

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ROMARIO TRENTIN

**MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO E CARACTERIZAÇÃO
GEOAMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITU – OESTE DO RIO
GRANDE DO SUL – BRASIL**

CURITIBA

2011

ROMARIO TRENTIN

**MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO E CARACTERIZAÇÃO
GEOAMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITU – OESTE DO RIO
GRANDE DO SUL – BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, curso de Doutorado, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo José Cordeiro Santos

CURITIBA

2011

Trentin, Romário

Mapeamento geomorfológico e caracterização geoambiental da
Bacia Hidrográfica do Rio Itu – Oeste do Rio Grande do Sul - Brasil /
Romário Trentin. – Curitiba, 2011.

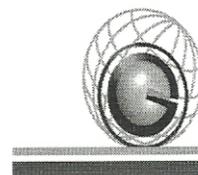
215 f. : il.; graf., tab.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de
Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geografia.

Orientador: Leonardo José Cordeiro Santos

1. Mapeamento geomorfológico - Rio Grande do Sul. I. Santos,
Leonardo José Cordeiro. II. Título.

CDD 551.41



PARECER

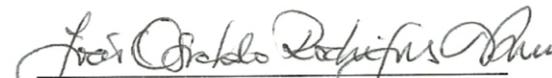
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Geografia reuniram-se para a arguição da Tese de Doutorado, apresentada pelo candidato **ROMARIO TRENTIN** intitulada **"MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO E CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITU – ÔESTE DO RIO GRANDE DO SUL – BRASIL"**, para obtenção do grau de Doutor em Geografia, do Setor de Ciências da Terra, da Universidade Federal do Paraná Área de Concentração **Espaço, Sociedade e Ambiente**, Linha de Pesquisa **Paisagem e Análise Ambiental**.

Após haver analisado o referido trabalho e argüido o candidato, são de parecer pela APROVADO da Tese.

Curitiba, 28 de fevereiro de 2011.

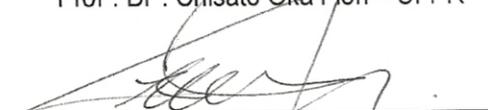
Nome e Assinatura da Banca Examinadora:


Prof. Dr. Leonardo José Cordeiro Santos (Orientador)


Prof. Dr. João Osvaldo Rodrigues Nunes - UNESP


Prof. Dr. Luís Eduardo de Souza Robaina - UFSM


Profª. Drª. Chisato Oka Fiori – UFPR


Prof. Dr. Tony Vinicius M. Sampaio - UFPR

AGRADECIMENTOS

A minha família, em especial aos meus pais Mario e Ezenilda, pelo apoio, compreensão e sacrifícios que sempre fizeram para que eu nunca abandonasse meus objetivos profissionais;

À Universidade Federal do Paraná por proporcionar o ambiente de formação em especial ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPR pela oportunidade de aprendizado;

À Débora pelo companheirismo, carinho e compreensão;

Ao professor Leonardo José Cordeiro Santos pela orientação no doutoramento e tese, pelo tempo de dedicação dispensado e auxílio das mais diversas formas;

Ao professor Luís Eduardo de Souza Robaina por auxiliar nos trabalhos de campo tanto profissional quanto financeiramente, pelos ensinamentos, conselhos, discussões metodológicas e grande amizade;

Aos Professores Tony Vinicius Moreira Sampaio e Kátia Canil pelas importantes contribuições apresentadas na banca de qualificação.

Aos professores: Chisato Oka Fiori, João Osvaldo Rodrigues Nunes, Tony Vinicius Moreira Sampaio, Luís Eduardo de Souza Robaina e Roberto Verdum por participarem da banca de defesa organizada apressadamente e pelas suas importantes contribuições.

Ao secretário da Pós-Graduação em Geografia da UFPR, Luiz Carlos Zem, pelo seu profissionalismo, pela disposição em ajudar e amizade cultivada.

Aos amigos e colegas Dionara De Nardin, Fabiano da Silva Alves e Sandro Sidnei Vargas de Cristo, pelos auxílios nos trabalhos de campo e análises de laboratório, bem como nas discussões metodológicas e objeto de pesquisa.

À Universidade Federal de Santa Maria pela disponibilização de sua estrutura e laboratórios para as análises das amostras coletadas e, sobretudo na pessoa do técnico Renato Oliveira da Costa, pelos auxílios nas análises e grande amizade.

Aos demais colegas e professores do Laboratório de Geologia Ambiental da UFSM, pela amizade, apoio e contribuições.

À Fundação Araucária, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e Instituto Tecnológico SIMEPAR pela concessão de bolsas.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE GRÁFICOS	xiii
LISTA DE TABELAS.....	xiv
LISTA DE QUADROS.....	xv
LISTA DE SIGLAS	xvi
RESUMO	xvii
ABSTRACT.....	xviii
1. INTRODUÇÃO.....	19
1.1 Breve Histórico da Pesquisa.....	19
1.2 Definição da Problemática e Objetivos	21
1.3 Apresentação da Área	26
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	34
2.1 Análise Sistêmica Aplicada a Questões Ambientais	34
2.2 Análise da Paisagem Aplicada à Geografia.....	39
2.3 Mapeamento Geomorfológico.....	43
2.4 Mapeamento Geoambiental.....	49
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	55
3.1 Procedimentos Gerais	55
3.2 Procedimentos Metodológicos	56
3.2.1 Levantamento e processamento dos dados	58
3.2.1.1 Levantamento bibliográfico e cartográfico	58
3.2.1.2 Levantamento de produção de dados.....	59
Levantamento morfométrico/morfológico.....	60
Levantamento de dados secundários	65
Levantamento de campo e análises em laboratório	65
3.2.2 Correlação das informações	68
3.2.2.1 Compartimentação geomorfológica	68
3.2.2.2 Avaliação do uso e ocupação da terra e vegetação atual.....	70

3.2.3 Interpretação e análise das potencialidades e fragilidades.....	71
3.2.4 Caracterização geoambiental	72
4. CARACTERIZAÇÃO DOS ELEMENTOS FÍSICOS DA PAISAGEM	74
4.1. Análise das Características da Drenagem.....	74
4.2. Análise das Características do Relevo	79
4.2.1. Hipsometria.....	80
4.2.2. Declividade	81
4.2.3. Comprimento de vertente	83
4.2.4. Orientação das vertentes.....	85
4.2.5. Perfil e plano de curvatura das vertentes.....	86
4.3. Análise das Características Litológicas.....	91
4.3.1. Depósitos recentes	94
4.3.2. Rochas vulcânicas.....	95
4.3.3. Arenitos eólicos.....	99
4.3.4. Arenitos fluviais.....	100
4.4. Análise das Características do Solo	102
4.4.1. Solos rasos de altitudes elevadas (Associação Cambissolos e Neossolos).....	103
4.4.2. Solos rasos a bem desenvolvidos em rochas areníticas	108
4.4.2.1 Solos rasos a bem desenvolvidos em colinas arenosas (Latosolos Arenosos e Neossolos Quartzarênicos).....	109
4.4.2.2. Solos rasos nos cerros de arenito (Neossolos e Cambissolos)	112
4.4.2.3. Areais.....	112
4.4.3. Solos rasos a bem desenvolvidos em colinas de rochas vulcânicas (Nitossolos, Argissolos e Latossolos Argilosos).....	114
4.4.4. Solos hidromórficos (Planossolos e Plintossolos).....	117
5. DESCRIÇÃO E ANÁLISE DAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITU	122

5.1. Compartimentação do relevo	123
5.2. Compartimentação Geomorfológica	124
5.2.1. Compartimentação do primeiro, segundo e terceiro níveis taxonômicos	126
5.2.2. Compartimentação do quarto, quinto e sexto níveis taxonômicos	131
6. ANÁLISE DO USO - OCUPAÇÃO E COBERTURA VEGETAL.....	162
6.1 Contextualização da Expansão Administrativa e Econômica dos Municípios da BHRI	162
6.2 O Estudo do Uso e Ocupação da Terra e Cobertura Vegetal na Área de Estudo.....	167
6.2.1 Os usos da terra e cobertura vegetal no ano de 1975 a 2010	167
6.2.2 Comparativo da evolução dos usos da terra no período 1975 a 2010	171
6.2.3 A configuração do processo de ocupação e do uso da terra	173
7. CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL: AS POTENCIALIDADES E FRAGILIDADES	176
7.1 Compartimentação dos Sistemas e das Unidades Geoambientais	176
7.1.1 Sistema Urbano	177
7.1.2 Sistema Ibicuí	180
7.1.3 Sistema Silvicultura.....	181
7.1.4 Sistema Santiago – São Francisco	183
7.1.4.1 Unidade Arroio Porteirinha.....	185
7.1.4.2 Unidade Arroio Passinho	186
7.1.4.3 Unidade Rincão dos Cabreiras	187
7.1.5 Sistema Maçambará	188
7.1.5.1 Unidade Arroio Puitã	191
7.1.5.2 Unidade Itu Mirim.....	192
7.1.5.3 Unidade Santa Rosa	194
7.1.6 Sistema Itaquí – Manoel Viana	195

7.1.6.1 Unidade Restinga dos Pires.....	197
7.1.6.2 Unidade Sanga do Barreiro	198
8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	200
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	204

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Localização da bacia hidrográfica do Rio Itu em relação ao estado do Rio Grande do Sul e abaixo a situação dos municípios que compõem a bacia.	27
Figura 02 – Fluxograma com as etapas da metodologia adotadas no desenvolvimento da pesquisa	57
Figura 03 – Modelos de curvatura das vertentes. Plano de curvatura (setas pontilhadas) e Perfil da curvatura (setas contínuas) Fonte: Silveira (2010).	64
Figura 04 - Modelos didáticos ilustrativos que representam as formas das vertentes em perfil e plano de curvatura Fonte: Fotos de modelos reduzidos da EMBRAPA apresentados por Curcio (2006), <i>In</i> : Silveira (2010).	64
Figura 05 – Documentos e informações levantados para o desenvolvimento da caracterização geoambiental. Fonte: Robaina et al. 2009.....	73
Figura 06 – Caracterização de pontos de observação do canal principal do Rio Itu ao longo do perfil longitudinal	76
Figura 07 – Distribuição da drenagem, sub-bacias e controle radial da drenagem	77
Figura 08 – Espacialização das classes hipsométricas.....	81
Figura 09 – Distribuição espacial das classes de declividade	82
Figura 10 – Distribuição espacial da orientação das vertentes.....	85
Figura 11 – Distribuição do perfil de curvatura das vertentes.....	86
Figura 12 – Distribuição do plano de curvatura das vertentes.....	88
Figura 13 – Distribuição das curvaturas das vertentes da BHRI.....	90
Figura 14 – Recorte da coluna estratigráfica do estado do Rio Grande do Sul, representando a coluna estratigráfica do Oeste do RS. Fonte: Santos et. al (1989). ..	92
Figura 15 – Distribuição espacial das litologias na bacia hidrográfica do Rio Itu	93
Figura 16 – Depósitos recentes na planície de inundação no baixo curso e depósitos mais grossos no canal junto ao médio curso.....	95
Figura 17 – Localização dos pontos de coleta e fotografias das amostras de rocha e localização dos perfis geológicos.....	97
Figura 18 – Lâminas petrográficas de identificação: intercrescimento de quartzo e feldspato e minerais pretos opacos. Rocha ácida – Granófiro (A); associação de cristais de plagioclásio e piroxênio, na porção central microfenocristais de quartzo que ocorrem dispersos na amostra, rocha ácida à intermediária - Dacito ou Andesito (B); microfenocristais de plagioclásio e piroxênio e alguns minerais opacos e massa vítrea, rocha básica (C).	98
Figura 19 – Perfil geológico com a distribuição dos derrames vulcânicos na porção montante da BHRI	98
Figura 20 – Depósitos coluviais na base das vertentes.....	99
Figura 21 – Afloramentos de arenito eólico da Formação Botucatu	100
Figura 22 – Perfil geológico da porção central da BHRI	100
Figura 23 – Arenito fluvial com grânulos de sílica (A) e arenito fluvial com clastos intraformacionais argilosos (B).....	101
Figura 24 – Processos de dinâmica superficial associados aos Morrotes	102

Figura 25 – Perfil geológico da porção de baixo curso da BHRI	102
Figura 26 – Distribuição espacial das classes de solo simplificadas da BHRI	104
Figura 27 - Ocorrência dos solos rasos em topografia ondulada (A) e óxido de ferro associado à rocha alterada com perfil de solo raso (B).....	105
Figura 28 – Solo mais desenvolvido, associado ao topo de derrame alterado (A) e diferentes profundidades de solo em mesma vertente (B)	106
Figura 29 – Zona de diáclases horizontais com perfil de solo muito raso ou inexistente	106
Figura 30 – Perfis de Cambissolo associados a topos de derrames	107
Figura 31 – Ocorrência de Neossolos característicos da classe de solos rasos de altitudes elevadas	108
Figura 32 – Perfil de Latossolo Arenoso e paisagem com ocorrência desta classe de solos	110
Figura 33 – Perfil de solo Latossolo Argiloso sobre arenito fluvial com clastos de argila.	110
Figura 34 – Perfil de Neossolo Quartzarênico em voçorocas à beira da estrada	111
Figura 35 – Solos rasos com blocos de rochas associados aos cerros de arenito	112
Figura 36 – Areal associado ao cerro de arenito fluvial.....	113
Figura 37 – Palmar de butiá-anão associado ao areal e destaque para o pé de butiá-anão	114
Figura 38 – Florestamentos de <i>Eucalyptus</i> sp. sobre os areais	114
Figura 39 – Perfil de Nitossolo em corte à beira da estrada	115
Figura 40 – Ocorrência do Argissolo com veio de arenito eólico em perfil de solo	116
Figura 41 – Perfil de Latossolo Argiloso à beira da estrada	117
Figura 42 – Ocorrência do Planossolo na BHRI.....	118
Figura 43 – Perfil de Plintossolo em área da planície de inundação	119
Figura 44 – Localização dos pontos de análise granulométrica e perfis topográficos com distribuição dos solos e caracterização dos pontos de análise	120
Figura 45 – Perfis topográficos com distribuição dos solos e caracterização dos pontos de análise	121
Figura 46 – Distribuição das unidades de relevo da BHRI	123
Figura 47 – Distribuição espacial dos dois primeiros níveis de compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do Rio Ibicuí. Fonte: Robaina et al. (2008)	127
Figura 48 – Distribuição espacial dos três primeiros níveis taxonômicos da compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do Rio Ibicuí. Fonte: Robaina et al.(2008)	129
Figura 49 – Distribuição espacial das formas de relevo da BHRI	132
Figura 50 – Distribuição espacial das colinas de arenito na BHRI.....	133
Figura 51 – Processos de voçorocamento e arenização em colinas de arenito	134
Figura 52 – Processos Distribuição espacial dos morrotes de arenito na BHRI	135
Figura 53 – Morrote de arenito com afloramentos de blocos de rochas	135

Figura 54 – Visualização do limite das cornijas em imagem Quick Bird via Google Earth (A e B) e fotografia aérea de baixa altitude com identificação da cornija de arenito fluvial (C).....	137
Figura 55- Distribuição espacial das rampas de alúvio colúvio na BHRI	138
Figura 56 - Distribuição espacial das colinas vulcânicas de topo plano na BHRI	139
Figura 57 – Topografia levemente ondulada, característico das colinas vulcânicas de topo plano.....	139
Figura 58 - Distribuição espacial do relevo escarpado na BHRI.....	140
Figura 59 – Fotos mostrando ao fundo relevo fortemente ondulado da área do rebordo do planalto	141
Figura 60 – Morrotes de rocha vulcânica	141
Figura 61 – Distribuição espacial dos morrotes de rocha vulcânica na BHRI	142
Figura 62 –Distribuição espacial das colinas de rocha vulcânica na BHRI.....	143
Figura 63 – Lavouras nas áreas suavemente onduladas das colinas de rocha vulcânica	143
Figura 64 – Perfil representativo das vertentes nas colinas de arenito.....	144
Figura 65 – Perfil representativo das vertentes nos morrotes de arenito.....	145
Figura 66 – Curvatura das vertentes nas linhas de cornijas de arenito	146
Figura 67 – Curvatura das vertentes nas rampas de alúvio colúvio	147
Figura 68 – Perfil representativo das vertentes nas colinas vulcânicas de topo plano	148
Figura 69 – Perfil representativo das vertentes do relevo escarpado	149
Figura 70 – Perfil representativo das vertentes dos morrotes de rocha vulcânica	150
Figura 71 – Perfil representativo das vertentes das colinas de rocha vulcânica	151
Figura 72 – Vegetação rala nos solos arenosos e feições superficiais das colinas de arenito.....	152
Figura 73 – Fotografia (A) no alto da foto ocorrência de areal associado aos morrotes de arenito e parte de baixo da foto areal formado pelos depósitos de voçorocas. Fotografia (B) areal associado à morrote de arenito. Fotografia (C) areas na base da vertente, associado a depósitos de sedimentos de voçorocas.....	153
Figura 74 – Porção sotavento de uma duna eólica formada sobre um areal que mostra o transporte de areia pela ação do vento	154
Figura 75 – Visualização dos processos de voçorocamento associados à morrote de arenito fluvial. Na imagem (A) imagem de satélite SPOT via Google Earth e na imagem (B) fotografia do mesmo local.	156
Figura 76 – Delimitação das áreas denominadas voçorocas e associação aos areas	157
Figura 77 – Cachoeira e palmar de espécies xerófitas associada à cornija de arenito fluvial	158
Figura 78 – Depósitos recentes próximos do canal na unidade de Rampas de alúvio colúvio	158
Figura 79 – Depósito de colúvio em rocha vulcânica do Rebordo (A) e de arenito fluvial associada à cornija (B).	160

Figura 80 – Afloramentos de rocha vulcânica em forma de blocos dispersos em meio aos campos (A) e na forma de lajeado (B)	160
Figura 81 – Afloramentos de arenito fluvial na porção central da BHRI associado às colinas areníticas.	161
Figura 82 – Afloramento de concreções de ferro na forma de carapaças formando pequeno degrau na meia encosta	161
Figura 83 – Principais culturas temporárias dos municípios que abrangem a BHRI..	166
Figura 84 – Uso da terra de 1975, 1985, 1995, 2005 e 2010 da bacia hidrográfica do Rio Itu	168
Figura 85 – Usos e ocupação da terra e cobertura vegetal da bacia hidrográfica do Rio Itu	175
Figura 86 – Compartimentação Geoambiental da bacia hidrográfica do Rio Itu	178
Figura 87 – Imagem GeoEye via Google Earth com vista da área urbana de Santiago (A) e Unistalda (B)	179
Figura 88 – Distribuição espacial dos Sistemas Urbano, Ibicuí e Silvicultura	179
Figura 89 – Área de florestamento de <i>Eucalyptus</i> sp. na BHRI.....	181
Figura 90 – Área de florestamento de <i>Eucalyptus</i> sp. sobre ao areais na BHRI	183
Figura 91 – Distribuição espacial do Sistema Santiago – São Francisco	183
Figura 92 – Imagens GeoEye via Google Earth e fotografia mostrando a Unidade Arroio Porteirinha com vegetação arbórea.....	186
Figura 93 – Uso da Unidade Arroio Passinho, com ocupação de pequenas lavouras no morro	187
Figura 94 – Uso da Unidade Rincão das Cabreiras, com solos rasos e afloramentos de blocos e surgências de água.	188
Figura 95 – Distribuição espacial do Sistema Santiago – São Francisco	189
Figura 96 – Ocorrência de areais e voçorocas da Unidade Arroio Puitã	192
Figura 97 – Ocorrência de areais e voçorocas associados aos morrotes de arenito .	193
Figura 98 – Cornija de arenito com vegetação arbórea e na base uso de lavoura de pastagem junto à colina de arenito	194
Figura 99 – Uso das colinas de arenito com lavoura de pastagem e campo da Unidade Santa Rosa.....	195
Figura 100 – Distribuição espacial do Sistema Itaqui – Manoel Viana na BHRI	196
Figura 101 – Uso de lavouras próximas ao curso de água e imagem Spot via Google Earth com visualização de lavouras com sistema de irrigação na Unidade Sanga do Barreiro.....	198

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 - Distribuição do comprimento das vertentes	84
Gráfico 02 – Distribuição das porcentagens do perfil de curvatura das vertentes.....	87
Gráfico 03 – Distribuição das porcentagens do plano de curvatura das vertentes.....	88
Gráfico 04 – Distribuição das porcentagens das curvaturas das vertentes	91
Gráfico 05 – Distribuição da curvatura das vertentes nas colinas de arenito.....	144
Gráfico 06 – Distribuição da curvatura das vertentes nos morrotes de arenito.....	145
Gráfico 07 – Distribuição da curvatura das vertentes nas cornijas de arenito.....	146
Gráfico 08 – Distribuição da curvatura das vertentes nas rampas alúvio colúvio	147
Gráfico 09 – Distribuição da curvatura das vertentes nas colinas vulcânicas de topo plano.....	148
Gráfico 10 – Distribuição da curvatura das vertentes no relevo escarpado	149
Gráfico 11 – Distribuição da curvatura das vertentes nos morrotes de rocha vulcânica	150
Gráfico 12 – Distribuição da curvatura das vertentes nas colinas de rocha vulcânica	151
Gráfico 13 - Comparativo do uso da terra e vegetação na área de estudo.....	172

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Classificação dos tipos de relevo adaptado de IPT (1981)	69
Tabela 02 – Atributos da análise morfométrica da rede de drenagem	77
Tabela 03 – Atributos morfométricos analisados das sub-bacias	79
Tabela 04 – Intervalo das classes hipsométricas e suas áreas	80
Tabela 05 – Declividade das vertentes na bacia hidrográfica do Rio Itu.....	82
Tabela 06 – Porcentagem da orientação das vertentes	85
Tabela 07 – Características das unidades de relevo da BHRI.....	123

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Característica das unidades de relevo.....	124
Quadro 02 – Distribuição dos níveis de compartimentação geomorfológica da BHRI	125
Quadro 03 – Municípios que compõem a BHRI e suas características gerais.....	163
Quadro 04 – Potencialidades e fragilidades dos sistemas geoambientais	199

LISTA DE SIGLAS

ANA - Agência Nacional de Águas

BHRI – Bacia Hidrográfica do Rio Itu

DSG – Diretoria de Serviços Geográficos

FEE – Fundação Economia e Estatística

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

GPS - Sistema de Posicionamento Global

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo

MNT - Modelo Numérico do Terreno

SiBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

UPs – Unidades de Paisagem

USP – Universidade de São Paulo

ZEIS – Zonas Especiais de Interesse Social

RESUMO

TRENTIN, Romario. **Mapeamento Geomorfológico e Caracterização Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Itu – Oeste do Rio Grande do Sul – Brasil**. 2011, 215p. (Tese de Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFPR, Curitiba.

A presente tese tem como tema o mapeamento geomorfológico e a caracterização geoambiental da bacia hidrográfica do Rio Itu, localizada no oeste do Rio Grande do Sul, que apresenta significativos processos de dinâmica superficiais como voçorocas e areais. O principal objetivo do trabalho é analisar e caracterizar as unidades geoambientais da bacia hidrográfica e classificá-las quanto à aptidão e restrição à ocupação através de suas potencialidades e fragilidades frente aos elementos geomorfológicos e aos usos e ocupações da terra. A metodologia empregada utiliza-se dos Sistemas de Informação Geográfica para as análises e manipulação dos dados que incluem mapeamentos temáticos, levantamentos de campo e análises de laboratório que de forma geral priorizam a definição das características de distribuição da precipitação, a compartimentação geomorfológica e os processos de uso e ocupação da terra, servindo de base para a caracterização geoambiental. A bacia hidrográfica apresenta drenagem com significativo controle estrutural, relacionado aos falhamentos geológicos. O relevo caracteriza-se pela ocorrência de colinas, morros, morrotes e porções escarpadas associadas ao Rebordo do Planalto. A litologia da área apresenta porções com substrato de rocha vulcânica básica e ácida, além de porções com substrato arenítico muito friável e por vezes mais resistente condicionado a maior cimentação e ainda, porções com depósitos recentes. Os solos estão relacionados às condições do relevo e substrato geológico, apresentando nas porções mais íngremes solos rasos com afloramentos de rocha e nas áreas de colinas solos mais profundos arenosos quando associado ao substrato arenítico e, argilosos quando associados à rocha vulcânica. As características levantadas definem áreas favoráveis ao desencadeamento e intensificação dos processos erosivos, principalmente relacionados ao substrato geológico muito friável de origem fluvial da Formação Guará, onde são freqüentes a ocorrência de areais e voçorocas. Na caracterização geoambiental da bacia hidrográfica foram definidos seis sistemas geoambientais com tipos de potencialidades e fragilidades distintas em cada sistema. O Sistema Maçambará localiza-se sobre os arenitos e solos muito friáveis onde os areais e voçorocas são muito freqüentes. O Sistema Silvicultura refere-se às áreas de plantio de *Eucalyptus* sp. com grande expansão a partir de 2007 e 2008. O Sistema Itaqui – Manoel Viana que se destaca pela crescente expansão agrícola, principalmente associada às áreas próximas aos cursos de água com remoção de mata ciliar. A bacia hidrográfica apresenta cerca de 30% da área ocupada por solos arenosos rasos ou profundos e isto expõem de forma geral as condições da fragilidade encontrada na área de estudo.

Palavras – chave: Bacia Hidrográfica; Arenização; Geomorfologia; Uso e Ocupação da Terra; Caracterização Geoambiental.

ABSTRACT

TRENTIN, Romario. Geomorphological Mapping and Characterization of Geoenvironmental Itu River Basin - Western Rio Grande do Sul - Brazil. 2011, 215p. (PhD Thesis) - Graduate Program in Geography, UFPR, Curitiba.

The following research approaches the geomorphological mapping and environmental characterization of the Itu River basin, located in western Rio Grande do Sul, which has significant dynamic surface processes such as sand depositions and erosion gullies. The main objective was to analyze and characterize the environmental units of the watershed as well as to classify them as to suitability and limited occupation through their strengths and weaknesses facing the geomorphological elements and the use and occupation of land. The methodology applied referred to the Geographic Information Systems for the analyses and manipulation of data including thematic mapping, field surveys and laboratory analysis, which generally give priority to define the characteristics of rainfall distribution, geomorphological partitioning and the processes of use and occupancy of land, providing the basis for geoenvironmental characterization. The hydrographic basin has significant structural control related to geological faults. The relief is characterized by the occurrence of hills, hills, craggy hillock and portions associated with the Edge Plateau. The lithology of the area has portions of the substrate with acidic and basic volcanic rock, and sandstone substrate portions with very crispy and sometimes more resistant cementing and conditioning the largest yet, with portions recent deposits. The soil conditions are related to topography and geological substrate, with the steepest portions shallow soils with rocky outcrops and hills in the areas of deeper soil sandy substrate when associated with sandstone and clay when associated with volcanic rock. The Features raised define favorable areas for initiation and intensification of erosion processes, mainly related to a very fluvial crispy geological substratum in the *Guara* Formation, being frequent the occurrence of sand deposition and erosion gullies. In the environmental characterization of the basin six types of systems with similar characteristics strengths and weaknesses in each different system have been defined. The *Maçambara* System, located on the sandstone and very friable soils where the sand deposition and erosion gullies are very common. Forestry System which refers to areas of *Eucalyptus* sp. with large expansion from 2007 to 2008. *Itaqui - Manoel Viana* System is highlighting by the ever-increasing agricultural expansion mainly associated to areas close to water courses with removal of riparian vegetation. The basin has about 30% of the area occupied by shallow or deep sandy soils and this fact shows the conditions of weakness found in the study area.

Keywords: Watershed; Sandy Desertification; Geomorphology; Use and Occupation of Land, Geoenvironmental Characterization.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Breve Histórico da Pesquisa

A bacia hidrográfica do Rio Itu (BHRI), localizada no oeste do Rio Grande do Sul, possui uma área de 2.809,61 km² e passou a ser estudada, inicialmente, no ano de 2004, quando foram realizados os primeiros trabalhos de reconhecimento e levantamento de dados. Este trabalho inicial resultou na dissertação de mestrado intitulada “Definição de unidades geoambientais na bacia hidrográfica do Rio Itu – oeste do RS”, defendida no ano de 2007 na Universidade Federal de Santa Maria.

Na referida dissertação foram elaborados uma série de mapas, oriundos de levantamentos de campo e de análise de documentos secundários, como imagens de satélite, cartas topográficas do exército em escala 1:50.000 e de mapeamentos existentes em escala regional, bem como de dados estatísticos.

A série cartográfica produzida compunha mapeamentos referentes à hidrografia, hipsometria, declividade, substrato geológico, tipos de solos, uso do solo para o ano de 2001 e identificação de algumas feições superficiais, além da análise das características de balanço hídrico da bacia hidrográfica.

No entanto, apesar do conjunto de dados levantados e dos mapas confeccionados, devido ao pouco tempo disponível para o desenvolvimento do trabalho, as análises tornaram-se bastante preliminares, considerando apenas os aspectos gerais da bacia.

Assim sendo, a definição do mapa geoambiental adveio do cruzamento das informações levantadas com os mapas elaborados. A bacia hidrográfica foi compartimentada em nove unidades, definidas como Unidades Geoambientais, as quais apresentavam aspectos semelhantes frente às características analisadas. O mapa geoambiental apresentou, porém, características gerais do relevo, relacionadas ao substrato geológico, hipsometria, declividade e arranjo espacial da drenagem.

Frente à necessidade de um maior detalhamento das informações apresentadas, bem como da incorporação de variáveis, até então desconsideradas, e visando estabelecer a caracterização geoambiental da bacia com a definição das relações de potencialidades e fragilidades¹, destas unidades, fez-se necessário a continuidade dos estudos e análise da bacia hidrográfica do Rio Itu.

Neste sentido, propõe-se o detalhamento e caracterização dos elementos físicos da paisagem, a fim de estabelecer o mapeamento geomorfológico em níveis taxonômicos propostos por Ross (1992), como também a identificação dos processos de uso e ocupação do solo e a caracterização geoambiental das unidades, buscando estabelecer as potencialidades e fragilidades de uso destas unidades.

De forma geral, será realizada a aplicação de novos parâmetros e atributos para a definição e caracterização geoambiental, utilizando-se o mapeamento geomorfológico como produto intermediário somado aos processos de uso e ocupação da área, na definição das características geoambientais.

A compartimentação geomorfológica é considerada produto intermediário, porém fundamental na definição das características geoambientais, visto que apresenta o agrupamento das características físicas levantadas e analisadas, o que se torna a base para a caracterização geoambiental, quando relacionada à dinâmica do uso e ocupação da terra.

O oeste do RS se caracteriza pelas áreas de campos nativos, regionalmente, conhecido como Campanha Gaúcha e tradicionalmente utilizado para a criação de gado. Porém, nas últimas décadas e mais constantemente nos últimos anos, observam-se significativas mudanças na dinâmica da região, onde os campos passam a ser explorados por culturas agrícolas e espécies exóticas.

¹ O termo fragilidade neste trabalho refere-se à manifestação de susceptibilidades de determinadas áreas (unidades geoambientais), ocasionadas pelas alterações na dinâmica natural através da intervenção antrópicas, ou pela própria susceptibilidade natural da área. Na

Outra característica bastante marcante da região é o desenvolvimento de processos de arenização e voçorocamentos, associados aos substratos geológicos muito friáveis.

As mudanças na dinâmica do uso e ocupação na região, associada à sua fragilidade natural, tem intensificado bastante os processos de dinâmica superficial².

Assim sendo, a seguir é apresentada a contextualização da problemática em análise, bem como os objetivos e hipóteses que norteiam o desenvolvimento do presente trabalho.

1.2 Definição da Problemática e Objetivos

O estudo das formas de relevo se apresenta como objeto de estudo da Geomorfologia, tanto nos aspectos de gênese como evolução destas formas. Embora o relevo, numa rápida observação, pareça ser um componente estático do meio, está em constante processo de evolução, com velocidades variadas, interagindo, a todo instante, com os demais componentes da paisagem.

As formas de relevo não são componentes independentes na paisagem e, conseqüentemente, sua evolução também não é. Quando se pretende entender a evolução da forma de relevo de uma determinada área, torna-se necessário considerar as características geológicas, climáticas, hidrológicas, pedológicas e biológicas da respectiva área, bem como a atuação antrópicas, pois o homem também é um componente do meio e um agente modificador de extrema atuação.

² Por processos de dinâmica superficial entende-se como responsável pela modelagem da superfície terrestre. O resultado dessa modelagem é a paisagem, estudada pela Geomorfologia, ramo das geociências abordado tanto pela Geologia como pela Geografia Física (INFANTI JR. E FORNASARI FILHO, 1998). Assim sendo, neste trabalho a terminologia processos de dinâmica superficial será utilizado mencionando-se os processos de erosão do tipo ravinas e voçorocas e arenização, por serem os mais comuns na bacia hidrográfica em estudo.

O estudo da geomorfologia, por permitir a análise espaço-temporal dos processos atuantes no modelado do relevo terrestre, possibilita identificar ou prever processos de degradação ambiental relacionado aos elementos físicos em uma determinada área. A análise geomorfológica constitui-se, desta forma, em um importante instrumento de análise e determinação de ações mitigadoras ou preventivas para evitar esses impactos ao meio ambiente.

Desta maneira, o conhecimento geomorfológico insere-se na análise e estudo ambientais, contribuindo para orientar a instalação das atividades humanas (CHRISTOFOLETTI, 2001). Dentro desse contexto, a geomorfologia nos fornece uma visão integrada do meio físico, pois considera as variáveis responsáveis pela estrutura resultante da paisagem “*visando à organização de um esboço geomorfológico e estabelecendo uma síntese da compartimentação e seus reflexos na ocupação do solo*” (CASSETI, 1981).

A intensificação dos processos geomorfológicos está intimamente ligada ao grau de intervenção das atividades humanas. Nos ambientes naturais encontraríamos um estado de equilíbrio dinâmico em função de suas características físicas e genéticas. A partir do momento em que as atividades humanas passam a ser desenvolvidas nesses ambientes, o equilíbrio dinâmico é modificado, passando a ser regida pelo grau de intervenção (ROSS, 1998).

Muitas vezes, as atividades humanas acabam destruindo ou esgotando recursos naturais, devido a ações sem planejamentos ou conhecimento detalhado das características da área. Neste contexto, as análises geomorfológicas contribuem para os zoneamentos ambientais, permitindo identificar porções do terreno que apresentam áreas de interesses econômicos, sociais ou ambientais que devem ser preservadas possibilitando intervenções que auxiliam no planejamento de uso e proteção destas áreas (GRECCHI E PEJON, 1998). Esta caracterização é elaborada através da identificação de informações que visam servir de instrumento no ordenamento e planejamento territorial através do direcionamento das atividades a serem desenvolvidas.

A compartimentação ou zoneamento ambiental tem como finalidade a organização de determinada área em unidades com semelhanças quanto às

potencialidades de uso e ocupação, devido às condições atuais da área, referentes tanto às características físicas quanto às características de ação antrópica que constituirão sua dinâmica atual.

Conforme Macedo (1995), o processo de avaliação ambiental permite identificar suas potencialidades quanto ao uso e ocupação, possibilitando orientar decisões relacionadas à preservação, conservação e desenvolvimento.

O crescente aumento da utilização dos recursos naturais exige, cada vez mais, a elaboração de estudos voltados à harmonização das interações entre a sociedade e o ambiente em que se vive. Desta forma, o planejamento não deve apenas limitar-se aos aspectos sócio-econômicos, mas é de fundamental importância, levar em consideração a análise das características dos elementos componentes do meio físico (VEDOVELLO, 2004).

No oeste do Rio Grande do Sul, o tema degradação ambiental reveste-se de importância, na medida que, a realização de estudos nessas áreas degradadas, relacionam-se às situações de maior preocupação ecológicas no Estado. Os dados cartográficos disponíveis, em escalas maiores, são raros e os trabalhos, voltados para a caracterização dos processos de dinâmica superficial como as voçorocas³ e a formação de núcleos de arenização⁴, necessitam de maiores detalhamentos.

Suertegaray (1995) considera que o Oeste do Rio Grande do Sul apresenta grande fragilidade ambiental, decorrente de um paleoambiente semi-árido ou semi-úmido estepário que, mais recentemente, sofreu umidificação. Com esta umidificação, possibilitou-se a instalação, nas áreas mais úmidas (vales e vertentes de encostas abrigadas) de vegetações arbóreas: mata de

³, Voçorocas são feições erosivas permanentes nas encostas, possuindo paredes laterais íngremes e, em geral, fundo chato, ocorrendo fluxo de água no seu interior durante os eventos chuvosos. Algumas vezes, as voçorocas se aprofundam tanto, que chegam a atingir o lençol freático (CUNHA E GUERRA, 2001).

⁴ Por arenização entende-se o processo de retrabalhamento de depósitos arenosos pouco ou não consolidados que acarreta nestas áreas uma dificuldade de fixação da cobertura vegetal, devido à intensa mobilidade dos sedimentos pela ação das águas e dos ventos (SUERTEGARAY, 1987).

galeria, ou mata de encosta, insuficiente para eliminar ou mascarar os vestígios da paisagem pré-moderna.

Klamt e Schneider (1995), trabalhando sobre a susceptibilidade dos solos da campanha gaúcha em relação à erosão hídrica e eólica, destacam a forte relação destes processos erosivos com a alteração dos arenitos muito friáveis.

Segundo Suertegaray, *et al.* (2001), por ser uma região onde predominava campos de pecuária extensiva, a mecanização era menos necessária, nas décadas de 1970 e 1980, com a introdução do cultivo da soja e a modernização da lavoura de arroz, se inicia a incorporação de tratores e automatização das lavouras. Os censos agropecuários de 1970 e 1985 registraram aumento de 166% de número de tratores na região.

Conforme destaca Ab' Saber (2003), ao sul-sudoeste de Alegrete, em áreas de solo arenosos, vem ocorrendo escarificações por ações antrópicas e manejo agrícola inadequado. O desmate da vegetação chaquenha e de pradarias mistas para o plantio de soja, bem como o uso inconseqüente de máquinas agrícolas pesadas e escarificadoras provocaram uma aceleração dos processos erosivos. Desta forma, vastos setores das campinas regionais foram deixando de ser utilizadas tanto para o pastoreio como para o cultivo, necessitando de usos alternativos como florestas plantadas de interesse econômico.

A constatação mais evidente oriunda destas observações é a de que zonas marcadas por grande susceptibilidade à dinâmica superficial, como as registradas no oeste do Rio Grande do Sul, exigem técnicas adequadas de uso e ocupação, para que não haja degradação ou intensificação dos processos erosivos.

Seguindo esta linha de raciocínio, o presente trabalho apresenta como objetivo geral, a compartimentação geomorfológica e a caracterização das unidades geoambientais da bacia hidrográfica, classificando-as quanto à

aptidão e restrição à ocupação, através das potencialidades e fragilidades na mesma.

Portanto, os objetivos específicos a serem atendidos na pesquisa são:

- a) Caracterizar os elementos físicos da paisagem, analisando os seguintes atributos: condições climáticas (distribuição da precipitação), compartimentação da rede de drenagem, características do relevo, características litológicas e características dos solos;
- b) Definir a compartimentação geomorfológica em unidades taxonômicas da BHRI;
- c) Estabelecer o padrão do uso e ocupação da terra e a cobertura vegetal da bacia hidrográfica;
- d) Pontuar os agentes causadores dos processos de transformação da paisagem;
- e) Elaborar um quadro síntese da inter-relação entre as potencialidades e fragilidades.

A justificativa da escolha da bacia hidrográfica do Rio Itu, como unidade de análise, ocorreu devido esta apresentar processos significativos de dinâmicas superficiais como voçorocas e areais, bem como apresentar áreas sem estas ocorrências, além de a bacia estar inserida em diferentes compartimentos geomorfológicos do estado do Rio Grande do Sul. Estes compartimentos podem ser encontrados na obra de Suertegaray e Fugimoto de 2004.

A necessidade de maiores detalhamentos de análises e aplicação de diferentes procedimentos metodológicos para a caracterização geoambiental, identificadas através dos trabalhos desenvolvidos no mestrado, serviu de instigação para o desenvolvimento da pesquisa na BHRI.

As hipóteses, que norteiam este trabalho, indicam que o detalhamento dos níveis taxonômicos, do mapeamento geomorfológico, melhora a qualidade dos resultados da análise geoambiental, e que os processos de uso e ocupação da terra e a cobertura vegetal apresentam estreita relação com as

características geoambientais, definindo condições de potencialidades e fragilidades da área.

No item a seguir, apresenta-se a Bacia Hidrográfica do Rio Itu e a sua contextualização regional.

1.3 Apresentação da Área

O Rio Itu é afluente da margem direita do Rio Ibicuí e localiza-se no oeste do Rio Grande do Sul, estendendo-se pelos municípios de São Francisco de Assis, Manuel Viana, Itaqui, Unistalda, Maçambará, São Borja e Santiago. Com uma área de 2.809,61 km², a bacia hidrográfica está inserida entre as coordenadas geográficas de 54°52'20" a 55°53'15" de longitude oeste, em relação ao meridiano de Greenwich, e de 28°58'00" a 29°24'40" de latitude sul, em relação à linha do Equador, como ilustra a Figura 01.

A bacia hidrográfica do Rio Itu, apresenta, segundo o Sistema Universal de Classificação Climática de Köppen, um clima Temperado Úmido, na variedade de Clima Subtropical, do tipo "Cfa"⁵.

Para entender o clima da região, é necessário considerar, além dos fatores locais estáticos, os mecanismos atmosféricos de maior abrangência e amplitude. Assim, a precipitação pluviométrica é devida, em quase sua totalidade, aos sistemas frontais que atingem a área, quando o deslocamento de massas de ar com temperaturas diferentes provocam instabilidades convectivas e, por consequência, formação de nuvens e ocorrência de chuvas.

Como toda a Região Sul do Brasil, o território sul-rio-grandense situa-se em zona climaticamente de transição e, por isso, as principais características climáticas da área de estudo refletem a participação tanto dos Sistemas

⁵ De acordo com essa classificação, a subcategoria "f" corresponde às chuvas distribuídas ao longo do ano, não existindo uma estação seca (o mês mais seco apresenta uma precipitação de, no mínimo 60 mm). A variação tipo "a" é relativa a verões muito quentes quando a temperatura média do mês mais quente supera os 22°C.

Atmosféricos Extratropicais (massas e frentes polares) quanto dos Intertropicais (massas tropicais e Correntes Perturbadas), embora os primeiros exerçam o controle dos tipos de tempo (SARTORI, 2003).

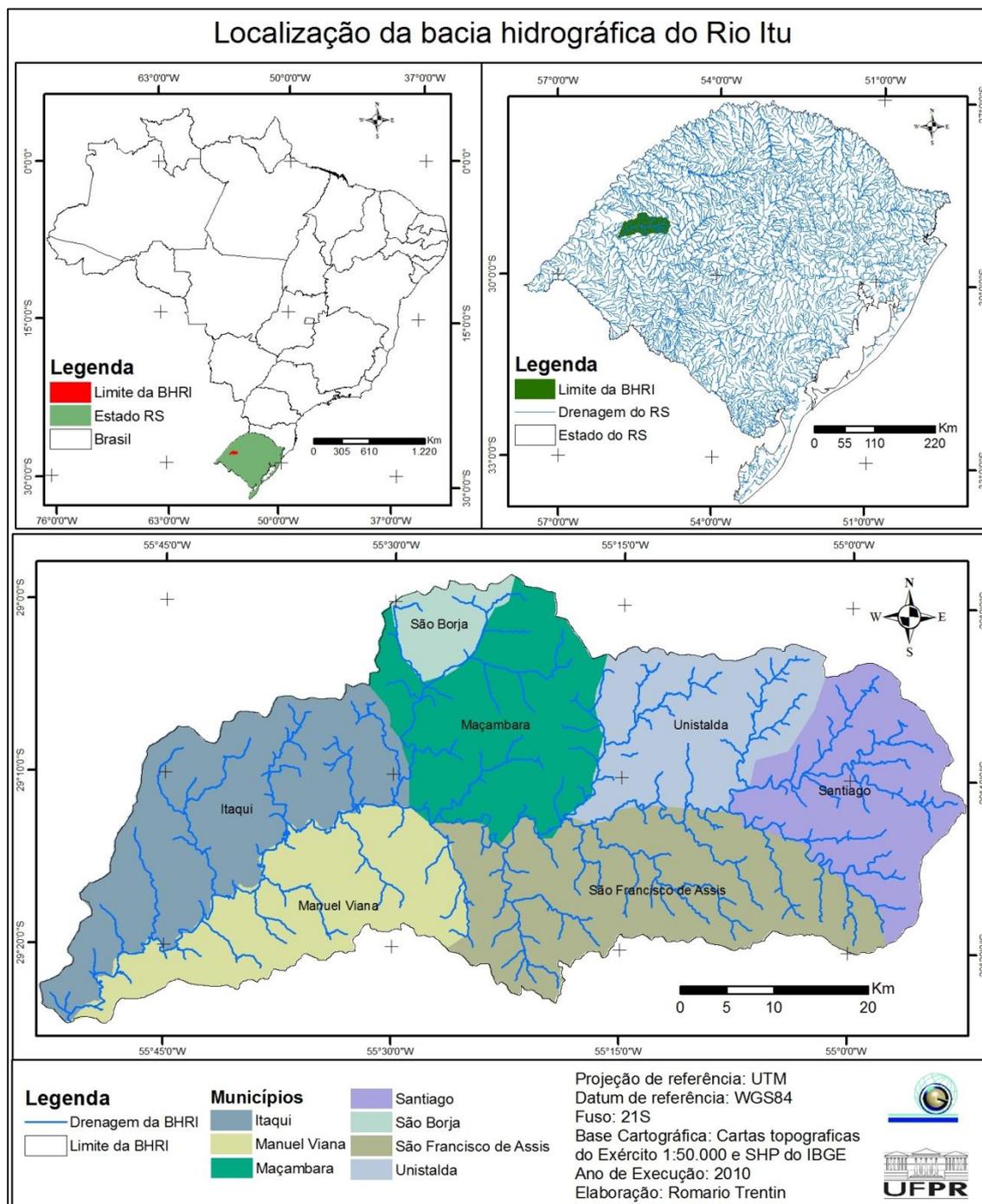


Figura 01 – Localização da bacia hidrográfica do Rio Itu em relação ao estado do Rio Grande do Sul e abaixo a situação dos municípios que compõem a bacia.

Assim, a posição subtropical faz com que a região seja área de confronto periódico entre forças opostas, provocado pelo avanço sistemático dos Sistemas Atmosféricos de origem polar em direção aos sistemas polares tropicalizados (Massa Polar Velha) ou aos sistemas de origem tropical (Massa Tropical Atlântica ou Continental), proporcionando a distribuição das chuvas durante todo o ano, motivada pelas sucessivas passagens frontais, sem ocorrência de estação seca no regime pluviométrico.

Entretanto, ocorre a variabilidade têmporo-espacial das precipitações, ocasionando episódios de longas estiagens ou de enchentes, que podem acontecer em qualquer época do ano e que refletem alterações na habitualidade da circulação atmosférica nas escalas regionais e zonais, conforme Sartori (2003), em parte provocadas pelos, hoje conhecidos, fenômenos de “*El Niño*”⁶ e “*La Niña*”.

Fontana e Berlato (1997), com base em séries históricas de 29 estações meteorológicas e período de 1913-1995, estudaram a distribuição temporal e espacial da precipitação pluvial do Estado, em anos de *El Niño* e *La Niña*, comparada com a média climatológica.

Em relação à distribuição temporal, os autores mostraram que, em anos de *El Niño*, ocorre precipitação pluvial superior à média em quase todos os meses do ano, mas com destaque para dois períodos. O período principal é na primavera e início do verão, especialmente em outubro e novembro do ano de início do fenômeno, com um "repique" no final do outono e início do inverno do ano seguinte, especialmente maio e junho.

Durante *La Niña*, observa-se precipitação pluvial abaixo da média na maioria dos meses do ano, com destaque para dois períodos mais ou menos coincidentes com os do *El Niño*. O período de maiores anomalias negativas é também na primavera, especialmente outubro e novembro do ano de início do fenômeno com um "repique" no outono e início do inverno do ano seguinte.

⁶ O nome *El Niño* foi dado pelos pescadores das costas do Peru e Equador, pelo fato da “corrente de água quente” se apresentar mais intensa perto de 25 de dezembro, época do nascimento do menino Jesus. Por oposição, a fase fria foi denominada de *La Niña* (BERLATO *et al.*, 2005).

Com relação à distribuição espacial, os autores mostraram, ainda, que os maiores impactos tanto de *El Niño* como *La Niña*, na precipitação pluvial, ocorrem na região noroeste do Rio Grande do Sul.

A variação espacial da chuva sofre, em parte, a influência do relevo, já que o estado possui a serra geral no seu setor central, com alinhamento perpendicular à direção geral de deslocamento das frentes polares, que é principalmente de sudoeste para nordeste (SW => NE), desde o extremo sul do Oceano Pacífico até as latitudes tropicais do Oceano Atlântico, o que determina alterações no volume pluviométrico registrado nas regiões climáticas do estado (SARTORI, 2003).

Quanto à configuração campestres do oeste do Rio Grande do Sul, o mesmo caracteriza-se pelos campos sulinos ou “Bioma Pampa”, que foram assim nomeados, pelo estudo de prioridades para a conservação e o uso sustentável da biodiversidade da Mata Atlântica e dos Campos Sulinos.

De maneira genérica, os campos da região Sul do Brasil são denominados como “pampa”, termo de origem indígena para “região plana”. Essa denominação, no entanto, corresponde somente a um dos tipos de campo, encontrado ao sul do Estado do Rio Grande do Sul, atingindo o Uruguai e a Argentina (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006).

Esse bioma abrange uma área de 210 mil km² e no Brasil ocorre apenas no Estado do Rio Grande do Sul. Constitui a porção brasileira dos Pampas Sul-Americanos que se estendem pelos territórios do Uruguai e Argentina, onde são classificados como Estepe no sistema fitogeográfico internacional (VELOSO *et al.*, 1991).

Os campos constituem a base natural da cultura e da identidade rio-grandense, associada desde tempos imemoriais à criação tradicional de gado. Na medida em que, essa atividade é substituída por um uso mais intensivo, esse patrimônio natural e cultural do Rio Grande do Sul tende a desaparecer (PILLAR, 2006).

A primeira vista, a vegetação campestre mostra uma aparente uniformidade, apresentando nos topos mais planos um tapete herbáceo baixo, de 60 cm a 1 m, ralo e pobre em espécies, que se torna mais denso e rico nas encostas, predominando gramíneas compostas e leguminosas. A mata ciliar apresenta inúmeras espécies arbóreas de interesse comercial (IBAMA, 2008).

Segundo Ab'Saber (2003):

Pradarias mistas, com floretas mistas subtropicais, recobriam grandes espaços da Campanha Gaúcha. Arrozais intermináveis foram implantados em todas as planícies das depressões sul-rio-grandenses, enquanto, recentemente, a soja prolifera intensamente na paisagem agrária das áreas de basalto decomposto, situadas a oeste e a nordeste de Alegrete, assim como nas terras pretas de Bagé.

Conforme Marchiori (1995), quando os primeiros europeus chegaram ao Estado, a estrutura fitossociológica dos campos era bastante diversa da que hoje observa-se nos chamados “campos nativos”, “*dominavam macegas tão altas, em grande parte da área, que alcançavam as pernas dos gaúchos em suas montarias*”. Os principais herbívoros, então existentes, como as capivaras e veados, exerciam influência limitada e em áreas restritas, como as várzeas dos rios e as periferias das matas, respectivamente. A fauna brasileira carecia de grandes herbívoros, como nas pradarias norte-americanas.

O autor destaca que, embora substancialmente alterada na atualidade, as paisagens do Rio Grande do Sul ainda permitem reconhecer o seu estado original. A característica mais notável da região é a grande predominância de formações campestres. A vegetação arbórea restringe-se praticamente a certas encostas dos chapadões de arenito, sobretudo ao norte do Rio Ibicuí, bem como as faixas que acompanham os principais cursos de água, tratando-se nos dois casos, de habitat favorecidos por suprimento mais regular de água.

Segundo Hasenack e Cordeiro (2006), nos pampas a atividade de pastoreio tem sido praticada em sua forma tradicional, isto é, com animais criados de forma extensiva sobre pastagens nativas. Isso é possível porque os pampas possuem áreas de pastagem natural muito ricas, com grande

quantidade de espécies vegetais que proporcionam uma alimentação diversificada para o gado. É, portanto, um local privilegiado para os produtores.

Ab'Saber (2003) destaca ainda:

Ao longo das perspectivas distendidas do domínio das coxilhas, dotadas de pradarias mistas, existem pequenos retiros de estâncias envolvidas por cercas vivas e arvoredos baixos, além de minúsculos bosques de eucalipto que servem como defesa contra o frio e o forte vento minuíano. Diante da pergunta sobre qual seria a função desses minúsculos bosques um peão da Campanha respondeu rapidamente: "Vizinho, n'um sabe: aquelas árvores servem pra defender o gado do frio, do vento ou do muito sol e calor do verão". Fiquei pensando que muita gente no mundo tem menos proteção do que o gado da terra gaúcha.

Outras atividades econômicas importantes, baseadas na utilização dos campos, são as culturas de arroz, milho, trigo e soja, muitas vezes praticada em associação com a criação de gado bovino e ovino. Em determinadas áreas a expansão da soja e também do trigo levou ao desaparecimento dos campos nativos e à derrubada das matas e hoje essas culturas vêm provocando gradativa diminuição da fertilidade dos solos. Disso, também resultam a erosão, a compactação e a perda de matéria orgânica.

A região sudoeste do RS, que tinha como atividade predominante a criação de gado extensiva, é incorporada, a partir da década de 1970, à modernização da agricultura brasileira com uso sucessivo e intensivo dos solos.

Segundo Pillar (2006), estima-se que cerca de 4,7 milhões de hectares de Campos⁷, nos últimos 35 anos, foram convertidos em lavouras e, mais recentemente, em florestas plantadas. Desde 1970 foi completamente transformado, aproximadamente, um terço dos habitats campestres, sem falar nos campos degradados pelo cultivo, mau-manejo pecuário e invasão de espécies exóticas.

⁷ Neste caso o termo campo refere-se não apenas aos campos da campanha gaúcha, mas também as áreas de campo sobre o planalto, também conhecidos como "Campos de Cima da Serra".

A conversão dos Campos, em outros tipos de uso, vem transformando profundamente sua paisagem regional e colocando suas espécies sob ameaça de extinção. As queimadas ilegais, praticadas anualmente, estão entre os principais problemas que afetam os Campos Sulinos (IBAMA, 2008).

A expansão do plantio de soja e a proliferação descontrolada de espécies exóticas têm descaracterizado intensamente a paisagem e ocasionado a extinção da biodiversidade do bioma, a quebra de seu equilíbrio hídrico e a descaracterização da paisagem.

Em solo gaúcho, a vegetação nativa que compõe os campos é primordialmente vegetação rasteira e herbácea. Isso descaracteriza até mesmo o uso do termo “reflorestamento”, já que nestas áreas as florestas existiram somente no período Permiano (280 Ma) (BRACK, 2005). O que se caracteriza então é um “florestamento”. Uma alteração completa de um ecossistema e talvez a extinção de um bioma nativo: o único ambiente no mundo com tais características.

Atualmente, o Sudoeste e Oeste do Rio Grande do Sul vêm sofrendo a maciça implantação de *Pinus sp.* e *Eucalyptus sp.*, em decorrência da transferência de indústrias de celulose para a região, onde forte investimento internacional vem contribuindo para a implantação destas espécies. Já se observa áreas com total florestamento, sem estudos ambientais mais detalhados da área.

Conforme Marchiori (1995), a implantação de florestas em áreas atualmente improdutivas, como é o caso dos areais, atende, por outro lado a necessidade de destinar as melhores terras para pastagens ou cultivos agrícolas. Cabe ressaltar, contudo, que a fragilidade deste ecossistema será intensificada com o emprego de métodos tradicionais de silvicultura, como o corte raso.

Para Pillar (2006), o mais grave é que esse processo está acontecendo sem que limites sejam efetivamente estabelecidos e aplicados, por que:

- (1) a legislação federal que protege os campos no tocante à obrigatoriedade de manter reserva legal em cada propriedade é recente e, de certa forma, ainda precária;
- (2) a legislação tem sido negligenciada, em função da incapacidade operacional dos órgãos públicos responsáveis pelo licenciamento e fiscalização e pela proteção à diversidade biológica;
- (3) políticas públicas, especialmente de crédito, têm estimulado a conversão dos campos em outros usos;
- (4) os campos estão pobremente representados no sistema de unidades de conservação. Ficando, assim evidente, que comparado ao nível de proteção garantida às florestas, os campos têm sido pouco valorizados.

A importância da preservação do Bioma Pampa, ou Campos Sulinos, está atrelada ao fato de que, este sempre constituiu a maior parte da cobertura vegetal natural do estado do Rio Grande do Sul. Assim sendo, foi sobre este que se desenvolveu a pecuária, maior atividade econômica que alavancou o início do desenvolvimento do Estado. Além disso, este ecossistema caracteriza-se por abrigar uma rica e diversa fauna, e também é o responsável em boa parte pela manutenção da preservação e qualidade das águas das bacias hidrográficas da região.

Assim sendo, o mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do Rio Itu e a análise e caracterização das unidades geoambientais têm como finalidade servir de subsídio para o manejo das unidades, podendo auxiliar nas obras de engenharia, atividades agrícolas, recursos hídricos, gestão ambiental, dentre outros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo visa apresentar o referencial teórico e conceitual utilizado para análise e caracterização do objeto investigado na presente pesquisa.

Inicialmente, apresenta-se um referencial sobre a abordagem sistêmica e análise da paisagem. Em seguida, destaca-se o embasamento teórico-metodológico sobre mapeamento geomorfológico, análise e caracterização geoambiental, na forma de compartimentação, ou seja, individualização de áreas com características semelhantes referentes à determinadas características ambientais.

2.1 Análise Sistêmica Aplicada a Questões Ambientais

A Geografia começa a utilizar a análise sistêmica, como subsídio para uma melhor compreensão das análises realizadas, em especial nos estudos ambientais, criando oportunidades de reconsiderar críticas e conceitos utilizados, contribuindo ainda para melhor focalizar as pesquisas e delinear com maior exatidão o setor de estudo desta ciência.

