

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**ESTUDO E ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL COM AUXÍLIO DE
SIG NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA MARIA:
SUDOESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

ANDERSON AUGUSTO VOLPATO SCCOTI

ORIENTADOR: LUÍS EDUARDO DE SOUZA ROBAINA

PORTO ALEGRE, FEVEREIRO DE 2017

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**ESTUDO E ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL COM AUXILIO DE
SIG NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA MARIA:
SUDOESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

ANDERSON AUGUSTO VOLPATO SCCOTI

ORIENTADOR: LUÍS EDUARDO DE SOUZA ROBAINA

Banca Examinadora:

**Prof^o. Dr. Luis Eduardo de Souza Robaina – Orientador
(UFRGS)**

Prof^o. Dr. Roberto Verdum – Membro (UFRGS)

Prof^o. Dr. Romário Trentin – Membro (UFSM)

Prof^o. Dr. Sandro Sidnei Vargas de Cristo – Membro (UFT)

Prof^o. Dr. Laurindo Antônio Guasselli – Suplente (UFRGS)

Prof^a. Dra. Andréa Valli Nummer – Suplente (Externo - UFSM)

Tese de doutorado apresentada
ao programa de Pós-
Graduação em Geografia do
Instituto de Geociências da
Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, como requisito
para a obtenção do título de
Doutor em Geografia.

PORTO ALEGRE, FEVEREIRO DE 2017

CIP - Catalogação na Publicação

Scoti, Anderson Augusto Volpato
ESTUDO E ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL COM AUXÍLIO DE
SIG NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA MARIA:
SUDOESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL / Anderson
Augusto Volpato Scoti. -- 2017.
153 f.

Orientador: Luis Eduardo de Souza Robaina.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de
Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, BR-RS, 2017.

1. Bacia Hidrográfica. 2. Estudo Fisiográfico. 3.
Zoneamento Geoambiental. I. Robaina, Luis Eduardo de
Souza, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela oportunidade de crescimento acadêmico e profissional em um dos melhores centros de excelência em ensino superior público deste país.

A meus pais Solange e Vilceu que me apoiaram e me estimularam durante essa “caminhada”. A meus irmãos Silvio, Marta e Tanerson que me deram força e serviram de exemplo.

À Glória pelo amor e paciência.

Ao professor Luis Eduardo de Souza Robaina, que além de um extraordinário orientador é um grande exemplo de pessoa, a qual tive a possibilidade de conviver e desenvolver minhas pesquisas sob sua orientação.

Ao professor Romário Trentin pelos apoio, orientação e grande amizade em todos os momentos.

Aos professores Edgardo Ramos Medeiros e Andréa Valli Nummer que me apoiaram muito durante a execução da pesquisa.

Aos meus amigos do LAGEOLAM, Daniel, Gerson, Débora, Sandro, Fabiano, Paula, Danielli, Igor, Vinicius, Gabriel, Eloisa, Lucas, Rafael e vários outros.

Ao coordenador e professor Roberto Verdum e a secretária Alynni que me ajudaram e me apoiaram durante a execução do Doutorado.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para que o projeto se tornasse realidade.

[...] Ficaram arreios suados e o silêncio de esporas
Um cerne com cor de aurora queimando em fogo de chão
Uma cuia e uma bomba recostada na cambona
E uma saudade redomona pelos cantos do galpão [...]

Quando os versos vem para as casas
(Luiz Marengo)

RESUMO

A utilização massiva dos recursos naturais na atualidade, gera como uma de suas consequências, uma vasta depreciação dos componentes bióticos e abióticos que compõe o planeta Terra. A Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria possui uma diversidade fisiográfica e constantemente vem sofrendo alterações ocasionadas pelas atividades antrópicas. Há uma demanda, por parte de educadores, técnicos e gestores da região, de informações ligadas a questão ambiental, de forma espacializada e georreferenciada. O presente trabalho possui como objetivo geral analisar e elaborar uma proposta de zoneamento geoambiental, utilizando métodos de mapeamentos automáticos na definição dos parâmetros naturais que servem como base para o estudo e zoneamento geoambiental. A metodologia está baseada na proposta metodológica para zonamento Geoambiental desenvolvida por Trentin e Robaina 2005, porém como inovação nesse trabalho, optou-se por utilizar a avaliação do relevo através dos Geomorphons os quais serviram de base para a definição de compartimentos do relevo que cruzados com informações referentes a solo e litologias, originaram um mapa com informações fisiográficas. Através da interpolação do mapa fisiográfico com o mapa de uso e ocupação se obteve o mapa geoambiental. Nos resultados foram apresentadas informações sobre a morfometria da área em estudo, também foram definidas três unidades litológicas, três unidades simplificadas de solo, quatro compartimentos de relevo, quatorze unidades fisiográficas, seis classes de uso e ocupação do solo, ainda sete Sistemas e doze Unidades Geoambientais com isso foi possível definir e discutir sobre as potencialidades e suscetibilidades. A elaboração do zoneamento geoambiental, com base na definição de potencialidades e suscetibilidade, são delimitadas a partir de características homogêneas da área de estudo, é uma importante ferramenta para avaliação e compreensão das alterações ambientais. Dessa forma, foi elaborado um diagnóstico, no qual foram apresentadas características naturais e antrópicas da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria.

Palavras chave: Bacia Hidrográfica; Estudo Fisiográfico; Zoneamento Geoambiental.

ABSTRACT

The massive use of natural resources, generates as one of its consequences, a vast depreciation of the biotic and abiotic components that make up the planet Earth. The Santa Maria River Basin has a physiographic diversity and is constantly undergoing changes caused by anthropic activities. There is an existent demand, by educators, technicians and managers of the region, of information related to different topics in a spatialized and georeferenced. The present work has as general objective to analyze and elaborate a proposal of geoenvironmental zoning, using automatic mapping methods in the definition of the natural parameters that serve as the basis for geoenvironmental study and zoning. The methodology is based on the methodological proposal for Geoenvironmental zoning developed by Trentin and Robaina 2005, but as innovation in this work, it was decided to use the evaluation of the relief through the Geomorphons which served as the basis for the definition of relief compartments that crossed with Information on soil and lithologies, originated a map with physiographic information. Through the interpolation of the physiographic map with the map of use and occupation the geoenvironmental map was obtained. The results were presented with information on the morphometry of the study area, three lithologic units were defined, three simplified soil units, four relief compartments, fourteen physiographic units, six use classes and soil occupation, seven systems and twelve units Geoenvironmental with this it was possible to define and discuss about the potentialities and susceptibilities. The elaboration of geoenvironmental zoning, based on the definition of potentialities and susceptibility, are delimited from homogeneous characteristics of the study area, is an important tool for evaluation and understanding of environmental changes. In this way, a diagnosis was elaborated, in which natural and anthropic characteristics of the Santa Maria River Basin were presented.

Key-Words: River Basin; Physiographic study; Geoenviromental zoning.

Sumário

1	Capítulo 01: Introdução.....	15
1.1	Objetivo geral	20
1.1.1	Objetivos específicos.....	20
1.2	Caracterização da área de estudo	22
1.2.1	Breve histórico da ocupação.....	22
1.2.2	Caraterísticas da produção e organização fundiária	25
1.2.3	Estruturação da tese.....	28
2	Capítulo 02: Fundamentação Teórica	29
2.1	Bacia hidrográfica: conceitos e aplicações	29
2.2	Análise geoambiental	31
2.3	Sistema de informação geográfica aplicado em estudos ambientais	39
2.4	Classificação do relevo com uso de elementos de <i>geomorphons</i>	41
3	Capítulo 03: Procedimentos Metodológicos	49
3.1	Levantamento e processamento de dados	49
3.1.1	Levantamento bibliográfico e cartográfico.....	49
3.1.2	Produção de dados.....	50
3.1.3	Uso do solo	58
3.1.4	Correlação das informações	59
3.1.5	Avaliação das potencialidades e suscetibilidades.....	60
3.1.6	Caracterização geoambiental	61
4	Capítulo 04: Estudos Temáticos	63
4.1	Análise da hidrografia e caracterização morfométrica.....	63
4.1.1	Análise da hidrografia	63
4.1.2	Hipsometria e declividade.....	66
4.2	Análise e caracterização do substrato litológico.....	70
4.2.1	Litologias aflorantes na BHRSM	72
4.2.2	Compartimentação em unidades litológicas.....	79
4.3	Determinação simplificada dos solos presentes na BHRSM.....	85
4.4	Análise do relevo a partir de elementos de <i>Geomorphons</i>	89
4.4.1	Elementos de relevo.....	89
5	Capítulo 05: Compartimentação Fisiográfica	98
5.1	Unidade 1	100
5.2	Unidade 2	101
5.3	Unidade 3	102
5.4	Unidade 4.....	102
5.5	Unidade 5.....	103
5.6	Unidade 6.....	104
5.7	Unidade 7	105
5.8	Unidade 8.....	106
5.9	Unidade 9.....	107
5.10	Unidade 10	108
5.11	Unidade 11	109
5.12	Unidade 12.....	110
5.13	Unidade 13.....	111
5.14	Unidade 14.....	112
6	capítulo 06: Uso e Ocupação do Solo.....	114
6.1	Análise do uso do solo.....	114
7	Capítulo 07 Zoneamento Geoambiental da BHRSM.....	122
7.1	Sistema urbano	125

7.2	Sistema Planície dos Arrozais	125
7.2.1	Unidade Rio Santa Maria.....	126
7.2.2	Unidade Upacarái.....	127
7.3	Sistema Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria	128
7.3.1	Unidade Serra do Sudeste.....	129
7.3.2	Unidade Lavras do Sul	130
7.3.3	Unidade Pampeiro	131
7.3.4	Unidade Saicã	131
7.4	Sistema Uruguai	132
7.5	Sistema de Silvicultura	133
7.5.1	Unidade Tarumã.....	134
7.5.2	Unidade Jaguari	135
7.6	Sistema Pampa	136
7.6.1	Unidade Taquarembó.....	137
7.6.2	Unidade Guará	137
7.6.3	Unidade Cacequi	138
7.6.4	Unidade Rio Bonito.....	139
7.7	Sistema Caverá	140
8	Capítulo 08: Conclusão.....	141
9	Referências	143

LISTA DE FIGURAS

Figura 01:Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria.	21
Figura 02: Mapa indicando a área ocupada por cada município na BHRSM (Fonte: autor, dezembro de 2016).	24
Figura 03: Imagem ilustrando os principais produtos agropecuários da BHRSM. Na imagem “A” podemos observar uma “tropa” de gado bovino; na imagem “B” ovinos criados sobre campos nativos; na figura “C” lavoura sendo preparada para o plantio do arroz; e na imagem ”D lavoura de soja. (Fonte: autor, fevereiro de 2014).	26
Figura 04: Forma de criação de gado. Na figura “A” podemos observar os animais se alimentando com pastagens cultivadas; na imagens “B” os animais se alimentam com pastagens naturais, a qual não recebe nenhum cuidada ligado a adubação e a irrigação. (Fonte: autor, setembro de 2014).	27
Figura 05: Parte de um lote, fruto de reforma agrária, na imagem podemos observar pequenas lavouras de subsistência próximas a residência. (Fonte: autor, fevereiro de 2014).	27
Figura 06: Principais Geomorphons reconhecidos na análise do Relevo. Modificado de Jasiewicz & Stepinski (2013).	55
Figura 07: Fluxograma mostrando a estrutura de organização da análise fisiográfica.(Fonte: autor, dezembro de 2016).	57
Figura 08: Resumo dos procedimentos utilizados para obter o Zoneamento Geoambiental. (fonte: autor).	61
Figura 09: Mapa hidrográfico da BHRSM, e possível notar diferenças entre a densidade e a forma dos canais, essas são características controladas pela litologia. (Fonte: autor).	64
Figura 10: Mapa indicando alguns dos padrões de drenagem encontrados na BHRSM. (Fonte: autor).	65
Figura 11: Mapa mostrando as diferentes altitudes encontradas na BHRSM. (Fonte: autor)	67
Figura 12: Mapa apresentando as declividades das encostas da BHRSM. (Fonte: autor)	69
Figura 13: “A” Fotografia mostrando área próxima a confluência do rio Ibicuí da Armada com o Santa Maria, é possível observar uma declividade baixa, inferior a <2%; “B” imagem com declividades entre 2 e 5%; “C” área com declividade entre 5 e 15%, é possível observar interflúvios mais curtos; “D” encosta com declividade superior a 15%.(Fonte: Autor, fevereiro de 2014).	70
Figura 14: Feições típicas observadas no platô Taquarembó, na imagem é possível observar afloramento de rochas cristalinas no topo de colinas, localizadas a altitudes superiores a 200m. (Fonte: autor, outubro de 2016)	73
Figura 15: Afloramento de ignibrito, na imagem e possível observar um fragmento de rocha já alterado, porém de maneira geral, os ignibritos respresentam rochas resistentes, onde formam mantos de alteração incipientes. (Fonte: autor, julho de 2014)	74
Figura 16: Afloramento de arenito da Fm. Sanga do Cabral. Essas rochas representam importantes sequências sedimentares na BHRSM. Uma das principais características dessa rocha é a presença de mica e a formação de concreções carbonáticas que na imagem aparecem no formato de discos. (Fonte: autor, outubro de 2016).	76
Figura 17: Depósitos marinhos de coloração amarelada, nesse afloramento é possível observar marcas de ondas nas concreções carbonáticas. (Fonte: autor, outubro de 2016).	77

Figura 19: Morro capeado por rocha vulcânica, é possível observar o topo arredondado, típico de feições cobertas por rochas vulcânicas. (Fonte: autor, fevereiro de 2014). ...	79
Figura 18: Compartimentação litológica da BHRSM, no mapa podemos ver a localização das rochas sedimentares, cristalinas e vulcânicas da Serra Geral. (Fonte: autor).....	80
Figura 20: Porção do topo de derrame, é comum observar cristais de quartzo e carbonatos, formados no interior da rocha após seu resfriamento, com a ação do intemperismo sobre a rocha, os cristais, em especial os compostos por quartzo ficam expostos. (Fonte: autor, julho de 2014).	81
Figura 21: Juntas colunares, típicas da porção central dos derrames. (Fonte: autor, julho de 2014).	82
Figura 22: Porção de base do derrame vulcânico, e possível observar as diaclases formando estruturas plano paralelas. (Fonte: autor, julho de 2014).	82
Figura 23: Arenito eólico, nesse afloramento podemos observar que houve o dobramento das camadas, possivelmente uma feição típica de borda de bacia de deposição. (Fonte: autor, julho de 2014).	83
Figura 24: Lamito altamente cimentado com carbonato de cálcio, é possível observar veios de carbonato em meio a rocha. (Fonte: autor, julho de 2014).	84
Figura 25: Contato entre rochas sedimentares, e possível observar a diferença entre os sedimentos, a baixo e com tom mais rosado temos sedimentos de origem marinha e na porção superior, mais alaranjado, temos uma rocha formada através de sedimentos que passaram por transporte fluvial. (Fonte: autor, julho de 2014).	84
Figura 26: Mapa simplificado dos tipos de solo encontrados na BHRSM. (Fonte: autor).	86
Figura 27: Ambiente típico de solos hidromórficos, são porções onde naturalmente ocorre o acúmulo de água, seja o ano inteiro ou apenas nos períodos de maior precipitação. (Fonte: autor, fevereiro de 2014).	87
Figura 28: Solos mal desenvolvido, além de apresentar um pequeno manto de alteração, esse encontra-se com horizonte B incipiente, devido a presença de pequenos blocos de rocha sã. (Fonte: autor, julho de 2014).	88
Figura 29: Perfil de solo bem desenvolvido, é possível observar um espesso manto de alteração (1,5 a 2 metros). (Fonte: autor, fevereiro de 2014).	89
Figura 30: Distribuição espacial dos geomorphons na BHRSM. (Fonte: autor).....	92
Figura 31: Compartimentos do relevo, obtidos através da predominância dos diferentes geomorphons, classificados para a BHRSM. (Fonte: autor).	93
Figura 32: Nesta imagem podemos observar uma vasta área plana, forma de relevo típica do Compartimento 1, neste compartimento temos o predomínio do elemento Flat, onde ocorrem predominantemente processos de deposição. (Fonte: autor, outubro de 2016).	94
Figura 33: Colinas suaves, forma típica do Compartimento 2, são áreas com amplos interflúvios e com predominância de declividades entre 2 e 5%. (Fonte: autor, fevereiro de 2014).	95
Figura 34: Formas típicas do Compartimento 3, na imagem é possível observar formas de mais abruptas quando comparadas as formas comuns a outras unidades já vistas. (Fonte: autor, fevereiro de 2014).	96
Figura 35: Formas de relevo típicas encontradas no compartimento 4, as formas são onduladas e em alguns casos abruptas, as diferenças em relação as demais unidades se dá pelo fato do predomínio e da distribuição dos elementos do relevo. (Fonte: autor, outubro de 2016).	97
Figura 36: Mapa fisiográfico da BHRSM, através desse mapa podemos ver a distribuição espacial das unidades. (Fonte: autor).....	99

Figura 37: Imagens GeoEye, mostrando algumas características da unidade 1, onde é possível observar áreas planas e nas porções próximas a algumas nascentes a formação de feições que demonstram maior resistência do substrato. (Fonte: autor, outubro de 2016 e Google Earth)	100
Figura 38: : Imagem mostrando a hidrografia encaixada e um relevo ondulado. (Fonte: autor, outubro de 2016 e Google Earth)	101
Figura 39: Na imagem é possível observar os interflúvios mais curtos que caracterizam a unidade. (Fonte: autor, outubro de 2016 e Google Earth).....	102
Figura 40: Imagens onde se observa um relevo fortemente ondulado com interflúvios, relativamente, mais curtos. (Fonte: autor, outubro de 2016 e Google Earth).....	103
Figura 41: Porções de relevo com elevações e vales encaixados, características comuns nas áreas do divisor de água. (Fonte: autor, outubro de 2016 e Google Earth)	104
Figura 42: Imagem mostrando colinas com vales encaixados da unidade Santa Maria Chico. (Fonte: autor, outubro de 2016 e Google Earth)	105
Figura 43: Áreas planas as margens do canal principal do rio Santa Maria, onde o terreno é alagadiço e com uso de plantio de arroz. (Fonte: autor, outubro de 2016 e Google Earth).....	106
Figura 44: Imagens mostrando o relevo plano e alagadiço característico da unidade Rio Ibicuí da Armada. (Fonte: autor, outubro de 2016 e Google Earth)	107
Figura 45: Imagem onde é possível observar o terreno plano e a presença de degraus na meia encosta, características dessa unidade. (Fonte: autor, outubro de 2016 e Google Earth).....	108
Figura 46: Imagens mostrando relevo plano, onde ocorrem amplos interflúvios. (Fonte: autor, outubro de 2016 e Google Earth)	109
Figura 47: Na imagem é possível observar as nascentes bem encaixadas e o desenvolvimento de processos erosivos acelerados junto as cabeceiras. (Fonte: autor, outubro de 2016 e Google Earth)	110
Figura 48: Imagens onde podemos observar a existência de elevações, classificados como morrotes, marcando um relevo residual devido a maior resistência do arenito. (Fonte: autor, outubro de 2016 e Google Earth)	111
Figura 49: Na imagem podemos observar a grande presença de processos erosivos junto as cabeceiras dos canais. (Fonte: autor, outubro de 2016 e Google Earth).....	112
Figura 50: Elevações típicas de substrato de rocha vulcânica, com os topos planos e vales encaixados em falhas ou fraturas. (Fonte: autor, outubro de 2016 e Google Earth)	113
Figura 51: Mapa do uso e ocupação do solo em dezembro de 2015. (Fonte: autor). 115	
Figura 52: Imagem mostrando campo, são áreas onde o gado é criado solto e a densidade de animais é baixa, visto que se alimentam apenas do pasto que se desenvolve naturalmente. (Fonte: autor, fevereiro de 2014).	116
Figura 53: Imagem de iLavoura de soja, as áreas cultivadas com lavouras vem aumentando nos últimos anos na BHRSM. (Fonte: autor, fevereiro de 2014).....	117
Figura 54: Imagem mostrando áreas onde ocorrem plantio de pastagem, no período de safra essas áreas são ocupadas em geral pelo cultivo de soja. (Fonte: autor, julho de 2014).	118
Figura 55: Áreas com florestas nativas na BHRSM, os representantes arbóreos arbustivos localizam-se preferencialmente nas margens dos rios sendo caracterizadas como matas de galerias (A) ou nas áreas com declividades acentuadas (B). (Fonte: autor, fevereiro de 2014).....	118
Figura 56: Imagens mostrando áreas ocupadas com Silvicultura. (Fonte: autor, outubro de 2016).....	119

Figura 57: Corpos de água na BHRSM. Na imagem “A” podemos observar um reservatório construído; na imagem “B” é possível ver um segmento do canal do rio Ibicuí da Armada. (Fonte: autor, outubro de 2016).....	120
Figura 58: Avenida das Areias Brancas em Rosário do Sul. (Fonte: autor, janeiro de 2013).	120
Figura 59: Caminhão utilizado no transporte da areia retirado do Rio Santa Maria em Rosário do Sul, essa atividade de extração é fonte de renda de muitas famílias que moram próximas ao rio (ao fundo moradias do bairro Progresso). (Fonte: autor, dezembro de 2012).....	121
Figura 60: Mapa geoambiental da BHRSM, na imagem podemos observar a integração de informações do ambiente natural e antrópico. (Fonte: autor).....	124
Figura 61: : Área plana com rizicultura da unidade Fisiografica Rio Santa Maria (Fonte: autor, fevereiro de 2014).	127
Figura 62: Área plana localizada no médio curso da BHRSM, essa forma de relevo é mantida pela rocha, composta de sedimentos finos, provindos de sedimentação marinha. (Fonte: autor, outubro de 2016).....	128
Figura 63: Relevo com colinas suaves sobre substrato litológico composto por rochas cristalinas, onde é possível observar na imagem rochas aflorando. (Fonte: autor, outubro de 2016).	129
Figura 64: Área com relevo suave e solos bem desenvolvidos sobre litologias cristalinas. (Fonte: autor, outubro de 2016).	130
Figura 65: Área com substrato litológico composto por arenitos, solos são bem desenvolvidos, com processos erosivos junto a hidrografia. (Fonte: autor, fevereiro de 2014).	131
Figura 66: Imagem apresentando áreas com colinas e áreas planas próximas aos interflúvios dos tributários do rio Santa Maria, pode-se observar que a ocupação se dá com campos e lavouras. (Fonte: autor, julho de 2014).	132
Figura 67: Cornijas de arenitos cimentados com óxido de ferro, feições são comuns na porção sul da BHRSM. (Fonte: autor, fevereiro de 2014).....	133
Figura 68: Imagem mostrando áreas com silvicultura sobre litologias e solos arenosos bem desenvolvidos. (Fonte: autor, outubro de 2016).	135
Figura 69: Áreas com silvicultura sobre litologias cristalinas e solos mal desenvolvidos. (Fonte: autor, outubro de 2016).	136
Figura 70: Imagem mostrando áreas que ocorrem colinas em litologias sedimentares, solos mal desenvolvidos, interflúvios curtos e a hidrografia encaixada. (Fonte: autor, outubro de 2016).	137
Figura 71: Afloramento de arenito da Fm. Guará, com solos de perfil mal desenvolvido. (Fonte: autor, fevereiro de 2014).	138
Figura 72: Na imagem podemos observar carapaças de carbonato de cálcio, solos hidromorfismo, devido a impermeabilidade ocasionada pela rocha. (Fonte: autor, outubro de 2016).	139
Figura 73: Elevações típicas da Serra do Caverá, rochas vulcânicas da Fm. Serra Geral, solos mal desenvolvidos. É uma área com potencial para o desenvolvimento de um turismo pelas belezas cênicas. (Fonte: autor, fevereiro de 2014).	140

LISTA DE SIGLAS

BHRSM – Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria
CGSMC – Complexo Santa Maria Chico
CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DSG – Diretoria de Serviço Geográfico
ET – Elementos do Terreno
FEE – Fundação de Economia e Estatística
Fm. – Formação
FT – Formas de Terreno
GIS – Geographic Information System
GPS – Global Positioning System
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IUGS – International Union of Geological Science
LandSat – Land Remote Sensing Satellite
LTP – Local Ternary Patterns
LAGEOLAM/UFMS – Laboratório de Geologia Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria
MCE – Multi Criteria Evaluation
MDE – Modelo Digital de Elevação
PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos
SIG – Sistema de Informações Geográficas
ZEIS – Zonas Especiais de Interesse Social

1 CAPÍTULO 01: INTRODUÇÃO

No âmbito da Geografia é de grande importância entender a relação sociedade/natureza, pois hoje não existe área natural que não tenha sofrido a influência humana, através dos diferentes meios de atuação antrópica sobre o meio natural. A transformação do meio pelo homem, em áreas com suscetibilidades ambientais resulta na degradação ambiental.

Ante o exposto, Ross (2006, p. 203) destaca que a realização de projetos de planejamento territorial ambiental devem ter como base "...as preocupações com a preservação ambiental, conservação dos bens naturais recuperação de áreas degradadas". Portanto os diagnósticos ambientais visam conhecer os mecanismos de funcionamento dos mais diversos ambientes.

Nos trabalhos de análise ambiental os mapeamentos fisiográficos (GUERRA, 1968) são ferramentas de destaque, pois fisiografia indica – *physis* – natureza e *grafos* – descrição, isso possibilita auxiliar nos trabalhos de planejamento e ordenamento territorial.

Dessa forma, deve se discutir os fenômenos da superfície terrestre, a partir de sua natureza heterogênea, tendo em vista o diagnóstico das potencialidades e suscetibilidades ambientais de maneira integrada. Esse tipo de estudo apresenta as interações entre processos e formas, que ao se agrupar formam um ambiente¹ complexo, com relações e inter-relações entre Homem/Natureza.

Os estudos ambientais, podem ser apresentados de várias formas, tais como estudos, análises e zoneamentos. Os zoneamentos, ganham destaque, visto que representam estudos complexos, onde muitas variáveis são analisadas.

Segundo Ab'Saber (1987), o conceito de zoneamento exige uma série de entendimentos prévios, sendo que sua aplicação ou utilização, em relação a um determinado espaço geográfico, exige método, reflexão e estratégias próprias.

¹ Conforme Ribeiro (1991), ambiente pode ser considerado um produto da interação dos processos físicos e químicos, cuja dinâmica diz respeito aos processos internos daqueles sistemas, os quais podem sofrer direta ou indiretamente a ação antrópica.

Os princípios do zoneamento, quando aplicáveis a uma determinada área, requerem uma multidisciplinaridade plena, pelo fato de pretender identificar as potencialidades específicas ou preferenciais de cada um dos subespaços ou subáreas do ambiente em estudo. Para que sejam estabelecidas as bases desse processo, dentro de uma dada conjuntura, é necessário realizar uma pesquisa que vise determinar a vocação de todos os subespaços que compõem um certo ambiente e efetuar o levantamento de suas potencialidades a partir de um enfoque “ecodesenvolvimentista²”.

Conforme o IBGE (1986), o objetivo principal do processo de zoneamento, numa primeira instância, é realizar divisões e classificações do espaço, baseadas em fatores ecológicos, econômicos e sociais e, através do cruzamento dessas ordens de fatores, identificar diferentes zonas, com sua problemática específica, que serão objetos de propostas e diretrizes.

Além disso, visa a organização do espaço no interior de cada unidade, com a indicação das áreas de preservação e das áreas liberadas à ocupação, obedecendo aos princípios de uma política ambiental voltada para assegurar a eficiência produtiva dos espaços e preservar os fluxos vivos da natureza.

Portanto, o modelo de zoneamento para ordenação de um determinado ambiente depende dos objetivos e do tipo de indicadores e interações utilizadas na análise. O modelo de zoneamento que foi realizado, de caráter geoambiental, constituiu-se em uma bacia hidrográfica, baseado na identificação e caracterização do meio natural e/ou antropizado, visando o uso racional do espaço geográfico. O zoneamento permitiu identificar os usos atuais inadequados, assim como orientar adequadamente a ocupação de ambientes.

Para a compreensão da definição do termo zoneamento geoambiental, é necessário o conhecimento prévio do significado do termo geoambiental. Nesse trabalho, conforme o conceito adotado por Aswathanarayana em 1995, onde entende-se que “geoambiental” “[...] refere-se às porções da Terra afetadas pelas atividades humanas. É composta por rochas, solos, fluídos, gases e organismos”.

² O termo ecodesenvolvimento foi pronunciado pela primeira vez na conferência sobre meio ambiente em 1972, e em sua forma mais elementar significa transformar o desenvolvimento numa soma positiva com a natureza, propondo que tenha por base o tripé, justiça social, eficiência econômica e prudência ecológica (Meio Ambiente e Sociedade).

De posse dessa definição, pode-se considerar o zoneamento geoambiental, segundo Jimenez-Rueda *et al.* (1995), como uma ferramenta de análise sistemática de uma área, constituído pelo exame de diversas variáveis do meio, dentre elas, as litológicas, fisiográficas, climáticas, morfoestruturais, de cobertura da terra, e de alteração intempérica.

O mapeamento geoambiental, mostra a espacialização hierárquica distribuída em Sistemas e Unidades, com as principais características do meio, a fim de definir as condições de limitações de uso e as consequentes potencialidades. Dessa forma, as informações sobre os temas geológicos, do relevo, pedológicos e de uso e ocupação, além de questões pertinentes a degradação e as áreas de proteção ambiental, são temáticas norteadoras de estudos geoambientais. As informações pesquisadas são representadas em um mapa final, onde são espacializadas as potencialidades e suscetibilidades para o uso e ocupação humano.

Nos trabalhos de zoneamento, o auxílio de geotecnologias permite o cruzamento de informação dos diferentes temas através da criação de um banco de dados. Os dados são ordenados de forma lógica e podem ser desenvolvidas uma ampla gama de análises sofisticadas, permitindo a avaliação de situações ambientais com uma precisão adequada e com economia apreciável do esforço humano na coleta e reorganização dos dados. Dessa forma, os zoneamentos ambientais obtiveram novas possibilidades de análises espaciais dos critérios utilizados para a delimitação das diferentes unidades.

Trabalhos de zoneamento geoambiental têm sido desenvolvidos na Geografia utilizando limites municipais e de bacias hidrográficas como áreas de estudo, buscando contribuir com planejamentos.

Como exemplo de trabalhos que utilizam o limite municipal para análise, pode-se citar os trabalhos no município de Vitória da Conquista inserido na mesorregião Centro Sul Baiano (MAIA, 2005); no município de Horizonte, localizado na Região Metropolitana de Fortaleza (ALBUQUERQUE, 2012); o mapeamento e zoneamento geoambiental do município de Sorriso-MT (CABRAL, 2014); zoneamento geoambiental do município de Praia Grande (SP) (SOUZA, 2010); a elaboração de zoneamentos geoambientais fundamentados em uma análise sistêmica, da área urbana do município de Cubatão-SP (PINTON 2011); a elaboração da Carta Geoambiental da Zona Turística do Vale

do Pati, (CEZAR, 2011); o trabalho de Pilachevsky (2013) que propõem um estudo de caso no município de São João da Boa Vista (SP) com a delimitação de zonas geoambientais por meio da compartimentação fisiográfica, e do mapeamento do uso e cobertura da terra e o trabalho de Schirmer (2015) que analisou e compartimentou, através do zoneamento geoambiental a área da organização denominada Consórcio de Desenvolvimento Sustentável da Quarta Colônia do RS (Condesus/Quarta).

Quanto a trabalhos em bacias hidrográficas, podemos citar De Nardin (2009), que apresentou como tema o zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas afluentes do Rio Ibicuí, no sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul; o trabalho de Silva (2009) que fez uma análise geoambiental das bacias hidrográficas federais do Bioma Cerrado no Estado de Minas Gerais; Florencio (2010) que fez análise geoambiental na bacia hidrográfica do Ribeirão Bora, Sacramento/Conquista (MG), buscando estabelecer categorias por meio da integração das variáveis naturais; o Mapeamento geomorfológico e caracterização geoambiental da bacia hidrográfica do Rio Itu – Oeste do Rio Grande do Sul de Trentin (2011); os estudos do rio Coxipó, MT (COUTO,2011) buscando promover sua preservação, recuperação dos recursos naturais; o Zoneamento ambiental como subsídio para o ordenamento do território da bacia hidrográfica do rio Salobra, Serra da Bodoquena – MS de Silva Neto (2013); e o zoneamento geoambiental da bacia hidrográfica do rio Ibicuí da Armada-RS, indicando potencialidades e suscetibilidade (SCCOTI, 2015)

A partir do expostos, traz-se a proposta do Estudo e Zoneamento Geoambiental para a Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria (BHRSM), utilizando-se como base metodológica os trabalhos desenvolvidos pelo grupo de pesquisa LAGEOLAM/UFSM, incorporando SIG e geoprocessamento, que permitem cruzamentos de forma automatizada de diferentes temas do meio, sendo os *geomorphons* e a fisiografia alguns desses e, também, a principal contribuição deste trabalho na elaboração dos Zoneamentos Geoambientais.

A BHRSM possui uma diversidade fisionômica do ambiente, com as características geológicas-geomorfológicas que integram a Depressão Periférica, o Planalto da Campanha e uma pequena parte do Escudo sul-riograndense, diferenciando-se na suscetibilidade a processos de dinâmica superficial e de uso e ocupação do solo.

A ocupação agrícola dessa região, desde seu início vem gerando conflitos ambientais por não respeitar as áreas com restrições ambientais. Ocupações agrícolas em áreas de encostas sobre substrato rocha/solo friáveis e junto as margens de rios, em especial o rio Santa Maria, vem alterando os aspectos fisionômicos do ambiente natural, fazendo-se necessário para entender os processos superficiais informações espacializadas sobre os diversos elementos que compõem o ambiente.

Dessa forma, como os estudos geoambientais, permitem uma visão ampla do ambiente (natural e antrópico), contribuem para um desenvolvimento ambientalmente sustentável e para o auxílio na solução de problemas derivados da relações estabelecidas entre o homem e a natureza.(Cendero, 1990).

O desenvolvimento de estudos geoambientais baseiam-se na análise de elementos do meio natural com componentes antrópicos estabelecendo uma compartimentação onde, dividem-se por um ou mais aspectos fisiográficos ou de uso e ocupação do ambiente, apresentados de forma espacializada e georreferenciada. Este tipo de trabalho tem sido demandado por parte de educadores, técnicos e gestores da região. Para pensar e implementar projetos e planejamentos, é preciso que se apreenda com a maior precisão possível as várias dimensões da realidade geográfica da área.

Portanto, este trabalho se justifica por apresentar diferentes temas estudados na bacia hidrográfica, utilizando metodologias que ampliam a automatização dos cruzamentos (geomorphons e fisiografia definidos automaticamente e com métodos peculiares) e buscar definir, as áreas com suscetibilidades e potencialidades do ambiente.

A partir da problemática e da justificativa, abordadas acima, tem-se como hipótese, averiguar se a utilização de uma metodologia de cruzamentos automatizados com base em uma árvore de decisão, são eficientes na definição de compartimentos fisiográficos e geoambientais.

1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar as variáveis que compõem o meio, os usos e as ocupações humanas e elaborar uma proposta de zoneamento geoambiental, utilizando métodos de mapeamentos automáticos, como os *geomorphons* e com base em árvores de decisão.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Caracterizar os elementos do meio, como rede hidrográfica, litologias, pedologia e compartimentos de relevo (baseado nos *geomorphons*), e espacializar os resultados;
- Representar aspectos fisiográficos (litologia, pedologia e compartimentos do relevo) com a utilização de SIG e geoprocessamento;
- Analisar e identificar o uso e ocupação do solos, através da interpretação automática de imagens de satélites de dezembro de 2015;
- Realizar cruzamentos entre as variáveis analisadas (fisiografia e uso e ocupação) utilizando técnicas de automatização;
- Avaliar as informações referentes às relações entre aspectos do meio e antrópico com o intuito de indicar as potencialidades e suscetibilidade do ambiente;
- Propor a utilização da metodologia de zoneamento geoambiental como alternativa de geração de informação que possa ser disponibilizada e utilizada pela sociedade.

