagadas mais de 10 vezes por século, o médio risco de 2 as 10 vezes e o baixo risco menos de 2 vezes.

## 2- Aptidão agrícola

A geração do mapa de aptidão agrícola é balizada nos seguintes fatores limitantes: erosão, declividade, profundidade efetiva, afloramentos, pedregosidade, salinidade, alcalinidade, limitações químicas (C.E.C., pH, % Matéria orgânica, % CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>), textura-estrutura-permeabilidade, excesso de água, falta de água e a presença de gelo. As classes são determinadas pelo fator mais limitante e os outros servindo para definir as subclasses.

## 3- Grau presente de erosão

A carta do grau presente de erosão pode ser obtida de duas formas:

a) A primeira através de uma análise qualitativa, onde são classificados e ponderados uma série de fatores (torrencialidade, solos, declividade, substrato rochoso, vegetação), conforme suas características. Em seguida realiza-se uma soma dos valores para cada um dos atributos, e divide-se em classes de grau de erosão

b) A segunda forma é quantitativa, calca-se na *Universal Soil Loss Equation* (U.S.L.E) (WISCHMEIER AND SMITH 1965,1978) a qual estima a perda de solo por erosão laminar. A fórmula utilizada para a quantificação é:

$$A=R \times K \times LS \times C \times P$$

Onde: R é a pluviosidade; K a erodibilidade dos solos; LS o comprimento de rampa e a declividade; C cobertura vegetal; P práticas conservacionistas. As classes serão estabelecidas conforme os valores obtidos para cada região.

## 4- Mapa de qualidade para a conservação

O mapa de qualidade para a conservação é baseado na ponderação dos atributos visando o valor da conservação. Os fatores considerados são: a vegetação, fauna, geologia/geomorfologia/solos, proteção das águas subterrâneas e paisagem visual.

Os critérios para a avaliação da vegetação são abundância de vegetação, proximidade do clímax da vegetação, grau de transformação da unidade com intervenção humana e a presença de singularidades botânicas.

Os critérios utilizados para fauna são presença de singularidades, tipo de cobertura vegetal, grau de influência humana na unidade, presença de características geomorfológicas que proporcionem o desenvolvimento e conservação da fauna (relevo acidentado, falésias).

O valor para conservação dos elementos geológicos, geomorfológicos e pedológicos é baseado nos seguintes critérios: sucessões vulcano estratigráficas, tipo de rochas incomuns, crateras de vulcões bem preservadas e afloramentos em boas condições para observação.

No que diz respeito às unidades que apresentam sítios de interesse especial, nesta devem ser acrescidas um ponto na classificação.

O valor das unidades para a proteção dos aquíferos seguirá a seguinte classificação: (1) unidades de muito baixa vulnerabilidade; (2) unidades cujas, podem ser afetadas somente localmente por poluição; (3) unidades com moderada vulnerabilidade; (4) unidades com alta vulnerabilidade, porém com aquíferos limitados; (5) unidades com alta vulnerabilidade sobre grandes aquíferos.

O valor da conservação da paisagem é realizado através de dois conceitos que é o de fragilidade e qualidade. Os atributos que estão envolvidos na avaliação são complexidade topográfica, relevo, cobertura vegetal, presença de corpos d'água, intervenção humana, acessibilidade e incidência visual. Estes são ponderados tanto na fragilidade quanto na qualidade, sendo que os valores variam de 1 a 5 onde 5 é o que apresenta o maior valor de conservação da paisagem.

A integração dos elementos que contribuem para a qualidade para conservação nas diferentes unidades morfodinâmicas será expressa por valores numéricos, através de operações aritméticas. Será usada em seguida a ponderação desses valores. Os pesos obtidos são derivados da tentativa e erro, observando a classificação e a distribuição obtidas dos elementos na unidade. Os pesos são: vegetação=4; fauna=4; geologia-geomorfologia-solos=3; proteção dos aquíferos=2; paisagem=3.

O valor final para cada unidade seguirá a fórmula abaixo:

$$VC = \sum w_i \times v_i$$

Onde: VC é o valor para conservação,  $w_i$  = peso do elemento considerado e o  $v_i$  o valor tipo de elemento em cada unidade.

➤ Mapa de síntese

O documento de síntese consiste em integralizar os mapas anteriores, de forma que as unidades obtidas subsidiem os gestores com informações do uso mais recomendado e das limitações do ambiente. Este mapa contém três tipos de indicações:

1. Positivas (indicações de primeira ordem), correspondem às unidades desejadas;
2. Positivas (indicações de segunda ordem), correspondem às unidades que apresentam certa precaução;
3. Negativas, correspondem as unidades que não apresentam aptidão para quase nenhuma atividade;
4. Unidades em branco são aquelas que não se enquadram em nenhuma das categorias acima. São zonas que não apresentam limitações importantes e nem um uso específico. Estas em princípios são aquelas onde normalmente as cidades e as zonas industriais estão instaladas, por não apresentar um grande potencial de impacto ambiental.

#### 4.5.1.5. Metodologia de Grant (1977) - Província, Padrão, Unidade, Componente (P.U.C.E)

A metodologia elaborada por Grant (1977) foi desenvolvida e aplicada na Austrália. É baseada em um sistema de classificação do terreno. Esse sistema tem como função primordial, gerar dados de maneira mais objetiva, racional e econômica possível, com o intuito de proporcionar subsídios para o planejamento e a engenharia. Este sistema baseia-se num grupo de critérios, os quais o norteiam:

- 1 - O sistema de classificação dos terrenos baseia-se principalmente nos princípios geomórficos;
- 2 - As propriedades em cada membro de classe de terreno devem ser homogêneas em toda sua extensão, além de todos os membros de cada classe de terreno, devem ser homogêneos para a classe;
- 3 - A natureza de todas as classes de terreno deverá ser objeto de uma rigorosa avaliação, e os critérios para seu reconhecimento ser obedecidas:
  - a) Devem ser facilmente observadas e as feições facilmente medidas;
  - b) Podem ser quantitativos e/ou qualitativo.

4 - Para ordenar o trabalho nos diferentes níveis de detalhes necessários aos estudos de engenharia, o sistema deve ser hierárquico, de maneira tal que os membros de cada classe sejam compostos por uma associação limitada de membros da classe precedente;

5 - O sistema deve ser compatível com um meio computadorizado (SIG) para estocagem, coleta e análise das informações pertencente aos terrenos, ao planejamento e a engenharia, observando-se que:

- a) o sistema de nomenclatura deve ser numérico;
- b) os números usados devem sempre representar os parâmetros do terreno;

6 - Os fatores a serem considerados para a classificação dos terrenos são: características das encostas (geomorfologia), geologia e características de vegetação e solo.

As escalas que essa metodologia pode ser aplicada são pré-definidas, variando de 1:250.000, 1:25.000, 1:50.000 e 1:250

O sistema de classificação de terreno proposta nesta metodologia é baseado em uma hierarquização de quatro unidades: Província, padrão de terreno, unidade de terreno e componente de terreno.

#### ➤ Província

A província pode ser definida como uma área que apresenta as seguintes condições:

- 1- rochas sedimentares, metamórficas e ou/vulcânicas geologicamente uniforme à nível de grupo (I.U.G.S, 1976 *apud* GRANT,1977);
- 2 - rochas de origem plutônica, com idade e litologia uniforme;
- 3 - aluvião e coluvião ocorrendo dentro de uma única divisão de drenagem
- 4 - material eólico, com litologia uniforme, em área continental.

O autor sugere que a determinação de uma província pode ser feita em um mapa geológico na escala 1:250.000. As outras divisões de classificação hierárquica devem ser analisadas utilizando critérios geomorfológicos.

➤ Padrão de terreno

O padrão de terreno é baseado nos critérios geomorfológicos (amplitude do relevo, modelo de drenagem e sua densidade, apresentando normalmente uma consistência e uniformidade em termos de paisagem). Ressalta-se que existe na unidade uma topografia, uma associação de vegetação e solos possíveis de diferencia-se em fotos áreas numa escala adequada.

➤ Unidade do terreno

A unidade de terreno é caracterizada por ter somente uma única forma de terreno e uma determinada associação de solos e vegetação. É determinada através de uma análise da forma do terreno e da associação de solos e vegetação.

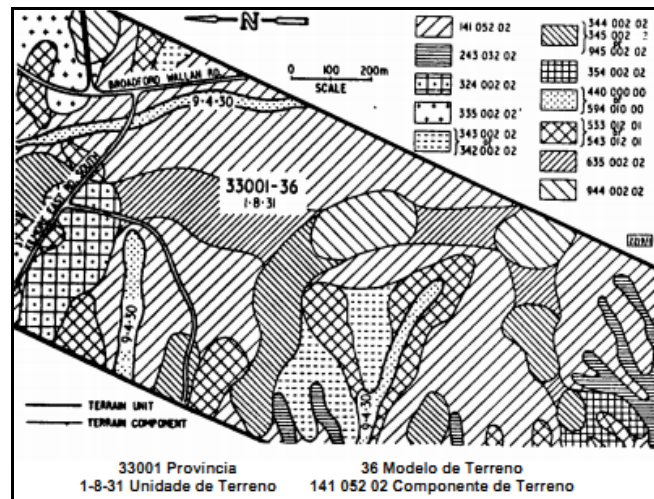
➤ Componentes do terreno

Os componentes do terreno são unidades baseadas em critérios geomorfológicos (inclinação da encosta, tipo do perfil do solo, uso do solo, associação da vegetação e litologias do substrato rochoso). Cada um dos critérios acima é analisado de forma diferente. Os taludes são analisados sob o aspecto tridimensional, os quais podem ser convexos, côncavos e planares. Os solos devem ser analisados sob o ponto de vista de suas variáveis, tanto no sentido horizontal quanto no vertical e classificados segundo a classificação da região onde está sendo efetuado o trabalho. A litologia deve ser analisada e descrita de forma sucinta, fornecendo as características importantes desse critério. A análise da vegetação deve ser feita levando em conta as espécies presentes na unidade, a densidade e o gênero.

O sistema de nomenclatura da P.U.C.E é baseado em um sistema numérico decimal onde cada classe corresponde a uma numeração específica. Por exemplo, para as unidades das províncias a nomenclatura é feita da seguinte forma: Sistema geológico (2 dígitos); Tipo de material (3 dígitos). Para o padrão de terreno: amplitude do relevo local (1 dígito); densidade da drenagem (canais/km) (1 dígito). As unidades de terrenos são baseadas nos seguintes atributos: Classe da forma do terreno (1 dígito); Configuração de superfície (1 dígito); Textura e perfil do solo dominante (1 dígito); Vegetação (1 dígito). A nomenclatura dos componentes de terreno se baseou nas seguintes características: Perfil de inclinação (1 dígito); Eixo maior // a magnitude máxima (1 dígito); Eixo menor // a magnitude máxima (1 dígito); Perfil do solo (2 dígitos); Uso da terra ou cobertura do solo (1 dígito); Associação de

vegetação (2 dígitos). Desse modo, para exemplificar o sistema de nomenclatura da P.U.C.E a Figura 3 representa uma aplicação da metodologia.

Figura 3- Exemplo de aplicação da P.U.C.E



Autor: Adaptado de Grant (1977)

Um aspecto interessante da PUCE está relacionado aos estágios de elaboração do zoneamento e classificação dos terrenos. Esta é baseada em estágios de estudo, a qual permite que o desenvolvedor do zoneamento tenha um controle bastante rigoroso da obtenção das informações. Em linhas gerais os procedimentos, etapas e critérios para classificação, descrição e quantificação dos parâmetros associados com a classificação de terreno podem ser observados na Tabela 3.



**Tabela 3**—estabelecimento da divisão e das formas de registros da classificação de terreno.

Estágio inicial da classificação			Informações suplementares	Estágio final na classificação dos terrenos		
Fontes de informações	Fatores relevantes na classificação	Classe		Fatores relevantes na classificação	Classe	Modelo para expressar o resultado
Mapas geológicos ou fotos aéreas e outras imagens em escala 1:10 6	Áreas com geologia constante (grupos, etc)	-	Estudos geológicos	Áreas de geologia constante	Província	Mapas 1:25.000 ou maior; outros
Fotos aéreas ou outras imagens em escala 1:10 5	Áreas homogêneas quanto: modelo de paisagem, relevo local, drenagem	Modelo em fotos aéreas	Estudos da fisiografia do terreno e assoc. de unidades de terreno	Áreas com amplitude de relevo local constante, padrão de drenagem constante e densidade, áreas com assoc. similar das unidades do terreno	Padrão do terreno	Mapa em escala: 1:250.000 ou maior; blocos diagramas da paisagem e da associação da unidade do terreno
Estudos fotogramétricos em escala de ordem de 1:10 4	Forma de relevo simples	Unidade de forma do relevo	Estudos para reconhecimento e avaliação das dimensões do relevo. Estudos dos materiais terrosos e vegetativos. Estudos da assoc. dos componentes do terreno	Áreas ocupadas por uma única forma de relevo com característica assoc. de materiais terrosos e vegetativos. Área com similar assoc. dos componentes do terreno	Unidade do terreno	Mapas em escala 1:25.000 ou maior com as diversas associações
Estudos fotogramétricos em escala 1:10, mapas de contornos iguais	Tipo único de talude	Componentes da paisagem	Estudos do terreno para reconhecimento de taludes esp. Solo, vegetação, etc.	Áreas constante: variação do talude, solos e assoc. da vegetação	Componente do terreno	Mapa 1:2.500 ou maior com os detalhes exigidos para classe

Fonte: Adaptado de Grant (1977)

Salienta-se que a classificação de terreno é um passo preliminar necessário para a análise e avaliação da capacidade geotécnica do terreno, quanto à aplicação nos diversos aspectos engenharia, incluindo o desenvolvimento urbano e regional. O estágio de avaliação e análise consiste em especificar:

- A) As propriedades dos terrenos e os atributos que são críticos para as finalidades consideradas;
- B) Para essas propriedades, o nível de detalhe requerido para cada fase do planejamento e da construção;
- C) As propriedades que podem ser avaliadas (quantitativo) ou analisadas (qualitativo);
- D) Estimar e registrar os valores dos parâmetros para o nível adequado de classificação de terreno.

Existem parâmetros a serem analisados, os quais são diferentes para cada situação, em função do estágio de desenvolvimento da área estudada. Entretanto existem parâmetros que são úteis em qualquer estágio.

Para os objetivos de engenharia e/ou planejamento, as informações necessárias podem ser classificadas em: estudos de praticabilidade; finalidades do planejamento e finalidades construtivas.

#### 4.5.1.6. Metodologia elaborada por Zuquette (1987,1993), Zuquette *et al.*(1997);

##### Considerações Gerais

A metodologia proposta por Zuquette (1987) é baseada na cartografia geotécnica, que busca a avaliação do contexto global das potencialidades do meio físico. Esta foi elaborada nas condições socioeconômicas do Brasil, seguindo os princípios de outras metodologias já existentes, com o objetivo de elaborar documentos que auxiliam nas diretrizes de uso ocupação do solo, obras de engenharia, fornecimento de dados preliminares para o setor público e privado, para fins agronômicos, e de planejamento e fiscalização, evitando que o meio físico seja impactado de forma desastrosa.

Assim como as outras metodologias descritas nesta pesquisa, o levantamento das informações do meio físico deverá ser executado por meio de técnicas e métodos baratos, simples e objetivos. O método permite a aplicação em diversas escalas, variando de 1:50.000 e 1:10.000, e podendo ser aplicada também em escalas menores, entre 1:100.000 e 1:250.000

##### Documentos Cartográficos Utilizados

Os documentos cartográficos utilizados na metodologia são hierarquizados baseados no seu grau de importância para uma determinada finalidade, no sentido de detalhamento, na cadeia de dependência das informações. Os documentos são hierarquizados em 8 classes:

**1** – Documentos Fundamentais Básicos – Estes registram as características dos componentes do meio físico, biológico, e antrópico (socioeconômico) por meio de variação espacial dos atributos.

Os principais documentos cartográficos relacionados são: Mapa de Documentação, Carta de Declividade, Mapa de *Landforms* Mapa de Bacia Hidrográfica, Mapa de Substrato Rochoso, Mapa de Materiais Inconsolidados; Mapa das Condições Hidrogeológicas, Mapa Climático.

**2 - Documentos Fundamentais de Síntese:** São documentos elaborados no sentido de sintetizar as informações de uma região sem, no entanto, propiciar análises para fins específicos.

Estes devem representar as informações em um único documento (proceder a seleção dos atributos), onde as escalas pequenas são as mais indicadas (1:100.000).

Os principais documentos produzidos são: Carta de zoneamento geotécnico geral (CZGG), Mapa das condições geológico-geotécnicas (MCGG), Carta de restrições.

**3 - Cartas Derivadas e Interpretativas:** São documentos cartográficos produzidos para uma condição pré-definida, estes devem refletir sempre o resultado de uma análise, considerando as características de cada divisão da área em questão.

As unidades definidas e delimitadas destes documentos devem refletir uma classificação quanto ao comportamento natural do meio frente a uma determinada situação.

Os principais documentos produzidos são: Carta para fundações, Carta de potencial à erosão, Carta para escavabilidade, Carta de potencial agrícola, Carta para disposição de rejeitos e resíduos, Carta de potencial para estocagem subterrânea, Carta para irrigação, Carta de potencial a corrosividade, Carta para estradas. Carta de potencial de escoamento superficial e infiltração, Carta de potencial para minerais e materiais de construção civil, Carta para exploração das águas.

**4 - Cartas Analíticas Básicas:** São elaboradas em base a um conjunto de informações sobre os componentes básicos de um meio considerado, normalmente relacionado à avaliação da probabilidade (absoluta ou relativa) de ocorrência de um ou mais processos naturais.

Os principais documentos produzidos são: Carta de áreas degradadas, Carta da probabilidade de ocorrências de eventos naturais, Carta das áreas sujeitas aos eventos perigosos, Carta de passivos ambientais (meio físico).

**5 - Cartas de Prognóstico de Riscos, de Problemas e de limitações:** São elaboradas levando em consideração a interação de características dos componentes do meio ambiente.

Os exemplos de documentos produzidos são: Carta com as áreas que apresentam restrições para um tipo de ocupação; Carta de vulnerabilidade das águas; Carta de riscos específicos, Carta de Zoneamento Geoambiental, o ultimo sendo alvo desse estudo.

**6 - Cartas de procedimento:** São elaboradas levando em consideração ocupação e controle dos riscos, considerando as vantagens e limitações das diferentes zonas.

Os documentos produzidos são: Carta que retrata os procedimentos construtivos e cuidados para implementar a ocupação.

**7** - Cartas de Viabilidade (potencial) para os usuários: São produzidas baseadas em todas as informações do meio ambiente, considerando as relações entre os diferentes vetores de ocupação.

Os documentos produzidos são: Carta de viabilidade para aeroportos, portos, reservatórios e captação de água; Carta de viabilidade par construções residenciais; Carta de viabilidade para construções industriais; Carta viabilidade para agropecuária e hortifrutigranjeiros; Carta viabilidade para aterros sanitários, Carta de Viabilidade para obras enterradas.

**8** - Cartas de Orientações Conclusivas: São elaboradas com a finalidade de tomadas de decisões administrativas ou econômicas.

Os documentos produzidos são: Cartas que priorizem as áreas para diferentes finalidades (específicas ou global).

Ressalta-se que os documentos cartográficos demandam informações das classes anteriores.

### Atributos

A obtenção dos atributos para elaboração dos mapas e cartas se dá das seguintes formas: levantamento e análise criteriosa dos trabalhos preexistentes (mapas, sondagens e ensaios realizados por empresas públicas e privadas), utilização de fotos aéreas, ensaios de laboratório, GPS, trabalho de campo (trabalhos de superfície e subsuperfície). Na Tabela 4 pode se observar a relação entre o atributo e a forma de se obtê-lo para um executar um zoneamento geoambiental

Tabela 4 - Atributos X Formas de Obtenção fundamentais ao Zoneamento Geoambiental

Componente	Tipo	Atributo	Forma de Obtenção	
Águas	Superficiais	Escoamento superficial	M. Cook / Es	
		Áreas de acúmulo d'água (temporário / permanente)	FI	
		Bacias hidrográficas desde primeira ordem	FI	
		Canais com fluxo permanente	Tc; FAb; Im	
	Subterrânea	Presença de lentes salgadas	Tc	
		Aqüíferos (livres/confinados)	FI; TC	
		Áreas de recarga	FI	
		Fontes naturais	Tc (GPS)	
		Escoamento básico	AR	
Geomorfologia	Morfometria	Declividade	TC; TE; FI	
		Morfologia	Landforms (na tabela ele diz que não usa)	FI
Geologia	Substrato	Litologia	TC	
	Rochoso	Distribuição (área/profundidade)	FI; TC	
		Deposição (indício de assoreamento)	TC	
	Evidência de Processos	Sismicidade	Re	
		Subsidência (áreas calcárias abandonadas)	TC; FI	
		erosivos (concentrados/laminares)	TC; FI	
		Alterações naturais de canais de drenagem	FI; TC	
Materiais Inconsolidados	Materiais Inconsolidados	Movimento de massa	FI; TC	
		“Gerais” Origem (residual/retrabalhado)	FI; TC; L	
		Textura	TC; L	
		Variação em profundidade (perfil de alteração)	TC	
		Distribuição ( em área)	FI; TC	
		Potencial à salinidade	L	
		Específicos Potencial quanto a fertilidade	L; Es	
Feições do Tecnógeno	Feições do Tecnógeno	Áreas de aterro e entulho	TC;FI	
		Áreas exploradas para exploração de material para construção civil	TC; FI	
		Depósitos relacionados à exploração mineral	TC; FI	
		Explorações minerais	TC; FI	
		Antigos depósitos de rejeitos e resíduos	TC; FI	
		Depósitos devido a alterações antrópicas junto a canais de drenagem	TC; FI	
Biológico	Corpos d'água	Tipos e distribuição	TC;FI	
		Tipos de corpos d'água	TC; FI	
	Animais	Tipos	TC	
		Inventários	TC	
		Anomalias	TC	
		Distribuições/ tendências	TC;FI	
	Vegetação	Vegetação	“Natural”Tipos	
			Distribuições/tendências	FI
			Classificação Quanto à taxa de massa verde	TC
			Profundidade das raízes	TC
Capacidade de retenção de água na superfície			TC;L;ES	
“Antrópica”Tipos/ ciclos			TC;FI	
Climático	Climático	Pluviosidade	Li	
		Temperatura	Re	
		Evapotranspiração	ES	
		Intensidade pluviométrica	Re	
		Distribuição temporal das chuvas	ES	
Processos Recentes (antrópicos)	Processos Recentes (antrópicos)	Cordões de nível	FI;TC	
		canais construídos para drenagem	FI;TC	
		Barragens	TI;TC	
		Áreas com irrigação	FI;TC	
		obras que interferem no fluxo das águas superficiais	FITC	
FORMA DE OBTENÇÃO DOS ATRIBUTOS				
TC – trabalho de campo		M. Cook- método de Cook		
FI - fotointerpretação		FAB – fotos aéreas baixas		
L – ensaios laboratório		GPS		
ES – estimativas		TE – trabalho de escritório		
Im – imagens de satélite		Re – registros		
AR – análise relativa		Li – literatura		

Fonte: Adaptado de Zuquette *et al.* (1997)

### Observação e amostragem dos atributos

A escolha dos lugares para amostragem das informações deve ser pautada no estudo preliminar da região. As áreas devem ser delineadas levando em consideração a sua homogeneidade ou heterogeneidade, sendo que devem estar dentro limites que satisfaçam a necessidade do trabalho.

O número de amostras irá depender da escala utilizada e das características da área de estudo. A Tabela 5 mostra o número de observações mínimas a serem obtidas.

**Tabela 5**-Número de observações mínimas para as diversas escalas de mapeamento

Finalidade	Escala	Locais observados		
		Qualitativamente		Quantitativamente
Básico	1:500.000	Cristalino 1/15 Km <sup>2</sup>	Sedimento 1/15 Km <sup>2</sup>	1/15 Km <sup>2</sup>
	1:200.000			
Regional	1:100.000	2/15 Km <sup>2</sup>	1/5 Km <sup>2</sup>	1/10 Km <sup>2</sup>
	1:50.000	3/15 Km <sup>2</sup>	2/5 Km <sup>2</sup>	1/5 Km <sup>2</sup>
	1:25.000	5/15 Km <sup>2</sup>	3/5 Km <sup>2</sup>	1/ Km <sup>2</sup>
Detalhe	1:10.000	15/ Km <sup>2</sup>	10/ Km <sup>2</sup>	3/ Km <sup>2</sup>

**Fonte:** Adaptado de Zuquette (1987)

### Carta de zoneamento

Para a realização da carta de zoneamento a metodologia prevê a elaboração e cruzamento dos documentos básicos e derivados (Carta de: erosão potencial, fundações, escavabilidade, obras enterradas, disposição de resíduos sólidos, estabilidade de taludes, materiais para construção irrigação, etc) associando às diretrizes sócio-administrativas vigentes.

O autor ressalta que na seleção dos atributos a serem considerados, deve-se admitir um critério rigoroso, devendo atender diretamente às solicitações do trabalho. A priorização adequada das características do meio físico proporcionará uma maior confiabilidade na caracterização dos problemas. Além disso, permitirá a exclusão de alguns atributos do meio físico, seja em função de sua pouca expressão, pela impossibilidade de obtenção dos dados, pela sua confiabilidade, pela proposta do trabalho e pelo uso e ocupação da área.

As unidades devem ser definidas a partir da hierarquização e ponderação feita para cada atributo utilizado. Após a obtenção das unidades, a carta deverá retratar as unidades que melhor se enquadram nas necessidades de cada forma de ocupação da área de estudo. O

autor recomenda que junto com esta carta, deva ser acompanhado um memorial descritivo, que descreva cada unidade e suas diretrizes, levando em conta as vantagens e limitações.

#### 4.6.2 Exemplos de Zoneamentos Desenvolvidos

Atualmente vários trabalhos com enfoque à caracterização do meio físico e planejamento do uso do solo, estão sendo desenvolvidos por instituições públicas e universidades. Alguns exemplos destes trabalhos são apresentados a seguir.

##### 4.5.2.1. Exemplos de trabalhos Nacionais

#### Trabalhos desenvolvidos na EESC-USP- Departamento de Geotecnia e UFSCar

Dentre os trabalhos realizados pelo Departamento de Geotecnia da USP, citam-se os trabalhos de Grecchi (1998); Muro (2000); Amorim (2003); Silva (2000); Silva (2005). Na Tabela 6 são levantados alguns dos trabalhos realizados nestas duas instituições, analisando o objetivo e os atributos utilizados.

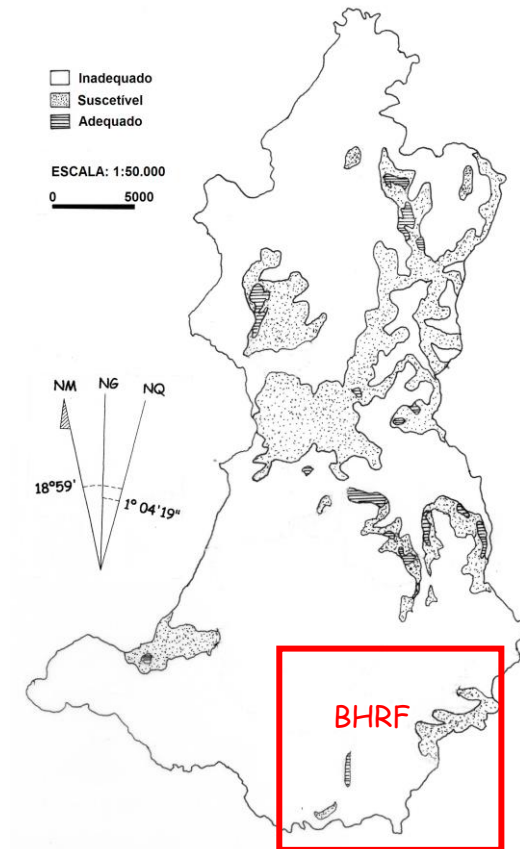
**Tabela 6-** Síntese dos principais zoneamentos geoambientais elaborados pela EESC-USP e UFSCar

<b>Autor</b>	<b>Finalidade</b>	<b>Atributos</b>	<b>Método</b>	<b>Unidades</b>
Grecchi (1998)	Geral	Materiais inconsolidados; Landforms; Substrato Rochoso; Declividade; pedologia; densidade de drenagem	Zuquette (1993), superposição	Landforms
Muro (2000)	Específico (Aterro Sanitário)	Substrato Rochoso; Materiais inconsolidados; águas superficiais e subterrâneas; Fonte de Contaminante; Chuvas; Drenagem; landforms	Zuquette (1993); Leite (1996), superposição	I
Amorim (2003)	Geral	Substrato Rochoso; Materiais inconsolidados; Drenagem; landforms; Declividade.	Zuquette (1993); Clusters	Landforms
Silva (2000)	Específico (Qualidade Ambiental)	Substrato Rochoso; Material Inconsolidado; Declividade; Morfometria; Uso e ocupação	Collares (1996)	Faixas de degradação
Silva (2005)	Geral	Substrato Rochoso; Material Inconsolidado; Resistência a penetração; Declividade; Densidade de drenagem; Uso e ocupação; <i>Landforms</i>	Zuquette (1993); Clusters	Landforms
Junqueira (2012)	Geral	Substrato Rochoso; Material Inconsolidado; Declividade; Hipsométrico; Cadastral; Chuvas; Fontes poluidoras	Zuquette (2004); Clusters	Landorms

**Fonte:** Autor

Em virtude da importância para a pesquisa, cita-se o trabalho realizado por Muro (2000). O autor elaborou uma carta de zoneamento (Figura 4) para seleção de áreas para a instalação de aterros sanitários no município de São Carlos na escala 1:50.000, baseado na proposta de Leite (1995). A Figura 5 apresenta o fluxograma elaborado por Leite (1995).

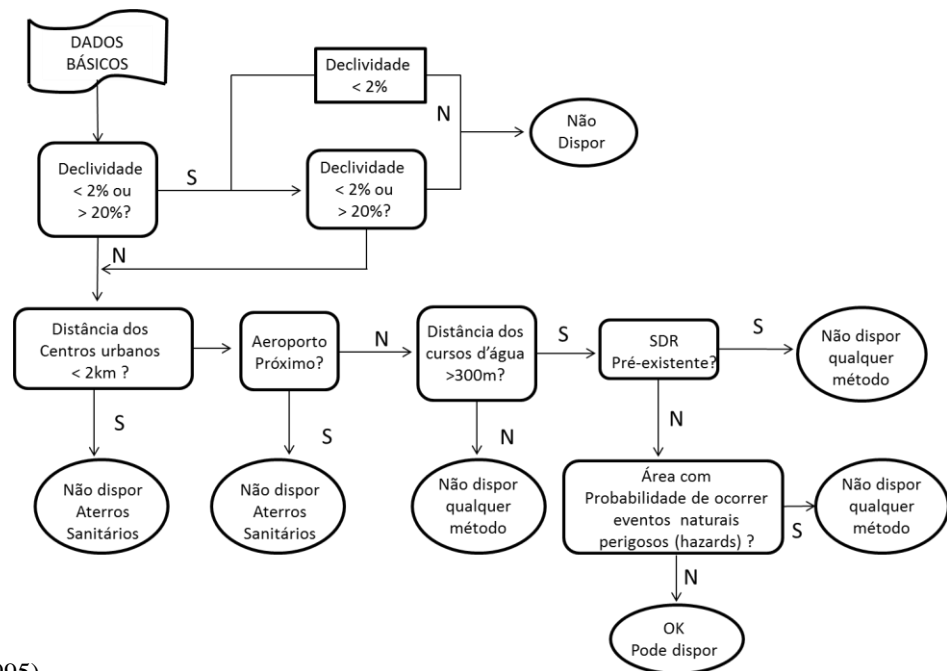
**Figura 4**– Carta de zoneamento para a seleção de áreas para a instalação de aterros sanitários no município de São Carlos.



Fonte: Modificado de Muro (2000)



**Figura 5**-Fluxograma mostrando as informações gerais para a escolha de áreas para disposição de resíduos da metodologia utilizada por Leite (1995)



**Autor:** Leite (1995)

Os atributos considerados (todos na escala 1:50.000) foram águas subterrâneas, águas superficiais, hidrogeologia, dinâmica de águas, geomorfologia, materiais inconsolidados, substrato rochoso, informações geotécnicas, *landforms*, precipitação, evapotranspiração e características químicas. A forma de obtenção da carta de zoneamento foi obtida a partir reclassificações proposta por Zuquette *et al.* (1994), onde cada atributo foi avaliado quanto a sua adequabilidade para instalação de aterro, em seguida sendo cruzados sem peso.

As zonas obtidas são classificadas em: Não susceptíveis (quando podem ser instalados aterros sanitários, sem necessidade de sofrer intervenções tecnológicas), susceptíveis (aquelas que permitem a instalação dos aterros, entretanto com intervenções estruturais e tecnológicas, com o intuito de proteger os aquíferos) e por fim, as áreas de risco (áreas que não permitem o assentamento de nenhum tipo de aterro, tanto por muitos atributos desfavoráveis, ou apenas poucos, em virtude da sua importância).

Este zoneamento apresentou resultados restritivos a instalação de estações de tratamento de esgoto. Ressalta-se que determinadas áreas como a Bacia do Ribeirão do Feijão mostram-se aptas, mas com restrições. Entretanto devem ser consideradas como inadequadas, pois apresentam grande risco a contaminação dos mananciais superficiais e subsuperficiais. Tanto é que o próprio autor nas suas recomendações descarta esta área para uso.

*Trabalhos desenvolvidos na EESC-USP Departamento de Hidráulica e Saneamento*

O trabalho elaborado por Montañó (2002) foi aplicado no município de São Carlos, e buscou trazer subsídios para que se discuta a gestão ambiental a partir dos resultados oriundos da elaboração de um zoneamento ambiental que considere os preceitos estabelecidos pelo desenvolvimento sustentável, conjugando a procura do desenvolvimento econômico à observação das limitações impostas pelo meio ambiente.

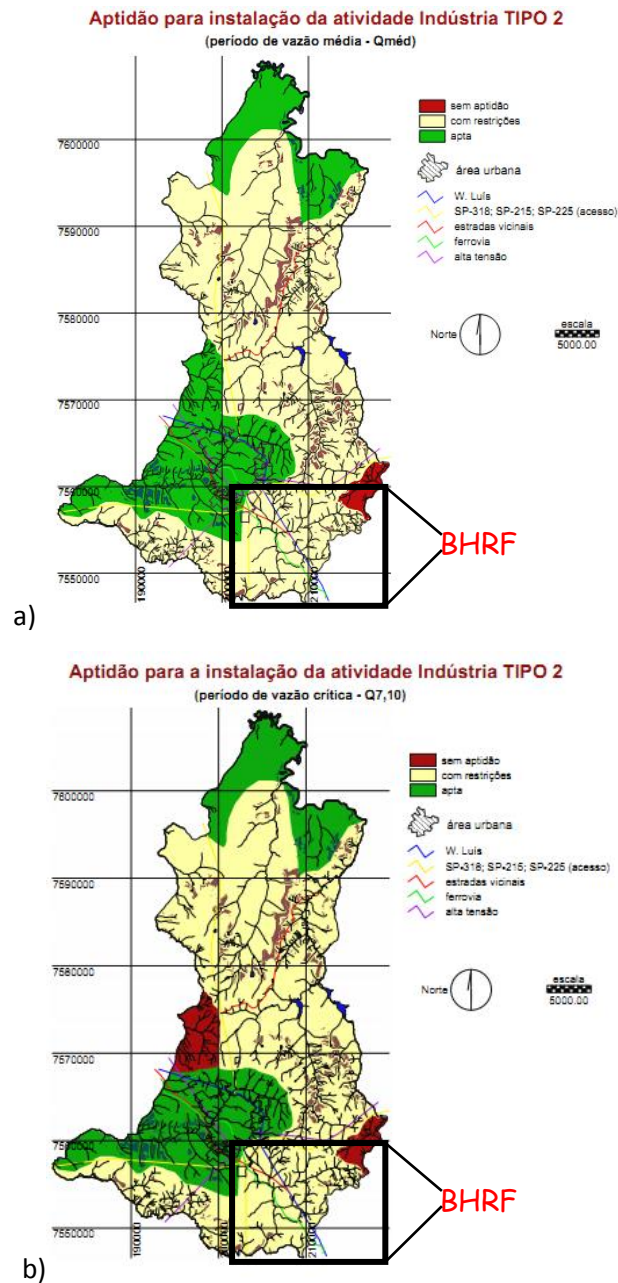
O autor procurou estabelecer algumas análises com a finalidade de definir algumas das aptidões e suscetibilidades apresentadas pelo conjunto de fatores ambientais frente à eventual necessidade de instalação de alguns empreendimentos. Durante as análises buscou-se fazer um panorama da qualidade dos recursos hídricos por ser um fator relevante na definição dos locais que são aptos as instalações dos empreendimentos.

Os atributos utilizados nas análises deste zoneamento foram declividade, pedologia, infraestrutura, geologia, permeabilidade, materiais inconsolidados, hidrografia, vegetação. Os produtos obtidos foram: suscetibilidade a erosão, risco de contaminação de águas subterrâneas, risco de assoreamento dos corpos d'água superficiais e determinação da aptidão para instalação de atividades industriais.

A forma de obtenção para cada um dos documentos cartográficos se deu por meio da ponderação dos fatores relativos a cada uma das cartas e a sobreposição das informações associando com os tipos de atividades passíveis de instalação.

A Figura 6 (a e b) ilustram as considerações apresentadas para a instalação de indústrias de suco de laranja, mostrando a distribuição das áreas de aptidão, com restrições e não aptas para esta atividade, considerando as sub-bacias do município e a vazão média e a crítica. Observa-se que para este empreendimento as áreas estão aptas, mas com restrições, entretanto observa-se que às áreas de recarga do Aquífero Botucatu, deveriam ser consideradas sem aptidão devido sua fragilidade.

**Figura 6 a e b-** (a) zoneamento levando em consideração a aptidão das áreas que apresentam condições para a instalação de indústria de suco de laranja, considerando a vazão média (b) zoneamento levando em consideração a aptidão das áreas que apresentam condições para a instalação de indústria de suco de laranja, considerando a vazão  $Q_{7,10}$ .



**Fonte:** Montañó (2002)

### Trabalho desenvolvido no Instituto Geológico - SP

Esta instituição tem desenvolvido trabalhos em algumas regiões; e os procedimentos estão embasados no uso dos conceitos de tipos de terrenos. Vedovello (2000) desenvolveu um trabalho que buscou elaborar um documento geotécnico a partir de um

pequeno número de informações, associado às unidades fisiográficas, para uma região que engloba zonas costeiras e da Serra do Mar no Estado de São Paulo.

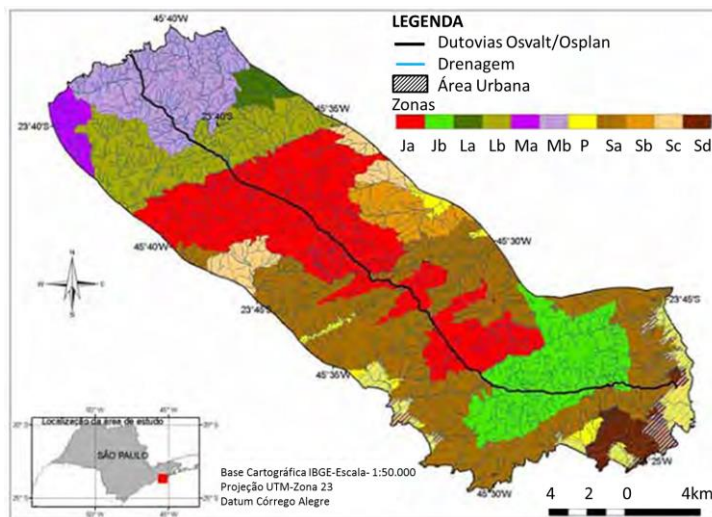
### Trabalho desenvolvido na Universidade Estadual Paulista/Rio Claro

O trabalho desenvolvido por Moura (2009) foi um zoneamento geoambiental para a faixa de dutos Osplan/Osvat e uma carta de Suscetibilidade Ambiental a processos gravitacionais e erosivos nos municípios de São Sebastião e Caraguatatuba. Para a obtenção destes produtos, foi executada a sobreposição ponderada dos seguintes documentos intermediários: Carta de Unidades Geoambientais, Carta Morfoestrutural e Carta de Lineamentos Estruturais e Traços de Juntas.

Dente os atributos utilizados para obtenção das cartas intermediarias podem ser citados: alterabilidade, declividade, permeabilidade e tropia, drenagem, relevo, as principais deformações tectônicas da área e suas respectivas estruturas (lineamentos estruturais, sistemas de juntas, zonas de variação de traços de juntas).

Ao total foram obtidas 11 zonas geoambientais neste estudo baseando-se na compartimentação dos domínios morfológicos e litológicos e posteriormente pelas bacias de drenagem. As zonas podem ser observadas na Figura 7.

**Figura 7-** Carta de zoneamento geoambiental da faixa de dutos Osplan/Osvat



### Trabalho desenvolvido na Universidade de Brasília (UNB)

Roque (2006) elaborou cartas de zoneamento geotécnico sintético na escala 1:25.000 na área urbana do município de Manaus-AM. A metodologia utilizada se apoiou em uma análise integrada do terreno baseada nas metodologias PUCE (Grant, 1977) e OXFORD-MEXE (metodologia elaborada pelo exército britânico em conjunto com a Universidade de Oxford) buscando a redução de custos, reduzindo os trabalhos de campo e laboratório. Os atributos definidos para o zoneamento foram: geologia, pedologia, geomorfologia, materiais inconsolidados, águas subterrâneas, vegetação e uso e ocupação do solo e, rede de drenagem.

A forma de análise dos atributos se deu por meio da avaliação das unidades geotécnicas obtidas de uma sobreposição ponderada indexada. Ressalta-se que em determinadas situações fez-se o uso de uma análise subjetiva. Além disso, o zoneamento proposto por este autor levou em consideração aspectos ambientais, como a proteção as áreas de mata ciliar, e aspectos econômicos, como a distância percorrida entre a coleta e disposição do resíduo sólido.

Os produtos principais obtidos desse zoneamento foram à carta de áreas para a disposição de resíduos, carta orientativa para a exploração de materiais de construção e a carta de unidades geotécnicas (Figura 8 (a) e (b)), e as fichas contendo as informações da caracterização geotécnica e avaliação do terreno.

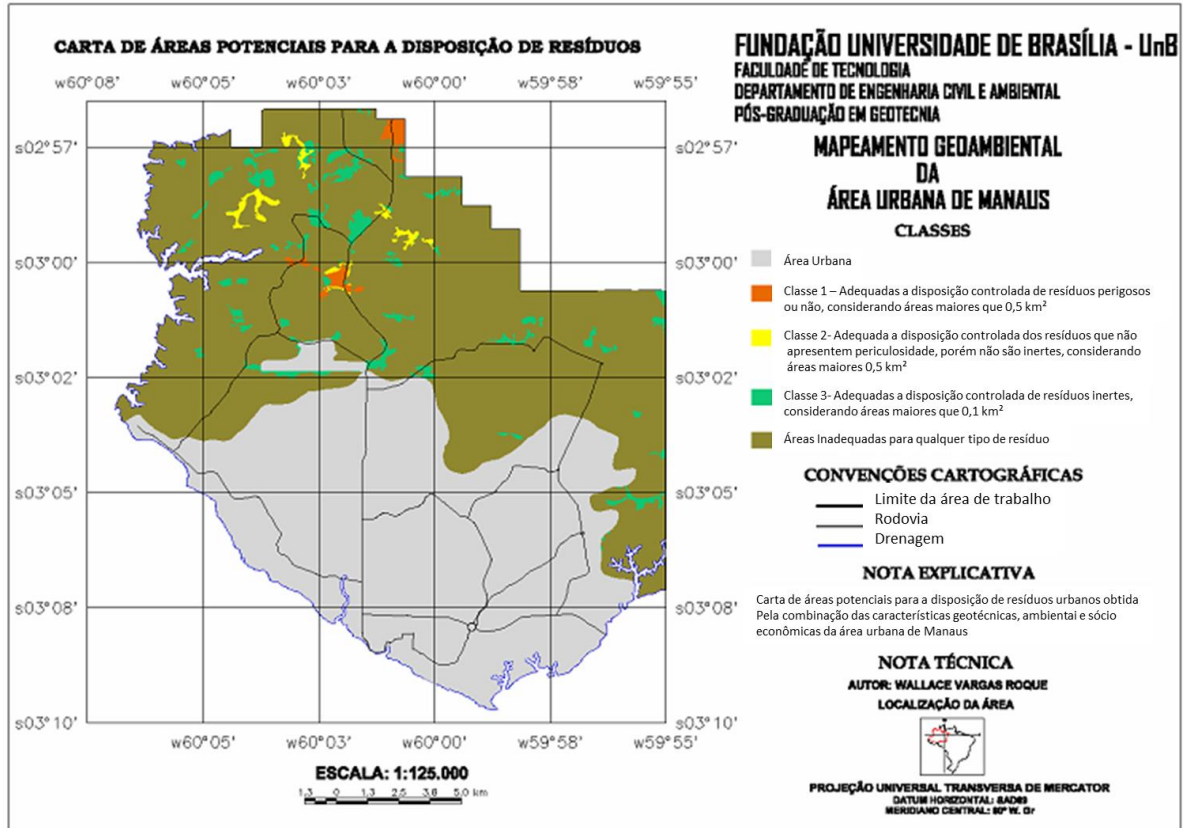
Na carta de disposição de resíduos foram estabelecidas 4 classes. A classe 1, adequada para a disposição controlada de resíduos perigosos ou não, classe 2, adequada a disposição controlada de resíduos que não apresentam periculosidade, porém não são inertes, classe 3, adequada a disposição controlada de resíduos inertes e por fim áreas inadequadas para qualquer tipo de resíduo.

Na carta orientativa de exploração de materiais de construção foram estabelecidas às áreas e os materiais passíveis de extração (cascalho, argila e areia). Na carta de unidades geotécnicas foram obtidas 14 classes geotécnicas individualizadas de acordo com os *landforms* predominantes e o grau de homogeneidade geotécnica. A partir da caracterização de cada unidade obtida foi possível identificar o comportamento em relação a riscos geológicos, adequabilidade para uso da engenharia e áreas passíveis de exploração de recursos naturais.

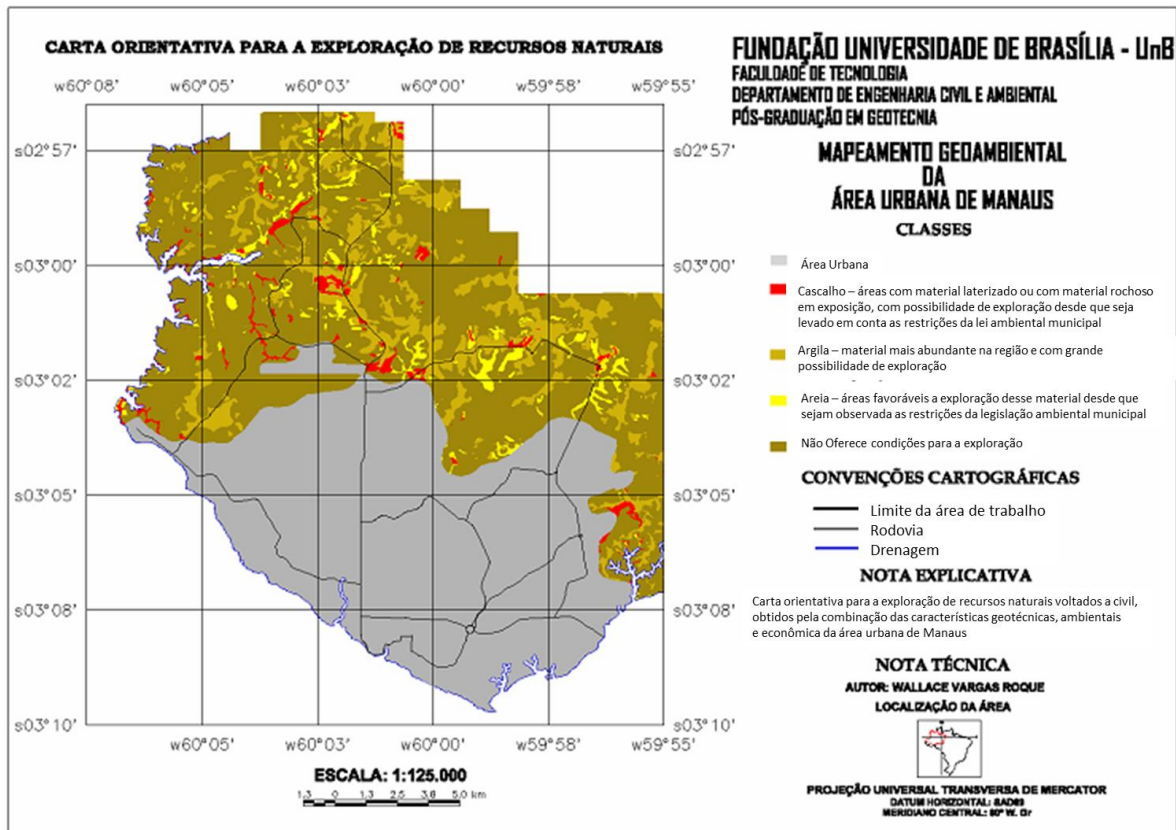
Este trabalho seguiu um critério rigoroso na importância de cada um dos atributos utilizados. Os documentos cartográficos se mostram adequados para a utilização dos

gestores públicos e as fichas de descrição permitiram os técnicos compreenderem melhor as características do terreno.