Segundo Christofolletti (1982), a visão sistêmica incorporada à Nova Geografia, através da aplicação da Teoria Geral dos Sistemas, serviria ao geógrafo como instrumento conceitual que lhe facilitaria tratar dos conjuntos complexos, como os da organização espacial.

A teoria sistêmica, pensada sobre o ponto de vista metodológico, foi criada na década de 1920, pelo biólogo Ludwig Von Bertalanffy, sob a denominação Teoria Geral dos Sistemas, com o propósito de constituir-se em um amplo campo teórico e conceitual, levando a uma noção de mundo integradora, a respeito da estrutura, organização, funcionamento e dinâmica dos sistemas (CHRISTOFOLETTI, 2004).

A obra de Bertalanffy (1976) apresenta a "Teoria Geral dos Sistemas", cujos princípios gerais se caracterizam por serem aplicáveis aos sistemas em geral, quer sejam eles de natureza física, biológica, ou sociológica. A teoria se constitui em uma ferramenta útil capaz de fornecer modelos a serem utilizados em diferentes campos do conhecimento.

O autor destaca, ainda, que o surgimento da Teoria Geral dos Sistemas, ocorreu em um momento em que o modelo mecanicista e o tratamento por parte de diversos assuntos, se mostravam insuficientes para atender os problemas de caráter teórico vigentes, necessitando um novo modelo de análise que pudesse sanar estas lacunas (BERTALANFFY, 1976).

Assim sendo, o desenvolvimento de uma metodologia própria, começou a ser um desafio constante entre os geógrafos, e dentre elas a Teoria Geral dos Sistemas. Suertegaray (2002) enfatiza que o método proveniente da biologia dos anos 20, "Teoria Geral dos Sistemas", foi adotado na Geografia com o objetivo de promover uma análise integrada da Natureza.

Neste sentido, Vicente e Perez Filho (2003) destacam:

A abordagem sistêmica na Geografia insere-se na própria necessidade de reflexão sobre a apreensão analítica do complexo ambiental, através da evolução e interação de seus componentes, sendo nesse contexto que surgem as propostas de cunho sistêmico e sua fundamentação integrada da abordagem do objeto de estudo, e do entendimento do todo (sistema) e de sua inerente complexidade.

Gregory (1992) lembra que é neste período que emerge na Geografia Física, pesquisas realizadas sob a perspectiva sistêmica e destaca que este método busca do entendimento integrado do espaço, permitindo ao geógrafo "concatenar mais intimamente os ramos da Geografia Física e, deste modo, fazer da unidade do meio físico prospecto e mais realista". Assim, difundiu-se, em todas as áreas da Geografia Física, e adotada sucessivamente pela Biogeografia, Geografia dos Solos, Climatologia e Geomorfologia.

De forma geral, pode-se sintetizar a formulação de sistema proposta por Bertalanffy (1976), como sendo um conjunto de elementos interligados para formar um todo e que possui propriedades e características próprias, que não

são encontradas em nenhum dos elementos tomados isoladamente, assim, formando um conjunto de objetos unidos por alguma forma de interação ou interdependência e cujas unidades são reciprocamente organizadas e relacionadas.

Os primeiros trabalhos a adotar a idéia de aplicação de sistema na Geografia Física pertencem a autores da escola anglo-americana, como Strahler (1950; 1952). Para Christofolletti (2002), a manifestação mais explícita acerca do uso da teoria sistêmica, começou a aparecer na década de sessenta e setenta, servindo como ponto de partida os artigos de Chorley sobre geomorfologia.

Segundo Chorley (1975), a geomorfologia devia ser vista como se fosse um sistema: o sistema geomorfológico composto por um complexo integrado de formas de relevo. Para o autor:

O enfoque sistêmico geral das formas de relevo baseia-se numa atitude ampla em relação a grupos de fenômenos geomorfológico, originada da experiência (talvez de algum outro tipo de análise, por exemplo: modelos de projetos experimentais) ou da intuição. Para essa perspectiva, a ênfase está na organização e na operação do sistema como um todo ou como componentes ligados, em vez de se basear no estudo detalhado de elementos individuais do sistema (BERTALANFFY, 1976). No entanto, o conhecimento detalhado das operações internas das partes do sistema, (obtido talvez dos modelos de projetos experimentais) é útil na escolha de um modelo apropriado de sistema geral. (CHORLEY, 1975).

Christofolletti (1999) destaca ainda, que os trabalhos desenvolvidos por Sotchava (1962), Bertrand (1968) e Tricart (1977), também se tornaram referência na Geografia Física, porém, estes marcaram uma transformação nas concepções e nos trabalhos da então denominada Geografia Física. Entre as transformações, destaca-se a incorporação de conceitos como ecossistema, conceito utilizado pela biologia e pela ecologia e incorporado à Geografia dando origem ao conceito de geossistema. O geossistema, enquanto conceito permitiu a inserção da dimensão humana, como um dos elementos de análise.

Tricart (1977) define sistema como:

O melhor instrumento lógico de que dispomos para estudar os problemas do meio ambiente. Ele permite adotar uma atitude dialética entre necessidade de análise – que resulta do próprio progresso de ciência e das técnicas de investigação – e a necessidade, contrária, de uma visão de conjunto, capaz de ensejar uma atuação eficaz sobre esse meio ambiente. Ainda mais, o conceito de sistema é, por natureza, de caráter dinâmico e por isso adequado a fornecer os conhecimentos básicos para uma atuação – o que não é o caso de um inventário, por natureza, estático.

O termo geossistema (Sistema Geográfico ou Complexo Natural Territorial), proposto inicialmente por Sotchava, na década de 1960, propunha o estudo da dinâmica e estrutura das paisagens pelo viés sistêmico, através da delimitação e hierarquização de características homogêneas. Embora, Sotchava foi o pioneiro a introduzir o termo geossistema, foi a partir dos estudos de Bertrand que o conceito geossistêmico ganhou mais consistência.

Sotchava (1977) chama a atenção para o fato de que os geossistemas, embora sejam considerados "fenômenos naturais", devem ser estudados à luz dos fatores econômicos e sociais que influenciam sua estrutura. Os geossistemas podem refletir parâmetros sociais e econômicos que influenciam importantes conexões em seu interior. Essas influências antropogênicas podem representar o estado diverso do geossistema em relação ao seu estado original.

Nessa ótica, Bertrand (1972) destaca que o geossistema corresponde a um modelo de interpretação da paisagem, e como tal, busca o entendimento desta a partir dos elementos que a compõem, resultando da combinação de um potencial ecológico (subsistema abiótico, englobando o clima, a hidrologia e a geomorfologia), uma exploração biológica (subsistema biótico, contendo a vegetação, solo e fauna) e uma ação antrópica (subsistema antrópico).

Monteiro (2000), por sua vez, considera que o geossistema constitui um sistema singular, complexo onde interagem os elementos humanos, físicos, químicos e biológicos, e onde os elementos sócio-econômicos não constituem um sistema antagonico e oponente, mas sim estão incluídos no funcionamento do sistema. Trata-se, pois, de considerar que os elementos do sistema antrópico interferem nos processos e fluxos de matéria e energia (dinâmica da

paisagem), repercutindo inclusive nas respostas da estruturação espacial geossistêmica.

O termo geossistema definido por Christofolletti (1980) tem a finalidade de hierarquizar o território em sistemas espaciais homogêneos, através de uma metodologia que atente para as relações naturais-antrópicas, de forma que os problemas e o potencial de cada área sejam definidos segundo uma dinâmica própria.

Para Bolós (1981) “Los criterios para clasificar son múltiples, pero los fundamentales para la clasificación del geossistema son: a) los referentes a la estructura; b) los referentes al funcionamiento y a la dinámica en relación con la energía”.

Monteiro (2000) destaca que:

o tratamento geossistêmico visa à integração das variáveis naturais e antrópicas (etapa análise), fundindo recursos, usos e problemas configurados (etapa integração) em unidades homogêneas assumindo papel primordial na estrutura espacial (etapa síntese) que conduz ao esclarecimento do estado real da qualidade do ambiente na (etapa aplicação) do “diagnóstico”.

Freitas e Cunha (2004), abordando sobre a compartimentação espacial, através da visão geossistêmica, apontam que este método estabelece critérios que buscam a identificação e agrupamento do comportamento das variáveis ambientais, destacando os processos morfodinâmicos da paisagem de origem natural (geologia, geomorfologia, clima, hidrologia e ecossistemas) e antrópica (baseada na ocupação sócio-histórica).

Desta forma, pode-se destacar que o geossistema corresponde a um tipo especial de sistema e ao modelo teórico de interpretação da paisagem, a qual, fundamentada na análise sistêmica, deve ser entendida como a síntese entre os elementos naturais e sociais e que a análise e caracterização geoambiental da BHRI se utilizará desta inter-relação de elementos.

Assim sendo, o item a seguir apresenta uma contextualização da análise da paisagem, que muito se baseia no próprio modelo geossistêmico e a Geografia a tem como uma de suas categorias de análise.

2.2 Análise da Paisagem Aplicada à Geografia

Dentro do enfoque da pesquisa, serão aqui apresentados conceitos e autores que tratam a análise da Paisagem sobre a mesma perspectiva, a fim de entender as definições, aplicações e compreender a categoria paisagem como forma de análise na Geografia, sem a preocupação de apresentar um resgate epistemológico de Paisagem.

Na área da Geografia, cada vez mais têm-se preocupado com os aspectos mais concretos da paisagem, ou melhor, a “paisagem real”, o “espaço-objeto”. Para Rimbert (1973) *“a noção de paisagem depende, antes do mais, da maneira de observá-la, isto é, de apreender o espaço terrestre”, ou seja, a “imagem mental da paisagem”*.

Guerra e Marçal (2006) apontam que o conceito de paisagem é tido como um dos mais importantes termos que designam o campo de estudos da Ciência Geográfica, e sua abordagem varia de acordo com o horizonte epistemológico no qual a pesquisa está enquadrada.

Neste sentido, o método de análise da paisagem pode ser distinto, conforme o horizonte de análise do pesquisador. Para Verdum *et al.* (2007), esse método pode adotar três possibilidades de análise: a descritiva, a sistêmica⁸ e a perceptiva, e destaca ainda *“a complexidade da paisagem é o tempo morfológico (forma), constitucional (estrutura) e a funcionalidade, que não pode ser reduzida em partes”*

⁸ Esta pesquisa utiliza a análise da paisagem sistêmica, buscando através da correlação e inter-relações dos elementos físicos, biológicos e sociais, estabelecer a interface entre o natural/social.

A abordagem da paisagem, como sistema integrado, entendendo o ambiente como conjunto unificado emerge no período pós 1940, através do surgimento da Teoria Geral dos Sistemas, incorporando a expressão concreta da “*relação sociedade/natureza*”

A paisagem sistêmica aparece no cenário acadêmico como a relação homem – natureza, contrapondo-se à estética-descritiva, conforme Rougerie e Beroutchachvili (1991), e abre caminho para uma nova abordagem, relacionando a paisagem como ambiente ou como objeto, na qual podem ser realizadas ações de intervenções e de pesquisa científica.

Esse conhecimento começa a ser aplicado na Geografia pela escola anglo-americana através dos trabalhos de Strahler (1950), inicialmente na Geomorfologia, como contrapartida da perspectiva genético-evolutiva de Davis, e acabou por influenciar as investigações em diversos países europeus.

A designação “*Ecologia da Paisagem*” deve-se a Troll (1950), que mais tarde, em 1997, propôs o nome de “*Geoecologia*”, e era entendida como o estudo das inter-relações dos elementos físicos da paisagem. As análises da ecologia da paisagem foram enriquecendo-se, em relação aos estudos iniciais da escola de Troll, com o desenvolvimento, por um lado, da geomorfologia dinâmica e, por outro, dos estudos da botânica e da fitossociologia. Geomorfologia e vegetação foram sempre considerados dois constituintes fundamentais das paisagens terrestres; mas inicialmente eram tomados apenas os aspectos fisionômicos, em detrimento da dinâmica e das interações (SALA, 1982/83).

Tricart (1977) define unidades ecodinâmicas que corresponderiam à classificação das unidades de paisagem através do seu caráter dinâmico, levando-se em consideração as condições de transição entre as unidades de paisagem. Sua proposta conclui que o conceito ecológico associado ao instrumental lógico dos sistemas, permite estudar as relações entre os diversos componentes da paisagem. Também destaca a necessidade de estabelecer uma taxonomia fundada no grau de estabilidade e instabilidade da morfodinâmica.

No Brasil, um dos primeiros pesquisadores a incorporar o potencial biológico de ocupação da paisagem foi Monteiro (2000), sugerindo o uso do termo unidade de paisagem, associado à escala (por exemplo: Unidade de Paisagem na escala 1:50.000), para substituir os inúmeros termos utilizados, pelos vários autores, para nomear os níveis escalares da paisagem.

A análise de unidades de paisagem é uma abordagem geográfica que visa integrar os elementos da sociedade e natureza, utilizando princípios básicos, que segundo Monteiro (2000); Mateo Rodriguez (2000); Nucci (2001); Dias (2006) e Fávero (2007) são os seguintes:

- a construção de conceitos e métodos que buscam integrar os elementos da natureza e da sociedade de forma espacializada (e/ou georreferenciada);
- a valorização da natureza e do entendimento de suas leis para buscar estabelecer suas potencialidades (limites e aptidões para os usos antrópicos).

Para Mateo Rodriguez (2000), analisar a paisagem significa ter um domínio da concepção dialética e da essência dos fenômenos ambientais e geográficos, uma vez que, para manter sua inter-relação, seus traços e configurações se revelam através de três níveis dialéticos complexos, totalmente interdependentes entre si: a paisagem natural (natureza), a paisagem social (sociedade) e a paisagem cultural (transformações temporoespaciais).

Verdum (2005), utilizando definições de Rougerie e Beroutchachili (1991), destaca que as unidades de paisagem (UPs) podem ser diferenciadas a partir de quatro critérios: a forma, a função, a estrutura e a dinâmica.

- ✓ A *forma* corresponde ao aspecto visível de uma paisagem, compreendendo os elementos que podem ser facilmente reconhecidos em campo, bem como através de fotos aéreas e imagens de satélite;

- ✓ A *função* pode ser compreendida pelas atividades que foram ou estão sendo desenvolvidas e que estão materializadas nas formas criadas socialmente, por meio do espaço construído, das atividades agrícolas, mineradoras, entre outras, as quais também são reconhecidas em campo e pelos produtos do sensoriamento remoto, através das diferenciações que apresentam em relação aos aspectos das unidades de paisagem onde não ocorrem as diversas formas criadas socialmente;
- ✓ A *estrutura*, que não pode ser dissociado da forma e da função, sendo reconhecida como a que revela os valores e as funções dos diversos objetos que foram concebidos em determinado momento histórico. Desse modo, a estrutura revela a natureza social e econômica dos espaços construídos e que, de certa maneira, interfere na dinâmica da paisagem anterior às intervenções sociais;
- ✓ A *dinâmica* é a ação contínua que se desenvolve, ao longo do tempo, gerando diferenças entre as UPs, na sua continuidade e na sua mudança. O tempo (geológico e histórico) revela o movimento do passado ao presente, e este em direção ao futuro. Neste caso, as dinâmicas de cada UPs revelam para a sociedade significados que podem ser reconhecidos pelas formas e podem ser pensados em termos de intervenções que já foram realizadas e que serão propostas: o zoneamento, a efetivação e os usos. Assim, é de primordial importância o reconhecimento das diversas dinâmicas em cada uma das UPs, bem como de suas interconexões.

De acordo com Mateo Rodriguez *et al.* (2007), a análise da paisagem é um conjunto de métodos e procedimentos técnico analíticos que permitem conhecer e explicar a estrutura da paisagem, estudar suas propriedades, índices e parâmetros sobre a dinâmica, a história do desenvolvimento, os estados, os processos de formação e transformação da paisagem e a pesquisa das paisagens naturais, como sistemas manejáveis e administráveis.

Mesmo apresentando concepções diferentes entre si, principalmente no que concerne ao enfoque da dinâmica da paisagem e sua representação cartográfica, todas essas Teorias convergem para um ponto comum, a busca para sua explicação e sustentabilidade. Em todos os casos, a noção de espaço

- e da inter-relação do homem com seu ambiente - estão inseridas na maior parte das definições (ZACHARIA, 2006).

A análise da paisagem apresenta-se como uma linha de análise e discussões, bastante expressivas, na Geografia e isso em decorrência das teorias (Teoria Geral dos Sistemas, o Paradigma Geossistêmico, a Fisiologia da Paisagem e a Teoria da Ecologia da Paisagem), que iniciaram as abordagens da análise da paisagem e hoje são cada vez mais utilizadas com a visão de planejamentos ambientais.

Neste mesmo sentido, o mapeamento geomorfológico tem sido cada vez mais utilizado pela Geografia, no auxílio e diagnóstico dos estudos ambientais. Desta forma, o item a seguir apresenta a contextualização do mapeamento geomorfológico, enquanto desenvolvimento e aplicações nas análises ambientais.

2.3 Mapeamento Geomorfológico

A Geomorfologia consiste na identificação das formas de relevo, por meio de estudo de sua origem, estrutura, natureza das rochas, clima e dos fatores endógenos e exógenos responsáveis pelo modelado ou formação de determinados elementos da superfície terrestre.

Os estudos geomorfológicos podem contribuir no planejamento e conservação dos recursos naturais, estabelecendo formas racionais de uso destes recursos, sem alterar bruscamente o equilíbrio do ecossistema (PENTEADO-ORELHANA, 1985).

Ross (1998) salienta que a abordagem geomorfológica, nos estudos ambientais, dirige-se a uma geomorfologia que tem suas bases conceituais nas ciências da Terra, com fortes vínculos nas ciências Humanas, à medida que serve como suporte para o entendimento dos ambientes naturais, onde as sociedades humanas organizam o espaço físico-territorial.

Vários autores como Nir (1983); Hart (1986); Rodrigues (1997); entre outros, concordam que um dos maiores avanços da Geomorfologia aplicada foi o reconhecimento do homem como agente geomorfológico.

Conforme Gregory (1992), diversas tendências no estudo da geomorfologia antrópica vêm surgindo, dentre elas, a tendência de mensurar o grau de ação do homem, comparando-se às áreas modificadas e às não-modificadas por ele; a tendência da investigação dos riscos ambientais e a tendência da preocupação com o meio ambiente, com advertências acerca do impacto da atividade humana nos debates a respeito do grau de finitude dos recursos terrestres.

Abreu (1983) aponta que a processo de construção do conhecimento geomorfológico, se caracteriza pela incorporação de inúmeras formas de interpretação do relevo e, Casseti (1994), destaca que neste processo é possível identificar uma nítida vinculação aos campos de interesse da Geografia e da geologia, assumindo importância ao ser abordado no contexto geográfico, considerando sua contribuição no processo de ordenamento territorial

Desta forma, pode-se destacar que a análise geomorfológica apresenta grande eficiência na caracterização e diagnóstico do ambiente, levando-se em consideração a ocupação e uso dos recursos pela sociedade.

Rodrigues (1997) ressalta que a consideração do antrópico é essencialmente interdisciplinar e pode envolver os recursos da abordagem sistêmica. Envolve sobremaneira a questão da escala temporal, a noção de magnitude e frequência, noção de limiares, assim como processos e sistemas geomorfológicos.

A geomorfologia tem, na cartografia-geomorfológica, um dos mais importantes veículos de comunicação e análise dos resultados, obtidos nos estudos das formas e compartimentação do relevo (LUPINACCI, MENDES e SANCHEZ, 2003).

Conforme Florenzano (2008), os sistemas de mapeamento geomorfológicos nem sempre incluem todos os aspectos de relevo ou dão a eles a mesma ênfase e destaque. Alguns incluem, nos mapas geomorfológicos, informações geológicas, particularmente de litologias e de materiais inconsolidados ou de formações superficiais.

Neste sentido, pode-se destacar que o mapeamento geomorfológico apresenta uma grande diversidade de procedimentos que podem ser aplicados na análise e compartimentação dos processos de modelagem do relevo, e que podem atender as diferentes necessidades de análise.

No Brasil, o mapeamento geomorfológico tardou a iniciar. Segundo Barbosa, *et al.* (1984), até o ano de 1968, a experiência acumulada no Brasil sobre mapas geomorfológicos era pequena, desigual em escalas e geralmente apoiada em modelos estrangeiros. Quase toda ela baseada em aerofotos e elaborada por universidades.

Segundo Ab'Saber (1969), alguns dos primeiros trabalhos que tentaram ilustrar formas de relevo no Brasil foram croquis geomorfológicos elaborados por técnicos do Conselho Nacional de Geografia, que se basearam no método de representação pictórica, desenvolvido por Erwin Raisz. Utilizado por volta da década de 1940, o método logo se tornou obsoleto e de pouca utilidade e os documentos elaborados passaram a ter apenas o valor de ilustração didática.

Ainda de acordo com Ab'Saber (1969), a introdução de métodos mais específicos e objetivos para a cartografia geomorfológica do Brasil, se deve a Francis Ruellan (nas décadas de 1940 e 1950), pois incentivou o uso direto das fotografias aéreas na obtenção de cartas geomorfológicas detalhadas. Além de divulgar a teoria da representação cartográfica por meio de fotografias aéreas, Ruellan teria preparado diversas equipes de fotointerpretores e restituidores, no Rio de Janeiro, em Belo Horizonte e em São Paulo. Infelizmente, a dificuldade de publicação de mapas especiais, do tipo de cartas geomorfológicas, constituiu um sério problema que deixou seu material inédito.

Nas contribuições internacionais, foi o grupo liderado por Jean Tricart que mais contribuiu para a divulgação das técnicas de cartografia geomorfológica, com base na utilização das fotografias aéreas e através de um rígido controle de campo. No Brasil, aos esforços pioneiros de Francis Ruellan se juntaram os exemplos e o notável grau de detalhamento oriundo dos trabalhos de Jean Tricart. Os estudos cartográficos-geomorfológicos de Olga Cruz da Universidade de São Paulo (USP) e Margarida Penteado (Faculdade de Filosofia de Rio Claro) – em grande parte inéditos – destacam a introdução da técnica das cartas geomorfológicas detalhadas, com a utilização extensiva de fotografias aéreas (AB'SABER, 1969).

Conforme Casseti (2008), a sistematização dos conhecimentos geomorfológicos e o desenvolvimento da pesquisa geomorfológica no Brasil tiveram importante contribuição do professor Ab'Saber (1969), concebendo a análise do relevo em três dimensões que se integram ou se interagem: a compartimentação topográfica, a estrutura superficial e a fisiologia da paisagem.

O conceito de compartimentação topográfica trabalhada por Ab'Saber (1969), na realidade, apresenta uma dimensão muito maior que a própria denominação, uma vez que transcende a idéia de topografia, no que tange aos aspectos morfológicos e morfométricos do relevo, resultantes das propriedades adquiridas durante sua gênese. Para a sua compreensão, torna-se imprescindível entender o processo evolutivo, considerando a ação diferencial dos processos morfogenéticos: as mudanças climáticas no tempo geológico, os componentes de natureza estrutural, valorizando os mecanismos tectogenéticos e propriedade das rochas, sem desconsiderar os efeitos da interface em cada estágio de evolução.

Pela estrutura superficial, podem-se compreender os processos morfogenéticos pretéritos e oferecer subsídios, através das propriedades físico-químicas dos depósitos de cobertura, para o entendimento da vulnerabilidade do terreno. A referida abordagem deve estar associada aos demais parâmetros

do relevo, como o gradiente da vertente, bem como aos processos morfodinâmicos atuais.

A fisiologia da paisagem diz respeito ao momento atual e até sub-atual do quadro evolutivo do relevo, considerando os processos morfodinâmicos, como o significado das ocorrências pluviométricas nas áreas intertropicais, ou processos específicos nos diferentes domínios morfoclimáticos do globo, bem como as transformações produzidas na paisagem pela intervenção antrópica.

Segundo Ab'Saber (1969), essa questão forma/escala aliada às dimensões continentais do território brasileiro, prejudicaram o mapeamento detalhado. De acordo com o autor, até meados da década de 1960, os mapeamentos e estudos geomorfológicos eram realizados visando apenas escalas pequenas, em âmbito nacional e no máximo, estadual.

A União Geográfica Internacional recomenda que a cartografia geomorfológica deva apresentar quatro níveis de abordagem. Esses níveis representam a *morfometria* (altimetria, dimensões, desníveis, extensões); a *morfologia* (formas do perfil, concavidades, convexidades, rupturas, topos, fundos de vale, etc.); a *gênese* (degradação ou agradação); a *cronologia relativa* (idade relativa das formas, datação absoluta).

Diante disso, destaca-se a grande importância da questão taxonômica do relevo nos trabalhos de cartografia geomorfológica. Autores como Cailleux e Tricart (1965) e Demek (1967, *apud* CASSETI, 2008), por exemplo, evidenciaram preocupação quanto à escala de representação cartográfica das formas, e Mecerjacov (1968), diante de conceitos de morfoestrutura e morfoescultura. Por exemplo, formas de dimensões espaciais menores ligadas à morfoescultura do relevo, tais como os sulcos, as ravinas, as cicatrizes de deslizamento, pertencem a uma unidade morfoestrutural maior, como uma bacia sedimentar ou um planalto cristalino, mas só podem ser mapeadas em escalas de detalhe.

Em 1978, durante o “Colóquio Franco-Brasileiro de Formações Superficiais e suas aplicações em regiões tropicais”, foi apresentado um

conjunto de documentos cartográficos realizados através de um convênio entre o Laboratório de Pedologia e Sedimentologia do Instituto de Geografia e Departamento de Geografia da FFLCH da Universidade de São Paulo e o Centre de Géomorphologie du CNRS – CAEN, sob a coordenação de J.P. Queiroz Neto e A. Journaux. Entre estes documentos, encontra-se a “Carta do Modelado e das Formações Superficiais do Médio Vale do Rio Parateí 1:25.000”, a “Carta Geomorfológica de São Pedro 1:50.000”, entre outras.

A partir de diversos documentos e trabalhos desenvolvidos por diferentes autores e épocas durante o Projeto RadamBrasil, o IBGE (1973), acabou elaborando um “Manual Técnico de Geomorfologia”, que apresenta uma metodologia para mapeamento geomorfológico e traz conceitos básicos de tipos de relevo, com ilustrações em forma de blocos-diagrama e imagens de radar.

Ross (1992) também realizou trabalhos relacionados à cartografia geomorfológica e a questão da taxonomia do relevo. Baseando-se na proposta de classificação taxonômica de Demek (1977), que definiu três níveis de representação cartográfica do relevo. O autor propôs uma divisão do relevo em seis táxons diferentes, o que permitiria representação cartográfica em todas as escalas.

Frente ao desenvolvimento tecnológico, cabe aqui destacar a aplicação de geotecnologias do Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, que tem buscado cada vez mais aperfeiçoar métodos e técnicas para o mapeamento geomorfológico e zoneamentos ambientais, como destacam-se os trabalhos de Xavier da Silva (2005); Botelho (1999), Argento (1994) que apontam o crescente uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) nas questões ambientais.

Também é importante registrar aqui, o livro organizado por Florenzano (2008), intitulado “Geomorfologia”, onde são apresentadas uma série de trabalhos com diferentes metodologias e usos de diferentes recursos de geotecnologias para a realização dos trabalhos.

Podem-se encontrar, também, muitos trabalhos técnicos, além de dissertações e teses que utilizam estes recursos para analisar determinadas áreas, ou mesmo para validar o uso destas tecnologias.

Buscou-se apresentar, neste pequeno resgate sobre mapeamentos geomorfológico, o desenvolvimento desta linha de análise, que de maneira geral norteou o desenvolvimento da presente pesquisa, nas etapas de mapeamento e compartimentação geomorfológica.

No item a seguir são apresentados diferentes metodologias e trabalhos desenvolvidos sobre a contextualização de mapeamento e análise geoambiental, que também serviram de base para o desenvolvimento do presente trabalho.

2.4 Mapeamento Geoambiental

O mapeamento geoambiental, consiste numa metodologia centrada na divisão da área em classes de terreno hierarquizadas, a partir de características gerais Geológico-Geomorfológicas e uso do solo, têm sido usados por diversos autores ligados a outras ciências. Os terrenos são divididos e classificados em quatro classes hierárquicas denominadas províncias, padrão do terreno, unidades e componentes de terreno.

Um exemplo é a proposta de mapeamento geotécnico é a sistemática das Cartas Zermos (zonas expostas a movimento de solos), adotadas pelo serviço geológico francês, sob a responsabilidade do laboratório do Ponts et Chaussées, na França. A proposta é que as cartas devem representar uma análise, em um dado momento, dos movimentos dos terrenos, ou dos terrenos de instabilidade revelados pelos dados obtidos na área estudada. A hierarquia, a graduação da natureza ou do nível de instabilidade é baseada, essencialmente, na análise de certo número de fatores temporais ou permanentes que afetam a estabilidade dos terrenos.

No Brasil, o mapeamento com essas características teve início com os trabalhos de Haberlehner (1966), Heine (1966) e Grehs (1966). Entretanto, só nos primeiros anos da década de 80 tiveram início os trabalhos de mapeamento geotécnico de cunho acadêmico, com a obra de Zuquette (1981), denominada "Mapeamento Geotécnico Preliminar na Região de São Carlos".

O meio físico deve ser analisado com base nos "*landforms*", entendidos como os elementos do meio que possuem composição litológica e variações das características visuais e físicas definidas, tais como: forma topográfica, modelo de drenagem e morfologia Belcher (1946, apud ZUQUETTE, 1993). Além disso, os "*landforms*" devem refletir as mesmas condições de evolução (gênese). A consolidação da aplicação do conceito de "*landforms*" ao método foi realizada por Lollo (1996).

De acordo com Lollo (1996), o terreno pode ser avaliado de duas maneiras: pelo enfoque da paisagem (*landscape approach*) e pelo enfoque paramétrico (*parametric approach*). O enfoque da paisagem consiste na delimitação de diferentes feições do terreno, baseada num conjunto de observações fotointerpretativas e de campo, promovendo o zoneamento de áreas consideradas semelhantes ou que apresentam um grau de heterogeneidade mínimo.

O Instituto de Pesquisa Tecnológico (IPT) adota um mapeamento que utiliza como ferramenta para o planejamento em nível regional ou local, a aplicação das cartas NAKAZAWA *et al.* (1991), ou seja, visa gerar produtos que possam ser utilizados pelo público em geral e de forma imediata.

O mapeamento Geoambiental tem como proposta fundamental a divisão da área analisada em unidades, de acordo com as características de seus atributos. As unidades representam áreas com heterogeneidade mínima quanto aos atributos e, em compartimentos com respostas semelhantes frente aos processos de dinâmica superficial.

As características geoambientais representam os elementos naturais que compõem o meio físico, como a geologia, geomorfologia, pedologia, os

aspectos climáticos, relevo, os quais são a base para o entendimento da estruturação e organização do espaço físico, integrada as questões sociais, por isso, a elaboração de um estudo voltado ao planejamento ambiental vem a contribuir na seleção de áreas para determinados fins de acordo com suas potencialidades e fragilidades.

Carvalho *et al.* (2004) salienta que a partir da década de 1980, desenvolve-se a cartografia geoambiental, cujos conteúdos procuram dar respostas às necessidades de planejar, tendo em atenção à preservação e gestão do ambiente. As cartas geoambientais, para o autor, são cartas temáticas, preparadas para fins específicos, podendo ser editadas isoladamente ou reunindo diferentes cartas nos designados Atlas Geoambientais.

Os trabalhos cartográficos que iniciaram a discussão sobre intervenções antrópicas são os Mapas Geotécnicos e, por isso, servem como base para trabalhos Geoambientais. Envolvem um grande volume de dados, com necessidade de cruzar níveis de informações variados, com atributos diferenciados, muitas vezes com critérios rígidos de precisão envolvidos (ZUQUETTE, 1993).

Cendrero (2004) destaca que os mapas geoambientais podem ser confeccionados sobre dois enfoques: o analítico e o sintético:

[...] The analytical approach considers the earth surface as the result of a “vertical overlay” of a series of environmental features or components. [...] The synthetic approach considers the Earth surface as a mosaic formed by the “horizontal joining” of a series of pieces as in a puzzle. Integrated, “homogeneous” map unit are thus defined, represented and assessed for different purposes (CENDRERO, 2004).

Conforme Vedovello (2004), a Cartografia Geoambiental pode ser entendida, de forma ampla, como todo o processo envolvido na obtenção, análise, representação, comunicação e aplicação de dados e informações do meio físico, considerando-se as potencialidades e fragilidades naturais do terreno, bem como os perigos, riscos, impactos e conflitos decorrentes da interação entre a ação humana e o meio ambiente fisiográfico. Pode, por isso,

incorporar elementos bióticos, antrópicos e sócio-culturais em sua análise e representação.

Fiori (2004), em relato sobre Cartografia Geoambiental, destaca que esta, como o próprio nome indica, ocupa-se da elaboração de mapas ou cartas que tratem de problemas Geoambientais, freqüentemente ocasionados por um desequilíbrio do meio físico que, no Brasil, dizem respeito, principalmente a fenômenos de erosão, escorregamento, assoreamento, enchentes, inundações e circulação de água, associados ou não à ocupação antrópica.

Segundo Herrmann (2004), para a definição das unidades Geoambientais, faz-se necessário o reconhecimento dos componentes do relevo, bem como os atributos e fatores condicionantes: hidrográficos, geológicos, geomorfológicos, pedológicos, climáticos, fitogeográficos e antrópicos.

As realizações do Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental têm mostrado a grande importância da discussão do tema frente aos problemas ambientais, a partir dos trabalhos discutidos, onde podem destacar alguns como:

Higashi (2004), utilizando-se da Cartografia Geoambiental, apresentou uma caracterização de unidades Geoambientais de São Francisco de Sul, com a finalidade de prever o comportamento destas unidades de solos presentes na área, utilizando o Sistema de Informação Geográfica, como uma ferramenta de auxílio ao diagnóstico de impactos causados ao meio ambiente.

Menezes e Zuquette (2004), em avaliações metodológicas em estudos geoambientais de bacias hidrográficas, trabalharam com a avaliação das informações do meio físico para os estudos geoambientais, tomando como base a bacia hidrográfica do Rio Pardo, na região sudoeste do Brasil, analisando os atributos referentes ao substrato rochoso, material superficial (inconsolidado), relevo, clima, água superficial e subterrânea e os processos atuais do meio físico.

Souza *et al.* (2005), utilizou-se da Cartografia Geoambiental como base para a elaboração do Plano Diretor Ambiental e Urbanístico de Mariana/MG. No trabalho, os autores abordam o estudo do meio físico do município, avaliando qualitativamente as características gerais dos terrenos, os conflitos de usos e os principais impactos ambientais existentes tendo como objetivo fornecer subsídios para a proposição do ordenamento territorial do mesmo na escala 1:50.000.

Melo e Lima Filho (2005), realizaram um estudo no município de Paulista, no estado de Pernambuco, e constataram a partir da análise geoambiental que algumas áreas apresentam situação críticas e que podem ser revertidas com programas sócio-ambientais, já outras áreas necessitam de preservação para o bem estar social e ambiental do município.

Santos *et al.* (2007), desenvolveram o mapeamento da vulnerabilidade geoambiental para todo o estado do Paraná na escala 1:600.000, levando em consideração atributos geológicos, geomorfológicos e pedológicos. Definiram três classes de vulnerabilidade: baixa, moderada e alta. O trabalho determinou a ocorrência de processos geoambientais como: erosão, movimentos de massa, queda de blocos, subsidência, recalques e colapsos de solo, inundações periódicas e contaminação de águas subterrâneas.

Rego Neto e Silva Filho (2010) estabeleceram uma metodologia para definição de Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS) para habitação através da caracterização geoambiental utilizando condicionantes morfológicos, geológicos e o tipo de vegetação no “Maciço da Costeira do Pirajubaé”, Florianópolis/SC, onde definiram 13 áreas sendo seis delas favoráveis e com algumas restrições e sete áreas com restrições e inadequadas à habitação.

Lorandi *et al.* (2010) também estabeleceram uma metodologia para zoneamento geoambiental com aplicação de SIG e análise de atributos como a litologia, o tipo de solo e a forma de relevo, confrontando com o tipo de uso do solo da região. O resultado foi a carta de zoneamento geoambiental do município, com a caracterização das suas zonas (domínios), visando auxiliar os tomadores de decisões.

De Nardin e Robaina (2010) estabeleceram o zoneamento geoambiental em bacias hidrográficas no sudoeste do Rio Grande do Sul, através de mapeamentos temáticos com o auxílio de SIGs (Sistemas de Informação Geográfica), trabalhos de campo e laboratório. Como resultados definiram sistemas e unidades geoambientais indicando zonas de fragilidade com ocorrência de areais e voçorocas, áreas de plantio de espécies arbóreas exóticas e a ocorrência de espécies endêmicas do Bioma Pampa.

Conforme apresentado, os mapeamentos geoambientais oferecem uma grande disponibilidade de procedimentos que são desenvolvidos e aplicados a fim de se atender objetivos específicos de análise e caracterização ambientais, sendo utilizados para solucionar problemas, definir áreas de risco, ou mesmo utilizados para a compartimentação de unidades de relevo com fins preventivos.

A partir do exposto, serão apresentados, a seguir, os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento do trabalho quanto à identificação e análise dos elementos físicos da paisagem, compartimentação geomorfológica, identificação dos processos de uso e ocupação da terra e cobertura vegetal e da caracterização geoambiental.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo visa apresentar os procedimentos e técnicas que foram adotadas para a realização do trabalho. Será aqui apresentado o detalhamento da análise dos elementos físicos da paisagem, as etapas de compartimentação taxonômica da bacia hidrográfica, bem como identificação dos usos e ocupações da terra e a caracterização geoambiental da BHRI.

3.1 Procedimentos Gerais

O uso dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), nas análises geomorfológicas, vem proporcionar uma maior agilidade na realização de levantamento e processamento das informações, facilitando a tarefa de integração e espacialização dos dados e possibilitando a redução da subjetividade na análise e nos resultados em alguns trabalhos, como por exemplo, o estudo do relevo por meio da compartimentação geomorfológica.

Sistemas de Informação Geográfica são as ferramentas computacionais para Geoprocessamento, que permitem realizar análises complexas, possibilitando integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georeferenciados. Estes sistemas tornam possíveis automatizar a produção de documentos cartográficos (CÂMARA *et al.*, 2008).

A análise geomorfológica de uma determinada área, por sua vez, possibilita a compreensão dos processos atuantes no modelado desta área, tanto no que se refere aos processos atuais, como também registram através de suas formas a evolução destes processos ao longo do tempo.

Desta forma, os estudos geomorfológicos têm papel fundamental na definição dos tipos de uso uma vez que é possível identificar as fragilidades e potencialidades da área orientando assim para procedimentos que causam menores impactos ambientais possíveis.

3.2 Procedimentos Metodológicos

A concepção teórica metodológica, que norteou o desenvolvimento desta pesquisa, refere-se ao emprego do método de investigação da abordagem sistêmica, tendo como base a proposta de (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Para o desenvolvimento do trabalho, utilizaram-se níveis de abordagem desenvolvidos ao longo da pesquisa para as análises qualitativas e quantitativas, destacando sempre que a análise geral do trabalho apresenta uma sistemática de análise qualitativa dos dados; as especificações quantitativas foram utilizadas com o intuito apenas de comparações entre classes e categorias analisadas.

Para a elaboração dos produtos cartográficos e mapeamentos, buscou-se as orientações de Ross (1990 e 1992) que se utiliza de Ab'Saber (1969), quanto à compartimentação da topografia, análise das formas de relevo e, na análise da estrutura superficial da paisagem e dos materiais que dão sustentação às formas.

Para a caracterização geoambiental, foram adotadas concepções de cartografia adotadas por Zuquette (1987, 1993) e Lollo (1996), seguindo metodologias aplicadas por Robaina *et al.* (2009) e De Nardin (2009).

A elaboração da análise e mapas temáticos, dentro dos estudos geográficos, representa importante fase para o entendimento da evolução dos ambientes naturais, relacionados às formas, gênese e processos. O conjunto dos procedimentos técnicos e operacionais, que foram aplicados durante a pesquisa, encontra-se esquematizado na Figura 02, no qual buscou-se desenvolver uma caracterização e interpretação da paisagem de forma integrada e sistemática.

O desenvolvimento da pesquisa encontra-se atrelada às técnicas. Desta maneira, os procedimentos técnico-operacionais referentes às atividades

desenvolvidas durante a pesquisa, servirão de subsídio para alcançar os objetivos propostos e apoiar a aplicação do método.

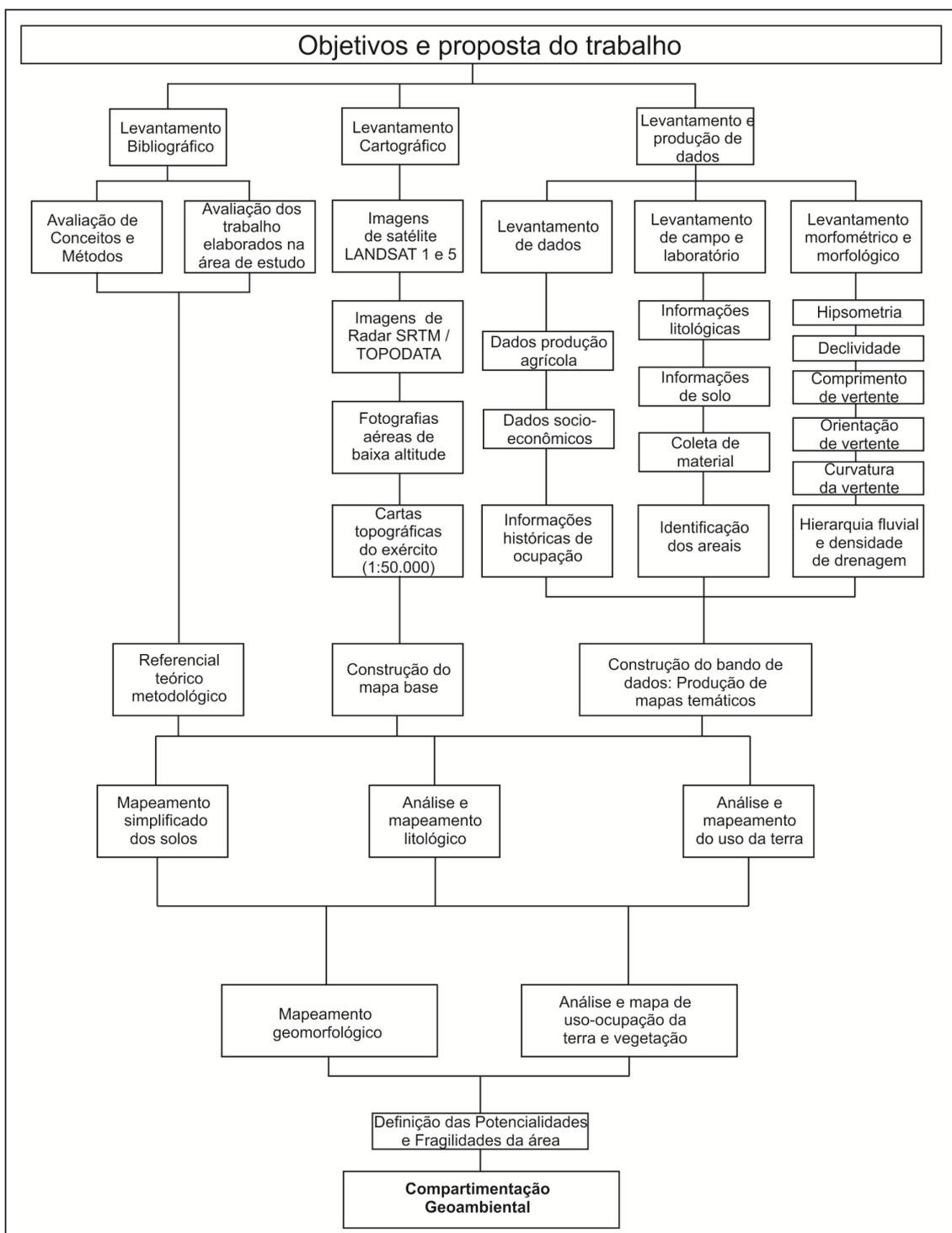


Figura 02 – Fluxograma com as etapas da metodologia adotadas no desenvolvimento da pesquisa

3.2.1 Levantamento e processamento dos dados

O primeiro nível de análise refere-se aos levantamentos dos dados, pesquisas bibliográficas, e informações sobre o material cartográfico disponível para a área de estudo. Neste momento, ao ser feita a seleção e compilação das informações coletadas, foi necessário ter o conhecimento teórico-conceitual para não descartar informações que pudessem inviabilizar a pesquisa e serem significativas para atingir os objetivos propostos.

Os levantamentos dos dados foram realizados através de trabalhos de campo, laboratório e pesquisas secundárias.

3.2.1.1 Levantamento bibliográfico e cartográfico

O levantamento de material e referencial bibliográfico ocorreu durante todo o desenvolvimento da pesquisa, sendo realizado por meio de consultas, leituras e seleção de bibliografias relacionadas ao tema em estudo, bem como de trabalhos específicos sobre a área e região de estudo. Pesquisas complementares sobre procedimentos específicos foram realizados ao longo de toda a pesquisa.

O levantamento de material cartográfico serviu de apoio para a construção dos mapas. A base cartográfica, utilizada para o desenvolvimento da pesquisa, foram as cartas topográficas do exército, elaboradas pela Diretoria de Serviços Geográfico (DSG/IBGE, 1977), na escala 1:50.000, que após atualizações por meios de imagens de Satélite LANDSAT 5 e dados de RADAR SRTM/TOPODATA de resolução 30 metros, permitiram a definição do mapa base da área de estudo.

A área de estudo é coberta por 11 cartas topográficas, definidas pela seguinte denominação e nomenclaturas: Santiago: SH.21-X-D-II-1; Nova Esperança: SH.21-X-D-II-3; Unistalda: SH.21-X-D-I-2; Vila Kramer: SH.21-X-D-I-4; Cândida Vargas: SH.21-X-B-IV-3; Passo do Goulart: SH.21-X-D-I-1; Caraguataí:

SH.21-X-D-I-3; Três Bocas: SH.21-X-C-III-2; Arroio Piraju: SH.21-X-C-III-4; Bororé: SH.21-X-C-III-1 e Chalé: SH.21-X-C-III-3.

O mapa base apresenta informações da fisionomia dos diferentes elementos e formas que configuram a topografia. Esses elementos compreendem as curvas de nível, os pontos cotados e a rede de drenagem.

As imagens de satélite dos sensores Landsat 5 TM e 1 MSS, os modelos digitais de elevação do SRTM/TOPODATA, e fotografias aéreas de baixa altitude integraram o material cartográfico disponível para a execução da pesquisa.

Trabalhos específicos de mapeamento que abrangem a área de estudo, como o Projeto RADAMBRASIL, IBGE (1973, 2003), o mapeamento de solos realizado por Streck *et al.* (2002 e 2008), e os estudos mais específicos desenvolvidos por Alves (2008), De Nardin (2009), de Suertegaray *et al.* (2001), e o trabalho de mestrado desenvolvido por Trentin (2007), auxiliaram o desenvolvimento do trabalho.

3.2.1.2 Levantamento de produção de dados

Para o levantamento e a produção dos dados primários e secundários realizaram-se procedimentos distintos. Para o levantamento morfométrico/morfológico do relevo e da rede de drenagem, foram utilizados procedimentos técnicos com o auxílio de SIGs e a análise das cartas topográficas e modelos digitais de elevação.

Este primeiro levantamento oportunizou a caracterização da hierarquia fluvial, densidade de drenagem, comprimento dos canais, da hipsometria, declividade, amplitude, comprimento, orientação e curvatura das vertentes, entre outros elementos.

Nos levantamentos de campo, foram observadas as características do meio físico e as condições de uso e ocupação, além de serem coletados materiais rochosos e amostras de solos e sedimentos para serem analisados em laboratório.

Os dados coletados foram localizados com GPS (Sistema de Posicionamento Global) e posteriormente processados servindo de base para a geração dos mapas litológicos, de solos e localização das feições superficiais e características marcantes da paisagem como os areais, voçorocas, depósitos de colúvio, afloramentos de blocos de rocha entre outros.

No levantamento de dados secundários, foram obtidas informações a respeito dos dados socioeconômicos, históricos da ocupação agrícola e pecuária e do próprio avanço na degradação da área representando os estudos da dinâmica da paisagem integrada ao contexto humano e natural.

Para o processamento dos dados, foi construído um banco de dados georreferenciado no *software* SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) em associação com o ArcGis, contendo todas as informações dos levantamentos, contribuindo para a organização e manipulação dos dados, além de permitir uma maior percepção das inter-relações e sistematizações entre os elementos constituintes da paisagem.

Levantamento morfométrico/morfológico

O levantamento da morfometria aplicado aos estudos de bacias hidrográficas apresenta-se como uma importante ferramenta de análise da rede de drenagem e do relevo, através da identificação do comprimento, altura, largura, declividade, altitude, densidade, entre outros.

- **Análise das características da drenagem**

A rede de drenagem das bacias hidrográficas atua como registro das alterações ocorridas em seu interior, tanto na qualidade das águas quanto na própria configuração da rede, refletindo as mudanças condicionadas por processos atuais ou atividades antrópicas.

As análises e a elaboração do mapa da rede de drenagem foram feitas, a partir, da carta topográfica e das imagens de satélite, que foram sobrepostas no programa SPRING. Após a digitalização, foram definidas as ordens dos cursos d'água, e analisados os atributos morfométricos referentes ao padrão, densidade, forma, magnitude e comprimento dos canais.

Estas análises foram elaboradas também nas sub-bacias hidrográficas, possibilitando além de uma comparação entre elas, uma análise geral de toda a área estudada. As variáveis morfométricas/morfológicas da rede de drenagem analisadas foram:

Hierarquia fluvial: classificação estabelecida por Strahler (1952, *apud* CHRISTOFOLETTI, 1980) e utilizada na caracterização dos canais, diz que os menores canais, sem tributários, são considerados de primeira ordem, estendendo-se da nascente até a confluência, o encontro de dois canais de primeira ordem origina um de segunda ordem, por sua vez da união de dois canais de segunda ordem surge um de terceira e assim sucessivamente.

Comprimento total da rede de drenagem: são variáveis dimensionais, expressas em quilômetro (km) ou em metro (m), que permitem uma avaliação primária das alterações em termos de perda ou ganho na extensão de caminhos para o escoamento linear das águas na bacia.

Forma da bacia (kf): O índice de circularidade foi definido através da relação entre a área da bacia e o quadrado de seu comprimento axial, conforme a equação a seguir. Mede-se o comprimento axial da bacia (L) quando se segue o curso d'água mais longo, desde a foz até a cabeceira mais distante. A largura média (L) é obtida dividindo-se a área da bacia pelo seu comprimento axial.

$$kf = \frac{A}{L^2}$$

Densidade de drenagem (Dd): a densidade de drenagem, segundo Horton (1945), é um parâmetro que relaciona o comprimento total dos canais

de escoamento, com a área total da bacia. Essa relação pode ser definida através da equação:

$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

Onde: Dd - é a densidade de drenagem; Lt – o comprimento total dos canais e A - a área total da bacia.

Padrões de drenagem: A identificação do arranjo espacial dos cursos fluviais indica uma série de características referentes à resistência do substrato litológico e às diferenças de declividade. Por esse motivo, os padrões da rede de drenagem foram avaliados seguindo a metodologia de (STRAHLER, 1952).

- **Análise das características do relevo**

Os constituintes do relevo foram identificados através de estudos analíticos e através de tratamento estatístico, com base no espaçamento de 20 metros das curvas de nível extraídas das cartas topográficas.

Os dados altimétricos do SRTM/TOPODATA, conforme Valeriano (2003), auxiliaram a definição das áreas com diferentes elevações, sendo trabalhada no *software* ArcGIS 9, que possibilitou a construção do perfil topográfico, demonstrando as primeiras características do relevo.

Os mapas do relevo (hipsometria, declividade, 3D) são produtos gerados a partir do Modelo Numérico do Terreno (MNT), que permite representar uma grandeza que varia continuamente no espaço. Esse modelo foi criado no *software* SPRING, ArcGis e ArcView, através da digitalização das curvas de nível e pontos cotados. Mediante o modelo numérico do terreno (MNT), foi possível materializar informações georreferenciadas e analisar sua abrangência geográfica, podendo ser representado pelas grades regular e triangular que permitiram a geração dos seguintes produtos:

O *mapa de declividade* foi criado utilizando as classes de declividade estabelecidas pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo) sendo: <2%, 2-5%; 5-15%; >15%: O limite de 2% representa áreas muito planas e, quando próximas às drenagens, estão sujeitas à ocorrência de inundações; 5% - representa áreas de baixa declividade e onde se registram processos deposicionais e a partir desta inclinação o processo erosivo começa a ser significativo; 15% - representa a faixa que define o limite máximo para o emprego da mecanização na agricultura e, áreas propícias à ocorrência de processos de movimentos de massa e escorregamentos.

O *mapa hipsométrico* foi criado a partir das linhas de quebra do relevo que melhor representavam a área de estudo, compostas de altitudes contínuas, baseadas nas curvas de nível: 60 - 80m; 80 - 120m; 120 - 200m; 200 - 300m; 300 - 380m; 380 - 435m.

O *comprimento de vertentes* corresponde à medida da extensão entre a crista das vertentes e o talvegue. Os parâmetros de comprimento de vertente foram definidos através da medição das principais vertentes, estipulando 5 intervalos de classes. A metodologia para identificação dos comprimentos de vertente emprega a definição dos aspectos físico-naturais do relevo, utilizando como limites a rede de drenagem, a delimitação da planície e os divisores secundários de água, na BHRI foram registrados os comprimentos de 600 vertentes estando distribuídas de maneira uniforme ao longo de toda a bacia hidrográfica, sendo medidos 50 comprimentos de vertente em cada sub-bacia analisada. A definição desta quantidade de medidas foi aleatória, porém elaboraram-se as medições consideradas suficientes para uma boa caracterização das vertentes da BHRI.

A *Orientação das vertentes* corresponde direção na qual a vertente apresenta sua face de exposição. Os parâmetros de orientação das vertentes foram definidos através do *software* ArcGis, que apresenta uma extensão de análise espacial, sendo possível a geração do mapa de orientação das vertentes em oito direções, sendo estas: Norte, Nordeste, Leste, Sudeste, Sul, Sudoeste, Oeste e Noroeste.

As *curvaturas das vertentes* correspondem ao plano e perfil de curvatura da vertente. Os parâmetros de curvatura foram gerados a partir do *software* ArcView, que possui uma extensão “Demat”, a qual permite definir, a partir de um modelo digital do terreno, o mapa de perfil de curvatura com as curvaturas côncava, retilínea e convexa, bem como o mapa de Plano de curvatura, com as curvatura divergentes, planares e convergentes. Através de uma matriz de cruzamento do perfil de curvatura, com o plano de curvatura, obteve-se as curvaturas: Côncavo-Convergente, Retilíneo-Convergente, Convexo-Convergente, Côncavo-Planar, Retilíneo-Planar, Convexo-Planar; Côncavo-Divergente, Retilíneo-Divergente e Convexo-Divergente, como mostram as Figuras 03 e 04.

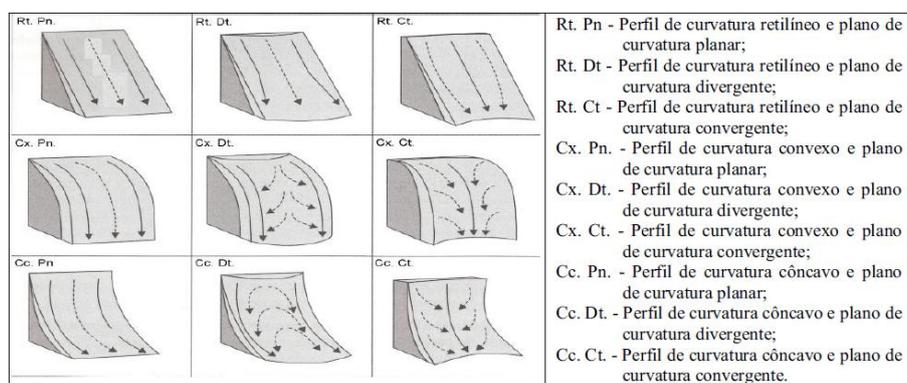


Figura 03 – Modelos de curvatura das vertentes. Plano de curvatura (setas pontilhadas) e Perfil da curvatura (setas contínuas) Fonte: Silveira (2010).

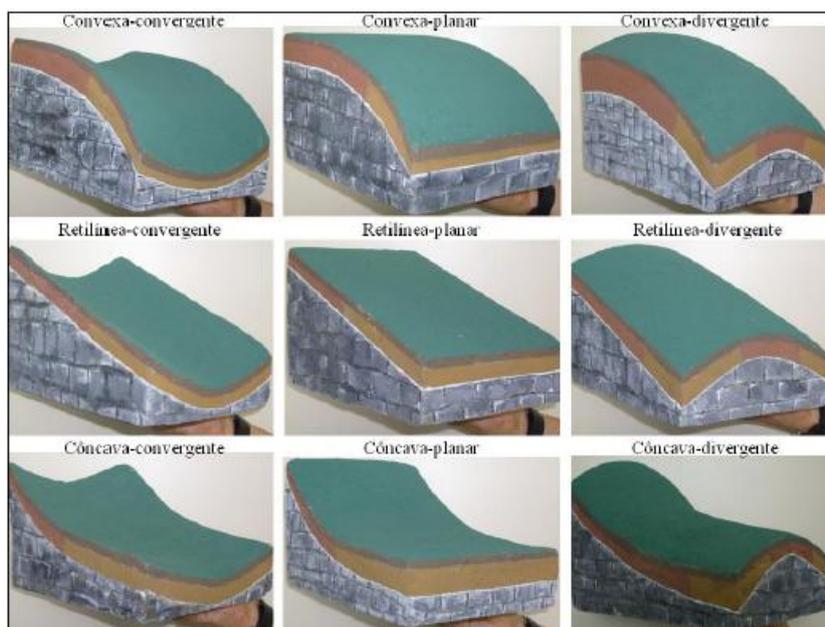


Figura 04 - Modelos didáticos ilustrativos que representam as formas das vertentes em perfil e plano de curvatura Fonte: Fotos de modelos reduzidos da EMBRAPA apresentados por Curcio (2006), *In*: Silveira (2010).