O estudo utiliza como unidade espacial de análise a Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria, localizado no sudoeste do Rio grande do Sul (Figura 01), abrangendo o município de Dom Pedrito e parte das unidades municipais de Cacequi, Lavras do Sul, Rosário do Sul, São Gabriel e Sant'Ana do Livramento.

LOCALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA MARIA - BHRSM

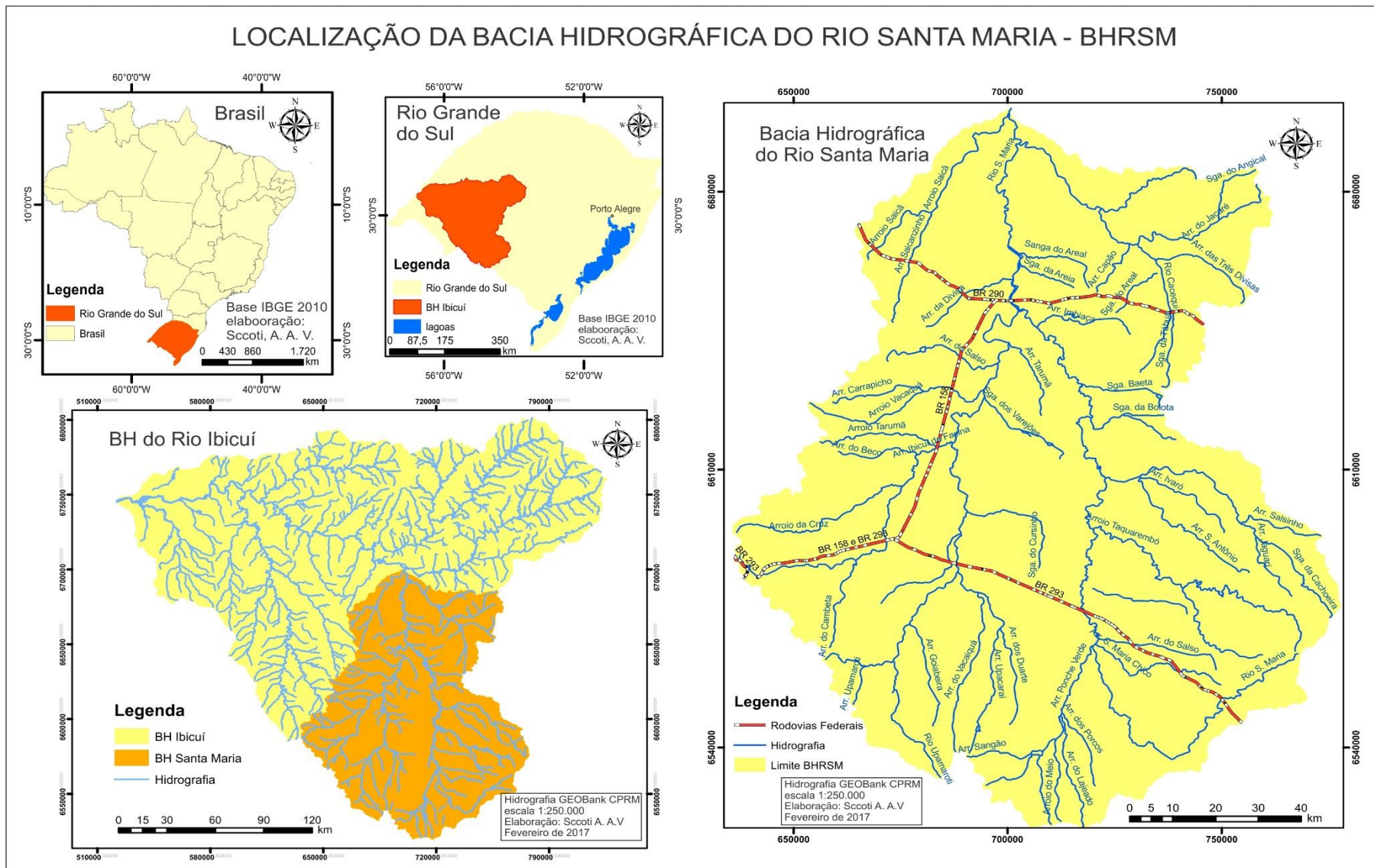


Figura 01:Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria.

1.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Nesse ítem abordaremos algumas características da BHRSM, como as principais condições de tempo e clima, breve descrição da gênese da ocupação, estrutura fundiária e alguns dados econômicos dos municípios abrangidos pela Bacia Hidrográfica.

1.2.1 Breve Histórico da Ocupação

A porção do estado do Rio Grande do Sul, onde localiza-se a BHRSM, foi inicialmente ocupada por índios Charruas e Minuanos, que caracterizavam-se por ser nômades ou semi-sedentários, tendo sua sobrevivência baseada na coleta e na caça. Ocupavam a Banda Oriental da Republica Oriental do Uruguai e os pampas Argentinos e sul-riograndense (Garcia & Milder 2012).

Com a chegada dos povos Ibéricos no continente Americano as etnias indígenas sofreram retalhações e aculturação por parte dos europeus. Algumas etnias aceitaram de forma pacifica o contato com o homem branco e outros como os Charruas e os Minuanos mostraram-se contrários ao domínios impostos, como consequência foram praticamente dizimados, os poucos restantes foram inseridos na cultura europeia ou viviam as margens da sociedade de forma clandestina (Garcia & Milder 2012).

As primeiras Estâncias, forma inicial de ocupação por parte dos povos Europeus, eram porções extensas de terra, concedidas a militares que trabalhavam no reconhecimento e proteção deste novo território, sendo assim, os municípios que tem suas áreas dentro da BHRSM, tiveram sua gênese a partir de estâncias e pequenos povoados. Cabe salientar que diferente dos demais municípios da BHRSM, Cacequi teve forte influência, no seu desenvolvimento, de atividades ligadas a viação férrea, pois era um polo local, onde a cidade se desenvolveu no entorno de uma estação.

Na tabela 01, pode-se observar algumas características dos municípios que tem parte ou toda sua área sobre os terrenos drenados pela BHRSM. As informações são referentes ao ano de emancipação, população estimada para 2016, área total e por fim área que ocupa na BHRSM.

Tabela 01: Características gerais dos municípios que tem parte de suas áreas nos domínios da BHRSM.

Nome	Ano da emancipação	População estimada para 2016	Área Total em km²	Área na BHRSM em km²	Porcentagem na BHRSM
Sant'Ana Livramento	1857	82.631	6.950,34	3.035,39	43,67
Rosário do Sul	1876	40.750	4.369,64	3.035,25	69,43
Dom Pedrito	1872	39.853	5.192,00	5.192,00	100
Cacequi	1944	13.616	2.369,94	1.139,97	48,10
São Gabriel	1859	62.874	5.023	2.393,61	47,65
Lavras do Sul	1882	7.820	2.600,6	1.236,35	47,54

(Fonte: IBGE)

Na figura 02, podemos observar a distribuição dos municípios no interior da BHRSM, podemos observar que as maiores porções, são ocupadas pelos municípios de Sant'Ana do Livramento, Rosário do Sul e Dom Pedrito.

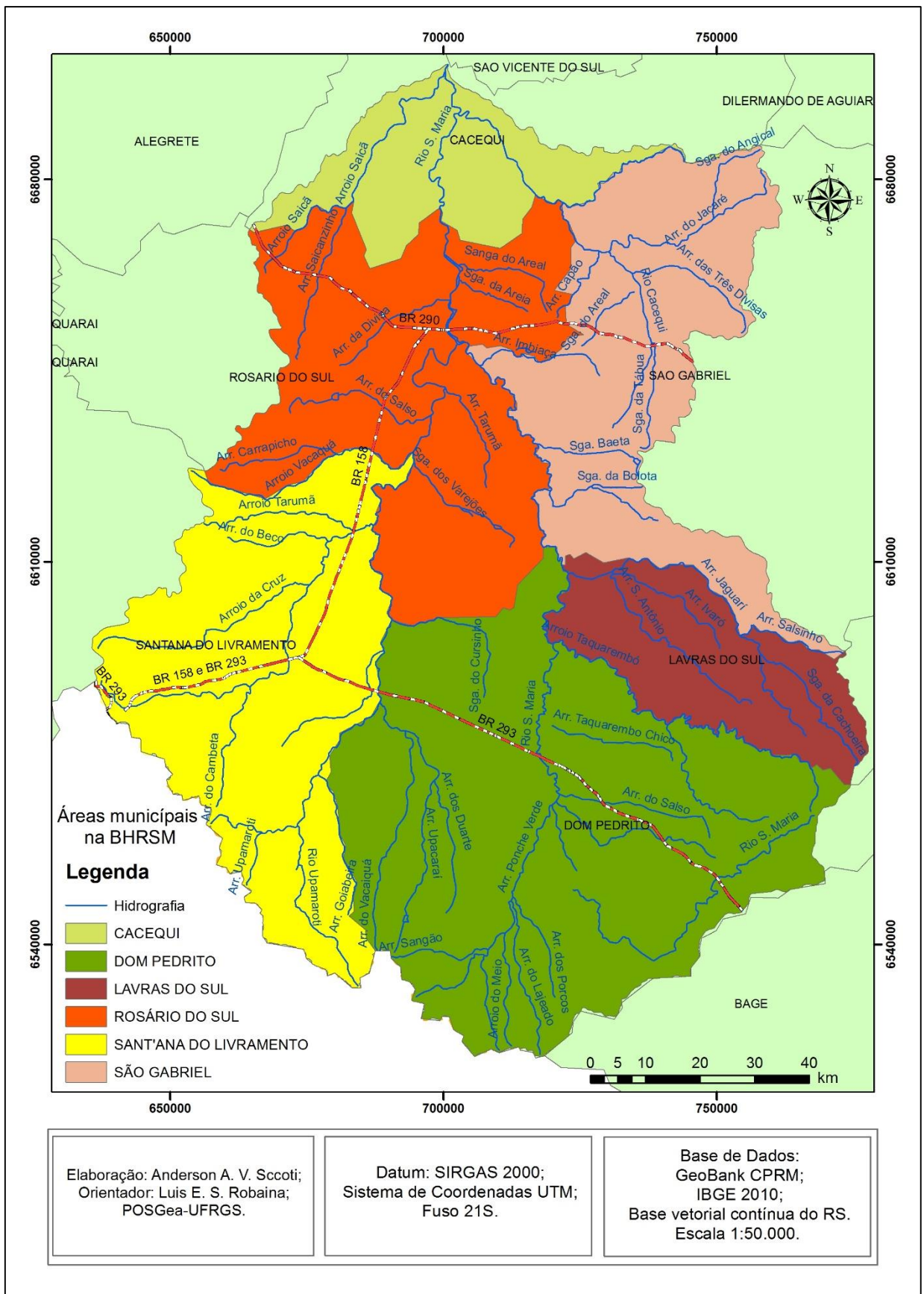


Figura 02: Mapa indicando a área ocupada por cada município na BHRSM (Fonte: autor, dezembro de 2016).

1.2.2 Características da produção e organização fundiária

Analisar as fases e as formas de ocupação do território nos permite avaliar a pressão que os modelos de exploração exercem sobre a área de estudo. Para a avaliação do Uso e Ocupação da BHRSM, foram analisadas imagens e validados através de trabalhos de campo. Na tabela 02, pode-se observar os principais produtos dos municípios que tem parte de suas áreas na BHRSM.

Tabela 02: Principais produtos agropecuários dos municípios da BHRSM, para o ano de 2015.

PRINCIPAIS PRODUTOS AGROPECUÁRIOS					
Município	Arroz/ Toneladas	Silvicultura/ metros cúbicos	Soja/Toneladas	Bovinos/ Cabeças	Ovinos/Cabeças
Sant'Ana do Livramento	74.767	46.000	96.000	648.341	414.175
Rosário do Sul	171.200	12.500	73.920	345.174	153.136
Dom Pedrito	168.720	51.000	419.521	374.411	133.170
Cacequi	115.500	11.000	53.000	159.028	20.683
São Gabriel	225.150	96.500	252.200	338.465	114.100
Lavras do Sul	20.770	4.801	48.600	270.815	129.474

(Fonte: IBGE)

A estrutura fundiária na BHRSM segue a lógica da história da ocupação em estâncias e, portanto, é composta, na maioria dos casos, por grandes propriedades, onde as atividades estão ligadas a produção de arroz, soja e gado bovino e ovino (Figura 03). Segundo a Embrapa são propriedades que variam de 30 ou mais módulos rurais (no oeste do RS um módulo equivale a 28ha).



Figura 03: Imagem ilustrando os principais produtos agropecuários da BHRSM. Na imagem “A” podemos observar uma “tropa” de gado bovino; na imagem “B” ovinos criados sobre campos nativos; na figura “C” lavoura sendo preparada para o plantio do arroz; e na imagem “D” lavoura de soja. (Fonte: autor, fevereiro de 2014).

Na agricultura, a utilização de maquinários agrícolas, necessita pouca mão-de-obra fazendo que parte da população rural, que não detém grandes extensões de terra, são obrigados a migrar para as cidades, em busca de melhores condições financeiras. Nos centros urbanos acabam ocupando locais impróprios (margens de rio e áreas úmidas) e são vítimas de desastres naturais, como as enchentes que atingem Cacequi, Rosário do Sul e Dom Pedrito.

A criação de gado na BHRSM é realizada de forma intensiva e extensiva (Figura 04). Intensiva quando o gado (bovino e ovino) é criado em pastagens plantadas, o tempo de engorda do gado é menor e os rendimentos são maiores, na maior parte dos casos, essas pastagens são cultivadas no período entressafra, ocupando assim lavouras onde são cultivadas soja e arroz. Na forma de criação extensiva os animais são criados soltos sobre campo nativo, pode-se dizer que essa forma de criação é a desenvolvida a mais tempo nos domínios da BHRSM, nesse sistema não há gastos financeiros com o cultivo de lavouras de pastagens, em contra partida os rendimentos são menores.

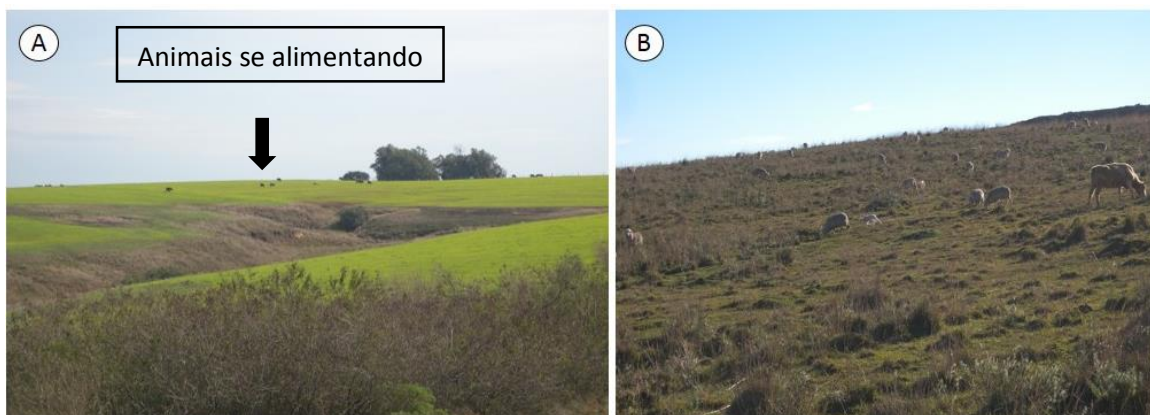


Figura 04: Forma de criação de gado. Na figura “A” podemos observar os animais se alimentando com pastagens cultivadas; na imagens “B” os animais se alimentam com pastagens naturais, a qual não recebe nenhum cuidada ligado a adubação e a irrigação. (Fonte: autor, setembro de 2014).

As pequenas propriedades são pouco expressivas na BHRSM, estando ligadas principalmente a assentamentos da reforma agrária ou em porções da bacia hidrográfica onde não há possibilidade de mecanização da agricultura, geralmente ligada a porções com relevo acidentado.

Os assentamentos rurais da reforma agrária ocupam 225,57 km² dos 15.748 km². Segundo dados do INCRA o município que detém o maior número de assentamentos rurais nos domínios da BHRSM é Sant’Ana do Livramento, onde os assentamentos ocupam 186,03 km².

Nas áreas ocupadas por pequenas propriedades (Figura 05), é possível observar uma maior diversificação na produção rural, pois as lavouras de subsistência são compostas de milho, mandioca, feijão e etc. Os animais criados nessas propriedades são utilizados para a alimentação familiar e para o abastecimento de leite.



Figura 05: Parte de um lote, fruto de reforma agrária, na imagem podemos observar pequenas lavouras de subsistência próximas a residência. (Fonte: autor, fevereiro de 2014)

1.2.3 Estruturação da Tese

O trabalho foi estruturado em 8 (oito) capítulos, além das referências bibliográficas. O primeiro capítulo apresenta as assertivas que justificam e motivam os estudos, indicando os objetivos do trabalho, a localização do objeto de pesquisa e ainda um breve histórico da ocupação na BHRSM. No segundo capítulo refere-se as bases teóricas que sustentaram o estudo, e que abordam, bacia hidrográfica, estudos geoambientais na análise das paisagens, a utilização de SIG como ferramenta para os estudos ambientais e a automatização nos estudos de relevo. O terceiro capítulo trata dos procedimentos metodológicos e operacionais que foram empregados durante a pesquisa, com destaque a uma nova proposta metodológica (na definição das unidades de relevo). Nesse capítulo foram descritos todas as etapas para a elaboração do zoneamento geoambiental. No quarto capítulo são apresentados os estudos temáticos, onde foram apresentados os elementos do meio, como a rede de drenagem, o relevo (*Geomorphons*), as litologias e os solos. O quinto capítulo apresenta os resultados dos cruzamentos dos dados fisiográficos e a compartimentação da bacia hidrográfica. No sexto capítulo são evidenciados os usos e o processo de ocupação que configuram a utilização humana na área de estudo. No sétimo capítulo procede-se a elaboração do zoneamento geoambiental, com a descrição das potencialidades e suscetibilidades dos sistemas e unidades, utilizando-se da cartografia de síntese para compor a integração dos levantamentos executados no decorrer da pesquisa. No oitavo capítulo são apresentadas as conclusões sobre a execução da pesquisa e recomendações finais com os encaminhamentos da continuidade da pesquisa.

2 CAPÍTULO 02: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esse capítulo apresenta o levantamento bibliográfico que serviu de base para o desenvolvimento da pesquisa, está dividido em diferentes temas que são importantes para fundamentar o trabalho. Inicia com uma discussão sobre o uso da bacia hidrográfica estabelecido no trabalho, apresenta estudos que utilizam o zoneamento ambiental, com ênfase ao geoambiental, indicando metodologias utilizadas e finaliza com a análise do uso de ferramentas de SIG e geoprocessamento para zoneamentos e compartimentações ambientais.

2.1 BACIA HIDROGRÁFICA: CONCEITOS E APLICAÇÕES

Na literatura, são muitos os conceitos encontrados para o termo bacia hidrográfica. Resumidamente pode-se defini-la, como sendo a área de captação da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um ponto de saída ou exutório. De acordo com Tucci (1997) as bacias hidrográficas são compostas basicamente de um conjunto de superfícies (vertentes) e de uma rede hidrográfica formada por cursos d'água que confluem até resultar em um leito único.

Segundo Christofolletti (1980), as bacias hidrográficas são compostas por um conjunto de canais de escoamento de água. A quantidade de água que a bacia hidrográfica vai receber depende do tamanho da área ocupada pela bacia hidrográfica e por processos naturais que envolvem precipitação, evaporação, infiltração, escoamento, etc. Também compreendida como rede hidrográfica, a mesma é uma unidade natural que recebe a influência da região que drena, é um receptor de todas as interferências naturais e antrópicas que ocorrem na sua área tais como: topografia, vegetação, clima, uso, ocupação e etc. Assim um corpo de água é o reflexo da contribuição das áreas no entorno, que é a sua bacia hidrográfica.

Conforme Santos *et al.* (2005), a água constitui um dos elementos físicos mais importantes do ambiente terrestre, interligando fenômenos da atmosfera inferior e da litosfera, interferindo na vida vegetal-animal, a partir da interação com os demais elementos do seu ambiente. Encostas, topos e fundos de vales, canais, corpos de água subterrânea, sistemas de drenagem urbanos, entre

outras unidades espaciais, estão interligados como componentes das bacias hidrográficas.

Os estudos realizados em bacias hidrográficas, cada vez mais, são fundamentais para compreensão do ambiente e devem ter como finalidade, atender as necessidades de inclusão da sociedade nesse processo de conhecimento sobre a possibilidade de se explorar de forma sustentável os seus recursos.

Sob o ponto de vista político, as bacias hidrográficas revelam-se excelentes áreas de estudos, sendo consideradas como Unidades de Planejamento, asseguradas pela Lei nº. 9.433/97 (Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH), que em seu art. 1º, comenta que:

“... a água é um bem de domínio público; e um recurso natural limitado, dotado de valor econômico; em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos e o consumo humano e a dessedentação de animais; a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas; a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos; a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.”

Portanto, estudos em bacias hidrográficas tem a possibilidade de elaborar um diagnóstico ambiental referente as condições do meio em que a bacia está submetida e apontar para um uso racional de suas terras. Conseqüentemente torna-se possível adotar ações em médio e longo prazo, conforme as necessidades, com o objetivo de prevenir possíveis formas de degradação.

O modo como se organiza a estrutura de uma bacia obedece a ordem natural de menor e maior volume de seus cursos, que segue da parte mais alta para as partes mais baixas. Sobre isto, Guerra & Cunha (1996, p.353), dizem:

“... as bacias hidrográficas integram uma visão conjunta do comportamento das condições naturais e das atividades humanas nelas desenvolvidas uma vez que, mudanças significativas em qualquer dessas unidades, podem gerar alterações, efeitos e / ou impactos a jusante e nos fluxos energéticos de saída (GUERRA; CUNHA, 1996, p.353)”.

A partir disso, entende-se que as bacias hidrográficas são tratadas como unidades geográficas onde os elementos naturais se integram. Dessa forma,

optou-se pela escolha da bacia hidrográfica como unidade de análise, uma vez que, constitui uma unidade de fácil reconhecimento e caracterização. Por outro lado, é indispensável compreender o recorte político-administrativo no qual encontram-se inseridas as bacias hidrográficas, uma vez que, são utilizados dados socioeconômicos que se fundamentam nos limites administrativos.

Frente à grande diversidade de características do meio, inscritas numa bacia hidrográfica, e tendo como objetivo a definição de bases mais consistentes para o planejamento ambiental, Silva (1978) propôs com base espacial unidades topográficas individualizadas da bacia hidrográfica, cujas características expressem de forma integrada à dinâmica ambiental.

Desta forma, quando se discute os problemas relacionados às questões ambientais, as bacias hidrográficas se apresentam como unidades relevantes para tal discussão e, portanto, os estudos geoambientais caracterizados por apresentar a integração de dados ambientais, representam uma importante ferramenta na análise geográfica sobre bacias hidrográficas.

2.2 ANÁLISE GEOAMBIENTAL

O termo geoambiental, adotado pela *International Union of Geological Sciences - IUGS* foi criado para denominar estudos realizados por profissionais das geociências, sobre o ambiente. Estes estudos, na geografia, contemplam aplicações dos conhecimentos técnicos do meio e socioeconômico, associação informações sobre ambos.

O zoneamento geoambiental, segundo Jimenez-Rueda *et al.* (1995), corresponde à uma ferramenta de análise sistemática de uma área, constituído pelo exame de diversas variáveis do meio, dentre elas, as litológicas, as fisiográficas, as climáticas, as morfoestruturais, as de cobertura da terra, e as de alteração intempérica.

Portanto a divisão de uma determinada área em classes de terreno hierarquizadas a partir de características gerais define a análise geoambiental. O estudo é feito de modo integrado, para compreender o meio estudado, e a síntese se refere à caracterização da vulnerabilidades e potencialidades.

Os estudos geoambientais utilizam diferentes atributos ambientais para estabelecer suscetibilidades e potencialidades. No Paraná os estudos de

vulnerabilidade geoambiental do estado (Santos *et al.* 2007) utilizaram informações sobre a geomorfologia, geologia, solos e declividade das encostas.

Os produtos utilizados no Diagnóstico geoambiental da bacia do córrego Tenente em Mariluz, Paraná, Brasil (Souza, 2008) foram hipsometria, declividade, orientação de vertentes, uso e ocupação do solo (1970, 1980 e 2006) e morfopedologia.

No trabalho, Diagnóstico geoambiental da bacia hidrográfica semi-árida do Rio Acaraú desenvolvido por Nascimento *et al* (2008), as unidades geossistêmicas foram delimitadas em função de combinações mútuas específicas entre as variáveis geoambientais. Foram apresentadas as condições lito-estratigráficas e as características das feições morfogenéticas; características climáticas e hidrológicas; distribuição dos solos, suas principais propriedades e os padrões de cobertura vegetal.

No zoneamento geoambiental do município de Vitória da Conquista – BA, Maia (2005) utilizaram a análise de temas como geologia, geomorfologia, declividade, hipsometria, solos, vegetação e uso do solo. O trabalho de Lisboa (2008) zoneamento geoambiental no município de Colorado d'Oeste, RO analisou temas como morfoestruturas tectônicas, geologia, morfologia e fisiografia.

Albuquerque (2012) para análise geoambiental do município de Horizonte - Ceará identificou e caracterizou as variáveis do meio, como geologia, geomorfologia, hidrologia, pedologia, vegetação e clima da área e realizou inter-relacionamento desses componentes com características elementos sociais.

A literatura tem demonstrado que os componentes do meio, no sentido estrito, são exceção, pois as diferentes paisagens da Terra são afetadas na sua própria estrutura e seu funcionamento pelas sociedades sucessivas. Nas palavras de Ab' Sáber (1998), percebe-se que as paisagens naturais ganham novas características a partir da ocupação humana.

Dentro da metodologia de zoneamento geoambiental, a identificação da ocupação e dos usos da terra possibilitam entender como se estabelecem as relações sociais tendo como palco o substrato natural. As informações podem descrever não apenas a situação atual, mas as mudanças recentes e o histórico de ocupação da área de estudo.

Uso e ocupação da terra é um tema básico para o planejamento ambiental, pois retrata as atividades humanas que podem diagnosticar os impactos e as pressões sobre os elementos naturais e, por isso, é um importante aspecto a ser analisado nos estudos geoambientais.

2.2.1. Cartografia Geoambiental: representação de síntese e correlação dos atributos ambientais

Os conceitos pioneiros de mapas geoambientais foram introduzidos no Brasil, pelos pesquisadores do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (1986, 1990, 1993), definindo a região de estudo em macrocompartimentos, hierarquizados do táxon maior para o menor em Domínios, Regiões e Geossistemas, indicando o arranjo estrutural do relevo decorrente dos aspectos geológicos, geotectônicos e paleoclimáticos, constituindo-se em unidades naturais de planejamento, Del'Arco (1999). Seguindo esse conceito, com algumas modificações, Corrêa & Ramos (1995) elaboram o mapa geoambiental a partir da análise e correlação dos parâmetros de cartas temáticas de geologia, relevo, solo, vegetação e uso atual, clima e aptidão das terras.

O procedimento de mapeamento geoambiental tem como rotina principal a divisão da área em unidades, de acordo com a variação de seus atributos. As unidades representam áreas com homogeneidade e compartimentos com respostas semelhantes, frente aos processos de dinâmica superficial.

A cartografia geoambiental, de desenvolvimento mais recente no Brasil, começa a ganhar importância nos últimos anos e, seu desenvolvimento metodológico vem se aprimorando, com vários pesquisadores de diversas instituições produzindo documentos de zoneamento geoambiental. Estes trabalhos utilizam, predominantemente, as bacias hidrográficas como unidade de mapeamento e têm tido aplicação intensa nos estudos ambientais de caráter mais amplo (TRENTIN & ROBAINA, 2005).

A abordagem metodológica utilizada pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo), principalmente a utilizada na elaboração de cartas e de atributos ou parâmetros, é uma base importante utilizada em

trabalhos com enfoque geoambiental, em vista que, distribui-se espacialmente, uma ou mais características (geotécnico-geológicas), do terreno.

Segundo Trentin & Robaina (2005), a partir da década de 1950 ocorreu um avanço significativo nos trabalhos referentes à avaliação do terreno, destacando-se dois grupos de pesquisa: uma delas seguiu uma linha voltada aos aspectos geomorfológicos; e a outra concentrou os estudos no sentido da ampliação de conceitos na avaliação das condições naturais. Esse segundo grupo dividiu-se em duas correntes de trabalho: a avaliação visual do meio e a avaliação do terreno.

Conforme Lollo (1996), a delimitação de diferentes formas de terreno é baseada na interpretação de imagens e trabalhos de campo, promovendo o zoneamento de áreas consideradas semelhantes ou com um grau de heterogeneidade mínimo.

A definição do termo geoambiental está baseado na divisão de áreas em classes de terrenos hierarquizados a partir de características gerais, conforme 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.

Em relação as ações antrópicas ligadas ao uso e ocupação. Mota (1995) comenta que o uso e a ocupação do solo em determinadas áreas devem considerar os aspectos naturais do meio que possam ter influência sobre os recursos hídricos. Estes condicionantes devem ser estudados em conjunto, de modo a garantir o uso e a ocupação da área evitando o máximo possível de mudanças ambientais.

Para Souza *et al* (2012) o mapeamento da cobertura da terra é entendido como a caracterização dos objetos da superfície terrestre em termos de suas propriedades biofísicas, físicas e químicas que exibem uma relação própria de interação energia-matéria, ou seja, um padrão mais ou menos definido pela refletância de diferentes alvos.

Trentin & Robaina (2005) descrevem que esses parâmetros são informações básicas que se utiliza para o mapeamento. Para a definição de uma unidade homogênea pode-se utilizar um único parâmetro ou um grupo deles para formar uma unidade, que é a base para a análise de uma área. Define-se como

parâmetro o elemento base que será inserido e operado sobre um documento cartográfico como informação que representa parte dos componentes do ambiente.

A elaboração dos mapas geoambientais consiste na associação de mapas temáticos, entre os quais se destacam o Geológico, o Geomorfológico, o Pedológico, o Litológico, o de Declividade, a Hidrografia e o Uso e Ocupação do Solo. A síntese dos mapas temáticos e a integração dos parâmetros para a definição adequada dos limites de cada unidade são facilitadas pelas ferramentas de cartografia digital e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) (FIORI, 2004).

Ou seja, a metodologia do mapeamento geoambiental, como apresentado anteriormente, estabelece uma divisão da área em classes de terreno hierarquizadas, a partir de características gerais do substrato lito-pedológico, relevo e uso e ocupação do solo. A união dessas informações possibilita a fragmentação de áreas homogêneas, onde é possível indicar Potencialidades e Suscetibilidades ambientais.

Um exemplo é a proposta de mapeamento geotécnico descrito por Trentin (2011) utilizando 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 1980 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".

Segundo Carvalho *et al* (2004), é partir da década de 1980, que surge a cartografia geoambiental, cujos conteúdos procuram dar respostas às

necessidades de planejar, tendo em atenção à preservação e gestão do ambiente.

Nas palavras de 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 suscetibilidades 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), descrevendo cartografia geoambiental, destaca que esta, ocupa-se da elaboração de mapas e de informações que tratem de problemas geoambientais, frequentemente ocasionados por um desequilíbrio do meio ligados principalmente a fenômenos de erosão, escorregamento, assoreamento, enchentes, inundações e circulação de água, associados ou não à ocupação antrópica.

Para Herrmann (2004), as unidades Geoambientais são definidas a partir do reconhecimento dos componentes do relevo, bem como os atributos e fatores condicionantes: hidrográficos, geológicos, geomorfológicos, pedológicos, climáticos, fitogeográficos e antrópicos.

Utilizando-se a cartografia geoambiental, Higashi (2004) 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.

Menezes & Zuquette (2004), em avaliações metodológicas de zoneamentos geoambientais em bacias hidrográficas, trabalharam com a avaliação das informações do meio para os mapeamentos 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.

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 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, o trabalho foi desenvolvido utilizando uma escala de informações de 1:50.000.

Outro trabalho utilizando a metodologia geoambiental foi o de Melo & Lima Filho (2005), onde 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.

Schirmer (2012) que desenvolveu um zoneamento geoambiental em municípios da Quarta Colônia de imigração italiana, localizada na região central do RS, comenta que os estudos geoambientais vem sendo empregados como forma de apresentar as potencialidades e as restrições ambientais, utilizando a cartografia para a representação, interpretação e correlação dos parâmetros que compõem a área de estudo de determinado local.

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 & 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 & 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, trabalhos de campo e laboratório. Como resultados definiram sistemas e unidades geoambientais indicando zonas de suscetibilidade 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 é possível definir alguns parâmetros relacionados aos materiais e o método que são indispensáveis para a realização de mapeamentos e zoneamentos geoambientais, também é possível ter acesso a alguns exemplos de aplicabilidade desse tipo de estudo.

Ainda, cabe ressaltar que a aplicação de SIG e o uso de geoprocessamento, se mostram como ferramentas indispensáveis na elaboração de estudos relacionados à temática em questão, pois permitem através de técnicas computacionais, realizar a espacialização dos atributos e características do espaço geográfico, além de facilitar a análise dos materiais adquiridos, através de cruzamentos e interpolação de informações.

Ao se analisar os diversos trabalhos e metodologias geoambientais, percebe-se uma estrutura geral semelhante na grande maioria, ao qual podemos denominar os elementos ou parâmetros a serem analisados para o zoneamento geoambiental. O uso do SIG como ferramenta de análise, também se encontra presente em grande parte, apesar do mesmo ocorrer principalmente, nas últimas décadas, onde o próprio desenvolvimentos das geotecnologias proporcionou seu uso.

Desta forma, ao se propor o zoneamento geoambiental da bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, pretende-se não apenas utilizar o SIG como uma ferramenta de análise e associação dos elementos ou parâmetros ambientais, mas sim definir cruzamentos automatizados das variáveis em análise, a fim de propor o zoneamento geoambiental.

2.3 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA APLICADO EM ESTUDOS AMBIENTAIS

Os Sistemas de Informação Geográfica fazem parte de um amplo estudo contemplado pelo Geoprocessamento que, de acordo com Carvalho *et al.*, (2000), engloba diversas tecnologias de tratamento e manipulação de dados geográficos, através de programas computacionais.

Em relação a gênese e as primeiras utilizações dos Sistemas de Informação Geográficas, Olaya (2014, pág. 25), descreve que

Este momento surge al início de la década de los sesenta como resultado de unos factores que convergen para dar lugar al desarrollo de los primeros SIG. Estos factores son principalmente dos: la necesidad creciente de información geográfica y de una gestión y uso óptimo de la misma, y la aparición de los primeros computadores.

Rosa & Brito (1996, p. 8) definem o SIG ou GIS (Geographic Information System), como um “sistema destinado a captura, armazenamento, checagem, integração, manipulação, análise e apresentação de dados referidos espacialmente, na superfície terrestre”.

O homem, de maneira geral, sempre teve a necessidade de identificar e localizar espacialmente, recursos necessários a sua sobrevivência. Câmara *et al* (2001, p. 01), comentam sobre a evolução e utilização do geoprocessamento.

A coleta de informações sobre a distribuição geográfica de recursos minerais, propriedades, animais e plantas sempre foi uma parte importante das atividades das sociedades organizadas. Até recentemente, no entanto, isto era feito apenas em documentos e mapas em papel; isto impedia uma análise que combinasse diversos mapas e dados. Com o desenvolvimento simultâneo, na segunda metade deste século, da tecnologia de Informática, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o aparecimento do Geoprocessamento. (CÂMARA *et al* 2011).