Figura 8 a e b- Zoneamento geoambiental proposto para Manaus-AM, onde essas cartas representam o potencial para disposição de resíduos sólidos e de exploração de recursos naturais. (a)



(b)



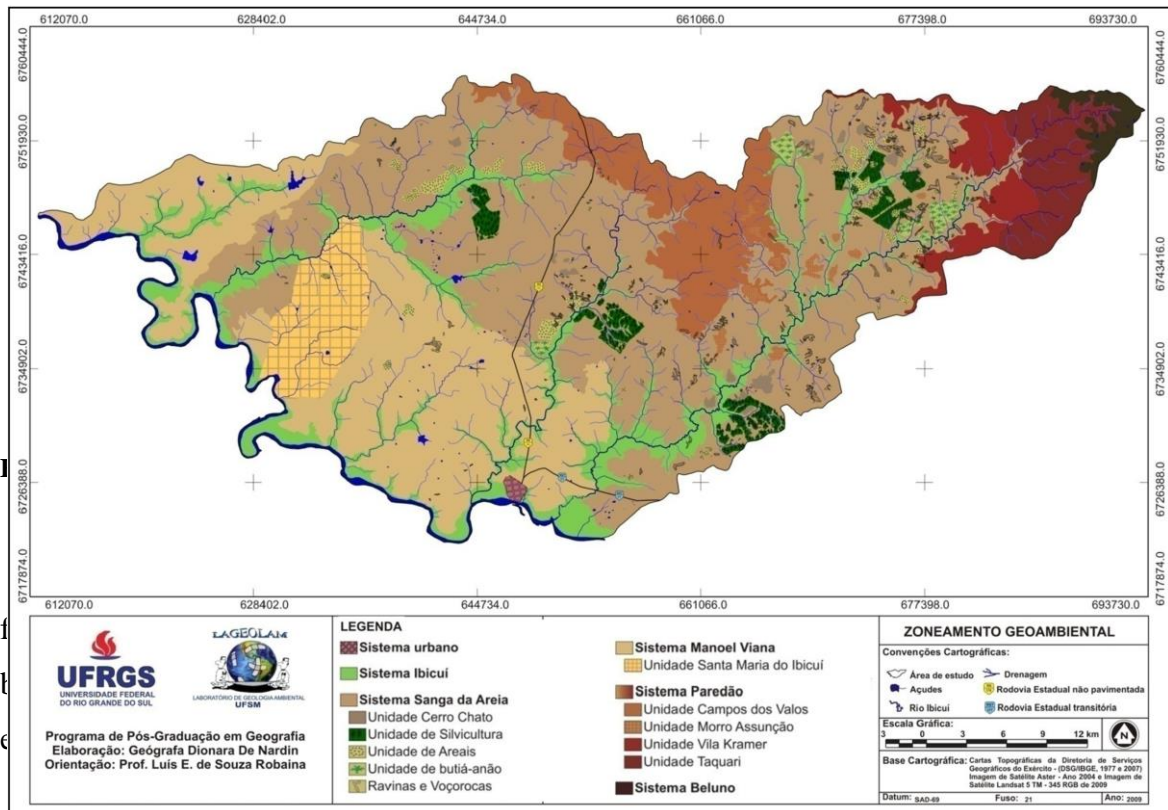
Fonte: Roque (2006)

### Trabalho desenvolvido na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

O grupo de geotecnia da UFRGS tem desenvolvido trabalhos, que levam em consideração aspectos relacionados aos solos correlacionando características geotécnicas e pedológicas. De Nardin (2009), por exemplo, elaborou um zoneamento geoambiental das bacias hidrográficas afluentes do Rio Ibicuí, no sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul na escala 1:50.000. Este trabalho se baseou nas concepções da cartografia geoambiental adotada por Zuquette (1987,1993).

A elaboração da carta de zoneamento geoambiental (Figura 9) foi executada a partir de unidades geomorfológicas através da compreensão da funcionalidade da paisagem, visando à análise, descrição e integração dos seguintes atributos: morfometria, precipitação, informações históricas de uso e ocupação, vegetação, geologia, pedologia e geomorfologia associando aos dados sócios econômicos e produção agrícola. Feita a compartimentação geomorfológica realizou-se o cruzamento das informações de forma qualitativa, sem a atribuição de pesos obtendo-se as zonas.

**Figura 9**-Zoneamento geoambiental proposto para bacias hidrográficas afluentes do Rio Ibicuí-RS.



### Trabalho de Zoneamento Econômico-Ecológico

Foram elaborados muitos ZEE no Brasil a partir do fim da década de 80, principalmente nos estados amazônicos, devido à preocupação mundial com o meio ambiente da região.

Roraima (2003) elaborou um zoneamento econômico ecológico na escala 1:250.000 para a área central do estado norteados pelos princípios da sustentabilidade. Este zoneamento buscou apresentar vulnerabilidades ambientais e potencialidade econômicas da região. A metodologia utilizada nesse zoneamento seguiu as recomendações feitas por MMA, onde os atributos considerados foram: geologia, geomorfologia, hidroclimatologia, pedologia, vegetação e biodiversidade, além do estado legal e do uso e ocupação do território em análise nas escalas (1:1.000.000, 1:500.000, 1:250.000, 100.000).

Os resultados obtidos a partir deste trabalho foram: mapas temáticos do meio físico, biológico e social, mapas síntese de vulnerabilidade natural, de biodiversidade, potencialidade social e vulnerabilidade a degradação, e por fim as cartas de subsidio a gestão territorial, ou zoneamento. As zonas obtidas foram categorizadas em três grupos, estes sendo subdivididos. O primeiro grupo ou zonas produtivas se dividiu em áreas de consolidação e expansão, o segundo ou zonas críticas, se dividiu em área de proteção e recuperação, e o terceiro grupo, ou zonas especiais, as quais são áreas destinadas a usos especiais.



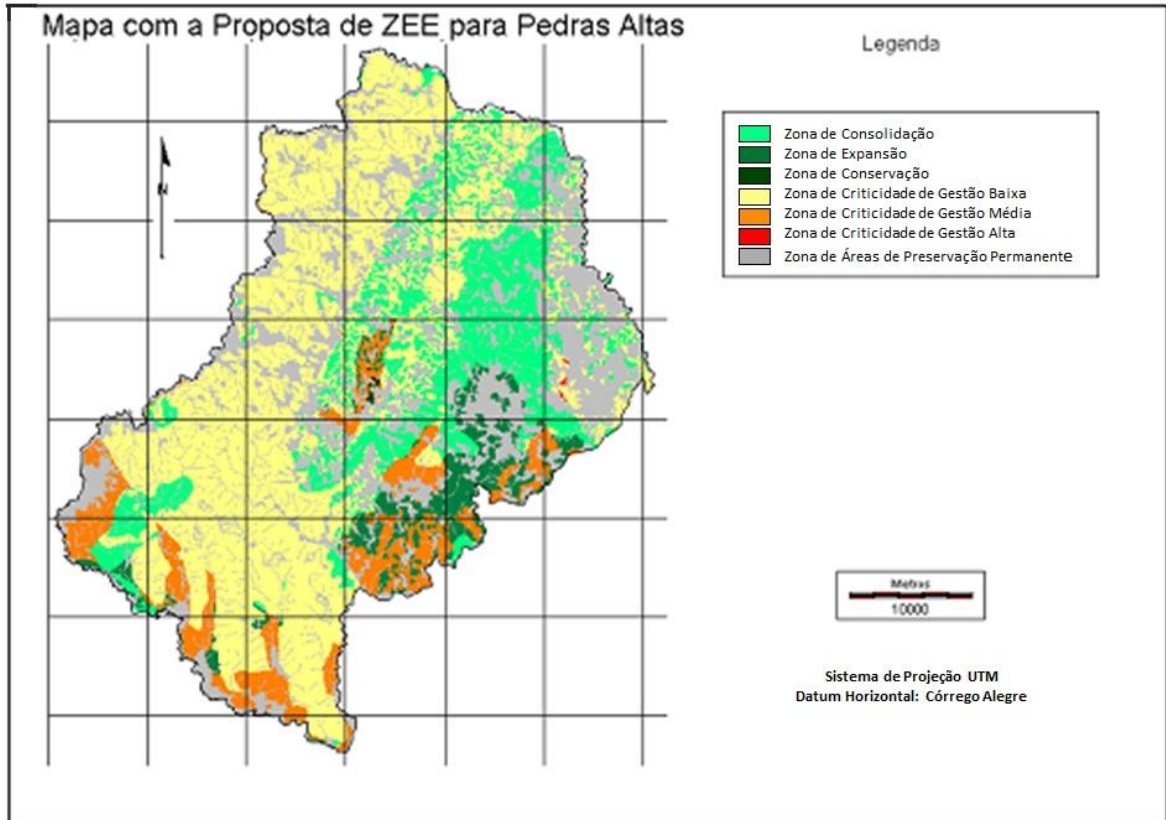
Como instrumento de planejamento regional, este zoneamento se mostrou adequado, tanto na escala adotada quanto nos documentos utilizados. Ainda permite uma gestão territorial integrada, através de uma descrição bastante abrangente e pragmática das recomendações e restrições do terreno.

#### Trabalho desenvolvido na Universidade Federal do Rio Grande (UFRG)

Soares (2009) elaborou uma proposta de Zoneamento Ecológico Econômico na escala 1:100.000 para o município de Pedras Altas-RS. A metodologia utilizada foi proposta por Becker e Egler, (1996) através da sobreposição dos Mapas de Vulnerabilidade Natural e Potencialidade Social somado às Áreas de Preservação Permanente.

A execução deste ZEE considerou os seguintes atributos: Clima, vegetação original e uso e ocupação do solo, Geologia, geomorfologia, pedologia, potencial humano, potencial natural, potencial produtivo, potencial institucional e áreas de preservação permanente. Onde cada atributo teve as suas características avaliadas atribuindo-se pesos em relação a estabilidade/instabilidade ecodinâmica. Os pesos se basearam nos valores proposto por CREPANI *et al.* (1996). A carta do ZEE (Figura 10) foi obtida através da sobreposição de diversos mapas os quais foram ponderados anteriormente.

**Figura 10**– Proposta de ZEE para o município de Pedras Altas -RS



Fonte: Modificado de Soares (2009)

Foram estabelecidas 6 zonas ecológicas econômicas para o município, a Zona de consolidação, de expansão, de conservação, de criticidade de gestão baixa, criticidade de gestão média e criticidade de gestão alta. Para cada zona foram definidos características e critérios de gestão.

#### 4.5.2.2. Exemplo de Trabalhos Internacionais

##### Departamento Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Salamanca

Martínez-Graña *et al.* (2006) elaboraram um zoneamento geoambiental aplicado a gestão de resíduos da unidade de conservação las Batuecas - Sierra de Francia, Salamanca-Espanha em virtude do aumento descontrolado de lixões. Os atributos utilizados neste trabalho foram a litologia, substrato rochoso, estrutura (fraturas), formações superficiais (textura, compactação), hidrografia, unidades hidrogeológicas, porosidade, solubilidade, geomorfologia e precipitação. A obtenção da carta de zoneamento geoambiental foi obtida a

partir de reclassificações e sobreposição dos documentos que contém as características necessárias para a instalação dos aterros sanitários.

O zoneamento definiu três unidades, as quais são classificadas como setores favoráveis a implantação de aterro controlado, setores desfavoráveis e setores que podem ser favoráveis caso sejam realizados estudos detalhados. O zoneamento apresentou uma análise prévia da área e se mostrou de grande valia, no entanto em virtude da escala adotada é necessário que a área seja detalhada para que este seja um instrumento de real uso pelo poder público e pelos gestores.

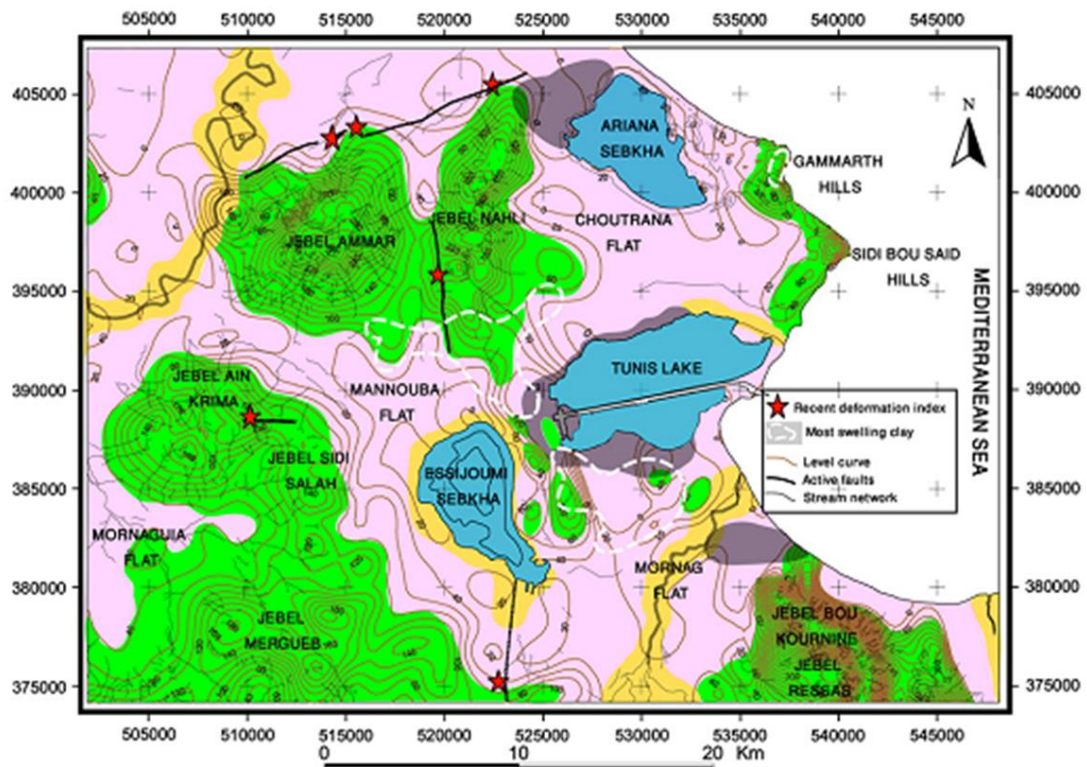
*Departamento de Geologia Universidade de Tunis - Tunísia*

M. El May *et al.* (2010) produziram um zoneamento geoambiental para construção de edificações na escala 1:25.000 da cidade de Tunis na Tunísia, baseado no mapeamento geotécnico, com o intuito de contribuir para o uso racional e planejamento do solo urbano. A metodologia foi baseada também no uso de ferramentas multicritérios para estabelecer graus de importância dos diversos atributos utilizados na análise e sobreposição dos mapas.

Os atributos utilizados neste trabalho foram: as condições sísmológicas, materiais superficiais, topografia, rede de drenagem, propriedades geotécnicas dos materiais e nível do lençol freático, destacando a geologia que foi a principal característica considerada. Os mapas temáticos gerados foram de litologia, topografia, declividade, sismo tectônico, liquefação, suscetibilidade e nível do lençol freático. O mapa de zoneamento levou em consideração principalmente o mapa de suscetibilidade de liquefação e as informações de campo. A geração do mapa de zoneamento seguiu uma sequência de sobreposições, onde as características não são ponderadas.

O mapa final de zoneamento (Figura 11) foi dividido em 4 zonas, as quais são: Zona plana, com baixo risco de inundação, zona de encostas com risco potencial de movimentos superficiais, zonas baixas com risco de inundações e deslizamento e zonas com níveis de lama e risco de ocupação.

**Figura 11** - Zoneamento geoambiental na cidade de Tunis – Tunísia



- |   |   |
|---|---|
| <p><span style="color: green;">■</span> -Zona com probabilidade de movimentos de massa<br/>-Presença de materiais calcários e argilas expansivas<br/>-Nível d'água acima dos 5 metros<br/>-Capacidade de Carga de 21 a 6 bar</p> <p><span style="color: pink;">■</span> -Zona plana com risco a inundação<br/>-Materiais aluvionares, lamosos apresentando ainda de tufo calcários<br/>-Nível d'água entre 0 a 6 metros<br/>-Capacidade de carga de 2 a 3 bar</p> | <p><span style="color: yellow;">■</span> -Zonas com risco de inundação e movimentos de massa<br/>-Materiais aluvionares, tufo calcários, lamosos com maior % de areia<br/>-Nível de água raso<br/>-Capacidade de carga é de 41 a 8 bar</p> <p><span style="color: grey;">■</span> -Regiões com altos níveis de lama<br/>-Substrato rochoso profundo e risco de ocorrer recalque</p> |
|---|---|

**Fonte:** Modificado de M. El May *et al.* (2010)

Este zoneamento apresentou-se bastante útil na concepção do planejamento da cidade de Tunis, apesar da escala utilizada não representar todas as informações necessárias do terreno, em vista a geologia ser bastante diversa. Entretanto a partir desse documento deve ser feito um detalhamento para um documento mais adequado para escala urbana.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

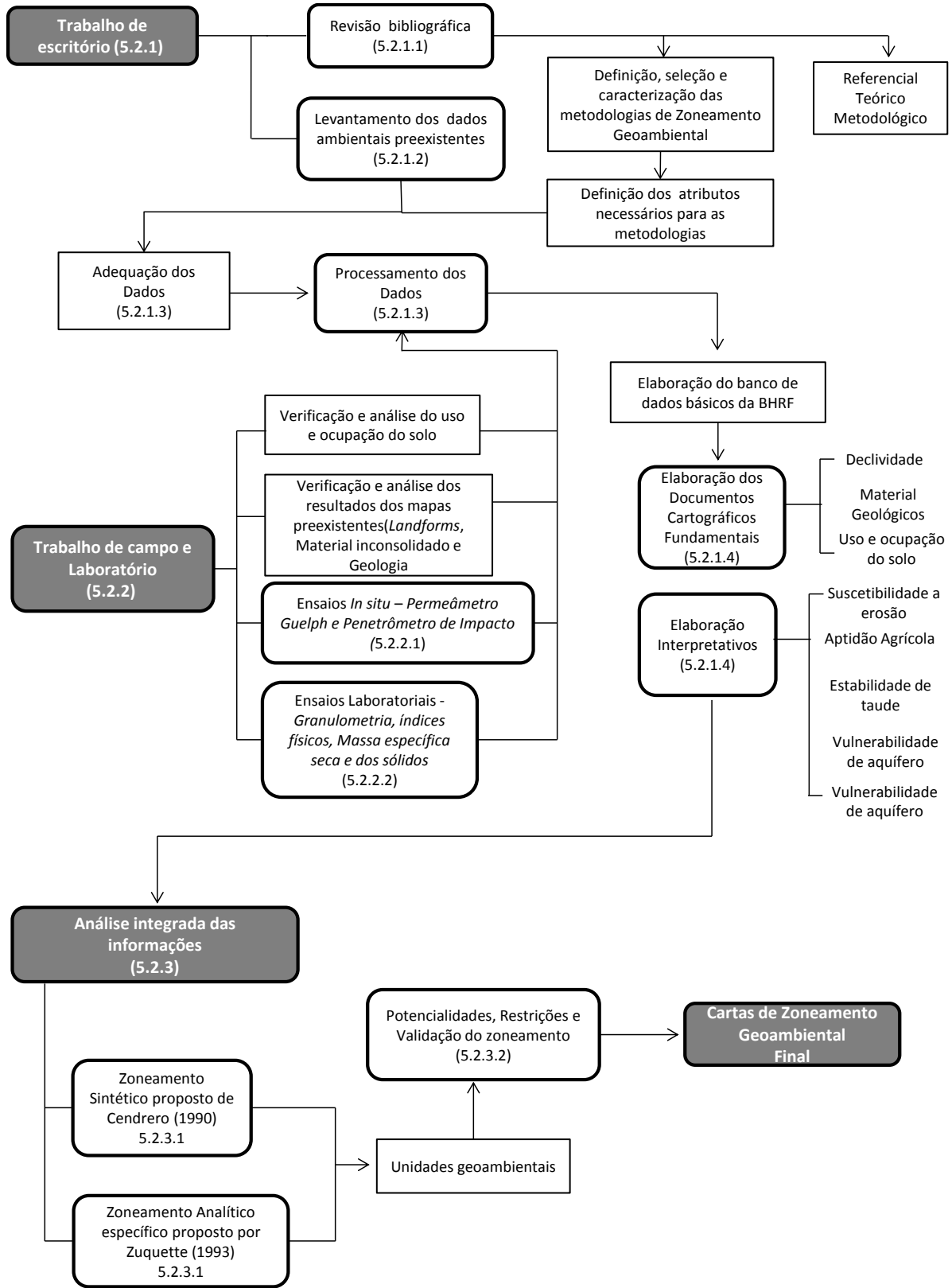
### 5.1.Aspectos Gerais

A metodologia utilizada neste estudo se baseou na análise de métodos tanto nacionais quanto internacionais de zoneamentos ambientais e geoambientais. Estes buscam definir e identificar unidades homogêneas ou com heterogeneidades aceitáveis, englobam uma série de atributos associados a materiais geológicos, geomorfologia, águas, processos geológicos (naturais ou induzidos), uso e ocupação, dentre outros. Preconizam ainda que obtenção das informações quando necessário deve ser feito por técnicas e métodos que sejam baratos, simples e objetivos. Sendo que a apresentação, análise e a avaliação dos atributos devem ser feito na forma de mapas, cartas e textos explicativos.

Os procedimentos utilizados neste trabalho são apontados na proposta de Zuquette (1993), Zuquette *et al.*(1997), Cendrero *et al.* (1990). Além disso, se apoia nos fundamentos da cartografia geoambiental segundo Cendrero (1982).

Sendo assim, o conjunto metodológico foi estruturado em 3 etapas distintas descritas a seguir. A Figura 12 mostra o esquema contendo as principais fases da pesquisa a serem realizadas.

**Figura 12-** Esquema das etapas de desenvolvimento da pesquisa.



Fonte: Autor

## 5.2. Etapas de Trabalho

### 5.2.1- Trabalhos de Escritório

Os procedimentos dos trabalhos de escritórios consistiram em distintas fases como: revisão bibliográfica, seleção e caracterização das metodologias de zoneamento geoambiental, levantamento de trabalhos preexistentes, produção e digitalização do mapa base, obtenção de dados preliminares, tratamento e análise crítica das informações prévias (considerando a qualidade e relação direta com o tema do projeto), produção dos documentos cartográficos intermediários, derivados e definitivos.

#### 5.2.1.1. Revisão Bibliográfica

Esta fase teve como objetivo elaborar um estado da arte das técnicas utilizadas para elaborar zoneamentos geoambientais, assim como das ferramentas computacionais, procedimentos para estudo, gestão e planejamento ambiental em função destes documentos. Sendo assim, organizou-se um referencial teórico-metodológico, com a finalidade respaldar os procedimentos técnico-operacionais da pesquisa. Além disso, paralelamente com a Fase 1 e a Fase 2 desta etapa foram definidas, selecionadas e caracterizadas as metodologias utilizadas por esta pesquisa de zoneamento geoambiental, as quais serão detalhadas na etapa 3. Deste modo, permitindo selecionar os atributos necessários para sua aplicação.

#### 5.2.1.2. Levantamento de trabalhos pré-existent

Nesta fase realizou-se um levantamento de informações de cunho geral e de características do meio físico de caráter regional da área, a partir do qual foram obtidos os seguintes documentos:

1. Mapas Topográficos na escala 1:50.000 – folhas: SF-23-Y-A-I-1 (São Carlos) e SF-23-Y-A-I-2 (Corumbataí) elaborados por IBGE (1971);
2. Imagens de satélite do Google Earth de 2012, QuickBird de 2008 (resolução espacial de 61 cm) e 2010 (resolução espacial de 50cm) obtidas juntos ao Sistema Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos (SAAE).
3. Dados de poços do banco de dados do DAEE;
4. Dados pré-existent sobre documentos básicos regionais:
  - Substrato Rochoso na escala 1: 50.000 elaborado por Nishiyama (1991)
  - Geomorfologia 1:100.000 elaborado por Nishiyama (1991);

- Pedológico na escala 1:100.000 (folhas: SF 23-Y-A-I), elaborado por EMBRAPA (1981);
- Materiais Inconsolidados na escala 1:50.000 elaborado por Nishiyama (1991);
- *Landforms* na escala 1:100.000 elaborado por Lollo (1996).

Foram levantados ainda bases de dados digitais ou impressos de trabalhos pré-existent da área elaboradas por Muro (2000); Pons (2006); Costa (2010); Cunha (2011); Oliveira (2011).

#### 5.2.1.3. Processamento dos Dados e Sistema de Informação Geográfica e Banco de dados

Esta fase teve a finalidade de preparar e tratar os dados utilizados nesta pesquisa e definir o Sistema de Informação Geográfica utilizado na pesquisa. O software utilizado como armazenamento, banco e processamento de dados, sobreposição e layout de mapas foi o software ARCGIS 10 (ESRI, 2013).

O primeiro passo da preparação dos dados foi a avaliação da qualidade das informações e/ou dados, seguido pela avaliação das cartas topográficas, mapas pré-existent e imagens de satélite. Em seguida adequou-se os dados a necessidade do SIG no diz respeito a escala e *datum* dos documentos preexistente, visto que alguns dos documentos encontravam-se em escala e *datum* diferentes do mapa topográfico, o qual é o mapa base deste trabalho. De posse desta informação buscou-se georreferenciar os documentos cartográficos e as imagens de satélite e digitalizar as informações contidas neles.

O georreferenciamento dos mapas e imagens obtidos foi realizado utilizando a ferramenta *Georeferencing*. Foram selecionados para cada mapa 36 pontos de controle, os quais eram conhecidos através da grade de coordenadas de cada documento cartográfico ou de pontos de fácil identificação na imagem de satélite como principalmente cruzamentos de ruas e estradas. Em seguida, foi aplicado polinômio de 3ª grau com a finalidade de fazer a correção geométrica. Com o intuito de reduzir o erro do georreferenciamento, os pontos foram deletados até chegarem a 12 pontos bem distribuídos na superfície, obtendo um erro menor que 1.

Com todos os mapas e imagens georreferenciados, procedeu-se a digitalização dos elementos necessários de cada um dos documentos cartográficos. A ferramenta utilizada para esse procedimento foi o *Editor*.



Nesta fase também foram inseridos no SIG os dados obtidos em campo como pontos de visitas, resultados dos ensaios dos materiais inconsolidados ou outras informações obtidas ao longo da pesquisa.

Após todos os dados, tanto os preexistentes como os obtidos em campo e laboratório terem sido armazenados em ambiente SIG, o banco de dados básicos foi finalizado. Ressalta-se que este SIG armazenou as informações obtidas na etapa 5.2.1.4.

#### 5.2.1.4. - Elaboração dos documentos cartográficos

Todos as informações foram representadas em bases cartográficas elaboradas a partir de folhas topográficas 1:50.000, com equidistância de 20m entre curvas de nível.

Como as metodologias de zoneamento utilizavam uma série de cartas e mapas variados, onde alguns desses documentos eram de uso comum entre as metodologias, optou-se por dividi-los em fundamentais e interpretativos para melhor entendimento de sua elaboração.

Os documentos fundamentais elaborados neste trabalho foram: mapa de documentação, carta de *landforms*, carta de declividade, mapa de materiais inconsolidados, mapa de substrato rochoso, mapa de águas superficiais, mapa de uso e ocupação do solo e vegetação, mapa de amplitude de relevo, Carta de Extensão do Menor Percorso da Água superficial (CEMPAS) e o mapa de restrições. Na Tabela 7 foi resumido os atributos considerados em cada um dos documentos cartográficos.

**Tabela 7-** Resumo dos documentos cartográficos fundamentais e dos atributos elaborados e utilizados.

Documento Cartográfico	Atributo
Material Inconsolidado	Espessura Textura Condutividade Hidráulica
Substrato Rochoso	Litologia
Landforms	Morfologia do terreno
Uso e ocupação do solo	Uso do solo Vegetação
Declividade	Declividade
Águas Superficiais	Subbacias Ordem de drenagem
CEMPAS	Densidade de drenagem
Amplitude de Relevô	Amplitude de relevô
Mapa de Restrições	Restrições ambientais legais

**Fonte:** Autor

De posse dos documentos cartográficos fundamentais procedeu-se a elaboração dos mapas interpretativos os quais são necessários para a metodologia de Zuquette (1993); Zuquette *et al.* (1997); e Cendrero *et al.* (1990). Os mapas produzidos foram: suscetibilidade a erosão, aptidão agrícola, estabilidade de talude e vulnerabilidade de aquífero.

Os passos detalhados de obtenção de cada um dos documentos cartográficos produzidos estão localizados no capítulo 7 da dissertação (Documentos Cartográficos), pois optou-se em apresentar a metodologia empregada na sequência de cada mapa elaborado bem como os resultados.

### 5.2.2. Trabalho de Campo e Laboratório

O trabalho de campo e laboratório inicialmente foi voltado para a caracterização e o entendimento dos componentes do meio físico, identificando ainda possíveis lacunas e/ou falta de informações da área. O seu objetivo foi avaliar os resultados dos mapas pré-existentes (principalmente de materiais inconsolidados, substrato rochoso e *landforms*), para caracterização do meio físico quanto aos atributos necessários para aplicação de cada metodologia de zoneamento geoambiental, assim como analisar e verificar a fotointerpretação da imagem de satélite associando com o padrão de uso e ocupação da área estudada. Além disso, buscou-se aumentar o espaço amostral os dados da caracterização geotécnica dos materiais inconsolidados já obtidos por outros autores através de ensaios laboratoriais e *in situ*.

Para os ensaios *in situ* foram utilizados o Permeâmetro Guelph e o Penetrômetro de Impacto. O Permeâmetro Guelph determinou a condutividade hidráulica saturada. Enquanto que o Penetrômetro de Impacto possibilitou a obtenção de valores de resistência do solo para avaliar a compactação do solo. Para os ensaios laboratoriais foram feitas amostragem em campo de amostras deformadas e indeformadas. Desse modo, para obter em laboratório valores dos índices físicos, massa específica dos sólidos, massa específica seca e granulometria dos solos.

#### 5.2.2.1. Ensaios *In Situ*

##### 5.2.2.1.1. Permeâmetro Guelph

Em virtude da Bacia do Ribeirão do Feijão se localizar em uma importante área aflorante do Aquífero Guarani, se tornou imprescindível se conhecer o comportamento da água no que diz respeito a permeabilidade dos materiais em seus diversos usos. Para obter

essas informações foi utilizado o Permeâmetro Guelph Modelo 2800K1 (modificado) (Figura 13), segundo Soto (1999), foi desenvolvido por Reynolds e Elrick (1983), posteriormente aperfeiçoado em 1985, na University of Guelph, Canadá.

A escolha deste equipamento se deu em virtude de ser uma forma fácil, rápida e de consumir menos água para determinar a condutividade hidráulica saturada do solo ( $k$ ), comparada a outros métodos. Os passos de utilização se basearam no manual do usuário fornecido pela Soilmoisture Equipment Corp (2005). Os passos foram:

- A) Escolheu-se do lugar do ensaio considerando o uso, a declividade e a facilidade de preparação do terreno para o ensaio;
- B) Preparou-se o terreno, onde foi feita a limpeza e retirada da camada de raízes, folhas e grama, além de ser feito nivelamento do solo (Figura 14);
- C) Foi feito um furo a trado com um raio de 5cm e a uma profundidade que variava de 20 a 40 cm, buscando ultrapassar a cama de raízes, sendo que o fundo do furo foi nivelado com uma extensão do trado apropriada. ;
- D) O equipamento foi posicionado bem ao centro do furo, em seguida foi preenchido com água;
- E) Nesta etapa o ensaio começou e foram feitas as leituras, sendo que elas são feitas em duas cargas hidráulicas constantes, a primeira em 5cm e a segunda a 10 cm de lâmina d'água. Ressalta-se que para determinar o fim do ensaio em cada carga hidráulica, as leituras apresentaram uma constância entre os seus intervalos.

Obs: As leituras foram feitas em diversos intervalos de tempo podendo variar entre cada ponto amostrado, em virtude do comportamento da infiltração em cada tipo de solo.

**Figura 13 e 14-** Permeâmetro Guelph modificado instalado para a realização do ensaio e solo preparado, nivelado e com o furo para o posicionamento do equipamento.



**Fonte:** Autor

Para determinar os parâmetros correspondentes à infiltração dos solos analisados, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$Kfs = 0,004433 \times A \times R2 - 0,005887 \times A \times R1$$

$$\Phi_m = 0,068073 \times A \times R1 - 0,031365 \times A \times R2$$

Onde:

**Kfs** (cm/sec): Coeficiente de condutividade hidráulica saturada;

**$\Phi_m$**  (cm<sup>2</sup>/sec): Fluxo potencial mátrico;

**A** (cm<sup>2</sup>): Área do cilindro;

**R1** (cm/sec): Média de das leituras da primeira carga hidráulica após a infiltração ter se estabilizado;

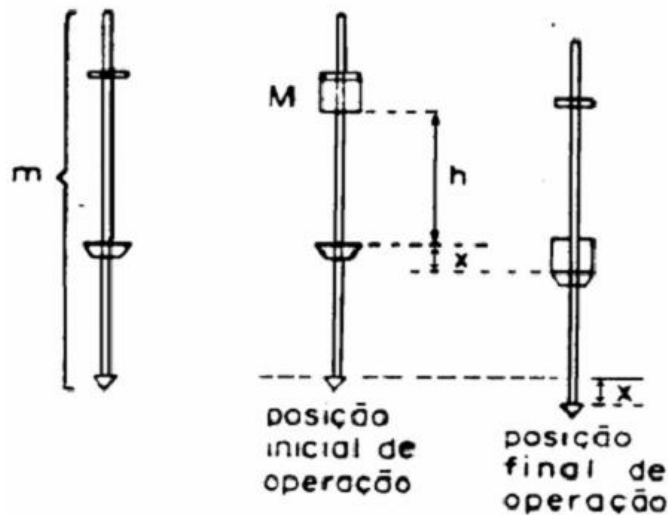
**R2** (cm/sec): Média de das leituras da segunda carga hidráulica após a infiltração ter se estabilizado

#### 5.2.2.2. Penetrômetro de Impacto

A realização do ensaio de Penetrômetro de Impacto teve como objetivo determinar e avaliar a resistência à penetração e o grau de compactação do solo de maneira fácil, rápida e várias profundidades. A determinação da resistência dos diferentes tipos de solo e usos auxiliou na análise dos dados de infiltração em diferentes tipos de solos, usos e grau de compactação.

O princípio de utilização deste equipamento é baseado na resistência do solo à penetração de uma haste após o recebimento de um impacto na sua parte superior, provocado por um bloco de ferro de peso já determinado, içado a uma altura conhecida, e em queda livre (Figura 15). Quando este procedimento ocorre a haste de ferro que em sua parte inferior apresenta uma ponteira penetra uma determinada profundidade, a qual é medida em uma régua rente a haste junto a base do equipamento. Essa penetração varia dependendo do tipo e uso de solo, profundidade, grau compactação, irregularidades no solo, como por exemplo, quanto maior o grau de compactação maior o número de golpes para penetrar no solo, comparado a solos menos compactados.

**Figura 15-** Representação esquemática de um penetrômetro de impacto, e a seus componentes.



**Fonte:** Gontijo (2003)

No que diz respeito ao penetrômetro de impacto utilizado neste trabalho, este possui as seguintes características:  $M = 3,5 \text{ kg}$ ;  $m = 5,5 \text{ kg}$ ;  $h_1 = 60 \text{ cm}$ ,  $h_2 = 90 \text{ cm}$ , onde:

- $M$ : Massa de impacto;
- $m$ : Massa do corpo do equipamento
- $h_1$ : Altura de queda 1
- $h_2$ : Altura de queda 2
- $x$ : O quanto penetrou após o impacto

Obs: Na Figura 16 podem ser observados os elementos do equipamento.

É importante ressaltar que antes da inicialização do ensaio, em cada ponto amostrado, foi feita a preparação do terreno. Assim como no permeômetro Guelph, a área foi limpa e nivelada com a finalidade de que a haste penetre totalmente na vertical ao solo. Ainda, o equipamento possui uma base que fixou a haste na vertical e firme ao solo, evitando que ela penetrasse em outra direção (Figura 16).

**Figura 16-** Base utilizada para fixação e condução da haste ao longo do ensaio.



**Fonte:** Autor

Ao longo dos pontos ensaiados o peso adotado (3,5kg) se manteve constante, enquanto que as alturas de queda utilizadas e as profundidades alcançadas variaram em virtude da necessidade de obterem-se resultados mais significativos. As alturas de queda utilizadas foram de 60 cm e 90 cm, e as profundidades variaram entre 0.82 metros e 1,65 metros.

Portanto, este aparelho possibilitou identificar a resistência do solo, a profundidade de camadas compactadas e sua espessura. Os resultados obtidos das medições se basearam na fórmula de Vanags *et al.* (2004), foram dados em (MPa), ainda foi possível verificar a densidade acumulada ( $MJ/m^2$ ) ao longo do perfil ensaio.

### 5.2.2.3. Ensaio Laboratoriais

Foram executados nessa etapa ensaios de caracterização geotécnica em laboratório, objetivando complementar as informações de interesse para esse estudo dos materiais inconsolidados. Nesta

Os ensaios executados foram Análise Granulométrica Conjunta (NBR-6502), Massa específica dos Sólidos (NBR 08), Massa Específica Seca de Campo e Índices Físicos.

Os dois últimos foram determinados pelo método do anel proposto Zuquette (1987), em que foi retirada uma amostra indeformada com a utilização de um anel de PVC que tem suas bordas biseladas, com dimensões de 8 cm de diâmetro e 5 de altura. Conhecendo-se o volume do anel e o peso seco da amostra, foi possível determinar a massa específica de campo, e os índices físicos foram obtidos através relações entre as diversas fases dos solos em termos de massas e volumes.

### 5.2.3. *Análise Integrada das Informações Obtidas a Partir de um Banco de Dados*

Nesta etapa através de um Sistema de Informação Geográfica (ArcGIS 10) (ESRI, 2013) foram realizados um cruzamento e uma análise integrada dos dados, mapas e cartas obtidos nas etapas anteriores. Os cruzamentos e a integração dos dados para a geração de cartas de zoneamento geoambiental seguiram hierarquização dos atributos e documentos propostos por Cendrero *et al.* (1990); Zuquette (1993) e Zuquette *et al.* (1997).

#### 5.2.3.1. Cartas de Zoneamento Geoambiental

As Cartas de Zoneamento Geoambiental propostas nessa pesquisa foram balizadas em duas concepções. A primeira delas atribui como sua principal finalidade a delimitações de zonas que apresentem homogeneidade quando analisadas individualmente quanto aos atributos do meio físico levantados e utilizados em cada metodologia. A segunda concepção predisse que cada carta geoambiental obtida, deve apresentar um comportamento heterogêneo quando avaliada na sua totalidade. Assim, cada unidade geoambiental deve apresentar características particulares que a difira das demais, portanto permitindo que ela se torne uma unidade de planejamento territorial.

Os passos detalhados de obtenção das cartas de zoneamento geoambiental estão localizados no capítulo 8 da dissertação (Zoneamentos Geoambientais).

#### 5.2.3.2. Potencialidades, Restrições e Validação do zoneamento

A sistematização e análise das potencialidades e fragilidade do meio físico foram baseadas na interpretação das ponderações adotadas para cada um dos atributos em função de cada metodologia adotada.

Posteriormente ocorreu a avaliação das unidades geoambientais obtidas “in loco”, no sentido de verificar se elas descrevem com precisão as características do meio

físico. Assim, possibilitando recomendar os seus melhores usos e identificar suas as fragilidades.

A síntese de todas as informações e dado coletados, analisados, interpretados e correlacionados durante a pesquisa, foi feito na forma de quadros e mapas para melhor visualização e entendimento dos resultados.

A fim de validar o zoneamento das unidades geoambientais obtidas foram utilizados dois profissionais *ad hoc*, os quais avaliaram as unidades obtidas. A segunda através de uma verificação realizada pelos pesquisadores responsáveis da pesquisa.

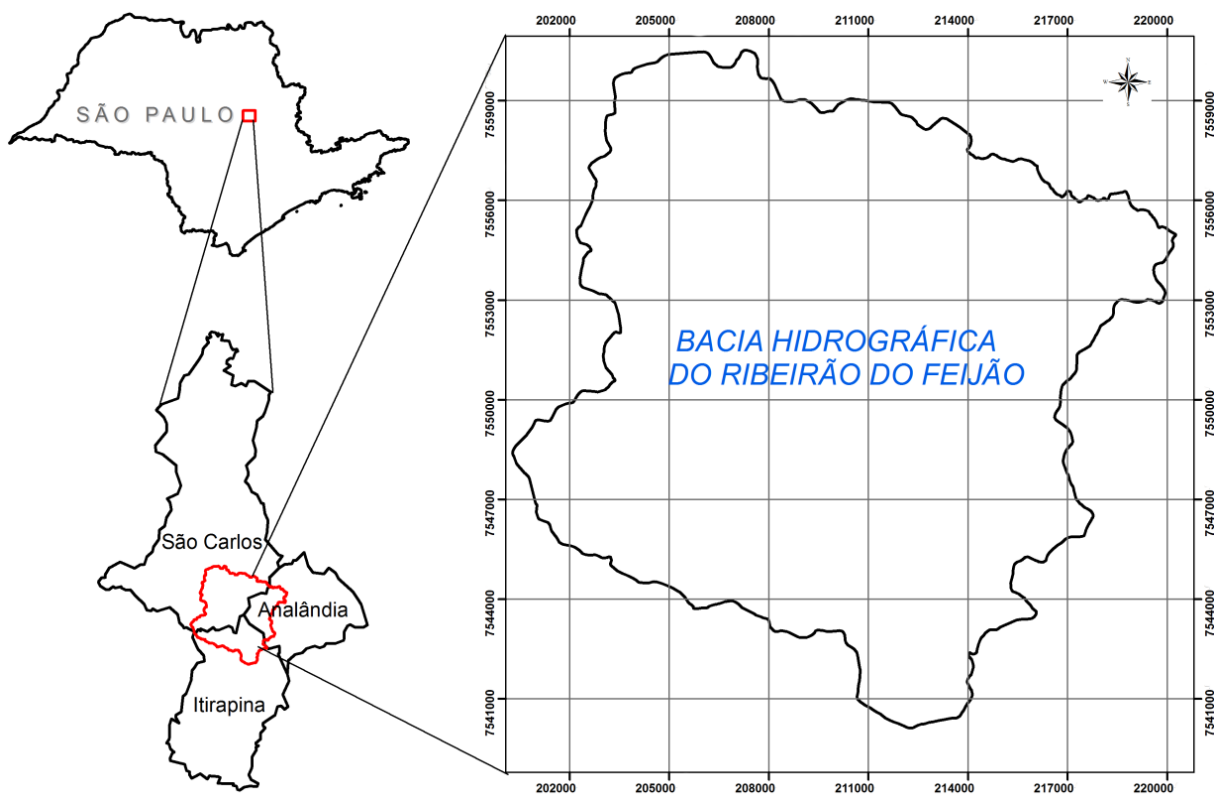


## 6. ÁREA DE ESTUDO

### 6.1. Dados Gerais e Hidrografia

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão (BHRF) pertence a Bacia Hidrográfica do Rio Paraná. Está localizada na região centro-leste do Estado de São Paulo, entre os paralelos  $47^{\circ}45'$  -  $47^{\circ}55'$  W e  $22^{\circ}00'$  -  $22^{\circ}15'$  S S (Figura 17). A rodovia Washington Luiz corta ao meio a BHRF no sentido norte-sul enquanto que a estrada de ferro da Ferrovia Paulista SA (FEPASA) corre paralelamente com a Washington Luiz.

**Figura 17-** Localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão



Fonte :Autor

A BHRF engloba 3 municípios: São Carlos (51% da área total -116 km<sup>2</sup>) (população de 221.936 habitantes), Analândia (22% da área total- 50 km<sup>2</sup>) (população de 4.389 habitantes) habitantes e Itirapina (27% da área total - 62 km<sup>2</sup>) (população de 11.528 habitantes).

A BHRF possui formato alongado, comprimento de eixo de 19 km, perímetro de 48 km, densidade de drenagem de 0,59 km/km<sup>2</sup> e declividade geral de 5,4%. O Ribeirão do Feijão (Figura 18) contém uma extensão de aproximadamente 22 km, tem suas nascentes no alto da Serra do Cuscuzeiro, e drena o planalto de Itirapina, correndo de NE para SW e de E

para W. O ribeirão é afluente do rio Jacaré-Guaçu pela margem esquerda e este afluente do rio Tietê. A jusante do Ribeirão do Feijão está situada a Usina Hidrelétrica de Energia Ibitinga (131,5 MW) -. Os principais rios que compõem a bacia do Ribeirão do Feijão são o Córrego do Monjolinho, o Córrego Laranja Azeda e o próprio Ribeirão do Feijão.

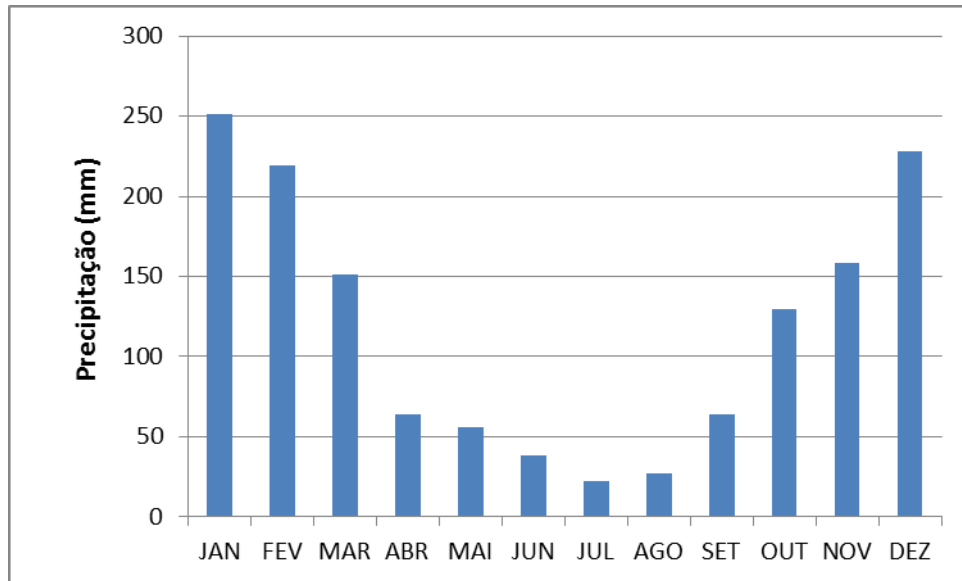
**Figura 18-** Ribeirão do Feijão



**Fonte:** Autor

## **6.2. Clima**

O clima segundo a classificação de Köppen é do tipo Cwa, caracterizando-se por ser um clima tropical de altitude com chuvas no verão e seca no inverno. A temperatura média anual segundo CEPAGRI (2011) é de 21.2°C, sendo que, a máxima média mensal é registrada nos meses de janeiro e fevereiro com 23°C e a mínima média mensal no mês de julho com 18°C. As variações médias entre os períodos da manhã e da noite são de 5° C. O valor médio de precipitação é de 1410.8 mm e a umidade relativa é de 66%. As chuvas se concentram principalmente nos meses de novembro a março (Figura 19). Os ventos predominantes são de nordeste, seguidos por ventos de sudeste (CEPAGRI, 2011).

**Figura 19-** Distribuição das chuvas ao longo do ano na BHRF.

Fonte: CEPAGRI (2011)

### 6.3. Meio Biótico

A vegetação predominante é o Cerrado, com ocorrência de florestas sem decídua e matas de galerias no ribeirão, porém os cerrados foram devastados principalmente para a cobertura de pastagens e extração mineral. A fauna da região é composta de animais dos mais variados portes, dentre os quais são citados: tamanduás (bandeira e mirim), tatus, emas, seriemas, cascavéis, lobos-guarás, jibóias, cervos, carcarás, falcões e tucanos. Salienta-se que muitos se encontram ameaçados de extinção. A flora da região apresenta algumas das seguintes espécies: araucárias, bromélias, ipês, palmiteiros, angicos, barbatimão, etc (PEREZ JUNIOR, 2009).

### 6.4. Uso e ocupação do solo

O uso solo predomina principalmente a zona rural, com áreas de pastagem (criação semi-intensiva e extensiva de gado bovino) e agricultura com diversos tipos de cultura, sendo a cana-de açúcar e laranja as predominantes. Ocorre também áreas de reflorestamento por pinus sp e *Eucalyptus* sp (Figura 20) e áreas de extração mineral. Além disso, A BHRF abriga parte da zona industrial da cidade de São Carlos, localizando-se também o antigo depósito de resíduos sólidos urbanos do município de São Carlos. (OLIVEIRA, 2011).

**Figura 20**–Área de plantação de *Eucalyptus* em solo quartzoso do Botucatu



**Fonte:** Autor

### **6.5. Geomorfologia**

A BHRF está localizada na zona de transição da província geomorfológicas das *Cuestas* Basálticas com o Planalto Ocidental, ou no “front” das *Cuestas*. As cotas altimétricas variam de 650m até mais de 1000 metros. O relevo é constituído de mesas e morros isolados, se configurando como planalto cortado (NISHIYAMA, 1991). O entalhamento dos vales varia de 20 a 80m e apresenta dimensão interfluvial média de 250 a 3.750m. A declividade varia de 2 a 20% na maior parte da área, e acima de 20% nos setores mais dissecados do terreno. A densidade de drenagem vai de média a alta. A litologia que prevalecente é constituída principalmente por depósitos arenosos e argilosos (ROSS E MOROZ, 1997).

### **6.6. Geologia**

A geologia da BHRF segundo Zuquette (1981) compreende a Formação Botucatu, Formação Serra Geral - com corpos ígneos intrusivos e extrusivos e o Grupo Bauru.

#### *6.6.1. Formação Botucatu*

A Formação Botucatu aflora nas regiões sul, sudeste, sudoeste, nordeste e noroeste da área de estudo (Figura 21). Constitui uma unidade genética de ambiente desértico, constituída de arenitos róseos, avermelhados e esbranquiçados de granulação fina a média, com grãos bem arredondados, superfície fosca, bem selecionados, e com teor de argila variável (SOARES 1973). Apresentam estratificações cruzadas de médio a grande porte.

Esses arenitos podem ser muito friáveis ou silicificados por processo de precipitação da sílica, tendo corpos conglomeráticos na base, bem como fácies lacustre. Sua espessura varia de 50 e 70 metros, porém não ultrapassa 150 metros. Apresenta escarpas verticais com desníveis topográficos superiores a 200 metros. Representa uma importante unidade do ponto de vista das águas subterrâneas, sendo a principal formadora do Aquífero Botucatu “Aquífero Guarani” (PARAGUASSU, 1972).

**Figura 21**–Afloramento da Formação Botucatu



**Fonte:** Autor

#### 6.6.2. *Formação Serra Geral*

A Formação Serra Geral é formada por rochas vulcânicas afaníticas de coloração cinza e negra, representada principalmente por derrames de basalto e corpos intrusivos (Magmatitos Básicos). São recobertos em discordância angular erosiva pelo Grupo Bauru, ou por sedimentos Cenozóicos. Afloram em algumas manchas a sudeste e a norte, frequentemente próximo ao Ribeirão do Feijão e em forma de paredões, sendo que em diversos pontos acha-se recoberta por solo residual. Geralmente em encostas e vales, apresenta-se fraturada, com espessura ao redor de 100 metros.

#### 6.6.3. *Formação Itaqueri*

A Formação Itaqueri está sobreposta a Formação Botucatu e a Formação Serra Geral, no reverso das Cuestas. Aflora a nordeste e a norte, é caracterizada por arenitos, de coloração marrom-avermelhada, de granulação média a conglomerática (de origem variada), com grãos angulosos, de matriz variável, por vezes argilosa, seleção pobre, e raramente

apresentando estratificação cruzada. A mais representativa é a Formação Itaqueri (MURO, 2000). Quanto à espessura, nesta região atinge cerca de 30m.

### **6.7. Materiais Inconsolidados**

Os materiais inconsolidados presentes na BHRF são compostos principalmente de textura arenosa, oriundos da Formação Botucatu. Ocorrem ainda materiais com maior percentagem de finos que se originaram da Formação Serra Geral. Os materiais com texturas areno-argilosas e argilo-arenosas ocorrem principalmente nas áreas mais elevadas da bacia, estes sendo gerados a partir da Formação Itaqueri, podendo haver contribuição das intrusões basálticas.

### **6.8. Águas Subterrâneas**

A área de estudo encontra-se sobre diversos mananciais rasos, profundo e de grande importância. Três são os aquíferos da região: Botucatu/Piramboia, Itaqueri e Serra Geral.

O Aquífero Serra Geral, formado de basaltos e diabásios, e lentes de arenito interderrames, aflora em grande extensão. Apresenta porosidade de fratura e ocasionalmente nas lentes de arenito.

O Aquífero Itaqueri, composto de arenitos e arenitos conglomeráticos, comporta-se como aquífero livre.

O Aquífero Guarani o mais importante dos três, pertencente a Bacia Sedimentar do Paraná, representa um imenso manancial de água potável, sendo considerado a maior reserva de água doce subterrânea do mundo. De acordo com a EMBRAPA (2004), a água armazenada neste aquífero é de excelente qualidade e suficiente para abastecer a atual população brasileira por 2.500 anos.