Levantamento de dados secundários

- **Dados sócio-econômicos e históricos da ocupação**

A transformação da paisagem local, tanto nos aspectos naturais quanto pelo uso antrópico, é visivelmente perceptível, no entanto, para demonstrar as mudanças ocorridas foi necessária, além da investigação em campo, a caracterização socioeconômica através de dados secundários.

As análises deram ênfase para as questões de expansão da agricultura e da monocultura do eucalipto e os dados foram adquiridos através dos censos agropecuários do IBGE de 1996 e 2006 e consultas em órgãos locais como a EMATER. Os dados foram organizados em planilhas no programa Excel, com a construção de gráficos e tabelas contendo as informações de interesse. Além disso, foi possível definir os principais sistemas agrícolas presentes na área, através das informações coletadas e de trabalhos já desenvolvidos na região.

Com a utilização de material cartográfico já disponível, e de dados socioeconômicos obtidos de órgãos oficiais como IBGE, INCRA e EMATER dos municípios e trabalhos de resgate histórico, foi possível caracterizar e entender o processo de evolução agrícola, contrapondo com as informações atualizadas pelas imagens de satélite recente e pelos trabalhos de campo.

Levantamento de campo e análises em laboratório

Em campo, as rochas e solos foram investigados e descritos por suas características físicas, como cor, textura, espessura e estruturas. A textura refere-se à proporção das frações de areia, silte e argila encontrada no solo, sendo agrupadas em 13 classes, de acordo com o triângulo textural, adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

A análise granulométrica permitiu a diferenciação das litologias sedimentares e a caracterização física dos solos presentes na área de estudo.

A coleta das amostras levou em conta o substrato litológico e a posição no relevo. Além disso, também levou-se em consideração a posição na vertente, sendo coletadas amostras no topo, média encosta e base das vertentes. Ao todo foram coletados 21 pontos com amostras de diferentes horizontes para serem analisadas em laboratório.

As amostras de solo foram analisadas texturalmente em laboratório, através da técnica de pipetagem (EMBRAPA, 1997). A técnica consiste na desagregação preliminar da amostra e quarteamento, obtendo-se assim uma fração representativa de cada uma delas.

Em seguida foram utilizados um conjunto de peneiras com intervalo de 1/2, de acordo com a escala granulométrica de Wentworth (1922) e Krumbein (1934), e posterior pesagem da quantidade de material retido em cada peneira.

As amostras selecionadas foram tratadas utilizando as técnicas de peneiramento para a fração grossa ($> 0,062$ mm), e pipetagem para a fração fina ($< 0,062$ mm) – silte e argila, lama, com base na lei de “Stokes”.

As estruturas litológicas foram descritas em campo e definidas através de características, como a presença de estratificações, fraturas e camadas.

As amostras de rocha foram analisadas através da descrição macroscópica da amostra, bem como a análise e descrição de lâminas petrográficas através do auxílio do microscópio petrográfico *Ernst Leitz GmbH Wetzlar*.

Os trabalhos de identificação em campo e as análises dos materiais coletados permitiram a construção do mapa litológico, definindo os contatos de diferentes litologias presentes na área.

Os lineamentos estruturais, mais importantes, foram identificados utilizando imagens de radar e cartas topográficas. O mapa foi elaborado a partir das descrições de campo e da inserção dos pontos coletados no *software*

SPRING, possibilitando a geração de um plano de informação temático, que serviu de base para as análises posteriores.

O mapa simplificado dos solos foi construído através da descrição dos solos em trincheiras e em cortes de estrada, sendo avaliadas as características morfológicas, e identificados os horizontes.

Além da coleta de material dos pontos amostrais foi realizada a inspeção dos horizontes expostos em perfis de campo. As amostras coletadas foram avaliadas em laboratório e serviram de suporte para as descrições.

A definição e o levantamento das informações dos solos tiveram como referência preliminar o levantamento e classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos EMBRAPA (1999) e o livro Solos do Estado do Rio Grande do Sul, realizado por Streck *et al.* (2008), sendo indispensável a qualificação e o estudo de detalhe, realizados através de perfis em campo e análise dos solos encontrados em cada unidade, tendo em vista a relativa incompatibilidade oriunda das escalas trabalhadas. As coletas tiveram por base as informações do *Manual de Coleta e Levantamento de Solos* de Lemos e Santos do ano de 1982.

As feições superficiais, identificadas em campo, representam a significativa ocorrência de processos de dinâmica superficial na área de estudo, manifestando os processos e os locais onde ocorre a maior frequência das feições de erosão e feições de acumulação.

Os areais, as ravinas e as voçorocas foram identificadas através das informações das imagens de satélite e das informações de campo. Outras feições superficiais identificadas em campo foram os afloramentos de blocos de rochas e os depósitos de colúvio.

3.2.2 Correlação das informações

O segundo nível de análise refere-se às correlações estabelecidas entre as informações levantadas e produzidas. Foram feitas as referidas correlações entre todos os elementos do meio físico e antrópico identificados, no decorrer da pesquisa. A sobreposição e correlação das diversas cartas analíticas produzidas, a partir dos levantamentos, permitiram obter um produto cartográfico que sintetiza o diagnóstico ambiental de cada etapa, servindo de suporte para a compartimentação geomorfológica e caracterização geoambiental.

Entre as associações propostas ganha ênfase às análises feitas entre as formas homogêneas de relevo, e a estrutura e gênese do substrato, com os respectivos processos dinâmicos de origem natural ou antrópicos atuantes, que originaram o mapa geomorfológico.

A correlação do meio físico juntamente com as análises dos diferentes usos e ocupações permitiu a compreensão das potencialidades e fragilidades da paisagem.

3.2.2.1 Compartimentação geomorfológica

A compartimentação geomorfológica, da presente pesquisa, utiliza como base metodológica os trabalhos de Ross (1990, 1992), que trabalhando as propostas de interpretação geomorfológica elaboradas por Ab'Saber (1969) e Tricart (1977) definiu uma compartimentação do relevo em níveis taxonômicos.

A compartimentação geomorfológica foi elaborada sob a base cartográfica de escala 1:50.000, visitas em campo, análise dos elementos físicos da paisagem, através de fotografias aéreas oblíquas de baixa altitude, e dados altimétricos entre outros, sendo observados os principais tipos de segmentos de relevo que ocorrem na área, através de uma interpretação

geomorfológica adotando a delimitação de padrões semelhantes, baseados na cartografia de síntese.

A primeira análise para a definição da compartimentação geomorfológica é a identificação das unidades de relevo definidas através da proposta do Instituto de Pesquisa Tecnológico IPT (1981), conforme Tabela 01.

Tabela 01 – Classificação dos tipos de relevo adaptado de IPT (1981)

Amplitude local	Declividade	Unidades de relevo
< 100	< 5%	Rampa
	5-15%	Colina
100 - 300	>15%	Morrores e Morros
		Morros

A construção do mapa de unidades homogêneas do relevo corresponde à integração das análises de hipsometria e declividade do relevo e da rede de drenagem. As características semelhantes observadas nos levantamentos morfométricos foram agrupadas e espacializadas em unidades. Os resultados obtidos na interpretação das informações, levantadas nas cartas topográficas e nas imagens de satélite e de radar, foram sobrepostos na forma de simbologias e variação de cores.

Posteriormente, realizou-se a integração das demais características físicas do relevo, estabelecendo-se a compartimentação geomorfológica em níveis taxonômicos.

A análise e a própria escala cartográfica de informação foi construída através de uma metodologia própria, que se aproxima da realidade local, e assemelha-se à proposta metodológica de Ross, buscando-se contemplar os seis táxons (níveis), tendo como base as compartimentações gerais já definidas para o Estado.

O mapa geomorfológico representou um dos produtos intermediários que, associado à identificação do uso e ocupação da terra e da cobertura vegetal, serviu de subsídio para a caracterização geoambiental da BHRI.

3.2.2.2 Avaliação do uso e ocupação da terra e vegetação atual

A identificação dos diferentes usos definiu a situação atual da área e as transformações ocorridas nas últimas décadas. Para isso, foi desenvolvido um contraponto entre o momento atual da pesquisa, com um período anterior as transformações mais significativas em relação aos sistemas agrícolas. O período escolhido para análise temporal foi de 1975, 1985, 1995, 2005 e 2010.

Estas análises permitiram definir, de forma geral, como está sendo processada a ocupação da área de estudo e avaliar a relação entre a fragilidade da área e os usos desencadeados em cada atividade.

A construção dos mapas de uso da terra e das análises, ocorreu mediante a utilização da imagem do satélite LANDSAT 1 MSS, com resolução espacial de 79 metros e órbita ponto 240/80, compreendendo a imagem de 21 de março de 1975. Também se utilizou as imagens do satélite Landsat 5 TM, com resolução espacial de 30 metros, e órbita ponto 224/80, compreendendo as imagens de 31 de março de 1985, 28 de abril de 1995, 06 de março de 2005 e 15 de janeiro de 2010. Os trabalhos de campo foram o principal norteador na identificação das culturas.

A classificação das imagens foi feita através do *software* Envi e para a edição dos mapas utilizou-se o *software* ArcGis. Para fins de comparação temporal das imagens, tendo em vista a diferença de sensores, na coleta das imagens, procedeu-se com a correção radiométrica, atmosférica e ortorretificação das imagens e posteriormente conversão para níveis de reflectância a fim de, se obter padrões de imagens possíveis de correlações.

Para a classificação das imagens utilizou-se o algoritmo Maxver (máxima verossimilhança), que é um algoritmo de classificação supervisionada, e considera a ponderação das distâncias médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos na classificação visando à busca por regiões homogêneas.

A análise da vegetação foi determinada a partir da identificação do grau de cobertura do solo. Diferenciou-se a cobertura vegetal pelo seu aspecto fisionômico predominante, de acordo com as tipologias campestre, arbustiva ou florestal e ocorrência de vegetação original ou exótica. A caracterização da vegetação deu-se a partir dos trabalhos de Alves (2008) e De Nardin (2009).

3.2.3 Interpretação e análise das potencialidades e fragilidades

O terceiro nível de análise refere-se à interpretação das análises geomorfológicas e dos usos da terra.

Nesta etapa foram interpretadas as informações que caracterizam a paisagem, chegando-se aos resultados conclusivos através dos dados selecionados e correlacionados nas etapas anteriores. Esses resultados referem-se à compreensão dos mecanismos de funcionamento da paisagem, através da definição das potencialidades e fragilidades da área estudada.

Quanto a potencialidades, referem-se a características que são encontradas em determinadas áreas, intrínsecas desta área e que apresentam capacidade de realização, de produção, de execução de determinadas atividades.

Já a fragilidade, refere-se também às características intrínsecas de um determinado sistema ou unidade geoambiental que representam restrições ou falta de aptidão para o desenvolvimento de determinadas atividades. Estas restrições podem ser relacionadas às características de elementos naturais como solos, litologias friáveis, entre outros, como também relacionadas ao

próprio desenvolvimento de atividades do uso e ocupação que intensificam ou desencadeiam processos erosivos entre outros.

Cabe ressaltar ainda, que a definição da fragilidade ocorre em cada unidade ou sistema geoambiental, definido através da análise das características geomorfológicas, dos processos e do uso e ocupação, não utilizando-se de ponderação e não apresentando mapa de fragilidade, como propostos por Ross (1994), ou Crepani *et al.* (1996).

3.2.4 Caracterização geoambiental

No último nível de análise foi efetuada a síntese de todas as informações coletadas, analisadas, interpretadas e correlacionadas durante a pesquisa, na forma de quadro e mapa para melhor visualização dos resultados. A avaliação das potencialidades e fragilidades serviu de apoio para a caracterização geoambiental.

Destaca-se que a caracterização geoambiental consiste na compartimentação do espaço em porções homogêneas, obtidas através da avaliação das potencialidades e limitações das paisagens. Seus pressupostos teóricos indicam que este tipo de análise não pode ser visto apenas como um instrumento de restrição, mas sim de regulação do uso dos recursos naturais. Desta maneira, a caracterização geoambiental é uma setorização da paisagem, com o objetivo de potencializar o uso sem comprometer o meio ambiente, e propor alternativas que minimizem as fragilidades e limitações características de cada paisagem.

Portanto, a presente proposta está fundamentada em uma análise integrada dos componentes antrópicos e naturais, através de uma caracterização dos elementos básicos que formam estes componentes; da cartografia analítica e através da interpretação analítico-integrativa se chega aos documentos síntese (documentos finais), que concretizam a caracterização geoambiental.

Ressalta-se que, os trabalhos de campo foram realizados de forma investigativa, desde o início do reconhecimento do objeto de pesquisa, através de perfis com o apoio das imagens de satélite e cartas topográficas, até as fases de aferição dos mapas realizados e dos dados levantados, e por fim, na elaboração dos documentos finais.

Todas as informações levantadas, processadas, analisadas e correlacionadas, e por fim mapeadas na escala 1:50.000, serviram de base para a caracterização geoambiental. As categorias de informação analisadas e levantadas são as classes de documentos *Básicos*, *Derivados*, *Interpretativos* e *Finais*, que, em termos cartográficos, representam a cartografia analítica e de síntese e podem ser visualizados na Figura 05.

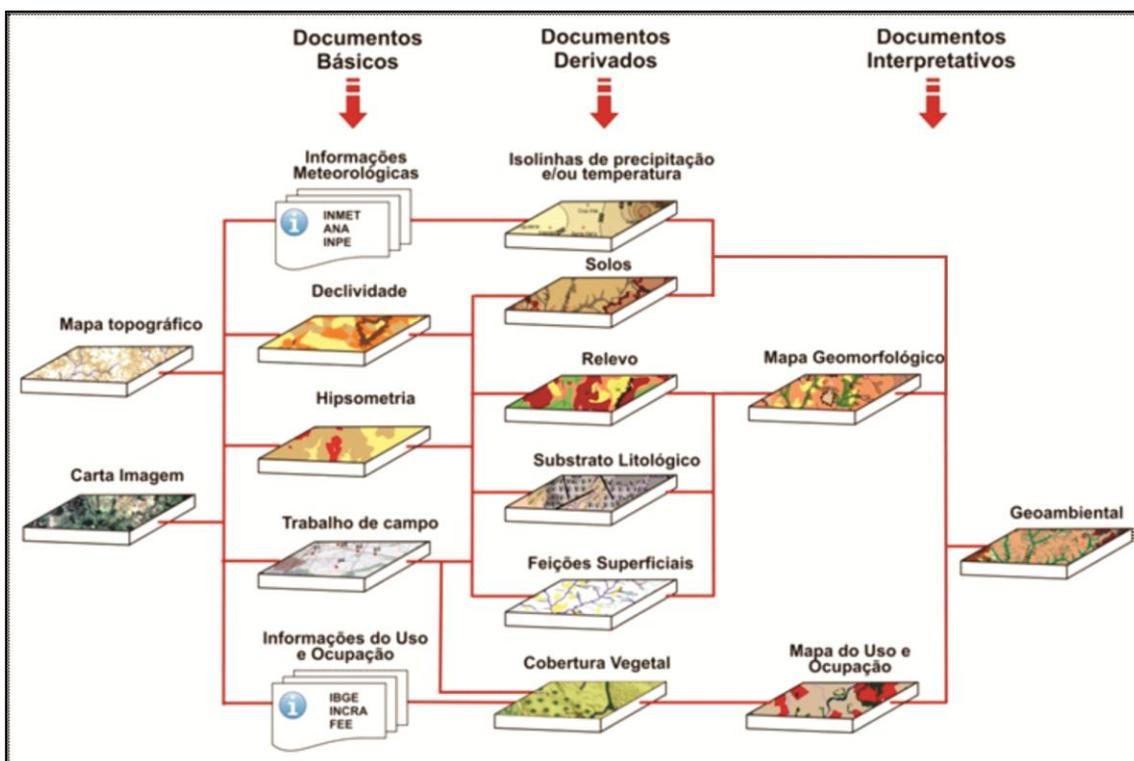


Figura 05 – Documentos e informações levantados para o desenvolvimento da caracterização geoambiental. Fonte: Robaina et al. 2009

4. CARACTERIZAÇÃO DOS ELEMENTOS FÍSICOS DA PAISAGEM

Este capítulo visa apresentar os resultados da caracterização dos elementos físicos da paisagem, da área de estudo enquanto unidade de análise, ou seja, a bacia hidrográfica do Rio Itu. Serão apresentadas as características correspondentes a rede de drenagem, morfologia do relevo, substrato geológico e solos.

Cabe ressaltar, que alguns dos elementos físicos já haviam sido levantados durante a dissertação de mestrado, porém, neste capítulo, apresenta-se o detalhamento das análises como a compartimentação da análise da drenagem, análise do comprimento, orientação e curvatura das vertentes, definição das formas de relevos, análise de amostras e descrição das unidades litológicas e o detalhamento do mapeamento de solo.

As informações do meio físico foram a base para a o mapeamento geomorfológico e permitiram à compreensão e caracterização dos processos superficiais que ocorrem na área, bem como das potencialidades e limitações de usos.

4.1. Análise das Características da Drenagem

A bacia hidrográfica do Rio Itu, situada no Oeste do Rio Grande do Sul, com sua área estendendo-se sobre os municípios de Santiago, Unistalda, Maçambará, São Borja, Itaqui, Manoel Viana e São Francisco de Assis, é afluente da margem direita do Rio Ibicuí que por sua vez faz parte da bacia hidrográfica do Rio Uruguai.

O seu canal principal apresenta-se na maior parte do seu percurso de forma encaixada, junto às linhas de fraqueza do terreno, que apresenta uma direção preferencial E-W. Estende-se, a partir da nascente, no sentido Leste - Oeste por 116.45km até sofrer uma inflexão para o sul, seguindo até sua foz no sentido Nordeste-Sudoeste por mais 83.9km, onde deságua no Rio Ibicuí.

A Figura 06 mostra as condições e o arranjo do canal principal da bacia hidrográfica, bem como o perfil longitudinal do canal.

Observa-se no perfil, que o canal apresenta nos primeiros 40 km (das nascentes em direção a foz) um declive mais acentuado e nos 130 km restantes, o percurso não apresenta grande declividade.

As nascentes do Rio Itu se encontram muito próximas a cidade de Santiago, podendo ser observado na foto (1), um pequeno canal, com algumas sacolas plásticas e outros materiais pendurados nos arbustos, possivelmente oriundos da área urbana. Nesta área é comum a drenagem estabelecer-se sobre lajeados de rochas, vista na foto (2), assim como a ocorrência de deposição, formando ilhas vegetadas, visível na foto (3).

A foto (4) ilustra um afluente do Rio Itu com a mata ciliar retirada em alguns trechos e com a presença de uma lavoura próxima do leito. Na foto (5) observa-se a estrutura de uma barragem que não foi concluída, neste ponto, em função da própria construção da barragem, a configuração do canal está muito alterada.

As foto (6) e (7) representam aéreas do Arroio Puitã, afluente do Rio Itu, observa-se o canal muito assoreado, meandrante com bancos de areia e com plantio de *Eucalyptus* sp.

A foto (8) mostra uma área onde o Rio Itu encontra-se encaixado, com a presença de mata ciliar bem preservada e morro testemunho próximo ao canal. A foto (9) é uma visão geral do canal principal, já no baixo curso em direção à foz. Registra-se a presença de mata ciliar, não muito vasta, mas em quase toda a extensão do canal.

Nas fotos (10) e (11) observa-se o Rio Itu já muito meandrante, com canal abandonado e com bancos de areia no leito, e a foto (12), mostra o Rio Itu desaguando no Rio Ibicuí.

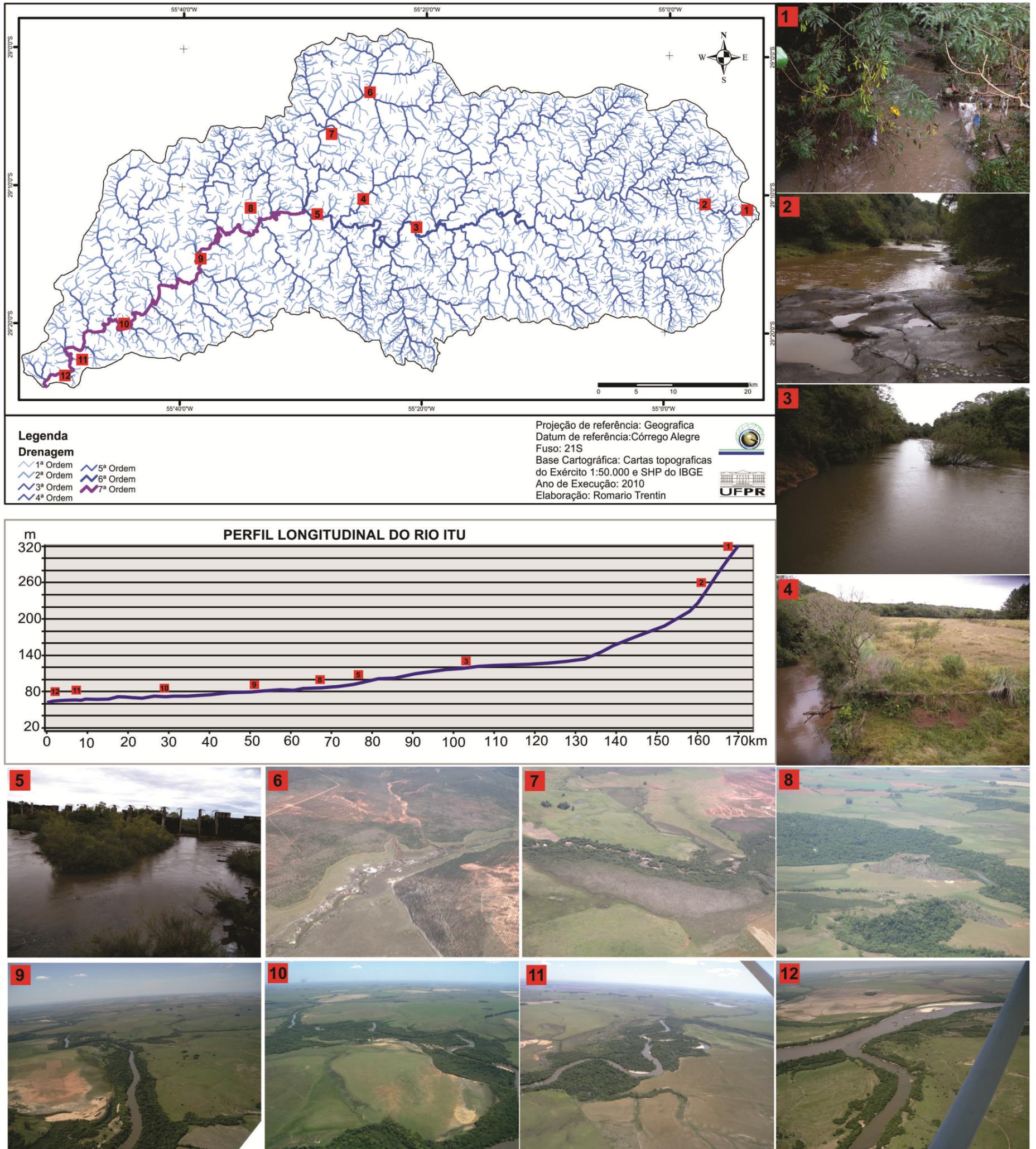


Figura 06 – Caracterização de pontos de observação do canal principal do Rio Itu ao longo do perfil longitudinal

A bacia hidrográfica do Rio Itu, apresenta uma hierarquia fluvial de 7ª ordem com comprimento total dos cursos d'água de 4.834,4km. A magnitude da bacia, ou seja, o número de nascentes (canais de 1ª ordem) é de 3.266 canais. A densidade de drenagem total da bacia é de 1,72 km/km².

A Tabela 02 apresenta os dados morfométricos analisados na bacia hidrográfica do Rio Itu, para os diferentes atributos. Já a Figura 07 apresenta a drenagem da bacia hidrográfica, bem como a sua divisão em sub-bacias.

Tabela 02 – Atributos da análise morfométrica da rede de drenagem

ATRIBUTOS	MORFOMETRIA
Hierarquia	7ª ordem
Extensão do canal principal	200.35 km
Área da bacia hidrográfica	2.809,6 km²
Perímetro da bacia hidrográfica	328,79 km
Índice de circularidade	0,32
Comprimento total dos cursos d'água	4.834,4 km
Magnitude	3.266 canais
Densidade de drenagem	1,72 km/km²

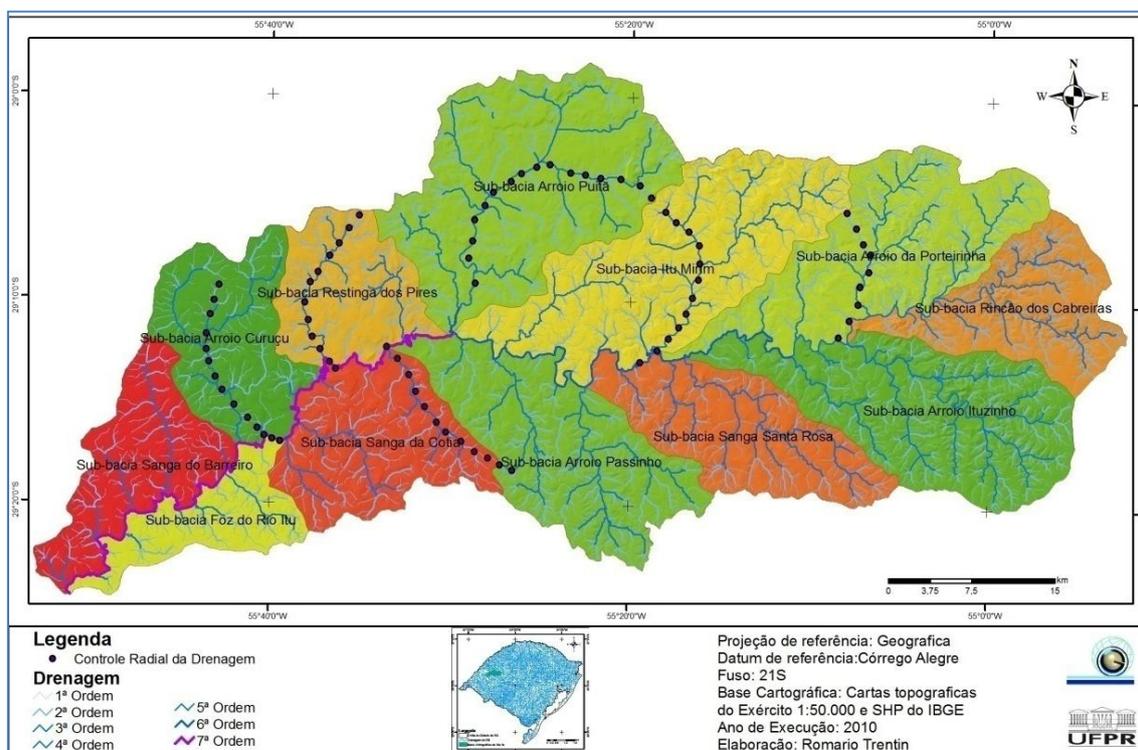


Figura 07 – Distribuição da drenagem, sub-bacias e controle radial da drenagem

A bacia hidrográfica possui uma área de 2.809,6 km² e perímetro de 328,79km, apresentando o índice de circularidade é de 0,32 que representa uma bacia com baixa circularidade, marcado por um forte controle estrutural.

A bacia hidrográfica do Rio Itu apresenta um padrão de drenagem predominantemente retangular-dendrítico, o que demonstra o significativo controle estrutural que a disposição das camadas geológicas estabelece junto aos cursos d'água, pois suas drenagens obedecem às linhas das falhas e fraturas geológicas da região.

Também é possível identificar, através da figura anterior, que além do padrão de drenagem predominante, ocorrem a organização de canais fluviais no formato radial, principalmente na porção central da bacia hidrográfica, fruto de um soerguimento nesta porção, denominada por Carraro *et al.* (1974), como Domo do Itu, que orientou o desenvolvimento da drenagem.

Villela e Mattos (1975), analisando a densidade de drenagem de maneira quantitativa, indicaram que o índice de 0,5 km/km² representa bacias com drenagem pobre, e o índice extremo de 3,5 km/km² ou mais, indica bacias excepcionalmente bem drenadas. Desta forma, apresentando uma densidade de drenagem de 1,72 km/km², a bacia hidrográfica do Rio Itu, pode ser caracterizada como mediantemente drenada.

Em função da grande diferenciação, observada no arranjo espacial da drenagem da BHRI, realizou-se a análise de alguns parâmetros das suas sub-bacias para melhor caracterização. A Tabela 03 apresenta os parâmetros morfométricos analisados nas sub-bacias.

Foram separadas doze sub-bacias, com hierarquias variadas em função do sistema de drenagem da área que abrange cada sub-bacia, sendo duas delas de sexta ordem, cinco de quinta ordem, três de quarta ordem e uma de terceira ordem.

O comprimento total das drenagens é bastante variando de 171,78 a 612,02 km. A magnitude das sub-bacias varia de 104 (Foz do Rio Itu) a 421

(Arroio Passinho). As densidades de drenagem (Dd) também apresentaram variações significativas desde 1,50 a 2,16 km/km².

Pode-se observar ainda que as sub-bacias localizadas no alto curso da BHRI apresentam as maiores densidades de drenagem, com exceção da sub-bacia do Arroio Passinho, que se localiza no médio curso, e apresenta a maior Dd (2,52).

Tabela 03 – Atributos morfométricos analisados das sub-bacias

SUB-BACIAS	Hierarquia	Comprimento Total (km)	Área (km ²)	Densidade de Drenagem (km/km ²)	Magnitude
Sub-bacia Foz do Rio Itu	4ª Ordem	171,78	110,83	1,55	104
Sub-bacia Sanga da Cotia	4ª Ordem	305,83	203,63	1,50	170
Sub-bacia Arroio Passinho	5ª Ordem	529,93	271,62	1,95	421
Sub-bacia Sanga Santa Rosa	5ª Ordem	315,94	206,24	1,53	188
Sub-bacia Arroio Ituzinho	6ª Ordem	612,02	310,76	1,97	469
Sub-bacia Rincão dos Cabreiras	5ª Ordem	389,38	180,34	2,16	331
Sub-bacia Arroio da Porteirinha	5ª Ordem	560,62	283,20	1,98	436
Sub-bacia Itu Mirim	5ª Ordem	587,31	344,46	1,70	329
Sub-bacia Arroio Puitã	6ª Ordem	601,36	392,90	1,53	361
Sub-bacia Restinga dos Pires	5ª Ordem	264,55	152,76	1,73	178
Sub-bacia Arroio Curuçu	4ª Ordem	260,08	185,61	1,40	143
Sub-bacia Sanga do Barreiro	3ª Ordem	244,59	167,23	1,46	136

Esta grande variação refere-se ao substrato rochoso, que constitui a bacia hidrográfica. As sub-bacias localizadas sobre rochas vulcânicas apresentam maior densidade de drenagem, visto que estas rochas apresentam uma menor permeabilidade, influenciando o desenvolvimento dos cursos de água. Já as localizadas sobre substratos areníticos com maior infiltração, apresentam menor desenvolvimento dos cursos de água.

4.2. Análise das Características do Relevo

De maneira geral, o relevo da BHRI é bastante variado, apresentando desde áreas baixas e aplainadas, como a planície de inundação, até áreas

íngremes do rebordo do planalto, e áreas suavemente onduladas a onduladas no topo do planalto e médio curso da bacia hidrográfica.

Na análise do relevo foram considerados os parâmetros referentes à hipsometria, a declividade da área e a análise das vertentes, caracterizadas pelo comprimento, orientação, plano e perfil de curvatura, determinando as formas de relevo.

4.2.1. Hipsometria

A amplitude altimétrica da bacia hidrográfica do Rio Itu é de 375 metros, sendo que seu ponto cotado com maior altitude se encontra a 435 metros acima do nível do mar e sua foz junto ao Rio Ibicuí está a 60 metros de altitude. Assim, a bacia hidrográfica foi dividida em seis áreas de altitudes distintas, diferenciadas ao longo de sua extensão, como ilustra a Figura 08.

A Tabela 04 apresenta os limites utilizados na divisão das seis classes, bem como suas respectivas áreas e porcentagem de ocorrência, na bacia hidrográfica.

Tabela 04 – Intervalo das classes hipsométricas e suas áreas

Classes Hipsométricas (m)	Área (km ²)	Porcentagem (%)
60 - 80	143,75	5,12
80 - 120	553,10	19,68
120 - 200	1228,78	43,73
200 - 300	540,06	19,22
300 - 380	255,43	9,09
380 - 435	89,04	3,17

Pode-se observar pela tabela e através da espacialização (Figura 10), que a classe de 120 a 200 metros de altitude, ocupa a maior área da bacia, com 43,73% e entende-se por toda a sua porção central.

A classe de 200 a 300 metros marca a área de rebordo indicando a transição das áreas mais baixas da bacia (Depressão Periférica) para as áreas mais elevadas do topo do Planalto, e representa 19,22% da área total.

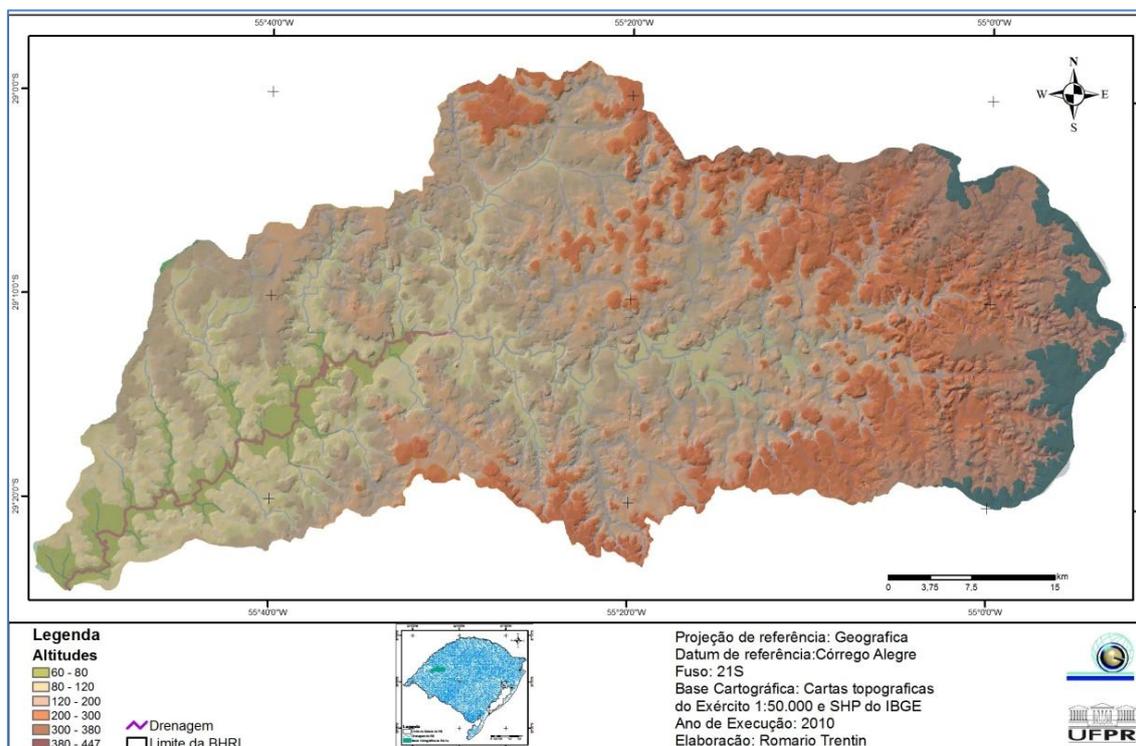


Figura 08 – Espacialização das classes hipsométricas

As altitudes acima de 300 metros foram divididas em duas classes, sendo que juntas ocupam 12,26%. Desta forma, destacam-se as áreas abaixo de 200 metros, que são as predominantes na bacia hidrográfica, com 68,53% da área.

4.2.2. Declividade

Com a definição de quatro classes de declividade, representadas na Tabela 05, evidenciou-se que a bacia hidrográfica do Rio Itu apresenta grandes variações, quanto à disposição das classes de declividade, ao longo de sua extensão.

Tabela 05 – Declividade das vertentes na bacia hidrográfica do Rio Itu

Classes	Limite inferior	Limite superior	Área (km ²)	Porcentagem (%)
1	0%	2%	675,68	24,0%
2	2%	5%	783,96	27,9%
3	5%	15%	1.076,12	38,3%
4	>15%	-	273,15	9,8%

Observa-se, especialmente, na Figura 09, que a classe de declividade de 5 a 15% é a que ocupa a maior área da BHRI, com 38,3%, compreendendo, principalmente, o alto e médio curso da bacia.

As declividades inferiores a 2% ocupam 24% da área total da bacia hidrográfica e fazem-se presente por toda a bacia, sendo a maior concentração no baixo curso, junto ao divisor d'água da margem direita do rio Itu, formando uma faixa que segue o divisor até a foz da bacia.

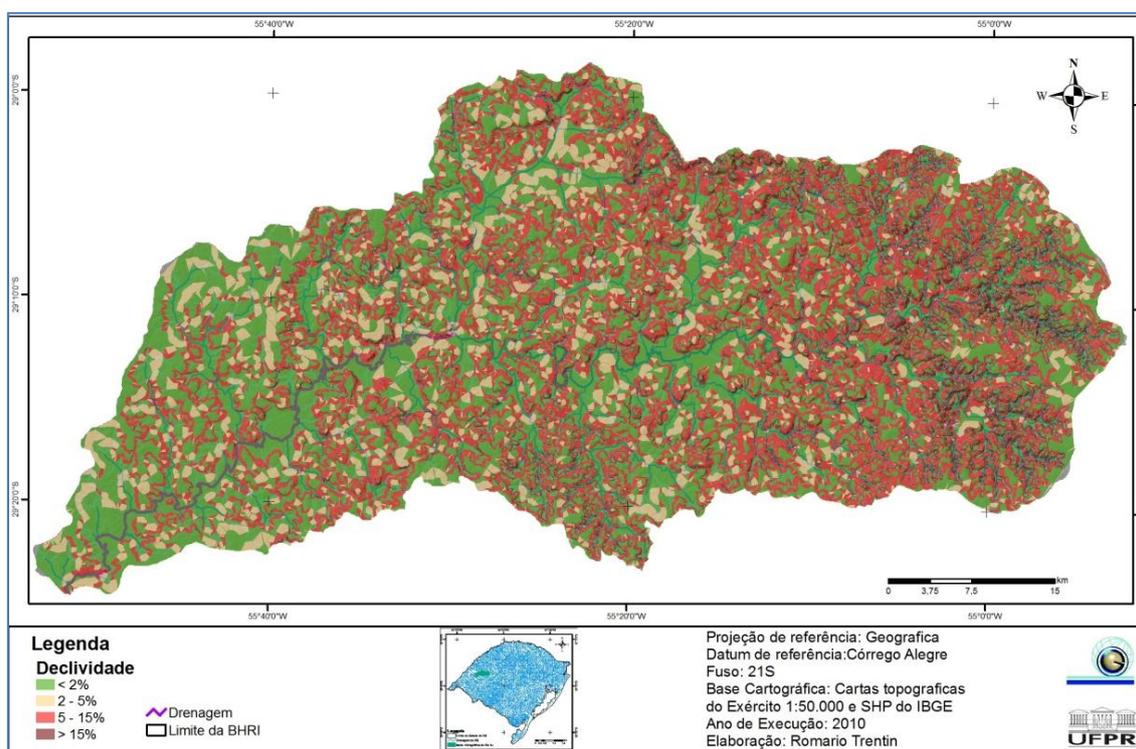


Figura 09 – Distribuição espacial das classes de declividade

As declividades superiores a 15% ocorrem quase que exclusivamente no alto curso, na transição do rebordo do planalto. Estas altas declividades,

maiores que 15%, também estão associadas às vertentes encaixadas dos cursos d'água que “cortam” o rebordo.

Mediante a análise da figura e da tabela de declividade, identifica-se que a BHRI apresenta 90,2% de sua área total, com declividades inferiores a 15%. Sendo este o limite máximo para o emprego de maquinário agrícola, evidencia-se um grande favorecimento do relevo, quanto às condições topográficas, ao desenvolvimento agropecuário da bacia hidrográfica.

4.2.3. Comprimento de vertente

Os comprimentos de vertentes, identificados na BHRI, foram divididos em 5 classes, conforme o comprimento de cada vertente analisada, como mostra a Tabela 05.

Tabela 05 – Classes de comprimento das vertentes e freqüência de ocorrência

Classes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
161,72 - 698,53	29	29	41	26	33	42	44	41	35	42	31	32	425
698,54 - 1.235,35	15	16	8	17	17	7	6	8	15	7	16	16	148
1.235,36 - 1.772,18	4	4	1	6	0	0	0	1	0	1	3	2	22
1.772,19 - 2.309,00	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	3
2.309,01 - 2.845,82	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2

1: Sanga do Barreiro; 2: Arroio Curuçu; 3: Restinga dos Pires; 4: Arroio Puitã; 5: Itu Mirim; 6: Arroio Porteirinha; 7: Rincão dos Cabreiras; 8: Arroio Ituzinho; 9: Sanga Santa Rosa; 10: Arroio Passinho; 11: Sanga da Cotia; 12: Foz do Rio Itu; 13: BHRI

Verifica-se que na bacia hidrográfica do Rio Itu há um predomínio das vertentes com comprimentos que variam de 161,72 a 698,53 metros, apresentando 425 ocorrências, o que corresponde a 70,83% do total de vertentes da bacia. A ocorrência das vertentes mais longas (2309,01 - 2845,82 metros) restringe-se apenas à porção do baixo curso da bacia hidrográfica, ou seja, as áreas de várzeas do Rio Itu (sub-bacia Sanga do Barreiro).

Já a classe de comprimento entre 698,54 e 1235,35 metros representa 24,67% do total de vertentes, com 148 ocorrências. A classe de comprimento entre 1.235,36 e 1.772,18 apresentou 22 ocorrências, com predomínio na sub-bacia: Arroio Puitã, Sanga do Barreiro e Arroio Curuçu.

O Gráfico 01 mostra a distribuição contínua dos comprimentos de vertentes analisados em cada sub-bacia. Através deste é possível identificar que o intervalo com maior ocorrência das vertentes, ocorre entre 300 e 600 metros.

Pode-se observar ainda, uma concentração de vertentes com comprimento superior a 900 metros, principalmente nas sub-bacias do baixo curso (Foz do Rio Itu e Sanga do Barreiro) e também na sub-bacia do Arroio Puitã.

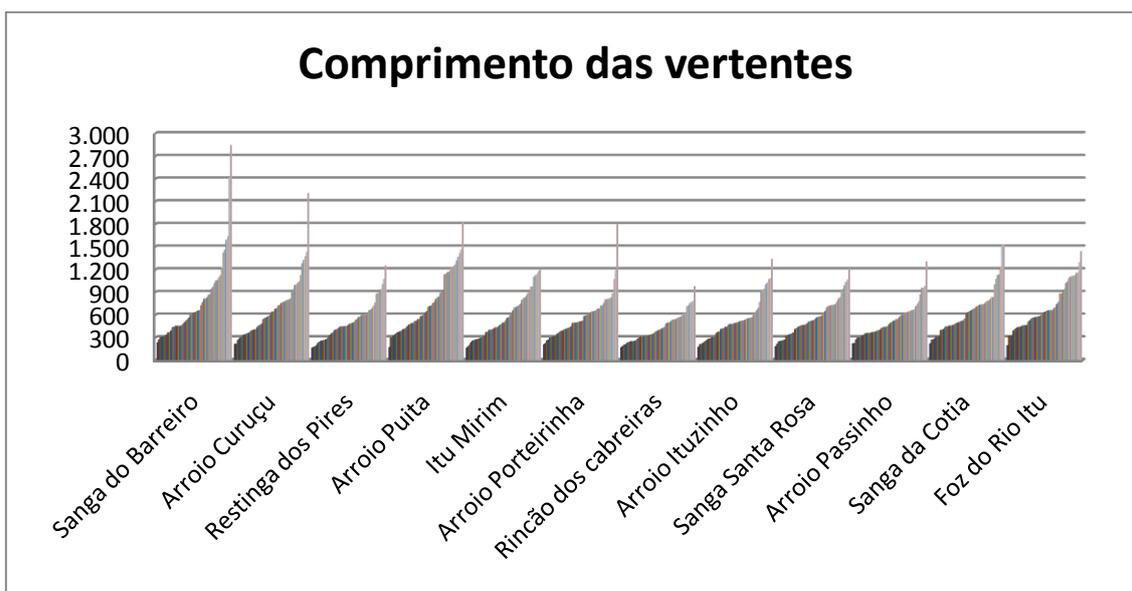


Gráfico 01 - Distribuição do comprimento das vertentes

Já as sub-bacias, localizadas no do alto curso da BHRI, apresentam o predomínio das vertentes mais curtas, isto em função de estarem associadas ao relevo mais movimentado, como a área de rebordo, onde as vertentes encaixadas são geralmente curtas.

4.2.4. Orientação das vertentes

A Figura 10 ilustra a distribuição espacial da orientação das vertentes na bacia hidrográfica do Rio Itu. A Tabela 06 apresenta a porcentagem que cada direção das vertentes ocupa na BHRI e nas sub-bacias.

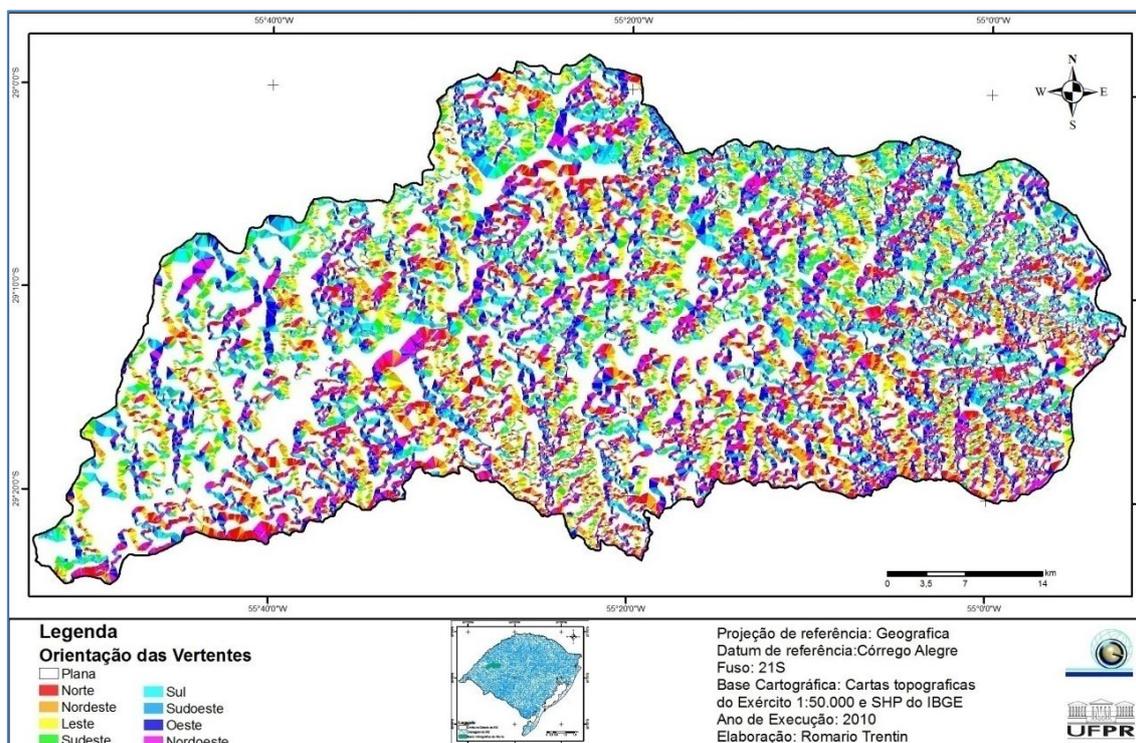


Figura 10 – Distribuição espacial da orientação das vertentes

Tabela 06 – Porcentagem da orientação das vertentes

Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Plana	56,73	56,07	44,50	42,31	40,54	37,02	40,36	38,18	42,03	47,16	46,13	53,09	44,01
Norte	2,02	3,04	5,32	7,53	5,40	4,26	10,32	10,95	10,83	9,53	9,64	12,72	7,55
Nordeste	4,44	4,09	5,82	6,71	4,68	5,70	7,67	8,41	9,36	8,57	7,92	6,92	6,72
Leste	7,18	5,08	8,16	7,16	7,56	8,49	4,41	6,31	6,71	6,98	4,96	2,01	6,58
Sudeste	7,56	6,37	7,55	5,90	7,45	9,18	4,44	4,04	3,07	4,27	3,00	0,83	5,57
Sul	7,26	6,46	9,08	6,49	8,46	9,42	6,30	5,30	3,24	3,49	3,53	2,88	6,18
Sudoeste	6,37	7,15	7,40	8,35	8,96	10,21	8,96	7,08	5,00	4,72	6,19	5,60	7,40
Oeste	6,18	6,79	6,51	8,36	8,78	9,23	8,43	9,40	9,64	7,07	8,33	5,68	8,15
Noroeste	2,26	4,95	5,66	7,18	8,18	6,48	9,10	10,32	10,12	8,22	10,31	10,28	7,85

1: Sanga do Barreiro; 2: Arroio Curuçu; 3: Restinga dos Pires; 4: Arroio Puitã; 5: Itu Mirim; 6: Arroio Porteirinha; 7: Rincão dos Cabreiras; 8: Arroio Ituzinho; 9: Sanga Santa Rosa; 10: Arroio Passinho; 11: Sanga da Cotia; 12: Foz do Rio Itu; 13: BHRI.

Eliminando-se os fundos dos vales, as orientações das vertentes ocorrem de forma bastante proporcionais em toda a BHRI, com predomínio da orientação Oeste (8,15%) e a orientação com menor ocorrência é a Sudeste com 5,57% na BHRI.

Nas sub-bacias ocorrem, em certos casos, o predomínio de alguma orientação, como é o caso da Sanga do Barreiro (1), que apresenta poucas vertentes de orientação Norte e Noroeste, predominando as orientações Leste, Sudeste e Sul. Já a sub-bacia da Foz do Rio Itu (12) ocorre o contrário, com predomínio das orientações Norte e Noroeste, somando juntas 23%, e as orientações Leste, Sudeste e Sul são as de menor ocorrência,

4.2.5. Perfil e plano de curvatura das vertentes

A Figura 11 apresenta a distribuição do perfil de curvatura das vertentes na BHRI e o Gráfico 02 apresenta a porcentagem do perfil de curvatura na bacia hidrográfica do Rio Itu e nas sub-bacias.

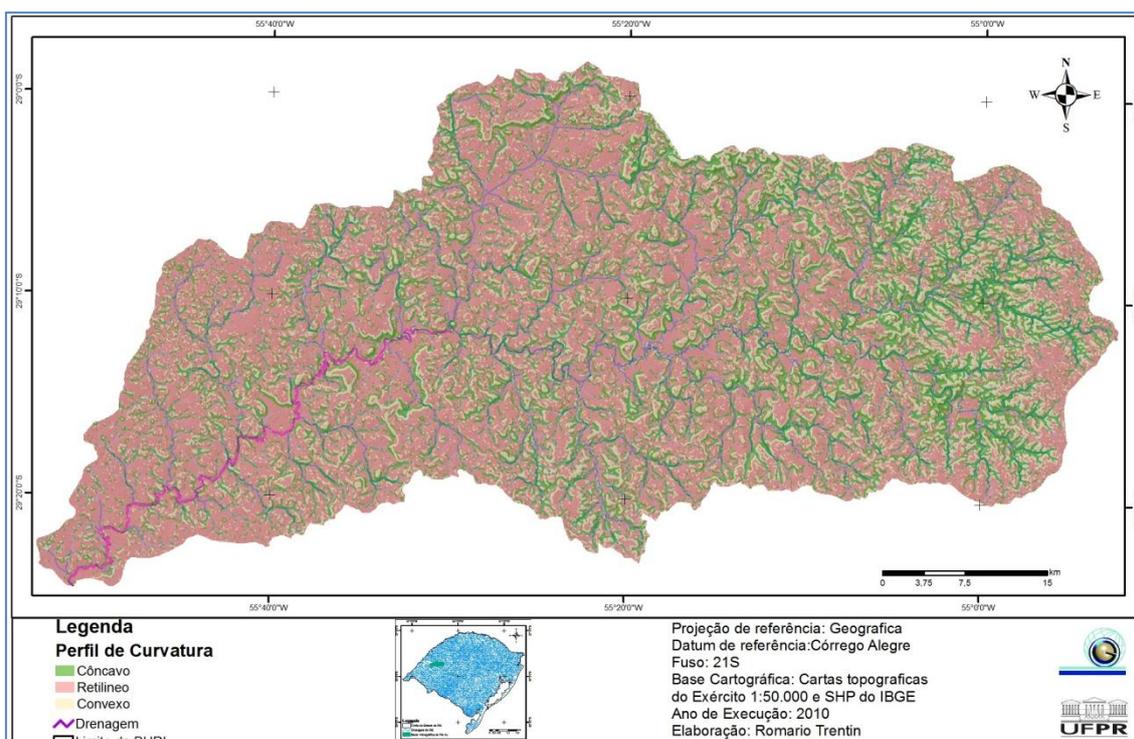


Figura 11 – Distribuição do perfil de curvatura das vertentes

Observa-se o predomínio de vertentes retilíneas em toda a bacia hidrográfica, com 57,1% do total. O predomínio destas vertentes ocorre principalmente no baixo e médio curso da BHRI.

O fato pode ser visualizado na distribuição do perfil de curvatura das vertentes das sub-bacias, onde as sub-bacias localizadas junto ao baixo curso, principalmente a Sanga do Barreiro (1) e Foz do Rio Itu (12) que apresentam 75,1 e 72,5% de vertentes retilíneas, respectivamente. Enquanto que a sub-bacia Rincão dos Cabreiras, localizada no alto curso, apresenta apenas 38,6% de vertentes retilíneas.

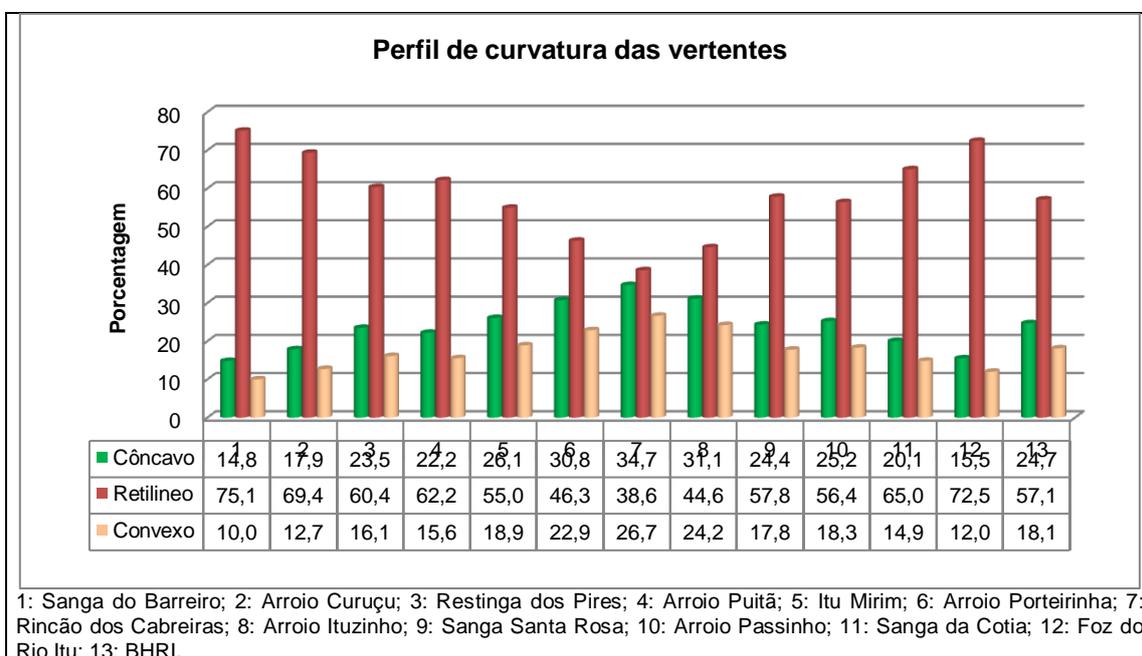


Gráfico 02 – Distribuição das porcentagens do perfil de curvatura das vertentes

Os perfis de curvatura de vertentes convexas e côncavas ocorrem de forma contrária às vertentes retilíneas, tendo menos ocorrência no baixo curso e maior ocorrência no alto curso. As vertentes côncavas são as que aparecem com as maiores ocorrências, em todas as sub-bacias e da mesma forma na BHRI, com 24,7%.

A Figura 12 mostra a distribuição do plano de curvatura das vertentes na BHRI, e o Gráfico 03 ilustra a porcentagem de ocorrências em toda a bacia hidrográfica e nas sub-bacias.