Nas palavras de Rodrigues (1991), SIG é um sistema automatizado capaz de coletar dados das mais diversas fontes, bem como gerenciar tais dados. Além disso, analisar com objetivo de gerar novas informações a partir dos dados existentes e apresentar resultados em um formato passível de ser compreendido pelo usuário, ainda, pode integrar em uma única base ou banco de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, censos e cadastros urbanos e rurais, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno.

Os SIG's, representam ferramentas computacionais para o Geoprocessamento. O termo Geoprocessamento denota uma disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas. (ASSAD & SANO, 2008).

Em uma visão abrangente Assad & Sano (2008) explicam que através dos SIG's podemos identificar os seguintes componentes: Interface com usuário; entrada e integração de dados; consulta, análise espacial e processamento de imagens; visualização e plotagem; e armazenamento e recuperação de dados (organizados sob a forma de um banco de dados geográficos).

Em relação ao uso do SIG nas análises ambientais, Vettorazzi (2006) comenta que são ferramentas ou sistemas bastante apropriados à análise ambiental, devido às suas características relacionadas à questão da espacialização da análise. Ainda, o autor salienta que os SIG's foram responsáveis, nas últimas décadas, por um forte impulso nos estudos e análise ambientais. Costuma-se dizer que, em se tratando de SIG, as possibilidades de análise são limitadas pela imaginação do analista e pela disponibilidade de dados adequados e necessários.

A abordagem multicriterial é uma das técnicas empregadas para a tomada de decisão que foi incorporada aos SIGs. Nesta abordagem, a base para a tomada de decisão, que pode ser medida e avaliada, é chamada de critério, que pode ser dividido em fatores e restrições. Os fatores equivalem às diferentes características e/ou processos de um ambiente, importantes à geração do mapa de prioridades. (VALENTE, 2005, p. 01)

Conforme Brito (2014), entre as ferramentas de apoio à decisão incorporadas dentro dos SIG destacam-se os métodos de avaliação por múltiplos

critérios (MCE - *Multi Criteria Evaluation*), devido a sua capacidade de comparar diferentes cenários conforme vários critérios. Os métodos de MCE agregam um valor substancial à informação, pois, não só permitem a abordagem de problemas complexos, mas também dão ao processo de tomada de decisão clareza e transparência, auxiliando os usuários a definir melhor o problema e a revisar sistematicamente suas decisões

De um modo geral, as funções de processamento de um SIG manipulam dados em uma área de trabalho em memória principal. A ligação entre dados geográficos e as funções de processamento do SIG é feita por mecanismos de seleção e consulta que definem restrições sobre conjunto de informações. Atualmente observa-se um acelerado crescimento na utilização dos SIG's em diversas organizações, em função da economia e eficiência que esses sistemas oferecem.

Como aponta Câmara & Davis (2001), o uso da tecnologia de sistema de informação geográfica tem contribuído para o manuseio de grandes volumes de dados quantitativos e auxiliam na interpretação, análise e integração dos referidos dados.

Conforme Beltrame (1994, p. 102):

“... o emprego de SIG permite a compilação e organização de dados. Isso pode ser exemplificado pelo fato de que a tecnologia manipulada por um SIG é capaz de gerar mapas temáticos de uma mesma área geográfica (informações químicas e físicas do solo, clima, uso da terra, hipsometria, declividade etc.) com facilidade.”

O SIG apresenta um grande potencial para integração de dados geocodificados. Assim, no caso de estudos em bacias hidrográficas, as maiores vantagens de sua utilização, são decorrentes da possibilidade de automatização de cruzamentos complexos de informações que gera um produto final preciso com economia de tempo, se comparado com métodos tradicionais.

2.4 CLASSIFICAÇÃO DO RELEVO COM USO DE ELEMENTOS DE GEOMORPHONS

Para essa pesquisa optou-se pela escolha de uma nova metodologia de análise de relevo, baseada na obtenção dos elementos de *geomorphons*,

caracterizada pela avaliação de variáveis morfométricas correlacionadas através de métodos estatísticos em um aplicativo específico.

O uso de técnicas quantitativas para a predição de variáveis ambientais, vem sendo crescente nas últimas décadas. Isso se deve aos avanços dos computadores e a capacidade de processamento, fato que permite a aplicação de maneira mais rápida e acessível de métodos matemáticos e estatísticos existentes, os quais já vinham sendo empregados na ciência do solo. (McBRATNEY *et al.* 2003).

A execução dessa metodologia, utilizada na determinação de diferentes formas da superfície, está baseada no trabalho desenvolvido por Jasiewicz & Stepinski (2013), onde os autores determinam diferentes *landforms* através da utilização de Modelos Digitais de Terreno.

Burrough (1986) fala sobre as utilizações de modelos digitais de terreno nas avaliações dos modelados de relevo. O autor salienta que a variação do relevo pode ser modelada através de isolinhas, as quais podem ser transferidas para um ambiente georreferenciado de SIG, onde é possível obter através de processos matemáticos, informações sobre a superfície em questão, onde é possível obter informações referentes a altitude, declividade, forma das encostas entre outros.

Quanto as diferenças de altitude, Hansen *et al.* 2009, comenta que o conhecimentos das distâncias verticais é essencial para uma primeira avaliação das superfícies de erosão (porções elevadas topograficamente) e deposição (níveis de base), sendo essa a principal contribuição na correlação das informações.

Para Souza Júnior & Demattê (2008), a declividade refere-se à inclinação da superfície do terreno em relação à inclinação horizontal, com essas informações é possível prever quais áreas estão mais propicias a erosão ou a sedimentação.

Alguns dos primeiros estudos que analisaram e classificaram o relevo a partir de parâmetros morfométricos, observados nas vertentes, foram desenvolvidos por Troeh (1965) e Huggett (1975).

Troeh (1965) baseando-se na curvatura apresentou classificação de quatro principais tipos de vertentes: as coletoras de água, com plano de curvatura convergente e as distribuidoras de água, com plano de curvatura

divergente. Sob o aspecto do perfil de curvatura, as vertentes convexas são as que facilitam o desenvolvimento do rastejamento e as côncavas as que favorecem a lavagem pela água das chuvas.

Huggett (1975) estabeleceu a combinação de formas de vertentes relacionando a curvatura vista em perfil e em plano, propondo nove padrões de vertentes. Nessas os fluxos da água e sua distribuição promovem diferenças na atuação dos processos superficiais.

A avaliação das vertentes fornece informações básicas, que são necessárias à caracterização de um determinado local, pode ser expressa em perfil e plano de vertente. Para Summerfield (1997), são representações bi-dimensionais. Estes perfis desenvolvem-se desde as linhas de drenagem, localizadas no pé do talude, até as linhas de cumeada. O perfil típico de uma vertente apresenta uma convexidade no topo e uma concavidade na parte inferior, sendo ambas separadas por um ponto de inflexão ou por um segmento retilíneo.

Bigarella (2003) explica que a curvatura das vertentes indica as áreas de escoamento superficial divergente e convergente, de modo que as vertentes de fluxo concentrados (convergente) tende ao transporte de partículas maiores, que aquelas movidas pelo escoamento laminar difuso (divergente).

Já o plano responderá a parâmetros de acumulação ou dispersão de matéria e energia. Bigarella (2003) considera que:

[..] a força erosiva do escoamento aumenta com a distância vertente abaixo e com a sua declividade. Numa vertente com perfil convexo – côncavo, a energia do fluxo aproxima-se do máximo na parte mais íngreme, geralmente na porção central do perfil. A maior parte da ação erosiva ocorre abaixo dessa zona, onde se inicia o fluxo em canais e onde se formam as ravinas. (BIGARELLA, 2003 pág. 923)

Segundo Valeriano (2003) as formas do terreno resultam da combinação entre as curvaturas verticais e horizontais. Como produto final da associação da curvatura vertical (côncava, retilínea e convexa) e curvatura horizontal (Convergente, planar e divergente), estabelecendo-se nove classes distintas para a forma das vertentes.

Casseti (1995) comenta a utilização das informações geométricas das vertentes.

[...] a forma geométrica da vertente apresenta uma significativa participação no balanço morfogenético. Como exemplo: a) as vertentes portadoras de comprimento reto e largura reta respondem pelo domínio do fluxo laminar; b) as representadas por comprimento reto e largura curva respondem por processos complexos (largura convexa: fluxo disperso; largura côncava: fluxo convergente com ocorrências de escoamento concentrado); c) as de comprimento curvo e largura também curva caracterizam processos mais complexos (ocorrência de fluxo concentrado em linhas de drenagem de primeira ordem). (CASSETI, 1995, p. 68)

Como exemplo de utilização de modelos digitais de terreno, como ferramenta, Ippoliti *et al* (2005) identificaram unidades preliminares de solos pelas geoformas e pedoformas obtidas em uma bacia hidrográfica por meio dos atributos topográficos: elevação, declividade e curvatura, comparando-as com avaliação de campo. O principal mérito do método apontado pelos autores é a maior eficiência obtida no trabalho de campo, após a realização de uma classificação digital preliminar, em virtude de um modelo de ocorrência de solos previamente conhecido.

As análises geomorfométricas também podem ser realizadas sobre dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), como é o caso de Muñoz (2009) apresentou as relações entre as variáveis geomorfométricas obtidas do Modelo Digital de Elevação MDE: declividade, curvatura vertical (perfil de curvatura), formas de terrenos, altura, dissecação, amplitude e predominância, com um levantamento pedológico semidetalhado, na escala 1:100.000, da quadricula de São Carlos/SP. A autora demonstra que as variáveis mostram-se úteis para a separação de unidades de mapeamento de solos, uma vez que as variáveis geomorfométricas, cada uma a seu modo, indicaram de dois a três conjuntos de classes de solos. Com isso foi possível concluir que a utilização de dados SRTM são eficientes em estudos de média e pequena escala.

A evolução das geoinformações aderem agilidade e precisão às pesquisas geográficas, sendo que a evolução de técnicas computacionais e matemáticas, permitem a modelagem de superfícies e com isso, prever a ação de agentes erosivos e a determinação da modelagem do relevo.

A partir dos SIG's, a obtenção dos atributos do relevo, tais como a parametrização da morfologia, que é o processo de extração de atributos

quantitativos da topografia, passou a ser um procedimento de fácil acesso. Dentro desta ótica Muñoz (2009), descreve de forma quantitativa as formas da superfície da Terra por meio de equações aplicadas a modelos numéricos de representação altimétrica.

Os métodos de classificação atuais possibilitaram a subdivisão das formas em elementos do relevo, que são um conjunto de parcelas de um tipo de relevo relativamente homogênea em relação à forma (curvaturas de perfil e de plano), inclinação (declividade), orientação ou exposição (aspecto ou radiação solar) e posicionamento no ambiente (MACMILLAN E SHARY, 2009).

Wood (1996) propõe um método que extrai e classifica seis formas de terreno (FTs): *Plane, Channel, Ridge, Pass, Peak e Pit*. O método considera uma combinação específica dos pares de curvaturas Longitudinal/Transversal e Mínima/Máxima a depender da declividade da região a ser classificada.

Schmidt & Hewitt (2004) desenvolveram um procedimento obtendo diferentes ETs (Elementos do Terreno) utilizando como critério a posição do ambiente, dividindo-a em áreas planas e em áreas dissecadas a partir da curvatura tangencial, vertical, mínima e máxima.

Dragut & Blaschke (2006) optaram por segmentar os objetos dos modelos de elevação relativamente homogêneos em vários níveis geomorfológicos utilizando curvatura de plano e curvatura vertical.

Iwahashi & Pike (2007) apresentam um método de classificação topográfica automatizada sem supervisão com base em três variáveis morfométricas: declividades, convexidade das encostas e textura superficial.

Recentemente, Jasiewicz & Stepinski (2013) estabeleceram uma classificação de elementos do relevo usando ferramentas de visão computacional ao invés de ferramentas da geometria diferencial. Os autores fazem uma analogia entre a classificação textural de imagem, com base em um arranjo espacial de tons de cinza para uma determinada região com arranjo espacial de elevação. Eles modificaram ferramentas utilizadas na classificação textural e aplicaram para análise de formas de relevo. Utilizaram o conceito de “Local Ternary Patterns” (LTP) (Liao, 2010) para identificar elementos do relevo, denominados de *geomorphons* por analogia ao *textons* (JULESZ, 1981).

Textons referem-se a micro-estruturas fundamentais em uma imagem e, assim, constituem os elementos básicos de percepção visual (JULESZ, 1984). Analogamente, *geomorphons* são micro-estruturas fundamentais do relevo.

Dessa forma, mapas de formas de relevo podem ser trabalhados como algoritmos. Através dos algoritmos médios pode-se, através de técnicas computacionais, auto classificar e mapear elementos das formas de relevo. Os elementos de *landforms* podem ser expressos por um número de diferentes *geomorphons*.

Jasiewicz & Stepinski (2013), demonstram como gerar um mapa com 10 elementos mais comuns de *landforms* (*flat, peak, ridge, shoulder, spur, slope, hollow, footslope, valley and pit*)³.

Portanto, através do exposto, buscou-se esclarecer e demonstrar alguns conceitos e métodos utilizados sobre o mapeamento automático. Cabe ressaltar que se trata de uma técnica em pleno desenvolvimento e que tem muito a contribuir para os estudos geográficos.

2.4.1 Análise espacial automatizada dos atributos ambientais no zoneamento geoambiental

A análise espacial e sua aplicabilidade como aporte para análise ambiental, necessita de suporte técnico-operacional numa perspectiva da análise integrada. Nesse sentido, deve-se compreender a arquitetura dos SIG's, para enfim abordar a análise espacial no contexto do sistema de informação de forma automatizada.

Automatizar nada mais é que tornar automático por meio da informática os trabalhos manuais repetitivos; ou ainda, é o conjunto das técnicas baseadas em máquinas e programas com objetivo de executar tarefas previamente programadas pelo homem e de controlar sequências de operações sem a intervenção humana. Através de sequências de programação do sistema, o usuário consegue maximizar com qualidade e precisão seu processo produtivo,

³ A tradução para o português dos elementos de *Geomorphons*, pode ser considerada conforme Robaina *et al* (2016), como sendo: *Flat* – Plano; *Peak* – Pico; *Ridge* – Crista; *Shoulder* – Ressalto; *Spur* – Crista Secundária; *Slope* – Encosta; *Hollow* – Escavado; *Footslope* – Base da encosta; *Valley* – Vale; *Pit* – Fosso.

controlando, assim, variáveis diversas e analisando todos os resultados obtidos (GOMES 2004).

Os processos utilizando técnicas automáticas para o mapeamento do espaço geográfico, utiliza algoritmos, que permitem o cruzamento de informações geográficas, em ambientes georreferenciados, adicionam precisão e agilidade aos trabalhos geográficos. A utilização de técnicas matemáticas e estatísticas associadas ao funcionamento do SIG, permitem uma avaliação integrada dos componentes do espaço geográfico.

Dentro desta ótica, Racine & Reymond (1973) salientam que é evidente na geografia a necessidade de trabalhar com questões de caráter variado, visto a complexidade dos componentes do espaço. A matriz de informação, o objetivo da geografia, consiste em ordenar e simplificar, reaproximando os semelhantes e afastando os dessemelhantes, isto é, agrupar os atributos de mesma distribuição e as observações de mesmas características, de maneira a reduzir a matriz original ao menor número possível de momentos perceptivos, através de diferentes métodos.

O mapa nada mais é do que um modelo de representação gráfica de uma matriz de dados que expressa nas colunas as variáveis (ou atributos), nas linhas os lugares (casos ou observações) e na intercessão de ambas a informação (BERTIN, 1980; MARTINELLI, 1991; ZUQUETTE, 1987).

Em relação a utilização de modelos digitais de elevação, Jasiewicz & Stepinski (2013, pág. 01) discutem sobre evolução das ferramentas e da utilização das informações na obtenção de informações sobre a superfície.

Advances in remote sensing have led to broad availability of digital elevation models (DEMs). High resolution DEMs (~1 m cell⁻¹) of an increasing number of local areas are provided by the laser ranging technology (LiDAR). Medium resolution DEMs (10–100 m cell⁻¹) are available for the entire terrestrial landmass. Coarse resolution DEMs (~1 km cell⁻¹) are available for the entire ocean floor, the entire surface of the Moon, and the entire surface of the planet Mars.

Com relação aos Modelos Digitais de Elevação (MDE), Vidal-Torrado *et al.*, 2005, discute que essas informações possibilitam a análise topográfica de uma zona de interesse, assim como o cálculo automatizado de uma série de variáveis relacionadas.

Dessa maneira, é fundamental utilizar a tecnologia para solução de problemas, especialmente, relacionados a análise ambiental, como por exemplo a elaboração de Zoneamento Geoambiental. Nesse sentido, o mapeamento automatizado permite o cruzamento quase que instantâneo de dados com precisão rapidez na obtenção dos resultados.

Propõem-se o desenvolvimento de um sistema computacional que a partir de dados inseridos pelo usuário, ou previamente armazenados em bancos de dados, o sistema possa processá-los e mostrar como resultado os mapas da área em estudo.

Para atingir essa meta, é necessário o desenvolvimento de um banco de dados geográfico ambiental com os dados da área de estudo. Uma das principais preocupações é a disponibilidade dos dados de entrada a partir do banco ou simplesmente digitados pelo usuário de maneira passível de se realizar processamentos e cruzamentos; após o processamento no sistema, o resultado final é o mapeamento geoambiental.

Sendo assim, automatizar os mapas justifica-se pelo fato de diminuir as tarefas manuais do usuário e deixar que o sistema processe as informações de entrada, gerando como resultado mapas que possam servir para o ordenamento territorial. Essa automação tende a produzir o mapa com mais rapidez, confiança e precisão nos dados.

Para que os produtos cartográficos gerados, tenham a precisão desejada e a confiança necessária, utiliza-se da metodologia de zoneamento geoambiental, que é uma metodologia já consolidada, conforme discutido anteriormente, o que possibilita a adequação dos procedimentos de associação e/ou cruzamento dos parâmetros ambientais de forma precisa e confiável, sendo aplicado na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, área de estudo onde procedeu-se significativos levantamentos de campo da reconhecimentos da área e validações das análises desenvolvidas.

3 CAPÍTULO 03: PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta etapa do trabalho apresenta os procedimentos e técnicas que foram utilizados para realização da pesquisa, indicado o detalhamento da forma de análise dos elementos do meio, a compartimentação fisiográfica realizada, os trabalhos para a identificação dos usos do solo e o zoneamento geoambiental da BHRSM.

A concepção teórica metodológica, que guiou a execução desta pesquisa, usou como base o emprego de um método de investigação, onde são avaliados variados produtos cartográficos e dados que são associados e cruzados.

Para a elaboração dos mapeamentos, utilizando-se dados quantitativos com representação cartográfica, buscou-se as orientações propostas por Ab' Saber (1969) e Ross (1990; 1992), Trentin & Robaina (2005), Taborda (2010), Jasiewicz & Stepinski (2013).

A confecção e análise dos mapas temáticos, em estudos geográficos, representa uma importante etapa para o entendimento da evolução do meio, relacionados às formas, gênese e processos.

3.1 LEVANTAMENTO E PROCESSAMENTO DE DADOS

A pesquisa teve seu início com os levantamentos de dados, pesquisas bibliográficas relacionadas aos trabalhos de zoneamento geoambiental e compartimentação automática, além de informações sobre o material cartográfico disponível para a área em análise. Ao ser efetuada a seleção e compilação das informações pré-existentes, o conhecimento teórico-conceitual, contribuiu para à máxima utilização desses dados.

Os dados foram obtidos através de fontes primárias (trabalhos de campo e análises em laboratório); e também em fontes secundárias (web sites e publicações literárias como livros e periódicos).

3.1.1 Levantamento bibliográfico e cartográfico

O levantamento bibliográfico é uma importante tarefa na execução de uma pesquisa, pois nesta etapa são definidos os limites da pesquisas e delimitados

os conceitos que serão abordados. O contato com o referencial bibliográfico ocorre durante todo o desenvolvimento da pesquisa.

O levantamento de material cartográfico serviu de apoio para a construção dos mapas e análises dos mesmos. As informações cartográficas como: hidrografia, curvas de nível e pontos cotados, utilizados no desenvolvimento da pesquisa foram extraídos da base vetorial contínua do estado do Rio Grande do Sul na escala 1:50.000, organizada por Hazenack e Weber no ano de 2010.

Para utilização dessa base, foram efetuados alguns procedimentos na intenção de conferir a acurácia das informações, esse processo foi realizado utilizando cartas topográficas (DSG/IBGE,1977) e imagens de satélite (LANDSAT 5 e GEOEYE) que englobam a área de estudo, além de trabalhos de campo, salvo algumas correções que foram necessárias na hidrografia, a base pode ser considerada excelente para a proposta da pesquisa.

Também foram utilizados alguns trabalhos específicos de mapeamentos que abrangem a área de estudo como: o mapa de solos do Rio Grande do Sul, elaborado por Streck *et al* (2008), o Projeto RADAMBRASIL, IBGE (1973, 2003, 2006) que apresentam informações sobre solos; GEOBank CPRM (2006) com um mapeamento geológico do Rio Grande do Sul na escala 1:750.000. Além de estudos específicos desenvolvidos por Suertegaray *et al* (2001), De Nardin (2009) e Trentin (2011).

3.1.2 Produção de Dados

Para o levantamento e a produção dos dados primários e secundários, realizaram-se procedimentos distintos. Para o levantamento morfométrico/morfológico da hidrografia, foram utilizados procedimentos técnicos com o auxílio de SIGs.

O primeiro levantamento oportunizou identificar e caracterizar a bacia hidrográfica quanto à hierarquia fluvial, densidade de canais, comprimento de canais. Posteriormente com o auxílio de ferramentas do ArcGIS® 10.4, foi definida a hipsometria e a declividade.

Nos levantamentos de campo, foram observadas e analisadas as características do meio como relevo, litologia, solos e processos erosivos acentuados, além das condições de uso e ocupação como principais culturas

agrícolas e estrutura fundiária. Os trabalhos de campo são realizados através de estradas, caminhos e trilhas, através de perfis orientados através de um mapa base, contendo informações, na escala 1:50.000, referentes à hidrografia, topografia e sistema viário, com base as cartas do DSG do exército. Além de pontos de GPS, também são coletados em campo amostras rochosas e sedimentos para serem analisados em laboratório a textura.

Para o processamento e análise dos dados, foi organizado um banco de dados georreferenciado, manipulado no *software* ArcGIS®, contendo todas as informações dos levantamentos realizados, essa forma de organização de elementos permite uma maior inter-relação e sistematização entre os constituintes da área de estudo.

3.1.2.1 Estudo morfométrico e morfológico

O estudo morfométrico aplicado a análises em bacias hidrográficas, apresenta-se como uma importante etapa e ferramenta, pois são conhecidas as principais características da rede hidrográfica e da morfologia do relevo, baseados em levantamentos relacionados ao comprimento, altura, largura, altimetria, declividade, densidade, etc.

3.1.2.2 Análise dos atributos da hidrografia

Os mapas e as análises acerca da rede hidrográfica, foram executados a partir da base contínua do RS e de imagens de satélite de média (30 m) e alta (1 m) resolução espacial. No ambiente georreferenciado do ArcGIS® foram definidas as ordens dos canais, e alguns atributos morfométricos relacionados a padrão, densidade, forma, magnitude e comprimentos dos canais. As análises referentes à rede hidrográfica foram baseadas em CHRISTOFOLETTI (1980).

Hierarquia fluvial: a classificação utilizada, foi a estabelecida por Strahler (1952) citado por Christofolletti (1980), onde os menores canais, sem tributários são considerados de primeira ordem, estendendo-se da nascente até a confluência com outro canal, o encontro de dois canais de primeira ordem origina um de segunda ordem, que quando unido a um de mesmo ordem origina um de terceira ordem e assim sucessivamente.

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

Densidade de Canais: a densidade de canais (Dd), é um parâmetro que relaciona o comprimento total dos canais, com a área total da bacia, essa relação pode ser obtida através da seguinte equação:

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

Onde: Dd = densidade de canais; Lt = comprimento total dos canais; e A = área total da bacia.

Padrões dos canais: é o arranjo espacial dos cursos fluviais e indicam uma série de características referentes à resistência do substrato litológico e às diferenças de declividade, os padrões que podem vir a ser encontrados na pesquisa são: retangular, dendrítico, treliça, retangular, paralelo, anular e radial.

As variáveis morfométricas relacionadas à hidrografia, foram definidas a partir de técnicas computacionais, onde, através do uso da ferramenta do ArcGIS®10.4 “x tools”, obteve-se as variáveis numéricas para os cálculos propostos na metodologia. Com dados numéricos em mãos, partiu-se para a obtenção dos resultados usando como interpolador de informações o Microsoft Excel.

3.1.2.3 Análise das características morfométricas

O modelo digital de elevação (MDE), utilizado para a definição das formas de relevo deste trabalho, foi obtido através de informações de pontos cotados obtidos através de interpolações feitas em imagens de radar (SRTM) de 1 arc-second (30 metros) de resolução espacial, além de curvas de nível com equidistância de 20 metros, obtidas da base vetorial contínua do Rio Grande do Sul (Hasenack & Weber 2010). Com essas informações vetoriais em mãos foi elaborado o MDE, utilizando a ferramenta *topo to raster*.

Os mapas para caracterização morfométrica (hipsometria, declividade e 3D) são produtos gerados a partir de Modelos Numéricos do Terreno (MNT), que permitem representar uma grandeza que varia continuamente no espaço. Esse

modelo criado no *Software ArcGIS*[®], através de informações vetoriais que contém valores numéricos para X, Y e Z.

O mapa hipsométrico foi criado utilizando a ferramenta do *ArcToolbox* “*topo to raster*”, onde são interpoladas informações contidas em curvas de nível e pontos cotados, com isso foi criado um arquivo raster com pixel de 20 metros. As classes foram definidas através de quebras no relevo e arredondadas por meio de procedimentos matemáticos. São elas: <100 m; 100-150m; 150-200m; 200-250m; 250-300m; 300-350m; 350-400; e >400m.

O mapa de *declividade* foi elaborado utilizando como base as classes propostas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), sendo: <2%; 2 – 5%; 5 – 15%; e >15%: onde, o limite de 2% marca áreas planas em geral associadas às drenagens e sujeitas a ocorrências de inundações e os principais processos estão ligados a deposição de sedimentos; 5% representa áreas com baixa declividade, porém alguns processos erosivos se tornam significativos; 15% marca a faixa que define o limite máximo para o emprego da mecanização da agricultura, e também delimita áreas propícias à ocorrência de processos de movimento de massa e escorregamento.

3.1.2.4 Análise das Litologias

A elaboração dos levantamentos litológicos e realização dos produtos cartográficos e mapeamentos, seguiu a base de trabalhos que vem sendo desenvolvidos pelo Laboratório de Geologia Ambiental (LAGEOLAM/UFSM) ao longo dos últimos 20 anos. Além disso, o Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul, desenvolvido pela CPRM (2006), em escala 1:750.000, foi base nas interpretações finais dos mapeamentos da área de estudo.

As observações e descrições das litologias foram realizadas nos caminhamentos e percursos realizados pelas estradas e caminhos existentes na BHRSM, o que possibilitou apresentar uma caracterização e espacialização dos principais litotipos presentes na área de estudo. As principais características observadas foram mineralogia, textura e estruturas.

Como base cartográfica, utilizou-se as cartas topográficas do Exército em escala 1:50.000, que auxiliam nas orientações e deslocamentos em campo, bem como no desenvolvimento cartográfico através do SIG.

Para posterior cruzamento automatizado dos dados cartográficos os litotipos aflorantes na BHRSM, foram classificados segundo o tipo de rocha, em três grupos principais: Rochas sedimentares, representadas por arenitos, lamitos e depósitos recentes; Rochas Vulcânicas da Fm. Serra Geral, representadas por rochas ígneas extrusivas que capearam a bacia do Paraná no final do período Juro-Cretáceo; e Rochas Cristalinas, representados por rochas ígneas intrusivas, rochas metamórficas e meta-vulcânicas. Esta divisão foi baseada na resposta destas litologias à formação de solos, tipos de relevo e feições superficiais.

3.1.2.5 Levantamento dos Solos

Procedimento semelhante ao das litologias foi realizado a partir do mapeamento simplificado de solos, que teve como base o “Mapa de Solos do RS”, disponível em Streck *et al* (2008) na escala 1:250.000, além da base de solos disponível no IBGE na escala 1:1.000.000.

Para a utilização do mapeamento de solos nos cruzamentos automatizados optou-se por segmentar em unidades referentes a características físicas, como o grau de desenvolvimento do perfil e a ocorrência de hidromorfismo. Neste trabalho definiu-se três classes, que são: solos bem desenvolvidos, representados por solos com horizontes bem desenvolvidos e característicos; mal desenvolvidos, representados por solos com horizontes mal desenvolvidos ou até mesmo incipientes; e por fim solos hidromórficos, representados por solos com alto teor de matéria orgânica e mal drenados.

3.1.2.6 Classificação automática da morfologia do relevo

A classificação do relevo se deu por meio de elementos de relevo que na literatura são chamados de *geomorphons*. No desenvolvimento do presente trabalho utilizou-se de alguns aplicativos e bases cartográficas, que cabem ser apresentadas antes da segmentação dos procedimentos metodológicos e das rotinas específicas de desenvolvimento das etapas metodológicas.

Destaca-se inicialmente o aplicativo ArcGIS®, o qual disponibilizou as ferramentas para a criação, análise e ponderação das bases cartográficas utilizadas ao longo do trabalho.

A metodologia aplicada na definição dos *geomorphons* é baseada na proposta de Jasiewicz & Stepinski (2013), que analisa a similaridade textural do MDE, que apresentará a variação para mais ou para menos de níveis de cinza entre células vizinhas, considerando um nível específico. Se maior “1”, se menor “-1” se igual “0”. Isso é transferido para valores de elevação do terreno de maior, menor ou igual (Figura 06).

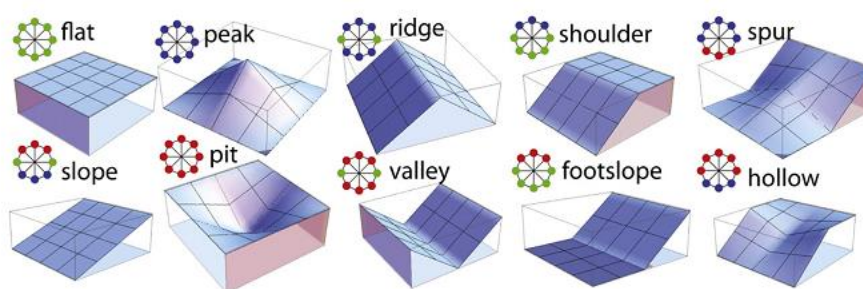


Figura 06: Principais Geomorphons reconhecidos na análise do Relevo. Modificado de Jasiewicz & Stepinski (2013).

Conforme os autores, Jasiewicz & Stepinski (2013) para caracterizar a superfície do relevo, não basta a diferença de altura, mas a distância e o ângulo de direção dos pontos vizinhos em relação a célula central (ângulos Zenith e Nadir). Para esse cálculo, perfis são traçados para as principais direções a partir da célula central “*lookup distance*” L extraídos do MDE.

Um ângulo de elevação é um ângulo entre o plano horizontal e a linha que liga a célula central com o ponto no perfil. Em uma elevação com ângulo negativo o ponto no perfil é mais baixo que o central. Para cada perfil é calculado o ângulo de elevação β_{DL} , com D e L demonstrando a dependência da direção (D) e da distância (L).

O ângulo Zenith do perfil é definido por $D\phi L = 90^\circ - D\beta L$, onde $D\beta L$ é o ângulo máximo de elevação β_{DL} . O ângulo Nadir do perfil é definido como $D\psi L = 90^\circ - D\delta L$, onde $D\delta L$ é o ângulo mínimo de elevação β_{DL} . Assim, o ângulo Zenith é um ângulo entre o Zenith e a “*line-of-sight*”, e o ângulo Nadir é um ângulo entre o Nadir e uma hipotética “*line-of-sight*” que resulta da reflexão do perfil da

elevação em relação ao plano horizontal. Ambos são positivos e definidos entre 0° a 180°.

Para a realização do processamento do MDE e geração dos *geomorphons*, utilizou-se a aplicação online, disponibilizada no endereço eletrônico << <http://sil.uc.edu/geom/app>>>. O código da aplicação também está disponível para baixar em <http://sil.uc.edu/>.

A aplicação exige um conjunto de dados *raster* e dois valores escalares, livres, como parâmetros. O arquivo de entrada para a varredura é uma MDE. Os dois parâmetros livres são *lookup* L (distância em metros ou célula unidades) e *threshold* t (nivelamento em graus). Para os parâmetros livres aplicou-se valor de L igual a 50 pixels, cada pixel com 20 metros (1000 metros) e graus t igual a 2°.

Após a identificação e análise da ocorrência dos elementos de relevo na BHRSM, estabeleceu-se a compartimentação do relevo, através do agrupamento manual dos principais elementos, conforme sua distribuição e densidade espacial. Assim sendo, foram definidos quatro compartimentos de relevo.

3.1.2.7 Fisiografia do relevo

O produto referente ao cruzamento que deu origem ao mapeamento fisiográfico da BHRSM, foi obtido através do cruzamentos automático das informações referentes as litologias, solos e unidades de relevo.

Após a análise, dos dados obtidos automaticamente, a BHRSM, foi compartimentada em 14 unidade, as quais representam situações, referentes a litologia, solos e compartimentos do relevo, (Figura 07) na escala de 1:50.000.

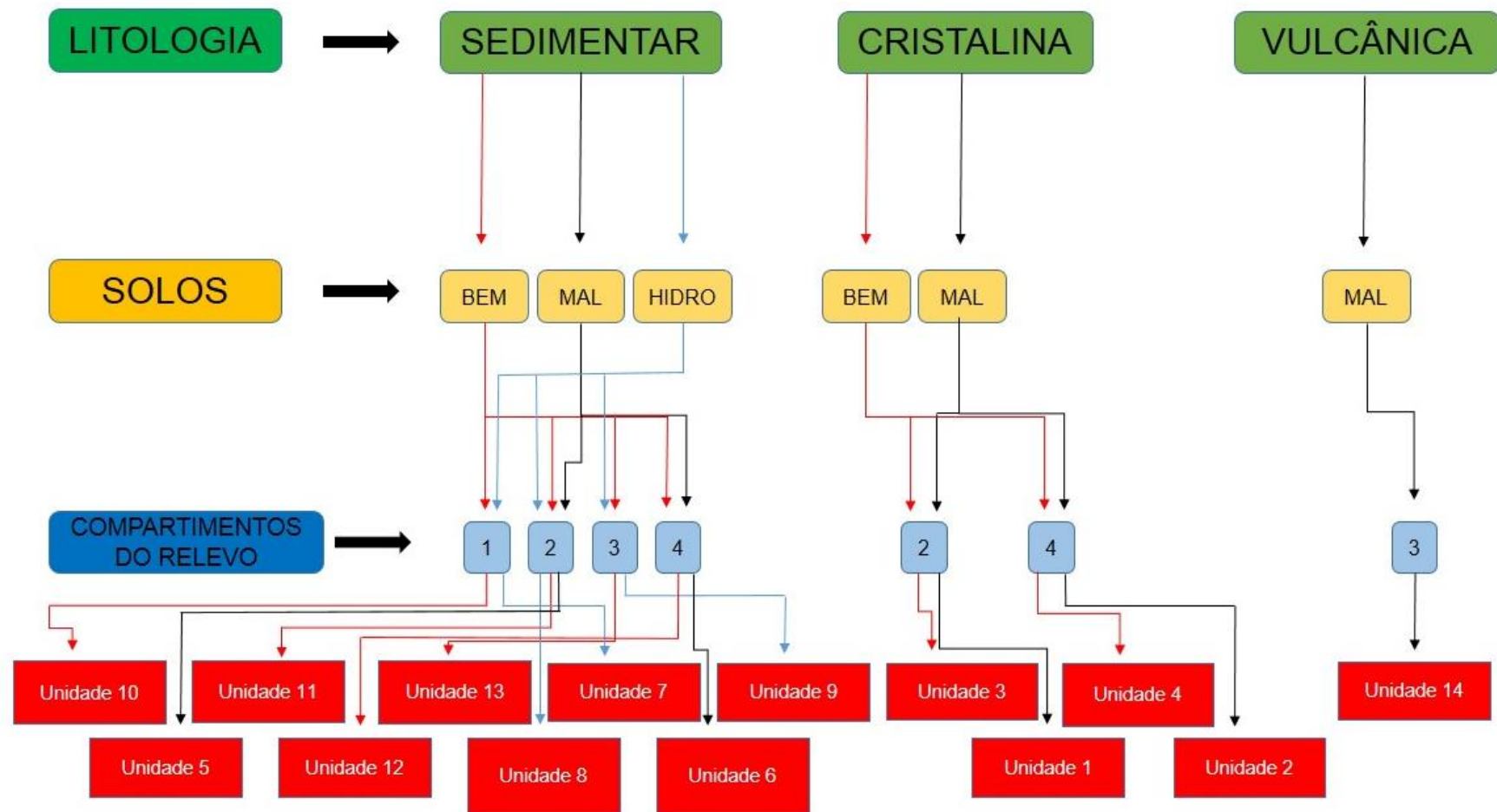


Figura 07: Fluxograma mostrando a estrutura de organização da análise fisiográfica.(Fonte: autor, dezembro de 2016).