Este aquífero é composto pela Formação Botucatu, a qual se constitui de arenito, por vezes silicificado e grande parte de sua área está coberta por derrames básicos da Formação Serra Geral, que o torna confinado nessas áreas. Outra característica importante é que o aquífero encontra-se sobreposto ao Grupo Passa Dois, o qual funciona como um substrato impermeável e apresenta mergulho geral para oeste, em direção à calha do Rio Paraná (Davino *et al.*, 1982).

Ressalta-se que a área de estudo se situa sobre a franja da Formação Botucatu, ou seja, uma área potencial importante de recarga do Aquífero Guarani (ZUQUETTE,1981; NISHIYAMA,1991). De acordo com a EMBRAPA (2013), a recarga do Aquífero Guarani

apresenta recarga de 140 bilhões de metros cúbicos por ano, mas apenas 40 bilhões de metros cúbicos poderiam ser utilizados, para que a sustentabilidade do lençol freático fosse mantida e não existem dados seguros que comprovem o quanto já é consumido.

O padrão de recarga do aquífero está associada principalmente às áreas de afloramento das formações Botucatu e Pirambóia, e também através da drenagem de zonas de fissuras dos basaltos em alguns altos estruturais situados no interior da bacia. A água infiltrada para o aquífero tem um fluxo geral para Oeste, todavia grande parte do escoamento subterrâneo é drenada para os rios como escoamento básico, ainda na área de recarga (CETESB, 2004).

### **6.9. Pedologia**

Segundo IAC (1981, 1982) as seguintes classes de solos são identificadas:

a) Os latossolos vermelho-amarelos estão localizados principalmente a norte, nordeste e sul da área de estudo, são solos de caráter álico, textura média a muito argilosa e horizonte A moderado a proeminente. Estão associados as coberturas cenozóicas originadas do retrabalhamento de arenitos das Formações Botucatu, dos sedimentos da Formação Itaqueri e podem ter sido influenciados por áreas fontes do Piramboia, em vista que esta não ocorre na área de estudo.

b) Os latossolos vermelho-escuros compreendem solos álicos, de textura média a argilosa, horizonte A moderado, cores vermelho-escuro, vermelho e bruno-avermelhado escuro. Estão localizados principalmente em manchas a leste e a sudoeste da Bacia do Ribeirão do Feijão. Os latossolos vermelho-escuros de textura argilosa tem sua origem a partir de sedimentos finos (siltitos e argilitos) com maior ou menor contribuição de rochas básicas e os de textura média são originados de materiais mais grosseiros, especialmente do retrabalhamento de arenitos.

c) Os latossolos roxos são solos originados da decomposição de rochas básicas (basalto e diabásio). Apresentam textura argilosa a muito argilosa, com teor de areia grossa inferior a 10%, horizonte A moderado e B apédico. Estão localizados principalmente em manchas a leste e a sudeste da área de estudo.

d) Os podzólicos vermelho-amarelos são solos que apresentam horizonte B textural e A moderado a proeminente, textura média argilosa. Constituem-se de solos ácidos a muito ácido. A origem desses solos está ligada aos sedimentos do Grupo Passa Dois, Formação Pirambóia e Formação Marília (litofácies Itaqueri). Estão localizados em pequenas manchas a leste da bacia.

e) A terra roxa estruturada compreende os solos com horizonte A moderado e horizonte B textural argiloso ou muito argiloso, cerosidade moderada ou proeminente no horizonte B<sub>2</sub>, estrutura subangular média moderada ou desenvolvida no horizonte B<sub>2</sub>. Os solos deste tipo estão normalmente associados a formação Serra Geral.

f) As areias quartzosas apresentam o horizonte A moderado, espessura superior a 2 metros, cores variando de vermelho –acinzentado a bruno-avermelhado claro, consistência friável e fortemente ácido. A composição é essencialmente arenosa, sendo originados do retrabalhamento das formações Pirambóia e Botucatu.

g) Os solos litólicos são caracterizados pela pequena espessura do “solum”, geralmente inferior a 40 centímetros, horizonte A moderado e presença de minerais instáveis. Tem como substrato os sedimentos finos do Grupo Passa Dois, arenitos das Formações Pirambóia e Botucatu, basaltos da Formação Serra Geral, arenitos e conglomerados da Formação Marília. Ocorrem preferencialmente em áreas de declividades mais acentuadas.

h) Os solos hidromórficos estão restritos as planícies de inundação do Ribeirão do Feijão. Caracterizam-se por apresentar o horizonte glei a menos de 80 cm de profundidade, cores claras, podendo mostrar um certo mosqueamento. Os tipos de hidromórficos da região são: solos orgânicos, glei húmico e glei pouco húmico.



## 7. DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS

### 7.1. Documentos Cartográficos Fundamentais

#### 7.1.1. Mapa de Documentação

O Mapa de Documentação pode ser observado no Anexo I consiste no registro pontual das informações produzidas durante o mapeamento (pontos visitados e amostrados durante o trabalho de campo), assim como apresenta informações relativas à topografia, a malha viária (com estradas pavimentadas e de terra), a área urbana, rede de drenagem e o limite das bacias em estudo. Contém ainda a localização cartográfica das informações pontuais obtidas durante o mapeamento geotécnico, como os pontos de amostragem, visita, e descrição. No total identificou-se na área 32 pontos de amostragem incluindo os realizados na pesquisa, 35 pontos de coleta de água, 11 ensaios de infiltração, 11 ensaios de infiltração feitos por outros autores, 20 poços profundos e 53 pontos visitados.

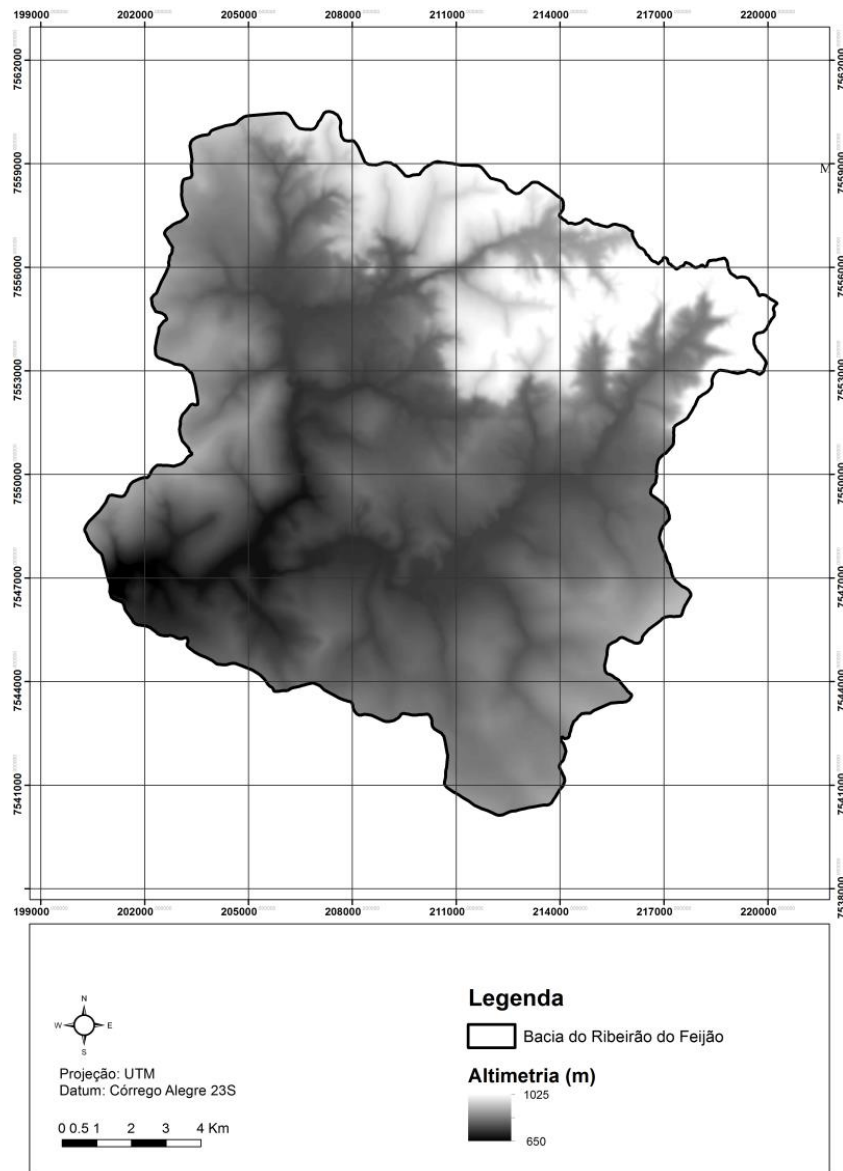
#### 7.1.2. Carta de Declividade

A Carta de Declividade é um documento cartográfico imprescindível e indispensável para estudo de uma área do ponto de vista geotécnico, pois contém informações acerca da variação do relevo da região, representando a inclinação das encostas, e é representada em porcentagem ou em graus. Neste trabalho, foi elaborada por meio computadorizado (uso de algoritmos).

Para a elaboração da carta de declividade foi necessário ter um Modelo Digital do Terreno (MDT) previamente elaborado. O MDT foi produzido a partir das curvas de nível e pontos cotados, onde foi utilizada a grade regular como interpolador, através do comando *topo to raster* do módulo *spatial analyst*. O MDT elaborado pode ser observado na Figura 22. A validação deste documento foi feita de forma visual, analisado os contornos e os valores das curvas de nível se estavam em conformidade com o MDT elaborado. Ademais, foi feito o mesmo processo para os pontos cotados, verificando se os valores estavam iguais.

De posse do MDT procedeu-se para a geração da carta de declividade a qual utiliza os comandos do ArcGIS: *Spatial Analyst / Surface Analysis / Slope*. A partir deste novo arquivo, fez-se a reclassificação e a carta de declividade para a área. A definição dos intervalos das classes foi feita baseando-se na melhor representatividade dos aspectos de variação topográfica da área e objetivo do estudo, obtendo-se 5 classes de declividade em porcentagem (0-2; 2-4; 4-8; 8-15; >15)

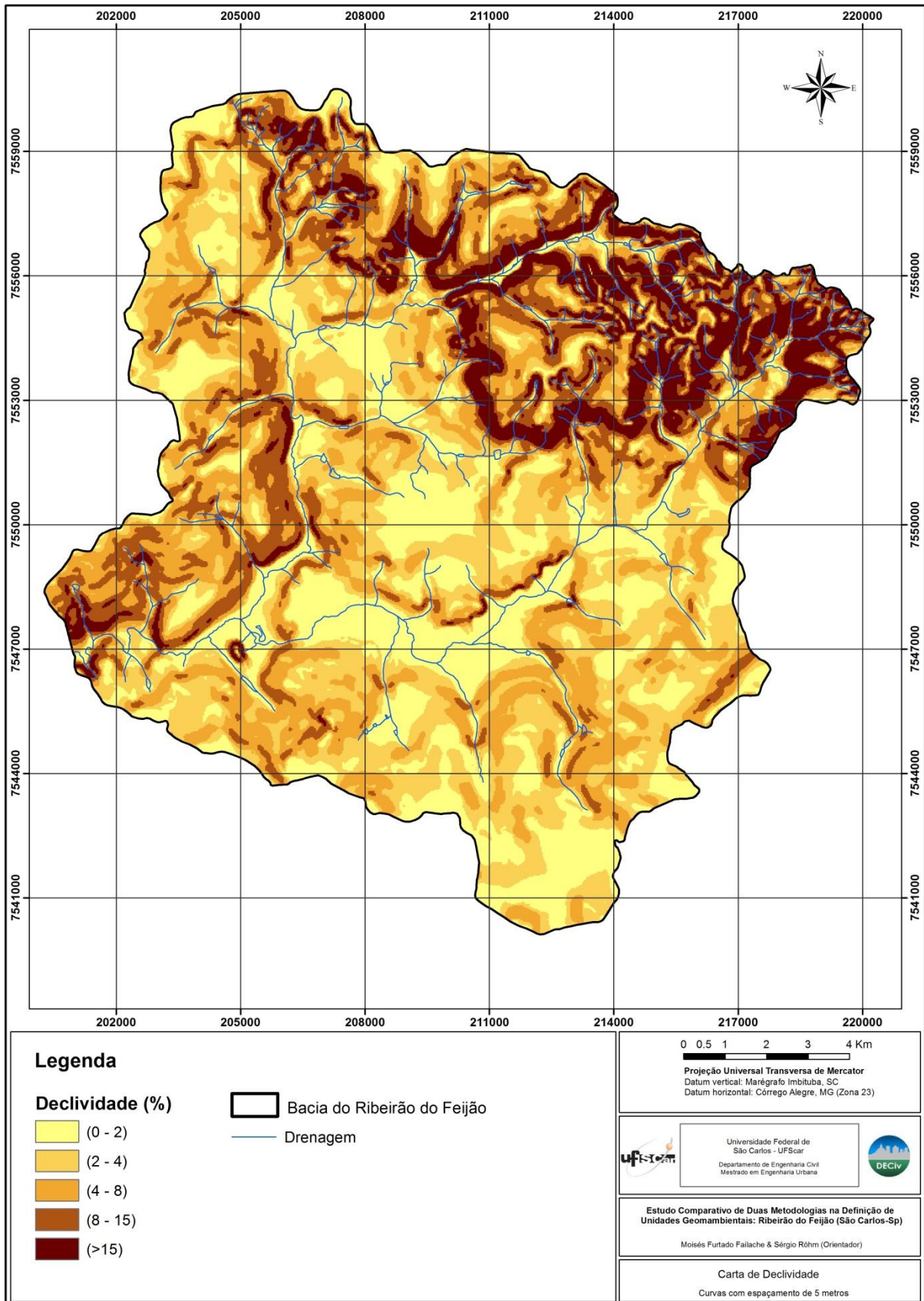
**Figura 22**-MDT confeccionado da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão



**Fonte:** Autor

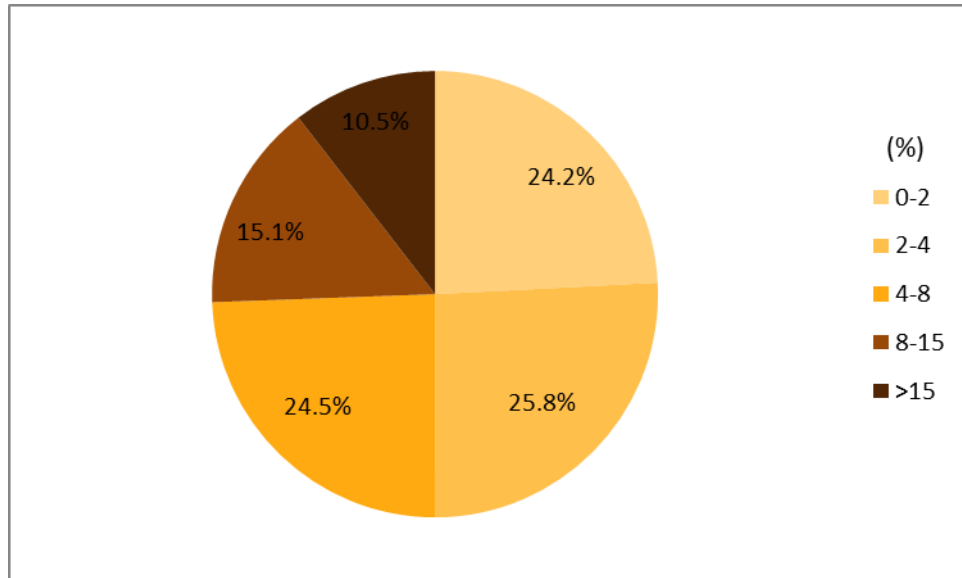
A carta de declividade da BHRF (Figura 23) apresentou a predominância dos intervalos de declividade de 0-2%; 2-4% e 4-8% correspondendo aproximadamente 75% da área da Bacia. Estas classes com menores declividades se localizaram principalmente no centro e no sul da bacia, áreas onde apresentava uma densidade menor de drenagem e menores atitudes. O intervalo de 8 a 15% de declividade se localizou principalmente a nordeste, norte e oeste da bacia. As áreas com maiores declividades da BHRF estavam localizadas quase que exclusivamente na frente das “cuestas”, ou seja, na zona de escarpas da BHRF, área esta próxima das cabeceiras da bacia a qual apresenta uma densidade de drenagem maior e vales mais entalhados. A distribuição das classes de declividade pode ser observada na Figura 24

**Figura 23**– Carta de declividade elaborada a partir de curvas de nível de espaçamento de 20 metros.



Fonte: Autor

**Figura 24**– Distribuição das classes de declividade da carta elaborada a partir do mapa topográfico com curvas de nível com espaçamento de 20 metros.



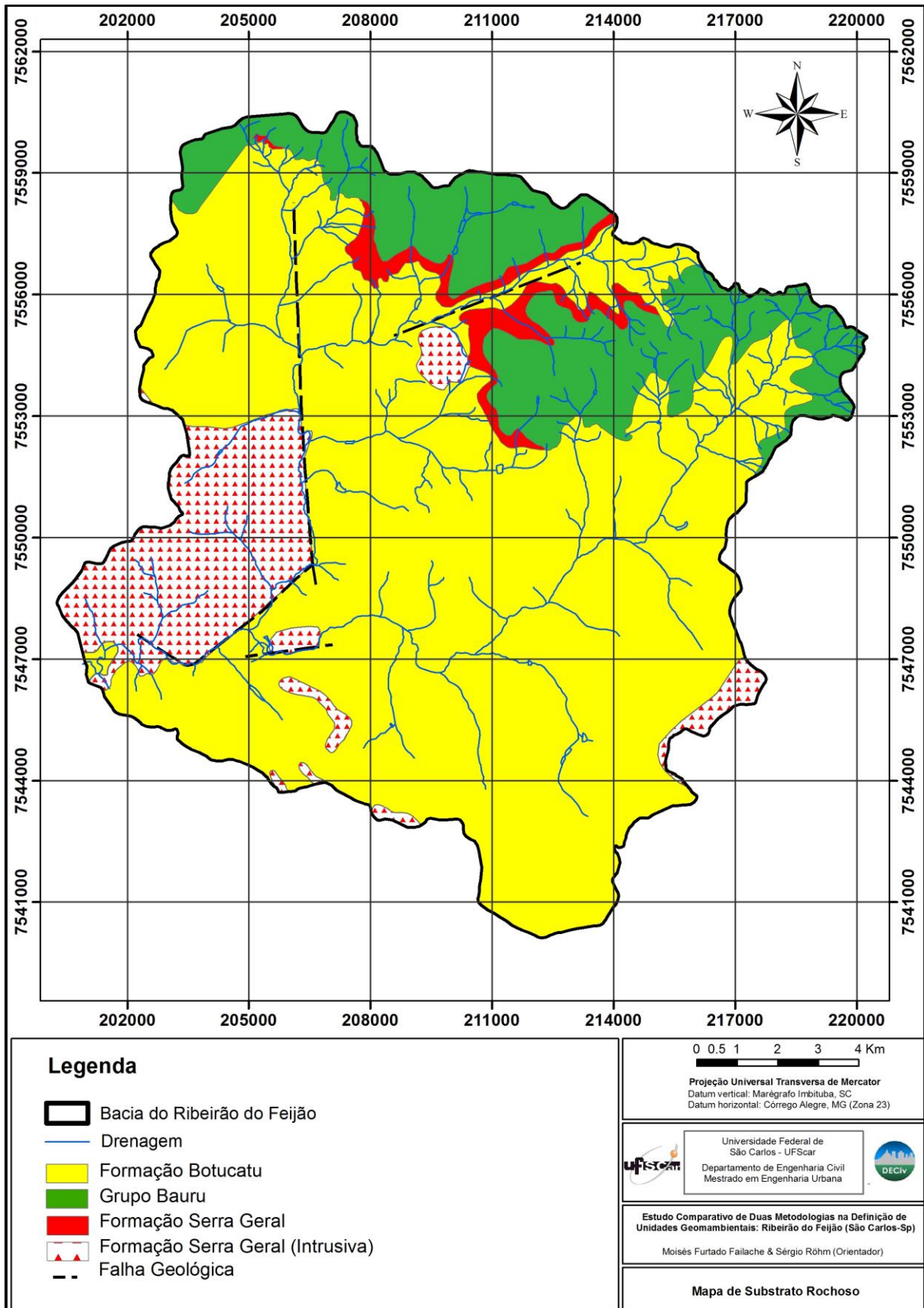
**Fonte:** Autor

### 7.1.3. Mapa de Substrato Rochoso

O Mapa de Substrato Rochoso representa a disposição espacial das rochas que compõem a área de estudo. Por não ser o objetivo deste trabalho associado a existência de mapeamento geológicos compatíveis com a realização deste, foram apenas verificados em campo os contatos estabelecidos por Nishiyama (1991), e atualizados quando necessário. Após a verificação foram vetorizados os limites das unidades litoestatigráficas.

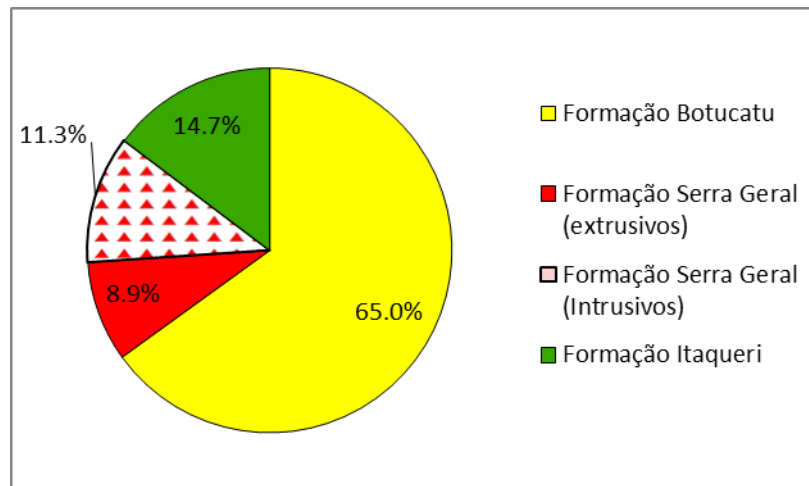
Este mapa (Figura 25) apresentou três formações geológicas (Formação Botucatu, Serra Geral e Formação Itaqueri), sendo que a Formação Serra Geral se subdivide em extrusiva e intrusiva. Sua distribuição pode ser observada na Figura 26. A formação predominante foi a Formação Botucatu com 65%, em seguida a Formação Serra Geral (sendo as extrusivas as predominantes) somando aproximadamente 20%, e pôr fim a Formação Itaqueri com 14,7% ocorrendo exclusivamente nas áreas mais elevadas da bacia. Ressalta-se que um ponto importante de afloramento da Formação Serra Geral se deu no leito do Ribeirão do Feijão (Figura 27). A descrição das unidades que compõem este documento foi apresentada no tópico 6.6

Figura 25– Mapa de Substrato Rochoso da BHRF.



Fonte: Autor

**Figura 26-**Gráfico representando a distribuição das formações geológicas na BHRP.



**Fonte:** Autor

**Figura 27-** Basalto aflorando no leito do Ribeirão do Feijão



**Fonte:** Autor

#### 7.1.4. Mapa de Materiais Inconsolidados

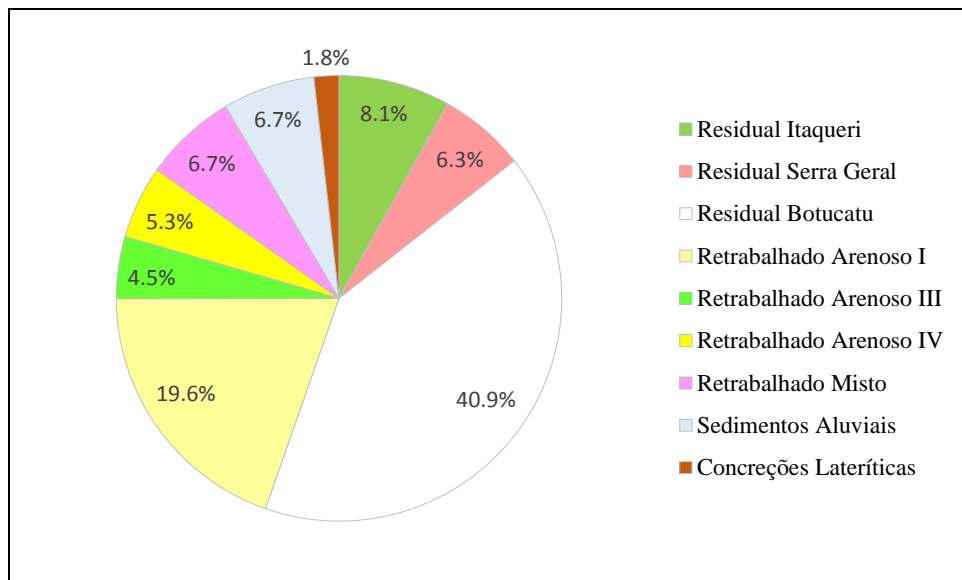
O Mapa de Materiais Inconsolidados representa os materiais geológicos naturais que estão sobre o substrato rochoso. Dependendo do seu grau de detalhamento, esse produto cartográfico pode auxiliar os usuários a avaliar o comportamento geotécnico desses materiais naturais frente diversas solicitações, e servir de base para elaboração de diversos Zoneamentos.

O mapa de materiais inconsolidados final foi elaborado com base no mapa pré-existente de Nishiyama (1991), detalhado com base em observações de campo e ensaios laboratoriais lançados sobre o mapa de materiais inconsolidados já elaborado em estudos prévios.

Os materiais inconsolidados foram classificados a partir da gênese, separando-os em residuais e retrabalhados, da sua espessura, acrescentando ainda dados sobre permeabilidade. As unidades foram definidas e delimitadas partir da associação com *landforms*, posição geográfica, declividade e morfologia típica das zonas. Além disso, para validar o mapa pré-existente e obter mais informações sobre a natureza desses materiais, foi feita uma verificação de campo, bem como uma ampliação do espaço amostral através da realização de ensaios geotécnicos básicos e específicos (Item 5.2.2).

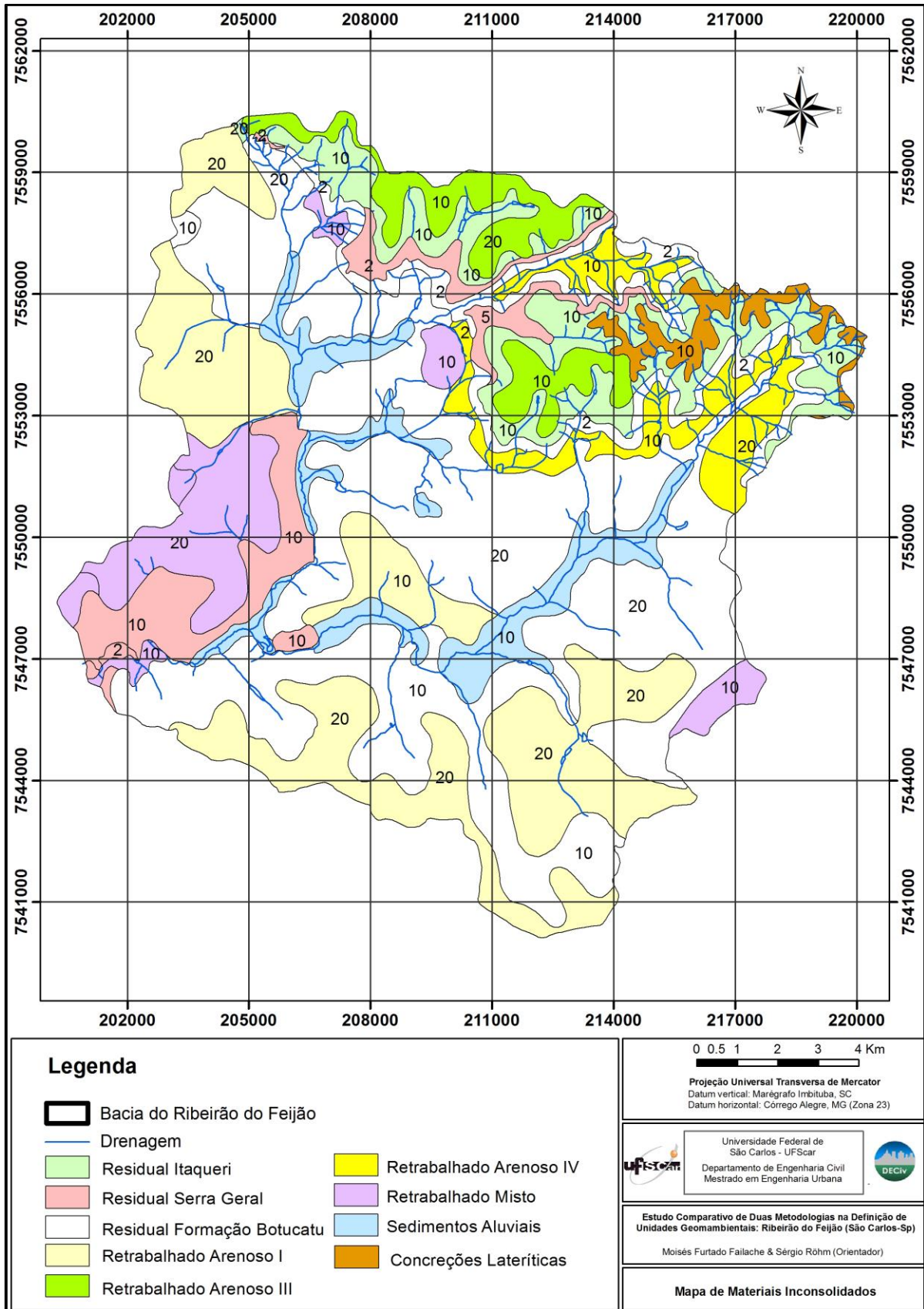
Para a BHRP foram identificadas 9 unidades de materiais, onde estas estão representadas principalmente pelos arenosos do Residual Botucatu e pelo Retrabalhado Arenoso I que somando totalizam aproximadamente 60% da área. Os outros materiais restantes estão distribuídos em termos de área de forma equivalente. A distribuição dos materiais pode ser observada na Figura 28. Na Figura 29 é demonstrado o Mapa de Materiais Inconsolidados.

**Figura 28-**Gráfico da distribuição dos materiais inconsolidados na BHRF.



**Fonte:** Autor

Figura 29-Mapa de Materiais Inconsolidados da BHRF.



Fonte: Autor



#### 7.1.4.1. Descrição dos Materiais Inconsolidados

A área de estudo apresentou os seguintes materiais inconsolidados Residual do Botucatu, do Serra Geral e do Itaqueri, Retrabalhado Arenoso I, III, IV, Retrabalhado Misto, Concreções Lateríticas e Sedimentos Aluviais. A seguir estes materiais serão descritos. No Anexo II estão representados os resultados obtidos dos dados geotécnicos de outros autores e dos ensaios realizados em campo e laboratório. Na Tabela 8 são mostrados de maneira sintética as principais propriedades dos materiais inconsolidados, considerando o máximo e o mínimo de cada parâmetro.

**Tabela 8-** Principais propriedades dos materiais inconsolidados encontrados na BHRF

G	MI	Esp (m)	Graunulometria			Kfs (cm/s)	w (%)	e	pd (g/cm <sup>3</sup> )	ps (g/cm <sup>3</sup> )
			Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)					
R	It	10-20	10-63	5-28	35-60	10 <sup>-4</sup> -10 <sup>-2</sup>	8.7-25.8	0.62-2.44	1.31-1.99	2.57-2.80
R	SG	2-10	10-60	20-45	10-35	10 <sup>-5</sup> - 10 <sup>-3</sup>	23.4-31.6	0.8-1.59	1.49-1.65	2.72-2.92
R	Bot	2->20	0-10	0-5	>80	10 <sup>-3</sup> - 10 <sup>-2</sup>	8.5-11.9	0.51-0.91	1.44-1.99	2.61-2.64
Rt	Ar I	10-20	0-10	0-8	79-95	10 <sup>-3</sup>	9.7-10.7	0.54-0.86	1.42-1.97	2.62-2.65
Rt	Ar III	10-20	30-45	10-20	70-95	10 <sup>-2</sup> -10 <sup>-3</sup>	15.7-24	0.63-1.58	1.18-1.78	2.63-2.67
Rt	Ar IV	10-20	6-14	1-7	66-92	10 <sup>-4</sup> -10 <sup>-2</sup>	2-22	0.66-1.06	1.51-1.65	2.61-2.63
Rt	M	10-20	7-14	4-24	64-91	10 <sup>-3</sup> -10 <sup>-4</sup>	4-7.1	0.65-0.6	1.62	2.62-2.67
Rt	Al	0-10	5-6	1-3	91-93	10 <sup>-4</sup>	14-16	-	-	2.66-2.71
Rt	CL	0-10	29	14.5	56.5	10 <sup>-3</sup>	10.4	-	-	2.64

<b>Legenda</b>			
<b>G</b> =Gênese	<b>e</b> =Índice de vazios	<b>Bot</b> =Botucatu	<b>Ar IV</b> =Arenoso IV
<b>MI</b> =Material Inconsolidado	<b>pd</b> = Massa específica seca	<b>It</b> =Itaqueri	<b>Ar M</b> =Arenoso Misto
<b>Esp</b> =Espessura	<b>ps</b> =Massa específica dos sólidos	<b>SG</b> =Serra Geral	<b>Al</b> =Aluvião
<b>Kfs</b> =Condutividade Hidráulica	<b>R</b> =Residual	<b>Ar I</b> =Arenoso I	<b>CL</b> = Concreções Lateríticas
<b>w</b> =Umidade gravimétrica	<b>Rt</b> =Retrabalhado	<b>Ar III</b> =Arenoso III	

**Fonte:** Autor

##### 7.1.4.1.1 Residual do Itaqueri

Os materiais Residuais do Itaqueri estão localizados principalmente no topo da Serra do Cuscuzeiro. As espessuras dos materiais variam de 10 a 20 metros, a granulometria é

composta de areia fina a média à argila arenosa, apresentando coloração avermelhada, com presença de pedregulho em algumas porções.

Dados geotécnicos de outros trabalhos (ZUQUETTE, 1981; NISHIYAMA, 1991; PONS, 2006) dessa unidade mostram que a areia fina é o principal constituinte (em torno de 60%), seguido da areia média (de 2 a 20 %), silte (de 5 a 28%), e argila (10 a 63,5%). Apresenta massa específica dos sólidos entre 2,57 a 2,80 g/cm<sup>3</sup>, massa específica seca está entre 1,31 a 1,99 g/cm<sup>3</sup>, índice de vazios entre 0,62 a 2,44 enquanto que a umidade ótima está entre 8,70 a 25,8%. O coeficiente de permeabilidade varia desde 10<sup>-4</sup> a 10<sup>-2</sup> cm/s.

#### 7.1.4.1.2. Residual do Serra Geral

Os solos residuais dessa formação são mais visualizados em taludes a nordeste da bacia, ou próximo ao afloramento do basalto ao longo do curso do Ribeirão do Feijão. Em geral, apresentam pouca profundidade de material inconsolidado. A textura é predominantemente argilosa, e as espessuras na área de estudo variaram de 2 a 10 metros de profundidade. A coloração predominante é avermelhada a marrom.

Os dados geotécnicos obtidos por outros autores (ZUQUETTE, 1981) foram: a textura era composta de areia fina entre 10 a 35%, silte entre 20 a 45%, e argila entre 25 a 60%. A massa específica dos sólidos está entre 2,72 a 2,92 g/cm<sup>3</sup>, a massa específica seca varia de 1,49 g/cm<sup>3</sup> a 1,65 g/cm<sup>3</sup>. O índice de vazios variou entre 0,80 a 1,59 e umidade ótima entre 23,4 a 31,6%. O coeficiente de permeabilidade gira em torno de 10<sup>-5</sup> a 10<sup>-3</sup> cm/s.

A realização dos ensaios de caracterização básica neste estudo foi feita em uma plantação de eucalipto como pode ser observada na Figura 30. Os dados obtidos nesta unidade foram: granulometria apresentando frações de 20% de areia fina, 31% de areia média, 18% de silte e 30% de argila. O valor da umidade foi de 11,60% e coeficiente de permeabilidade foi de 10<sup>-2</sup> cm/s. Ressalta-se que por ser um solo com uma porcentagem moderada de argila esperava-se que infiltrasse menos água do que realmente infiltrou. Todavia Muro (2000) verificou que em períodos de estiagem esses solos tornam-se, a maior parte do tempo, seco e quebradiço, formando gretas de contração, condição esta que foi realizada o ensaio favorecendo a infiltração da água.

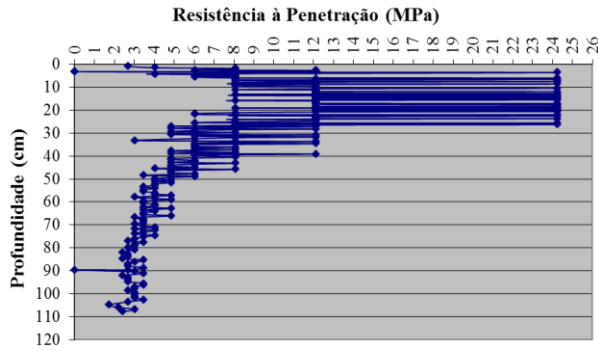
**Figura 30**– Local de retirada de amostra do Residual do Serra Geral para caracterização granulométrica e realização de ensaio de penetrômetro de impacto e permeâmetro Guelph.



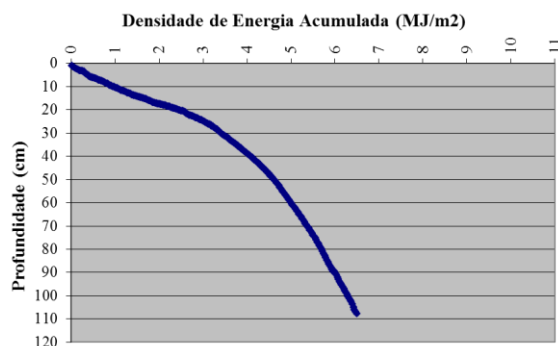
**Fonte:** Autor

Além disso, obtiveram-se valores de resistência a penetração e energia acumulada onde se observa na Figura 31 (a) e (b), que este material apresentou grande resistência nos primeiros 40 cm de solo, em virtude da camada enrijecida devido a falta de chuva quando foi feito o ensaio.

**Figura 31**- Gráficos de resistência a penetração (a) e energia acumulada (b) de um material residual do Serra Geral em uma área de Eucalipto



a)



b)

**Fonte:** Autor

#### 7.1.4.1.3. Residual do Botucatu

Essa unidade é a que apresenta maior distribuição dentro da área de estudo e é de grande importância para a recarga do Aquífero Guarani. Apresenta profundidades variando de 2 a 20 metros, textura predominantemente arenosa. É um solo bastante friável, sem cimentação características favoráveis a ocorrência de erosão.

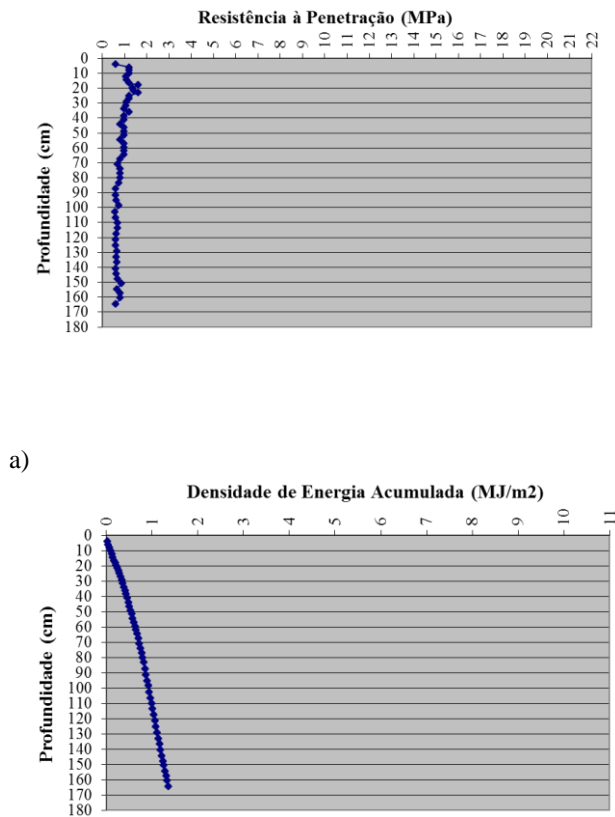
Conforme Zuquette (1981) & Nishiyama (1991) a granulometria dessa unidade constitui-se de areias finas variando de 70 a 80%, areia média entre 2 a 20%, e argila até 10%. A massa específica dos sólidos encontrada está entre 2,61 a 2,64 g/cm<sup>3</sup>, massa específica seca de 1,48 a 1,99 g/cm<sup>3</sup>, e índice de vazios de 0,51 a 0,74. Os valores de umidade ótima alternaram de 8,5 a 11,9%, e coeficiente de permeabilidade variou de 10<sup>-3</sup> a 10<sup>-2</sup> cm/s.

Os dados obtidos ao longo dos ensaios de campo e laboratório realizados neste estudo desta unidade foram de granulometria onde apresentou valores de areia variando de 88 a 70% de areia, argila de 5 a 6%, silte de 6 a 18%. A massa específica dos sólidos variou de 2,63 a 2,68 g/cm<sup>3</sup>, a média de massa específica seca foi de 1,44 g/cm<sup>3</sup>. O índice de vazios

alternou de 0.77 a 0.91, a porosidade de 44 a 48%, a umidade média foi de 5.3%, o grau de saturação de 19 a 26%.

O residual do Botucatu apresentou baixíssima resistência a penetração (1MPa de média) independente do uso solo, podendo-se observar em um ensaio ocorrido em uma área de cerrado. A resistência a penetração e a densidade acumulada ao longo desse ensaio pode ser observado na Figura 32 (a) e (b). O coeficiente de permeabilidade variou entre  $10^{-2}$  e  $10^{-3}$  cm/s, onde se verificou que a frente de molhamento (Figura 33) se localizou por volta dos 2 metros de profundidade. As Figuras 34 e 35 apresentam exemplo dos ensaios realizados em diferentes usos no Residual do Botucatu para a caracterização geotécnica deste material.

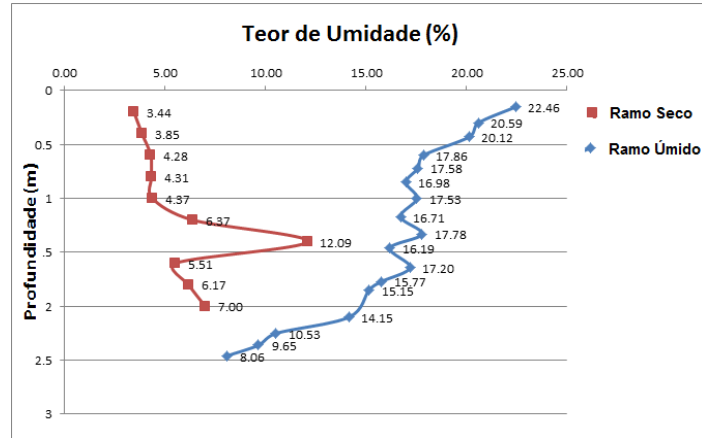
**Figura 32-** Gráficos de (a) resistência à penetração (b) energia acumulada de um material residual do Botucatu seco em uma área de cerrado.



b)

Fonte: Autor

**Figura 33-** Gráfico da frente de molhamento em um residual do Botucatu uma área de eucalipto.



Fonte: Autor

**Figura 34 e Figura 35-** Ensaios de infiltração utilizando o permeâmetro Guelph (a), o método de duplo anel em duas áreas diferentes do residual do Botucatu.



Fonte: Autor

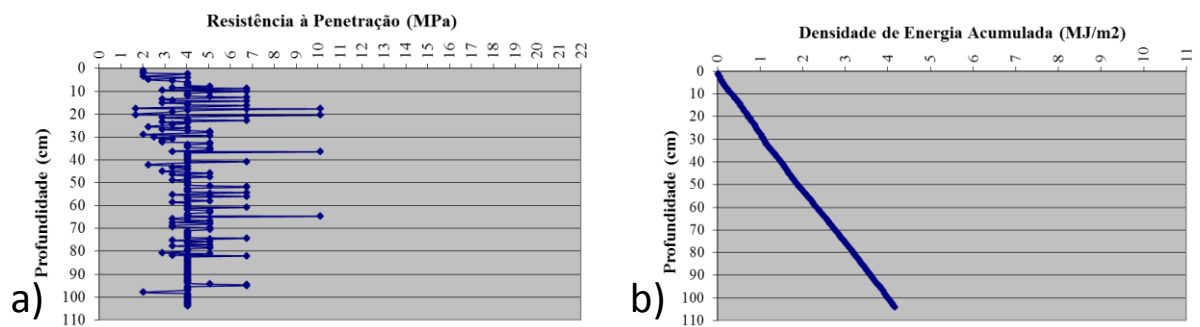
#### 7.1.4.1.4. Retrabalhado Arenoso I

A unidade retrabalhado arenoso I recobre os materiais da Formação Botucatu, é predominantemente arenosa além de apresentar homogeneidade ao longo do perfil. Normalmente sua coloração varia de amarelada a avermelhada e a fração predominante é a areia fina (60 a 80%), com areia média em torno de 5 a 25% e argila chegando a 10%. Os valores de massa específica dos sólidos foram de 2,62 a 2,64 g/cm<sup>3</sup>, massa específica seca entre 1,42 a 1,97 g/cm<sup>3</sup>, e índice de vazios de 0,54 a 0,86. A umidade ótima alternou de 9,7 a 10,7% e coeficiente de permeabilidade é de aproximadamente 10<sup>-3</sup> cm/s (NISHIYAMA,1991; MURO, 2000; PONS 2006).

Os resultados dos dados geotécnicos obtidos neste estudo para esta unidade foram: A fração de argila próximo de 2%, de silte 3%, de areia fina 25% de areia média 64 % e de areia grossa 6%, apresentando uma massa específica dos sólidos de 2.65. O grau de saturação A umidade ótima obtida foi de 11.5% enquanto que o coeficiente de permeabilidade

foi de  $10^{-3}$  cm/s, valor este encontrado por outros autores. A resistência a penetração do Arenoso 1 foi em média de 4 MPa, aumentando sua resistência em alguns momentos em virtude de possíveis raízes, em vista que o ensaio foi feito em área de floresta. A energia acumulada e a resistência a penetração podem ser observadas na Figura 36 (a) e b).

**Figura 36-** Gráficos de resistência a penetração (a) e (b) energia a acumulada de um material Retrabalhado Arenoso I em uma área de floresta.



**Fonte:** Autor

#### 7.1.4.1.5. Retrabalhado Arenoso III

Esta unidade ocupa uma das porções mais elevadas da área de estudo, estando entre as cotas 950 e 1000m. O material apresenta colorações amarelo- avermelhada, sua textura tem predominância areno-argilosa e está assentada sobre os sedimentos do Grupo Bauru (Figura 37).

**Figura 37-** Retirada de amostra indeformada de um material inconsolidado retrabalhado arenoso III.



**Fonte:** Autor

A granulometria desse material se constitui de areia fina variando de 32 a 51%, silte de 10 a 20% e argila variando de 30 a 45%. Normalmente podem ocorrer conglomerados e pedregulhos na porção basal. A massa específica dos sólidos varia de 2,63 a 2,67 g/cm<sup>3</sup>, massa específica seca encontra-se entre 1,18 a 1,78 g/cm<sup>3</sup>, e o índice de vazios entre 0,63 a 1,58. O coeficiente de permeabilidade estimado foi de 10<sup>-2</sup> a 10<sup>-3</sup> cm/s e umidade ótima entre 15,7 a 24% (ZUQUETTE, 1981; PONS, 2006).

#### 7.1.4.1.6. Retrabalhado Arenoso IV

Os Retrabalhados Arenosos IV (Figura 38) estão localizados na base das escarpas sendo caracterizados como depósitos colúviais. Pode apresentar fragmentos centimétricos ou decimétricos de arenitos silicificados e ainda blocos de basalto ou diabásio. Esta unidade é se assemelha bastante ao residual do Botucatu no que diz respeito a granulometria.

**Figura 38-** Material Retrabalhado Arenoso IV, apresentando linha de seixo



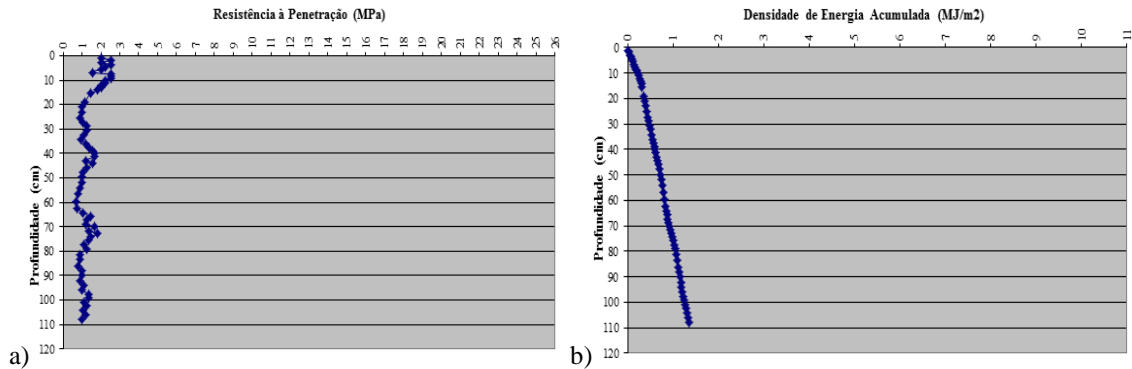
**Fonte:** Autor

As características geotécnicas dos arenosos IV (NISHIYAMA;1991; VELOZO, 2006) são: a fração de areia grossa inferior a 3%, areia média de 1 a 12%, areia fina de 66 a 84 %, silte de 1 a 7% e de argila podendo variar de 6 a 14 %. A umidade média é de aproximadamente 10%, a massa específica dos sólidos variando de 2.61 a 2.63 g/cm<sup>3</sup>, enquanto que a massa específica seca de 1.51 a 1.65 g/cm<sup>3</sup>. O Coeficiente hidráulico pode variar de 10<sup>-4</sup> a 10<sup>-2</sup> cm/s.

A resistência a penetração assim como a energia acumulada do Arenoso IV foram baixas apresentando em média de 1 a 2 Mpa sendo demonstrados na Figura 39 (a) e (b).



**Figura 39**-Gráficos de resistência a penetração (a) e (b) energia a cumulada de um material Retrabalhado Arenoso IV em uma área de floresta.



Fonte: Autor

#### 7.1.4.1.7. Retrabalhado Misto

Os retrabalhados mistos (Figura 40) estão localizados em dois pontos da bacia, o primeiro a oeste da bacia sob a Formação Serra Geral e o segundo próximo ao antigo lixão de São Carlos. Os materiais dessa unidade são originados da mistura dos materiais residuais argilosos da Formação Serra Geral e dos materiais arenosos da Formação Botucatu e a proporção entre esses materiais é função da proximidade do corpo de basalto. As espessuras de materiais encontradas na área de estudo variam de 10 a 20 metros.