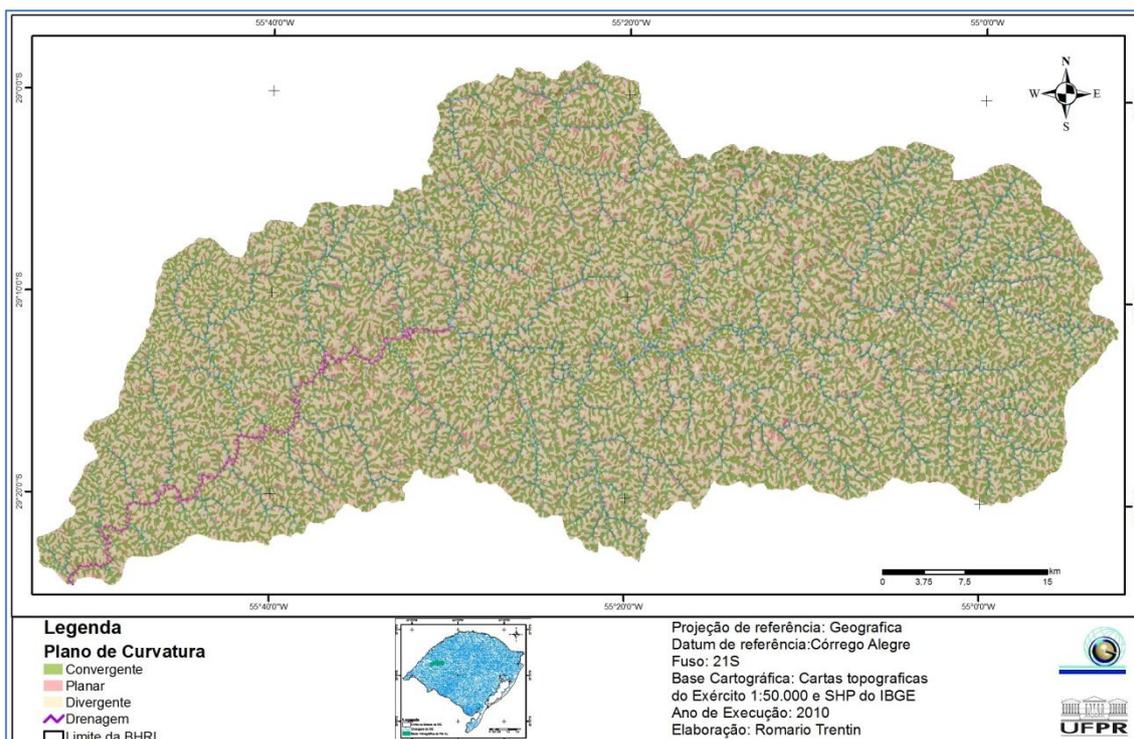


Figura 12 – Distribuição do plano de curvatura das vertentes

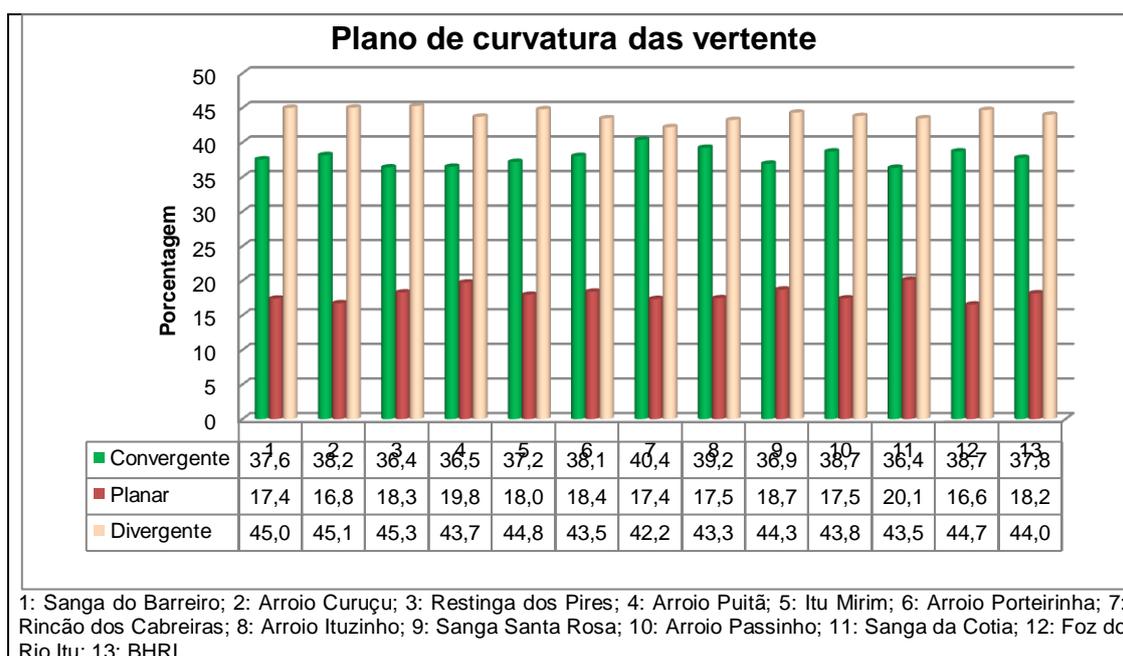


Gráfico 03 – Distribuição das porcentagens do plano de curvatura das vertentes

Observa-se que, o plano de curvatura de vertente divergente é o que predomina em toda a bacia hidrográfica e, diferentemente do perfil de curvatura, o plano de curvatura apresenta-se muito semelhante em todas as

sub-bacias. Na BHRI o plano de curvatura divergente ocupa uma porcentagem de 44% e nas sub-bacias variam de 42,2 a 45,3%.

O plano de curvatura de vertente convergente ocupa a segunda maior área da bacia hidrográfica com 37,8% e nas sub-bacias variam de 36,4 a 40,4%. Já o plano de curvatura de vertente planar ocupa apenas 18,2% da área da BHRI e nas sub-bacias apresenta uma variação de 16,6 a 20,1%.

Conforme os dados de porcentagem observam-se a predominância das vertentes divergentes, ocupando basicamente as áreas de topos e encostas das vertentes. Já os planos de curvaturas convergentes encontram-se junto ao fundo dos vales.

A Figura 13 representa a distribuição da curvatura das vertentes (cruzamento do perfil e plano de curvatura), apresentando as nove classes de curvaturas. Já o Gráfico 04 mostra a distribuição da porcentagem das nove classes de curvaturas na BHRI, bem como nas suas sub-bacias.

Pode-se observar, através do mapa e do gráfico, o cruzamento do perfil de curvatura com o plano de curvatura, que definiu as nove classes de curvaturas das vertentes, sendo elas: côncavo-convergente; retilíneo-convergente; convexo-convergente; côncavo-planar; retilíneo-planar; convexo-planar; côncavo-divergente; retilíneo-divergente; convexo-divergente.

A classe de curvatura com maior ocorrência na BHRI é a retilíneo-divergente com 25,5% da área total, seguidas pelas curvaturas: retilíneo-convergente e côncavo-convergente, com 20,6 e 14,9% respectivamente.

Com relação à distribuição pelas sub-bacias, a classe de curvatura retilíneo-divergente, também é a que predomina em todas as sub-bacias, sendo que as mesmas apresentam maior ocorrência junto ao baixo e médio curso da BHRI e vai diminuindo a ocorrência em direção ao alto curso. Distribuição semelhante ocorre com a curvatura das vertentes retilíneo-convergente que ocupam, na maioria das sub-bacias, a segunda maior área de ocorrência.

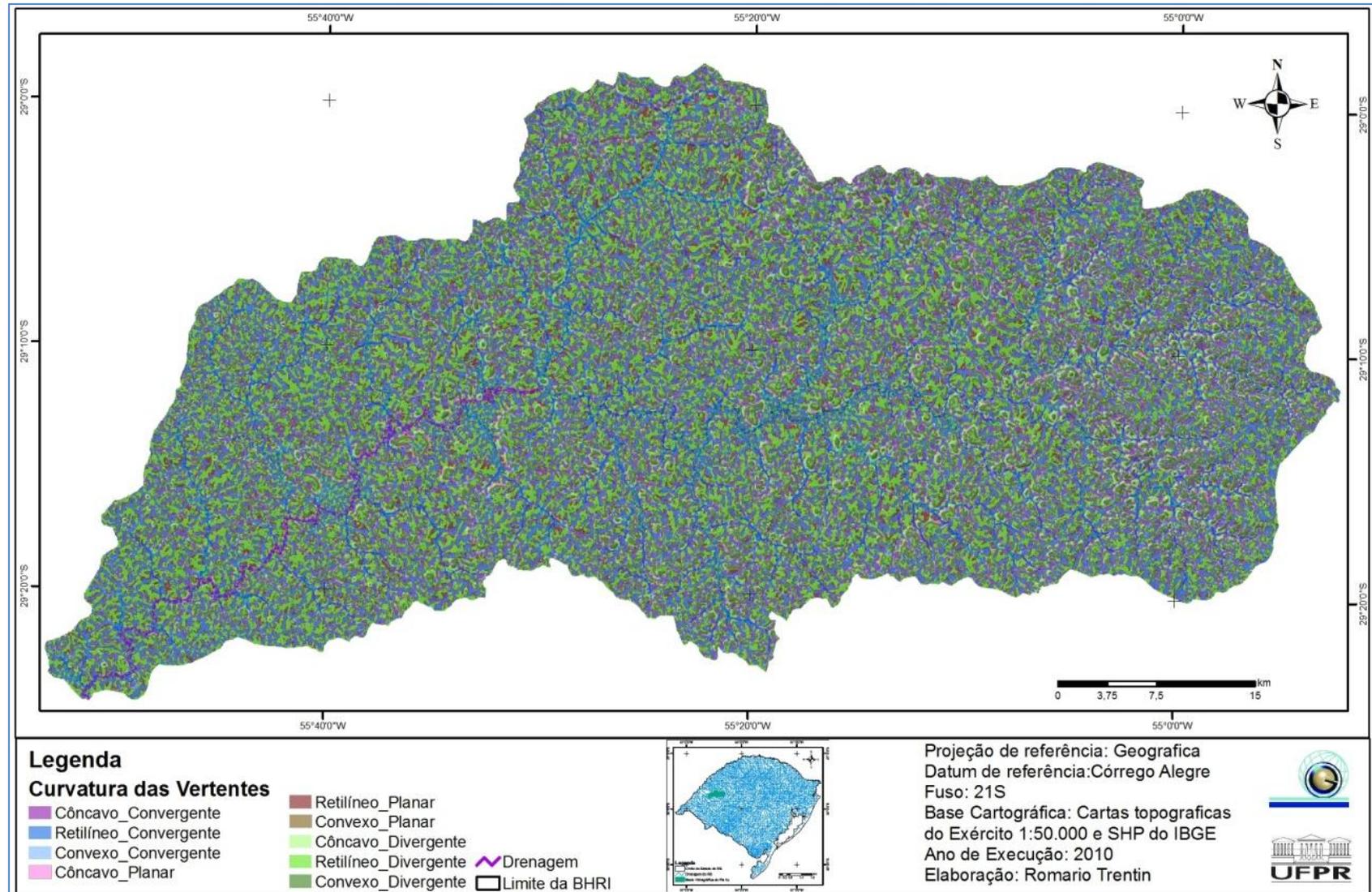


Figura 13 – Distribuição das curvaturas das vertentes da BHRI

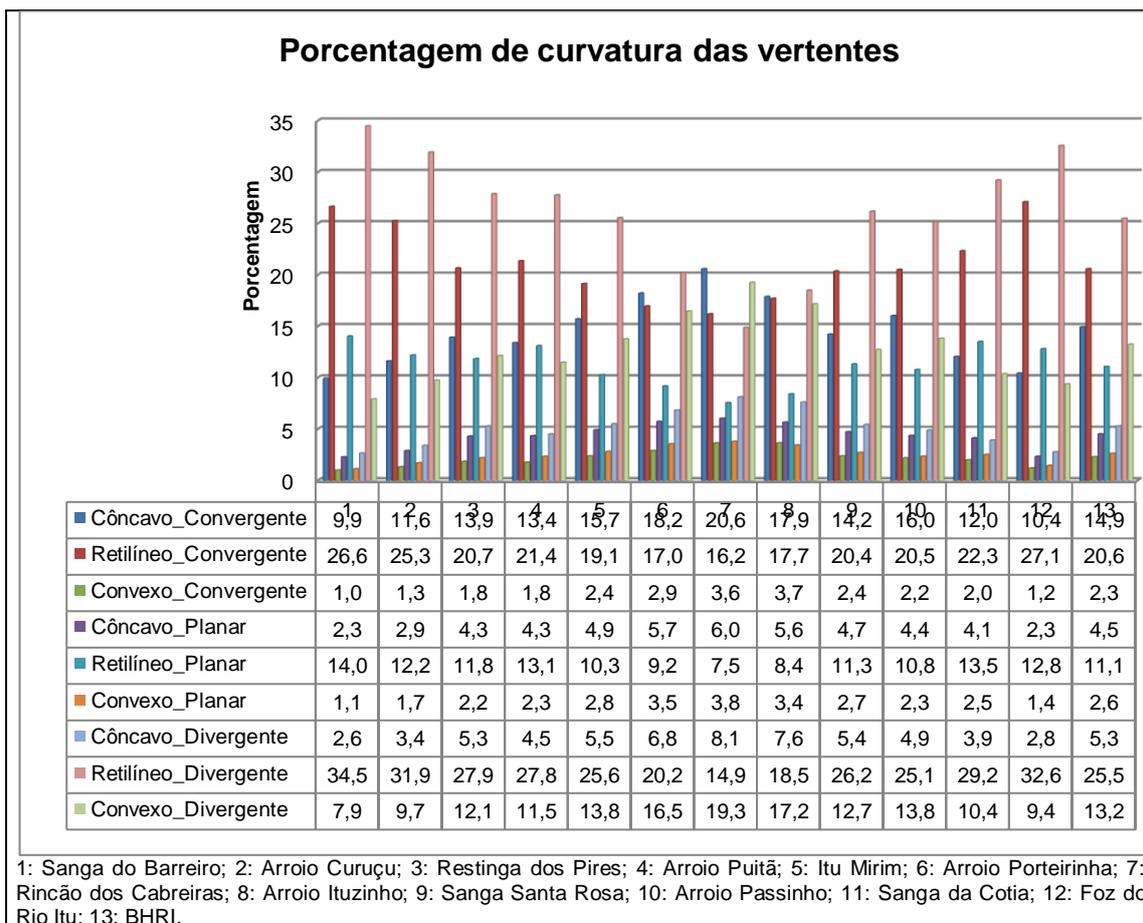


Gráfico 04 – Distribuição das porcentagens das curvaturas das vertentes

4.3. Análise das Características Litológicas

Inicialmente, cabe destacar que as características litológicas da bacia hidrográfica do Rio Itu, apresentam um controle estrutural muito grande, o que condiciona o próprio desenvolvimento dos cursos de água, e a própria distribuição espacial dos litotipos geológicos.

As litologias encontradas na área são definidas como rochas vulcânicas e sedimentares, pertencentes à Bacia do Paraná e depósitos recentes do Rio Itu. Segundo Milani (2002), a Bacia do Paraná é uma vasta região sedimentar da América do Sul, abrigando um conjunto de rochas com idade entre o Neo-Ordoviciano e o Neocretáceo.

A Figura 14 representa um recorte da coluna estratigráfica, com a distribuição dos litotipos e ambientes de sedimentação do Estado do Rio Grande do Sul.

EON	ERA	Período	EPOCA	10 ⁷ anos	LITÓTIPOS / AMBIENTES DE SEDIMENTAÇÃO		
FANEROZÓICO	CENOZÓICO	NEÓGENO	HOLOCENO	0,01	Depósitos colúvio-aluviais		
					Depósitos relacionados a barreiras holocênicas		
					Depósito de barreira pleistocênica 3		
	CENOZÓICO	PLEISTOCENO				Depósito de barreira pleistocênica 2	
						Depósito de barreira pleistocênica 1	
						Formação Santa Tecla	
	CENOZÓICO	PALEOCENO				Formação Tupanciretã	
						65,5	Provincia Kimberlítica Rosário do Sul
	MESOZÓICO	CRETÁCEO				Suite Alcalina Passo da Capela	
						GRUPO SÃO BENTO	
CRETÁCEO						Formação Serra Geral	
						135	Formação Botucatu
JURÁSSICO						Formação Guará	
						199	GRUPO ROSÁRIO DO SUL
TRIASSICO		SUPERIOR				Formação Caturrita	
						228	Formação Santa Maria
						245	Formação Sanga do Cabral
TRIASSICO		MÉDIO				GRUPO PASSA DOIS	
	251					Formação Pirambóia	
PALEOZÓICO	PERMIANO				Formação Rio do Rasto		
					Subgrupo Estrada Nova		
					Formação Irati		
					GRUPO GUATÁ		
					Formação Palermo		
CARBONIFERO					Formação Rio Bonito		
					299	GRUPO ITARARÉ	
					359	Formação Taciba	
					443	BACIA DO CAMAQUÃ	

Figura 14 – Recorte da coluna estratigráfica do estado do Rio Grande do Sul, representando a coluna estratigráfica do Oeste do RS. Fonte: Santos et. al (1989).

Em destaque observam-se os litotipos encontrados na bacia hidrográfica do Rio Itu, sendo os depósitos recentes, pertencentes aos Depósitos colúvio-aluviais e os demais litotipos pertencentes à Província do Paraná, e ao Grupo São Bento.

Já a Figura 15 apresenta a distribuição espacial da litologia da bacia hidrográfica do Rio Itu e dos principais lineamentos estruturais identificados. Pode-se observar que na bacia ocorre o predomínio de rochas vulcânicas e na área foram mapeadas seis seqüências de derrames vulcânicos, posteriormente analisadas.

A ocorrência das rochas vulcânicas estende-se por toda a bacia hidrográfica, com exceção de duas grandes áreas no médio e baixo curso, nas quais, devido aos grandes falhamentos que causaram movimentação tectônica na área, ocorrem os arenitos fluviais da Formação Guará.

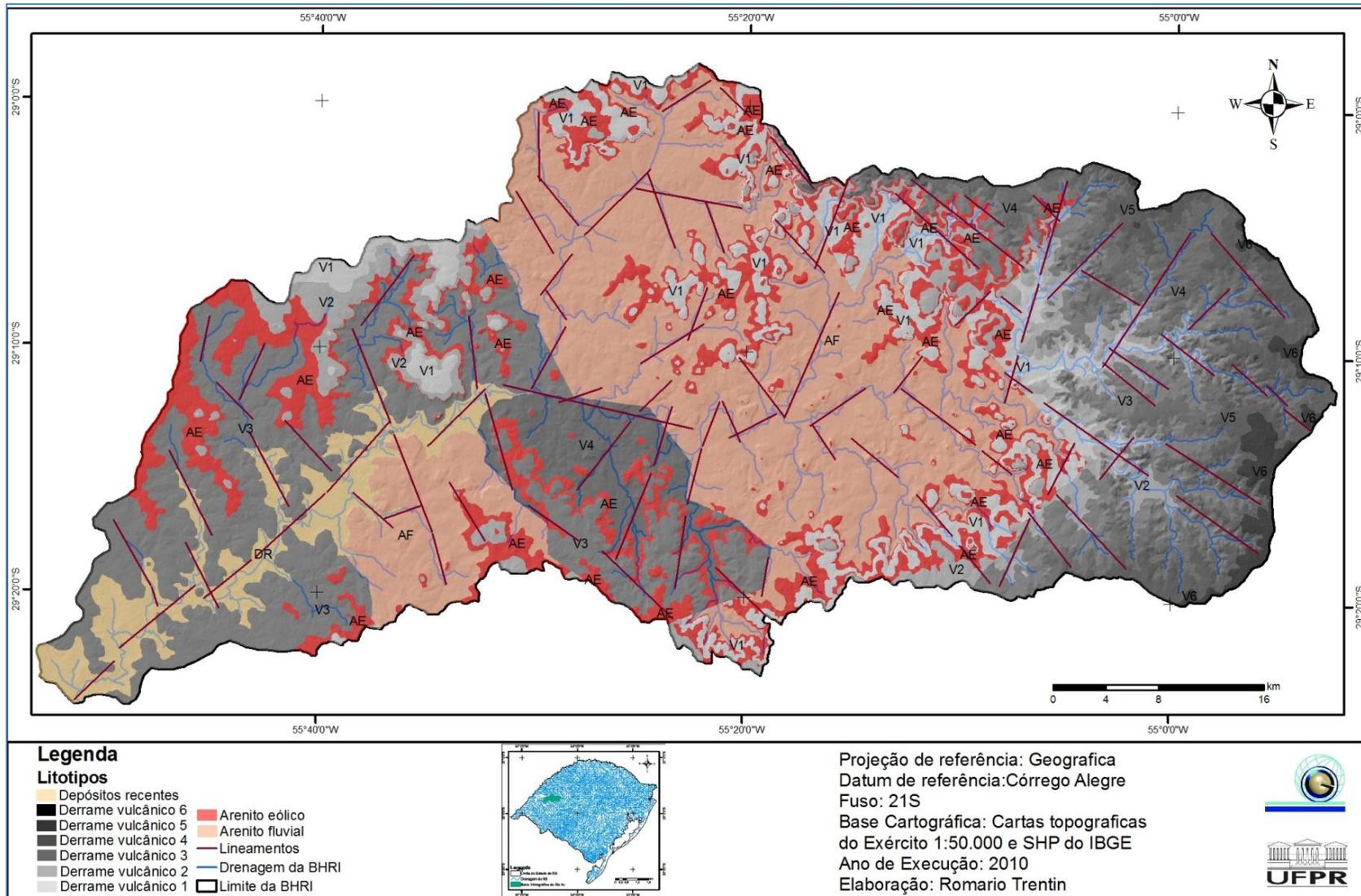


Figura 15 – Distribuição espacial das litologias na bacia hidrográfica do Rio Itu

Os arenitos fluviais da Formação Guará são os que ocupam a segunda maior área da bacia e por ser um substrato muito friável, condicionam a bacia hidrográfica a uma grande fragilidade frente aos processos de dinâmica superficial.

Esta movimentação pode estar associada ao Domo do Itu, definido por Carraro *et al.* (1974). Os autores consideram que a origem da estrutura dômica do Itu pode estar ligada à intrusão de um grande corpo ígneo, provavelmente um lacólito, relacionado com os eventos que culminaram com a extrusão das lavas da Formação Serra Geral.

Outra evidência da movimentação tectônica, destas áreas, é a ocorrência de topos de colinas e morrotes, onde encontram-se afloramento de arenito eólicos (Formação Botucatu) e camadas delgadas de rocha vulcânica, indicando condições de paleo-relevo.

4.3.1. Depósitos recentes

O substrato mais recente é constituído por depósitos do Rio Itu que, devido ao tamanho da bacia hidrográfica e sua magnitude, apresenta uma significativa área de depósito sedimentar, principalmente ao longo do curso principal.

A Figura 16 mostra áreas de depósitos associados ao canal principal do Rio Itu e junto a sua planície de inundação, em área próxima da foz e depósito mais grosso no canal, no médio curso da bacia hidrográfica.

Mais a montante (médio curso da bacia hidrográfica), os depósitos são constituídos principalmente de cascalho e blocos predominantemente de rochas vulcânicas. Os sedimentos, no baixo curso, são constituídos principalmente de areias, que estão sendo retrabalhadas, moderadamente classificadas. Na planície de inundação ocorrem os depósitos mais finos constituídos de silte a argila.

Os depósitos recentes encontrados na BHRI, principalmente próximos à foz, recebem ainda importante contribuição do Rio Ibicuí, por ser um rio de grande porte e apresentar uma grande área de deposição de sedimentos.



Figura 16 – Depósitos recentes na planície de inundação no baixo curso e depósitos mais grossos no canal junto ao médio curso.

4.3.2. Rochas vulcânicas

As rochas vulcânicas estão associadas à Formação Serra Geral, que é constituída por derrames vulcânicos que ocorreram no Sul do Brasil. Estes recobrimentos, junto à área de estudo, não apresentam uma continuidade uniforme, estando bastante intercalado com as formações sedimentares.

Foram identificados seis derrames vulcânicos na área da bacia, ocorrendo algumas vezes à presença de arenitos intertrâpicos da Formação Botucatu, intercalando-se entre os derrames.

Os derrames apresentam diferentes características em função da porção observada. Na parte superior dos derrames é encontrada uma porção rica em vesículas e amígdalas, que são facilmente afetados pelos processos de alteração, gerando solos bem desenvolvidos. A porção de base apresenta juntas horizontais, que deve ser resultado, pelo menos em parte, do escoamento laminar da lava no seu interior. Já a porção central do derrame, apresenta um conjunto de juntas verticais e textura cristalina, apresentando maior resistência aos processos de alteração, condicionando solos menos

desenvolvidos. Óxidos de ferro ocorrem mergulhando na matriz e como inclusões nos piroxênios.

Petrograficamente, as rochas vulcânicas mostram, nos sucessivos derrames, variações texturais que caracterizam condições diferentes de resfriamento. Em amostras estudadas, a rocha apresenta uma cor preta com brilho resinoso, e textura denunciando a presença de vidro, ocupando os interstícios entre os micrólitos de plagioclásio e de piroxênios orientados ao acaso.

A Figura 17 ilustra os locais de amostragem, com fotografias do local da coleta das amostras.

As amostras dos pontos 01 e 02 e 04 representam rochas ácidas, identificadas pela textura de Intercrescimento de quartzo e feldspato, que caracterizam a rocha como Granófilo, como mostra a Figura 18 A.

As amostras dos pontos 06 e 08, localizados sobre o quinto derrame vulcânico mapeado na BHRI, são caracterizadas pela presença de ripas de plagioclásio, poucos piroxênios e presença de quartzo, sendo determinada como rocha ácida ou intermediária, provavelmente Dacito ou Andesito, conforme a Figura 18 B.

As amostras dos pontos 05 e 09 (primeiro derrame vulcânico), do ponto 10 (segundo derrame vulcânico), do ponto 03 (terceiro derrame vulcânico) e dos pontos 07 e 11 (quarto derrame vulcânico), são classificadas como básicas pela identificação de um arranjo intergranular de plagioclásios e piroxênios e por vezes com vidro intersertal, visualizada na Figura 18 C.

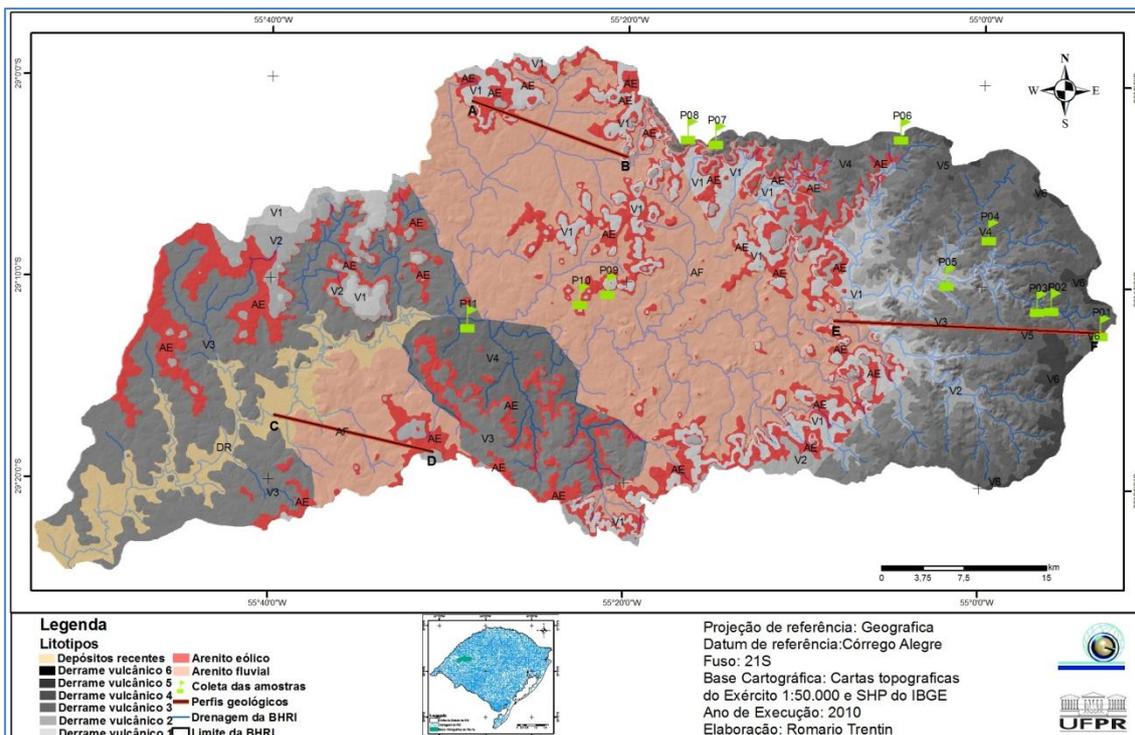


Figura 17 – Localização dos pontos de coleta e fotografias das amostras de rocha e localização dos perfis geológicos

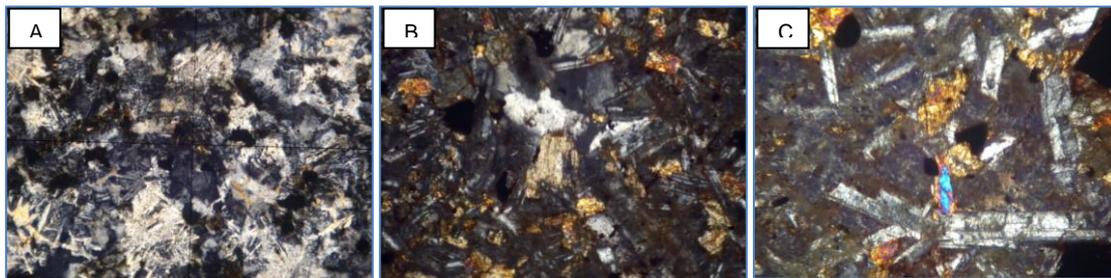


Figura 18 – Lâminas petrográficas de identificação: intercrescimento de quartzo e feldspato e minerais pretos opacos. Rocha ácida – Granófiro (A); associação de cristais de plagioclásio e piroxênio, na porção central microfenocristais de quartzo que ocorrem dispersos na amostra, rocha ácida à intermediária - Dacito ou Andesito (B); microfenocristais de plagioclásio e piroxênio e alguns minerais opacos e massa vítrea, rocha básica (C).

O perfil geológico, ilustrado na Figura 19, apresenta na porção do alto curso, a distribuição dos derrames vulcânicos, tendo sido, os quatro primeiros, definidos como sendo de composição básica com predomínio do basalto e o quinto e sexto de composição ácida. Na porção, do traçado do perfil, não identificou-se a ocorrência de arenitos intertrâpicos, intercalando determinados derrames, porém é bastante comum a presença de arenitos eólicos intercalados, principalmente entre os três primeiros derrames.

Destaca-se ainda, a presença de depósitos coluviais associados à base das encostas mais íngremes onde ocorrem grandes depósitos de rocha vulcânica de tamanhos variados, produto de quedas blocos e desagregação das rochas do topo das vertentes, vistos na Figura 20.

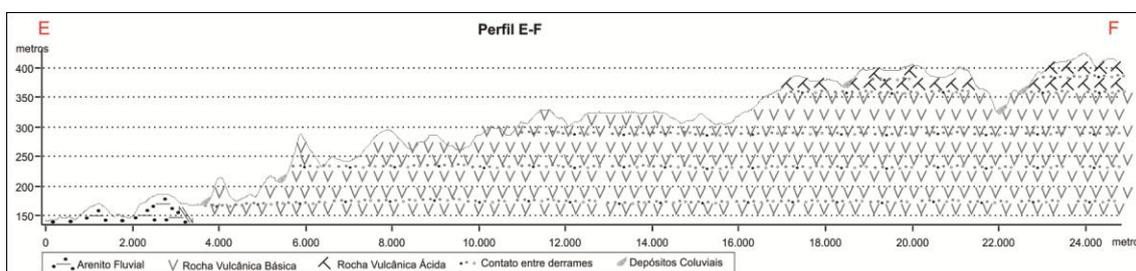


Figura 19 – Perfil geológico com a distribuição dos derrames vulcânicos na porção montante da BHRI



Figura 20 – Depósitos coluviais na base das vertentes

4.3.3. Arenitos eólicos

Em nível abaixo dos derrames e, por vezes, intercalado, ocorrem arenitos bem classificado, avermelhados (róseos a esbranquiçados) de granulação fina a média, com grãos bem selecionados e bem arredondados, geralmente foscos. A estrutura predominante é de estratos cruzados de alto ângulo formando “sets” bastante longos.

Estas características permitem definir como sendo rochas pertencentes à Formação Botucatu. Essa formação é composta por arenitos essencialmente quartzosos, contendo ainda, feldspatos alterados e cimentados predominantemente por sílica, mas em alguns casos por óxido de ferro com estratificações cruzadas de grande porte, compreendendo as antigas dunas eólicas do deserto Botucatu.

A Figura 21 ilustra dois afloramentos de arenito eólico da Formação Botucatu, podendo-se identificar a estratificação cruzada bem definida.



Figura 21 – Afloramentos de arenito eólico da Formação Botucatu

Este substrato também é encontrado nas intercalações de derrames vulcânicos, constituindo os arenitos intertrâpicos, como pode ser visto na Figura 22, que mostra um perfil geológico da porção central da bacia hidrográfica, no qual identifica-se duas camadas de arenito eólico da Formação Botucatu, uma sobre o arenito fluvial e outra sobre uma camada de rocha vulcânica. Desta forma, a camada superior caracteriza-se por ser um arenito intertrápico.

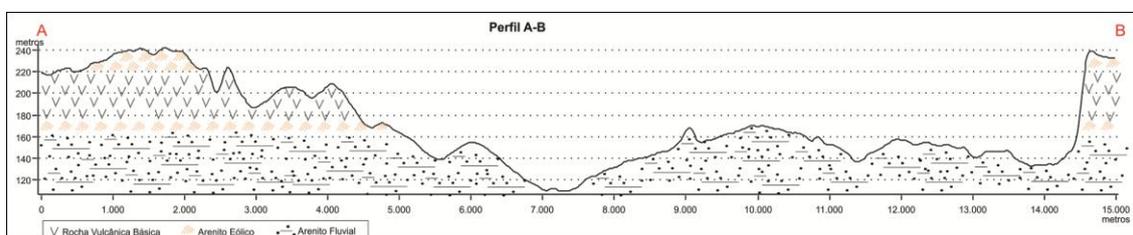


Figura 22 – Perfil geológico da porção central da BHRI

4.3.4. Arenitos fluviais

O substrato litológico mais antigo, também é constituído predominantemente por arenitos. Essas rochas caracterizam-se por sua textura de areia com grânulos silicosos dispersos, estrutura, por vezes bem definida, de estratos cruzados acanalados e planares, com “sets” curtos e médios e plano-paralelos, indicando, junto às outras feições, um ambiente deposicional de características fluviais.

A mineralogia é quartzosa tanto na fração areia, quanto na fração grossa. Nesta, os clastos variam desde 2 mm até cerca de 2 a 3 cm. São predominantemente de quartzo leitoso, de modo geral, bem retalhados e mostram um bom grau de arredondamento. Em alguns afloramentos são encontrados, de maneira esparsa, conglomerados intraformacionais constituídos por clastos argilosos róseos, com até 10 cm de eixo maior, conforme a Figura 23.



Figura 23 – Arenito fluvial com grânulos de sílica (A) e arenito fluvial com clastos intraformacionais argilosos (B).

O alto conteúdo de quartzo, a pouca ocorrência de ligantes e a cimentação de óxido, somente ao redor dos grãos, gera uma rocha friável com material de alteração muito susceptível aos processos erosivos.

A Figura 24 mostra um morrote de arenito com areal associado na base, ocasionado pela desagregação do arenito fluvial muito friável (A) e morrote com voçorocas associadas em toda a base da vertente (B).

Com base em Scherer *et al.* (2002), essa seqüência sedimentar, constituída por arenitos finos e conglomeráticos, de origem fluvial, pertencem à Formação Guará de idade Mesozóica. Esta sedimentação ocorreu no final do Jurássico e segundo os autores, as camadas fluviais/eólicas da Formação Guará são correlacionáveis às da Formação Tacuarembó no Uruguai (Jurássico Superior/Cretáceo Inferior). Ocorrem na região sudoeste do Rio

Grande do Sul, abaixo da Formação Botucatu (Cretáceo Inferior) e acima da Formação Sanga do Cabral (Triássico Inferior).

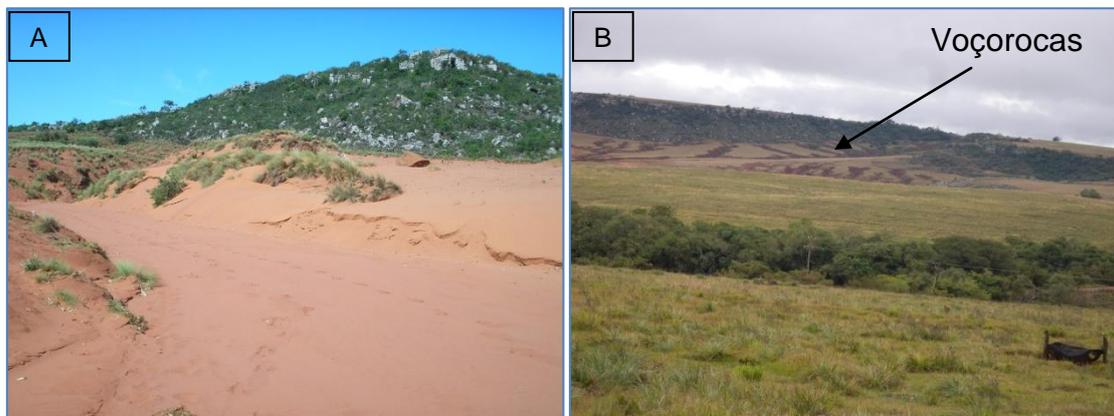


Figura 24 – Processos de dinâmica superficial associados aos Morrotes

Na Figura 25 observa-se o perfil litológico da porção de baixo curso da bacia hidrográfica e pode-se identificar a ocorrência do arenito fluvial da Formação Guará, além de uma pequena área de depósitos recentes, associados ao canal principal, e de arenito eólico nas porções mais elevadas.

O perfil ilustra duas camadas de arenito eólico da Formação Botucatu, uma sobre o arenito fluvial e outra sobre uma camada de rocha vulcânica, desta forma, a camada superior caracteriza-se por ser um arenito intertrápico.

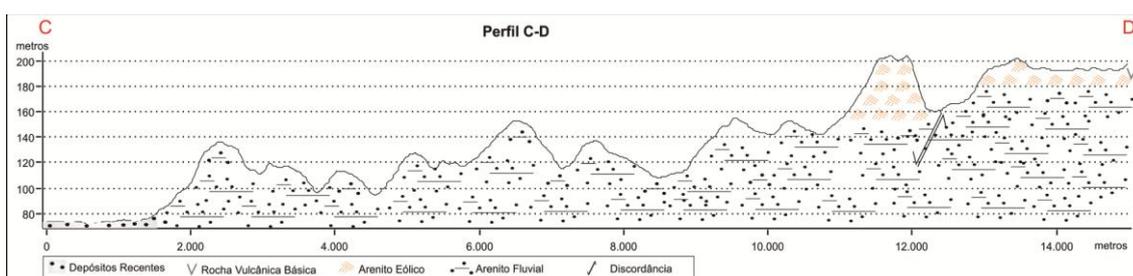


Figura 25 – Perfil geológico da porção de baixo curso da BHRI

4.4. Análise das Características do Solo

Os solos da bacia hidrográfica do Rio Itu apresentam uma grande diversidade quanto aos tipos. São influenciados diretamente pela grande variação do relevo e pelas características geológicas da bacia hidrográfica que

interferem na formação e diferenciação dos tipos de solos, ou mesmo, nas características de determinado solo, visto que, as rochas, material base do desenvolvimento dos solos, apresentam também grande variação quanto as suas características de textura, estrutura e coesão frente aos processos de intemperismo.

De maneira geral, junto ao relevo suavemente ondulado a ondulado, formam solos profundos. Relevos planos em áreas junto à drenagem associam-se aos solos hidromórficos e áreas com relevo declivoso geram solos pouco desenvolvidos. Assim sendo, foi construído um mapa simplificado de solos, a Figura 26, e pode-se observar o predomínio de solos argilosos profundos e também os solos arenosos profundos.

Para uma melhor caracterização dos solos da BHRI, estes foram divididos em quatro grandes classes, relacionadas à distribuição espacial e às características litológicas e do relevo: solos rasos de altitudes elevadas, solos rasos a bem desenvolvidos em rochas areníticas, solos rasos a bem desenvolvidos em colinas de rochas vulcânicas e solos hidromórficos.

4.4.1. Solos rasos de altitudes elevadas (Associação Cambissolos e Neossolos)

Os solos identificados nas maiores altitudes da bacia hidrográfica do Rio Itu, principalmente na porção do alto curso, são solos rasos com grande presença de blocos de rocha dispersos. Estão associados ao substrato de rocha vulcânica, principalmente aos derrames, identificados como ácidos e com maior presença de quartzo em sua composição, o que lhes confere maior resistência aos processos de intemperismo.

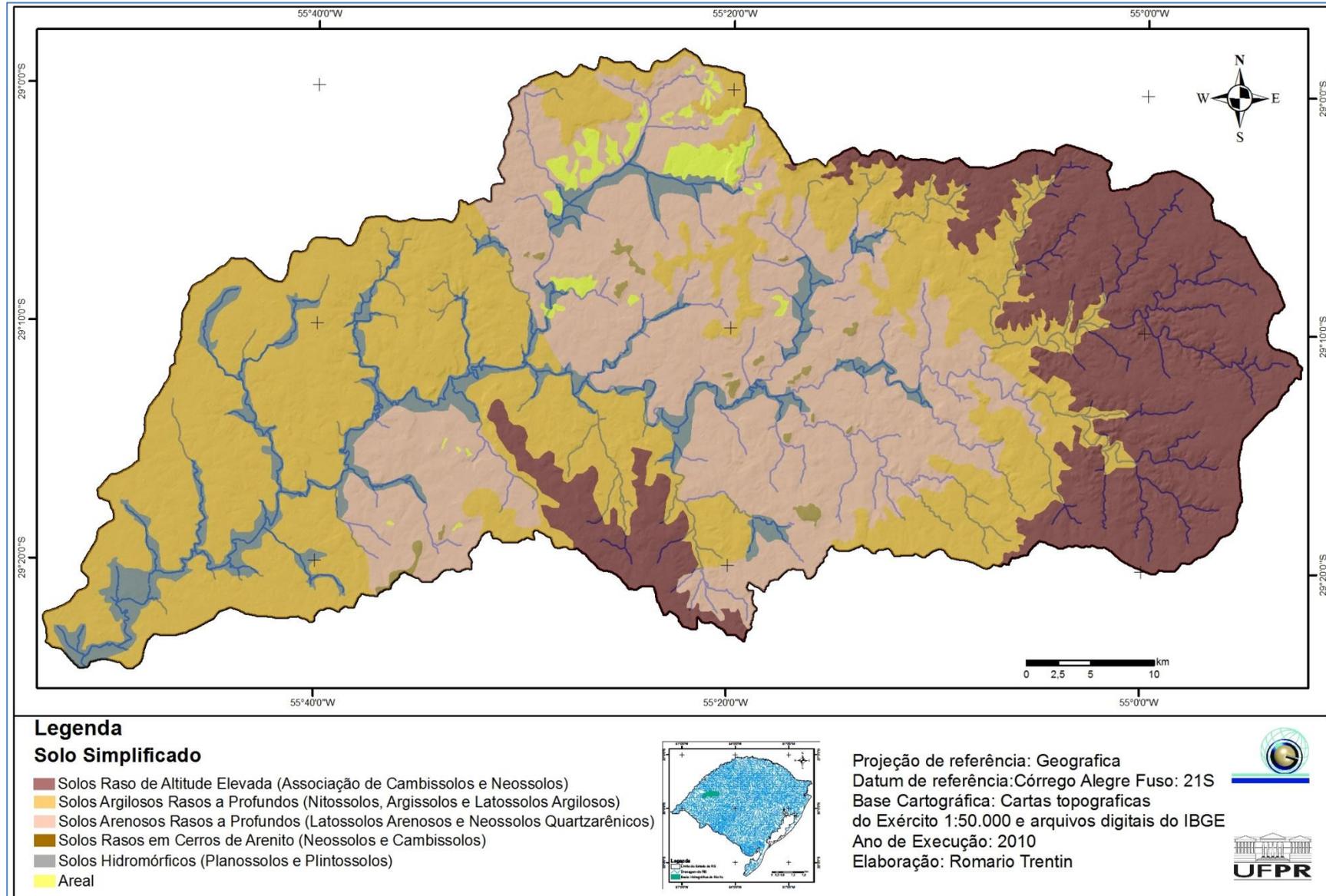


Figura 26 – Distribuição espacial das classes de solo simplificadas da BHRI

A ocorrência destes solos também é observada na porção do médio curso associada às áreas de declividade acentuada, junto aos divisores de água. Esta classe de solos ocupa 21,90% da BHRI e representa uma associação de solos.

O relevo da área de ocorrência de solos rasos de altitude elevada é ondulado e com presença de vertentes íngremes a escarpadas, associados aos morros e morrotes, principalmente do Rebordo do Planalto, apresentando um perfil de solo pouco profundo e, em muitos casos, associação de concreções de óxido de ferro junto à rocha alterada, conforme a Figura 27.

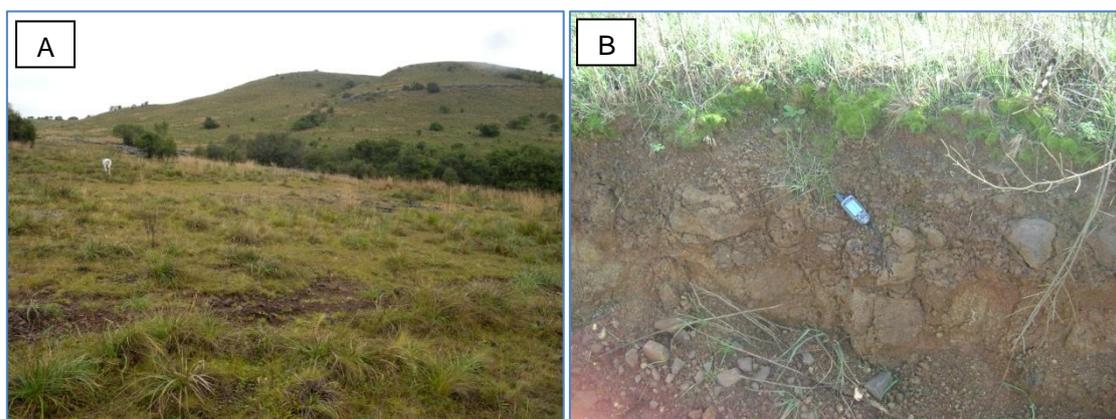


Figura 27 - Ocorrência dos solos rasos em topografia ondulada (A) e óxido de ferro associado à rocha alterada com perfil de solo raso (B).

Quando ocorrem em porções de topo ou base de derrame, zonas mais amigdalóides e com significativa presença de vesículas, o processo de intemperismo é maior e pode ocorrer o desenvolvimento de perfis de solos mais profundos. Esta variação pode ser observada em uma mesma vertente que, em determinado ponto, o solo é muito raso e ao lado apresenta o desenvolvimento de um perfil mais profundo, como mostra a Figura 28.

Porém, a ocorrência destes solos está muito associada às porções intermediárias dos derrames, zonas de fraturas horizontais e verticais, com maior resistência ao intemperismo, o que caracteriza um perfil de solo muito raso ou inexistente, conforme a Figura 29.

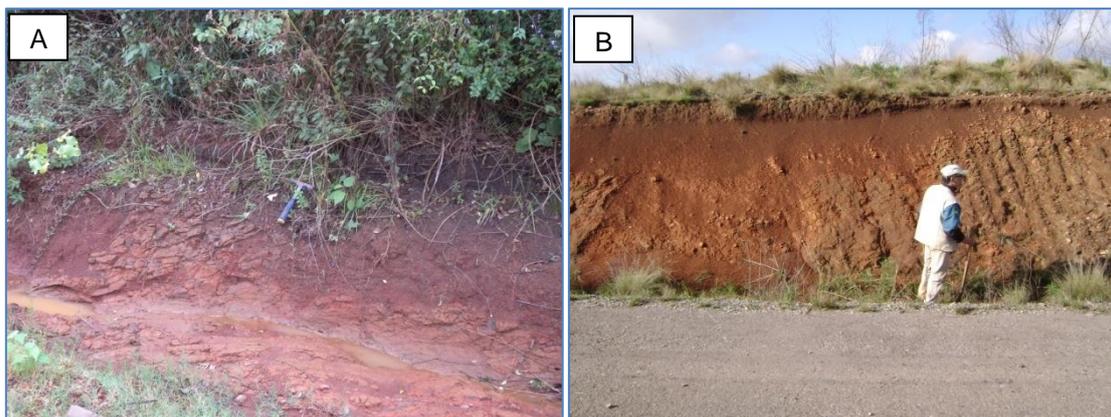


Figura 28 – Solo mais desenvolvido, associado ao topo de derrame alterado (A) e diferentes profundidades de solo em mesma vertente (B)



Figura 29 – Zona de diáclases horizontais com perfil de solo muito raso ou inexistente

As condições de drenagem, destes solos, variam de bem drenados a imperfeitamente drenados, dependendo da posição que ocupam na paisagem. Através das características identificadas, esta classe de solos, pode ser definida como sendo Neossolos e Cambissolos, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS), pois se encontram em processo de transformação ou são solos novos, pouco desenvolvidos.

Os Cambissolos são solos pouco profundos, apresentando um perfil pouco desenvolvido e, na maioria das vezes, associados com Neossolos e afloramentos de blocos de rocha.

Na BHRI o perfil deste solo é pouco espesso, com o horizonte A apresentando uma profundidade máxima de 40 cm, horizonte B incipiente, estando diretamente em contato com a rocha pouco alterada, de acordo com a Figura 30.



Figura 30 – Perfis de Cambissolo associados a topos de derrames

Os Neossolos Litólicos, encontrados nesta classe, são solos rasos sobre um substrato de rocha vulcânica. A seqüência de horizontes no perfil é A/R, e raramente A/C, com horizonte A pouco espesso (em torno de 20 cm), poroso, friável e com transição abrupta para o R.

Também ocorrem os Neossolos Regolíticos, estes em maior ocorrência por toda a classe, e são identificados quando apresentam um horizonte A assentado sobre a rocha totalmente alterada (horizonte C ou Cr) e contato lítico em profundidade maior que 50 cm da superfície, admitindo um horizonte Bi com espessura menos que 10 cm (STRECK *et al.*, 2008).

Na Figura 31, observar-se a ocorrência dos Neossolos na BHRI.



Figura 31 – Ocorrência de Neossolos característicos da classe de solos rasos de altitudes elevadas

4.4.2. Solos rasos a bem desenvolvidos em rochas areníticas

Os solos encontrados sobre os substratos areníticos se caracterizam pela grande quantidade de quartzo em sua composição e geralmente com pouca presença de argilominerais e/ou outros ligantes do solo, por exemplo, a matéria orgânica.

Estes solos, comumente, são solos profundos associados às colinas de arenito, em que a alteração da rocha é maior e o solo desenvolve um perfil bastante espesso, porém ocorrem solos rasos associados aos topos dos morrotes, e às linhas de cornijas, em que os arenitos se encontram mais silicificado, apresentando alta resistência aos processos de intemperismo.

4.4.2.1 Solos rasos a bem desenvolvidos em colinas arenosas (Latosolos Arenosos e Neossolos Quartzarênicos)

Os solos presentes sobre as colinas arenosas, em geral, são solos profundos de cor avermelhada, muito arenoso, podendo apresentar porções mais rasas quando associados ao arenito mais coeso.

Na bacia hidrográfica do Rio Itu, esta classe de solos pode ser caracterizada como pertencente a dois tipos principais: aos Latossolos Arenosos, quando profundo e com teor de argila superior a 15% e, aos Neossolos Quartzarênicos, quando o teor de argila é inferior a 15%.

Os Latossolos são profundos (mais de 250 cm de espessura), altamente intemperizados, de textura arenosa, bem drenados, porosos, de coloração vermelho-alaranjada e apresentam desenvolvimento do horizonte B latossólico bem desenvolvido.

A Figura 32 apresenta um perfil de Latossolo Arenoso sobre substrato arenítico. Pode-se observar suas características bastante homogêneas quanto à textura e diferenciando-se um pouco quanto à coloração. No horizonte A, com 30 cm de espessura, uma coloração vermelho claro e no horizonte B uma coloração mais escura.

A análise granulométrica deste solo identifica um incremento de argila de 9,12% do Horizonte A para Horizonte B. A característica marcante é a grande porcentagem arenosa da amostra, próxima de 70% da fração areia. Aplicando no triângulo das porcentagens, com as 13 classes texturais, obteve-se a classe Franco Arenosa.

Cabe destacar ainda, que podem ocorrer junto a esta classe de solos (solos rasos a bem desenvolvidos em colinas areníticas), porém com menos frequência, Latossolos mais argilosos, estes estão associados diretamente à ocorrência de arenitos fluviais com clastos de argila (intraformacionais), em que a alteração destes arenitos origina um solo arenoso, com significativa presença de argila, como ilustra a Figura 33.



Figura 32 – Perfil de Latossolo Arenoso e paisagem com ocorrência desta classe de solos



Figura 33 – Perfil de solo Latossolo Argiloso sobre arenito fluvial com clastos de argila.

A distribuição granulométrica deste solo, coletada no perfil, com profundidade de 20 cm para Horizonte A e 120 cm para o Horizonte B, representa a classe de solo Franco Argilo Arenosa.

Outro tipo de solo, muito característico desta classe de solos rasos a bem desenvolvidos em colinas areníticas, são os Neossolos Quartzarênicos, que podem ser rasos quando associados às porções mais silicificadas dos arenitos ou profundas quando ocorrem nas colinas e não apresentam argila suficiente para serem caracterizados como Latossolos Arenosos.

Os Neossolos Quartzarênicos apresentam o Horizonte A assentado sobre sedimentos muito arenosos (textura areia ou areia franca, com teor de argila < 15%), constituídos por grãos soltos de quartzo.

A Figura 34 ilustra duas voçorocas, a beira da estrada, sendo possível identificar a exposição do solo, com aproximadamente 3 metros de profundidade e com características muito homogêneas, tanto de coloração quanto de textura, não sendo possível diferenciar horizontes.



Figura 34 – Perfil de Neossolo Quartzarênico em voçorocas à beira da estrada

A composição granulométrica, de duas amostras coletadas na “parede” da voçoroca, em uma profundidade de 70 cm e 180 cm, mostram a ocorrência de mais de 87% da fração areia.

4.4.2.2. Solos rasos nos cerros de arenito (Neossolos e Cambissolos)

Nos cerros e morrotes de rocha arenítica, mais silicificados, ocorre a formação de solos rasos ou inexistentes, com intensa exposição de rocha na meia encosta gerando depósitos de colúvio na base.

Associados aos blocos de rocha ocorrem os solos rasos, que são mal desenvolvidos e novos, identificados como Neossolos e Cambissolos. Na Figura 35, pode-se observar a exposição de blocos de rocha do arenito fluvial silicificado, na encosta e topo de um cerro, com solo muito raso associado aos blocos de rocha.



Figura 35 – Solos rasos com blocos de rochas associados aos cerros de arenito

4.4.2.3. Areais

Os areais constituem um ambiente de grande fragilidade ambiental por apresentarem alta susceptibilidade aos processos de dinâmica superficial, tanto pela ação da água superficial e subsuperficial, quanto pela ação dos ventos que causam a movimentação dos sedimentos arenosos.

Os areais são constituídos basicamente de grão e partículas de quartzo de fração areia, não apresentando coesão entre as partículas, o que os torna muito instável, como mostra a Figura 36.

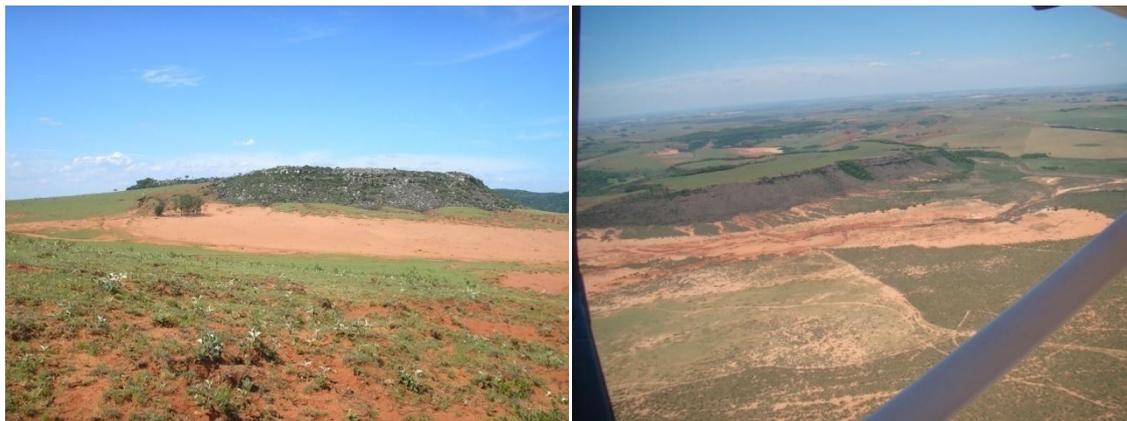


Figura 36 – Areal associado ao cerro de arenito fluvial

No mapeamento de solos do estado do Rio Grande do sul, Streck *et al.* (2008), identificam estas áreas de areias como pertencentes aos Neossolos Quartzarênicos Órticos típicos. Especificam as características dos mesmos, como solos muito frágeis e destacam que o fracasso na instalação de cultivos agrícolas e a lenta, contudo gradual, recuperação da cobertura vegetal de campo, tem contribuído para frear a expansão dos areais, porém persiste a necessidade de uma melhor adequação da lotação de animais, respeitando a baixa capacidade de suporte das pastagens nativas.

Neste trabalho, não se considera os areais como uma formação de solo, mas sim áreas de material inconsolidado, produto do retrabalhamento das areias, provenientes de arenitos muito friáveis, que possuem baixa ou nenhuma fertilidade e elevada deficiência hídrica, o que condiciona uma difícil adaptação de cobertura vegetal.

No entanto, apresenta-se dois casos de adaptação vegetal sobre estas áreas, primeiramente o butiá-anão⁹ que é uma espécie endêmica¹⁰ e xerófita¹¹, que por apresentar adaptação à escassez de água consegue se desenvolver associado aos areais. A Figura 37 representa a ocorrência de um palmar de butiá-anão associado ao areal.

⁹ Espécie anteriormente classificada como *Butia paraguayensis* e atualmente classificada como *Butia lallemantii*, Deble e Marchiori (2006)

¹⁰ Refere-se à espécie nativa, de ocorrência restrita em uma determinada área geográfica.