3.1.3 Uso do solo

3.1.3.1 Dados sócio-econômicos e históricos da ocupação

As informações de cunho socioeconômico e histórico foram obtidas em órgãos oficiais como IBGE, FEE e INCRA, onde foram pesquisadas de forma individual para cada um dos municípios abrangidos pela BHRSM. Com isso, foi possível compreender os processos e a evolução dos setores econômicos e de ocupação do solo. Os trabalhos de campo, serviram para um entendimento dos processos, pois existem informações que não estão contidas em números.

3.1.3.2 Classificação do uso do solo

A confecção do mapa de uso do solo e as análises, ocorreram utilizando-se imagens do satélite LANDSAT 8 OLI, com resolução espacial de 30 metros e orbitas ponto 223/81 e 223/82. As imagens, com menor cobertura de nuvens, foram de 08 dezembro de 2015, final da primavera no hemisfério sul. Todas as imagens disponíveis nessas orbitas/ponto para o ano de 2016, apresentavam elevada cobertura de nuvens, as quais comprometeriam a qualidade e a acurácia do trabalho.

A identificação dos diferentes usos, define a situação atual da área, para a classificação do uso do solo na BHRSM. As classes utilizadas foram: **Vegetação Arbórea-Arbustiva**: vegetação composta por florestas endêmicas e porções com predomínio de arbustos, também endêmicos da BHRSM; **Água**: representada por reservatórios e porções da hidrografia onde a dimensão dos canais é superior a 30 metros de largura; **Área Urbana**: representadas pelas cidades de Sant'Ana do Livramento, Rosário do Sul, Dom Pedrito e Cacequi; **Campo**: porções compostas principalmente por vegetação gramínea onde não se observa presença recente de cultivo; **Depósitos Recentes**: depósitos de barra de meandro, localizados junto as principais drenagens; **Lavoura**: áreas definidas como lavouras incluem também solo exposto, pois no período da coleta da imagem, estava ocorrendo o final do período de plantio, ainda foram classificadas como lavoura; **Silvicultura**: áreas onde ocorrem o plantio de florestas com espécies exóticas.

A classificação supervisionada das imagens, foi feita através do *software* Envi 4.8 e para a edição dos mapas e cálculo de área utilizou-se o ArcGIS®. As imagens foram obtidas através do web site USGS (United States Geological Survey), disponível em: <http://glovis.usgs.gov/>. Utilizou-se o algoritmo *Maxver* (máxima verossimilhança), que é um algoritmo de classificação supervisionada, que usa parâmetros estatísticos na classificação, visando áreas homogêneas ou de mesmo valor numérico. Os diferentes usos do solo, são definidos com base nas respostas espectrais dos alvos.

O coeficiente de *Kappa* (Tabela 02) foi utilizado para expressar a taxa de concordância entre o observador e a amostragem, com isso foi possível averiguar o grau de acurácia da classificação.

Tabela 02: Coeficiente de Kappa utilizado para a averiguação da acurácia da classificação de imagens orbitais.

Coeficiente de Kappa	Classificação
<0,00	Quase inexistente
0,00 - 0,20	Pequena
0,21 – 0,40	Insatisfatória
0,41 – 0,60	Satisfatória
0,61 – 0,80	Substancial
0,81 – 1,00	Quase perfeita

Fonte: Landis e Koch (1977).

3.1.4 Correlação das informações

A pesquisa seguiu com as correlações estabelecidas entre as informações levantadas e produzidas. Foram feitas as referidas correlações entre os elementos do meio físico e antrópico identificados, no decorrer do trabalho. O cruzamento e correlação das informações produzidas, através dos diferentes levantamentos, permitiram obter um material cartográfico que resume o diagnóstico ambiental de cada etapa, servindo para a compartimentação fisiográfica, mapeamento do uso do solo e por fim o estudo e zoneamento geoambiental.

O cruzamento das informações obtidas na elaboração do diagnóstico deu-se no ambiente georreferenciado de um SIG (ArcGIS® 10.4) e ocorreu de duas formas: a primeira e mais utilizada, foram as ferramentas que possibilitam o cruzamento automático (fisiografia e geoambiental), como *union* e o *combine*; de maneira menos comum, alguns processos, ocorreram com a sobreposição de *layers* e posterior vetorização mecânica (Compartimentos do Relevo).

A associação das informações referentes ao meio, juntamente com os dados de uso e ocupação, permitem a compreensão das potencialidades e suscetibilidades da área de estudo.

3.1.5 Avaliação das Potencialidades e Suscetibilidades

Nesta etapa foram interpretadas as informações que caracterizam a área de estudo, chegando-se aos resultados conclusivos através dos dados selecionados e correlacionados nas etapas até então trabalhadas. Os resultados referem-se à compreensão dos mecanismos de funcionamento da área de estudo, através da definição das potencialidades e suscetibilidades ao uso do ambiente.

As potencialidades, são características intrínsecas de determinadas áreas que apresentam capacidade de realização, de produção e execução de determinadas atividades que acarretam benefícios ambientais e socioeconômicos.

A suscetibilidade representa as restrições para a execução de determinadas atividades humanas. Estas restrições podem ser relacionadas às características do meio como tipos de solos e litologias ou a alterações antrópicas.

3.1.6 Caracterização Geoambiental

Na etapa final ou no último nível de análise, foi feita a síntese e as relações de todas as informações e dados coletados, analisados, interpretados e correlacionados no decorrer da pesquisa, apresentando na forma de um quadro síntese e na descrição dos 7 (sete) Sistemas e de 12 Unidades espacializadas através do mapa Geoambiental.

A caracterização geoambiental, consiste na compartimentação do espaço em unidades homogêneas, obtidas através da análise das potencialidades e suscetibilidades do ambiente, sendo esses os termos utilizados nesse trabalho. Os pressupostos teóricos que norteiam a avaliação, não podem ser vistos apenas como limitadores de uso, mas sim de regulação das atividades que usam como base os recursos naturais. Desta forma, a setorização da área de estudo através de características Geoambientais, tem como objetivo potencializar o uso sem comprometer o ambiente, minimizando os danos e limitações.

A análise integrada (Figura 08) foi possível através de uma caracterização dos elementos básicos que formam o ambiente e que se refletem na fisiografia com os elementos de uso e ocupação. Com o auxílio da cartografia analítica e através da interpretação analítica-integrativa se chega aos documentos finais, que se caracterizam por um Zoneamento Geoambiental.

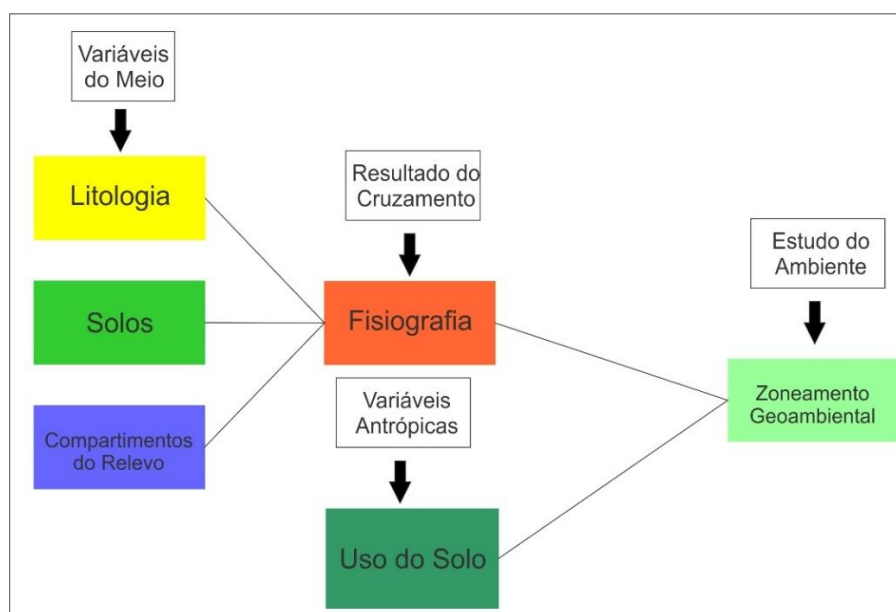


Figura 08: Resumo dos procedimentos utilizados para obter o Zoneamento Geoambiental. (fonte: autor)

Cabe ainda ressaltar a importância dos trabalhos de campo que são efetuados de forma investigativa, e organizados em forma de perfis com o auxílio do receptor GPS e cartas topográficas, essa etapa é importante para a aferição de algumas informações e elaboração dos documentos finais.

Todas as informações levantadas, processadas e correlacionadas e mapeadas na escala 1:50.000 serviram de base para a caracterização geoambiental. As categorias de informação analisadas e levantadas são documentos considerados: Básicos, Derivados, Interpretativos e Finais, em termos cartográficos, isso representa a cartografia analítica e de síntese.

4 CAPÍTULO 04: ESTUDOS TEMÁTICOS

Este capítulo apresenta as análises realizadas a partir do levantamento de dados, que resultaram em um conjunto de informações e mapas temáticos.

4.1 ANÁLISE DA HIDROGRAFIA E CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA

Neste item, são abordadas informações sobre a hidrografia, hipsometria e declividade, estas informações servem como base para as demais análises, pois a partir desses dados é possível ter uma primeira descrição sobre os atributos do meio. Com a posse de informações sobre a hidrografia é possível conhecer como está disposta a hidrografia na BHRSM, já com informações da superfície das vertentes, há a possibilidade de indicar as diferentes altitudes e declividades do terreno.

4.1.1 Análise da Hidrografia

A BHRSM, ocupa uma área de aproximadamente 15.748 km². Constitui um tributário direto da margem esquerda do rio Ibicuí, que por sua vez é um importante contribuinte da região hidrográfica do Rio Uruguai. A rede de drenagem está controlada por falhas ou diferenças litológicas, onde os canais se alojam em porções menos resistentes do terreno.

O canal principal, de oitava (8^o) ordem, estende-se por 605,79 Km, com uma orientação sul-norte, predominantemente meandrante, transportando água e sedimentos, até desaguar na margem esquerda do Rio Ibicuí, já no município de Cacequi.

A BHRSM (Figura 09) conta com 11.276 segmentos de canais, que juntos contabilizam 21.906,75 km de extensão, com isso, se tem uma densidade de canais de 1,39 km/km², considerada segundo Christofletti (1980) como sendo de baixa capacidade dos canais.

A densidade e o padrão dos canais, mais claramente observado na figura 10, estão ligados diretamente ao regime pluvial e ao substrato litológico. Relevos pouco movimentados e litologias homogêneas e permeáveis, geram canais dendríticos e com pequena densidade; litologias controladas por estruturas

geológicas canais retangulares e paralelos; litologias com baixa infiltração como lamitos respondem com densidades maiores de canais. Essas características auxiliam na delimitação de diferentes tipos de litologia e de relevo na BHRSM

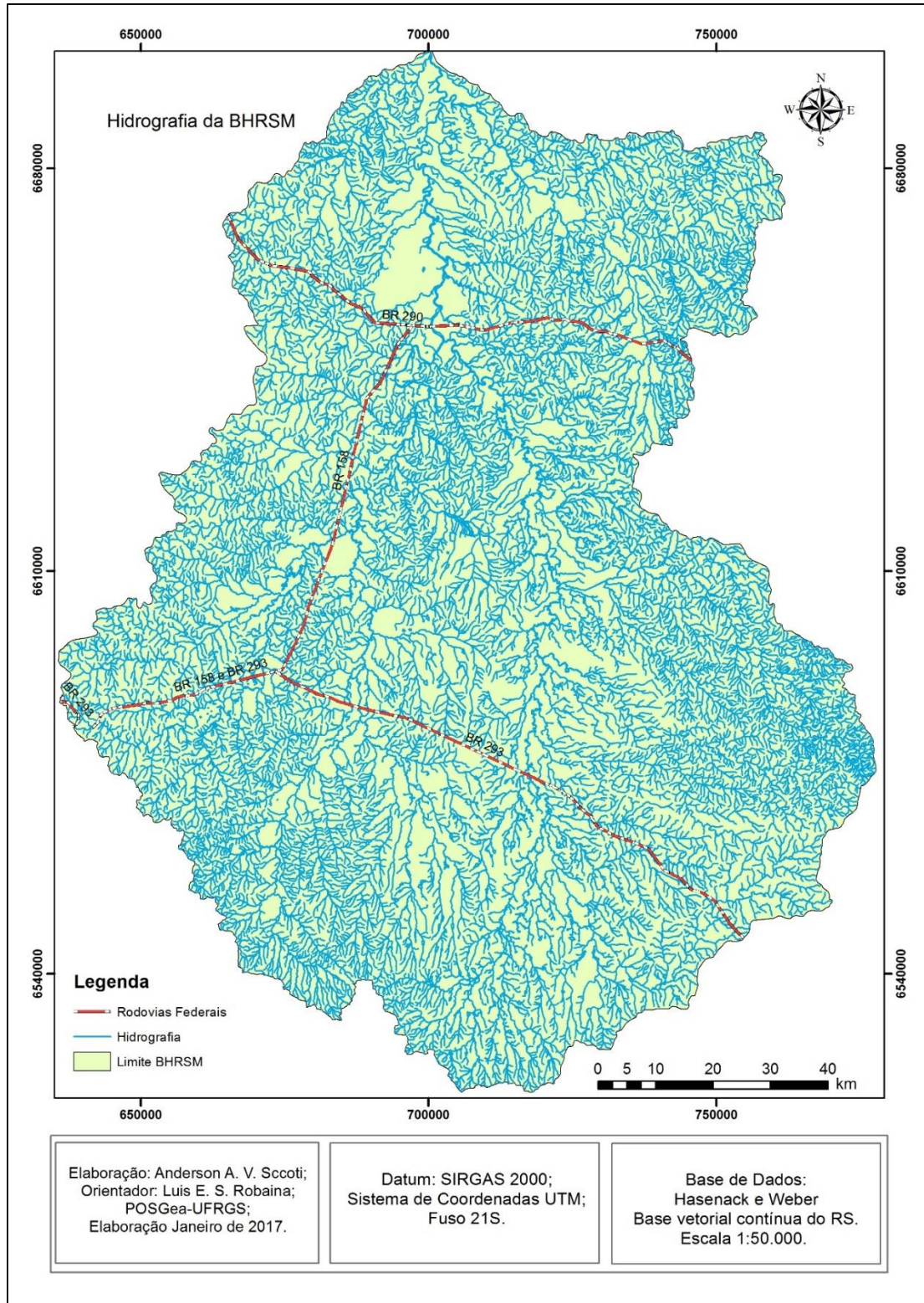


Figura 09: Mapa hidrográfico da BHRSM, e possível notar diferenças entre a densidade e a forma dos canais, essas são características controladas pela litologia. (Fonte: autor).

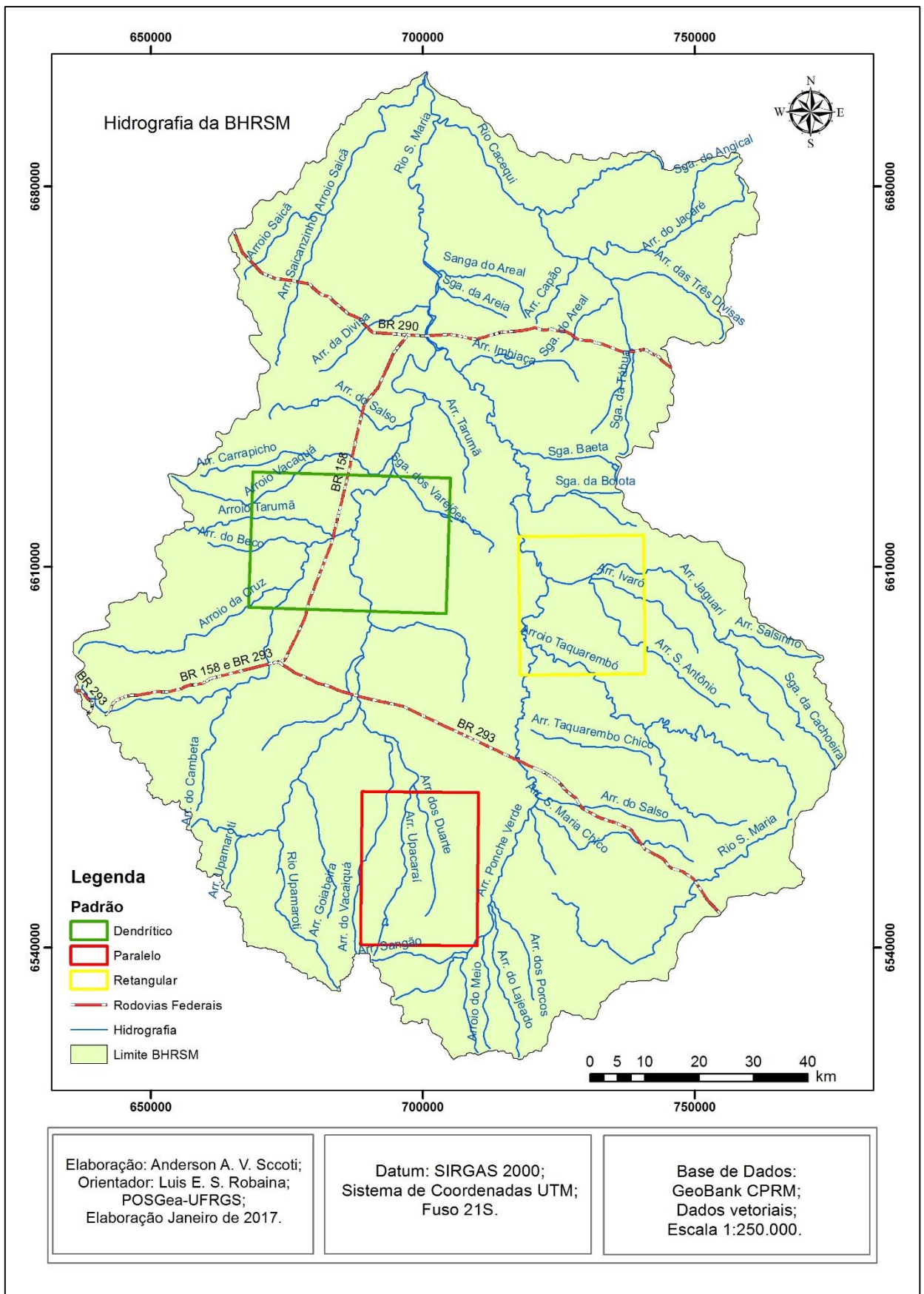


Figura 10: Mapa indicando alguns dos padrões de drenagem encontrados na BHRSM. (Fonte: autor)

4.1.2 Hipsometria e Declividade

A BHRSM apresenta formas de relevo que são comuns na porção oeste do RS, representada por áreas planas e colinas e, porções disseminadas com algumas formas ruiformes.

O estudo do relevo inicia com sua representação tridimensional, fruto de informações topográficas contidas em duas dimensões. O primeiro produto cartográfico obtido após a interpolação dos dados referentes a forma do terreno é a hipsometria, onde fica espacializadas as diferentes altitudes, em relação ao nível médio dos oceanos, que a área apresenta.

Quanto a hipsometria, a BHRSM (Figura 11) apresenta uma amplitude altimétrica de 398 metros, uma considerável diferença de altitude, sendo que a menor cota de 57 metros, localiza-se nas proximidades da foz com o Rio Ibicuí (porção norte da bacia hidrográfica) e a maior cota é de 455 metros na porção leste, junto a linha de cumeada que limita a BHRSM da bacia hidrográfica do Rio Camaquã.

As classes hipsométricas (Tabela 03), foram classificadas seguindo quebras no relevo que são identificadas pelo *software* ArcGIS®, foram utilizadas 8 classes que passaram por processos matemáticos de arredondamento.

Tabela 03: Nesta tabela, podem ser observados os resultados referentes a área de cada classe hipsometria, bem como sua porcentagem.

Classes (m)	Área em km²	Porcentagem (%)
<100 m	1.690,69	10,73
100 – 150 m	6.785,38	43,08
150 – 200 m	5.038,06	31,98
200 – 250 m	1.015,45	6,44
250 – 300 m	593,27	3,76
300 – 350 m	431,33	2,73
350 – 400 m	168,42	1,06
>400m	26,31	0,16

(Fonte: autor)

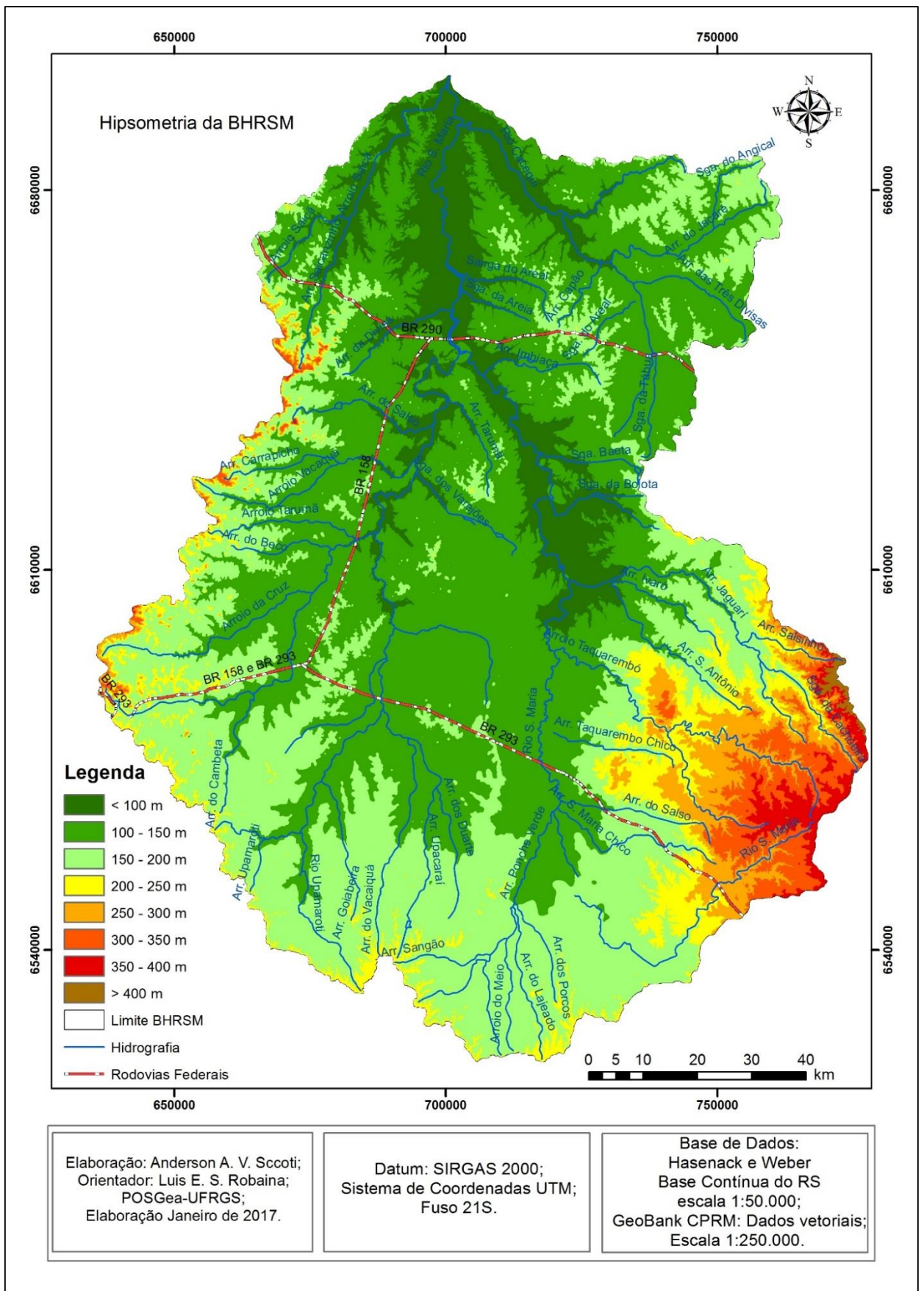


Figura 11: Mapa mostrando as diferentes altitudes encontradas na BHRSM. (Fonte: autor)

De forma geral podemos notar que a classe predominante na BHRSM, encontra-se no intervalo de 100-150m, representando 43,08% da área em estudo. As áreas com altitude superiores a 250m, representam 7,71% da área da bacia e se localizam nas bordas da bacia hidrográfica.

A declividade (Figura 12) representa a inclinação das encostas, sendo importante ferramenta para analisar como muitos processos ligados a dinâmica de matéria e energia acontecem na área de interesse.

A BHRSM apresenta uma distribuição da declividade conforme figura 12 e apresentado na tabela 04, que evidencia um relevo pouco movimentado, com predomínio de áreas planas com 57,12% (declividades < que 2%) a levemente onduladas (declividades de 2 a 5%) com 23,24% de área na BHRSM. Essas declividade (Figura 13A e B) são comumente encontradas próximas as drenagens, como também são observadas nos topos de morros e morrotes (formas residuais que indicam o desgaste de antigas porções elevadas terreno).

Tabela 04: Resultados referentes as áreas com diferentes declividades.

Classes	Área em km²	Porcentagem (%)
<2%	8.996,11	57,12
2-5%	3.660,86	23,24
5-15%	2.649,16	16,82
>15%	442,16	2,80

(Fonte: autor)

As porções com declividade entre 5 e 15% (Figura 13C), ocupam uma área de 16,82% na BHRSM e estão distribuídas por toda a bacia.

As declividades superiores a 15% (Figura 13D), ocorrem em 2,80% da Bacia, predominantemente, nas áreas da margem esquerda do rio Ibicuí da Armada, onde a mecanização da agricultura é dificultada.

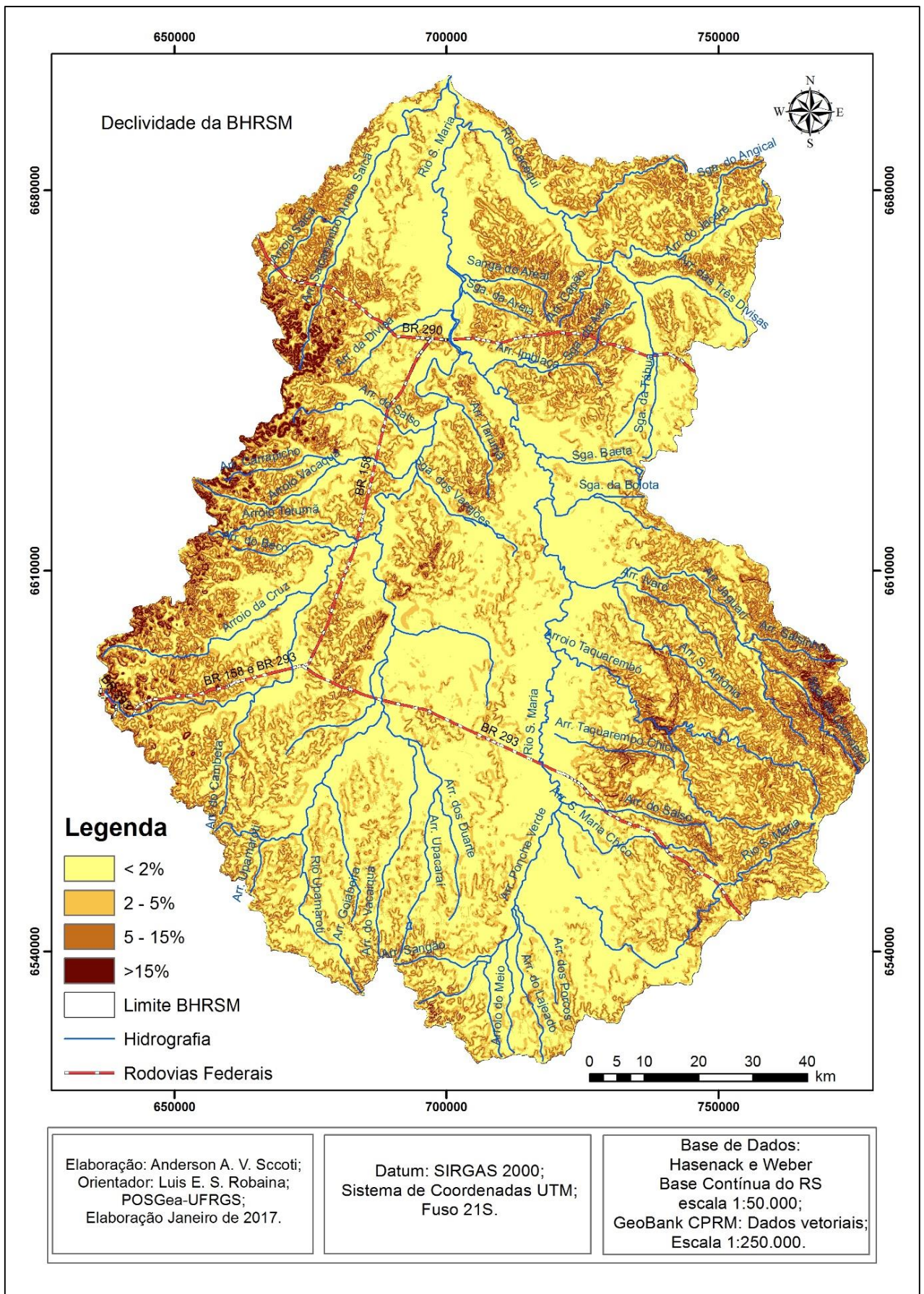


Figura 12: Mapa apresentando as declividades das encostas da BHRSM. (Fonte: autor)

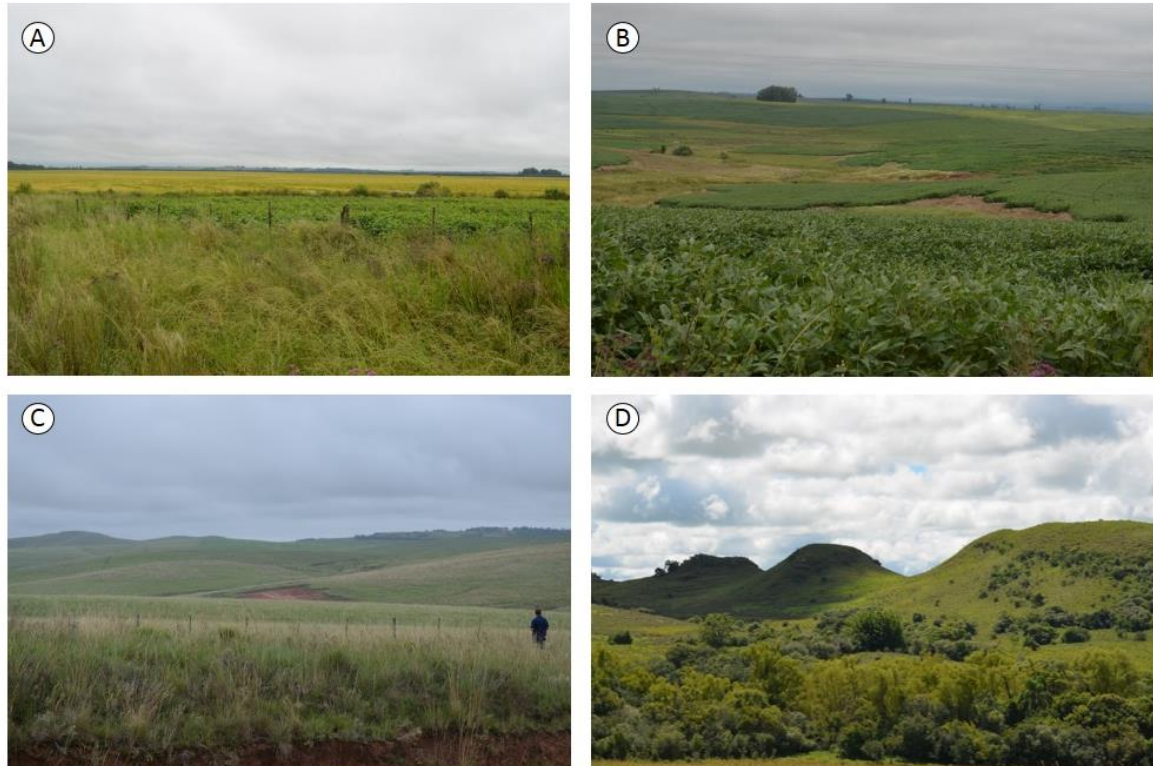


Figura 13: “A” Fotografia mostrando área próxima a confluência do rio Ibicuí da Armada com o Santa Maria, é possível observar uma declividade baixa, inferior a 2%; “B” imagem com declividades entre 2 e 5%; “C” área com declividade entre 5 e 15%, é possível observar interflúvios mais curtos; “D” encosta com declividade superior a 15%.(Fonte: Autor, fevereiro de 2014)

4.2 ANÁLISE E CARACTERIZAÇÃO DO SUBSTRATO LITOLÓGICO

As formas de relevo e as litologias constituem o substrato físico sobre o qual se desenvolvem as atividades humanas e dessa forma, trabalhos de zoneamentos que determinam unidades homogêneas são fundamentais para entendimento dos processos geomorfológicos e como as ações humanas podem interferir no meio.

Estudos pioneiros de compartimentação geológico-geomorfológico do estado do Rio Grande do Sul desenvolvidos por Nogueira (1948) dividiu em 4 regiões que, até hoje, são muito utilizadas: Litoral, Escudo Sul-Riograndense, Sedimentos Gondwânicos e Planalto. Carraro *et al.*, em 1974, utilizou a mesma lógica de Nogueira (1948) e publicou o Mapa Geomorfológico do Estado com 4 províncias: Escudo Sul-riograndense, Depressão Periférica, Planalto e Planície Costeira. Nessa condição a BHRSM está localizada na unidade Sedimentos Gondwânicos, que Carraro (op cit) denominou de Depressão Periférica.

Entretanto, deve-se considerar que as nascentes a oeste da bacia estão localizadas no Planalto e as nascentes a SE no Escudo.

Em 1954, Chebataroff apresentou uma divisão fisiográfica do Uruguai e do Rio Grande do Sul, acrescentando duas novas regiões e subdividindo em sub-regiões. O autor apresenta, pela primeira vez, a região denominada Cuesta basáltica de Haedo na região oeste do estado. Usando como base este trabalho, em 1970, Müller Filho propôs a divisão do estado em: Planalto, Cuesta de Haedo, Depressão Central, Escudo e Planície Costeira. A característica importante para a BHRSM é que as nascentes na porção oeste da bacia marcam os limites da Cuesta de Haedo.