**Figura 40**-Material inconsolidado retrabalhado arenoso misto próximo ao lixão de são carlos.



Fonte: Autor

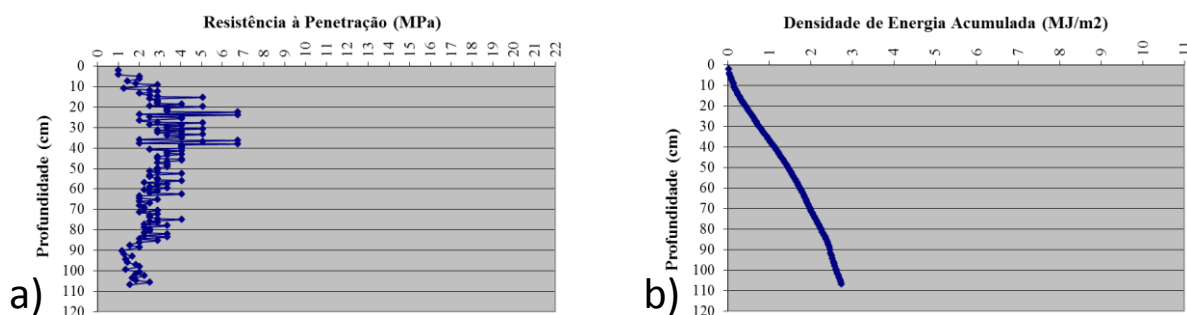
As características geotécnicas desse material obtidas por outros autores (NISHIYAMA, 1991; VELOZO; 2006) apresentaram os seguintes resultados: A fração de areia grossa variou de 0 a 1%, areia média de 22 a 46%, areia fina de 41 a 46%, silte de 4 a 24% e de argila de 7 a 12%. A massa específica dos sólidos foi de 2.67 g/cm<sup>3</sup>, a massa específica seca de 1,62 g/cm<sup>3</sup>. A porosidade variou de 38.8 a 39.5%, e o índice de vazios de

0,65 a 0,66. A umidade média foi de 4% enquanto que o coeficiente de permeabilidade variou de  $10^{-3}$  a  $10^{-4}$ .

Os dados obtidos nos ensaios de laboratório e em campo foram: Fração de areia grossa em 9%, de areia média em 48.5%, de areia fina em 24%, silte em 4% e de argila com valores de 14%. A massa específica dos sólidos foi de  $2.618 \text{ g/cm}^3$ , a umidade de 7.1% e coeficiente de permeabilidade  $10^{-3} \text{ cm/s}$ , valores estes que se assemelham com outros obtidos anteriormente.

Esta unidade apresentou resistência a penetração baixa ao longo de todo o perfil, com média de 4MPa. Na Figura 41 (a) e (b) podem ser observados a resistência a penetração e a energia acumulada em um Retrabalhado Misto.

**Figura 41-** Gráfico de resistência a penetração e energia acumulada de um material Retrabalhado Misto em uma área de floresta.



**Fonte:** Autor

#### 7.1.4.1.8. Sedimentos Aluvionares

Os sedimentos aluvionares (Figura 42) estão localizados principalmente ao próximo as áreas planas do Ribeirão do Feijão e de alguns de seus atributos. Esta unidade apresenta textura variada são ricas em matéria orgânica apresentam baixa declividade e espessuras variadas, de difícil identificação. A coloração varia na sua extensão permanecendo as tonalidades amarela clara a cinza clara.

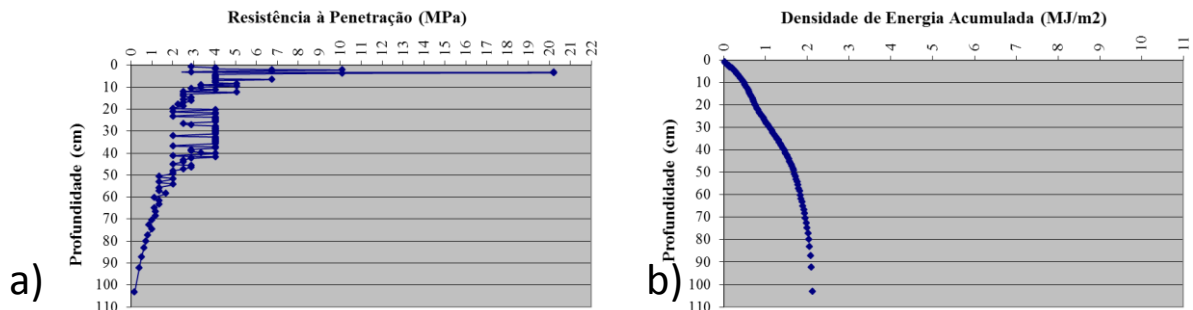
**Figura 42-** Material aluvionar

**Fonte:** Autor

Os resultados de laboratório e ensaios de campos foram: granulometria predominante arenosa, onde a fração de areia grossa variou de 0 a 1%, a areia média de 46 a 50%, a areia fina de 42 a 46%, a de silte de 1 a 3% e a argila variou de 5 a 6%. A massa específica dos sólidos variou de 2.66 a 2.71 g/cm<sup>3</sup>, o coeficiente de permeabilidade obtido foi de 10<sup>-4</sup> cm/s, a umidade média foi de 15,20%. Ressalta-se que este material apresentou um valor bastante baixo de infiltração. Este fato pode-se ser explicado em virtude do solo está bastante saturado em virtude da proximidade com a drenagem.

Esta unidade apresentou uma resistência baixa a penetração, onde observou-se uma queda da resistência com o aumento da profundidade. A diminuição da resistência também está associada ao aumento de umidade. Na Figura 43 (a) e (b) pode-se observar os gráficos de resistência à penetração e a energia acumulada.

**Figura 43-** Gráfico de resistência a penetração e energia acumulada de um material aluvionar em uma área de várzea.



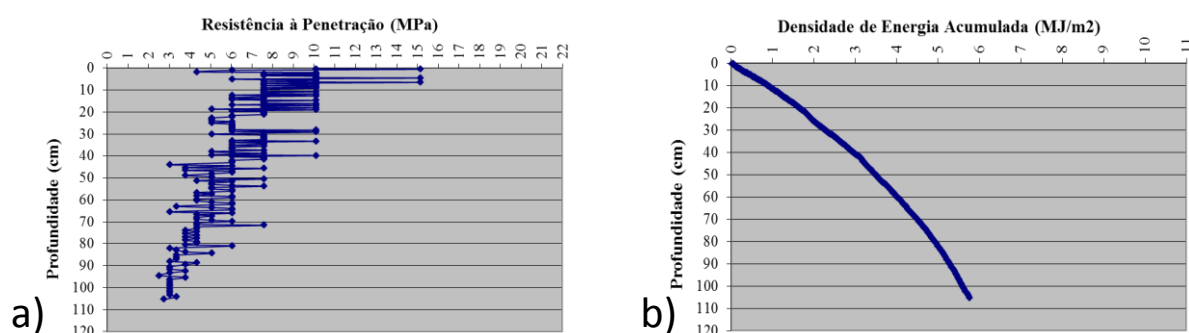
**Fonte:** Autor

#### 7.1.4.1.9. Concreções Lateríticas

As Concreções Lateríticas ocorreram principalmente nas zonas de maior declividade bacia. Este tipo de material possui nodulações endurecidas, normalmente de coloração avermelhadas, amareladas e violáceas.

Esta unidade apresentou textura variada, onde a fração areia grossa correspondeu a 7,5%, a areia média 24%, a areia fina 25%, o silte 14,5% e a argila 29%. A massa específica dos sólidos apresentou valores por volta de 2,64 g/cm<sup>3</sup>, a umidade média 10,4% o coeficiente de permeabilidade 10<sup>-3</sup> cm/s. Este material apresentou uma resistência maior a penetração principalmente na camada superior, pois nela se encontrava a camada de concreções. Na Figura 44 (a) e (b) pode ser observado a resistência a penetração e a energia acumulada.

**Figura 44-** Gráfico de resistência a penetração das concreções laterítica em uma área de pastagem.



**Fonte:** Autor

#### 7.1.5. Carta de Landforms

A Carta de Landforms foi obtido através aplicação da Técnica de Avaliação de Terreno seguindo a sistemática proposta por Lollo (1996). Esta técnica representa uma forma de zoneamento físico, onde se consegue associar unidades de formas de relevo em função do substrato rochoso e dos materiais inconsolidados presentes.

A técnica está calcada no conceito operacional de *landform*, que é definido de acordo com o autor como “porção do terreno originada de processos naturais e distinguível das porções vizinhas (demais *landforms*) em pelo menos um dos seguintes elementos de identificação: forma e posição topográfica, frequência e organização dos canais, inclinação das vertentes e amplitude de relevo”.

A técnica de avaliação de terreno permite uma divisão hierárquica em até três níveis, dependendo da escala do método de sensoriamento disponível, além do objetivo de trabalho. Neste trabalho devido à extensão da área, escala e objetivos do trabalho optou-se por trabalhar com sistema e unidades. Como já havia sido produzido previamente um mapa de *landforms* por Lollo (1996) da área, foi feita uma verificação em campo dos resultados obtidos por este autor, sendo assistida ainda pela carta produzida por Muro (2000) para o município de São Carlos. Na Tabela 9 os critérios para a classificação de unidade de terreno.

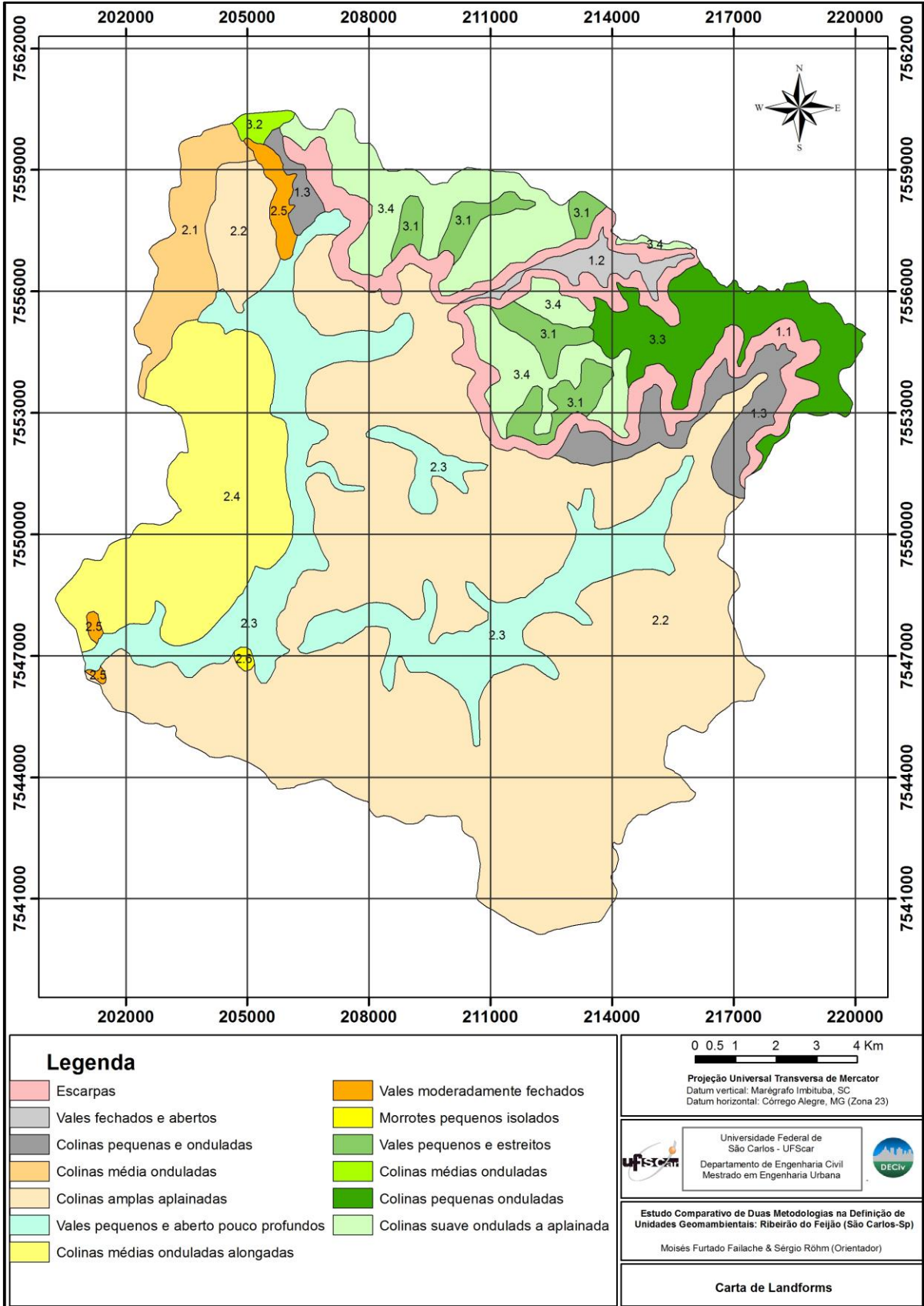
**Tabela 9** - Critérios utilizados na descrição das unidades de terreno

Significado	Termo	Dimensão ou Descrição
Forma do Topo	Plano	
	Arredondado	
	Anguloso	
Forma da Encosta	Convexa	
	Retilínea	
	Côncava	
Declividade	Baixa	< 5 %
	Média	5 a 20 %
	Alta	> 20 %
Amplitude de Relevo	Baixa	< 100 m
	Média	100 a 300 m
	Alta	> 300 m
Forma dos Vale	Aberto	
	Fechado	
Padrão de Drenagem	Definido por Howard (1967)	
Frequência de Canais	Baixa	< 3 canais/km <sup>2</sup>
	Média	3 a 15 canais/km <sup>2</sup>
	Alta	> 15 canais/km <sup>2</sup>

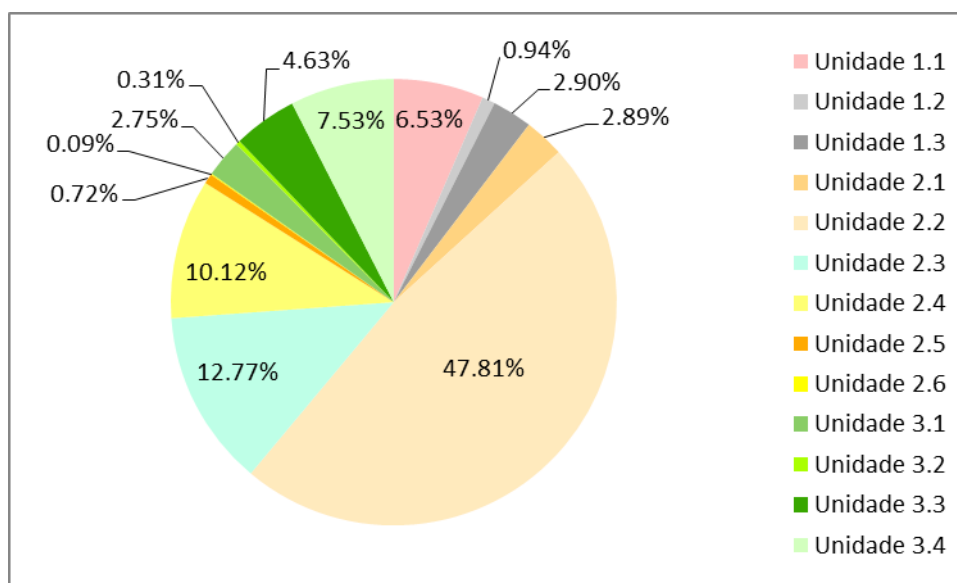
**Fonte:** Modificado de IPT (1981)

Após a análise dos documentos preexistentes e checagem de campo constatou-se a necessidade da criação de novas unidades além de ajustes dos limites previamente estabelecidos. No final foram identificados 3 sistemas de terrenos, e 13 unidades de terrenos, onde podem ser observadas suas características a seguir. A Carta de Landforms pode ser observada na Figura 45 e a distribuição das unidades na Figura 46.

Figura 45– Carta de Landforms da Bacia do Ribeirão do Feijão



Fonte: Autor

**Figura 46** – Distribuição das unidades de terreno

**Fonte:** Autor

A seguir são apresentadas as descrições dos sistemas e unidades de terrenos identificadas. Na Tabela 10 é mostrada uma descrição sintética das unidades de *landforms* da BHRF.

**Tabela 10-** Tabela síntese das unidades de landforms encontrados na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão

S	U	SR	MI	Morfologia	Declividade (%)	Área (km <sup>2</sup> )
1	1.1	Bot/SG	Bot/SG	Escarpas abrupta	>20	15.8
	1.2	Bot	Ar IV	Vales fechados e abertos	0-15	2.2
	1.3	Bot/SG	Bot/SG/Ar IV	Colinas pequenas onduladas	8-15	7
2	2.1	Bot	Bot/Ar I	Colinas média, suave e mediamente onduladas	2-15	7
	2.2	Bot	Bot	Colinas amplas suave onduladas a aplainadas	<4	116
	2.3	Bot	Al	Vales pequenos e abertos pouco profundos	0-2	30.9
	2.4	SG	M/SG	Colinas médias suave onduladas alongadas	0-20	24.5
	2.5	SG	SG	Vales moderadamente fechados e com baixas profundidade	15-25	1.7
	2.6	Bot	Bot	Morrotes pequenos isolados	<25	0.2
3	3.1	It	It/Ar III	Vales pequenos, estreitos e relativamente profundos	8-25	6.6
	3.2	It	It/Ar III	Colinas médias onduladas	4-25	0.7
	3.3	It	It	Colinas pequenas onduladas	8-25	11.2
	3.4	It	It/Ar III	Colinas suave ondulada a aplainada	0-8	18.2
<b>Legenda</b>						
<b>S</b> =Sistema		<b>Bot</b> =Botucatu		<b>Ar III</b> =Arenoso III		
<b>U</b> =Unidade		<b>It</b> =Itaqueri		<b>Ar IV</b> =Arenoso IV		
<b>SR</b> = Substrato Rochoso		<b>SG</b> =Serra Geral		<b>M</b> =Misto		
<b>MI</b> =Material Inconsolidado		<b>Ar I</b> =Arenoso I		<b>Al</b> =Aluvião		

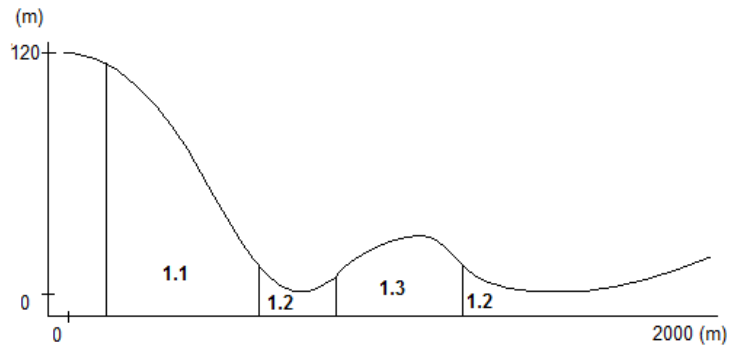
**Fonte:** Autor

### SISTEMA 1

O sistema 1 de terreno assim denominado tem uma distribuição de 25 km<sup>2</sup> (15%) da área estudada, se localizando principalmente a NE da bacia. É uma associação de escarpas abruptas, colinas onduladas pequenas a médias, e vales abertos e fechados. A Figura 47 apresenta o perfil esquemático do Sistema 1 e as unidades contidas nele.



**Figura 47-** Perfil Esquemático do Sistema 2 e suas unidades.



**Fonte:** Autor

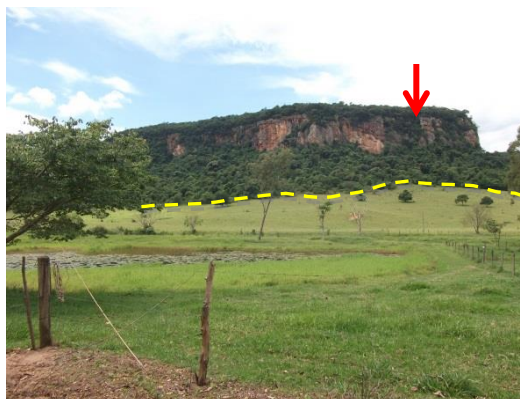
A partir da análise das feições geomorfológicas observadas neste sistema e que coincidem com as características do domínio das cuestas arenito-basálticas observou-se que este sistema está associado principalmente à litotipos das formações Serra Geral e Formação Botucatu e aos materiais inconsolidados derivados, de alguma forma, destas litologias.

Nas porções mais elevadas onde estão localizadas as áreas mais declivosas verifica-se uma evolução marcadamente morfogenética enquanto nas porções de altitudes intermediárias uma maior influência dos processos pedogenéticos.

### **Unidade 1.1**

Esta unidade (Figura 48) apresenta uma área de 15,8 Km<sup>2</sup> (6,5%) se caracteriza por apresentar escarpas abruptas altamente dissecada, com altas frequência de canais. A declividade é superior a 20% e se relaciona principalmente com os materiais residuais da Formação Botucatu e da Formação Serra Geral, podendo ocorrer também em determinadas porções residuais da Formação Itaqueri.

**Figura 48–** Unidade 1.1 ao fundo da imagem, representando áreas de escarpas.



**Fonte:** Autor

Espera-se nesta unidade perfis pouco evoluídos e pouco profundos de materiais inconsolidados, conseqüente ocorrendo predominantemente processos de morfogênese sobre os processos de pedogênese. A pequena espessura dos materiais inconsolidados residuais estão condicionados a baixa ocorrência de processos geodinâmicos mesmo considerando-se as altas declividades presentes (superiores a 20%).

### **Unidade 1.2**

A unidade 1.2 com uma área de 2.2 Km<sup>2</sup> (0,94%) está localizada entre as escarpas da unidade 1.1. Esta é constituída por vales fechados e abertos principalmente, encostas côncavas, declividades principalmente de 0 a 8%, apresentando áreas com valores de 8 a 15% próximo do pé da encosta.

O material que recobre esta área é composto exclusivamente do retrabalhado arenoso IV, ou seja, um solo coluvionar. Desse modo pode se inferir por estas características que o processo de pedogênese é superior ao de morfogênese.

### **Unidade 1.3**

A unidade 1.3 (Figura 49) com uma área de 7 Km<sup>2</sup> (2,9%) é caracterizada por colinas pequenas onduladas com encostas convexas com baixa frequência de canais, declividade variando principalmente entre 8% a 15%, podendo ultrapassar esses valores em algumas áreas. Neste domínio evidencia-se uma preponderância dos processos de pedogênese, em vista as condições do relevo suave ondulado favorecendo a infiltração proporcionando perfis mais profundos e mais evoluídos. Verifica-se ainda a ocorrência de processos geodinâmicos principalmente processos erosivos nas porções menos elevadas das colinas

**Figura 49**– Unidade 1.3 do sistema 1.



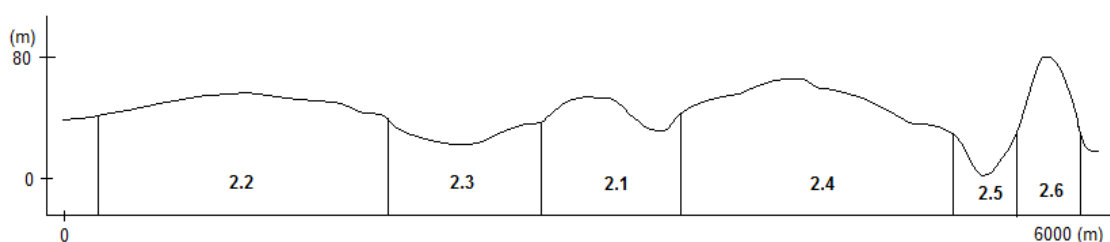
**Fonte:** Autor

Nesta unidade são encontrados materiais inconsolidados residuais relativamente evoluídos das formações Serra Geral (até 10m) e Botucatu (até 20m) e retrabalhados também evoluídos, incluindo colúvios argilosos e arenosos com até 20 metros de profundidade.

## SISTEMA 2

Compreendendo uma área de aproximadamente 180 Km<sup>2</sup> (75%) este sistema é encontrado na maior parte da área estudada. É composto por morrotes isolados, colinas suaves onduladas, aplainadas, amplas a médias, vales pequenos, pouco a medianamente profundos, abertos e fechados, com baixa frequência de canais com padrão retangular evoluindo para padrão paralelo. A Figura 50 apresenta o perfil do sistema e as unidades terrenos contidas nele.

**Figura 50**–Perfil Esquemático do Sistema 2 e suas unidades.



**Fonte:** Autor

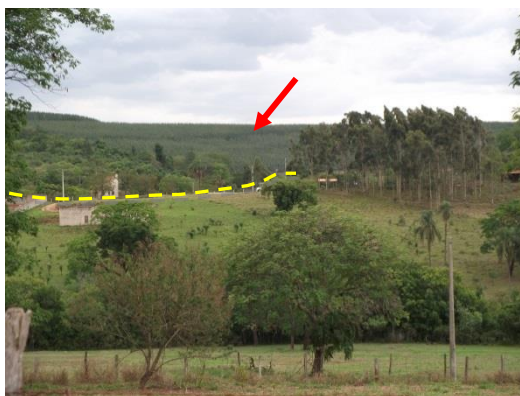
As características gerais de relevo do Sistema 2 indicam a existência de litologias do substrato rochoso relativamente erodidas recobertas por materiais inconsolidados relativamente espessos (com textura arenosa) e perfis homogêneos. Esse sistema é caracterizado também pelo forte predomínio de processos de pedogênese sobre os processos de morfogênese.

### Unidade 2.1

Esta unidade está localizada a noroeste da bacia e apresenta uma área de 7 Km<sup>2</sup> (2.9%). Caracteriza-se pela presença de colinas média, suave e medianamente onduladas com encostas côncavas, baixa frequência de canais e declividades variando de 2 a 8%, com algumas áreas podendo alcançar valores de 8 a 15%. Apresenta ainda um predomínio nos processos de pedogênese, o qual gerou perfis de materiais inconsolidados bem evoluídos e

relativamente profundos, provavelmente com textura média a arenosa e bastante estruturados. Na Figura 51 está representada a unidade 2.1.

**Figura 51**– Unidade 2.1 ao fundo.



**Fonte:** Autor

Os materiais inconsolidados que recobrem esta unidade são os residuais da Formação Botucatu (>20metros de espessura) e os retrabalhados arenosos com espessura superior a 10 metros. Em virtude da imaturidade destes materiais associada a sua forte estruturação faz com que estes apresentem processos erosivos de pequena importância, sendo principalmente erosão laminar.

### **Unidade 2.2**

Esta unidade com uma área de 116 Km<sup>2</sup> (47,8%), apresenta colinas amplas suave onduladas a aplainadas com média frequência de canais, apresentando encostas convexas e declividades raramente ultrapassando 4%. A unidade 2.2 (Figura 52) apresenta processos pedogenéticos bastante intensos apresentando perfis de materiais inconsolidados bem evoluídos e profundos, homogêneos com textura média a arenosa.

**Figura 52** - Colinas amplas suave onduladas a aplainadas



**Fonte:** Autor

Os materiais inconsolidados que recobrem esta unidade compreende os residuais da Formação Botucatu e retrabalhados arenosos os quais ultrapassam os 20 metros de profundidade. Nesta Unidade os materiais apresentam baixa estruturação possibilitando a ocorrência processos geodinâmicos significativos como ravinamentos e pequenos escorregamento em taludes de corte.

### **Unidade 2.3**

A unidade 2.3 (Figura 53) apresenta uma área de 30,9 Km<sup>2</sup> (12,7%) é caracterizada por vales pequenos, abertos, pouco profundos, com baixa frequência de canais, encostas côncavas, declividades prioritariamente de 0 a 2%. Verifica-se o predomínio claro de processos de morfogênese, com deposição aluvial significativa e uma forte contribuição de matéria orgânica. Apresenta imaturidade e uma variação granulométrica, indicando deste modo que o material fonte deve ser variado.

**Figura 53**– Vales abertos e pouco profundos representando a unidade 2.3.



**Fonte:** Autor

#### Unidade 2.4

Esta unidade com uma área de 24,5 Km<sup>2</sup> (10,1%) é composta de colinas médias suave onduladas, alongadas com encostas côncavas, frequência de canais baixa, com declividades variando de 0 a 20% proporcionalmente. Nela ocorre a presença mais acentuada de processos pedogenéticos, porém com perfis menos evoluídos e menos espessos que nas unidades 2.1 e 2.2.

As formas presentes indicam materiais inconsolidados com perfis homogêneos e textura média a fina oriundos do retrabalhamento das Formações Botucatu e dos intrusivos do Serra Geral. No que tange os processos geodinâmicos foram encontrados processos principalmente de erosão marginal.

#### Unidade 2.5

A unidade 2.5 apresenta uma área de 1.7 Km<sup>2</sup> (0.7%) é constituída por vales moderadamente fechados e com baixas profundidades, com baixa frequência de canais, encostas íngremes, declividades principalmente entre 15% a 25%. Apresentam-se em pouca expressão na área, estão localizadas pontualmente próximas da foz do Ribeirão do Feijão ou na área mais encaixada do Córrego do Monjolinho como pode se observar na Figura 54.

Esta unidade é recoberta pelos materiais residuais e retrabalhados da Formação Serra Geral com profundidades menores que 10 metros. Observa-se que nesta unidade os processos morfogenéticos se sobrepõem aos processos pedogenético, tanto é que pode ocorrer afloramento do basalto nesta unidade.

**Figura 54**– Unidade 2.5 ocorrendo em uma área do Córrego do Monjolinho, próximo à rodovia Washington Luís.



**Fonte:** Autor

### Unidades 2.6

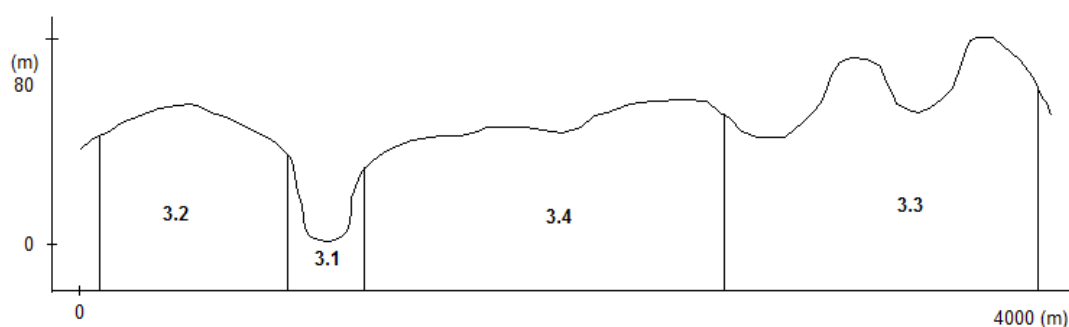
A unidade 2.6 são morrotes pequenos, aparecendo em menor proporção na área (0.2 Km<sup>2</sup> correspondendo a 0.09% da área), em pontos isolados, sobre a Formação Botucatu. Estes apresentam declividade podendo alcançar até 25%, com praticamente ausência de canais, profundidade do material inconsolidado de 10 metros.

### SISTEMA 3

Constitui-se de áreas situadas em porções elevadas do terreno e compreende a uma área de 37 Km<sup>2</sup> (15%). Neste podem ocorrer colinas onduladas de pequeno e médio porte com topos tendendo a angulosos, colinas onduladas suave a aplainadas e vales fechados relativamente profundos. Outra característica marcante deste sistema é a ausência de depósitos aluviais.

Destaca-se que neste sistema ocorrem materiais inconsolidados não muito evoluídos e pouco profundos, chegando normalmente até 10 metros de profundidade normalmente. Além disso, apresentam principalmente processos morfogenéticos (predominantemente erosivos) relativamente recentes entalhando formas relativamente jovens e impedindo a presença de solos espessos e bem evoluídos. Na Figura 55 apresenta o perfil do sistema e suas unidades de terreno.

**Figura 55**–Perfil Esquemático do Sistema 3 e suas unidades.



**Fonte:** Autor

### Unidade 3.1

Nesta unidade tem-se a presença de formas de características essencialmente erosivas (o que não significa necessariamente a presença de processos erosivos atuais). Apresenta uma área de 6.6 Km<sup>2</sup> (2,75%), compreende a vales pequenos estreitos, fechados, relativamente profundos com encostas convexas, com alta frequência de canais, presença de ravinamentos, declividades variando de 8 a 25%. Na Figura 56 pode ser observada a Unidade 3.1.

Na unidade 3.1 pode ocorrer a existência de substrato rochoso a pequena profundidade ou até aflorante composto provavelmente por litologias sedimentares de textura arenosa a grosseira (Formação Itaqueri).

Os materiais que recobrem essa área prioritariamente são residuais ou retrabalhados da Formação Itaqueri, e com menos frequência residuais da Formação Serra Geral. A espessura do pacote pode atingir no máximo 10 metros, onde os perfis são homogêneos.

**Figura 56**– Vales pequenos estreitos, fechados, relativamente profundos



**Fontes:** Dias (2012)

### Unidade 3.2

É composta por colinas médias onduladas com encostas convexas, com alta frequência de canais e declividades variando de 4 a 25%, e apresenta uma área 0.7 km<sup>2</sup> (0,3%) Estas características fazem com que ocorra equilíbrio dos processos pedogenéticos e morfogenéticos.

Os materiais que recobrem esta unidade são retrabalhados cenozoicos arenosos medianamente espessos a espessos (espessuras a partir de 5 metros podendo ultrapassar os 20m), oriundos da formação Itaqueri e da Formação Serra Geral.

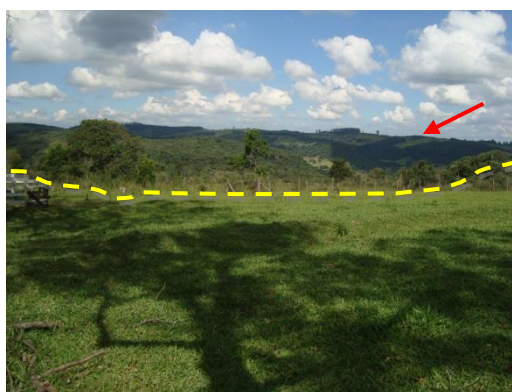


### Unidade 3.3

Esta unidade com 11,2 Km<sup>2</sup> (4,63%) consiste em colinas pequenas onduladas com topo tendendo à anguloso, com alta frequência de canais, predominância de declividades de 8 a 25% podendo ocorrer áreas com valores maiores. Nesta ocorrem perfis de materiais inconsolidados pouco evoluídos e pouco profundos provavelmente em decorrência de processos erosivos mais intensos.

A unidade 3.3 (Figura 57) representa a parte mais alta do sistema 3 e onde as encostas são bastante íngremes, sendo assim esperando-se perfis menos espessos com textura arenosa com finos. Estes materiais são decorrentes da intemperização das rochas da Formação Itaqueri, apresentam processos erosivos significativos, podendo ocorrer ravinamentos.

**Figura 57-** Colinas pequenas onduladas com topo tendendo à anguloso ao fundo



**Fonte:** Autor

### Unidade 3.4

A unidade 3.4 (Figura 58) com uma área de 18,2 Km<sup>2</sup> (7,5%) representa as áreas mais rebaixadas e aplainadas do sistema 3. Esta é representada por colinas suave onduladas a aplainadas, encostas côncavas, com baixa frequência de canais, declividades variando principalmente de 0 a 8%, podendo ocorrer valores mais elevados próximos de drenagem ou das escarpas.

Nesta unidade de terreno ocorre um equilíbrio dos processos morfogenéticos e pedogenéticos. Os perfis dos materiais inconsolidados são mais evoluídos e profundos que as outras unidades do sistema 3. Os materiais que recobrem esta unidade são residuais e retrabalhados da Formação Itaqueri, podendo ocorrer manchas de residuais da Formação Serra Geral. Esses materiais são de textura areno-argilosa, apresentando poucas evidências de processos erosivos significativos.

**Figura 58**– Colinas suave onduladas a aplainadas do sistema 3

**Fonte:** Autor

#### 7.1.6. Mapa Pedológico

O Mapa Pedológico contém informações referentes ao solo, no que diz respeito a textura e espessura da camada produtiva dos materiais. Este foi reproduzido a partir da digitalização do mapa confeccionado por EMBRAPA (1981). Ressalta-se que a nomenclatura adotada neste trabalho dos tipos de solos foi baseada na classificação antiga, entretanto na Tabela 11 é mostrado a nova classificação proposta por JACOMINE (2009).

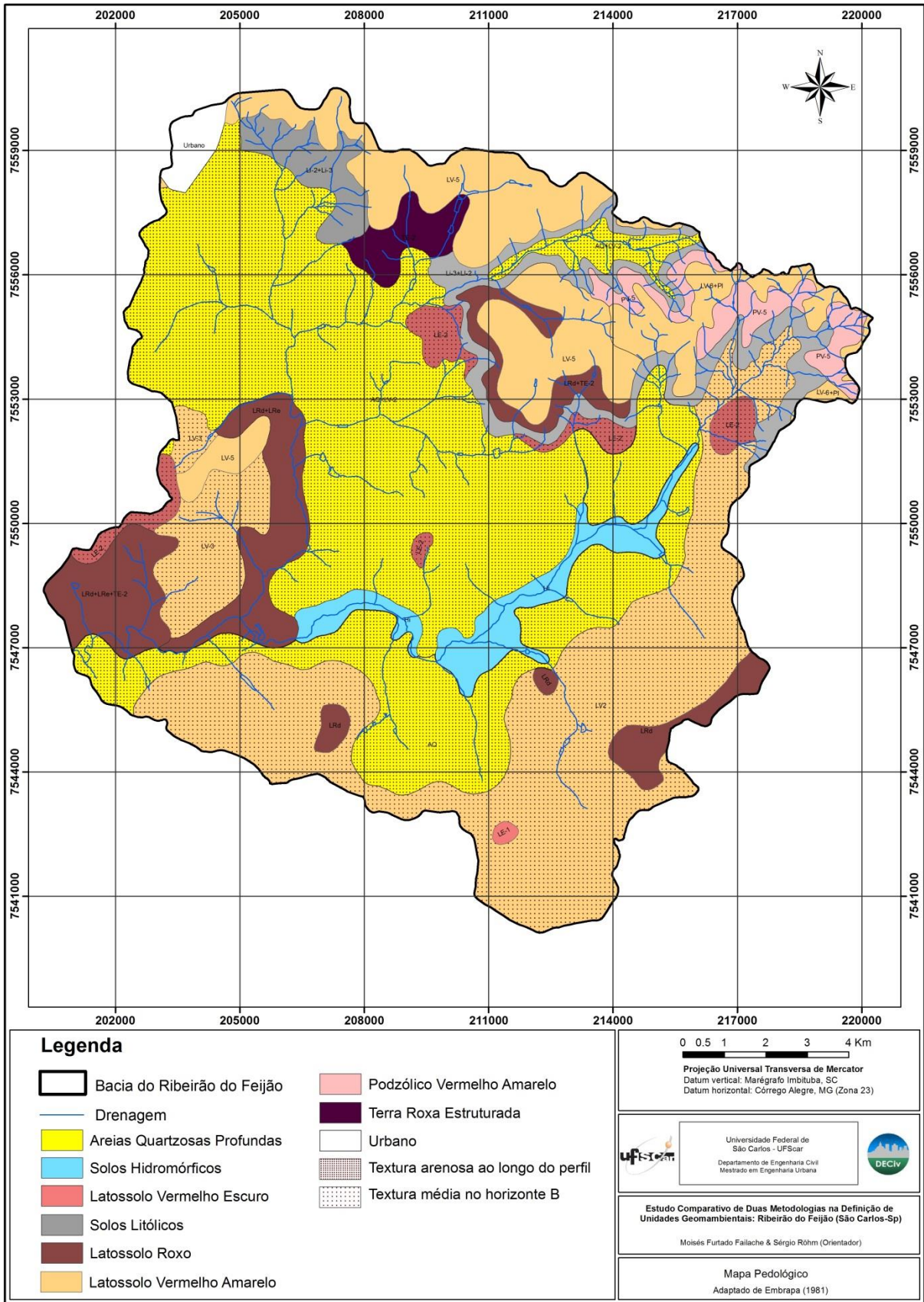
**Tabela 11**- Comparação das unidades pedológicas presentes na BHRF entre a classificação antiga de solos com a nova.

Classificação Pedológica Antiga	Classificação Pedológica Nova
Areia Quartzosa Profunda	Neossolo Quartzarênico
Latossolo Vermelho Escuro	Latossolos Vermelho escuro
Latossolo Roxo	Latossolo vermelho
Latossolo Vermelho Amarelo	Latossolos Vermelho Amarelo
Podzólico Vermelho Amarelo	Argissolo Vermelho Amarelo
Terra Roxa Estruturada	Nitossolo
Solos Litólicos	Neossolos Litólicos
Solos Hidromórficos	Gleissolos

**Fonte:** Autor

Ao verificar o mapa pedológico (Figura 59) foram identificados 9 tipos de solos, onde as areias quartzosas e os latossolos vermelho amarelo totalizaram 75% da área da área de estudo. Estes dois tipos de solo ocorrem principalmente no centro e no sul da bacia e estão relacionados aos materiais inconsolidados residuais da Formação Botucatu. Estes são associados ainda aos solos onde foram identificadas um maior número de feições erosivas.

Figura 59-Mapa Pedológico da BHRF

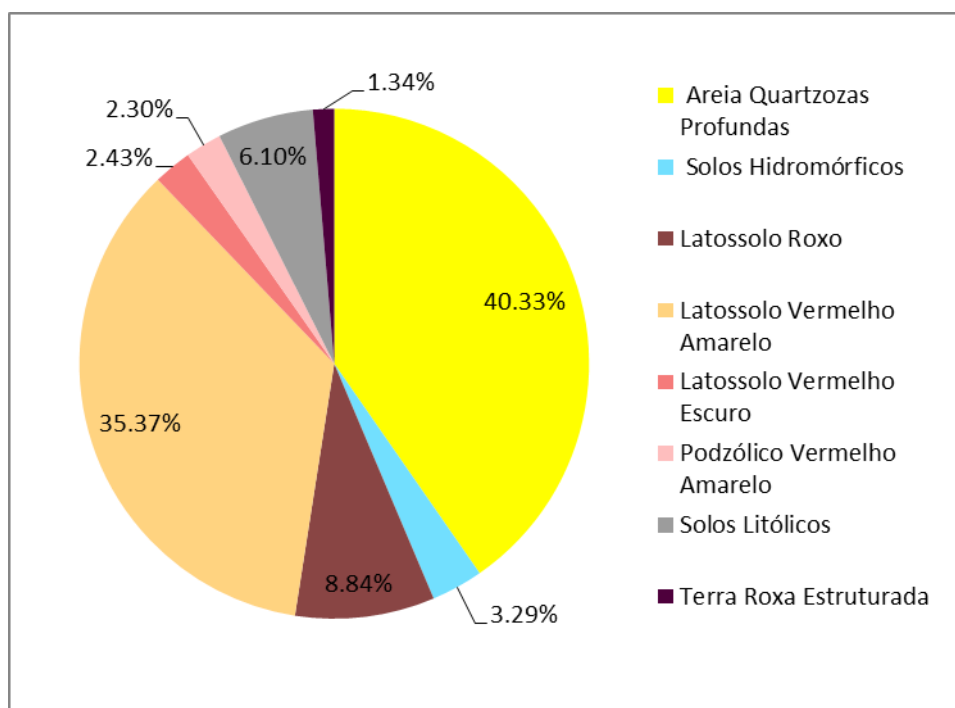


Fonte: Autor

A terra rocha estruturada e os solos litólicos somando ocupam 7,4 % da bacia, e suas ocorrências estão ligadas Formação Serra Geral e as áreas escarpadas. Estes dois tipos de solo são os que apresentaram as maiores restrições a agricultura, devido apresentarem um alto grau de pedregosidade e estarem localizados em terrenos com declividade elevada.

Os outros solos representaram 17,6%, e estão associados no geral às áreas mais elevadas da BHRF e aos solos mais espessos oriundos da Formação Serra Geral. Sendo que os últimos (latossolos roxos) apresentam uma maior aptidão agrícola assim como uma suscetibilidade menor a erosão. Na Figura 60 pode ser observada a distribuição dos tipos de solos da BHRF.

**Figura 60-**Distribuição dos tipos de solo da BHRF



Fonte: Autor

#### 7.1.7. Mapa de Uso e Ocupação e o Mapa de Vegetação

O Mapa de Uso e Ocupação e o Mapa de Vegetação são mapas que se relacionam e foram elaborados a partir da interpretação de uma imagem do Google Earth de 2012 sendo auxiliadas pelas imagens do satélite QuickBird (2008), onde suas características já foram mencionadas na secção (5.1.2.1). Esse procedimento teve como base critérios específicos de fotointerpretação para usos do solo a partir de padrões encontrados em campo

(talhões, espaçamento entre os talhões, tipologia e densidade de folhagem, etc.), utilização de evidências descritas na literatura para determinados usos (textura, cor, rugosidade, etc.), experimentos através da ampliação de fragmentos das imagens com usos diferentes.

Desse modo, levando em consideração os critérios de fotointerpretação, a finalidade do estudo e metodologia de zoneamento foram definidas 10 classes de uso, as quais podem ser observadas a seguir:

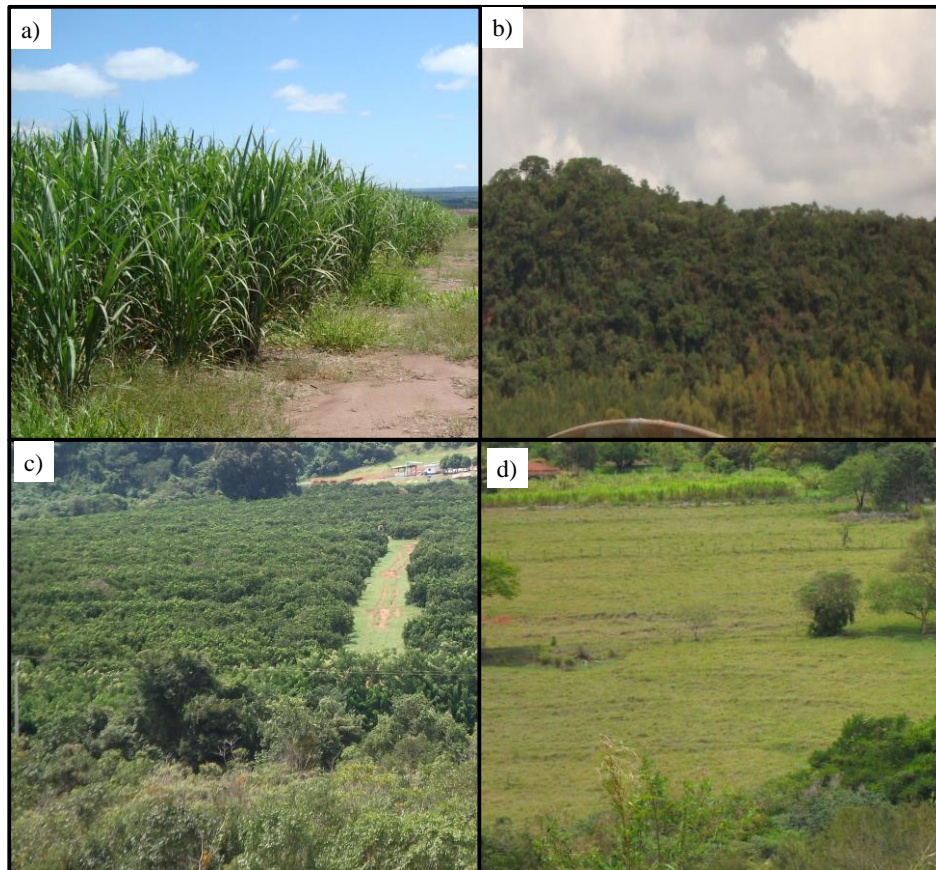
- Outras culturas: representadas pelas plantações de milho, café, horticulturas, etc;
- Cana-de-açúcar: Representada pela cultura de cana-de-açúcar em qualquer estágio de plantio;
- Reflorestamento: representada pelas áreas de plantação de eucalipto e pinus;
- Mata: representada pelas áreas com presença de floresta densa, fragmentos florestais ou áreas de capoeira;
- Cerrado: Representada pelas áreas de cerradão, campo cerrado e cerradinho;
- Pasto: representada pelos campos de pastagem;
- Área construída: representada pelas áreas urbanas, com construções de loteamentos e indústrias;
- Mineração: representada pelas áreas onde são desenvolvidas atividades de mineração;
- Solo exposto: representado pelas áreas onde foram desmatadas e não apresentam nenhum uso efetivo;
- Várzea: Áreas úmidas.

O procedimento para identificação desses usos foi feito de forma manual e visual, ou seja, avaliavam-se os usos e partindo dos critérios de fotointerpretação eram vetorizados os polígonos dos usos. A ferramenta utilizada para a vetorização foi o Editor do ArcGIS 10. Após a finalização da digitalização, foi feita edição gráfica no mesmo software e foi acrescentado no mapa base.

Assim, observou-se na BHRF um predomínio de usos rurais (Pastagem, Cana de Açúcar, Outras Culturas e Laranja) totalizando 49%. Os usos correspondentes as florestas ou vegetação nativa (Reflorestamento, Cerrado e Matas) representaram 35.5%. O restante das classes de usos que compreendem a Solo Exposto, Várzea, Área Construída e Mineração

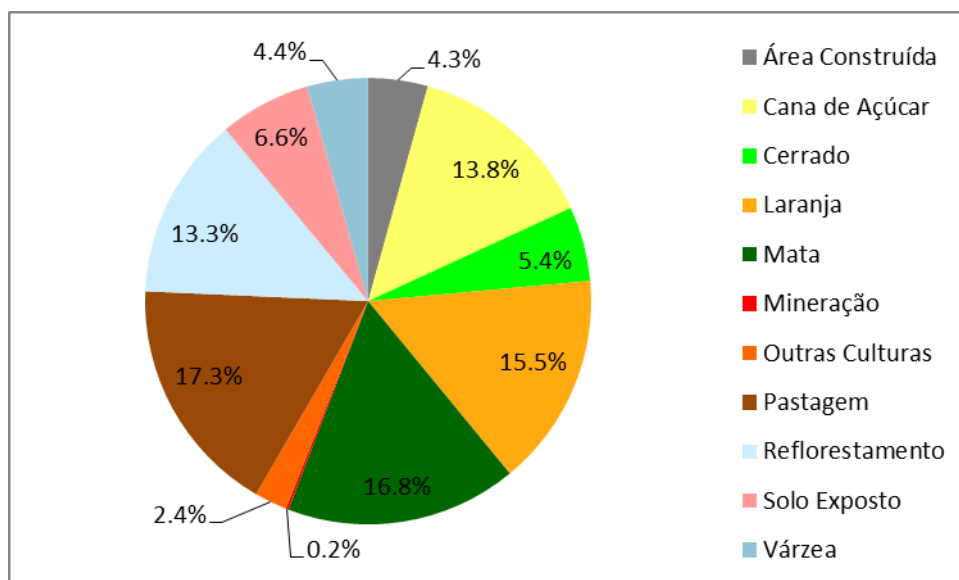
somaram 15,5%. Na Figura 61 é possível visualizar alguns dos tipos de usos do solo presentes na BHRF. A distribuição dos usos pode ser observada na Figura 62 e na Figura 63 o Mapa de Uso e Ocupação.