¹¹ Refere-se ao grupo de plantas adaptadas a sobreviver em ambientes onde a umidade é bastante escassa.



Figura 37 – Palmar de butiá-anão associado ao areal e destaque para o pé de butiá-anão

O segundo caso refere-se ao florestamento de espécies exóticas como *Pinus sp.* e *Eucalyptus sp.*, que vêm, cada vez mais, sendo implantados sobre as áreas de arenização, no Oeste do estado do Rio Grande do Sul. A Figura 38, ilustra as áreas de areal com plantações de *Eucalyptus sp.*



Figura 38 – Florestamentos de *Eucalyptus sp.* sobre os areais

4.4.3. Solos rasos a bem desenvolvidos em colinas de rochas vulcânicas (Nitossolos, Argissolos e Latossolos Argilosos)

Na bacia hidrográfica do Rio Itu, junto à classe de solos, considerados rasos a bem desenvolvidos em colinas de rocha vulcânica, ocorre predominantemente três tipos de solos, que segundo a SiBCS podem ser definidos como Nitossolos, Argissolos e Latossolos Argilosos, com perfis bem desenvolvidos, textura, por vezes, variando do horizonte mais superficial para o

subsuperficial e intensa concentração de nódulos de óxido de ferro e manganês nas proximidades da rocha alterada.

Nas áreas de colinas de rocha vulcânica, os solos apresentam variações de profundidade relacionadas, principalmente, às porções dos derrames, que geralmente estão associados às formas do relevo. No topo das colinas ocorrem às porções mais resistentes dos derrames e por conseqüência, os solos não são desenvolvidos e ocorrem por vezes associados aos blocos de rochas.

Já nas vertentes das colinas, da meia encosta em direção à base, os solos são bem desenvolvidos e coesos, devido a maior concentração de argila no perfil do solo.

Os Nitossolos são os solos mais freqüentes nesta classe e ocupam a maior parte das áreas próximas ao baixo curso. Estes solos são profundos, bem drenados, vermelhos, argilosos em toda extensão do perfil e derivados de basalto. Não há uma grande diferenciação entre Horizontes A e B, sendo a transição gradual entre eles.

A Figura 39 representa um perfil de Nitossolo, em corte de estrada, e pode-se observar uma distribuição homogênea de coloração e textura, com grande quantidade de argila.



Figura 39 – Perfil de Nitossolo em corte à beira da estrada

A distribuição granulométrica, dos Horizontes A e B, mostra uma grande quantidade de argila, com mais de 50% no Horizonte A e 75% no Horizonte B. Aplicando no triângulo das porcentagens, com as 13 classes texturais, obteve-se a classe argila a muito argilosa.

Os Argissolos localizam-se, principalmente, na porção de médio curso da bacia hidrográfica. Estes solos apresentam uma profundidade média (em torno de 150 cm), de coloração avermelhada, argilosos, bem drenados e desenvolvidos a partir de rochas vulcânicas. Apresentam um horizonte B textural, com características bem pronunciadas.

Nesta classe de solos rasos a bem desenvolvidos em colinas de rocha vulcânica, os Argissolos ocorrem, geralmente, nas áreas de contato de derrames (porções mais alteradas) e podem, algumas vezes, ocorrerem próximos ao contato do arenito eólico (Formação Botucatu) intertrápicos com a rocha vulcânica.

Pode-se observar, na Figura 40, duas ocorrências de Argissolos, que apresentam um veio de arenito eólico mais resistente e que se mantém sobre o solo por ser uma área próxima de contato.



Figura 40 – Ocorrência do Argissolo com veio de arenito eólico em perfil de solo

Os Latossolos ocorrem nas colinas, principalmente nas áreas de contato das rochas vulcânicas com os arenitos eólicos, com grandes contribuições de material arenoso deste substrato.

Estes solos são identificados, quando não apresentam uma variação tão significativa de argila do Horizonte A para o B, que os denomina Argissolos e, também, não possuem quantidade de argila suficiente e nem a cerosidade do Horizonte B nítico do Nitossolo.

Pode-se observar, na Figura 41, a ocorrência de perfil de solo onde foram coletadas amostras do Horizonte A, com 60 cm de profundidade e do Horizonte B, com 120 cm de profundidade.



Figura 41 – Perfil de Latossolo Argiloso à beira da estrada

4.4.4. Solos hidromórficos (Planossolos e Plintossolos)

Os solos hidromórficos ocorrem, principalmente, associados aos cursos de água, junto à planície de inundação. Geralmente, estes solos apresentam coloração escura com grande presença de matéria orgânica. Como característica geral estes solos são mal ou imperfeitamente drenados

Na bacia hidrográfica do Rio Itu esse solo, segundo a SiBCS podem ser identificados como Planossolo, principalmente, podendo ocorrer ainda os Plintossolos.

Os Planossolos, na bacia hidrográfica do Rio Itu, ocupam pequenas áreas junto ao canal principal e seus principais afluentes, especialmente no baixo curso. Estes solos são mal a imperfeitamente drenados, bastante influenciados pela presença de água, condicionada pelo relevo, com o desenvolvimento no perfil de cores cinzentas, características de gleização.

A Figura 42 mostra a ocorrência de Planossolo junto à várzea do Rio Itu, utilizada como lavoura de arroz.



Figura 42 – Ocorrência do Planossolo na BHRI

Os Plintossolos também são identificados junto aos canais de drenagem dos principais afluentes do Rio Itu. Estes solos são medianamente profundos, gleisados, apresentando teores elevados da fração silte nos horizontes superficiais e B argiloso. São solos imperfeitamente drenados.

Os Plintossolos ocorrem em posições específicas da paisagem, ocupando áreas de baixada, com relevo plano, e posições de transição entre várzeas e o início das coxilhas (sopé de coxilhas), em relevo plano a suave ondulado. Essas posições de relevo normalmente determinam condições de saturação temporária do solo, com oscilação do lençol freático, conforme a Figura 43.



Figura 43 – Perfil de Plintossolo em área da planície de inundação

Pode-se observar, na Figura 44, a distribuição das análises granulométricas que serviram de auxílio na identificação dos limites das classes de solo delimitadas no mapa simplificado de solos da bacia hidrográfica do Rio Itu, bem como na diferenciação dos diferentes tipos de solos encontrados em cada classe de solo.

Já a Figura 45 ilustra a representação de três perfis topográficos em que são apresentados, esquematicamente, a distribuição dos solos correlacionados à distribuição topográfica e ao substrato geológico.

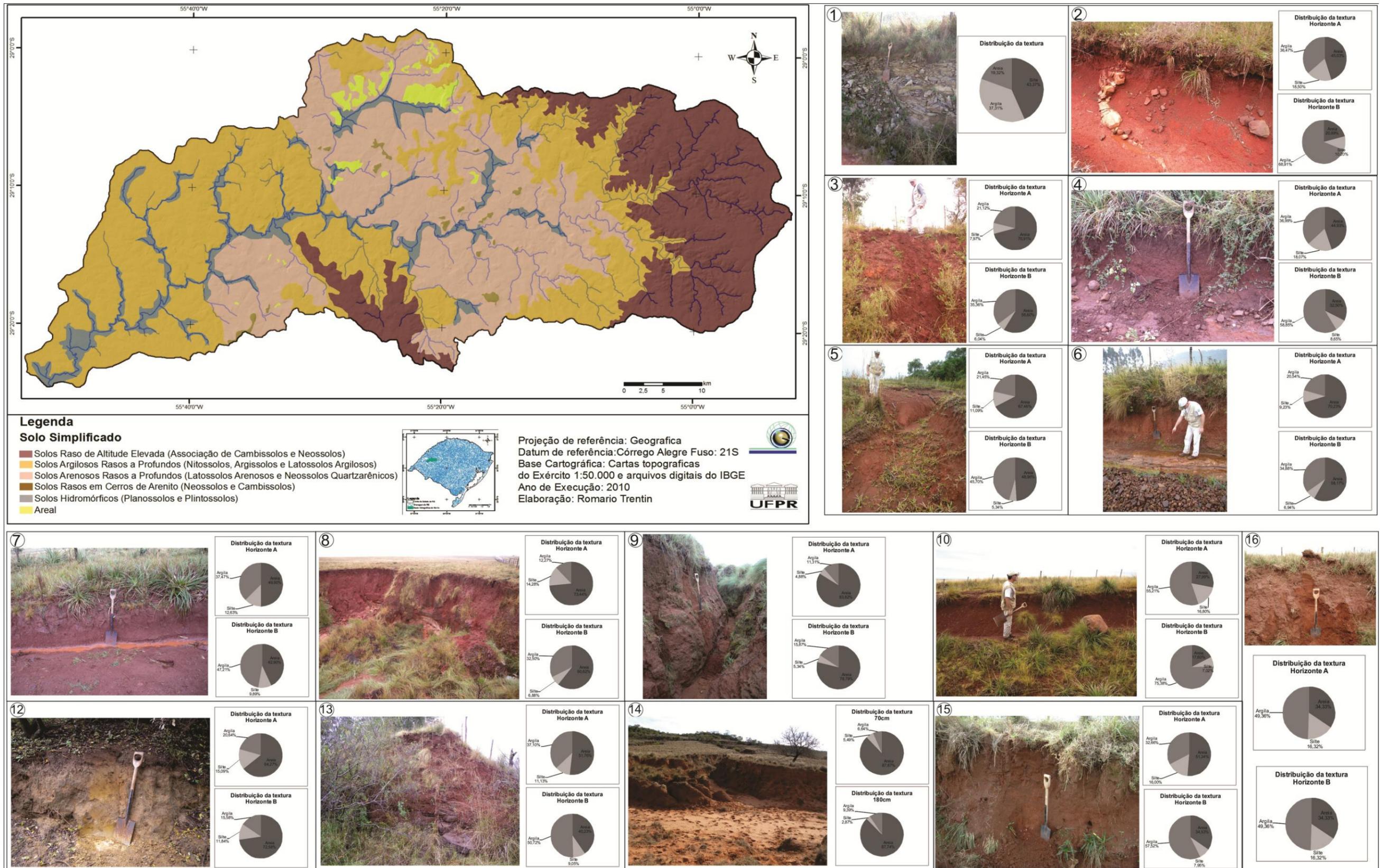


Figura 44 – Localização dos pontos de análise granulométrica e perfis topográficos com distribuição dos solos e caracterização dos pontos de análise

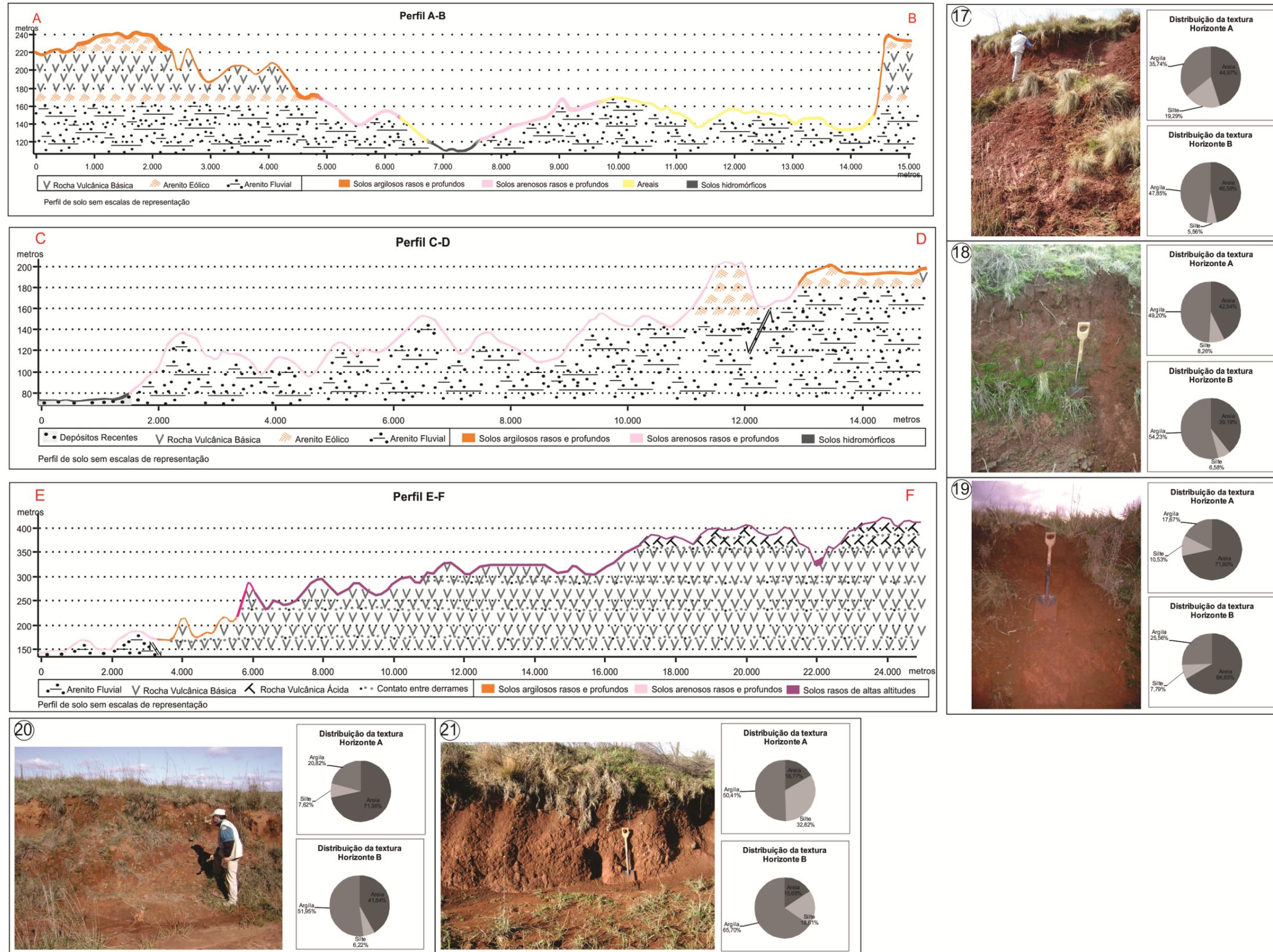


Figura 45 – Perfis topográficos com distribuição dos solos e caracterização dos pontos de análise

5. DESCRIÇÃO E ANÁLISE DAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITU

Este capítulo visa apresentar a compartimentação geomorfológica em níveis taxonômicos, baseado na classificação de Ross (1992). Apresenta um mapa com a descrição de cada nível taxonômico definido para bacia hidrográfica do Rio Itu.

As informações que foram levantadas e produzidas, apresentadas no capítulo 4, compõem a base para a compartimentação geomorfológica, tanto nas questões de delimitação das unidades, quanto na sua caracterização.

Na primeira análise comparativa, realizada entre os elementos físicos, foram determinadas as unidades de relevo, conforme IPT (1981), que são a base para a compartimentação geomorfológica, definindo-se os modelados de relevo como rampas, colinas, morros e morrotes.

A definição das feições de relevo (4º nível) e das formas das vertentes (5º nível) baseou-se nos elementos físicos do relevo, descritos no capítulo 4, referentes às características da drenagem do relevo, substrato geológico e características do solo. Já para a definição das feições de cada unidade (6º nível), utilizou-se das informações de levantamentos de campo e identificação em imagens de satélite.

Desta forma, são apresentadas as características geomorfológicas, produto base, deste estudo, para o desenvolvimento da caracterização geoambiental. A compartimentação geomorfológica integra as formas e os processos naturais e antrópicos, da área de estudo, que atuam sobre os componentes físicos do meio.

Assim sendo, pode-se destacar que a relação das formas e processos geomorfológicos na BHRI, está estreitamente relacionada aos processos de dinâmica superficial, tendo como principais agentes o escoamento superficial e sub-superficial, bem como o transporte de areias pela erosão eólica.

5.1. Compartimentação do relevo

A compartimentação do relevo, da bacia hidrográfica do Rio Itu, permitiu a individualização de sete unidades de relevo, representadas na Tabela 07 e identificadas na Figura 46. Estas unidades foram definidas por porções do relevo com características distintas, seja pelas declividades, comprimento das vertentes, altitudes ou amplitudes, conforme o Quadro 01.

Tabela 07 – Características das unidades de relevo da BHRI

Unidade	Declividade	Altitude	Formas de relevo	Modelado de relevo	% da Área total
I	< 2%	< 80		Áreas Planas	3,11
II	< 5%	80-200	Rampas	Suavemente Onduladas	16,92
III	5-15%	< 200	Colinas	Onduladas	41,15
IV		> 200			10,20
V		<200	Morrotos e	Fortemente	8,33
VI	>15%	>200	Morros	Ondulada	15,95
VII		> 200	Morros	Escarpa	4,33

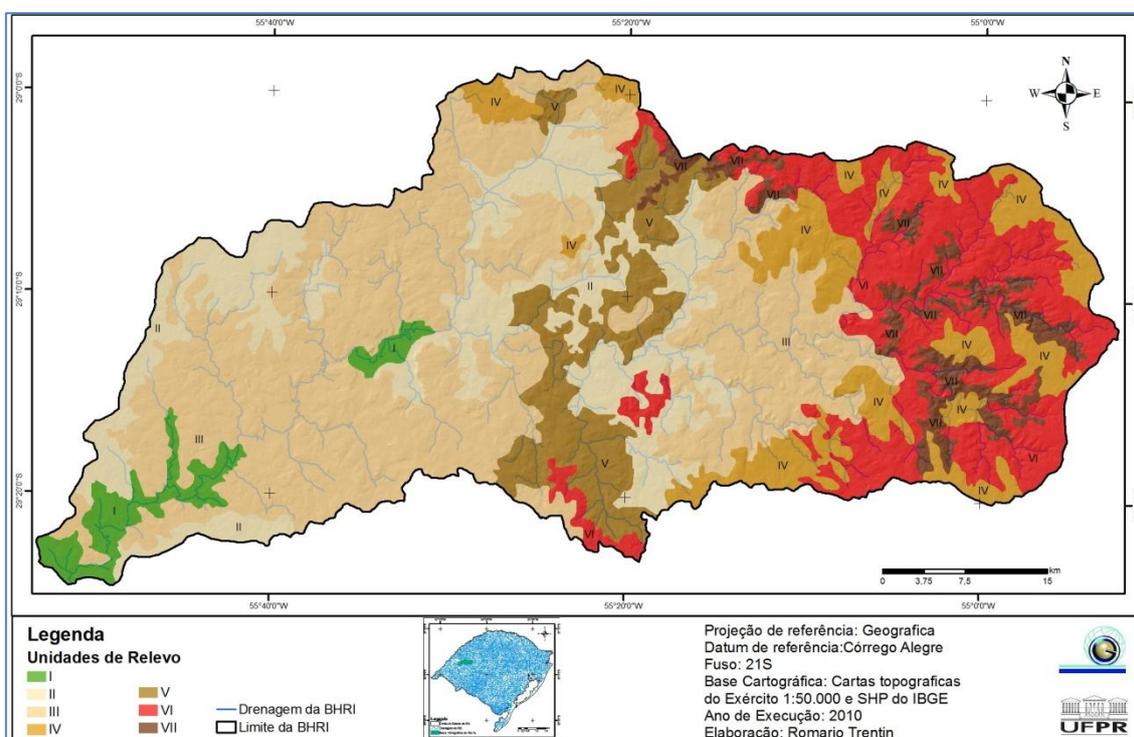


Figura 46 – Distribuição das unidades de relevo da BHRI

Quadro 01 – Característica das unidades de relevo

Unidade	Características
I	Forma de relevo definida como rampa em fundo de vales apresentando declividades inferiores a 2%, altitudes que não ultrapassam os 80 metros, amplitudes em torno de 20 metros e localizada no baixo curso da bacia, principalmente associada aos cursos de água.
II	Forma de relevo denominada como rampas, porém associada às colinas apresentando um modelado suavemente ondulado com amplitudes inferiores a 100 metros. As declividades são inferiores a 5% e localiza-se principalmente no médio curso e algumas áreas de interflúvios no baixo curso.
III	Formas de relevo definidas como colinas apresentando modelado ondulado, com declividades de 5 a 15% e altitudes inferiores a 200 metros. Esta unidade é a que ocupa a maior área na bacia hidrográfica, localizada principalmente no baixo curso e porções do médio curso.
IV	Forma de relevo de colinas com vertentes onduladas e declividades entre 5 e 15%, porém as altitudes são superiores a 200 metros, por vezes podem ser associadas a morros de encostas suaves. Esta unidade localiza-se principalmente no alto curso da BHRI associada às áreas de interflúvios.
V	Formas de relevo definidas como morrotes e morros, com as vertentes onduladas a fortemente onduladas, localizada na porção central da bacia hidrográfica com as altitudes inferiores a 200 metros, por vezes ocorrem associações de morros de encostas suaves.
VI	Associação de formas de relevo de morrotes e morros com encostas suaves, com as declividades predominantes superiores a 15% e vertentes fortemente onduladas, porém as altitudes são superiores a 200 metros. Esta unidade localiza-se principalmente no alto curso da bacia hidrográfica associadas à porção de Rebordo do Planalto.
VII	Formas de relevo definidas como morros apresentando as vertentes em forma de escarpas, com declividades superiores a 15%. Esta unidade localiza-se principalmente no Rebordo do Planalto associado aos cursos d'água encaixados onde as vertentes são escarpadas com altas declividades.

5.2. Compartimentação Geomorfológica

A associação, análise e cruzamentos dos dados levantados e dos mapeamentos elaborados possibilitaram a compartimentação da bacia do Rio Itu em níveis taxonômicos do relevo, conforme pode ser identificado no Quadro 02, apresentado a seguir.

A compartimentação geomorfológica da BHRI leva em consideração os processos morfogenéticos e morfodinâmicos do relevo, através da análise e caracterização dos parâmetros morfológicos e morfométricos da bacia hidrográfica. Para isso, foram definidas as correlações entre os elementos do meio físico, a fim de estabelecer os limites e características das formas de relevo.

Ao definir seis níveis taxonômicos, permeou-se por diferentes escalas de análise e abordagem. No primeiro e segundo nível utilizou-se a escala de 1:250.000 e no terceiro nível utilizou-se a escala de 1:100.000, sendo que estes níveis tiveram como a base de análise a bacia hidrográfica do Rio Ibicuí¹².

Quadro 02 – Distribuição dos níveis de compartimentação geomorfológica da BHRI

1º Nível Domínios Morfo_estruturais	2º Nível Províncias Morfo_esculturais	3º Nível Unidade Geomorfológica	4º Nível Formas de Relevo	5º Nível Vertentes	6º Nível Feições
Depressão Periférica do RS	Depressão do Rio Ibicuí	Patamares residuais em arenito	Colinas de arenito	Rt-Dt; Rt-Ct e Cc-Ct	Areais; Ravinas e voçorocas
			Morrotes de Arenito	Rt-Dt; Rt-Ct e Cc-Ct	Depósitos de colúvio e Areais
			Cornijas de arenito	Cx-Dt; Cx-Ct	
		Modelado de áreas planas aluviais	Rampa alúvio colúvio	Rt-Dt; Rt-Ct	Depósitos dos arrosios e rios
Planalto Serra Geral	Planalto das Missões	Modelado de patamares das Missões	Colinas vulcânicas de topo plano	Rt-Dt; Rt-Ct e Cx-Dt	Afloramentos de rochas e depósitos de colúvio
		Modelado de Rebordo do Planalto	Relevo escarpado	Cc-Ct; Cx-Dt	Escarpas e depósitos de colúvio
	Planalto da Campanha	Modelado de baixo platô da Campanha	Morrotes de rocha vulcânica	Rt-Dt; Rt-Ct e Cc-Ct	
			Colinas de rocha vulcânica	Rt-Dt; Rt-Ct	Ravinas e voçorocas

Cc=Côncavo; Cx=Convexo; Rt=Retilíneo; Ct=Convergente; Dt=Divergente; Pn=Planar

A partir do quarto nível, foi utilizado o recorte espacial da BHRI e a escala de análise base foi 1:50.000. Com o auxílio de contínuos trabalhos de campo, sobrevôos da área, entre outros materiais, definiu-se as formas de relevo (4º nível), a identificação dos padrões, tipos e setores das vertentes (5º nível) e das feições resultantes dos processos de dinâmica superficiais (6º nível).

¹² Trabalho desenvolvido no Laboratório de Geologia Ambiental/UFSM por ROBAINA *et al.* (2008), intitulado “Proposta de Compartimentação Geomorfológica da Bacia do Ibicuí, Oeste do RS”

5.2.1. Compartimentação do primeiro, segundo e terceiro níveis taxonômicos

Os três primeiros níveis taxonômicos foram identificados e caracterizados levando-se em consideração a Bacia hidrográfica do Rio Ibicui, da qual o Rio Itu é afluente.

1º nível taxonômico: Este nível apresenta os Domínios Morfoestruturais, nos quais a bacia hidrográfica do Rio Itu encontra-se inserida. São definidos dois grandes domínios morfoestruturais, a **Depressão Periférica do Rio Grande do Sul** e o **Planalto Serra Geral**, conforme pode ser observado na Figura 47, que apresenta os dois primeiros níveis da compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do Rio Ibicuí, definidos por Robaina, *et al.* (2008).

A Depressão Periférica do Rio Grande do Sul forma uma faixa E-W no estado e representa uma área deprimida, formada pelo contato entre os terrenos de rochas sedimentares e as rochas cristalinas mais coesas. O substrato é formado por uma seqüência de coberturas sedimentares da Bacia do Paraná e depósitos recentes dos rios.

O Planalto Serra Geral, na bacia, aparece de forma fragmentada em duas áreas, uma a nordeste e outra a oeste e apresenta sua origem ligada ao vulcanismo que cobriu os sedimentos da Bacia do Paraná.

Ao nordeste, constituem as áreas de maior altitude, com superfícies levemente onduladas e elevadas em relação às áreas próximas, delimitadas por escarpas íngremes, com vertentes entalhadas e drenagem encaixada em falhamentos. Na porção oeste, o contato deste compartimento com o da Depressão Periférica está definido, principalmente, por mudanças no substrato litológico e solos, passando de seqüências sedimentares e solos arenosos para rochas vulcânicas e solos areno-argilosos com blocos de rocha dispersos.

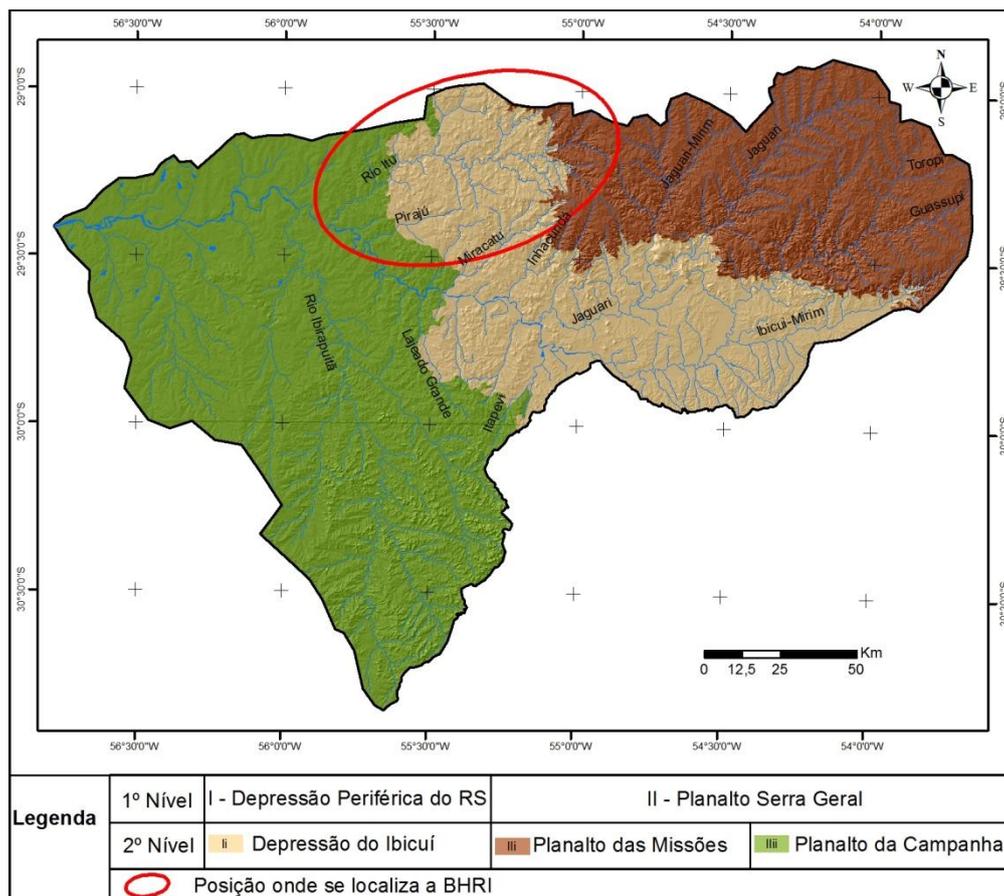


Figura 47 – Distribuição espacial dos dois primeiros níveis de compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do Rio Ibicuí. Fonte: Robaina et al. (2008)

2º nível taxonômico: Neste nível são apresentadas as províncias geomorfológicas sobre as quais a bacia hidrográfica do Rio Itu encontra-se, que são: a **Depressão do Ibicuí**, o **Planalto das Missões** e o **Planalto da Campanha**, conforme a Figura 47.

A Depressão do Ibicuí constitui a porção oeste da Depressão Periférica do RS, com processos geomorfológicos controlados pela drenagem do Rio Ibicuí e seus afluentes, atuando sobre um substrato de rochas sedimentares de diferentes tipos, com predomínio de arenitos.

Nessa unidade, dominam as amplas e alongadas formas de topos convexos, regionalmente, conhecidas como coxilhas onde os processos erosivos são muito significativos.

O Planalto das Missões compreende a área desde as nascentes do Ibicuí-Mirim até as nascentes do Rio Itu. Ocorrem as áreas de maiores altitudes da bacia (ao redor de 400 metros) que correspondem aos topos regionais e pertencem aos restos de uma superfície de aplanamento.

As litologias predominantes são derrames de rochas vulcânicas ácidas e básicas. Nas nascentes do Rio Toropí, ocorrem seqüências sedimentares pós-vulcânicas, definidas como da Formação Tupanciretã (MENEGOTTO *et al*, 1968). O controle das litologias e relevos, nesta unidade, é fortemente influenciado pelos lineamentos de direção noroeste.

O Planalto da Campanha apresenta uma significativa relação com o que Chebataroff (1954, *apud* MÜLLER FILHO, 1970) define como Cuesta de Haedo¹³. O planalto está representado por um relevo ondulado, com altitudes inferiores a 300 metros, a partir do baixo curso do Rio Itu e da bacia do Rio Ibirapuitã, a norte e sul do Ibicuí, respectivamente, decaindo de forma gradativa em direção a calha do Rio Uruguai.

Esse compartimento apresenta menor número de derrames, quando comparado com a porção nordeste da bacia hidrográfica do Rio Ibicuí, tendo como conseqüência as diferenças de altitudes. A pouca espessura dos derrames, nesta porção, possibilita o afloramento de arenitos em algumas áreas, com o desgaste das camadas superiores, observados, também, na base de morros testemunhos.

3º nível taxonômico: Neste nível são apresentadas as unidades geomorfológicas. A Figura 48 ilustra as unidades geomorfológicas da bacia hidrográfica do Rio Ibicuí, onde podem ser observadas, também, as unidades correspondentes a bacia do Rio Itu que são: **Patamares Residuais em**

¹³ A Cuesta de Haedo é um relevo homoclinal dissimétrico com *front* voltado para leste, e cujo reverso suave decai em direção ao Rio Uruguai. Suas litologias características são do Triássico Superior (arenito Botucatu e basalto). O *front* alcança 200 a 300 metros de altitude e a margem do Uruguai não alcança os 100 metros. É entalhada por diversos rios conseqüentes que confluem no Uruguai: o Rio Ibicuí, cujo vale assinala a transição com o Planalto Basáltico, o Rio Quaraí, o Rio Taquarembó, e o Rio Negro, sendo os dois últimos em território uruguaio (MÜLLER FILHO, 1970).

topo plano e vertentes íngremes, regionalmente denominados cerros. Também é comum a ocorrência de porções resistentes, na meia vertente, formando degrau de rocha exposta.

Os solos, predominantes, são espessos e arenosos com pouca diferenciação entre os horizontes. A presença de arenitos, com baixa coesão e solos arenosos, gera processos acelerados de erosão, definidos como areais e voçorocas.

Os Patamares do Planalto das Missões correspondem à porção de maiores altitudes, situadas entre 300 e 500 metros, junto às nascentes do Arroio Ibicuí-Mirim e Guassupi a leste, do Rio Toropi e Rio Jaguari a norte, até o alto do Rio Itu. Esta unidade apresenta, como principais características, um relevo suavemente ondulado no alto curso da bacia hidrográfica, com formas de colinas que passam para um relevo ondulado com uma associação de morros e morrotes em direção ao rebordo. Os cursos d'água apresentam um padrão retangular controlado pelas estruturas geológicas.

O Rebordo do Planalto corresponde às escarpas abruptas associadas a formas de morros e morrotes, localizados na transição entre o Planalto Serra Geral e a Depressão Periférica. Sua configuração acidentada testemunha a atual fase de evolução do Planalto. As altitudes estão situadas entre 100 e 400 metros de altitude. As declividades estão entre 15 e 30%. O substrato geológico é constituído por rocha vulcânica, com *intertraps* de rochas areníticas coesas. Os solos são rasos e bastante pedregosos, com afloramento de blocos de rochas. Movimentos de massa em vertentes são refletidos pela presença de degraus na meia encosta e depósitos de base, caracterizados como colúvios.

O Baixo Platô Arenítico-Basáltico ocorre, a partir do baixo curso do Rio Ibirapuitã e do baixo curso do Rio Itu, a sul e a norte do Rio Ibicuí, respectivamente, em direção ao Rio Uruguai. Correspondem à área de 8.206 km², cerca de 26,2% da área total da bacia hidrográfica do Rio Ibicuí.

As altitudes são, em geral, inferiores a 100 metros e as declividades inferiores a 5%. As formas de relevo predominantes são colinas e rampas. O

substrato é formado por uma seqüência de dois a três derrames de rochas vulcânicas com intercalações de arenitos. Nos locais de contato formam degraus, com acúmulo de água.

5.2.2. Compartimentação do quarto, quinto e sexto níveis taxonômicos

O quarto, quinto e sexto níveis taxonômicos são analisados e caracterizados, levando-se em conta a área drenada pela BHRI. Na definição e caracterização, destas unidades, são levados em consideração os elementos levantados e analisados nos capítulos 4 e 5. Na Figura 49 são apresentadas as formas de relevo identificadas na bacia hidrográfica.

No **quarto nível taxonômico** são definidas oito formas de relevo: colinas de arenito, morrotes de arenito, cornijas de arenito, rampa alúvio colúvio, colinas vulcânicas de topo plano, relevo escarpado, morrotes de rocha vulcânica e colinas de rocha vulcânica, que passam a ser descritas a seguir.

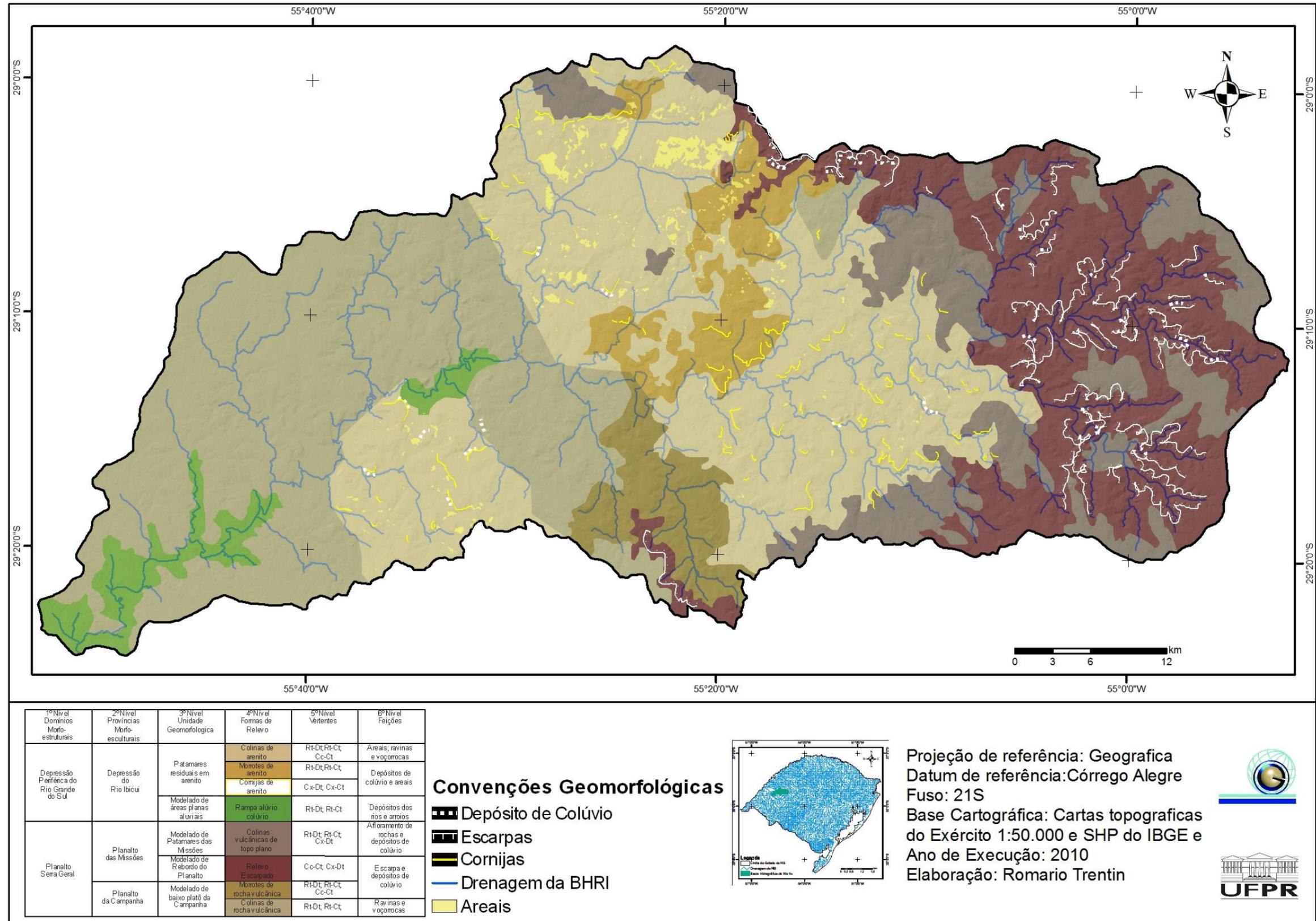


Figura 49 – Distribuição espacial das formas de relevo da BHRl

- **Colinas de arenito**

As colinas de arenito são caracterizadas por áreas planas a suavemente onduladas, em que predominam inclinações inferiores a 15%, e pequenas amplitudes. Por vezes, ocorrem porções mais onduladas e inclinações que podem chegar a 15%. As altitudes variam entre 120 a 200 metros e sua ocorrência concentra-se no médio e baixo curso da BHRI, conforme a Figura 50.

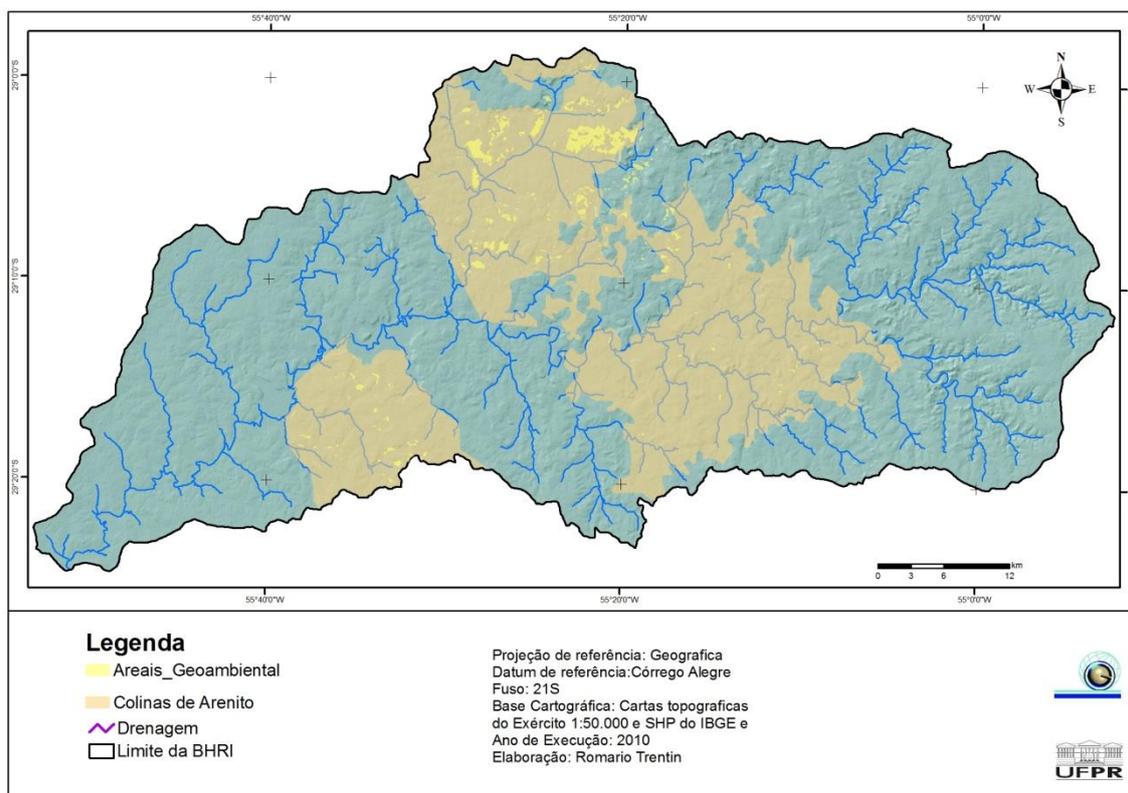


Figura 50 – Distribuição espacial das colinas de arenito na BHRI

Quanto às características geológicas, predominam os substratos areníticos de origem fluvial. Quando friáveis esses arenitos são facilmente intemperizados. Os solos são muito arenosos, bem desenvolvidos, sendo comuns os Latossolos muito arenosos e Neossolos, solos bem drenados e profundos. Junto às drenagens, nas áreas mais planas, é comum a ocorrência de solos hidromórficos (Planossolos), definidos pelas condições do relevo e drenagem.

Esta unidade é a que ocupa a maior área na BHRI, com 29,78% da área total, e a grande preocupação é o uso sem cuidados com o solo, devido este ser bastante arenoso, o que poderá gerar processos de voçorocamentos e arenização, como ilustra a Figura 51.



Figura 51 – Processos de voçorocamento e arenização em colinas de arenito

- **Morrotes de arenito**

Os morrotes de arenito são caracterizados pelo relevo ondulado a fortemente ondulado, de cerros e morrotes, visualizados na Figura 52. O substrato desta unidade é constituído por arenitos predominantemente fluviais, porém, devido à maior resistência aos processos erosivos e pela ocorrência de camadas menos friáveis, cimentadas por sílica e óxido de ferro, apresentam estas formas residuais definidas como morrotes de arenito, regionalmente denominados de cerros, de acordo com Figura 53.

Os solos são profundos, sendo comuns os Latossolos muito arenosos e junto aos cerros e morrotes ocorre afloramento de rochas de arenitos.

Esta unidade ocupa 4,92% da área total da BHRI, em que predominam declividades superiores a 15 %. Ocupam a porção central da bacia, com altitudes que variam de 120 a 200 metros.

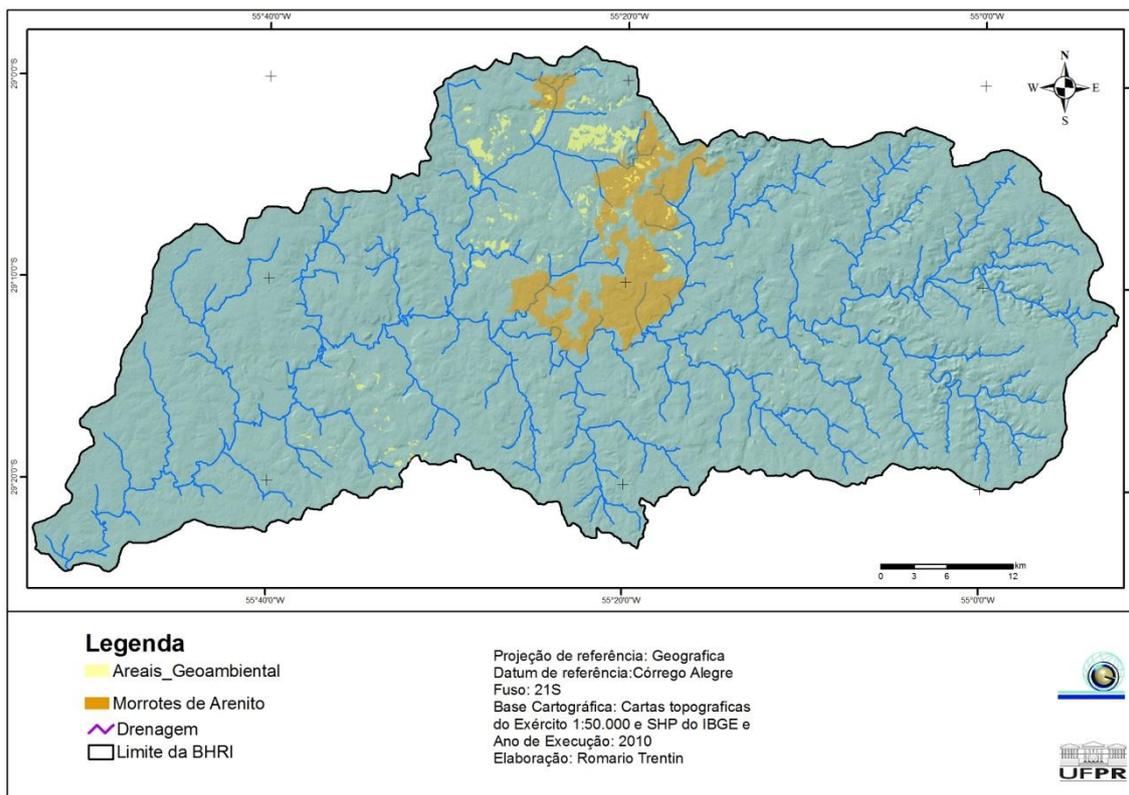


Figura 52 – Processos Distribuição espacial dos morrotes de arenito na BHRl



Figura 53 – Morrote de arenito com afloramentos de blocos de rochas

- **Cornijas de arenito**

As cornijas de arenito ocorrem em associação às colinas de arenitos e aos morrotes de arenito, na porção do médio curso predominantemente.

Conforme Guerra e Guerra (2008), cornija corresponde a um relevo abrupto, saliente, capeado por uma camada de rocha dura. No Planalto Central do Brasil é comum o aparecimento de cornijas por causa da capa de crosta

ferruginosa – *canga*, que aparece naquela superfície. A cornija é uma forma saliente de dimensões variadas. Este termo vem do italiano *corniche* e significa coroa.

Na bacia hidrográfica do Rio Itu, as cornijas são identificadas quando a cimentação de óxido de ferro preenche os espaços dos poros, atribuindo maior resistência aos arenitos fluviais. A maior resistência dos arenitos também pode ocorrer junto às linhas de falhas, onde estes arenitos aparecem silicificados ou com maior resistência aos processos de dinâmica superficial, que os torna salientes no relevo.

Algumas vezes, as cornijas estão associadas aos processos de arenização, na medida em que, esta camada protetora é rompida, a rocha perde a coesão e o substrato torna-se muito friável, sendo facilmente desagregado pela ação hídrica, tornando-se muito susceptível aos processos de arenização.

Na maioria das vezes, as cornijas aparecem associadas com presença de vegetação arbórea recobrimdo às vertentes. Na BHRI as cornijas apresentam, ainda, uma característica bastante comum do Oeste do Rio Grande do Sul, compreendida pela associação a uma forma de relevo que possui apenas uma porção de suas vertentes escarpadas e a outra porção com vertentes planas a levemente onduladas, como observar-se na Figura 54, o que as diferencia dos morrotes de arenito.

Na referida figura, observa-se também que a porção escarpada do relevo, associada às Cornijas, apresenta vegetação arbórea e o topo geralmente plano, apresenta continuidade uniforme na vertente oposta, com a ocorrência de campos ou lavouras de cultivos.



Figura 54 – Visualização do limite das cornijas em imagem Quick Bird via Google Earth (A e B) e fotografia aérea de baixa altitude com identificação da cornija de arenito fluvial (C)

- **Rampas de Alúvio Colúvio**

As rampas de alúvio colúvio são caracterizadas pela sua topografia plana, com declividades $<2\%$ e as altitudes inferiores a 80 metros, como ilustra a Figura 55. Quanto às características geológicas, predominam os depósitos recentes, do canal principal do Rio Itu, e os solos do tipo hidromórficos, predominam os Planossolos, de mal a imperfeitamente drenados.

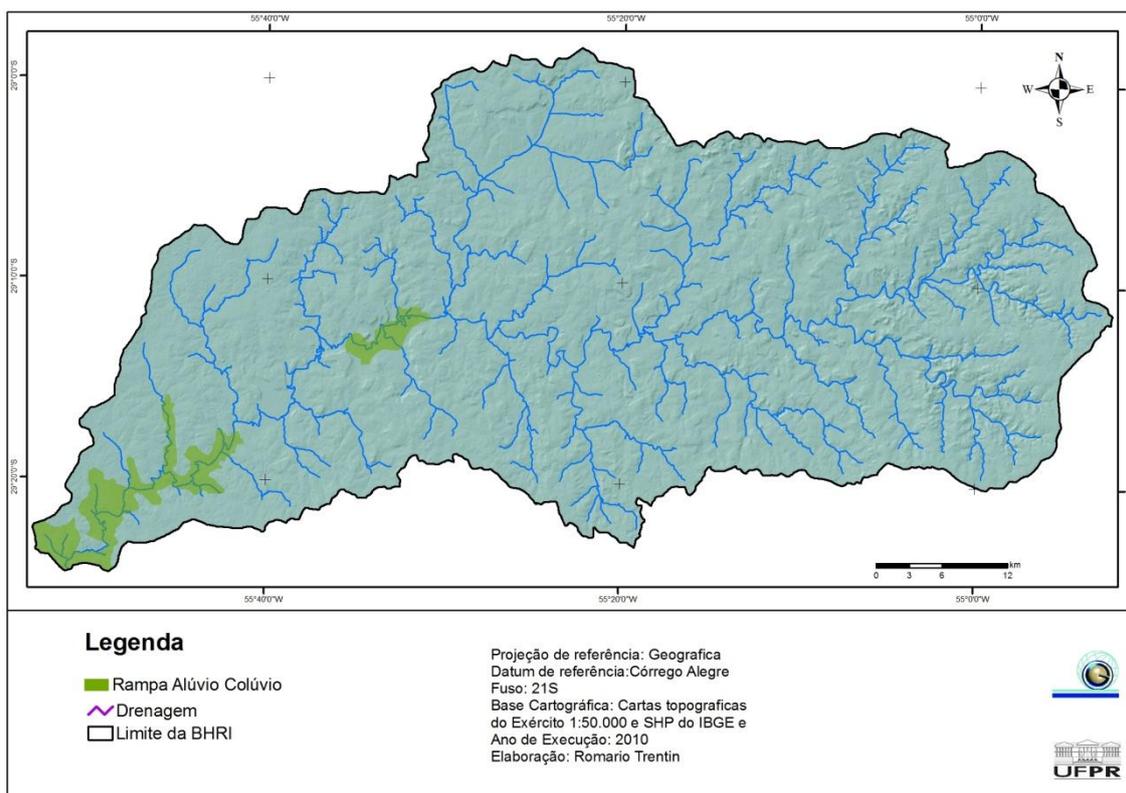


Figura 55- Distribuição espacial das rampas de alúvio colúvio na BHRI

Esta unidade ocupa 3,11% da área total da BHRI e localiza-se no baixo curso da bacia hidrográfica, nas áreas próximas à rede de drenagem. A grande preocupação é a preservação e/ou recuperação da mata ciliar, que atua como proteção dos cursos d' água.

- **Colinas vulcânicas de topo plano**

As colinas vulcânicas de topo plano são caracterizadas por um relevo plano a levemente ondulado. Ocorrem principalmente no alto curso da bacia hidrográfica, observadas nas Figuras 56 e 57. O substrato sobre o qual esta unidade encontra-se é rocha vulcânica do topo de planalto.

Os solos variam de mal a bem desenvolvidos, de acordo com a posição do relevo e condição de ocorrência do substrato geológico. São predominantemente rasos, do tipo Neossolos e associações de Neossolos e

Cambissolos pouco desenvolvidos nas vertentes inclinadas. Enquanto que em vertentes, com baixa inclinação, ocorrem solos mais profundos do tipo Argissolos e Latossolos, moderadamente argilosos, geralmente, associados às áreas de contatos litológicos.

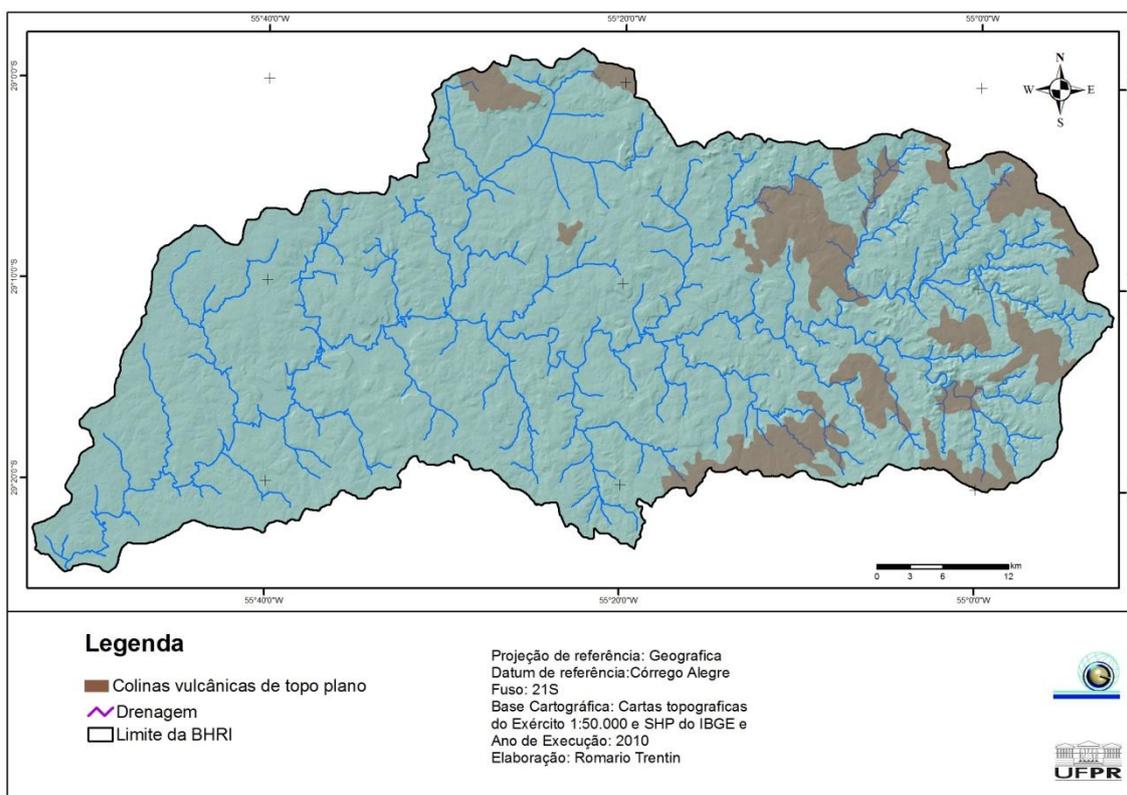


Figura 56 - Distribuição espacial das colinas vulcânicas de topo plano na BHRI



Figura 57 – Topografia levemente ondulada, característico das colinas vulcânicas de topo plano

Esta unidade ocupa 10,77% da área total da BHRI, encontra-se nas altitudes superiores a 200 metros e as declividades são inferiores a 15%, registrando a ocorrência de áreas planas no topo das colinas.

- **Relevo escarpado**

O relevo escarpado caracteriza-se por ser fortemente ondulado, com presença de vertentes escarpadas, conforme ilustram as Figuras 58 e 59, localiza-se, principalmente, no alto curso da bacia hidrográfica. O substrato geológico encontrado nesta área é constituído de rocha vulcânica do rebordo do planalto. Os solos são rasos e bastante pedregosos, com afloramento de blocos de rochas associados ao solo.