Um importante trabalho sobre a compartimentação do estado foi realizado pelo Projeto Radam Brasil incorporado pelo IBGE, em 1986, que utiliza, como base, os diversos trabalhos desenvolvidos e faz uma divisão em Domínios Morfoestruturais, Regiões Geomorfológicas e Unidades Geomorfológicas. Nesse trabalho, o estado foi dividido em seis regiões geomorfológicas: o Planalto das Araucárias, localizado na porção nordeste, onde se localizam as maiores altitudes; o Planalto das Missões ao norte e o Planalto da Campanha no oeste, onde o relevo apresenta um mergulho em direção ao rio Uruguai; na parte centro-sudoeste do estado, seguindo os canais fluviais do rio Jacuí, Ibicuí e Santa Maria, ocorre a Depressão Central Gaúcha; na região denominada Planalto Sul Riograndense, centro-sul do estado, ocorrem as rochas do maciço cristalino antigo; ao longo da costa do Atlântico, a região da Planície Costeira. Recentemente, Robaina *et al* (2010), utilizando como base este trabalho estabeleceram uma divisão geomorfológica da Bacia do Ibicuí, composta pela Depressão Periférica, Planalto da Serra Geral e a porção SW do Escudo sul-riograndense.

A Depressão Periférica do RS 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. As altitudes são inferiores a 200 metros com substrato formado por uma sequência de coberturas sedimentares da Bacia do Paraná de origem Mesozóica, por vezes, recobertos pelos depósitos recentes Quaternários.

É a principal unidade na BHRSM e se caracteriza por processos geomorfológicos controlados pela hidrografia do Rio Ibicuí e seus afluentes,

atuando sobre um substrato de rochas sedimentares de diferentes tipos, com predomínio de arenitos. Nessa unidade ocorrem amplas e alongadas formas de topos convexos, regionalmente, conhecidas como coxilhas onde os processos erosivos são significativos.

Nas Áreas Planas Aluviais ocorre um relevo de agradação caracterizado por depósitos sedimentares de canal, planície de inundação e terraços nos rios da região. O rio Santa Maria apresenta um leito maior com seção transversal larga e o leito menor com margens baixas e fundo arenoso. Uma importante característica do leito menor do rio é o desenvolvimento de bancos de areia que indicam a ocorrência de raios mais reduzidos para o leito de estiagem. A baixa declividade desta unidade forma áreas planas sujeitas a inundações periódicas favorecendo os processos de acumulação e deposição de sedimentos.

O Planalto da Serra Geral apresenta sua origem ligada ao vulcanismo que cobriu os sedimentos da Bacia do Paraná no final do Mesozóico. Uma delgada faixa a oeste da BHRSM está neste compartimento, mais especificamente, no Planalto da Campanha formando um lineamento de morros e morrotes intercalados com colinas, conhecido como Serra do Caverá.

O Escudo sul-riograndense, na porção SE da BHRSM, é representada por rochas cristalinas e meta-sedimentares. Entre as cristalinas cabe destacar rochas ígneas com alto grau de metamorfismo além de meta vulcânicas. Devido a sua alta resistência, formam perfis de alteração pouco desenvolvidos e em muitos casos, principalmente no topo de colinas e elevações, há o surgimento de afloramentos rochosos.

4.2.1 Litologias Aflorantes na BHRSM

4.2.1.1 Rochas do Escudo

As litologias que afloram no SE da BHRSM, estão associadas a porção SW do Escudo Sul-riograndense e foram estudadas por trabalhos geológicos publicados por Nardi & Hartmann (1979), Hartmann & Nardi (1982, 1983), Gastal (1997, 1999), Gastal & Lafon (1998) entre outros, que servem de base para os variados estudos de detalhe que se desenvolvem na área de ocorrência das rochas mais antigas do Estado.

As rochas, que constituem o Escudo Sul-riograndense, são originadas em um antigo cinturão orogenético composto por unidades rochosas de várias idades, cuja formatação final ocorreu na passagem do final do Neoproterozóico para o Cambriano. A sua formação está relacionada a eventos da formação do Supercontinente da Gondwana, em função de sucessivas choques que geraram acreções continentais, que resultaram no sistema de montanhas com desenvolvimento mais marcante entre 650-450 milhões de anos (HOLZ e ROS, 2000).

Os litótipos pertencentes ao Escudo, aflorantes na BHRSM, são rochas vulcano-sedimentares, metamórficas de alto grau pertencentes ao Complexo Granulítico Santa Maria Chico e um conjunto de rochas graníticas brasileiras. O Complexo Santa Maria Chico (CGSMC) é considerado um fragmento do Cráton Rio de La Plata (Gastal 1997) e como parte do Bloco Taquarembó Nardi & Hartmann (1979), o qual é interpretado como um fragmento do Cráton Rio de La Plata. Na área da BHRSM o complexo de rochas metamórficas faz contato a oeste, com vulcânicas intermediárias e ácidas das formações Hilário e Acampamento Velho, formadoras do Platô do Taquarembó (Figura 14), a oeste e a sudeste com Suítes graníticas e a sudoeste é recoberto pelas rochas sedimentares gondwânicas da Bacia do Paraná, da Formação Rio Bonito.



Figura 14: Feições típicas observadas no platô Taquarembó, na imagem é possível observar afloramento de rochas cristalinas no topo de colinas, localizadas a altitudes superiores a 200m. (Fonte: autor, outubro de 2016)

O Platô Taquarembó é composto por rochas da Formação Acampamento Velho (550Ma), de afinidade alcalina sódica, que sucedem temporalmente e estratigraficamente a Formação Hilário (590Ma), de afinidade alcalina potássica (shoshonítica). Devido aos processos intempéricos e erosivos o Platô Taquarembó, não apresenta bordas abruptas, mas configura uma elevação topografia na porção SE da BHRSM. A Formação Acampamento Velho constitui uma seqüência vulcânica bimodal, com grande predomínio de vulcanitos ácidos, essencialmente gerados em fluxos piroclásticos pumícios (ignimbritos) (Figura 15) e derrames riolíticos, associados a lavas e corpos intrusivos de composição básica e intermediária (Nardi & Bonin, 1991).



Figura 15: Afloramento de ignibrito, na imagem e possível observar um fragmento de rocha já alterado, porém de maneira geral, os ignibritos representam rochas resistentes, onde formam mantos de alteração incipientes. (Fonte: autor, julho de 2014)

Com relação aos granitóides presentes, os afloramentos mais abundantes observados na área da BHRSM, afloram como matacões, lajeados e junto às drenagens, tendo como principal característica a presença de cristais pórfiros de K-feldspato.

4.2.1.2 Rochas Sedimentares da Bacia do Paraná

Estratigraficamente sobrepostas as rochas cristalinas do Escudo, ocorre um substrato de rochas sedimentares da Bacia do Paraná, que formaram-se por deposição no interior do Continente Gondwana, e estão muito bem representadas na área de estudo (BHRSM).

A formação da Bacia do Paraná deu-se na forma de depressões alongadas na direção NE-SW, segundo a trama do substrato pré-cambriano (MILANI, 1997). As zonas de fraqueza do embasamento, correspondentes ao arcabouço brasileiro impresso nessa região, foram reativadas sob o campo compressional originado na borda do continente.

Milani (1997) reconheceu, no registro estratigráfico da Bacia do Paraná, seis unidades de ampla escala sob forma de pacotes rochosos, materializando cada um deles em intervalos temporais com algumas dezenas de milhões de anos de duração. As três primeiras, representadas por sucessões sedimentares, definem ciclos transgressivo-regressivos, ligados a oscilações do nível relativo do mar no Paleozóico e, as demais, correspondem a pacotes de sedimentitos continentais com rochas ígneas associadas.

Na área de estudo, o pacote sedimentar aflorante, representa um registro sedimentar, que reflete uma grande variedade de condições deposicionais sucedendo-se no tempo e evoluindo, entre um contexto Neocarbonífero de sedimentação com marcada influência glacial, até um amplo e árido interior continental com domínio de campos de dunas eólicas, já na chegada do Mesozóico.

As primeiras unidades sedimentares, presentes na BHRSM, estão associadas às sequências depositadas sobre e na borda do Escudo e marcam o final do ambiente glacial, com depósitos de conglomerados e varvitos, que com a deglaciação contribuíram na formação de depósitos deltaicos, representados por arenitos conglomeráticos amarelos a cinza e intercalações de lamitos e depósitos de lamitos marinhos.

As rochas com características continentais foram definidas como da Formação Rio Bonito como fácies continental e de transição e a Formação Palermo, estratigraficamente logo acima da sequência marinha de águas rasas. Segundo Lavina *et al.* (1986) a transgressão marinha, que originou este contexto

deposicional, faz parte de uma elevação do nível médio dos oceanos iniciado no final do Permiano Inferior.



Figura 16: Afloramento de arenito da Fm. Sanga do Cabral. Essas rochas representam importantes sequências sedimentares na BHRSM. Uma das principais características dessa rocha é a presença de mica e a formação de concreções carbonáticas que na imagem aparecem no formato de discos. (Fonte: autor, outubro de 2016).

Os depósitos marinhos formados predominantemente de lamitos, cinza claros com acamamento *wavy-linsen* e arenitos muito finos, amarelados, com *ripples* de onda e lentes e bancos carbonáticas (Figura 17). Em superfície formam relevo plano a levemente ondulado, em uma faixa N-S de exposição na região SE da Bacia, compondo a margem direita nas porções de alto e médio curso do rio Santa Maria, principal afluente do Rio Ibicuí.

Estes depósitos dão lugar, conforme Lavina (1988), a um complexo progradacional de *red beds* da Formação Rio do Rasto, que está litologicamente representado na BHRSM por arenitos e lamitos distribuídos ao longo de faixas laterais aos lamitos marinhos na porção SE da BHRSM.

O avanço dos sistemas continentais é marcado por uma espessa sucessão flúvio-eólica que corresponde à Formação Sanga do Cabral (LAVINA, 1988). Na BHRSM, essa unidade está muito bem representada e, apesar de ocorrer intercalações, podem ser separadas em duas porções: uma localizada mais a leste, com predominância de arenitos eólicos; e outra de arenitos fluviais que predominam para oeste e norte da bacia e que caracterizam-se pela ocorrência comum de micas, concreções carbonáticas e fósseis vegetais. O mapeamento da CPRM (2006) classifica a porção eólica como pertencente a Formação

Pirambóia e a fluvial a Formação Sanga do Cabral. As porções eólicas estão sujeitas a processos erosivos acelerados, que geram ravinas e voçorocas.



Figura 17: Depósitos marinhos de coloração amarelada, nesse afloramento é possível observar marcas de ondas nas concreções carbonáticas. (Fonte: autor, outubro de 2016)

Na porção oeste da BHRSM junto a região da Serra do Caverá afloram rochas sedimentares de origem ligada a fluxos aquosos, abaixo da Formação Botucatu e sobrepostos a Formação Sanga do Cabral. Com base em Scherer *et al.* (2002), essa sequência sedimentar de origem fluvial, pertence à Formação Guará de idade Mesozóica. O mais provável é que esta sedimentação tenha ocorrido no final do Jurássico. Segundo os Scherer *et al.* (2002), as camadas fluviais/eólicas da Formação Guará são correlacionáveis às da Formação Tacuarembó no Uruguai (Jurássico Superior/Cretácio Inferior).

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-paralelas. A cimentação desses blocos de arenitos consiste em uma carapaça de óxido de ferro, bastante delgada e à medida que está “capa protetora” é rompida o substrato

torna-se muito friável, tornando-se muito susceptível aos processos de dinâmica superficiais.

As rochas que encerram o ciclo deposicional da Bacia do Paraná, presentes na BHRSM, são do Jurássico-Eocretácico, segundo Milani *et al.* (1994), compreendendo o intervalo do registro estratigráfico em que se posicionam os sedimentitos eólicos da Formação Botucatu e as vulcânicas da Formação Serra Geral.

A Formação Botucatu constitui-se quase totalmente, em toda sua ampla área de ocorrência, por arenitos médios a finos, elevada esfericidade e aspecto fosco, róseos, exibindo estratificação cruzada tangencial, de médio a grande porte, indicando um ambiente eólico de deposição.

Afloram em uma faixa estreita da Serra do Caverá em intercalações com rochas vulcânicas.

4.2.1.3 Rochas vulcânicas da Bacia do Paraná

As rochas vulcânicas da Bacia do Paraná, no Rio Grande do Sul, estão apresentadas de forma geral nos trabalhos de Roisenberg & Viero (2000), Nardy *et al.* (2002), no trabalho de Wildner, *et al.* (2007) e de Martins *et al.* (2011) .

O magmatismo fissural, que capeou a Bacia do Paraná no Mesozóico, está relacionado à desagregação do Continente Gondwana, formando uma espessa cobertura de lavas e uma intrincada rede de diques e soleiras. Na área da BHRSM ocorrem cobrindo uma delgada faixa a oeste.

No Planalto estudos petrográficos mostram uma variação no teor de sílica que permite classificar as rochas desde basaltos até riolitos. Na BHRSM ocorrem segundo CPRM (2006), litologias das Fácies Gramado e Fácies Alegrete. A primeira corresponde a basaltos com baixo titânio, litótipos cinza escuros, maciços ou vesiculares com arranjo intergranular. A segunda está representada litótipos cinza a cinza escuro, com forte estratificação horizontal definidos como andesito basáltico (MARTINS *et al.*, 2011).

Os depósitos recentes formam os depósitos de canal e de transbordamento dos rios, que compõem a BHRSM. O rio Santa Maria forma importantes depósitos de barra de meandro e barra de pontal no baixo curso, que têm importante papel

econômico pela extração de areia. Na planície de inundação ocorrem os depósitos mais finos constituídos de silte a argila.

4.2.2 Compartimentação em unidades litológicas

A compartimentação foi baseada na análise das características das litologias frente aos processos de alteração superficial, associação estratigráfica e distribuição espacial.

Dessa forma, definiu-se três unidades (Figura 18) para serem utilizadas na compartimentação fisiográfica: unidades de rochas vulcânicas da Serra Geral, cristalinas do Escudo; e rochas sedimentares.

A unidade vulcânicas da Serra Geral, compondo 1,01% da bacia, é formada por rochas vulcânicas básicas com intercalações de arenitos do final do Jurássico-início do Cretáceo. Constituem um lineamento estrutural marcada de elevações de morros e morrotes (Figura 19) na região oeste da bacia hidrográfica.



Figura 18: Morro capeado por rocha vulcânica, é possível observar o topo arredondado, típico de feições cobertas por rochas vulcânicas. (Fonte: autor, fevereiro de 2014).

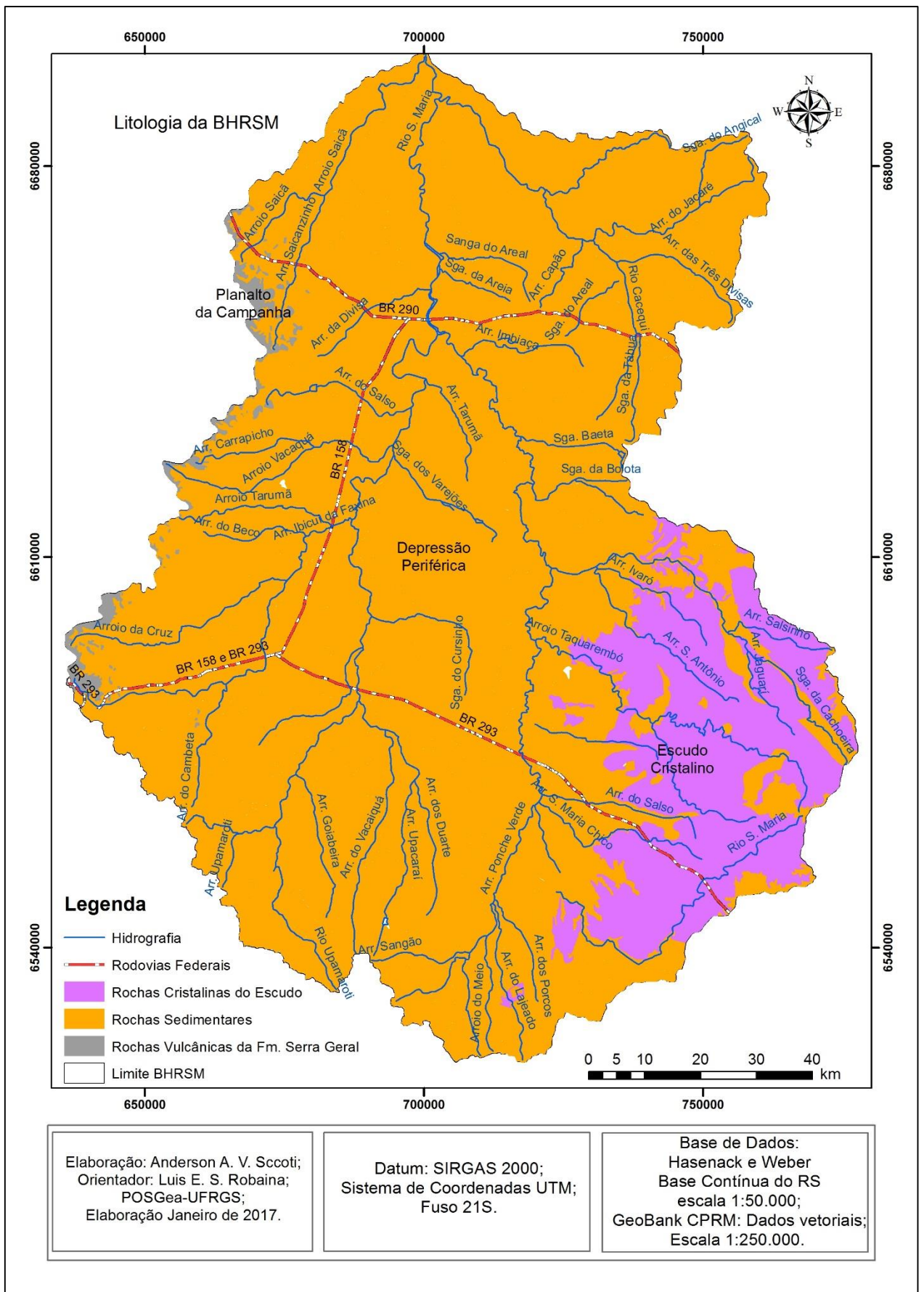


Figura 19: Compartimentação litológica da BHRSM, no mapa podemos ver a localização das rochas sedimentares, cristalinas e vulcânicas da Serra Geral. (Fonte: autor)

Os derrames apresentam diferentes características em função da porção observada. Na parte superior dos derrames é encontrada uma porção rica em vesículas e amígdalas (Figura 20), que são facilmente afetados pelos processos de alteração e, em geral, gerando solos bem desenvolvidos. Já a porção central do derrame apresenta um conjunto de juntas verticais e textura cristalina (Figura 21). A porção de base (Figura 22) apresenta juntas horizontais, o que deve ser resultado, pelo menos em parte, do escoamento laminar da lava no seu interior.

Os processos de alteração são influenciados pela porção do derrame que está sendo atacada pelos agentes intempéricos. As porções de rocha mais cristalizadas e com estrutura maciça, apresentam menor possibilidade de infiltração da água, logo são as mais resistentes.

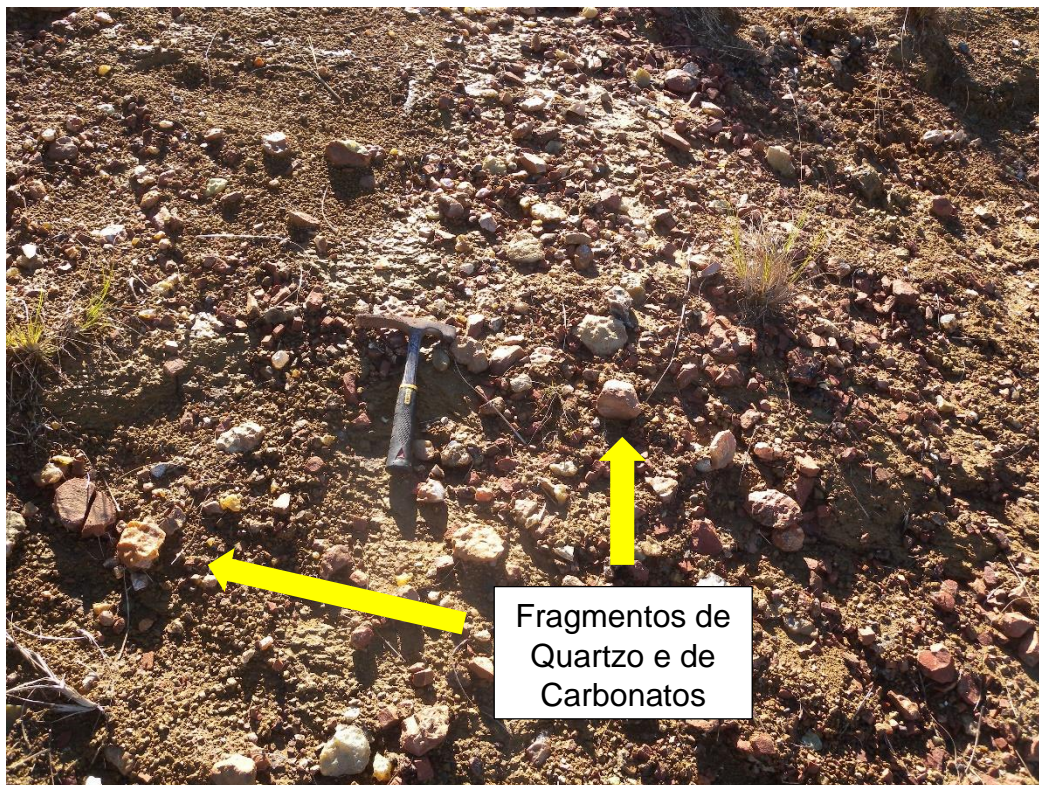


Figura 20: Porção do topo de derrame, é comum observar cristais de quartzo e carbonatos, formados no interior da rocha após seu resfriamento, com a ação do intemperismo sobre a rocha, os cristais, em especial os compostos por quartzo ficam expostos. (Fonte: autor, julho de 2014).



Figura 21: Juntas colunares, típicas da porção central dos derrames. (Fonte: autor, julho de 2014).



Figura 22: Porção de base do derrame vulcânico, e possível observar as diaclases formando estruturas plano paralelas. (Fonte: autor, julho de 2014).

A unidade rochas cristalinas do Escudo foi definida pela associação de rochas graníticas, metamórficas de alto grau e vulcânicas e vulcanoclásticas de caráter ácido. Forma um relevo de colinas, morros e cristas na região SE da bacia formando uma associação de Cráton com rochas intrusivas e extrusivas do magmatismo do Brasileiro, compondo uma área de 12,72% da bacia hidrográfica.

A unidade de rochas sedimentares é a mais importante da bacia hidrográfica com área de 86,25% do total. Esta unidade é constituída de rochas sedimentares da Bacia do Paraná, desde lamitos até arenitos (Figura 23, 24 e 25) formados em diferentes ambientes de deposição, desde marinho raso, fluvial e eólicos. As características de permeabilidade/porosidade, grau de cimentação e presença de concreções diferencia as respostas aos processos superficiais.



Figura 23: Arenito eólico, nesse afloramento podemos observar que houve o dobramento das camadas, possivelmente uma feição típica de borda de bacia de deposição. (Fonte: autor, julho de 2014).



Figura 24: Lamito altamente cimentado com carbonato de cálcio, é possível observar veios de carbonato em meio a rocha.(Fonte: autor, julho de 2014).

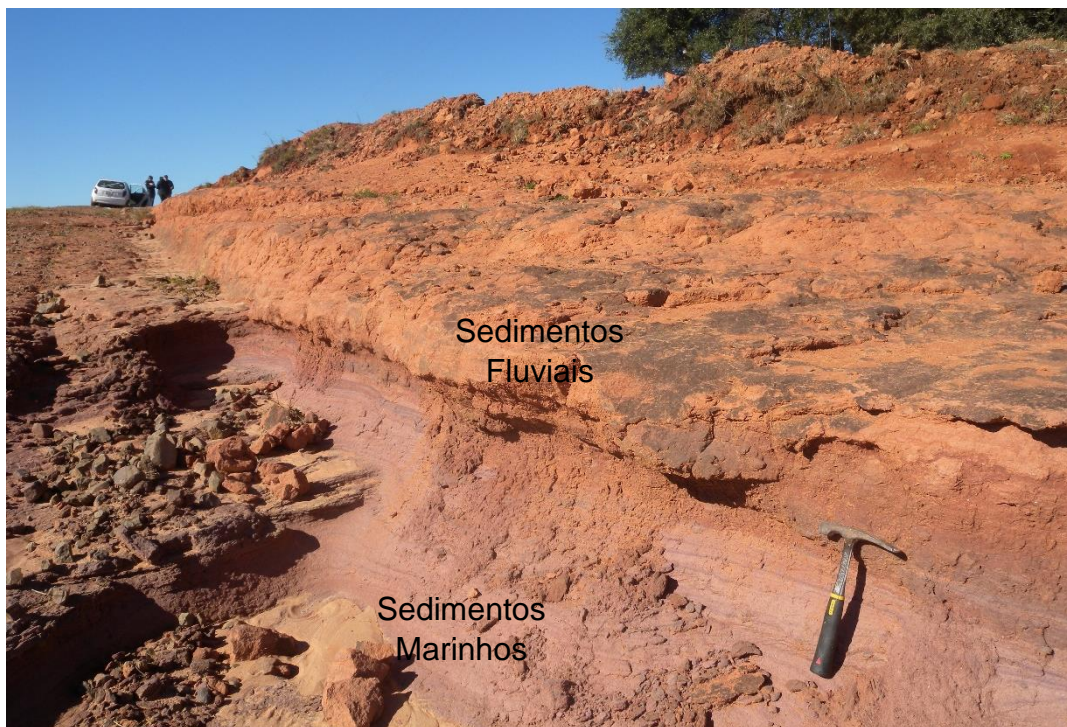


Figura 25: Contato entre rochas sedimentares, e possível observar a diferença entre os sedimentos, a baixo e com tom mais rosado temos sedimentos de origem marinha e na porção superior, mais alaranjado, temos uma rocha formada através de sedimentos que passaram por transporte fluvial. (Fonte: autor, julho de 2014).

4.3 DETERMINAÇÃO SIMPLIFICADA DOS SOLOS PRESENTES NA BHRSM

Os solos são um recurso natural, lentamente renovável, encontrado em diferentes posições do meio. A diversidade, geológica e climática originam os tipos de solos. A identificação do solo é feita a partir do “perfil”; que mostra uma seqüência vertical de camadas, resultantes da formação do solo; estas camadas são chamadas de horizontes pedogenéticos, diferenciadas entre si pela: cor, textura e espessura.

Os solos foram agrupados a partir de características e propriedades similares com objetivo de estimar seu comportamento frente a processos superficiais e usos. A classificação foi estabelecida pelo desenvolvimento pedogenético e hidromorfismo em três unidades: unidade de solos hidomórficos, que compõem 40,99% da bacia, unidade de solos mal desenvolvidos localizados, principalmente, nas áreas de nascentes, correspondendo 14,73% da bacia e; as unidades de solos bem desenvolvidos que são predominantes na bacia, com 44,27% do total (Figura 26).

Na BHRSM os solos hidromórficos estão associados, principalmente, nas várzeas do Rio Santa Maria e afluentes e com ampla área de exposição associados aos substrato de rochas lamíticas. Nos Gleissolos a hidromorfia é expressa por forte gleização, resultante de intensa redução de compostos de ferro, em presença de matéria orgânica, com ou sem alternância de oxidação, por efeito de flutuação de lençol freático, sob condições de excesso de umidade permanente ou periódico com muita deficiência ou mesmo ausência de oxigênio.

A gleização gera cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas devido a compostos ferrosos (redução e solubilização de ferro). Nos Planossolos que se desenvolvem em áreas de relevo plano, sob condições ambientais e do próprio solo que favorecem vigência periódica anual de excesso de água, mesmo que de curta duração. Com características de hidromorfismo ocorrem solos do tipo Chernossolos, no sul da bacia, que possuem horizonte A espesso, escuro, rico em matéria orgânica (Figura 27). Ocorrem, ainda, sobre bancos arenosos associados ao canal fluvial solos arenosos mal desenvolvidos identificados como Neossolos quartzarênicos flúvicos.

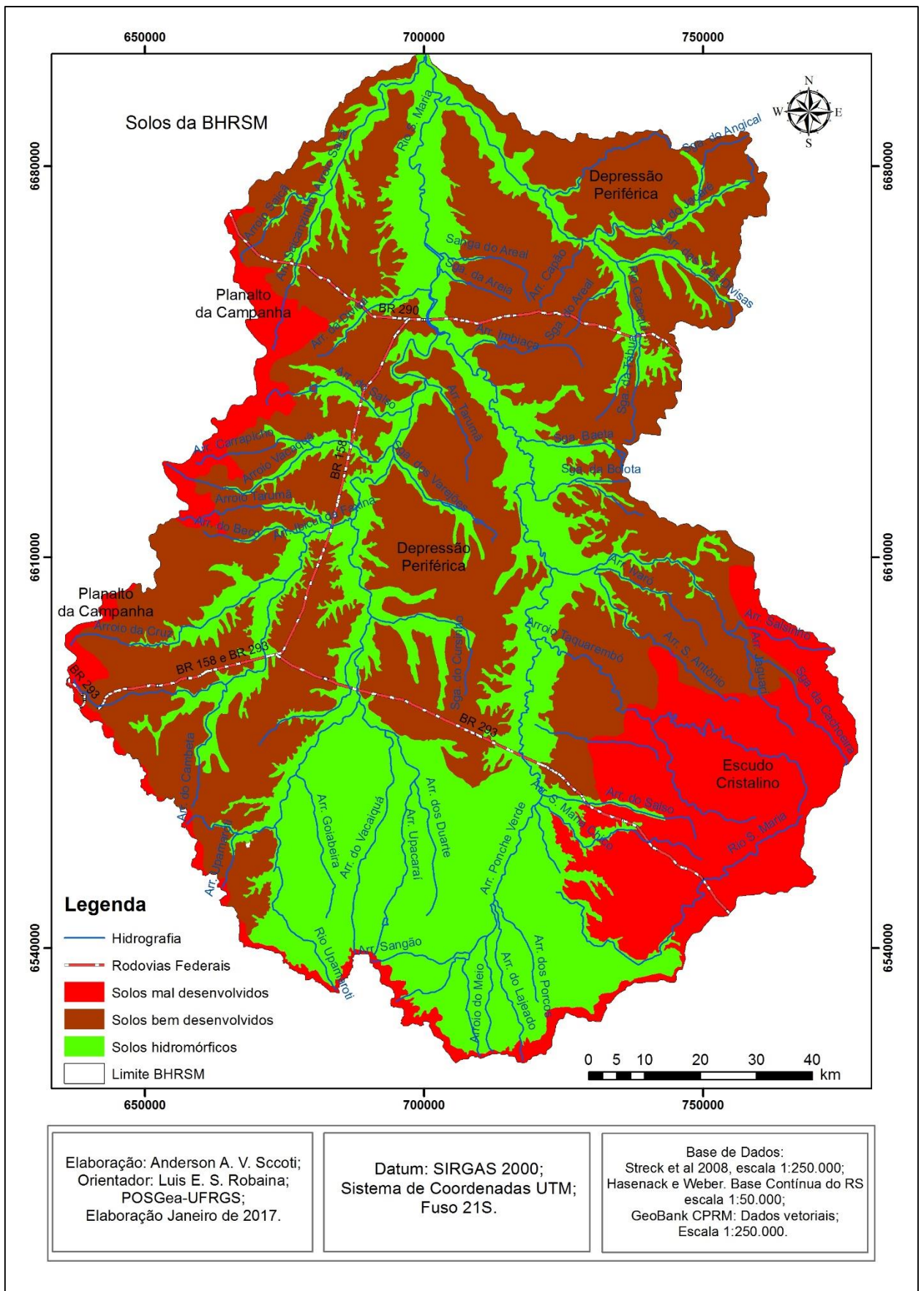


Figura 26: Mapa simplificado dos tipos de solo encontrados na BHRSM. (Fonte: autor).



Figura 27: Ambiente típico de solos hidromórficos, são porções onde naturalmente ocorre o acúmulo de água, seja o ano inteiro ou apenas nos períodos de maior precipitação. (Fonte: autor, fevereiro de 2014).

Associado ao substrato de rochas vulcânicas com relevo ondulado são comuns solos mal desenvolvidos formando uma associação de Cambissolos e Neossolos litólicos (Figura 28), com matéria orgânica e pedregoso. Estes solos ocorrem, também, na porção SE da bacia, associados a rochas do Escudo, como vulcânicas ácidas e granitóides. Os Neossolos quartzarênicos espessos foram encontrados associados a Latossolos arenosos, na porção NE da bacia associado ao município de Cacequi.

Os solos associados ao substrato sedimentar, bem desenvolvidos, são classificados como Argissolos vermelhos associados a porções de arenitos finos em relevo de colinas (Figura 29). Nas porções com arenitos mais quartzosos com menores teores de argila ocorrem Latossolos arenosos. Os Argissolos têm B textural, com argila de atividade baixa, evolução avançada com atuação incompleta de ferralitização; mobilização de argila da parte mais superficial, com concentração ou acumulação em horizonte superficial. grupamento de solos com B latossólico; evolução muito avançada com expressiva laterização (ferralitização ou laterização); intemperização intensa dos minerais primários e

secundários menos resistentes e concentração relativa de argilominerais e/ou óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, com inexpressiva mobilização ou migração de argila.