**Figura 61-** Exemplos de usos do solo presente na BHRF: a) Cana de açúcar, b) Mata, c) Laranja, d) Pastagem



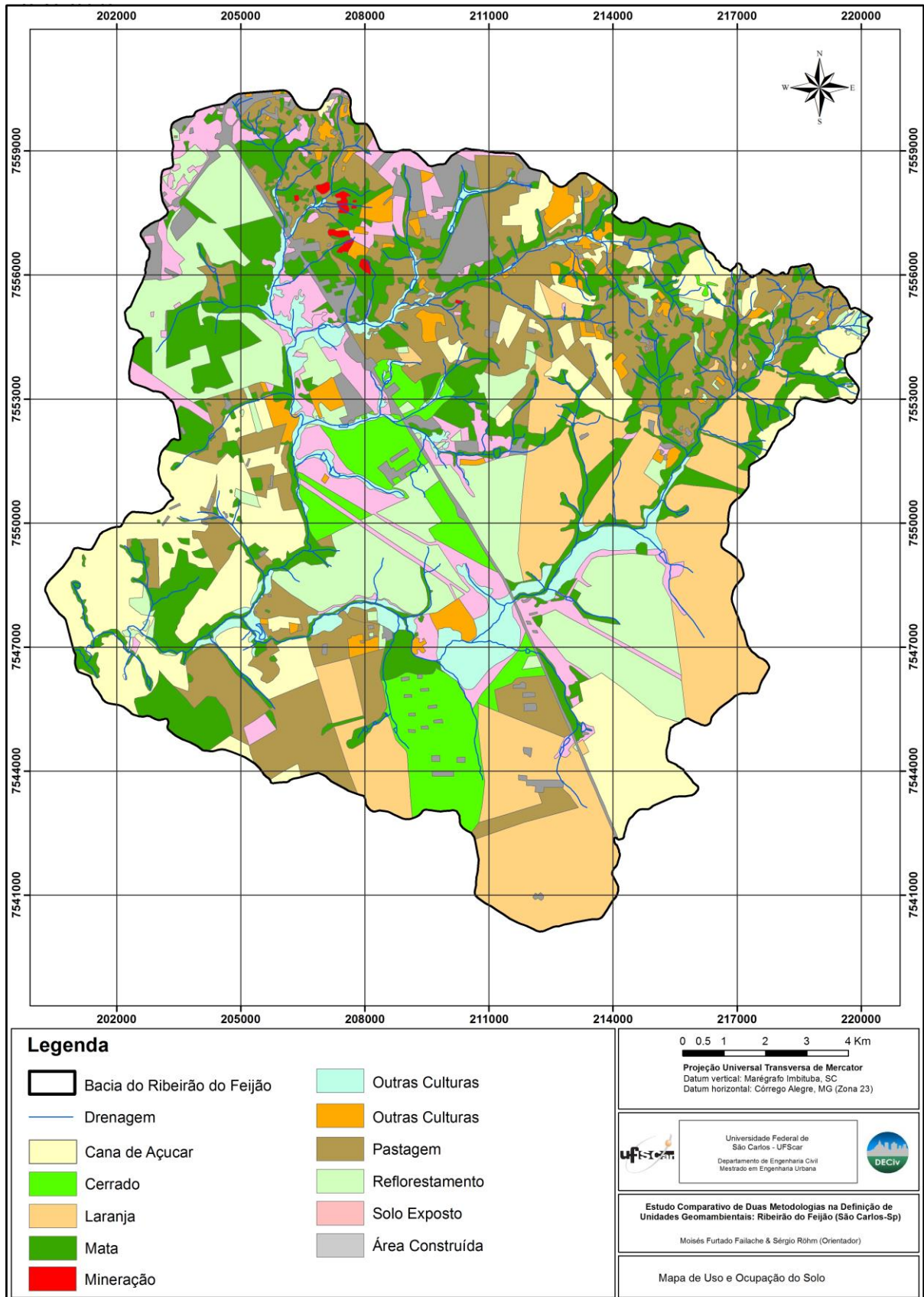
Fonte: Autor

**Figura 62-**Distribuição dos usos do solo da BHRF.



Fonte: Autor

**Figura 63-**Mapa de uso e Ocupação da BHRF.



Fonte: Autor

Analisando os diferentes usos e sua distribuição espacial observou-se que um predomínio dos cultivos de laranja e cana de açúcar a sul da BHRF. A norte da área de estudo os usos estão espacialmente mais heterogêneos, verificando nesta região a presença de usos urbanos. Enquanto nas porções mais elevadas e com maiores declividades verificou-se o predomínio de mata e pastagem, sendo que no último observou-se o maior número de evidências erosivas. Este fato é atribuído a desproteção do solo contra as gotas de chuva e a falta de manejo.

#### *7.1.8. Mapa de Evidências*

O Mapa de Evidências registrou informações de processos naturais somente relacionado a erosão em virtude da área apresentar uma suscetibilidade natural. A forma de obtenção dos dados e informações foi feita através de dois grupos de procedimentos: uso de produtos de sensoriamento remoto (imagens de satélite) e trabalho de campo.

Através das imagens de satélite, estas foram interpretadas, em seguida traçados os limites das evidências de processos. Como forma de refinar e confirmar a interpretação foram realizados trabalhos de campo. Foram registrados 3 tipos de evidências, erosão laminar, erosão linear e erosão marginal.

Os resultados obtidos neste mapa foram a identificação dos três tipos de erosão, os quais estão associados principalmente a grandes declividades, a margens de rios e materiais de textura arenosa. Acrescenta-se ainda que as evidências que não atenderam um ou nenhum dos dois fatores mencionados, estejam associadas a retirada da cobertura vegetal principalmente para pastagem. Na Figura 64 é possível observar um exemplo de erosão linear localizada na subbacia do monjolinho, na estrada que leva as pedreiras de arenitos, enquanto na Figura 65 é apresentado o mapa de evidências erosivas.



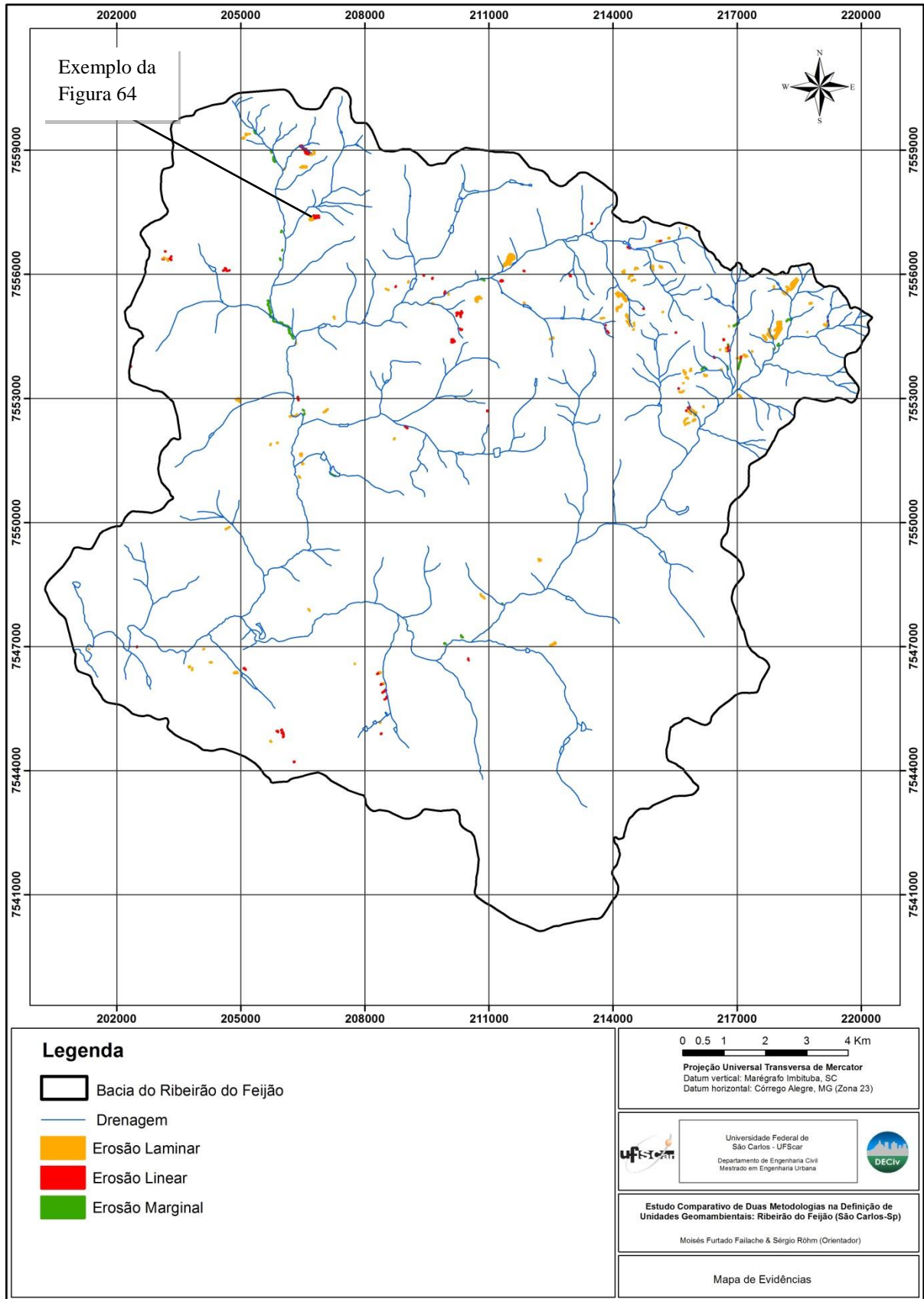
**Figura 64**-Exemplo de erosão linear na BHRF localizada na estrada que leva a região das pedreiras de arenito.



**Fonte:** Autor

O número de evidências de erosão linear totalizou 60, onde a soma das áreas resultou em 0.05 km<sup>2</sup>. A erosão laminar apresentou 127 fragmentos somando uma área de 0.15 km<sup>2</sup>. Enquanto os 28 fragmentos de erosão marginal compreenderam uma área de 0.03 km<sup>2</sup>. Analisando o mapa de evidências verificou a concentração das erosões principalmente a nordeste da bacia que corresponderam às áreas que apresentaram a maior suscetibilidade a erosão da área de estudo (observar item 7.2.1), ou seja, associado aos materiais coluvionares da Formação Botucatu (Arenoso IV). Além disso, as evidências erosivas independentes do tipo na sua maioria estavam situadas próximos às drenagens e associadas as pastagens como uso predominante. Este fato se explica devido serem áreas descobertas e compactadas geralmente, favorecendo a ocorrência de escoamento superficial e estarem mais expostas ao efeito de destacamento da gota da chuva.

Figura 65-Mapa de evidências erosivas da BHRF

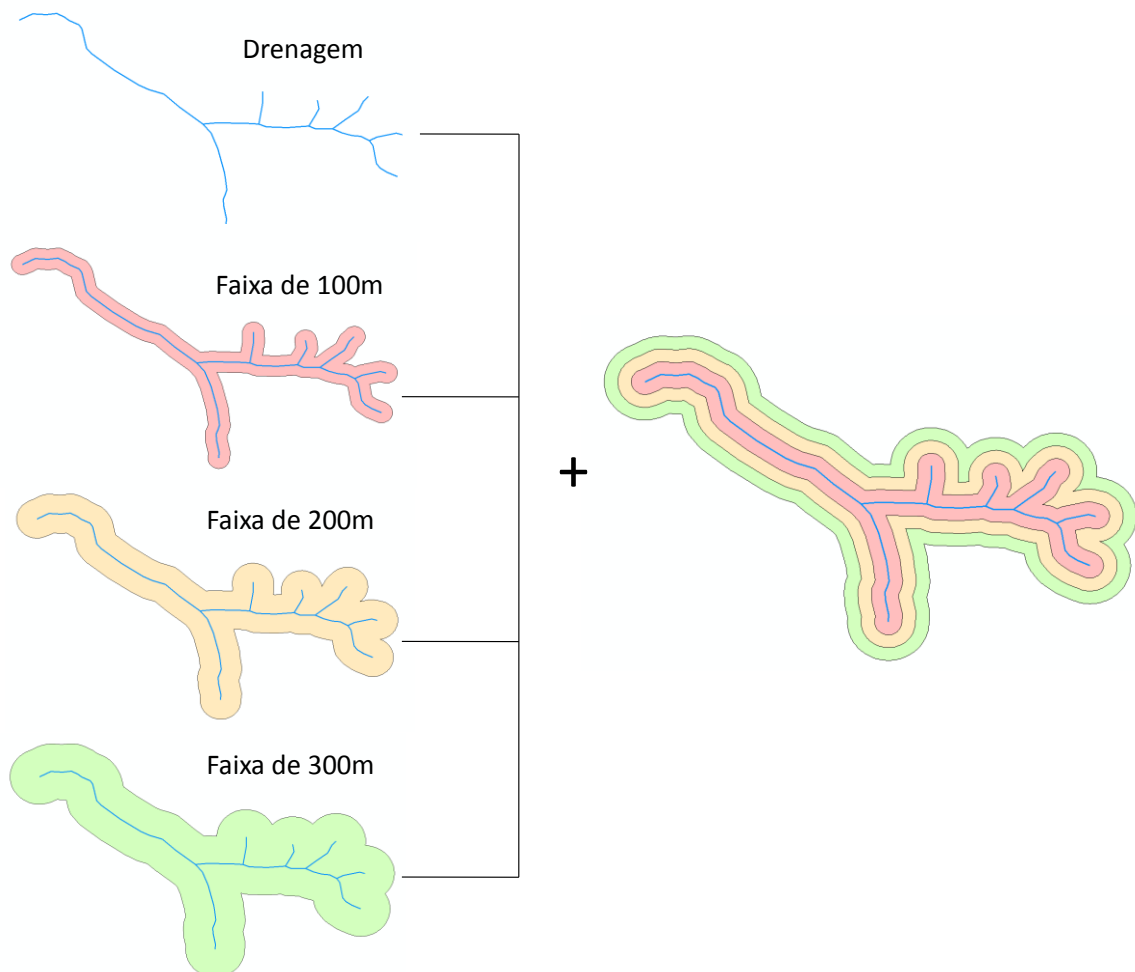


Fonte: Autor

### 7.1.9. Carta de Extensão do Menor Percurso da Água

A Carta de Extensão do Menor Percurso da Água (CEMPAS) equivale a Carta de Densidade de Drenagem e foi obtida a partir do mapa topográfico de onde foi extraída a hidrografia detalhada, seguindo a proposta de Lopes (2002). De maneira esquemática na Figura 66 é possível observar a elaboração desta carta. Através do comando *Buffer* no menu *geoprocessing* foram elaboradas 10 faixas de influência dos canais de drenagem de 100 em 100 m (de 100 metros até maior que 900 metros). Desse modo foram elaboradas 10 sub cartas contendo as faixas de influência. Após a geração das subcartas de faixa de influência, os arquivos individuais são unidos através do comando *union*, gerando assim um arquivo único. Este arquivo único com todas as faixas de influências representou a Carta de Extensão do Menor Percurso da Água.

**Figura 66**-Esquema de elaboração da Carta de Menor Percurso da água



**Fonte:** Autor

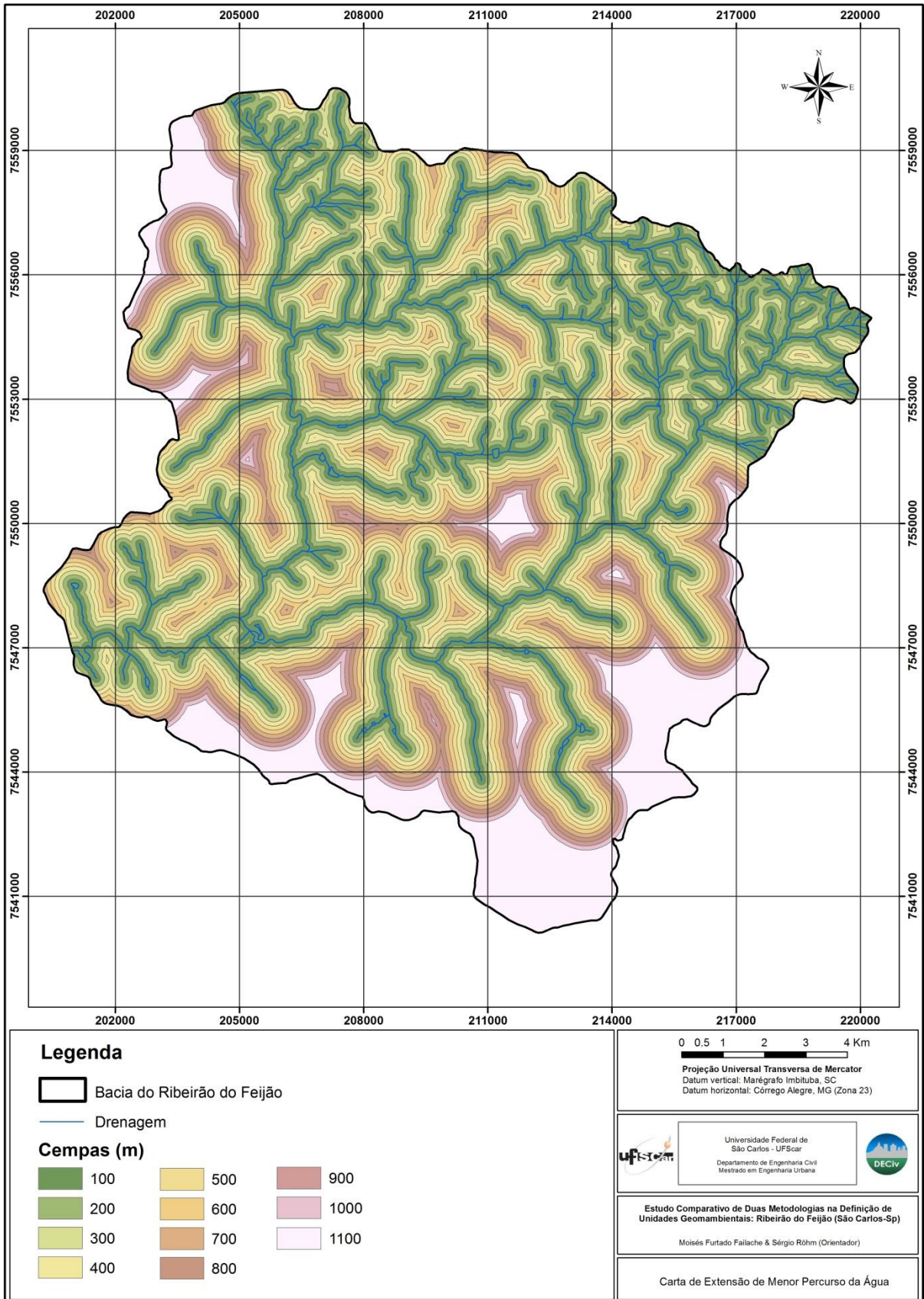
Os resultados obtidos nesta carta foi a identificação de 10 faixas em um único documento, podendo ser observadas na Tabela 12 com suas respectivas distribuições. A Figura 67 contém o mapa da CEMPAS, enfatizando que as áreas que apresentam menos faixas de influência são aquelas com maior densidade de drenagem, ou seja, vertentes menos extensas e maior potencial de drenagem do escoamento superficial. Estas zonas estavam localizadas predominante a nordeste da área de estudo, onde foram identificadas as principais evidências erosivas, evidências estas que estão intrinsecamente ligadas ao alto potencial de escoamento superficial.

**Tabela 12**– Classes e distribuição da CEMPAS

<b>Classe (m)</b>	<b>Área</b>	<b>Distribuição (%)</b>
>1000	24.78	10,21
1000	5.82	2,4
900	7.27	2,99
800	9.03	3,72
700	11.87	4,89
600	15.64	6,45
500	20.18	8,32
400	25.31	10,43
300	32.73	13,49
200	41.18	16,98
100	48.79	20,21

**Fonte:** Autor

**Figura 67-**Carta de extensão do Menor Percurso de água.



Fonte: Autor

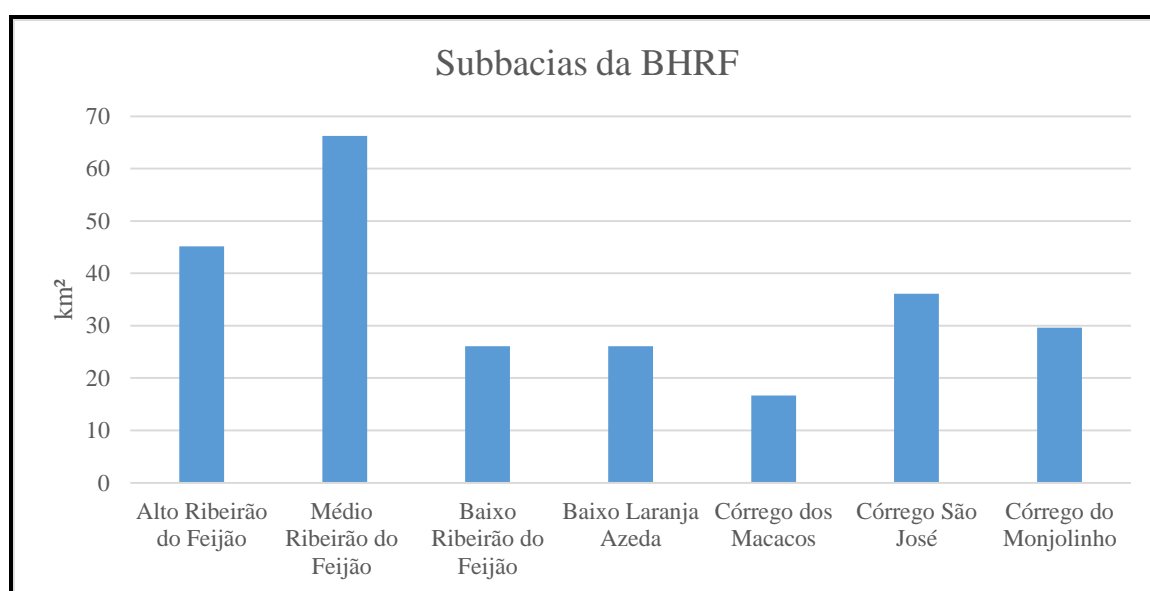
### 7.1.10. Mapa de Águas Superficiais

O Mapa de Águas Superficiais representou a delimitação das principais bacias hidrográficas, a rede de canais de drenagem e ordem dos canais conforme a classificação de Strahler.

A rede de canais de drenagem foi obtida a partir da digitalização dos rios contidos nos mapas topográficos, sendo auxiliada por checagem de campo, e imagens de satélite. A delimitação das principais bacias foi feita através das curvas de nível, onde se traçaram os limites a partir da foz do rio e seguiu-se perpendicularmente as curvas de nível chegando até as linhas cumeadas por fim retornando a foz pelo lado inverso de onde se iniciou o processo. Ressalta-se que as bacias selecionadas foram traçadas buscando identificar quais bacias apresentavam características do meio físico (material inconsolidado, substrato rochoso e densidade de drenagem) homogêneas.

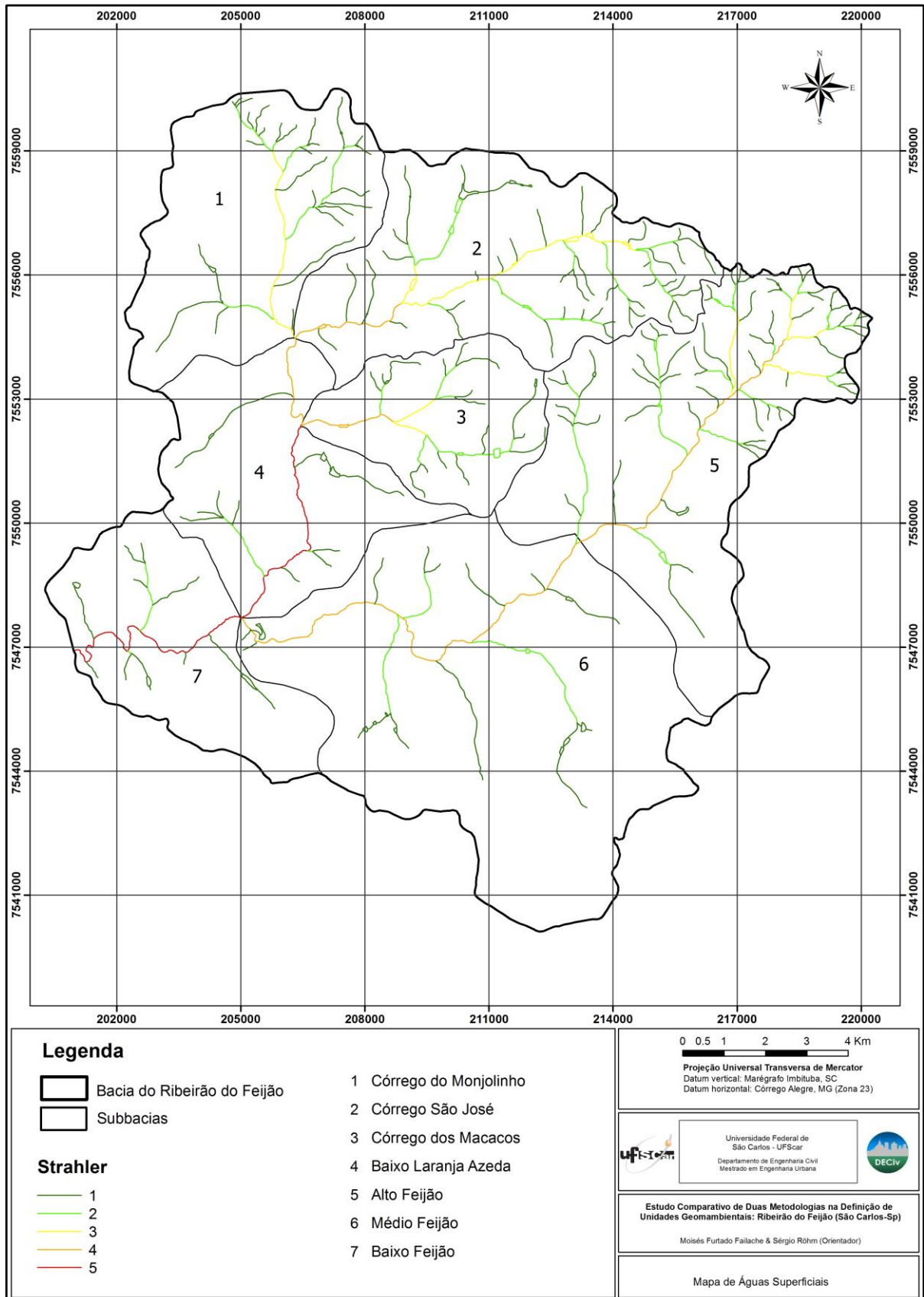
Desse modo, obtiveram-se sete subbacia as quais são: Alto Ribeirão do Feijão, Médio Ribeirão do Feijão, Baixo Ribeirão do Feijão, Baixo Laranja Azeda, Córrego dos Macacos, Córrego São José, Córrego do Monjolinho. Na Figura 68 é possível verificar a distribuição espacial de cada subbacia da BHRF, enquanto na Figura 69 é apresentado o Mapa de Águas Superficiais.

**Figura 68-** Distribuição das subbacias da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão.



**Fonte:** Autor

**Figura 69.** Mapa de Águas Superficiais da BHRF



Fonte: Autor

Na classificação da drenagem conforme a proposta de Strahler constatou-se que a BHRF é uma bacia de quinta ordem. O comprimento total e números dos trechos de rio para cada ordem pode ser observado na Tabela 13. Observa-se que a bacia se torna de quinta ordem no Córrego do Laranja Azeda na subbacia 4, sendo que o Ribeirão do Feijão somente se tornará de quinta ordem ao encontrar o córrego mencionado. Ressalta-se que este mapa não foi utilizado em nenhuma das metodologias de zoneamentos, contudo ela serviu como um mapa de apoio para a análise das fragilidades e potencialidades, subdividindo a área em subbacias

**Tabela 13-** Número e comprimento total dos trechos de rio conforme a classificação de strahler

Strahler	Trechos	Comprimento Total (m)
1	186	147372.9
2	42	56360.9
3	9	22436.3
4	3	28173.7
5	1	12570.0

**Fonte:** Autor

Ao analisar o Mapa de Subbacias é possível observar de maneira qualitativa a que apresenta a menor densidade de drenagem consequentemente um menor potencial de escoamento superficial é a Médio Ribeirão do Feijão. A que contém a maior densidade de drenagem foi a Alto Ribeirão do Feijão, logo apresentando um maior potencial de drenar as águas que vem das regiões mais elevadas. Essa região foi onde foi identificado um maior número de evidências erosivas.

#### *7.1.11. Mapa de Amplitude de Relevô*

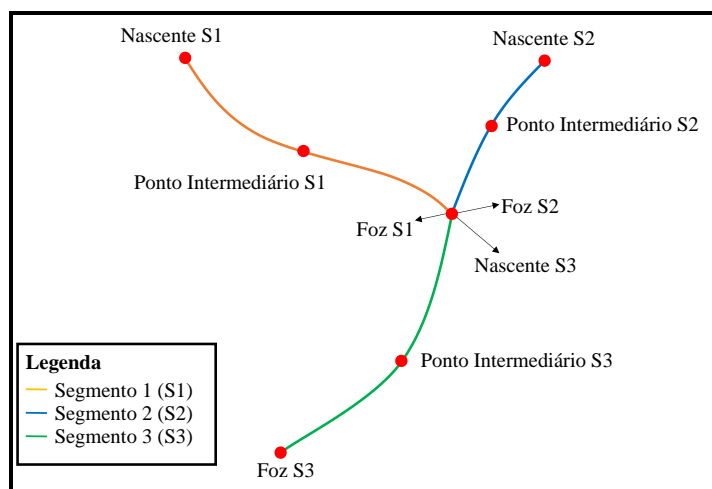
O Mapa de Amplitude de Relevô foi baseado no conceito de Christofolletti (1980), o qual define amplitude de relevô como a diferença altimétrica entre a altitude do ponto mais alto em qualquer lugar da divisória topográfica, e a altitude da desembocadura.

Para elaborar este mapa, os procedimentos adotados foram os seguintes:

- 0- Ter o MDT previamente elaborado e a rede de drenagem digitalizada;
- 1- As drenagens foram subdivididas em seguimentos de rio únicos, criando em seguida 3 pontos em cada seguimento de rio, um na nascente, outro na foz e o terceiro no meio da drenagem (Figura 70);



**Figura 70-** Subdivisão da rede drenagem em segmentos de rio para a obtenção do mapa de amplitude do relevo da BHRF.

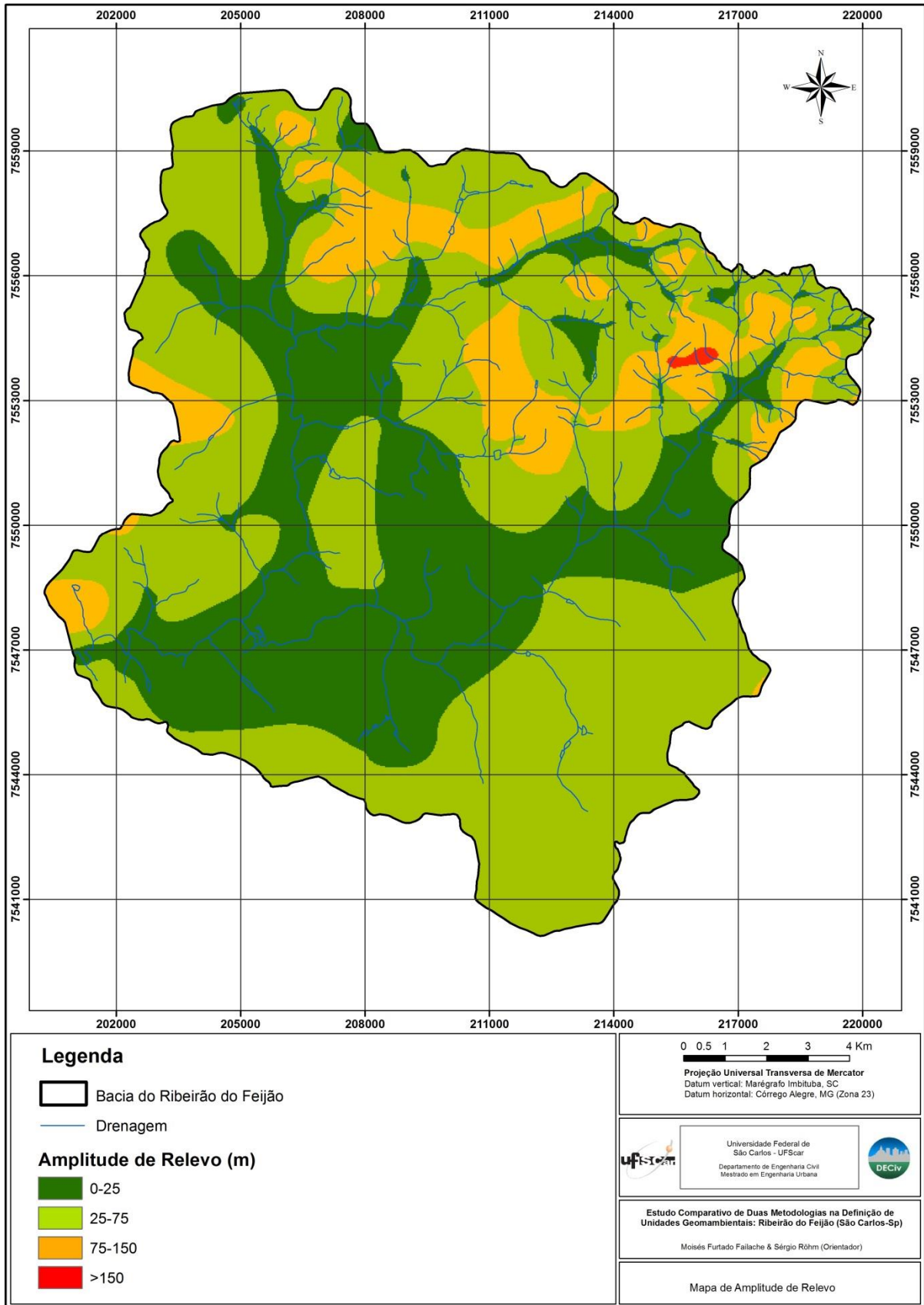


**Fonte:** Autor

- 2- De posse de todos os pontos, foi utilizado a ferramenta *extract values from point* para extrair o valor de altitude dos pontos a partir do MDT;
- 3- A determinação da amplitude de cada segmento de rio foi feita através da diferença dos valores altimétricos do ponto localizado na nascente com o da foz. O valor obtido na subtração foi atribuído ao ponto do meio curso do rio;
- 4- No passo seguinte foram deletados os pontos das nascentes e das fozes, isto é permanecendo apenas o de meio curso do segmento contendo o valor da amplitude;
- 5- Utilizando estes pontos foi realizada a interpolação dos mesmos para obtenção do mapa de amplitude. Foram testados vários tipos de interpoladores sendo que o que apresentou o melhor resultado foi o vizinho mais próximo.
- 6- Com o mapa de amplitude elaborado, este foi reclassificado conforme proposto pela metodologia de Cendrero et al. (1990)

Neste mapa (Figura 71) foram identificadas 4 classes, as quais compreendem as faixas de (1) 0-25m, (2) 25-75m, (3) 75-150m e (4) 150- 167m. Constatou-se que as duas primeiras faixas de amplitude predominaram, totalizando quase 88%, sendo 32,8% para a classe 1 e 55,5% para a classe 2. Estas faixas estão localizadas nas colinas aplainadas a mediamente onduladas, landforms estes que representam áreas potenciais de infiltração. As faixas com maiores amplitudes se localizam na zona de escarpas, colinas onduladas e de vales entalhados, e totalizam 12% da área. Estas duas faixas ao contrário das primeiras são as que apresentam maior potencial de escoamento superficial.

Figura 71-Mapa de amplitude de relevo da BHRF



Fonte: Autor

### 7.1.12. Mapa de restrições legais do Código Florestal de 1965

O Mapa de Restrições representa áreas de relevante interesse ambiental, cultural ou protegidas por lei. Ressalta-se que a área de estudo já apresenta regras especiais em virtude desta fazer parte das Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais do Município de São Carlos (Lei municipal 13.944 de 2006)

Desse modo as áreas de restrições apresentadas serão baseadas nas Áreas de Proteção Permanente (APP) prevista pelo Código Florestal Brasileiro instituído pela Lei Nº 4.771, de 15 de setembro de 1965.

O Código Florestal Brasileiro regulamenta que:

Art. 2º – Consideram-se de preservação permanente, pelo só efeito desta lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:

- a) ao longo dos rios ou de qualquer curso de água desde seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima seja:
  - 1) de 30 (trinta) metros para cursos de água de menos de 10 (dez) metros de largura;
  - 2) de 50 (cinquenta) metros para cursos de água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
- b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios de águas naturais ou artificiais;
- c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados olhos d'água, qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura;
- d) nas encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100 % as linha de maior declive;

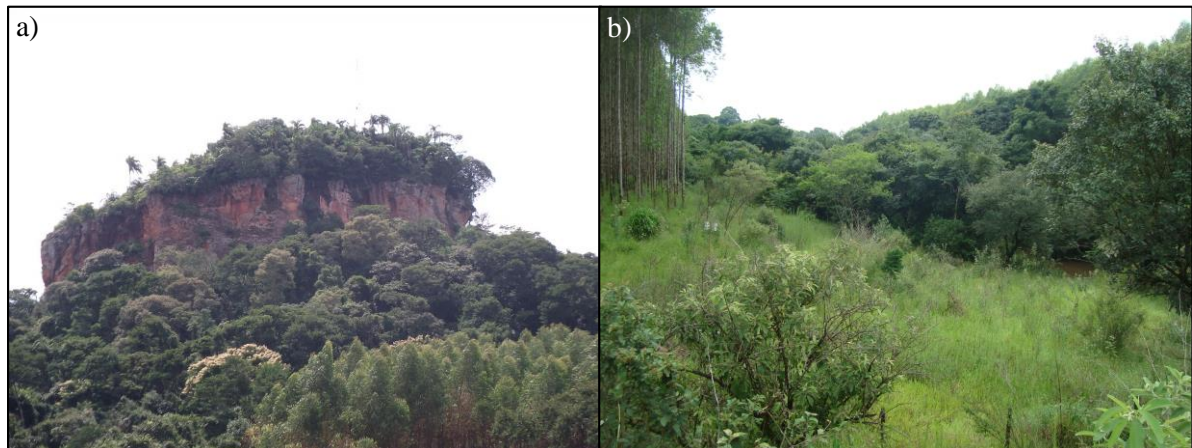
**Parágrafo Único** – No caso de áreas urbanas, assim entendidas as compreendidas nos perímetros urbanos definidos por lei municipal, e nas regiões metropolitanas e aglomerações urbanas, em todo território abrangido, observar-se-á o disposto nos respectivos planos diretores e leis de uso de solo, respeitados os princípios e limites que se refere este artigo

Art. 10º – Não é permitida a derrubada de florestas situadas em áreas de inclinação entre 25 e 45 graus, só sendo nelas tolerada a extração de toros quando em regime de utilização racional, que vise a rendimentos permanentes.

Em seguida ao analisar todas as restrições, os passos seguintes envolveram a delimitação dos setores com restrições legais e digitalização das informações usando o Editor do ArcGis 10. Acrescenta-se que para a delimitação das faixas marginais ao longo da drenagem e das nascentes, foi utilizada a ferramenta *Buffer* no menu *geoprocessing*.

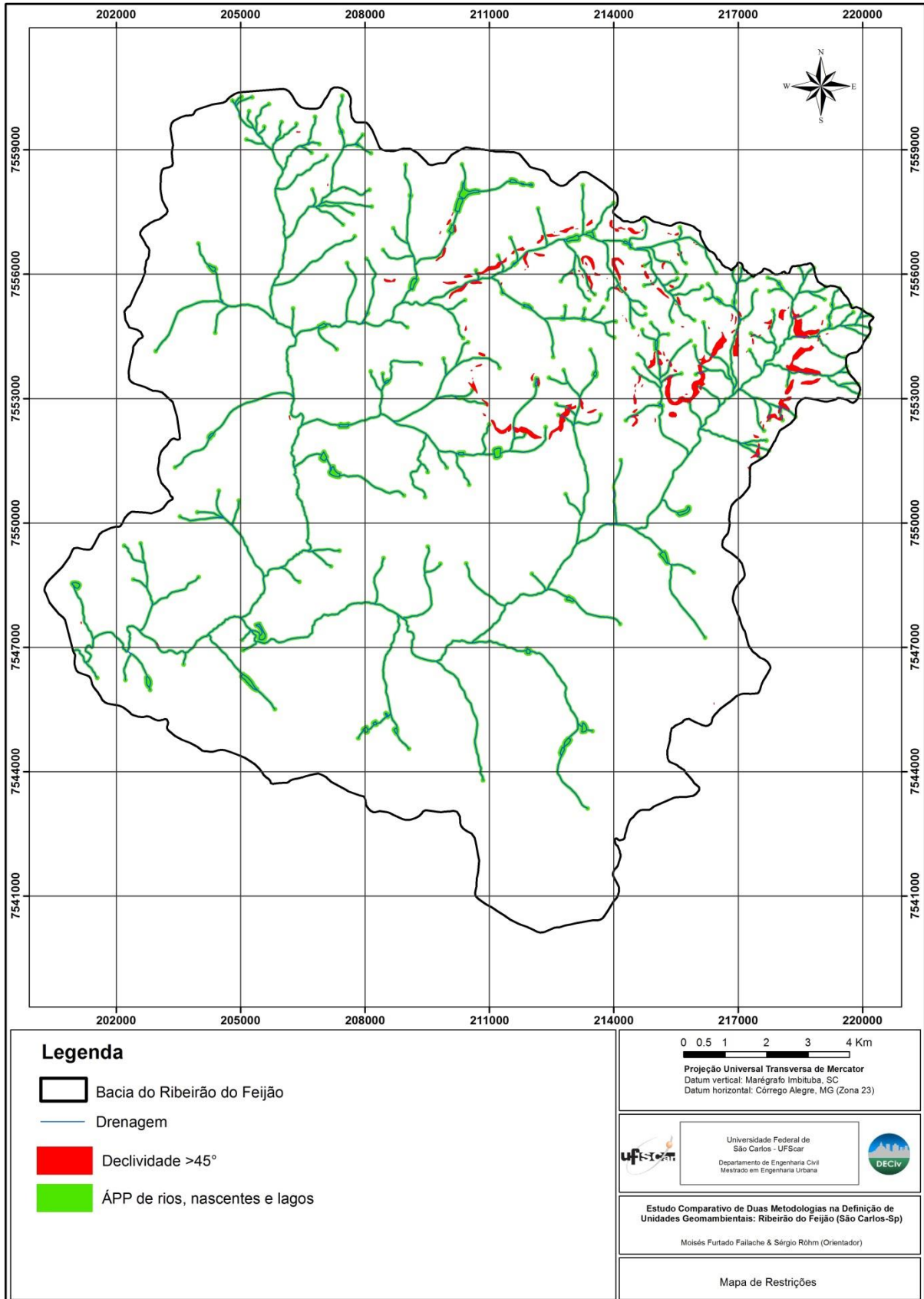
Desse modo, o total de área protegida por lei na BHRF foi de 17,2 km<sup>2</sup> de APP de margens de rios e lagos, e 1,8 km<sup>2</sup> de zonas com maiores declividades. Ressalta-se que em determinadas áreas as duas classes de restrições se sobrepõem. Desse modo, o total de área protegida da BHRF é de 18,5 km<sup>2</sup> (7.6%). Nas Figura 72 e 73 são apresentados respectivamente exemplos de áreas de proteção permanente e o Mapa de Restrições da BHRF.

**Figura 72-** Áreas de proteção permanentes da BHRF: a) regiões com inclinação maior que 45º; b) 30 metros ao longo de rios e lagos



**Fonte:** Autor

Figura 73-Mapa de Restrições da BHRF.



Fonte: Autor

## 7.2. Documentos Cartográficos Interpretativos

### 7.2.1. Carta de Suscetibilidade a Erosão

A Carta de Suscetibilidade à Erosão está relacionada à pré-disposição de uma área a ocorrência de processos erosivos. Para obtenção desta utilizou informações como: Substrato Rochoso, Uso do solo, Declividade e Materiais Inconsolidados. Cada carta foi avaliada individualmente, para uma análise mais específica do atributo frente a sua suscetibilidade do processo erosivo. Ressalta-se que a avaliação desta carta considerou a suscetibilidade natural do terreno por processos erosivos lineares.

A ponderação e avaliação dos atributos para obtenção da carta de suscetibilidade a erosão se deu da seguinte forma:

- Mapa de Materiais Inconsolidados: foram analisados a textura e a espessura destes materiais. A textura representando aspectos de estrutura e de infiltração/escoamento, enquanto que a espessura correspondendo a quantidade de material inconsolidado disponível para destacamento;
- Carta de Declividade admitiu-se que quanto maior a inclinação do terreno, maior seria a influência deste atributo na suscetibilidade a erosão.
- Uso do Solo foi analisado a cobertura vegetal, verificando o seu papel de proteção contra a ação de destacamento da gota da chuva.

Após a avaliação dos atributos, os documentos cartográficos foram reclassificados e ponderados conforme a Tabela 14. A definição dos pesos foi feita através da opinião de especialistas. Salienta-se antes de se estabelecerem os pesos finais foram feitos diversos testes na ponderação através de acerto e erro.

Por fim, para a obtenção da carta de suscetibilidade a erosão, todos os atributos foram combinados através da ferramenta *Spatial Analyst/ Overlay/ weighted overlay*.

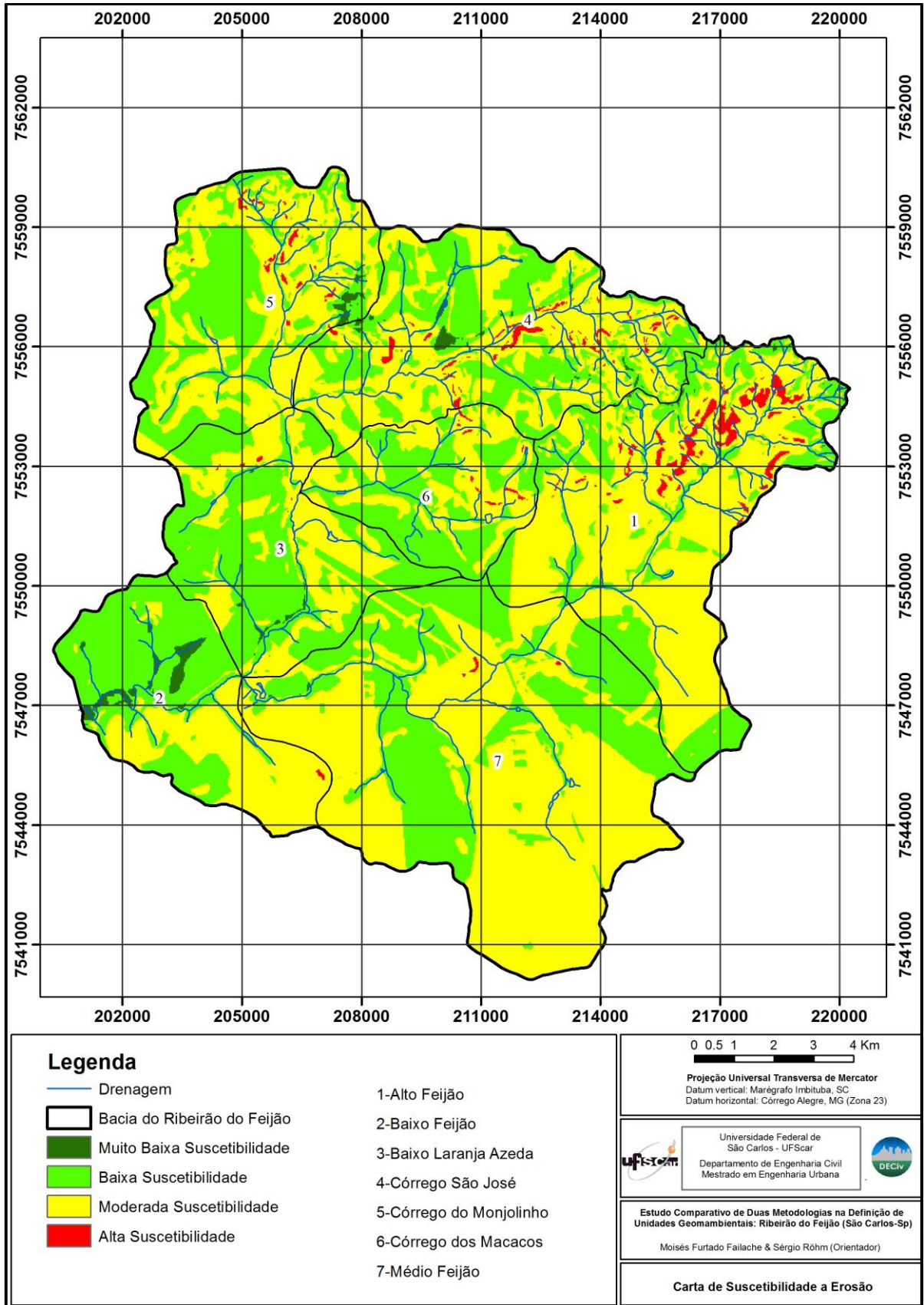
**Tabela 14-** Reclassificação e ponderação dos atributos para a elaboração da Carta de Suscetibilidade a Erosão

Componente	Atributo	Classes	Peso	Suscetibilidade	Importância do atributo (%)
Material Inconsolidado	Espessura (m)	<2	1	Muito Baixa	45
		2-5	2	Baixa	
		5-10	3	Moderada	
		>10	4	Alta	
	Textura	Argiloso	1	Muito Baixa	
		Argilo-Arenoso	2	Baixa	
		Areno-Argiloso	3	Moderada	
		Arenoso	4	Alta	
Relevo	Declividade (%)	0-4	1	Muito Baixa	30
		4-8	2	Baixa	
		8-15	3	Moderada	
		>15	4	Alta	
Feições do tecnógeno	Uso do solo	Outras culturas:	3	Moderada	25
		Laranja	2	Baixa	
		Cana de Açúcar	2	Baixa	
		Reflorestamento	1	Muito Baixa	
		Mata	1	Muito Baixa	
		Cerrado	1	Muito Baixa	
		Pastagem	4	Alta	
		Área Construída	1	Muito Baixa	
		Mineração	1	Muito Baixa	
		Solo exposto	4	Alta	
Várzea	1	Alta			

Fonte: Autor

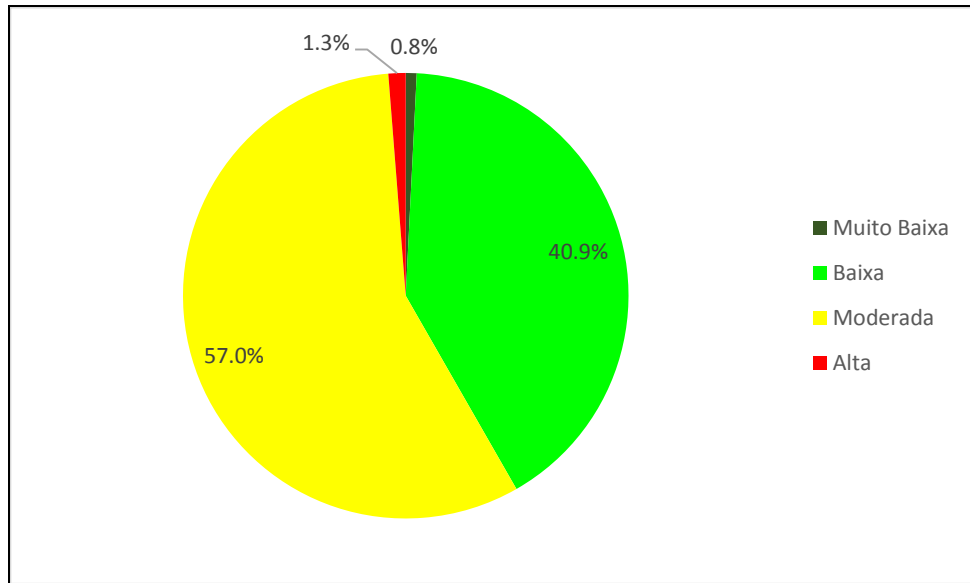
Na carta de suscetibilidade a erosão obteve-se quatro classes, as quais foram Muito Baixa, Baixa, Moderada e Alta. Na Figura 74 é apresentado a carta de suscetibilidade a erosão e na Figura 75 a distribuição das classes de suscetibilidade a erosão. As classes Moderada e Baixa predominaram, a primeira apresentando 57% e a segunda 40,9% da área. A predominância da classe Moderada se explica pela presença em grande parte da BHRF ocorrer solos muito arenosos, friáveis e pouco estruturados. Estas não se enquadram em classes de maior suscetibilidade em virtude das declividades baixas de no máximo 8%, assim como pelos tipos de uso, que normalmente são a cana de açúcar e a laranja. Normalmente nestes tipos de cultura existem diversas medidas de controle contra a erosão. A predominância da classe Baixa é oriunda principalmente da associação de declividades baixas, textura argilosa e a presença de usos do solo que reduzem os efeitos de destacamento da gota da chuva, como Mata, Reflorestamento e Cerrado.