Esta unidade ocupa 19,7% da área total e apresenta uma declividade superior a 15%, com as altitudes que variam entre 200 e 400 metros, estando associados principalmente a área de Rebordo do Planalto

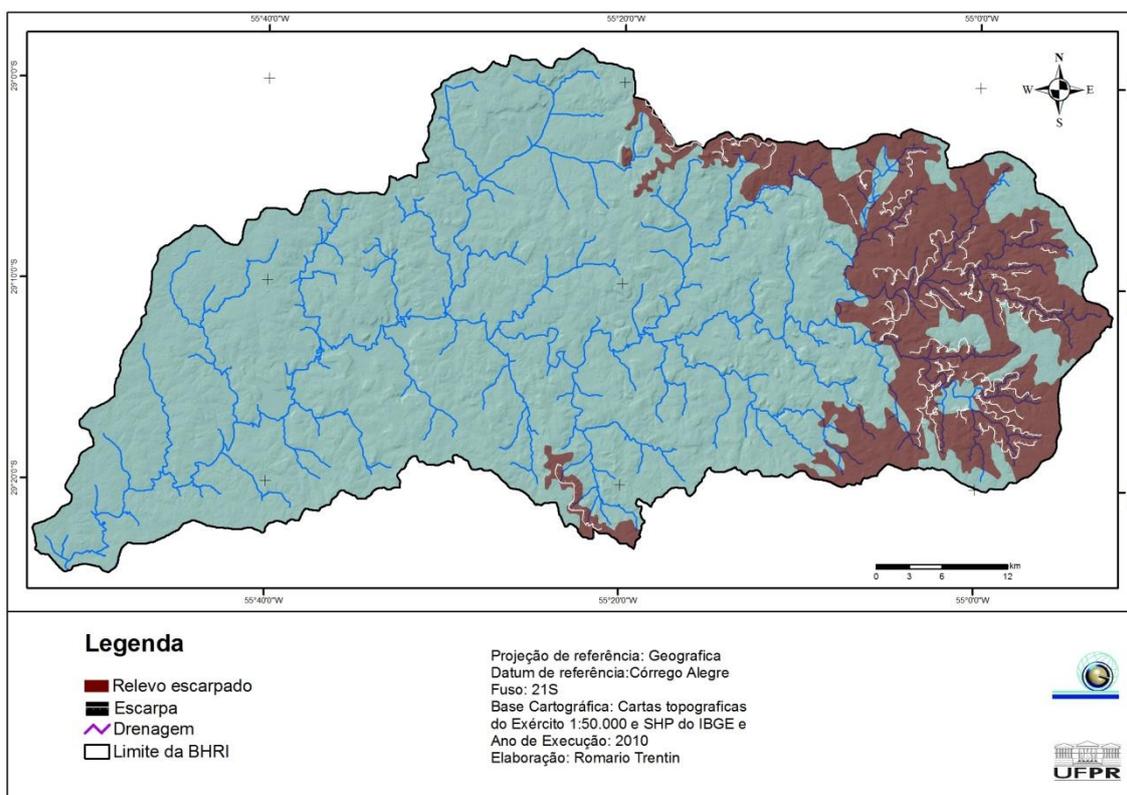


Figura 58 - Distribuição espacial do relevo escarpado na BHRI



Figura 59 – Fotos mostrando ao fundo relevo fortemente ondulado da área do rebordo do planalto

- **Morrotes de rocha vulcânica**

Os morrotes de rocha vulcânica caracterizam-se pelo relevo ondulado a fortemente ondulado, de cerros e morrotes, visualizados nas Figuras 60 e 61. O substrato rochoso, nesta área, é constituído de rochas vulcânicas. Os solos são, comumente, rasos, característicos de uma associação de Neossolo e Cambissolos, por vezes podendo ocorrer solos mais profundos nas porções de base dos cerros, nas áreas de contatos litológicos.



Figura 60 – Morrotes de rocha vulcânica

Esta unidade ocupa 3,68% da área total e sua ocorrência se dá no médio curso da bacia hidrografia, em que as declividades predominantes são superiores a 15% e as altitudes são inferiores a 200 metros.

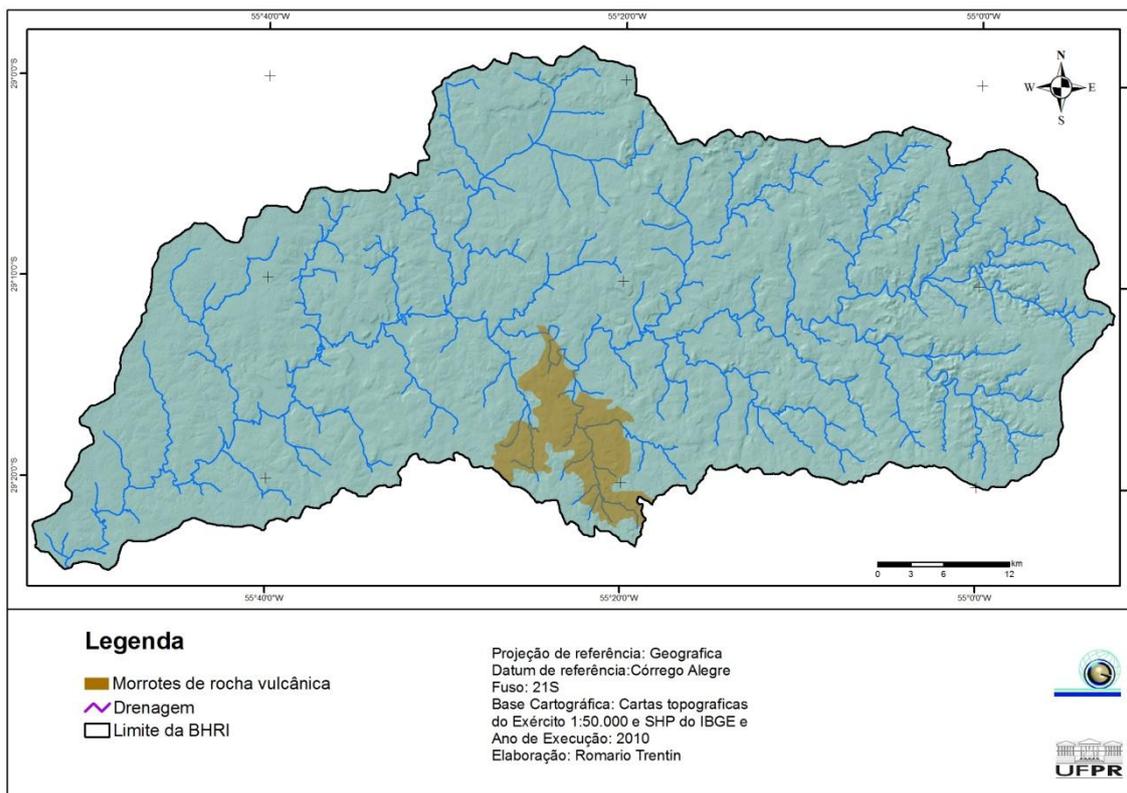


Figura 61 – Distribuição espacial dos morrotes de rocha vulcânica na BHRl

- **Colinas de rocha vulcânicas**

As colinas de rochas vulcânicas, identificadas nas Figuras 62 e 63, são caracterizadas pelas áreas planas a suavemente onduladas, com substrato geológico de rochas vulcânicas. Os solos, desta área, são bem desenvolvidos, sendo mais comuns os Nitossolos e Argissolos. Nas áreas planas, próximas a rede de drenagem, ocorre o desenvolvimento de solos do tipo Plintossolos e Luvissolos.

Esta unidade ocupa a segunda maior área com 26,60% do total, e ocorre principalmente no baixo curso da bacia hidrográfica, com declividades inferiores a 15% e as altitudes variando de 80 a 200 metros.

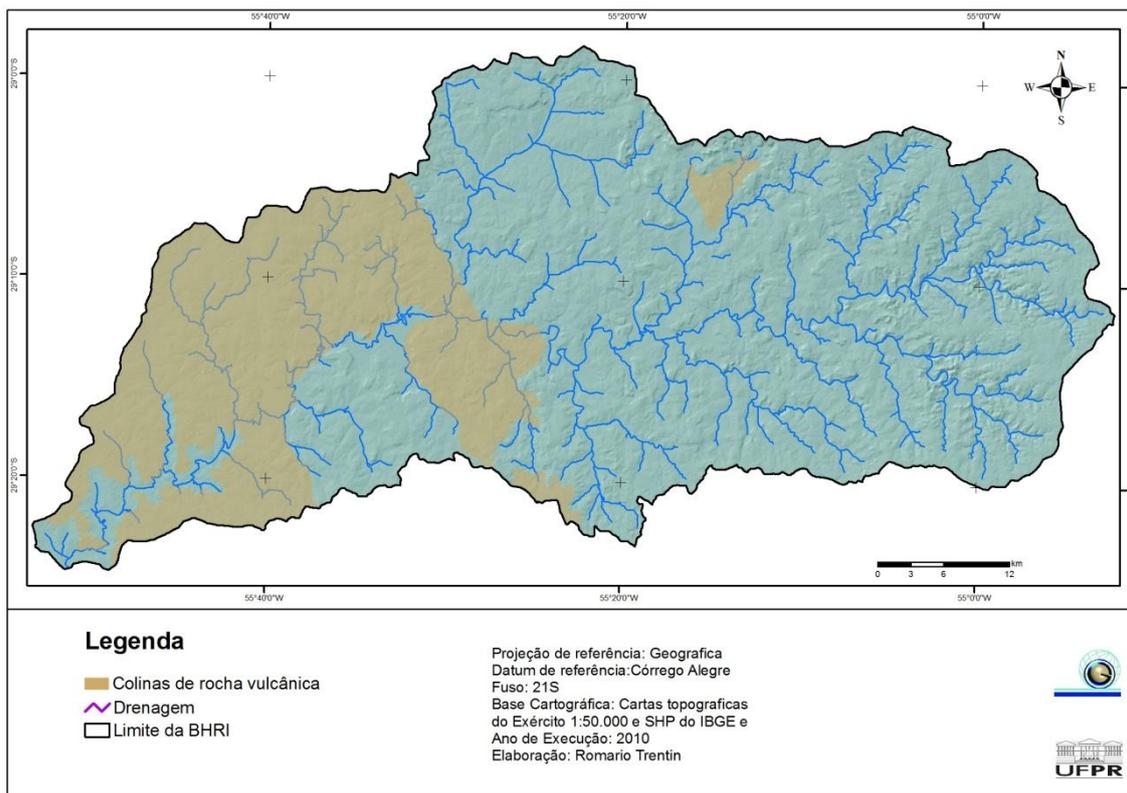


Figura 62 – Distribuição espacial das colinas de rocha vulcânica na BHRl



Figura 63 – Lavouras nas áreas suavemente onduladas das colinas de rocha vulcânica

O **quinto nível** é definido pelos padrões de vertentes e topos que ocorrem em cada modelado de relevo definido.

- **Padrões de vertentes e topos nas colinas de arenito**

As colinas de arenito da bacia hidrográfica do Rio Itu, apresentam um relevo característico, com predomínio de segmentos de vertentes retilíneos

divergentes, conforme o Gráfico 05, porém, observa-se a ocorrência de todos os tipos de curvatura.

Ocorrem ainda, com grande frequência, os segmentos de vertentes retilíneas convergentes e côncavas convergentes, junto ao fundo de vale, próximas dos cursos de água, nas baixas vertentes.

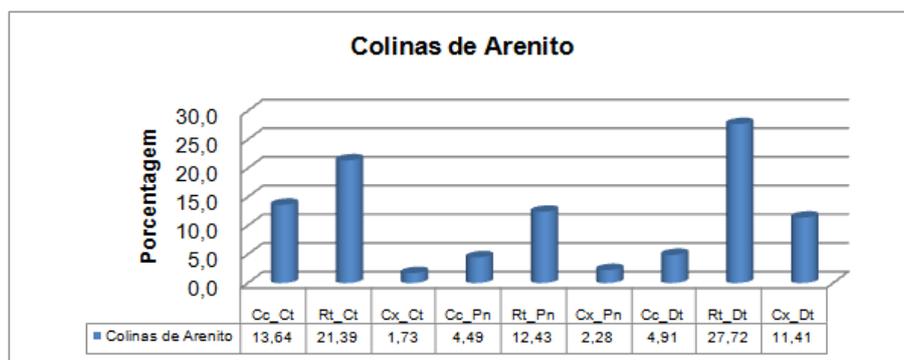


Gráfico 05 – Distribuição da curvatura das vertentes nas colinas de arenito

Na Figura 64, visualiza-se um perfil representativo da curvatura das vertentes, encontradas nas colinas de arenito e pode-se observar também, a distribuição espacial dos tipos de curvaturas.

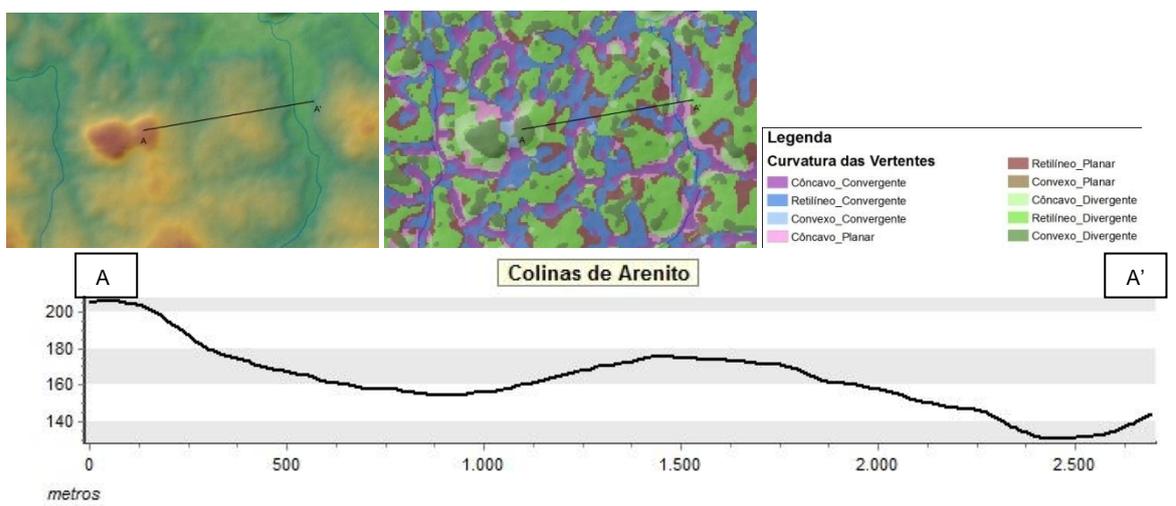


Figura 64 – Perfil representativo das vertentes nas colinas de arenito

- **Padrões de vertentes e topos nos morrotes de arenito**

O padrão de vertentes e topos nos morrotes de arenito apresenta os segmentos de vertentes retilíneo-divergentes, que são os predominantes, como mostra o Gráfico 06. Ocorrendo ainda, com bastante freqüência, os segmentos retilíneo-convergentes, côncavo-convergentes e convexo-divergentes.

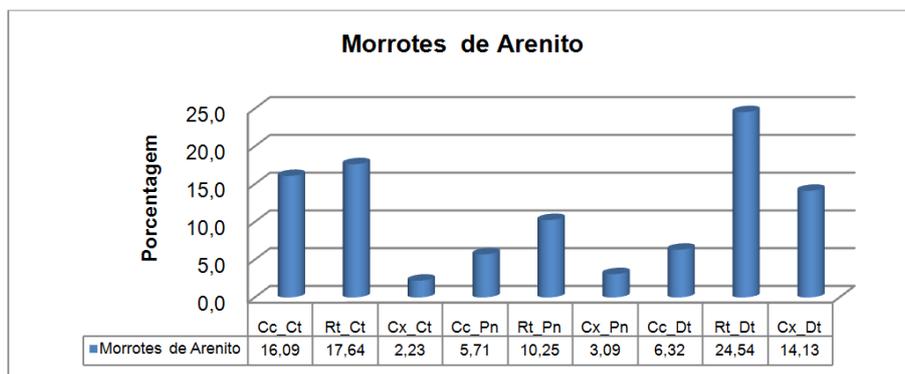


Gráfico 06 – Distribuição da curvatura das vertentes nos morrotes de arenito

A Figura 65 ilustra um perfil representativo da curvatura das vertentes nos morrotes de arenito, em que se observa, além das curvaturas predominantes, a presença de topos com áreas mais aplainadas.

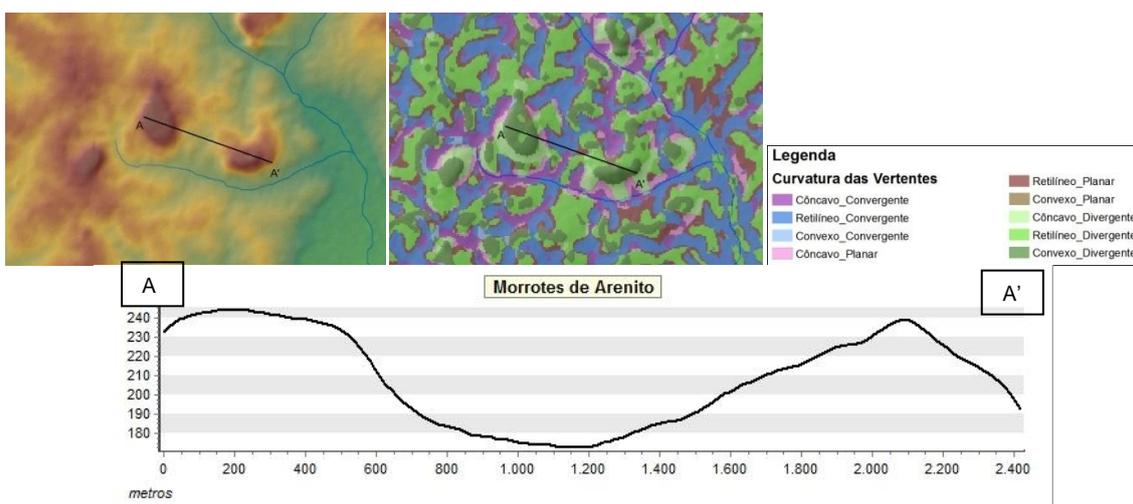


Figura 65 – Perfil representativo das vertentes nos morrotes de arenito

- **Padrões de vertentes e topos nas cornijas de arenito**

O padrão de vertentes das cornijas de arenito se assemelha muito aos morrotes de arenito, visto que, basicamente, apresentam a mesma composição geológica e processos de formação. Porém a junto às “linhas de quebra” do relevo, em que foram delimitadas as cornijas, ocorre o predomínio dos segmentos de vertentes retilíneo-convergentes e convexo-convergentes, conforme o Gráfico 07.

Na representação das curvaturas de vertentes, junto às linhas das cornijas, visualizada na Figura 66, observar-se o predomínio da curvatura retilíneo-convergente.

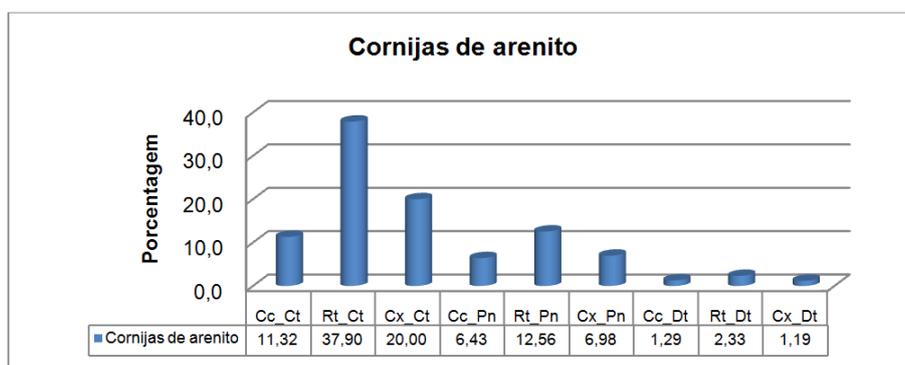


Gráfico 07 – Distribuição da curvatura das vertentes nas cornijas de arenito

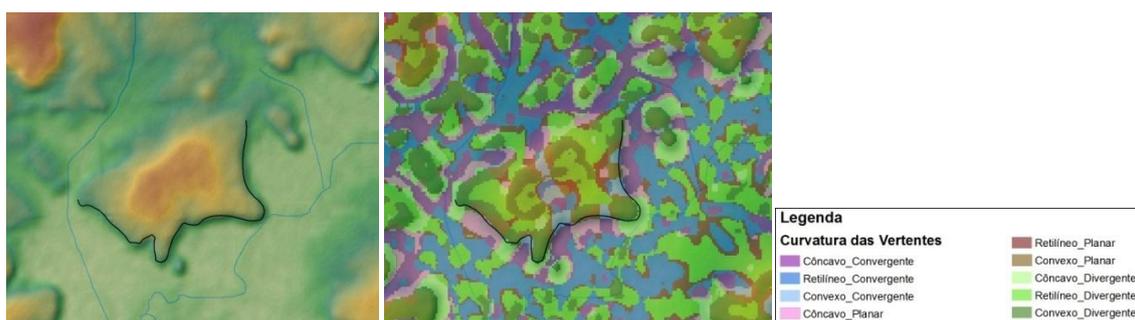


Figura 66 – Curvatura das vertentes nas linhas de cornijas de arenito

- **Padrões de vertentes das rampas de alúvio colúvio**

As vertentes das rampas de alúvio colúvio são predominantemente retilíneas e quando associadas ao plano de curvatura horizontal são, na sua maioria, divergentes ou convergentes, de acordo com o Gráfico 08.

A Figura 67 ilustra a ocorrência das áreas planas, associadas aos cursos de água do baixo curso da BHRI, na qual se encontram as áreas de rampas de alúvio colúvio.

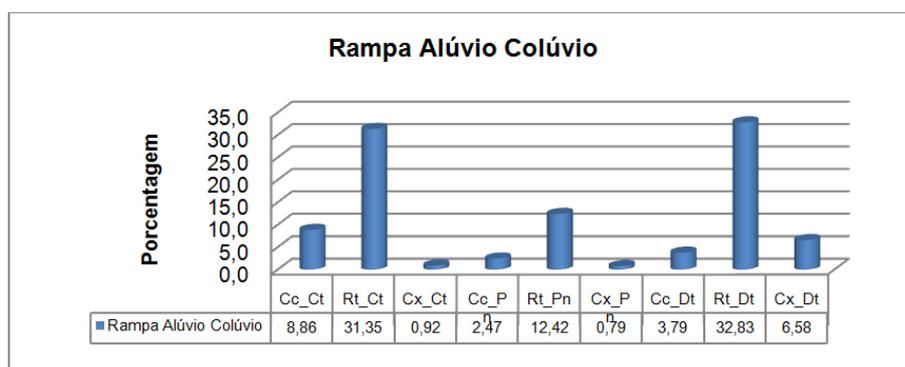


Gráfico 08 – Distribuição da curvatura das vertentes nas rampas alúvio colúvio

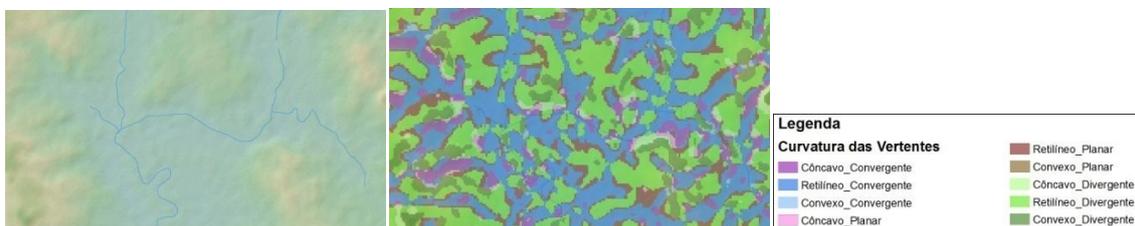


Figura 67 – Curvatura das vertentes nas rampas de alúvio colúvio

- **Padrões de vertentes e topos nas colinas vulcânicas de topo plano**

As colinas vulcânicas de topo plano da bacia hidrográfica do Rio Itu, apresentam um relevo característico, com predomínio de segmentos de vertentes retilíneo-divergentes, como mostra o Gráfico 09, porém observa-se a grande ocorrência de curvaturas retilínea-convergentes.

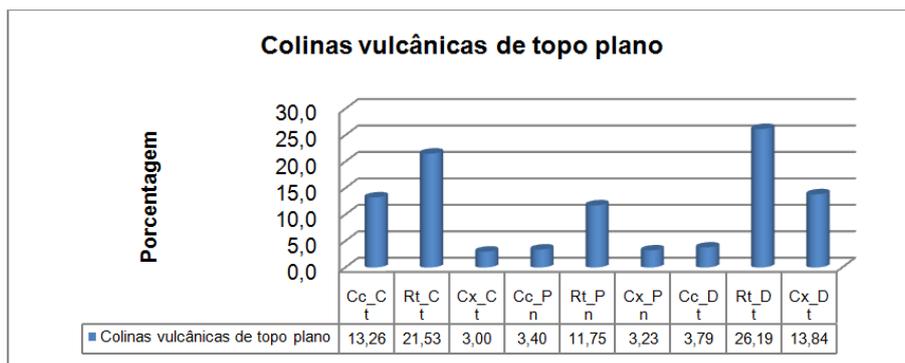


Gráfico 09 – Distribuição da curvatura das vertentes nas colinas vulcânicas de topo plano

A Figura 68 demonstra o perfil representativo da curvatura dos segmentos das vertentes nas colinas vulcânicas de topo plano.

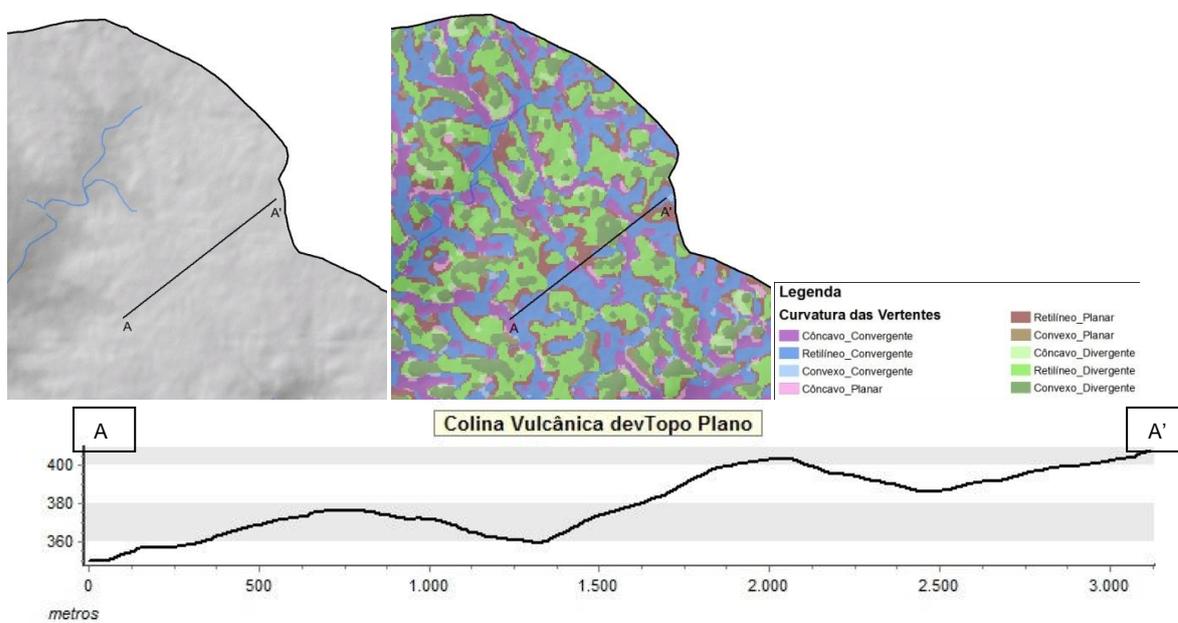


Figura 68 – Perfil representativo das vertentes nas colinas vulcânicas de topo plano

- **Padrões de vertentes e topos no relevo escarpado**

No relevo escarpado ocorre o predomínio da curvatura dos segmentos de vertentes côncavo-convergentes e convexo-divergentes, como pode ser visualizado no Gráfico 10.

O perfil representativo da Figura 69 ilustra a distribuição das curvaturas encontradas na área de relevo escarpado

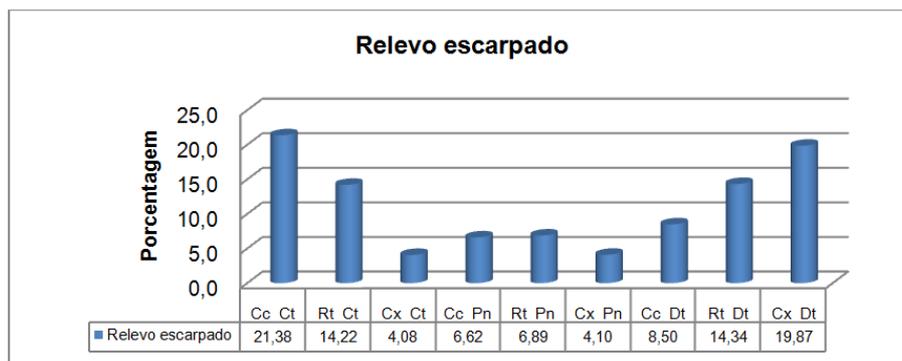


Gráfico 10 – Distribuição da curvatura das vertentes no relevo escarpado

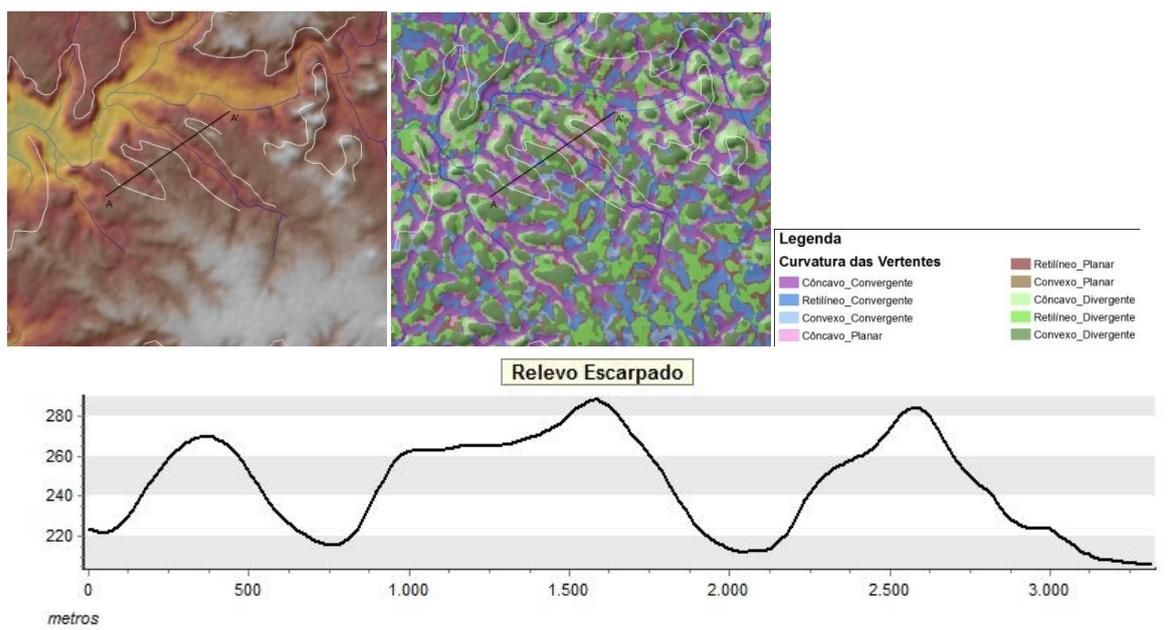


Figura 69 – Perfil representativo das vertentes do relevo escarpado

- **Padrões de vertentes e topos nos morrotes de rocha vulcânica**

Nos morrotes de rocha vulcânica da BHRI, ocorrem os segmentos de vertentes predominantemente, com curvatura retilínea-divergente, seguido pelas curvaturas retilínea-convergente e côncavo-convergente, como mostra o Gráfico 11.

A Figura 70 ilustra o perfil representativo das curvaturas dos segmentos de vertentes na área de morrotes de rocha vulcânica.

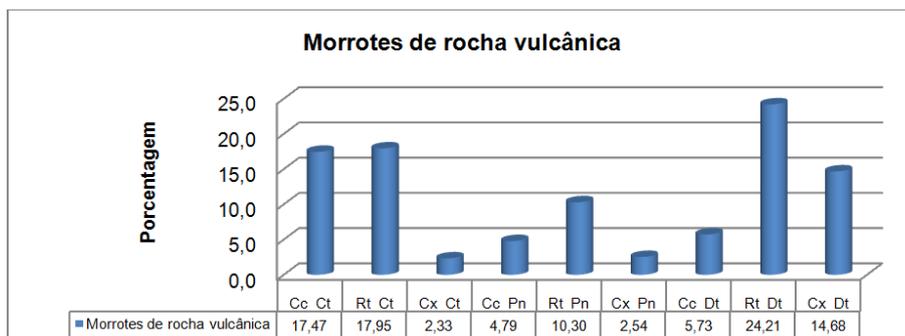


Gráfico 11 – Distribuição da curvatura das vertentes nos morrotes de rocha vulcânica

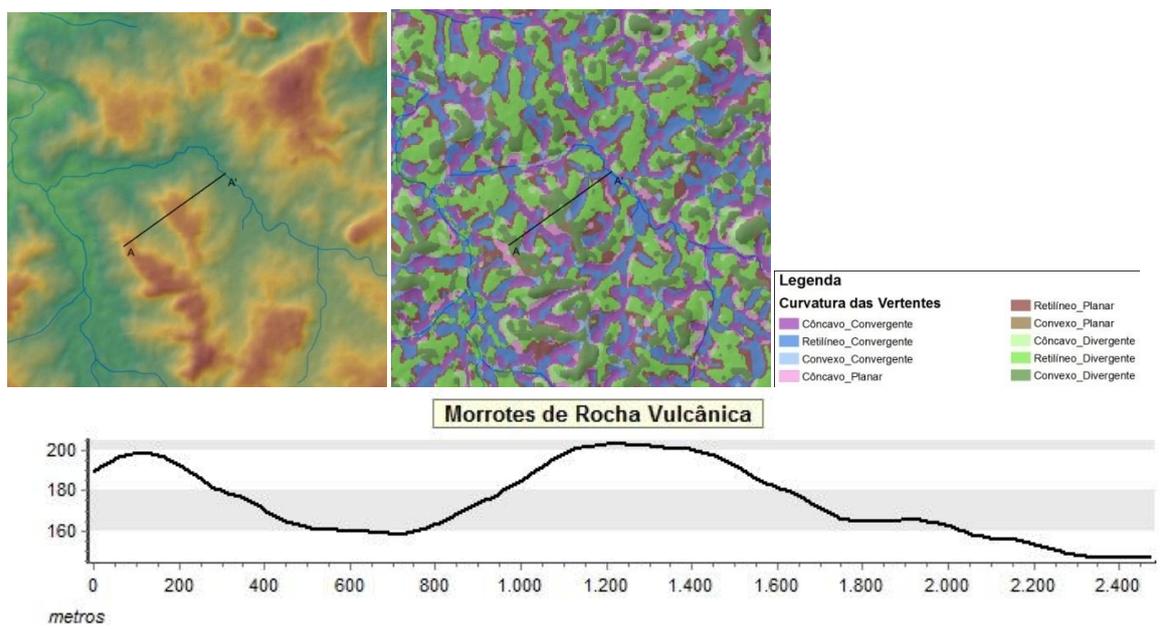


Figura 70 – Perfil representativo das vertentes dos morrotes de rocha vulcânica

- **Padrões de vertentes e topos nas colinas de rocha vulcânica**

A curvatura predominante nos segmentos de vertentes das áreas de colinas de rocha vulcânica é retilíneo-divergente, seguida da curvatura retilíneo-convergente, de acordo com o Gráfico 12.

O perfil representativo, com as curvaturas dos segmentos de vertentes das colinas de rocha vulcânica, pode ser visualizado na Figura 71.

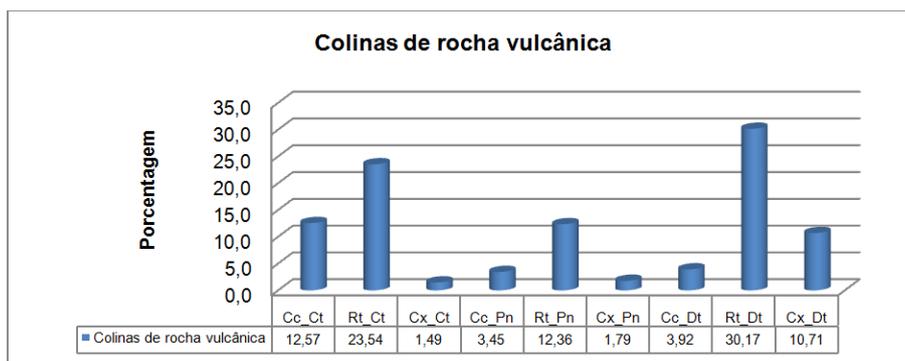


Gráfico 12 – Distribuição da curvatura das vertentes nas colinas de rocha vulcânica

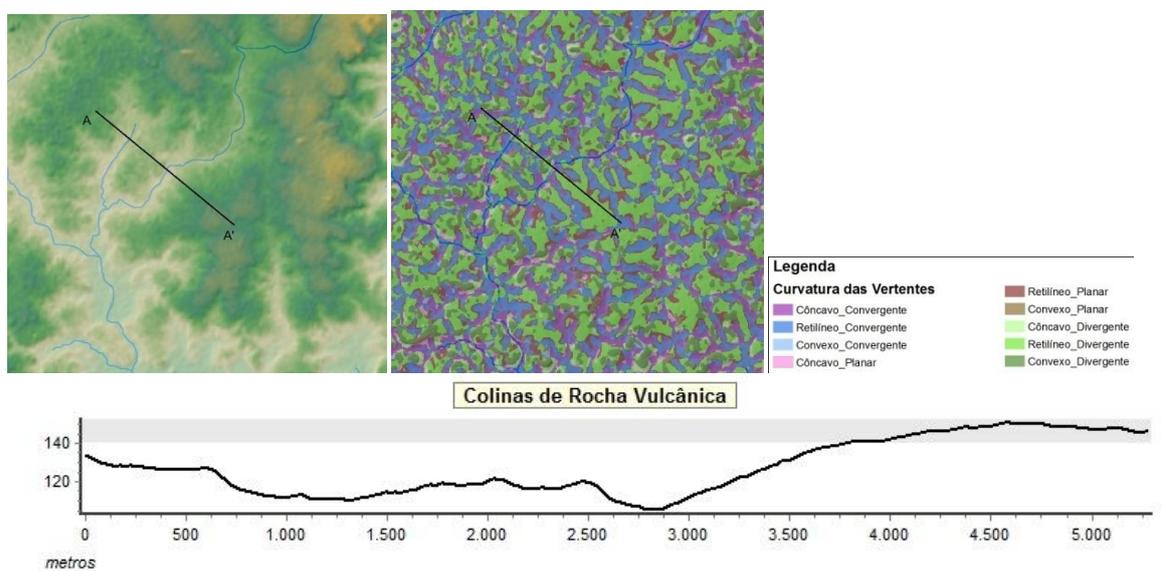


Figura 71 – Perfil representativo das vertentes das colinas de rocha vulcânica

O **sexto nível taxonômico** é caracterizado pelas feições superficiais que ocorrem que na área de estudo.

- **Feições superficiais das colinas de arenito**

As colinas de arenito são caracterizadas pela ocorrência das feições superficiais de areais, ravinas e voçorocas. Por ser uma forma de relevo associada aos arenitos muito friáveis, e os solos serem muito arenosos, o desenvolvimento da vegetação, principalmente as gramíneas associadas aos

campos, é muito rala o que torna estas áreas muito susceptíveis aos processos de dinâmica superficiais.

Na ocorrência das feições superficiais, características das colinas de arenito, ilustrada na Figura 72, identifica-se o solo com vegetação de gramínea muito rala (A) favorecendo o desenvolvimento dos processos de ravinas e voçorocas (B), e também a ocorrência dos areias (C), que na maioria das vezes estas feições ocorrem associadas (D).

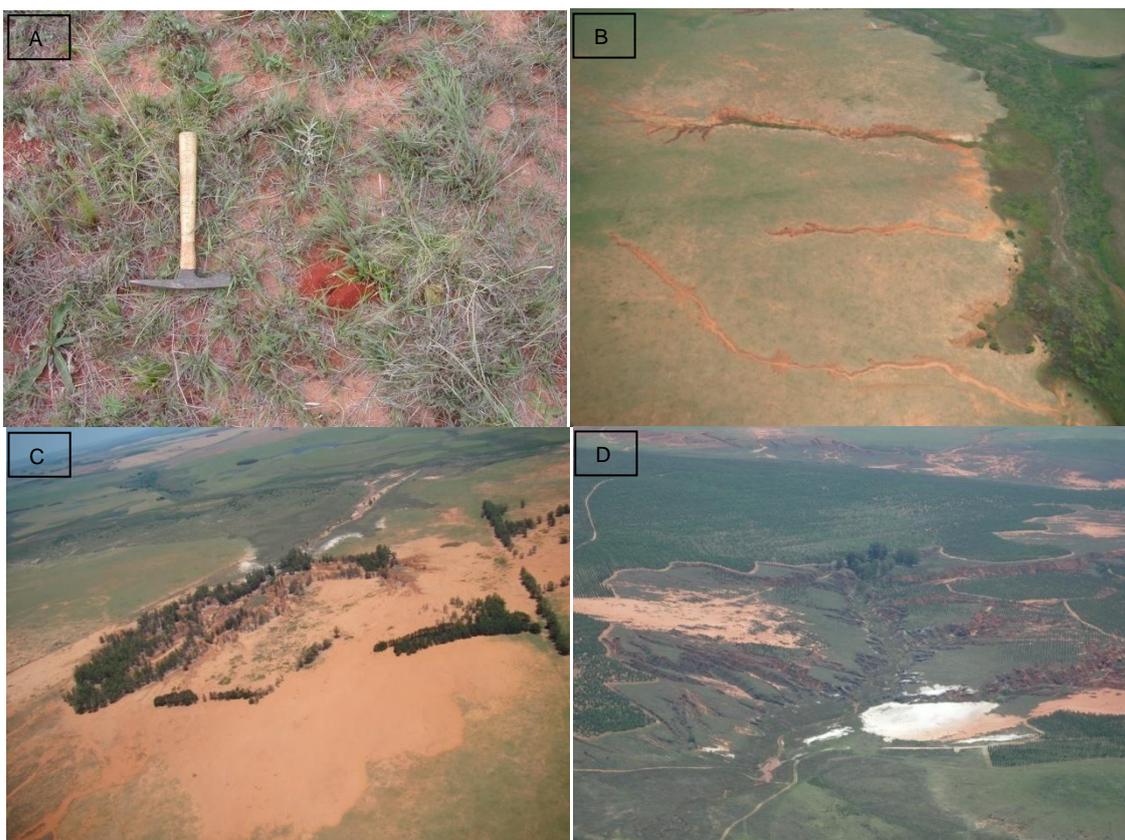


Figura 72 – Vegetação rala nos solos arenosos e feições superficiais das colinas de arenito

Os **areais** são as marcas mais expressivas da paisagem na BHRI e tem suscitado muita preocupação regional. Desenvolvem-se desde a cabeceira de drenagens desmatadas e, principalmente, em vertentes convexas junto à morrotes e a degraus com afloramento de rocha na meia encosta associados a arenitos pouco coesos.

Outra forma menos comum de ocorrência dos areais e, por consequência do seu processo de formação, são junto à base das colinas. Neste caso, em forma de depósitos, do tipo vertente-terraço, muito arenosos associados aos processos erosivos, do tipo voçorocas, que depositam os sedimentos na base das colinas, próximos aos cursos de água, formando os campos de areia, como ilustra a Figura 73.

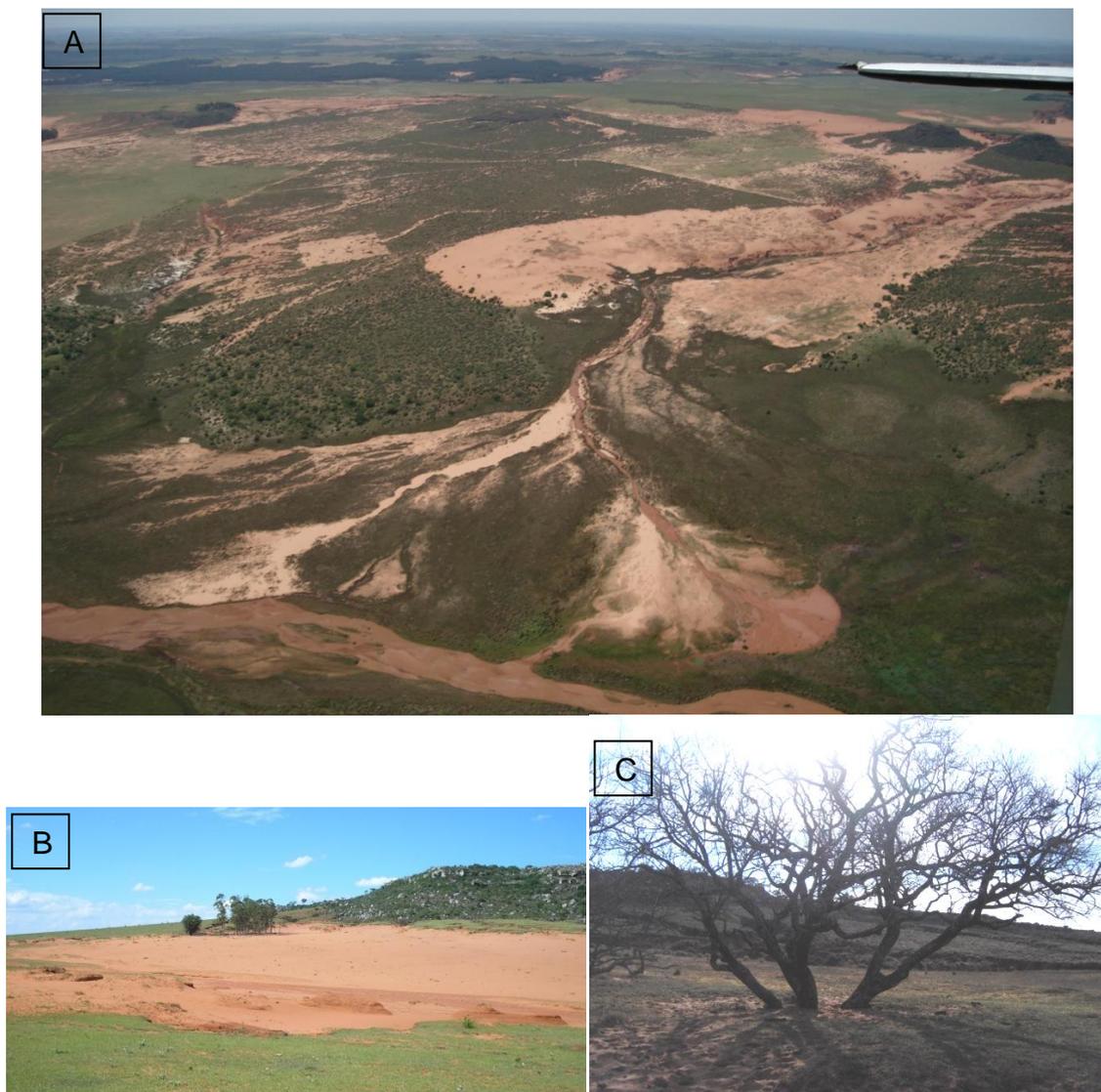


Figura 73 – Fotografia (A) no alto da foto ocorrência de areal associado aos morrotes de arenito e parte de baixo da foto areal formado pelos depósitos de voçorocas. Fotografia (B) areal associado à morrote de arenito. Fotografia (C) areais na base da vertente, associado a depósitos de sedimentos de voçorocas.

As formas diferenciadas de localização dos areais estão muito relacionadas ao processo de formação dos mesmos, que na maioria dos casos,

encontra-se associado à desagregação das camadas mais friáveis dos arenitos fluviais, que formam os morrotes e afloramentos de rochas na forma de depósitos associados aos morrotes na meia encosta.

Os areais estão associados a um substrato de arenito friável, com textura de areia fina e média predominantemente, com grânulos de sílica esparsos e estratos cruzados de baixo ângulo, sendo classificados como de ambiente fluvial. Formam-se ainda, pela ação hidrodinâmica, das chuvas, em um solo de baixa cobertura vegetal, arenoso e friável.

O vento persistente, na região, é o principal agente de evolução dos areais, pois espalha as areias ampliando sua área. Na região, os ventos possuem uma direção predominantemente sudeste, no inverno e nordeste na primavera (SARTORI, 2003). A Figura 74 ilustra uma duna de areia, em um areal, formada pela ação do vento.



Figura 74 – Porção sotavento de uma duna eólica formada sobre um areal que mostra o transporte de areia pela ação do vento

A presença de areais no sudoeste do Rio Grande do Sul é provavelmente, segundo dados de diversos autores, anterior aos primórdios da colonização e sua causa reside na fragilidade do ecossistema. Cabe destacar, por oportuno, o testemunho do famoso médico naturalista alemão Robert Ave-Lallemant, que se referiu ao fenômeno em sua passagem pela região de Saicã, nas proximidades do Passo de São Simão, no ano de 1858, quando cita “as manchas de areia branca e limpa, sem vegetação, semelhante a um deserto africano, embora de pequena extensão”.

Apesar da origem natural, a arenização é intensificada pelo super pastoreio e pela adoção de práticas agrícolas incompatíveis com a fragilidade do ecossistema local. A expansão da lavoura de soja nos anos 1970, e o uso indiscriminado da mecanização, com seus desastrosos efeitos na estrutura do solo, são fatores antrópicos responsáveis pelo agravamento da “desertificação” no sudoeste do Rio Grande do Sul, conforme Souto (1985).

O gado, em outras palavras, exerce uma ação homogeneizadora na paisagem natural, contribuindo para a redução populacional de numerosas espécies. Apesar de pouco conhecidas, esta ação antrópica indireta, resultante da criação de gado, foi uma das mais radicais intervenções na paisagem rio-grandense, principalmente se levarmos em conta a extensão da área submetida ao processo.

As **voçorocas** são consideradas problema ambiental, principalmente associada à degradação de terras e a exportação de sedimentos para as drenagens. Além disso, interferem diretamente na preservação de recursos hídricos, já que os sedimentos erodidos alteram a qualidade da água e aumentam os custos para sua utilização, como também alteram as condições hidrodinâmicas que operam no solo.

Na voçoroca atuam além da erosão superficial, diversos fenômenos como a erosão subterrânea, solapamentos, desabamentos e escorregamentos que se conjugam aumentando o poder destrutivo desta forma de erosão.

Os processos erosivos ocorrem preferencialmente, associados aos canais de primeira ordem, iniciando o processo na forma de ravinas que evoluem para voçorocas e que evoluem até um nível de base (lençol freático).

As cabeceiras de drenagem são as áreas mais sensíveis as adaptações hidrodinâmicas da rede hidrográfica, desta forma a erosão laminar inicia os processos de ravinamentos, com pouca profundidade, porém com largura considerável e na medida em que ocorre concentração de fluxo linear ocorre o aprofundamento e ocasionam significativa alteração nas vertentes.

A água subterrânea tem um papel fundamental no desenvolvimento do processo erosivo por voçorocas. Nos locais de afloramento do lençol freático, ocorre liquefação dos materiais arenosos pouco coesos, que compõem os solos e os substratos com fácies de arenitos homogêneos produzindo liquefação do material das paredes, gerando alcovas de regressão e posteriormente tombamentos.

Os principais processos de voçorocamento na bacia hidrográfica do Rio Itu estão associados aos substratos de arenitos friáveis, junto às cabeceiras de drenagem e muitas vezes ocorrem associadas aos areais.

Na Figura 75 pode-se visualizar a ocorrência dos processos erosivos sobre os substratos de arenito friáveis com elevada fragilidade aos processos de dinâmica superficial.

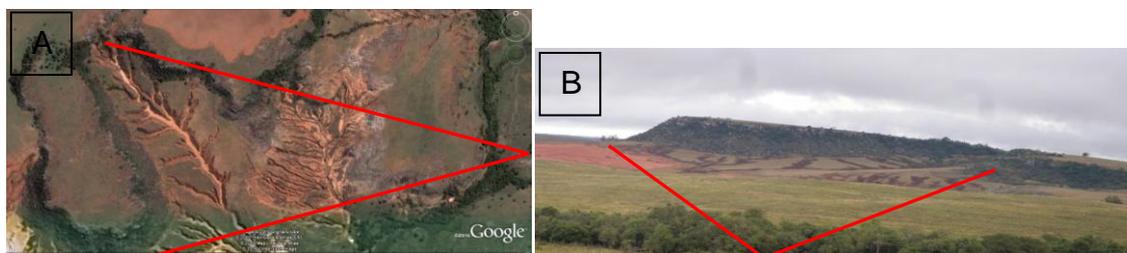


Figura 75 – Visualização dos processos de voçorocamento associados à morrote de arenito fluvial. Na imagem (A) imagem de satélite SPOT via Google Earth e na imagem (B) fotografia do mesmo local.

Na Figura 76 estão representadas a delimitação de duas áreas em que se percebe o predomínio de voçorocas (A) e a grande associação aos areais (B) sobre imagens SPOT, via Google Earth, e fotografia aérea de baixa altitude mostrando a associação dos areais e voçorocas (C).



Figura 76 – Delimitação das áreas denominadas voçorocas e associação aos areais

- **Feições superficiais dos morrotes e cornijas de arenito**

Nas vertentes dos morrotes e cornijas de arenito, são comuns as feições superficiais definidas como depósitos de colúvio associados à base das vertentes. Nestas áreas, observa-se que, nas porções mais íngremes das vertentes, geralmente ocorre à presença de vegetação arbórea.

A ocorrência de areias, também é bastante frequente associada à base dos morrotes e cornijas de arenito, que se formam pelo rompimento das camadas menos resistentes do arenito.

Outra característica encontrada nas vertentes do morrotes e cornijas de arenito é a ocorrência de cachoeiras, devido à resistência da rocha, os cursos de água não conseguem se aprofundar e formam cachoeiras ao transpor estes degraus do relevo. Também é bastante comum, principalmente nas cornijas de arenito, estas áreas servirem como áreas de refúgios de espécies xerófitas, como ilustra a Figura 77.



Figura 77 – Cachoeira e palmar de espécies xerófitas associada à cornija de arenito fluvial

- **Feições superficiais das rampas de alúvio colúvio**

Nas áreas próximas aos cursos de água, que formam as rampas de alúvio colúvio, são encontrados os depósitos de sedimentos quaternários. Na Figura 78, podem ser observados os depósitos de sedimento na planície de inundação do canal principal do Rio Itu.



Figura 78 – Depósitos recentes próximos do canal na unidade de Rampas de alúvio colúvio

- **Feições superficiais das demais unidades geomorfológicas**

As feições superficiais sobre as unidades geomorfológicas das colinas vulcânicas de topos planos, relevo escarpado, morrotes de rocha vulcânica e colinas de rocha vulcânica, são pouco visíveis e bem menos comuns quando

comparadas com as feições encontradas sobre as unidades geomorfológicas localizadas sobre a Depressão Periférica do RS (1º nível taxonômico).

Basicamente, são encontrados afloramento de rochas vulcânicas em blocos e pequenos lajeados nas formas de relevo das colinas vulcânicas de topo plano.

No relevo escarpado e morrotes de rocha vulcânica é comum a ocorrência de depósitos de colúvio na base das vertentes, formados por blocos de rochas envoltos em solo oriundo das porções superiores das vertentes, além da presença de escarpas.

Nas colinas de rocha vulcânica por vezes, podem ocorrer à presença de depósitos de colúvio, porém com baixa frequência. Também pode ocorrer a presença de ravinas e voçorocas, principalmente quando associada às lavouras com uso do solo sem nenhuma preocupação com manejo adequado ou em áreas próximas ao contato com arenitos Botucatu, que geram porções de solo mais arenosos e friáveis.

Os **depósitos de colúvio** associados, principalmente às áreas de relevo escarpado em rochas vulcânicas, na porção de transição do rebordo, são constituídos por um material areno-argiloso com blocos de rocha imersos na matriz do solo. Esses depósitos apresentam uma significativa heterogeneidade com relação ao comportamento frente aos processos superficiais.

Os depósitos de colúvios também são encontrados associados aos morrotes e cornijas de arenitos, sendo constituídos por fragmentos rochosos, situados em porções próximas das escarpas com maiores declives.

Por questões de escala, o mapa apresenta apenas os principais depósitos de colúvio, identificados em trabalhos de campo, e por sua vez não representam todas as áreas de ocorrência.

Cabe ressaltar que, na maioria das vezes, estes depósitos encontram-se em meio à vegetação arbórea que recobre as áreas escarpadas, tanto do

Rebordo do Planalto de rochas vulcânicas, como as cornijas e morrotes de arenitos.

A Figura 79 apresenta os depósitos de colúvio associados à porção do Rebordo e podem ser observados os fragmentos de rocha vulcânica, em meio à vegetação arbórea (A) e depósitos de arenito fluvial associados à cornija, com blocos de rocha na base escarpa.

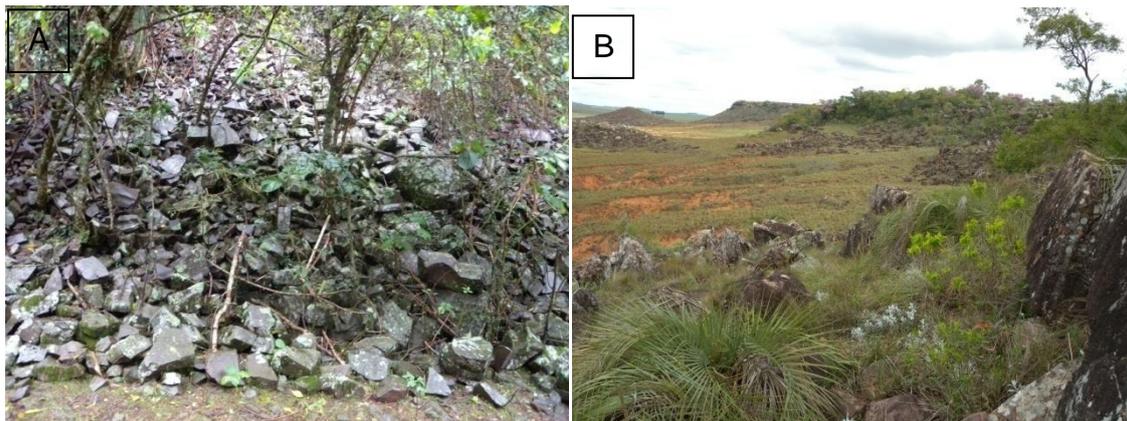


Figura 79 – Depósito de colúvio em rocha vulcânica do Rebordo (A) e de arenito fluvial associada à cornija (B).

Os **afloramentos de rocha vulcânica** ocorrem, em grande quantidade, no alto curso da bacia hidrográfica, associado aos solos rasos de altas altitudes. Estes afloramentos ocorrem principalmente, na forma de blocos esparsos em meio aos campos ou na forma de lajeados, como pode ser observado na Figura 80.