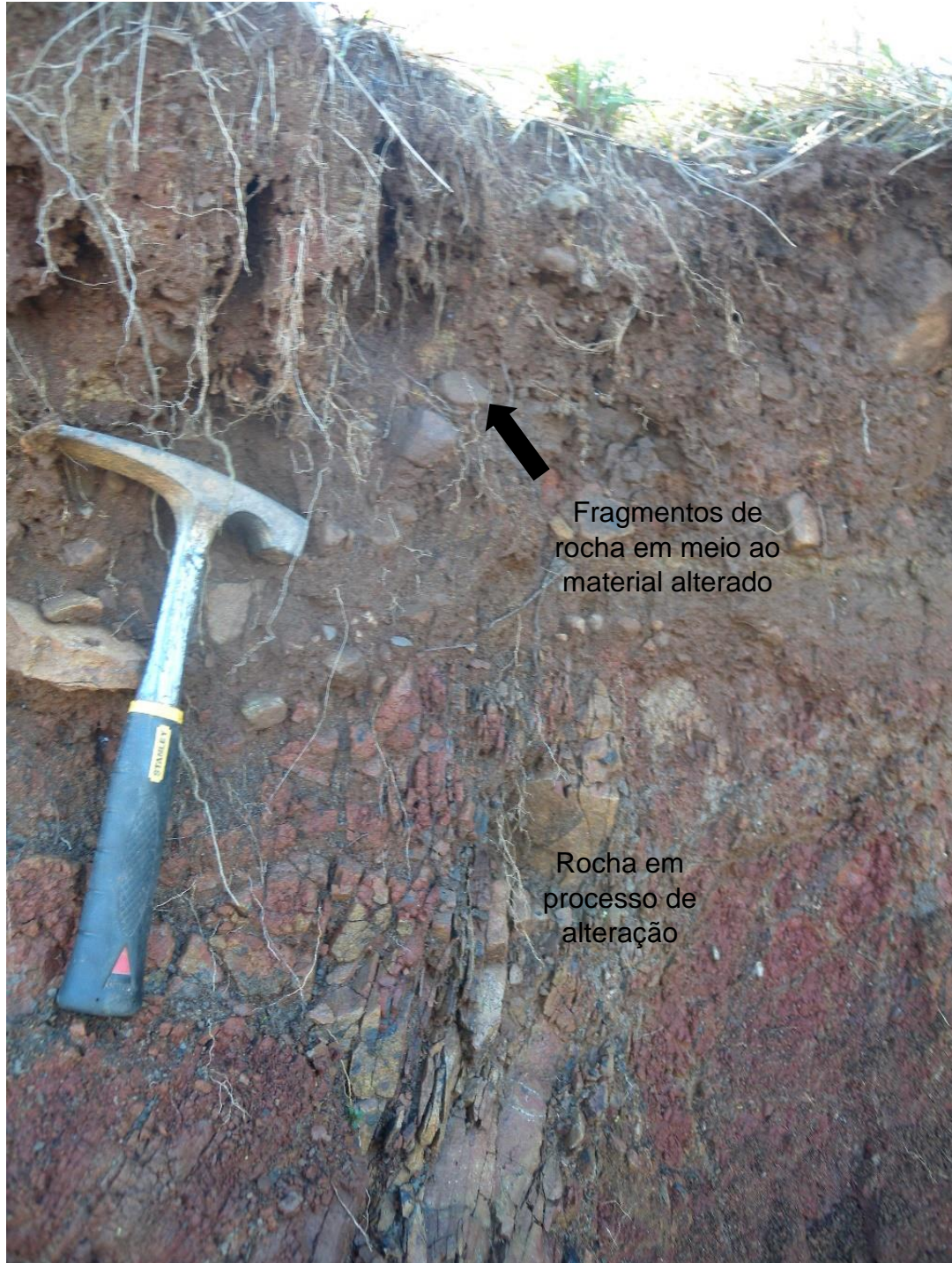


Figura 28: Solos mal desenvolvido, além de apresentar um pequeno manto de alteração, esse encontra-se com horizonte B incipiente, devido a presença de pequenos blocos de rocha sã. (Fonte: autor, julho de 2014).



Figura 29: Perfil de solo bem desenvolvido, é possível observar um espesso manto de alteração (1,5 a 2 metros). (Fonte: autor, fevereiro de 2014).

4.4 ANÁLISE DO RELEVO A PARTIR DE ELEMENTOS DE *GEOMORPHONS*

A compartimentação do relevo, tem como objetivo estabelecer características quanto a configuração e modelado deste, a fim de subsidiar a compreensão de fatores atuantes na modelagem destes relevos.

O desenvolvimento cada vez maior de geotecnologias, associadas a análise ambiental proporciona a incorporação de procedimentos e técnicas que auxiliem na análise do relevo, através de modelagens e interpretações de modelos digitais de elevação que auxiliam na compreensão da compartimentação do relevo.

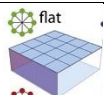

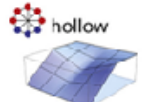
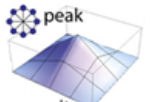
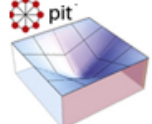
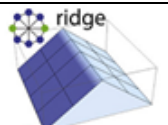
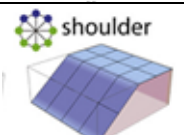
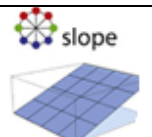
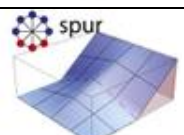

4.4.1 Elementos de Relevo

Os elementos do relevo são classificados em 10 formas básicas definidos como *geomorphons* (*flat, peak, ridge, shoulder, spur, slope, hollow, footslope, valley, and pit*), obtidos através dos algoritmos médios por técnicas computacionais. Os elementos de formas de relevo podem ser expressos por um número de diferentes *geomorphons* (Figura 30).

Os elementos de relevo identificados na BHRSM (Tabela 05) são, predominantemente, os *flat* com 64% do total de elementos da bacia, além dos

elementos de *slope* (13,48%), *shoulder* (4,85%) e *footslope* (4,58%). Esses elementos caracterizam a bacia como de relevo plano a suavemente ondulado.

Tabela 05: Distribuição da área, forma e porcentagem dos elementos do relevo.

Área das unidades básicas encontradas na BHRSM			
Unidades	forma	Área km²	%
<i>Flat</i> (Plano)		10.148,27	64,43
<i>Footslope</i> (Base da encosta)		722,34	4,58
<i>Hollow</i> (Escavado)		402,54	2,55
<i>Peak</i> (Pico)		22,5	0,14
<i>Pit</i> (Fosso)		7,01	0,40
<i>Ridge</i> (Crista)		446,52	2,83
<i>Shoulder</i> (Ressalto)		764,9	4,85
<i>Slope</i> (Encosta)		2.120,76	13,48
<i>Spur</i> (Crista Secundária)		572,27	3,63
<i>Valley</i> (Vale)		541,69	3,43
Total	-	15.748	100

Fonte: autor

4.4.1.1 Compartimentação do Relevo

O mapa da figura 30 mostra a distribuição espacial dos elementos do relevo (*geomorphons*), classificados em 10 unidades conforme resultado do processamento digital do MDE. O elemento *Flat* (plano) predomina em toda a extensão da BHRSM, isso se deve ao fato da localização geomorfológica da área em estudo, pois está inserida em uma porção onde as formas de relevo mais comuns estão ligadas a áreas planas e colinas.

Com base na predominância e a relação entre os elementos de relevo dividiu-se a bacia em quatro compartimentos, como pode ser visto no mapa da figura 31. A tabela 06 mostra a porcentagem da área de ocorrência dos compartimentos na bacia.

Tabela 06: quantificação dos compartimentos de relevo observados na BHRSM

Compartimentos	Área km²	%
Compartimento 01	4.130,52	26,24
Compartimento 02	9.490,35	60,29
Compartimento 03	866,08	5,5
Compartimento 04	1.253,73	7,96
Total	1.5748,8	100

Fonte: autor

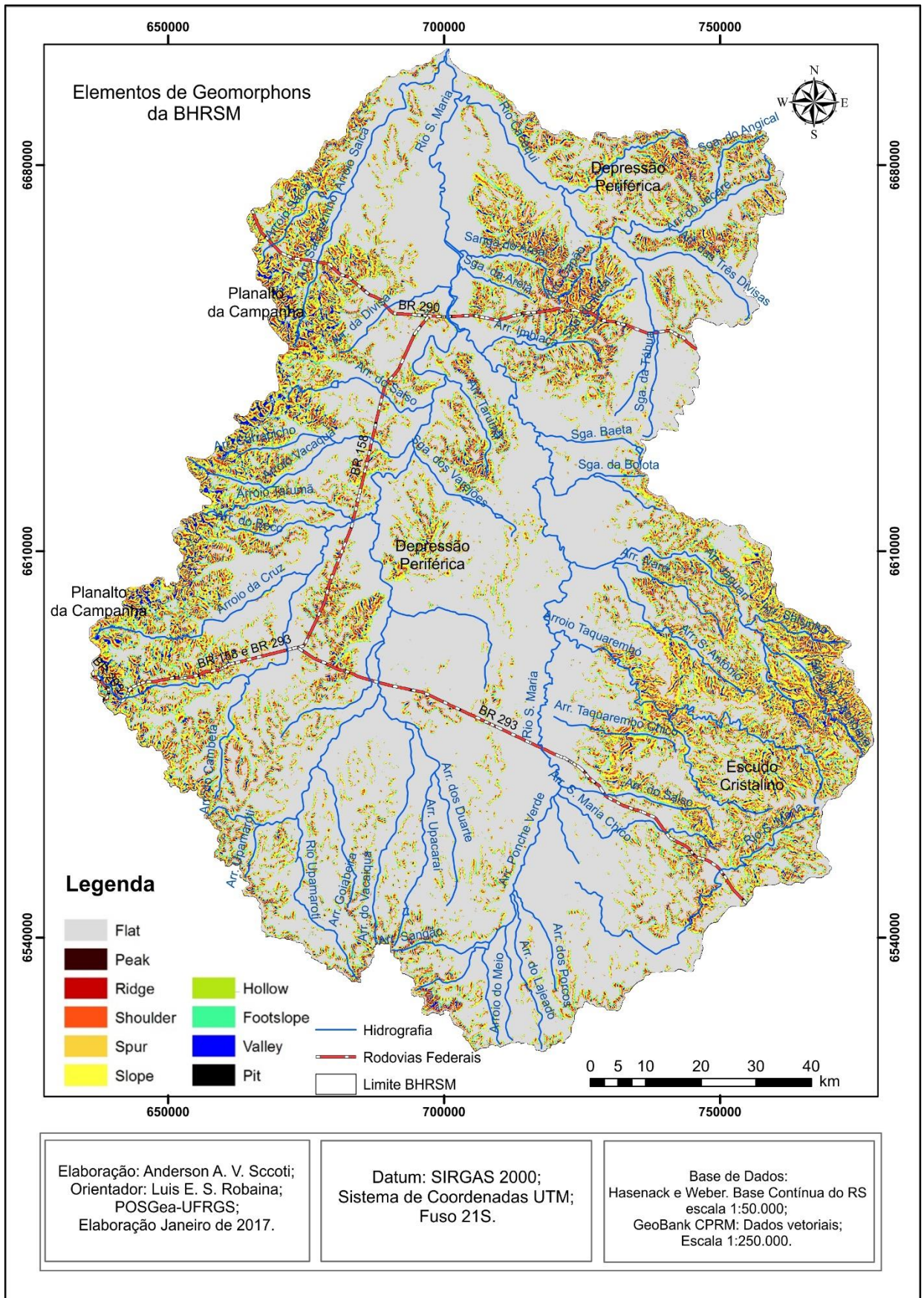


Figura 30: Distribuição espacial dos geomorphons na BHRSM. (Fonte: autor).

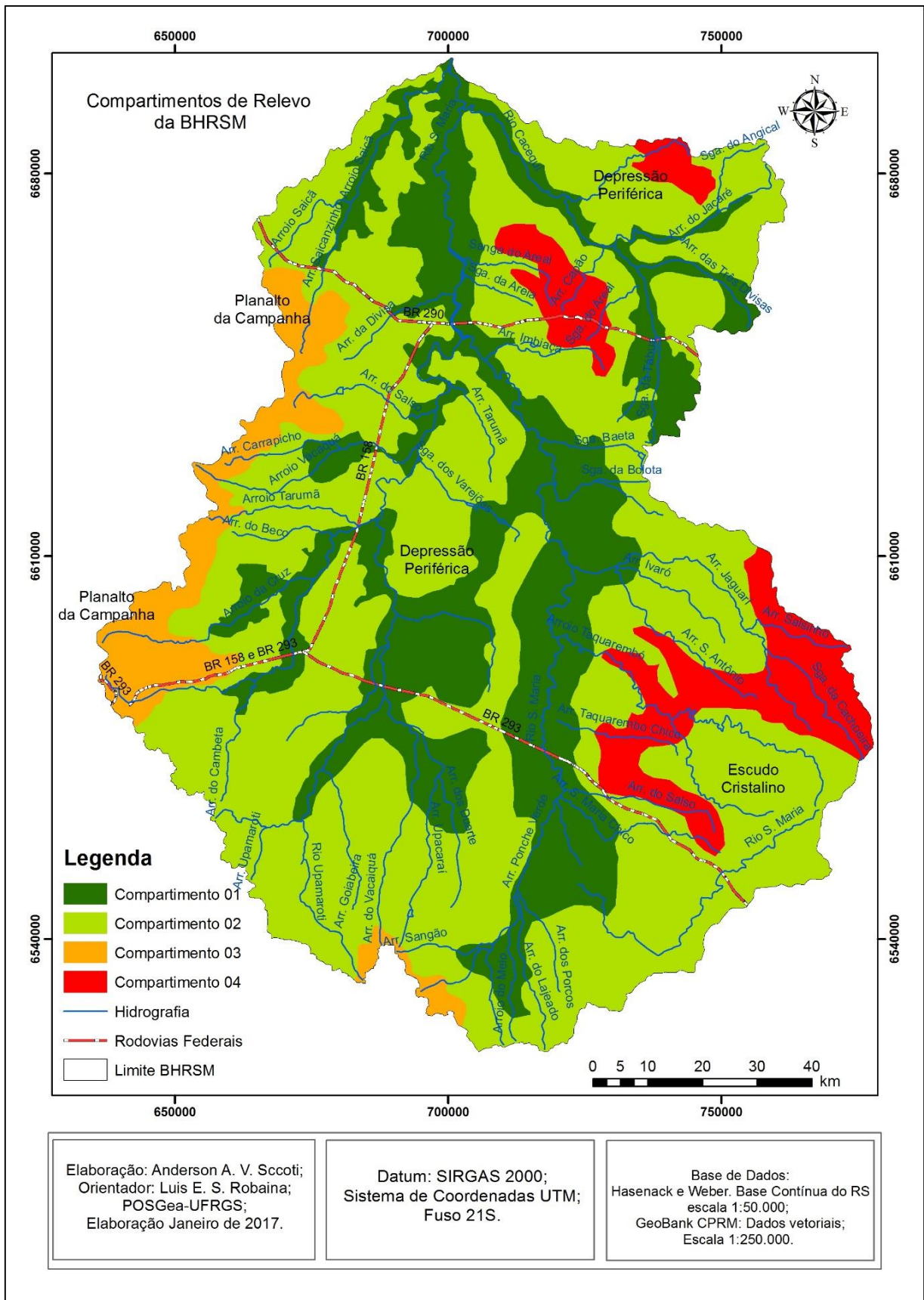


Figura 31: Compartimentos do relevo, obtidos através da predominância dos diferentes geomorphons, classificados para a BHRSM. (Fonte: autor).

Compartimento 1

Este compartimento é caracterizado pelas formas planas e está presente seguindo os principais cursos da hidrografia, constituindo 26,24% do total da BHRSM, formando áreas deposicionais (Figura 32).



Figura 32: Nesta imagem podemos observar uma vasta área plana, forma de relevo típica do Compartimento 1, neste compartimento temos o predomínio do elemento *Flat*, onde ocorrem predominantemente processos de deposição. (Fonte: autor, outubro de 2016).

Na tabela 07, podemos observar a predominância em mais de 99%, da unidade *flat*, unidade essa que caracteriza o relevo como plano, tendo o predomínio de processos de acumulação, tanto de água como de sedimentos.

Tabela 07: Distribuição das unidade no *compartimento 1*.

Área das unidades presentes no Compartimento 1		
Unidade	Área km ²	%
Flat	4.103,11	99,33
Footslope	5,89	0,14
Hollow	0,41	0,009
Peak	0,17	0,004
Pit	0	0
Ridge	0,73	0,17
Shoulder	6,49	0,15
Slope	12,59	0,3
Spur	0,75	0,018
Valley	0,33	0,007
total	4.130,52	100

Fonte: Autor

Compartimento 2

Este é o principal compartimento da BHRSM com 60% da área total. O compartimento está caracterizado por amplas áreas planas associadas com elementos de *slope* e *footslope* que marcam o relevo suavemente ondulado (Figura 33). A presença de elementos de *shoulder* indicam ressaltos na meia encosta. Na tabela 08 é possível observar a distribuição das unidades.

Tabela 08: distribuição das unidades no copartimento 2.

Área das unidades presentes no Compartimento 2		
Unidade	Área km ²	%
Flat	5.672,47	59,77
Footslope	584,57	6,15
Hollow	220,51	2,32
Peak	11,21	0,11
Pit	1,09	0,01
Ridge	276,3	2,91
Shoulder	604,1	6,36
Slope	1.510,76	15,91
Spur	321,15	3,38
Valley	287,93	3,03
Total	9.490,35	100

Fonte: autor



Figura 33: Colinas suaves, forma típica do Compartimento 2, são áreas com amplos interflúvios e com predominância de declividades entre 2 e 5%. (Fonte: autor, fevereiro de 2014).

Compartimento 3

Este compartimento constitui 6% do total da bacia, ocorrendo em uma faixa a oeste da BHRSM. Os elementos de *slope*, *ridge* e *hollow* são os elementos que caracterizam este compartimento (Tabela 09).

Tabela 09: área das unidades encontradas no compartimento 03

Área das unidades presentes no Compartimento 3		
Unidade	Área km ²	%
Flat	135,58	15,65
Footslope	60,52	6,98
Hollow	85,57	9,88
Peak	7,79	0,89
Pit	2,47	0,28
Ridge	72,11	8,32
Shoulder	40,09	4,62
Slope	231,67	26,74
Spur	105,96	12,23
Valley	124,09	14,32
Total	866,08	100

Fonte: autor

Nesse compartimento as formas de relevo apresentam interflúvios, relativamente, mais curtos, hidrografia mais encaixada e as declividades são mais acentuadas variando entre 5 e 15% e, inclusive, passando dos 15%. Ocorrem formas de colinas com forte ondulação, além da presença de morros e morrotes (Figura 34).



Figura 34: Formas típicas do Compartimento 3, na imagem é possível observar formas de mais abruptas quando comparadas as formas comuns a outras unidades já vistas. (Fonte: autor, fevereiro de 2014).

Compartimento 4

O compartimento 4, compondo aproximadamente 8% do total da bacia, foi definido como de relevo, relativamente, mais movimentado (Figura 35) com ocorrência importante de todos os 10 elementos. Na tabela 10, podemos notar distribuição das unidades encontradas neste compartimento.

Tabela 10: distribuição das unidades no compartimento 4 da BHRSM.

Área das unidades presentes no Compartimento 4		
Unidade	Área km ²	%
Flat	230,99	18,42
Footslope	71,17	5,67
Hollow	96,03	7,65
Peak	3,32	0,26
Pit	3,43	0,27
Ridge	97,31	7,76
Shoulder	112,26	8,95
Slope	365,41	29,14
Spur	144,39	11,51
Valley	129,32	10,31
Total	1253,73	100

Fonte: autor



Figura 35: Formas de relevo típicas encontradas no compartimento 4, as formas são onduladas e em alguns casos abruptas, as diferenças em relação as demais unidades se dá pelo fato do predomínio e da distribuição dos elementos do relevo. (Fonte: autor, outubro de 2016).

5 CAPÍTULO 05: COMPARTIMENTAÇÃO FISIAGRÁFICA

O comportamento natural de uma bacia hidrográfica, está diretamente relacionada às características dos elementos que a compõem. Para análise do meio físico foi estabelecida a base de “*landforms*”, apresentados por Zuquette (1993) que são entendidos como os elementos do meio que possuem composição litológica e variações das características visuais e físicas definidas, tais como: forma topográfica, modelo hidrográfico e morfologia.

Entender o comportamento desta, demanda a análise integrada dos elementos de modo a estabelecer a interação das variáveis possibilitando o conhecimento do sistema, o que dará suporte ao embasamento de estratégias de planejamentos e tomadas de decisões.

Neste trabalho utilizou-se além de parâmetros de relevo, atributos litológicos e de solos combinados com SIG's e árvores de decisão no intuito de descrever, classificar e compartimentar (Figura 36) a bacia hidrográfica do Rio Santa Maria.

As formas de relevo, as litologias e os solos constituem o meio sobre o qual se desenvolvem as atividades humanas e dessa forma, trabalhos de zoneamentos que determinam unidades homogêneas são fundamentais para entendimento dos processos geomorfológicos e como as ações humanas podem interferir no meio.

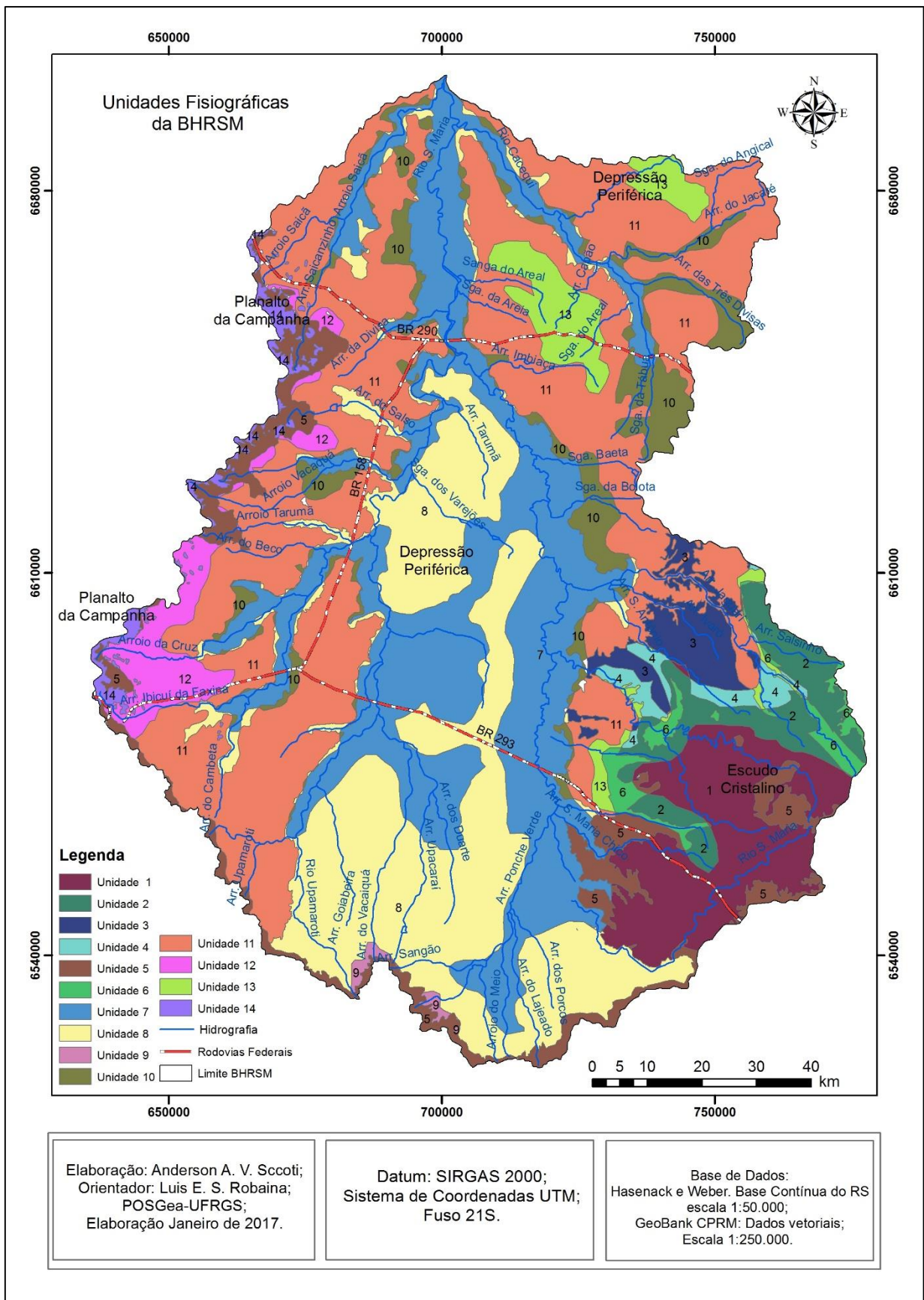


Figura 36: Mapa fisiográfico da BHRSM, através desse mapa podemos ver a distribuição espacial das unidades. (Fonte: autor).

5.1 UNIDADE 1

A unidade ocupa 6,36% da BHRSM, localizada no extremo SW com altitudes variando de 200m a 400m, sobre um substrato de rochas cristalinas vulcânicas ácidas essencialmente gerados em fluxos piroclásticos pumícios (ignimbritos) e derrames riolíticos. Os solos são mal desenvolvidos, associados a um relevo de áreas planas com elevações, formando cristas, marcados por elementos de *hollow*, *spur*, *shoulder* e *peak* (figura 37).

Nessa unidade a baixa permeabilidade da rocha faz com que haja uma maior densidade de canais hidrográficos.



Figura 37: Imagens GeoEye, mostrando algumas características da unidade 1, onde é possível observar áreas planas e nas porções próximas a algumas nascentes a formação de feições que demonstram maior resistência do substrato. (Fonte: autor, outubro de 2016 e Google Earth)

5.2 UNIDADE 2

Unidade definida por um relevo ondulado (Figura 38) em substrato de granitóides e solos mal desenvolvidos, em geral de cambissolos, com horizonte B incipiente, podendo até mesmo, formar áreas com neossolos litólicos e afloramentos de rocha, mais comuns nos divisores de água. A área na bacia é de 3,05% ocorrendo associada a unidade da Serra do Sudeste, com altitudes entre 200m e 400m, sobre uma área conhecida como Platô do Taquarembó.



Figura 38: : Imagem mostrando a hidrografia encaixada e um relevo ondulado. (Fonte: autor, outubro de 2016 e Google Earth)

5.3 UNIDADE 3

Unidade que ocorre em 2,10% da BHRSM, formando solos bem desenvolvidos em áreas suavemente ondulada com elevações isoladas (Figura 39). O substrato é composto de rochas cristalinas metamórficas e de granitoides em um relevo característico do compartimento 2.

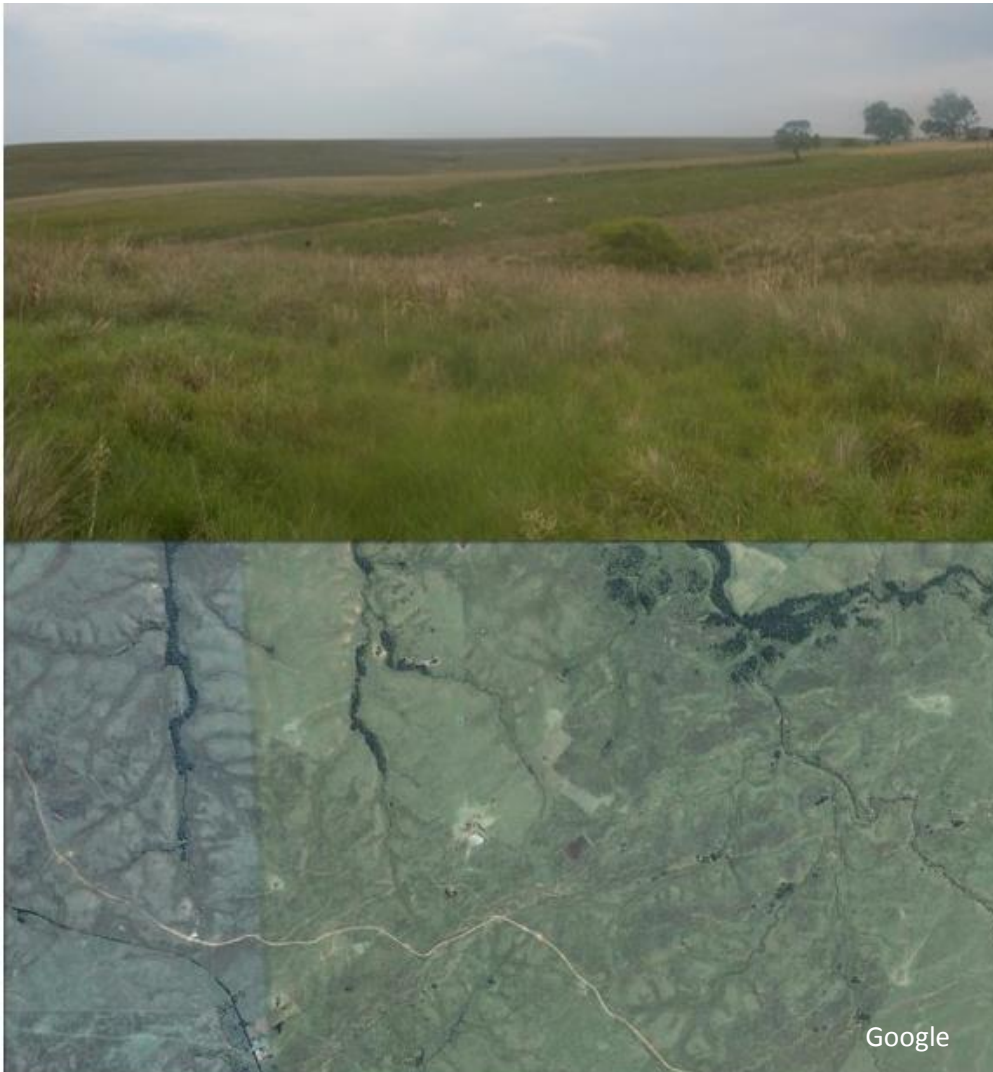


Figura 39: Na imagem é possível observar os interflúvios mais curtos que caracterizam a unidade. (Fonte: autor, outubro de 2016 e Google Earth)

5.4 UNIDADE 4

Esta unidade ocorre em 0,94% da BHRSM e está interligada com substrato granítico-gnaissico e solos bem desenvolvidos. Ocorre onde o relevo fica mais movimentado (Figura 40) representado por mais elementos de *slope*.

Apesar do solo ser bem desenvolvido na base e na meia encosta, é comum em algumas situações o afloramento de rochas no topo das elevações.



Figura 40: Imagens onde se observa um relevo fortemente ondulado com interflúvios, relativamente, mais curtos. (Fonte: autor, outubro de 2016 e Google Earth)

5.5 UNIDADE 5

Unidade constituída por porções mais resistentes do arenito ou por carapaças ferruginosas que ocorrem no divisor de águas ao sul da bacia (Figura 41), na passagem das rochas cristalinas do escudo para sedimentares da depressão, em altitudes entre 200m e 250m. Ocupa 4,83% da área da bacia em

um relevo de uma associação de áreas planas, degraus e reentrâncias, com solos raso e mal desenvolvidos.



Figura 41: Porções de relevo com elevações e vales encaixados, características comuns nas áreas do divisor de água. (Fonte: autor, outubro de 2016 e Google Earth)

5.6 UNIDADE 6

Esta unidade marca os depósitos sedimentares na borda do escudo, pertencentes a Formação Rio Bonito, formando um relevo ondulado marcado por elementos de *slope* (Figura 42). Ocorre em 1,12% da BHRSM e forma solos arenosos e rasos, mal desenvolvidos.



Figura 42: Imagem mostrando colinas com vales encaixados da unidade Santa Maria Chico. (Fonte: autor, outubro de 2016 e Google Earth)

5.7 UNIDADE 7

A unidade 7 ocupa 20,92% da BHRSM ocorrendo ao longo do canal principal dos rios da região, formando o canal principal do rio Santa Maria do alto ao baixo curso, com altitudes entre 60m e 150m. Este compartimento é caracterizado pelas formas planas, definido pelo elemento de *flat* (Figura 43). Forma áreas deposicionais de barra de meandro e barra de pontal no baixo curso, que têm importante papel econômico pela extração de areia. Na planície de inundação ocorrem os depósitos mais finos constituídos de silte a argila. Os

solos apresentam hidromorfismo, variando de gleissolos, planossolos e neossolos flúvicos.



Figura 43: Áreas planas as margens do canal principal do rio Santa Maria, onde o terreno é alagadiço e com uso de plantio de arroz. (Fonte: autor, outubro de 2016 e Google Earth)

5.8 UNIDADE 8

Esta unidade forma 19,07% da BHRSM e está associada as porções de alto e médio curso. A ocorrência de áreas deposicionais arenosas é menos significativa que a unidade 7 e os depósitos mais finos constituídos de silte a argila são significativos. O substrato varia de arenitos a lamitos e os solos apresentam hidromorfismo. O relevo se caracteriza por elementos de *flat*

associados a *slope* e *footslope*, marcando condições suavemente onduladas em altitude entre 150m e 200m (Figura 44).



Figura 44: Imagens mostrando o relevo plano e alagadiço característico da unidade Rio Ibicuí da Armada. (Fonte: autor, outubro de 2016 e Google Earth)

5.9 UNIDADE 9

Esta unidade ocupa 0,23% da BHRSM e é constituída por um substrato de rochas lamíticas e areníticas com carapaças ferruginosas que mantém o relevo formando degraus na meia encosta. O solo na unidade mostra características de hidromorfismo, rasos e com muita matéria orgânica no horizonte “A”. O relevo se caracteriza por ser uma associação de áreas planas a

suavemente onduladas com porções mais resistentes (Figura 45), gerando uma relativamente significativa presença de elementos de *spur* e *ridge*.

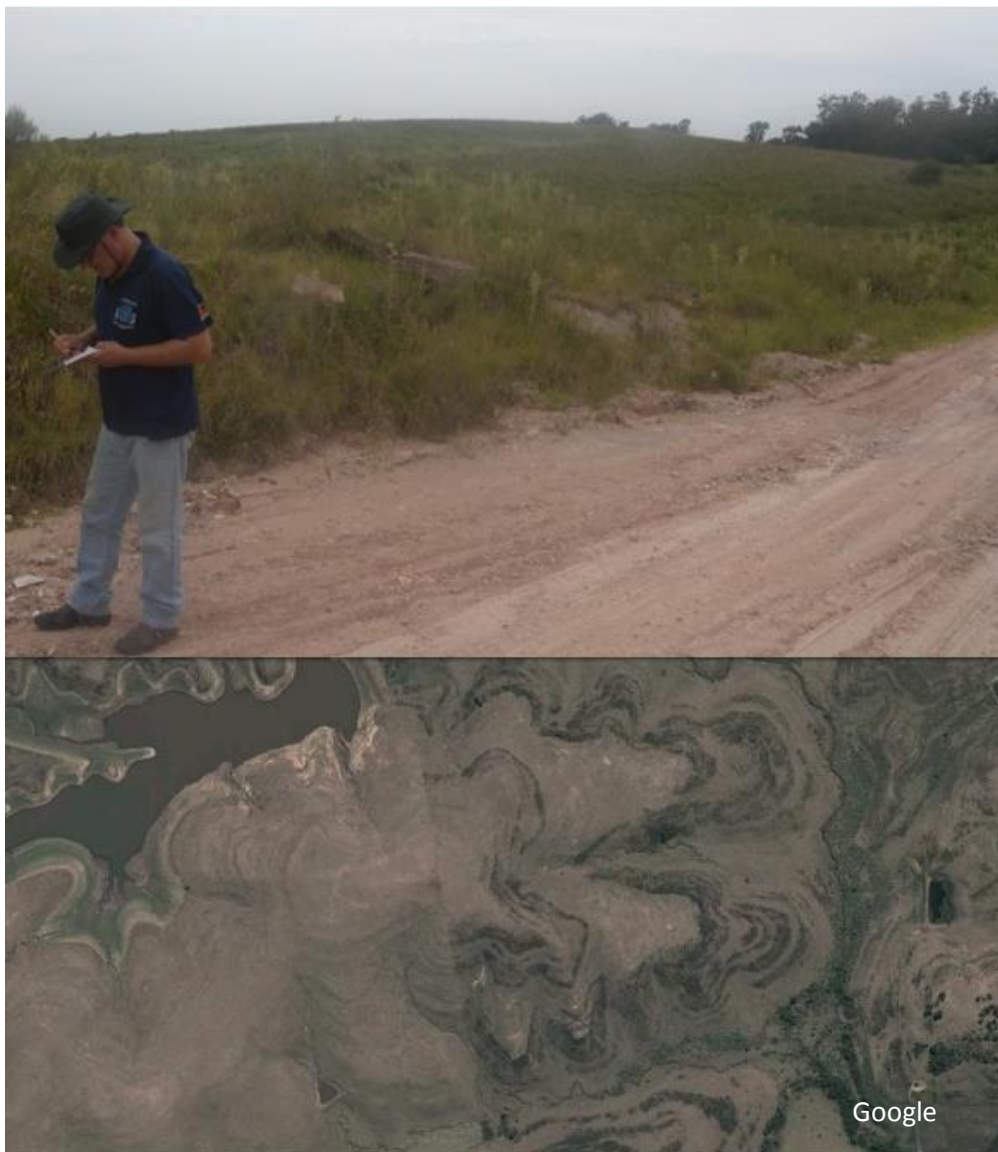


Figura 45: Imagem onde é possível observar o terreno plano e a presença de degraus na meia encosta, características dessa unidade. (Fonte: autor, outubro de 2016 e Google Earth)

5.10 UNIDADE 10

Unidade representada por relevo plano (Figura 46) indicado pelos elementos de *flat*, altitudes entre 100m e 150m. Constituindo rochas areníticas e lamíticas com solos espessos areno-argilosos. Este compartimento forma 4,87% da bacia, ocorrendo, principalmente, em áreas dos rios Santa Maria Chico, Ibicuí da Armada e Cacequi.