Figura 74– Carta de suscetibilidade a erosão da BHRF



Fonte: Autor



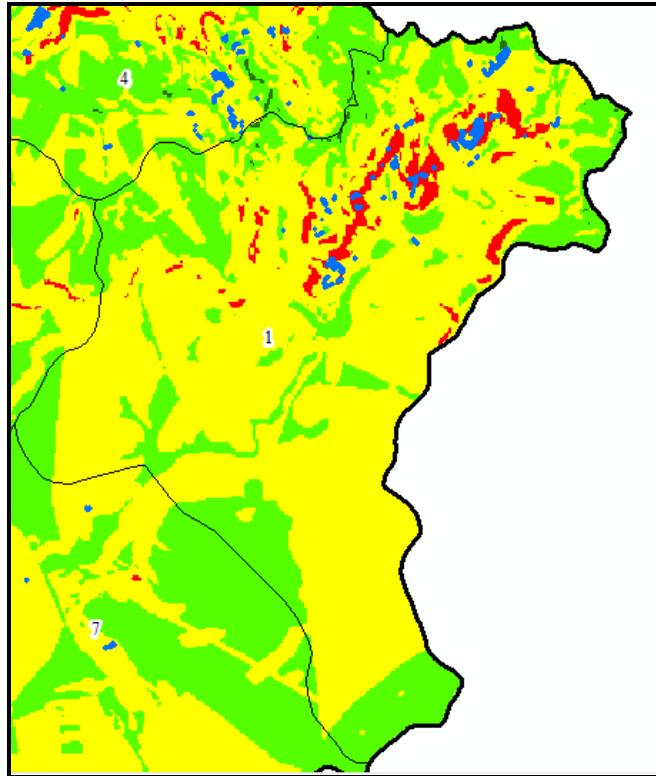
**Figura 75**– Carta de suscetibilidade a erosão da BHRF

**Fonte:** Autor

As classes Muito Baixa (0,8%) e Alta (1,6%) ocorreram de forma pontual na bacia. A Muito Baixa se restringiu as áreas com solo argiloso, pouco espessos e com declividades máximas de 8%. Enquanto as áreas com classe Alta (1,3%) estão localizadas principalmente na subbacia 5 (Alto Feijão) no sopé das escarpas ou dos vales em V profundos, áreas essas que apresentam declividades maiores, materiais de textura arenosa e ausência de vegetação.

Quando se compara a Carta de suscetibilidade a erosão com o mapa de evidências através do uso da ferramenta *Spatial Analyst/Zonal/Tabulate Area* observa-se que o resultado é satisfatório para esta carta. Aproximadamente 90% das evidências de processos erosivos estão localizados nas classes de muito alta suscetibilidade e moderada suscetibilidade. Na Figura 76 é possível observar espacialmente na sub Bacia Alto Feijão a correlação entre as evidências erosivas (em azul) com as classes de suscetibilidade a erosão.

**Figura 76-** Correlação espacial das evidências erosivas (em azul) com as classes de suscetibilidade a erosão na subbacia Alto Feijão.



**Fonte:** Autor

### 7.2.2. Carta de Potencial Agrícola

A Carta de Potencial Agrícola tem como objetivo delimitar e classificar de modo relativo a aptidão agrícola geral de uma área. Além disso, conforme Assumpção (1990) ela tem como finalidade prolongar à capacidade produtiva e/ou a vida útil do solo, desse modo evitando uma série de impactos ambientais. Assim, o objetivo desse documento cartográfico é diferenciar porções do terreno com diversos tipos de potencial e/ou restrições. Por exemplo, solos com alta capacidade de troca catiônica, abundância de bases trocáveis, baixas declividades, ausência de pedregulhos que interferem na mecanização do solo, favorecem a atividades agrícolas.

O passo inicial para construção da carta foi analisar cada unidade pedológica obtida no mapa pedológico (EMBRAPA, 1981), adequando aos limites propostos por Zuquette *et al.*, (1993) a uma classe de aptidão (Tabela 15). Os fatores considerados na reclassificação das unidades pedológicas foram: profundidade, textura, drenabilidade, saturação de bases (S), níveis de umidade e pedregosidade. Na Tabela 16 é possível observar a adequação dos atributos de cada tipo de solo com a respectiva classe de aptidão.

**Tabela 15-** Atributos propostos por Zuquette (1993) para a carta de aptidão agrícolas.

Componente	Atributo	Classes	Aptidão
Pedologia	Espessura (m)	> 1,5	Favorável
		> 0,7	Moderada
		< 0,5	Severa
		< 0,2	Restritiva
	Textura	Média Argilo-Arenosa e Argilosa	Favorável
		Areia (< 30%)	Moderada
		Arenosa (> 90%)	Severa
		Arenosa/ Argilas expansivas	Restritiva
	Consistência	Friável	Favorável
		-	Moderada
		Dura	Severa
		Muito dura	Restritiva
	Níveis de Umidade	Boa retenção	Favorável
		-	Moderada
		-	Severa
		Baixa retenção	Restritiva
	Pedregosidade	Sem ocorrência	Favorável
		Pequena ocorrência (0,1 – 1 %)	Moderada
		Média (> 2 %)	Severa
		Alta ocorrência (> 3 %)	Restritiva
	Saturação em Bases (%)	> 60	Favorável
		20 – 60	Moderada
		< 20	Severa
		< 10	Restritiva
Drenabilidade	Boa	Favorável	
	Média	Moderada	
	Má	Severa	
	Má	Restritiva	

**Tabela 16-** Classificação dos tipos pedológicos quanto a sua aptidão agrícola

Solo	Textura	Espessura (m)	Consistência	Umidade	Pedregosidade	Saturação em Bases (%)	Drenabilidade
Te-2	F	F	M	F	M	F	F
LRd	F	F	M	F	F	F	F
LRe	F	F	M	F	F	F	F
LE-1	F	F	M	M	F	M	M
LE-2	M	F	M	M	F	M	M
LV-2	S	F	F	S	F	S	F
LV-3	S	F	M	S	F	S	M
LV-5	M	F	M	S	F	S	M
LV-6	F	F	S	M	M	M	M
AQ	S	F	F	S	F	S	F
PV 5	S	F	S	M	R	M	R
Li	M	R	R	R	R	F	M
Hi	S	F	M	S	F	S	R

**Legenda**  
**F**=Favorável; **M**=Moderada; **S**=Severa; **R**=Restritiva

Fonte: Autor

Após a análise das unidades pedológicas em relação a aptidão agrícola, obteve-se a 4 classes de aptidão (Favoráveis, Moderadas, Restritivas e Severa), onde na Tabela 17 observa-se a reclassificação.

**Tabela 17**– Reclassificação das unidades pedológicas em classes de potencial agrícola geral

Favorável	Moderada	Severa	Restritiva
Te -2; LRd; LRd+LRe+TE-2; LRd+LRe; LRd+TE-2.	LE-1; LE-2; LV-6+PI.	LV-3; LV-5; AQ; AQ+LV 2; LV 2; PV 5.	LI-3+LI-2; LI-2+LI 3; Hi.
<p><b>Legenda</b></p> <p><b>Te-2:</b> Terra Roxa Estruturada-Tipo 2</p> <p><b>LRd e LRe:</b> Latossolo Roxo distrófico e eutrófico</p> <p><b>LE-1 e LE-2:</b> Latossolo Vermelho Escuro - Tipo 1 e 2</p> <p><b>LV-2; LV3; LV-5 e LV 6:</b> Latossolo Vermelho Amarelo Tipo 2,3,5 e 6</p> <p><b>AQ:</b> Areias Quartzosas</p> <p><b>Li:</b> Solos Litólicos Tipo 2 e 3</p> <p><b>Hi:</b> Solos Hidromórficos</p> <p><b>+</b>: Associação de solos</p>			

**Fonte:** Autor

Os dois últimos passos da elaboração da Carta de Potencial Agrícola foi reclassificação e ponderação dos atributos envolvidos e a sobreposição destes. A reclassificação e a ponderação foram baseadas em uma adaptação da proposta de Zuquette *et al* (1993) podendo ser observadas na Tabela 18. A sobreposição ponderada utilizou a ferramenta *Weighted Overlay* do ArcGIS 9.3.

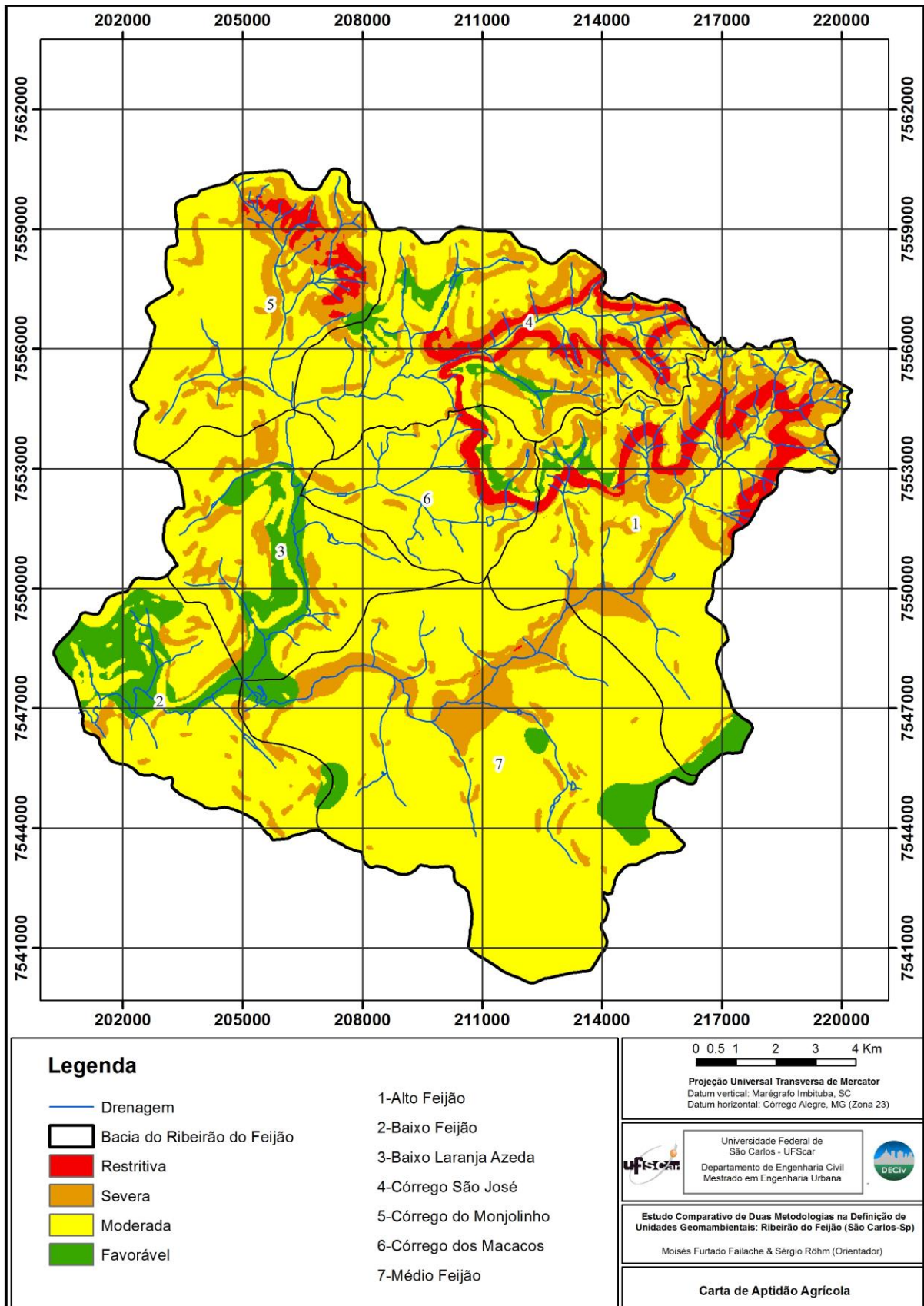
**Tabela 18**– Reclassificação e ponderação dos atributos para a elaboração da carta de potencial agrícola

Componente	Atributo	Classes	Peso	Aptidão	Importância do atributo (%)
Pedologia	Reclassificação Pedológica	Favorável	4	Favorável	65
		Moderada	3	Moderada	
		Severa	2	Severa	
		Restritiva	1	Restritiva	
Relevo	Declividade	< 8	4	Favorável	35
		8 –12	3	Moderada	
		> 12	2	Severa	
		> 20	1	Restritiva	

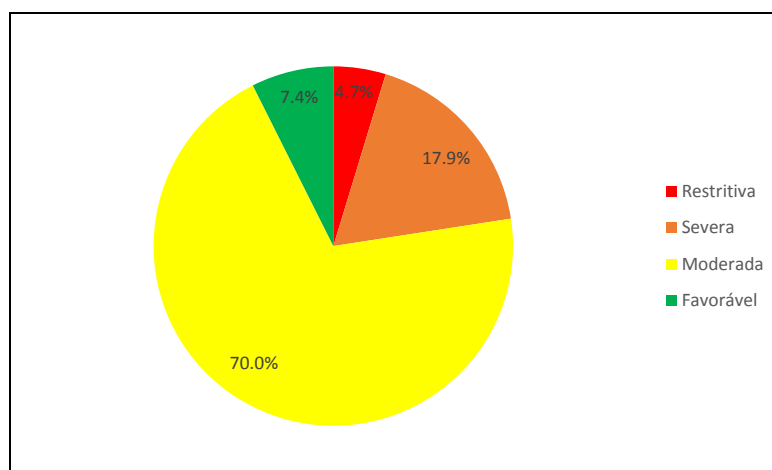
**Fonte:** Adaptado de Zuquette (1993)

A carta de aptidão agrícola para BHRF pode ser observada na Figura 77. Obtiveram-se quatro Classes de aptidão agrícola onde na Figura 78 é demonstrada a distribuição das mesmas.

Figura 77– Carta de aptidão agrícola da BHRF



Fonte: Autor

**Figura 78** – Distribuição das classes de aptidão agrícola

**Fonte:** Autor

Verificou-se a predominância da classe moderada (70%), notando que esta classe ocorre em todas as subbacias com relativa frequência. Apesar dessas áreas apresentarem solos álicos ou distróficos, porosos, com horizontes diagnósticos moderados e que não conseguem reter muita água, ela se enquadrou como moderada devido à baixa declividade. Condições como essas, recomenda-se culturas que não necessitam de muitos nutrientes como a cana de açúcar laranja ou a silvicultura, podendo ser visto um exemplo de cultivo de laranja na Figura 79 no vale do Alto Ribeirão do Feijão. Quando compara-se com uso do solo atual, observa-se que estas áreas estão ocupadas preferencialmente por este tipo de cultura ou pastagem.

**Figura 79-** Exemplo de cultivo de laranja no vale do Ribeirão do Feijão.

**Fonte:** Autor

A Classe Severa e a Classe Restritiva totalizam 22,6% da BHRF, estando presentes principalmente nas subbacias 1,4 e 5. Estas são representadas por locais alagados,

com declividades de moderadas a fortes e solos mais pedregosos, os quais são os solos litólicos. Desse modo, para torna-los férteis ou permitir a mecanização seria necessário um grande investimento para ocupa-los, inviabilizando assim qualquer cultura. Essas áreas estão ocupadas atualmente por usos como pastagem ou mata, desse modo refletindo satisfatoriamente o resultado da Carta de Aptidão Agrícola.

A Classe Favorável corresponde apenas 7,4% da área estudo estando localizada principalmente nas subbacias 2 e 3. Esta é representada pelas regiões com declividades não tão acentuadas e solos eutrotróficos e argilosos oriundos da Formação Serra Geral, geralmente sem evidências de processos erosivos. Nesta classe, indica-se lavouras mais exigentes em termos de nutrientes e menor grau de mecanização para o preparo da terra.

### *7.2.3. Carta de Estabilidade de Talude*

A Carta de Estabilidade de Talude representou áreas suscetíveis a movimento de massas relativo aos escorregamentos de solo, quedas, deslocamentos e tombamentos. O primeiro tipo se relaciona com escorregamento de caráter superficial, envolvendo somente o manto de cobertura, o qual tem como mecanismo deflagrador a concentração de água na massa de solo e nas superfícies de escorregamentos. Os restantes se referem a vertentes íngremes ou em taludes de rocha sã ou pouco alterada. Estes são normalmente condicionados as estruturas geológicas naturais que favorecem o desprendimento das rochas quando submetidas a processos de intemperismo e ou ações antrópicas.

A análise dos atributos influentes no processo e a respectiva ponderação podem ser observadas na Tabela 19. A escolha dos atributos se baseou em uma adaptação da proposta de Cendrero (1990), onde se acrescentou a carta de CEMPAS. A ponderação assim como a da carta de suscetibilidade a erosão foi feita a partir da opinião de especialistas e através de acerto e erro para alcançar os pesos finais.

**Tabela 19-** Reclassificação e ponderação dos atributos utilizados para a elaboração da Carta de Estabilidade Taludes.

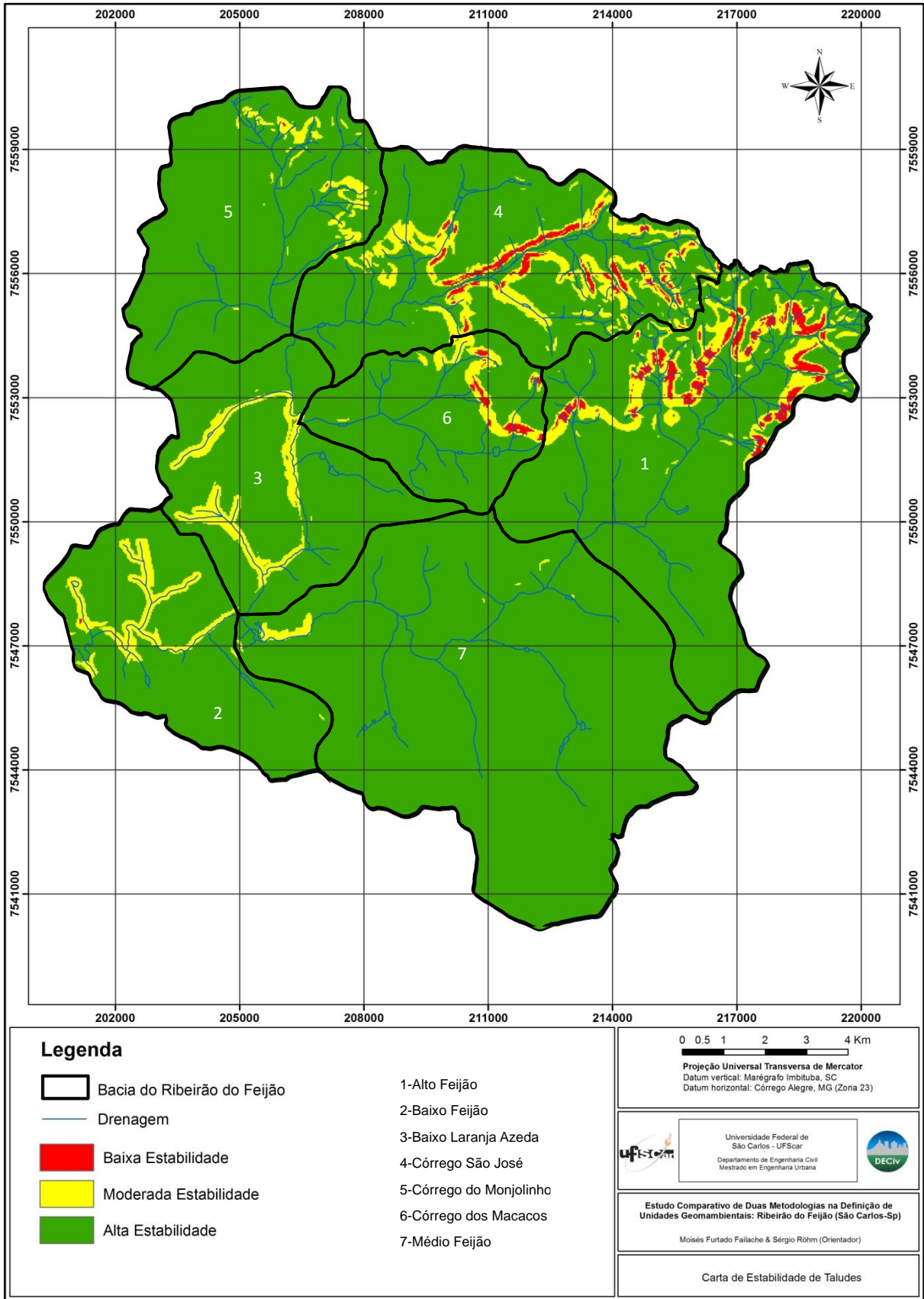
Componente	Atributo	Classes	Peso	Suscetibilidade	Importância do atributo (%)
Biótico	Vegetação	<20	1	Com Mata	8
		20-30	2	Culturas	
		>30	3	Sem vegetação	
CEMPAS	Densidade de drenagem	>200	1	Alta	5
		100-200	2	Moderada	
		0-100	3	Baixa	
Relevo	Declividade (%)	<20	1	Alta	67
		20-30	2	Moderada	
		>30	3	Baixa	
Geologia	Formação Geológica	Botucatu	3	Alta	18
		Itaqueri	2	Moderada	
		Serra Geral	2	Baixa	

Fonte: Autor

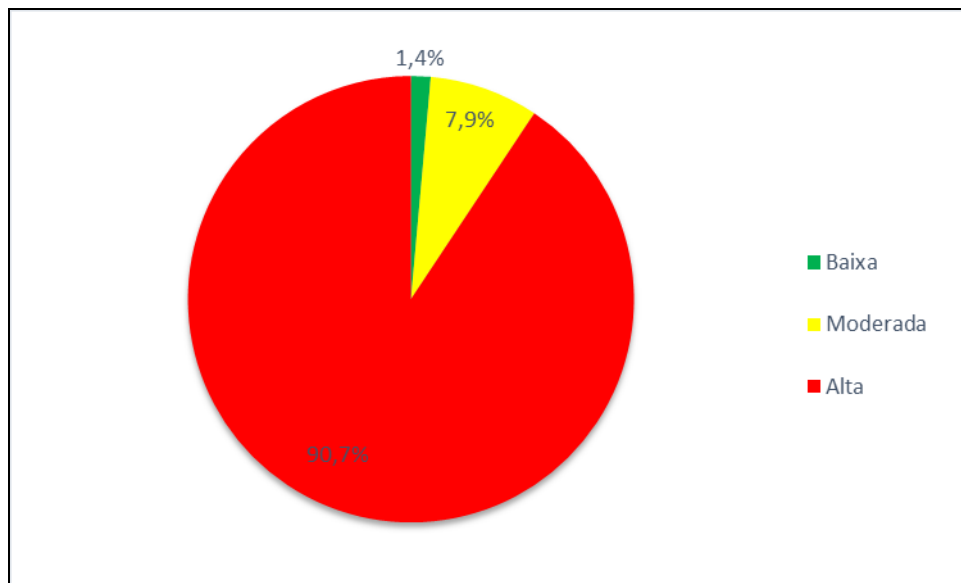
A Carta de Estabilidade de Talude na BHRF apresentou quase em sua totalidade somando 90,67% da área alta estabilidade, em virtude das baixas declividades. Na Figura 80 pode ser observada a Carta de Estabilidade de Talude na Figura 81 a distribuição das unidades. As áreas de baixa estabilidade (1,42%) estão restritas basicamente nas escarpas localizadas nas subbacias 1 e 4, onde verificou-se solos bastante rasos e rochas fraturadas. Esta combinação conjuntamente com eventos de chuvas os quais possibilitem a infiltração até as zonas de menor resistência podem provocar movimentos de massa como o observado na Figura 82. As áreas com moderada suscetibilidade (7,91%) estão localizadas principalmente nas zonas de declividade moderada, vales mais fechados com a presença de materiais argilosos e menos espessos, e em alguns pontos das colinas onduladas pequenas. Todavia ao analisar as áreas que apresentaram moderada estabilidade de talude a oeste e sudoeste da BHRF, não correspondeu à realidade encontrada em campo, onde não foram verificadas evidências de movimentos de massa. Ressalta-se que ao analisar os resultados dessa carta não se verificou a necessidade da elaboração dessa carta por conta da alta estabilidade dos taludes da região, todavia como esta carta era requisito básico na metodologia de Cendrero (1990), decidiu-se mantê-la na dissertação.



Figura 80– Carta de Estabilidade de Talude da BHRF



Fonte: Autor

**Figura 81**– Distribuição das classes de estabilidade talude da BHRF

**Fonte:** Autor

**Figura 82**– Evidência de movimento de massa na BHRF

**Fonte:** Autor

#### 7.2.4. Carta de Vulnerabilidade de Aquífero

A Carta de Vulnerabilidade de Aquífero deste estudo faz um diagnóstico preliminar da vulnerabilidade natural dos aquíferos livres em função apenas das

características intrínsecas do meio físico, não levando em consideração o tipo de poluente. Entende-se nesse estudo como vulnerabilidade de aquífero a definição proposta por ASTM (1996) que diz que é a facilidade com a qual um dado contaminante pode migrar para as águas subterrâneas ou para um aquífero de interesse em determinadas situações de uso do solo, características do contaminante e condições da área. As características de forma geral que estão envolvidas na determinação da vulnerabilidade são as características do aquífero (litologia e porosidade), uso do solo, topografia e do contaminante (mobilidade e densidade).

Por ser uma carta diagnóstico preliminar e não ser o produto principal desse trabalho vários aspectos não foram considerados devido à falta de informação prévia suficiente como o nível d'água, características do contaminante, e características hidrogeológicas mais específicas como o sentido e direção do aquífero. Sendo assim em estudos futuros na área de estudo é necessário fazer um refinamento desta carta utilizando métodos mais precisos como o DRASTIC (EPA, 1987), GOD (Foster e Hirata, 1995) e AVI (Banks et al, 2001).

A Carta de Vulnerabilidade da BHRF foi obtida a partir da reclassificação e ponderação dos atributos interferentes na vulnerabilidade. A reclassificação foi baseada na proposta de Cendrero (1990), onde para cada atributo foi atribuído valores de 1 a 4 onde o valor 1 é considerado a classe baixa, 2 a classe moderada, 3 classe Alta e o 4 classe Muito Alta. Os atributos considerados por esse autor estão de maneira geral relacionados a porosidade, ao grau de faturamento e a condutividade hidráulica da rocha. Para os materiais inconsolidados, o autor considera a espessura, condutividade hidráulica e o nível d'água. A declividade é usada para refletir a condição potencial de acúmulo de água, ou seja, afetando na quantidade de água disponível para infiltração. Salienta-se que a este método é bastante flexível onde a composição e a ponderação dos fatores intervenientes na vulnerabilidade é baseada em uma análise específica das características do local avaliado.

Baseado na flexibilidade da proposta de Cendrero (1990), os atributos e as respectivas reclassificações e ponderações são apresentadas na Tabela 20. A definição dos pesos foi feita a partir da opinião de especialistas e através de acerto e erro para alcançar os pesos finais.

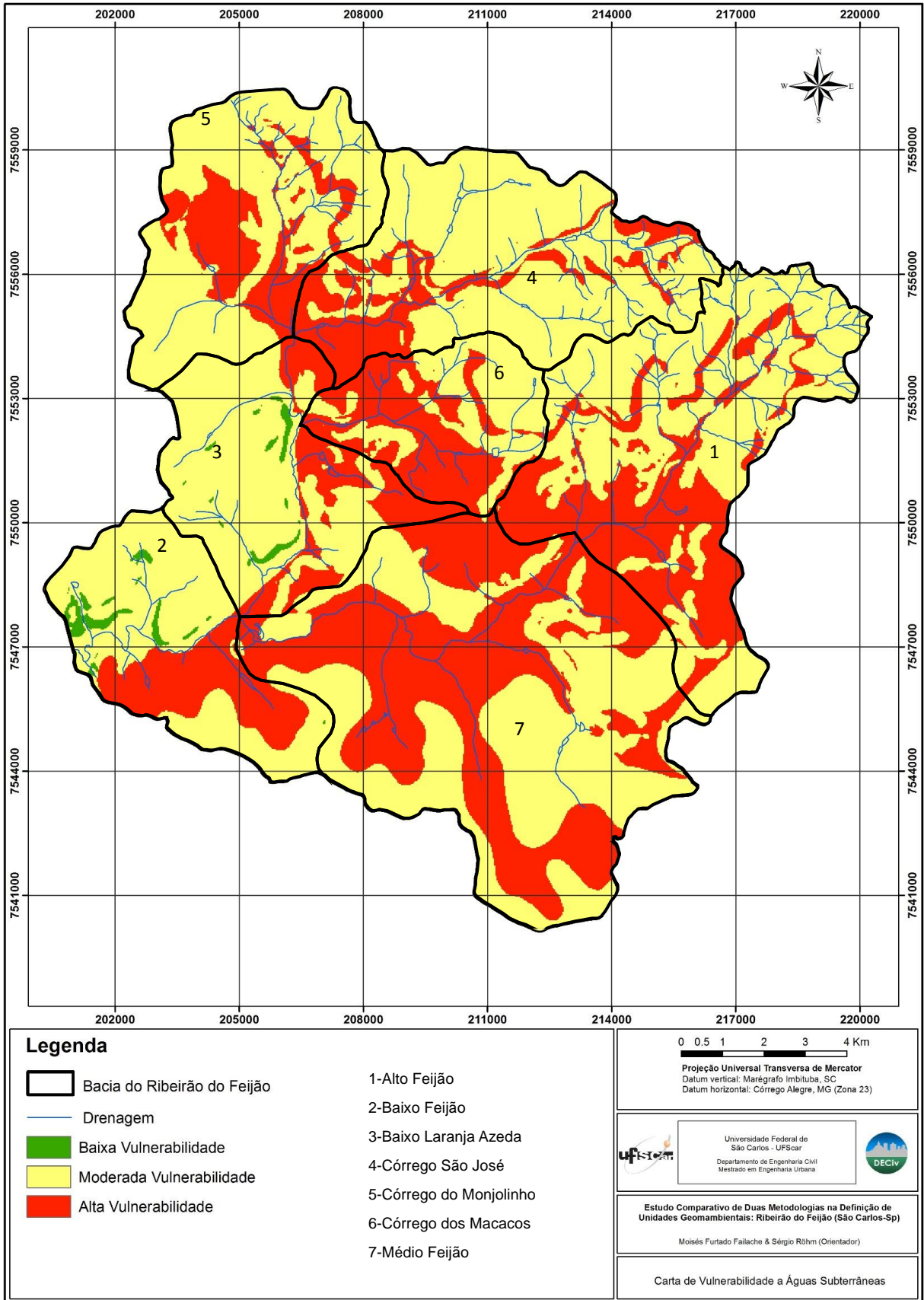
**Tabela 20-** Reclassificação e ponderação dos atributos utilizados para a elaboração da Carta de Vulnerabilidade Aquíferos.

Componente	Atributo	Classes	Peso	Vulnerabilidade	Importância do atributo (%)
Material Inconsolidado	Espessura (m)	<5	1	Alta	25
		10-20	2	Moderada	
		>20	3	Baixa	
	Condutividade Hidráulica (cm/s)	$\geq 10^{-2}$	1	Alta	40
		$10^{-3}$	2	Moderada	
		$\leq 10^{-4}$	3	Baixa	
Relevo	Declividade (%)	<5	1	Alta	20
		5-12	2	Moderada	
		>12	3	Baixa	
Geologia	Formação Geológica	Botucatu	1	Alta	15
		Itaqueri	2	Moderada	
		Serra Geral	3	Baixa	

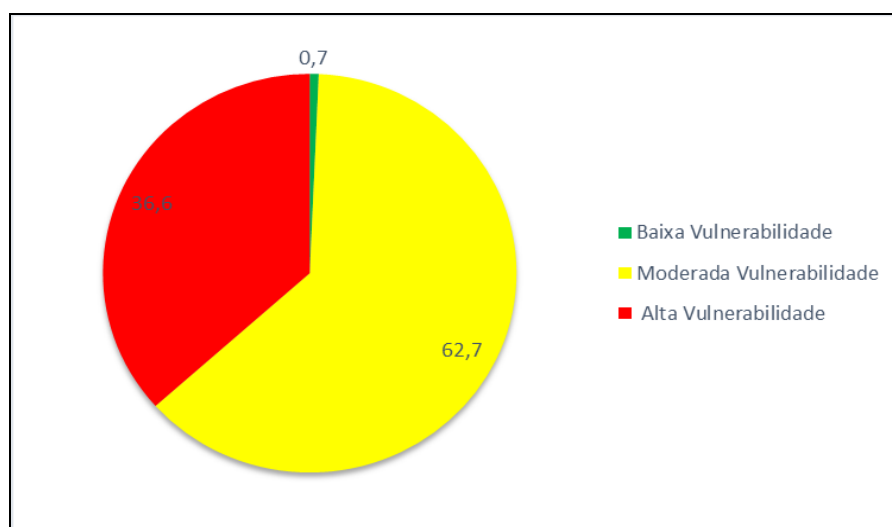
**Fonte:** Autor

Na Carta de Vulnerabilidade de Aquífero (Figura 83) observou-se uma predominância da classe de moderada vulnerabilidade. Esta classe é explicada principalmente em virtude da presença de materiais com condutividade hidráulica menor que  $10^{-3}$  cm/s e espessuras acima de 10 metros em grande parte da área de estudo. Na Figura 84 é possível observar a distribuição das classes de vulnerabilidade de aquífero.

Figura 83-Carta de Vulnerabilidade de Aquífero Livre



Fonte: Autor

**Figura 84**-Distribuição das classes de vulnerabilidade aquífero

**Fonte:** Autor

As áreas com classe de Alta Vulnerabilidade localizaram-se principalmente nas subbacias 5, 6 e 7. Estas corresponderam principalmente aos materiais residuais da Formação Botucatu e sedimentos aluvionares, ocorrendo principalmente na zona de planície da bacia, ou na região onde a espessura destes materiais era inferior a 5 metros. O Residual do Botucatu apresenta uma grande importância devido ser a principal zona de recarga do Aquífero Guarani, enquanto que os sedimentos aluvionares apresentam uma alta vulnerabilidade pelo fato do nível da zona saturada está mais próximo da superfície.

As zonas com classes com Baixa Vulnerabilidade se localizaram principalmente a sudoeste da bacia, na região onde ocorrem os sills. Nesta área apresenta materiais residuais da Formação Serra Geral, que apresentam texturas mais argilosas. Entretanto nesta área a profundidade do solo é relativamente espessa (de 5 a 10 metros). Além disso, apresenta declividades de moderadas tendendo a altas declividades.

#### 7.2.5. Carta de Qualidade de Conservação

A Carta de Qualidade de Conservação foi baseada na metodologia de Diaz de Terán (1985); Cendrero *et al.*, (1986); Cendrero & Díaz de Terán (1987), onde cada unidade geoambiental foi avaliada segundo seu valor para conservação através de ponderação e reclassificação de vários elementos. Como não se possuía dados de todos os elementos propostos por esses autores foi feita uma modificação, levando em consideração os seguintes

fatores: vegetação, geologia, geologia/geomorfolgia/solos, proteção de aquíferos e valor da paisagem. Nas Tabelas 21, 22, e 23 podem ser observadas as reclassificações as quais variam de 1 a 5, onde 1 apresenta a menor qualidade e 5 a maior qualidade de conservação.

**Tabela 21**– Reclassificação da vegetação segundo seu valor para a conservação

Tipo de Vegetação (uso do solo)	Unidade	Classe
Área construída, solo exposto e mineração	Unidade Antrópica	(1)
Reflorestamento, Cana de açúcar, pastagem e outras culturas	Agricultura e reflorestamento predominante	(2)
Laranja	Unidade Mista	(3)
Mata e Cerrado	Unidade matas e vegetação endêmica	(5)

Fonte: Autor

**Tabela 22**– Reclassificação da geologia, geomorfologia e solos segundo seu valor para a conservação

Elementos	Unidades	Classe
O restante das unidades	Unidades sem interesse, pois tem elementos triviais ou em péssimas condições de observação	(1)
Áreas de Mineração	Unidades com elementos de moderado interesse, porém apresentam condições difíceis para observação e acesso	(2)
Escarpas com a formação Botucatu e Serra Geral Aflorando	Elementos interessantes com boa condição para acesso e observação	(3)
Afloramento do Serra Geral no leito do Ribeirão do Feijão	Unidades que contem grande interesse científico, com boas condições para observação	(4)

Fonte: Autor

**Tabela 23**– Reclassificação da proteção de aquíferos segundo seu valor para a conservação

Elementos	Unidades	Classe
Classe Baixa Vulnerabilidade no Mapa de vulnerabilidade de águas subterrâneas	Unidades de muito baixa vulnerabilidade	(1)
Classe Moderada Vulnerabilidade no Mapa de Vulnerabilidade de Água Subterrânea	Unidades com moderada vulnerabilidade	(3)
Classe Alta Vulnerabilidade no Mapa de Vulnerabilidade de Água Subterrânea	Unidades com alta vulnerabilidade sobre grandes aquíferos	(5)

Fonte: Autor

A reclassificação do valor da paisagem difere das outras reclassificações realizadas. Esta é composta por uma série de características como complexidade de topografia, relevo, corpos d'água, vegetação, acessibilidade intervenção humana. Elas foram avaliadas partindo do princípio do conceito de qualidade e fragilidade. A qualidade se refere ao mérito visual intrínseco, e fragilidade reflete o qual sensível uma unidade pode ser, mediante a uma intervenção humana, no que diz respeito ao ponto de vista visual.

As reclassificações são apresentadas na Tabela 24. Depois de feita todas essas reclassificações os atributos são ponderados e é utilizada a fórmula a seguir tanto para qualidade (Q) quanto para fragilidade (F).

$$Q \text{ ou } F = \frac{\sum P_i \times V_{ij}}{\sum P_i}$$

Onde:  $P_i$  = peso de cada atributo;  $V_{ij}$  = valor de cada unidade do atributo.

Por fim, foi definido mérito geral da paisagem visual (P) para a conservação através da fórmula:

$$P = \frac{(2Q+F)}{3}$$

**Tabela 24-** Reclassificação dos atributos para avaliação da paisagem visual

Complexidade Topográfica			Relevo		
Q *	F *	Unidades	Q *	F*	Unidades
1	5	Planícies, vales abertos	1	1	0-25m
2	4	Colinas suavemente onduladas	2	3	25-75m
3	3	Colinas onduladas	4	4	75-150m
4	2	Vales fechados	4	4	150-300m
5	1	Escarpas			
Vegetação			Corpos d'água		
Q*	F*	Unidades	Q *	F*	Unidades
1	1	Outras Culturas e Cana de açúcar	1	1	Unidades sem água
3	2	Reflorestamento	2	2	Canais perenes
2	3	Laranja	3	3	Lagos
5	4	Mata	5	5	Ribeirão do Feijão
5	5	Cerrado			
Acessibilidade			Intervenção Humana		
F*	Unidades		Q*	F*	Unidades
5	Unidades cortadas pela Washington Luís		1	1	Área Industrial
4	Unidades cortadas por estradas secundárias		3	3	Zonas urbanas, rurais com construções abundantes
3	Unidades com estradas de terra		4	4	Zona Rural
2	Unidades adjacentes a 3 e 4		5	5	Sem construções
1	Sem estradas				
<b>Q*</b> (Qualidade)= Mérito visual intrínseco <b>F*</b> (Fragilidade)= Sensibilidade a alterações antrópicas					

Fonte: Modificado de Cendrero *et al.* (1990)

A integração de todos os atributos frente a qualidade de conservação procedeu-se através de operações aritméticas, onde o valor final para cada unidade seguiu a fórmula abaixo:

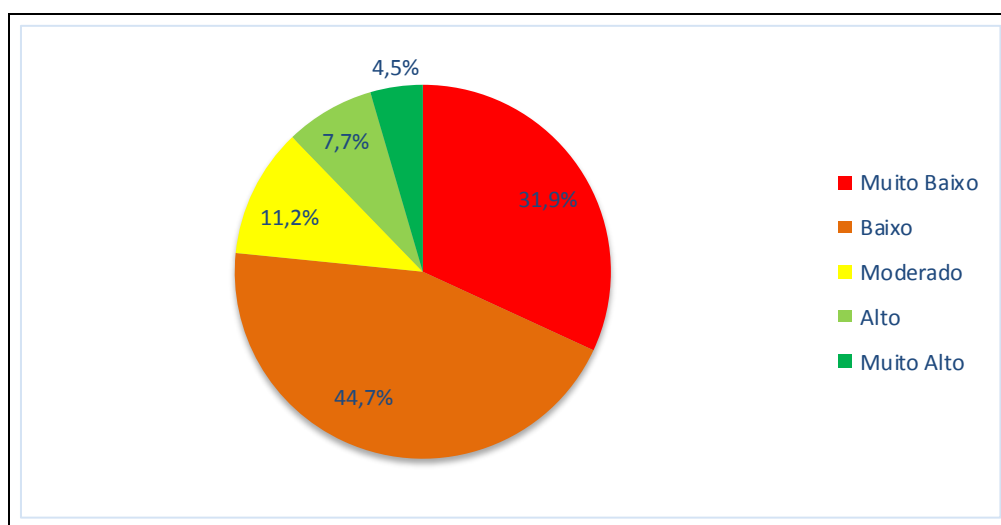
$$VC = \sum w_i \times V_i$$



Onde: VC é o valor para conservação,  $w_i$  = peso do elemento considerado e o  $v_i$  o valor tipo de elemento em cada unidade. Os pesos adotados foram: vegetação=4; geologia-geomorfologia-solos=3; proteção dos aquíferos=2; paisagem=3. A. Após obter-se o valor foram divididos em faixas onde as faixas variaram de 1 a 5, onde 5 é o maior valor de conservação e 1 o menor. Os pesos adotados foram baseados na proposta de Cendrero et al (1990)

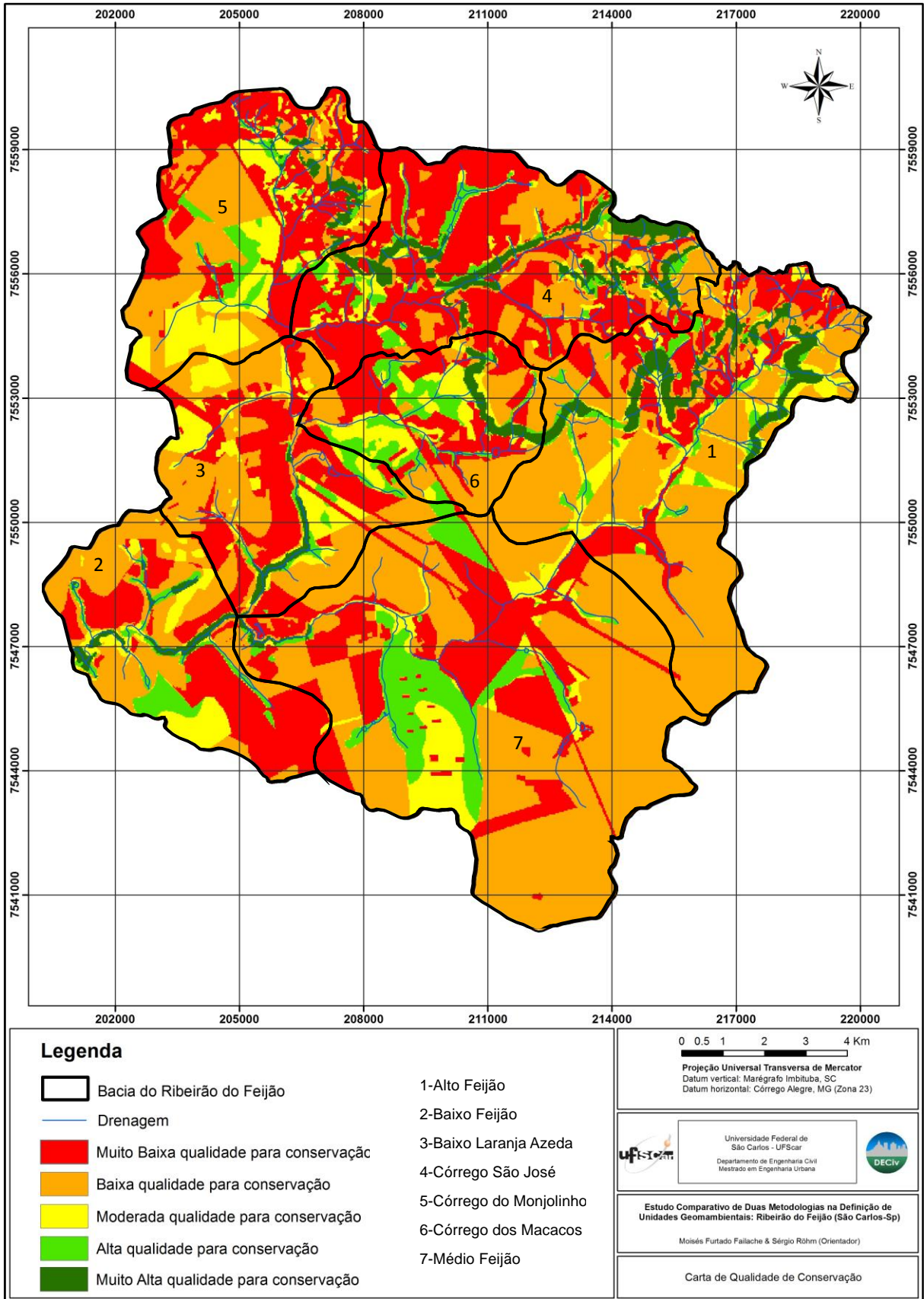
A carta de qualidade de conservação apresentou 5 classes, cujas vão de Muito Baixo até Muito Alto. Nas Figuras 85e 86 são apresentadas respectivamente a distribuição das unidades e a Carta de Qualidade para a Conservação. As classes Muito Baixo e Baixo Totalizaram mais de 75% da área e corresponderam principalmente as áreas planas associadas a usos como cana de açúcar, laranja, pastagem, e área construída. Isto é, são áreas extremamente consolidadas em termos de uso e sem elementos que apresentam belezas naturais. Porém são áreas que deve-se tomar medidas de proteção ambiental devido a vulnerabilidade dos aquíferos. As classes Alto e Muito Alto representaram apenas 12%, estando localizadas principalmente no afloramento da Formação Serra Geral no leito do Ribeirão do Feijão e do Córrego do Laranja Azeda, nas escarpas, áreas cerrado e de matas. Ressalta-se que estas são áreas de grande importância ambiental não somente por conta da sua fragilidade, mas também por causa da sua beleza natural, servindo ainda para educação ambiental.

**Figura 85**– Distribuição das classes de Qualidade para a Conservação da BHRF



**Fonte:** Autor

Figura 86-Mapa de Qualidade de conservação



## 8.ZONEAMENTOS GEOAMBIENTAIS

### 8.1. Carta de Zoneamento Geoambiental conforme Zuquette (1993); Zuquette et al., (1997)

A proposta elaborada por Zuquette *et al.* (1997) é baseado em um zoneamento analítico, onde os documentos são elaborados e analisados individualmente. Para este estudo foram elaborados dois zoneamentos baseado na dinâmica de água no solo, um de áreas potenciais de infiltração e outro de áreas potenciais de acumulo de água. Através dessas duas cartas foi possível ter um entendimento global da dinâmica de águas da BHRF.

Entende-se que a dinâmica da água no solo como um processo contínuo que controla a recarga dos aquíferos, o movimento dos elementos químicos, processos erosivos, de inundação, de formação e evolução dos solos, na disponibilidade hídrica e de nutrientes para as plantas (Maciel Netto *et al.*, 2000). Dentre os aspectos importantes da dinâmica de água cita-se a infiltração e o escoamento. Ambos estão diretamente ligados as características dos materiais inconsolidados, os quais são descritos principalmente pela taxa de infiltração e a condutividade hidráulica. Libardi (2005) de maneira simplificada descreve o processo de infiltração mencionando quando o solo está inicialmente seco, a taxa de infiltração é maior, entretanto tende a decrescer com o tempo até atingir capacidade de infiltração. Kirkby (1978) ressalta que se um determinado evento de chuva apresenta maior intensidade que a capacidade de infiltração, ocorrerá além da infiltração o escoamento superficial, ou seja água potencial disponível para provocar os processos erosivos e de inundação.

Os fatores que controlam estes dois processos de acordo com Rawls *et al* (1996) são classificados em quatro categorias: características físicas do solo (textura, massa específica, teor de matéria orgânica, porosidade e tipo de argilas); a umidade inicial; a capacidade de retenção; e a condutividade hidráulica. Além dos fatores já mencionados cita-se o fator antrópico que interfere diretamente nas condições da superfície, através dos diversos tipos de uso do solo. Desse modo, alterando propriedade como a condutividade hidráulica, a porosidade, a massa específica, etc.

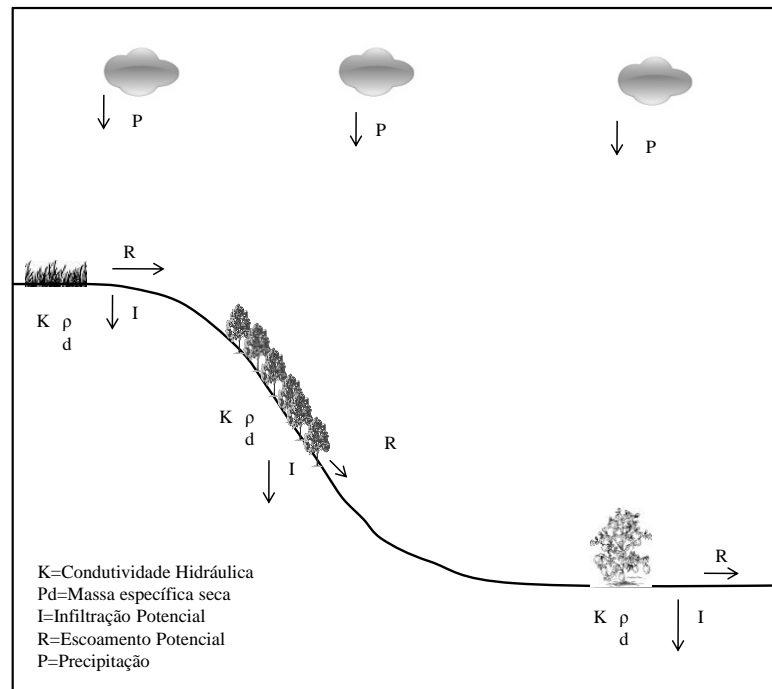
Desse modo baseado nos aspectos de infiltração e escoamento, o método de elaboração das cartas propostas partiram do entendimento de modelos conceituais hidrogeomorfológicos e cenários de chuva os quais apresentam características que favoreciam o processo de infiltração e acumulação da água no solo. O cenário de chuva adotado foi baseado em uma intensidade a qual é maior que a condutividade hidráulica de todos os materiais inconsolidados. Esta escolha calcou-se na premissa que todos os materiais têm a

capacidade de gerar escoamento superficial, logo sendo capazes de apresentar potencial de infiltração assim como de ter água disponível para o acúmulo.