Figura 80 – Afloramentos de rocha vulcânica em forma de blocos dispersos em meio aos campos (A) e na forma de lajeado (B)

Os **afloramentos de arenito** são comumente encontrados na porção do médio curso da bacia hidrográfica do Rio Itu. Estes afloramentos, além de associado às cornijas e morrotes de arenito, ocorrem em meio às colinas na forma de grandes blocos ou na forma lajeados, como pode ser observado na Figura 81.



Figura 81 – Afloramentos de arenito fluvial na porção central da BHRI associado às colinas areníticas.

Cabe destacar ainda, os afloramentos de concreções de ferro na forma de carapaças, que geralmente ocorrem associados aos arenitos fluviais ou porções próximas a contatos litológicos. Por vezes, estes afloramentos formam pequenos degraus nas colinas como pode ser observado na Figura 82.



Figura 82 – Afloramento de concreções de ferro na forma de carapaças formando pequeno degrau na meia encosta

6. ANÁLISE DO USO - OCUPAÇÃO E COBERTURA VEGETAL

Neste capítulo são apresentadas as informações referentes aos processos de ocupação que ao longo dos anos desencadearam os diferentes usos da terra desenvolvidos nos municípios ocupados pela BHRI. Além disso, são apresentadas as informações a respeito da cobertura vegetal que ocorre na área de estudo em análise.

O levantamento não tem a pretensão de fazer um amplo resgate histórico e evolutivo de todas as atividades praticadas nestes municípios, mas propõe-se limitar as análises para as atividades mais significativas com ênfase nas últimas décadas, período representativo das últimas transformações da paisagem local.

Parte-se da análise e caracterização das atividades de uso e ocupação desenvolvidas nos municípios que praticamente todo o oeste gaúcho, estão historicamente baseadas na pecuária e agricultura, tendo a silvicultura importante papel no desenvolvimento dos municípios, nestes últimos anos.

6.1 Contextualização da Expansão Administrativa e Econômica dos Municípios da BHRI

O Quadro 03 apresenta as características gerais dos municípios que fazem parte da bacia hidrográfica do Rio Itu, quanto ao porte, população, área do município, micro e mesorregiões geográficas definidas pelo IBGE e altitude média da sede.

A expansão do povoamento, pela Campanha e por conseqüência dos municípios que abrangem a BHRI, está muito ligada aos ciclos de guerras que se iniciam com a grande invasão espanhola em 1763. Conforme Bernardes (1997) "...ao começar o século XIX ainda não se encerrara a série de lutas, mas a Campanha já estava salpicada de estâncias que, continuamente, iam

sendo estabelecidas, sobretudo pelos militares que a ficavam conhecendo após as repetidas incursões guerreiras.”

Quadro 03 – Municípios que compõem a BHRI e suas características gerais

Nome	Emancipação	Porte	População (2010)	Área (km ²)	Microrregião	Mesorregião	Altitude da sede (m)
Santiago	1884	Médio	49.082	2.413	Santiago	Centro Ocidental Rio-Grandense	409
Unistalda	1995	Micro	2.453	602	Santiago	Centro Ocidental Rio-Grandense	361
Maçambará	1995	Pequeno	4.742	1.683	Campanha Ocidental	Sudoeste Rio-Grandense	110
São Borja	1887	Médio	61.662	3.616	Campanha Ocidental	Sudoeste Rio-Grandense	123
Itaqui	1858	Médio	38.166	3.404	Campanha Ocidental	Sudoeste Rio-Grandense	57
Manoel Viana	1992	Pequeno	7.074	1.391	Campanha Ocidental	Sudoeste Rio-Grandense	113
São Francisco de Assis	1884	Médio – Pequeno	19.258	2.508	Campanha Ocidental	Sudoeste Rio-Grandense	151

De acordo com Souza (2000), as sesmarias foram concedidas principalmente aos militares, servidores da Metrópole que vieram em função das guerras e das demarcações dos limites portugueses ao sul do continente e que haviam permanecido no local. Corsetti (1999) explica a influência militar na origem das estâncias na Campanha, afirmando que tendo por objetivo a defesa da fronteira e a consolidação das vantagens obtidas através de campanhas bélicas, o governo português concedia propriedades aos militares que estabeleciam estâncias na campanha, ao longo da fronteira sudoeste do atual Estado do Rio Grande do Sul.

Levas de gado foram trazidas para a região e criadas aleatoriamente nas pastagens, determinando o que seria o primeiro ciclo da economia do Estado. De acordo com Verdum *et al.* (2004), o gado era criado livre sobre as pastagens nativas através de dois sistemas, o da estância e o das vacarias:

(...) o das estâncias, onde o gado era solto nas pastagens nativas dos campos limpos, limitadas pelos acidentes do terreno (cursos d'água, florestas, etc.), e o das vacarias que não necessariamente tratava-se de um sistema de criação, mas uma caça de animais selvagens. Durante a desestruturação das Missões Jesuíticas e dos índios a partir da primeira metade do século XVIII, os animais abandonados proliferaram no nordeste do atual Estado do Rio Grande do Sul de maneira anárquica. Os rebanhos em liberdade constituíram a base

dos rebanhos dos campos limpos, recuperados e encaminhados ao sudoeste do Estado pelos proprietários portugueses.

De forma breve, os relatos destes autores esclarecem a origem da concentração de terra e do gado nos primórdios da ocupação do espaço no Oeste gaúcho. Esta forma de ocupação caracterizou a região dos campos, locais onde se desenvolveram as cidades, e deu origem a uma sociedade latifundiária, patriarcal e composta por uma hierarquia de senhores (estancieiros), peões (gaúchos) e escravos (negros e índios).

Para Verdum *et al.* (2004) é durante a segunda metade do século XIX que a fazenda caracteriza a forma de uma unidade de exploração comercial mais rentável. Segundo o autor, a demanda crescente pelos produtos do Rio Grande do Sul (o charque, o couro e o trigo) pelo mercado interno brasileiro representa a origem dessa evolução.

Durante o processo de colonização, além dos índios, primeiros povoadores, dos negros e dos imigrantes luso-brasileiros e espanhóis, famílias italianas e alemãs, sucessivamente povoaram a região. A imigração italiana ocorreu na década de 1890, com duas correntes de origem: imigração direta via Silveira Martins, ocorrida em 1889 e imigração indireta, via Uruguai, pelas cidades de Rivera/Santana do Livramento (HAIGERT, 1999). Conforme a EMATER/RS (2006), apenas em 1926, chegaram os primeiros imigrantes alemães para a região.

No início do século XX, a região que compreende a BHRI era formada por grandes fazendas com criação de gado bovinos e ovinos, que sustentavam a produção de charque e couros. A maior importância econômica da região esteve vinculada ao ciclo do charque. Esta produção, segundo Hurtado (2000), encontrava-se em crise desde finais do século XIX, a partir do colapso da pecuária após a guerra do Paraguai e a perda de competitividade frente aos platinos. O impedimento do Uruguai de exportar seu charque propiciou o desenvolvimento econômico dessa região neste período.

Com o passar do tempo, já em 1950, com a intensificação das lavouras de grãos (primeiro trigo e milho, e posteriormente, a finais dos 50 e princípio

dos 60, a soja), como forma de desenvolvimento econômico, trouxe à tona as limitações impostas pelo substrato da região, que tendo solos pouco férteis e sensíveis à erosão foi sendo desgastado através da mecanização e da intensidade do pastoreio, provocando o aumento dos processos erosivos.

A região Oeste do RS, que tinha como atividade predominante à criação de gado extensiva é incorporada a partir da década de 1970, a lógica agrícola com uso sucessivo e intensivo dos solos.

Segundo Pillar (2006), estimou-se que cerca de 4,7 milhões de hectares de Campos¹⁴ nos últimos 35 anos foram convertidos em lavouras e, mais recentemente, em florestas plantadas. Desde 1970, portanto, foi completamente transformado aproximadamente um terço dos habitats campestres, sem falar nos campos degradados pelo cultivo, mau-manejo pecuário e invasão de espécies exóticas.

Através dos dados do Censo agropecuário realizado pelo IBGE disponíveis por municípios a partir de 1990, torna-se possível observar as principais culturas dos municípios que abrangem a BHRI.

A Figura 83 representa os gráficos de distribuição das culturas de arroz, feijão, milho, soja, sorgo e trigo dos anos de 1990, 1995, 2000, 2005 e 2009.

Pode-se observar que as culturas de soja e arroz são as predominantes nos municípios analisados. Isso em função principalmente das áreas de várzeas dos rios, que são muito favoráveis ao desenvolvimento do arroz e nas demais áreas o plantio de soja, seguindo a tendência do estado do Rio Grande do Sul, que apresentou grande acréscimo de áreas plantadas a partir da década de 1970, principalmente.

¹⁴ Neste caso o termo campo refere-se não apenas aos campos da campanha gaúcha, mas também as áreas de campo sobre o planalto, também conhecidos como “Campos de Cima da Serra”.

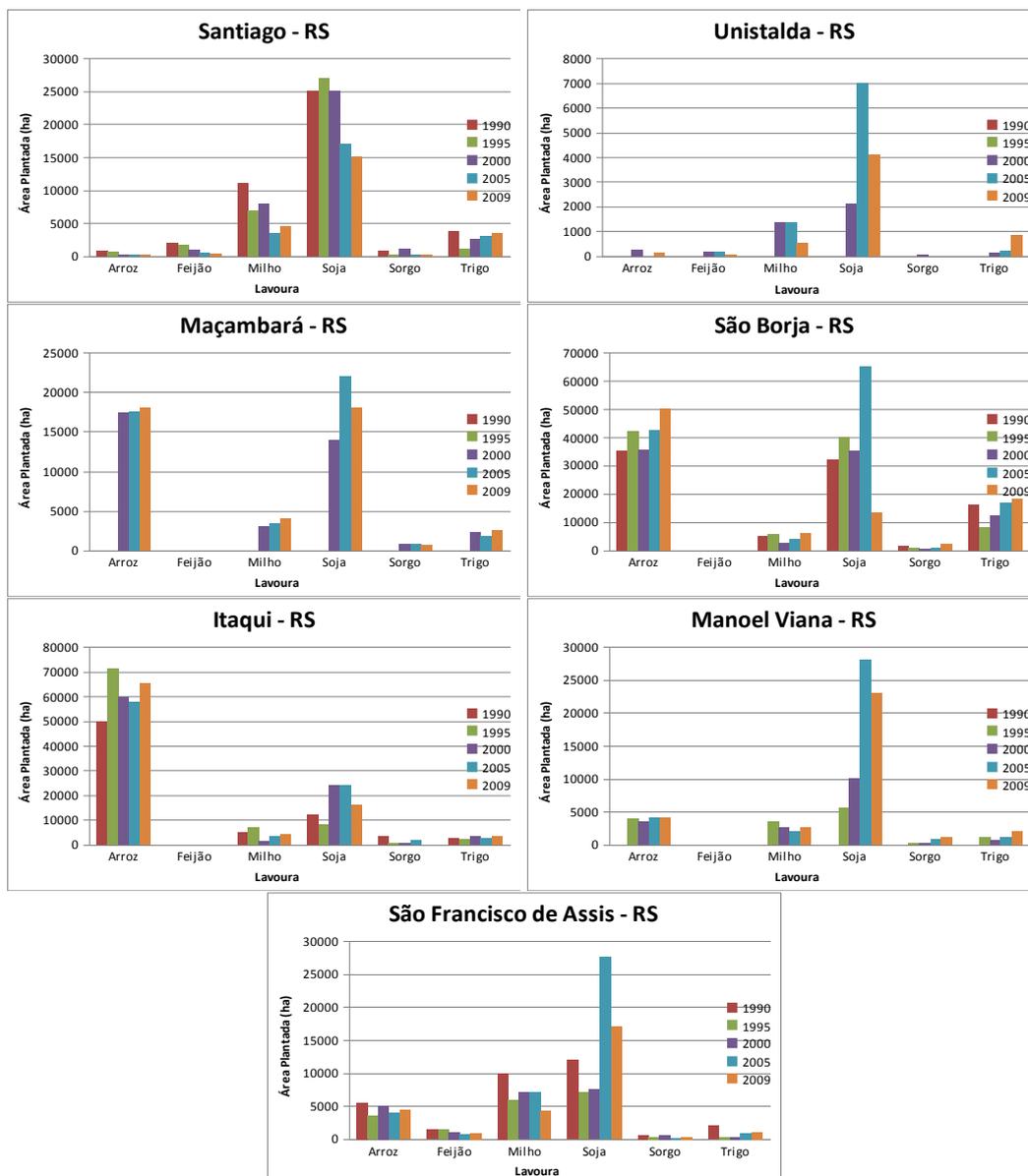


Figura 83 – Principais culturas temporárias dos municípios que abrangem a BHR1

As culturas de trigo e milho, também ocupam uma parcela das áreas plantadas, principalmente nos municípios Santiago e São Francisco de Assis, onde o milho é a segunda cultura mais plantada e os municípios de Santiago e São Borja apresentando áreas significativas de plantio de trigo.

6.2 O Estudo do Uso e Ocupação da Terra e Cobertura Vegetal na Área de Estudo

Conforme destacado, com as análises dos censos do IBGE e com apoio dos trabalhos de campo, os diferentes usos da terra desenvolvidos nos municípios que compõe a BHRI estão associados com a estrutura fundiária das propriedades rurais presentes nos municípios.

Buscando limitar as constatações para a área de estudo, os dados identificados em campo, nos últimos anos, juntamente com a classificação das imagens de satélite permitiram desenvolver uma análise multitemporal do período de 35 anos (1975 – 1985 – 1995 – 2005 – 2010).

6.2.1 Os usos da terra e cobertura vegetal no ano de 1975 a 2010

A Figura 84 ilustra a espacialização do uso da terra nos anos de 1975, 1985, 1995, 2005 e 2010.

Em 1975 o uso da terra na área de estudo estava bastante atrelado as atividades voltadas à pecuária, sendo esta identificada por campos que apresentam uma cobertura predominantemente de gramíneas utilizadas na pecuária extensiva desenvolvida na Campanha Gaúcha.

Quanto às áreas utilizadas para as atividades agrícolas, estas ocupavam cerca de 20% da área total da BHRI, ou seja, cerca de 11% da área total da imagem classificada apresenta lavouras com culturas, que conforme o período da imagens, 21 de março de 1975, pode-se definir como temporárias, porém identifica-se ainda cerca de 9% da área total com solo exposto, que são áreas em processo de preparo para o plantio ou mesmo em pousio no período entre safra.

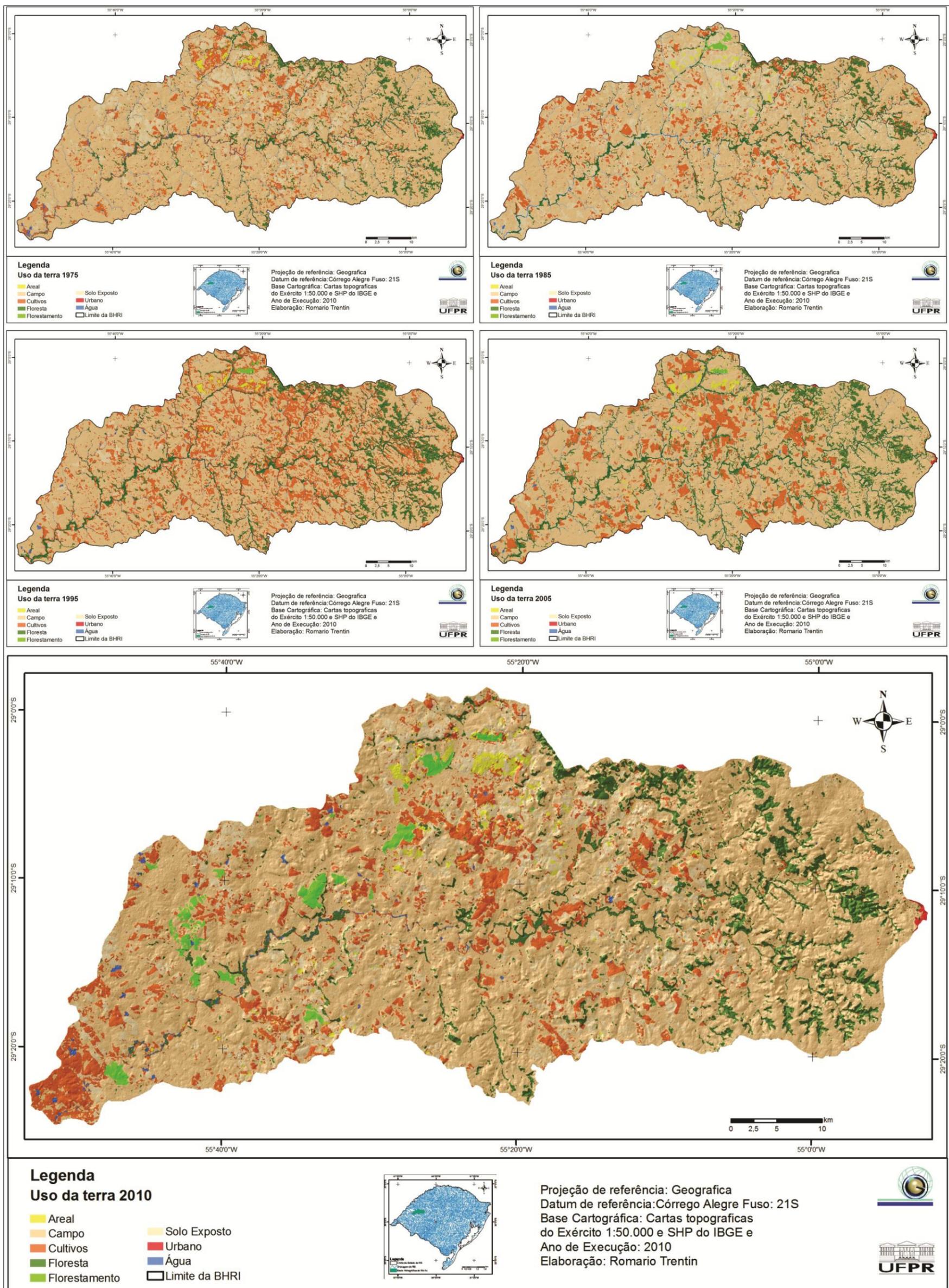


Figura 84 – Uso da terra de 1975, 1985, 1995, 2005 e 2010 da bacia hidrográfica do Rio Itu

As áreas de florestas concentravam-se principalmente na porção de alto curso da bacia hidrográfica, junto à escarpa do Rebordo do Planalto e também ocorriam de forma bastante regular junto aos principais cursos de água. Além disso, eram encontradas junto às cornijas e morrotes. Esta classe de uso da terra ocupava cerca de 8% da área total da bacia hidrográfica, representando cerca de 22.992 hectares.

O processo de arenização definidos como “Areal” na classificação da imagem, já ocorria em cerca de 1.562 hectares. Às áreas de florestamento que consistem exclusivamente na implantação de espécies exóticas, não foi identificada em grandes áreas, ou seja, não foi definida esta classe de uso na classificação da imagem, porém, deve-se destacar a ocorrência de pequenos bosques de *Eucalyptus* sp que são utilizados principalmente para a proteção e abrigo para o gado.

A área urbana, identificada na classificação da imagem, refere-se principalmente à área urbana de Santiago, sendo identificada ainda uma pequena área com estrutura urbana, referente à vila de Unistalda.

Para o ano de 1985, constatou-se que a situação do uso da terra, na área de estudo, apresentava-se com o predomínio de áreas de campos com vegetação herbácea (58,46%), local em que se desenvolve tradicionalmente a pecuária, conforme pode ser observado na Figura 84.

Observa-se ainda, que a condição de uso da terra de campo sofreu uma redução de cerca de 11% no período de 10 anos, entre 1975 e 1985. O incremento destas áreas, conforme classificação da imagem, ocorreu na classe de solo exposto, o que indica um acréscimo nas atividades agrícolas entre o período analisado. O significativo aumento das áreas de solo exposto pode também estar associado às porções de campos, com reduzida massa foliar e composta por substrato muito arenoso que pode ser identificado como solo exposto, na classificação da imagem.

Neste período identifica-se ainda, uma grande área de *Eucalyptus* sp, sobre um areal na Sub-bacia do Arroio Puitã, época em que se discutia muito o

uso desta espécie exótica como quebra vento, impedindo a expansão dos areais e possibilitando a “recuperação” destas áreas (SOUTO, 1985).

As demais classes de uso encontravam-se bastante semelhantes ao identificado na imagem de 1975.

No ano de 1995, os usos da terra apresentaram uma dinâmica bastante semelhante à apresentada nas décadas de 1975 e 1985. O uso predominante era a classe de campos, com uma área de 172.324 hectares, correspondendo a cerca de 61% da área total.

Quanto às classes de usos, associadas às atividades agrícolas, eram as que ocupam a segunda maior área, com cerca de 26% da área total. Em função da data da imagem de 28 de abril de 1995, a classe de solo exposto apresenta-se bastante reduzida, visto que os cultivos já estão em fase de desenvolvimento vegetativo.

No ano de 2005, os usos da terra apresentaram algumas modificações quando comparados com as décadas de 1975, 1985 e 1995.

O maior destaque relaciona-se a classe de Areal, que apresentou um significativo aumento passando a ocupar uma área de 2.527 hectares, estando este associados à exposição dos campos de areia, sem nenhuma cobertura vegetal, bem como a redução das áreas de florestamento sobre os areais, propiciando maior exposição dos areais.

Os usos da terra identificados na imagem de 2010 apresentam as maiores diferenciações na dinâmica da área de estudo. Tendo em vista as investigações em campo e a utilização de imagem de satélite do ano de 2010, foi possível identificar importantes alterações na área de estudo, principalmente no que diz respeito à cobertura vegetal.

Significativas áreas com plantação recente de eucalipto foram diagnosticadas em campo e mapeadas na bacia hidrográfica analisada, totalizando uma área de 3.849 hectares, ou seja, cerca de 1,37% da área total.

Cabe destacar ainda, que estes plantios são muito recentes, sendo a maioria deles realizados a partir de 2007 e 2008.

Quanto ao uso de campo, este apresenta a maior área de bacia hidrográfica com cerca de 65,58% da área total, semelhante as demais imagens analisadas, o que mostra que as áreas de florestamento ocorrem tanto sobre áreas de campo como sobre as áreas identificadas como cultivos nas demais imagens.

Outra grande mudança observa-se sobre a classe de uso da terra identificada como floresta, a qual apresentou um significativo decréscimo de área, e esta relacionada principalmente aos cursos de água do baixo curso da BHRI, em que foi possível observar uma grande frente de expansão agrícola, com aumento expressivo de lavouras de cultivos de arroz, junto às várzeas dos arroios e rios, bem como das demais culturas como soja, milho entre outras aplicando-se sistemas de irrigação por pivô central.

Quanto às classes de uso da terra vinculadas ao cultivo agrícola, observou-se que as mesmas tiveram algumas alterações, cedendo espaço, em algumas áreas, para a instalação de florestamentos, porém ganhando áreas, principalmente no baixo curso da BHRI.

6.2.2 Comparativo da evolução dos usos da terra no período 1975 a 2010

Ao comparar os mapas dos usos da terra dos anos de 1975, 1985, 1995, 2005 e 2010, com as informações de ocupação descritas para os municípios, é possível estabelecer as análises multitemporais deste período, para a área de estudo, verificando a evolução das formas de usos com a expansão da ocupação humana no território, nestes últimos 35 anos.

O Gráfico 13, apresenta um comparativo entre os tipos de usos da terra do período analisado.

É visível o grande predomínio do uso de campo ao longo de todo o período analisado. Observa-se, no entanto, que as áreas de campo apresentaram uma leve diminuição ao longo do período analisado, sendo mais expressivo na década de 1985, em que se observou uma redução de 32.700 hectares de campo.

Quanto aos usos relacionados às atividades agrícolas (cultivos e solo exposto), observou-se justamente, um grande acréscimo de área na década de 1985 e nas décadas seguintes, uma rápida redução de área, porém com grandes variações na dinâmica, hora ocupando áreas de campo e de florestas principalmente próximas da drenagem, hora cedendo espaço para áreas de florestamento.

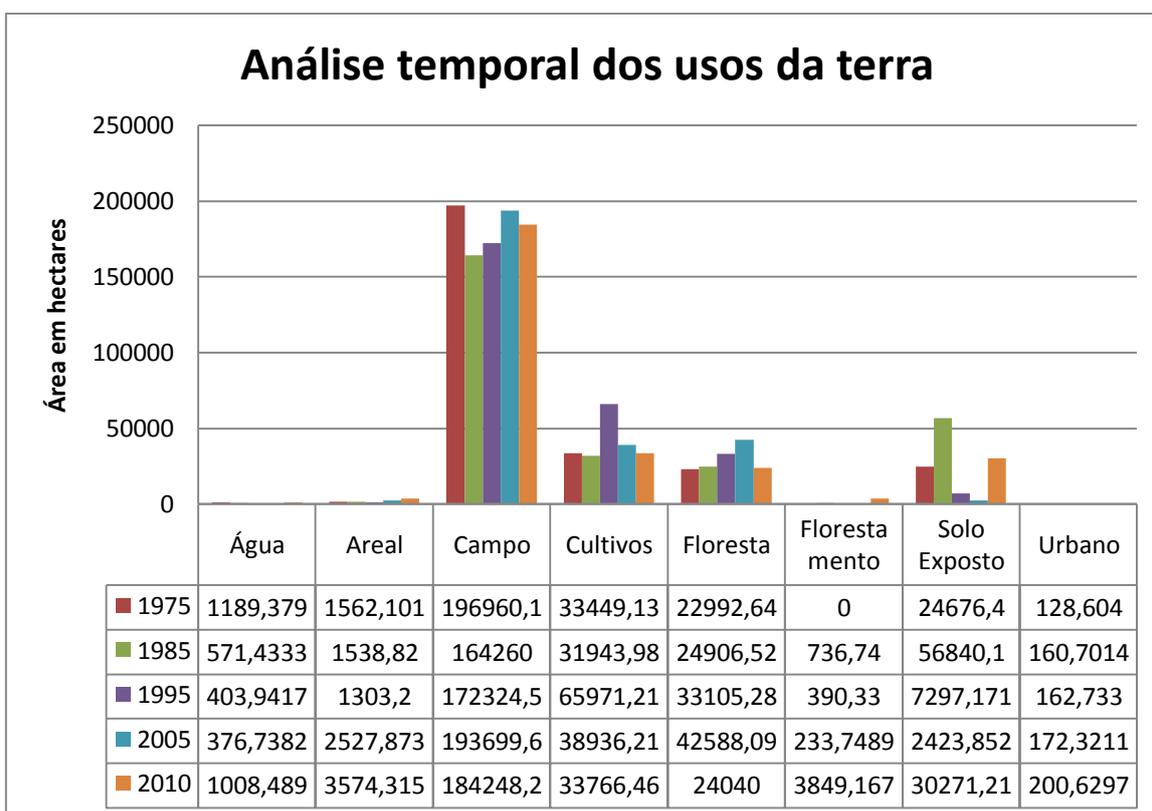


Gráfico 13 - Comparativo do uso da terra e vegetação na área de estudo.

O uso da terra identificado como floresta apresentou um leve e gradual aumento de área, no decorrer das décadas de 1985, 1995 e 2005, apresentando redução significativa de área na imagem do ano de 2010. O aumento que ocorreu, esteve vinculado principalmente às áreas próximas aos

cursos de água, que aumentava gradativamente sua área de proteção, bem como o crescimento do número de pequenos bosques de *Eucalyptus* sp utilizados com a finalidade principal de proteção do gado contra o vento e intempéries climáticas, que devido ao tamanho da área foram identificados na classe de florestas e não na classe de florestamento. O decréscimo ocorrido na última imagem analisada ocorreu também, relacionada aos cursos de água, principalmente no baixo curso da BHRI em que ocorreu um aumento significativo das áreas agrícolas.

Quanto a classe de florestamento, esta identificada como grandes áreas de plantio de *Eucalyptus* sp, tiveram sua identificação na BHRI, na década de 1985, em que manteve uma pequena variação de área ao longo das décadas seguintes, até meados de 2007, quando ocorre uma grande invasão da espécie, com plantio de grandes áreas na bacia hidrográfica.

A classe identificada como urbano, teve sempre ao longo do período analisado, um pequeno e gradativo aumento de área devido ao crescimento das cidades de Santiago e Unistalda.

A classe dos areias também apresentou um leve acréscimo de áreas, principalmente nas imagens de 2005 e 2010, isso, a priori, em função principalmente da redução da massa foliar das gramíneas que recobrem parcialmente as bordas dos areias, deixando maiores áreas de areia em exposição.

6.2.3 A configuração do processo de ocupação e do uso da terra

O processo de ocupação da região que compreende a bacia hidrográfica do Rio Itu, conforme já mencionado, esteve baseado na distribuição de grandes propriedades e que mais recentemente com a ocupação das zonas mais íngremes, passou a apresentar nova configuração territorial, com o desenvolvimento de atividades diversificadas em pequenas propriedades.

As pequenas propriedades localizadas no médio e alto curso da BHRI, que englobam os municípios de Manoel Viana, São Francisco de Assis e São Borja, desenvolvem culturas diversificadas e conforme mostra o mapa de uso e ocupação, a Figura 85, extrapolam os limites da bacia hidrográfica. De acordo com a EMATER destes municípios, estas pequenas propriedades de famílias desenvolvem culturas para a subsistência (hortaliças, frutas, carnes, leite, batata, milho, feijão, mandioca, cana-de-açúcar, entre outros) e pequenas lavouras comerciais com plantio de grãos (feijão e milho) e fumo. Nestas propriedades familiares desenvolvem-se, além de lavouras de grãos, a pecuária de corte com pequenos rebanhos de gado e/ ou ovelhas.

Por outro lado, as médias e grandes propriedades ainda, se configuram importantes no cenário agrícola quando se trata de mecanização e comercialização dos produtos. Nas médias e grandes propriedades desenvolvem-se lavouras de soja, trigo e milho, sendo freqüente sobre as áreas de colinas arenosas e de colinas de rocha vulcânica, do baixo curso da bacia hidrográfica, na Depressão Periférica e nas várzeas do Rio Itu e próximos do Ibicuí, com o cultivo de arroz. Acima das escarpas vegetadas (Rebordo) é visível a maior concentração dos campos com pecuária extensiva, de grandes rebanho de bovinos e ovinos, que também são comuns ao longo de toda a área de campo da BHRI.

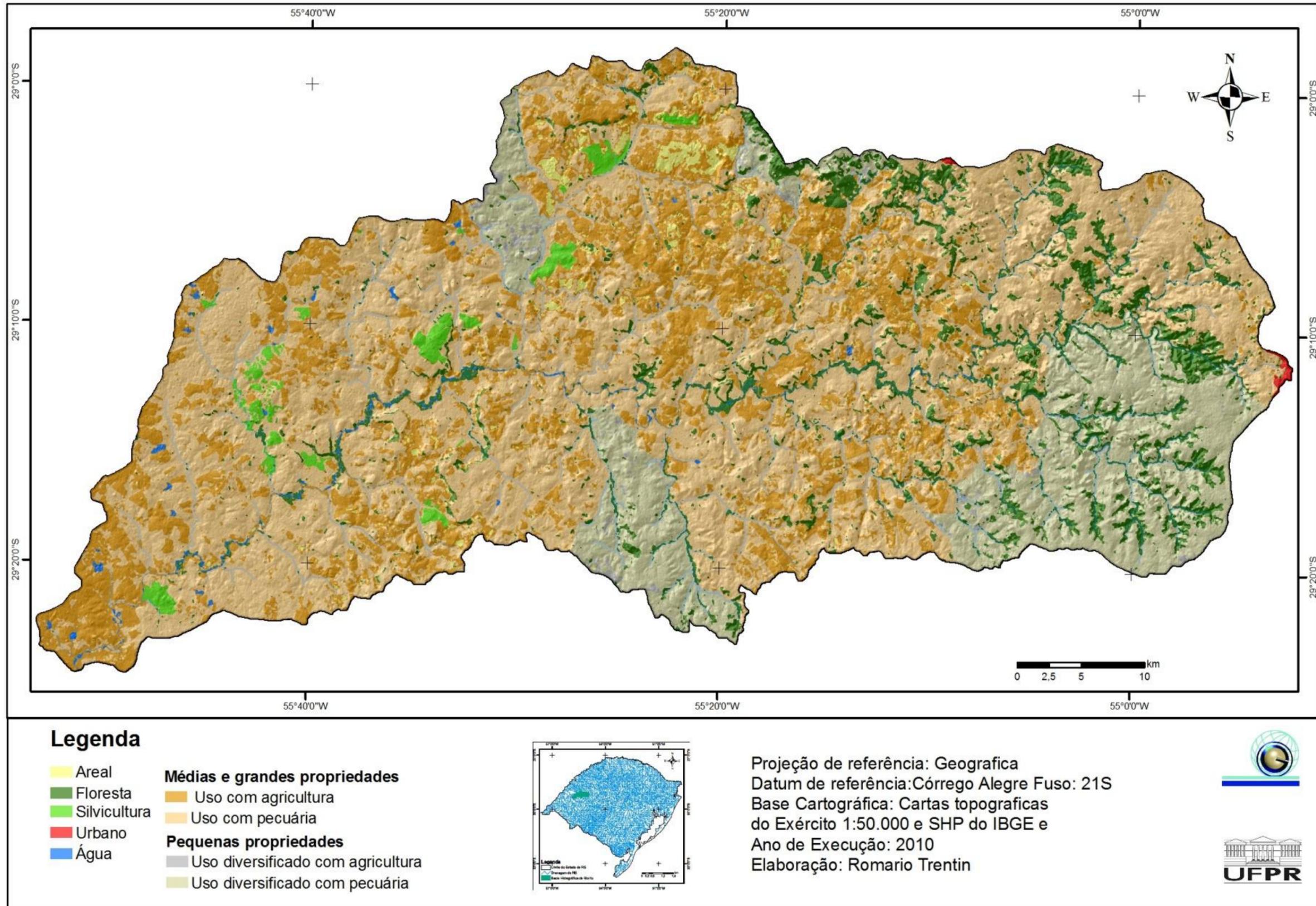


Figura 85 – Usos e ocupação da terra e cobertura vegetal da bacia hidrográfica do Rio Itu

7. CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL: AS POTENCIALIDADES E FRAGILIDADES

A avaliação dos elementos físicos, que caracterizam as potencialidades das paisagens, identificadas através dos levantamentos de campo em documentos cartográficos da área de estudo, frente às atividades antrópicas desenvolvidas pela ocupação do meio, somada às fragilidades naturais desta área, servem de base para a identificação e caracterização geoambiental.

Este capítulo tem por objetivo definir as características geoambientais da bacia hidrográfica do Rio Itu através da delimitação dos sistemas¹⁵ e unidades geoambientais, que são tratadas quanto as suas potencialidades e limitações, permitindo a compreensão de como os processos de dinâmica superficial, a partir da interferência antrópica, contribuem para as alterações da paisagem.

Parte-se da compartimentação geomorfológica definida que é tida como a representação das condições físicas da área e que somadas a elementos do uso e ocupação da terra, permitem definir a caracterização geoambiental da BHRI.

7.1 Compartimentação dos Sistemas e das Unidades Geoambientais

A caracterização geoambiental da BHRI representa a síntese de todos os levantamentos realizados e o comportamento da paisagem frente aos processos superficiais e antrópicos. De modo geral, os sistemas e unidades são caracterizados por aspectos como: disponibilidade hídrica, de infraestrutura básica, de vegetação e espécies endêmicas, solos e fragilidades relacionadas aos processos erosivos, principais tipos de usos, a degradação da vegetação, entre outros, como mostra a Figura 86.

¹⁵ Os Sistemas Geoambientais, resultam das dinâmicas interativas do meio físico e antrópico, que formam verdadeiros mosaicos apresentando “especificidades” que possibilitam diferentes formas de interação.

As características da área de estudo permitiram a identificação de seis Sistemas Geoambientais que correspondem às áreas com potencialidades e fragilidades comuns, sendo alguns sistemas subdivididos em unidades, que no total foram oito Unidades geoambientais com características distintas entre si que são descritas a seguir.

7.1.1 Sistema Urbano

O sistema urbano representa o limite de uso urbano da cidade de Santiago e Unistalda, visualizados nas Figuras 87 e 88, sendo que a BHRI não abrange todo o perímetro urbano destas duas cidades, mas o divisor de águas localiza-se dentro da área urbana. Desta forma, partes das nascentes encontram-se sobre as áreas urbanas. Com uma área atual de 200,6 hectares, estas áreas localizam-se no alto curso da bacia hidrográfica.

As características das ocupações são de forma geral homogêneas, com construções baixas e o predomínio de áreas residenciais, mesmo na porção mais central das áreas urbanas. Por localizarem-se junto aos divisores de água e apresentarem nascentes dentro da área urbana, possuem como principal conflito ambiental a contaminação das águas, devido o lançamento de esgotos junto aos canais de drenagem, além do sistema de águas pluviais concentrarem seu fluxo para determinados pontos, permitindo o desencadeamento de processos erosivos pela concentração de fluxo de água, quando mal dimensionados.

Outros impactos do sistema urbano nas características naturais e na fisiologia da paisagem são visíveis como a impermeabilização do solo; a construção de aterros para os terrenos; a geração de resíduos sólidos sem uma adequada área de descarte e a própria instauração das vias de acesso, entre outros problemas fruto da ocupação humana.

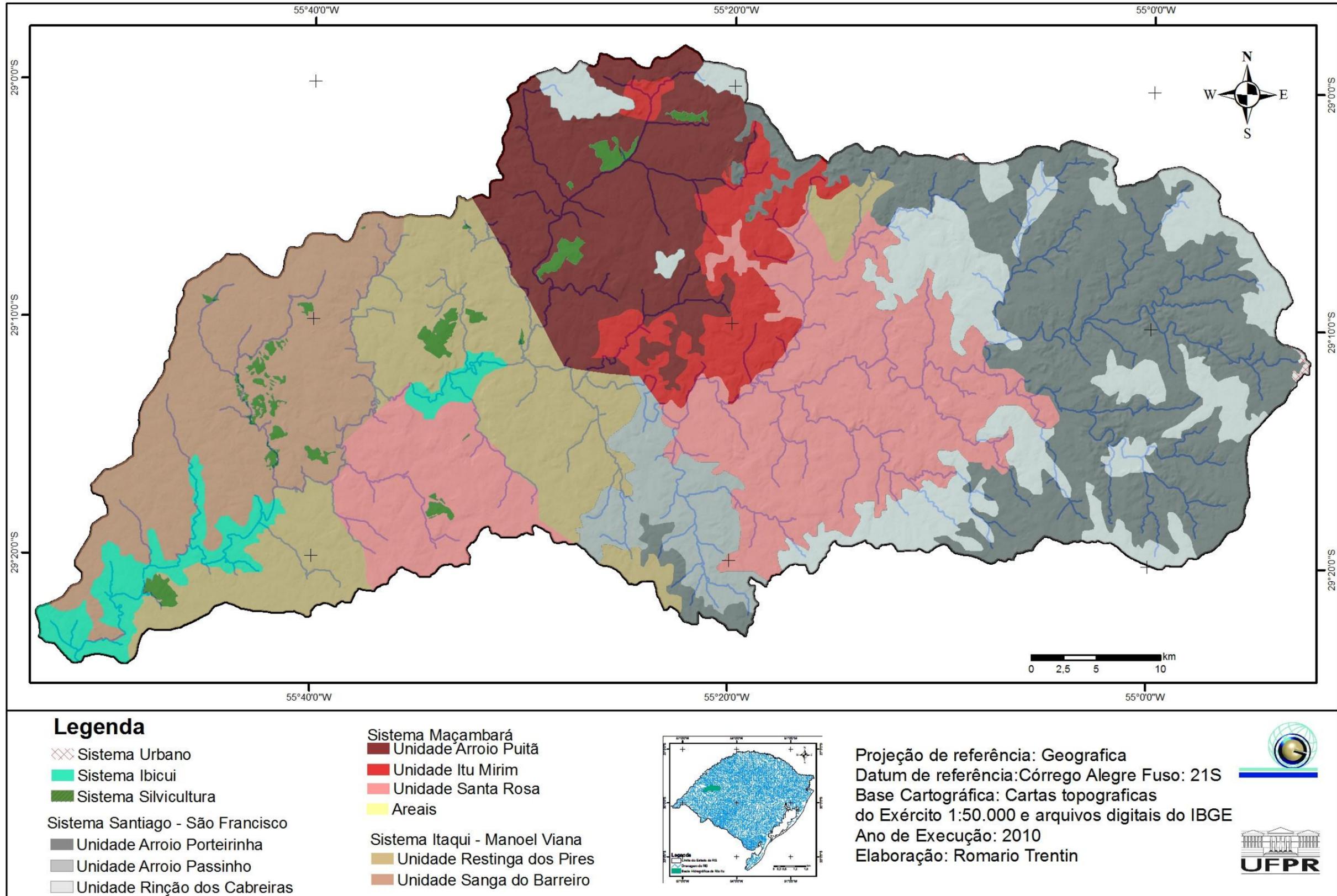


Figura 86 – Compartimentação Geoambiental da bacia hidrográfica do Rio Itu

Por se localizarem sobre áreas com substrato litológico, definido como rochas vulcânicas, e características de relevo levemente ondulada com colinas de rampas médias a longas, estas áreas urbanas não apresentam fragilidades naturais que possam ocasionar limitações de uso e ocupação. Porém, cabe ressaltar, que o uso de forma desordenada sem direcionamento correto de ruas e drenagem pluvial, podem ocasionar a degradação das nascentes localizadas nestas áreas, bem como ocasionar processos erosivos vinculados à concentração do fluxo de água.



Figura 87 – Imagem GeoEye via Google Earth com vista da área urbana de Santiago (A) e Unistalda (B)

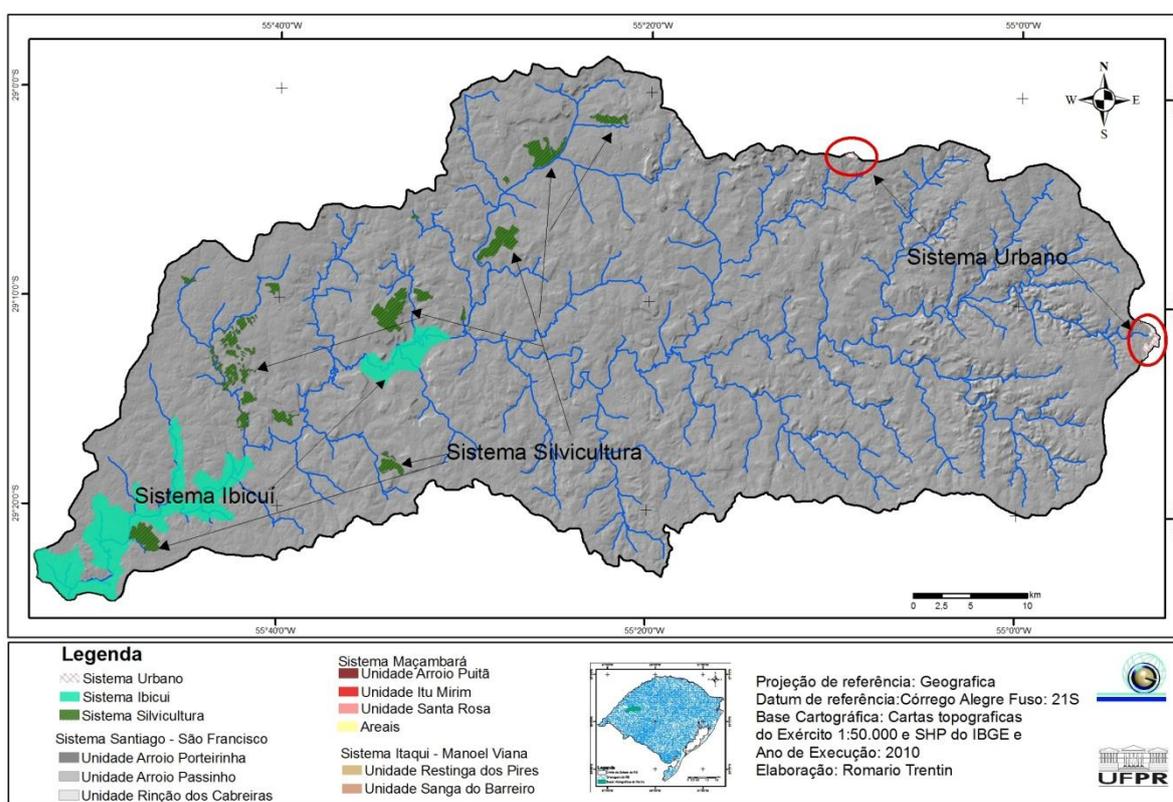


Figura 88 – Distribuição espacial dos Sistemas Urbano, Ibicuí e Silvicultura

7.1.2 Sistema Ibicuí

Neste sistema ocorrem os depósitos recentes, localizados próximo e sobre o canal principal do Rio Itu, bem como junto à planície de inundação do Rio Ibicuí, local de deságue do Rio Itu, como ilustra a Figura 88, possibilitando o desenvolvimento, nestas várzeas, de solos mal drenados denominados solos hidromórficos.

Nesta faixa de acumulação de sedimento se desenvolvem principalmente os Planossolos, que são solos mal drenados e ocorrem associados aos sedimentos de substratos de arenitos e de rochas vulcânicas. Também, ocorrem associados às áreas de deposição, solos novos muito quartzosos, denominados Neossolos Quartzarênicos.

Ao longo do canal principal do Rio Itu e de seus principais afluentes se desenvolve mata ciliar em forma de faixas, em que as espécies mais características são o sarandi (*Sebastiania schottiana*), o coqueiro-gerivá (*Syagrus romanzoffiana*), o branquilho (*Sebastiania commersoniana*), a pitangueira (*Eugenia uniflora*), o camboatá-branco (*Matayba elaeagnoides*) e a aroeira-cinzenta (*Schinus lentiscifolius*).

Com relação ao relevo, estas áreas são definidas como rampas e apresentam declividades menores que 2%, caracterizadas por uma topografia plana e altitudes variando entre 60 a 80 metros, apresentando ainda o predomínio de vertentes de comprimento médio.

A principal atividade desenvolvida é o cultivo de arroz, que se associa à disponibilidade hídrica e potencialidade do solo. Grandes áreas alagadas, onde antes havia banhados, foram drenadas para o plantio de arroz.

A maior fragilidade deste sistema está associada aos banhados e à mata ciliar, que vem sendo retirada nas últimas décadas, dando lugar para o desenvolvimento da agricultura. A vegetação arbórea (mata ciliar), dentro das áreas de proteção, exigidas pela legislação ambiental, ainda se mantém em

algumas áreas ao longo do curso de água, porém com grande pressão exercida pela expansão agrícola.

Outra questão relacionada a este sistema diz respeito aos depósitos de bancos de areia sobre o canal, ou junto às áreas das várzeas decorrentes dos processos erosivos intensos que ocorrem nas porções de médio curso da bacia hidrográfica, e nesta porção em que o canal principal basicamente atinge seu nível de base, o curso de água torna-se bastante meandrante, para contornar os bancos de areia depositados.

7.1.3 Sistema Silvicultura

O Sistema Silvicultura (visualizado na Figura 88), compreende as plantações de *Eucalyptus* sp, como ilustra a Figura 89, foi definido como Sistema por representar uma proposta de novos usos para dinamizar a metade sul do estado do Rio Grande do Sul, que nos últimos anos incorporou a área de estudo. Além disso, é importante ressaltar que a presença da vegetação exótica faz com que a ação dos agentes de erosão, vento e água, seja modificada e, portanto, alteram a dinâmica superficial da região.



Figura 89 – Área de florestamento de *Eucalyptus* sp. na BHRI

Diferentemente de outras porções e bacias hidrográficas do Oeste do Estado, na BHRI as atividades de silvicultura não se restringem apenas às áreas de substrato arenítico, mas apresentam grandes áreas de florestamento sobre colinas de rochas vulcânicas, apesar destas possuírem solos profundos

e, na maioria dos casos, com grande porcentagem de areia devido às contribuições dos substratos arenitos das porções superiores da bacia hidrográfica.

Quanto às características de relevo, este sistema estende-se sobre áreas de colinas levemente onduladas com vertentes longas e médias com declividades em torno de 5%, por vezes ocupando áreas mais declivosas, mas nunca superior a 15%, visto que, os processos de preparo para plantio são todos realizados com auxílio de mecanização.

A silvicultura é recente na área de estudo e as plantações comerciais atualmente ocorrem em 3.849,16 hectares da área total, em locais que anteriormente se desenvolviam campos com pecuária e agricultura, além de pequenas porções com arenização.

Como esta atividade tem uma visão amplamente comercial, acaba sendo realizada em áreas extensas e muitas vezes esta atividade acaba incorporando áreas de areal, como mostra a Figura 90, o que se apresenta como principal ponto positivo para os moradores da região. Entretanto, em termos ecológicos estão sendo destruídas áreas que marcam uma condição paleoclimática regional e que determinam o bioma Pampa, no sul do Brasil.

Conforme observado, percebe-se que a silvicultura ganha espaço no cenário de estudo, principalmente nos últimos anos. No entanto, surgem a partir disso, constantes e intensas controvérsias, colocando de um lado interesses relacionados à arrecadação de impostos e a geração de empregos e de outro a preocupação ambiental com a biodiversidade do Bioma Pampa. Na origem de todos esses conflitos está o interesse ou a necessidade do desenvolvimento de atividades econômicas.



Figura 90 – Área de florestamento de *Eucalyptus* sp. sobre ao areais na BHRI

7.1.4 Sistema Santiago – São Francisco

Este sistema estende-se principalmente no alto curso da bacia hidrográfica, como ilustra a Figura 91, localizada sobre as maiores altitudes. A amplitude é bastante grande neste sistema, visto que abrange a área de Rebordo e as áreas de Topo do planalto.

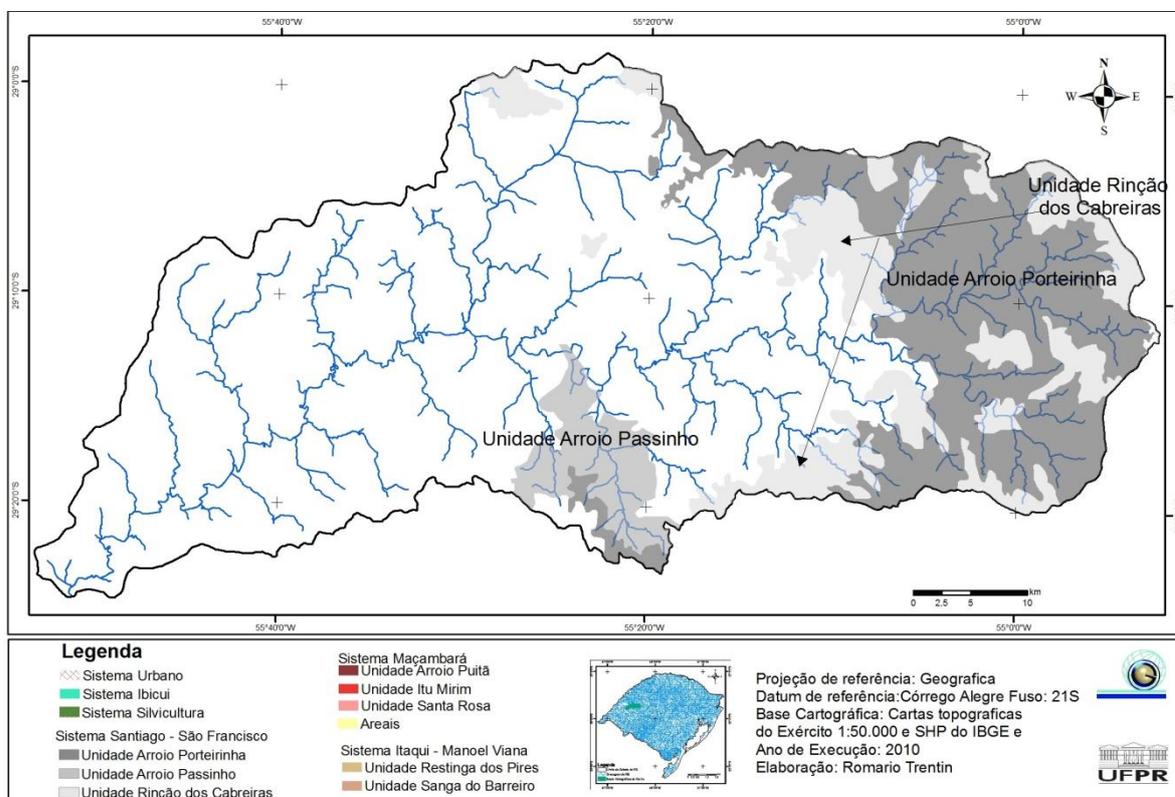


Figura 91 – Distribuição espacial do Sistema Santiago – São Francisco

Este sistema apresenta características que o individualizam devido localizar-se sobre o substrato vulcânico, representando as porções mais declivosas da bacia hidrográfica, na transição do Planalto para a Depressão Periférica. Nas áreas planas de topo apresentam solos rasos, relacionados aos derrames vulcânicos de características ácidas.

De forma geral, os solos são rasos em todo este sistema e predominam as associações de Cambissolos e Neossolos Regolítico com alguma ocorrência de solos mais desenvolvidos, quando vinculados às porções de topo e contato de derrames.

Em função das características de solo e do relevo, o uso e ocupação deste sistema é predominantemente de campos com pecuária, apresentando extensa cobertura de um denso tapete gramíneo herbáceo, de espécies conhecidas, como o capim-caninha (*Andropogon lateralis*) e a grama-forquilha (*Paspalum notatum*).

Nas porções de escarpa do relevo, associado aos cursos de água principalmente, a formação florestal recobre as vertentes com declividades superiores a 15% e a vegetação predominante é composta por diversas espécies, entre as mais comuns estão a canela-de-veado (*Helietta apiculata*), a timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum*), a pitangueira (*Eugenia uniflora*), o ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa*), a primavera (*Brunfelsia pauciflora*) e o gravatá (*Bromelia balansae*).

Este sistema representa uma grande contribuição aos cursos de água, visto que, nele localizam-se grande parte das nascentes do Rio Itu e se desenvolvem sobre espessas camadas de rochas vulcânicas.

A grande preocupação deste sistema refere-se à preservação das áreas de vegetação florestal junto as área de declividades acentuadas, bem como a manutenção das cabeceiras de drenagem.

A pesar das características comuns neste sistema, ocorrem algumas diferenciações de áreas, principalmente relacionadas às características

topográficas, desta forma o sistema foi subdividido em três unidades geoambientais que serão descritas a seguir:

7.1.4.1 Unidade Arroio Porteirinha

Esta unidade representa as áreas de maiores declividades da bacia hidrográfica, correspondendo à transição entre a Depressão e o Planalto, sendo formada por morros e morrotes associados a um relevo escarpado em altitudes elevadas. As litologias são rochas vulcânicas, com algumas ocorrências de arenito eólicos da Formação Botucatu entre derrames. As declividades variam de 5 a 15% e superiores a 15%, manifestando processos de dinâmica superficial como erosão e deslocamento de blocos.

As altitudes desta unidade variam de 200 a 300 metros, conforme escarpa do rebordo, apresentando vertentes com comprimentos curtos e predominantemente curvaturas retilínea-convergentes e côncava-convergentes e orientações oeste e nordeste, condicionando características climáticas de insolação favoráveis ao desenvolvimento florestal.

O uso é restrito devido ao relevo, ocorrendo somente pequenas áreas com atividade agrícola e pecuária, em que a distribuição fundiária é de pequenas propriedades. Nestas áreas de relevo movimentado, associados a morros e morrotes, ocorrem solos rasos, afloramentos e exposição de rocha nas encostas.

Uma característica marcante dessa unidade é a extensa área de vegetação arbórea, acompanhando toda a seqüência da escarpa e as drenagens, conforme a Figura 92. Também é nesta unidade que registram-se as principais processos de movimentos de massa e depósito de colúvios na base da encosta.



Figura 92 – Imagens GeoEye via Google Earth e fotografia mostrando a Unidade Arroio Porteirinha com vegetação arbórea.

7.1.4.2 Unidade Arroio Passinho

Esta unidade é definida por duas características principais. A primeira representa a ocorrência dos morros e morrotes de rocha vulcânica, não estando relacionadas ao Rebordo, porém com declividades de 15% ou superiores, com vertentes curtas e fortemente onduladas. A segunda, refere-se ao uso desta unidade ser predominantemente associado às pequenas propriedades, que apesar das altas declividades da área desenvolvem atividades agrícolas, em pequenas lavouras de subsistência, muitas vezes em declividades não recomendadas pela legislação, porém como praticamente toda a atividade é braçal acabam utilizando estas áreas, como ilustra a Figura 93.

De forma geral, as atividades são bastante diversificadas tanto na agricultura quanto na pecuária. As lavouras registram a produção de milho, feijão, batata, mandioca, banana, entre outras e a pecuária vincula-se a pequenos rebanhos bovinos, ovinos e algumas vezes caprinos, sendo muito comum, nestas áreas de pequenas propriedades, o uso do rebanho bovino para produção de leite, que geralmente abastece cooperativas de seus municípios.

Os solos são geralmente rasos, característicos das associações de Neossolos e Cambissolos. São bastante comuns os processos de movimentos de massa e depósitos de colúvio na base dos morros.



Figura 93 – Uso da Unidade Arroio Passinho, com ocupação de pequenas lavouras no morro

7.1.4.3 Unidade Rincão dos Cabreiras

Esta unidade diferencia-se dentro do Sistema Santiago - São Francisco pelas características de relevos aplainados, relacionadas aos topos dos morros. Em função desta unidade localizar-se sobre as maiores altitudes da bacia hidrográfica, ocorre associada aos substratos vulcânicos de composição ácida (maior quantidade de quartzo na composição dos derrames), o que dificulta o desenvolvimento dos solos, a pesar das características do relevo serem favoráveis ao seu desenvolvimento, predominando os Neossolos e Cambissolos com afloramentos de blocos de rochas, como mostra a Figura 94.

Nesta unidade ocorre o predomínio de campos relacionados às propriedades de médio a grande porte, que apresentam coberturas de gramíneas utilizadas para a pecuária extensiva, favorecida pela topografia plana com vertentes longas e curvaturas retilíneas.