Figura 46: Imagens mostrando relevo plano, onde ocorrem amplos interflúvios. (Fonte: autor, outubro de 2016 e Google Earth)

5.11 UNIDADE 11

Unidade que constitui 30,12% da BHRSM com relevo suavemente ondulado com áreas planas e colinas marcadas por elementos de *flat*, *slope* e *footslope*. Os elementos de *shoulder* marcam presença de porções mais resistentes do substrato arenítico que forma o substrato. Os solos são bem desenvolvidos e, em geral, arenosos e friáveis, podendo ocorrer processos de ravinas e voçorocas (Figura 47).



Figura 47: Na imagem e possível observar as nascentes bem encaixadas e o desenvolvimento de processos erosivos acelerados junto as cabeceiras. (Fonte: autor, outubro de 2016 e Google Earth)

5.12 UNIDADE 12

Ocorre na porção oeste da BHRSM associada rochas areníticas com variado grau de resistência dependendo da concentração de cimento ferruginoso (Figura 48). Esta característica determina a formação de um relevo ondulado marcado por elementos de *slope* e *valley*. Os solos são arenosos com perfil espesso, essa unidade ocupa 2,52% da BHRSM.



Figura 48: Imagens onde podemos observar a existência de elevações, classificados como morrotes, marcando um relevo residual devido a maior resistência do arenito. (Fonte: autor, outubro de 2016 e Google Earth)

5.13 UNIDADE 13

A unidade 13 ocorre na porção mais NE da BHRSM junto ao município de Cacequi, com 2,83% da BHRSM. O substrato é constituído de arenitos que variam a textura e seleção, friáveis e suscetíveis a erosão (Figura 49). Formam um relevo ondulado com elementos de *slope* mais significativos. Os elementos de *hollow* marcam uma característica desta unidade que podem representar processos erosivos profundos.

A alta taxa de permeabilidade dos solos arenosos, faz com que a densidade de drenagem seja menor nessa unidade. As diferenças na densidade de drenagem, são visíveis no mapa hidrográfico.



Figura 49: Na imagem podemos observar a grande presença de processos erosivos junto as cabeceiras dos canais. (Fonte: autor, outubro de 2016 e Google Earth)

5.14 UNIDADE 14

Esta unidade ocupa 0,97% da BHRSM, ocorrendo na forma de uma faixa na porção oeste. Apresenta altitudes máximas ao redor de 350m e declividades das vertentes superiores 15% caracterizando um relevo é ondulado representado por elementos de *slope*. O substrato é caracterizada por basaltos que constituem a base dos derrames da Formação Serra Geral, constituindo em litótipos cinza escuros, maciços ou vesiculares com arranjo intergranular. Além desses, podem ocorrer rochas vulcânicas classificadas como Fácies Alegrete, aflorando litótipos definidos como andesito basáltico. Associado ao substrato de rochas vulcânicas com relevo ondulado (Figura 50) são comuns solos mal desenvolvidos formando uma associação de Cambissolos e Neossolos litolicos.

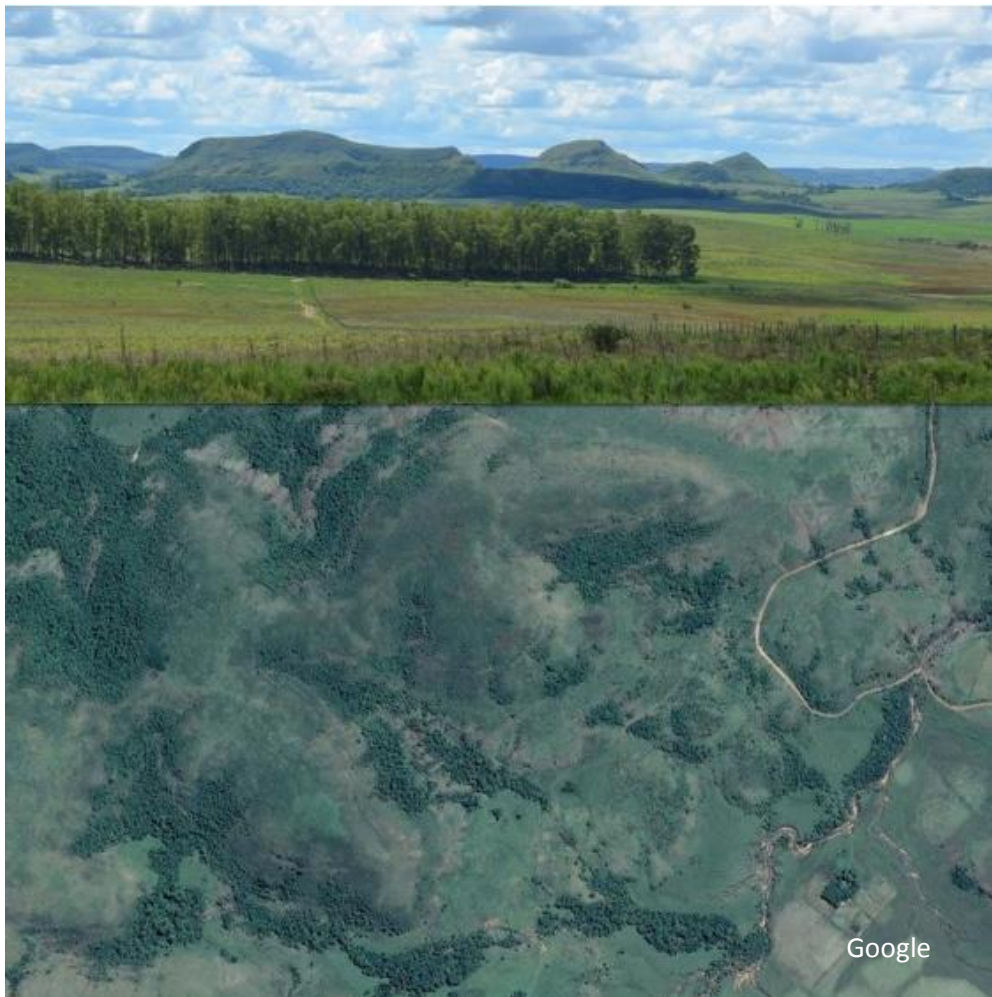


Figura 50: Elevações típicas de substrato de rocha vulcânica, com os topos planos e vales encaixados em falhas ou fraturas. (Fonte: autor, outubro de 2016 e Google Earth)

6 CAPÍTULO 06: USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Neste capítulo apresenta-se as condições atuais do Uso do Solo, essas condições são caracterizadas através da classificação supervisionada de imagens orbitais. Ainda, busca-se analisar os determinantes que condicionam os diferentes Usos do Solo na BHRSM.

6.1 ANÁLISE DO USO DO SOLO

A análise do uso do solo e cobertura vegetal, tem como principal objetivo apresentar as condições atuais das diferentes formas de ocupação e uso o espaço abrangido pela BHRSM. Cabe destacar novamente, que essa análise é feita com auxílio de imagens orbitais coletadas através de sensor óptico, então devido a cobertura de nuvens em imagens coletadas no ano 2016, optou-se por utilizar uma imagem de dezembro de 2015, data mais próxima do presente momento e que apresentou condições ideais para a obtenção das informações.

Através da classificação imagem LandSat 8 de dezembro de 2015 (Figura 51) e os trabalhos de campo investigativos, realizados na BHRSM, foi possível descrever as condições atuais de uso e ocupação do solo. Na tabela 11, podemos observar a área de cada classe.

A classe que predomina na BHRSM é a de campo (Figura 52) com 54,46% da área. É um valor bastante expressivo, porém está sendo reduzido, em trabalhos de campo e com base em outros trabalhos já desenvolvidos na área (SCCOTI, 2015), é possível destacar a redução das áreas ocupadas por campos. Isso é desencadeado principalmente pelo desenvolvimento de lavouras.

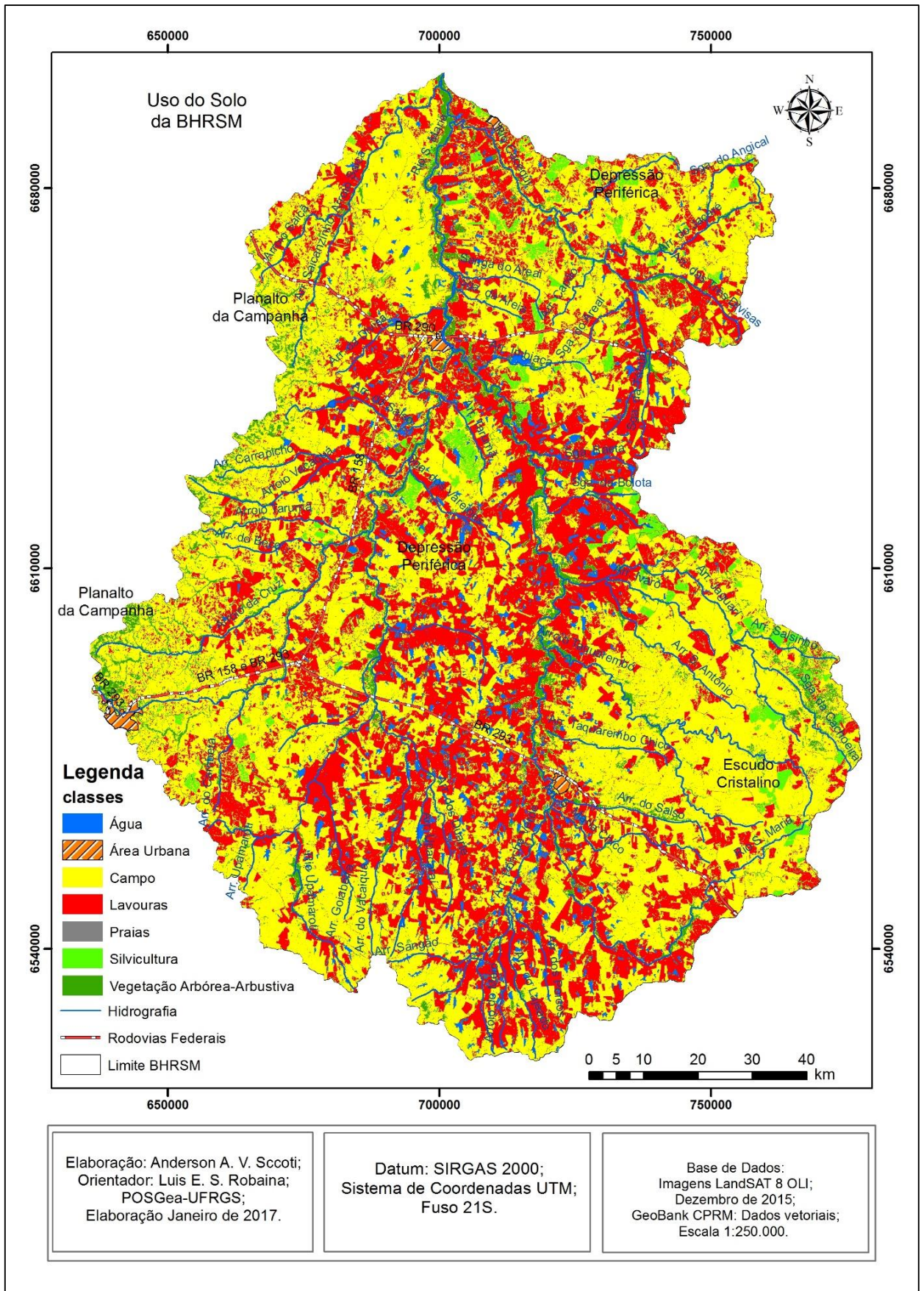


Figura 51: Mapa do uso e ocupação do solo em dezembro de 2015. (Fonte: autor).

Tabela 11: informações quantitativas referentes ao uso e ocupação do solo na BHRSM

Quantificação do Uso do Solo (Dezembro de 2015)

Classe	Área km ²	%
Vegetação Arborea – Arbustiva	916,03	5,81
Água	496,04	3,14
Área Urbana	40,91	0,25
Campo	8.577,06	54,46
Depositos Fluviais	18,86	0,11
Lavouras	5.025,58	31,91
Silvicultura	675,58	4,28

Fonte: autor



Figura 52: Imagem mostrando campo, são áreas onde o gado é criado solto e a densidade de animais é baixa, visto que se alimentam apenas do pasto que se desenvolve naturalmente. (Fonte: autor, fevereiro de 2014).

Os campos de maneira geral, estão ocupando áreas pouco propícias a agricultura, pois estão intrinsicamente ligados as áreas onde os solos são mal desenvolvidos ou até mesmo associados as porções onde ocorrem afloramentos de rocha, ao analisar a figura 52, é possível observar que os *campos* estão

evidentes sobre as proximidades da Serra do Caverá e na porção sudeste da BHRSM sobre as rochas cristalinas. A presença de campo, também está associado a solos bem desenvolvidos, porém são solos arenosos e friáveis, classificados como Neossolos quatzarênicos ou mesmo Latossolos arenosos.

As lavouras (Figura 53) ocupam 31,90% da BHRSM. Trabalhos anteriores e observações realizadas em trabalhos de campo, mostram que áreas que antes eram usadas para a criação de gado, hoje são ocupadas por extensas lavouras de soja, que no período de entressafra servem de pastagem (Figura 54), tendo assim substituído o modo tradicional da criação de gado. Além de ter inserido um cultivo de grande alteração aos ecossistemas naturais.

As áreas com lavouras, estão inseridas nas porções junto as margens dos principais rios, onde ocorre principalmente o plantio de arroz, devido a disponibilidade hídrica e fertilidade dos solos. As lavouras também estão inseridas nas áreas com solos bem desenvolvidos (argissolos e latossolos).

As formas de relevo (predomínio de áreas planas) permitem uma ampla utilização de mecanização agrícola. Com isso existem grandes áreas com cultivos comerciais, os quais geram inúmeros resíduos tóxicos que são transportados para os arroios e rios da BHRSM.



Figura 53: Imagem de lavoura de soja, as áreas cultivadas com lavouras vem aumentando nos últimos anos na BHRSM. (Fonte: autor, fevereiro de 2014)



Figura 54: Imagem mostrando áreas onde ocorrem plantio de pastagem, no período de safra essas áreas são ocupadas em geral pelo cultivo de soja. (Fonte: autor, julho de 2014).

As áreas com vegetação arbórea/arbustiva estão ocupando 5,81% da BHRSM, os representantes arbóreos nativos da área de estudo, estão localizados junto a hidrografia, caracterizados como florestas ripárias e em encostas íngremes ou ainda em capões de mato em meio a campos e lavouras (Figura 55).



Figura 55: Áreas com florestas nativas na BHRSM, os representantes arbóreos arbustivos localizam-se preferencialmente nas margens dos rios sendo caracterizadas como matas de galerias (A) ou nas áreas com declividades acentuadas (B). (Fonte: autor, fevereiro de 2014).

A silvicultura ainda apresenta baixa expressividade, em termos de área, nos domínios da BHRSM, quando comparada a outros tipos de cultivos, ocupando 4,28% do total. (Figura 56).

As áreas com silvicultura, onde são cultivados principalmente o *Eucaliptus sp* e o *Pinus sp*, aderem muitas perdas ambientais ao local em que estão inseridas, pois geram grandes desertos verdes, onde nenhuma outra espécie consegue se desenvolver em consórcio, além de serem grandes usuários das águas subterrâneas. O impacto ainda é maior na BHRSM, pois nessa área, locais naturalmente compostos por campos, acabam sendo florestados ocasionando perdas ecológicas.

Por outro lado, a silvicultura se apresenta como uma alternativa econômica as propriedades e aos municípios inseridos no interior da BHRSM, visto que, a sua comercialização, gera fundos monetários aos municípios em questão. As áreas com florestamento, ocupam principalmente áreas onde os solos são friáveis ou então mal desenvolvidos.



Figura 56: Imagens mostrando áreas ocupadas com Silvicultura. (Fonte autor, outubro de 2016).

A classe água, que está representada por reservatórios e pela hidrografia da BHRSM (Figura 57), ocupa 3,14% da área de estudo. Atualmente a maioria dos reservatórios (barragens e açudes) são utilizados para a irrigação das lavouras, essa característica pode ser observada na figura 44, onde é possível notar a associação das lavouras e dos corpos hídricos.

As áreas urbanas localizadas no interior da BHRSM ocupam 0,25% (Figura 58) sendo representadas pelas cidades de Cacequi, Sant'Ana do Livramento, Rosário do Sul e Dom Pedrito.

De maneira geral, as cidades que estão inseridas na BHRSM, apresentam porte pequeno a médio, mesmo assim geram muitos impactos negativos, como o lançamento de águas servidas diretamente na hidrografia, além do acúmulo e transporte de lixo sólido para o leito e margens dos arroios e rios.

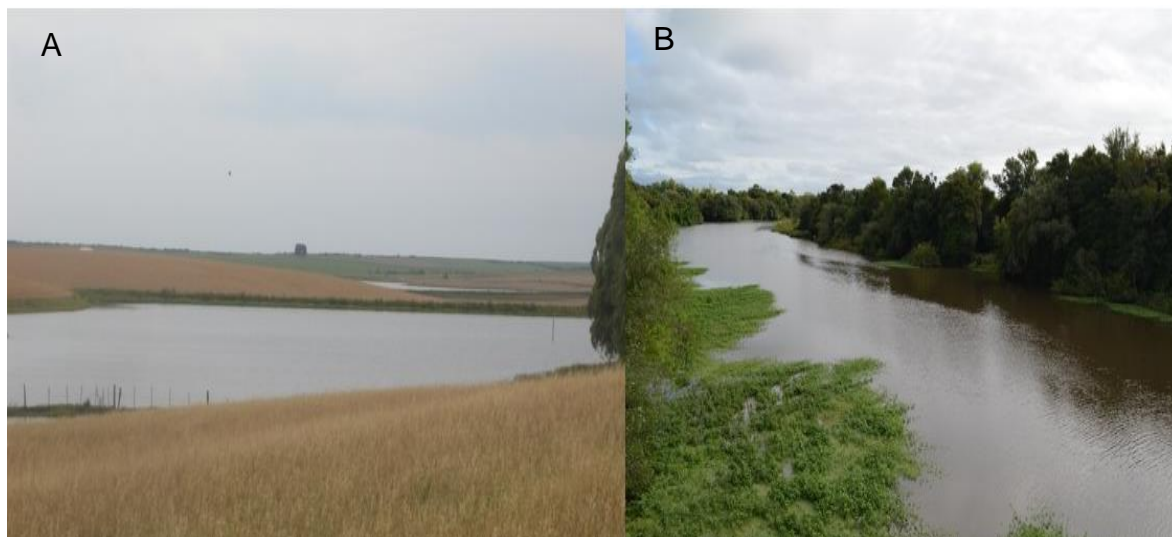


Figura 57: Corpos de água na BHRSM. Na imagem “A” podemos observar um reservatório construído; na imagem “B” é possível ver um segmento do canal do Rio Ibicuí da Armada. (Fonte: autor, outubro de 2016).



Figura 58: Avenida das Areias Brancas em Rosário do Sul. (Fonte: autor, janeiro de 2013).

As áreas urbanas de Rosário do Sul e Dom Pedrito, esporadicamente, em períodos de grande precipitação pluvial, passam por eventos de inundação,

ocasionados pelo Rio Santa Maria, visto que partes de suas áreas urbanas, encontram-se na planície de inundação.

Ainda na classificação do uso do solo, optou-se por apresentar as áreas com praias, em especial os depósitos descritos como de barra de meandro. Esses depósitos são característicos da hidrografia da BHRSM, ocupam uma pequena área de 0,11% e apresentam um papel social, pois são conhecidos localmente como “prainhas” e nos períodos de verão, são ocupados pela população e funcionam como áreas de lazer. Podemos destacar a praia das Areais Brancas em Rosário do Sul, local conhecido e frequentado pela população da região.

Ainda dessa área é extraída areia, que é comercializada localmente e é utilizada na construção civil. A extração é feita de maneira rudimentar, as pessoas utilizam-se de força braçal para carregar a areia em carroças que são tracionadas por cavalos até as proximidades de algumas estradas onde são repassadas para caminhões (Figura 59).



Figura 59: Caminhão utilizado no transporte da areia retirado do Rio Santa Maria em Rosário do Sul, essa atividade de extração é fonte de renda de muitas famílias que moram próximas ao rio (ao fundo moradias do bairro Progresso). (Fonte: autor, dezembro de 2012).

A análise da confiabilidade das interpretações das imagens foi realizado através do coeficiente Kappa. O valor obtido foi de 0,98, expressando uma alta confiabilidade entre a amostragem e o observador, indicando poucos erros na classificação.

7 CAPÍTULO 07: ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL DA BHRSM

O zoneamento geoambiental permite estabelecer as relações entre a ocupação e os usos do solo tendo como palco o meio. Portanto, o resultado do zoneamento pode ser considerado uma técnica de integração e síntese de informações temáticas que identificam padrões de suscetibilidade e potencialidade do ambiente.

As características geoambientais representam os elementos naturais que compõem o meio, como a morfometria de relevo, litologia, pedologia e unidades fisiográficas, os quais são a base para o entendimento da estruturação e organização do espaço físico, integrada as questões de uso e ocupação da terra.

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, considerando-se as potencialidades e suscetibilidades naturais do terreno, bem como os perigos, riscos, impactos e conflitos decorrentes da interação entre a ação humana e o meio. A BHRSM foi compartimentada em 07 Sistemas e 12 unidades geoambientais (Figura 60), no intuito de apresentar as potencialidades e suscetibilidades, no quadro 01 pode-se observar de forma resumida as potencialidade e suscetibilidades de cada sistema.

Quadro 01: síntese das potencialidades e suscetibilidades dos sistemas geoambientais da BHRSM.

Sistema	Potencialidade	Suscetibilidade
Sistema Urbano	Prestação de serviços e infraestrutura básica, como por exemplo, atendimento a saúde, educação, comércio.	Limitações de infra-estrutura e saneamento básico, tendo como principal conflito ambiental a contaminação das águas das drenagens devido o lançamento de esgotos. Processos de inundação e erosão de margem que podem causar acidentes.
Sistema Planície dos Arrozais	Disponibilidade hídrica do rio Santa Maria e seus afluentes, sendo que esse recurso possibilita a irrigação de	Contaminação de rios, arroios e banhados por insumos agrícolas, além da retirada da vegetação das margens dos rios.

	lavouras e a dessedentação de animais.	
Sistema Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria	Potencialidades desse Sistema estão relacionadas a produção agrícola	As suscetibilidades estão ligadas as perdas ambientais e aos danos causados pela pressão que os cultivos e a criação de gado ocasionam sobre o ambiente natural
Sistema Uruguai	As potencialidades desse sistema, estão ligadas as suas belezas cênicas. O desenvolvimento de atividades turísticas nessa área promoveria a preservação.	Avanço de áreas de cultivos, fazendo com que seja suprimida a vegetação original, ou então, ocorra a substituição de campos por florestamentos de exóticas, as quais agregam tanto perdas de biodiversidade como também sociais
Sistema de Silvicultura	Ganhos econômicos em solos com baixa fertilidade.	Perda de biodiversidade, pois as plantações originam verdadeiros “desertos verdes”, onde se desenvolvem apenas as espécies exóticas
Sistema Pampa	Cultivo de soja, milho, trigo e pecuária (ovinos e de bovinos de corte),	Solos friáveis com propensão a processos erosivos acelerados, além de problemas gerados pelas atividades agrícolas.
Sistema Caverá	A Potencialidade é paisagística e pode ser conectado com uso de atividades de pequeno porte com a indicação local do lugar “produtos da Serra do Caverá” o que pode aumentar o valor agregado, além da criação de locais de lazer e esportes de radicais que não prejudiquem os ambientes naturais.	A principal suscetibilidade está relacionada a retirada de vegetação, que além de gerar perda de biodiversidade ainda pouca estudada nas encostas da Serra, pode gerar perdas das finas camadas de solo localizadas nas encostas.

Fonte: autor

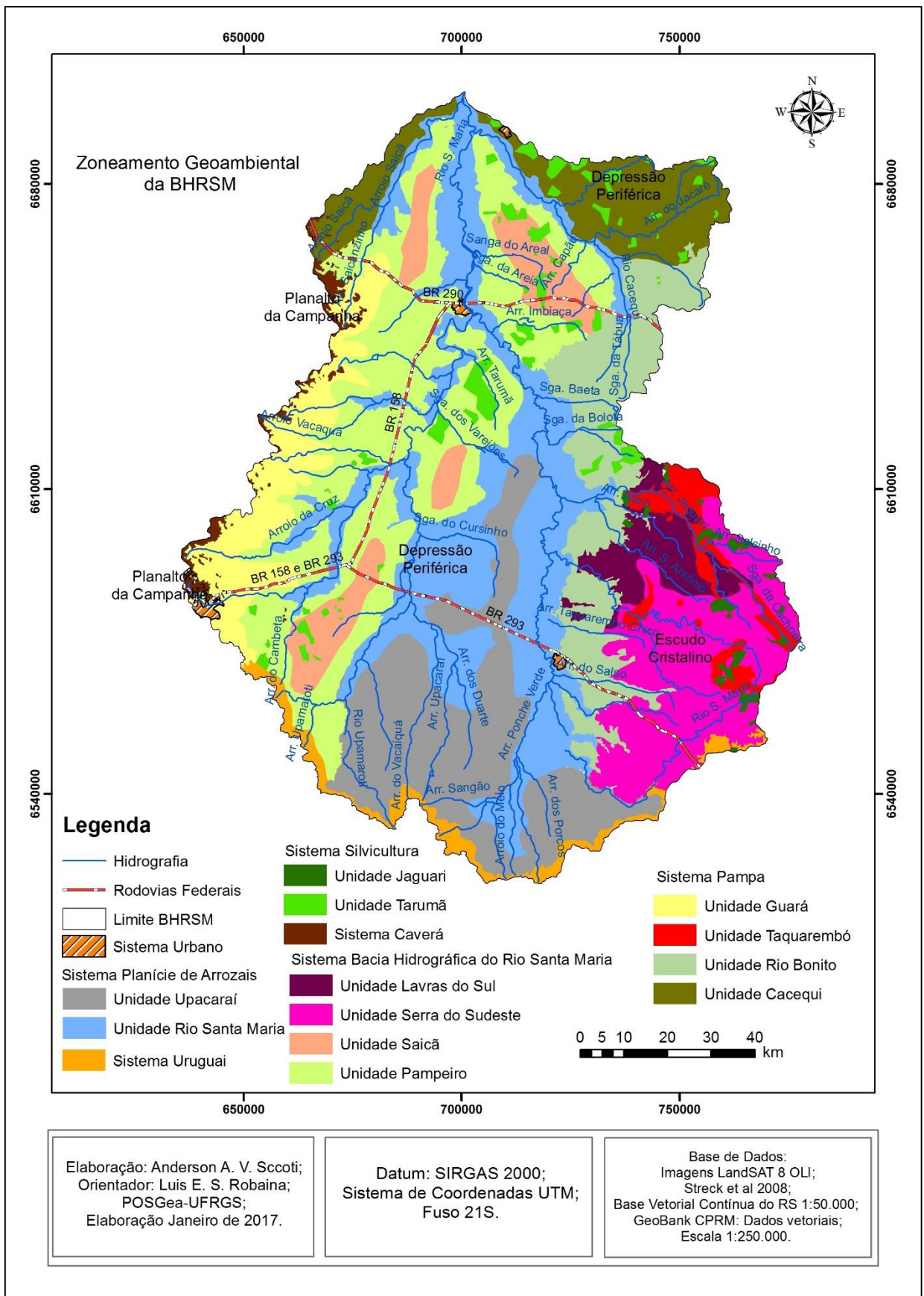


Figura 60: Mapa geambiental da BHRSM, na imagem podemos observar a integração de informações do ambiente natural e antrópico. (Fonte: autor).

7.1 SISTEMA URBANO

O sistema urbano da BHRSM é composto por três cidades sede dos municípios. A cidade, como sede de um município, sempre exerce um papel centralizador e a ela compete oferecer bens e serviços necessários a sua comunidade.

Nesse sistema se encontra a maior concentração populacional da área de estudo, dispondo de serviços e infraestrutura básica, como por exemplo, atendimento a saúde, educação e comércio.

As cidades apresentam limitações de infra-estrutura e saneamento básico, tendo como principal conflito ambiental a contaminação das águas das drenagens devido o lançamento de esgotos.

Outros impactos do sistema urbano nas características naturais e na fisiologia do ambiente são visíveis como, por exemplo, as alterações na hidrografia, onde avançam as construções; a impermeabilização das planícies aluviais; 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.

Processos de inundações periódicas do rio Santa Maria têm causado problemas sérios nas cidades de Dom Pedrito e Rosário do Sul. Por questões sociais, acabam ocorrendo ocupações nas planícies de inundação, em períodos de elevação de caudal, o nível do Rio Santa Maria se eleva, com isso muitas moradias são invadidas pela água.

7.2 SISTEMA PLANÍCIE DOS ARROZAIIS

Neste sistema ocorrem os depósitos recentes, localizados próximos aos canais principais dos rios e aos seus afluentes, que possibilitam o desenvolvimento, nestas várzeas caracterizadas por solos mal drenados, hidromórficos associados a depósitos recentes, características típicas da unidade fisiográfica 7.

A potencialidade desse sistema está ligada a disponibilidade hídrica do Rio Santa Maria e seus afluentes, sendo que esse recurso possibilita a irrigação de lavouras e a dessedentação de animais. Outra potencialidade desse sistema

está ligada a fertilidade dos solos localizados na planície de inundação, que esporadicamente são ocupados pelas águas do rio sendo ali depositados uma gama de nutrientes e matéria orgânica.

Ao longo dos canais principais da hidrografia restam poucas porções de mata ciliar. A principal atividade desenvolvida é o cultivo de arroz, que se associa à disponibilidade hídrica e potencialidade do solo. Grandes áreas alagadas, onde antes haviam banhados, foram drenadas ou aterradas para o plantio de arroz.

A maior suscetibilidade deste sistema está associada aos banhados, compactação do solo e à mata ciliar, que vem sendo retirada nas últimas décadas de maneira intensiva, sendo substituída pela agricultura. Os banhados que ainda restam tornaram-se impróprios para vida aquática devido ao uso indiscriminado de agrotóxicos, principalmente nas lavouras de arroz. A vegetação arbórea ao longo do canal dos rios, em sua grande maioria, não se mantém, dentro das áreas de proteção exigidas pela legislação ambiental

7.2.1 Unidade Rio Santa Maria

Nesta unidade as atividades de lavoura seguem a área ocupada pela unidade fisiográfica 7, que segue o canal principal do rio Santa Maria. Se associam a planície de inundação onde ocorrem os depósitos mais finos, constituídos de silte a argila, os solos apresentam hidromorfismo (Figura 61).

Além disso, no canal principal ocorrem áreas deposicionais de barra de meandro e barra de pontal no baixo curso, que têm importante papel econômico pela extração de areia. A potencialidade dessa unidade está ligada aos aspectos econômicos referentes a extração de areia para a construção civil, além de serem ambientes altamente propícios ao cultivo do arroz, o fato de serem grandes planícies com disponibilidade hídrica, agrega esse potencial a esses locais.



Figura 61: : Área plana com rizicultura da unidade Fisiografica Rio Santa Maria (Fonte: autor, fevereiro de 2014).

A principal suscetibilidade, está relacionada aos impactos gerados pelas lavouras que, além de, lançarem cargas de insumos agrícolas que são lixiviados para os rios, suprimem as matas riparias.

7.2.2 Unidade Upacaráí

Esta unidade está associada as porções de alto e médio curso da BHRSM. A ocorrência de substrato lamítico com baixa permeabilidade permite o acúmulo de água em amplas áreas (Figura 62). A potencialidade dessa unidade, está ligada ao uso para atividade de lavouras de arroz e no período de entre safras pecuária. Uma característica interessante dessa unidade é o fato da ocorrência de vastas áreas planas próximas aos divisores de água, características controlada pela litologia.



Figura 62: Área plana localizada no médio curso da BHRSM, essa forma de relevo é mantida pela rocha, composta de sedimentos finos, provindos de sedimentação marinha. (Fonte: autor, outubro de 2016).

A suscetibilidade dessa unidade também está ligada aos impactos gerados pelas atividades agrícolas, como já foi dito, ligados ao uso de insumos agrícolas e ao desmatamento.

7.3 SISTEMA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA MARIA

Este Sistema está representado em algumas áreas da BHRSM onde o relevo é relativamente mais movimentado, formando vales encaixados, amplas encostas afloramentos de rocha e algumas cristas em forma de cornijas.

Esse sistema representa porções onde as litologias apresentam maiores resistências, e estão localizadas nos divisores de água da BHRSM ou então no seu interior, marcando divisores de sub-bacias tributárias ao rio Santa Maria.

O uso desenvolvido nesse Sistema é feito a partir de lavouras e campos com criação de gado, porém há o predomínio da pecuária devido às características físicas, onde poucas áreas permitem a mecanização.

As potencialidades desse Sistema estão relacionadas a produção agropecuária, visto que nas porções onde existe a possibilidade de mecanização, as lavouras predominam, nas porções não aptas para o plantio, a criação de gado predomina.

As suscetibilidades estão ligadas as perdas ambientais e aos danos causados pela pressão que os cultivos ocasionam sobre o meio junto as nascentes. A criação de gado também ocasiona problemas, tanto com a pressão sobre a vegetação natural, quanto com o desenvolvimento de ravinas pelo pisoteio.

7.3.1 Unidade Serra do Sudeste

Ocorre sobre um substrato de rochas cristalinas vulcânicas ácidas, solos mal desenvolvidos e levemente ondulado (Figura 63). O uso e ocupação é predominantemente de campos com pecuária, porém são campos com muitos afloramentos de rocha, então a densidade de animais nessa área deve ser baixa, caso contrário não haverá suporte alimentar satisfatório para todo o rebanho.



Figura 63: Relevo com colinas suaves sobre substrato litológico composto por rochas cristalinas, onde é possível observar na imagem rochas aflorando. (Fonte: autor, outubro de 2016).

7.3.2 Unidade Lavras do Sul

Unidade com solos bem desenvolvidos em áreas suavemente onduladas sobre substrato de rochas cristalinas metamórficas e de granitoides (Figura 64). O uso e ocupação do solos é predominantemente, de campos para pecuária e atividade agrícola com soja.



Figura 64: Área com relevo suave e solos bem desenvolvidos sobre litologias cristalinas. (Fonte: autor, outubro de 2016).

O fato dos mantos de alteração serem mais desenvolvidos, permite um maior desenvolvimento vegetativo das plantas, com isso a potencialidade dessa unidade, está ligada a sua aptidão para o uso agropastoril, onde então, ocorrem vastas áreas com cultivo de lavouras e as criações de gado apresentam uma densidade superior a unidade cristalina de solos rasos.

A suscetibilidade dessa unidade está também ligada ao uso abusivo de insumos agrícolas, e a grande utilização do solo, o que acarreta sua exaustão e com isso é maior a utilização de insumos.

7.3.3 Unidade Pampeiro

Unidade com relevo suavemente ondulado, substrato de arenitos e solos bem desenvolvidos e, em geral, arenosos e friáveis, podendo ocorrer processos de ravinas e voçorocas (Figura 65).

Esses processos de maneira geral ocorrem de forma natural na BHRSM, porém são potencializados pelas atividades antrópicas, através da concentração de fluxo hídrico ou então quando o solo é preparado para o plantio e com isso fica propenso a lixiviação e podendo ocorrer ravinas e voçorocas.