### 8.1.1. Carta de Potencial de Infiltração

O modelo conceitual da Carta de Potencial de Infiltração (Figura 87) considerou três atributos os quais foram a condutividade hidráulica dos materiais inconsolidados, a declividade do terreno e o uso do solo. A condutividade hidráulica representou a capacidade de infiltração dos materiais inconsolidados, ou seja, a taxa máxima que um solo é capaz de absorver água. O uso do solo refletiu a condição da camada superficial do solo no que diz respeito a compactação. Isto é, usos que tendem a compactar o solo apresentam maior probabilidade de gerar escoamento superficial devido a diminuição da porosidade do material e aumento da massa específica de campo. Para declividade entende-se que regiões com inclinações pequenas são áreas que tendem a acumular água oriunda do escoamento, funcionando como uma fonte adicional de água para infiltração.

**Figura 87-** Modelo conceitual da Carta de Potencial de Infiltração



**Fonte:** Autor

Após a análise dos atributos mencionados, estes foram reclassificados e ponderados de acordo com seu potencial de infiltração e influencia no processo, como podem ser observados na Tabela 25.

**Tabela 25-**Reclassificação e ponderação dos atributos utilizados para a elaboração do zoneamento de áreas Potenciais de Infiltração.

Componente	Atributo	Classes	Peso	Potencial de infiltração	Importância do atributo (%)
Relevo	Declividade (%)	<2	4	Alto	44
		2-5	3	Moderado	
		5-10	2	Baixo	
		>10	1	Muito Baixo	
Material Inconsolidado	Condutividade Hidráulica (cm/s)	$>10^{-2}$	4	Alto	28
		$10^{-3}$	3	Moderado	
		$10^{-4}$	2	Baixo	
		$10^{-4}$ (saturado)	1	Muito Baixo	
Feições do tecnógeno	Uso do solo	Outras culturas:	3	Moderada	28
		Laranja	3	Baixa	
		Cana de Açúcar	1	Baixa	
		Reflorestamento	3	Muito Baixa	
		Mata	4	Muito Baixa	
		Cerrado	4	Muito Baixa	
		Pastagem	2	Alta	
		Área Construída	1	Muito Baixa	
		Mineração	1	Muito Baixa	
		Solo exposto	2	Alta	
Várzea	2	Alta			

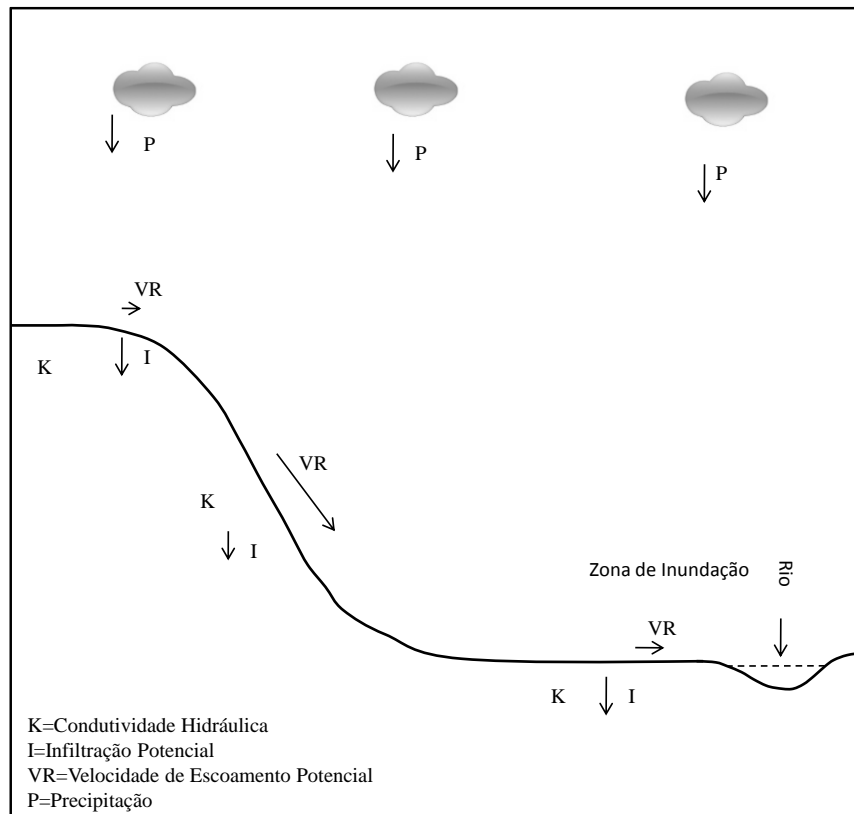
Fonte: Autor

### 8.1.1. Carta de Potencial de acúmulo de água

O modelo conceitual da Carta de Acumulação de Água (Figura 88) baseou-se na identificação as possíveis áreas suscetíveis a processos de transbordamento dos rios e acúmulo de água. Estas áreas estão associadas às seguintes características: proximidade da hidrografia, áreas planas e solos com baixa condutividade hidráulica. A proximidade das drenagens são áreas que naturalmente apresentam um potencial de inundação. Áreas com declividades baixas tendem a apresentar um comportamento favorável a acumular água, sendo que estas geralmente estão nos fundos de vale, podendo ocorrer ainda nos topos de morro quando aplainados. Todavia para que estas áreas planas possam acumular água é necessário que o material inconsolidado apresente uma baixa capacidade de infiltração, que neste caso é

representado pela condutividade hidráulica. Em síntese, quando o material inconsolidado tem uma capacidade de infiltração baixa quando comparado a intensidade da chuva, a partir de um determinado momento haverá água disponível para o acúmulo. Onde a partir deste momento a declividade neste modelo conceitual, irá determinar a velocidade dessa água que se direciona para as drenagens.

**Figura 88-** Modelo conceitual da Carta de Potencial de Infiltração



A obtenção desta carta foi através de procedimentos de síntese, reclassificações e ponderações das variáveis envolvidas no processo. Desse modo a análise dos atributos pode ser observada na Tabela 26. No final obtiveram-se 4 categorias: Alto, Moderado, Baixo e Muito Baixo.

**Tabela 26** -Reclassificação e ponderação dos atributos utilizados para a elaboração do zoneamento de áreas de acúmulo de água.

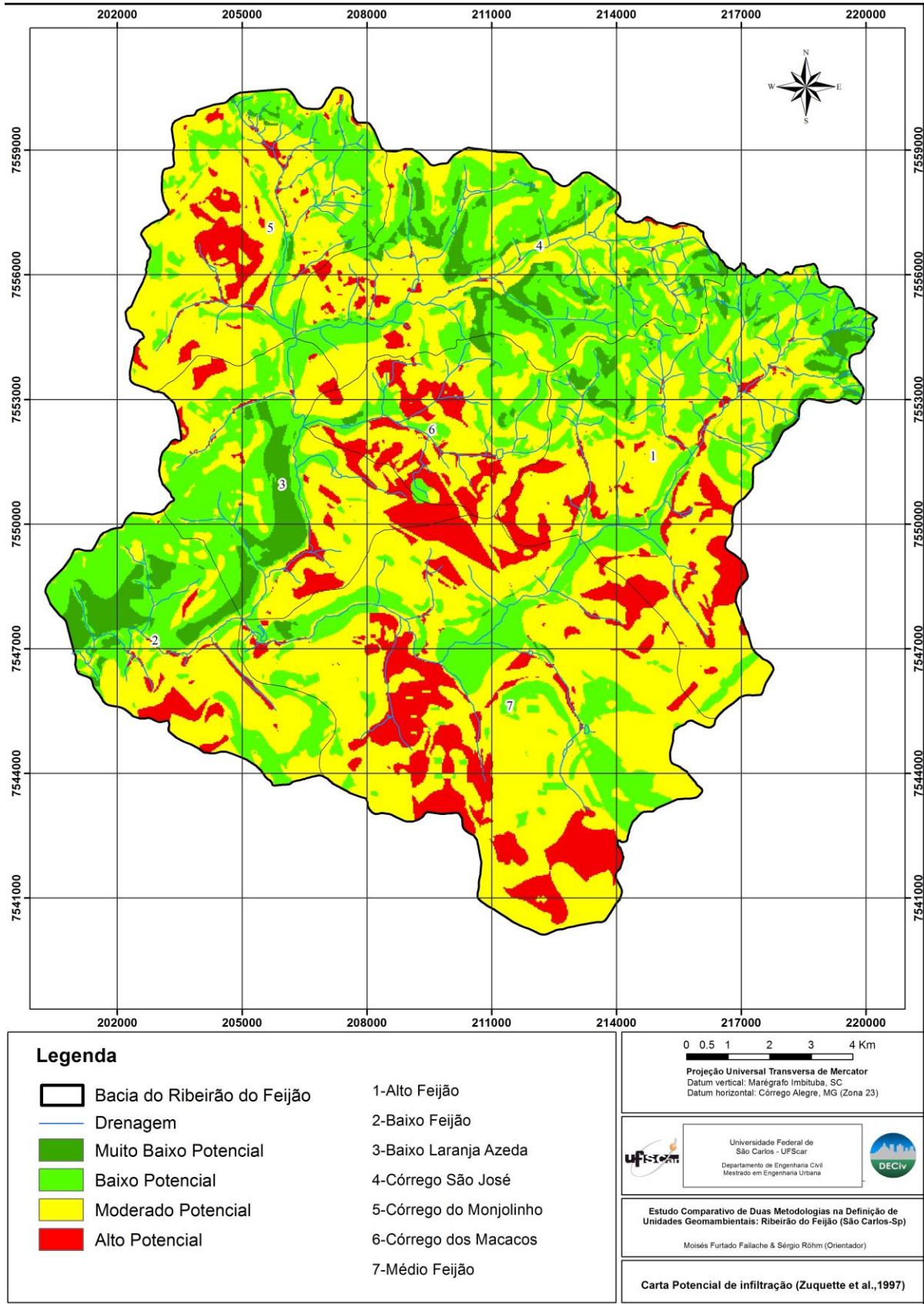
Componente	Atributo	Classes	Peso	Potencial de infiltração	Importância do atributo (%)
Relevo	Declividade (%)	0-1	4	Alto	40
		1-2	3	Moderado	
		2-8	2	Baixo	
		>8	1	Muito Baixo	
Material Inconsolidado	Condutividade Hidráulica (cm/s)	$>10^{-2}$	1	Muito Baixo	40
		$10^{-3}$	2	Baixo	
		$10^{-4}$	3	Moderado	
		$10^{-4}$ (saturado)	4	Alto	
Águas superficiais	Proximidade das drenagens (m)	0-50	4	Alto	20
		50-100	3	Moderado	
		100-200	2	Baixo	
		-	1	Muito Baixo	

Fonte: Autor

### 8.1.3. Resultados do zoneamento analítico

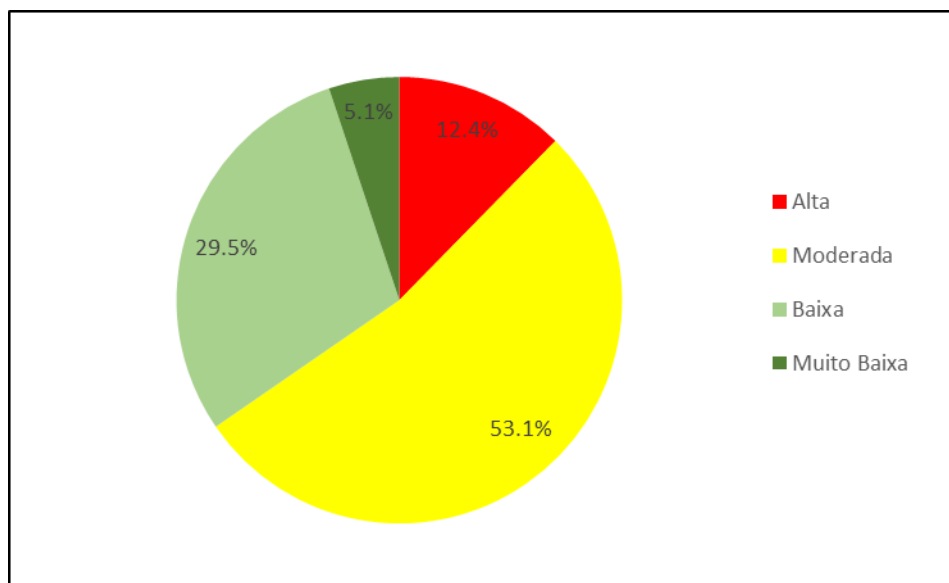
O resultado obtido para a proposta de Zuquette (1993); Zuquette et al. (1997) foi a elaboração de dois zoneamentos geoambientais os quais se correlacionam e buscaram retratar a dinâmica de águas da BHRF. O primeiro que foi o potencial de Infiltração (Figura 89), onde obteve-se 4 classes, sendo que na Figura 90 é demonstrada sua distribuição. Nota-se que aproximadamente 34,6 % da área está nas classes Muito Baixo a Baixo. Estas áreas estão localizadas principalmente nas subbacias Baixo Laranja Azeda, Alto Feijão e nas regiões mais altas do Córrego São José. Ambas as classes são caracterizadas assim devido apresentarem baixas condutividades hidráulicas, declividades elevadas assim como usos que proporcionam a compactação e a diminuição da capacidade de infiltração como a cana de açúcar e a pastagem. Entretanto, observou-se algumas manchas com a Classe Baixa que estão sobre materiais com alta permeabilidade (Residuais do Botucatu e Arenoso I) ocorreram principalmente por estarem associadas a pastagem e zonas de alta de declividade.

Figura 89- Carta de Potencial de Infiltração da BHRF.



Fonte: Autor



**Figura 90**– Distribuição das unidades geoambientais das áreas potenciais a infiltração

Fonte: Autor

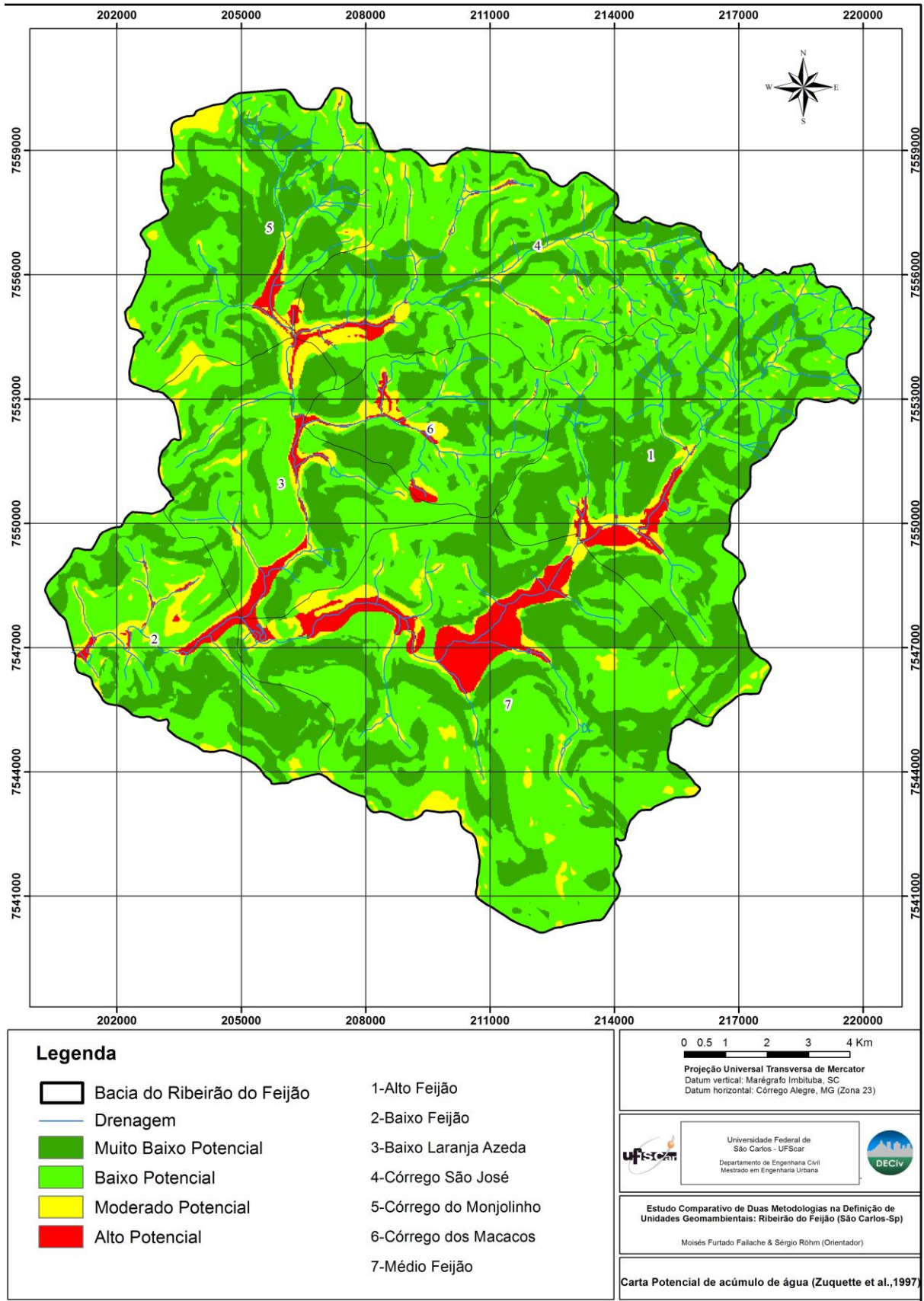
Quando se fala de potencialidade e restrições estas duas classes são menos restritivas quando comparadas as classes Moderada e Alta. Todavia é necessário tomar alguns cuidados. Por exemplo, as manchas as quais estão sobre os residuais da Formação Botucatu, atualmente, apresentam usos antrópicos. Isto é, favorecendo a diminuição da capacidade de infiltração, conseqüentemente reduzindo áreas potenciais de recarga e aumentando o volume de escoamento superficial. Sendo que este volume de água estará disponível para ser escoado podendo provocar erosão e inundação nas porções inferiores do terreno. Para a classe de Muito Baixo potencial de Infiltração são recomendados usos antrópicos como os diversos tipos de cultura, desde que ocorra o manejo adequado do solo e não estejam nas áreas protegida por lei.

A classe Moderada ocupou mais da metade da BHRF totalizando aproximadamente 53,1 %. Enquanto que a Classe Alta somou 12,4%. Essas classes se localizaram principalmente nas regiões onde apresentavam feições de relevo do tipo colinas aplainadas as quais tem características bem particulares de declividade, de amplitude de relevo, de condições hidrológicas e de materiais inconsolidados (materiais extremamente porosos) que favorecem o processo de infiltração. Acrescenta-se ainda sob essa condição aquelas regiões com vegetação nativa são as que apresentam o maior potencial de infiltração. Essas duas classes são as mais sensíveis frente as pressões antrópicas. Elas representam as principais áreas de recarga e contaminação dos aquíferos em virtude do alto potencial de infiltração. Principalmente devido aos altos valores de condutividade hidráulica, ou seja a

facilidade que água tem de percolar através do solo. Portanto as regiões pertencentes a estas classes devem ser alvo de conservação e proteção devendo evitar usos agrícolas.

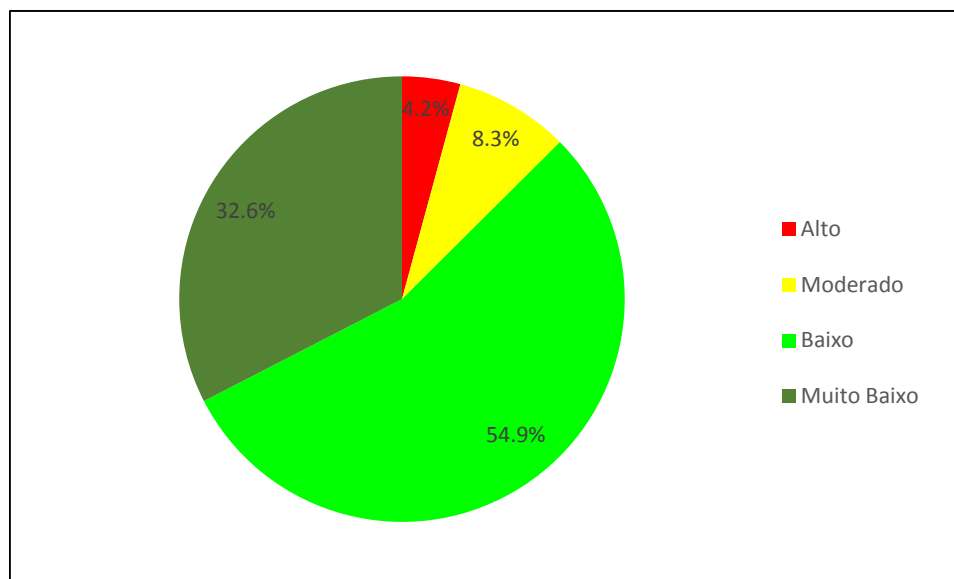
O segundo zoneamento geoambiental proposto foi o de Potencial de Acúmulo de Água (Figura 91). Foram obtidas 4 unidades geoambientais onde na Figura 92 pode ser observada a distribuição de suas classes. Verificou-se que mais de 87,5% da área apresentam de Muito Baixo a Baixo potencial de acúmulo de água. Embora a área de estudo apresente zonas com declividades baixas as quais se esperaria que houvesse um potencial maior de acúmulo, a presença de materiais inconsolidados com uma condutividade hidráulica muito elevada favorece o processo de infiltração. Além disso, zonas como as escarpas se enquadraram na mesma classe pois mesmo apresentando materiais com baixas condutividades hidráulicas, estas apresentam grandes inclinações, favorecendo o aumento da velocidade do escoamento superficial.

Figura 91- Carta Potencial de Acúmulo de Água da BHRF.



Fonte: Autor

**Figura 92**–Distribuição das unidades geoambientais das áreas potenciais de acúmulo de água



**Fonte:** Autor

As classes de Alto a moderado potencial estão localizadas principalmente nas sub bacias 3 e 7 e totalizaram somente 12,5%, entretanto essas são de grande importância se associadas com áreas de alto potencial de infiltração, tornando-se áreas potenciais de recarga do Aquífero Guarani. A ocorrência dessa classe foi principalmente nos fundos de vale do Ribeirão do Feijão e do Laranja Azeda, assim como alguns topos de morro que apresentavam declividade inferior a 1%. Ressalta-se que por normalmente estarem nas porções mais baixas do terreno apresentam um alto potencial de inundação, pois esses dois rios drenam praticamente toda a BHRF, conseqüentemente recebendo todo o volume de água advindo de montante.

Quando se analisa as potencialidades e restrições a partir da Carta de Potencial de Acúmulo, as áreas que apresentam as maiores restrições ambientais são as de Classe Alta e Moderada. Estas são suscetíveis aos processos de inundação assim como fontes de água potenciais para infiltração e recarga dos aquíferos. É indicado que estas zonas não devam ser ocupadas por usos agrícolas, apenas vegetação natural. O remanescente das classes indica-se usos variados, todavia devendo-se analisar o mapa potencial de infiltração para ocupar áreas potenciais de recarga.

Quando se correlacionou espacialmente as duas cartas foi possível ter um entendimento global das fragilidades e potencialidade da BHRF. Na Tabela 27 é mostrado os valores em % das combinações obtidas. As combinações mais vulneráveis e indicadas para conservação corresponderam as todas as combinações da classe Alto e as de Moderado

Potencial de Infiltração associado com as classes de alto e Moderado Potencial de acúmulo. Estas zonas totalizaram aproximadamente 16,8% da área de estudo e estão indicadas na pela cor vermelha. Ressalta-se que estas zonas corresponderam as principais áreas potenciais de recarga, devendo evitar usos agrícolas por conta do uso de agrotóxicos e adubos no solo.

**Tabela 27-** Correlação das classes dos zoneamentos analíticos obtidos a partir da metodologia de Zuquette (1993); Zuquette *et al.* (1997)

		<b>Potencial de acúmulo de água</b>			
		<b>Alto (%)</b>	<b>Moderado (%)</b>	<b>Baixo (%)</b>	<b>Muito Baixo (%)</b>
<b>Potencial de Infiltração</b>	<b>Classe/Classe</b>				
	<b>Alto (%)</b>	0.0	1.3	9.1	2.0
	<b>Moderado (%)</b>	1.2	3.2	24.2	24.4
	<b>Baixo (%)</b>	3.0	3.5	16.8	6.2
<b>Muito Baixo (%)</b>	0.0	0.3	4.8	0.0	

**Fonte:** Autor

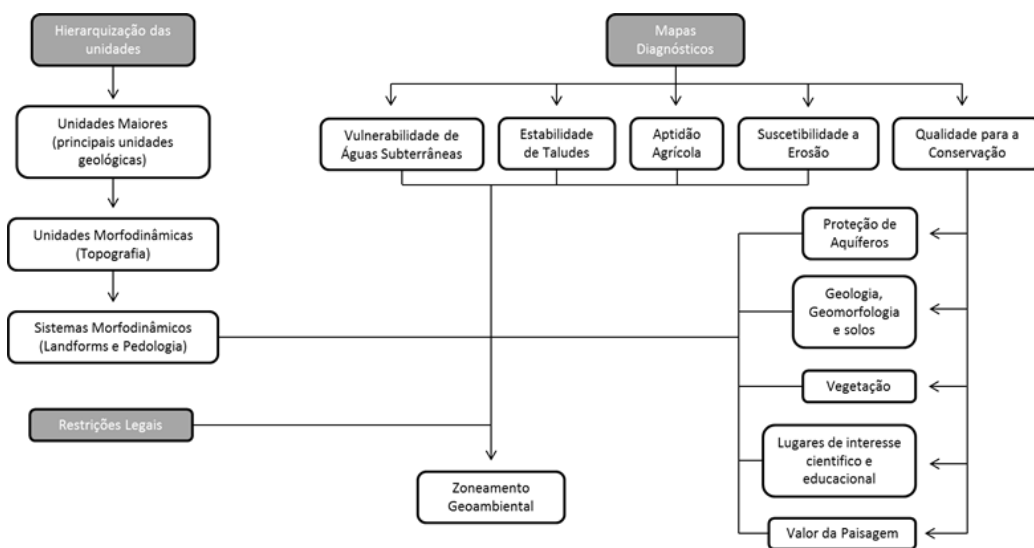
As zonas geoambientais que apresentaram uma moderada vulnerabilidade totalizaram 55,1%. Estas regiões estão indicadas na cor amarela na Tabela 27. Normalmente associam-se aos residuais da Formação Botucatu e dos retrabalhados Arenosos I, mas normalmente apresentam declividades mais acentuadas que a unidade anterior. Porém essas são regiões que deve-se ter um controle bastante rigoroso do manejo do solo de modo a permitir a infiltração, tomando cuidado ainda com o volume disponível para escoamento superficial.

As zonas menos vulneráveis as pressões antrópicas somaram 28,1%, sendo indicadas pelas cores verde escuro e verde claro. Nestas regiões o potencial de infiltração e recarga é baixo, todavia o escoamento superficial é maior que nas unidades anteriores, ou seja, são áreas fontes potenciais de escoamento superficial. Conseqüentemente são necessárias medidas de manejo que busquem reduzir a energia e a velocidade da água, com o objetivo de reduzir problemas com erosão e inundação. Como a BHRF é uma área de proteção ambiental estabelecida por lei, os usos indicados para estas classes são os agrícolas e silvicultural, desde que seja feito um manejo adequado da terra.

## 8.2. Carta de Zoneamento Geoambiental conforme Cendrero et al. (1990)

A carta de zoneamento geoambiental a partir metodologia proposta por Cendrero *et al.* (1990) é calcada em uma abordagem sintética, onde ocorre primeiramente a compartimentação em unidades homogêneas, as quais são avaliadas quanto a homogeneidade das características do meio físico, para em seguidas se obter a carta de zoneamento. Na Figura 90 pode se observar o fluxograma da obtenção da carta de zoneamento segundo este autor.

**Figura 93** – Fluxograma da elaboração do zoneamento geoambiental conforme (Cendrero *et al.* 1990).



**Fonte:** Autor

Ressalta-se que foram feitas modificações nesta metodologia em virtude da ausência de algumas informações que eram propostas pelo autor como: ausência de determinados tipos de processos geológicos (áreas cásticas e costeiras), fauna, erodibilidade e cotas de inundação. Salienta-se ainda que a elaboração e procedimento de determinados mapas foram modificados (estabilidade de talude, susceptibilidade a erosão, aptidão agrícola).

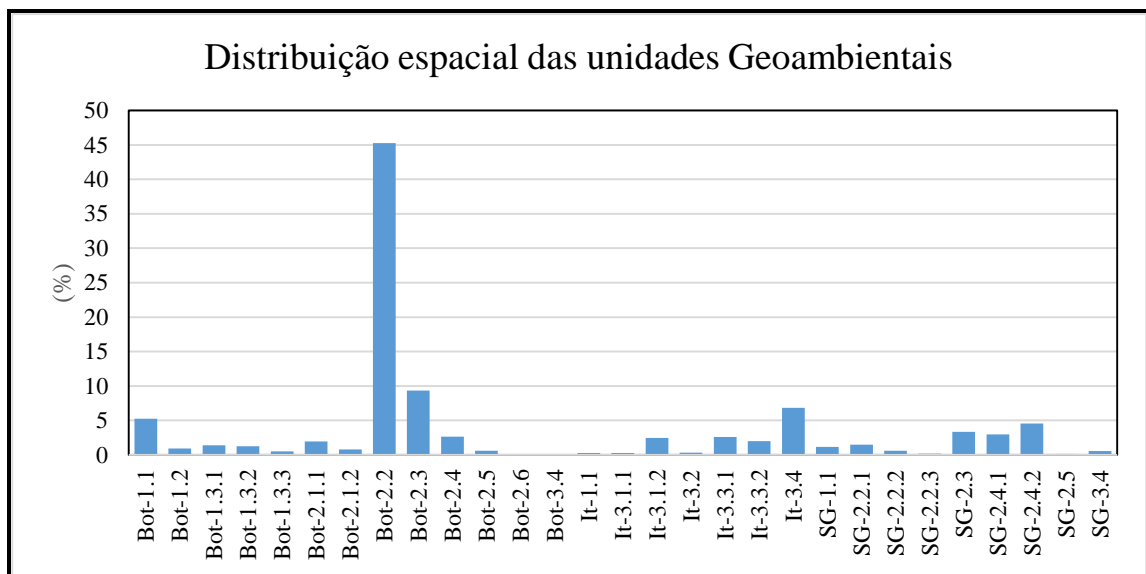
Após a obtenção das unidades geoambientais, o autor faz algumas recomendações para definir as classes de limitações potencialidades:

- 1) Conservação é recomendado para as unidades com classe 5 no mapa de qualidade para a conservação;
- 2) Agricultura é recomendada para unidades com alta aptidão agrícola;
- 3) Reflorestamento é aconselhado para unidades com o máximo grau de erosão;

- 4) Áreas com prioridade de mineração são indicadas para locais que apresentam baixo potencial de impacto ambiental e boa acessibilidade;
- 5) Para o resto da área, agricultura ou conservação respectivamente, devem está inserido nas unidades com classe moderada nos mapas de aptidão agrícola e qualidade para a conservação.

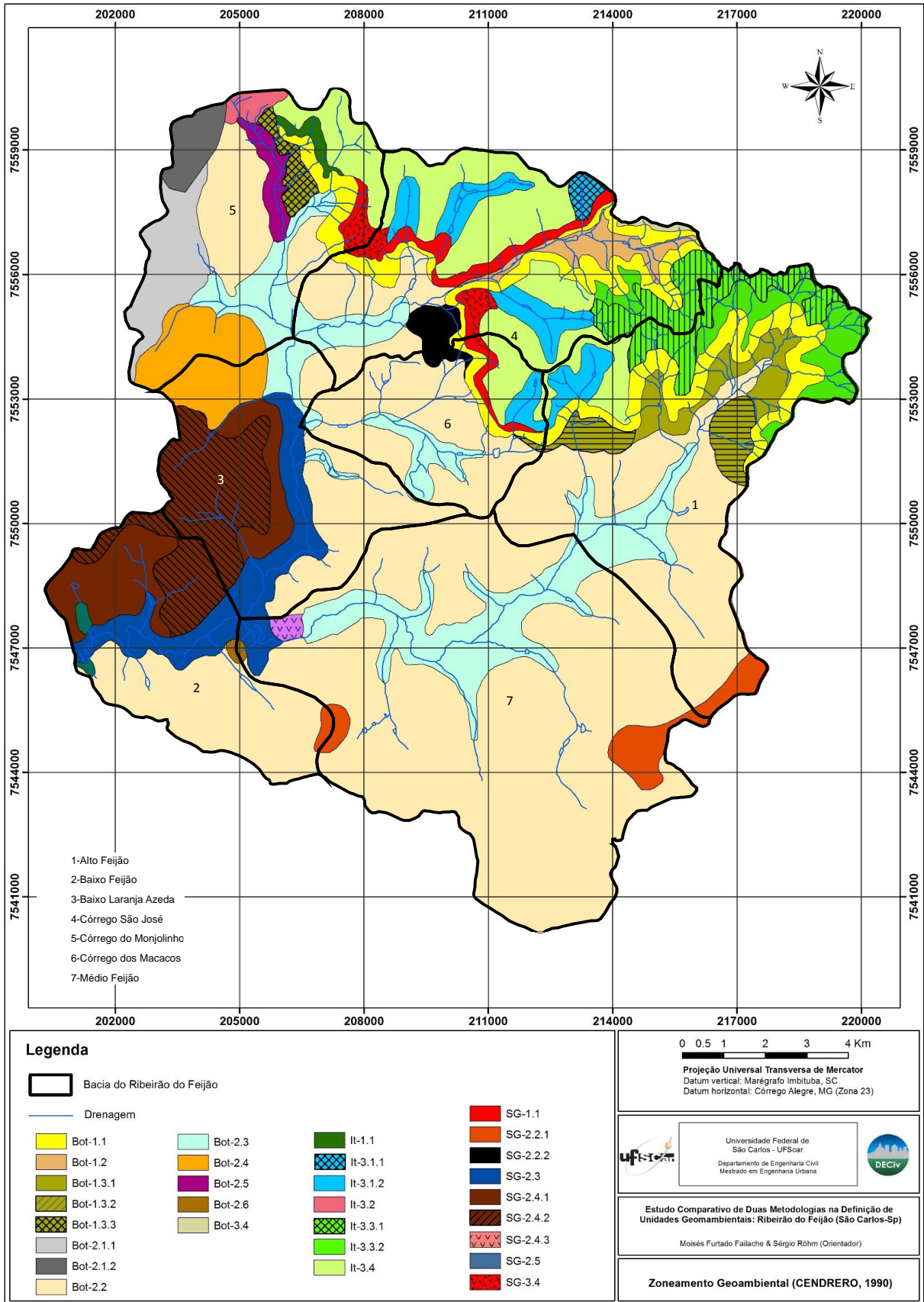
Assim, no zoneamento geoambiental elaborado baseado na proposta deste autor foram obtidas 29 unidades (Figura 94), onde na Figura 95 é possível observar a sua distribuição espacial. Na Tabela estão contidas as características básicas, associadas com suas restrições e potencialidades. De maneira geral a área de estudo apresentou mais restrições do que potencialidades. Verificou-se que mais de 15 unidades apresentam 2 tipos de limitações sejam elas de suscetibilidade a erosão, vulnerabilidade aquífero ou baixo potencial de agricultura. Apenas 6 unidades apresentaram possibilidade de usos antropogênico de forma moderada a intensiva, sendo que a que apresentou a menor limitação foi a SG-2.4.1. A última apresentou um potencial agrícola de alto a moderado, não tinha problemas evidentes de erosão, estabilidade de talude ou vulnerabilidade de aquífero, assim como não apresentavam um alto potencial para conservação.

**Figura 94-** Distribuição espacial das unidades geoambientais propostas por Cendrero (1990)



Fonte: Autor

Figura 95-Zoneamento Geoambiental da BHRF seundo a proposta de Cendrero *et al* (1990)





**Tabela 28-** Unidades Geoambientais obtidas da BHRF segundo a metodologia de Cendrero (1990)

Unidade	S.R	Morfo	Text	US	Área (km <sup>2</sup> )	Ero	Agri	Tal	Aqui	Csv	Indicações
Bot-1.1	Bot	E	Ar	M/P	12.74	Mod/A	Rst	Mod/A	Mod	MA	Conservação; recuperação das áreas de mineração já finalizadas; extração mineral apenas nas áreas já consolidadas; Reflorestamento
Bot-1.2	Bot	Vaf	Ar	P	2.29	Mod	Se	A	Mod	MB/B	Agricultura restrita; recuperação das matas ciliares; conservação dos fragmentos florestais presentes
Bot-1.3.1	Bot	Cpo	Ar	P/M	3.35	Mod/A	Se/Rst	A	Mod	MB/B	Reflorestamento; Conservação
Bot-1.3.2	Bot	Cpo	AAArg	P/M	3.06	Mod	Mod / Se	A	Mod	B	Agricultura restrita
Bot-1.3.3	Bot	Cpo	Gsr	P/M	1.23	Mod	Rst/Se	A	Mod	MB/Mod	Reflorestamento; Conservação
Bot-2.1.1	Bot	Caoa	Ar	Rfs	4.78	B/Mod	Mod/Se	A	Mod	MB/B	Área de expansão urbana
Bot-2.1.2	Bot	Caoa	Ar	SE/ Rfs	1.97	Mod/B	Se/Mod	A	Mod	MB/B	Zona Industrial na porção próximo as rodovias de Descalvado-Ribeirão Bonito e estrada da Represa do Broa; Reflorestamento
Bot-2.2	Bot	Caa	Ar	La/Rfs	109.82	Mod/B	Se/Mod	A	Mod/A	B/MB	Agricultura Restrita; Conservação
Bot-2.3	Bot	Vpapp	Ar	V/M	22.65	Mod/B	Se/Rst	A	A	MB/B	Conservação e recuperação
Bot-2.4	Bot	Camso	Ar	M/Rfs	6.41	Mod/B	Se/Mod	A	Mod	Mod/B	Agricultura Moderada; Reflorestamento
Bot-2.5	Bot	Vfp	Ar	M	1.42	Mod/B	Mod/Se	A	Mod	Mod/A	Conservação
Bot-2.6	Bot	Mpi	Ar	CA	0.22	Mod	Se	A	Mod	B	Conservação; Reflorestamento
Bot-3.4	Bot	Csoa	Ar	M	0.27	B/Mod	Mod/Rst	A	A	A	Conservação
It-1.1	It	E	AAArg	P/SE	0.62	Mod/B	Rst	A/Mod	Mod	B/MB	Conservação; Recuperação
It-3.1.1	It	Vpefpp	AAArg	P/OC	0.66	Mod/B	Se	A	Mod	MB/B	Conservação
It-3.1.2	It	Vpefpp	AAArg	P	6	Mod/B	Se/Fvr	A	Mod	MB/B	Conservação
It-3.2	It	Cmo	AAArg	AC/P	0.82	B/Mod	Se/Mod	A	Mod	B	Conservação das nascentes
It-3.3.1	It	Cpoa	Plintita	P/CA	6.36	Mod/B	Mod	A	Mod	MB/B	Agricultura Moderada
It-3.3.2	It	Cpoa	AAArg	CA/P	4.84	Mod/B	Se/Rst	A/Mod	Mod	B/MB	Agricultura Restrita

## Continuação

Unidade	S.R	Morfo	Text	US	Área	Ero	Agri	Tal	Aqui	Csv	Indicações
It-3.4	It	Csoa	AArg	P/CA	16.62	B/Mod	Se/Mod	A	Mod	MB/B	Agricultura Moderada
SG-1.1	SG	E	Arg	M	2.83	Mod/B	Rst	Mod/B	Mod	A/MB	Conservação; recuperação das áreas de mineração já finalizadas; extração mineral apenas nas áreas já consolidadas; Reflorestamento
SG-2.2.1	SG	Cap	AArg	CA/La	3.64	Mod/B	Fvr	A	Mod	B	Agricultura Moderada
SG-2.2.2	SG	Cap	AArg	P	1.43	B/Mod	Mod	A	Mod	MB/MB	Conservação; Área do Antigo Lixão
SG-2.2.3	SG	Cap	Arg	P/CA	0.43	Mod	Fvr	A/Mod	Mod	MB/B	Agricultura Moderada
SG-2.3	SG	Vpapp	Arg	CA/M	8.12	B/Mod	Fvr/Mod	A/Mod	Mod/A	MB/B	Conservação; Agricultura Restrita
SG-2.4.1	SG	Camso	Arg	CA	7.25	B	Fvr/Mod	A	Mod	MB/B	Agricultura Intensiva
SG-2.4.2	SG	Camso	AArg	CA/M	11.08	B	Mod/Se	A	Mod	B/MB	Agricultura Moderada
SG-2.5	SG	Vfp	Arg	M/CA	0.32	B	Rst/Mod	Mod/A	B/Mod	B/A	Conservação/Recuperação
SG-3.4	SG	Csoa	Arg	P	1.38	Mod/B	Fvr/Rst	A/Mod	Mod	MB/B	Agricultura Moderada

**LEGENDA**

<b>SR</b> = Substrato Rochoso	<b>Ar</b> = Arenosoa	<b>V</b> = Várzea	<b>Caa</b> = Colinas Amplas Aplainadas
<b>Morfo</b> = Morfologia	<b>ArArg</b> = Areno Argilosa	<b>MA</b> = Muito Alto (a)	<b>Camso</b> = Colinas alongadas, média suave onduladas
<b>US</b> = Uso do Solo	<b>Arg</b> = Argilosa	<b>A</b> = Alto (a)	<b>Caoa</b> = Colinas amplas suave onduladas a aplainadas
<b>Ero</b> = Suscetibilidade a Erosão	<b>M</b> = Mata	<b>Mod</b> = Moderado (a)	<b>Cap</b> = Colinas Amplas Aplainadas
<b>Agri</b> = Aptidão Agrícola	<b>P</b> = Pastagem	<b>B</b> = Baixo (a)	<b>Cmo</b> = Colinas médias onduladas
<b>Tal</b> = Estabilidade de Talude	<b>Rfs</b> = Reflorestamento	<b>MB</b> = Muito Baixo (a)	<b>Cpo</b> = Colinas pequenas onduladas
<b>Aqui</b> = Vulnerabilidade de Aquífero	<b>SE</b> = Solo Exposto	<b>Fvr</b> = Favorável	<b>Cpoa</b> = Colinas pequenas onduladas com topo tendendo à anguloso
<b>Csv</b> = Qualidade de Conservação	<b>CA</b> = Cana de Açúcar	<b>Rst</b> = Restritivo	<b>Csoa</b> = Colinas suave onduladas a aplainadas
<b>Bot</b> = Formação Botucatu	<b>La</b> = Laranja	<b>Se</b> = Severo	<b>Mpi</b> = Morrotes pequenos Isolados
<b>It</b> = Formação Itaqueri	<b>AC</b> = Área Construída	<b>E</b> = Escarpas	<b>Vpapp</b> = Vales pequenos, abertos, pouco profundos
<b>SG</b> = Formação Serra Geral	<b>OC</b> = Outras Culturas	<b>Vaf</b> = Vales abertos e fechados	<b>Vpfp</b> = Vales pequenos estreitos, fechados, relativamente profundos
			<b>Vfp</b> = Vales Fechados e profundos

Fonte: Autor

No que diz respeito as recomendações mais de 50% da área foi considerada restritiva a usos antrópicos intensivos, onde é indicado agricultura restrita, ou seja, é necessário realizar um manejo adequado do solo, assim como apenas culturas pouco exigentes são permitidas. Estas unidades estão localizadas principalmente nas subbacias 5,6 e 7. As unidades que apresentaram maior limitação somaram 15 % da área, estão localizadas principalmente na subbacia bacia 1. As principais recomendações para estas unidades são a conservação ou a recuperação daquelas que já encontram-se degradadas. As unidades que não tinham restrições significativas totalizaram 20% da área de estudo, encontram-se principalmente nas subbacia 2 e 3 e foi indicado agricultura moderada a intensiva. As unidades que não se enquadraram em nenhuma das anteriores estão presentes nas subbacia 1 e 4 sendo recomendados agricultura restrita e moderada.

## 9.DISSCUSSÕES E CONCLUSÕES

A elaboração de zoneamentos geoambientais independente da metodologia são de grande importância, pois são ferramentas que permitem planejar o meio físico, de modo que sirvam na prevenção e previsão de impactos ambientais. Nesse sentido, a utilização de um Sistema de Informações Geográficas apoiado pelo geoprocessamento e sensoriamento remoto foi muito útil ao longo da elaboração dos zoneamentos. Este conjunto de ferramentas serviu como um excelente banco de dados, permitindo armazenar os dados geográficos, realizar cálculos, análises e elaboração de diversos mapas desta pesquisa.

Os procedimentos e os produtos da cartografia geotécnica e geoambiental propostas tanto por Zuquette (1993); Zuquette *et al.* (1997) quanto por Cendrero *et al.* (1990) mostraram-se aplicáveis nessa pesquisa para a elaboração das cartas de zoneamento geoambiental da Bacia Hidrográfica do Feijão. Ambas as propostas metodológicas permitiram a produção e análise de um conjunto de documentos cartográficos que objetivaram representar o meio físico por meio dos seus principais atributos, tanto de forma analítica quanto de forma sintética.

Para a sua aplicação observou-se a necessidade de adaptações às condições de cunho geológico, geomorfológico, uso do solo e político de modo que estas busquem refletir o meio físico da forma mais fiel possível. Acrescenta-se a necessidade da utilização de métodos complementares na elaboração de determinadas cartas, pela falta de detalhamento das metodologias. Ressalta-se ainda que a utilização de dados preexistentes deve ser feita de forma criteriosa, em virtude das diferentes origens e métodos de elaboração. Calcado nesta análise é imprescindível que sejam feitos detalhamentos e verificações em campo, além de correções nos contatos nas unidades nos documentos cartográfico.

Além desses cuidados mencionados, outros devem ser levados em consideração independente da metodologia, durante a elaboração dos zoneamentos geoambientais. As unidades geoambientais devem apresentar homogeneidade mínima entre seus atributos, de modo que possam apresentar significado, permitindo assim identificar suas reais potencialidades e fragilidades. A escolha dos atributos para representar o meio físico tem que ser feita de forma criteriosa, para que nenhuma das características seja superestimada.

A respeito das cartas interpretativas elaboradas, é imprescindível avaliar a necessidade de cada uma destas para o zoneamento geoambiental. Por exemplo, na carta de estabilidade de talude que é requisito na proposta de Cendrero *et al.* (1990), observou-se que mais que 90% da área apresenta alta estabilidade, sendo que as áreas que apresentaram instabilidade estavam localizadas em áreas desabitadas e de difícil acesso. Isto é, não

apresentavam um alto risco seja econômico ou humano. Desse modo, não havendo a necessidade de avaliar a estabilidade de talude na BHRF.

Além disso, a escolha dos métodos utilizados para elaboração destas cartas deve buscar refletir a realidade local em vista que métodos internacionais muitas vezes consideram atributos que não estão presentes na região ou que não explicam a dinâmica dos diversos processos geológicos da maneira mais adequada. Nesse sentido, a opção nessa dissertação por métodos nacionais para representar tanto a aptidão agrícola quanto a suscetibilidade de erosão em vez dos internacionais foi bastante satisfatória. Pois quando se comparou os usos atuais do solo e as evidências erosivas verificou-se coerência nas zonas obtidas em cada uma das cartas. Isto é, as evidências erosivas identificadas estavam sobre as classes de moderada a alta suscetibilidade, assim como os usos atuais do solo refletiram na aptidão agrícola, onde as culturas menos exigentes estavam sobre as áreas com características mais severas.

Entretanto as cartas como a vulnerabilidade de aquífero de estabilidade de taludes que utilizaram uma adaptação do método do Cendrero (1990), observou-se que os resultados foram superestimados. Esse fato foi identificado para estabilidade de talude na região sobre materiais geológicos da Formação Geral a leste da bacia, onde o resultado apontou uma moderada estabilidade, entretanto não foram identificadas em campo nenhuma evidência de escorregamento nesta área.

Apesar da carta de qualidade de conservação elaborada ter utilizado um método internacional, obteve-se resultados que refletiram as condições encontradas em campo, exceto para as condições de vulnerabilidade de aquífero, onde verificou-se baixa qualidade para conservação. As regiões que apresentaram alta qualidade a conservação foram exatamente as áreas mais conservadas da bacia que são as áreas de APP, ou seja, próximo ao Ribeirão do Feijão ao sul e as escarpas a nordeste.

No que tange as diferenças no resultado das metodologias, o zoneamento geoambiental proposto por Cendrero *et al.* (1990) mostrou-se menos restritivo frente as diversas solicitações ao meio. Fato este, que pode ser observado quando comparadas a distribuição das áreas restritas das unidades geoambientais. Por exemplo, no zoneamento sintético as áreas restritivas totalizaram 15% da área total. Estas equivaleram aquelas que apresentavam a conservação como principal indicação de uso. Enquanto que no zoneamento analítico a área correspondente para a conservação foi de 16,8%. Um fato interessante a respeito dessas zonas é a localização, pois ambas estavam na subbacia do Alto Feijão.

Para as áreas com classe moderada o zoneamento sintético que corresponderam aquelas com indicação de agricultura restrita resultou em 52,1%. Para as áreas com classe moderada do zoneamento analítico o total foi de aproximadamente 55%. Por fim, as áreas que apresentavam poucas restrições ambientais ou um manejo mais rigoroso, para a proposta espanhola foi de 34,4% comparada aos 29,9% da metodologia brasileira.

Essas diferenças ocorreram, principalmente pelos critérios adotados que são diferentes dos utilizados na metodologia brasileira. A proposta brasileira nesse caso buscou abordar apenas problemas relacionados a relação infiltração-escoamento. Visto que a área já apresenta uma tendência natural como área de recarga potencial, logo esperava-se um zoneamento mais restritivo. A metodologia espanhola é um zoneamento mais geral a qual permite abordar vários processos geológicos. Nesse sentido, verificou-se que muitas áreas não apresentavam em larga escala alguns processos como o de estabilidade de talude.

Ao analisar as diferenças de contorno das unidades geoambientais verificou-se diferenças e semelhanças. Ambas delimitam de maneira semelhante, as formas de relevo no que diz respeito aos sistemas maiores como as escarpas e planícies. Entretanto ao analisar especificidades, não foi possível verificar similaridade em todas as unidades, como se observa a noroeste da bacia, onde está localizada a área mais urbanizada. As diferenças de limite são explicadas pois a metodologia espanhola agrupa algumas unidades menos representativas espacialmente em uma unidade maior, desse modo, não sendo possível observar as variações espaciais.