Quando associada aos topos de morros na porção mais central da bacia hidrográfica, relacionadas aos derrames mais básicos ou porções mais vesiculares dos derrames (topo de derrame), ocorrem solos mais desenvolvidos como Latossolos e Argissolos e por sua vez, o uso associa-se ao desenvolvimento de lavouras agrícolas com plantio de soja, milho, trigo, entre outras.

Quanto às características de drenagem é muito comum a ocorrência de pequenas surgências (olhos d'água) nas áreas de contato entre derrames, que em muitos casos, são represados formando pequenos açudes que o gado utiliza para beber água.



Figura 94 – Uso da Unidade Rincão das Cabreiras, com solos rasos e afloramentos de blocos e surgências de água.

7.1.5 Sistema Maçambará

Este sistema apresenta fragilidades aos processos de dinâmica superficiais, em que predominam litologias friáveis da Formação Guará (arenitos fluviais), que pela fácil desagregação condicionam a formação de feições erosivas de grandes extensões. Este sistema estende-se por toda a faixa central da bacia hidrográfica e ainda numa pequena porção no baixo curso junto à margem esquerda do Rio Itu, visualizado na Figura 95.

Neste sistema, as colinas e morrotes de arenito fluvial ocorrem associadas a intensos processos erosivos demonstrando que são as litologias mais friáveis da área e desagregam facilmente.

No relevo de colinas arenosas côncavo-convexas predominam os solos espessos, profundos, arenosos e friáveis, com pouco material ligante, desenvolvidos sobre substrato de arenitos, sendo classificados como Latossolos Arenosos, em declividades variadas em que predominam inclinações de 5 a 15 %. Em algumas porções mais próximas da rocha os solos são rasos.

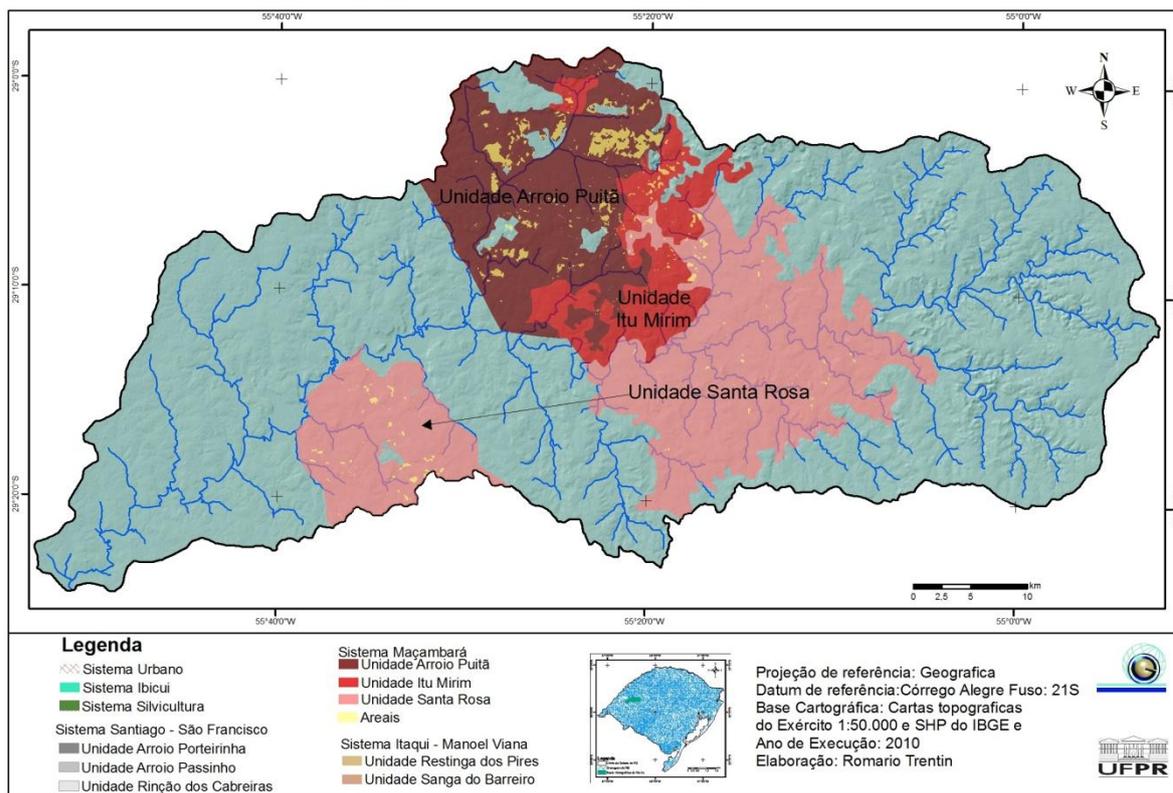


Figura 95 – Distribuição espacial do Sistema Santiago – São Francisco

Nas porções de relevo de morrotes de arenito, as vertentes são predominantemente curtas a médias e retilíneo-divergentes, com declividades superiores a 15% e as altitudes variam de 120 a 200 metros. Nos morrotes são comuns os afloramentos de rochas, muitas vezes no formato de cornijas, com vegetação arbórea associada.

As cornijas representam uma característica marcante deste Sistema visto que, representam uma forma de relevo associadas com os morrotes e, na maioria das vezes, em meio às colinas de arenito. As cornijas ocorrem, quase que comumente, com vegetações arbustivas recobrando suas vertentes. Esta associação apresenta uma correlação bastante interessante visto que, esta cobertura arbórea ocorre associada às vertentes com orientação Oeste e Sul, relacionadas às condições climáticas de insolação e evolução das frentes, principais condicionantes de precipitação da região.

A vegetação das cornijas costuma se desenvolver, com maior abundância, na encosta menos ensolarada (Oeste e Sul) e com maior quantidade de umidade, sendo comum a presença da criúva (*Agarista*

eucalyptoides) associada ao jasmim-catavento (*Tabernaemontana catharinensis*), além de muitas cactáceas. Em alguns casos, quando as cornijas estão próximas a rede de drenagem, ocorrem espécies como o coqueiro-gerivá (*Syagrus romanzoffiana*).

A baixa densidade de drenagem que ocorre neste Sistema associa-se a intensa fragilidade das litologias areníticas, marcadas por grande quantidade de voçorocas e areais nas cabeceiras de drenagem.

As elevadas precipitações afetam os sistemas geoambientais mais fragilizados, como o Sistema Maçambará. As condições climáticas da área de estudo demonstram que as precipitações médias anuais são significativas, marcando uma região com grande contribuição das chuvas, que acabam sendo os agentes erosivos mais importantes no desencadeamento dos processos de dinâmica superficial.

É indiscutível a associação das precipitações com os processos erosivos, isto acontece, uma vez que nas atuais condições de clima úmido, ocorre um retrabalhamento das rochas areníticas das colinas, cornijas e dos morrotes, que apresentam material mais resistente devido uma presença de capa de óxido de ferro e manganês.

Portanto, a precipitação é o principal agente erosivo para a esculturação dessas feições, além disso, condiciona o escoamento superficial e subterrâneo, a compactação do solo através das gotas da chuva e em outros casos à desagregação das camadas do solo.

O processo de erosão hídrica inicia devido à intensidade das gotas da chuva, que ocasionam a desagregação das partículas de solo. Quando este se encontra encharcado e sem condições de infiltração, as águas tendem a se concentrar em leitos, possuindo maior capacidade de erodir verticalmente, o que acaba evidenciando marcas de ravinas e voçorocas, além do processo de erosão subterrânea que condicionam o avanço destas de forma muito rápida.

Considera-se também que, como fator climático importante, os ventos são bastante significativos na morfodinâmica da área de estudo, uma vez que sua atuação no transporte de areia condiciona uma dinâmica de evolução muito rápida aos areais.

Quanto ao uso, ainda predominam os campos com atividade pecuária, porém com vastas áreas sendo utilizada para a agricultura e atualmente a silvicultura numa estrutura de grandes propriedades de exploração extensiva.

Com relação à vegetação, esse sistema é composto por formações campestres, capões de mato, eucaliptos e mata ciliar ao longo dos arroios, formações arbóreas associadas aos morrotes e cornijas de arenito, além da presença em algumas áreas do butiá-anão.

A fragilidade que ocorre nesta bacia, associada principalmente ao Sistema Maçambará, representa as maiores preocupações de uso presentes na área de estudo, de modo que o conjunto de características presentes neste sistema deve servir de indicativo para condições de usos condizentes com a fragilidade desta paisagem.

A diversidade presente neste sistema permitiu a distribuição de três unidades geoambientais com características semelhantes de usos, vegetação, solos, geomorfologia e processos de dinâmica superficial.

7.1.5.1 Unidade Arroio Puitã

Esta unidade localiza-se na porção central, mais ao norte da bacia hidrográfica e caracteriza-se por apresentar colinas de arenito fluvial, com declividades variando de 5 a 15%, e altitudes que variam de 120 a 200 metros e vertentes longas de curvatura convexo-côncavas.

As condições de drenagem desta unidade, assim como em todo o Sistema Maçambará é baixo, com grande degradação das cabeceiras de

drenagem que associam-se ao desenvolvimento dos processos erosivos de ravinas, voçorocas e areais.

A Unidade Arroio Puitã diferencia-se dentro do Sistema Maçambará em função da grande concentração dos processos de dinâmica superficial que ocorrem nesta área. Aí são encontradas as maiores áreas de areais, bem como o desenvolvimento de voçorocas.

Esta maior concentração dos processos pode ser explicada pela sua localização geográfica, ou seja, encontra-se muito próxima da área de Rebordo e mais especificamente apresenta a Serra do Iguariaça, como divisor de águas do Arroio Puitã. Na porção Nordeste a transição da Depressão para o Planalto, formada pelo degrau da escarpa, condiciona uma concentração de precipitação na base da escarpa e associado à grande fragilidade natural do substrato desta área, desenvolvem-se intensamente os processos erosivos.

Nesta Unidade os areais ocorrem da meia encosta para a base das colinas de arenito, muitas vezes associados a ravinas e voçorocas, encontrando-se conectados à drenagem, como ilustra a Figura 96.



Figura 96 – Ocorrência de areais e voçorocas da Unidade Arroio Puitã

7.1.5.2 Unidade Itu Mirim

Esta unidade contempla os morrotes de arenito que ocorrem associados às áreas de litologias fluviais de maior coesão com afloramento de rochas. Estes morrotes representam uma topografia típica da região, com topos planos

e encostas íngremes, com vertentes retilíneas e vegetação mais abundante nas escarpas. As declividades nas encostas dos morrotes são, em geral, superiores a 15%, e os topos são planos.

Nesta unidade os solos são rasos, classificados como Cambissolos associados, muitas vezes, por Neossolos Litólicos. Processos erosivos são identificados, com muita frequência, na base dos morrotes de arenito, nas zonas de contato com a colina. Uma vez desencadeados, tais processos tem como consequência a formação de ravinas, voçorocas e areais, visualizados na Figura 97.



Figura 97 – Ocorrência de areais e voçorocas associados aos morrotes de arenito

A condição climática atual da região auxilia a decomposição e desagregação das camadas resistentes dos morrotes, que favorecem a formação das manchas arenosas. Os intensos processos de voçorocamento que ocorrem junto à base dos morrotes, carregam grande quantidade de areia para as drenagens.

A vegetação característica dos morrotes de arenito contempla diversas espécies, com destaque para a criúva (*Agarista eucalyptoides*), o jasmim-catavento (*Tabernaemontana catharinensis*), o curupi (*Sapium haemospermum*) e a tuna (*Cereus hildmannianus*). No topo, a vegetação rasteira adaptou-se as condições locais de baixa umidade e solos rasos, e mesmo com as dificuldades de acesso encontra-se pouco preservada, devido ao uso agropecuário.

As cornijas compreendem os degraus de rochas areníticas que formam saliências na topografia, semelhante aos morrotes, porém se diferenciam por apresentar amplitudes menores e formarem faixas, não sendo individualizadas como os morrotes isolados.

As cornijas geralmente são vegetadas pela limitação que as declividades estabelecem, porém no limite com as colinas, em que a quantidade de rocha e a declividade diminuem, o uso passa a ser desenvolvido com mais intensidade, com lavouras e pecuária, conforme a Figura 98.



Figura 98 – Cornija de arenito com vegetação arbórea e na base uso de lavoura de pastagem junto à colina de arenito

7.1.5.3 Unidade Santa Rosa

Esta unidade contempla as colinas de arenito que ocorrem associados às áreas de litologias fluviais em que os processos de dinâmica superficial não são tão intensos quanto os da Unidade Arroio Puitã. Estas colinas de arenito representam a topografia predominante do Sistema Maçambará, onde as vertentes são longas com declividades variando de 5 a 15% e plano de curvatura convexo-côncava.

Nesta unidade os solos são profundos, classificados como Latossolos Arenosos. O uso predominante é de campos com gramíneas de diversas espécies e utilizadas para o pastoreio do gado, em propriedades de médio e grande porte. O uso agrícola também encontra-se presente relacionado às médias e grandes propriedades, sendo comum as culturas de soja, milho e trigo e no período de inverno utilizados com lavouras de pastagens, como mostra a Figura 99.



Figura 99 – Uso das colinas de arenito com lavoura de pastagem e campo da Unidade Santa Rosa.

Os processos erosivos, conforme destacado, ocorrem em menor frequência, sendo mais comuns nesta área o desenvolvimento de ravinas e voçorocas associadas ao mau uso, por exemplo, a concentração de fluxo de água através de curvas de nível mal instaladas nas lavouras, concentração do caminho do gado para beber água nos cursos de água.

Além disso, muitos pecuaristas da região colocam fogo nos resíduos dos pastos em meados de agosto, a fim de obterem um rebrote antecipado deste. Esta prática, além de deixar o solo completamente exposto, durante certo período de tempo, elimina as espécies que possuem as raízes mais superficiais.

Outra atividade que contribuiu para o desenvolvimento de processos erosivos é o uso incorreto da técnica de plantio direto, como a falta ou pouca cobertura do solo; a falta de rotação de culturas; a falta de controle de enxurradas e o mau manejo do gado nas culturas de inverno.

7.1.6 Sistema Itaqui – Manoel Viana

Este sistema diferencia-se do Sistema Santiago – São Francisco, pela extensa cobertura de colinas de rochas vulcânicas bastante homogêneas quanto às condições topográficas e por apresentarem colinas com vertentes

longas, declividades em torno de 5%, podendo apresentar áreas que com declividades maiores, porém sempre inferiores a 15% e altitudes que variam de 80 a 120 metros, estando localizado principalmente na porção do baixo curso da bacia hidrográfica, conforme a Figura 100.

As características litológicas deste Sistema estão relacionadas às rochas vulcânicas com ocorrência de arenitos eólicos intertrápicos da Formação Botucatu, o que condicionam o desenvolvimento de solos profundos. As rochas vulcânicas, nesta porção da bacia hidrográfica, correspondem aos primeiros derrames, que apresentam características básicas (baixo teor de quartzo), o que favorece o desenvolvimento dos solos também.

Os solos deste Sistema são bem desenvolvidos, podendo ser definidos como Latossolos Argiloso, Nitossolos e Argissolos. Junto aos cursos de água é bastante comum a ocorrência de solos hidromórficos como Planossolos e Plintossolos, associados às áreas de várzeas.

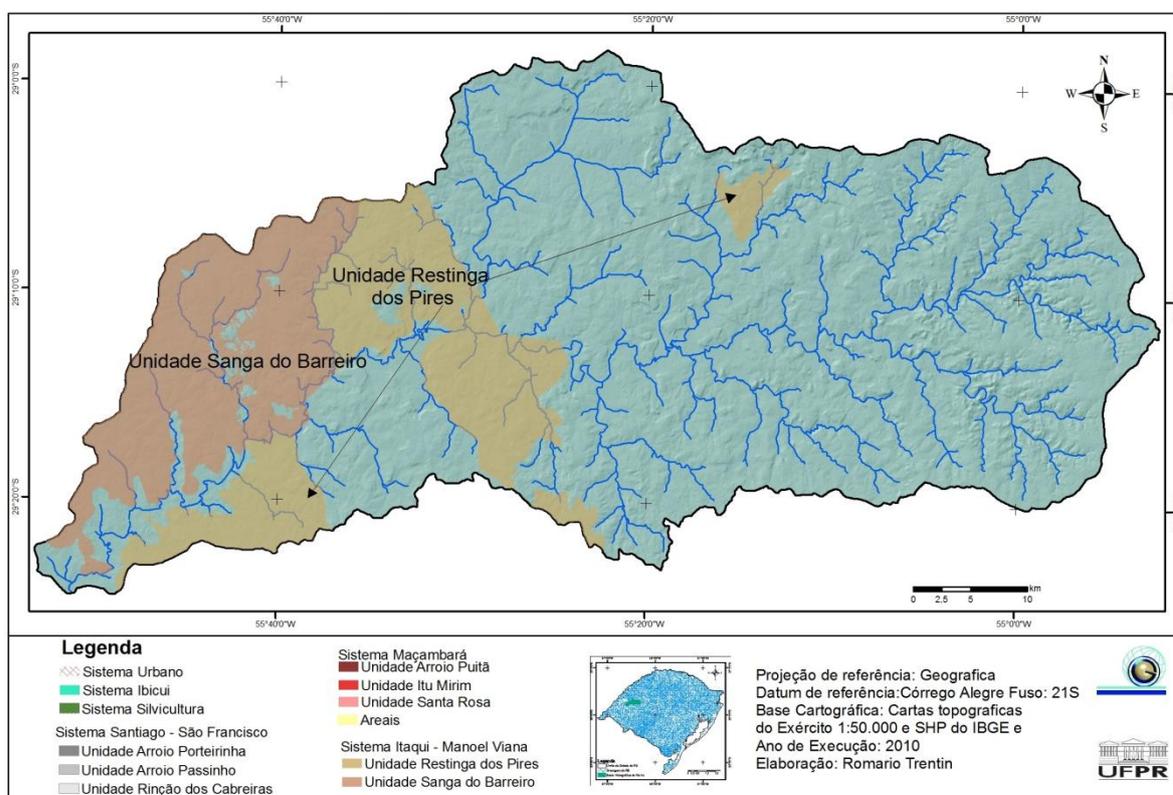


Figura 100 – Distribuição espacial do Sistema Itaqui – Manoel Viana na BHRI

O uso é relacionado à estrutura fundiária de médias e grandes propriedades, predominando os campos com vegetação, formando um denso tapete gramíneo herbáceo, de espécies conhecidas, como o capim-caninha (*Andropogon lateralis*) e a grama-forquilha (*Paspalum notatum*). O uso agrícola também é bastante intenso neste sistema, condicionado principalmente pelas condições de relevo e solos. Em função principalmente das características do uso, são definidas duas unidades, que são descritas a seguir:

7.1.6.1 Unidade Restinga dos Pires

A Unidade Restinga dos Pires compreende as colinas de rochas vulcânicas com associações de arenito intertrápico, com solos profundos e hidromórficos quando associados às drenagens.

As altitudes variam de 80 a 120 metros e representam as áreas de colinas onduladas com declividades que variam de 5 a 15%, propícias ao desenvolvimento de atividades agrícolas e de pecuária.

Junto às áreas de campo ocorre o predomínio de gramíneas de espécies diversas e junto aos cursos de água encontra-se a vegetação arbórea de mata ciliar bastante preservada, na qual são encontradas as espécies como o coqueiro-gerivá (*Syagrus romanzoffiana*), o branquilho (*Sebastiania commersoniana*), o branquilho leiteiro (*Sebastiania brasiliensis*), a corticeira-do-banhado (*Erythrina cristagalli*), a murta (*Blepharocalyx salicifolius*), a pitangueira (*Eugenia uniflora*), o pessegueiro bravo (*Prunus myrtifolia*), o camboatá-branco (*Matayba elaeagnoides*), o camboatá vermelho (*Cupania vernalis*), o tarumã-preto (*Vitex megapotamica*), o angico vermelho (*Parapiptadenia rígida*) e o açoita-cavalo (*Lueha divaricata*).

Quanto às atividades agrícolas, é muito comum o cultivo do arroz associado às várzeas dos Rios e Arroios, bem como as culturas de soja, trigo entre outras, nas longas colinas desta unidade.

7.1.6.2 Unidade Sanga do Barreiro

Esta Unidade localiza-se na porção mais jusante da bacia hidrográfica, estendendo-se pela margem direita do Rio Itu, por quase todo o baixo curso. A Unidade Sanga do Barreiro diferencia-se da Unidade Restinga dos Pires pela grande exploração agrícola da área, que se desenvolveu mais intensamente na última década.

O uso agrícola desta Unidade está relacionado tanto à cultura de arroz, junto às áreas de várzeas, com também de outras culturas características da região, ao longo das colinas, em muitos casos ainda utilizando-se de sistemas de irrigação, o que indica ainda atividades com alta mecanização.

Porém, a grande preocupação com esta unidade refere-se principalmente às áreas de várzeas, que apresentaram grande redução das áreas de mata ciliar para a implantação das atividades agrícolas, potencializando de maneira muito grande a degradação dos cursos de água, sendo possível identificar na Figura 101.



Figura 101 – Uso de lavouras próximas ao curso de água e imagem Spot via Google Earth com visualização de lavouras com sistema de irrigação na Unidade Sanga do Barreiro

O Quadro 04 apresenta, de forma resumida, a descrição das potencialidades e fragilidades dos Sistemas Geoambientais, que de forma geral condicionaram a sua delimitação.

Quadro 04 – Potencialidades e fragilidades dos sistemas geoambientais

Sistemas	Características	Potencialidades	Fragilidades
Sistema Urbano	Uso urbano da cidade de Santiago e Unistalda. As características das ocupações são de forma geral homogêneas, com construções baixas e o predomínio de áreas residenciais. Localizam-se sobre áreas com substrato litológico definido como rochas vulcânicas, e características de relevo levemente ondulada, com colinas de rampas médias a longas.	Ocorrência de infraestrutura básica e serviços para a população local.	Significativas modificações fisiológicas e fisiográficas da paisagem, contaminação e degradação das cabeceiras de drenagem que nascem na área urbana. Impermeabilização e geração de resíduos sólidos sem uma adequada área de descarte.
Sistema Ibicuí	Depósitos recentes, localizados próximo e sobre o canal principal do Rio Itu, bem como junto à planície de inundação do Rio Ibicuí, local de deságue do Rio Itu, possibilitando o desenvolvimento de solos mal drenados, denominados solos hidromórficos. Estas áreas apresentam declividades menores que 2%, caracterizadas por uma topografia plana e altitudes variando entre 60 e 80 metros, apresentando ainda o predomínio de vertentes de comprimento médio.	Disponibilidade hídrica para atividades agrícolas e uso para os animais.	Sistema associado às áreas de proteção ambiental (APPs), com restrições para retirada de vegetação e com porções desmatadas. Contaminação dos recursos hídricos e assoreamento dos canais provocado pela erosão das margens. Grandes áreas alagadas dos banhados drenadas para o plantio de arroz.
Sistema Silvicultura	Compreende as plantações de <i>Eucalyptus</i> sp, e representam uma proposta de novos usos para dinamizar a metade sul do estado do Rio Grande do Sul. A presença da vegetação exótica faz com que a ação dos agentes de erosão, vento e água, sejam modificadas e, portanto, alteram a dinâmica superficial da região. As atividades de silvicultura não se restringem apenas às áreas de substrato arenítico, mas apresentam grandes florestamentos sobre colinas e rochas vulcânicas. Estende-se sobre áreas de colinas levemente onduladas, com vertentes longas e médias com declividades em torno de 5%, por vezes ocupando áreas mais declivosas, mas nunca superior a 15%, visto que os processos de preparo para plantio e o plantio são todos realizados com auxílio de mecanização.	Geração de emprego; Arrecadação de impostos para o município; Uso agrícola para os areais.	Não apresenta preocupação ambiental com a biodiversidade do Bioma Pampa. Difícil recuperação do solo após a retirada da cultura. Grande exposição do solo aos processos de dinâmica superficial no período entre a colheita e o desenvolvimento da nova safra.
Sistema Santiago – São Francisco	Extende-se principalmente no alto curso da bacia hidrográfica, sobre as maiores altitudes. A amplitude é bastante grande, visto que abrange a área de Rebordo e as áreas de Topo do planalto. Apresenta-se sobre o substrato vulcânico, representando as porções mais declivosas da bacia hidrográfica na transição do Planalto para a Depressão Periférica, e nas áreas planas de topo apresenta solos rasos relacionados aos derrames vulcânicos de características ácidas. Em função das características de solo e do relevo, o uso e ocupação deste sistema é predominantemente de campos com pecuária, em que apresentam extensa cobertura de um denso tapete gramíneo herbáceo. Nas porções de escarpa do relevo, associada aos cursos de água principalmente, a formação florestal recobre as vertentes com declividades superiores a 15%.	Extensa cobertura de campo gramíneo herbáceo e de espécies, como o capim-caninha e a grama-forquilha. Extensa vegetação arbórea acompanhando à área de escarpa com espécies como a canela-de-veado, a timbaúva, a pitangueira, o ipê-roxo, a primavera e o gravatá. Forte contribuição das áreas de nascentes.	É comum a exposição de derrames, na forma de rochas expostas nos campos, formando solos de pouca profundidade e pedregosos, marcando as fragilidades com relação ao uso deste sistema. Movimentos de massa nas áreas de escarpa com restrições de uso
Sistema Maçambará	Este sistema apresenta litologias friáveis da Formação Guará (arenitos fluviais), que pela fácil desagregação condicionam a formação de feições erosivas de grandes extensões. Estende-se por toda a faixa central da bacia hidrográfica e ainda uma pequena porção, no baixo curso junto à margem. Nas colinas arenosas côncavo-convexas predominam os solos espessos, profundos, arenosos e friáveis, com pouco material ligante, desenvolvidos sobre substrato de arenito, em declividades variadas em que predominam inclinações de 5 a 15%. Em algumas porções mais próximas da rocha os solos são rasos. Nas porções de morrotes de arenito as vertentes são predominantemente curtas a médias e retilíneo-divergentes com declividades superiores a 15% e as altitudes variam de 120 a 200 metros. Nos morrotes são comuns os afloramentos de rochas, muitas vezes, no formato de cornijas com vegetação arbórea associada. O uso deste Sistema é predominantemente de os campos, com atividade pecuária, porém com vastas áreas agrícolas e atualmente a silvicultura numa estrutura de exploração extensiva. A vegetação é composta por formações campestres, capões de mato, eucaliptos e mata ciliar ao longo dos arroios, formações arbóreas associadas aos morrotes e cornijas de arenito, além da presença em algumas área do butiá-anão.	Junto aos areais e cornijas apresentam diversidade de plantas endêmicas. Constitui refúgio de uma vegetação xerófitica que registram condições climáticas passadas de semi-aridez (cactáceas e butiá-anão). Potencialidades paisagísticas para desenvolver o turismo e estudos com espécies endêmicas de fauna e flora.	Processos de arenização, ravinas e voçorocas. Porções de solos arenosos com baixa coesão e alta suscetibilidade a erosão. Litologias de arenitos fluviais de fácil desagregação. Solos rasos, pedregosos e arenosos em determinadas áreas.
Sistema Itaqui – Manoel Viana	Este sistema apresenta extensa cobertura de colinas de rochas vulcânicas com vertentes longas, declividades em torno de 5%, podendo apresentar áreas que com declividades maiores, porém sempre inferiores a 15% e altitudes que variam de 80 a 120 metros, localizada na porção do baixo curso da bacia hidrográfica. As litológicas estão relacionadas às rochas vulcânicas com ocorrência de arenitos eólicos intertrápicos da Formação Botucatu, o que condicionam o desenvolvimento de solos profundos. As rochas vulcânicas, nesta porção da bacia hidrográfica, apresentam características básicas (baixo teor de quartzo), o que favorece o desenvolvimento dos solos, sendo identificados os Latossolos Argiloso, Nitossolos e Argissolos e, junto aos cursos de água é bastante comum a ocorrência de solos hidromórficos como Planossolos e Plintossolos, associados às áreas de várzeas. O uso relaciona-se à estrutura fundiária de médias e grandes propriedades, predominando os campos com vegetação, formando um denso tapete gramíneo herbáceo. O uso agrícola também é bastante intenso neste sistema, condicionados principalmente pelas condições de relevo e solos.	Disponibilidade de solos profundos e relevo de colinas que favorecem o desenvolvimento de atividades agrícolas e da pecuária.	Expansão agrícola sem preocupação com áreas de proteção e manutenção da mata ciliar que potencializa a contaminação dos cursos de água.

8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A presente tese apresentou como objetivo definir a compartimentação geomorfológica e a caracterização das unidades geoambientais da bacia hidrográfica, classificando-as quanto à aptidão e restrição à ocupação, através das potencialidades e fragilidades da bacia hidrográfica do Rio Itu. Para isso levantou-se e analisou-se os elementos físicos da paisagem, definiu-se a taxonomia das unidades geomorfológica, estabeleceu-se os padrões de uso e ocupação da série temporal 1975 a 2010 e caracterizou-se os sistemas e unidades geoambientais quanto às potencialidades e fragilidades.

As hipóteses que nortearam o trabalho foram de que o detalhamento dos níveis taxonômicos do mapeamento geomorfológico melhora a qualidade dos resultados da análise geoambiental e que o uso e ocupação da BHRI possuem estreita relação com as características geoambientais e desta forma concluiu-se que:

O refinamento das informações geomorfológicas quanto à definição dos níveis taxonômicos pode servir de base para a definição dos sistemas geoambientais e que, quanto maior o detalhamento em nível de processos identificados no mapeamento geomorfológico, melhor a definição das potencialidades e fragilidades destes sistemas.

Para a caracterização geoambiental, deve-se considerar além das informações do meio físico e da dinâmica da paisagem, os processos de uso e ocupação da terra, tanto rural quanto urbanos, pois entende-se que ambos apresentam resultados da atuação social que possibilitam o surgimento de novas formas e organizações na dinâmica da paisagem.

A análise temporal do uso da terra permitiu identificar mudanças significativas ocorridas na dinâmica da paisagem, e tendências a que estes processos de uso podem vir a desencadear na dinâmica da área de estudo.

A análise de informações do meio físico, muitas vezes não utilizada na compartimentação geomorfológica, pode auxiliar na definição de características

geoambientais importantes, como a orientação das vertentes, oeste e sul, relacionadas com a maior concentração de vegetação arbórea nas vertentes íngremes dos morrotes e cornijas, em função da menor insolação e maior unidade disponível.

Os areias representam uma marca do processo erosivo avançado, desencadeado na dinâmica da paisagem. Na bacia hidrográfica do Rio Itu são encontrados 3.574,315 hectares de areais, localizados sobre o Sistema Maçambará e com predomínio na Unidade Arroio Puitã.

A grande fragilidade da BHRI está relacionada a uma série de condições, como substrato geológico, solos friáveis, grandes precipitações, que condizem basicamente com questões relacionadas às mudanças climáticas pretéritas para as condições de clima úmido atuais.

Os processos de arenização da BHRI, diferentemente do que relatam os primeiros estudos relacionados ao desenvolvimento de areais no estado do Rio Grande do Sul, estão associados ao substrato areníticos friáveis, de origem fluvial, correspondendo a Formação Guará.

A BHRI apresenta cerca de 30% da área, ocupada por solos arenosos rasos ou profundos. Esta unidade de mapeamento expõe, de forma geral, as condições da fragilidade encontrada na área de estudo. Cabe destacar que, as medidas de recomendações de uso devem atender condições que compatibilizem as questões econômicas com a preservação dos recursos, de forma que não agridam ou inviabilizem ainda mais a produção nestes solos.

As alterações na paisagem da BHRI podem ser claramente identificadas nas últimas décadas, em função de mudanças na base econômica e alteração no processo de exploração dos recursos, passando-se cada vez mais para o desenvolvimento de atividades agrícolas, que ocupam, na sua maior parte, áreas de várzeas com retirada de mata ciliar. Já as atividades de silvicultura apresentam também grandes transformações na paisagem, sendo estas registradas apenas nos últimos anos e vem impondo na paisagem um cenário

homogêneo em termos ecológicos, mas por outro lado disponibilizando novas alternativas econômicas para esta região.

Entre os seis sistemas geoambientais definidos, o que apresenta grande fragilidade, refere-se ao Sistema Maçambará que comporta a concentração do substrato geológico e solos arenosos muito friáveis, possibilitando a grande ocorrência de processos de dinâmica superficiais.

Quanto às limitações de uso pode-se destacar o Sistema Ibicuí por localizar-se sobre áreas de proteção da legislação, junto às principais várzeas do Rio Itu. Também destaca-se a Unidade Arroio Porteirinha do Sistema Santiago – São Francisco por localizar-se sobre a área de Rebordo em que se encontram as escarpas vegetadas, que devem ser preservadas para evitar um desequilíbrio ambiental, o desencadeamento de processos de movimentos de massa e queda de blocos.

Ainda sobre as limitações de uso, destaca-se a Unidade Sanga do Barreiro no Sistema Itaqui – Manoel Viana, pela grande expansão agrícola e ocupação das áreas de várzeas, além de exercer pressão sobre o Sistema Ibicuí.

Frente ao cenário exposto, que se estabelecem as potencialidades e fragilidades dos sistemas geoambientais, marcando as unidades de intervenção e gestão, em que a constatação mais evidente oriunda das análises e observações é que as áreas marcadas por grande susceptibilidade erosiva, como ocorre nos campos de areia e voçorocas do Sistema Maçambará, exigem critérios particulares de ocupação e desenvolvimento, a fim de não comprometer ainda mais as condições de instabilidades.

Tendo em vista, que este trabalho apresenta uma escala de análise bastante generalista, cujo objetivo representa a caracterização geoambiental da BHRI, através da análise de um conjunto de inúmeros elementos ainda desconhecidos e pouco estudados, pode-se considerar que a diversidade e a dinâmica da área de estudo são imensuráveis, se considerarmos cada um dos aspectos tratados nesta pesquisa, em uma escala de maior detalhe.

No que diz respeito à relevância do trabalho, entende-se que o mesmo serve de base para estudos de maiores detalhes e sugere-se aproximar a discussão para a aplicação do planejamento e ordenamento territorial, uma vez que as ocupações, nem sempre são precedidas de estudos que considerem as restrições dos recursos naturais, especialmente relacionadas à fragilidade das litologias e dos solos, quando submetidos a determinados usos.

Cabe destacar ainda, algumas recomendações que se fazem importantes, visto a realização deste trabalho:

O maior refinamento das informações pode apresentar resultados bastante interessantes, quando relacionados aos processos de dinâmica superficial e definição das fragilidades da área.

Porém, deve-se destacar que, para tais análises é de fundamental importância o aumento na escala de análise e para isso, o tamanho da área de estudo deve adequar-se à realização da mesma.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. **Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário**. Geomorfologia, São Paulo, Instituto de Geografia – USP, n.19, p,1-23, 1969.

_____. **Os Domínios de Natureza no Brasil: Potencialidades Paisagísticas**. São Paulo: AteliêEditorial, 2003.

ABREU, A. A. A Teoria Geomorfológica e sua edificação: Análise crítica. **Revista IG**, São Paulo, p. 5-23. 1983.

ALVES, F. S. **Estudos Fitogeográficos na Bacia Hidrográfica do Arroio Lajeado Grande – Oeste do RS**. Santa Maria: UFSM, 2008. (Dissertação de Mestrado) 106 f.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **Comitês de Bacias Hidrográficas**. Disponível em <<http://www.cbh.gov.br/DataGrid/GridRioGrande.aspx#>>. Acesso em março de 2008.

ARGENTO, M. S. F. Mapeamento Geomorfológico. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B (Org.). **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994.

BARBOSA, G. V.; SILVA, T. C.; NATALI FILHO, T; DEL'ARCO, D. M.; COSTA, R. C. R.. Evolução da metodologia para mapeamento geomorfológico do Projeto RadamBrasil. **Boletim Técnico**, Série Geomorfologia. Salvador n. 1, p. 187, out. 1984.

BERGONCI, J.; BERGAMASCHI, H.; SANTOS, O. A.; FRANÇA, S.; RADIN, B. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.949-956, 2001.

BERLATO, M. A.; FARENZENA, H.; FONTANA, D. C. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.40, n.5, p.423-432, maio 2005.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria dos Sistemas**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1976.

BERTONI, J., LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Ceres, 1985. 392p.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico. **Cadernos de Ciências da Terra**, São Paulo: IG-USP, n. 13, p. 1-27. 1972.

_____. Paysage et géographie physique globale: Esquisse méthodologique. **Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-ouest**, 39(3): 249-272, 1968.

BOLÓS, M. C. de. Problemática Actual de los Estudios de Paisaje Integrado. **Revista de Geografía**, Barcelona, v.15, p. 45-68. 1981.

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.

BRACK, P. **Características Gerais Fitogeográficas e dos Tipos de Vegetação do RS**. Porto Alegre: Instituto de Biociências – UFRGS, 2005.

CAILLEUX, A.; TRICART, J. **Le Problème de la Classification des Faits Géomorphologiques**. Ann. de Géogr. p. 162 -186.1956.

CÂMARA, G., DAVIS, C. MONTEIRO, M.. “**Introdução à Ciência da Geoinformação**”. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em março de 2008.

CARRARO, C. C.; GAMERMANN, N.; EICK, N. C.; BORTOLUZZI, C. A.; JOST, H.; PINTO, J. F. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisas**, Porto Alegre, v. 8, p. 1-29, 1974.

CARVALHO, J. A. R.; SILVA, A. P.; CAVALEIRO, V. M. M. Cartografia Geotécnica e ambiental em Portugal. In: 5º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL. São Carlos, 2004. **Anais....** São Carlos, 2004, p. 566 – 582.

CASSETI, V. **Estrutura e Gênese da Compartimentação da Paisagem de Serra Negra (MG)**. Goiânia: Editora da UFG, 1981, 124 p.

_____. **Ambiente e Apropriação do Relevo**. São Paulo: Contexto, 1991. 147 p.

_____. **Elementos de Geomorfologia**. Goiânia: Editora da UFG, 1994.

137p.

_____. **Geomorfologia**. Livro digital. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia>>. Acesso em março de 2008.

CENDRERO, A. Environmental Quality Indices; a tool for assessing and monitoring geoenvironmental map units. In: 5º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. São Carlos: **Anais...** 2004. p. 525 – 564.

CHORLEY, R. Modelos em geomorfologia. *In*: CHORLEY, R., J. ; HAGGETT, P. (coord). **Modelos físicos e de informação em Geografia**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos ; São Paulo: Ed da USP, 1975.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 313 p.

_____. (org.). **Perspectivas da Geografia**. São Paulo, Difel, 1982.

_____. A contribuição e objeto da Geografia. **Revista de Geografia**. São Paulo, vol. 8, nº 15/16, p. 1-28, out., 1983.

_____. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgar Blücher Ltda., 1999.

_____. Aplicabilidade do Conhecimento Geomorfológico nos Projetos de Planejamento. *In*: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p 415-440.

_____. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: EdgardBlücher, 2002. 236 p.

_____. Sistemas Dinâmicos: As abordagens da Teoria do Caos e da Geometria Fractal em Geografia. *In*: VITTE, A. C. e. G., A.J.T. (Orgs.). **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 89 - 110.

COOKE, R. U.; DOORNKAMP, J. C. **Geomorphology in environmental management**. Claredon Press, 1978. 413p.

CORSETTI, B. A colonização italiana no Rio Grande do Sul e o projeto político Republicano (1889\1930): educação e nacionalização. *In*: QUEVEDO, J. (Org.) **Rio Grande do Sul: quatro séculos de história**. Porto Alegre: Martins Livreiro, 1999. p. 219-258.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; AZEVEDO, L.G.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P. & FLORENZANO, T. **Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico**. São José dos Campos: INPE, 1996.

CUNHA, S. B. da. & GUERRA, A. J. T. Degradação Ambiental. *In*: Guerra, A. J. T. e Cunha, S. B. da. (org.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 2º ed. Rio de Janeiro; Bertrand Brasil. 2001, p.337-379.

DE NARDIN, D. **Zoneamento Geoambiental no Oeste do Rio Grande do Sul: um Estudo em Bacias Hidrográficas**. Porto Alegre: UFRGS, 2009. (Dissertação de Mestrado)

DE NARDIN, D.; ROBAINA, L. E. S. **Zoneamento Geoambiental no Oeste do Rio Grande do Sul: um Estudo em Bacias Hidrográficas em Processo de Arenização.** In: 7º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. Maringá: **Anais**, 2010.

DEBLE, L. P.; MARCHIORI, J. N. C. *Butia lallemantii*, uma nova Arecaceae do Brasil. **Balduinia**, Santa Maria, n.9, p. 1-3, 2006.

DEMEK, J. **Generalization of geomorphological maps in progress made, geomorphological mapping.** Brno, 1977.

DIAS, J. B. **A dimensão dos sistemas naturais na (re)produção dos sistemas agrícolas da agricultura familiar: análise da paisagem de três comunidades rurais na Região Metropolitana de Curitiba (em São José dos Pinhais, Manduritiba e Tijucas do Sul).** Curitiba: UFPR, 2006. (Tese de Doutorado)

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 415 p.

EMPRESA RIOGRANDENSE DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL (EMATER). Rio Grande do Sul. **Relatório de Ações e Resultados.** São Francisco de Assis, 2006.

FIORI, A.P. Metodologias de Cartografia Geoambiental. In: 5º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. São Carlos: **Anais**, 2004.

FLORENZANO, T. G.. Cartografia. In: FLORENZANO, T. G. (Org.) **Geomorfologia conceitos e tecnologias atuais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 105-128.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A. Influência do El Niño Oscilação Sul (ENOS) sobre a Precipitação do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, p.127-132, 1997.

FREITAS, M. W. D. de; CUNHA, S. B. Geossistemas e Gestão Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio São João-RJ. In: 5º Simpósio de Nacional de Geomorfologia e 1º Encontro Sul-Americano de Geomorfologia, RS, 2004. **Anais...** Santa Maria, 2004.

FUNDAÇÃO ECONOMIA E ESTATÍSTICA (FEE). **PIB Municipal – Série Histórica.** Disponível em :
http://www.fee.tche.br/sitefee/pt/content/estatisticas/pg_pib_municipal_sh.php.
Acesso em: março de 2008.

GRECCHI, R. C. e PEJON, O. J. Estudos Geoambientais da Região de Piracicaba (SP), com Auxílio de Imagem desatélite e de Sistema de Informação

Geográfica. *In*: 3º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica. Florianópolis, **Anais**, 1998.

GREGORY, K. J. A **Natureza da Geografia Física**. Tradução de Eduardo de Almeida Navarro. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992. 367 p.

GREHS, S. A. A Importância do Geólogo no Estudo Preventivo de Escorregamentos, Deslizamentos e outros Aspectos Correlatos. *In*: Congresso Brasileiro de Geologia, 21. **Anais...** Curitiba: SBG, 1966. p. 119-123.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 372 p.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 192 p.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo Dicionário Geológico Geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 6 ed. 2008. 648 p.

HABERLEHNER, H. Princípios de Mapeamento Geotécnico. *In*: Congresso Brasileiro de Geologia, 20.. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG, 1996. p. 37-39.

HAIGERT, F. E. V. **Pioneiros**. São Francisco de Assis: Mercosul, 1999. 358p.

HART, M. G. **Geomorphology – Pure and Applied**. London. George Allen & Unwin, 1986.

HASENACK, H.; CORDEIRO, J. L. P. . **Remanescentes de vegetação do Bioma Pampa**. UFRGS, 2006. Trabalho Técnico.

HEINE, V. H. Levantamento Geotécnico do Estado de Guanabara. *In*: Congresso Brasileiro de Geologia, 20. **Resumos...** Rio de Janeiro: SBG, 1966, p. 44.

HERRMANN, M. L. P. Compartimentação Geoambiental da Faixa Central do Litoral Catarinense. *In*: V Simpósio de Nacional de Geomorfologia e I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia. Santa Maria: **Anais**, 2004.

HIGASHI, R. R. Caracterização de Unidades Geoambientais de São Francisco do Sul através de Sistema de Informações Geográficas. *In*: 5º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. São Carlos: **Anais**, 2004.

HURTADO, A. **Diagnóstico da realidade agrária e propostas de desenvolvimento rural: Manuel Viana – RS**. Versão Preliminar. INCRA/FAO. Agosto, 2000.

INFANTI JUNIOR, N.; FORNASARI FILHO, N. Processos de Dinâmica Superficial. *In*: OLIVEIRA, A. M. S. *et al.* **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p. 131-152.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Dados de Produção agrícola**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br> e <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em setembro de 2008.

_____. **Diretoria de Serviços Geográfico**. Porto Alegre: Primeira Diretoria de Levantamento, 1977.

_____. **Levantamento de recursos naturais do projeto RadamBrasil**. Folha SH.21. Santiago e Alegrete. Rio de Janeiro, 1973.

_____. **Projeto RadamBrasil: Geomorfologia** (Folha SH-21. Santiago e Alegrete). Rio de Janeiro, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE (IBAMA). **Ecossistemas Brasileiros**. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/ecossistemas/campos_sulinos.htm. Acesso em março de 2008.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Mapeamento Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo. Escala 1:500.000, v. 2, 1981. 130 p.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). **Estatísticas Cadastrais 2005**. Disponível em: <http://www.incra.gov.br/>. Acesso em outubro de 2008.

KLAMT, E.; SCHNEIDER, P. Solos Susceptíveis à Erosão Eólica e Hídrica na Região da Campanha do Rio Grande do Sul. *In*: **Ciência & Ambiente**. Santa Maria: Ed. da UFSM. n.11, jul. -dez. 1995. p.70-80.

KRUMBEIN, W. C. Size Frequency Distribution of sediments. *Journal of Sed, Petrol*, v. 4, p. 65-77. 1934.

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo** - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (SNLCS). Campinas, 1982. 46 p.

LINDMAN, C. A. M. **A Vegetação no Rio Grande do Sul**. Belo Horizonte: Ed. Itatiaia; São Paulo: Ed.da USP, 1974.

LOLLO, J. A. **O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 1996. Tese de Doutorado.

LORANDI, R.; JUNQUEIRA, C. A. R.; MORAES, M. E. B. **Zoneamento Geoambiental do Município de Cordeirópolis**. In: 7º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. Maringá: **Anais**, 2010.

LUPINACCI, C. M., MENDES, I. A., SANCHEZ, M. S. A Cartografia do Relevo: Uma Análise Comparativa de Técnicas de Gestão Ambiental. In: **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 4, n 1, UGB, 2003, p 1-9.

MACEDO, R. K. A Importância da Avaliação Ambiental. In. TAUKE, S. M. (Org.). **Análise ambiental: uma visão multidisciplinar**. São Paulo. UNESP, 1995.

MACIEL FILHO, C. L.; SARTORI, P. L. P. Aspectos estruturais da região de São Francisco de Assis, RS. **Ciência e Natura**, v.1, p.53-65, 1979.

MARCHIORI, J. N. C. **Fitogeografia do Rio Grande do Sul: campos sulinos**. Porto Alegre: EST, 2004.

MARCHIORI, J. N. C. Vegetação e Areais no Sudoeste Rio-Grandense. **Ciência e Ambiente**. Santa Maria, v. 11, 1995. p. 81-92.

MATEO RODRIGUEZ, J. M.; SILVA, E. V. A classificação das paisagens a partir de uma visão geossistêmica. **Mercator: Revista de Geografia da UFC**, n. 1, 2002.

MATEO RODRIGUEZ, J. M.; SILVA, E. V. e CAVALCANTI, A. P. B.. **Geoecologia das Paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. Fortaleza: Ed. UFC, 2007. 222p.

MECERJACOV, J. P. Les concepts de morphostruture et de morphosculture: um nouvel instrument de l'analyse geomorphologique. In: **Annales de geographie**, 77 e années 423. Paris. 1968.

MELO, N.; LIMA FILHO, M. Avaliação Geoambiental do Município de Paulista - PE. In: 11º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. Florianópolis: **Anais**, 2005.

MENEZES, D. B.; ZUQUETTE, L.V. Avaliação Metodológica em Estudos Geoambientais de Bacias Hidrográficas: a Bacia do Rio Pardo. In: 5º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. São Carlos: **Anais**, 2004.

MILANI, E. J. Geodinâmica Fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental e a Evolução Geológica da Bacia do Paraná. In: HOLZ, M. e DE ROS, L.V. **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CIGO/UFRGS, 2002. p.275-302.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. PROBIO. **Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira**. Disponível em: << <http://www.mma.gov.br/probio> >> Acesso em novembro de 2006.

MONTEIRO, C. A. F. **Geossistemas: a História de uma Procura**. São Paulo: Contexto, 2000. 127p.

MOREIRA, C. V. R.; PIRES NETO, A. G. Clima e Relevo. *In*: OLIVEIRA, A. M. S. *et al.* **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p. 101-109.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretária da Agricultura, 1961. 42 p.

MÜLLER FILHO, I. L. **Notas para o Estudo de Geomorfologia do Rio Grande do Sul, Brasil**. Publicação Especial n. 1. Santa Maria: Imprensa Universitária. UFSM. 1970.

NAKAZAWA, V. A.; PRANDINI, F. L.; SANTOS, A. R.; FREITAS, C. G. L. Cartografia geotécnica: a aplicação como pressuposto. *In*: Simpósio de geologia do sudeste, 2, 1991, São Paulo. **Atas...** São Paulo: SBG, 1991. p. 329-336.

NIR, D. **Man, a geomorphological agent**. Israel. Keter Publishing House, 1983.

NUCCI, J. C.. **Qualidade Ambiental e Adensamento Urbano**. São Paulo: HUMANITAS/FAPESP, 2001. 236p.

PENTEADO-ORELHANA, M. M. **Metodologia Integrada no Estudo do Meio Ambiente**. Geografia, Rio Claro, v. 10, n.20, out. 1985. p. 125-148.

PILLAR, V. P. (org), **Workshop: Estado atual e desafios para a conservação dos campos**. Disponível em: <
www.ecologia.ufrgs.br/ecologia/campos/finalcampos.htm >. Acesso em novembro de 2006.

REGO NETO, C. B. SILVA FILHO, F. A. Caracterização Geoambiental de Áreas Potencialmente Ocupáveis como Zona Especial de Interesse Social no Maciço da Costeira do Pirajubaé - Florianópolis/Sc. *In*: 7º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. Maringá: **Anais**, 2010.

RIMBERT, S. Approches des paysages, **L'Espace Géographique**, 2 (3), Paris. 1973. 233-241.

ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R., BAZZAN, T., RECKZIEGEL, E. W., DE NARDIN, D. Proposta de Compartimentação Geomorfológica da Bacia do Ibicuí, Oeste do RS. *In*: **V SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO E I SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA**. Santa Maria. 2008, v. 1. p. 1-14.

ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R.; DE NARDIN, D.; CRISTO, S. S. V. Métodos e Técnicas Geográficas Utilizadas na Análise e Zoneamento Ambiental.

Geografias: Revista do Departamento de Geografia e do Programa de Pós-Graduação em Geografia IGC-UFMG. 2009. V.5 n. 2. p.36-49.

RODRIGUES, C. **Geomorfologia Aplicada: avaliação de experiências e de instrumentos de planejamento físico-territorial e ambiental brasileiros.** São Paulo, 1997. (Tese – Doutorado) - Dep. de Geografia – FFLCH – USP.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia Aplicada aos EIAs-RIMAs. *In:* GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia e Meio Ambiente.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2. ed. 1998, p.291-336.

_____. **Geomorfologia. Ambiente e Planejamento.** São Paulo: Contexto, 1990.

_____. O Registro Cartográfico dos Fatos Geomorfológicos e a Questão da Taxonomia do Relevo. **Revista da Pós-graduação da USP,** São Paulo; USP, Nº6, 1992.

_____. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia.** São Paulo: FFLCH-USP, n. 8. 1994

_____. **Geomorfologia, Ambiente e Planejamento.** São Paulo: Editora Contexto, 2005. 85 p.

ROUGERIE, G; BEROUTCHACHVILI, N. **Geosysteme et paysages:** bilan et methods. Paris: Armand Colin. 1991, 302 p.

SALA, M. Geoecología del paisaje en el macizo litoral catalán. **Revista de Geografia,** 1982/83. XVI-XVII: 23-45.

Santos, E. L.; Ramgrab, G. E.; Maciel, L. A.; Mosmann, R. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul, DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. Brasília, 1989.

SANTOS, L. J. C.; OKA-FIORI, C.; CANALLI, N, E. FIORI, A. P. SILVEIRA, C. T. SILVA, J. M. F. Mapeamento da vulnerabilidade geoambiental do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências.** V 37 (4), 2007. p. 812 – 820.

SANTOS, L. Monoculturas de Árvores Exóticas e Conservação da Diversidade da Fauna no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Instituto de Biociências, 2006. Monografia de Especialização. 54p.

SARTORI, M. G. B. A Dinâmica do Clima do Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimento científico. São Paulo: **Terra Livre,** v. 1. n. 20. 2003. p.27-49.

SCHERER, C.M.S.; FACCINI, U.F. & LAVINA, E. Arcabouço Estratigráfico do Mesozóico da Bacia do Paraná. *In*: HOLZ, M. e DE ROS, L.V. **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CIGO/UFRGS, 2002. p. 335 – 354.

SCHULZE-HOFER, C.; MARCHIORI, J. N. C. **O uso da madeira nas reduções jesuítico-guarani do Rio Grande do Sul**. 1. ed. Porto Alegre: IPHAM, 2008. v. 1. 80 p.

SILVEIRA, C. T. **Análise Digital do Relevo na Predição de Unidades Preliminares de Mapeamento de Solos: Integração de Atributos Topográficos em Sistemas de Informações Geográficas e Redes Neurais Artificiais**. Curitiba: UFPR. 2010. 154 f. (Tese de Doutorado).

SOTCHAVA, V. B. Définition de quelques notions et termes de Géographie Physique. **Dokl. Institute de Géographie de la Sibérie et Extreme Orient**, 3: 94 – 11, 1962.

SOTCHAVA, V. B. O estudo de geossistemas. São Paulo: Instituto de Geografia USP, 1977. 51p (Métodos em Questão, 16)

SOUTO, R. **Deserto: Uma Ameaça?** Secretaria da Agricultura do RS, DRNR, Diretoria Geral, Porto Alegre, 1985.

SOUZA, C. F. de. **Contrastes Regionais e formações urbanas**. Porto Alegre:Ed. UFRGS, 2000.

SOUZA, L. A.; SOBREIRA, F. G.; PRADO FILHO, J. F. Cartografia Geoambiental como Suporte ao Plano Diretor de Mariana, MG. *In*: 11º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. Florianópolis: **Anais**, 2005.

STRAHLER, A. N. **Dynamic basis of Geomorphology**. Geol. Soc.America Bulletin. 1952.

_____. Equilibrium theory of erosional slopes approached by frequency distribution analysis. **American Journal of Science**, New Haven, Conn., 1950. 248(8-9): 673 - 696, 800-814.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS, 2002. 127p.

_____. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222 p.

SUERTEGARAY, D. M. A. **A Trajetória da Natureza um Estudo Geomorfológico sob os Areais de Quaraí/RS**. Tese de Doutorado. USP-FFLCH, 1987.

_____. O Rio Grande do Sul Descobre os Seus “Desertos”. **Ciência e Ambiente**. Santa Maria: Editora da Universidade UFSM. V.11, 1995. p. 33 – 52.

_____. Geografia Física (?) Geografia ambiental (?) ou Geografia e ambiente (?) *In*: MENDONÇA, Francisco de Assis ; KOZEL, Salete. (org). **Elementos da epistemologia contemporânea**. Curitiba: Ed. da UFPR, 2002.

SUERTEGARAY, D. M. A.; GUASSELLI, L. & VERDUM, R. (org.). **Atlas de Arenização: Sudoeste do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Coordenação e Planejamento, 2001. v. 1. Atlas.

TRENTIN, R. **Definição de Unidades Geoambientais na bacia hidrográfica do Rio Itu - Oeste do Rio Grande do Sul**. Santa Maria: UFSM. 2007. 140 f. (Dissertação de Mestrado).

TRICART, Jean. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.

_____. **Principes et Méthodes de la geomorphologie Masson**. Paris: et Ce, Editeurs, 1965.

TROLL, C. **Die geografische landschaft und ihre erforschung**. Studium Generale 3: Springer, Heidelberg, German Democratic Republic. p. 163-181.1950.

_____. **A paisagem geográfica e sua investigação**. Espaço e Cultura. Rio de Janeiro, 1997. 7 p.

TROPPIAIR, H. Geomorfologia e Ecologia. **Boletim de Geografia Teorética**, Rio Claro - SP, 20 (39), p. 32-43, 1990.

_____. Sistemas, Geossistemas, Geossistemas Paulistas, Ecologia da Paisagem. **Boletim de Geografia Teorética**, Rio Claro – SP, 2004.

VEDOVELLO, R. Aplicações da Cartografia Geoambiental. *In*: 5º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. São Carlos: **Anais**, 2004.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 124p.

VERDUM, R. **Approche Géographique dês “Deserts” Dans lês Communes de São Francisco de Assis et Manuel Viana, Etat du Rio Grande do Sul, Bresil**. Université de Toulouse Lê Mirail – UFR de Géographie/ Aménagement: Toulouse, 1997. 211 p. Tese de Doutorado.

_____. Os geógrafos frente às dinâmicas sócio-ambientais no Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 16, p.91-94, 2005.

VERDUM, R.; VIEIRA, L. F. S.; FLECK PINTO, B.; CABRALES, R. Percepção da paisagem na instalação de aerogeradores no Rio Grande do Sul. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 12, 2007. **Anais...** Natal - Rio Grande do Norte, 2007. 21 p.

VICENTE; L. E.; PEREZ FILHO, A. Abordagem Sistêmica. **Geografia**, v. 28, n. 3, p. 323-344, 2003.

VILLELA, S. M.; MATOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

WENTWORTH, C.K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Geology**, n. 30, p. 377-392. 1922.

XAVIER DA SILVA, J. Geomorfologia e Geoprocessamento. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

ZACHARIAS, A. A. **A representação gráfica das unidades de paisagem no zoneamento ambiental: um estudo de caso no município de Ourinhos-SP**. Rio Claro: UNESP, 2006. Tese de Doutorado.

ZUQUETTE, L. V. **Análise crítica sobre cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 1987. Tese de Doutorado.

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

ZUQUETTE, L. V. **Mapeamento geotécnico preliminar na região de São Carlos**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 1981. Dissertação de Mestrado.

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