Figura 65: Área com substrato litológico composto por arenitos, solos são bem desenvolvidos, com processos erosivos junto a hidrografia. (Fonte: autor, fevereiro de de2014.)

7.3.4 Unidade Saicã

Unidade representada por porções planas entre colinas, com rochas areníticas e lamíticas com solos espessos areno-argilosos. Uso e ocupação de lavouras e campos com pecuária (Figura 66).



Figura 66: Imagem apresentando áreas com colinas e áreas planas próximas aos interflúvios dos tributários do rio Santa Maria, pode-se observar que a ocupação se dá com campos e lavouras. (Fonte: autor, julho de 2014).

As potencialidades estão ligadas a boa qualidade dos solos propensos ao desenvolvimento de lavouras e pastagens eficientes em termos de produção.

A suscetibilidade dessa unidade, está ligada ao mal uso do solo, onde através de técnicas inadequadas de produção e manejo os nutrientes e os mantos de alteração são perdidos ou então exauridos pelo uso abusivo.

7.4 SISTEMA URUGUAI

Unidade constituída por porções mais resistentes do arenito ocasionados por carapaças ferruginosas (Figura 67) ou então de carbonato de cálcio, que ocorrem no divisor de águas ao sul da bacia e em porções na passagem das rochas cristalinas do escudo para sedimentares da depressão, em altitudes entre 200 e 250m.



Figura 67: Cornijas de arenitos cimentados com óxido de ferro, feições são comuns na porção sul da BHRSM. (Fonte: autor, fevereiro de 2014).

Estas áreas são importantes por conterem as nascentes da porção Sul da BHRSM e apresenta muitas belezas naturais que poderiam ser atrativas a visitantes.

A principal suscetibilidade é o avanço de áreas de cultivos, fazendo com que seja suprimida a vegetação original, ou então, ocorra a substituição de campos por florestamentos de exóticas, as quais agregam tanto perdas de biodiversidade como também sociais.

7.5 SISTEMA DE SILVICULTURA

A unidade de silvicultura compreende as plantações de pinus e eucaliptos, sendo estabelecido por representar uma proposta de novos usos para dinamizar a metade sul do Estado, que inclui 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, sejam modificadas e, portanto, alteram a dinâmica superficial da região.

A silvicultura é uma atividade que se instalou na última década de uma forma muito dinâmica e que nos últimos anos recuou sua expansão e dinâmica devido a preços de mercado.

As plantações comerciais ocorrem em 675,58 km² da área total, em locais que anteriormente se desenvolviam campos com pecuária e agricultura, com solos arenosos bem desenvolvido ou solos pedregosos mal desenvolvidos.

As potencialidades relacionadas a esse sistema estão ligadas aos ganhos econômicos gerados por essas lavouras, que acabam rendendo impostos aos municípios.

As suscetibilidades desse sistema, estão relacionadas a perda de biodiversidade, pois as plantações originam verdadeiros “desertos verdes”, onde se desenvolvem apenas as espécies exóticas. Outra suscetibilidade está ligada ao estado vegetativo dessas espécies, que absorvem mão-de-obra apenas no início, com o preparo do solo e o plantio, depois os trabalhadores são dispensados ocasionando êxodo rural e todos os problemas gerados por esse fenômeno.

7.5.1 Unidade Tarumã

Unidade onde a atividade de silvicultura se estabeleceu sobre um substrato de rochas areníticas e solos arenosos friáveis com suscetibilidade a processos erosivos lineares (Figura 68).

O uso desenvolvido anteriormente nessas áreas, era pecuária em campos nativos. Com os incentivos a silvicultura, algumas áreas foram florestadas, com isso, a perda de espécies é grande. Um fator agravante a esse processo é o reduzido número de estudos florísticos nessa área, então a possibilidade da perda de espécies que não são nem conhecidas é grande.



Figura 68: Imagem mostrando áreas com silvicultura sobre litologias e solos arenosos bem desenvolvidos. (Fonte: autor, outubro de 2016).

7.5.2 Unidade Jaguari

Esta unidade ocorre sobre substrato de rochas cristalinas com solos pedregosos mal desenvolvidos (Figura 69). A silvicultura, foi inserida em porções onde antes existiam campos com pecuária.

Quanto a potencialidade dessa unidade, podemos destacar que a silvicultura permite o desenvolvimento de atividades agrícolas em porções de solos com baixa fertilidade, com isso, gerando ganhos econômicos.

A principal suscetibilidade dessa unidade está ligada a perda de biodiversidade, pois muitas espécies (vegetais e animais) são extintas mesmo antes de serem descobertas e estudadas. Algumas pesquisas relacionadas a Biogeografia do oeste do Rio Grande do Sul, já foram desenvolvidas, como é o caso da obra de Guadagnin e Trentin 2014 onde realizaram um estudo florístico na Bacia Hidrográfica do Arroio Caverá, e outras estão sendo desenvolvidas. Porém é uma grande área e os estudos ambientais, muitas vezes não conseguem acompanhar o acelerado ritmo dos ciclos econômicos.



Figura 69: Áreas com silvicultura sobre litologias cristalinas e solos mal desenvolvidos. (Fonte: autor, outubro de 2016).

7.6 SISTEMA PAMPA

O Sistema de Colinas que caracteriza-se por apresentar relevo ondulado a suavemente ondulado foi indicado a partir do relevo ser condicionante para uso e suscetibilidade a processos erosivos. Este sistema foi dividido em 04 unidades com base as características fisiográficas.

Os usos com atividades agrícolas nessas áreas, estão ligados ao cultivo de soja, trigo e pecuária (ovinos e de bovinos de corte), representando com isso sua maior potencialidade. Há grande suscetibilidade natural encontrada nessa área, principalmente nas porções onde o arenito é friável e com solos arenosos e espessos, sem ligantes, ou seja, apresenta-se com baixo teor de argila que mantenham a sua estrutura. Apresenta processos erosivos lineares, com presença de voçorocas, ravinas e “*pipings*”.

7.6.1 **Unidade Taquarembó**

Esta unidade marca os depósitos sedimentares na borda do escudo, com drenagens encaixadas e solos mal desenvolvidos, com uso para pecuária (Figura 70). Os afloramentos de rocha são comuns, com isso as atividades econômicas são controladas pelo meio físico.



Figura 70: Imagem mostrando áreas que ocorrem colinas em litologias sedimentares, solos mal desenvolvidos, interflúvios curtos e a hidrografia encaixada. (Fonte: autor, outubro de 2016).

A potencialidade dessa unidade está ligada a disponibilidade de espaço para a criação de gado. A suscetibilidade dessa unidade está ligada a pressão antrópica sobre o ambiente natural, suprimindo espécies vegetais além próprio desmatamento antrópico da vegetação arbóreo-arbustiva para o aumento das pastagens.

7.6.2 **Unidade Guará**

Rochas areníticas de textura média da Formação Guará, que ocorrem junto a área de rochas vulcânicas da Serra do Caverá. A ocorrência de degraus e cornijas são comuns e estão associadas a porções mais cimentadas. Nas

porções friáveis os solos são bem desenvolvidos e o relevo é de colinas, o uso é pecuária predominantemente. (Figura 71).



Figura 71: Afloramento de arenito da Fm. Guará, com solos de perfil mal desenvolvido. (Fonte: autor, fevereiro de 2014).

A potencialidade dessa unidade está ligada a sua aptidão para a agropecuária. A suscetibilidade é a pressão pela pecuária sobre os campos naturais e ainda a perda de biodiversidade com a implementação de monoculturas.

7.6.3 Unidade Cacequi

Relevo ondulado com substrato de arenitos e solos profundos e arenosos ocorrendo no divisor de águas. O uso está associado, principalmente, a atividade agrícola de plantação de soja e no período do inverno essas lavouras são ocupadas com pastagens.

A suscetibilidade está relacionada a solos arenosos pobres, onde há necessidade de uso abusivo de insumos, para que ocorra a produção. Ainda é comum a ocorrência de processos erosivos lineares ligados as nascentes.

7.6.4 Unidade Rio Bonito

Essa unidade se caracteriza pela ocorrência de lamitos com carapaças carbonatadas, que mantêm o relevo, formando degraus na meia encosta. Os solos têm elevada umidade e teores orgânicos no horizonte A (Figura 72).



Figura 72: Na imagem podemos observar carapaças de carbonato de cálcio, solos hidromorfismo, devido a impermeabilidade ocasionada pela rocha. (Fonte: autor, outubro de 2016).

A principal peculiaridade dessa unidade é a formação de solos com hidromorfismo em porções mais elevadas topograficamente, isso se deve ao fato do substrato ser composto por lamitos o que altera a circulação de água e gera um ambiente quimicamente redutor.

A agricultura é dificultada nessas áreas, pois em períodos de grande precipitação pluviométrica o solo se torna muito plástico, aderindo aos equipamentos agrícolas e nos períodos de baixa precipitação, esse solo se torna rígido o que dificulta o desenvolvimento vegetativo das plantas.

7.7 SISTEMA CAVERÁ

Unidade formada por um relevo ondulado com substrato caracterizado por rochas vulcânicas, solos mal desenvolvidos, com matéria orgânica e pedregosos (Figura 73). O uso está associado a áreas com vegetação arbórea arbustiva, nas maiores declividades e nas encostas menos declivosas, é comum observarmos campos, utilizados para a criação de gado.



Figura 73: Elevações típicas da Serra do Caverá, rochas vulcânicas da Fm. Serra Geral, solos mal desenvolvidos. É uma área com potencial para o desenvolvimento de um turismo pelas belezas cênicas. (Fonte: autor, fevereiro de 2014).

A potencialidade é paisagística e pode ser conectado com uso de atividades de pequeno porte com a indicação local do lugar “produtos da Serra do Caverá” o que pode aumentar o valor agregado, além da criação de locais de lazer e esportes radicais que não prejudiquem o meio.

A principal suscetibilidade está relacionada a retirada de vegetação, que além de gerar perda de biodiversidade ainda pouca estudada nas encostas da Serra, pode gerar perdas das finas camadas de solo localizadas nas encostas.

8 CAPÍTULO 08: CONCLUSÃO

Neste trabalho utilizou-se o zoneamento como sendo o instrumento básico da organização do espaço, baseado nas características do meio e de uso do solo na BHRSM..

As litologias e os solos foram determinados com base em trabalhos científicos, desenvolvidos em escala regional, mas com amplos trabalhos de campo, foi possível detalhar as informações de modo que ficaram satisfatórias para esse estudo. As litologias identificadas e espacializadas, foram compartimentadas em três classes, com base nas características físicas, químicas e também quanto a sua respostas frente a ação dos processos superficiais como intemperismo e erosão.

Os solos foram identificados conforme padrão de desenvolvimento dos horizontes, com base em condições físico-química. A definição dos compartimentos se baseou no desenvolvimento do perfil do solo e o seu caráter de hidromorfismo.

O relevo na bacia foi separado em 4 unidades agrupadas conforme a predominância e associação de elementos de relevo (*geomorphons*) obtidos através de um modelo digital de elevação, após interpolação dentro do aplicativo, têm-se como resultado a espacialização dos 10 elementos de relevo.

A compartimentação fisiográfica foi baseada no cruzamentos das informações referentes a litologia, solos e os compartimentos de relevo, as diferentes unidades foram definidas automaticamente, baseadas em uma árvore de decisão, onde as diferentes características de entrada possibilitaram a obtenção das unidades fisiográficas. A BHRSM se caracteriza por apresentar 14 unidades, as quais representam diferenças quanto ao tipo de rocha, desenvolvimento dos solos e formas de relevo. A proposta metodológica empregada na identificação das unidades fisiográficas mostrou-se uma técnica bastante eficiente na delimitação de diferentes compartimentos, com distintas e peculiares características que correspondem a unidades reconhecidas geomorfologicamente.

A determinação do uso do solo integrou dados socioeconômicos, interpretação de imagens de satélite e trabalhos de campo. Foi possível relacionar algumas formas de uso do solo baseados em características do

ambiente natural. As características do ambiente natural cruzadas com o ambiente antrópico, permitiram a determinação dos Sistemas e Unidades geoambientais.

O zoneamento geoambiental aplica uma análise que integra informações do meio e de uso e ocupação através do agrupamento de informações referentes a litologia, solos, compartimentos de relevo (fisiografia), classificação de imagens orbitais, pesquisas no IBGE, FEE e avaliações através de trabalhos de campo (uso do solo). Os estudos identificaram 07 sistema geoambientais baseados nas características fisiográficas e de uso do solo.

A análise permite ressaltar e hierarquizar os agrupamentos homogêneos dentro da área estudada, bem como identificar a heterogeneidade interna e as variáveis determinantes na formação de cada agrupamento, subsidiando objetivamente o tomador de decisão em planejamento.

O zoneamento geoambiental permitiu definir as potencialidades e suscetibilidades dos sistemas e unidades. As potencialidades da BHRSM estão ligadas a produção agrícola, tanto para a criação de gado quanto para lavouras, por outro lado, a suscetibilidades estão relacionadas aos danos que a produção agrícola ocasiona no ambiente natural.

O método de tabulação cruzada empregado em SIG está se difundindo para integração de variáveis nas Ciências da Terra, sendo muito útil em trabalhos de vulnerabilidade ambiental, geotecnia, entre outros; porém a aplicação para estudos fisiográficos e geomorfológicos, ainda, é incipiente no Brasil, embora, apresentem grande potencialidade.

A parametrização fisiográfica e geoambiental, por meio da análise digital, demonstrou potencial para compreender as relações entre os elementos fisiográficos e entre as características fisiografias e o uso e ocupação. O uso de ferramentas de SIG e árvore de decisão possibilitam integrar variáveis paramétricas.

A utilização de MDT derivados de base cartográfica com escala de maior detalhe, ou, o emprego de novas técnicas como o *LaserScan*, podem ser testados, visando melhor representação fisiográfica da área, com melhor qualidade na análise digital integrando as características de uso e ocupação do solo.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, A. N. Domínios morfolclimáticos e províncias fitogeográficas do Brasil. **Orientação**, n.3, 1967.

_____. **Participação das Depressões Periféricas e Superfícies Aplainadas na Compartimentação do Planalto Brasileiro – Considerações Finais e Conclusões**. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, v. 19, n. 2. 1998 p. 51-69.

_____. **Os Domínios de Natureza no Brasil: Potencialidades Paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 159f.

AGUIAR, J. S. V. Uso da terra, técnica e territorialidades: os assentamentos de Sant'Ana do Livramento/RS. **Dissertação (Mestrado)**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul-Programa de Pós Graduação em Geografia, Porto Alegre 2011. 255f.

ALBUQUERQUE, E. L. S. **Análise geoambiental como subsídio ao ordenamento territorial do município de Horizonte – CE**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Ceará – UECE. 2012.

ANDREIS, R.R., BOSSI, G.E. E MONTARDO, D. K. . O Grupo Rosário do Sul (Triássico) no Rio Grande do Sul - Brasil. In: 31º Congresso Brasileiro de Geologia (Camboriú), **Anais...**: 659-673, 1980.

ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Sistemas de informações geográficas (Aplicações na Agricultura)**. 2.ed. Brasília: SPI/EMBRAPA-CPAC, 1998. 434 p.

ASWAATHANARAYANA, U. **Geoenviroment: an Introduction**. Rotterdam: A. A Balkema. 1995.

BARRELA, W. *et al.* As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES , R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (ed). **Matas Ciliares: conservação e recuperação**. 2 ed. São Paulo: Editora da USP, 2001.

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação**. Florianópolis: UFSC, 1994. 112 p.

BERTALANFFY, L. V. The theory of open systems in Physics and Biology. **British Journal of Philosophical Science**, vol. 1, 1950, pp 23-39.

_____. **Teoría general de los sistemas**. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica. 1976 Pp. 1-9, 30- 53, 54-56 y 204-207.

BERTIN, J. O teste de base da representação gráfica. **Revista Brasileira Geografia**: Rio de Janeiro, n. 42, v. 1, jan./mar; 1980, p. 160-182.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico. **Cadernos de Ciências da Terra**, São Paulo: IG-USP, n. 13, 1972, p. 1-27.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: UFSC, 2003. v. 3.

BORTOLUZZI, C.A. **Contribuição à geologia da Formação Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil**. Pesquisas, Porto Alegre, 4(1):7-86, 1974.

BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em Microbacias hidrográficas. In: GUERRA, A. J. T. *et al.* **Erosão e conservação dos solos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

BOTELHO, R., G. M.; SILVA, A. S. da. Bacia Hidrográfica e qualidade ambiental. In: GUERRA, A. J. T. e V., A. C. (Org). **Reflexões sobre a geografia física no Brasil** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 208 p.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems of land resources assesment**. Francis e Taylor, 1986. 185p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Escala 1:750.000. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 2006.

BRASIL. Lei N° 9.433. **Política Nacional dos Recursos Hídricos**, 1998.

CABRAL, T. L. **Zoneamento e mapeamento geoambiental no município de Sorriso-MT**. Dissertação de Mestrado. PPGeo-UFSM. 2014. 131 pág.

CALDAS, J.T. Aspectos geomorfológicos do estado do Rio Grande do Sul. **Revista do Instituto Histórico e Geográfico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre 18(2): 253-281, 1938.

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**. Escala 1:1.000.000. Instituto de Geociências da UFRGS. Porto Alegre. 1974.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos. INPE. 2001.

CAMPOS, M. C. C.; CARDOZO, N. P.; MARQUES JÚNIOR, J. Modelos de paisagem e sua utilização em levantamentos pedológicos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.06, n.01, p.104-114, 2006.

CARVALHO, J. A. R. Cartografia geotécnica e ambiental em Portugal. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5., 2004. **Anais...** São Carlos, 2004.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. 2. ed. São Paulo: Contexto, 1995.

CEZAR, R. V. **Carta geoambiental (1:50.000) e trilhas interpretativas da zona turística do Vale do Pati, Chapada Diamantina-BA**. Dissertação - (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2011.

CHEBATAROFF, J. Regiones naturales de Rio Grande del Sur y del Uruguay - **Anais da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, Volume VI, Tomo I (1951-1952) - São Paulo, Brasil, 1954.

CHORLEY, R. J. Geography as Human Ecology. In: Chorley, R. J., **Directions in Geography**. Londres: Methuen. 155-169. 1973.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em geografia**. São Paulo: HUCITEC. Ed. da Universidade de São Paulo, 1979.

_____. **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.

_____. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: EdgardBlücher, 2002. 236 p.

COUTO, M. A. C.. **Método dialético na didática da geografia**. In CAVANCANTI, L. S.; BUENO, M. A.; SOUZA, V. C. – org. Produção do conhecimento e pesquisa no ensino da geografia. Goiânia: Ed. da PUC Goiás. (2011)

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; AZEVEDO, L.G.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; Curso de sensoriamento remoto aplicados ao zoneamento ecológico-econômico [CD-ROM]. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 8 Salvador, 1996. Anais. São Paulo: Image Multimídia, 1996. Seção de Comunicações Técnico-Científica

CUNHA, S. B. I. Canais Fluviais e a Questão Ambiental. In: GUERRA, A. J. T.;CUNHA, S. B. **A Questão Ambiental: Diferentes Abordagens**. Rio de Janeiro:Bertrand Brasil, 2005. 2. ed.

DE NARDIN, D. **Zoneamento Geoambiental no Oeste do Rio Grande do Sul: Um estudo e bacias hidrográficas**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. 2009.

DE NARDIN, D.; ROBAINA, L. E. de S. Mapeamento Geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Miracatu, Oeste do Rio Grande do Sul. In: VI Simpósio Nacional

de Geomorfologia /Regional Conference on Geomorphology, 2006, Goiânia. **Anais...** 2006. p. 1-10.

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.

DRAGUT, L.; BLASCHKE, T. Automated classification of landform elements using object-based image analysis. **Geomorphology**, v. 81, p.330-344. 2006

FACCINI, U, F. O Permo-Triássico do Rio Grande do Sul. **Dissertação de Mestrado do Pós-graduação em geociências**, UFRGS, 121p, 1989.

FIORI, A. P. Metodologias de Cartografia Geoambiental. *In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental*, 5., 2004. **Anais...** São Carlos, 2004.

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

GARCIA, A. M; MILDNER, S. E.S. Convergências e divergências: aspectos das culturas indígenas Charrua e Minuano. **Revista de Antropologia**. Nº39, p 37-49. 2012

GASTAL, M.C.P. Suíte Intrusiva Saibro, RS: avaliação de um modelo petrológico. Porto Alegre, 365p. **Tese de Doutorado**, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1997.

_____. The alkaline and shoshonitic intrusives in the region of the Taquarembó Plateau, Southern Brazil: are they genetically related. **Revista Brasileira de Geociências**. 29(1):85-98, 1999.

GASTAL, M. C. P.; LAFON, J. M. Gênese e evolução dos granitóides metaluminosos de afinidade alcalina da porção oeste do Escudo Sul-Riograndense: geoquímica e isótopos de Rb-Sr e Pb-Pb. **Revista Brasileira de Geociências**. 28(1):11-28, 1998.

GUADAGNIN, P. M.A.; TRENTIN, R. Compartimentação Geomorfométrica da Bacia Hidrográfica do Arroio Caverá-RS. **Geo UERJ**. Rio de Janeiro. Nº25, v.1, 1º semestre de 2014. P.183-199.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **A questão ambiental – Diferentes abordagens**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2003.

GUERRA, A. J. T. & CUNHA S. B. da **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 2.ed.Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996, 372p.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 4ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 652 p.

GREHS, S. A. A importância do Geólogo no Estudo Preventivo de Escorregamentos, Deslizamentos e outros Aspectos Correlatos. In: Congresso Brasileiro de Geologia. Curitiba. **Anais**: SBG, 1966. p. 119 – 123.

HABERLEHNER, H. Princípios de Mapeamento Geotécnico. In: Congresso Brasileiro de Geologia. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG, 1966.

HARTMANN, L.A.; NARDI, L.V.S. **Os Granitos Santo Afonso, Saibro e Vauthier da Região do Arroio Santa Maria Chico, Dom Pedrito, RS**. Acta Geológica Leopoldensia, 8:153-178, 1982.

HARTMANN, L.A.; NARDI, L.V.S. Contribuição à geologia da região oeste do Escudo Sul-riograndense. In: **SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA**, 1. Atas...Porto Alegre, SBG, p. 09-18. 1983.

HASENACK, H.; WEBER, E. **Base Cartográfica Vetorial Contínua do Rio Grande do Sul. Escala 1:50.000**. Porto Alegre: UFRGS, 2010.

HANSEN, S.E. *et al.* Upper Mantle Low-Velocity Zone Structure beneath the Kaapvaal Craton from S-wave Receiver Functions. **Geophysical Journal International**, 2009

HEINE, V. H. Levantamento Geotécnico do Estado de Guanabara. In: Congresso Brasileiro de Geologia. **Resumos...** Rio de Janeiro: SBG. 1966.

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.

HOLZ, M. e ROS, L. F. (Org.) **Geologia do Rio Grande do Sul**. 1. ed. Porto Alegre: CIGO-UFRGS, 2000. v. 1. 440p., 2000.

HUGGETT, R.J. Soil landscape systems: A model of soil genesis. **Geoderma**, Amsterdam, v. 13, p. 1-22, 1975.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Projeto RADAMBRASIL**. Levantamento de recursos naturais (Folha SH.22 Porto Alegre

e parte das Folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, CD-ROM. 1986

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro. p. 59-83, 1990.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapas municipais**. Disponível em: << <http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/mapas-municipais>>>. Ano: 2010. Acesso em fevereiro de 2015.

IPPOLITI, G. A. *et al.* Análise digital do terreno: ferramenta na identificação de pedoformas em microbacia na região de “Mar de Morros” (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.269-276, 2005.

IWAHASHI, J. e PIKE, R. J. Automated classifications of topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature. **Geomorphology** 86. 2007. Pag. 409–440.

JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. F. Example-Based Retrieval of Alike Land-Cover Scenes From NLCD2006 Database, **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters** 10(1). 2013, pp. 155-159.

JIMÉNEZ - RUEDA, J.R.; LANDIM, P.M.B.; MATTOS, J.T. Gerenciamento Geoambiental. In: TukTornisielo, S.M.; Gobbi, N.; Foresti, C.; Lima, S.T. (orgs.) **Análise Ambiental: estratégias e ações**. São Paulo: T.A. Queiroz, Fundação Salim Farah Maluf; Rio Claro, SP: Centro de Estudos Ambientais – UNESP, 1995. p. 327-329.

JULESZ, B. Textons, the elements of texture perception, and their interactions. **Nature**, 1981 vol. 290 (5802) pp. 91.

_____. A brief outline of the texton theory of human vision. **Trends in Neuroscience**, 1984, 7, 41–45.

LANDIS, J.R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agrément for categorical data. **Biometrics**. v.33, n1, p.159-174, 1977.

LAVINA, E. L.; LOPES, R. C. **A transgressão marinha do Permiano Inferior e a evolução paleogeográfica do Supergrupo Tubarão no Estado do Rio Grande do Sul**. Paula Coutiana, Porto Alegre, n. 1, p. 51-103, 1986.

LAVINA, E. L. The Passa Dois Group. In: **international gondwana symposium**, 7, 1988. São Paulo. Field excursion guide book. São Paulo: Instituto de Geociências, 1988. p. 24-30. 1988.

LIAO, W.-H., 2010. Region Description Using Extended Local Ternary Patterns. 2010. 20th **International Conference on Pattern Recognition**, pp. 1003–1006.

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J.B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES, R.R, LEITÃO FILHO, H. F. (Ed) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2 ed. São Paulo: Editora da USP, 2000. p.33-43.

LISBOA, A. M. Zoneamento geombiental aplicado ao planejamento da gestão ambiental e territorial do município de Colorado D'Oeste. 2008. 145 f. **Tese (doutorado)** - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2008

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. *et al.* **Zoneamento Geoambiental do Município de Cordeirópolis**. In: 7º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. Maringá: **Anais**, 2010.

MacMillan R A e Shary P A. Landforms and landform elements in geomorphometry. In: Hengl T and Reuter H I (eds). **Geomorphometry: concepts. software. application. Developments in soil science**. volume 33: 227–254. Elsevier: Amsterdam. 2009.

MAIA, M. R. **Zoneamento Geoambiental do município de Vitória da Conquista-BA: um subsídio ao planejamento**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal da Bahia. 2005.

MARTINS, L. C.; WILDNER, W.; & HARTMANN, L. A. **Estratigrafia dos derrames da Província Vulcânica Paraná na região oeste do Rio Grande do Sul, Brasil, com base em sondagem, perfilagem gama espectrométrica e geologia de campo**. Pesquisas em Geociências, 38 (1): 15-27, 2011.

MARTINELLI, M. L. **Serviço Social: identidade e alienação**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 1991. 165 p.

McBRATNEY, A. B. *et al.* **On digital soil mapping**. Geoderma, v. 117, p. 3-52, 2003.

McKENZIE, N. J. *et al.* The role of terrain analysis in soil mapping. In Wilson, J.P.; Gallant, J.C. (Eds.), **Terrain Analysis-principles and applications**. Wiley, New York, p 245-265, 2000.

MEDEIROS, E. R. Estratigrafia do Grupo São Bento na região de Santa Maria e Paleocorrentes da Formação Botucatu. **Tese (Doutorado)** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1980.

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.

MENEGOTTO, E.; SARTORI, P. L. P.; MACIEL FILHO, C. L. **Nova sequência sedimentar sobre a Serra Geral no Rio Grande do Sul**. Publicação Especial do Instituto de Solos e Culturas, Seção Geologia e Mineralogia, Santa Maria, 1:1-19, 1968.

MILANI, E. J. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. 2 v. **Tese (Doutorado)** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

MILANI, E. J.; FACCINI, U. F.; SCHERER, C. M. S.; ARAÚJO, L. M.; CUPERTINO, J. A. Sequences and stratigraphic hierarchy of the Paraná Basin (Ordovician to Cretaceous), Southern Brazil. Boletim IG-USP, São Paulo, p. 125-173. (Série Científica, n. 29), 1998.

MILANI, E.J.; MELO, J. H. G.; SOUZA, P.A.; FERNANDES, L.A.; FRANÇA, A.B. Bacia do Paraná. **B. Geoci. Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 265-287, maio/nov., 2007.

MOREIRA, A.A.N. & LIMA, G.R. Relevo In: IBGE, **Departamento de Geografia, Geografia do Brasil**, Região Sul, v.5, p.1-37, 1977.

MONTEIRO, C. A. de F. **Geossistema: a história de uma procura**. São Paulo:Contexto, 2 ed. 2000. 127 p.

MOTA, S. **Preservação e conservação de Recursos Hídricos**. 2º ed. Rio de Janeiro: ABES 1995.

MÜLLER FILHO, I.L. **Notas para o estudo da geomorfologia do Rio Grande do Sul, Brasil. Publicação Especial n.1**, UFSM/Departamento de Geociências, 1970.

MUÑOZ, V. A. **Análise geomorfométrica de dados SRTM aplicada ao estudo das relações solo-relevo**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009. 112p. (INPE-15796-TDI/1531). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

NARDI, L.V.S.; BONIN, B.. Post-orogenic and non-orogenic alkaline granite associations: the Saibro intrusive suite, southern Brazil - A case study. **Chemical Geology**, **92**: 197-212. 1991

NARDI, L.V.S.; HARTMANN, L. A. O Complexo Granulítico Santa Maria Chico do Escudo Sul-Riograndense. **Acta Geológica Leopoldensia**, 3:45-75, 1979.

NARDY, A. J. R, OLIVEIRA, M.A.F. BETANCOURT, R.H.S., VERDUGO, D.R.H. & MACHADO, F.B. Geologia e estratigrafia da Formação Serra Geral. **Geociências**, 21(1/2): 15-32, 2002.

NASCIMENTO F. R.; CUNHA, S. B.; SOUZA, M. J.; CRUZ, M. L. Diagnóstico Geoambiental da bacia hidrográfica semi-árida do Rio Acaraú: subsídios aos estudos sobre desertificação. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiania-GO. V 28, nº1, p 41-62, jan-jun. 2008.

NOGUEIRA, P. C. Regiões fisiográficas do estado do Rio Grande do Sul. **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro, 6 (64)- 337-346, 1948.

PINTO, N. L. S. *et al.* **Hidrologia básica**. São Paulo: ed Edgard Blucher, 1976.

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.

RIBEIRO, W. C. Meio ambiente: o natural e o produzido. **Revista do Departamento de Geografia-USP**. São Paulo. v. 5, p. 29-32, 1991.

ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R.; LAURENT, F. Compartimentação do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, Através do Uso de Geomorphons obtidos em classificação topográfica automatizada. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. v.17, nº2, 2016. p 287-298.

ROBAINA, L.E.S.; TRENTIN, R.; BAZZAN, T.; RECKZIEGEL, E.W.; VERDUM, R.; DE NARDIN, D. Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do Ibicuí, Rio Grande do Sul, Brasil: proposta de classificação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.11, n.2, p.11-23, 2010

ROISENBERG, A.; VIERO, A. P. O vulcanismo mesozoico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. *In: HOLZ, M.; DE ROS, L. F. (Ed.) Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. p. 355-374.

ROSA, R. e BRITO, J.L.S. **Introdução ao Geoprocessamento: Sistema de Informações Geográficas**. Uberlândia, EDUFU. 1996. 104p

ROSS, J.L.S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. Editora contexto, 7 ed. São Paulo. 2003.

SANTOS, L. J. C. *et al.* Mapeamento da vulnerabilidade geoambiental do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**. V 37 (4), 2007. p. 812 – 820.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficinas de textos, 2004.

SANTOS, S.L.M. *et al.* Mapeamento Geomorfológico da Bacia do Igarapé Belmont Porto Velho-Rondônia. **Revista Brasileira de Geociências**. V.13, nº3, 2012. P 255-266.

SCCOTI, A. A. V. Zoneamento geoambiental da bacia hidrográfica do rio Ibicuí da Armada-RS: potencialidades e suscetibilidade. **Dissertação de Mestrado (UFSM)**. Santa Maria. 2015.

SCHERER, C.M.S., FACCINI, U.F. E LAVINA, E.L. Arcabouço estratigráfico do Mesozóico da Bacia do Paraná. Em: M. Holz e L.F. De Ros (eds.), **Geologia do Rio Grande do Sul**, CIGO/UFRGS. Porto Alegre, pp. 335-354, 2000

SCHIRMER, G. J. Mapeamentos Geoambientais dos municípios de Agudo, Dona Francisca, Faxinal do Soturno, Nova Palma e Pinhal Grande – RS. **Dissertação de mestrado**. Santa Maria. PPGGEO-UFSM. 2012.

SCHIRMER, G. J; ROBAINA, L.E.S. Compartimentação de Unidades Geomorfológicas do Município de Agudo/RS. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. V 14, nº1, 2013. P 03-12.

SILVA, J.X. Geomorfologia, Análise Ambiental e Geoprocessamento. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. V 1, Nº1, 2000. P 48-58.

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 / **Tese (Doutorado)** – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geografia. - Curitiba, 2010.

SOUZA, L. A., *et al.* Cartografia Geoambiental como Suporte ao Plano Diretor de Mariana, MG. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 11, 2005. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2005.

SOUZA, G. M. *et al.* Mapeamento da Cobertura da Terra da APA Petrópolis/RJ Utilizando Análise baseada em objeto no sistema interimage. **Revista Brasileira de Cartografia**. Nº64 4ºed 2012. Pag 517-530.

SOUSA JUNIOR, J.G.A.; DEMATTÊ, J.A.M. **Modelo digital de elevação na caracterização de solos desenvolvidos de basalto e material arenítico**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, p.449-456, 2008.

STRAHLER, A. N. **Dynamic basis of Geomorphology**. Geol. Soc.America Bulletin. 1952.

STRECK, E. V. *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2008. 222 p.

SUMMERFIELD, M.A. **Global Geomorphology an introduction to the study of landforms**. England: British Library Cataloguing in Publication Data, 1997. p. 535.

TEODORO, V. L. I., *et al.* O conceito de Bacia Hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **REVISTA UNIARA**, n. 20, 2007. p.137-157

TRENTIN, R. Mapeamento geomorfológico e caracterização geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Itu – Oeste do Rio Grande do Sul – Brasil. **Tese (doutorado)** Universidade Federal do Paraná – Programa de Pós-Graduação em Geografia. Curitiba, 2011. 215f.

TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S. Metodologia para Mapeamento para Mapeamento Geoambiental no Oeste do Rio Grande do Sul. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 11, 2005. **Anais...** 2005.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: Fundação IBGE/SUPREN, 1977. 97 p. TUCCI, C. E. M. (Org). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora da ABRH:UDUSP, 1993.

TUCCI, C. E. M. 1997. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997.

VALERIANO, M. M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.3, p.539-546, 2003.

VEDOVELLO, R. Aplicações da Cartografia Geoambiental. In: Simpósio brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5., 2004. **Anais...** São Carlos, 2004.

VETTORAZZI, C. A. Avaliação multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando à conservação de recursos hídricos. **Tese de doutorado (ESALq)**. Piracicaba. 2010.

VICENTE; L. E.; PEREZ FILHO, A. Abordagem Sistêmica. **Geografia**, v. 28, n. 3, p. 323-344, 2003.

VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S.S. Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.04, p.85-144, 2005.

VILLELA, S. M.; MATOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

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.

WILDNER, W; RAMGRAG, G. E.; LOPES R. C.; IGLESIAS, C. M. F. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Escala 1:750000. CPRM, Serviço Geológico do Brasil. Porto Alegre, RS. 2006.

WILDNER, W., HARTMANN, L. A. & LOPES, R. C. Serra Geral Magmatism in the Paraná Basin - a new stratigraphic proposal, chemical stratigraphy and geological structures. In: **I WORKSHOP PROBLEMS IN THE WESTERN GONDWANA GEOLOGY**, 2007, Gramado, v .1, p. 189-197, 2007.