Salienta-se que ao avaliar a diferença entre ambas as metodologias, é necessário pensar sobre a finalidade de cada zoneamento. Ao se compreender a proposta de cada metodologia, observou-se que as unidades geoambientais refletiram espacialmente e geoambientalmente de formas diferentes. Entretanto isto não quer dizer que estes se excluam, ou seja, estes documentos permitem um entendimento global do meio físico da área de estudo. O proposto pela metodologia espanhola possibilitou entender cada unidade geoambiental da BHRF de forma geral, visualizando assim uma série de processos e suas referidas aptidões e fragilidades. Enquanto que o proposto pela metodologia brasileira por ser específico representou apenas as fragilidades e potencialidade do meio, referentes a dinâmica de águas.

Quando se compara os zoneamentos elaboradas no presente estudo com outros já executados verificou-se que somente foi possível fazer com a proposta de Cendrero *et al.* (1990), visto que não foi encontrado na literatura nem um zoneamento de potencial de infiltração e nem de acúmulo d'água. O zoneamento proposto por Grecchi (1998) por exemplo, considerou unidades e processos semelhantes a de Cendrero *et al.* (1990). As

unidades geoambientais adotadas por esta autora foram os landforms, uma subdivisão a menos que a espanhola que se chegou até a nível de unidades pedológicas. Os processos avaliados foram a aptidão agrícola, vulnerabilidade de aquífero e a aptidão agrícola, desse modo o zoneamento não utilizou nem a qualidade para conservação e a estabilidade de talude. Na Tabela 29 é apresentando uma síntese do zoneamento proposto por Grecchi (1998) na BHRF.

**Tabela 29-** Aplicação do zoneamento proposto por Grecchi (1998)

S	U	SR	MI	Mfg	Dcv	Ar (km <sup>2</sup> )	Ero	Agri	Aqui
1	1.1	Bot/SG	Bot/SG	Escarpas abrupta	>20	15.8	M	R	M/A
	1.2	Bot	Ar IV	Vales fechados e abertos	0-15	2.2	M	M	M
	1.3	Bot/SG	Bot/SG/Ar IV	Colinas pequenas onduladas	8-15	7	M	M/S	M
2	2.1	Bot	Bot/Ar I	Colinas média, suave e mediantemente onduladas	2-15	7	M/B	M	M
	2.2	Bot	Bot	Colinas amplas suave onduladas a aplainadas	<4	116	M	M	M/A
	2.3	Bot	Al	Vales pequenos e abertos pouco profundos	0-2	30.9	M/B	M/S	A
	2.4	SG	M/SG	Colinas médias suave onduladas alongadas	0-20	24.5	B	M	M
	2.5	SG	SG	Vales moderadamente fechados e com baixas profundidade	15-25	1.7	M/B	S	M
	2.6	Bot	Bot	Morrotes pequenos isolados	<25	0.2	M	S	A/M
3	3.1	It	It/Ar III	Vales pequenos, estreitos e relativamente profundos	8-25	6.6	B/M	S/M	M
	3.2	It	It/Ar III	Colinas médias onduladas	4-25	0.7	B/M	M/S	M
	3.3	It	It	Colinas pequenas onduladas	8-25	11.2	M/B	M/S	M
	3.4	It	It/Ar III	Colinas suave ondulada a aplainada	0-8	18.2	B/M	M	M
<p><b>Legenda</b></p> <p><b>S</b>=Sistema  <b>U</b>=Unidade  <b>SR</b>= Substrato Rochoso  <b>MI</b>=Material Inconsolidado  <b>Mfg</b>=Morfologia  <b>Dlv</b>=Declividade  <b>Ar</b>= Área  <b>Ero</b>= Suscetibilidade a erosão  <b>Apt</b>=Aptidão Agrícola  <b>Aqui</b>= Vulnerabilidade de Aquífero</p> <p><b>Bot</b>=Botucatu  <b>It</b>=Itaqueri  <b>SG</b>=Serra Geral  <b>Ar I</b>=Arenoso I  <b>Ar III</b>=Arenoso III  <b>Ar IV</b>=Arenoso IV  <b>M</b>=Misto  <b>Al</b>=Aluvião</p> <p><b>MA</b>=Muito Alto (a)  <b>A</b>=Alto(a)  <b>M</b>=Moderado (a)  <b>B</b>=Baixo (a)  <b>MB</b>=Muito Baixo (a)  <b>S</b>=Severo  <b>R</b>=Restritivo</p>									

**Fonte:** Autor

Por considerar os landforms como as zonas geoambientais, o zoneamento proposto por Grecchi (1998) apresentou uma maior heterogeneidade dentro das suas unidades em relação ao da metodologia espanhola por conta de não subdividi-las com os diferentes tipos de solo. Consequentemente gerou resultados mais ou menos restritivos dependendo do processo avaliado. Por exemplo, nas zonas de escarpas (Unidade 1.1) observou-se que as unidades se tornaram mais restritivas em algumas porções do terreno. Essas regiões estão localizadas sobre os materiais das formações Itaqueri e Serra Geral. Outra área onde verificou-se essa alteração foi nos vales abertos que tem predominância dos materiais geológicos Formação Botucatu. Existe nessa região algumas manchas que estão sobre os materiais argilosos do Serra Geral, que apresentaram uma maior aptidão agrícola. Todavia no zoneamento simulado agora verificou-se uma condição severa de aptidão.

Quando se compara a nível de procedimentos metodológicos na elaboração de zoneamentos geoambientais para a realidade da BHRF observou-se que não foi possível de fazê-lo por vários motivos. Primeiramente a propostas dos dois zoneamentos deveriam ser iguais. Os atributos utilizados também deveriam ser semelhantes devendo refletir o modelo conceitual similar. Entretanto mesmo não sendo possível compara-los a nível de procedimentos o estudo foi de grande valia pois elaborou-se dois zoneamentos geoambientais os quais podem ser utilizados como subsídios para o planejamento da BHRF. Onde as potencialidades, vocações, restrições, fragilidades, suscetibilidades e conflitos do território podem ser observados de forma integrada. Buscando assim, conciliar o desenvolvimento econômico com a proteção ambiental na ordenação do território, através.



## **11.RECOMENDAÇÕES**

Diante da importância da aplicação de metodologias de zoneamentos geoambientais auxiliados por um sistema de informação geográfica no planejamento do território, algumas recomendações devem ser feitas para uma caracterização mais completa do ponto de vista geoambiental. Recomendam-se principalmente estudos de caráter hidrogeológicos, em vista que a Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão faz parte das áreas de recarga do Aquífero Guarani.

## 12. REFERÊNCIAS

- ALATORRE, L. C.; BEGUERÍA, S. Identification of eroded areas using remote sensing in a badlands landscape on marls in the central Spanish Pyrenees. **Catena**, Amsterdam, v. 76, n. 3, p. 182-190. 2009.
- ALI.M.H. practices of Irrigation e On-farm Water Management. V. 2. p.193-240. 2011
- ALONSO HERRERO, E. E CENDRERO, A. **Valoración Territorial de Unidades Valle para Diferentes Actividades, a partir de parámetros abióticos y bióticos, en la Montaña de Riaño** Actas del Cong. De Biología Ambiental. II Cong. Mundial Vascos (I): 235-253, Leon, 1988.
- ALONSO HERRERO, E.; FRANCÉS, E. e CENDRERO, A. **Environmental-Geological Mapping and Evaluation in Cantabrian Mountains, Spain**. In: International Congress of the IAEG, 6. Amsterdan, 1990. Proceed., BALKEMA/ROTTERDAM, V.1, p31-35, Amsterdan, 1990.
- AMORIM, R.H.; **Estudo dos atributos do meio físico como base para o zoneamento geoambiental da região de influência do reservatório da usina hidroelétrica de Caconde (SP), escala: 1:50.000, com uso de geoprocessamento**.170 p.2004. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ANA (Agência Nacional de Águas). Disponível em: <http://www.ana.gov.br>. Acessado em: 15 de março de 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMASTÉCNICAS - ABNT. (1984) NBR 6508: **Solo, determinação da massa específica aparente**. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1995) NBR 6502: **rochas e solos: análise granulométrica conjunta**. São Paulo.

- ASSUMPÇÃO, G. V.; FORMAGGIO, A. R.; ALVES, D. S. Mapa de Aptidão Agrícola das terras e uso adequado das terras: uma abordagem usando SIG e imagens de satélite. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6. Manaus. **Anais...** Manaus, v.2, p.162-166, 1990.
- ASTM D6030. **Standard Guide for Selection of Methods for Assessing Ground Water or Aquifer Sensitivity and Vulnerability**. 8p, West Conshohocken, PA, EUA, 1996.
- BANKS, W.D.; JARVIS, I.E.; MARTIN, P.J.; MEEK, J.W.; MERCIER, P.R.; STRATTON, B.C. A Regional Groundwater Management Initiative for Eastern Ontario. In: **2nd Joint IAHCGRS Groundwater Conference**. Calgary, Canada,, 2001.
- BARRELLA, W. PETRERE Jr.; SMITH M.W.S.; MONTAG, L.F.A. **As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes**. IN: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) *Matas ciliares: conservação e recuperação*. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.
- BECKER, B. K.; EGLER, C. A. G. **Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos estados da Amazônia Legal**. Rio de Janeiro/Brasília: SAE-MMA, 1996.
- BOTELHO, R., G. M.; SILVA, A. S. da. **Bacia Hidrográfica e qualidade ambiental**. IN: GUERRA, A. J. T. e V., A. C. (Org). *Reflexões sobre a geografia física no Brasil* Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 208 p. 2004.
- BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em Microbacias hidrográficas. IN: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. d.; BOTELHO, R. G. M. *Erosão e conservação dos solos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999
- BOURLON, N.; BERTHON, D. Desenvolvimento Sustentável e Gerenciamento das Bacias Hidrográficas na América Latina. **Ciência e Cultura**. p.16-22. 1993
- BRANDÃO, R. de L. **Zoneamento Geoambiental da Região de Irauçuba – CE**.Fortaleza. CPRM. Programa de gestão e administração territorial – GATE. 2003

- CÂMARA, G.; CASANOVA, M.; HEMERLY, Y. A.; MAGALHÃES, G., MEDEIROS, C. **Anatomia de sistemas de informações geográficas**. Campinas, Instituto de Computação. Universidade de Campinas. 197 p. 1996
  - CÂMARA, G.; DAVIS. C.; MONTEIRO, A.M.; D'ALGE, J.C. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos, INPE, (on-line, 2a. edição, revista e ampliada), 2001. Disponível: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>. Acessado em 05/05/2011
  - CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. **Princípios básicos em Geoprocessamento**. IN: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. Sistemas de Informações Geográficas aplicações na agricultura. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 1998.
  - CARDOSO, D. **Utilização de técnicas de sensoriamento remoto na compartimentação fisiográfica do município de Peruíbe**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.
  - CENDRERO, A. Environmental Geology of the Santander by Area. Northern Spain. **Environmental Geology**, Vol.1, pp. 97 - 114, New York, 1975.
  - CENDRERO, A. Tecnicas Y Instrumentos de Analise para la Evaluación, Planificación y Gestión de Medio Ambiente. **Fascículos sobre Medio Ambiente**. Series Opiniones, N.6, CIFCA. 67p, Madrid, 1982.
  - CENDRERO, A. Planificacion ambiental y ordenacion de usos del territorio. **Serie Engenharia Geoambiental**. Inst. Tecn. Geominero de Espana, Madrid, p. 25-33.1988.
  - CENDRERO, A. **Desarrollo y Tendencias de la Geología Ambiental** en Europa, AGID Report no 3, 1990.
- CENDRERO, A.; SANCHES, J.; ANTOLIN, C.; ARNAL, S.; DIAZ DE TERÁN, J. R.; FRANCÉS, E. MARTINEZ, V.; MOÑINO, M.; NIETO, M.; NOGALES, I.; PEREZ, E.; RIOS, C; ROBLES, F.; ROMERO, A.; SUAREZ, C. Geoscientific maps for planning in semi-aridregions: Valencia andGran Canaria, Spain. **Engineering Geology**. V.29, p.291-319,1990.

- CENDRERO, A.; FRANCIS, E.; DIAZ DE TERÁN, J.R. **Geoenvironmental unit as a basis for the assessment , regulation and management of the Earth's surface.** In: CENDRERO, A.; LÜTTIG, G.; WOLFF F. C.H. (eds.) *Planning the use of the Earth's surface.* Springer Verlag, Berlin - N. York: 199-234.1992.
  
- **CEPAGRI CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA.** Clima dos municípios paulistas. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>>. Acesso em: 16 jul. 2010.
  
- CETESB- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório de qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo 2001 – 2003. Série Relatórios. São Paulo. (2004).
  
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** 2ed. São Paulo. Ed. Edgard Blucher. 1974
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais.** São Paulo: Ed. Edgard Blucher. 1a ed. 236 p. 1999.
  
- COSTA, C.W. **Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre os mananciais do Rio do Monjolinho e do Ribeirão do Feijão da cidade de São Carlos, sp.** Dissertação de Mestrado (141p.). Universidade Federal de Itajubá. Itajubá 2010.
  
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; AZEVEDO, L. G.; HERNANDEZ F, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V. Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico econômico [CD-ROM]. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8.,** Salvador, 1996. Anais. São Paulo: Image Multimídia, 1996.
  
- CUNHA, R.C.DA. **Análise da influência das variáveis ambientais utilizando inferência Fuzzy e zoneamento das vulnerabilidades. Estudo do caso da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, São Carlos, SP.** Dissertação de Mestrado. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática –NEPA,IRN. Universidade Federal de Itajubá. 2010
  
- CUNHA, S. B; GUERRA, A J. T. **Geomorfologia e Meio Ambiente.** Beltrand Brasil. 372p.1996

- DAI, F. C.; LEE, C. F.; ZHANG, X. H. GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study. **Engineering Geology**, V. 61, N° 4, p. 257-271, 2001.
- **DAAE** (Departamento Autônomo de Água e Esgoto). Disponível em: <http://www.aplicacoes.daae.sp.gov.br/usuarios/fchweb.html>. Acessado em: 15 de abril de março de 2012
- DAVINO, A.; SINELLI, O.; SOUZA, A.; CORREIA, C.T. **Diabásios na região nordeste da Bacia do Paraná**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 32. , Salvador. Anais. Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia. p. 1736-1744.1982
- DANTAS-FERREIRA, M. ; PEJON, O. J. ; ZUQUETTE, L. V. . Zoneamento para fins ambientais: tipos, metodologias e exemplos Brasileiros. In: 5º Congresso Luso Moçambicano de Engenharia, 2008, Maputo. CLME'2008/IICEM. Porto : INEGI-Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, 2008. v. 1. p. 1-11.
- DE NARDIN, D. **Zoneamento Geoambiental no Oeste do Rio Grande do Sul: Um estudo em Bacias Hidrográficas**. 2009. 230f. Dissertação (Mestrado em Geografia)-Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- DIAS, J.; SANTOS, L. A paisagem e o geossistema como possibilidade de leitura da expressão do espaço sócio-ambiental rural. **Confins**, número 1, 2º semestre, 2007
- DIEGUES, A. C. (1989) - Desenvolvimento sustentado, gerenciamento ambiental e de recursos naturais. **Cadernos FUNDAP**, São Paulo, n.9, n.16, junho. p.33-45.
- DINIZ, N.C. **Automação da cartografia geotécnica: uma ferramenta de estudos e projetos para avaliação ambiental**. Tese de doutorado. IPUSP/USP, São Paulo, 1998.
- DURGA RAO, K. H. V; SATISH KUMAR, D. Spatial Decision Support System for Watershed Management. **Water Resources Management**. n.8: p.407–423, 2004.
- EGLER, C.A.G.; CRUZ,C.B.M.;MADSEN,P.F.H.;COSTA, S.M.; SILVA, E.A. **Proposta de zoneamento ambiental da Baía de Guanabara**. Disponível em: <http://www.laget.igeo.ufrj.br/egler/pdf/zeegb.pdf>. Acessado em: 01/03/2012

- EL MAY, M.; DLALA, M.; CHENINI, I. Urban geological mapping: Geotechnical data analysis for rational development planning. **Engineering Geology**. N. 116. p. 129-138. 2010.
- **EMBRAPA**; SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO DO EST. DE SÃO PAULO. Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo. Folhas SF 23-V-C-IV e SF 23-Y-A-I, escala 1:100.000, 1981.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Disponível em <<http://www.cnpma.EMBRAPA.br/projetos/index.php3?sec=guara>>. Acessado em 20 de janeiro de 2013
- **ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, INC. (ESRI)**. ArcGIS. Professional GIS for the desktop, versão 9.3.1 CA. 2013.
- **ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY**. DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. US E.P.A, EPA/600/2-87/035, 1987, EUA.
- FATORGIS. Definições técnicas. Fator GIS [periódico on-line] 2011. [2p.]. Disponível em: <[http://fatorgis.com.br/geoproc/define\\_tecn.htm](http://fatorgis.com.br/geoproc/define_tecn.htm)>. Acessado em: 05/ 05/2011
- FELL, R.; COROMINAS,R.; BONNARD,C.; CASCINI, L.; LEROIE; SAVAGE,W. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. **Engineering Geology**.v.102 .85 – 98. 2008.
- FRANCÉS, E.; DIAS DE TERÁN, J. R. e CENDRERO, A. **La aplicación de la cartografía geoambiental al diagnostico de unidades territoriales: establecimiento de directrices de ordenación**. In: Romariz, C. Livro de homenagem a Carlos Romariz. Lisboa. pp. 377-402, 1990.
- FONTES, S. B. **Estudo geoambiental da Bacia do Rio Pardo, a partir da compartimentação em Ottobacias – escala 1:100.000**. Tese de Doutorado (256p.). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 2004.

- FOSTER, S.S.D.;HIRATA, R.C.A. Groundwater pollution risk evaluation: a methodology using available data, **CEPI's – PAHO/WHO**, Lima, 78 p., 1995.
- GRANT, K. The PUCE Programme for Terrain Calculation for Engineering Purpose. Part 2 Procedure for Terrain Classification. Tech. Paper no 19, CSIRO Div. App. **Geomechanics**, 1977.
- GRECCHI, R. C. **Zoneamento geoambiental da região de Piracicaba-SP, com auxílio de geoprocessamento**. Dissertação Mestrado (132p.). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade São Paulo. 1998.
- GRINOVER, L. (1989). O planejamento físico-territorial e a dimensão ambiental. **Cadernos FUNDAP**. São Paulo, ano 9, n.º 16. p.25-32. 1989.
- HRASNA, M. Geoenvironment and geofactors of the environment- the basic concepts of environmental geology. **Acta Geologica Univ. com. Bratislava**, n.57
- **IAC. INSTITUTO AGRONOMICO DE CAMPINAS**. Carta pedológica da quadricula de São Carlos. Folha SF.23-Y-A-I. Escala 1:100.000. 1981.
- **IAC. INSTITUTO AGRONOMICO DE CAMPINAS**. Carta pedológica da quadricula de Descalvado. Folha SF.23-V-C-IV. Escala 1:100.000. Instituto Agrônomo de Campinas, 1982.
- **IAEG**. Engineering Geological Maps: a guide to their preparation. UNESCO Press, Paris, 79p,1976.
- **IBGE** (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Cartas topográficas. Folhas : SF-23-Y-A-I-1 (São Carlos) e SF-23-Y-A-I-2 (Corumbataí) Escala 1:50.000.1971.
- **IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística)**. Censo 2010. Acessado em: 06 de setembro de 2012.



- **INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO (IGC)**. 1980. Folhas SF-23-Y-A-I-1-SE-F; SF-23-Y-A-I-1-SO-D; SF-23-Y-A-I-1-SE-C; SF-23-Y-A-I-1-SE-D; SF-23-Y-A-I-2-SO-C; SF-23-Y-A-I-1-SO-B; SF-23-Y-A-I-1-SE-A; SF-23-Y-A-I-1-SE-B; SF-23-Y-A-I-2-SO-A; SF-23-Y-A-I-1-NO-F; SF-23-Y-A-I-1-NE-E; SF-23-Y-A-I-1-NE-F; SF-23-Y-A-I-2-NO-E; SF-23-Y-A-I-1-NO-D; SF-23-Y-A-I-1-NE-C; SF-23-Y-A-I-1-NE-D; SF-23-Y-A-I-2-NO-C. Escala 1:10.000.
- **INMET** (Instituto Nacional de Meteorologia). Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/>  
Acessado em: 15 de março de 2012
- **INPE** (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Catálogo de imagens. CBERS 2B, 2008. Disponível em: [www.inpe.br](http://www.inpe.br). Acesso em 11.03.2012.
- **INSTITUTO GEOLÓGICO – IG/SMA, COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL– CETESB, DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE/SERH**. Mapeamento da Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo / Hirata, R.C.A.; Bastos, C. R. A.; Rocha, G. A. (Coord.). São Paulo, IG/CETESB/DAEE, 2 v., 1997.
- IPT Carta geotécnica dos morros de Santos e São Vicente. Monografias N° 3. **Publicação IPT** N° 1153. São Paulo, 1980.
- LEITE, J.C. **Metodologia para a Elaboração da Carta de Susceptibilidade à Contaminação e Poluição das Águas Subsuperficiais**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos. 2v, 198 pp. (1995).
- LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 2005.
- LIMA, F.J. **Proposta de zoneamento geoambiental do município de Crato/CE**. Dissertação de mestrado (170p.). Departamento de Geografia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2008

- LISBOA, A.M. **Zoneamento geoambiental aplicado ao planejamento da gestão ambiental e territorial do município de Colorado D' oeste**. Tese de Doutorado (146p.). Instituto de Geociências e Exatas. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 2008.
- LOLLO, J.A. **O uso da técnica de avaliação de terreno no mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas**. São Carlos, 1996. 2v. Tese Doutorado - EESC/USP.
- LOPES,P.M.S. **Estudo dos atributos do meio físico como base para o zoneamento geoambiental das bacias do Rio Passa Cinco e Rio da Cabeça : escala 1:50.000**. Dissertação de Mestrado. 135p. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2 v. São Carlos. 2000
- KIRKBY, M. J. **Hillslope Hydrology**. Wiley, Chichester. p. 375.1978
- MACHADO,P.A.L. **Direito Ambiental Brasileiro**.4ed. São Paulo: Malheiros. 606p. 1992
- MACIEL NETTO, A. ; ANTONINO, A. C. D.; AUDRY, P.; CARNEIRO, C. J. G.; DALL'OLIO, A. Condutividade hidráulica não saturada de um podzólico amarelo da zona da mata norte de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p.1221-1228, 2000
- MARTINEZ-GRANÑA, A.; GOY, J.L.; ZAZO, C.; PICÓN,I; BUSTAMENTE,I de. Cartografia geoambiental aplicada a la gestion de residuos del Espacio Natural Protegido «Las Batuecas – Sierra de Francia».(Salamanca-España). **Geogaceta**. N.40. p.311-314. 2006.
- MATULA, M., LETKO, V. Engineering geology in planning the Metropolitan region of Brastilava. **Bulletin of International Association of Engineering Geology**, N° 22,pp. 139-145. Germany, 1980.
- MITCHEL, C.W. **Terrain evaluation. An introductory handbook to the history principles and methods for practical terrain assessment**. London, longman scientifican & technical. 1991.

- **MMA (Ministério do Meio Ambiente)** Zoneamento ecológico-econômico. Acessado em: Disponível em: <www.mma.gov.br> Acessado em: 7 de setembro de 2011.
  
- **MONTAÑO, M. Os recursos hídricos e o zoneamento ambiental: o caso do município de São Carlos (SP).** 2002. Dissertação de mestrado (140p). Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo. 2002.
  
- **MONTAÑO, M.; OLIVEIRA, I.S.D.; RANIERI, V.E.L.; FONTES, A.T.; SOUZA, M.P.** O Zoneamento Ambiental e a sua importância para a localização das atividades. **Revista Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção**,n.6,p.49-64,jun/2007.
  
- **MORAES, F.T. Zoneamento geoambiental do planalto de Poços de Caldas, MG/SP a partir de análise fisiográfica e pedoestratigráfica.** Tese de doutorado (173p.). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. 2007
  
- **MOURA, C.A. Zoneamento geoambiental como subsídio na determinação de áreas de instabilidade em faixas de intervenção de dutos.** Dissertação de Mestrado (96p.). Instituto de Geociências e Exatas. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 2008.
  
- **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.** Dissertação (Mestrado) 2v. São Carlos, 2000. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2000.
  
- **NISHIYAMA, L. Mapeamento geotécnico preliminar da quadrícula de São Carlos - SP.** Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos. 1991.
  
- **OLIVEIRA, A. H. Erosão hídrica e seus componentes na Sub-bacia Hidrográfica do Horto Florestal Terra Dura, Eldorado do Sul (RS).** Tese de Doutorado (181p.). Universidade Federal de Lavras. 2011
  
- **PARAGUASSU, A.B.** Experimental silicification of Sandstone. **Geological society of American Bulletin**, n.19,24p.
  
- **PAULA, E.M.S.; SOUZA, M.J.N. Lógica Fuzzy como técnica de apoio ao Zoneamento Ambiental.** IN:Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBS R), 13, 2007, Florianópolis, Anais...São José dos Campos: INPE, 2007.

- PEREIRA, P.R.G. **Cenários de ocupação urbana em bacia hidrográfica utilizada como manancial. Estudo do caso córrego do Feijão utilizando técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento.** Relatório de iniciação científica, PIBIC/CNPq, 2010.
- PEREZ JUNIOR, O. R. Material de Apoio – Textos. Texto disponível em [http://educar.sc.usp.br/biologia/textos/m\\_a\\_txt6.html](http://educar.sc.usp.br/biologia/textos/m_a_txt6.html). Acessado em Novembro de 2009.
- PFAFSTETTER, O. **Classificação das bacias.** Rio de Janeiro, 1987. Acesso em: 20 jul. 2012. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/ottobacias.asp>>.
- PONS, N.A.D. **Levantamento e diagnóstico geológico-geotécnico de áreas degradadas na cidade de São Carlos – SP, com auxílio de geoprocessamento.** Tese de Doutorado (210p.). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2006
- PROCHNOW, M. C. R. **Análise Ambiental da Sub-Bacia do Rio Piracicaba: Subsídios ao Seu Planejamento e Manejo.** Tese de doutorado (330p.). Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro. 1990.
- RAMALHO FILHO, A; BEEK, K. L. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras.** ed ver. Rio de Janeiro: EMBRAPA, CNPS. 65p. 1995.
- RAWLS, W. J.; DAVID, G.; VAN MULLEN, J. A.; WARD, T. J. Infiltration. In: AMERICAN SOCIETY of CIVIL ENGINEERS. **Hydrology Handbook.** 2. ed. New York. p.75-124. 1996.
- REMONDO, J.; BONACHEA, J. CENDRERO, A. Quantitative landslide risk assessment and mapping on the basis of recent occurrences. **Geomorphology.** v.94. p. 496 – 507.2008.
- REYNOLDS, W.D.; ELRICK, D.E.; TOPP, G.C. A reexamination of the constant-head well permeameter method for measuring saturated hydraulic conductivity above the water table. **Soil Sci,** n.136. v.4.p.250-268.1983

- RIVAS, V.; FRANCÉS, E.; DIAZ DE TERÁN, J.R.; CENDRERO, A. Conservation and restoration of Endangered Coastal areas: The case of estuaries in northern Spain. **Ocean Coastal Management**. V.23. p. 129-147, 1994.
- ROCHA, C, H, B. **Geoprocessamento. Tecnologia Transdisciplinar**. 2ed. Juiz de Fora: UFJF, 2002. 219p
- RODRÍGUEZ, I. MONTOYA, I. SÁNCHEZ, M.J. CARREÑO. F. Geographic Information Systems applied to Integrated Coastal Zone Management. *Geomorphology*. v. 107. p. 100 – 105. 2009.
- ROQUE, W. V. **Mapeamento Geoambiental da Área Urbana de Manaus-AM**. 2006. 160f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia)-Faculdade de Tecnologia-Departamento de Engenharia Civil e ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.
- ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 16, p. 81-90, 2005.
- ROSS, J.L.S; DEL PETTRE, M.E. Recursos hídricos e as bacias hidrográficas: âncoras do planejamento e gestão ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, n.12, p. 89-121. 1998.
- RORAIMA. ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: FFLCH-USP/IPT/FAPES. Mapas e relatório, 1997.
- Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Central do Estado de Roraima.2003. CPRM Secretaria de Estado de Planejamento Indústria e Comércio – SEPAN. Governo do Estado de Roraima. 18 vol.
- SANTOS, R.F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 184p. 2004.
- SANTOS, C.A.; SOBREIRA, F.G. **Diagnóstico e análise geoambiental das bacias hidrográficas do Ribeirão Carioca e dos córregos do Bação e Carioca, afluentes do rio Itabirito (MG), como subsídio ao zoneamento ambiental**. In: VI Seminário Latino Americano de Geografia Física. Coimbra, 2010. Acessado em: 26.04.2011. Disponível em: <[http://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema3/clibson\\_francisco](http://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema3/clibson_francisco)>

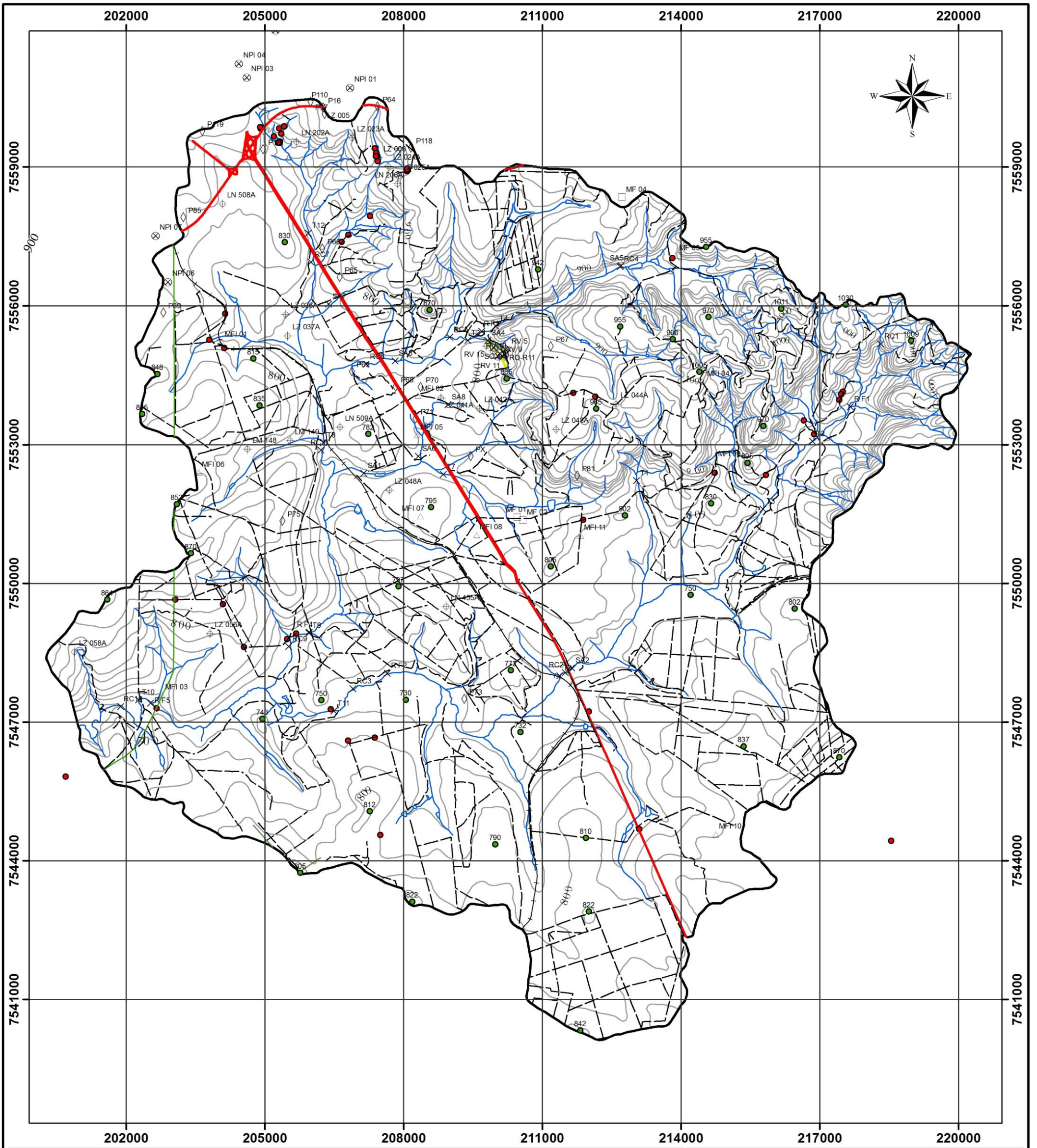
- **SAO CARLOS.** Plano Diretor Municipal de São Carlos - 2005. Acessado em: 05.05.2011. Disponível em: <<http://www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/utilidade-publica/plano-diretor.html>>.
  
- **SILVA, R.B.G.** **Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do Aquífero Botucatu no estado de São Paulo.** Tese - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.1983
  
- **SILVA, M.M.** **Técnicas cartográficas aplicadas ao zoneamento ambiental do município de Jacareí – SP.** Dissertação de mestrado (102p.). IGCE, UNESP.2002.
  
- **SILVA, C.R.; DANTAS, M.E.** **Mapas geoambientais.** IN: 7ºSimpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. Maringá. 17p. 2010.
  
- **SILVA, S. F. da ; PEJON, O. J.** **Elaboração de zoneamento geoambiental com auxílio de lógica Fuzzy.** In: 1o Simpósio Brasileiro de Jovens Geotécnicos, 2004, São Carlos-SP. 1o Simpósio Brasileiro de Jovens Geotécnicos. São Paulo : ABMS, 2004. v. 1. p. 1-6.
  
- **SILVA, J. V. dos S; SANTOS, R. F.** Zoneamento para planejamento ambiental: vantagens e restrições de métodos e técnicas. **Revista caderno de ciências e Tecnologia**, Brasília, v. 21, n. 2. p. 221-263.2004.
  
- **SILVA, V. A..** **Alterações no uso da terra e sua influência na perda de solo da bacia hidrográfica do Rio Colônia, no litoral Sul da Bahia.** Dissertação de Mestrado (76p.). Universidade Estadual de Santa Cruz, 76p. 2006
  
- **SILVEIRA, A.L.L. da.** **Ciclo Hidrológico e Bacias Hidrográficas.** IN: TUCCI, C.E.M. (org). Hidrologia – Ciência e Aplicação. ABRH. Editora da Universidade do Rio Grande do Sul. p.35-52. 1993
  
- **SIRGH** (Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos). Disponível em: [www.sigrh.sp.gov.br](http://www.sigrh.sp.gov.br) . Acessado em: 15 de março de 2012.
  
- **SOARES,P.C.** **O Mesozóico Gondwânico no Estado de São Paulo.** Tese de doutorado (152p.). Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro. 1973.

- SOARES, M.N. **Proposta de zoneamento ecológico econômico para o município de pedras altas – RS**. Dissertação (Mestrado em Geografia) 176f.- Laboratório de Oceanografia Geológica. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2009.
- SOBREIRA, F. G. **Estudo Geoambiental do Conselho de Sesimbra** - Tese de Doutorado (347 p.), Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. 1995.
- **SOIL MOISTURE EQUIPMENT CORPORATION**. Soil Moisture Equipment Corporation. Guelph permeametermodel 2800K1 (User manual). Santa Barbara:, 1991.
- SOTO, M. A. A. **Estudo da Condutividade Hidráulica em Solos não Saturados**. Dissertação de Mestrado. 136 p. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.
- SOUZA, I.S.T.de; MEDINA, A.I.M. Manejo Integrado de Sub-bacias Hidrográficas. **Revista Águas/CPRM**. n.1.v.1:59-66. 1997
- SOUZA, M. P. **Instrumentos de Gestão Ambiental: Fundamentos e Prática**. São Carlos. 112 p.Ed. Riani Costa. 2000.
- TEIXEIRA, A., MATIAS, L., NOAL, R. MORETTI, E. Qual a melhor definição de SIG. Fator GIS, Curitiba, n.11, p.20-24, out./nov./dez.1995.
- VANAGS, C.; MINASNY, B.; MCBRATNEY, A.B. The dynamic penetrometer for assessment of soil mechanical resistance. **Supersoil**. 2004: 3rd Australian New Zealand Soils Conference, University of Sydney, Australia. 2004.
- VEDOVELLO, R. **Zoneamentos geotécnicos aplicados à gestão ambiental, a partir de unidades básicas de compartimentação –UBCs**. Tese Doutorado (154p.). IGCE/UNESP, Rio Claro. 2000.

- VILLOTA, I. DE; GOY, J. L.; ZAZO, C.; PARRERA, I. A PEDRAZA, J. **Analisis de Paisaje por Evaluación de Cuencas Visuales y Unidades Ambientales: La Vall de Gallinera. Alicante.** Espana. In: congreso nacional y conferencia internacional de geologia ambiental y ordenacion del territorio, 6, Granada, 1996 .Anales. Granada. v. 1, p.115-135, 1996.
- VILLOTA,I; LUXAN, M; GOY, J.L; DE BUSTAMANTE,I; ZAZO, C. **Geoenvironmental mapping applied to urban settlements:La vall de Gallinera, Alicante, Spain.** In Geoenvironmental mapping: Method Theory and Practic. International Union Geological Sciences. Ed. Balkema Publishers.p. 451-472.2002
- ZACHARIAS, A.A. **A representação gráfica das unidades de paisagem no Zoneamento Ambiental: um estudo de caso no município de Ourinhos – SP.** 200f. Tese doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.
- ZUQUETTE, L. V. **Mapeamento geotécnico preliminar na região de São Carlos.** Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos 1981
- ZUQUETTE, L. V. **Análise Crítica da Cartografia Geotécnica e Proposta metodológica para as Condições Brasileiras.** Tese (Doutorado) 673f. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 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.; PEJON, O. J.; SINELLI, O.; GANDOLFI, N. **Methodology of specific engineering geological mapping for selection of sites for waste disposal.** In: International IAEG Congress, 7. Balkema. Amsterdam. 1994
- ZUQUETTE, L.V.; PEJON, O J.; GANDOLFI, N. G. e RODIGUES, J. E. Mapeamento geotécnico: parte I – atributos e procedimentos básicos para elaboração de mapas e cartas. **Revista Geociências.** v. 16. no 2. p. 491-524. 1997.



**ANEXO I**  
**(Mapa de Documentação)**



### Legenda

- Bacia do Ribeirão do Feijão
- Antigo Lixão
- Drenagem
- Rodovia
- Estrada secundária
- Estrada sem pavimentação
- Ferrovia
- Curvas de nível (20m)
- Amostragem
- Amostragem Outros Autores
- × Coleta de Água
- △ Ensaio Infiltração
- ⊗ Infiltração Outros Autores
- ◇ Poços Profundos
- Ponto Cotado
- Local Visitado

0 0.5 1 2 3 4 Km

Projeção Universal Transversa de Mercator  
Datum vertical: Marégrafo Imbituba, SC  
Datum horizontal: Córrego Alegre, MG (Zona 23)



Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR

Departamento de Engenharia Civil

Mestrado em Engenharia Urbana



Estudo Comparativo de Duas Metodologias na Definição de Unidades Geomambientais: Ribeirão do Feijão (São Carlos-Sp)

Moisés Furtado Failache & Sérgio Röhm (Orientador)

Mapa de Documentação

**ANEXO II**  
**(Ensaaios in situ e Laboratoriais)**

Tabelas contendo os resultados da caracterização básica dos materiais inconsolidados realizados neste trabalho e por outros autores.

Ponto	Coordenada	Prof. (m)	Uso	Tipo de Material	Granulometria					Kfs (cm/s)	w (%)	e	n (%)	Sr (%)	ρ (g/cm <sup>3</sup> )	ρd (g/cm <sup>3</sup> )	ρs (g/cm <sup>3</sup> )
					Argila %	Silte %	Areia Fina%	Areia Média %	Areia Grossa%								
MF 01	210684/7551413	0.4	Goiabal	Residual Botucatu	9	2	75	14	0	-	8.06	0.81	45	26	1.58	1.46	2.645
MF 02	210684/7551414	0.2	Eucalipto	Residual Botucatu	5	6	81	8	0	-	3.28	0.87	47	10	1.45	1.4	2.63
MF 02	210684/7551415	0.4	Eucalipto	Residual Botucatu	8	2	74	16	0	-	3.5	0.91	48	10	1.44	1.39	2.653
MF 03	2139411/7557091	0.3	invernada	Retrabalhado arenoso IV	11	7	67	15	0	-	13.4	1.06	51	28	1.43	1.29	2.791
MF 04	212719/7558350	0.4	Estrada- cafezal	Retrabalhado arenoso III	36	16	34	14	0	-	21.45	1.33	57	46	1.48	1.22	2.837
MFI 01	204049/7555251	0.2	Floresta	Retrabalhado Arenoso I	2	3	25	64	6	8.39 x 10 <sup>-3</sup>	11.5	-	-	-	-	-	2.653
MFI 02	208343/7554084	0.4	Pastagem	Residual do Botucatu	9	4	78	9	0	2.03 x 10 <sup>-3</sup>	-	-	-	-	-	-	-
MFI 03	202769/7547606	0.4	Eucalipto	Residual Serra Geral	30	18	20	31	1	2.40 x 10 <sup>-2</sup>	11.6	-	-	-	-	-	2.806
MFI 04	214516/7554640	0.4	Pasto	Concreções lateríticas	29	14.5	25	24	7.5	4.44 x 10 <sup>-3</sup>	10.4	-	-	-	-	-	2.64
MFI 05	208323/7553228	0.5	Aluvião	Aluvião	5	1.5	46	47	0.5	6.52 x 10 <sup>-4</sup>	15.2	-	-	-	-	-	2.663
MFI 05	208323/7553229	0.8	Aluvião	Aluvião	6	3	44	46.5	0.5	6.52 x 10 <sup>-4</sup>	14.2	-	-	-	-	-	2.719
MFI 05	208323/7553230	1.1	Aluvião	Aluvião	5	2	42	50.5	0.5	6.52 x 10 <sup>-4</sup>	16.2	-	-	-	-	-	2.696
MFI 06	203578/7552418	0.3	floresta	Retrabalho misto	14	4	24	48.5	9.5	3.86 x 10 <sup>-3</sup>	7.1	-	-	-	-	-	2.618
MFI 07	208394/7551490	0.5	Cerrado	Residual Botucatu	6	18	40	36	0	5.87 x 10 <sup>-2</sup>	6.29	0.78	44	22	1.6	1.5	2.68
MFI 07	208394/7551491	1	Cerrado	Residual Botucatu	6	18	40	36	0	5.87 x 10 <sup>-2</sup>	6.52	0.77	43	23	1.61	1.52	2.68
MFI 07	208394/7551492	1.5	Cerrado	Residual Botucatu	6	18	40	36	0	5.87 x 10 <sup>-2</sup>	6.77	0.77	44	24	1.62	1.51	2.68
MFI 08	209497/7551206	0.5	Eucalipto	Residual Botucatu	7	3	79	11	0	6.87 x 10 <sup>-2</sup>	4.71	0.67	40	19	1.68	1.61	2.67
MFI 08	209497/7551207	1	Eucalipto	Residual Botucatu	7	3	79	11	0	6.87 x 10 <sup>-2</sup>	5.92	0.67	40	22	1.69	1.6	2.678
MFI 08	209497/7551208	1.5	Eucalipto	Residual Botucatu	7	3	79	11	0	6.87 x 10 <sup>-2</sup>	6.37	0.69	41	25	1.69	1.58	2.675
MFI 09	214726/7552605	0.4	Floresta	Retrabalhado Arenoso IV	10	5	65	20	0	2.55 x 10 <sup>-3</sup>	-	-	-	-	-	-	-
MFI 10	214744/7544599	0.4	Cana de Açucar	Residual do Botucatu	8	2	74	15	0	2.76 x 10 <sup>-3</sup>	-	-	-	-	-	-	-
MFI 11	211817/7551014	0.4	Laranja	Residual do Botucatu	4	2	80	14	0	7.86 x 10 <sup>-3</sup>	-	-	-	-	-	-	-
RV 5	210235/7555045	0.2	Erosão	Retrabalhado Arenoso IV	6	2	50	42	0	-	2.81	0.7	41.1	10.8	1.62	1.57	2.67
RV 9	210115/7555119	0.2	Pastagem	Retrabalhado Arenoso IV	21	13	33	31	2	-	22.25	0.88	46.9	67.7	1.75	1.43	2.69
RV 10	210203/7554946	0.2	Pastagem	Retrabalhado Arenoso IV	19	7	36	37	1	-	8.77	0.66	39.8	35.6	1.76	1.61	2.68
RV 11	210080/7554893	0.2	Pastagem	Retrabalhado Misto	4	5	52	38	1	-	2.28	0.75	42.9	8.1	1.56	1.52	2.67
RV 13	209931/7555032	0.2	Pastagem	Retrabalhado Misto	7	4	42	46	1	-	3.85	0.65	39.5	15.8	1.68	1.62	2.67
RV 15	209792/7555134	0.2	Pastagem	Retrabalhado Misto	12	24	41	22	1	-	5.05	0.66	38.8	21.2	1.72	5.05	2.67
RV 16	209887/7555257	0.2	Pastagem	Residual Botucatu	10	5	46	38	1	-	11.92	0.55	35.7	57.4	1.92	11.92	2.67
RV V1	209960/7555115	2	Pastagem	Retrabalhado Misto	11	5	41	39	4	1.33 x 10 <sup>-3</sup>	-	-	-	-	-	-	-
RV T9		2	Pastagem	Retrabalhado Misto	10	5	46	38	1	6.25 x 10 <sup>-3</sup>	-	-	-	-	-	-	-
RV U1	210087/7554991	2	Pastagem	Retrabalhado Misto	10	5	46	38	1	7.73 x 10 <sup>-4</sup>	-	-	-	-	-	-	-
RV R11	210196/7554963	2	Pastagem	Retrabalhado Arenoso IV	25.7	8.7	33.7	31.7	0.3	2.37 x 10 <sup>-3</sup>	-	-	-	-	-	-	-
RV S4	210203/7555078	2	Erosão	Retrabalhado Arenoso IV	15.2	6.2	41.9	35.9	0.8	6.19 x 10 <sup>-3</sup>	-	-	-	-	-	-	-

Tabelas contendo os resultados da caracterização básica dos materiais inconsolidados realizados neste trabalho e por outros autores (Continuação).

Ponto	Coordenada	Prof. (m)	Uso	Tipo de Material	Graunulometria					Kfs (cm/s)	w (%)	e	n (%)	Sr (%)	ρ (g/cm <sup>3</sup> )	ρd (g/cm <sup>3</sup> )	Ps (g/cm <sup>3</sup> )
					Argila %	Silte %	Areia Fina%	Areia Média %	Areia Grossa%								
NPI01	206848/7560734		Pastagem	Retrabalhado Arenoso III	-	-	-	-	-	3.87 x 10 <sup>-3</sup>	-	-	-	-	-	-	-
NPI02	205223/7561986		Solo Exposto	Retrabalhado Arenoso III	-	-	-	-	-	6.30 x 10 <sup>-3</sup>	-	-	-	-	-	-	-
NPI03	204609/7560960		Área Construída	Residual Itaqueri	-	-	-	-	-	1.62 x 10 <sup>-3</sup>	-	-	-	-	-	-	-
NPI04	204435/7561245		Solo Exposto	Retrabalhado Arenoso III	-	-	-	-	-	1.30 x 10 <sup>-2</sup>	-	-	-	-	-	-	-
NP06	202906/7556524		Área Construída	Retranalhado Arenoso I	-	-	-	-	-	2.27 x 10 <sup>-3</sup>	-	-	-	-	-	-	-
NP07	202626/7557528		Solo Exposto	Retrabalhado Arenoso I	-	-	-	-	-	1.26 x 10 <sup>-2</sup>	-	-	-	-	-	-	-
LM 148	204619/7552906		Área Construída	Retrabalhado arenoso I	10	11	79			-	-	0.85	-	-	-	1.78	2.65
LM 149	205545/7553078		Agricultura	Retrabalhado arenoso I	12	3	85			-	-	0.78	-	-	-	1.54	2.63
LN 202	205662/7559583		Floresta	Residual Botucatu	30	15	55			-	-	1.1	-	-	-	1.26	2.64
LN 206	207874/7558662		Pastagem	Residual Itaqueri	38	15	47			-	-	1.34	-	-	1.49	1.14	2.67
LN 455	208910/7549510		Eucalipto	Residual Botucatu	2	1	97			-	-	0.59	-	-	1.43	1.65	2.62
LN 508	204064/7558207		Eucalipto	Residual Botucatu	13	7	80			-	-	0.66	-	-	1.71	1.59	2.64
LN 509	206623/7553382		Floresta	Residual Botucatu	4	6	90			-	-	0.51	-	-	1.75	1.73	2.61
LZ 05	206244/7560313		Área Construída	Residual Itaqueri	31.5	14.5	54			-	-	-	-	-	1.83	1.83	2.68
LZ 06	207471/7559233		Pastagem	Residual Itaqueri	39	25.8	35.2			-	-	-	-	-	-	1.75	2.89
LZ 23	206882/7559650		Pastagem	Retrabalhado arenoso III	16	14.1	69.9			-	-	-	-	-	-	1.92	2.72
LZ 24	207664/7559039		Outras culturas	Residual Itaqueri	33	13.75	53.25			-	-	-	-	-	-	1.76	2.71
LZ 25	207882/7558816		Pastagem	Residual Itaqueri	38	24	38			-	-	-	-	-	-	1.56	2.73
LZ 36	205439/7555837		Floresta	Residual Botucatu	26	9.2	64.8			-	-	-	-	-	-	1.82	2.68
LZ 37	205482/7555371		Floresta	Residual Botucatu	9.8	4.51	85.69			-	-	-	-	-	-	1.96	2.64
LZ 41	208809/7554025		Pastagem	Residual Serra Geral	70	19.27	10.73			-	-	-	-	-	-	1.37	2.94
LZ 42	209635/7553779		Pastagem	Residual Itaqueri	30.15	13.51	56.34			-	-	-	-	-	-	1.7	2.65
LZ 43	211286/7553334		Eucalipto	Retrabalhado Arenoso III	-	69.18	30.82			-	-	-	-	-	-	1.62	2.66
LZ 44	212582/7553884		Cana de Açúcar	Retrabalhado Arenoso III	-	59	41			-	-	-	-	-	-	1.59	2.65
LZ 48	207683/7552026		Cerrado	Residual Botucatu	9	4.42	86.58			-	-	-	-	-	-	1.94	2.63
LZ 56	203807/7548933		Cana de Açúcar	Residual Serra Geral	-	79	21			-	-	-	-	-	-	1.49	2.94
LZ 58	200864/7548533		Cana de Açúcar	Residual Serra Geral	69	16.73	14.27			-	-	-	-	-	-	1.57	2.94

Legenda: **Kfs** = Condutividade Hidráulica Saturada / **w** = Umidade / **e** = Índice de Vazios / **n**=Porosidade / **Sr** = Grau de Saturação / **pd** = Massa específica seca / **ps**= Massa específica dos sólidos / MF=Amostragem / MF =Amostragem e ensaio de infiltração / RV= Dados Velozo (2006) / NPI=Dados Pons (2006) / LM=Dados Muro (2000) / LN=Dados Nishiyama (1991) / LZ=Dados Zuquette (1981)

